

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุ
ยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า

ANALYSIS OF HOME MICROGRID SYSTEM IN GRID-CONNECTED
PV-BATTERY ELECTRIC VEHICLE CHARGING AND PEER-TO-PEER
ENERGY TRADING

ณัฐพงษ์ บุญราช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุ
ยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า

ณัฐพงษ์ บุญราช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้า
ขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of
Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright
owner. I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

.....
ดิษฐ์พงษ์ บุณยราช
(นายณัฐพงษ์ บุณยราช)



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า

Analysis of Home Microgrid System in Grid-Connected PV-Battery for Electric Vehicle Charging and Electricity Trading

ชื่อ - นามสกุล

นายณัฐพงษ์ บุญราช

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณตฤณ จันทร์จรรย์, วศ.ด.


ปีการศึกษา

2565

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ประมุข อุณหเลขกะ, วศ.ด.)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณตฤณ จันทร์จรรย์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)

วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า
ชื่อ - นามสกุล	นายณัฐพงษ์ บุญราช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณตฤณ จันทร์จำรัส, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการซื้อขายไฟฟ้า โดยจำลองผ่านโปรแกรม PVsyst สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15.87 kWp ของบ้านพักอาศัยที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 150 kWh/เดือน และใช้โปรแกรม Homer Grid เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและแบบปกติ เพื่อแสดงผลเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบไมโครกริด

การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบไมโครกริดของยานยนต์ไฟฟ้า 4 ยี่ห้อ ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW , 110 kW, 120 kW และ 110 kW ตามลำดับ โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าช่วงเวลา 20.00 น. และวิเคราะห์ผลด้านการเงินการลงทุนโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และระยะเวลาคืนทุน

ผลการศึกษาพบว่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและแบบปกติโดยใช้โปรแกรมจำลอง Homer Grid สำหรับการอัดประจุเฉลี่ย 8 kWh/วัน หรือคิดเป็นระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่ง 23,000 km/ปี โดยกำหนดเวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. สามารถเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 ยี่ห้อ พบว่ายานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 2 ใช้พลังงานมากที่สุดในการอัดประจุแบบเร็วโดยมีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 3,096 kWh/ปี และ ยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 ใช้พลังงานในการอัดประจุมากที่สุดแบบปกติ มีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 2,859 kWh/ปี และมีการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงเท่ากับ 76.80 kWh/ปี

คำสำคัญ : ไมโครกริด อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า วิเคราะห์จุดคุ้มทุน ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคา

Thesis Title	Analysis of Home Microgrid System in Grid-Connected PV-Battery for Electric Vehicle Charging and Electricity Trading
Name - Surname	Mr. Nattapong Boonrach
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, D.Eng.
Thesis Co-Advisor	Assistant professor Natin Janjamraj, D.Eng.
Academic Year	2022

ABSTRACT

This thesis presents a simulation-based analysis of a home microgrid system in PV-battery electric vehicle (EV) charging system and electrical energy trading. PVSyst program was used to simulate the 15.87 kWp rooftop solar power generation system for a home that consumed more than 150 kWh of electricity each month. Then a comparison was conducted between fast charging EV energy to normal charging EV energy by using Homer Grid program to study the effects of the energy generated by the microgrid system.

A simulation analysis of the energy generated from the microgrid system of four EV brands with engine powers of 105, 110, 120 and 110 kW, respectively, was performed by charging an electric vehicle at 8.00 p.m. Moreover, an analysis of financial investment was explored by employing fast EV charging system for the 120 kW charger in terms of a break-even point analysis, a net present value analysis, and a payback period analysis.

The findings of the study revealed that the energy utilized to fast charging and normal charging of EV which had been simulated by Homer Grid program for an EV battery charge was 8 kWh/day on average or equivalent to EV running 23,000 km/year, with a 20-minute charge period at 8.00 p.m. Regarding to a comparison of the energy required to charge the 4 EV brands, it was found that No. 2 brand consumed the most energy during fast charging with a charging energy value equal of 3,096 kWh/year while No. 4 brand used the most energy for normal charging with 2,859 kWh/year. Lastly, referring to the purchase cost of electric power from the Metropolitan Electricity Authority (MEA), the price was 76.80 kWh/year.

Keywords: microgrid, electric vehicle charging, break-even point analysis, rooftop solar power system

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของรองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณตฤณ จันทร์จำรัส ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำและชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง และ ดร.ศิวัฒน์ รมโพธิชัย ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์และเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้อง เพื่อนพ้องและคณะครู-อาจารย์ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน รวมทั้งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยต้องขอภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ณัฐพงษ์ บุญราช



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	16
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	16
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	17
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	18
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	18
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	19
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.1 บทนำ.....	20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560.....	30
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ.....	33
2.5 การหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ (PV Grid Connected System, PVGCS)	42
2.6 การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	45
2.7 การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าต่อระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐาน.....	48
2.8 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	55
2.9 ระบบกักเก็บพลังงาน.....	58
2.10 กำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิสของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter).....	59
2.12 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Converter).....	60
2.13 การวิเคราะห์ด้านการเงินการลงทุน.....	62
2.14 บทสรุป.....	63
บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย.....	64
3.1 บทนำ.....	64
3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	65
3.3 หลักการและแนวคิด.....	67
3.4 เซลล์แสงอาทิตย์.....	68
3.5 ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้า.....	70
3.6 ข้อมูลการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจากโปรแกรมจำลอง.....	76
3.7 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคา.....	81
3.8 การออกแบบจำลองโปรแกรมเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบผลิตพลังงาน เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	82
3.9 จำลองระบบติดตั้งการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย.....	91
3.10 บทสรุป.....	95
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์.....	97
4.1 บทนำ.....	97
4.2 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยาน ยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ด้วยโปรแกรม Homer Grid....	97
4.3 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยาน ยนต์ไฟฟ้าแบบปกติและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ด้วยโปรแกรม Homer Grid..	104
4.4 วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์โดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อที่ 4 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน.....	110
4.5 บทสรุป.....	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	117
5.1 บทนำ.....	117
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	118
บรรณานุกรม.....	119
ภาคผนวก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	167



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม.....	21
ตารางที่ 2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน.....	56
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....	57
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ Trina Module รุ่น Tallmax plus....	68
ตารางที่ 3.2 ค่าคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามชนิดของระบบที่ใช้.....	81
ตารางที่ 4.1 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า.....	111
ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้ง.....	112
ตารางที่ 4.3 รายการวัสดุอุปกรณ์แรงงาน (BOQ).....	113
ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ค่าทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนสำหรับการลงทุน.....	114
ตารางที่ 4.5 สมรรถนะยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม Homer Grid.....	115
ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW.....	115
ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW.....	116
ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์การเงินการลงทุนเฉพาะด้านพลังงานโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4.....	116



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า..... 17
รูปที่ 2.1	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศไทย..... 31
รูปที่ 2.2	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆ ของประเทศไทย..... 32
รูปที่ 2.3	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ในทางปฏิบัติ..... 33
รูปที่ 2.4	เส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ค่าต่างกัน..... 34
รูปที่ 2.5	กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานต่างกัน..... 34
รูปที่ 2.6	เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน..... 35
รูปที่ 2.7	กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ..... 36
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างการต่อเซลล์แบบอนุกรม 3 เซลล์..... 37
รูปที่ 2.9	กราฟ I-V ของการต่อแบบอนุกรม 3 เซลล์..... 38
รูปที่ 2.10	แสดงหนึ่งเซลล์ถูกบังแสง (Shading)..... 38
รูปที่ 2.11	การต่อบายพาสไดโอด..... 39
รูปที่ 2.12	กราฟ I-V ของการต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์บังแสง..... 39
รูปที่ 2.13	การต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์บังแสงบางส่วน..... 40
รูปที่ 2.14	การต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์บังแสงบางส่วนและมีบายพาสไดโอด..... 40
รูปที่ 2.15	กราฟ I-V ต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์บังแสงบางส่วนและมีบายพาสไดโอด..... 41
รูปที่ 2.16	กราฟ I-V ของเซลล์ไม่มีการบังแสง..... 41
รูปที่ 2.17	กราฟ I-V ของเซลล์เมื่อมีการบังแสงบางส่วน..... 42
รูปที่ 2.18	ตัวชี้วัดที่ใช้แสดงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724..... 43
รูปที่ 2.19	การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ..... 46
รูปที่ 2.20	รูปแบบการเชื่อมต่อเพื่อการอัดประจุไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196..... 47
รูปที่ 2.21	ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน ส่วนที่ 1..... 50

สารบัญญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.22	ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า ใน ส่วนที่ 2.....	51
รูปที่ 2.23	ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปีเมื่อพิจารณาผลจากยานพาหนะไฟฟ้า.....	52
รูปที่ 2.24	ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปี เมื่อพิจารณาจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นไปได้ (Probable Case).....	53
รูปที่ 2.25	ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปี เมื่อพิจารณาจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดความคาดหมาย (Extreme Case).....	53
รูปที่ 2.26	ความต้องการกำลังไฟฟ้าในวันที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปีของ ประเทศไทยในปี 2579.....	54
รูปที่ 2.27	กระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์เคมีไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน.....	55
รูปที่ 2.28	วงจรมุมมูลของแบตเตอรี่ LiFePO ₄	58
รูปที่ 2.29	ความผิดพลาดของกำลังการสูญเสียฮิสเตอร์ซิสที่ SOC ต่างกัน.....	59
รูปที่ 2.30	วงจร buck converter, boost converter และวงจร buck – boost Converter.....	60
รูปที่ 2.31	วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส.....	61
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	66
รูปที่ 3.2	โครงสร้างสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ของรถยนต์ EV.....	67
รูปที่ 3.3	ผลจำลอง I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25° C).....	69
รูปที่ 3.4	ผลจำลอง P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25° C).....	69
รูปที่ 3.5	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมกราคม 2563.....	70
รูปที่ 3.6	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกุมภาพันธ์ 2563.....	71
รูปที่ 3.7	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมีนาคม 2563.....	71

สารบัญญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.8	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนเมษายน 2563.....	72
รูปที่ 3.9	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนพฤษภาคม 2563.....	72
รูปที่ 3.10	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมิถุนายน 2563.....	73
รูปที่ 3.11	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกรกฎาคม 2563.....	73
รูปที่ 3.12	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนสิงหาคม 2563.....	74
รูปที่ 3.13	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกันยายน 2563.....	74
รูปที่ 3.14	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนตุลาคม 2563.....	75
รูปที่ 3.15	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนพฤศจิกายน 2563.....	75
รูปที่ 3.16	ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนธันวาคม 2563.....	76
รูปที่ 3.17	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน.....	77
รูปที่ 3.18	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน.....	77
รูปที่ 3.19	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน.....	78
รูปที่ 3.20	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.21	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลัง เครื่องยนต์ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน.....	79
รูปที่ 3.22	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลัง เครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน.....	79
รูปที่ 3.23	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลัง เครื่องยนต์ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน.....	80
รูปที่ 3.24	โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลัง เครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน.....	80
รูปที่ 3.25	วางแผนเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Trina Tallmax plus สำหรับระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp.....	82
รูปที่ 3.26	กำหนดค่าตำแหน่งที่ตั้งสำหรับการ Simulation.....	83
รูปที่ 3.27	แปลงไฟล์การติดตั้งระบบผลิตฯ จากโปรแกรม Sketchup ลงในโปรแกรม Pvsyst.....	83
รูปที่ 3.28	เช็คค่ามุมการวางแผงฯ, มุมอะซิมุต และกำหนดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์.....	84
รูปที่ 3.29	เลือกขนาดและชนิดของอินเวอร์เตอร์และแผงโซลาร์เซลล์.....	84
รูปที่ 3.30	กำหนดลักษณะอากาศไหลเวียนใต้แผงโซลาร์เซลล์.....	85
รูปที่ 3.31	กำหนดค่าความสูญเสียแรงดันตกทั้งด้าน DC และ AC ในระบบผลิตฯ.....	85
รูปที่ 3.32	กำหนดค่าความสูญเสียที่เกิดจากแผงโซลาร์เซลล์ในระบบผลิตฯ.....	86
รูปที่ 3.33	กำหนดค่าความสูญเสียที่เกิดจากความสกปรกของแผงโซลาร์เซลล์ในระบบผลิตฯ..	86
รูปที่ 3.34	กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์.....	87
รูปที่ 3.35	ผลข้อมูลจำลองระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp ด้วยโปรแกรม Pvsyst.....	88
รูปที่ 3.36	ผลข้อมูลจำลองระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังผลิต 16.56 kWp ด้วยโปรแกรม Pvsyst.....	89
รูปที่ 3.37	ผลข้อมูลจำลองค่าความสูญเสียของระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp ด้วยโปรแกรม Pvsyst.....	90

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.38	ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในโปรแกรมจำลอง Homer Grid.....	91
รูปที่ 3.39	เลือกแผนสำหรับจำลองข้อมูลในโปรแกรมจำลอง Homer Grid.....	92
รูปที่ 3.40	เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกำหนดขนาดของระบบผลิตฯ ในโปรแกรม จำลอง Homer Grid.....	92
รูปที่ 3.41	เลือกชนิดและขนาดอินเวอร์เตอร์ในโปรแกรมจำลอง Homer Grid.....	93
รูปที่ 3.42	เลือกระบบการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว.....	94
รูปที่ 3.43	เลือกแบตเตอรี่ชนิด LFP ขนาด 16 kWh ในโปรแกรม Homer Grid.....	94
รูปที่ 3.44	เลือกใช้พลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าโปรแกรม Homer Grid.....	95
รูปที่ 3.45	Flowchart วิเคราะห์การทำงานของระบบ Microgrid และการหาจุดคุ้มทุน.....	96
รูปที่ 4.1	ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW.....	98
รูปที่ 4.2	กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการ ซื้อขายไฟฟ้า.....	98
รูปที่ 4.3	ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 2 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW.....	99
รูปที่ 4.4	กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 2, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการ ซื้อขายไฟฟ้า.....	100
รูปที่ 4.5	ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW.....	101
รูปที่ 4.6	กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการ ซื้อขายไฟฟ้า.....	101
รูปที่ 4.7	ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 4 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW.....	102

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อ 4, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า.....	103
รูปที่ 4.9 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1 สำหรับหัวชาร์จ ขนาด 8 kW.....	104
รูปที่ 4.10 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า.....	105
รูปที่ 4.11 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 สำหรับหัวชาร์จ ขนาด 8 kW.....	106
รูปที่ 4.12 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า.....	106
รูปที่ 4.13 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 สำหรับหัวชาร์จ ขนาด 8 kW.....	107
รูปที่ 4.14 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า.....	108
รูปที่ 4.15 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4 สำหรับหัวชาร์จ ขนาด 8 kW.....	109
รูปที่ 4.16 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า.....	109
รูปที่ 4.17 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้ง.....	113

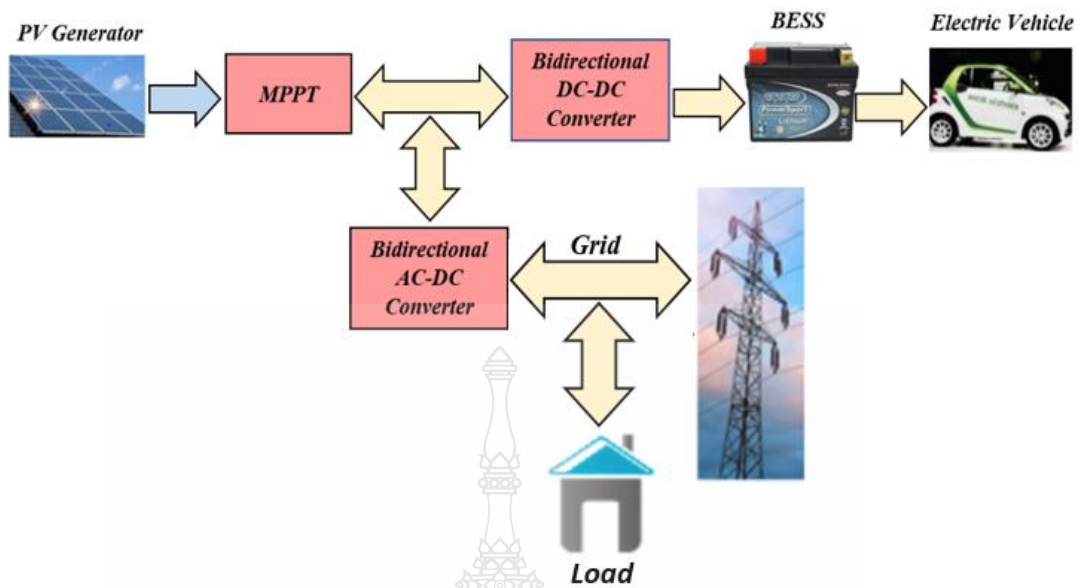
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณมากโดยที่ไม่มีการควบคุม พฤติกรรมการอัดประจุไฟฟ้าจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ผลกระทบหลักที่ผู้ดูแลระบบหรือการไฟฟ้าต้องประสบ ได้แก่ การรับภาระโหลดเกิน, กำลังสูญเสียภายในสายส่ง, แรงดันตกภายในสายส่ง, การเกิดโหลดไม่สมดุลแต่ละเฟส และ การเกิดกระแสฮาร์มอนิกหรือแรงดันฮาร์มอนิกเกินค่ามาตรฐาน โดยความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าไม่เพียงแต่ขึ้นกับปริมาณยานยนต์ไฟฟ้ายังขึ้นกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมอีกด้วย โดยแนวทางแก้ไขปัญหามีอยู่หลายแนวทาง เช่น การควบคุมเวลาการอัดประจุโดยใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติที่แสดงผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนทางด้านโครงสร้างพื้นฐานค่อนข้างสูง การสร้างสถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งจะมีปัญหาเรื่องมาตรฐานของแบตเตอรี่ที่ต่างกัน การอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless Charging) จะมีปัญหาเรื่องประสิทธิภาพต่ำ ติดตั้งยากและใช้เงินลงทุนสูง และการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนเพิ่มเติมโดยเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ ติดตั้งได้ง่ายและสามารถอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้าสูงได้และการสร้างสถานีการอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบออนกริดและมีแบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บพลังงาน ซึ่งเรียกว่าระบบไมโครกริดที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า หากพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เหลือก็สามารถนำไปใช้ตามความต้องการใช้โหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ [1]

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ด้วยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีระบบกักเก็บพลังงาน (Microgrid) และมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไมโครกริดและรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าตามบ้านเรือน และความไม่แน่นอนในพฤติกรรมการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และการหาขนาดแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมเพื่อบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากระบบจำหน่ายการไฟฟ้าและคุ้มค่าต่อการลงทุน ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า PV-แบตเตอรี่ และการซื้อขายพลังงานไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางออกแบบการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีแบตเตอรี่ สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าของผู้ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน/หลัง ให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมพลังงานไฟฟ้า และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาชนิดและขนาดแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับระบบไมโครกริด ที่มีระบบกักเก็บพลังงานสำหรับตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอและรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจากพฤติกรรมการณ์การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยที่ไม่มีการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า ในชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบผลการจำลองระบบไมโครกริดเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและแบบปกติ ด้วยโปรแกรมจำลอง

1.2.4 เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรทางการเงิน เพื่อหาจุดคุ้มค่าในการลงทุน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์ระบบไมโครกริด โดยใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีระบบกักเก็บพลังงาน และเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า สำหรับรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยที่มีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการลงทุน โดยออกแบบจำลองเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบผลิต (%PR) โดยใช้โปรแกรมจำลอง (PVsyst) และใช้ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้า (load profile) ของชุมชน

บ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 จาก กฟน. โดยนำข้อมูลค่า ค่าสมรรถนะของระบบผลิต (%PR) , ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้า (load profile), ความจุของแบตเตอรี่ (battery capacity) และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า (EV load) ใส่ในโปรแกรม Homer Grid เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จาก Solar Rooftop ใส่ในโปรแกรม Homer Grid เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า และการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับตอบสนองความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงข่ายไฟฟ้าและสามารถวิเคราะห์ออกแบบระบบไมโครกริดให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 สามารถออกแบบการบริหารจัดการพลังงานการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยระบบ Microgrid โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายการไฟฟ้าในชุมชนบ้านพักอาศัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

1.4.2 สามารถหาชนิดและขนาดแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับระบบ Microgrid ที่มีระบบกักเก็บพลังงานสำหรับตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอและรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และวิเคราะห์ค่าทางการเงินเฉพาะด้านพลังงานเพื่อหาจุดคุ้มค่าต่อการลงทุน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษารายละเอียดของวิทยานิพนธ์จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.5.2 จัดระเบียบ และเรียบเรียงข้อมูลที่สำคัญในงานวิจัย ที่ค้นคว้ามาจำลองชุมชนบ้านพักอาศัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน

1.5.3 ศึกษาระบบการทำงานของโหลดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ

1.5.4 ทำการวิเคราะห์ออกแบบระบบ Microgrid ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการของโหลดที่ใช้งาน

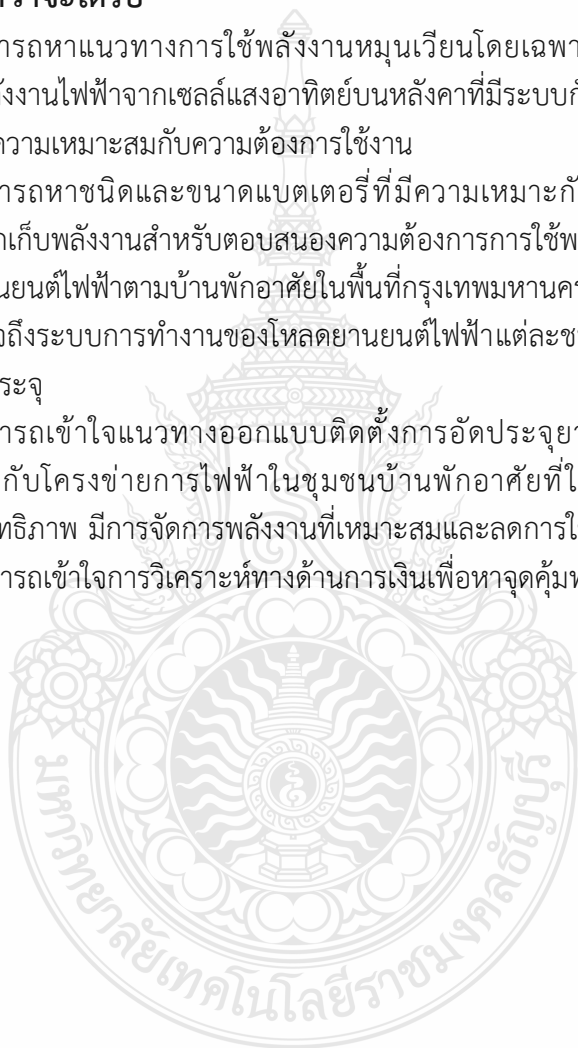
1.5.5 ศึกษาแบบการอัดประจุไฟฟ้าและออกแบบสถานีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน

1.5.6 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้า, กำลังติดตั้งระบบผลิตฯ, ค่าสมรรถนะของระบบผลิต, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อและขายกับ กฟน., การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LFP), สถานะของประจุแบตเตอรี่ LFP ของระบบ Microgrid สำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst และ Homer Grid

- 1.5.7 ทำการศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 1.5.8 ทำการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนในการลงทุน
- 1.5.9 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง
- 1.5.10 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถหาแนวทางการใช้พลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีระบบกักเก็บพลังงานและเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับความต้องการใช้งาน
- 1.6.2 สามารถหาชนิดและขนาดแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับระบบ Microgrid ที่มีระบบกักเก็บพลังงานสำหรับตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอและรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 1.6.3 เข้าใจถึงระบบการทำงานของโหนดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละชนิดและสามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อัดประจุ
- 1.6.4 สามารถเข้าใจแนวทางออกแบบติดตั้งการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ระบบ Microgrid ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายการไฟฟ้าในชุมชนบ้านพักอาศัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ให้มีประสิทธิภาพ มีการจัดการพลังงานที่เหมาะสมและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากโครงข่ายการไฟฟ้าสามารถเข้าใจการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนในการลงทุน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการวิเคราะห์ระบบไมโครกริด โดยผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบออนกริดที่มีระบบกักเก็บพลังงานสำหรับรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในเขตที่อยู่อาศัย โดยมีกริดวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของระบบผลิตฯ สำหรับพื้นที่อยู่อาศัยและระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟตเพื่อรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นและลดค่าไฟฟ้าที่ต้องซื้อจากการไฟฟ้ารวมถึงลดภาระค่าน้ำมันจากการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า กรณีนี้ศึกษาโดยใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับเฉลี่ยต่อวันจากที่อยู่อาศัย 119 แห่ง และปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อเดือนในปี 2563 จากข้อมูลของการไฟฟ้านครหลวงแห่งประเทศไทย โดยใช้ Homer Grid Microgrid Analysis Program ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบดาวเทียมของ NASA สำหรับการจำลองระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ในเขตพื้นที่ลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์ระบบการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตฯ พร้อมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดผลกระทบต่อโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าพร้อมกัน และทำการวิเคราะห์อัลกอริทึมเพื่อออกแบบระบบผลิตฯ พร้อมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย และคาดคะเนพฤติกรรมกริดการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่กรุงเทพมหานครให้มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาระบบไมโครกริดที่มีขนาดเล็กซึ่งได้มีการรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โหลดไฟฟ้า ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ระบบกักเก็บพลังงาน และระบบควบคุมอัตโนมัติเข้าไว้ด้วยกัน ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าหลัก (Main Grid) สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยนั้นในปัจจุบันได้รับความสนใจอย่างมาก โดยสามารถนำเสนอบทสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำความรู้สาระสำคัญมาประยุกต์ใช้กับงานวิทยานิพนธ์ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2017	Hongtao Lei, Tao Zhang, Yajie Liu, Yabing Zha	ได้พิจารณาระบบไมโครกริดที่ประกอบด้วย ระบบการจัดการพลังงาน ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และระบบจัดเก็บพลังงานเพื่อรองรับการจ่ายโหลดปกติ และโหลดรถยนต์ไฟฟ้าและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า โดยมีการจำลองอัลกอริธึมและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ และสมมุติฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานจากการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อควบคุมการอัดประจุและการคายประจุของระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 30% - 80% ในแต่ละช่วงเวลา โดยแยกเป็นชั่วโมงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเวลา 8:00-12:00, 15:00-18:00, 20:00-23:00 ชั่วโมงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าปกติเวลา 12:00- 15:00, 18:00-20:00 และชั่วโมงที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยเวลา 23:00- 8:00 ในวันทำงานปกติ เพื่อลดค่าการซื้อพลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด [1]
2018	Seongmun Oh, Junhyuk Kong, Wonjun Lee, Jaesung Jung	ได้พิจารณาเรื่องการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อลดพลังงานเชื้อเพลิง และลดปัญหาเรื่องปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก โดยได้ออกแบบอัลกอริธึมเพื่อสร้างระบบกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดยได้จำลองออกแบบติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 100 kWp ที่ประเทศเกาหลีใต้ โดยมีการจำลองแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานขนาด 10 kWh – 500 kWh เพื่อหาขนาดความเหมาะสมของแบตเตอรี่ ตามโครงสร้างสร้าง Model ทางคณิตศาสตร์จากการคำนวณค่า PCS (Power Conversion System) ratio ระหว่างช่วง 0.1 - 0.2 เพื่อให้ได้ค่า NPV (Net Present Value) ที่สูงที่สุด [2]

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2020	VLADMIR A. FREIRE, LÚCIA VALÉRIA RAMOS DE ARRUDA, CARLOS BORDONS AND JUAN JOSÉ MÁRQUEZ3	ได้พิจารณาถึงการปรับปรุงค่า DR (Demand Response) ให้มีความเหมาะสม โดยค่า DR เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ผลิตได้จากระบบ Smart Grid ในบทความนี้หมายถึง พลังงานหมุนเวียนที่ได้จากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างระบบการจัดการระบบผลิตไฟฟ้าที่มีการกักเก็บพลังงาน หรือ Microgrid โดยใช้ค่า DR ตามสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นตัวควบคุมให้มีการผลิตพลังงานให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ลดการใช้พลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าให้มากที่สุด กำหนดขนาดระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสม และคุ่มค่ากับการลงทุนมากที่สุด [3]
2009	Yusuf Gurkaynak, Student Member, Zhihao Li, Student Member, and Alireza Khaligh	ได้พิจารณาถึงการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ Inverter ที่มีระบบ Maximum Power Point Tracking (MPPT) เพื่อให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด และมีการควบคุมด้วยวงจร bi-directional เพื่อเป็นตัวควบคุมการไหลของพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดระหว่างระบบกักเก็บพลังงานและการใช้พลังงานไฟฟ้าปกติและรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าประเภท Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) สำหรับบ้านพักอาศัย โดยมีการคำนึงถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นขณะมีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มี THD=74.97% และขณะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าปกติแต่ไม่มีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะมีค่า THD=0.93% [4]

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2020	HUY TRUONG DINH, JAESEOK YUN , DONG MIN KIM , KYU-HAENG LEE , AND DAEHEE KIM	ได้พิจารณาการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ในด้านพลังงานหมุนเวียนในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่สำหรับบ้านพักอาศัยที่เพิ่มขึ้นที่ได้รับการติดตั้งแหล่งพลังงานหมุนเวียน (RES) และระบบการจัดเก็บพลังงาน (ESS) ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและถ้ามีพลังงานไฟฟ้าเหลือก็ขายคืนให้การไฟฟ้า บ้านเหล่านี้มักจะมีระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) เพื่อควบคุมและกำหนดเวลาอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกเครื่อง มีการศึกษาเกี่ยวกับ HEMS และอัลกอริทึมสำหรับปรับให้เหมาะสมสำหรับลดค่าพลังงานไฟฟ้าและลดอัตราการใช้พลังงานในช่วง PEAK (PAR) โดยมีการสร้างสูตรทางคณิตศาสตร์สำหรับค่าพลังงานและอัตราการใช้พลังงานในช่วง PEAK และมีการปรับค่าให้มีความเหมาะสมโดยใช้วิธี Particle Swarm Optimization (PSO) และ Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 19.7 % [5]
2018	Yimin Zhou, Zhifei Li and Xinyu Wu	ได้พิจารณา ในบทความนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของพฤติกรรมการชาร์จของรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาข้อมูลการเดินทางโดยใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ผ่านมาเพื่อวิเคราะห์และคาดการณ์พฤติกรรมของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เพื่อสร้างแบบจำลองของรูปแบบการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าโดยการเขียนโปรแกรมสุ่มแบบไม่เชิงเส้นพร้อมดัชนีชี้วัดเพื่อวิเคราะห์แผนการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและสร้างอัลกอริทึมสำหรับใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินหลายวัตถุประสงค์ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่าเกณฑ์การประเมินราคาค่าไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของแบตเตอรี่ พฤติกรรมผู้ใช้และ

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
		ปริมาณการใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยได้สร้างแบบจำลองที่เมือง Monte Carlo สำหรับศึกษาพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในระยะยาว เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตสำหรับการชาร์จรถไฟฟ้า ทำให้สามารถควบคุมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยปราศจากระบบการจัดการการชาร์จจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า [7]
2015	Rasmus Luthander, David Lingfors, Joakim Munkhammar and Joakim Widén	ได้พิจารณาถึงระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานสำหรับรองรับการใช้พลังงานพลังงานไฟฟ้าและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า (self-consumption) โดยได้ศึกษาข้อมูลจากบ้านพักอาศัยจำนวน 21 หลังคาเรือน เป็นพื้นที่ที่มีค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูงของประเทศสวีเดน จุดมุ่งหมายของการศึกษาสร้างระบบผลิตฯ สำหรับใช้พลังงานตามบ้านพักอาศัยให้เพียงพอเนื่องจากค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้ถูกกว่าการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า โดยจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานเพื่อใช้พลังงานตามบ้านพักอาศัย เพิ่มขึ้นจาก 52% เป็น 71% และจำนวนบ้านพักอาศัยที่สามารถผลิตพลังงานใช้เองโดยไม่ต้องซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 12% เป็น 17 % โดยข้อจำกัดการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และรูปแบบการอัดประจุ จากการนี้ศึกษาพบว่าผลตอบแทนจากระบบ self-consumption ยังต่ำเนื่องจากค่าแบตเตอรี่ยังคงมีราคาสูง ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับกรณีที่ พื้นที่ที่มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีค่าสูงตลอดทั้งปี แบตเตอรี่ราคาถูกและค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ซื้อจากการไฟฟ้ามีราคาสูง [8]

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2021	Mostafa Rezaeimozafar, Mohsen Eskandari, Andrey V. Savkin, Senior Member	ได้พิจารณาวิธีการจัดการการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า กรณีที่จำนวนรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายไฟฟ้า โดยได้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน(Microgrid) และได้สร้างรูปแบบตารางการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าไว้ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการใช้วิธี K-means clustering algorithm เพื่อคาดคะเนพฤติกรรมการใช้รถยนต์ไฟฟ้า เพื่อลดค่าไฟฟ้าและลดการเสื่อมของแบตเตอรี่ และขั้นตอนที่สองดำเนินการต่อจากผลจำลองขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ระบบ Microgrid ที่เชื่อมต่อกับ Ontario energy network มาพัฒนากระบวนการเพื่อสร้างรูปแบบตารางการอัดประจุเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าอีก 10 ปี ข้างหน้า [9]
2014	D. Satoya, D. Yamashita, R. Yokoyama	ได้พิจารณาถึงระบบการบริหารจัดการพลังงานสำหรับการควบคุมการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในชุมชนที่อยู่อาศัยจำนวน 3 หลังคาเรือน โดยใช้รูปแบบ Smart home ที่พิจารณาถึงค่าพลังงานการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (PV output) ที่ขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลา สภาพอากาศ และฤดูกาล, ค่าความต้องการใช้พลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย และพฤติกรรมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ load profile ที่ได้จากการวัด จริง เพื่อการพัฒนาให้มีการซื้อพลังงานที่ผลิตได้จาก PV output ในชุมชนที่อยู่อาศัย, การลดปริมาณก๊าซ CO ₂ , การแลกเปลี่ยนพลังงานภายในชุมชน, และการวิเคราะห์ค่า State of charge (SOC) ของแบตเตอรี่สำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสูงตลอดทั้งปี แบตเตอรี่ราคาถูก และค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ซื้อจากการไฟฟ้ามีราคาสูง [10]

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2015	IREQ, Hydro-Québec Research Institute, Canada and The Mathworks	ได้พิจารณาถึงการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Matlab สำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (PV) ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าที่ทวีปอเมริกาเหนือ ที่มีระบบสายส่ง 25 kV สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนที่อยู่อาศัยที่ใช้ระบบไฟฟ้าแบบ 1 Phase ความถี่ 60 Hz เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ได้รับจาก PV และ ESS ว่าพอเพียงพอการใช้งานโดยไม่ต้องซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า [11]
2017	Jérémy Dulout, Bruno Jammes, Corinne Alonso, Amjad Anvari-Moghaddam, Adriana Luna, Josep M. Guerrero	ได้พิจารณาการหาขนาดลิเทียมแบตเตอรี่ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ (SOC) และราคาของแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Microgrid) เพื่อให้สามารถลดต้นทุนค่าลิเทียมแบตเตอรี่ และสามารถยืดอายุการใช้งานของลิเทียมแบตเตอรี่ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการผลิตไฟฟ้าจากระบบ Microgrid [12]
2019	Jun Su, T.T. Lie, Ramon Zamora	ได้พิจารณาการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV) เพิ่มขึ้น ระบบไฟฟ้าจำหน่ายหลักจะต้องรองรับระดับโหลดที่เพิ่มขึ้นสำหรับการชาร์จ EV ดังนั้นระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักต้องมีความมั่นคงโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ไม่สามารถปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จะต้องมีการวางแผนเพื่อให้ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายจากการประเมินและวิเคราะห์โหลดการชาร์จ EV ทั้งหมดระบบที่จะวางในโครงข่าย ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของ EV, ส่วนแบ่งตลาดและรูปแบบการชาร์จ EV ภายในพื้นที่นิวซีแลนด์ (NZ) โดยสร้างแบบจำลองความน่าจะเป็นหลายตัวแปรของการสุ่มตามตัวแปรและฟังก์ชันการกระจายสะสมถูกนำมาใช้สำหรับการประมาณค่าที่ถูกต้องของการชาร์จ EV รวมถึงมีการใช้ชุดข้อมูลการสำรวจการเดินทางด้วยยานพาหนะหลาย

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
		<p>ชุดเพื่อกำหนดพฤติกรรมการชาร์จในเชิงปริมาณและรูปแบบการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า วิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล (MCS) ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความต้องการใช้พลังงานรายวันของกรณีการใช้งานจริง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์การชาร์จ EV นอกจากนี้ยังมีการแนะนำแนวทางการชาร์จ EV เพื่อลดผลกระทบต่อการใช้พลังงาน EV กรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของ EV จำนวนมากในอนาคต [13]</p>
2019	Luminita BAROTE, Corneliu MARINESCU	<p>ได้พิจารณาขนาดของแบตเตอรี่สำหรับที่ใช้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ใช้ในบ้านพักอาศัยขนาดที่มีระบบกักเก็บพลังงาน (Microgrid) เพื่อรองรับโหลดการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น โดยออกแบบระบบผลิตฯ ขนาด 8 kWp, และใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 20 kWh แรงดัน 48 V โดยใช้ daily load profile บริเวณพื้นที่ชุมชนบ้านพักอาศัย และนำข้อมูลทั้งหมดมาจำลองกับโปรแกรม Homer Pro เพื่อจัดการการทำงานของระบบ Microgrid ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า [14]</p>
2019	Oghieh A. Biroon, Zoleikha Abdollahi and Ramtin Hadidi	<p>ได้พิจารณาถึงการจัดการอัตราค่าไฟฟ้าแบบ time of use (TOU) และแบบ maximum demand (MD) ตามบ้านพักอาศัยที่เพิ่มสูงเมื่อมีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า โดยจำลองระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงานโดยเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ค่าเฉลี่ยการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า, load daily profile ,กำหนดสมการ load ทั้งหมดและกำหนดสมการสำหรับหาขนาดของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อเป็น</p>

ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
		แนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดค่าไฟฟ้าทั้งแบบ time of use (TOU) และแบบ maximum demand (MD) [15]
2560	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ได้พิจารณาถึงการศึกษาการใช้พลังงานในรถยนต์ไฟฟ้า พร้อมข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า โดยทดลองวิจัยการขับขี่แบบกรุงเทพมหานคร พบว่าการขับขี่รถยนต์ไฟฟ้าในช่วงความเร็วเฉลี่ย 40 – 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการใช้พลังงานต่ำที่สุด ซึ่งช่วงความเร็วเฉลี่ยดังกล่าวเหมาะสมกับสภาพการขับขี่ในเขตเมืองที่มีสภาพการจราจรไม่ติดขัดมาก นอกจากนี้ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางต่อวันไม่ควรเกิน 120 กิโลเมตร และใช้งานในเส้นทางที่แน่นอนเป็นประจำทุกวัน เนื่องจากข้อจำกัดในด้านความจุของแบตเตอรี่ในปัจจุบัน และความพร้อมของเครื่องอัดประจุไฟฟ้าที่ยังมีอยู่อย่างจำกัด [16]
2559	การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	ได้พิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าทำให้ต้องมีการพิจารณาผลกระทบกับระบบไฟฟ้า เพื่อพิจารณาแนวทางในการรองรับที่เหมาะสม โดยการพิจารณาผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้า ตั้งแต่ความต้องการใช้ไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า ไปจนถึงพฤติกรรมการอัดประจุไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประมวลและจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการพิจารณา Load Pattern เมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้า แล้วจะทำให้สามารถประมาณการถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน ในด้านความมั่นคง คุณภาพไฟฟ้า การวางแผนระบบไฟฟ้า รวมถึงการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า แต่มีข้อจำกัดด้านพฤติกรรมการใช้งาน ตลอดจนการอัดประจุไฟฟ้าจึงยังไม่มีฉบับที่กักไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ [17]

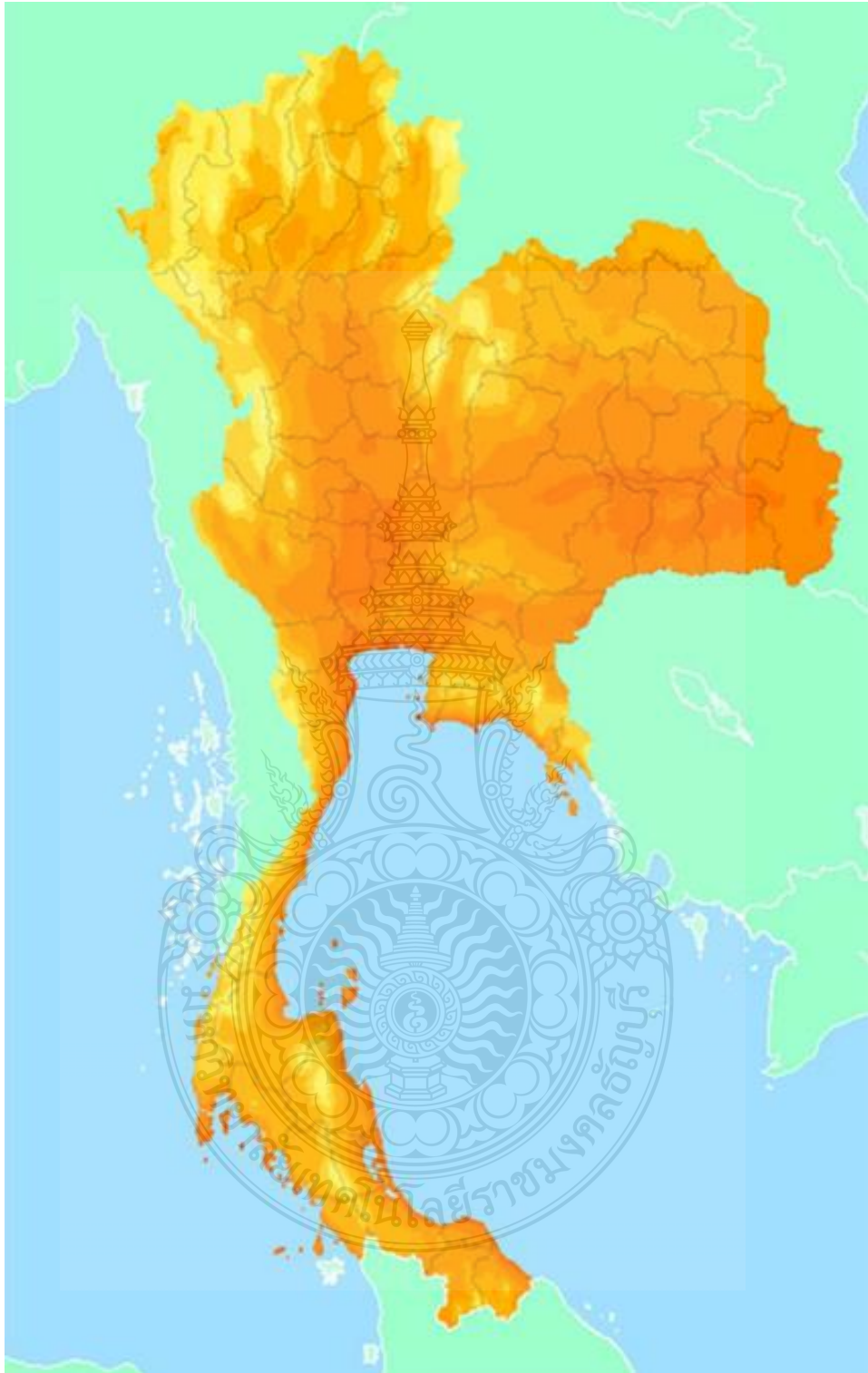
ตารางที่ 2.1 การทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์	ผู้แต่ง	การทบทวนวรรณกรรม
2018	Jairo Quirós-Tortós, Luis (Nando) Ochoa, Timothy Butler	<p>ได้พิจารณาการวิจัยผลกระทบทางเทคนิคของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้าแรงต่ำของยุโรป และทดสอบ การควบคุมการอัดประจุหรือจุดอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า ในการหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพจุดจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยนำเสนอโครงสร้างพื้นฐานที่อ้างมาจากการวิเคราะห์ ข้อมูล และการศึกษาระบบ ซึ่งเสนอผลการทดลองที่สำคัญดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. พฤติกรรมการอัดประจุของผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า 2. ผลกระทบของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 3. กลยุทธ์เพื่อเพิ่มความสามารถของจุดจ่ายไฟ ดังนั้น การนำระบบการจัดการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้งานจะต้องพิจารณาถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับการควบคุม ความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่และปัญหาที่สำคัญที่เกิดต่อระบบไฟฟ้า [18]
2561	สำนักงานคณะกรรมการ กำกับกิจการพลังงาน	<p>ได้พิจารณาถึงการศึกษานโยบายการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับธุรกิจอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและธุรกิจเกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงาน โดยได้ทำคู่มือเกี่ยวกับการดำเนินกิจการสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานและมีความปลอดภัย โดยแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 ออกเป็น 4 โหมด และแบ่งสถานให้บริการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยออกเป็น 4 รูปแบบ [19]</p>

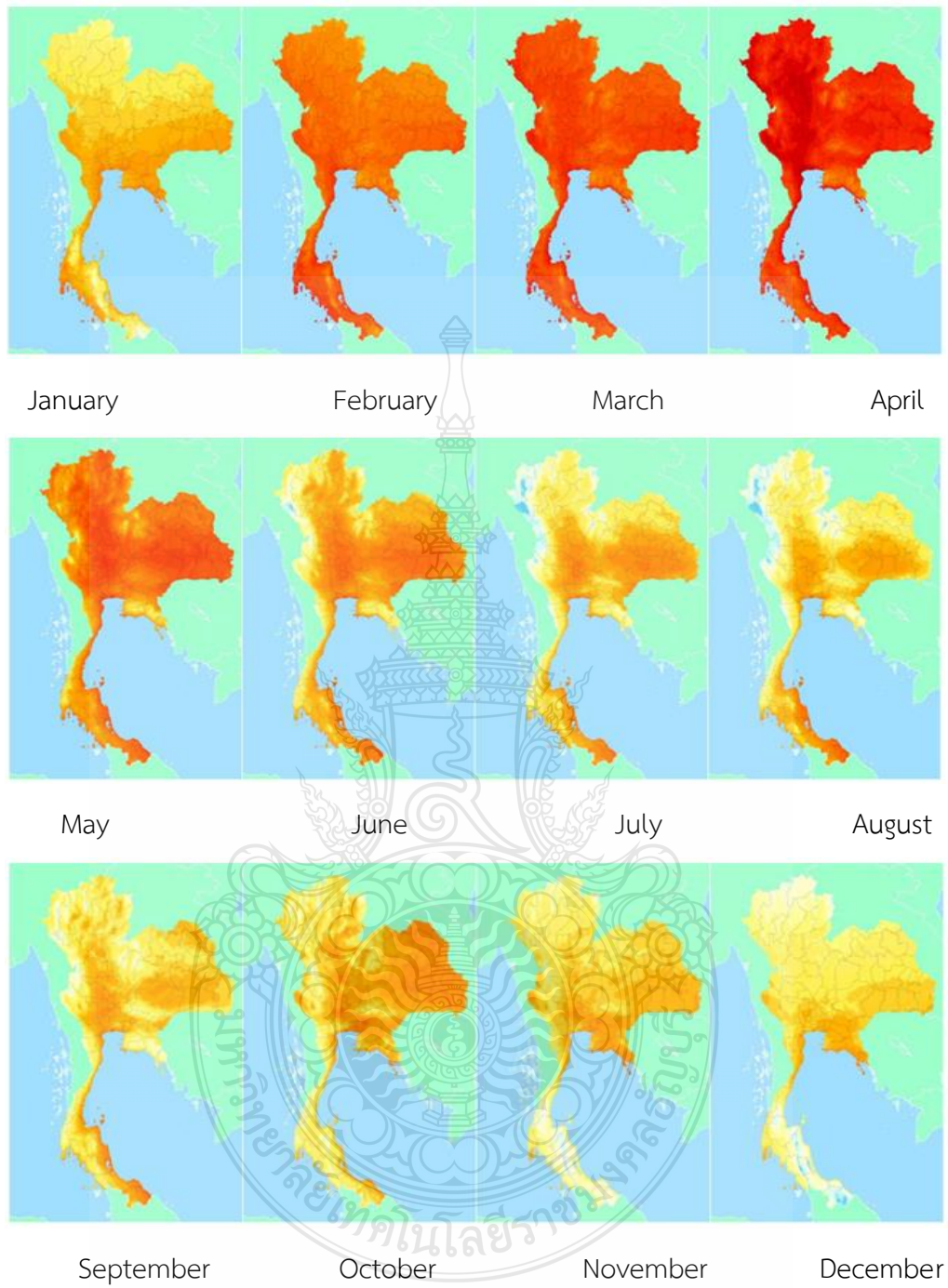
2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2560

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทยในการพัฒนาแผนที่ดังกล่าว สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS5 GOES9 และ MTSAT1R รวมระยะเวลา 15 ปี (พ.ศ. 2544-2559) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 9 ตารางกิโลเมตร การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุม และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่ประเทศไทยได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด ($18-20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$) จะอยู่ในบริเวณภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัด สิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ และร้อยเอ็ด เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ดังรูปที่ 2.1 ค่าดังกล่าวลดลงจากแผนที่ฉบับเดิม ($18.0 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$) ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศในประเทศไทย จากรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆ ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาในรอบปี แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2542 พบว่าความเข้มของรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่า $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ และในปีพ.ศ. 2553 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทย มีค่า $18.0 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยในรายงานวิจัยนี้มีค่า $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ จะเห็นว่าค่าศักยภาพความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากส่วนหนึ่งมาจากค่าของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนที่ส่งผลให้สภาวะอากาศโลกมีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศแห้งสามารถรับปริมาณความชื้นได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงยังพื้นโลกต่ำลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน สำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีความเหมาะสมแก่การใช้งานเป็นพลังงานหมุนเวียน [20]



รูปที่ 2.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศไทย [20]

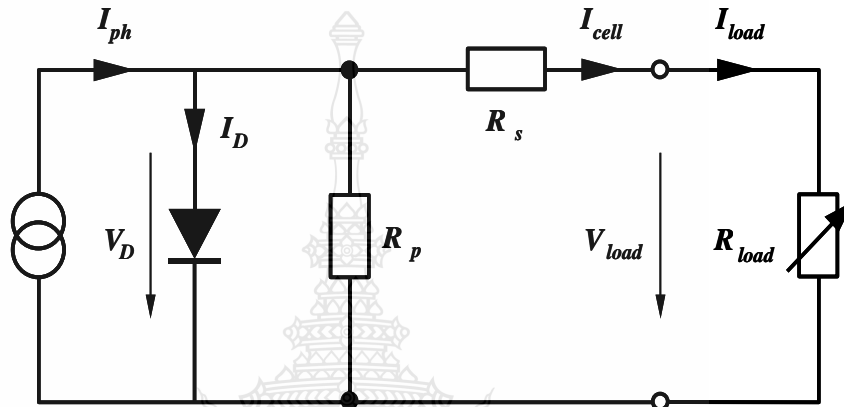


รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆ ของประเทศไทย [20]

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ

2.4.1 ผลของความต้านทานที่ต่ออนุกรม และต่อขนาน

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติ จะพบว่ามีส่วนประกอบความต้านทานเพิ่มมาอีก 2 ค่าภายในเซลล์ ก็คือ R_s ที่ต่ออนุกรมและ R_p ที่ต่อขนานอยู่ ซึ่งพิจารณาได้จากรูปวงจรเทียบเคียงดังรูปที่ 2.3

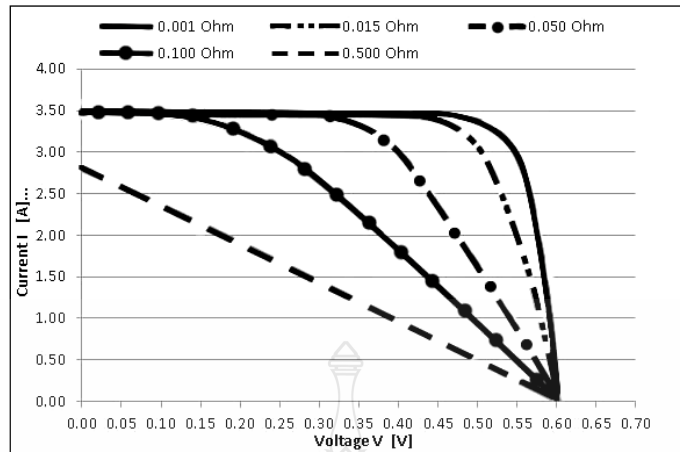


รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของ เซลล์แสงอาทิตย์ ในทางปฏิบัติ

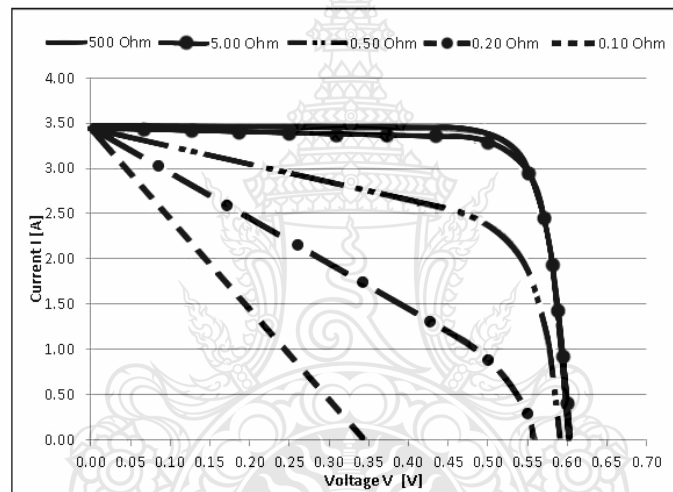
จากวงจรดังรูปที่ 2.3 แสดงดังสมการดังข้างล่างนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q}{k \cdot T} (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p} \quad (2.1)$$

ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมเกิดจากความต้านทานของซิลิคอนเซลล์ที่เรียงกันเป็นชั้นและความต้านทานของขั้วโลหะด้านหน้าและด้านหลังที่เป็นผลมาจากการต่อกับขั้วต่อภายนอก ส่วนค่าความต้านทานที่ต่อขนานส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของกระแสเนื่องจากรอยต่อ P-N junction ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิด short circuit บางส่วน โดยเฉพาะใกล้กับขอบของเซลล์ แต่อย่างไรก็ดีการลดค่าความต้านทานอนุกรมลงก็มีลักษณะเช่นเดียวกับการลดวงจร ค่าต่างๆ เหล่านี้ก็จะจะมีผลกับค่าของ Fill Factor จะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุดลดลงดังรูปที่ 2.4 คือผลของ R_s ส่วนรูปที่ 2.5 คือผลของ R_p



รูปที่ 2.4 เส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ค่าต่างกัน



รูปที่ 2.5 กราฟเส้นโค้งของ I-V ที่มีค่าความต้านทานขนานต่างกัน

2.4.2 กำลังสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์

1) กำลังสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนแสงจากการส่องแสงในอากาศไปยังสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากมีดัชนีการหักเหแสงที่ต่างกัน โดยกำลังสูญเสียเหล่านี้ลดได้โดยการเคลือบผิวด้วยสารกันสะท้อนหรือปรับโครงสร้างของผิวเซลล์ อีกส่วนคือการสะท้อนของโลหะที่เชื่อมต่อด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2) ความเข้มรังสีของแสงซึ่งลักษณะการส่องของแสงอาทิตย์ในช่วงกว้าง ๆ (Wide spectrum) โฟตอนมีพลังงานไม่เท่ากัน โฟตอนที่มีพลังงานเพียงเล็กน้อยกว่า Band-gap จะทำให้ไม่สามารถดูดซับและนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และจะไม่เกิดพันธะคู่ระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล ในกรณีที่โฟตอนมีขนาดพลังงานมากกว่า Band-gap หรือเท่ากับ

Band-gap เท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้ได้ ถ้ามีแสงมากเพียงใดก็ตามแต่พลังงานไม่ถึง Band-gap ก็ไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ซึ่งส่วนนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์แต่กลับจะทำให้เกิดความร้อนภายในผลึกได้

3) เนื่องจากกระแสโฟโต้จะเป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับจำนวนโฟตอนที่ดูดซับได้ต่อหน่วยเวลา เมื่อกระแสโฟโต้เพิ่มขึ้น Band-gap จะลดลง และ Band-gap ก็เป็นตัวกำหนดแรงดันที่บริเวณรอยต่อ P-N junction เมื่อ Band-gap ที่มีขนาดเล็กลงจะเป็นผลให้แรงดันน้อยลง ในกรณีที่ Band-gap ขนาดใหญ่จะมีแรงดันสูง แต่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพียงส่วนน้อยที่ถูกดูดซับได้ก็จะเป็นผลให้เกิดกระแสโฟโต้ขึ้นมาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์

4) กระแส Dark current (I_0) มีค่ามากกว่าค่าในทางทฤษฎีทำให้แรงดันลดลงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.3

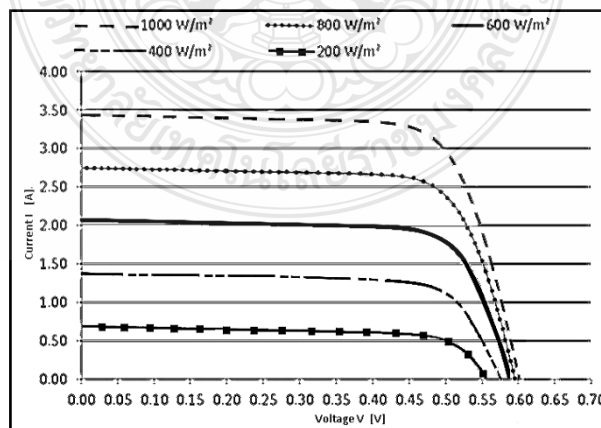
5) ประจุพาหะรวมตัวกันไม่หมด (Recombination) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดที่มีความไม่สมบูรณ์ เช่น ความบกพร่องภายในผลึกหรือความบริสุทธิ์ ดังนั้นวัสดุที่นำมาทำจะต้องมีความเป็นผลึกที่สมบูรณ์และมีความบริสุทธิ์ให้มากที่สุด ในทำนองเดียวกัน ผิวของวัสดุกึ่งตัวนำจะต้องอยู่ในโครงสร้างผลึกที่มีความแข็งแรงทนต่อการรบกวนภายนอก

6) ค่า Fill Factor จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ (ในทางทฤษฎีค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณคือ 0.85)

7) ค่าความต้านทานอนุกรมและขนาดที่เกิดขึ้นส่งผลให้ค่า Fill Factor ลดลง

2.4.3 ผลกระทบจากระดับของรังสีแสงดวงอาทิตย์

ตามความสัมพันธ์ของกระแสโฟโต้ที่เกิดขึ้นต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะมีสัดส่วนที่เป็นเชิงเส้นกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรวมผลของเซลล์แผงแสงอาทิตย์ และกราฟคุณลักษณะของเส้นโค้ง จะพบว่าเส้นโค้งเกี่ยวข้องกับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดภายใน ซึ่งสัมพันธ์กันกับคุณลักษณะกลับของไดโอด และเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำ V_{oc} และ I_{sc} ก็ต่ำตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เส้นโค้งคุณลักษณะของ I-V ที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน

2.4.4 ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจะทำให้อิเล็กตรอนที่บริเวณรอยต่อ P-N สามารถที่จะมีพลังงานในการเคลื่อนตัว จึงทำให้กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ไม่มากนัก ประมาณ 0.07% ผลของ V_{oc} ปกติจะขึ้นกับปริมาณของความเข้มรังสีแสงอย่างไรก็ดีตามกฎของ Shockley จะได้ว่า

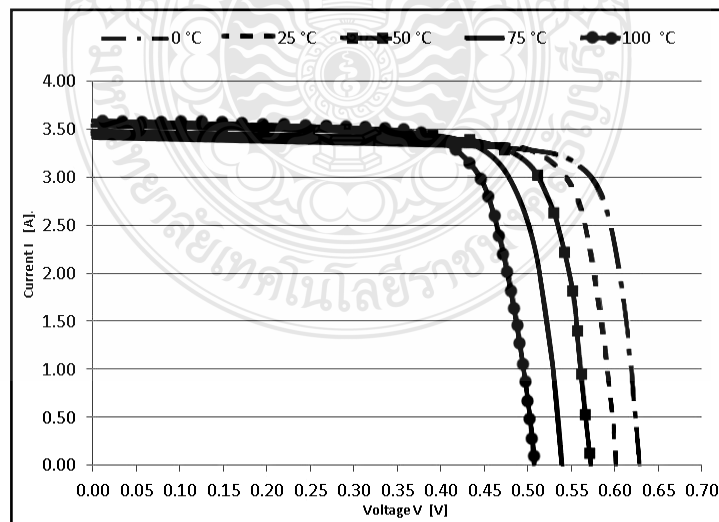
$$I_0 = q N_v N_c \left[\exp\left(\frac{-E_g}{kT}\right) \right] \left(\frac{L_n}{n_n \tau_n} + \frac{L_p}{p_p \tau_p} \right) \quad (2.2)$$

N_v, N_c คือค่าความนำที่รอยต่อ E_g คือพลังงานที่รอยต่อ $L_n, L_p, n_n, p_p, \tau_n, \tau_p$ ระยะการกระจายความเข้มอิเล็กตรอน อายุของอิเล็กตรอนและโฮล, ดังนั้นจากสมการ (3.9) และ (3.4), ให้ $I_{ph} \gg I_0$ จะได้ว่า

$$V_{oc} = \frac{E_g}{q} - \frac{kT}{q} \cdot \ln \left[\frac{I_0}{I_{ph}} \cdot q N_v N_c \right] \left(\frac{L_n}{n_n \tau_n} + \frac{L_p}{p_p \tau_p} \right) \quad (2.3)$$

จะเห็นว่า V_{oc} จึงมีผลกับอุณหภูมิเช่นกัน คือ V_{oc} ลดลงประมาณ 0.4 % / K

ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย เพราะการติดตั้งกลางแจ้ง อุณหภูมิอาจสูงมากกว่า 40 K จากอุณหภูมิมাত্রฐาน ดังนั้นการระบายความร้อนอาจจะต้องจำเป็นในบางโอกาส อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิมีผลกับแรงดัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีผลกระทบด้วย P ลดลง 0.4 – 0.5 % / K จากผลกระทบดังกล่าวสามารถที่จะนำมาแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



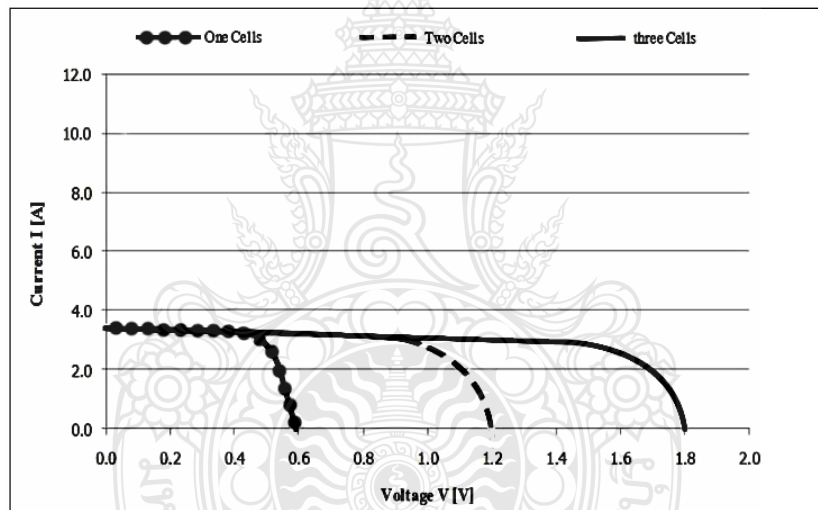
รูปที่ 2.7 กราฟ I-V ที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่าปกติในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ “Watt Peak” [Wp] หรือเรียกว่า Standard Test Conditions (STC), ซึ่งมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 1000 W/m^2 อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ และ AM 1.5 ดังนั้นค่ากำลังสูงสุด “Peak Power” สามารถจะเปลี่ยนแปลงได้ถ้าอุณหภูมิเกินกว่าที่กำหนดที่ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ หรือต่ำกว่าที่กำหนดก็จะเป็นในทางตรงกันข้าม

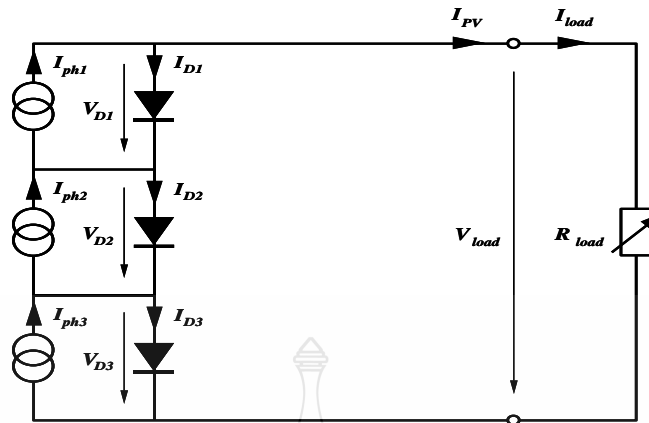
2.4.5 การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม (Series Connection)

ในลักษณะของการเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าแบบอนุกรมถูกรวมต่อวงจรเข้าด้วยกันจนเป็นกลุ่มเพื่อใช้งานที่เรียกว่าอาร์เรย์ (Arrays) กระแสไฟฟ้าที่เท่ากันจะไหลผ่านเซลล์แต่ละเซลล์ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเซลล์ กราฟ I-V จะแสดงรูปที่ 2.8

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นเหตุให้เกิดผลกระทบอันไม่พึงปรารถนาเมื่อบางเซลล์ถูกบังแสงและในกรณีนี้ที่วงจรปิดดังรูปที่ 2.9

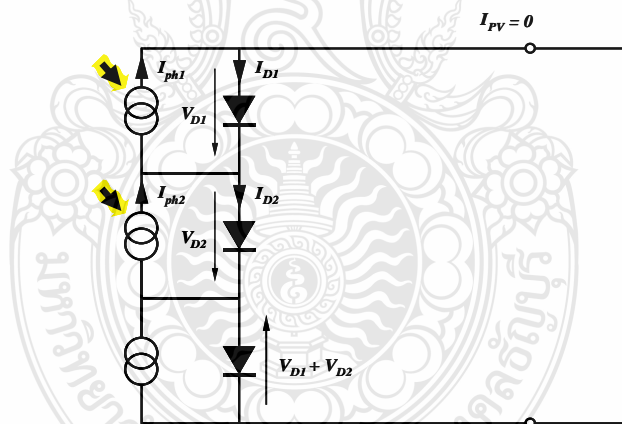


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการต่อเซลล์แบบอนุกรม 3 เซลล์



รูปที่ 2.9 กราฟ I-V ของการต่อแบบอนุกรม 3 เซลล์

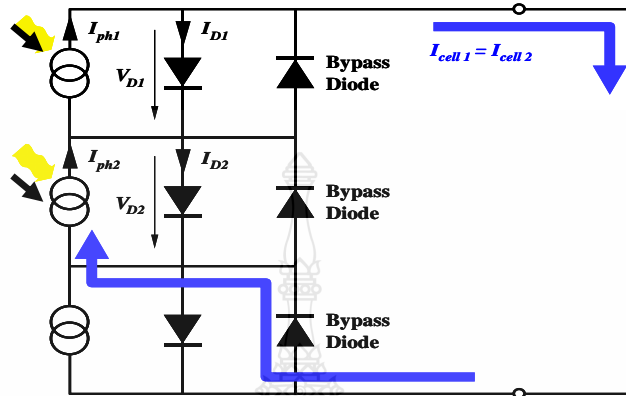
ในกรณีเซลล์ถูกบังตามที่แสดงในรูปที่ 2.10 เซลล์ที่ถูกบังแสงจะไม่ผลิตกระแสไฟฟ้า และจะทำงานเหมือนการเปิดวงจร ดังนั้นจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรของเซลล์ได้ ในทางตรงข้ามกัน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์อีก 2 เซลล์จะตกคร่อมเซลล์ที่ถูกบัง และสามารถทำให้เซลล์ที่ถูกบังเสียหายได้



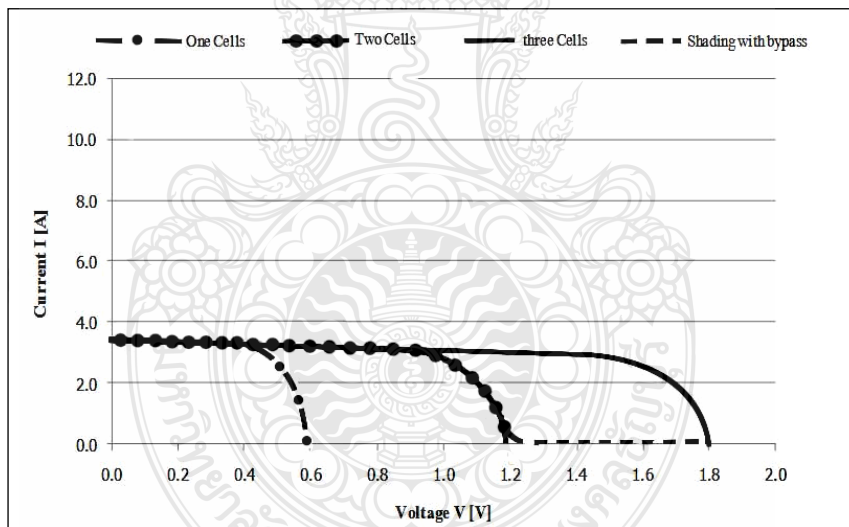
รูปที่ 2.10 แสดงหนึ่งเซลล์ถูกบังแสง (Shading)

เนื่องด้วยในความเป็นจริงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจร กำลังไฟฟ้าที่ถูกผลิตออกมาในกรณีนี้จึงเป็นศูนย์ โดยการแก้ไขอย่างหนึ่งต่อปัญหานี้ก็คือ เชื่อมต่อบายพาสไดโอด (bypass diode) ไปยังเซลล์ ดังรูปที่ 2.11 เพื่อที่แรงดันจะไม่ตกคร่อมเซลล์ที่อับแสงและที่สำคัญกระแสก็สามารถผ่านบายพาสไดโอดไปได้ด้วย ภายใต้สภาพปกติไม่มีการอับแสง บายพาสไดโอดจะอยู่ในสภาวะรีเวอร์สไบแอส (Reverse Bias) จึงไม่มีผลกับวงจรและเซลล์แต่ละเซลล์ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์

ลำดับที่ 3 ถูกบังแสงบายพาสไดโอดจะนำกระแสและส่งกำลังไฟฟ้าได้ ส่วนกราฟ I-V จะเป็นดังรูปที่ 2.13



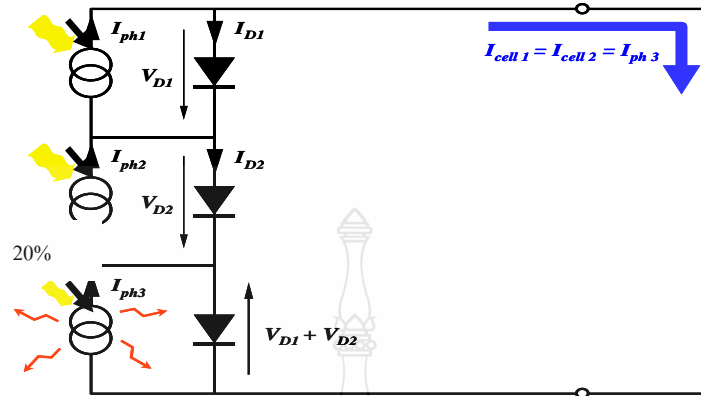
รูปที่ 2.11 การต่อบายพาสไดโอด



รูปที่ 2.12 กราฟ I-V ของการต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์อับแสง

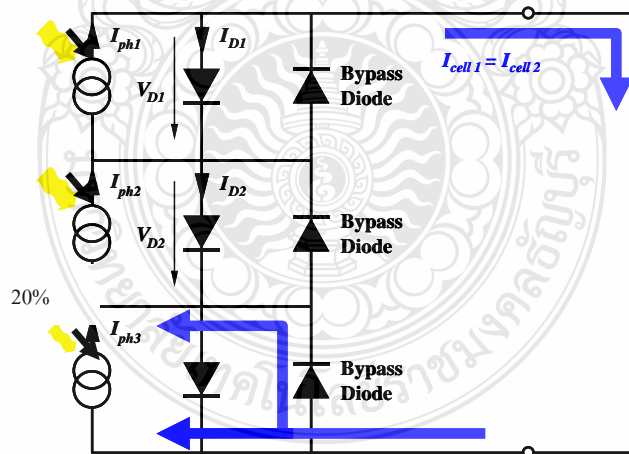
ในกรณีที่เซลล์ลำดับที่ 3 ถูกบังแสงเป็นบางส่วน ดังรูปที่ 2.9 ร้อยละ 20% ของเซลล์ได้รับแสง เซลล์ยังสามารถที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีก 20% ในส่วนของการเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าแบบอนุกรม แม้ว่าเซลล์อีก 2 เซลล์จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเองได้ 100% แต่ปริมาณของกระแสไฟที่ไหลเวียนในวงจรนั้นมีค่าเท่ากับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตโดยเซลล์ที่ 3 ดังรูปที่ 2.14 ส่วนที่เหลือของกระแส

ไฟฟ้าที่ผลิตโดยเซลล์แรก จะไหลไปยังไดโอดของตัวเองและของเซลล์ที่ 3 รวมทั้งแรงดันตกคร่อมเซลล์ที่อับแสงบางส่วน จะทำให้ส่วนนี้เกิดความร้อน (Hot Spot) และเซลล์เสียหายได้

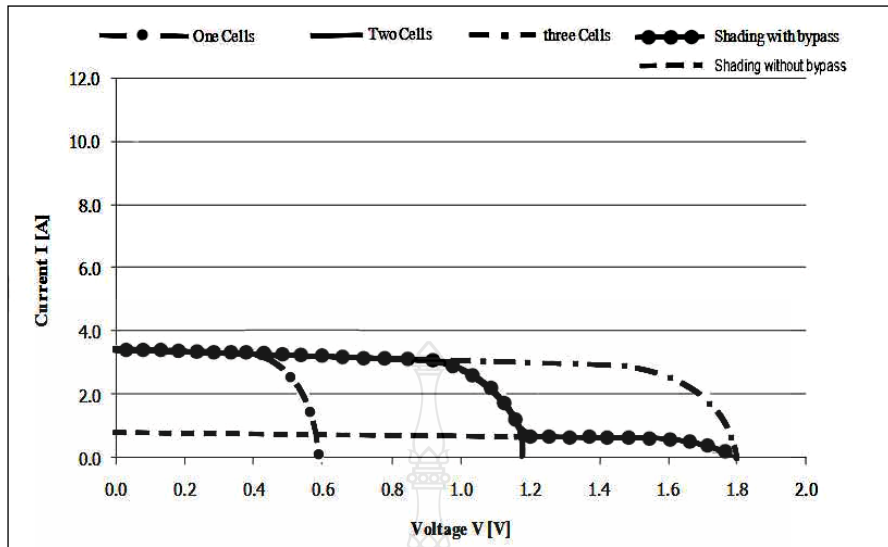


รูปที่ 2.13 การต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์อับแสงบางส่วน

อย่างไรก็ตามเราสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาด้วยบายพาสไดโอด ตามที่แสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งการไหลของกระแสไฟฟ้ามักมีค่าเท่ากับค่าความแตกต่างระหว่างวงจรกระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ถูกผลิตจากเซลล์ที่ 3 ด้วยดั่งกราฟ I-V ในรูปที่ 2.15

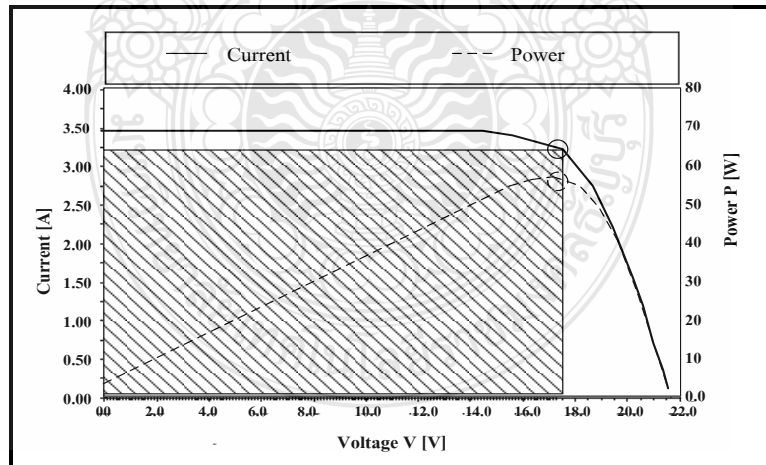


รูปที่ 2.14 การต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์อับแสงบางส่วนและมีบายพาสไดโอด

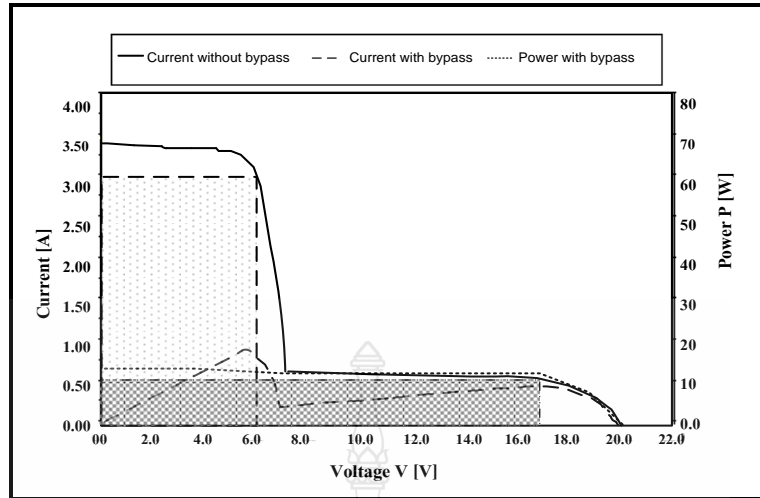


รูปที่ 2.15 กราฟ I-V ต่อแบบอนุกรมที่มีหนึ่งเซลล์อับแสงบางส่วนและมีบายพาสไดโอด

อย่างไรก็ดีการต่อบายพาสไดโอดทุกเซลล์จะทำให้มีราคาแพงและไม่เหมาะสม ในทางปฏิบัติ จึงจะต่อโมดูลละหนึ่งบายพาสไดโอดก็เพียงพอ บางบริษัทผู้ผลิตจะต่อไดโอดมาให้อันหลังโมดูลเลยเพื่อความสะดวก อย่างไรก็ตามการอับแสงของเซลล์มีผลอย่างมากกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์ ดังที่เห็นในรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.16 กราฟ I-V ของเซลล์ไม่มีการอับแสง

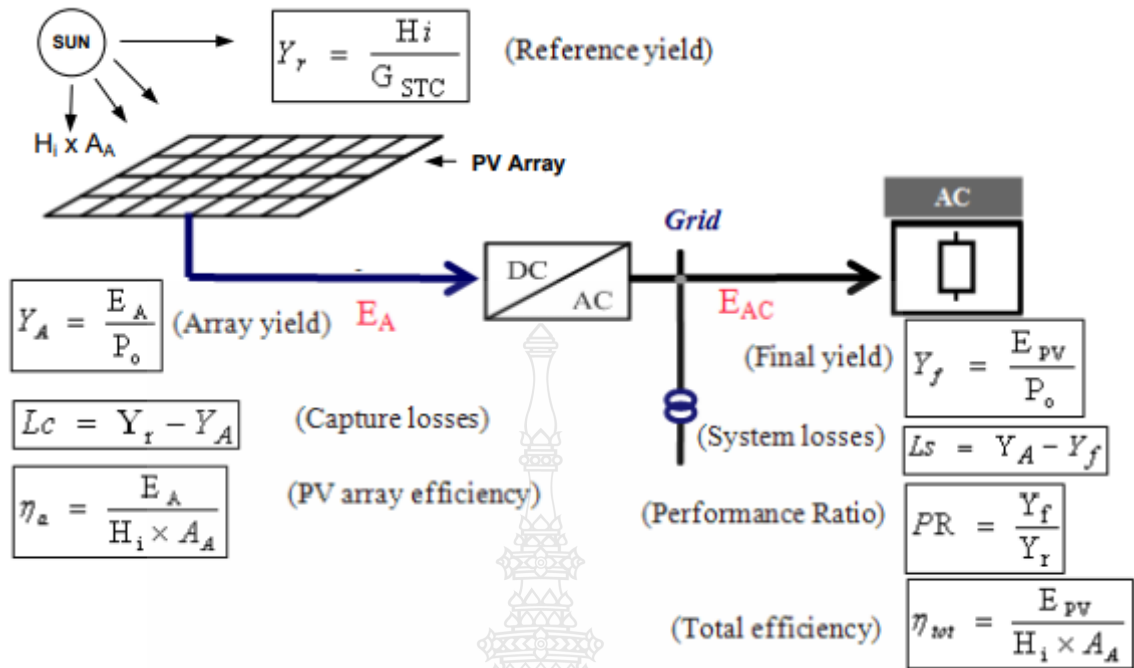


รูปที่ 2.17 กราฟ I-V ของเซลล์เมื่อมีการอับแสงบางส่วน

สำหรับการเชื่อมต่อเซลล์แบบอนุกรม เซลล์ที่มีคุณภาพต่ำสุดจะเป็นตัวกำหนดพลังงานที่ได้ ด้วยเหตุนี้การต่ออนุกรมแผงที่มาจากหลายบริษัทหรือจากการผลิตที่แตกต่างกัน จึงไม่ควรนำมาต่อกัน นอกจากนี้ไม่ใช่โมดูลทั้งหมดที่ประกอบด้วย Bypass diode ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบให้ดี และที่ดีที่สุดต้องหลีกเลี่ยงเงา เช่น จากเคเบิล ส่วนสูงของต้นไม้ โครงสร้างรอบๆ ที่อยู่ใกล้ และควรทำความสะอาดเซลล์เพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่า

2.5 การหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Grid Connected System, PVGCS)

การวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะกล่าวถึงการใช่วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค โดยอ้างอิงจาก IEA PVPS Task2 (International Energy Agency Photovoltaic Power System TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems) จึงแสดงได้ดังในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวชี้วัดที่ใช้แสดงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724

กำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = E_a / P_O \quad (2.4)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_a คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_o คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

2.5.2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (2.5)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ $STC=1 \text{ kW/m}^2$

2.5.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = E_{tot} / P_o \quad (2.6)$$

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

E_{tot} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

P_o คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

2.5.4 พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) หาได้จากสมการ

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (2.7)$$

L_C คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

2.5.5 พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) หาได้จากสมการ

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (2.8)$$

L_S คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

2.5.6 สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio, PR) หาได้จากสมการ

$$PR = Y_f / Y_r \quad (2.9)$$

2.5.7 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_a = E_a / H_i A_A \quad (2.10)$$

η_a คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

2.5.8 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{tot} = E_{tot} / H_i A_A \quad (2.11)$$

η_{tot} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.9 พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (E_a : kWh)

$$E_a = V_{dc} \times I_{dc} \times Time \quad (2.12)$$

V_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของ PV array

I_{dc} คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายจาก PV array

$Time$ คือ ระยะเวลาที่ PV array จ่าย V_{dc} และ I_{dc}

2.5.10 พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ (H_i : kWh/ m^2)

$$H_i = G_i \cdot Time \quad (2.13)$$

G_i คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ PV array ได้รับจริง (kW/ m^2)

Time คือ ระยะเวลาที่ PV array ได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จริง
 2.5.11 พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (E_{grid} : kWh)

$$E_{grid} = V_{ac} \times I_{ac} \times Time \quad (2.14)$$

V_{ac} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์ทางด้านเอาต์พุตที่ป้อนให้ระบบจำหน่าย

I_{ac} คือ กระแสไฟฟ้าที่ขั้วของอินเวอร์เตอร์ทางด้านเอาต์พุตที่ป้อนให้ระบบจำหน่าย

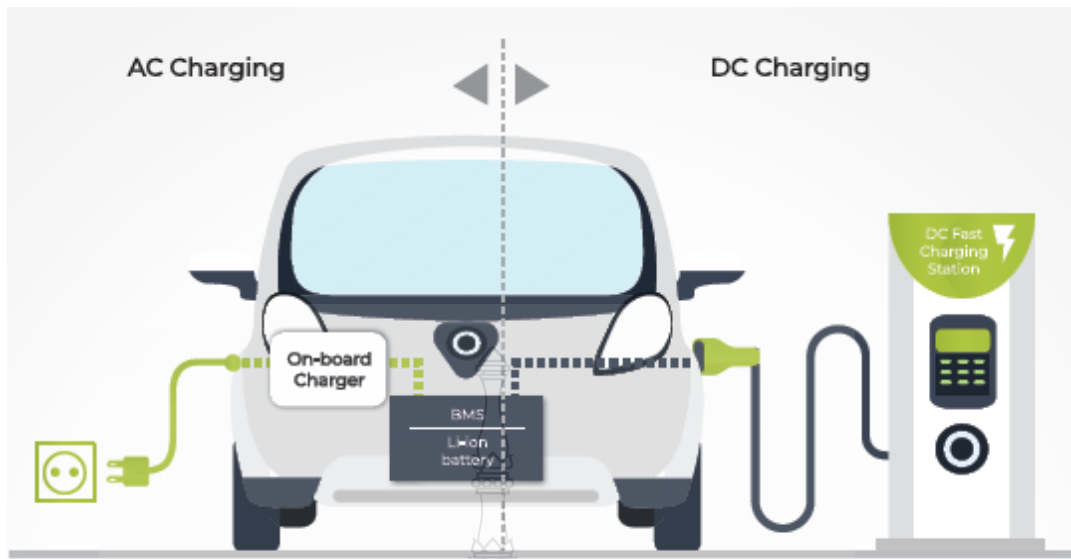
Time คือ ระยะเวลาที่อินเวอร์เตอร์ป้อน V_{ac} และ I_{ac} ให้ระบบจำหน่าย

2.6 การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

เป็นการอัดประจุไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิล เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความซับซ้อนน้อย ทำให้การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำนั้น สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภท แสดงดังรูปที่ 2.19 ดังนี้ [19]

1) การอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charge) ซึ่งเป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ผ่านอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งภายในยานยนต์ไฟฟ้า (On-Board Charger) โดยทั่วไปอุปกรณ์ On-Board Charger จะมีขนาด 4.3 kW และ 6.6 kW สำหรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ไปจนถึง 11 kW และ 22 kW สำหรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับที่ 22 kW จะเรียกว่าการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งเร็ว (AC Semi-Quick Charge) และผ่านอุปกรณ์ Inverter เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่ออัดประจุในแบตเตอรี่ต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปจะรองรับกระแสไฟฟ้าได้เพียง 16-32A ดังนั้น การอัดประจุไฟฟ้าในรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าที่ สำนักงาน หรืออาคารจอดรถสาธารณะที่เปิดให้จอดรถได้เป็นระยะเวลานาน (มากกว่า 1-2 ชั่วโมง)

2) การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charge) ซึ่งเป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง โดยมีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุ การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าได้สูงเนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเรื่อง On-Board Charger โดยทั่วไปสามารถอัดประจุไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของความจุแบตเตอรี่ได้ภายในระยะเวลาเพียง 10-15 นาทีและเนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง จึงต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีพิกัดกระแสสูง การอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงมักเป็นการใช้งานในแหล่งสาธารณะซึ่งต้องการความรวดเร็วในการอัดประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.19 การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ [19]

นอกเหนือจากเทคโนโลยีการอัดประจุไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น International Electrotechnical Commission หรือ IEC ได้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 โหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ได้แก่

โหมด 1 (Mode 1)

ยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านเต้ารับที่ติดตั้งทั่วไปในที่อยู่อาศัยและเป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ทั้งนี้ในการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 นั้นระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและมีการติดตั้งสายดิน อุปกรณ์ตัดไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว นอกจากนี้การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 เป็นระยะเวลาานานอาจทำให้เกิดความร้อนขึ้นบริเวณเต้ารับและสายไฟฟ้า ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ และหากมีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินขนาดของเต้ารับและสายไฟฟ้า จะทำให้เบรกเกอร์ตัดการจ่ายไฟฟ้าเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าเกิน

โหมด 2 (Mode 2)

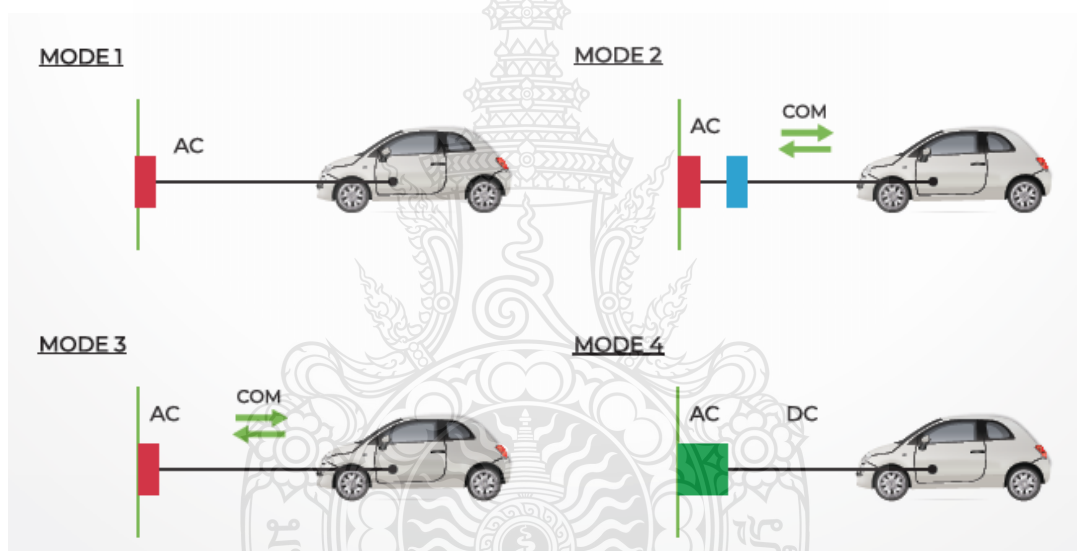
ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านเต้ารับที่ติดตั้งทั่วไปในที่อยู่อาศัยและทำการอัดประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส หรือ 3 เฟส ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) อย่างไรก็ตามในการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 2 จะมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าติดตั้งมาพร้อมกับสายเคเบิลด้วย ซึ่งทำให้การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 2 มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าในโหมด 1 แต่มีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย

โหมด 3 (Mode 3)

ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีแผงวงจรในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและควบคุมความปลอดภัย ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ส่งผลให้การอัดประจุไฟฟ้าในโหมดนี้มีความปลอดภัยมากกว่าการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 และ 2 แต่ก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าด้วยเช่นกัน

โหมด 4 (Mode 4)

ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งจะอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง โดยเครื่องอัดประจุไฟฟ้าจะมีระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ระบบควบคุมความปลอดภัยและสายเคเบิลติดตั้งมากับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า จึงทำให้การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 4 มีความรวดเร็วและปลอดภัย แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าและเตรียมระบบไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.20 รูปแบบการเชื่อมต่อเพื่อการอัดประจุไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 [19]

2.7 การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าต่อระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐาน

2.7.1 การสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบ

ความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาของวัน และตามฤดูกาล แต่เมื่อมีการอัดประจุในยานยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าก็จะมีความต้องการส่วนเพิ่มอันเนื่องมาจากพฤติกรรมการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบการอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าในกรณีการอัดประจุแบบเร็ว จะมีค่ากำลังไฟฟ้าในการอัดประจุสูงกว่าในกรณีที่มีการอัดประจุแบบปกติ หากในระบบไฟฟ้ามีการอัดประจุในระบบไฟฟ้าแบบเร็วในปริมาณมาก ระบบสายส่งหรือสายป้อนไฟฟ้าอาจทำงานเกินค่าพิกัด หรือหากในอนาคตมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปริมาณมาก แม้จะเป็นการอัดประจุแบบปกติ ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการใช้งานสายส่ง หรือสายป้อนเกินได้เช่นกัน [22]

การสร้างแบบจำลองของโหลดอันเนื่องมาจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า จะต้องใช้สมมติฐานเพื่อกำหนดรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งแบบปกติและแบบเร็วในการจัดทำแบบจำลองโหลดของการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า จากการคาดคะเนพฤติกรรมการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องใช้เหตุผลดังต่อไปนี้

- ความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้า
- การเดินทางในแต่ละของผู้ยานยนต์ไฟฟ้าโดยนำปัจจัยดังนี้ มาพิจารณา
 - ชนิดและยี่ห้อยานยนต์ไฟฟ้า
 - สมรรถนะของแบตเตอรี่ในการรองรับระยะเวลาการเดินทางของยานยนต์ไฟฟ้า
 - กำหนดให้สัดส่วนของประเภทรถยนต์ไฟฟ้าที่มีปริมาณร้อยละเหมือนกับรถยนต์ระบบเชื้อเพลิง
 - กำหนดให้ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละในแต่ละปีจากปีเริ่มต้นที่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

สำหรับข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับยี่ห้อ และรุ่นของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน โดยที่ปรึกษาจะใช้ข้อมูลตามผู้ผลิตรถยนต์ และจะระบุให้รถยนต์แต่ละยี่ห้อเป็นตัวแทนของรถยนต์ไฟฟ้าใน ประเภทต่างๆ มาเป็นข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ไฟฟ้าในการจัดทำความต้องการไฟฟ้า

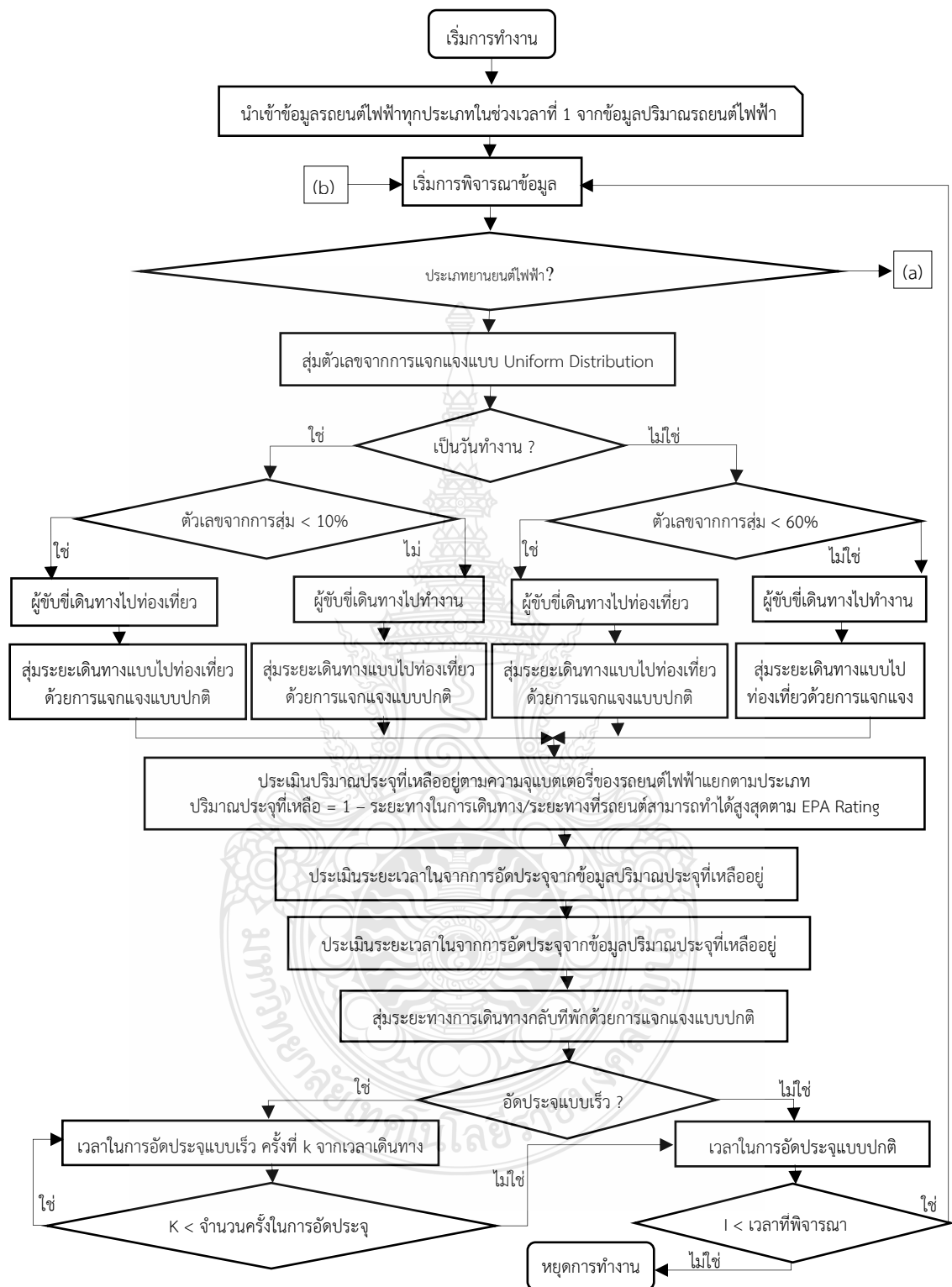
ปริมาณประจุที่เหลืออยู่ของรถยนต์ไฟฟ้า จะใช้การประเมินจากระยะทางเฉลี่ยในการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้า โดยที่ปรึกษาได้กำหนดสมมติฐานว่า ระยะทางการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) มีค่าเฉลี่ยตามระยะทางเฉลี่ยของกรมการขนส่งทางบก และเพื่อให้ข้อมูลสะท้อนกับพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ที่ปรึกษาได้กำหนดให้โอกาสที่ผู้ขับขี่จะเดินทางไปทำงาน หรือไปท่องเที่ยวในวันปกติและวันหยุดด้วยความน่าจะเป็นที่แตกต่างกันตามการแจกแจงแบบ Uniform Distribution และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบกับระยะทางสูงสุดของ

รถยนต์ไฟฟ้าตามที่ระบุใน EPA Rating ก็จะสามารถประเมินปริมาณประจุที่เหลืออยู่ในรถยนต์ไฟฟ้าได้จากการคำนวณดังนี้ ดังสมการ 2.15

$$\text{ปริมาณประจุที่เหลือในแบตเตอรี่} = 1 - \frac{\text{ระยะทางเฉลี่ยในการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้า}}{\text{ระยะทางสูงสุดตามที่ระบุใน EPA Rating}} \quad (2.15)$$

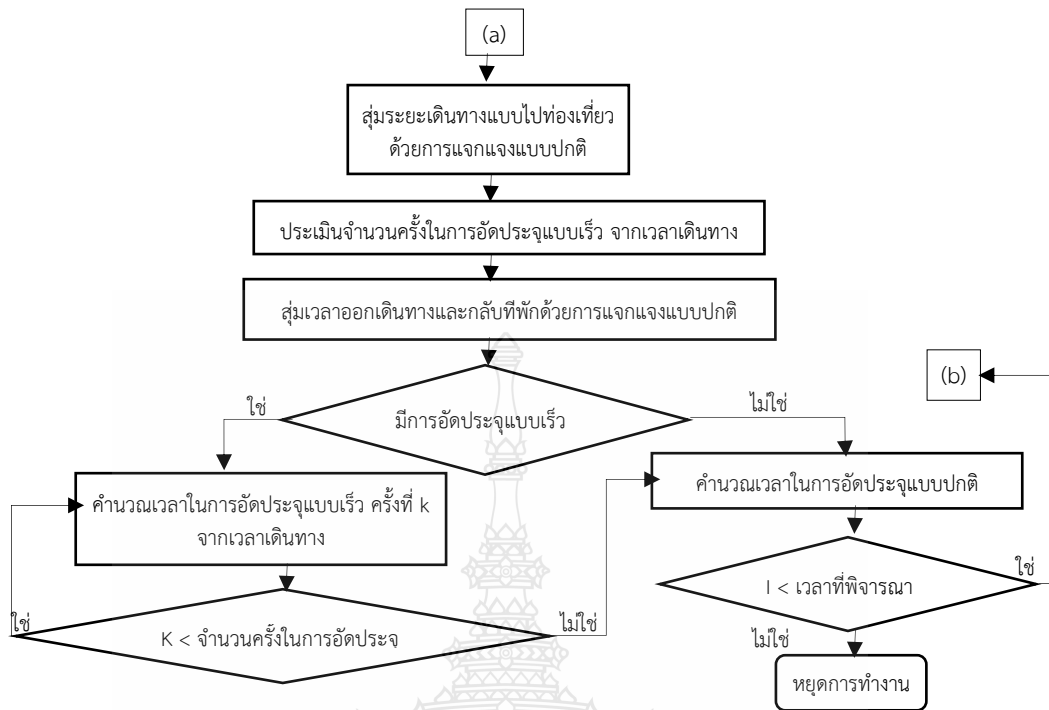
เมื่อทราบค่าประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ก็จะสามารถประเมินระยะเวลาในการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าได้ จากนั้นเพื่อจำลองการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่เวลาแตกต่างกันในระหว่างวัน การสุ่มช่วงเวลาในการอัดประจุที่ปรึกษาได้กำหนดให้เวลาในการออกจากบ้านและเวลาการกลับถึงที่พักของรถยนต์ไฟฟ้ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ส่วนรูปแบบของการอัดประจุว่าเป็นแบบ Normal หรือ Fast Charging จะถูกประเมินจากการสุ่มระยะทางในการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนภาพขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าดังรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22





รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าในส่วนที่ 1

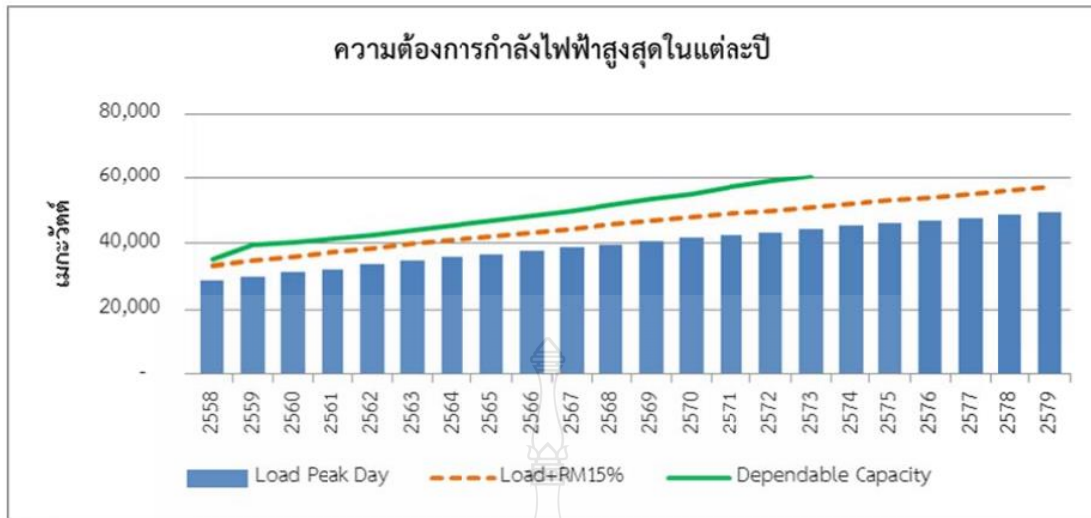
[22]



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน ส่วนที่ 2 [22]

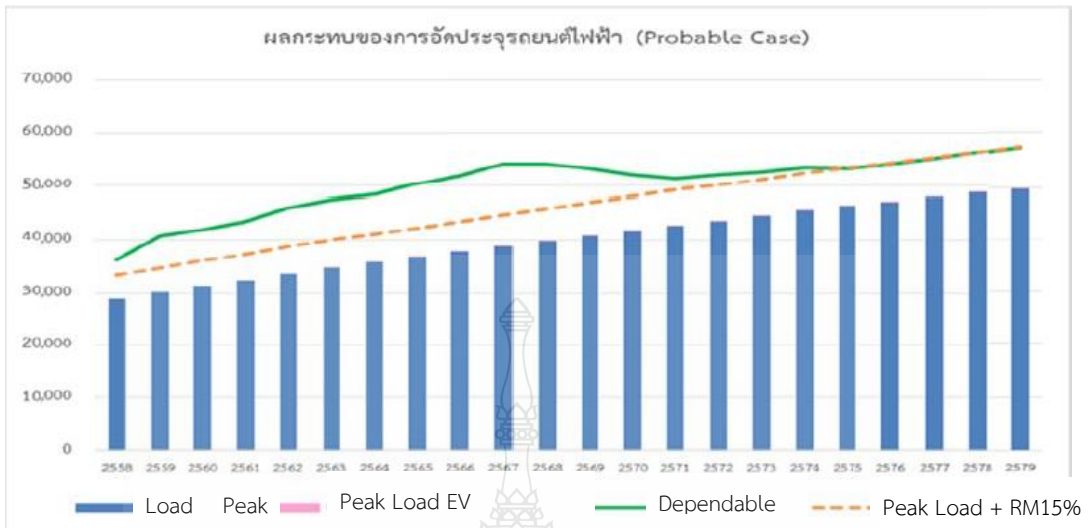
2.7.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ผลกระทบการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้ความต้องการใช้ ไฟฟ้าของประเทศไทย โดยที่ปรึกษาได้พิจารณาข้อมูลจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP) ซึ่งเป็นการประเมินในปี 2558 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 และใช้ข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการ ไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2563-2579 อย่างไรก็ตามเนื่องจากตามแผน PDP ฉบับนี้จะมีข้อมูลของโรงไฟฟ้าบางส่วน ในระบบกำลังจะถูกปลดระวางไป และยังมีไม่มีขนาดของโรงไฟฟ้าที่จะถูกดำเนินการก่อสร้างใหม่ใน อนาคต ดังนั้นการ ประเมินกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าที่ปรึกษาจะใช้ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าตามแผน PDP ในปี 2553 ซึ่งจะมีข้อมูลของโรงไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2558-2573 และในช่วงปี 2574-2579 นั้นจะมี โรงไฟฟ้าที่จะถูกก่อสร้างขึ้นมาใหม่อยู่แล้ว ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวกำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบจะมี ปริมาณมากกว่าความต้องการไฟฟ้าในระบบ ดังนั้นที่ปรึกษาจะใช้ค่าการพยากรณ์ปริมาณความต้องการ ไฟฟ้าดังกล่าวเพื่อพิจารณาผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยผลการ วิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบผลิต ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.23

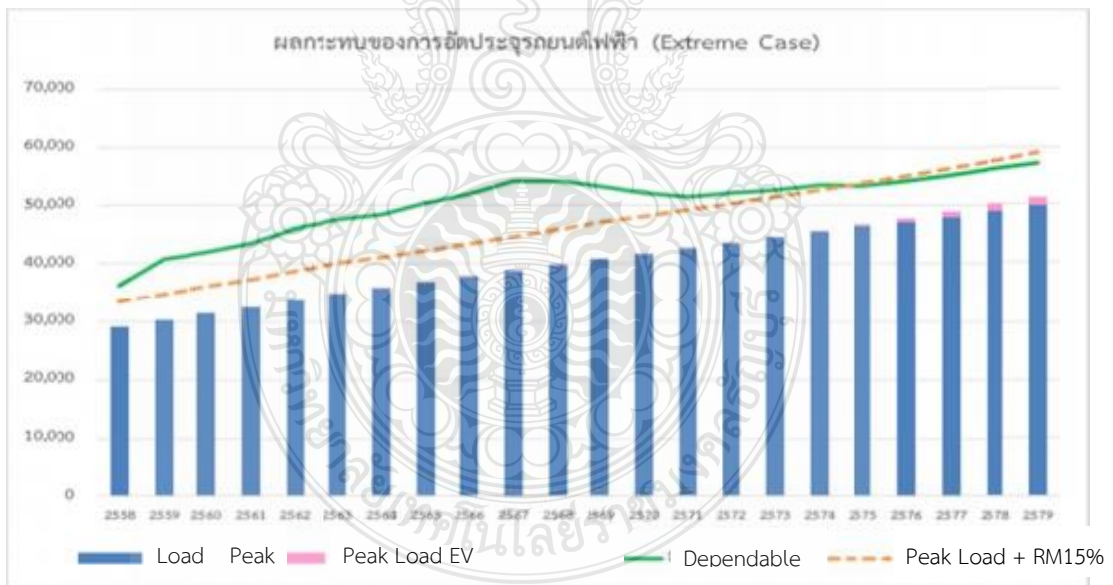


รูปที่ 2.23 ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปีเมื่อพิจารณาผลจากยานพาหนะไฟฟ้า [22]

ความต้องการใช้ไฟฟ้าจากรถยนต์ไฟฟ้า สามารถหาได้จากแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าจากรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่างๆที่มีรูปแบบ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการอัดประจุที่แตกต่างกัน โดยผลการพิจารณาผลกระทบจะเริ่มตั้งแต่ปี 2563 ถึง ปี 2579 ซึ่งเป็นปีที่คาดว่าจะเริ่มมีการจำหน่าย และใช้งานรถไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำข้อมูลปริมาณความต้องการไฟฟ้าของทั้งประเทศที่พิจารณาถึงการอัดประจุของรถไฟฟ้ามาพิจารณาเป็นรายชั่วโมง จะสามารถหาปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ในแต่ละปีได้ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดมาแสดงผลจะได้ผลการวิเคราะห์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25 โดยปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่พิจารณาการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 2 กรณี คือในกรณีที่เป็นไปได้ (Probable Case) และกรณีที่เกินความคาดหมาย (Extreme Case) โดยพิจารณาจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าจากการแบ่งการตลาดจากยอดจำหน่ายรถยนต์ใหม่

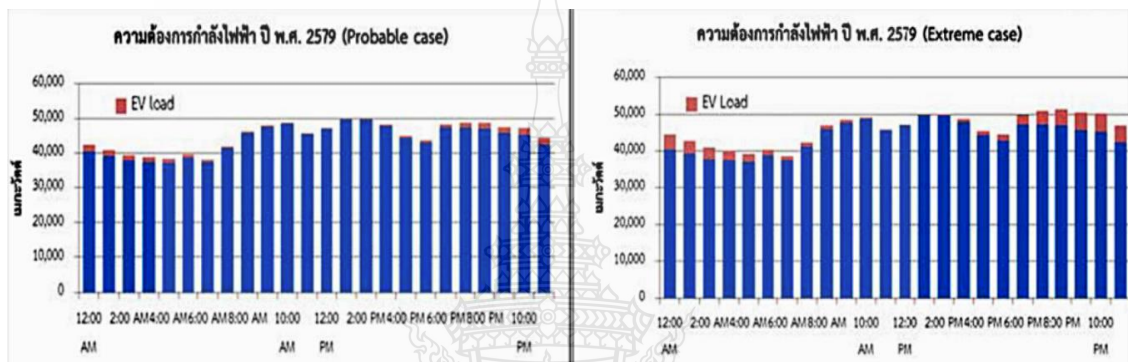


รูปที่ 2.24 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปี เมื่อพิจารณาจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่เป็นไปได้ (Probable Case) [22]



รูปที่ 2.25 ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปี เมื่อพิจารณาจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่เกินความคาดหมาย (Extreme Case) [22]

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า หากมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อพิจารณาในช่วงที่มีปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ในแต่ละปี โดยเมื่อปริมาณกำลังการผลิตสำรองอีก 15% ปริมาณความต้องการไฟฟ้างกล่าวแล้วยังมีค่าน้อยกว่ากำลังการผลิตสำรองที่พึ่งได้ (Dependable Capacity) และหากพิจารณาปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยพิจารณารายละเอียดของปริมาณความต้องการไฟฟ้าเป็นระดับรายชั่วโมง โดยในวันที่ระบบไฟฟ้าเกิดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Day) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ผลกระทบในปี 2579 แสดงในรูปที่ 2.26

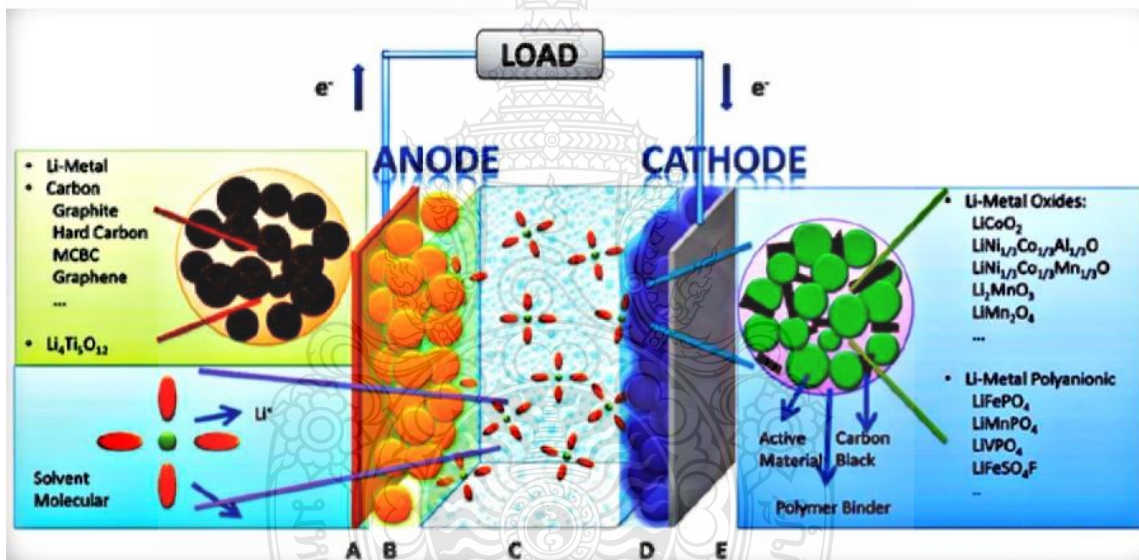
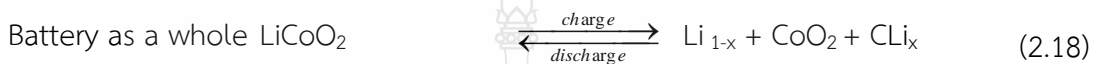
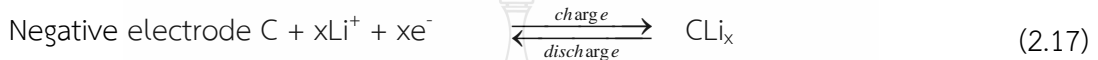
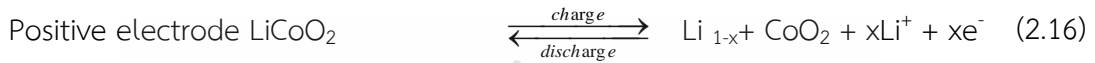


รูปที่ 2.26 ความต้องการกำลังไฟฟ้าในวันที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละปีของประเทศไทยในปี 2579 [22]

จากรูปที่ 2.26 ในช่วงท้ายของการพิจารณาผลกระทบในปี 2579 นั้น ผลกระทบจากรถยนต์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในช่วงปีหลังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าจะมีผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยสำหรับกรณี Probable Case นั้นยังคงมีปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. แต่สำหรับกรณี Extreme Case นั้น ปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของวันเมื่อพิจารณาการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าแล้วจะเปลี่ยนเป็นช่วงเวลา 20.00 น. ซึ่งเป็นการเปลี่ยนช่วงเวลา Peak Load จากเดิมในช่วงบ่ายของวัน ไปเป็นช่วงค่ำของวัน และในวงเวลาดังกล่าวนั้น พฤติกรรมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจะเป็นการอัดประจุแบบ Normal Charging ถึงแม้ว่าจะใช้กำลังในการอัดประจุน้อยกว่าการอัดประจุแบบ Fast Charging แต่การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าของผู้ขับขี่เมื่อกลับถึงบ้านพักของตนอาจมีปริมาณการอัดประจุจำนวนมาก เนื่องจากในช่วงปีดังกล่าวรถยนต์ไฟฟ้าจะมีปริมาณสูง และอาจกระทบต่อกำลังไฟฟ้าสำรองในช่วงเวลาหัวค่ำของวันได้

2.8 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมมีหลักการทำงาน คือ อีออนของลิเทียมจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดระหว่าง การคายประจุ (discharge) ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า และจะเคลื่อนที่กลับในทางตรงข้ามเมื่อมีการประจุไฟใหม่ (charging) ด้วยหลักการดังกล่าวสามารถให้กระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์เคมีไฟฟ้าดังรูปที่ 2.27 และสามารถแสดงเป็นสมการที่ 2.16 – 2.18 [23]



รูปที่ 2.27 กระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์เคมีไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [23]

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่มีใช้ในปัจจุบันมี 6 ประเภทหลัก โดยทั่วไปจะแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำขั้วบวก ส่วนขั้วลบทำจากแกรไฟต์เป็นหลัก แต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน จึงเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และมีการเปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภทดังแสดงตารางที่ 2.2 [24]

ตารางที่ 2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน [24]

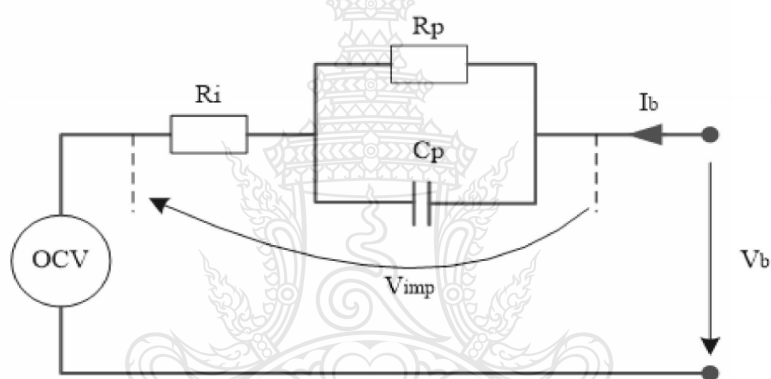
ประเภท	วัสดุขั้วบวก	วัสดุขั้วลบ	การใช้งาน
1	Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2 , LCO)	แกรไฟต์	โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล
2	Lithium Manganese Oxide (LiMn_2O_4 , LMO)	แกรไฟต์	เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า
3	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ($\text{Li}(\text{Ni}_2\text{Mn,Co})\text{O}_2$, NMC, NCM)	แกรไฟต์	จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า
4	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide ($\text{Li}(\text{Ni, Co, Al})\text{O}_2$, NCA)	แกรไฟต์	อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (เช่น ที่พบใน Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า
5	Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4 , LFP)	แกรไฟต์	ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วในรถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและความทนทานสูง
6	แกรไฟต์ หรือ LMO	Lithium Titanate	ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit ev)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท [24]

วัสดุขั้วบวก		LCO หรือ NCA	NMC	LMO	LFP	
วัสดุขั้วลบ	หน่วย	แกรไฟต์	แกรไฟต์	แกรไฟต์	LTO	แกรไฟต์
ออกแบบโดยเน้น		ความจุพลังงาน	ความจุพลังงาน หรือกำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	จำนวนรอบ ในการใช้งาน	กำลัง ไฟฟ้า
ช่วงแรงดันในการใช้งาน (Operating voltage range)	V	2.5-4.2	2.5-4.2	2.5-4.2	1.5-2.8	2.0-3.6
แรงดันเฉลี่ย (Nominal cell voltage)	V	3.6-3.7	3.6-3.7	3.7-3.8	2.3	3.3
ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก	Wh/kg	175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch)	100-240	100-150	70	60-110
ความจุพลังงานต่อปริมาตร	Wh/L	400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch)	250-640	250-350	120	125-250
อัตราการคายประจุอย่างต่อเนื่อง (Continuous discharge rate)	C	2-3	2-3 สำหรับแบตเตอรี่ความจุพลังงานสูง >30 สำหรับแบตเตอรี่กำลังไฟฟ้าสูง	>30	10	10-125
อายุการใช้งาน	รอบ	500+	500+	500+	4000+	1000+
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถอัดประจุได้	°C	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถคายประจุได้	°C	-20-60	-20-60	-30-60	-30-60	-30-60
ความปลอดภัย	1-4 (4=ปลอดภัยที่สุด)	2	3	3	4	4
ราคา	1-4 (4=ราคาต่ำที่สุด)	3(LCO) 2(NCA)	3	3	1	3

2.9 ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System, ESS)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเป็นหนึ่งในฟังก์ชันที่สำคัญที่สุดสำหรับระบบจัดการแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) และระบบกักเก็บพลังงานอย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและพลังงานระบบจัดเก็บข้อมูล ลิเทียมเป็นวัสดุที่น่าสนใจมากสำหรับแบตเตอรี่เนื่องจากมีค่าน้ำหนักเท่ากันและมีศักยภาพมาตรฐานสูง สำหรับแบตเตอรี่ LFP มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและมีอัตราการชาร์จไฟสูงกว่าลิเทียมไอออนโดยสามารถอธิบายวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตได้ดังวงจรสมมูลตามรูปที่ 2.28 โดยจะเขียนในรูปของ R-C networks โดย R_i คือ the pure Ohmic resistance, R_p คือ the charge transfer resistance, C_p คือ the double layer capacitance เพื่ออธิบายพฤติกรรมของแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ดังสมการที่ (2.19) ที่อธิบายสมการ transfer function ที่ในรูป s-domain [25]

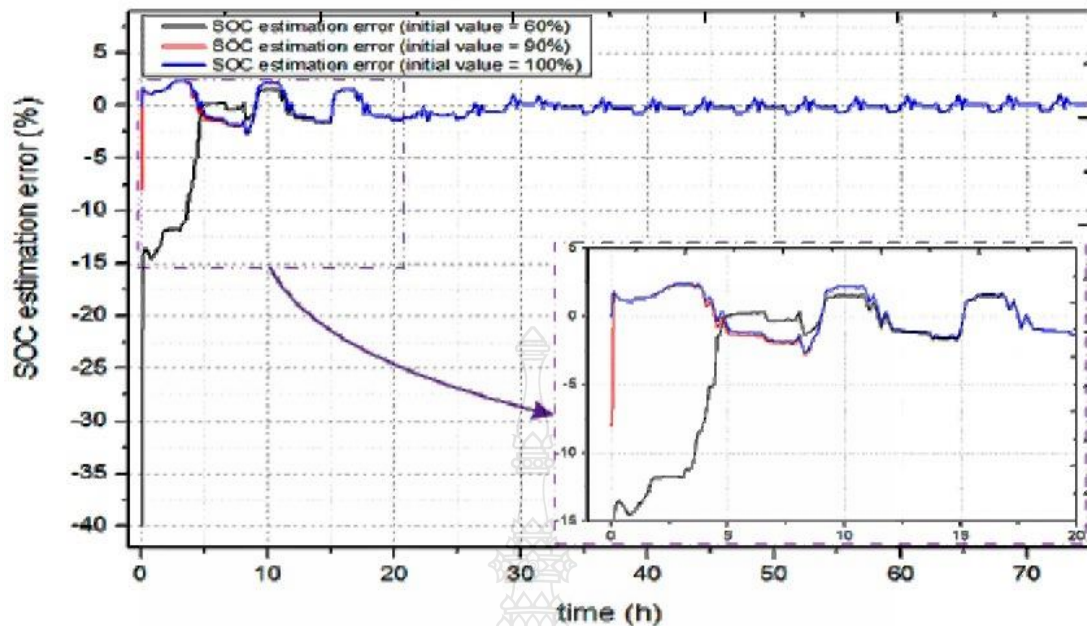


รูปที่ 2.28 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ LiFePO4

$$G(s) = \frac{V_b(s) - OCV(s)}{I_b(s)} = \frac{V_{imp}(s)}{I_b(s)} = R_i + \frac{R_p}{1 + s \cdot R_p \cdot C_p} \quad (2.19)$$

2.10 กำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิสของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

จากการทดลองเรื่องแบบจำลองฮิสเทอรีซิส (hysteresis modeling) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตโดยจำลองการอัดประจุที่ 100%, 90% และ 60% ของ SOC และคายประจุที่ 20% ของ SOC โดยแสดงกำลังการสูญเสียฮิสเทอรีซิสจาก SOC ที่ต่างกัน โดยในช่วง 4 ชั่วโมงแรกในการทดลองมีความผิดพลาดของกำลังการสูญเสียฮิสเทอรีซิสต่างกันไม่เกิน 2 % ดังแสดงในรูปที่ 2.29 [25]



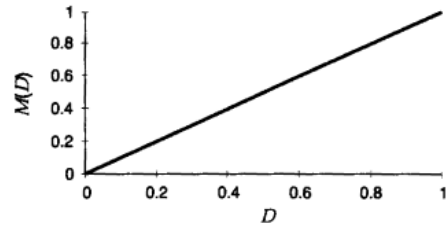
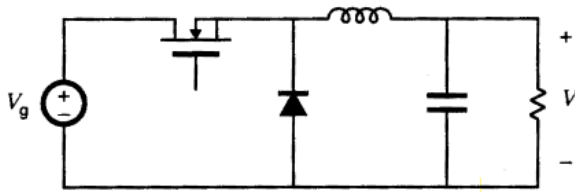
รูปที่ 2.29 ความผิดพลาดของกำลังการสูญเสียฮิสเตอร์ซิสที่ SOC ต่างกัน [25]

2.11 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter)

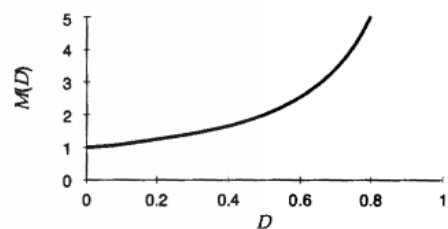
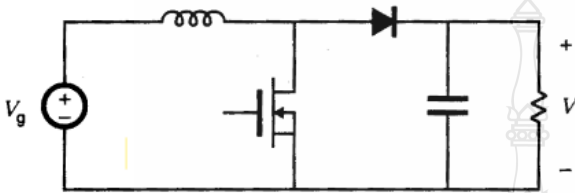
วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) สามารถเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันกระแสตรง (DC) โดยขอเสนอวงจร buck converter, boost converter และวงจร buck – boost converter ดังแสดงในรูปที่ 2.30 โดยทั่วไปสวิตช์ของวงจรใช้ power MOSFET และ diode ส่วนสารกึ่งตัวนำที่สามารถของวงจรที่สามารถใช้เป็นสวิตช์ได้ตามต้องการ เช่น IGBTs, BJTs และ thyristors

วงจร buck converter ทำหน้าที่ลดแรงดัน DC ด้านออก โดยสามารถแปลงอัตราส่วนวัฏจักรงาน (duty cycle) คือ $M(D) = D$ ดังรูป 2.30 และวงจร boost converter ตำแหน่งของสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำได้เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เปลี่ยนขนาดแรงดัน dc ด้านออก ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยสามารถแปลงอัตราส่วน duty cycle คือ $M(D) = 1/(1-D)$ ดังรูป 2.30 ส่วนวงจร buck – boost converter การต่อสวิตช์ในวงจรจะสลับกับตัวเหนี่ยวนำเมื่อเทียบกับวงจร boost converter และตัวเหนี่ยวนำจะตรงข้ามกับกำลังด้านเข้าและแรงดันด้านออก วงจร buck – boost converter จะทำหน้าที่เพิ่มขนาดแรงดัน DC หรือ ลดขนาดแรงดัน DC โดยสามารถแปลงอัตราส่วน duty cycle คือ $M(D) = -D/(1-D)$ [26]

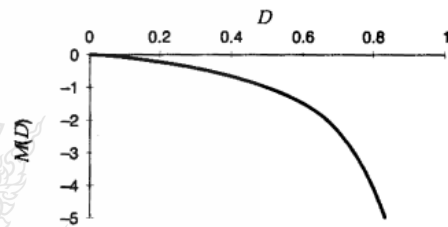
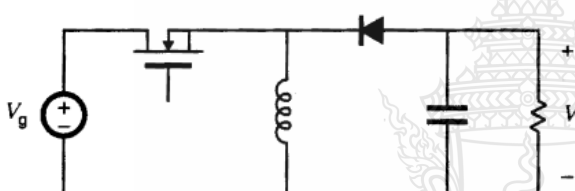
Buck converter



Boost converter



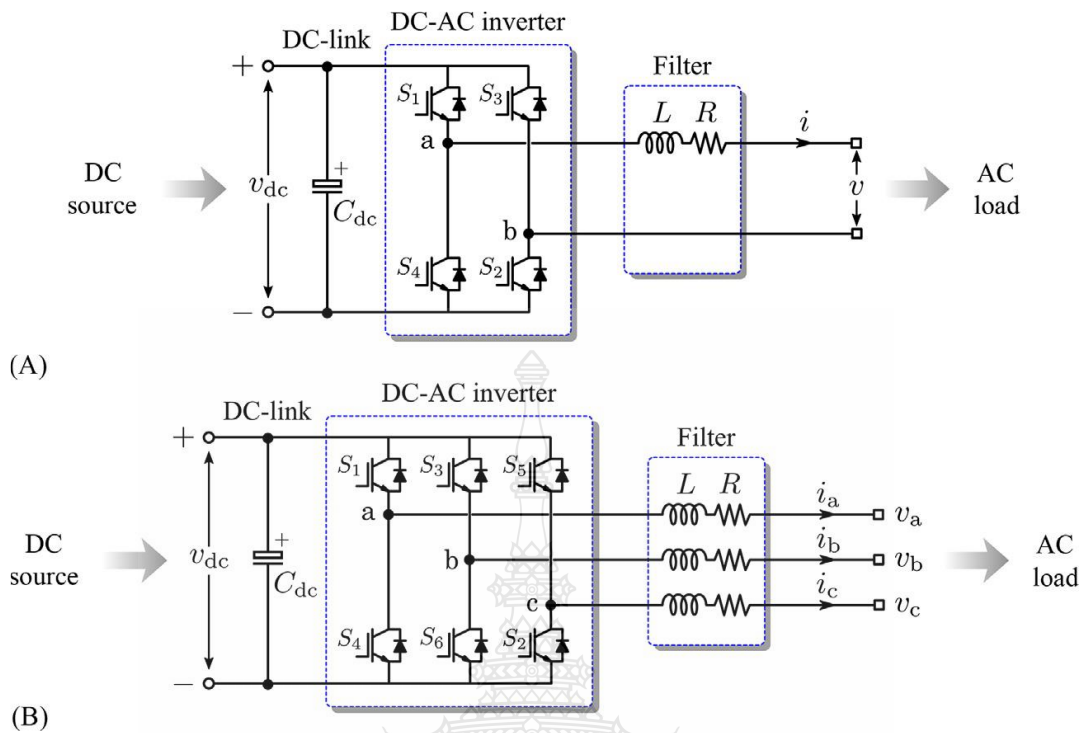
Buck-boost converter



รูปที่ 2.30 วงจร buck converter, boost converter และวงจร buck – boost converter [26]

2.12 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Converter)

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Converter) ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนและมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายการไฟฟ้า เช่น ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนเพื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับกับโครงข่ายไฟฟ้า โดยจะมีตัวกรองสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้คุณภาพไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า โดยจะมีวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส แสดงดังรูป 2.31 [27]



รูปที่ 2.31 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส [27]

วงจรกำลังจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (ในปัจจุบันจะนิยมใช้IGBT) ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้เทคนิค PWM (Pulse Width Modulations) โดยไอจีบีที (IGBT: Isolated-Gate Bipolar Transistor) หรือเรียกอย่างเต็มว่า ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับการสวิตช์ชนิดหนึ่งที่สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้เป็นปริมาณสูง มีความเร็วสูงในการสวิตช์ในขณะที่มีค่าความต้านทานขาเข้าสูง ไอจีบีทีนับได้ว่าเป็น ทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่นำกระแสไฟฟ้าได้โดยอาศัยพาหะประจุทั้งสองชนิด ได้แก่ พาหะประจุบวก และ พาหะประจุลบ โดยมีตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่กรองกระแสจากการสวิตช์ซิ่ง และ R คือ ตัวต้านทานภายใน และตัวเก็บประจุ C_{dc} ทำหน้าที่เป็น DC-link capacitor

2.13 การวิเคราะห์ด้านการเงินการลงทุน

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ โดยการกำหนดจากโหลดของบ้านพักอาศัยหลังหนึ่งที่ใช้จริงและโหลดของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า ในบทความนี้วิเคราะห์โดยใช้โหลดของ Nissan Leaf ขนาดแบตเตอรี่ 40 kWh โดยจำลองระยะทางวิ่ง 20,000 กม. ในระยะเวลา 1 ปี โดยนำผลประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้งจากโปรแกรม PVsyst และโปรแกรม Homer Pro มาวิเคราะห์เทียบกับความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม โดยมีสมการสำหรับตัวชี้วัดการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) หาได้โดยสมการที่ 2.20 [28]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad (2.20)$$

เมื่อ CF_t คือ กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t
 I คือ เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ
 k คือ อัตราคิดลดที่ 6.22%
 n คือ อายุของโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ โดย k คือ อัตราผลตอบแทนคิดลด หาได้โดยตั้งสมการที่ 2.21

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (2.21)$$

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) หาได้โดยตั้งสมการที่ 2.22

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}} \quad (2.22)$$

เมื่อ B_t คือ กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t
 C_t คือ กระแสเงินสดจ่าย ณ ปีที่ t
 k คือ อัตราคิดลดที่ 6.22% [29]
 n คือ อายุของโครงการ

ระยะเวลาคืนทุน (PB) หาได้โดยตั้งสมการที่ 2.23

$$PB = \frac{I_i}{P_y} \quad (2.23)$$

เมื่อ	PB	คือ ระยะเวลาคืนทุน
	I_i	คือ เงินลงทุนเริ่มต้น
	P_y	คือ กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี

จากข้อมูลตัวชี้วัดทางการเงินสามารถวิเคราะห์การลงทุนดังนี้ ตัวชี้วัดที่ 1 $NPV > 0$ แสดงว่าการลงทุนในโครงการได้ผลกำไร แต่ถ้าค่า $NPV = 0$ แสดงว่าเสมอทุน และถ้า $NPV < 0$ แสดงว่าขาดทุน ตัวชี้วัดที่ 2 สะท้อนให้เห็นว่าการลงทุนในโครงการได้ผลกำไร เนื่องจากมากกว่า Discount rate (KTB MRR) ที่ 6.22% แสดงว่าการลงทุนได้ผลกำไร และถ้า $IRR < 6.22\%$ แสดงว่าโครงการนี้ไม่เหมาะสำหรับการลงทุน ตัวชี้วัดที่ 3 $BCR > 1$ แสดงว่าโครงการนี้ลงทุนแล้วได้ผลกำไร และถ้า $BCR < 1$ แสดงว่าโครงการนี้ขาดทุน ตัวชี้วัดที่ 4 $PB < 10$ ปี แสดงว่าโครงการนี้เหมาะสมกับการลงทุน

2.14 บทสรุป

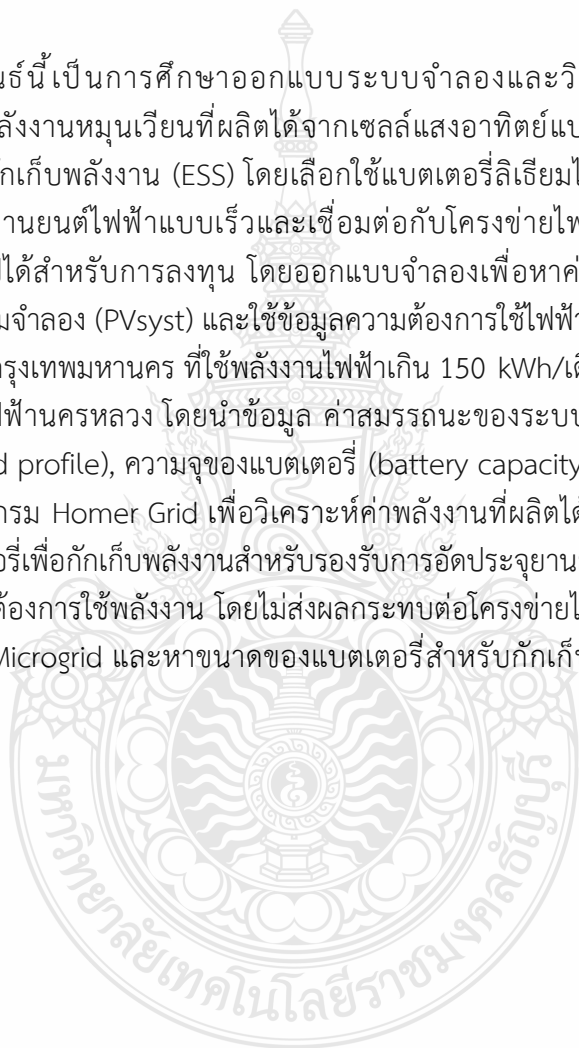
จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาและการศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์การออกแบบระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและการจำลองหาค่าสมรรถนะของระบบผลิตโดยใช้โปรแกรม Sketch up และ PVsyst, หลักการทำงานของแบตเตอรี่, รูปแบบและหลักการทำงานของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า, พฤติกรรมการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า, การวิเคราะห์ทางการเงินการลงทุน โดยนำข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมดมาออกแบบระบบ Microgrid ที่มีการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Homer Grid สำหรับการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ได้จากระบบผลิต, ค่า SOC, พฤติกรรมการอัดประจุไฟฟ้า, ค่าพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยนจากบ้านระหว่างบ้านพักอาศัยและการไฟฟ้า และค่าตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังต้องมีการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนในบวกลบไป

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาออกแบบระบบจำลองและวิเคราะห์ระบบไมโครกริด (Microgrid) โดยใช้พลังงานหมุนเวียนที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LFP) เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยและวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการลงทุน โดยออกแบบจำลองเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบผลิต (%PR) โดยใช้โปรแกรมจำลอง (PVsyst) และใช้ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้า (load profile) ของชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 จากการไฟฟ้านครหลวง โดยนำข้อมูล ค่าสมรรถนะของระบบผลิต (%PR) , ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้า (load profile), ความจุของแบตเตอรี่ (battery capacity) และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้า (EV load) ใส่ในโปรแกรม Homer Grid เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ผลิตได้จาก Solar Rooftop และการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานสำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงข่ายไฟฟ้าและสามารถวิเคราะห์และออกแบบระบบ Microgrid และหาขนาดของแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุน



3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

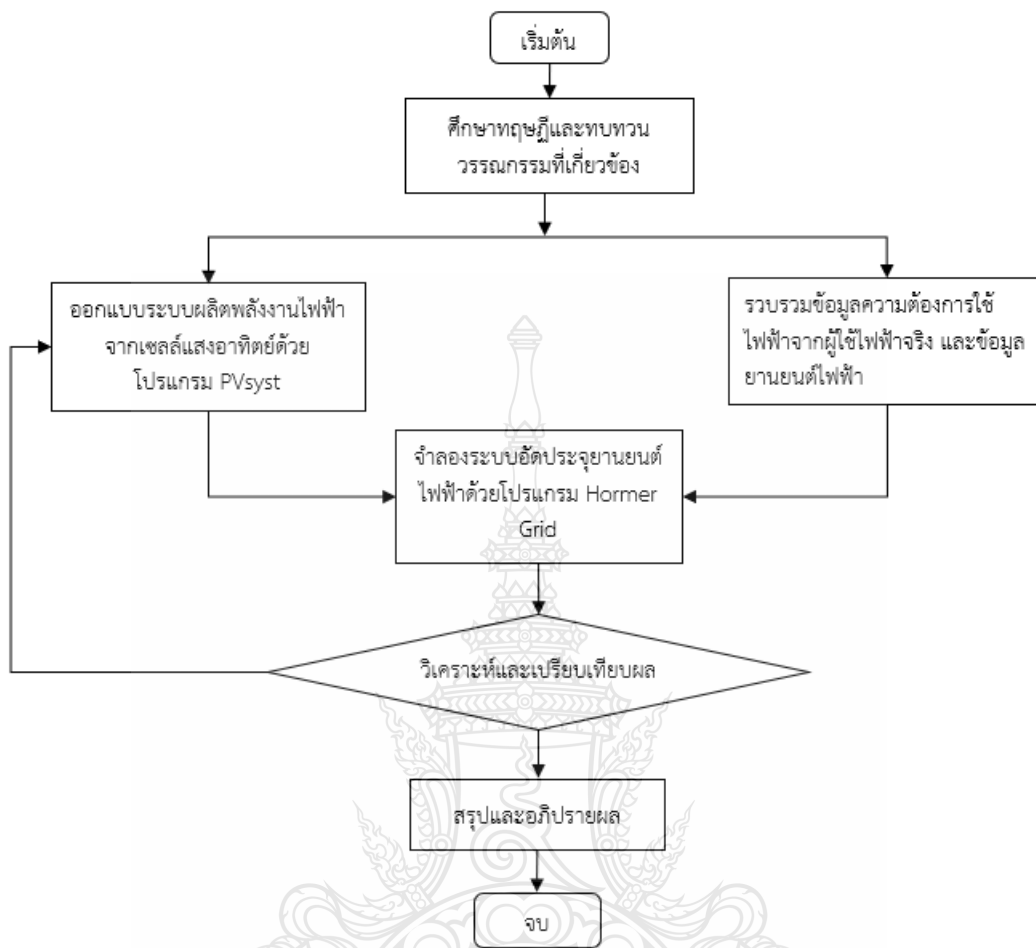
3.2.1 ศึกษาทฤษฎี แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์, การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์, หลักการทำงานของ Inverter, รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่ายของการไฟฟ้านครหลวง, หลักการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า, ตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการไฟฟ้านครหลวงการใช้งานโปรแกรม Sketchup, PVsyst, Homer Grid [29]

3.2.2 ศึกษาทฤษฎีและวิเคราะห์ เทคโนโลยีการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า, ผลกระทบของยานพาหนะไฟฟ้าต่อระบบสาธารณสุขภาค และ โครงสร้างพื้นฐาน, คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแต่ละประเภทและการใช้งาน, การประเมินค่าสถานะการชาร์จ (SOC) สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO₄), การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อพิจารณาจุดคุ้มทุน

3.2.3 ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัย โดยออกแบบจำลองเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบผลิต (%PR) โดยใช้โปรแกรมจำลอง Sketchup และ PVsyst

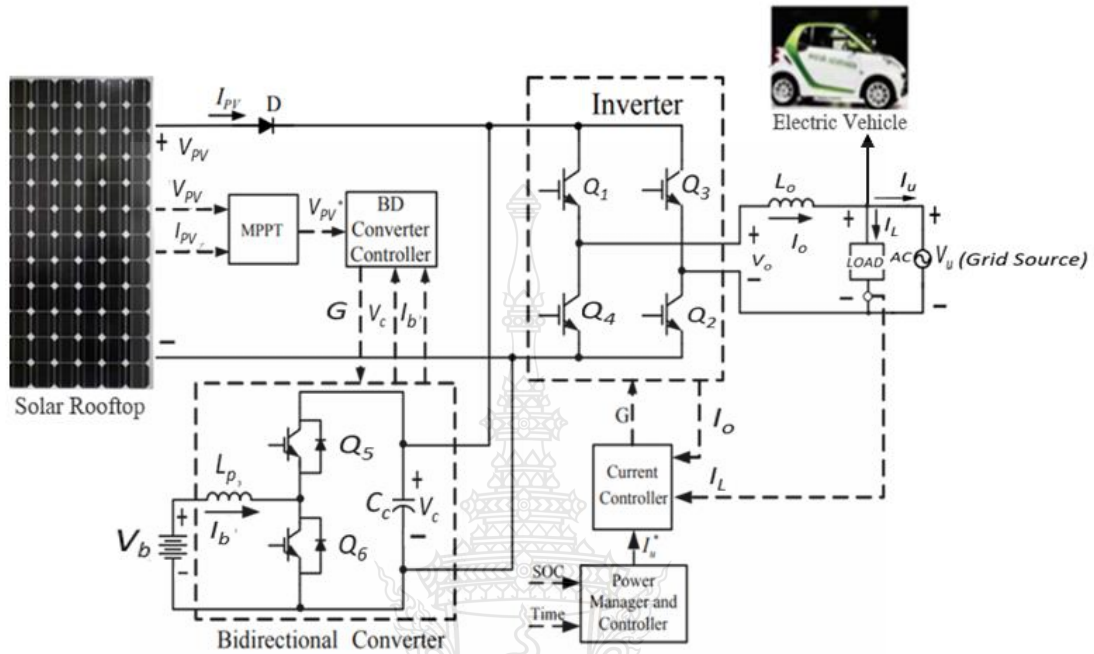
3.2.4 วิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา และการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนของชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 จากการไฟฟ้านครหลวง โดยนำข้อมูล ค่าสมรรถนะของระบบผลิต, ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า, ความจุของแบตเตอรี่ และ โหลดยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อใส่ในโปรแกรม Homer Grid พร้อมเปรียบเทียบผลการจำลอง และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน

3.2.5 สรุปผลและอภิปรายผล จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของหัวข้อที่ 3.2.1 -3.2.5 สามารถแสดงเป็น Flow Chart ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 หลักการและแนวคิด



รูปที่ 3.2 โครงสร้างสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ของรถยนต์ EV [4]

จากรูปที่ 3.2 แสดงถึงระบบไมโครกริด สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า โดยอธิบายการทำงานของส่วนต่างๆ โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมได้ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ Trina รุ่น Tallmax plus ชนิดผลึกรวม ขนาด 345 Wc (Voc) 46.3 V ค่ากระแสลัดวงจร (Isc) 9.55 A และมีค่าประสิทธิภาพของแผง 17.4% [28]
2. วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ที่เป็นวงจรเรียงกระแส แบบสองทิศทาง ใช้ชนิด SolarEdge รุ่น SE33.3KUS ขนาด 33.3 kW แรงดัน 400 V, ระบบไฟฟ้า 3 เฟส, ความถี่ 50 Hz ที่มีชุด MPPT Optimizer ตามรายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่ายของการไฟฟ้านครหลวง [32]
3. วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ที่เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง เพื่อลดแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่ออัดประจุไปที่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต
4. แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟตเพื่ออัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงให้กับยานยนต์ไฟฟ้าขนาด 200 A ด้วยแรงดัน 480 V ด้วยกำลังไฟฟ้าขนาด 50-150 kW
5. ยานยนต์ไฟฟ้าจำลองโดยใช้โหนดของยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อที่ 1, 2, 3, 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW, 110 kW, 120 kW และ 110 kW ตามลำดับ [33-36]

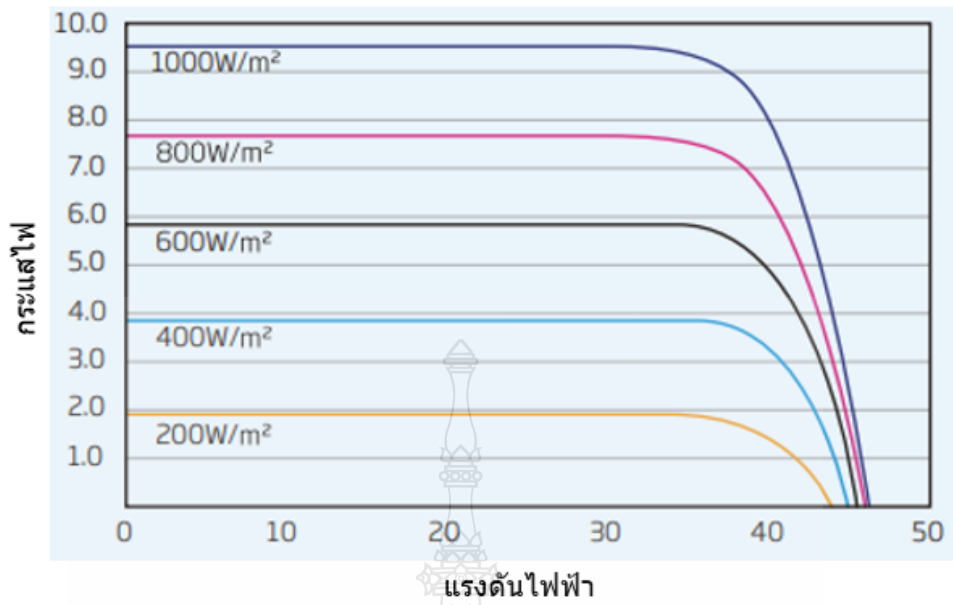
6. ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าของชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 จากการเก็บตัวอย่างข้อมูลของการไฟฟ้านครหลวง

3.4 เซลล์แสงอาทิตย์

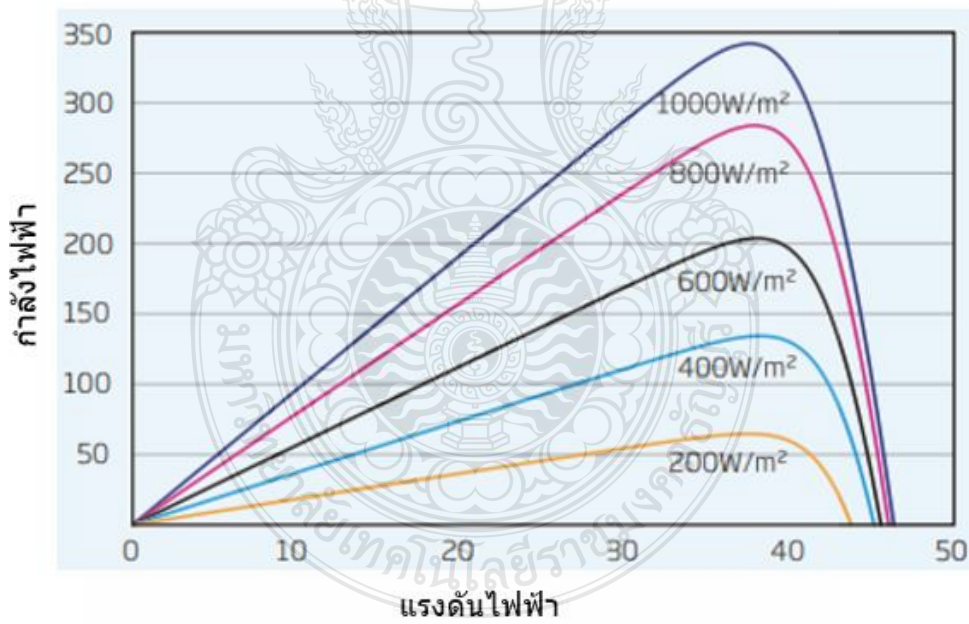
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโปรแกรมจำลองเป็น Trina Tallmax plus ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Module) แผงละ 345 W (ที่ปริมาณความเข้มแสง 1,000 W/m² และอุณหภูมิ 25°C) มีคุณลักษณะทางตารางที่ 3.1 จากตารางคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าแรงดันที่ให้อำนาจไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Voltage) คือ 38.2 V และค่ากระแสที่ให้อำนาจไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Current) คือ 9.04 A ซึ่งในสภาวะการทำงานจริงความเข้มแสงและอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังปรากฏในตารางที่ 3.1 และมีผลจำลอง I-V Curve, P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมที่ (25° C) ดังรูปที่ 3.3, 3.4 [28]

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ Trina Module รุ่น Tallmax plus

Trina module รุ่น Tallmax plus specifications (1,000 W/m ² , 25°C)	
Characteristics	Spec
Peak Power Watts-Pmax (Wp)	345
Power Output Tolerance-Pmax (W)	0 ~ + 5
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	38.2
Maximum Power Current-Impp (A)	9.04
Open Circuit Voltage – Voc (V)	46.3
Short Circuit Current-Isc (A)	9.55
Module Efficiency (%)	17.4



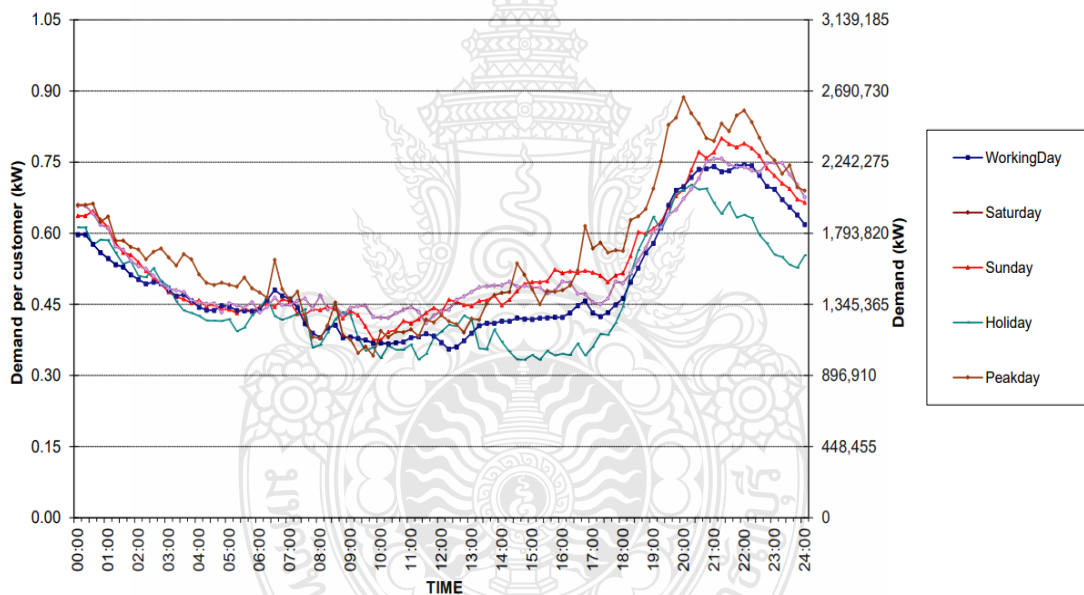
รูปที่ 3.3 ผลจำลอง I-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25° C) [30]



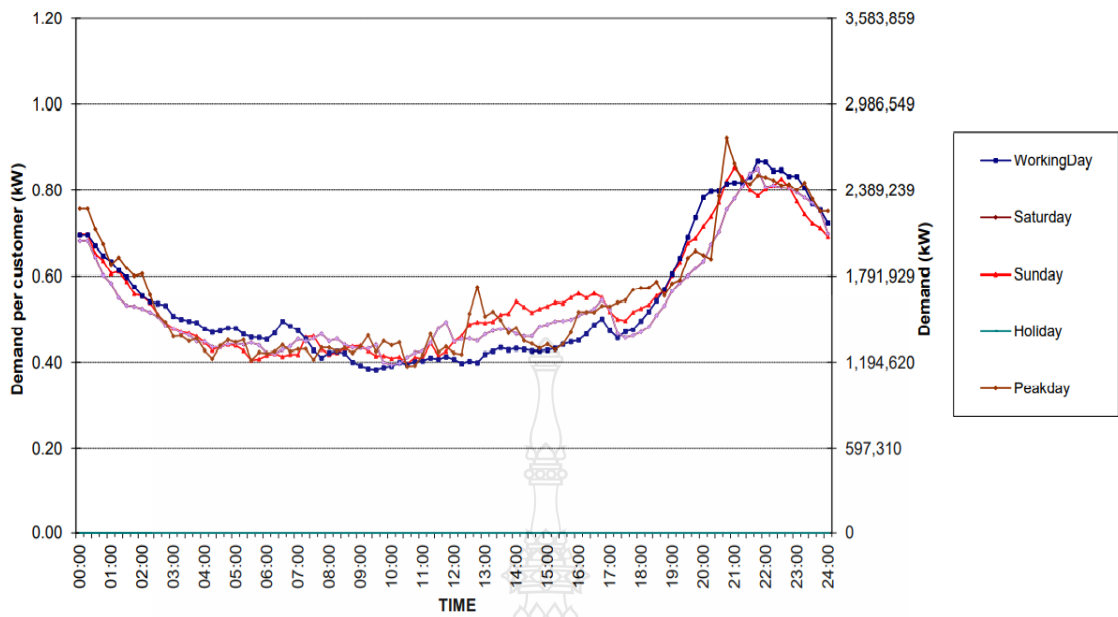
รูปที่ 3.4 ผลจำลอง P-V Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแวดล้อมคงที่ (25° C) [30]

3.5 ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้า

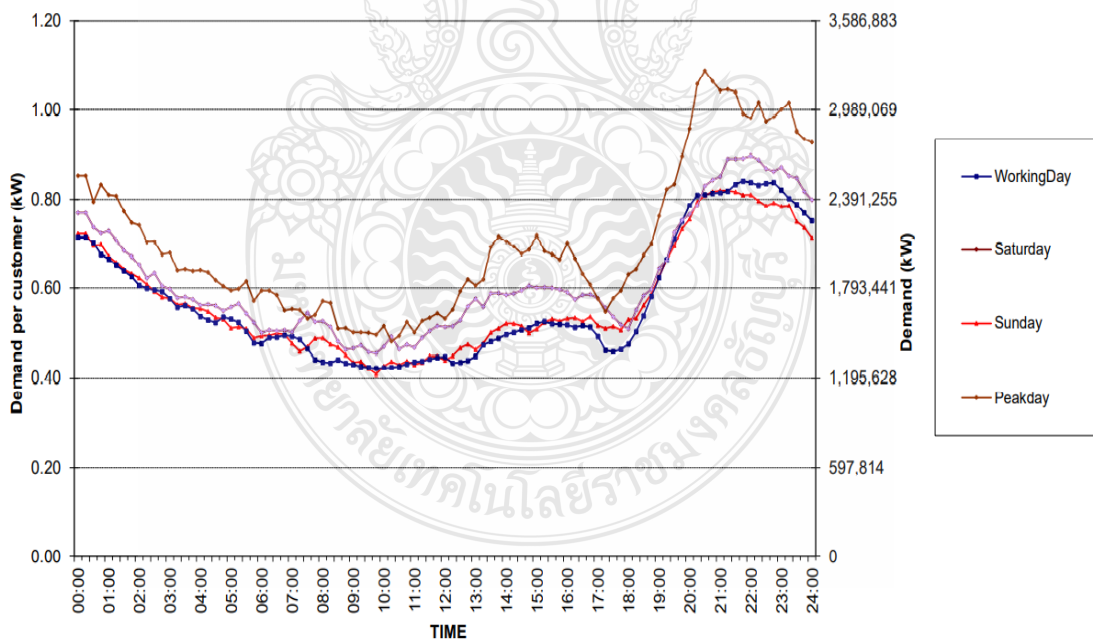
ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้า (load profile) เฉลี่ยต่อหลังคาเรือนจากชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในช่วงเวลา 00:00 – 24:00 น. ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2563 สามารถอธิบายแทนด้วยสี่เส้นกราฟ โดยเส้นกราฟสีน้ำเงินแทนข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันจันทร์ – ศุกร์, เส้นกราฟสีแดงแทนข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันเสาร์, เส้นกราฟสีม่วงแทนข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันอาทิตย์, เส้นกราฟสีเขียวแทนข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์, เส้นกราฟสีน้ำตาลแทนข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงสูงสุดในแต่ละเดือน โดยเลือกใช้ข้อมูลลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงสูงสุดเฉลี่ยสำหรับการจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม Homer Grid ดังรูป 3.5 - 3.16 [31]



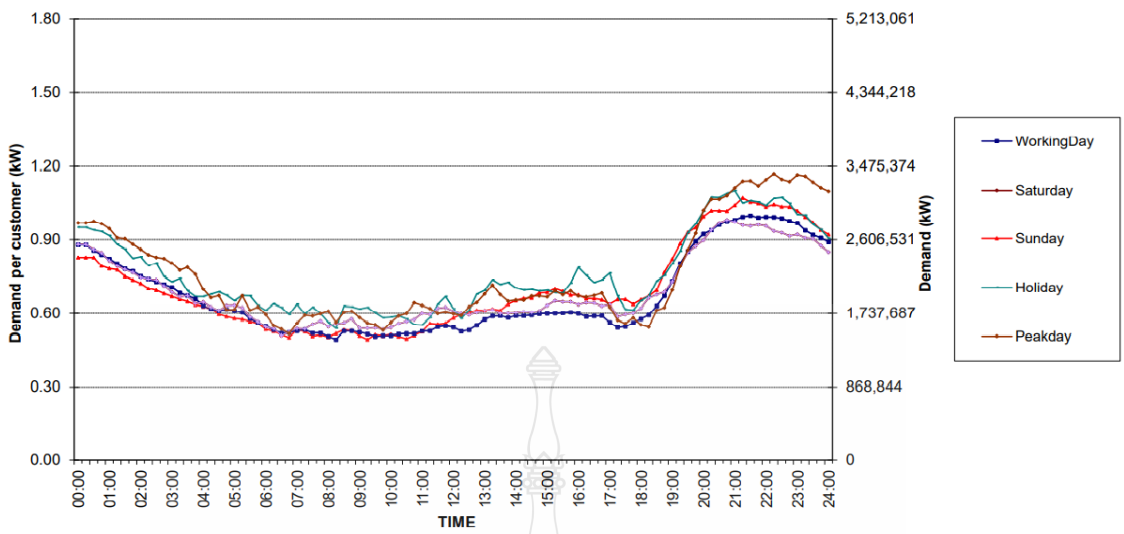
รูปที่ 3.5 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมกราคม 2563



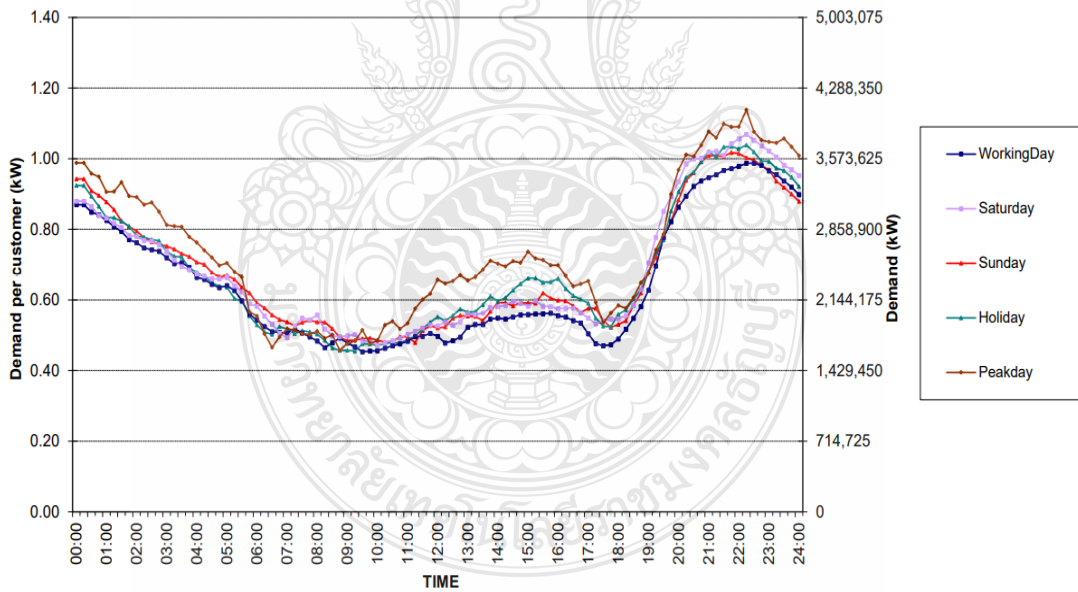
รูปที่ 3.6 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกุมภาพันธ์ 2563



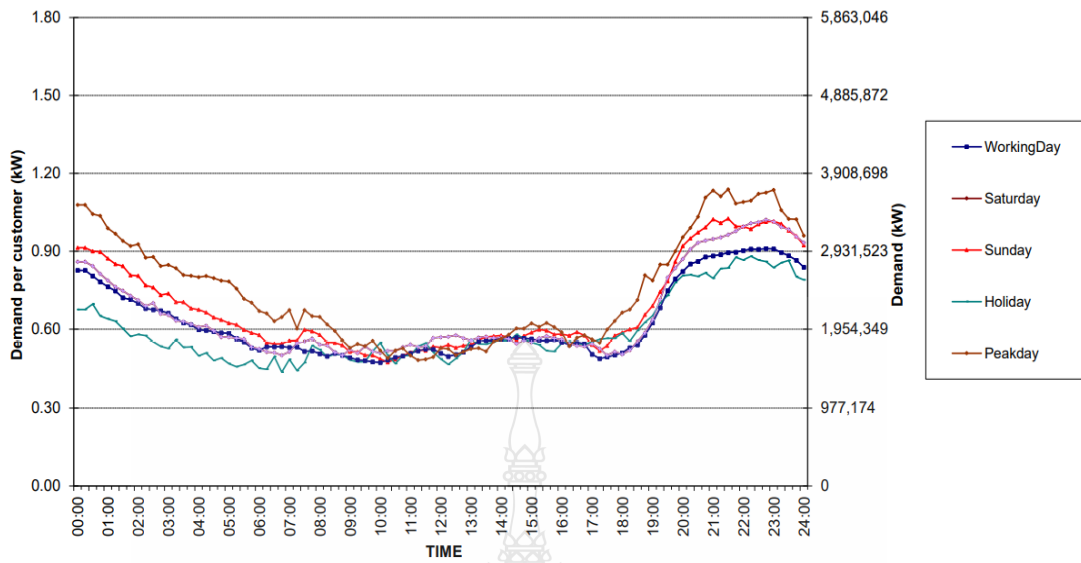
รูปที่ 3.7 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมีนาคม 2563



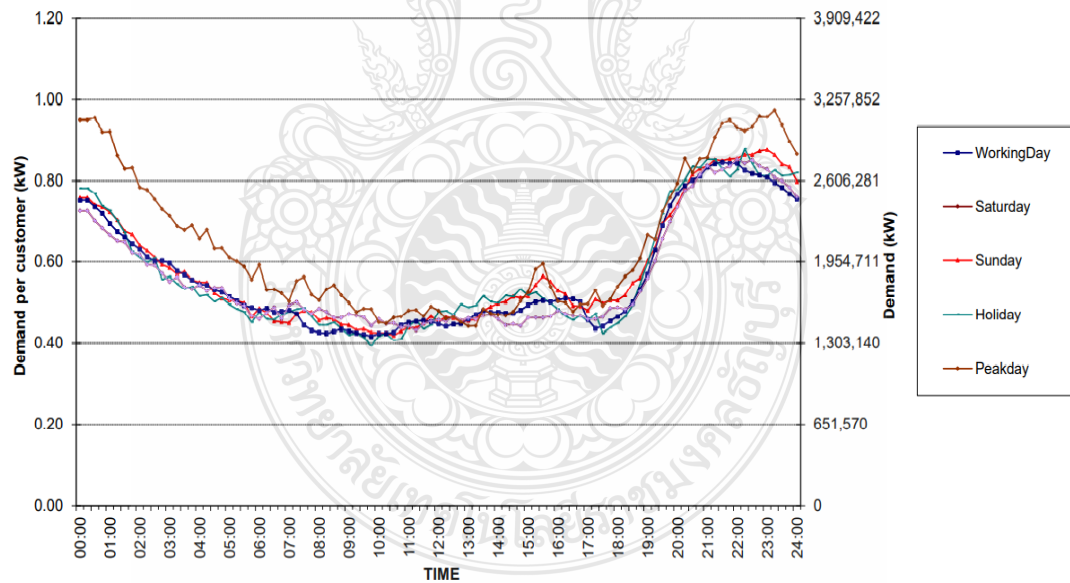
รูปที่ 3.8 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนเมษายน 2563



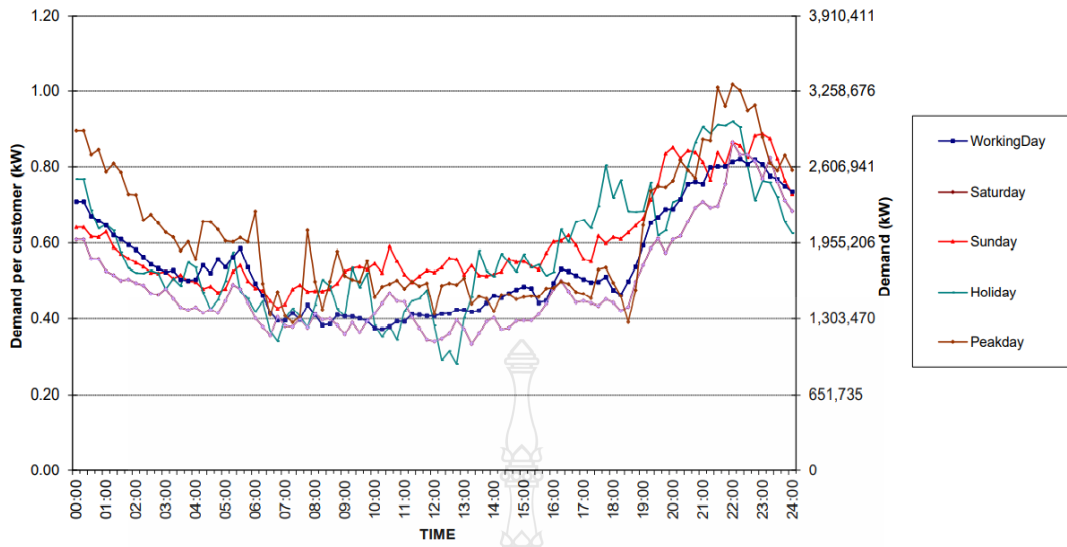
รูปที่ 3.9 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนพฤษภาคม 2563



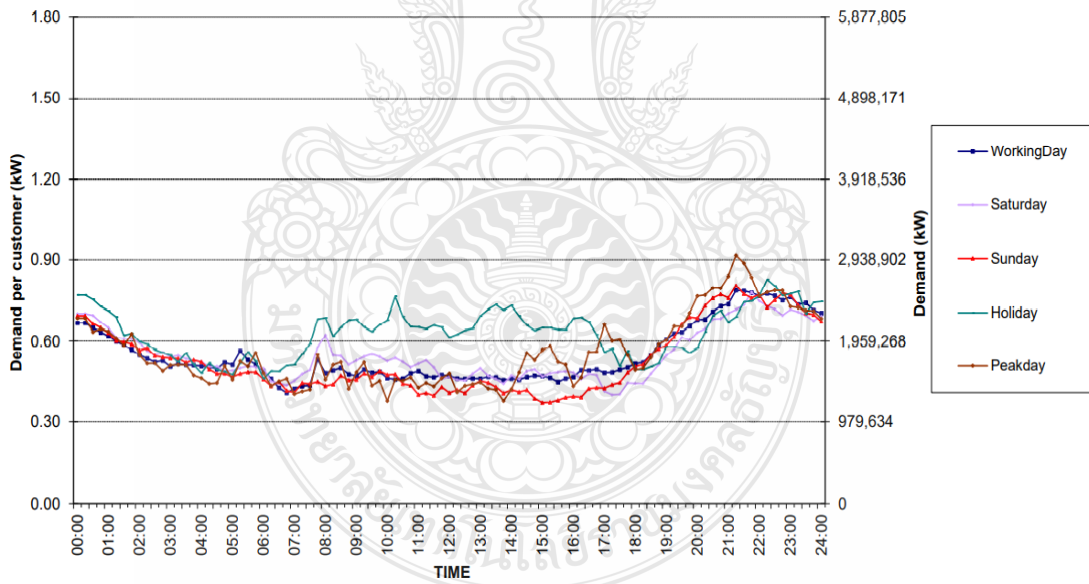
รูปที่ 3.10 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนมิถุนายน 2563



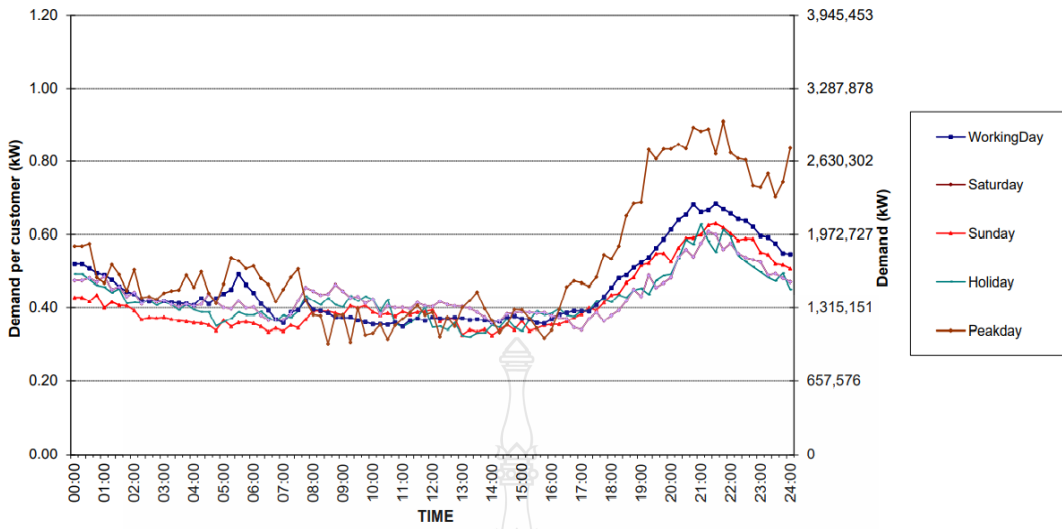
รูปที่ 3.11 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกรกฎาคม 2563



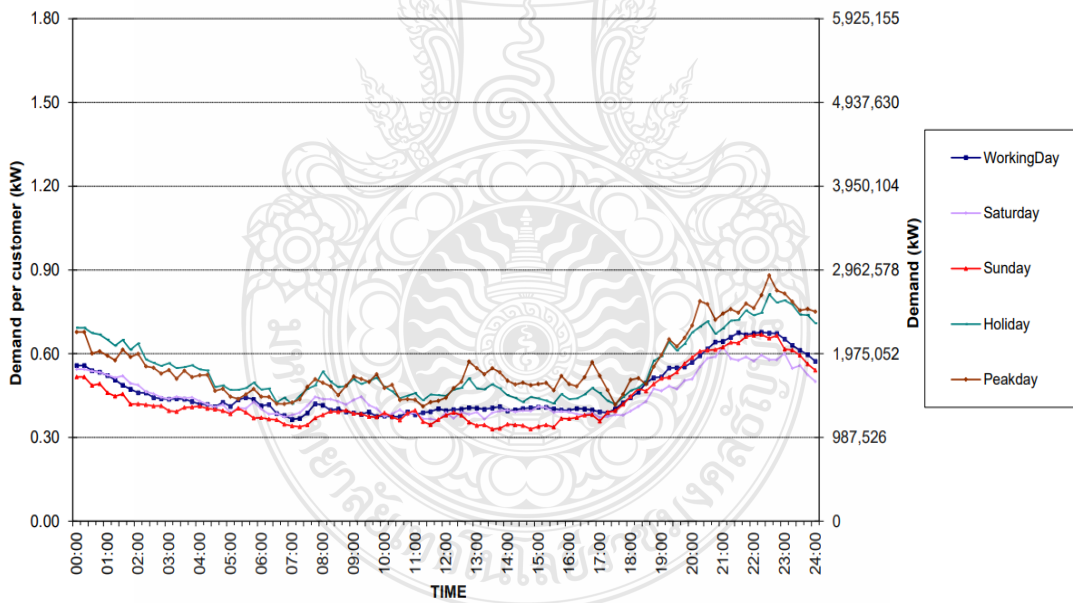
รูปที่ 3.12 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนสิงหาคม 2563



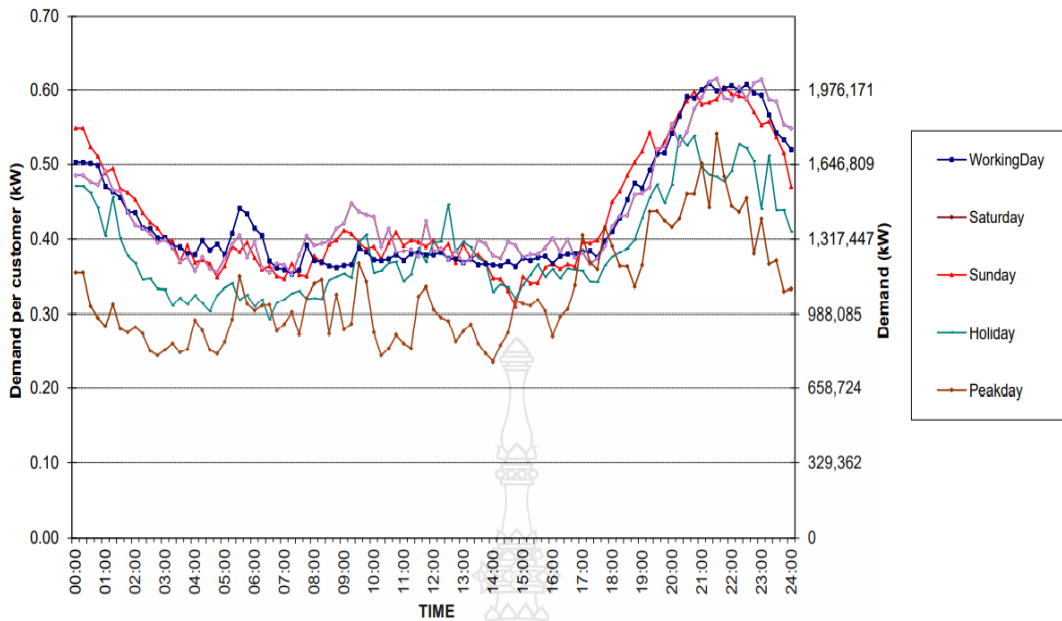
รูปที่ 3.13 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนกันยายน 2563



รูปที่ 3.14 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนตุลาคม 2563



รูปที่ 3.15 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนพฤศจิกายน 2563

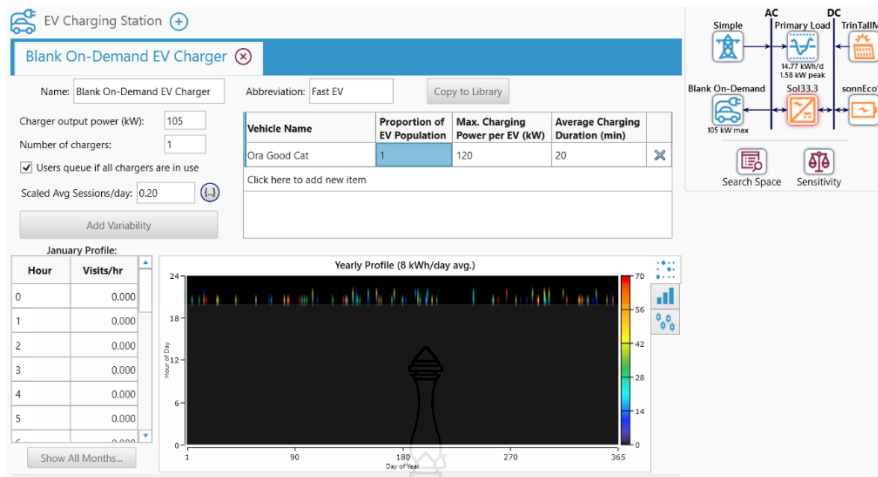


รูปที่ 3.16 ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหลังคาเรือนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน ใน เดือนธันวาคม 2563

จากข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยในปี 2563 ต่อหลังคาเรือนของชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่เลือกมาใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา โดยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.77 kWh/วัน

3.6 ข้อมูลการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจากโปรแกรมจำลอง

โปรแกรมจำลองสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม Homer Grid เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW และค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จ 8 kW โดยใช้โหนดยานยนต์ไฟฟ้าจำลองระบบยี่ห้อที่ 1, 2, 3, 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW, 110 kW, 120 kW และ 110 kW ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ามีเท่ากับ 8 kWh/day โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ใช้เวลาอัดประจุ 20 นาที ดังรูปที่ 3.17 - 3.20 และจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ใช้เวลาอัดประจุ 8 ชม. ดังรูปที่ 3.21 - 3.24



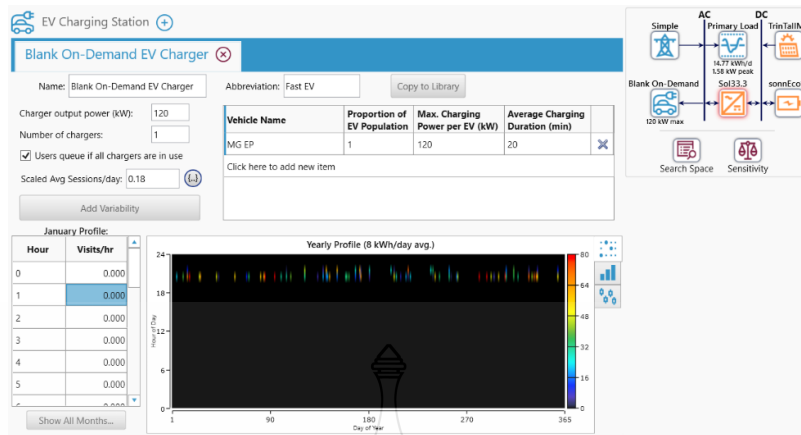
รูปที่ 3.17 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.17 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 120 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



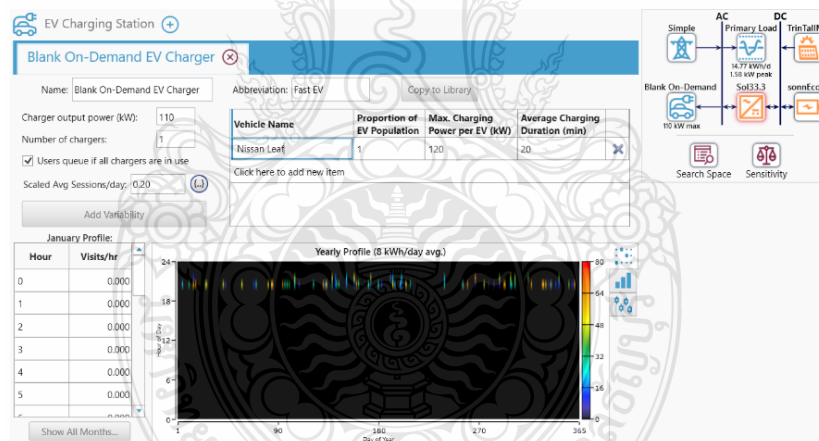
รูปที่ 3.18 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.18 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 120 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



รูปที่ 3.19 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.19 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 120 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



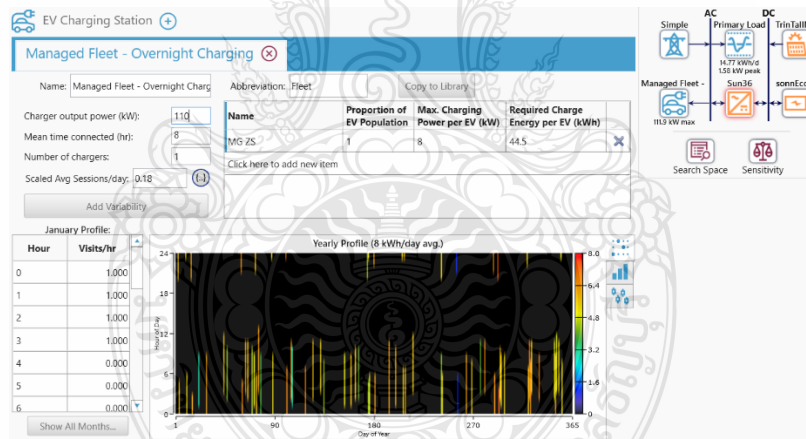
รูปที่ 3.20 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.20 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 120 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



รูปที่ 3.21 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.21 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 105 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 8 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 8 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



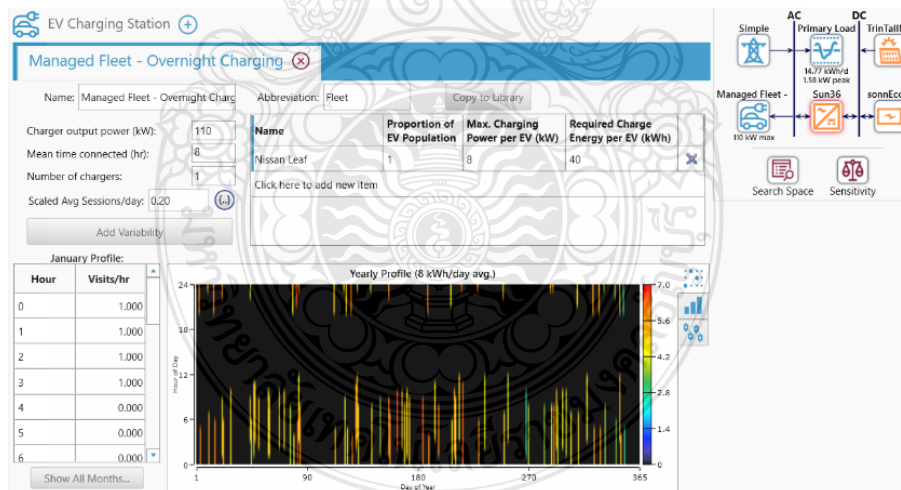
รูปที่ 3.22 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.22 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 8 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 8 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



รูปที่ 3.23 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.23 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยหัวชาร์จ 8 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 8 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน



รูปที่ 3.24 โปรแกรมจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน

อธิบาย รูปที่ 3.24 แสดงถึงการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ขนาด 110 kW จำนวน 1 คัน แบบเร็วด้วยตัวชาร์จ 8 kW โดยใช้เวลาอัดประจุ 8 ชั่วโมงในช่วงเวลา 20.00 น. โดยจะอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณเฉลี่ย 8 kWh/วัน

3.7 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ดังสมการที่ 3.1 ได้จากการวัดภายใต้ STC ($I_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$; $T_{STC} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $AM = 1.5$) โดยประเทศไทยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ $5,000 \text{ Wh/m}^2 / \text{d}$ และ ค่าคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามชนิดของระบบที่ใช้ดังตารางที่ 3.2 [21] เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบระบบผลิตฯ และการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และรองรับการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต การคำนวณด้วยวิธีนี้เพื่อการออกแบบระบบที่ดีมีประสิทธิภาพและได้ขนาดตามต้องการจะต้องมีการใช้โปรแกรมจำลองพิจารณาเพื่อ Optimization ต่อไป

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \quad (3.1)$$

- เมื่อ:
- P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของ PV ภายใต้เงื่อนไข STC [kWp]
 - E_{load} = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวัน [kWh/d]
 - I_{STC} = การแผ่รังสีมาบนพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC [1 kW/m^2]
 - E_{glob} = การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวัน [$5 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$]
 - Q = คุณภาพของระบบ

ตารางที่ 3.2 ค่าคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามชนิดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

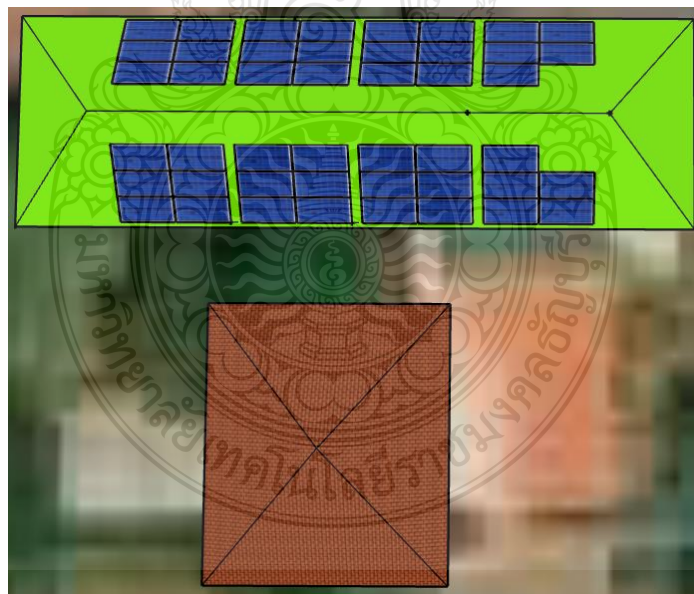
ระบบผลิตโซลาร์	ค่าคุณภาพ
ระบบที่ใช้แผงแบบผลึก	0.85...0.95
ระบบอาร์เรย์ที่มีการต่ออนุกรมของแผง	0.80...0.90
ระบบออนกริด	0.60...0.75
ระบบผลิตแบบออฟกริด	0.10...0.40
ระบบไฮบริดโดยมีการใช้เชื้อเพลิง	0.40...0.60

ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวัน (E_{load}) โดยเลือกใช้ค่าพลังงานเฉลี่ยจาก load profile ปี 2563 ที่มีค่า 14.77 kW และค่าพลังงานที่อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงาน 8 kWh/วัน หรือ 23,000 km/ปี มาใช้ในการคำนวณค่า Ppeak โดยแทนค่าในสมการที่ 3.1 จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบผลิตฯ 6.1 kWp แต่จากการใช้โปรแกรมจำลองพิจารณาเพื่อ Optimization จะออกแบบการติดตั้ง Solar rooftop โดยใช้ขนาดการติดตั้ง 15.87 kWp เพื่อแสดงให้เห็นปริมาณการซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้านครหลวงในอนาคต

3.8 การออกแบบจำลองโปรแกรมเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

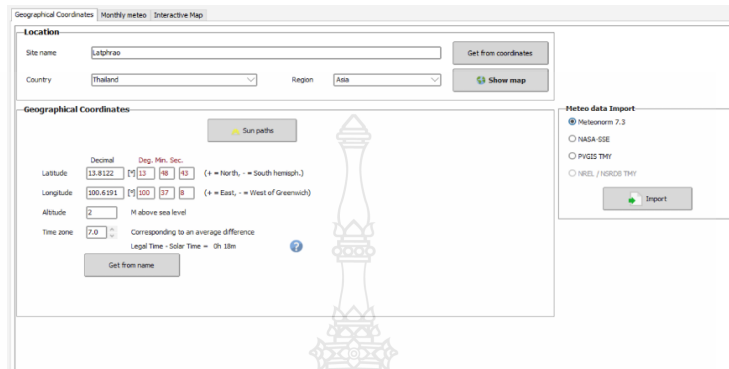
จากการจำลองสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp มีค่าสมรรถนะของระบบผลิตฯ เท่ากับ 76.60% มีขั้นตอนในตามหัวข้อที่ 3.8.1 – 3.8.13

3.8.1 เขียนแบบวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Trina Tallmax plus ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Module) แผงละ 345 W จำนวน 46 แผง ใช้พื้นที่ในการวางแผงบนหลังคาทั้งหมด 92 m² สำหรับระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp โดยจำลองการวางแผงฯ ในโปรแกรม Sketchup ดังรูปที่ 3.25



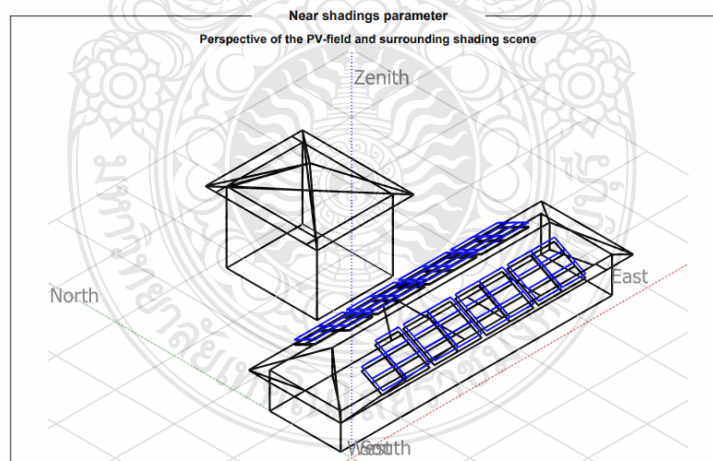
รูปที่ 3.25 วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Trina Tallmax plus สำหรับระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp

3.8.2 หาค่าสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้วยโปรแกรมจำลอง PVsyst โดยกำหนดค่าพิกัดของพื้นที่ เขตลาดพร้าว ในกรุงเทพฯ และใช้ข้อมูลแสง สภาพอากาศจากซอฟต์แวร์ Meteororm 7.3 การจำลองดังรูปที่ 3.26



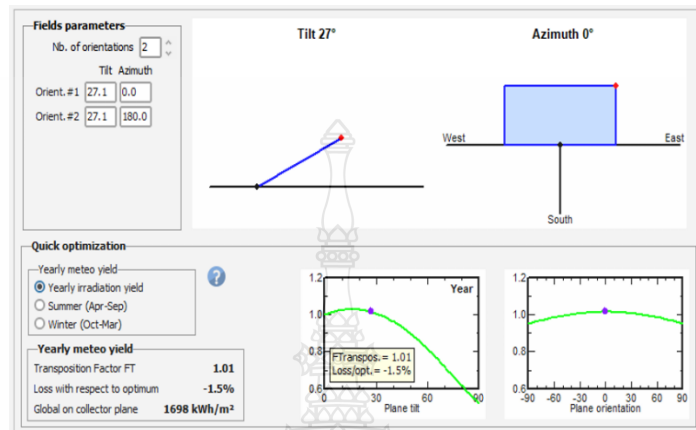
รูปที่ 3.26 กำหนดค่าตำแหน่งที่ตั้งสำหรับการ Simulation

3.8.3 แปลงไฟล์การติดตั้งระบบผลิตฯ จากโปรแกรม Sketchup โดยแปลงจากภาพ 3 มิติเป็นภาพ 2 มิติ ลงในโปรแกรม จำลอง PVsyst โดยมีการเช็คทิศการวางแผงฯ ตามทิศการติดตั้งจริง ดังรูปที่ 3.27



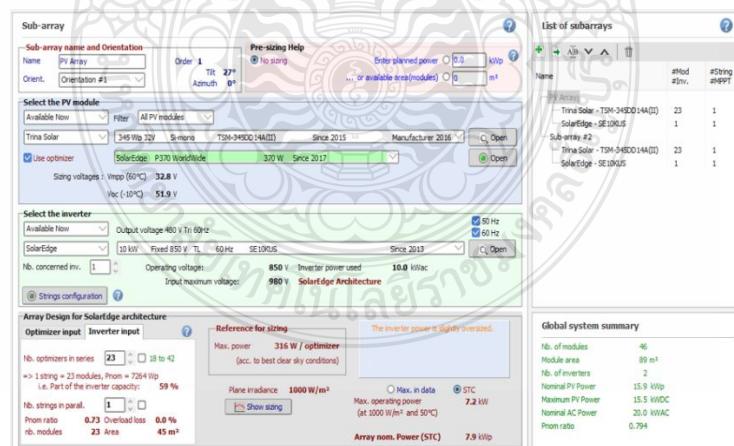
รูปที่ 3.27 แปลงไฟล์การติดตั้งระบบผลิตฯ จากโปรแกรม Sketchup ลงในโปรแกรม PVsyst

3.8.4 เช็คค่ามุมการวางแผงฯ ในโปรแกรม PVsyst โดยเช็คค่ามุมการวางแผงฯ ตามหลังคาได้ 27 องศา โดยมีมุมอะซิมุทที่ 0 ในการวางแผงฯ ทิศเหนือ และมุมอะซิมุทที่ 180 ในการวางแผงฯ ทิศใต้ และกำหนดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ทั้งปี ดังรูปที่ 3.28



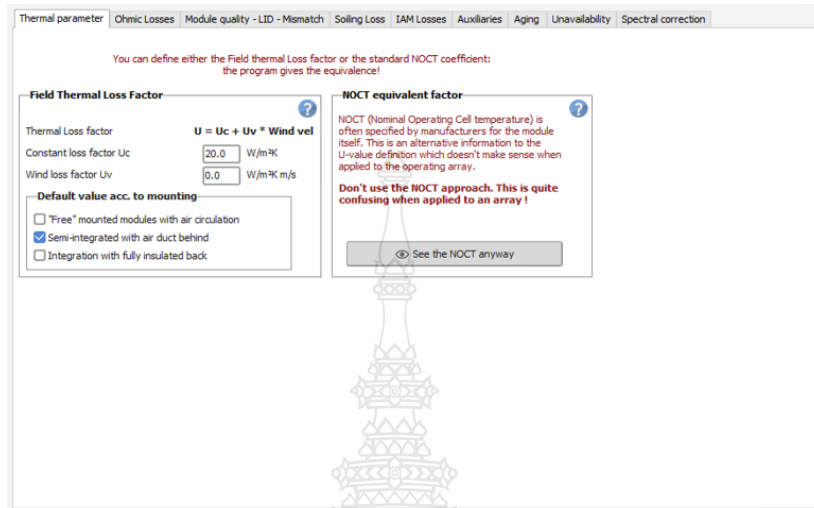
รูปที่ 3.28 เช็คค่ามุมการวางแผงฯ, มุมอะซิมุท และกำหนดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

3.8.5 เลือกแผงฯ ชนิด Trina Solar ขนาด 345W โดยใช้ Optimizer ขนาด 370W และเลือก Inverter ชนิด Solar Edge ขนาด 10 kW รุ่น SE10KUS ตามรายชื่อ Inverter ที่ทำการทดสอบของการไฟฟ้านครหลวง และทำการกำหนดจำนวนแผงต่อสตริง ของทั้ง 2 ทิศทางการวางแผงฯ ดังรูปที่ 3.29



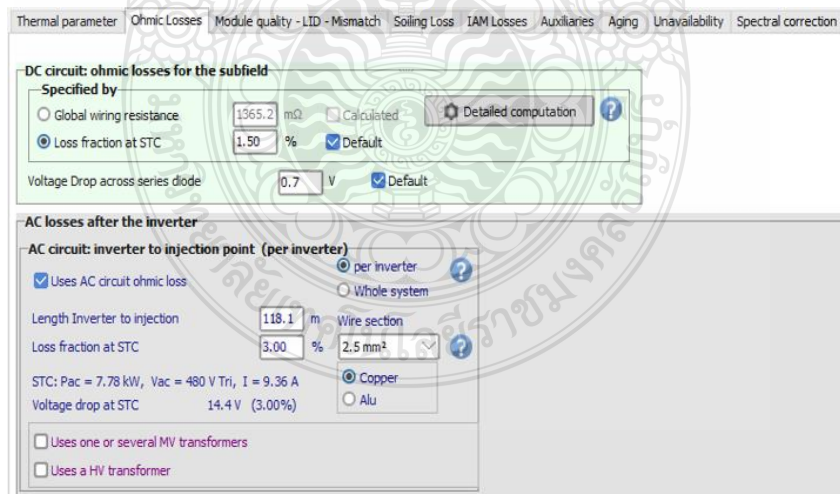
รูปที่ 3.29 เลือกขนาดและชนิดของอินเวอร์เตอร์และแผงโซลาร์เซลล์

3.8.6 กำหนดลักษณะอากาศไหลเวียนใต้แผงโซลาร์เซลล์เป็นแบบ Semi-integrated with air duct behind เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการติดตั้งแผงฯ โดยมีค่ากำลังสูญเสียที่ $20\text{W/m}^2\text{K}$ ตามรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 กำหนดลักษณะอากาศไหลเวียนใต้แผงโซลาร์เซลล์

3.8.7 กำหนดกำลังสูญเสียที่เกิดจากแรงดันตกที่ด้าน DC ที่ 1.5% และที่ด้าน AC ที่ 3% ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 กำหนดค่าความสูญเสียแรงดันตกทั้งด้าน DC และ AC ในระบบผลิตฯ

3.8.8 กำหนดค่ากำลังสูญเสียของแผงฯ ด้านประสิทธิภาพของแผงฯ เป็นค่าเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.32

The screenshot shows a software interface with a navigation bar at the top containing the following tabs: Thermal parameter, Ohmic Losses, Module quality - LID - Mismatch, Soiling Loss, IAM Losses, Auxiliaries, Aging, Unavailability, and Spectral correction. The 'Module quality - LID - Mismatch' tab is selected. The interface is divided into four main sections:

- Module quality:** Module efficiency loss is set to -0.4% (checkbox checked). Description: Deviation of the average effective module efficiency with respect to manufacturer specifications. (negative value indicates over-performance).
- Module mismatch losses:** Power Loss at MPP is 0.0% (checkbox checked). Loss when running at fixed voltage is 0.0% (checkbox checked). A note states: Module-level optimizers: no Mismatch Loss. A 'Detailed computation' button is present.
- LID - Light Induced Degradation:** LID loss factor is 2.0% (checkbox checked). Description: Degradation of crystalline silicon modules in the first operating hours with respect to the manufacturing flash test STC values.
- Strings voltage mismatch:** Power Loss at MPP is 0.0% (checkbox checked). A 'Detailed study' button is present.

รูปที่ 3.32 กำหนดค่าความสูญเสียที่เกิดจากแผงโซลาร์เซลล์ในระบบผลิตฯ

3.8.9 กำหนดค่าความสูญเสียที่เกิดจากความสกปรกของแผงแต่ละปี เป็นค่าเริ่มต้นที่ 3% ดังรูปที่ 3.33

The screenshot shows a software interface with a navigation bar at the top containing the following tabs: Thermal parameter, Ohmic Losses, Module quality - LID - Mismatch, Soiling Loss, IAM Losses, Auxiliaries, Aging, Unavailability, and Spectral correction. The 'Soiling Loss' tab is selected. A blue banner at the top of the main content area reads: 'Soiling losses parameters are defined for the whole system'. The 'Soiling Loss' section contains the following controls:

- Yearly soiling loss factor:** Yearly loss factor is set to 3.0% (checkbox checked). A 'Define monthly values' checkbox is present and unchecked.

รูปที่ 3.33 กำหนดค่าความสูญเสียที่เกิดจากความสกปรกของแผงโซลาร์เซลล์ในระบบผลิตฯ

3.8.10 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผงฯ เป็นค่าเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.34

Spectral correction parameters are defined for the whole system

Thermal parameter Ohmic Losses Module quality - LID - Mismatch Soiling Loss IAM Losses Auxiliaries Aging Unavailability Spectral correction

Use spectral correction in simulation

FirstSolar model

According to PV module technology

C0: 0.8591400 Coefficient Set Monocrystalline Si Default

C1: -0.0208800

C2: -0.0058853

C3: 0.1202900

C4: 0.0268140

C5: -0.0017810

Meteo input Relative humidity is available in the Meteo variables. It will be used to estimate the precipitable water column

PV modules Spectral correction is only possible if all PV modules are of the same type

รูปที่ 3.34 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผงโซลาร์เซลล์



3.8.11 ตรวจสอบผลการจำลองระบบผลิตฯ จากโปรแกรม PVsyst ทั้งทางด้านขนาดติดตั้ง, จำนวนแผง และกำลังสูญเสียในระบบผลิตฯ ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.35

PV Array Characteristics			
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	16 kWp	Total power	20 kWac
Total	46 modules	Number of inverters	2 units
Module area	89.3 m ²	Pnom ratio	0.79
Cell area	80.2 m ²		

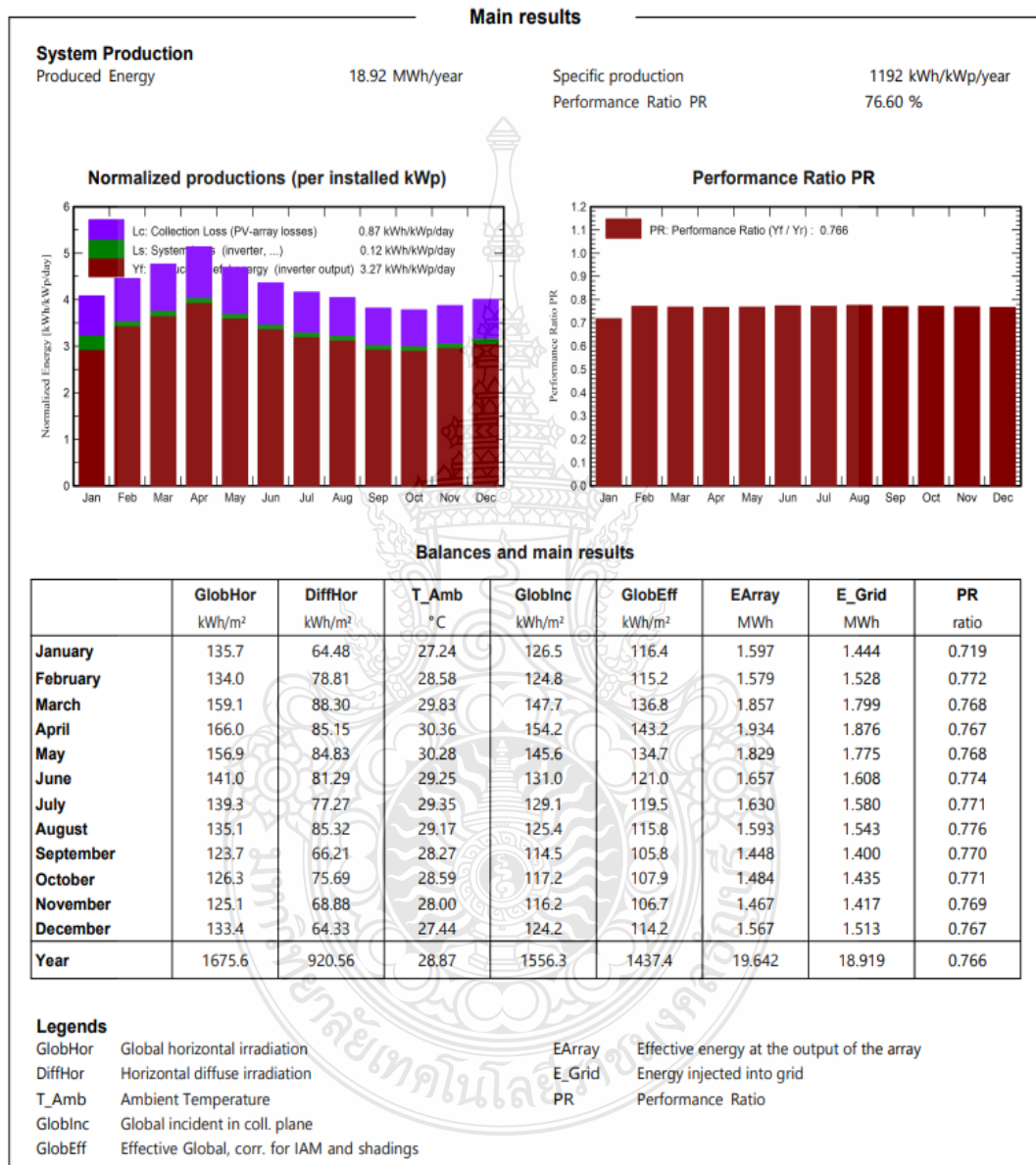
Array losses			
Array Soiling Losses		Thermal Loss factor	
Loss Fraction	3.0 %	Module temperature according to irradiance	
		Uc (const)	20.0 W/m ² K
		Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s
Series Diode Loss		LID - Light Induced Degradation	
Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	2.0 %
Loss Fraction	0.1 % at STC		
Module mismatch losses		IAM loss factor	
Loss Fraction (Fixed voltage)	0.0 %	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cos ⁱ - 1)	
		bo Param.	0.05
		DC wiring losses	
		Global array res.	1365 mΩ
		Global wiring resistance	683 mΩ
		Loss Fraction	1.5 % at STC
		Module Quality Loss	
		Loss Fraction	-0.4 %

System losses	
Unavailability of the system	
Time fraction	2.0 %
	7.3 days
	3 periods

AC wiring losses			
Inv. output line up to injection point			
Inverter voltage	480 Vac tri		
Loss Fraction	1.50 % at STC		
Inverter: SE10KUS		Inverter: SE10KUS	
Wire section (1 Inv.)	Copper 1 x 3 x 3 mm ²	Wire section (1 Inv.)	Copper 1 x 3 x 2 mm ²
Wires length	118 m	Wires length	0 m

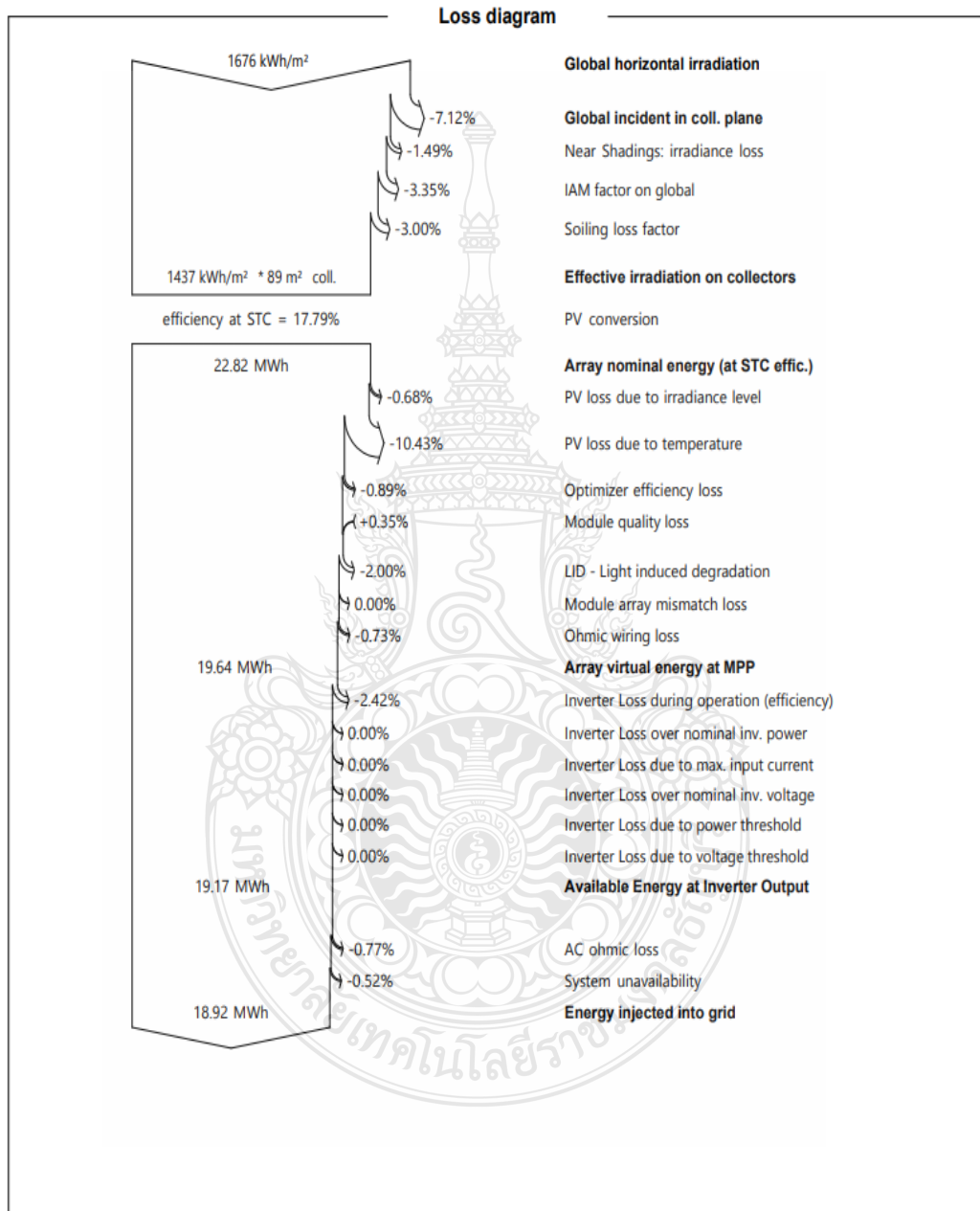
รูปที่ 3.35 ผลข้อมูลจำลองระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp ด้วยโปรแกรม PVsyst

3.8.12 ผลการจำลองระบบผลิตฯ จากโปรแกรม PVsyst โดยจะนำค่าพลังงานที่เข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้า (E_Grid) ในแต่ละเดือน และค่าสมรรถนะของระบบผลิตมาใช้ในโปรแกรมจำลอง Homer Grid และนำมาคิดหาจุดคุ้มค่าในการลงทุน ต่อไป ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ผลข้อมูลจำลองระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังผลิต 16.56 kWp ด้วยโปรแกรม PVsyst

3.8.13 ตรวจสอบค่าความสูญเสียของระบบผลิตฯ ที่เกิดจาก ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์, ความสกปรกของแผงฯ ที่เกิดขึ้น, ระบบติดตั้ง, ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ ด้วยโปรแกรมจำลอง PVsyst ดังรูปที่ 3.37

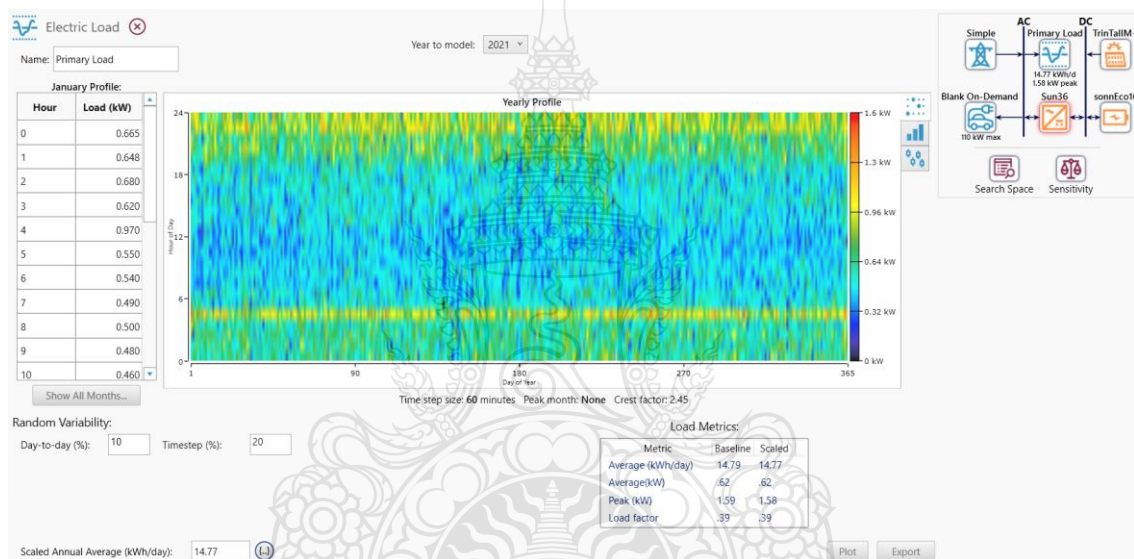


รูปที่ 3.37 ผลข้อมูลจำลองค่าความสูญเสียของระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp ด้วยโปรแกรม PVsyst

3.9 จำลองระบบติดตั้งการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย

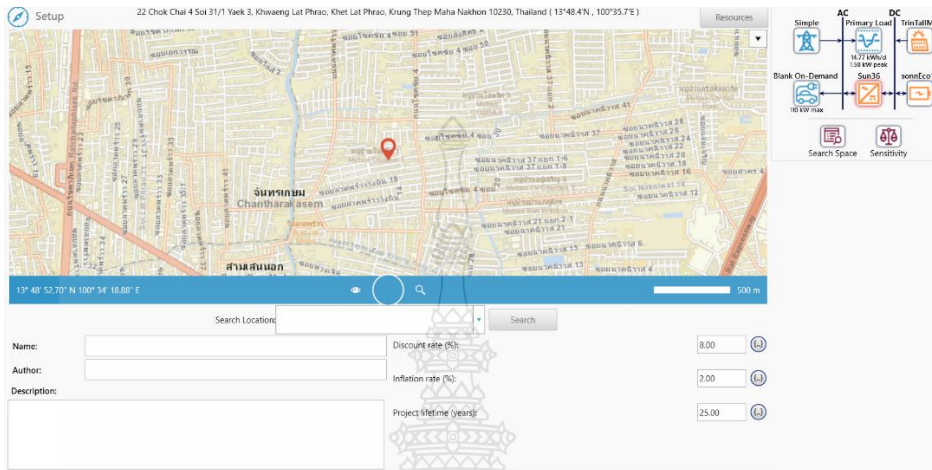
จำลองระบบ Microgrid ที่เชื่อมกับโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยใช้ระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและมีระบบแบตเตอรี่เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว โดยมีขั้นตอน 3.9.1 – 3.9.7 สำหรับจำลองระบบด้วยโปรแกรม Homer Grid

3.9.1 ใส่ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ. 2563 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการไฟฟ้านครหลวงมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 14.77 kWh ลงในโปรแกรม Homer Grid ดังรูปที่ 3.38



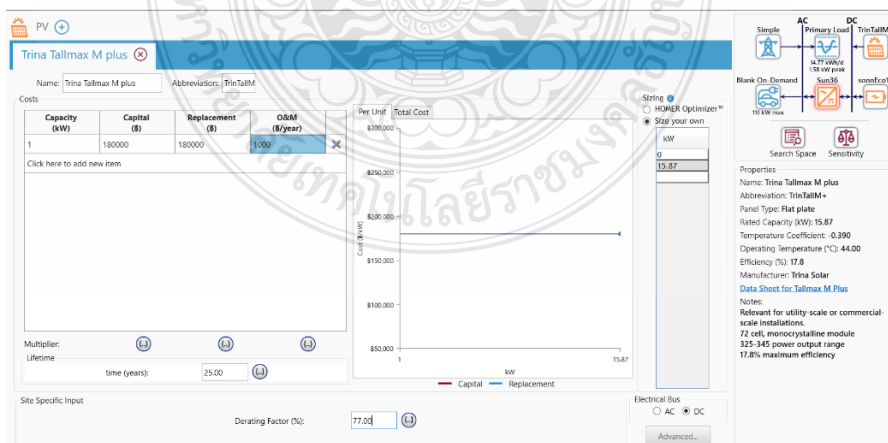
รูปที่ 3.38 ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในโปรแกรมจำลอง Homer Grid

3.9.2 เลือกแผนที่สำหรับการจำลองข้อมูลโดยใช้พิกัด ละติจูด $13^{\circ}48.2'N$ และลองจิจูด $100^{\circ}36.3'E$ แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยดึงข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ, ลม, และความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จาก NASA Prediction of Worldwide Resource ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 เลือกแผนที่สำหรับจำลองข้อมูลในโปรแกรมจำลอง Homer Grid

3.9.3 เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น Trina Tallmax plus ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Module) แผงละ 345 W สำหรับระบบผลิตฯ ขนาดกำลังผลิต 15.87 kWp จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Sketch up และใส่ค่าสมรรถนะของระบบผลิตฯ จากการออกแบบจำลองในโปรแกรม PVSyst แล้วใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาลงในโปรแกรม Homer Grid ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกำหนดขนาดของระบบผลิตฯ ในโปรแกรมจำลอง Homer Grid

3.9.4 เลือก Inverter ชนิด Bidirectional รุ่น SolarEdge Technologies Ltd. SE33.3KUS ขนาด 33.3 kW สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ดังรูปที่ 3.41

Converter ✕

SolarEdge Technologies Ltd. SE33.3KUS ▼ Name: SolarEdge Technologies Ltd
 Complete Catalog Abbreviation: Sol33.3

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$90,000.00	\$90,000.00	\$1,000.00
Click here to add new item			

Multiplier: [(-)] [(-)] [(-)]

Inverter Input

Lifetime (years): 15.00 [(-)]
 Efficiency (%): 98.50 [(-)]

Rectifier Input

Relative Capacity (%): 0.00 [(-)]
 Efficiency (%): 100.00 [(-)]

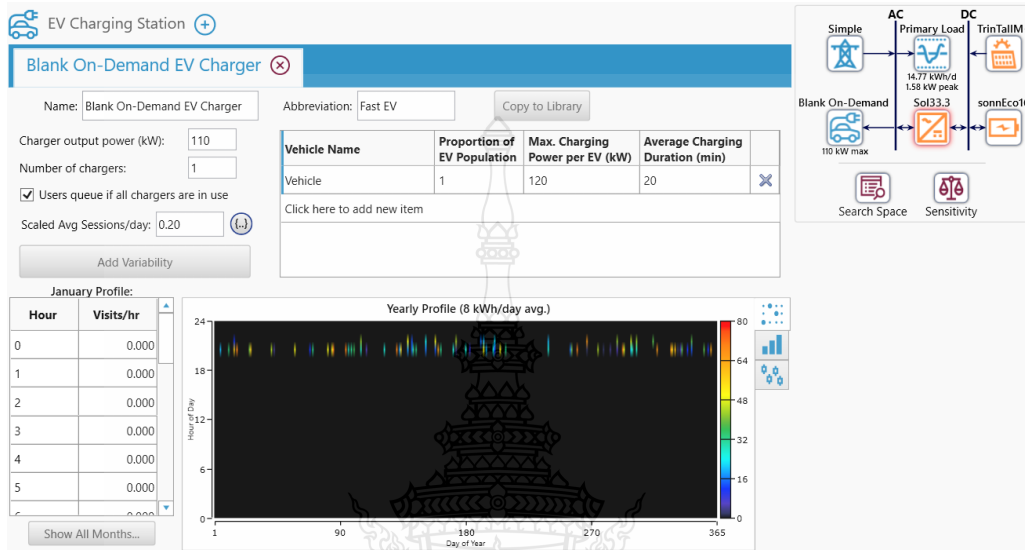
Sizing ●

HOMER Optimizer™
 Size your own

kW
 0
 33.3

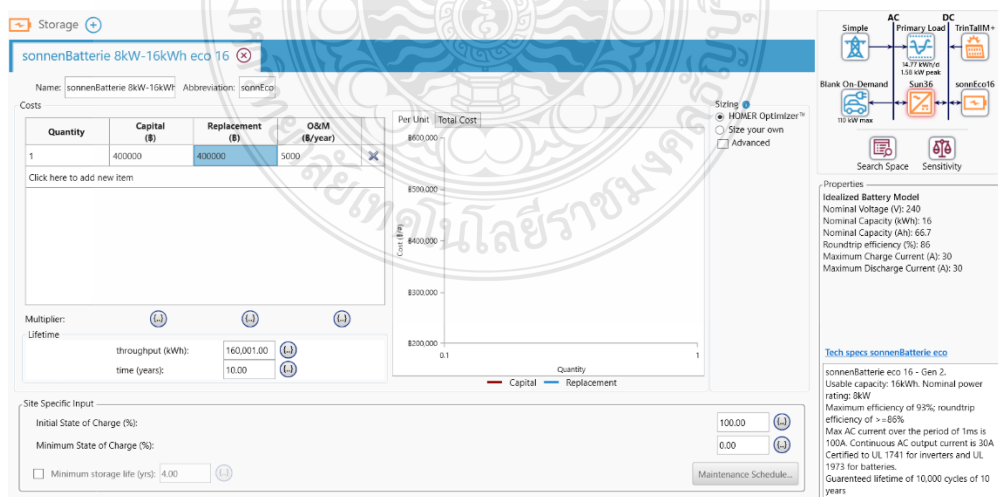
รูปที่ 3.41 เลือกชนิดและขนาดอินเวอร์เตอร์ในโปรแกรมจำลอง Homer Grid

3.9.5 เลือกระบบการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว โดยเฉลี่ยใช้เวลาการอัดประจุ 20 นาที โดยมีค่า Charger output power เท่ากับ 120 kW โดยจำลองจากยานยนต์ไฟฟ้าที่ห้อยที่ 4 มีขนาดกำลังเครื่องยนต์อยู่ที่ 110 kW ดังรูปที่ 3.42



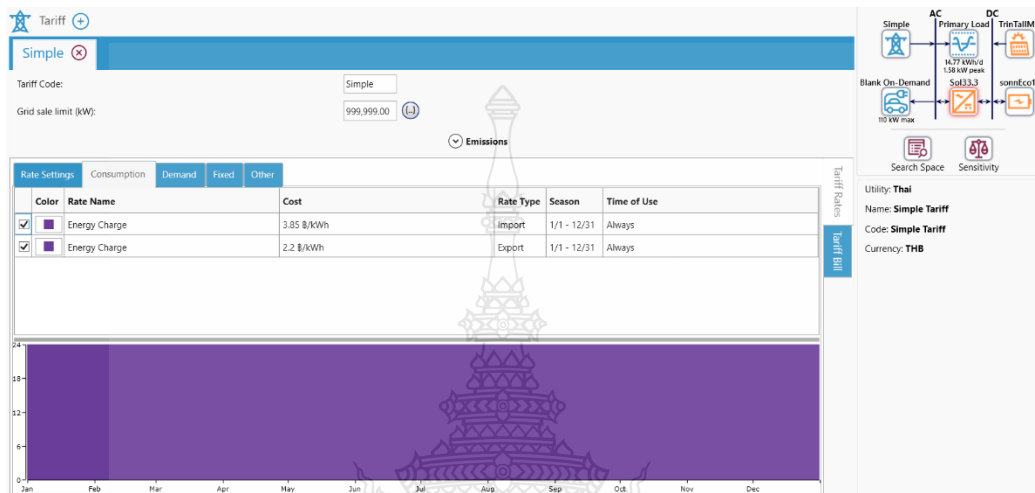
รูปที่ 3.42 เลือกระบบการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว

3.9.6 เลือกแบตเตอรี่ชนิด LFP ขนาด 16 kWh มีค่า Maximum Charge Current และ Maximum Discharge Current เท่ากับ 30 A โดย ในโปรแกรม Homer Grid ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 เลือกแบตเตอรี่ชนิด LFP ขนาด 16 kWh ในโปรแกรม Homer Grid

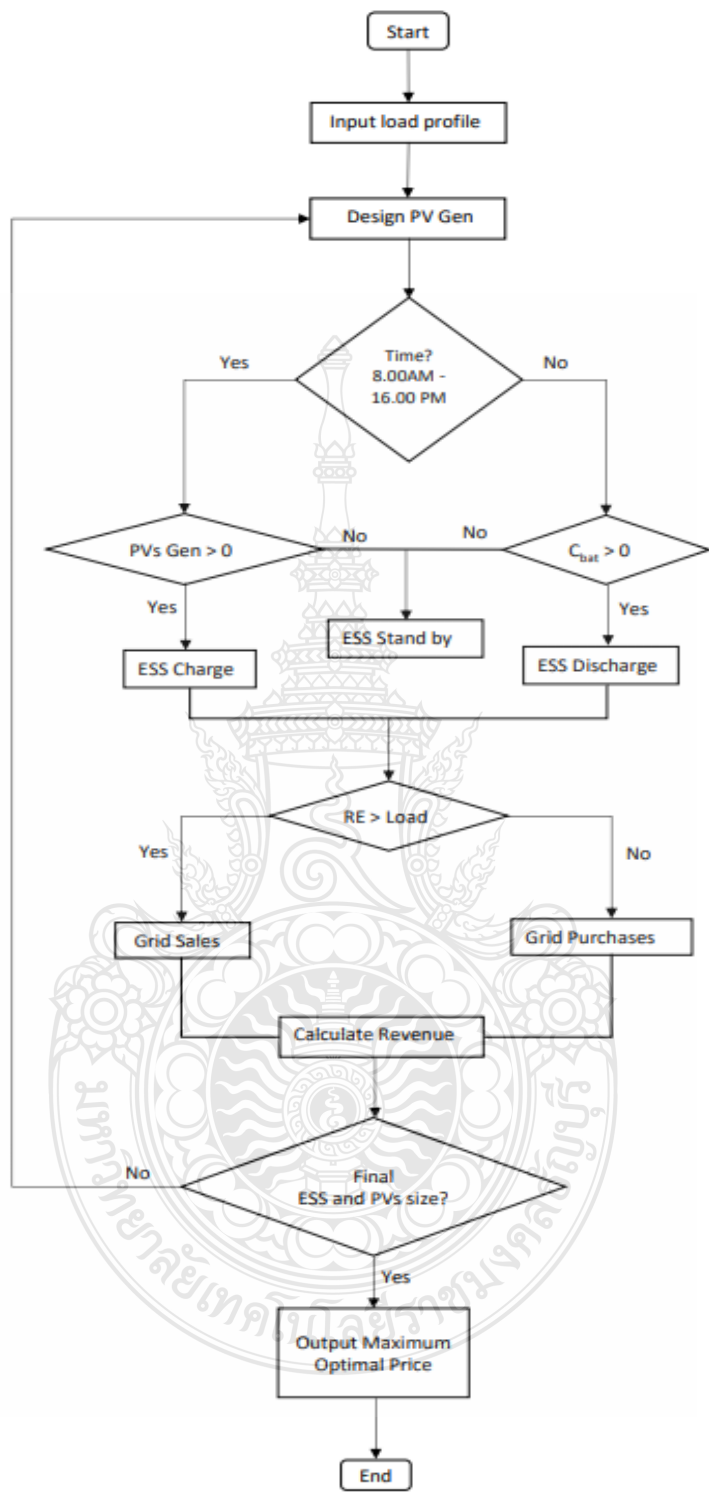
3.9.7 เลือกใช้พลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับการออกแบบระบบ Microgrid เพื่อรองรับการใช้พลังงานและการรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในโปรแกรม Homer Grid ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 เลือกใช้พลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าโปรแกรม Homer Grid

3.10 บทสรุป

จากการดำเนินงานวิทยานิพนธ์นั้นได้แสดงถึงการออกแบบระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยโดยจำลองด้วยโปรแกรม Sketchup, PVSyst และ Homer Grid และนำข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า (load profile) ของชุมชนบ้านพักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน จำนวน 119 หลัง ในปี พ.ศ.2563 จากการไฟฟ้านครหลวงเพื่อจำลองระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (PVs Gen) โดยกรณี PVs Gen มีค่ามากกว่า 0 ช่วงเวลา 8.00 น. - 16.00 น. จะทำการอัดประจุเข้าระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) แต่ถ้าไม่ใช่ช่วงเวลา 8.00 น. - 16.00 น. ต้องเช็คค่าความจุของแบตเตอรี่ (C_{batt}) มีค่ามากกว่า 0 หรือใหม่ เพื่อให้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) คายประจุสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ในกรณีที่ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (RE) มากกว่าโหลด (Load) ที่ใช้งานทั้งหมด ระบบไมโครกริดจะขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้า แต่ถ้าระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (RE) น้อยกว่าโหลด (Load) ที่ใช้งานทั้งหมดระบบไมโครกริดจะซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ทำให้สามารถประเมินหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) และขนาดติดตั้งระบบผลิตฯ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนให้ได้มีความเหมาะสมตาม flowchart รูปที่ 3.45 โดยสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องได้ในเนื้อหาบทถัดไป



รูปที่ 3.45 Flowchart วิเคราะห์การทำงานของระบบ Microgrid และการหาจุดคุ้มทุน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

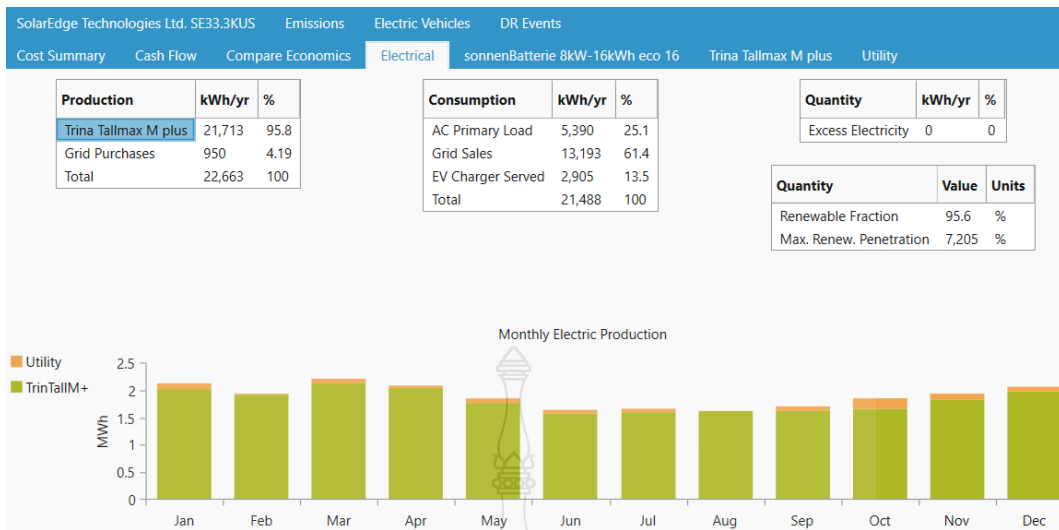
4.1 บทนำ

การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคตกับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ด้วยโปรแกรม Homer Grid โดยจำลอง กำลังติดตั้งระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15.87 kWp นั้น เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW และค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จ 8 kW ยี่ห้อที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW, 110 kW, 120 kW และ 110 kW ตามลำดับ โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. พร้อมทั้งเปรียบเทียบด้านพลังงานสำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าทั้งแบบเร็วและแบบปกติของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละยี่ห้อและวิเคราะห์ด้านการเงินโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 4 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ซึ่งสามารถนำเสนอได้ดังนี้ [31–34]

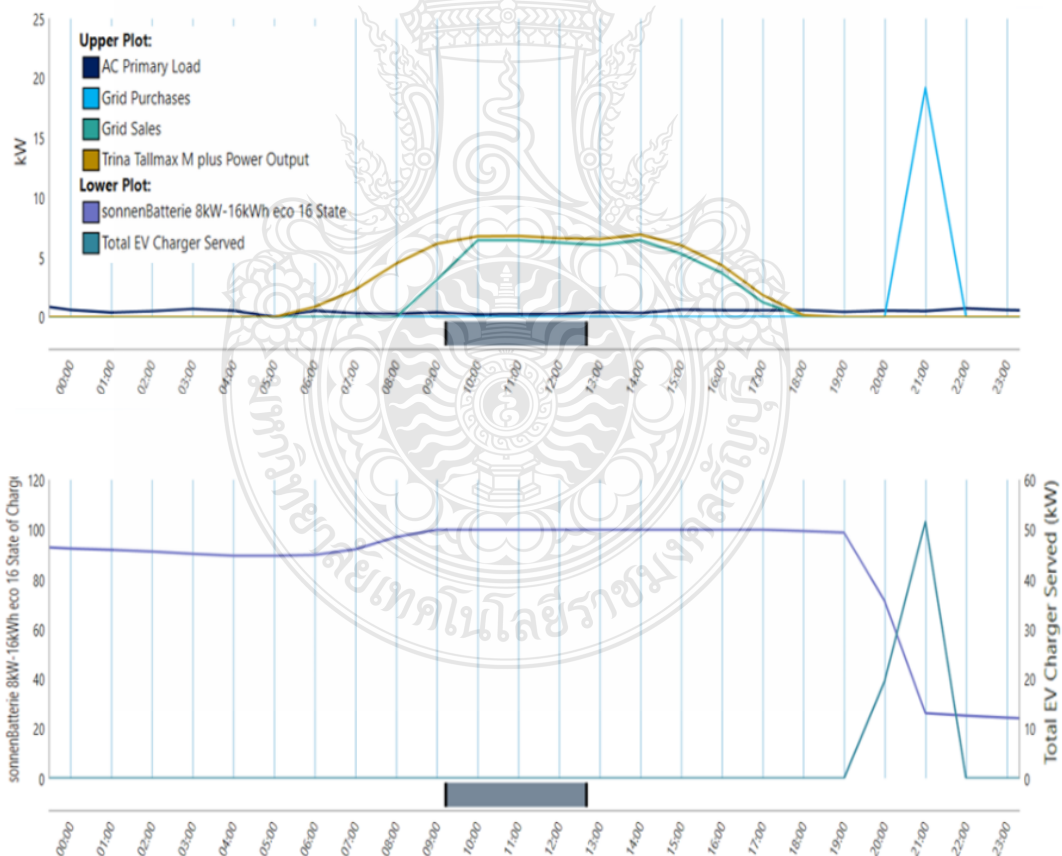
4.2 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ด้วยโปรแกรม Homer Grid

ข้อมูลจากโปรแกรมจำลอง Homer Grid ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย บ้านพักอาศัยที่ติดตั้งโซลาร์รูฟท็อป และมีระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LPF) เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ได้แก่

4.2.1 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW

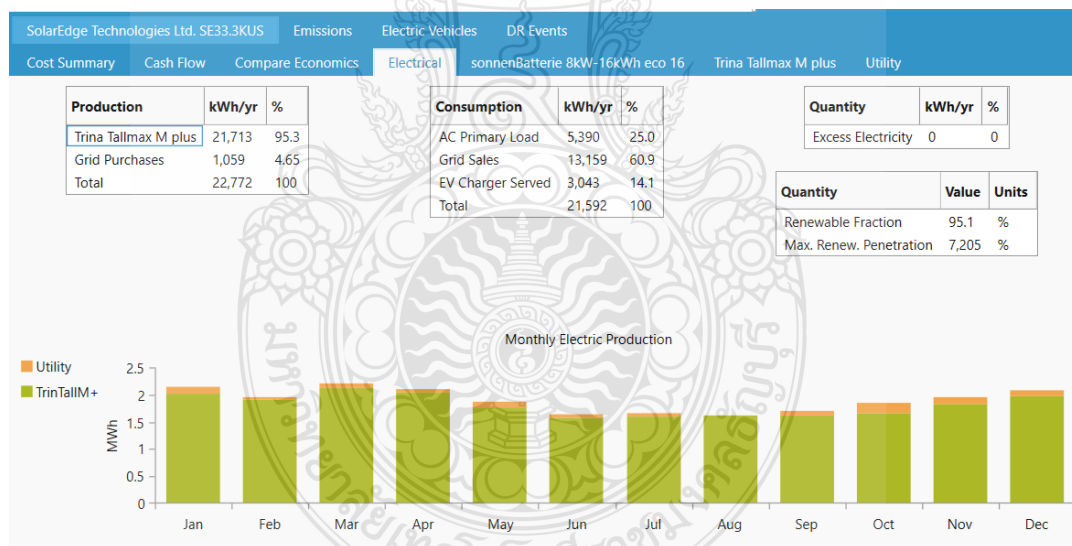


รูปที่ 4.2 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

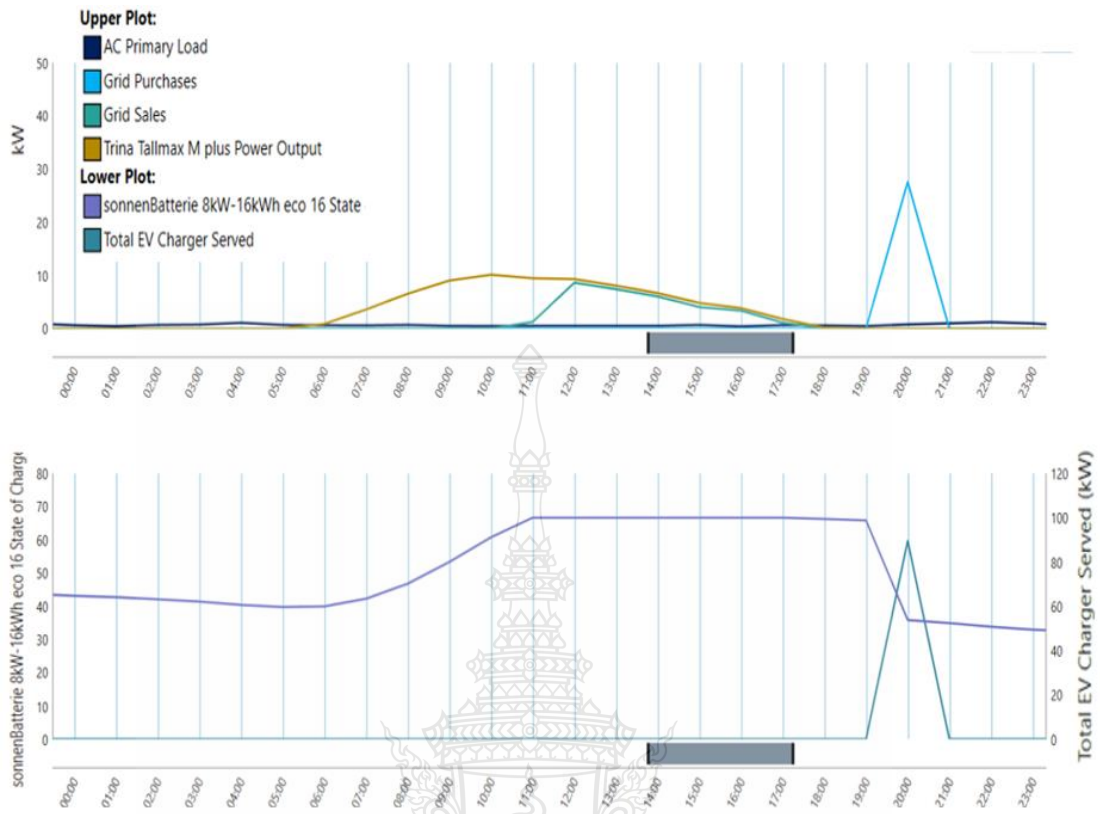
จากรูป 4.1 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,713 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 950 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 1 อยู่ที่ 2,951 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้การไฟฟ้าอยู่ที่ 13,193 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,663 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.2 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. – 17.00 น. ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ในช่วง 19.00 น. – 22.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 50 kW, ช่วงเวลาที่มีการขายไฟฟ้าให้กับ กปน. ในช่วง 8.00 น. – 18.00 น. และช่วงเวลาที่มีการซื้อไฟฟ้าจาก กปน. ในช่วง 20.00 น. – 22.00 น.

4.2.2 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 2 มีกำลังเครื่องยนต์ 110 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 2 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW

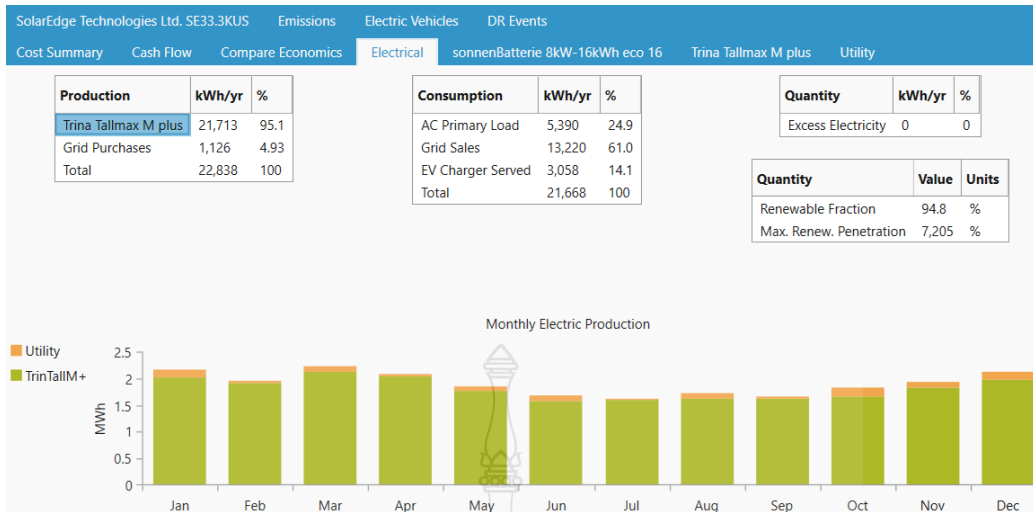


รูปที่ 4.4 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อ 2, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

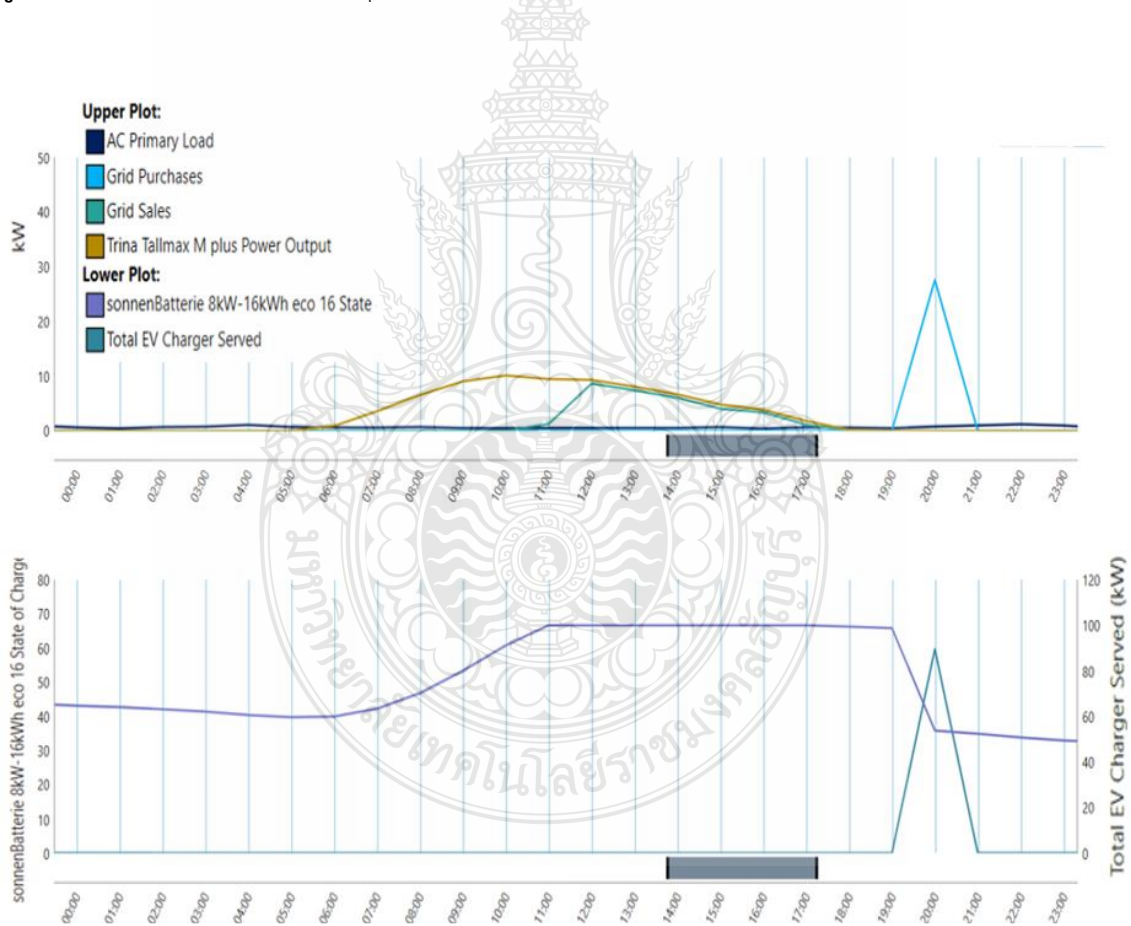
จากรูป 4.3 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,713 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 1,059 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อ 2 อยู่ที่ 3,043 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกรไฟฟ้าอยู่ที่ 13,159 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,772 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.4 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. – 17.00 น. ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LFP เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ในช่วง 19.00 น. – 21.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 90 kW, ช่วงเวลาที่มีการขายไฟฟ้าให้กับ กฟน. ในช่วง 11.00 น. – 17.00 น. และช่วงเวลาที่มีการซื้อไฟฟ้าจาก กฟน. ในช่วง 19.00 น. – 21.00 น.

4.2.3 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 120 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 – 4.6



รูปที่ 4.5 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW

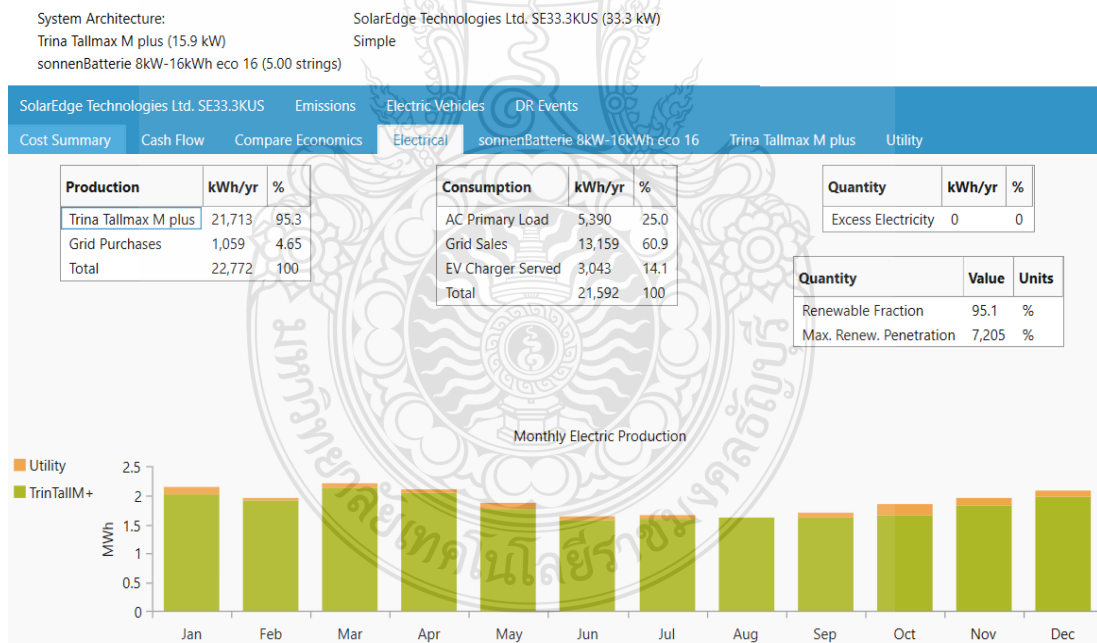


รูปที่ 4.6 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

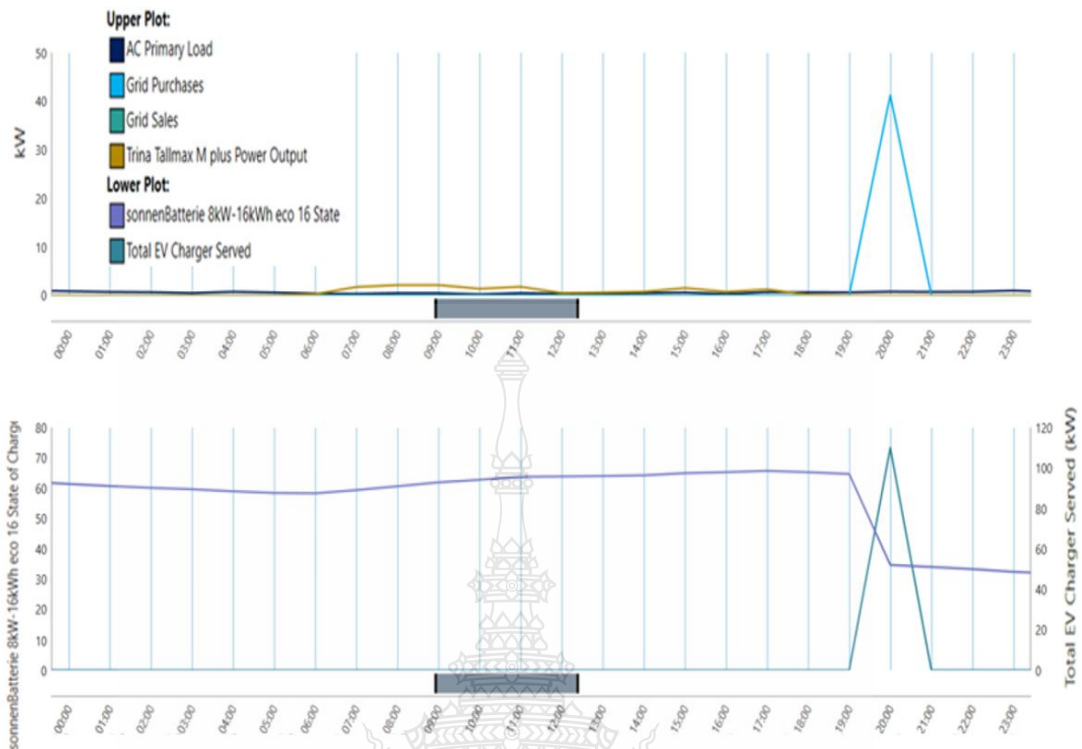
จากรูป 4.5 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,713 kWh/ปี, ซึ่งพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 1,126 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 3 อยู่ที่ 3,058 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าอยู่ที่ 13,220 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,838 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.6 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. – 17.00 น., ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ในช่วง 19.00 น. – 21.00 น. ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 20 kW และช่วงเวลาที่มีการขายไฟฟ้าให้กับ กปน. ในช่วง 8.00 น. – 17.00 น.

4.2.4 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 110 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 – 4.8



รูปที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วยี่ห้อที่ 4 สำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW



รูปที่ 4.8 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วหือ 4, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

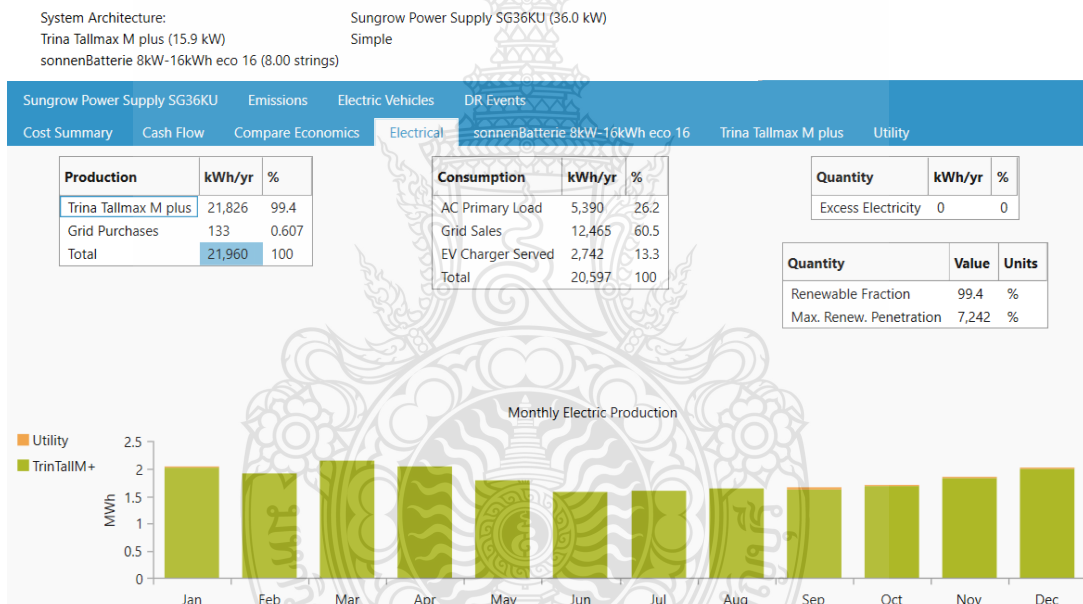
จากรูป 4.7 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,713 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 1,059 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วหือที่ 4 อยู่ที่ 3,043 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้การไฟฟ้าอยู่ที่ 13,159 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,772 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.8 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. - 17.00 น. แต่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำเนื่องจากไม่มีแสงแดดเลยในวันที่แสดงกราฟ , ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ในช่วง 19.00 น. - 21.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 110 kW และช่วงเวลาที่มีการซื้อไฟฟ้าให้กับ กพน. ในช่วง 19.00 น. - 21.00 น.

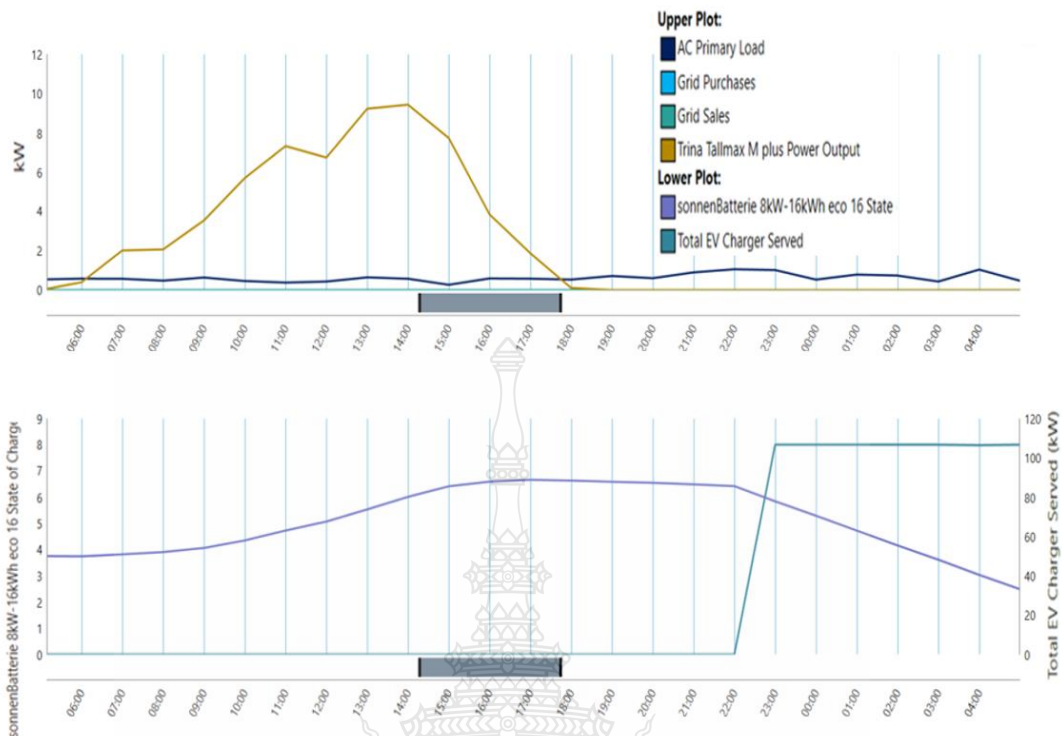
4.3 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ด้วยโปรแกรม Homer Grid

ข้อมูลจากโปรแกรมจำลอง Homer Grid ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย บ้านพักอาศัยที่ติดตั้ง Solar rooftop และมีระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LFP) เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ได้แก่

4.3.1 การวิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 1 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ตั้งแต่เวลา 20.00 น. แบบสุ่มเวลาอัดประจุ รวมระยะเวลาในการอัดประจุ 8 ชม. โดยจำลองด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 - 4.10



รูปที่ 4.9 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 1 สำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW

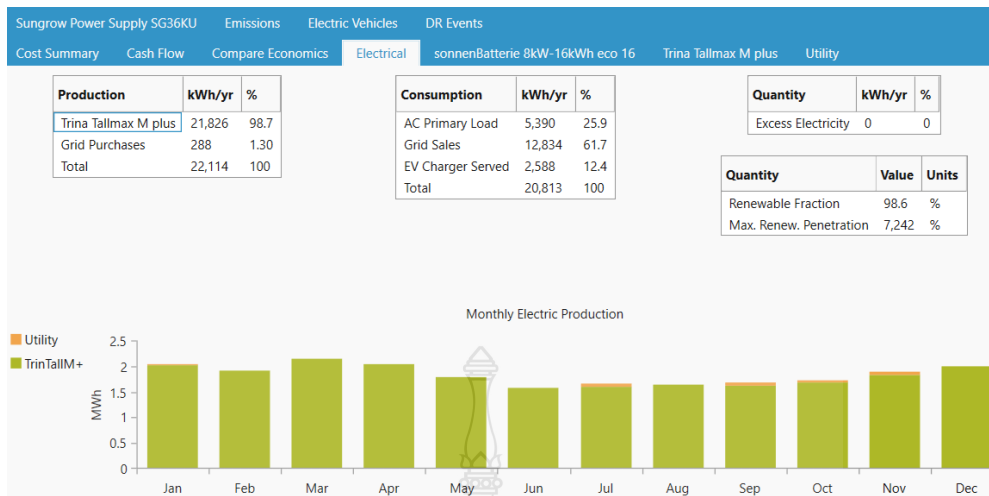


รูปที่ 4.10 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติที่ 1, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

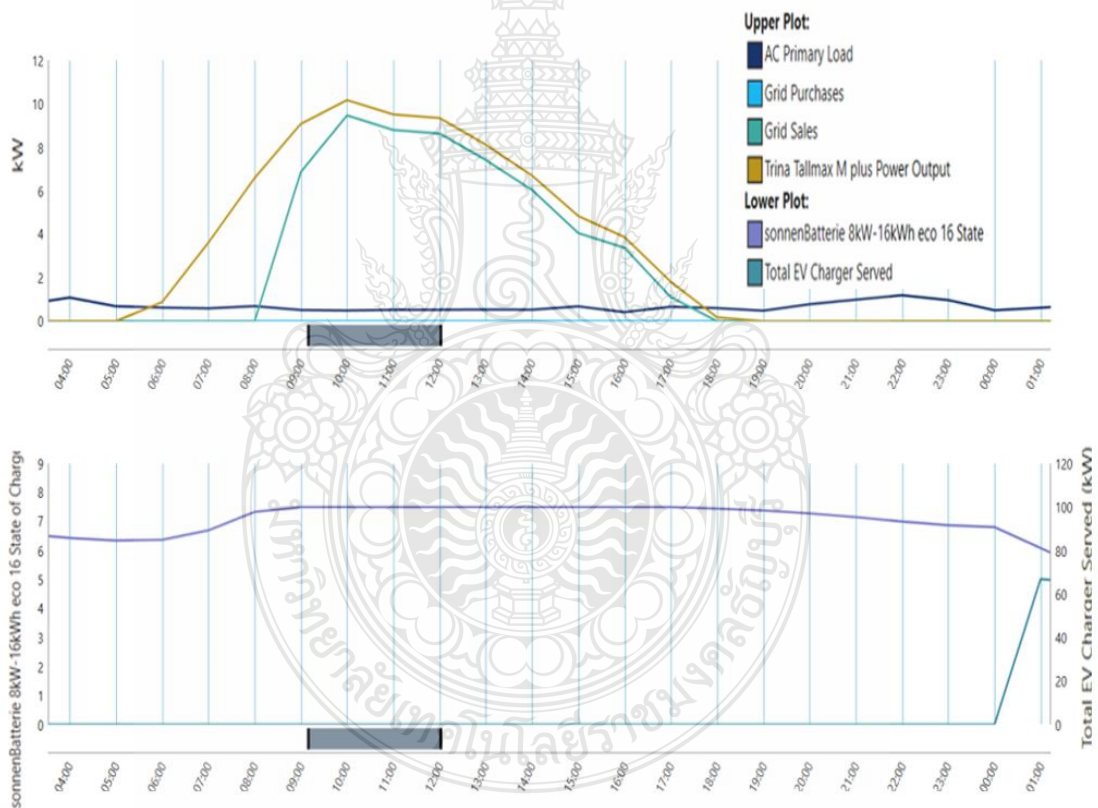
จากรูป 4.9 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,826 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 133 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติที่ 1 อยู่ที่ 2,742 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าอยู่ที่ 12,465 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 21,960 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.10 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. -17.00 น., ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ ในช่วง 22.00 น. – 6.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 106 kW

4.3.2 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อ 2 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 110 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ สำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 – 4.12



รูปที่ 4.11 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 สำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW



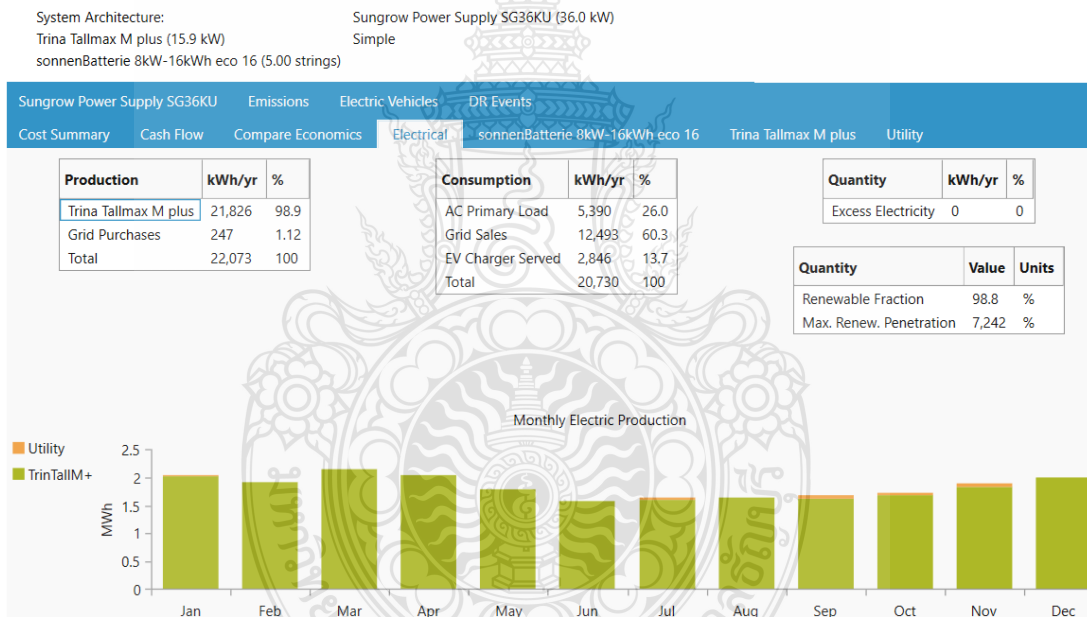
รูปที่ 4.12 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

จากรูป 4.11 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,826 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 288 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 2 อยู่

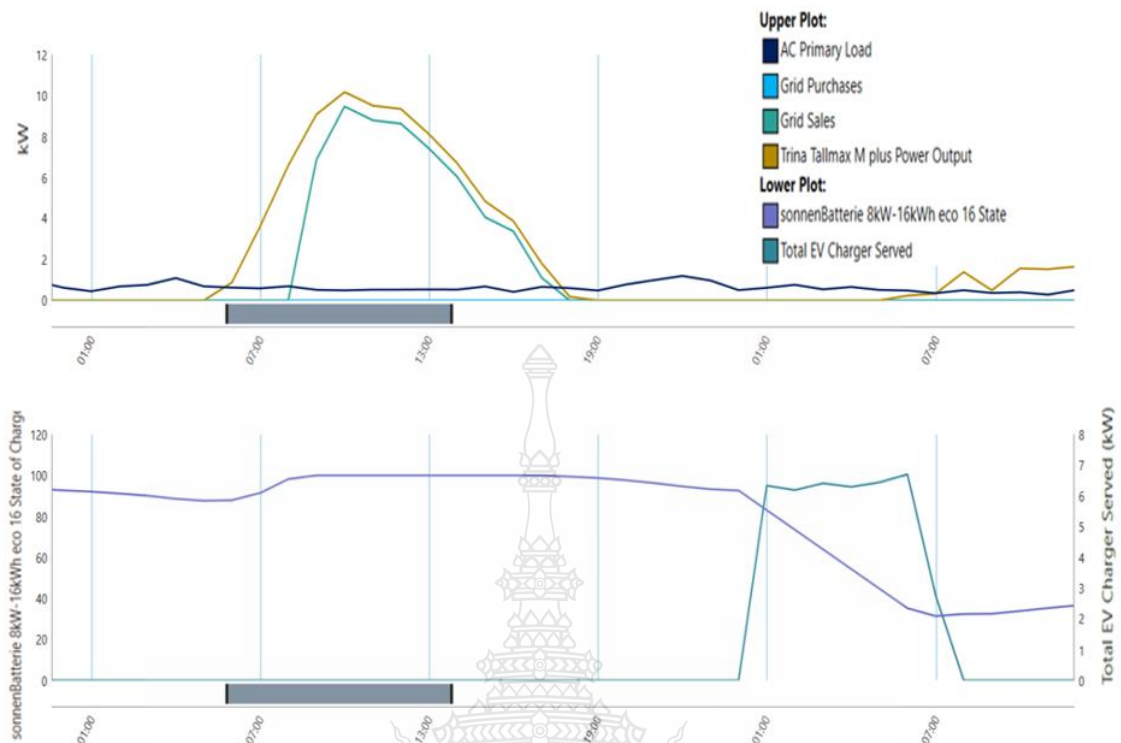
ที่ 2,742 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้การไฟฟ้าอยู่ที่ 12,834 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,114 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.12 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. -17.00 น., ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ ในช่วง 00.00 น. – 8.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 70 kW และมีการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับ กฟน. ในช่วง 8.00 น. – 18.00 น.

4.3.3 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 3 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 120 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 – 4.14



รูปที่ 4.13 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 สำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW



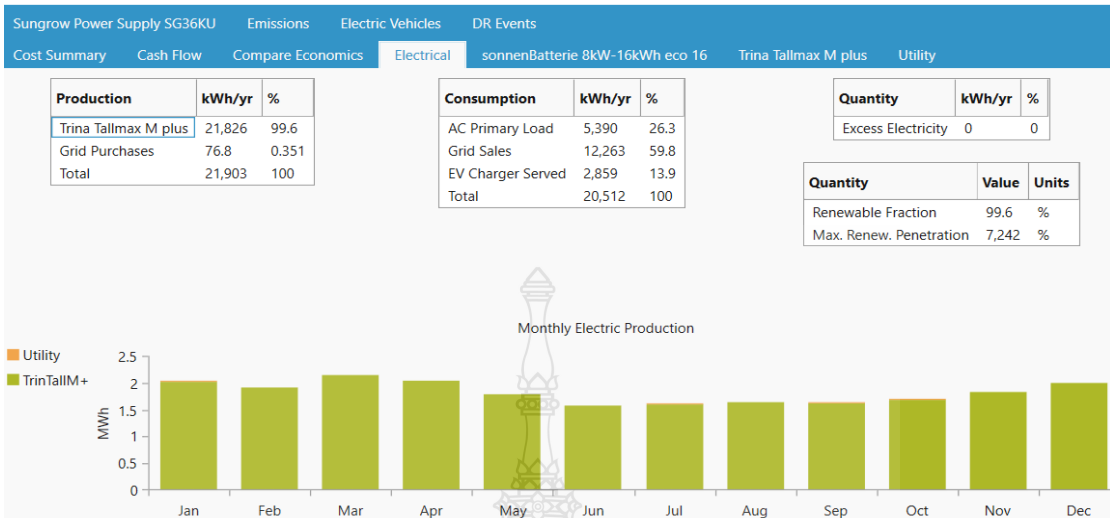
รูปที่ 4.14 กราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3, พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

จากรูป 4.13 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,826 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 247 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 3 อยู่ที่ 2,846 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าอยู่ที่ 12,493 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 22,073kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

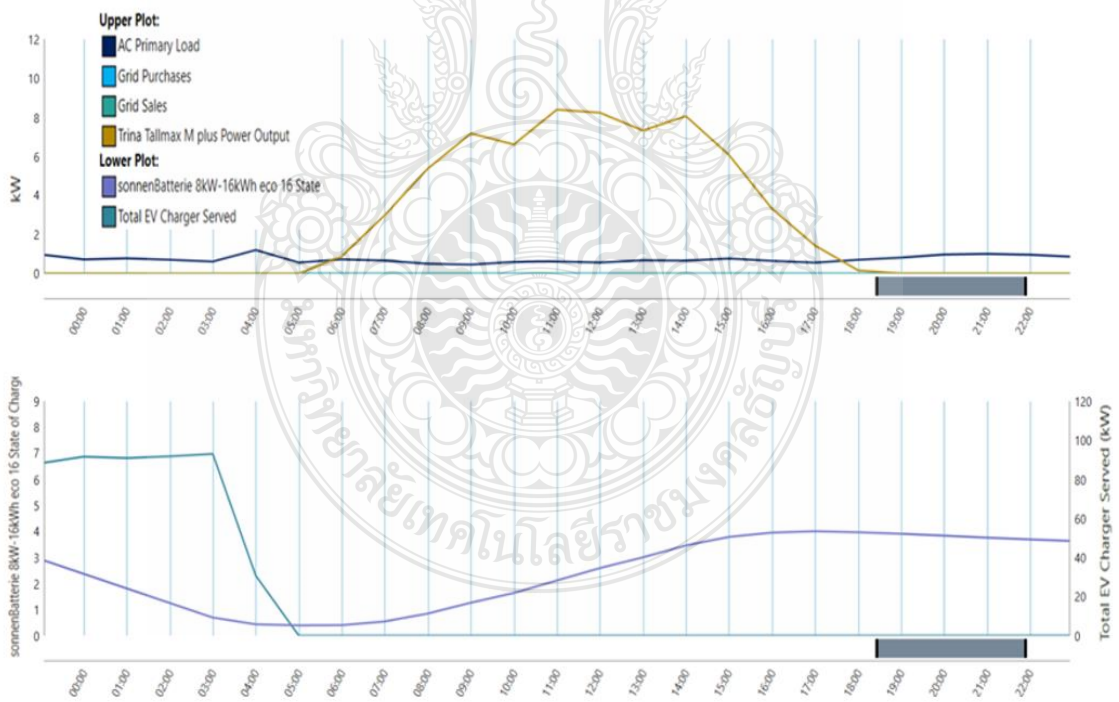
จากรูปที่ 4.14 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. -17.00 น., ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ ในช่วง 00.00 น. – 8.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 6.5 kW และมีการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับ กฟน. ในช่วง 8.00 น. – 18.00 น.

4.3.4 วิเคราะห์ระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 110 kW เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. ด้วยโปรแกรม Homer Grid รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 – 4.16

System Architecture: Sungrow Power Supply SG36KU (36.0 kW)
 Trina Tallmax M plus (15.9 kW) Simple
 sonnenBatterie 8kW-16kWh eco 16 (7.00 strings)



รูปที่ 4.15 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4 สำหรับตัวชาร์จขนาด 8 kW



รูปที่ 4.16 กราฟพลวัตกรรมการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติยี่ห้อที่ 4, พลวัตกรรมการทำงานของแบตเตอรี่สำหรับรองรับการอัดประจุ และการซื้อขายไฟฟ้า

จากรูป 4.15 สามารถอธิบายระบบไมโครกริดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 21,826 kWh/ปี, ซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าอยู่ที่ 76.8 kWh/ปี, ใช้พลังงานจากโหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี, ใช้พลังงานสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติที่ 3 อยู่ที่ 2,846 kWh/ปี, ขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกริดไฟฟ้าอยู่ที่ 12,263 kWh/ปี โดยมีพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนทั้งหมดของระบบไมโครกริดอยู่ที่ 21,903 kWh/ปี และพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ จะถูกใช้งานทั้งหมด

จากรูปที่ 4.16 สามารถอธิบายกราฟที่แสดงพฤติกรรมถึง ช่วงเวลาผลิตพลังงานจากระบบผลิตฯ ในช่วง 8.00 น. -17.00 น., ช่วงเวลาที่มีการคายประจุของแบตเตอรี่ LPF เพื่อรองรับการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับและการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ ในช่วง 21.00 น. – 5.00 น. ที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 50 kW

4.4 วิเคราะห์ด้านการเงินโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 แบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ข้อมูลจากโปรแกรมจำลอง Homer Grid ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ประกอบด้วยบ้านพักอาศัยที่ติดตั้ง Solar rooftop และมีระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LPF) เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและการซื้อขายไฟฟ้า โดยแสดงค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยนำมาจากรหัสเครื่องวัด 31111736 ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 kWh/เดือน และนำค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 จากโปรแกรมจำลอง Homer Grid โดยแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้งดังตารางที่ 4.2 และตั้งกราฟรูปที่ 4.17 แสดงรายการวัสดุอุปกรณ์แรงงาน (BOQ) ดังตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนสำหรับการลงทุนโดยผลประโยชน์ที่ได้รับ คือ ลดความสิ้นเปลืองพลังงานน้ำมัน และสามารถขายพลังงานไฟฟ้าที่เหลือใช้จากที่ผลิตได้ ดังตารางที่ 4.4

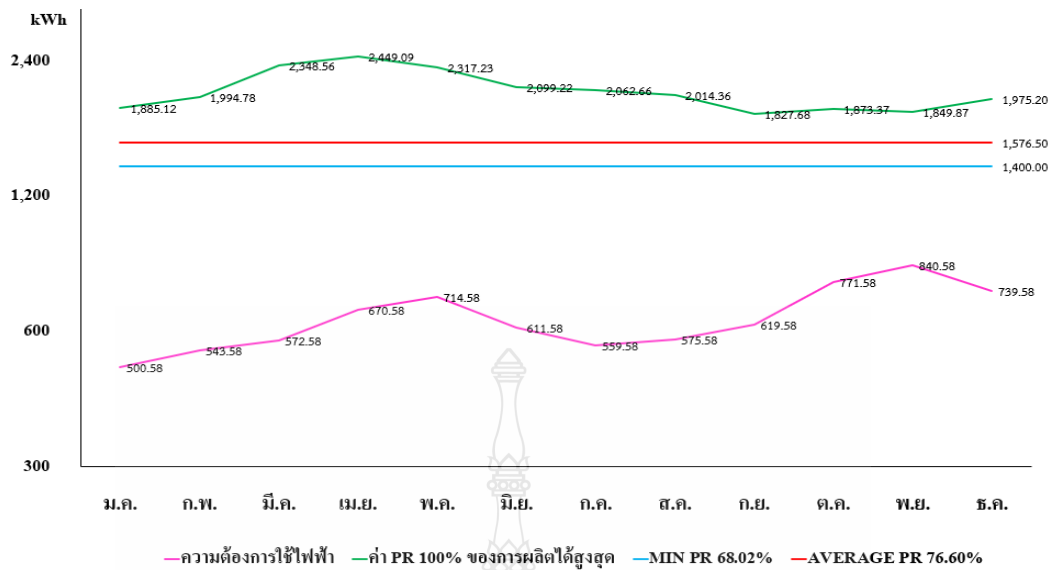
ตารางที่ 4.1 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

Solar rooftop PR 76.60% กำลังติดตั้ง 15.87 kWp

รหัสเครื่องวัด 31111736							
เดือน/ปี	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า		จำนวนหน่วยไฟฟ้าบ้าน (kWh)	จำนวนหน่วยอัดประจุไฟฟ้า (kWh)	จำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด	จำนวนเงินไม่รวม vat (บาท)	จำนวนเงิน (บาท/kWh)
	On Peak	Off Peak					
มกราคม 2562			247.00	253.58	500.58	1,927.23	3.85
กุมภาพันธ์ 2562			290.00	253.58	543.58	2,092.78	3.85
มีนาคม 2562			319.00	253.58	572.58	2,204.43	3.85
เมษายน 2562			417.00	253.58	670.58	2,581.73	3.85
พฤษภาคม 2562			461.00	253.58	714.58	2,751.13	3.85
มิถุนายน 2562			358.00	253.58	611.58	2,354.58	3.85
กรกฎาคม 2562			306.00	253.58	559.58	2,154.38	3.85
สิงหาคม 2562			322.00	253.58	575.58	2,215.98	3.85
กันยายน 2562			366.00	253.58	619.58	2,385.38	3.85
ตุลาคม 2562			518.00	253.58	771.58	2,970.58	3.85
พฤศจิกายน 2562			587.00	253.58	840.58	3,236.23	3.85
ธันวาคม 2562			486.00	253.58	739.58	2,847.38	3.85
รวม	-	-	4,677.00	3,042.96	7,719.96	29,721.85	
						เฉลี่ยทั้งปีไม่รวม VAT	3.85

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้ง

Solar rooftop 15.87 kWp PR 76.60%				
กำลังการผลิต			โครงการให้การสนับสนุนไม่เกิน	ส่วนลด
ไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง	345.00	Wp	1,000 kWp	PR
จำนวนแผง				
เซลล์แสงอาทิตย์			ใช้ผลค่าเฉลี่ยของ PR	
ติดตั้ง	46.00	แผง	ในการประเมินค่าพลังงาน	11.20%
			ที่ได้รับ	
ขนาดติดตั้ง	15.87	kWp		
ประสิทธิภาพของ				
ระบบ			100.00	%
กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อ				
แผง			0.35	kW
กำลังไฟฟ้าสูงสุด				
รวม			15.87	kW
			ผลรวม	
ความต้องการใช้				
ไฟฟ้า			7,719.96	kWh
ค่า PR 100% ของ				
การผลิตได้สูงสุด			24,697.13	kWh
PR 76.60%			18,918.00	kWh
AVERAGE				
PR 76.60%			18,918.00	kWh
MIN				
PR 68.02%			16,800.00	kWh



รูปที่ 4.17 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้ง

ตารางที่ 4.3 รายการวัสดุอุปกรณ์แรงงาน (BOQ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าของ		ค่าแรง		รวมเป็นเงิน
				ราคา/หน่วย	ราคารวม	ราคา/หน่วย	ราคารวม	
1	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด 345 W/แผง อุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้า (Inverter) โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จัดหาอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าต่างๆ พร้อมห้อง Inverter และระบบน้ำล้างแผง โปรแกรมประมวลผลและแสดงผล ค่าแรงติดตั้ง ค่าดำเนินการ ค่าบำรุงรักษา 2 ปี	15.87	kW	27,000.00	428,490.00			
2	ค่า LPF Battery	1.00	Unit	500,000.00	500,000.00			
3	ค่าแรง ค่าดำเนินการ ควบคุมงาน	1.00	JOB	128,547.00	128,547.00	59,299.44	59,299.44	187,846.44
4	ค่าประกันภัย รวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	15.87	kW	1,350.00	21,424.50			21,424.50
					1,078,461.50			1,137,760.94
รวม					1,078,461.50	59,299.44		1,137,760.94
รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น					1,078,461.50	59,299.44		1,137,760.94
VAT 7%					75,492.31	4,150.96		79,643.27
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น					1,153,953.81	63,450.40		1,217,404.21

ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ค่าทางการเงินเพื่อหาจุดคุ้มทุนสำหรับการลงทุน

Solar rooftop 15.87 kWp PR 76.60%					
อายุโครงการ	20.00	ปี	เปรียบเทียบผลประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้ากับเงินลงทุน		
ขนาดติดตั้ง	15.87	kWp	Present Value of Benefit (PVB)	1,619,595.59	บาท
กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง	300.00	Wp	Present Value of Cost (PVC)	1,137,760.94	บาท
จำนวนวันใช้งาน	365.00	วัน/ปี	Net Present Value (NPV)	481,834.65	บาท
ประสิทธิภาพของการผลิตที่ลดลง	1.00%	%	Internal Rate of Return (IRR)	11.11%	%
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้ง	52.90	แผง	Benefit-Cost Ratio (BCR)	1.42	
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PVSYST	18,918.00	kWh/year	Pay back (PB)	7.93	ปี
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย ปี 2562	3.85	บาท/kWh			
ค่าบำรุงรักษา	0.38	บาท/Wp			
อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าแรง	3.40%	%			
อัตราค่าไฟฟ้าที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น 1.0 - 2.5%	1.00%	%			
อัตราเงินเฟ้อทั่วไป (ธนาคารแห่งประเทศไทย 2562)	1.00%	%			
เงินลงทุนติดตั้ง (ไม่รวม VAT 7%)	71,692.56	บาท/kWp			
Discount rate (KTB MLR +2)	6.22%	%			

4.5 บทสรุป

การศึกษาและวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW และค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จ 8 kW ยี่ห้อที่ 1, 2, 3, 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW , 110 kW, 120 kW และ 110 kW ตามลำดับ โดยอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเฉลี่ย 8 kWh/วัน หรือคิดเป็นระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่ง 23,000 km/ปี โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเป็นตารางดังนี้ ตารางที่ 4.5 แสดงสมรรถนะยานยนต์ไฟฟ้า, ตารางที่ 4.6 แสดงผลการจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วจำนวน 1 คัน ตั้งแต่ช่วงเวลา 20.00 น. เป็นระยะเวลา 20 นาที, ตารางที่ 4.7 แสดงผลการจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติจำนวน 1 คัน ในช่วงเวลา 20.00 น. เป็นระยะเวลา 8 ชม., ตารางที่ 4.8 แสดงผลวิเคราะห์การเงินการลงทุนเฉพาะด้านพลังงาน โดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 แบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW โดยการใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีผลประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการลดปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 9,499 kg/ปี คิดเป็นพื้นที่ป่า 5.40 ไร่ เทียบเท่ากับการปลูกต้นสัก 539 ต้น [38]

ตารางที่ 4.5 สมรรถนะยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม Homer Grid [31-34]

สมรรถนะยานยนต์ไฟฟ้า	ชนิดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลอง			
	การอัดประจุ			
	ยี่ห้อที่ 1	ยี่ห้อที่ 2	ยี่ห้อที่ 3	ยี่ห้อที่ 4
กำลังเครื่องยนต์ไฟฟ้า (แรงม้า)	143.00	150.00	163.00	147.50
กำลังเครื่องยนต์ไฟฟ้า (kW)	105.00	110.00	120.00	110.00
ขนาดแบตเตอรี่ (kWh)	63.14	44.50	50.30	40.00
ระยะทางที่วิ่งได้เมื่อแบตเตอรี่เต็ม (km)	500.00	337.00	380.00	311.00

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW

ค่าพลังงานจากระบบไมโครกริด จำลอง (kWh/yr)	ชนิดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลอง			
	การอัดประจุแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จ ขนาด 120 kW			
	ยี่ห้อที่ 1	ยี่ห้อที่ 2	ยี่ห้อที่ 3	ยี่ห้อที่ 4
ค่าพลังงานจากระบบ Solar Rooftop	21,713.00	21,713.00	21,713.00	21,713.00
ปริมาณโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ	5,390.00	5,390.00	5,390.00	5,390.00
ปริมาณโหลดจากการอัดประจุ	2,951.00	3,096.00	3,058.00	3,043.00
ค่าพลังงานที่ซื้อจากการไฟฟ้า	986.00	1101.00	1126.00	1059.00
ค่าพลังงานที่ขายให้การไฟฟ้า	13,180.00	13,146.00	13,220.00	13,159.00

ตารางที่ 4.7 ค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW

ค่าพลังงานจากระบบไมโครกริด จำลอง (kWh/yr)	ชนิดยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลอง การอัดประจุแบบปกติสำหรับหัวชาร์จขนาด 8 kW			
	ยี่ห้อที่ 1	ยี่ห้อที่ 2	ยี่ห้อที่ 3	ยี่ห้อที่ 4
ค่าพลังงานจากระบบ Solar Rooftop	21,826.00	21,826.00	21,826.00	21,826.00
ปริมาณโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ	5,390.00	5,390.00	5,390.00	5,390.00
ปริมาณโหลดจากการอัดประจุ	2,742.00	2,588.00	2,846.00	2,859.00
ค่าพลังงานที่ซื้อจากการไฟฟ้า	133.00	288.00	247.00	76.80
ค่าพลังงานที่ขายให้การไฟฟ้า	12,465.00	12,834.00	12,493.00	2,859.00

ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์การเงินการลงทุนเฉพาะด้านพลังงานโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ยี่ห้อที่ 4

กำลังไฟฟ้าติดตั้ง Solar Rooftop	15.87 kWp
เงินลงทุน	1,137,760.94 บาท
	71,692.56 บาท/kWp
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	481,834.65 บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	11.11
อัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR)	1.42
ผลการคืนทุน (PB)	7.93 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคต ด้วยโปรแกรม PVsyst และโปรแกรม Homer Grid โดยจำลองกำลังติดตั้งระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15.87 kWp ของบ้านพักอาศัยที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 150 kWh/เดือน เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วและแบบปกติ และการหาจุดคุ้มทุนการลงทุน ซึ่งสามารถนำเสนอผลของการทำวิทยานิพนธ์ได้ดังนี้

5.2 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและวิเคราะห์ค่าพลังงานระบบไมโครกริด โดยจำลองกำลังติดตั้งระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15.87 kWp ของบ้านพักอาศัยที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 150 kWh/เดือน ด้วยโปรแกรม PVsyst มีค่า PR ร้อยละ 76.6 โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตฯ ได้ 21,826 kWh/ปี, มีปริมาณการใช้โหลดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ 5,390 kWh/ปี ส่วนโปรแกรม Homer Grid ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW มีระยะเวลาการอัดประจุ 20 นาที และค่าพลังงานที่ใช้อัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติสำหรับหัวชาร์จ 8 kW มีระยะเวลาการอัดประจุ 8 ชั่วโมง สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อที่ 1, 2, 3, 4 ที่มีกำลังเครื่องยนต์ 105 kW, 110 kW, 120 kW และ 110 kW โดย โดยจำลองการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ในช่วงเวลา 20.00 น. สำหรับผลการวิเคราะห์ด้านการเงินโดยเลือกใช้ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อที่ 4 แบบเร็วสำหรับหัวชาร์จขนาด 120 kW ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเฉพาะด้านพลังงาน โดยใช้เงินลงทุนทั้งหมด 1,137,761 บาท, ผลประโยชน์ที่ได้รับ 143,517 บาท/ปี, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 481,835 บาท, อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 11.11%, อัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) 1.42 และมีผลการคืนทุน (PB) ที่ 7.93 ปี นอกจากนี้การติดตั้งระบบผลิตฯ ยังมีผลประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการลดปริมาณการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 9,499 kg/ปี คิดเป็นพื้นที่ป่า 5.40 ไร่ เทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 539 ต้น และจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าจำลองด้วยโปรแกรม Homer Grid สำหรับการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเฉลี่ย 8 kWh/วัน หรือคิดเป็นระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่ง 23,000 km/ปี โดยกำหนดเวลาอัดประจุ 20 นาที ในช่วงเวลา 20.00 น. สามารถสรุปเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 พบว่ารถยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อที่ 2 ใช้พลังงานในการอัดประจุมากที่สุดโดยมีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 3,096 kWh/ปี, รถยนต์ไฟฟ้า

ยี่ห้อที่ 1 ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าจาก กฟน.เท่ากับ 986 kWh/ปี ซึ่งมีย่านน้อยที่สุด และใช้พลังงานอัดประจุ น้อยที่สุดโดยมีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 2,951 kWh/ปี, รถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 3 มีการซื้อพลังงาน จากการไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 1,126 kWh/ปี และขายพลังงานให้กับ กฟน. มากที่สุดเท่ากับ 13,220 kWh/ปี โดยรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 ยี่ห้อ ขายพลังงานให้กับ กฟน.ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบปกติของยานยนต์ไฟฟ้าจำลองด้วย โปรแกรม Homer Grid สำหรับการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเฉลี่ย 8 kWh/วัน หรือคิดเป็น ระยะทางที่รถยนต์ไฟฟ้าวิ่ง 23,000 km/ปี โดยกำหนดเวลาอัดประจุ 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 20.00 น. สามารถสรุปเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 พบว่ารถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 4 ใช้พลังงานในการอัดประจุมากที่สุดโดยมีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 2,859 kWh/ปี โดยซื้อพลังงาน ไฟฟ้าจาก กฟน.เท่ากับ 76.80 kWh/ปี และขายคืนพลังงานไฟฟ้าให้กับ กฟน. เท่ากับ 2,859 kWh/ปี ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด, รถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 1 ใช้พลังงานอัดประจุน้อยที่สุดโดยมีค่าพลังงานอัดประจุเท่ากับ 2,742 kWh/ปี, รถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อที่ 2 มีการซื้อพลังงานจากการไฟฟ้ามีค่ามากที่สุด เท่ากับ 12,834 kWh/ปี และขายพลังงานจากการไฟฟ้า 288 kWh/ปี

3) ผลวิเคราะห์ด้านการเงินการลงทุนเฉพาะด้านพลังงาน โดยเลือกบ้านที่มีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 kWh/เดือน มาใช้ในการวิเคราะห์ สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ออกแบบเหมาะสำหรับการลงทุนที่ใช้ ระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว มากกว่าแบบปกติ เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของ ผู้ใช้งาน และสามารถรองรับปริมาณการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ โดยเลือกการวิเคราะห์ ด้านการเงินการลงทุนของระบบอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้ายี่ห้อ 4 ซึ่งจะใช้เงิน ลงทุนทั้งหมด 1,137,761 บาท โดยมีผลประโยชน์ที่ได้รับจากการประหยัดค่าน้ำมันและค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 143,517 บาท/ปี, ค่า NPV > 0, ค่า IRR > 6.22%, ค่า BCR > 1 และให้ผลการคืนทุนในระยะเวลา 7.93 ปี ซึ่งน้อยกว่า 10 ปี จึงมีความมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและ ข้อมูลด้านการเงินการลงทุนของระบบไมโครกริดสำหรับบ้านพักอาศัย โดยการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า แบบเร็วมีค่าพลังงานโดยเฉลี่ยที่ 3,037 kWh/ปี มีค่ามากกว่าพลังงานที่ใช้ในการอัดประจุยานยนต์ ไฟฟ้าแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย 2,786 kWh/ปี ซึ่งระบบไมโครกริดที่ออกแบบเหมาะสมสำหรับรองรับการ อัดประจุแบบเร็วซึ่งจะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนและตอบสนองความต้องการใช้งานมากกว่าระบบอัด ประจุแบบปกติ โดยให้ผลการคืนทุนในระยะเวลา 7.93 ปี ซึ่งน้อยกว่า 10 ปี สอดคล้องกับความต้องการ การใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคตได้และยังช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็น ต้นเหตุของสภาวะโลกร้อน ระบบจำลองไมโครกริดฯ ที่ออกแบบ อาจจะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งแปรผัน ตามชนิดของอุปกรณ์ พื้นที่การติดตั้ง สภาวะอากาศ ชนิดยานยนต์ไฟฟ้า ราคาอุปกรณ์ และโปรแกรมที่ ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงควรนำค่าเหล่านี้มาพิจารณาในการออกแบบ

บรรณานุกรม

- [1] H. Lei, T. Zhang, Y. Liu, Yabing Zha, "Optimizing Charging and Discharging on a Micro-Grid with ESS and Dynamic Price," *2017 International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*, pp.85-89, 2017
- [2] S. Oh, J. Kong, W. Lee and J. Jung, "Development of Optimal Energy Storage System Sizing Algorithm for Photovoltaic Supplier in South Korea," *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, pp. 1-5, 2018
- [3] V. A. Freire, L. V. R. De Arruda, C. Bordons and J. J. Márquez, "Optimal Demand Response Management of a Residential Microgrid Using Model Predictive Control," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 228264-228276, 2020
- [4] Y. Gurkaynak, Z. Li and A. Khaligh, "A novel grid-tied, solar powered residential home with plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) loads," *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 813-816, 2009
- [5] H. T. Dinh, J. Yun, D. M. Kim, K. -H. Lee and D. Kim, "A Home Energy Management System With Renewable Energy and Energy Storage Utilizing Main Grid and Electricity Selling," in *IEEE Access*, vol. 8, 2020
- [6] L. Pellegrino and C. Sandroni, "Aggregation of residential Energy Storage Systems," *2019 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, pp. 1-6, 2019
- [7] Y. Zhou, Z. Li, and X. Wu, "The Multiobjective Based Large-Scale Electric Vehicle Charging Behaviours Analysis", *Hindawi Complexity Volume 2018*, 2018, R. Luthander, D. Lingfors, J. Munkhammar, and J. Widén, "Self-Consumption enhancement of residential photovoltaics with battery storage and electric vehicles in communities", *ECEEE 2015*, pp.992-1002, 2015
- [8] M. Rezaeimozafer, M. Eskandari and A. V. Savkin, "A Self-Optimizing Scheduling Model for Large-Scale EV Fleets in Microgrids," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 12, pp. 8177-8188, Dec. 2021

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] D. Satoya, D. Yamashita and R. Yokoyama, "Community Energy Management with Electric Vehicles for Effective Use of Solar Energy," *2014 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology*, pp. 241-246
- [10] IREQ, Hydro-Québec Research Institute, Canada and The Mathworks, "One-Year Simulation in One Minute Simulation of an Energy Storage System used on a power Grid," *Mathworks*, pp1-10, June. 2015
- [11] J. Dulout, B. Jammes, C. Alonso, A. Anvari-Moghaddam, A. Luna and J. M. Guerrero, "Optimal sizing of a lithium battery energy storage system for grid-connected photovoltaic systems," *2017 IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, pp. 582-587, 2017
- [12] J. Su, T.T. Lie, R. Zamora, "Modelling of large-scale electric vehicles charging demand: A New Zealand case study," *Electric Power Systems Research* 167, pp-171-182, 2019
- [13] L. Barote and C. Marinescu, "Li-Ion energy storage capacity estimation in residential applications with EV," *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, pp. 326-330, 2019
- [14] R. A. Biroon, Z. Abdollahi and R. Hadidi, "Effect of Tariff on Optimal Electric Vehicle Connection to the Grid in Residential Sector," *2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, pp. 1-6, 2019
- [15] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, "รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาการใช้พลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมข้อมูล พฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า," พฤศจิกายน 2560, หน้า 5-1 – 5-6
- [16] วราวุธ ศิริผล, จรรยา วงศ์จันทร์พงษ์, พงศกร ยุทธโกวิท, ปานทอง ถินสถิตย์, จุมภฏ หิมะเจริญ, ศิริวรรณ วรเดช และคณะทำงานศึกษาและจัดทำแผนพัฒนา โครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, "รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย," พฤศจิกายน 2559

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] J. Quiros-Tortos, L. Ochoa and T. Butler, "How Electric Vehicles and the Grid Work Together: Lessons Learned from One of the Largest Electric Vehicle Trials in the World," in *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 16, no. 6, pp. 64-76, Nov.-Dec. 2018
- [18] ฝ่ายวิศวกรรมและวิชาการ สำนักงาน กกพ, "คู่มือการประกอบกิจการสำหรับการอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV)," สำนักงานคณะกรรมการกิจการพลังงาน, ปทุมวัน, กรุงเทพฯ, 2561
- [19] มหาวิทยาลัยศิลปากร, "โครงการปรับปรุงแผนทัศนียภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560)", 2560
- [20] Residential Energy Consumption more than 150 kWh permonth on peak day in Jan-Dec 2020 at: URL: <https://www.mea.or.th/download/306/3394.>,
- [21] กองพัฒนาระบบไฟฟ้า, ฝ่ายวิจัยและพัฒนา. (2564). "รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านการทดสอบตาม ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโครงข่ายของการไฟฟ้านครหลวง".การไฟฟ้านครหลวง, 2564.[Online]. สืบค้นจาก<https://www.mea.or.th/minisite/vspp/download/849>.
- [22] บุญยัง ปลั่งกลาง, "เอกสารการสอนระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์", คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555
- [23] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, "จ้างที่ปรึกษาโครงการศึกษาการเตรียมความพร้อมรองรับการใช้งานยานพาหนะไฟฟ้าในอนาคตสำหรับประเทศไทย", กระทรวงพลังงาน, กันยายน 2558
- [24] สงบ คาค้อ "การศึกษาสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สิงหาคม 2562
- [25] วรวิศ กอปรสิริพัฒน์, "รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน", หน่วยวิจัยวัสดุสำหรับพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, หน้า 63 – 70, มกราคม – มีนาคม 2559
- [26] Y. Ko and W. Choi., "A New SOC Estimation for LFP Batteries: Application in a 10 Ah Cell (HW 38120 L/S) as a Hysteresis Case Study," *Electronics* 2021, MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations, pp.1-14, 2021
- [27] A. Sangwongwanich, A. Abdelhakim†, Y. Yang and K. Zhou, "Chapter 6 - Control of Single-Phase and Three-Phase DC/AC Converters," 2018 Elsevier Inc, pp. 153-173, 2018

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [28] J.Webster (ed.), “DC–DC POWER CONVERTERS CHOPPERS SWITCHING POWER SUPPLIES,” Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, Copyright © 2007 JohnWiley & Sons, pp. 1-18, 2007
- [29] อภิญญา วนเศรษฐ์, “เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ,” มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ, 2558
- [30] ธนาคารกรุงไทย, “ตารางที่ 2 อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ เริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2564”. สืบค้นจาก <https://krungthai.com/Download/rateFee/RateFeeDownload4500Table2- personal-loan.pdf>
- [31] Trina TallMax 345W. สืบค้นจาก https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet_DE14H%28II%29_HC_1500V_May2019_NT.pdf,
- [32] The ORA GOOD CAT. สืบค้นจาก <https://www.gwm.co.th/carspecification/?rdr=3717>.
- [33] MG ZS EV. สืบค้นจาก <https://www.mgcars.com/th/mg-models/new-mg-zs-ev/overview.>,
- [34] The ORA GOOD CAT. สืบค้นจาก <https://www.gwm.co.th/carspecification/?rdr=3717>.
- [35] MG ZS EV. สืบค้นจาก <https://www.mgcars.com/th/mg-models/new-mg-zs-ev/overview.>,
- [36] NEW MG EP Plus. สืบค้นจาก <https://www.mgcars.com/th/mg-models/new-mg-ep/performance.>,
- [37] The All-New Nissan Leaf. สืบค้นจาก <https://en.nissan.co.th>
- [38] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), “ปลูกต้นไม้ช่วยลดโลกร้อนได้อย่างไรนะ”. สืบค้นจาก <https://en.nissan.co.th>

ภาคผนวก
ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่

1. ญัฐพงษ์ บุญราช และคณะ, การออกแบบติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริดเพื่อใช้สำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าและการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการลงทุน
2. ญัฐพงษ์ บุญราช และคณะ, การออกแบบระบบไมโครกริดอัจฉริยะสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับสถานีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว

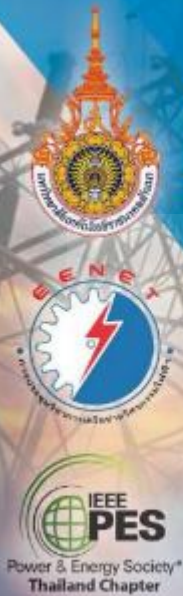


EENET 2021

The 13th Electrical Engineering Network 2021
of Rajamangala University of Technology

Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง •
- อิเล็กทรอนิกส์ วงจรและสื่อสาร •
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง •
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ •
- ระบบควบคุมและการวัด •
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล •
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน •
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ •
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า •
- หัวข้อพิเศษทางวิศวกรรมไฟฟ้า •



**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 13 เล่ม 1**

12-14 พฤษภาคม พ.ศ.2564 (ONLINE)

สถาบันวิจัยและพัฒนา - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

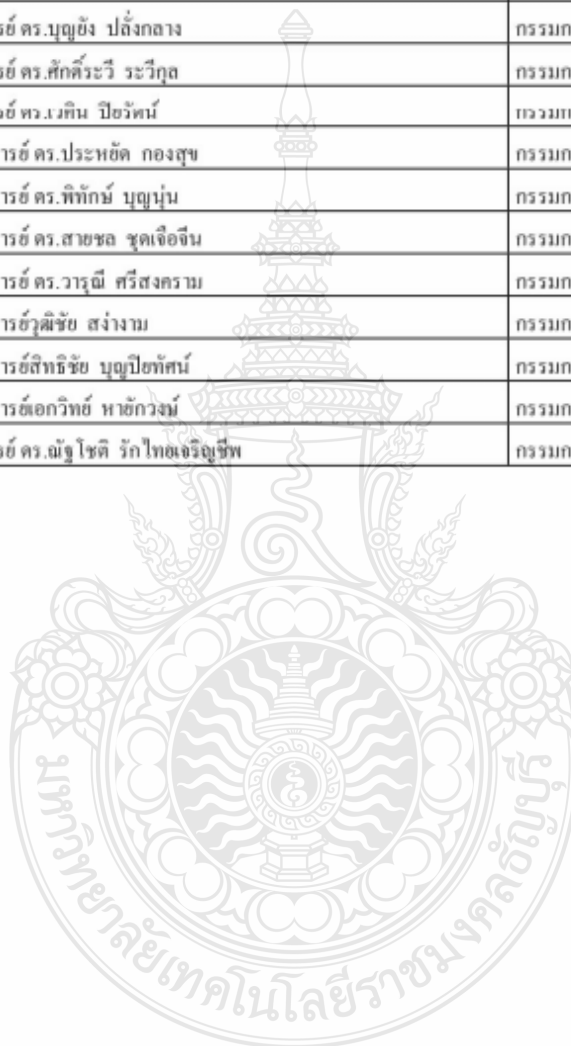
การประชุมเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Network: EENET) เป็นการ ประชุมวิชาการเพื่อส่งเสริมและพัฒนาให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยในด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาขาวิชาที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศชาติเป็นอย่างมาก การประชุมวิชาการนี้เป็นการ ประชุมที่ตอบสนองต่อ ยุทธศาสตร์การพัฒนาความเข้มแข็งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเป็นการ แลกเปลี่ยนความรู้และความคิดเห็นระหว่างนักวิชาการและนักวิจัย โดยในปัจจุบันมีสถาบันที่เป็นสมาชิก เครือข่ายจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลทั้ง 9 แห่ง สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน และมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ

ปี พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพจัด “การประชุม วิชาการเครือข่าย วิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 (The 13 Conference of Electrical Engineering Network 2021: EENET2021) “

ครั้งที่	สถาบันเจ้าภาพ	ปี พ.ศ. ที่จัดงาน
1	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2551
2	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2553
3	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	2554
4	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	2555
5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
6	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	2557
7	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	2558
8	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	2559
9	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	2560
10	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	2561
11	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2562
12	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2563
13	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2564

คณะกรรมการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาพจักษ์ เกียรติชื่น	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ธวัช ภูมิภักดีพิชญ์	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน	รองประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิทานโต	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยั้ง ปลั่งกลาง	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยะพันธ์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประหยัด กองสุข	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายชล ชูดเจริญ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราณี ศรีสงคราม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิชัย ส่งงาม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิริรัชชีย์ บุญเปี่ยมพันธ์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อ้อกวิทย์ หายแก้ว	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ	กรรมการและเลขานุการ



คณะกรรมการ IEEE PES Thailand Chapter

รศ.ดร.นพ. อธิปวีรานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	Vice Chairman ด้าน Meeting & Conference, IEEE PES
นายสมชาย หอมกลิ่นแก้ว	รองผู้ว่าการ การไฟฟ้านครหลวง	Vice Chairman ด้าน Technical Seminar, IEEE PES
ผศ.ดร.อุทัยพิชญ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Vice Chair ด้าน Students & Membership Activities, IEEE PES
รศ.ดร.นรเศรษฐ์ พัฒนเดช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	Committee, IEEE PES
รศ.ดร.ธนพงษ์ สุวรรณศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	Committee, IEEE PES
รศ.ดร.สมพร สิริสำราญกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	Committee, IEEE PES
ผศ.ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Committee, IEEE PES
ดร.ประคิมอุพงษ์ สุขศิริวารกุล	Hitachi ABB Power Grids (Thailand)	เลขาธิการ IEEE PES



A4

12-14 พฤษภาคม พ.ศ.2564 (ONLINE)
 สถาบันวิจัยและพัฒนา - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

ดร.กิจจา ไชยทนต์	คณะศึกษาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเศษฐ ทิพย์ประเสริฐ	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
ดร.อนุสรณ์ ยอดใจเพชร	หัวหน้าสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	ประธานกรรมการ
อาจารย์เพลิน จันสุยะ	หัวหน้าหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า	รองประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมาภรณ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค ให้อ่องคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประมวล ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเวียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี	กรรมการ
ดร.วีระ ชันยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	กรรมการ
ดร.สุวัฒน์ กิจเจริญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
ดร.ไพวรรณ เกิดตรวจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ
ดร.กัญจนา ชัยอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ
นายปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ
นางสาววรรณา ลือใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลจันทบุรี	กรรมการ
นายกรณย์ สิริจันทร์จีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	กรรมการ

รายงานผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปัญญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำแสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล คำปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สาละวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไข่อัญญา	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัยเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคยา กล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ์ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิวินัย กงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประหยัด กองสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต จันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกรณ์เกียรติ เสวตเมธิกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัชต์ แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐพงษ์ หันขุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทนา คูสัตการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันนทร์ สุตคณิง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวศรี วุฒิพัฒน์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎาพร สदानทรพิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ บุญเลิศเจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เขยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญชา เหลือแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค โททองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจักร เมืองใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เศรษฐมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ หัตถสสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย เอื้อวิธานกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ขาวจามิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พิษประภคิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ เมคไทรพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ปงลังกา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนนท์ น้าอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกาศิต ศรีทะแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ดาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ ทิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ดาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกัศรักรณ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิรพล จันทร์ชอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษณา กันทะพะเอา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรายุช มอญกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ทลัยคสัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินิจ ศรีธรร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตีย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรพิน ขาวน้ำสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ทรงกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิธา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวรรณ แซ่เล้า	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ วัฒนาคาล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐทิ ธิงสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ รักคากวงค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวถ ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ นางทิน	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริกภ ผู้ประกาศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวีรัตน์ ราชบุรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรินทร์ แหมงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อองอาจ แสกลใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายอภิศักดิ์ แจ่มสารกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ว่าที่ร้อยตรี ดร.สิทธิบูรณ์ ศิริพร อักษรชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ทีแก่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เวชฌู ทิพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิตินันท์ สมไชยวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤติเดช บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ เดือนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันธุ์พงษ์ อภิชาตกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรวัฒน์ บุตรบุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกวิทย์ นายถ่วงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณิตศรี มาตรา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พลกิจ สุวัฒน์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภากรัตน์ นาคทรัพย์	มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร. สรร รัตนสีอุณา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ ดร. กวีวัชร พิศวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร. วิเชียร อุปแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร. ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร. ปรัชญา มงคลไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

อาจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.จักรกฤษ ใหม่มั่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.สมนึก สุระธง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่
อาจารย์ ดร.กัณฑ์กาญจน์ ป่วนสุรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงราย
อาจารย์ ดร.อนุสรณ์ ยอดใจเพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงราย
อาจารย์ ดร.มาลีสา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สุทธธนา คงจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.มงคล คำนบบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อาจารย์ ดร.ไพพรรษ เกิดตรวจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.กัญจนดา ชัยอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ ดร.วิระ ธัญยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ ดร.สุธาสนี กุปตะบุตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
อาจารย์มธรา ทักษิณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาจารย์ฉัตรพร ประมวน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์นาวี รุจิคมพ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์สุทธิพันธ์ อักษรเนียม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์ชำนาญ ปัญญาใส	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)



เลข	บทความ	หน้า
ES-623	การประยุกต์ใช้สัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมความส่องสว่างของ ไฟถนนไดโอด เปล่งแสง	122
ES-624	การศึกษาต้นทุนการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สำหรับระบบไฟฟ้าแยกอิสระ: กรณีชุมชนบ้านคลองเรือ อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพร	123
ES-625	จำลองการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กรอบตัวนำสายส่งด้านแรงต่ำ ของระบบจำหน่าย	124
ES-626	โรงเรือนต้นแบบผลิตไถ่น้ำระบบปิดควบคุมอุณหภูมิด้วยพัดลมระบายอากาศ พลังงานจากแสงอาทิตย์	125
ES-627	การวิเคราะห์สมรรถนะวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางสำหรับถ่าย โอนพลังงานระหว่างแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าสู่ระบบจำหน่าย	126
ES-628	การสร้างชุดต้นแบบระบบตรวจวัดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร	127
ES-629	แนวทางการอนุรักษ์และจัดการพลังงานสำหรับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงราย	128
ES-630	การพัฒนาตู้อบกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนจากฮีตเตอร์	129
ES-631	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบน หลังคา	130
ES-633	การออกแบบติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริดเพื่อใช้ สำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการ การลงทุน	131
ES-634	การออกแบบและสร้างระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมด้วยโทรศัพท์มือถือ	132
ES-635	การผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมแนวตั้งโดยใช้ดินกำลังจากโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อแบบปิด	133
ES-636	ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์สำหรับห้องเย็นของกลุ่มสหกรณ์การเกษตร จังหวัดเชียงใหม่	134
ES-637	การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	135
IN-701	การพัฒนาชุดควบคุมระบบการให้น้ำในสวนเกษตรผสมผสานด้วยระบบไอโอที	136
IN-702	การออกแบบและสร้างชุดควบคุมสภาพแวดล้อมอัตโนมัติสำหรับท่อพันธุ์ แม่พันธุ์กบ	137
IN-703	การออกแบบและสร้างชุดทดลองการควบคุมมอเตอร์สามเฟสด้วยโปรแกรม เมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์	138



การออกแบบติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริดเพื่อใช้สำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า และการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการลงทุน

Design of hybrid solar rooftop systems for use in electric vehicle charging and feasibility analysis for investment.

ณัฐพร บุญราช¹, นกคุณ จันทร์จำรัส² และ กฤษณ์ชนันท์ กุญชรพิทักษ์^{1*}

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชัชวาลย์ ชัยบุรี จิงห์ วัชรปทุมธานี *E-mail: natapong_b@mail.rmutt.ac.th, *E-mail: krischonne.b@en.rmutt.ac.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชัชวาลย์ ชัยบุรี จิงห์ วัชรปทุมธานี E-mail: natapong_b@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริด (Hybrid System) สำหรับการสร้างสถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในครัวเรือน โดยบทความนี้ได้จำลองการใช้รถยนต์ Nissan Leaf ขนาดแบตเตอรี่ 40 kWh ของบ้านหลังหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 kWp บนพื้นที่หลังคา 40 m² ได้กำลังผลิต 7,515 kWh/ปี เพื่อรองรับการใช้โหลดรวมทั้งหมด 7,249 kWh/ปี โดยมีแบตเตอรี่สำรองขนาด 60 kWh สำหรับรองรับการอัดประจุรถยนต์ Nissan Leaf ช่วงกลางวันและกลางคืน โดยผู้ลงทุนติดตั้งต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริด ที่มีกรเชื่อมต่อกับโครงข่ายการไฟฟ้า การประเมินประสิทธิภาพการรวมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนและผลประโยชน์เบื้องต้นที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงผลประโยชน์อื่น ๆ

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ สถานีอัดประจุ ยานยนต์ไฟฟ้า การออกแบบติดตั้ง การลงทุน

Abstract

This article presents analysis of the hybrid solar rooftop design for the electric vehicle charging station. This article simulates the use of Nissan Leaf car at one house in Bangkok. Nissan Leaf has a battery capacity of 40 kWh. The hybrid solar rooftop system installed solar panels with a capacity of 6 kWp on a roof area of 40 m² that is a productivity of 7,515 kWh / year to support a total load of 7,249 kWh / year. The hybrid solar rooftop system has a battery capacity of 60 kWh to support the charging a Nissan Leaf car all day and all night. The installer must have an understanding the design of a hybrid solar

system that is connected to the electricity grid, Solar cell photovoltaic efficiency evaluation and a feasibility study of a solar rooftop project to analyze the cost of investment and expected average benefit among other. Were also studied

Keywords: Solar PV system, a charging station, electric vehicles, design, investment

1. บทนำ

การเติบโตของรถไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่เริ่มขยายตัวโดยที่ไม่มี การควบคุมระดับประจุไฟฟ้าและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ผลกระทบหลักที่ผู้ดูแลระบบหรือการไฟฟ้าต้องประสบ ได้แก่ Overload, Power loss, Voltage drop, Unbalance load หรือ Harmonics โดยความรุนแรงของผลกระทบที่คิดพบบนระบบไฟฟ้าไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับตัวแปรด้วยจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งแล้วแต่ด้วยระบบไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมอีกด้วย โดยบทความนี้จะมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ การจัดหา การอัดประจุ โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งต้องใช้เงินลงทุนทางด้าน โครงสร้างพื้นฐานค่อนข้างสูง การลงทุนที่สัมพันธ์กับแบตเตอรี่สำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งจะมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ต่ำกว่า การอัดประจุที่ไร้สายไร้สาย (Wireless Charging) จะมีปัญหาเรื่อง ประสิทธิภาพต่ำ, คดีข้อขัดข้อง, ใช้เงินลงทุนสูง และการใช้เทคโนโลยีงาน ทุนเวียนกลับมาได้เร็วขึ้นเกี่ยวกับโครงข่ายไฟฟ้าซึ่งใช้ต้นทุนค่าติดตั้ง ได้เร็วและสามารถอัดประจุด้วยกำลังไฟฟ้าสูงได้ [1] ดังนั้นบทความนี้จะ นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการวิเคราะห์สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนไฮบริด (Hybrid System) และมีการ เชื่อมต่อกับโครงข่ายการไฟฟ้าเป็นระบบที่สามารถประจุรถใช้กับการ อัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าได้แบบที่ปลอดภัยในปัจจุบันและสามารถใช้ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด โดยมีการอัด

ES-633



ประจุที่เก็บในตัวเก็บประจุไฟฟ้า หากพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปใช้ตามโหมดของบ้านพักอาศัยได้

2. การประเมินประสิทธิภาพการรับแสงจากเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์กำหนดโดยตัวชี้วัดตามมาตรฐาน IEC 61724 [2] ดังนี้

2.1 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดกำลังติดตั้งของระบบ (Final Yield) ทดสอบตามมาตรฐานโดยให้พลังงานเฉลี่ยถึง 1,000 Wh/m² อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 25 °C และที่มวลอากาศ 1.5 ตามสมการที่ (1) [2]

$$YF = \frac{E}{PPV_{Inst}} \quad (1)$$

โดย PPV_{Inst} คือ ค่าขนาดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp) และ E - ค่าพลังงานรวมที่ผลิตได้ (kWh)

2.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ยังมิได้ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Reference Yield) เป็นค่าตัวแปรของค่าพลังงานรวมที่ผลิตได้ (kWh/m²) ต่อค่าปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (G) (kWh/m²) คือ จำนวนชั่วโมงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ต่อสมการที่ (2) [2]

$$YR = \frac{H_r}{G} \quad (2)$$

2.3 ค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PR) ตามรอบนึ่งซึ่งกำลังอยู่เหนือของระบบได้ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดกำลังติดตั้งของระบบ (Final Yield) ต่อ ค่าพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Reference Yield) ตามสมการที่ (3) [2]

$$PR = \frac{YF}{YR} \quad (3)$$

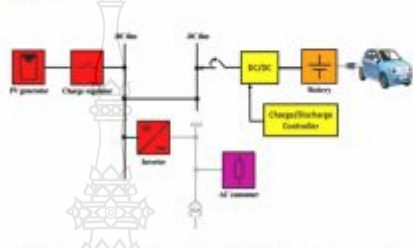
2.4 การประเมินค่าการวัดสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaics for Utility Scale Applications PVUSA) เป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลทางอุณหภูมิจากการคำนวณค่ากำลังของ PVUSA ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการประเมินค่าของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น Dual Junction Solar Cell ซึ่งใช้ประสิทธิภาพที่ 1) Single Junction Solar Cell ทดสอบตามเงื่อนไข Performance Test Conditions (PTC) โดยระดับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ 1000 W/m² อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 20 °C และความเร็วลมที่ 1 m/s

3. การออกแบบโครงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

3.1 ทำการสำรวจพื้นที่ติดตั้งโครงการ โดยสำรวจพื้นที่จริงเพื่อประเมินศักยภาพพื้นที่ติดตั้งโครงการ

3.2 ออกแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อาคารไฟฟ้าที่เลือกโครงการรูปที่ 1 โดเมน DC/DC

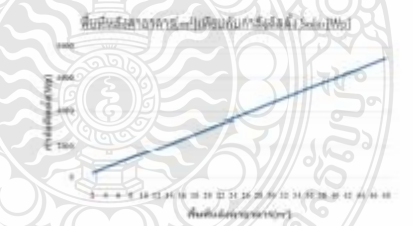
Converter ที่พบในที่นี้เป็น Bidirectional Converter ซึ่งสามารถรองรับการ Charge หรือ Discharge ของแบตเตอรี่สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้า [3] สำหรับรูปแบบของหลังคาอาคารออกแบบโดยโปรแกรม Sketchup และ โปรแกรม Section โดยตรง PV Solar เลือกใช้ Shumen Solar 300W กำลังติดตั้งขนาด 6 kWp และอินเวอร์เตอร์ SMA รุ่น Sunny Boy 3000 TL-21 ตามมาตรฐานการไฟฟ้าในตาราง รูปที่ 2 นอกจากนี้มีการเปรียบเทียบพื้นที่ติดตั้งกับกำลังผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตารางรูปที่ 3 [4]



รูปที่ 1. โครงสร้างระบบรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่รถยนต์ของระบบ EV



รูปที่ 2. การรวมแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพักอาศัยจริงในสนาม



รูปที่ 3. พบความสัมพันธ์พื้นที่หลังคาบ้านกับกำลังผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์

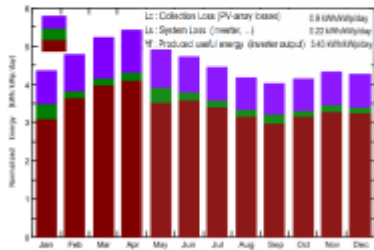
บทความวิจัย

การประเมินการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า ครั้งที่ 13
 13th Conference of Electrical Engineering Network 2021 (EENET 2021)

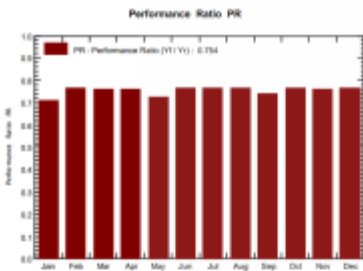


หลังจากออกแบบเสร็จสิ้นทำการประเมินกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst ประเมินกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้ารูปที่ 4 และประสิทธิภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปที่ 5

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 6.93 kWp



รูปที่ 4 ผลการประเมินผลิตไฟฟ้าที่คำนวณหาจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้ง



รูปที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบที่ติดตั้ง

4.ยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันพบว่ามีการนำรถไฟฟ้ามากกว่า 2 ล้านคันทั่วโลก โดยมีในรูปแบบของ Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) และ Battery Electric Vehicles (BEV) สำหรับรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าที่ทันสมัยตามมาตรฐาน IEC 62196 [5] ที่แสดงดังรูปที่ 6 มี 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการอัดประจุแบบปกติซึ่งเป็นการอัดประจุไฟฟ้าที่ตัวรถบนสถานี On board Charger ที่มีขนาด 4.3 kW และ 6.6 kW สำหรับการอัดประจุแบบ 1 เฟส และ 11 kW, 22 kW สำหรับการอัดประจุแบบ 3 เฟส ส่วนอุปกรณ์ Inverter ที่เชื่อมประจุในแบตเตอรี่โดยใช้ระบบมากกว่า 1-2 ซีพียู รูปแบบที่ 2 การอัดประจุไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำอินเวอร์เตอร์

ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่ตรง โดยใช้ระบบ BMS ที่ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุใช้เวลา 10-15 นาที ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำตามมาตรฐาน IEC 62196

สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับกินความเกินไปได้ของโครงการนี้คือ Nissan Leaf [6] ใช้แบตเตอรี่ไฟฟ้าขนาด 150 แอมป์แอมป์สูงสุด 220 นินจาแบตเตอรี่แบบลิเธียมไอออนความจุ 40 kWh อัตราเฉพาะทางวิจัยของมาตรฐาน NEDC ได้ 311 กิโลเมตร

5. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ต้นทุนรวมอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ [7] โดยการกำหนดค่าของปริมาณที่ขายหรือรับซื้อไฟฟ้าและ โหลดของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า ในบทความนี้วิเคราะห์โดยใช้โหลดของรถยนต์ Nissan Leaf ขนาดแบตเตอรี่ 40 kWh โดยค่ากิโลเมตรทางวิ่ง 20,000 กม. ในระยะเวลา 1 ปี โดยนำข้อมูลประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คำนวณหาจะผลิตได้จากระบบที่ติดตั้งจากโปรแกรม PVsyst มาวิเคราะห์เกี่ยวกับความคุ้มค่าการใช้ไฟฟ้ารวมได้ดังตารางรูปที่ 7 โดยมีสมการสำหรับตัวชี้วัดการลงทุนของโครงการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) หาได้โดยสมการที่ (4) [7]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad (4)$$

- เมื่อ CF_t คือกระแสเงินสดสุทธิ ณ ปีที่ t
 - I คือเงินลงทุนของโครงการ
 - k คืออัตราคิดลดที่ 8.25% [4, 8]
 - n คืออายุของโครงการ
 - อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) หาได้โดย (5) [7]
- $$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}} \quad (5)$$
- เมื่อ B_t คือกระแสเงินสดบวก ณ ปีที่ t
 - C_t คือกระแสเงินสดลบ ณ ปีที่ t
 - k คืออัตราคิดลดที่ 8.25% [4, 8]
 - n คืออายุของโครงการ



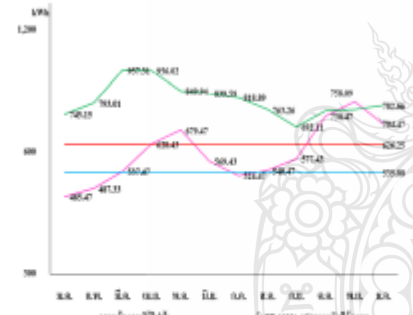
ระยะเวลาเก็บทุน (PB) หาได้จาก (6) [7]

$$PB = \frac{I_c}{P_s} \quad (6)$$

เมื่อ P_B , คือระยะเวลาเก็บทุน
 I_c , คือเงินลงทุนเริ่มต้น
 P_s , คือกำไรสุทธิเมื่อตัดค่า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่ 168,121.86 บาท โดยคิดอัตราดอกเบี้ยที่ 8.28% [4, 8] อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = 13.70 % จะได้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) = 1.43 และระยะเวลาเก็บทุน (PB) อยู่ที่ 6.76 ปี

รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าการใช้ไฟฟ้าซึ่งเทียบกับผลประโยชน์การผลิตไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตพลังงาน 6 kWp โดยได้กำไรผลิต 7,515 kWh/ปี เพื่อรองรับการใช้ไฟส่องสว่างทั้งหมด 7,249 kWh/ปี และจากข้อมูลตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์สามารถวิเคราะห์การลงทุนครั้งนี้ตัวชี้วัดที่ 1 $NPV > 0$ แสดงว่าการลงทุนในโครงการได้ผลตอบแทนที่ดีแล้ว แต่ด้วย $NPV < 0$ แสดงว่าสมลงทุน และด้วย $NPV < 0$ แสดงว่าขาดทุน ตัวชี้วัดที่ 2 สะท้อนให้เห็นว่าการลงทุนในโครงการได้ผลตอบแทน เนื่องจากมากกว่า Discount rate (KTB MLR+2) ที่ 8.28% [4, 8] แสดงว่าการลงทุนได้ผลตอบแทนที่ดี และด้วย $IRR < 8.28\%$ [4, 8] แสดงว่าโครงการนี้ไม่เหมาะสำหรับการลงทุน ตัวชี้วัดที่ 3 $BCR > 1$ แสดงว่าการลงทุนเมื่อเทียบกับต้นทุนแล้วได้ผลตอบแทนที่ดี และด้วย $BCR < 1$ แสดงว่าการลงทุนขาดทุน ตัวชี้วัดที่ 4 $PB < 10$ ปี เนื่องจากได้ผลประโยชน์ 58,360 บาท/ปี จากเงินลงทุนทั้งหมด 422,000 บาท แสดงว่าโครงการนี้เหมาะสมในการลงทุน



รูปที่ 7 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าของระบบผลิตพลังงาน

สรุป

การออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบไฮบริดสำหรับรองรับการผลิตประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และความไม่แน่นอนในพฤติกรรมการใช้ประจุยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่จะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคต สำหรับบทความนี้ได้เสนอการออกแบบติดตั้ง ขนาด 6 kWp จากระบบการผลิตไฟฟ้าของบ้านหลังหนึ่งใน กทม. โดยมีผลประโยชน์การผลิตไฟฟ้าจากรับผลิตได้ 7,515 kWh/ปี เพื่อรองรับการใช้ไฟส่องสว่างทั้งหมด 7,249 kWh/ปี ได้ผลตอบแทน 58,360 บาท/ปี จากเงินลงทุนทั้งหมด 422,000 บาท โดยมีระยะเวลาเก็บทุน (PB) อยู่ที่ 6.76 ปี

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะทำงานศึกษาและจัดทำแผนพัฒนา โครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้า ที่รองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, “รายงานแผนโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าที่รองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย” หน้าที่ 3-1, 9-1, พฤศจิกายน 2559
- [2] K.S.S. Pandir, S.K. Singal, and R.P. Saini, “Performance of Solar Photovoltaic Plant Installed In IIT Roorkee Campus: A Case Study,” *International Journal of Advance Research*, vol.4, no.1, 2015, pp. 436-444
- [3] T.S. Bija and M.R. Sindhu, “Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System,” in *Proceedings of the Third International Conference on Electronics Communication and Aerospace Technology (ICECA 2019)*, Coimbatore, India, June 2019, pp. 815-820.
- [4] กองกรังพลังงาน “รายงานข้อสรุปผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา” กว ไรฟที มอก พก 24, 2563
- [5] ศูนย์วิศวกรรมและวิชาการ สำนักงาน กทท, “คู่มือการประเมินผลโครงการสำหรับรถอัดประจุสารถรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV),” สำนักงานคณะกรรมการพลังงาน, ปทุมธานี, กรุงเทพฯ, 2561
- [6] ระยะเวลาและการชาร์จไฟฟ้า บีบีซี บีบี โอน Web site. Available at: URL: <https://www.bbc.com/th/vehicles/new-vehicles/ev4.html>. Accessed Jan 10, 2021.
- [7] อัญญา วัฒนสุข, “เครื่องมือในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ” มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ, 2558
- [8] จิน นักรุ่งโรจน์ “อัตราผลตอบแทนที่เพิ่มขึ้น 2562,” Available at: URL: <https://krungthai.com/th/rates/viewdetail/28> Accessed Sep 20, 2020.



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44

The 44th Electrical Engineering Conference (EECON-44)

17-19 พฤศจิกายน 2564

ณ โรงแรม ดี อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน

- ▷ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ▷ ไฟโตนิคส์ (PH)
- ▷ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ▷ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- ▷ วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
- ▷ ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ▷ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ▷ ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- ▷ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ▷ พลังงานหมุนเวียน (RE)
- ▷ อิเล็กทรอนิกส์ (EL)



EECON-44
Electrical Engineering Conference





รายนามคณะกรรมการสภาวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ชัยวุฒิ นัตริอุทัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อธิคม ฤกษ์บุศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวโรตม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.พินิจ เทพสาธิต	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.เดชา วิไลรัตน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
อ.ธนวิษณุ ชุติกาวิทย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดิ อิมเพรส ปาน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



รายนามหน่วยงานที่เป็นคณะกรรมการสามัญและคณะกรรมการสมทบ

สถาบันกรรมการสามัญ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สถาบันกรรมการสามัญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยพะเยา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยอีสต์สมิธ

สถาบันกรรมการสมทบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สถาบันเทคโนโลยีจอร์เจีย



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส บ้าน อำเภอมืองปาน จังหวัดน่าน



คณะกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44 (EECON-44)

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เลขานุการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี เบนทรโพธิ์แก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการอำนวยการ

- | | | |
|---|----------------|----------------------------|
| 1. อธิการบดี | | ประธานกรรมการ |
| 2. รองอธิการบดีทุกฝ่าย | | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาคณาจารย์ | | กรรมการ |
| 4. ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายประกันคุณภาพ | | กรรมการ |
| 5. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ | | กรรมการ |
| 6. คณบดีคณะศิลปศาสตร์ | | กรรมการ |
| 7. รองคณบดีคณะศิลปศาสตร์ | | กรรมการ |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรับต์ | วงศ์ศรีชะ | กรรมการ |
| 9. อาจารย์ ดร.ชลภากร | อุดมรักษาสกุล | กรรมการ |
| 10. อาจารย์ ดร.ณัฐชยธร | วัทธิกรสิริกุล | กรรมการ |
| 11. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ | | กรรมการและเลขานุการ |
| 12. รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายวิชาการและวิจัย | | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

คณะกรรมการดำเนินงาน ประกอบด้วย

- | | | |
|----------------------------------|-----------------|---------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ | รักไทยเจริญชีพ | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กร | พวงนาค | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ | ทินกณะ | กรรมการ |
| 4. เรืออากาศตรี ดร.พลกฤษณ์ | จรรย์ตันดีเวทย์ | กรรมการ |
| 5. อาจารย์ศุทธิพงษ์ | จิารุณรัตน์ | กรรมการ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร | วุฒิพัฒน์พันธุ์ | กรรมการ |



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน



7.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัส	บุญเกียรติทอง	กรรมการ
8.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธิ์	ประกอบกิจ	กรรมการ
9.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิศักดิ์	วรดิษฐ์	กรรมการ
10.	อาจารย์ ดร.ศพงษ์	สุมานนท์	กรรมการ
11.	อาจารย์ ดร.วรกาน	อินทพันธ์	กรรมการ
12.	อาจารย์ ดร.วารินทร์	วีระสินธุ์	กรรมการ
13.	อาจารย์อัมภากรณ์	พิรวณิชกุล	กรรมการ
14.	นางภัครรัตน์	เชื่อนเคนทร์	กรรมการ
15.	รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว	กรรมการและเลขานุการ
16.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองรักษ์	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
17.	อาจารย์ ดร.ภควิทย์	เกอะประสิทธิ์	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายดำเนินการคัดเลือกบทความและนำเสนอบทความ

1.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร	วุฒิปพัฒนพันธุ์	ประธานอนุกรรมการ
2.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิญญา	คุณขจร	อนุกรรมการ
3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุรฉกร	อู่สุข	อนุกรรมการ
4.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระยุทธ	คุณรัตนศิริ	อนุกรรมการ
5.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรสิทธิ์	ประกอบกิจ	อนุกรรมการ
6.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัจจา	ลักษณะอำนวยพร	อนุกรรมการ
7.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะกิจ	วิวัฒน์กร	อนุกรรมการ
8.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลทรัพย์	วิวัฒน์กร	อนุกรรมการ
9.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เวฬุรินทร์	ธัญญ์ประเสริฐ	อนุกรรมการ
10.	อาจารย์ ดร.ธนาวัฒน์	ดันทมณีประเสริฐ	อนุกรรมการ
11.	อาจารย์ ดร.พลีชีพ	สุวรรณภิงคาร	อนุกรรมการ
12.	อาจารย์ ดร.ศพงษ์	สุมานนท์	อนุกรรมการ
13.	อาจารย์ ดร.อานนท์	สิงห์เสถียร	อนุกรรมการ
14.	อาจารย์นิลमित	นิลาศ	อนุกรรมการ
15.	อาจารย์สุวิมล	แพ่งธีระสุขมัย	อนุกรรมการ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส ย่าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดน่าน

x



16.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พรชัย เดชชนะเศรษฐ์		อนุกรรมการ
17.	อาจารย์ ดร.พีศักดิ์	ตรงศิริกุล	อนุกรรมการ
18.	อาจารย์ ดร.มนตรี	บุญเรืองเศษ	อนุกรรมการ
19.	อาจารย์ ดร.ชนิษฐา	ดีสุบิน	อนุกรรมการ
20.	อาจารย์ ดร.วารินี	วีระสินธุ์	อนุกรรมการ
21.	อาจารย์สุปัญญา	สิงห์กรณ์	อนุกรรมการ
22.	อาจารย์กมลณิษฐ์	ภูสุร	อนุกรรมการ
23.	อาจารย์วรรณภา	มโนสืบ	อนุกรรมการ
24.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนศรี	วรรณการ	อนุกรรมการและเลขานุการ
25.	นางสาวลลิตา	นาคจำแลง	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
26.	นายชนพล	สวนลำไย	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
27.	นางสาวเลิศลักษณ์	บัวทอง	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะอนุกรรมการจัดทำเล่มบทความ

1.	รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว	ประธานอนุกรรมการ
2.	เรืออากาศตรี ดร.พลกฤษณ์	จริยพันธ์เวทย์	อนุกรรมการ
3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์	สุศคมิ่ง	อนุกรรมการ
4.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองรักษ์	อนุกรรมการ
5.	อาจารย์ ดร.ฉัตรแก้ว	จริยพันธ์เวทย์	อนุกรรมการ
6.	อาจารย์ ดร.ยุทธนา	สรवलสรร์ค์	อนุกรรมการ
7.	อาจารย์นพกฤษณ์	दान้อย	อนุกรรมการ
8.	อาจารย์ชติดา	อุฒร์ภักษาสกุล	อนุกรรมการ
9.	อาจารย์วิปีศย์	ปุยสำลี	อนุกรรมการ
10.	อาจารย์นิคม	ดิษชุคสี	อนุกรรมการ
11.	อาจารย์วรรณภา	มโนสืบ	อนุกรรมการ
12.	นายชนพล	สวนลำไย	อนุกรรมการ
13.	อาจารย์ ดร.อัญชลี	มโนสืบ	อนุกรรมการและเลขานุการ
14.	อาจารย์นเรศ	ชั่งสุทธิ	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
15.	นางสาวลลิตา	นาคจำแลง	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส บ้าน อำเภอมืองปาน จังหวัดน่าน



คณะกรรมการฝ่ายสถานที่และยานพาหนะ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัส	บุญเกียรติทอง	ประธานอนุกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลทิพย์	วัฒนิกัณธร	อนุกรรมการ
3. อาจารย์ ดร.คชพงศ์	สุมานนท์	อนุกรรมการ
4. อาจารย์ ดร.อานนท์	สิงห์เสถียร	อนุกรรมการ
5. อาจารย์อรุณพล	ช่วยคำชู	อนุกรรมการ
6. นางสาวจันทร์เพ็ญ	คำภูมิ	อนุกรรมการ
7. นายสมยศ	แสงจันทร์	อนุกรรมการ
8. นางสาวเนตรนภา	แสงเงิน	อนุกรรมการ
9. นางกัญญาชีลา	ธัญสิประเสริฐ	อนุกรรมการ
10. นายไพฑูรย์	อาราเบีย	อนุกรรมการ
11. นายปิยะพันธ์	บำเรอจิตร	อนุกรรมการ
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะกิจ	วัฒนิกัณธร	อนุกรรมการและเลขานุการ
13. นางวรรณรัฐ	คงสมบูรณ์	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายต้อนรับและงานเอกสารสารบรรณ

1. นางภัทรีรัตน์	เชียนเคนทร์	ประธานอนุกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองวิทย์	อนุกรรมการ
3. นางสาวทิพรดา	มุงดี	อนุกรรมการ
4. นางนงนภัส	ทองวิจิตร	อนุกรรมการ
5. นางสาวชพร	สีไพบุลย์	อนุกรรมการ
6. นางสาวสุกัญญา	จำทัศน์	อนุกรรมการ
7. นางสาวจิตเกษม	ใจแก้ว	อนุกรรมการ
8. นางสาวสุภาภรณ์	ลาพุม	อนุกรรมการและเลขานุการ
9. นางสาวสุภาพร	มีสาตร์	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส ป่าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



คณะกรรมการฝ่ายการเงิน

1. รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายบริหาร		ประธานอนุกรรมการ
2. นางสาววันรัตน์	มุกนันท	อนุกรรมการ
3. นางสาวกมลวรรณ	อาชวอาชานกุล	อนุกรรมการ
4. นางสาวธีรนาถา	การุณย์นวลศิริ	อนุกรรมการ
5. นางอัมรินทร์	พินิจเวชการ	อนุกรรมการ
6. นางสาวปิ่นมจิตรต์	นราภิมรย์ขวัญ	อนุกรรมการ
7. นางศรัญญา	พิริยประเสริฐ	อนุกรรมการและเลขานุการ
8. นางสาวปรียะตา	ตระกูลอ่ำ	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียน

1. อาจารย์ประสิทธิ์	แพงเพชร	ประธานอนุกรรมการ
2. นางสาวศิริกุล	ภู่อัจฉริยะ	อนุกรรมการ
3. นางสาวพรศิริ	ยงสวัสดิ์	อนุกรรมการ
4. นายอาณนัท	จิ๋วเรณูพัฒน์	อนุกรรมการ
5. นางสาวชนิดา	บุญยศ	อนุกรรมการ
6. นายฐานะณัฐ	นพแก้ว	อนุกรรมการ
7. นางสาวสาวตรี	อยู่ยวม	อนุกรรมการ
8. นางวรรณรัฐ	คงสมบูรณ์	อนุกรรมการ
9. นางสาวจันทร์เพ็ญ	คำภูมิ	อนุกรรมการ
10. นายธนพล	สวนสาลี	อนุกรรมการ
11. นางศุภัญญา	พินิจเวชการ	อนุกรรมการ
12. นางสาวสิริขวัญ	ชาวบัวใหญ่	อนุกรรมการ
13. นางสาวสุภาภรณ์	สาพน	อนุกรรมการและเลขานุการ
14. อาจารย์ ดร.ณัฐวัฒน์	จินตะเสน	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
15. นางสาวลลิตา	นาคเจ้าแสง	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ





คณะกรรมการฝ่ายจัดการรายได้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว	ประธานอนุกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	พันธุระ	อนุกรรมการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.	พวงนาค	อนุกรรมการ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองรักษ์	อนุกรรมการและเลขานุการ
5. อาจารย์ ดร.อัญชลี	มนโสม	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดซื้อจัดจ้าง

1. หัวหน้างานพัสดุ		ประธานอนุกรรมการ
2. นายอัครพงศ์	อภิรักษ์สันติ	อนุกรรมการ
3. นางสาวสกวรัตน์	นิ่มอนงค์	อนุกรรมการ
4. นางสาวภาภรณ์	เฮงเจริญถาวร	อนุกรรมการ
5. นางจุไรภรณ์	กวีดิยกุลย์	อนุกรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายสารสนเทศประชาสัมพันธ์และของที่ระลึก

1. ผู้อำนวยการฝ่ายสื่อสารองค์กร		ที่ปรึกษา
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองรักษ์	ประธานอนุกรรมการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิศักดิ์	วรดิษฐ์	อนุกรรมการ
4. อาจารย์สุนารี	พุดธุง	อนุกรรมการ
5. อาจารย์สุปัญญา	สิงห์ทรงณ์	อนุกรรมการ
6. นายอุเทน	พรหมมี	อนุกรรมการ
7. นายปฐมพงศ์	จันทศักดิ์	อนุกรรมการ
8. นางสาวสมพิศ	ไปเจอะ	อนุกรรมการ
9. นางสาวอภิญา	ขุนบุญมณี	อนุกรรมการ
10. นางสาวกชรัตน์	นิ่มคล้าย	อนุกรรมการ
11. นางสาวจุฑามาศ	ฉัตรสุริยวงศ์	อนุกรรมการ
12. อาจารย์ ดร.เกรียงไกร	เหลียงฮัสน	อนุกรรมการและเลขานุการ
13. นางสาวทิพรดา	มิ่งดี	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน



คณะอนุกรรมการฝ่ายเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมและบริการจัดการท่องเที่ยว

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุทธภูมิ	สุวรรณเวช	ที่ปรึกษา
2. อาจารย์สุทธิพงษ์	จำรูญรัตน์	ประธานอนุกรรมการ
3. อาจารย์ ดร.เนเรศ	กันธะวงศ์	อนุกรรมการ
4. อาจารย์พิทยศ	เพชรวงษ์	อนุกรรมการ
5. อาจารย์ญาณาสร	เชียรถาวร	อนุกรรมการ
6. อาจารย์ ว่าที่ ร.ต.สราทตรา	เล่งไพบูลย์	อนุกรรมการ
7. นางสาววันทนา	ศรุตจันทร์	อนุกรรมการ
8. อาจารย์ ดร.ชัยวุฒิ	ชัยฤกษ์	อนุกรรมการ
9. อาจารย์ ดร.ภควิทย์	เกอะประสิทธิ์	อนุกรรมการ
10. อาจารย์ญาณินท์	สายหยุด	อนุกรรมการ
11. นายวิลาส	วิสิทธิ์	อนุกรรมการ
12. นางสาวรุ่งฤดี	ตรงต่อศักดิ์	อนุกรรมการ
13. นางสาวรัตติณีภูมิษฐ์	อังสนุ	อนุกรรมการ
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิษฎา	ทองรักษ์	อนุกรรมการและเลขานุการ
15. นางสาวทิพรดา	มั่งดี	อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะอนุกรรมการฝ่ายติดตามและประเมินผล

1. รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ฝ่ายวางแผน		ประธานอนุกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลพรพรรณ	จาววาระกุต	อนุกรรมการ
3. อาจารย์วิวิทย์	ปยุตสาส์	อนุกรรมการ
4. นางกฤษณา	ระจันภักย์	อนุกรรมการ
5. นายเสกสรร	กันธรส	อนุกรรมการ
6. นางนงนภัส	ทองวิจิตร	อนุกรรมการและเลขานุการ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน



คณะกรรมการประเมินบทความการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44 (EECON-44)

ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
1	Asst. Prof. Dr. Chow Chompoo-inwai	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2	Prof. Dr. Songphol Kanjanachuchai	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3	Asst. Prof. Dr. Channarong Banmongkol	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4	Assoc. Prof. Dr. Nisachon Tangsanglumvisai	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5	Asst. Prof. Dr. Arporn Teeramongkonrasmee	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6	Asst. Prof. Dr. Apiwat Lek-uthai	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7	Prof. Dr. Boonchai techaumnat	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8	Dr. Napong Panitantum	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9	Mr. Boonchuay Supmonchai	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10	Assoc. Prof. Dr. Siriroj Sirisukprasert	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11	Assoc. Prof. Dr. Peerayot Sanposh	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12	Dr. Achara Pichetjamroen	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13	Asst. Prof. Dr. Chalakorn karuongsiri	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
14	Asst. Prof. Anuwat Prasertsit	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15	Dr. Phonsit Santiprapan	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
16	Dr. Pakpoom Hoyingcharoen	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
17	Dr. Warit Wichakool	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
18	Dr. mongkol saeja	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
19	Assoc. Prof. Dr. Wanchak Lerwari	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
20	Asst. Prof. Dr. Werapon Chiracharit	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
21	Asst. Prof. Dr. Sarawan Wongs	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
22	Asst. Prof. Dr. Suwat Pattaramalai	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
23	Asst. Prof. Dr. Thorin Theeradejvanichkul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
24	Assoc. Prof. Dr. Choopan Rattanapoka	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส ปาน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
25	Asst. Prof. Dr. Anusak Bilsalam	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
26	Asst. Prof. Dr. Ruslee Sutthaweekul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
27	Asst. Prof. Dr. Pakkawe Hayamin	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
28	Asst. Prof. Dr. Suphot Chunwiphat	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
29	Dr. Yuenyong Nilsiam	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
30	Dr. Pokkrong Vongkoon	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
31	Mr. Chaowan Jamroen	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
32	Asst. Prof. Dr. Nararat Ruangchaijatupon	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
33	Asst. Prof. Dr. Pramit Artrit	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
34	Asst. Prof. Dr. Kittipitch Meesawat	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
35	Dr. Jonggrit Jongudomkam	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
36	รศ.ดร.ภุช เฉยไสย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
37	ศส.ดร.มณฑล นาวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
38	Assoc. Prof. Dr. Boonyang Plangklang	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39	Assoc. Prof. Wattana Punlumjeak	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
40	Asst. Prof. Dr. Noraset Wichaipanich	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
41	Asst. Prof. Dr. Nathabhat Phankong	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
42	Asst. Prof. Dr. Paitoon Raklua	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
43	Asst. Prof. Dr. Chatchai Suppitaksakul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
44	Asst. Prof. Dr. Ekkachai Mujjalinvimut	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
45	Asst. Prof. Dr. Sirchai Dangeam	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
46	Asst. Prof. Dr. Nitipong Panklang	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
47	Asst. Prof. Promsak Apratikul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
48	Asst. Prof. Nachirat Rachburee	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
49	Mr. Nattapol Ha-uapala	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
50	Assoc. Prof. Dr. Athikom Roeksabutr	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
51	Asst. Prof. Dr. Chalyaporn Lothongkam	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
52	Asst. Prof. Panlop Pantuprecharat	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส น่าน อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน



ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
53	Dr. Jirapat Sangthong	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
54	Dr. Theppanom Sopapern	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
55	Dr. Vinai Silaruam	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
56	Mr. Nattapong Iundang	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
57	Mr. Vasin Boonsobhak	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
58	Assoc. Prof. Dr. Sanya Mitaim	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
59	Assoc. Prof. Dr. Wanchai Pijitrojana	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
60	Assoc. Prof. Dr. Pichai Aree	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
61	Asst. Prof. Dr. Nitikam Nimsuk	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
62	Asst. Prof. Dr. Supachai Vorapojpisut	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
63	Asst. Prof. Dr. Supakit Prueksaaron	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
64	Dr. Kanchana Silawarawet	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
65	Asst. Prof. Dr. Pramual Choorat	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
66	Asst. Prof. Dr. Khanit Matra	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
67	Asst. Prof. Dr. Pichaya Chalpanya	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
68	Asst. Prof. Dr. Samroeng Hintaraisi	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
69	Asst. Prof. Dr. Parachai Juanuwatranakul	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
70	Assoc. Prof. Dr. Surachoke Thanapitak	มหาวิทยาลัยมหิดล
71	Asst. Prof. Dr. Chuttchaval Jeraputra	มหาวิทยาลัยมหิดล
72	Asst. Prof. Dr. Tatcha Chulajata	มหาวิทยาลัยมหิดล
73	Asst. Prof. Dr. Pornchai Chanyagorn	มหาวิทยาลัยมหิดล
74	Dr. Supun Tiptipakorn	มหาวิทยาลัยมหิดล
75	Asst. Prof. Dr. Yongyuth Naras	มหาวิทยาลัยสยาม
76	Asst. Prof. Wipavan Narksarp	มหาวิทยาลัยสยาม
77	Assoc. Prof. Dr. Poompat Saengudomiert	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
78	Assoc. Prof. Songkran Kantawong	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
79	Dr. Nuntiya Chaiyabut	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
80	Assoc. Prof. Dr. Khanittha Kaewdang	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส บ้าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
81	Assoc. Prof. Dr. Suchin Trirongjitmoah	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
82	Asst. Prof. Dr. Suparek Janjarasjitt	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
83	Asst. Prof. Dr. Worakam Wongsaihua	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
84	Asst. Prof. Dr. Prasit Nakonrat	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85	Asst. Prof. Dr. Atipong Suriya	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
86	Asst. Prof. Dr. Bongkoj Sookananta	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
87	Dr. Nakrop Jitnorn	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
88	Dr. Pracha Khamphakdi	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
89	Assoc. Prof. Dr. Wanchai Chimchavee	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
90	Asst. Prof. Dr. Suparek Manipornsut	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
91	Asst. Prof. Dr. Supachate Innet	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
92	Asst. Prof. Supanunt Tunwannarux	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
93	รศ.ดร.อิทธิพงษ์ ชัยชัยวัฒน์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
94	Assoc. Prof. Dr. Boonlert Suechoey	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
95	Asst. Prof. Dr. somsak siriporananon	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
96	Asst. Prof. Chirasak Sinsukudomchai	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
97	Asst. Prof. Chaiyo Thammarat	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
98	Asst. Prof. Dr. Somboon Sooksatta	มหาวิทยาลัยรังสิต
99	Asst. Prof. Dr. Supattana Nirukkanaporn	มหาวิทยาลัยรังสิต
100	Asst. Prof. Dr. Wanchai Subsingha	มหาวิทยาลัยรังสิต
101	Asst. Prof. Patiphan Kerdlaop	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
102	Assoc. Prof. Dr. Nattachote Rugthaicharoencheep	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
103	Assoc. Prof. Dr. Supawud Nedphokaew	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
104	Asst. Prof. Dr. Nattapong Phanthuna	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
105	Asst. Prof. Dr. Aphichata Thongrak	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
106	Asst. Prof. Dr. Sakhon Woothipatanapan	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
107	Asst. Prof. Dr. Sanya khunkhao	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
108	Asst. Prof. Dr. Poonsri Wannakarn	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
109	Asst. Prof. Dr. Weerayuth Khunrattanasiri	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดิ อิมเพรส บ้าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
110	Asst. Prof. Dr. Burasakorn Yoosooka	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
111	Asst. Prof. Korn Puangnak	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
112	Asst. Prof. Wetarin Thansiphaserth	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
113	Dr. Kriengkri Luangampol	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
114	Dr. Ponglakit Jarlyatanitiwait	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
115	Dr. Thanarat Tanmaneeprasert	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
116	Dr. Pasist Suwanapingkarl	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
117	Dr. Kotchapong Sumanonta	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
118	Dr. Yutthna Sroulsrun	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
119	Dr. Amon Singhasathein	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
120	Mrs. Kamonnit Pusom	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
121	Asst. Prof. Dr. Tanalrat Mata	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
122	Asst. Prof. Dr. Wuttiwat Kongrattanaprasert	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
123	Asst. Prof. Choosak Kamonkhantithom	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
124	Dr. Narongit Mekloi	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
125	Dr. Yutana Chongjaream	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
126	Asst. Prof. Dr. Natapong Wongprommoon	มหาวิทยาลัยศิลปากร
127	Asst. Prof. Dr. Jhirat Mearmchu	มหาวิทยาลัยศิลปากร
128	Dr. Phamom Silapan	มหาวิทยาลัยศิลปากร
129	Assoc. Prof. Dr. Jonglak Pahasa	มหาวิทยาลัยพะเยา
130	Assoc. Prof. Dr. Chawasak Rakpenthai	มหาวิทยาลัยพะเยา
131	Asst. Prof. Dr. Thanomsak Sopon	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
132	Asst. Prof. Dr. Kisanapong Puntstri	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
133	Dr. Mongkol Danburnungtrakul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
134	Dr. Tajchai Pumpoung	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
135	Dr. Yuttana Kongjeen	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
136	Assoc. Prof. Dr. Chanchai Thongsopa	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
137	Assoc. Prof. Dr. Rangsan Wongsan	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
138	Assoc. Prof. Dr. Monthippa Uthansakul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
139	Assoc. Prof. Dr. Nittaya Kerdprasop	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
140	Assoc. Prof. Dr. Kittisak Kerdprasop	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
141	Asst. Prof. Dr. Thanaset Thosdeekoraphat	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
142	Asst. Prof. Dr. Tosaporn Narongrit	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
143	Asst. Prof. Dr. Prayoth Kumsawat	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
144	Asst. Prof. Dr. Uthen Leeton	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
145	Asst. Prof. Dr. Settawit Poochaya	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
146	Asst. Prof. Dr. Somsak Vanit-Anunchai	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
147	Asst. Prof. Dr. Sudarat Khwan-on	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
148	Asst. Prof. Dr. Nuntawut Kaoungku	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
149	Dr. Sarunya Kanjanawattana	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
150	Dr. Tosaphol Ratniyomchai	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
151	Dr. Supaporn Bunrit	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
152	Dr. Samran Santalunial	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
153	Dr. Komsan Srivisut	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
154	Assoc. Prof. Dr. Somkait Udomhunsakul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
155	Assoc. Prof. Dr. Danupon Kumpanya	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
156	Asst. Prof. Dr. Phakkawat Jantree	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
157	Asst. Prof. Dr. Yutthana Kanthaphayao	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
158	Asst. Prof. Dr. Waranee Krudpun	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
159	Dr. Praty Mangkolwai	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
160	Asst. Prof. Dr. Chaiyaporn Panyindee	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
161	Asst. Prof. Dr. Praphat Annmamee	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
162	Asst. Prof. Dr. Ekasit Nugooldcharoenlap	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
163	Asst. Prof. Dr. Jetsdaporn Satansup	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
164	Asst. Prof. Dr. Komkris Boonying	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
165	Asst. Prof. Dr. Kairoek Choeychuen	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
166	Asst. Prof. Ruangyos Keteruksa	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดิ อิมเพรส ปาน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



ลำดับที่	ชื่อ-นามสกุล ผู้พิจารณาบทความ	หน่วยงาน
167	Asst. Prof. Dr. Prasopchok Hothongkham	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
168	Dr. Peerumporn Jiranantanagorn	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
169	Dr. Pitchanun Wongsirkom	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
170	Dr. Sopa Sae-Heng	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
171	Dr. Terapong Boonraksa	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
172	Dr. Vinai Pompojratanakul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
173	Dr. Jiraporn Kiatwuthiamorn	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
174	Mr. Ditsapon Chumchewkul	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
175	ดร.วีระศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุรนานา
176	Assoc. Prof. Dr. Wanchai Khamsen	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุรนานา
177	Asst. Prof. Dr. Anon Namin	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุรนานา
178	Asst. Prof. Dr. Upady Hatthasin	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุรนานา
179	Asst. Prof. Dr. Kanokwan Ruangsiri	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
180	Assoc. Prof. Dr. Tanit Malakorn	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
181	Assoc. Prof. Dr. Niphath Jantharamin	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
182	Assoc. Prof. Dr. Somporn Ruangshichaiwanich	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
183	Asst. Prof. Dr. Surachet Kanprachar	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
184	Asst. Prof. Dr. Sarawut Wattanawongpak	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
185	Asst. Prof. Dr. Piyadana Pachanapan	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
186	Asst. Prof. Dr. Sommart Sang-Ngem	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
187	Asst. Prof. Dr. Akaraphunt Vongkumphae	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
188	Asst. Prof. Dr. Siriporn Dachasilaruk	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
189	Asst. Prof. Dr. Mutita Songjun	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
190	Dr. Jirarat Jeamsaard	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
191	Dr. Phisut Apichayakul	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
192	Dr. Suradet Jitrapakulsam	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
193	Dr. Jiraporn Pooksook	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
194	Dr. Jiawadee Polprasert	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
195	Dr. Piyapat Pongson	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
196	Asst. Prof. Dr. Sopapan Suwansayang	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
197	Asst. Prof. Dr. Jeevada Sattthong	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
198	Asst. Prof. Dr. Thawatchai Thongleem	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
199	Mr. Teeranon Chaiyakun	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส ปาน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขา

มหาวิทยาลัยมหิดล

PW ผศ.ดร.ธรรมาวุธย์ สิงหวีลย์
PE ผศ.ดร.ชัชวาลย์ เจริญบุตร
CM รศ.ดร.พงศธร เศรษฐบุตร
CT ดร.พัฒนาช พัทฒนะศรี
EL รศ.ดร.สุรโชค ธนพิทักษ์
CP ผศ.ดร.สุรโชค ธนพิทักษ์
CP ผศ.ดร.พรชัย ชันษากร
PH รศ.ดร.ภูมินทร์ กิระวานิช
BE ผศ.ดร.เสง เลิศมโนรัตน์
GN ผศ.ดร.กฤษฏา อัครสกุลเกียรติ

CM รศ.ดร.อดิศักดิ์ มนต์ประภัสสร
CT รศ.ดร.เตชา พวงดาวเรือง
EL รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายอินทร์
DS ผศ.ดร.สมศักดิ์ สิริโปรธานานนท์
PH ผศ.ดร.ณัฐ โอบนาททรัพย์
BE ผศ.ดร.สมเกียรติ เพียงพรานทอง
CP ผศ.น.อ.ไชโย ธรรมรัตน์
GN ผศ.วิชัย แจ่มดี

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

PW ดร.วรภัทร กอแก้ว
PE ผศ.ดร.เกษม อุทัยใจฟ้า
CM ผศ.ดร.สันต์ชัย รัตนนนท์
CT ผศ.ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร
EL ผศ.สุภวัฒน์ สุนทรธรรักษ์
CP ดร.ภาคพงศ์ อมรกุล
DS ดร.อภิวัฒน์ แสงโนวี
PH ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์นิยม
BE ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์
GN รศ.ดร.วันชัย ฉิมฉวี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

PW รศ.ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ
PE รศ.ดร.กองพล อารีรักษ์
CM รศ.ดร.พีระพงษ์ อุซารสกุล
CT รศ.ดร.กองพัน อารีรักษ์
EL รศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว
DS รศ.ดร.กิตติ อัดถกิจมงคล
PH ผศ.ดร.พิชญ์วรมณ พิงสุวธรรมรักษ์
BE ผศ.ดร.ประเมศวร์ ท่อนแก้ว
CP รศ.ดร.นิตยา เกิดประสพ
GN รศ.ดร.อนันต์ชัย กุลวรรวณิชพงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

PW รศ.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ
PE รศ.นภัทร วจินเทพินทร์
CM ผศ.ดร.ภาควัฒน์ จันทรัตน์
CT รศ.ดร.ปรีชา สาคะรังค์
EL ผศ.ดร.ไพฑูริย์ เกียรติสุขคณาธร

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

PW รศ.ดร.บุญเลิศ สือเฉย
PE ผศ.ชูเกียรติ พงษ์พานิช



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส นาน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



DS รศ.ดร.สมเกียรติ อุดมทรราชกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

PW รศ.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย

PW ผศ.วินัย เมธาวิทิต

PE ผศ.ชูศักดิ์ กมลขันธิธร

CM ผศ.ดร.เจษฎา ก้อนแพง

RE ดร.ทองเพียร พรหมบุตร

RE ดร.ยุทธนา จงเจริญ

CP ผศ.ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์

GN ผศ.ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

PW ผศ.ดร.ไชยพร หล่อทองคำ

CM ผศ.ดร.สาวีสดี บุญเวศ

CT ผศ.ดร.วีระชัย มลายเวช

EL รศ.ดร.สุชาติา สิทธิจงสถาพร

CP ผศ.ดร.ธันวา ศรีประโม่ง

DS รศ.ดร.พีระพล ยุวภูษิตานนท์

PH รศ.ดร.อริศม ฤกษ์บุตร

GN รศ.ดร.อริศม ฤกษ์บุตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

PW รศ.ดร.สมพร สิริสำราญกุล

PE ผศ.ดร.ไชยรินทร์ อัครวโรดม

CM ศ.ดร.ประยุทธ อัครเอกผาลิน

CT รศ.ดร.พิสิษฐ์ ลีวอนกุล

EL รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม

CP ผศ.ดร.วรัญญา วงษ์เสรี

DS รศ.ดร.วิไลพร แซ่ลี่

PH ผศ.ดร.อมรินทร์ รัตนะวิท

BE รศ.ดร.สุรพันธ์ อิ่มมัน

GN ผศ.ดร.นภตล วิวัชรโกเศศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

PW รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์

PE ผศ.ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง

CM ผศ.ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ

CT ผศ.ดร.ฉัตรชัย คูพิทักษ์สกุล

EL ผศ.ดร.อำนาจ เรืองวารี

DS ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร

CM ผศ.ดร.นรเศรษฐ์ วิชัยพาณิชย์

BE ผศ.ดร.ศิริชัย แดงแอม

CP ผศ.ดร.ธีรอรุณ ปิณฑล

RE รศ.ดร.บุญยักร ปลั่งกลาง

GN ผศ.ดร.สุรินทร์ แห่งงาม

มหาวิทยาลัยรังสิต

PW ผศ.ดร.สุพัฒนา นีรัตน์ภรณ์

PE ผศ.ดร.วันชัย ทวีพิสัยงษ์

CM ผศ.ดร.ไพศาล งามจรรยาภรณ์

CT รศ.ดร.อดิธิช กายจนทฤทัย

EL รศ.มนูญ พ่วงพูล

CP รศ.ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล

PH ดร.เสด็จดี เพ็ชรประสาน

BE รศ.ดร.มนัส สิงวรศิลป์





GN ผศ.ดร. สมบูรณ์ สุขสารท

มหาวิทยาลัยพะเยา

PW รศ.ดร.จงลักษณ์ พาทะชา
CT รศ.ดร.สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล
PE ผศ.ดร.คำรงค์ อมรเดชาพล
DS ผศ.ดร.ธนาทิพย์ จันทรงค์
GN รศ.ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

มหาวิทยาลัยนเรศวร

PW ผศ.ดร.ปิยฉนัย ภาพนะพรรณ
PE ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์
PH ดร. สมมาตกร แสงเงิน
CM ผศ.ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
CT ผศ.ดร.มูศิตา สงฆ์จันทร์
EL ผศ.ดร.อัศวพันธ์ วงศ์กั้งแห
CP ผศ.ดร.พนมขวัญ รียะมงคล
DS รศ.ดร.สุชาติ แก้วแม่
BE ผศ.ดร.พรพิศุทธิ์ วรจันต์
GN ผศ.ดร.สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
RE ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

PW ผศ.ดร.เนติยา ชัยบุตร
CM ผศ.ดร.ปกรณ์ ยุบลโกศล
CT ดร.อัศวพงษ์ เอกสิริ
EL รศ.สงกรานต์ กันทวงศ์
CP ผศ.ดร.จักรพงษ์ สุธาสกุล

DS ผศ.ดร.วิศาล พัฒน์ชู
PH รศ.ดร.ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ
BE ผศ.ดร.สุพจน์ สุขโพธารมณ
GN ดร.ศิริชัย เต็มโชคเกษม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

CM ผศ.ดร.ระพีพันธ์ แก้วอ่อน
CT ดร.ภมร ศิลาพันธ์
EL ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ วงศ์พร้อมมูล
CP ดร.โสภณ ผู้มีจรรยา
GN ดร.กณธิศา พันธุ์เจริญ

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

GN ผศ.บุญภาน เกิดลาภ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

PW ส.ดร. อิศระชัย งามทร
PE ดร.สมภาพ ผลไม้
CM ส.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ
CT ส.ดร.วินชัย วีรจาง
EL ส.ดร.อภิวัฒน์ ชาญยานนท์
CP ผศ.ดร.สุรินทร์ กิตติธรรกุล
DS รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อโพธิ์
PH รศ.ดร.สุริยภณ สมควรพาณิชย์
BE รศ.ดร.สุชาติ ปิณฑวิรุจน์
GN ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดิ อิมเพรส ป่าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- PW อ.ดร.พลสิทธิ์ ศานติประพันธ์
- PE อ.ดร.มงคล แซ่เจี๋ย
- CM รศ.ดร.วิกรม อธิภาพจรเดช
- CT รศ.คมตติง เจษฎ์พัฒนานนท์
- EL รศ.ดร.ภาณุมาศ คำสัตย์
- CP อ.ดร.ภิตติคุณ ทองพูล
- DS ผศ.ดร.รวิภักดิ์ ดวงสร้อยทอง
- BE รศ.ดร.พรชัย พุกขภัทธานนท์
- GN อ.ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

- PW ผศ.ดร.วิวัฒน์ ทิพจร
- PE รศ.ดร.อุเทน คำน่าน
- CM ผศ.ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา
- CT ดร.อนันต์ วงษ์จันทร์
- EL ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขันธ์
- CP ผศ.ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล
- DS ดร.นพพล มณีเทียร
- GN ผศ.ดร.ยุพดี หัตถกลิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- PW ผศ.ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์
- PE ผศ.เจตกุล โสภานิชย์
- CM ศ.ดร.วาทีต เเบญจพลกุล
- CT ผศ.ดร.สุชิน อรณสวัสดิ์วงศ์
- EL รศ.ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์
- CP ผศ.ดร.เชาวติศ อัครกุล

- DS ผศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์

- PH รศ.ดร.ดวงฤดี วรสุชีพ
- BE ผศ.ดร.อาภรณ์ ชิมมงคลรัมย์
- GN ผศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- PW ผศ.ดร.ดุสิตพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์
- PE ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ
- CM รศ.ดร.ศรีจิตรา เจริญลาภานพรัตน์
- CT รศ.ดร.เชาวลิต มีผลสันติสุข
- EL ผศ.ดร.ชุนเกียรติ การะเกตุ
- CP รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์
- DS ศ.ดร.วชิพงษ์ อารีกุล
- PH ดร.พัลลภ รัตติกัล
- BE ผศ.ดร.ศุภิต ธนเทพาย
- GN ผศ.ดร.วิริยะ จงบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

- PW รศ.ดร.กานต์ เกิดชื่น
- PE ผศ.ดร.พินิจ ศรีธรรม
- CM ผศ.ดร.วรรณวิทย์ วงศ์ไทรรัตน์
- CL ผศ.ดร.วรรณวิทย์ วงศ์ไทรรัตน์
- CT รศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล
- CP ผศ.ดร.ธนอมศักดิ์ โสภณ
- GN ผศ.ดร.ภฤติเดช บัวใหญ่
- DS ดร.ประจวบ อินระวงศ์
- BE ดร.ประจวบ อินระวงศ์
- PH ผศ.ดร.นิธิโรจน์ พรสุพรรณเจริญ





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

- PW ดร.วินัย พรพจน์วิเศษกุล
- PE ผศ.ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ
- CM ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ นุกูลเจริญลาภ
- CT ผศ.อดิศักดิ์ แซ่สารกิจ
- EL ผศ.ดร.เจษฎาพร สถาบันทรัพย์
- CP ผศ.ดร.ไกรฤกษ์เขยซีน
- DS ดร.ชัยพิชิต คำพิมพ์
- PH อ.ติสพล จำเนียรกุล
- BE ผศ.ดร.ชัยพร ปานยินดี
- GN อ.สุธี รุกขพันธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

- PW ผศ.ดร.บงกช สุขอนันต์
- DS ผศ.ดร.วรากร วงศ์สายเชื้อ
- PE ดร.ประชา คำภักดี
- PH ผศ.ดร.ประสิทธิ์ นศรราช
- CM ผศ.ดร.อภินันท์ สุริยา
- BE ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรัสจิตต์
- CT ผศ.ดร.ธรรมรส รักธรรม
- CP ผศ.อารยา ฟลอเรนซ์
- EL รศ.ดร.ชนิษฐา แก้วแดง
- RE ผศ.ดร.คมสันต์ ตาโรจน์
- GN รศ.ดร.สุชิน ไตรรงค์จิตต์เหมาะ

มหาวิทยาลัยสยาม

- PW ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม
- PE ผศ.ดร.รงยุทธ นาราษฎร์

- CM พล.ท.ดร.สมพงษ์ ตุ่มสวัสดิ์
- EL ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์
- CP ผศ.พกิจ สุวัฒน์
- DS ผศ.ดร.ทัศนีย์ พลอยสุวรรณ
- GN ผศ.ไวพจน์ ศุภบรรเลียง

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

- PW รศ.ดร.นิคม เพ็ชรรักษ์
- CM ผศ.ดร.ปราโมทย์ งามอิสระกุล
- CT ผศ.ดร.ณรงค์เดช กิริติพรานนท์
- CP ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

- PW ผศ.ดร.กรชัย จูธนวัฒน์กุล
- PE ผศ.ดร.นิมิต บุญภิรมย์
- CM อ.เสมา พิพนนิม
- CT ผศ.ดร.สำเริง ฮินทาไม้
- EL ผศ.ทศวีร์ ศรีโหมศ
- CP ดร.วนายฤทธิ์ แสงเงิน
- DS ผศ.เอกชัย พิธีร์
- PH ผศ.เต็มพงษ์ ศรีเทศ
- BE ผศ.ปราภลุต เหลียงประดิษฐ์
- GN ผศ.ดร.วิษชากร เฮงศรีอวิง

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

- PW ดร.ชาติ ฤทธิธีรวิญ
- PE ผศ.อนุชิต เจริญ
- CM อ.ปัญญา บูรพัฒน์ศิริ



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดิ อิมเพรส ย่าน อำเภอเมืองปาน จังหวัดปาน



CT ผศ.ณธรรม เกิดสำอางค์
EL อ.ธีรยุทธ จันทร์แจ่ม
CP ดร.ประภาส ม่องสนาม
DS รศ.ดร.พิศิษฐ์ โภคารัตน์กุล
BE อ.ทรงพล รอดทอง
GN รศ.วิญญู แสงวงฉินกลีกรัง
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
PE รศ.ดร.วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์
CM ผศ.ดร.นาคูณ ศรีสนิท
GN รศ.ดร.เวศิน ปิยรัตน์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

PE รศ.ดร.ไพบูลย์ นาคมหาชาลาสินธุ์
CM ผศ.ดร.คามพันธ์ บุนยะเวศ
CT ผศ.ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์
CP ผศ.ดร.ศุภกิจ พดกษอรุณ
DS รศ.ดร.สมชาติ โชคชัยธรรม
PH อ.ดร. บิวิต โอวาทชัยพงศ์
BE รศ.ดร.นภคณ อุษาภิชาติ
GN ผศ.ดร.พิศาล แก้วประภา

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

PW รศ.ดร.สมบูรณ์ นุชประบุร
PE ศ.ดร.อุทอนา ชำสุวรรณ์
CM ผศ.ดร.ราตรี โกมลมีศรี
CT ผศ.ดร.บุญศรี แก้วคำอ้าย
EL รศ.ดร.เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์
CP รศ.ดร.ตันสนีย์ เอื้อพันธ์วิริยะกุล

DS รศ.ดร.นิพนธ์ ชีรอำพน
PH รศ.ดร.อุกฤษฏ์ มั่นคง
BE รศ.ดร.นิพนธ์ ชีรอำพน
GN ผศ.ดร.เกษมศักดิ์ อุทัยชนะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

PW ดร.เชิดชัย ประภาณวรัตน์
PE ศร.ปิยสวัสดิ์ นวรัตน์ณ อยุธยา
CM ผศ.ดร.พินิจ กำหอม
CT รศ.ดร.วันจักรี เล่นวารี
EL ผศ.ดร.เมต จิวเสียมวาท
CP ผศ.ดร.วีรพล จีระจิต
DS ผศ.ดร.สันติ นุราช
PH ผศ.ดร.อุทัย ภัทรนันท์
BE รศ.ดร.บุญเสริม แก้วกำเหน็ดพงษ์
GN ศ.ดร.โกสินทร์ จันทน์ไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

PW รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
PE ผศ.ดร.สาคร วุฒิตันพันธุ์
CM เรืออากาศตรี ดร.พลกฤษณ์ จรรย์คันติเวทย์
CT ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์
EL ผศ.ดร.วันทน์ สุดคั่น
CP ผศ.ดร.บุรฉกร อยุธยา
DS ดร.อัครแก้ว จรรย์คันติเวทย์
PH ผศ.ดร.สัญญา คุณงาม
GN ผศ.ดร.มนตรี บุญเกียรติพงษ์



ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2564 โรงแรม ดี อิมเพรส บ้าน อำเภอมืองปาน จังหวัดน่าน



ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

- PW ดร.เจษฎา ชิตทองงาม
- PE คุณสุทัศน์ ปฐมบุหงศ์
- CM คุณกิตติ วงศ์ถาวรวัฒน์
- CT คุณอุดม ลีवलมไพศาล
- EL ดร.ราชพร เขียนประสิทธิ์
- CP ดร.ชาติ วรกุลพิพัฒน์
- DS ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์
- PH ดร.ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร
- BE ดร.พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา
- GN ดร.วุฒิกัทร คอวนิช

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- PW ผศ.ดร.รองฤทธิ์ ฉัตรถาวร
- PE รศ.ดร.กฤษ เฉยไสย
- CM รศ.ดร.วิระสิทธิ์ อิ่มถวิล
- CT ผศ.ดร.ประมินทร์ อาจฤทธิ์
- EL รศ.ดร.ศราวุธ ชัยมูล
- CP ผศ.ดร.นรวารัตน์ เรืองชัยคุพร
- DS รศ.ดร.อาภาภ มีสมบูรณ์
- PH รศ.ดร.อาคม แก้วระวัง
- BE ผศ.ดร.บุญยิ่ง เจริญ





สารบัญบทความ

รหัส	ชื่อบทความ	หน้า
บทความวิจัยสาขา PW ไฟฟ้ากำลัง		
IPW01	การออกแบบระบบไมโครกริดอัจฉริยะสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับสถานีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว ณัฐพงษ์ บุญราช, ณตฤณ จันทร์จำรัส ศิวรัตน์, รัชโรจน์ชัย และ กฤษณ์ชนม์ ฐิตะภักดิ์พิชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	1
IPW02	เทคนิคการลดค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังด้วยเทคนิคการปรับมุมเฟส และวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค สิริวิทย์ สีนากพงษ์ และ วุฒิชัย ฮาวาธิเศรษฐ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	5
IPW03	การออกแบบระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัยโดยใช้เครื่องวัดพลังงานอัจฉริยะ สิทธิศักดิ์ โรจนะ และ กิตติกร ชันแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	9
IPW04	การประเมินประสิทธิภาพมาตรการเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟแสงสว่างอาคารควบคุมในหน่วยงานภาครัฐ : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย กิตติกร ชันแก้ว และ กฤติกร แก้ววงศ์ศรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	13
PW01	การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการแผ่ของสายไฟฟ้าใต้ดินจากขนาดของท่อร้อยสายที่แตกต่างกัน อุทธีชัย ราชเนน, รุ่งพร ก่องนอก, ยุทธนา ศรีจีน, พีณิจ จิตจรัส และ บุญยัง เปล่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	17
PW02	การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนของการเดินสายไฟฟ้าใต้ดิน แบบขุดเปิดหน้าดินและแบบดึงท่อลอดสำหรับสายไฟฟ้าใต้ดิน แรงดัน 24 เควี วุฒิชัย มนทาว, รัชชัย มินนะ, อุทธีชัย ราชเนน, พีณิจ จิตจรัส และ บุญยัง เปล่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	21
PW03	การประเมินความเชื่อถือได้และคุณภาพระบบไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกรณีศึกษาสายส่งระบบจำหน่าย 115 kV มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สมชาย บรรณมาศ และ อุเทน สัติน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	25
PW04	การลดอัตราไฟฟ้าย้อนคืนสู่สายส่งด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด อำนาจ สาระศรี, สุบัน หนองเหล็ก และปณชภัทร กุณีภาค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	29





การออกแบบระบบไมโครกริดอัจฉริยะสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับสถานีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว Design of Residential Smart Microgrid System for Fast Charging Electric Vehicles Station

ณัฐพงษ์ บุญราช¹, ณฤศณัฐ จันทร์จำรัส², สิริวิทย์ วัฒนวิจิตร³ และ คุณณัชนันท์ ภูมิภักดิ์พิชญ์^{4*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³สำนักวิจัยและพัฒนา จีเอส อี-โมบิลิตี e-mail: krischonme.b@ea.mut.ac.th^{*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าพร้อมระบบกักเก็บพลังงานสำหรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วที่บ้านพักอาศัย โดยจำลองระบบผลิตไฟฟ้าขนาดความจุ 11.73 kW บนพื้นที่หลังคา 67.456 ตร.ม. และอินเวอร์เตอร์ขนาด 33.3 kW รวมกับระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LFP) มีความจุ 16 kWh เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนาด 40 kWh ประเมินค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโปรแกรม PVsyst ได้ 76.84% โดยการออกแบบระบบผลิตฯ อ้างอิงข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้า (load profile) ที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 kWh/เดือน ในปี 2563 จากการใช้พื้นที่หลังคา และการวิเคราะห์ระบบ Microgrid โดยใช้โปรแกรม Homer Grid Analysis Program ในเขตอากาศหริว กรุงเทพมหานคร ที่ได้ดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้า 18,437 kWh ต่อปี เพื่อรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านพักอาศัย 5,390 kWh/ปี, เพื่อรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า 4,687 kWh/ปี โดยบทความนี้เสนอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไมโครกริดและลดผลกระทบของโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าพร้อมกัน และสามารถออกแบบระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมและคุ้มค่าต่อการลงทุน

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, ยานยนต์ไฟฟ้า, ไมโครกริดอัจฉริยะ, สถานีอัดประจุ

Abstract

This paper presents a design of grid-connected rooftop photovoltaic power generation systems with energy storage (Microgrid) systems for charging residential electric vehicles. By simulating a production system with a capacity of 11.73 kWp on a roof area of 67.456 square meters and a 10 kW solar edge inverter combined with an energy storage system using a lithium-ion phosphate battery (LFP) with a capacity of 16 kWh. To support the charging of electric vehicles with a capacity of 40 kWh, the performance of the power generation system from the PVsyst

program was assessed 76.84% using load profile data with a consumption of more than 150 kWh/month in 2020 from Information of the Metropolitan Electricity Authority of Thailand and the Microgrid system was analyzed by using the Homer Grid Analysis Program in Lat Phao, Bangkok that provides an electric power generation with a capacity of 18.47 kWp per year to support the use of residential electricity at 5,390 kWh/year, to support the charging of electric vehicles of 4,687 kWh/year. This paper proposes to increase the efficiency of the system. Microgrid and reduce the impact of the grid when charging electric vehicles simultaneously and can find the size of the energy storage system that is suitable and worth the investment.

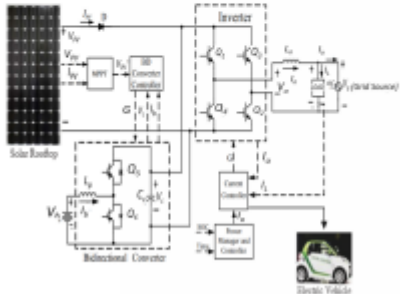
Keywords: photovoltaic, electric vehicles, smart microgrid, charging station

1. บทนำ

สถานะโลกถือเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะรถยนต์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกเกือบ 70% [1] การเพิ่มขึ้นของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลให้ความจำเป็นมากขึ้นในการใช้พลังงานมากขึ้น สำหรับรองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณมากแต่ไม่มีการควบคุมการอัดประจุ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น โดเวอร์โหลด การสูญเสียพลังงาน แรงดันไฟฟ้าตก โหลดที่ไม่สมดุล และฮาร์มอนิก ความรุนแรงของผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับตัวแปรจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ตัวแปรระบบโครงข่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ด้วย การแก้ปัญหาหนึ่งคือการใช้การบริหารเวลาในการชาร์จโดยอัตโนมัติ โดยสามารถตั้งเครื่องใช้พลังงานสูงในโครงข่ายพลังงาน สร้างสถานีเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งจะมีปัญหากับแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน การอัดประจุแบบไร้สายจะมีปัญหาระดับประสิทธิภาพต่ำ สิ้นเปลืองและราคาสูง ดังนั้นบทความนี้จะเสนอวิธีแก้ปัญหาหนึ่งโดยการออกแบบระบบไมโครกริดสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วตามที่อยู่อาศัย [2] เนื่องจากวิธีนี้



ตั้งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน ออกการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่เป็น สาเหตุของภาวะโลกร้อนและสามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้า สำหรับการผลิตประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ตามรูปที่ 1 ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตเป็นระบบกักเก็บพลังงาน(Energy Storage System, ESS) โดยผ่านระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS) สำหรับควบคุมสถานะการอัดประจุ (State-of-Charge, SOC) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตระหว่าง 20% ถึง 80% เพื่อป้องกันการใช้งานของแบตเตอรี่ [3]



รูปที่ 1 ระบบโมโครกริดสำหรับอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าบนเขี้ยว

2. การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค โดยอ้างอิง จาก IEA PVPS Task2 ดังข้อที่ 2.1 – 2.3 [4]

2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพารกณภูมิ (Reference Yield) หาได้จากสมการที่ (1) [4]

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (1)$$

เมื่อ Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้รับต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp) H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวของแผง (kWh/m²) G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ STC=1 kW/m²

2.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงซึ่งที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการที่ (2) [4]

$$Y_f = E_{tot} / P_o \quad (2)$$

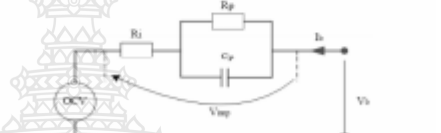
เมื่อ Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงซึ่งที่ผลิตได้จากเซลล์ (kWh/kWp) E_{tot} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh) P_o คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

2.3 สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio, PR) หาได้จากสมการที่ (3) [4]

$$PR = Y_f / Y_r \quad (3)$$

3. ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System, ESS)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต(LFP) เป็นหนึ่งในฟังก์ชันที่สำคัญ ที่สุดสำหรับระบบจัดการแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) และระบบกักเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บ พลังงาน แต่สำหรับแบตเตอรี่ LFP จะมีอายุการใช้งานนานขึ้นและมี อัตราการจ่ายกระแสไฟที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดย สามารถอธิบายวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตได้ด้ว วจสมมูลตามรูปที่ 2 โดยจะเขียนในรูปของ R-C networks โดย R_i คือ the pure Ohmic resistance, R_p คือ the charge transfer resistance, C_p คือ the double layer capacitance เพื่ออธิบายพฤติกรรมของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนฟอสเฟต ดังสมการที่ (4) ที่อธิบายสมการ transfer function ที่ใน รูป s-domain [3]

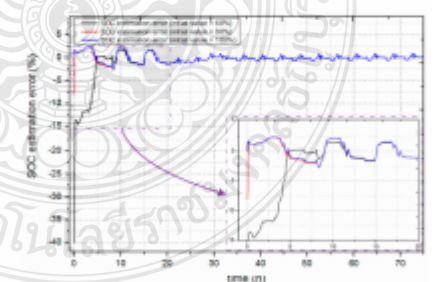


รูปที่ 2 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ LiFePO4

$$G(s) = \frac{V_o(s) - OCV(S)}{I_o(s)} = \frac{V_o(s)}{I_o(s)} = R_i + \frac{R_p}{1 + sR_pC_p} \quad (4)$$

4. ค่าผิดพลาดเชิงฮิสเทอรีซิสของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

จากการทดลองเรื่องบนจำลองฮิสเทอรีซิส (hysteresis modeling) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต โดยจำลองการอัดประจุที่ 100%, 90% และ 60% ของ SOC และคายประจุที่ 20% ของ SOC โดยผลง ค่าเชิงการสูญเสียฮิสเทอรีซิสจาก SOC ที่ต่างกัน โดยในช่วง 4 ชั่วโมงแรก ในการทำงานมีความผิดพลาดของค่าเชิงการสูญเสียฮิสเทอรีซิสต่างกัน ไม่เกิน 2% ดังแสดงในรูปที่ 3 [3]



รูปที่ 3 ความผิดพลาดของค่าเชิงการสูญเสียฮิสเทอรีซิสที่ SOC ต่างกัน



5. ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV)

ปัจจุบันพบว่ายานยนต์ไฟฟ้ามีมากกว่า 2 ล้านคันทั่วโลก โดยมีในรูปแบบของ Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) และ Battery Electric Vehicles (BEV) สำหรับรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำตามมาตรฐาน IEC 62196 [5] ที่แสดงดังรูปที่ 4 มี 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการอัดประจุแบบปกติซึ่งเป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสสลับผ่าน On board Charger ที่มีขนาด 4.3 kW และ 6.6 kW สำหรับการอัดประจุแบบ 1 เฟส และ 11 kW, 22 kW สำหรับการอัดประจุแบบ 3 เฟส ผ่านอุปกรณ์ Inverter เพื่ออัดประจุในแบตเตอรี่ โดยใช้เวลาประมาณกว่า 1-2 ชั่วโมง รูปแบบที่ 2 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว เป็นการอัดประจุไฟฟ้าที่กระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่ตรง โดยใช้ระบบ BMS ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุใช้เวลา 10-15 นาที ตามรูปที่ 4 [2]

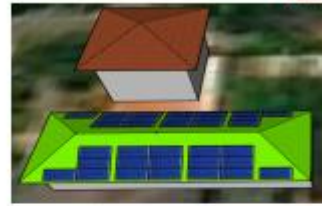


รูปที่ 4 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำตามมาตรฐาน IEC 62196

สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการจำลองในโปรแกรมนี้คือ Nissan Leaf ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 150 แรงม้า แรงบิดสูงสุด 320 นิวตันเมตรกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนความจุ 40 kWh ที่ระยะทางวิ่งเฉลี่ยตามมาตรฐาน NEDC ได้ 311 กิโลเมตร [2]

6. ผลการจำลองระบบสมรรถนะที่โครงการผลิตที่รองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว

จากการจำลองระบบสมรรถนะที่วัดโดยใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มากกว่า 150 kWh/เดือน ในปี 2563 [6] และข้อมูลการใช้พลังงานอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าขนาด 40 kWh มีค่าพลังงานการอัดประจุต่อครั้ง 13 kWh/day จากโปรแกรมจำลอง Homer Grid เพื่อหาค่ากำลังติดตั้งพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 11.77 kWp ดังรูปที่ 7 และนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากโปรแกรม PVsyst ดังรูปที่ 6 และมีค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรมจำลอง Homer Grid โดยเลือก Inverter ชนิด Bidirectional รุ่น SolarEdge ขนาด 33.3 kW ตามมาตรฐานการทดสอบของ กฟน., แบตเตอรี่ชนิด LFP ขนาด 16 kWh มีค่า Maximum Charge Current @0% Maximum Discharge Current @100% เป็น 30 A ดังรูปที่ 8, 9 และผลการจำลองระบบที่เก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ LFP ในรูปที่ 10

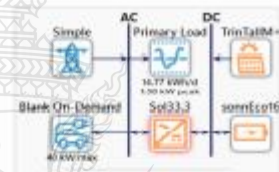


รูปที่ 5 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 11.73 kWp

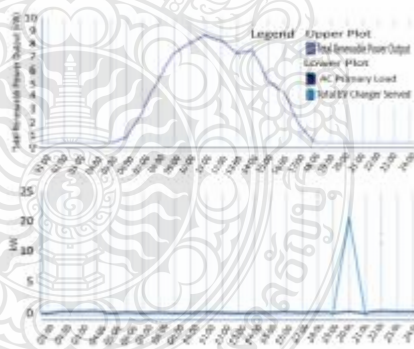


รูปที่ 6 ประเมินค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จาก

โปรแกรม PVsyst



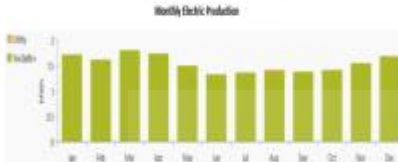
รูปที่ 7 โปรแกรม Homer Grid จำลองระบบสมรรถนะที่โครงการผลิตที่รองรับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า



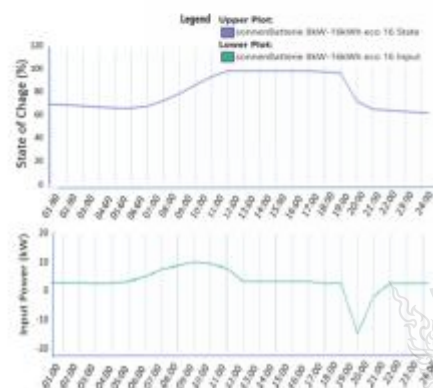
รูปที่ 8 กรรค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และโหลดที่ใช้งาน



Production			Consumption			Quantity	
	kWh/yr	%		kWh/yr	%		%
Total Solar PV (plus)	18437	99.9	AC Power Load	1390	11.8	base	0
Grid Purchase	222	0.120	Grid Sale	403	3.4	loss	0
Total	18659	100	EV Charge Smart	487	2.7		
			Total	1630	9.0		



รูปที่ 9 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และโหลดที่ใช้จริง



รูปที่ 10 ค่า % SOC ของแบตเตอรี่และค่าพลังงานที่มีการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม Homer Grid พบว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากระบบผลิตฯ เท่ากับ 18,437 kWh/yr, สำหรับโรงรับกร โหลดพลังงานไฟฟ้าที่กระแสระดับ 5,390 kWh/yr, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าที่แบบเร็วในช่วงเวลา 20.00 น. ปริมาณ 4,687 kWh/yr และแสดงการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า 22.2 kWh/yr ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับกรไฟฟ้าที่ 6,861 kWh/yr ซึ่งพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตฯ ถูกใช้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 สำหรับค่า %SOC และค่าพลังงานที่มีการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนฟอสเฟต

7. สรุปผล

จากผลการวิเคราะห์ระบบผลิตฯ ขนาดติดตั้ง 11.73 kWp ใช้แบตเตอรี่ LFP สำหรับกักเก็บพลังงานขนาด 33.3 kWh ซึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตได้ 18,437 kWh/yr ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 99.9 และซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเพียง 22.2 kWh/yr ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.120 สำหรับโรงอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วขนาดแบตเตอรี่ 40 kWh ที่ใช้พลังงานในช่วงเวลา 20.00 น. และรองรับโหลดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งหมด 10,977 kWh/yr นอกจากนี้ยังสามารถขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับกรไฟฟ้าจำนวน 6,861 kWh/yr ซึ่งระบบที่ออกแบบมีความเหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุนเนื่องจากสามารถซื้อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนทั้งหมดและซื้อพลังงานจากการไฟฟ้าที่น้อยมากส่วนพลังงานที่เหลือก็ขายคืนให้กับกรไฟฟ้า และสามารถลดปัญหาการร้อนที่สาเหตุอีกมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกจนช่วยลดโลกร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Jangjamej, and P. Thongchai, "Development of energy efficiency standards and regulation for an electric motor in Thailand," 17th Int.Conf. on Elect. Eng./Electro., Comp, Tele. and Inf. Tech (ECTE-CON 2020), Phuket, Thailand, 2020, pp. 255-258.
- [2] N. Boonruach, N. Jangjamej, and K. Blunkitipich, "Design of hybrid solar rooftop systems for use in electric vehicle charging and feasibility analysis for investment," 13rd Electrical Engineering Network conference '02, 2021, pp. 97-99.
- [3] Y. Ko and W. Choi, "A New SOC Estimation for LFP Batteries: Application in a 10 Ah Cell (HW 38120 L/S) as a Hysteresis Case Study," MDP1 Electronics, 10(6), 2021, pp.705.
- [4] บุญอิง ปัสังการัง, เอกสารกรรสรณระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [5] ศาสตราจารย์ดร.วิฑูรย์ อรรถกฤษณ์, ผู้จัดการประกอบกิจการสำหรับสถานีโรงรับกรรับกรไฟฟ้า (รพกร), สำนักงานคณะกรรมการกิจการพลังงาน, กรุงเทพมหานคร, 2561
- [6] กองผลิตพลังงานไฟฟ้า, ศาสตร์วิจัยและพัฒนา, (2564). "วิจัยข้อสงสัยกับเพื่อนวิศวกรที่ผ่านการทดสอบ ข้อกำหนดสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเชื่อมต่อกับโรงรับกรรับกรไฟฟ้ากรกรกรกร"กรรไฟฟ้ากรกรกรกร, 2564.[Online]. Available: <https://www.mee.or.th/minister/vpp/download/849>. [Accessed: Sep. 25, 2021].

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายณัฐพงษ์ บุญราช
วัน เดือน ปีเกิด	28 ตุลาคม 2528
ที่อยู่	41/84 ซ.21 ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์1 ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)
ประสบการณ์การทำงาน	วิศวกรไฟฟ้า 5 กองธุรกิจพลังงานเกี่ยวเนื่องหน่วยงานภาครัฐ ฝ่ายธุรกิจบริการและ คุณภาพไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง พ.ศ.2562 ถึง ปัจจุบัน
วิชาชีพ	สามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้ากำลัง (สฟก.5816)
เบอร์โทรศัพท์	08-1890-3501
อีเมลล์	boonrach.nattapong10@gmail.com

