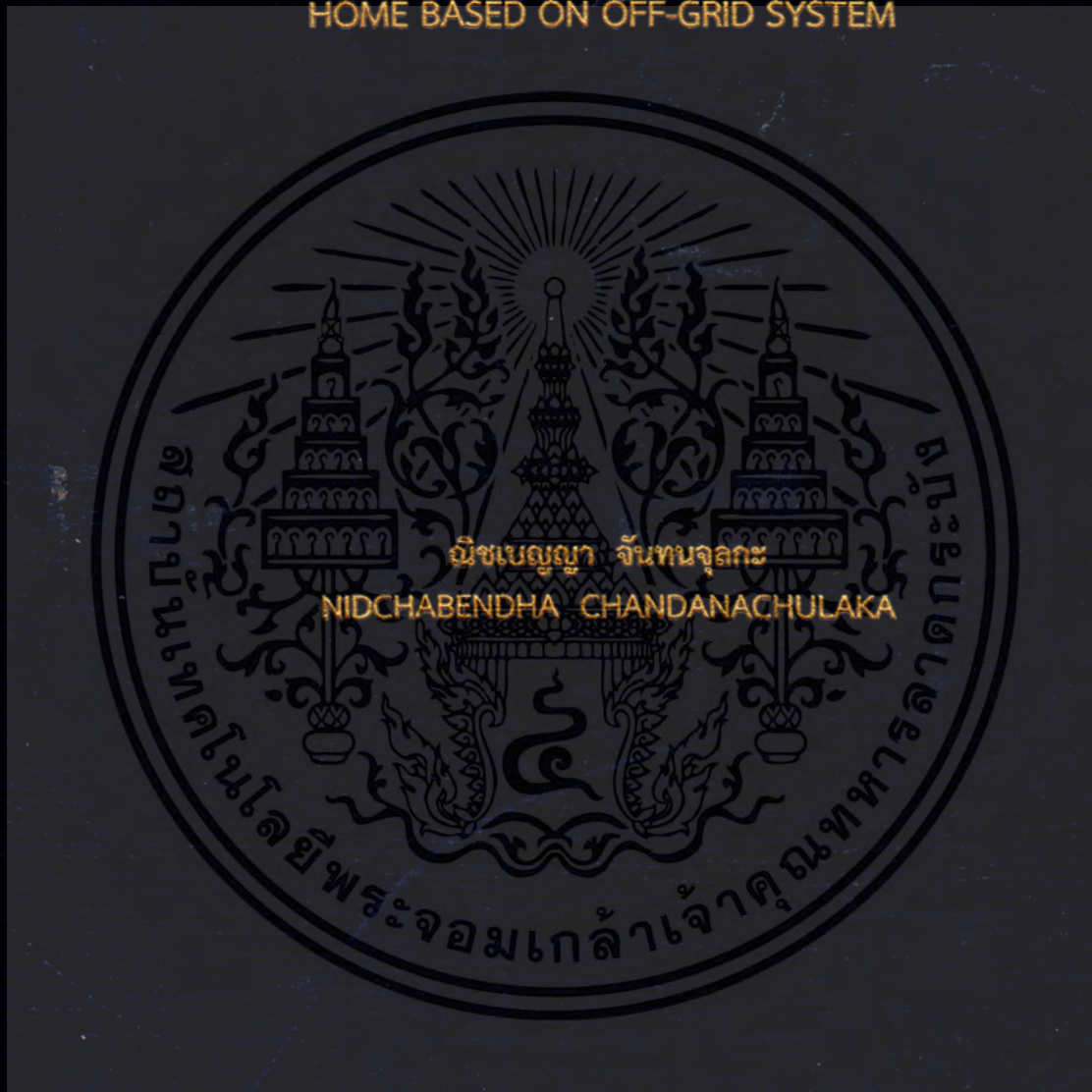


การออกแบบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง  
จากพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไม่ต่อกริด

DESIGN OF ZERO ENERGY HOME SYSTEM FOR SMALL DC RESIDENTIAL  
HOME BASED ON OFF-GRID SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2561  
KMITL-2018-EN-D-018-102

การออกแบบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง  
จากพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไม่ต่อกริด

DESIGN OF ZERO ENERGY HOME SYSTEM FOR SMALL DC RESIDENTIAL  
HOME BASED ON OFF-GRID SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-D-018-102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF ZERO ENERGY HOME SYSTEM FOR SMALL DC RESIDENTIAL  
HOME BASED ON OFF-GRID SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2018  
KMITL-2018-EN-D-018-102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไม่ต่อกริด

Thesis Title Design of Zero Energy Home System for Small DC Residential Home based on Off-grid PV System

นักศึกษานางสาวณิชาเบญญา จันทนจุลกะ

รหัสประจำตัว 55610128

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-D-018-102

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิบูลย์	ชินแสก	
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวินากร	
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	
ดร.เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์	
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์	ชันเงิน	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้า กระแสตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไม่ต่อกริด
นักศึกษา	นางสาวณิชาเบญญา จันทนจุลกะ
รหัสประจำตัว	55610128
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก (Zero Energy System: ZES) สำหรับความต้องการพลังงานระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กกว่า 1 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/วัน ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ส่วน ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 1 แผง เครื่องควบคุมขนาด 12 โวลต์ 20 แอมป์ จำนวน 1 เครื่อง และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ ชั่วโมง จำนวน 1 เครื่อง ความต้องการพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีขนาดเล็ก เพียงพอต่อการดำรงชีพขั้นพื้นฐาน ประกอบด้วยพัดลมขนาดรวม 35 วัตต์ หลอดไฟฟ้า LED ขนาดรวม 20 วัตต์ และเครื่องต้มน้ำขนาด 100 วัตต์ เมื่อนำไปใช้งานแล้ว จะมีความต้องการพลังงานเท่ากับ 0.795 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/วัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัดเพื่อแสดงให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ตัวชี้วัดได้แก่ 1) การออกแบบ 2) ความมั่นคงของพลังงาน 3) ประสิทธิภาพ 4) สิ่งแวดล้อม 5) ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน 6) ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 80 และสามารถจ่ายพลังงานได้ 2 วันโดยในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ อัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรมีค่าต่ำกว่า 50 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/ตารางเมตร นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความพร้อมใช้งาน จะเห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถจัดหาอุปกรณ์ได้ ไม่ยุ่งยาก สามารถจัดหาการซ่อมบำรุงได้ทั่วไป ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถนำไปใช้ยังพื้นที่ที่ไฟฟ้ายังเข้าไปไม่ถึง หรือผู้ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าได้

<b>Thesis</b>	Design of Zero Energy System for Small DC Residential Home based on Off-grid PV System
<b>Student</b>	Miss Nidchabendha Chandanachulaka
<b>Student ID.</b>	55601028
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern

## ABSTRACT

This research presents the design of a zero energy system (ZES) based on off-grid photovoltaic (PV) system for small DC system whose load demand is less than 1 kWh/day. This system consists of 3 parts: 300 W PV panel, energy conversion or solar charger, and 12 V 200 Ah energy storage. The used electrical utilizing system consists of 3 types: 20 W LED lighting system, 35 W fan for air cooling system, and 100 W electrical boiler or heating system, whose average load requirement is 0.795 kWh/day. This research defines 6 key sustainability parameters and key performance indicators in order to evaluate the benefits of ZES, which are design, energy security, efficiency, environment, system availability and cost effectiveness. The result has been analyzed and it was found that ZES can achieve more than 80% of the energy conversion efficiency and it can operate for 2 days without charging the battery. The battery charging and discharging from PV are demonstrated to confirm ZES energy security. The utilization ratio or the energy that required per one square meter is less than 50 Wh/m<sup>2</sup>. DC ZES and DC electric appliances are available, affordable and easy to be maintained. ZES is designed in order to provide the electricity for low-income people in remote areas, and its social benefits are more important than the return on investment. It can be concluded that DC utilizing system is reliable for ZES which can benefit to apply this system in remote area where it cannot connect to the grid.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ ที่อนุญาตให้ใช้สอาดจิตต์ธรรมสถานในการทดสอบ และเก็บข้อมูลของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ขอขอบคุณ ศ. ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการเรียนในระดับปริญญาเอก

ขอขอบคุณบริษัท กรีนกริธ จากัด คุณสาธิต สิทธิสาร และน้องๆ ในบริษัททุกคน ที่ให้คำแนะนำด้านเทคนิค

ขอขอบคุณ คุณอภัย - คุณจากรุวรรณ จันทนจุลกะ บิดามารดาของข้าพเจ้า ที่สนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด รวมทั้งคุณปรีญา ฤกษ์หรราย สามีของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ ณิชทิน - ณิชานันท์ บุตรชายและบุตรสาวของข้าพเจ้า ที่เป็นพลังและกำลังใจให้ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา บุตรชายและบุตรสาวซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ณิชเบญญา จันทนจุลกะ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ .....	X
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	4
2.1 ความเป็นมา .....	4
2.2 นิยามของระบบอาคารที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	7
2.2.1 แหล่งพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	9
2.2.2 ตัวอย่างกรณีศึกษา .....	10
2.2.3 อุปกรณ์หลักสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	12
2.2.4 จุดเด่นของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	13
2.3 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	13
2.3.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) .....	13
2.3.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) .....	14
2.3.3 การต่อระบบไฟฟ้ากับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	15
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้า .....	15
2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ .....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1.1 กระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) .....	15
2.4.1.2 ชนิดและประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	16
2.4.1.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	17
2.4.2 แบตเตอรี่ .....	18
2.4.2.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ .....	18
2.4.2.2 ประเภทของแบตเตอรี่ .....	19
2.4.2.3 การปล่อยประจุของแบตเตอรี่ .....	19
2.4.2.4 แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงาน ภายนอก .....	20
2.4.3 โหลดทางไฟฟ้า .....	21
2.4.3.1 โหลดทางไฟฟ้ากระแสตรง .....	21
2.4.3.1 โหลดทางไฟฟ้ากระแสสลับ .....	22
2.4.3.3 โหลดทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพา พลังงานภายนอก .....	22
2.5 บทสรุป .....	22
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	24
3.1 ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	24
3.1.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์ .....	24
3.1.2 อุณหภูมิ .....	26
3.1.3 พื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	28
3.1.4 ทิศทางในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ .....	28
3.1.5 ความสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	28
3.2 สมมติฐานสถานะแสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อระบบบ้านที่ไม่พึ่งพา พลังงานภายนอก .....	28
3.2.1 สถานะแสงอาทิตย์ดีมาก .....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 สภาวะแสงอาทิตย์ปานกลาง .....	29
3.2.3 สภาวะไม่มีแสงอาทิตย์ .....	29
3.3 สมมติฐานความต้องการพลังงาน .....	29
3.3.1 ความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรในประเทศไทย .....	29
3.3.2 ความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรโลก .....	30
3.4 แหล่งพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	30
3.5 โมเดลการทำงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	32
3.6 การออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	34
3.6.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Panel) .....	35
3.6.2 แบตเตอรี่ (Battery) .....	36
3.6.3 เครื่องควบคุม (Solar Charger Controller) .....	37
3.6.4 โหลดทางไฟฟ้า (Load Demand) .....	38
3.7 ตัวชี้วัดเพื่อนำมาเปรียบเทียบ .....	38
3.7.1 การออกแบบ (Design) .....	42
3.7.2 ความมั่นคงของพลังงาน (Energy Security) .....	43
3.7.3 ประสิทธิภาพ (Efficiency) .....	43
3.7.4 สิ่งแวดล้อม (Environment) .....	44
3.7.5 ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน (System availability) .....	45
3.7.6 ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ (Cost effectiveness) .....	45
3.8 บทสรุป .....	47
บทที่ 4 ผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	48
4.1 การติดตั้งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	48
4.2 การทำงานของระบบ EPEver .....	49
4.3 ขั้นตอนการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	51
4.4 ผลการทดสอบ .....	51
4.5 บทสรุป .....	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ .....	59
5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด .....	59
5.1.1 การออกแบบ .....	59
5.1.2 ความมั่นคงของพลังงาน .....	59
5.1.2.1 การทดสอบความมั่นคงของพลังงานของระบบไฟฟ้า กระแสตรง .....	60
5.1.2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ .....	71
5.1.3 ประสิทธิภาพ .....	74
5.1.4 สิ่งแวดล้อม .....	75
5.1.5 ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน .....	76
5.1.6 ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ .....	80
5.2 บทสรุป .....	83
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	84
6.1 สรุปผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	84
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	84
เอกสารอ้างอิง .....	87
ภาคผนวก .....	95
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 24 ตุลาคม 2559 .....	95
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการค้นหาอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบอินเทอร์เน็ต .....	110
ภาคผนวก ค. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ .....	118
ประวัติผู้เขียน .....	146

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	17
2.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด .....	20
2.3 เปรียบเทียบความเข้มของแสงจากหลอดไฟฟ้า .....	21
3.1 เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยและประเทศต่างๆ .....	26
3.2 ความเข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครโดยเฉลี่ยระหว่างพ.ศ. 2553 – 2557 .....	26
3.3 แหล่งที่มาของพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	31
3.4 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	36
3.5 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	38
3.6 ตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด .....	40
4.1 ขั้นตอนการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	51
5.1 ข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความมั่นคงของพลังงานระหว่างวันที่ 5 – 15 พฤศจิกายน 2560 .....	60
5.2 ตัวอย่างการทดสอบความมั่นคงของระบบพลังงานในกรณีที่โหลดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น .....	64
5.3 ข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความมั่นคงของพลังงาน ระหว่างวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559 .....	66
5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาของระบบไฟฟ้ากระแสตรงและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำการศึกษาทดสอบ .....	71
5.5 เปรียบเทียบราคาและขนาดของแบตเตอรี่ .....	72
5.6 ขนาดและราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอน .....	73
5.7 เปรียบเทียบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาใช้ตามสมมติฐานของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	74
5.8 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า .....	75
5.9 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกในห้วงระยะเวลาต่างๆ และเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกกับเชื้อเพลิงต่างๆ .....	76
5.10 ข้อกำหนดในการให้คะแนนเพื่อประเมินความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน .....	77

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.11 เปรียบเทียบการจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจากระบบอินเทอร์เน็ต .....	78
5.12 เปรียบเทียบการจัดหาอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจากระบบอินเทอร์เน็ต .....	79
5.13 อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด .....	80
5.14 ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	81
5.15 การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน .....	81



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อุปกรณ์หลักของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	12
2.2 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน .....	16
2.3 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ .....	19
3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย .....	25
3.2 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิ .....	27
3.3 แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	31
3.4 ลำดับการทำงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกในระบบไฟฟ้า กระแสตรง .....	33
3.5 แผนผังบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	34
3.6 ส่วนประกอบโหมตการส่งผ่านพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ..	35
3.7 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	36
3.8 แบตเตอรี่ .....	37
3.9 เครื่องควบคุม .....	37
3.10 ลำดับการพิจารณาตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด .....	41
3.11 พลังงานเข้า ( $Power_{in}$ ) และ พลังงานออก ( $Power_{out}$ ) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพา พลังงานภายนอก .....	44
4.1 การติดตั้งระบบพลังงานในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก .....	48
4.2 เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ .....	49
4.3 โปรแกรม EPEver บนคอมพิวเตอร์ .....	49
4.4 การเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม EPEver .....	50
4.5 การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ .....	52
4.6 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า .....	52
4.7 กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้า .....	53
4.8 กำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า .....	54
4.9 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ โหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ .....	55

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเตอริ์ และโหลดทางไฟฟ้า ในห้วงเวลาต่างๆ .....	56
4.11 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ .....	57
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเตอริ์ และโหลดทางไฟฟ้า .....	63
5.2 การประมวลผลการทดสอบความมั่นคงของพลังงานผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ....	64
5.3 การเก็บข้อมูลเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ความมั่นคงของพลังงาน .....	65
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเตอริ์และโหลดทางไฟฟ้า	68
5.5 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก .....	69
5.6 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสภาวะแสงอาทิตย์ปานกลาง .....	70
5.7 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสภาวะไม่มีแสงอาทิตย์ .....	70
5.8 อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่พบในร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า .....	78
5.9 อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่พบในร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า .....	79

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) เช่น น้ำมัน หรือ เชื้อเพลิงฟอสซิลมีการใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงปฐมภูมิจำนวนมากเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้า แต่เชื้อเพลิงปฐมภูมิเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถผลิตขึ้นมาใหม่ นักวิจัยเริ่มตระหนักว่า การใช้เชื้อเพลิงปฐมภูมิผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในระยะยาว เช่น ภาวะเรือนกระจก น้ำเสีย หรือมลภาวะทางเสียง เป็นต้น แหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy) จึงถูกนำมาใช้เพื่อช่วยในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นดังกล่าว

เมื่อพิจารณาถึงการมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างทั่วถึง จะเห็นว่าในเมืองหลวงหรือชุมชนขนาดใหญ่จะมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างเพียงพอต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้า แต่ในชนบทหรือพื้นที่ห่างไกลความเจริญนั้น บางชุมชนยังไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้ เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ภูมิประเทศยังไม่เอื้อต่อการวางระบบส่งสายไฟฟ้า หรือการลงทุนในการขยายกริดยังไม่คุ้มเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรในพื้นที่ห่างไกล

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก หรือ Zero Energy System (ZES) เป็นระบบพลังงานที่ใช้ในเพื่อผลิตพลังงานในอาคารขนาดเล็ก โดยได้คำนึงถึงหลักการประหยัดพลังงานเป็นสำคัญ นอกจากนี้ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้น่าหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building) มาใช้ ดังนั้น ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจึงสามารถตอบสนองความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกิดได้ ซึ่งภาครัฐอาจให้การสนับสนุนอาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์สำหรับประชาชนในพื้นที่ห่างไกล เนื่องจากการติดตั้งบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีความสะดวกและค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการเดินระบบส่ง

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ที่ผ่านมายังไม่มีการวิจัยที่ชี้ชัดว่าระบบกระแสไฟฟ้าตรง (Direct Current) มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ซึ่งพัฒนาแนวความคิดจากอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะเน้นไปที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จะหมายถึงอาคารขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานเพื่อใช้สำหรับความต้องการพื้นฐานสำหรับการดำรงชีพเท่านั้น งานวิจัยนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาการทำงานของระบบอาคารที่ไม่พึ่งพา

พลังงานภายนอก รวมทั้งหาข้อพิสูจน์ว่า ระบบกระแสไฟฟ้าตรงเป็นระบบไฟฟ้าที่เหมาะสมกับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามที่กล่าวไว้ข้างต้น งานวิจัยนี้จะมีการตั้งตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัดเพื่อนำพิจารณาว่า ระบบกระแสไฟฟ้าตรงมีความเหมาะสมกับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมากน้อยเพียงไร

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 หัวข้อ ได้แก่

- 1.4.1 แนวคิดของระบบอาคารที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก
- 1.4.2 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง
- 1.4.3 ทฤษฎีโพลีโวลตาอิก แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้า

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งเป็นบ้านขนาดเล็กที่มีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 1.3 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน โดยได้มีการติดตั้งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกขึ้นจริงเพื่อเก็บข้อมูลมาพิจารณา จากนั้น งานวิจัยจะนำเสนอตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด ได้แก่ 1) การออกแบบ 2) ความมั่นคงของพลังงาน 3) ประสิทธิภาพ 4) สิ่งแวดล้อม 5) ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน และ 6) ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อแสดงว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

### 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

งานวิจัยนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ได้แก่

บทที่ 1 จะนำเสนอความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 จะนำเสนอทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย อันได้แก่ แนวคิดของอาคารที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ระบบไฟฟ้าที่สามารถใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก รวมทั้ง ทฤษฎีโพลีโวลตาอิกและแบตเตอรี่

บทที่ 3 จะนำเสนอปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก สมมติฐานความต้องการพลังงาน แหล่งพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก การออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกโดยใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัดเพื่อนำมาประเมินว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมกับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

บทที่ 4 จะนำเสนอผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกโดยใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 5 จะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด

บทที่ 6 จะนำเสนอบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงที่มาของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะกล่าวถึงแนวคิดของการใช้พลังงานเป็นศูนย์ ก่อนที่จะนำมาใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จากนั้นจะกล่าวถึงแนวคิดของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่มีความแตกต่างจากแนวคิดของการใช้พลังงานเป็นศูนย์ รวมทั้งระบบไฟฟ้าที่เลือกใช้และอุปกรณ์หลักสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งได้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

#### 2.1 ความเป็นมา

ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในทุกปี จะเห็นได้ว่าในกลุ่มประเทศสมาชิกขององค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ หรือ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) มีอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มประเทศที่ไม่ได้อยู่ในองค์การความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ หรือกลุ่มประเทศ Non-OECD ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาหรือประเทศยากจน ซึ่งจะเห็นว่า กลุ่มประเทศ Non-OECD มีอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 1.9 ต่อปี โดยมีการประมาณการระหว่างปี พ.ศ. 2558 – 2583 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มประเทศ Non-OECD มาจากการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ของสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการโยกย้ายถิ่นฐานของประชากรจากเขตชนบทมาสู่เมืองหลวง ทำให้กลุ่มประชากรที่ย่านถิ่นฐานมีรายได้มากขึ้น และสามารถจับจ่ายใช้สอยซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น [1] อีกทั้งกิจกรรมของประชากรเริ่มเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เข้ากับวิถีชีวิตชุมชนเมือง ความต้องการในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจกรรมต่างๆ ในอาคารเพิ่มสูงขึ้น เช่น มีการใช้เครื่องซักผ้าแทนการซักผ้าด้วยมือ การใช้เครื่องอบผ้าแทนการตากผ้าในที่โล่ง การใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อความสบาย หรือการใช้เครื่องล้างจานเพื่อทุ่นแรง เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูงขึ้น ทำให้การใช้พลังงานในอาคารเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานต่างๆ ทั่วโลก [2]

ทรัพยากรธรรมชาติจางวนมากถูกใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากมาย เช่น สภาวะโลกร้อน มลภาวะ น้ำเสีย เป็นต้น ดังนั้นนักวิจัยจึงเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และหาแหล่งพลังงานทดแทนมาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่ช่วยในการประหยัดการใช้พลังงาน [3]

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 คานิยามของการใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy) หรือในบางครั้งอาจใช้คำว่า 'Net Energy' เริ่มมีการนำไปใช้ในหลายสาขาวิชา เช่นสาขาของอาคารคำว่าการใช้พลังงานเป็นศูนย์ นำไปใช้เพื่ออธิบายถึงการทำให้เกิดความสมดุลระหว่างการใช้พลังงานและการผลิตพลังงานในอาคาร [4] [5] นอกจากนี้ ยังมีคานิยามที่ใกล้เคียงกัน เช่น 'Net Zero Energy Building', 'Zero Energy Building', 'Zero Carbon Building', หรือ 'Zero Energy Housing' ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายถึงอาคารที่ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออาคารที่สามารถลดความต้องการการใช้พลังงานในอาคาร รวมทั้งนำมาใช้เพื่อหมายถึงอาคารที่มีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า [6] ในบางครั้ง อาจหมายถึงอาคารที่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการการใช้พลังงานในอาคาร [7] นอกจากนี้ ยังมีคานิยามที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานเป็นศูนย์ที่ใช้กับอาคาร เช่น 'Autonomous House', 'Green Building', หรือ 'Being Self-Sufficient Building' ซึ่ง คานิยามเหล่านี้ล้วนแต่มีความหมายเกี่ยวกับอาคารที่สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม [8] หรือเป็นอาคารที่มีการอนุรักษ์พลังงาน (Passive Building Designs) [9] ซึ่งอาคารที่มีการอนุรักษ์พลังงานจะต้องมีการออกแบบและก่อสร้างด้วยวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสามารถจำกัดและลดความต้องการพลังงานในอาคารได้ด้วย [10]

ในปี พ.ศ. 2549 บ้านที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Home) ถูกนิยามขึ้นในประเทศสหราชอาณาจักร โดยบ้านที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์หมายถึงบ้านที่มีการผลิตและใช้พลังงานในบ้าน โดยที่ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานเป็นศูนย์ [11] และในปีเดียวกัน คานิยามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building - ZEB) ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะครอบคลุมทั้งอาคารที่เป็นที่อยู่อาศัย หรืออาคารพาณิชย์ทั่วไปที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ ทั้งนี้ อาจมีการนำ พลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในอาคาร เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการ ใช้พลังงานและการผลิตพลังงานในอาคาร [12]

นอกจากนี้ จากการศึกษาพบว่า คานิยามของอาคารที่ใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building - NZEB) และอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ มีความใกล้เคียงกันและเกิดความสับสนบ่อยครั้ง ทั้งสองคานิยามนั้นหมายถึงอาคารที่ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [8] นอกจากนี้ คานิยามทั้งสองยังได้หมายถึงอาคารที่มีการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ มีการจำกัดการใช้พลังงาน [13] รวมทั้งการควบคุมการใช้พลังงานในอาคารให้เพียงพอต่อพลังงานทดแทนที่ผลิตขึ้นในอาคาร [14]

อย่างไรก็ตาม อาคารที่ใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์มักใช้กล่าวถึงความสมดุลของระบบส่งไฟฟ้า (Grid Connection) ที่เชื่อมต่อเข้ามาในอาคาร [5] ดังนั้น อาคารที่ใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ หมายถึงอาคารที่สามารถผลิตพลังงานขึ้นมาใช้ในอาคาร เพียงพอต่อความต้องการการใช้พลังงานในอาคาร และสามารถส่ง

พลังงานที่ผลิตได้กลับสู่ระบบส่งไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบคานียามของอาคารที่ใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ และอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ จะเห็นว่า คานียามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะเรียบง่ายกว่า เนื่องจากจะกล่าวถึงอาคารที่สามารถผลิตพลังงานเพื่อรองรับความต้องการการใช้พลังงานในอาคารเท่านั้น [4] [15]

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา หลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์นั้นเริ่มเป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากการส่งเสริมให้มีการประหยัดพลังงานเป็นสคัญ ในเบื้องต้นคานียามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์หมายถึงอาคารที่ไม่มีการปล่อยมลภาวะ (Carbon Emission) ออกมาสู่ภายนอก โดยอาคารดังกล่าวจะต้องควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร หรือมีการลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร รวมทั้งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้เองจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ติดตั้งไว้ที่อาคารนั้นๆ [16] อย่างไรก็ตาม อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์สามารถหมายถึงอาคารพาณิชย์ทั่วไป หรือบ้านพักอาศัยที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร ควบคู่กับการผลิตพลังงานแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล [17]

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะพิจารณาเรื่องสมดุลพลังงาน (Energy Balance) ในอาคารเป็นสำคัญ อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ต้องมีการพิจารณาถึงการทำให้เกิดความสมดุลกันระหว่างความต้องการในการใช้พลังงานในอาคารและพลังงานที่สามารถผลิตได้โดยใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิง โดยที่มีการพิจารณาความสมดุลในช่วงระยะเวลา 1 ปี [18] [19] อย่างไรก็ตาม อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์อาจผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนได้มากกว่าความต้องการใช้พลังงานในอาคาร แล้วส่งพลังงานที่ผลิตได้สู่ระบบส่งของการไฟฟ้า [20]

คานียามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะมุ่งประเด็นไปที่การลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยเฉพาะพลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในอาคารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของอาคารนั้นๆ ซึ่ง Danny H.W. Li et al [21] ได้กล่าวไว้ว่าอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะมีหลักการที่สำคัญ 2 ด้านได้แก่ 1) การลดความต้องการในการใช้พลังงานในอาคาร เช่น การประหยัดพลังงานที่ใช้ในอาคาร และ 2) การนำพลังงานทดแทนรวมทั้งเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาช่วยเพื่อทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร เทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมในการก่อสร้างอาคารสมัยใหม่ เช่น วัสดุกันความร้อน ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในอาคาร การออกแบบประตูหน้าต่างของอาคารตามทิศทางลม รวมทั้งระบบเก็บกักความร้อนจากดวงอาทิตย์เพื่อทำให้บ้านอบอุ่นสำหรับพื้นที่หนาวเย็น [22] ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร และสอดคล้องกับคานียามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ [23]

นอกจากนี้ P. Torcellini et al [24] ได้กล่าวถึงความแตกต่างของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ในทวีปยุโรปและทวีปอเมริกาไว้ว่า นิยามของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ในทวีปยุโรปจะหมายถึงอาคารที่สามารถนำพลังงานทดแทนมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนพลังงานที่มาจากซากฟอสซิล แต่ในทวีปอเมริกา

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะหมายถึงอาคารที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทน ซึ่งจะเท่ากับพลังงานที่มีการใช้ในตัวอาคารนั้นๆ

อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ที่ประสบความสำเร็จนั้นจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของพลังงานหมุนเวียนที่เลือกใช้ในอาคาร [25] ถึงแม้ว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์นั้นมีหลายชนิด เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานคลื่น เป็นต้น แต่แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เป็นที่นิยมที่สุดสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ยั่งยืน トラบไคที่ยังมีแสงแดด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็สามารถผลิตพลังงานได้ [26] [27] นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น จะเห็นว่า พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า [28] อาคารหลายแห่งเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อมาลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล จากเหตุผลดังกล่าวทำให้อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์นิยมมาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ [29] [30] [31]

แนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ได้รับความสนใจในวงกว้าง ทั้งในด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม [32] เนื่องจากเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะเห็นว่าอาคารที่มีการออกแบบรุ่นใหม่จะเน้นเรื่องการประหยัดพลังงานควบคู่ไปกับรูปทรงที่สวยงาม และมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับกับความต้องการในอาคาร

## 2.2 นิยามของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

จากแนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์นำมาซึ่งแนวคิดของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก หรือ Zero Energy System (ZES) ซึ่งจะหมายถึงบ้านขนาดเล็กที่มีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กมาก โดยมีการจำกัดการใช้พลังงานในอาคาร ไม่ใช้พลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมีการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้พลังงานภายในบ้าน ดังนั้น ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานจากภายนอกไม่จำเป็นต้องต่อเข้ากับกริด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ผลิตพลังงานในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง และมีให้ใช้อย่างไม่จบสิ้น トラบไคที่ยังมีแสงแดด

จากนิยามข้างต้นที่กล่าวไว้ว่า อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะต้องพิจารณาความสมดุลกันระหว่างความต้องการพลังงานในอาคารและพลังงานที่สามารถผลิตได้ในอาคาร ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกก็เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกอาจมีข้อแตกต่างจากอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์อยู่บ้าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องไม่เชื่อมต่อกับระบบส่งของการไฟฟ้า (Off-Grid System) หรือเป็นระบบแยกเดี่ยว (Stand-Alone System) ที่มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในการ

ผลิตพลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานในอาคาร ทั้งอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์และระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันคือลดปริมาณความต้องการพลังงานในอาคาร และสนับสนุนให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในอาคาร [15] หลายงานวิจัยได้สนับสนุนว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่ดีที่สุดเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาที่ถูกลง แต่มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานสูงขึ้น ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในระบบที่ไม่เชื่อมต่อกับกริดของการไฟฟ้าหรือระบบแยกเดี่ยว [27]

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเลือกใช้เทคโนโลยีจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวผลิตพลังงานเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษาไม่สูงเมื่อเทียบกับพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น นอกจากนี้ พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [33]

งานศึกษาหลายตัวระบุว่า อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์หมายถึงอาคารพาณิชย์ทั่วไป หรือบ้านพักอาศัยซึ่งยังกว้างอยู่ เพื่อให้คานียามจำกัดความให้ชัดเจนขึ้น งานวิจัยนี้เสนอว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องใช้ในบ้านพักอาศัยขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไม่สูงเท่านั้น อาคารที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งเพื่อผลิตพลังงานสำหรับความต้องการการใช้พลังงาน โดยที่อาคารที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องมีความต้องการพลังงานไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/วัน ตามข้อมูลของสหประชาชาติที่ระบุว่า ประชากรบนโลกทุกคนสามารถเข้าถึงพลังงานได้อย่างน้อย 500 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/ปี หรือเทียบเท่า 1.37 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/วัน ในปีพ.ศ. 2563 [34] ซึ่งข้อดีของการจำกัดปริมาณความต้องการไฟฟ้าคือ สามารถติดตั้งอุปกรณ์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้ง่าย และยังสามารถควบคุมค่าใช้จ่ายได้เนื่องจากระบบมีอุปกรณ์ไม่กี่ชนิด

ในงานวิจัยหลายฉบับระบุว่า อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์นิยมใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current-AC) เนื่องจากมีการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ง่ายกว่า สามารถส่งกระแสไฟฟ้าได้ในระยะไกลกว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current-DC) นอกจากนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากระแสสลับยังเป็นที่แพร่หลายมากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากระแสตรง อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องติดตั้งเครื่องแปลงไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียในระบบ [35] ในทางกลับกัน ระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจ่ายพลังงานที่ผลิตได้โดยไม่ต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน ซึ่งทำให้ลดความสูญเสียจากการแปลงระบบไฟฟ้า [36]

ดังนั้น งานวิจัยนี้เสนอว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกควรใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับในระบบ

## 2.2.1 แหล่งพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

กล่าวได้ว่าแหล่งพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้นเหมือนกันกับแหล่งพลังงานของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ซึ่งได้ให้ความส ทัญกับพลังงานทดแทนเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลังงานทดแทนเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ไม่มีวันหมด และสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานสำหรับอาคาร [25] ซึ่งอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์เป็นนวัตกรรมที่ให้ความสำคัญของพลังงานทดแทนควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทำให้การนำพลังงานทดแทนไปใช้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [37] ดังนั้น เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องต่อการทำให้พลังงานทดแทนมีประสิทธิภาพมากที่สุดจึงได้ถูกนำมาใช้สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเช่นกัน

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic-PV) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ [26] เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ ราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลงทำให้อาคารหลายแห่งเริ่มทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดความต้องการพลังงานจากระบบส่ง [30] รวมทั้งจุดเด่นอื่นๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ไม่มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องเคลื่อนย้าย ไม่มีเสียง ค่าดูแลรักษาน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ และสามารถติดตั้งได้ง่ายในทุกๆที่ [38] โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าการศึกษารื่องอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ในชนบทและพื้นที่ห่างไกลความเจริญในหลายพื้นที่เนื่องจาก ในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชนบทที่ห่างไกลความเจริญให้ดีขึ้น [39] ดังนั้น เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์จึงแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ดังนั้น อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จึงมีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคโนโลยีและทางด้านเทคนิค [29]

Alrashed และ Asif [40] กล่าวว่า อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์จะต้องมีการจัดการพลังงานทดแทนเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้น การเลือกแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก พลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ในแต่ละแห่งจะแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม A. Scognamiglio ได้เสนอว่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ เนื่องจากการติดตั้งง่าย ไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทางเลือกอื่นๆ [41]

อย่างไรก็ตาม M. Iqbal [42] ได้กล่าวไว้ว่า อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์สามารถเป็นอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริด ซึ่งทำให้เห็นว่าอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ไม่มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนที่ติดตั้งไว้ในบริเวณอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ นอกจากนี้ M. Iqbal ยังได้กล่าวไว้ว่าระบบเก็บพลังงาน (Energy Storage) ของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์เป็นสิ่งสำคัญที่ต้อพิจารณาเมื่อมีการติดตั้งระบบพลังงานทดแทน เนื่องจาก ในบางวันระบบพลังงาน

ทดแทนไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะนำพลังงานจากระบบเก็บพลังงานมาใช้ และมีการประจุพลังงานสู่ระบบเก็บพลังงานในวันที่ระบบพลังงานทดแทนสามารถทำงานได้เต็มที่

## 2.2.2 ตัวอย่างกรณีศึกษา

Kaka Meah et al [43] ได้ออกแบบระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกล และไม่ต่อกับระบบส่ง พบว่าระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้มีต้นทุนและประสิทธิภาพที่ดี นอกจากนี้ ระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาและมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยยังได้กล่าวไว้ว่า ระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในพื้นที่ห่างไกลความเจริญในประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าสำหรับปัจจัยพื้นฐานของคนชนบท อย่างไรก็ตาม การลดต้นทุนบางประเภทของระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ผลิตในประเทศ ทารพัฒนาคนชนบทให้มีความรู้ในการติดตั้ง หรือมีการสนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนจากภาครัฐ อาจมีทำให้ระบบปั๊มน้ำโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ดีกว่าระบบปั๊มน้ำที่ใช้พลังงานจากเครื่องจักรดีเซลที่มีอยู่เดิมได้ [44]

Abd El-Shafy A. Nafeh [45] ได้ออกแบบอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดสำหรับครอบครัวเดียวในพื้นที่ห่างไกลความเจริญบริเวณคาบสมุทรไซนาย ประเทศอียิปต์ โดยได้วิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุ (Life-Cycle Cost Analysis) และสรุปว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับกริดในพื้นที่ห่างไกลมีความคุ้มค่าและเหมาะสมสำหรับการลงทุนในระยะยาว

Abdul Ghafoor et al [46] ได้ออกแบบอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดสำหรับครอบครัวเดียวในประเทศปากีสถาน อาคารแห่งนี้ได้รับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีการควบคุมการใช้พลังงานในบ้าน โดยจะไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังงานสูง เช่นเครื่องปรับอากาศ แต่จะมีเพียงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นได้แก่ หลอดไฟ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า ทีวีและพัดลม ความต้องการพลังงานของอาคารแห่งนี้ อยู่ที่ 5.90 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และการเชื่อมต่อกับกริดสามารถสรุปว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดที่มีการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น มีเหมาะสมกว่าทั้งในด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์

Guda H.A. et al [47] ได้จัดทำกรณีศึกษาเกี่ยวกับอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดสำหรับครอบครัวขนาดใหญ่ในประเทศไนจีเรีย โดยที่อาคารดังกล่าวเป็นอาคาร 3 ห้องนอน มีความต้องการพลังงาน 6.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน และสรุปว่าการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้สำหรับอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดให้ประสบผลสำเร็จ จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาพอากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ ความต้องการไฟฟ้า และภูมิประเทศที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญสำหรับ

อาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดคือจะต้องมีระบบเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานที่ยาวนาน ราคาเหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน [48]

เมื่อมีการเปรียบเทียบแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับอาคารที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมกับกริดระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานทางเลือกอื่นๆ เช่นเครื่องจักรดีเซล จะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบเครื่องจักรดีเซลที่ใช้ผลิตพลังงานสำหรับโรงเรียนที่ห่างไกล ความเจริญในประเทศอินเดีย ระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และสามารถผลิตพลังงานได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [49]

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้ากระแสตรงในอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ P. Kuar et al [50] ได้ทำทบทวนวิจัยบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงและไม่เชื่อมต่อกับระบบส่งใน Nilgiris District, Tamil Nadu ประเทศอินเดีย ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการหลีกเลี่ยงการสูญเสียในระบบจากการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 125 วัตต์ และแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 800 แอมป์ชั่วโมง ความต้องการพลังงานในบ้านหลังนี้ประกอบด้วย หลอดไฟ LED ขนาด 18 วัตต์ พัดลมขนาด 32 วัตต์ และหลอดไฟ LED ขนาด 5 วัตต์ และที่ชาร์จโทรศัพท์มือถือ ซึ่งความต้องการพลังงานบ้านนี้สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานสำหรับผู้มีรายได้น้อยในประเทศอินเดีย โดยงานวิจัยนี้ได้สรุปว่า การใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถลดปริมาณความสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้

กล่าวได้ว่า หลายประเทศได้ให้ความสำคัญของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ และนำหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์มาใช้เป็นแนวทางการประหยัดพลังงาน เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา Energy Independence and Security Act 2007 (EISA 2007) ได้อนุมัติให้มีการสนับสนุนอาคารพาณิชย์ที่ก่อสร้างใหม่ให้ดำเนินการตามหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ โดยในปี ค.ศ. 2040 ร้อยละ 50 ของอาคารพาณิชย์ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะต้องดำเนินการตามหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ และอาคารพาณิชย์ทั้งหมดจะต้องดำเนินการตามหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ในปี ค.ศ. 2050 [17]

ในสหภาพยุโรป Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) ได้ตั้งเป้าหมายว่าอาคารสาธารณะต่างๆ จะต้องมีการจัดการพลังงาน โดยจะต้องคำนึงถึงหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ และภายในปี ค.ศ. 2020 อาคารสาธารณะที่ก่อสร้างใหม่จะต้องมีการจัดการพลังงานตามหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ [51]

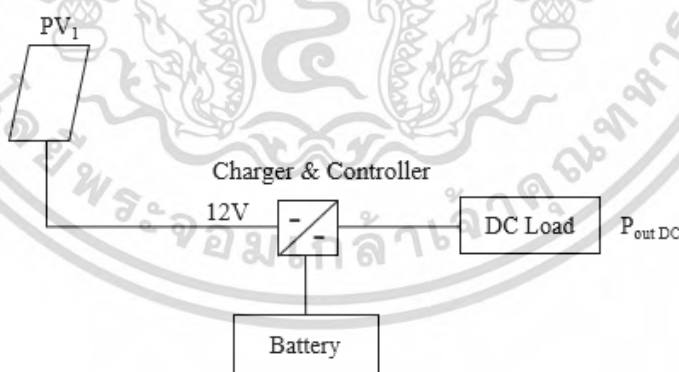
สำหรับประเทศไทยนั้น รัฐบาลไทยได้มีมติเห็นชอบแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 (Energy Efficiency Plan (EEP) 2015-2036) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน มีเป้าหมายหลักคือการลดปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ให้ได้ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2579 (ค.ศ. 2036) เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010) ซึ่งแผนอนุรักษ์พลังงานนี้ได้ก่อให้เกิดการตระหนักถึง

การใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด รวมถึงการอนุรักษ์พลังงาน [52] โดยแผนอนุรักษ์พลังงานได้กล่าวถึงการ  
ใช้เกณฑ์มาตรฐานอาคาร เช่น Building Energy Code (BEC) สำหรับอาคารสร้างใหม่ รวมทั้งให้มีการ  
สนับสนุนอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์อีกด้วย [53]

### 2.2.3 อุปกรณ์หลักสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานจากภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงประกอบไปด้วยอุปกรณ์  
หลักตามที่แสดงในภาพที่ 2-1 ดังต่อไปนี้

- 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานให้กับความต้องการพลังงาน (Load Demand)
- 2) เครื่องควบคุม (Solar Charger Controller) ควบคุมการชาร์จพลังงานจากแผงเซลล์  
แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ โดยเครื่องควบคุมจะต้องมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณพลังงานที่มาจาก  
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปสู่แบตเตอรี่ [54] ทั้งนี้ เครื่องควบคุมยังสามารถช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการ  
overcharged ในระบบ [55]
- 3) แบตเตอรี่ (Battery) เก็บพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในเวลากลางวัน เนื่องจาก  
แหล่งพลังงานคือแสงอาทิตย์มีเฉพาะแค่ในเวลากลางวัน จึงมีความจำเป็นต้องเก็บพลังงานสำรองไว้ใน  
แบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลากลางคืน หรือในวันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้
- 4) โหลดทางไฟฟ้า (DC Load) เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่  
เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพที่ 2.1 อุปกรณ์หลักของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

## 2.2.4 จุดเด่นของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ทางด้านการจัดการพลังงาน เนื่องจากการพัฒนาที่ยั่งยืนนั้น หมายถึง การจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างชาญฉลาด มีการถนอมทรัพยากรไว้ใช้อย่างยาวนานจนถึงคนรุ่นหลัง ส่วนการใช้ทรัพยากรเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน จะหมายถึง การนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้พัฒนาคุณภาพชีวิตเพื่อให้มีมาตรฐานคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น โดยไม่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมนั้นด้อยประสิทธิภาพลง ซึ่งบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้มีการนำทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่มีวันหมด หรือแสวงหามาใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อทำให้ผู้อยู่ห่างไกลความเจริญ ผู้ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ สามารถมีไฟฟ้าใช้เพื่อมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้ เช่น มีแสงสว่างในเวลาากลางคืน หรือมีพัดลมไว้ใช้ที่ ความเย็น เป็นต้น

นอกจากนี้ หลักการของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จะต้องมีการลดและจำกัดการใช้พลังงานในอาคาร หรืออีกนัยหนึ่ง คือการประหยัดพลังงานในอาคาร [56] เช่น มีการปิดไฟทุกครั้งที่ไม่มีการใช้งาน หรือมีการนำเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบประหยัดไฟฟ้ามาใช้ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ซึ่งจะต้องมีการลดความต้องการในการใช้พลังงานในอาคาร รวมทั้งมีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้เพื่อผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคาร

จะเห็นได้ว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จึงถือได้ว่าบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานได้อย่างทั่วถึง โดยที่ภาครัฐไม่ต้องลงทุนสร้างกริด เพื่อส่งกระแสไฟฟ้าไปยังพื้นที่ห่างไกล เช่น พื้นที่ในภูเขา ซึ่งการลงทุนสร้างระบบส่งอาจไม่คุ้มค่า เมื่อเทียบกับปริมาณความต้องการพลังงานในพื้นที่นั้นๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรในพื้นที่ห่างไกลอย่างยั่งยืน

## 2.3 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

โดยทั่วไประบบไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ระบบ แก่ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามคุณลักษณะและการนำไปใช้งาน ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.3.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)

เป็นระบบไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของพลังงานเพียงทิศทางเดียว โดยไหลจากขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้า จากนั้นจะไหลกลับที่ขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอีกครั้ง แรงดันของระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นบวกเสมอ อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดเช่น ไฟฉาย รีโมท นาฬิกา ยังใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงอยู่

ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [57] ได้แก่

- 1) ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทสม่ำเสมอ หรือไฟฟ้ากระแสตรงที่มีช่วงคลื่นสม่ำเสมอ ได้จากแบตเตอรี่
- 2) ไฟฟ้ากระแสตรงประเภทไม่สม่ำเสมอ หรือไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นช่วงคลื่นไม่สม่ำเสมอ ได้จากเครื่องไดนาโม

อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของระบบไฟฟ้ากระแสตรงคือ การเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้ายาก ไม่สามารถปรับลดหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเหมือนกระแสสลับ

นอกจากนี้ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้ากระแสตรงจะต้องเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ซึ่งอาจหายากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าระบบกระแสสลับ เพราะเครื่องใช้ไฟฟ้าระบบกระแสสลับเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป

ข้อดีของการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงคือ การลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการแปลงไฟฟ้า มีงานวิจัยได้กล่าวไว้ว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงนั้นเหมาะในการใช้ร่วมกับระบบพลังงานหมุนเวียน เนื่องจาก จะได้ลดความสูญเสียถ้าระบบต้องเพิ่มอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสสลับ [58] [59]

### 2.3.2 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นกระแสที่มีทิศทางไป-กลับ สลับขั้วบวกและขั้วลบตลอดเวลา ระบบไฟฟ้ากระแสตรงอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ อย่างไรก็ตามหนึ่ง แต่ระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะวิ่งสลับไปมาระหว่างขั้วบวกและลบ การเปลี่ยนทิศทางของการสลับขั้วนี้เรียกว่า ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับในแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกัน เช่น ประเทศไทยจะใช้ความถี่ 50 Hz หรือ 50 รอบต่อวินาที ดังนั้น จะหมายความว่ามีการสลับไฟฟ้าวิ่งจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้ามาที่ปลายทางไป-กลับ 50 ครั้งต่อวินาที

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นระบบไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมการนำมาใช้สำหรับครัวเรือนทั่วไปหรือธุรกิจอุตสาหกรรมที่ใช้ไฟฟ้าปริมาณมากๆ ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปก็เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากสามารถส่งพลังงานได้ไกลกว่าไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งระบบไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถให้แรงดันสูงมากได้เวลาเมื่อส่งกระแสไฟฟ้ามาตามสายส่ง จึงต้องเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียในสายส่งมากขึ้น แต่ถ้าเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีการแปลงให้เป็นไฟฟ้าแรงสูงก่อน เพื่อให้ส่งกระแสไฟฟ้าได้ด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรง และสามารถลดการสูญเสียในระบบส่งด้วย

### 2.3.3 การต่อระบบไฟฟ้ากับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น เพราะต้องการให้ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีการแปรรูปพลังงานที่มีจำนวนน้อยที่สุด เนื่องจากระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีคือ ไม่ต้องการเครื่องแปลงไฟฟ้า สามารถเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้เลย ในทางกลับกัน ถ้าเลือกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบจะมีการสูญเสียที่เกิดจากการแปลงไฟฟ้าด้วยเครื่องแปลงไฟฟ้า [35] ดังนั้นการเลือกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ลดการสูญเสียในระบบ [59] [60]

## 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้า

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการจ่ายพลังงานได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ รวมทั้งมีโหลดทางไฟฟ้าหรือความต้องการพลังงาน โดยในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ พลังงานจะถูกส่งไปที่ความต้องการพลังงาน และพลังงานที่เหลือจะถูกส่งมายังแบตเตอรี่ ในกรณีที่แผงเซลล์แสงไม่สามารถผลิตพลังงานได้ แบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานแทน

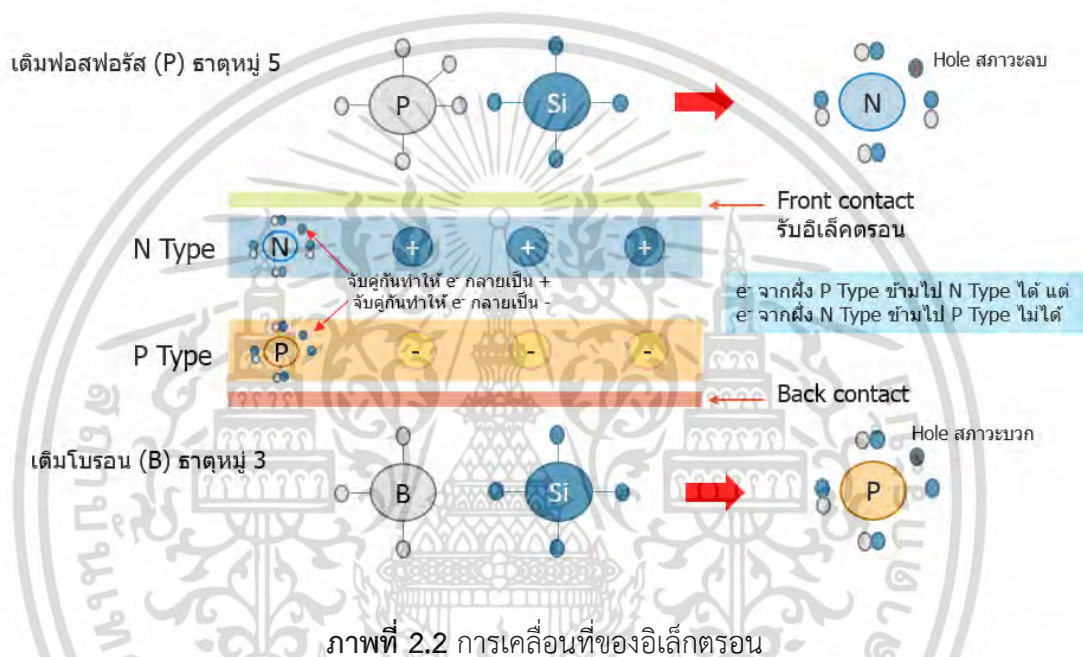
### 2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก เป็นอาคารขนาดเล็กที่สามารถผลิตพลังงานเพื่อใช้ภายในอาคาร พลังงานทดแทน (Renewable Energy) เป็นแหล่งพลังงานที่บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก นามาผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนแหล่งพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) พลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีหลายชนิด แต่ที่เป็นที่นิยมที่สุดคือ เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ แล้ว จะเห็นว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายบ่อย นอกจากนี้ เซลล์แสงอาทิตย์มีขายอยู่ทั่วไป และราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ

#### 2.4.1.1 กระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงได้ โดยอาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ซึ่งมาจากคำว่า Photo ซึ่งในภาษากรีกแปลว่าแสง รวมกับ Volt หรือแรงดันไฟฟ้า เมื่อนำมารวมกันแล้วจะหมายถึง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อมีแสงแดดตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เพียงพอ โดยใช้สารกึ่งตัวนามาเป็นตัวกลางในการเปลี่ยนโฟตอน (Photon) ของพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนมากสารกึ่งตัวนาคือซิลิคอนที่ใช้จะเป็น

ซิลิกอน โฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนซึ่งมีอนุภาคของไฟฟ้าลอบอยู่ในสารกึ่งตัวนำ จนทำให้ อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรของอะตอมและสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระ การไหลของอิเล็กตรอนจะ เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ผิวทั้งสองข้างของเซลล์แสงอาทิตย์มีการสมดุลกัน จากนั้น แยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบ ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนนี้ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นว่าเป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยง่ายที่สุด โดยไม่ต้องเคลื่อนที่ ขึ้นส่วนใดๆ โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น ถ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เมื่อมีความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร ดังนั้น ถ้ามี ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร จะสามารถจ่ายก ำลังไฟฟ้าได้ 10 วัตต์ เป็นต้น

#### 2.4.1.2 ชนิดและประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนทางการผลิตเซลล์ แสงอาทิตย์และทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยที่เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตดังต่อไปนี้

1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon: c-Si) ซึ่งมีสี่ ี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้ง 4 ด้าน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ทำมาจากซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง เริ่ม

จากการนำกาวให้ผลึกเกาะตรงกลางของแท่งซิลิกอนทรงกระบอก จากนั้นนำมาตัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมและลบมุมทั้ง 4 ด้านก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่น

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอน (Polycrystalline Silicon: p-Si) ซึ่งพัฒนาเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ดังนั้น จึงเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอน โดยนำซิลิกอนเหลวเทใส่ลงในแม่พิมพ์สี่เหลี่ยมก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นต่างๆ แผงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอนจึงเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมที่ไม่มีการตัดมุม และแผงจะมีสีน้ำเงินแต่ไม่เข้มมาก

3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) คือการนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าได้ มาเคลือบเป็นชั้นบางๆ หลายๆ ชั้น สารดังกล่าวได้แก่ Amorphous Silicon (a-Si) Cadmium Telluride (Cate) หรือ Copper Indium Gallium Selenide (CIS/CIGS) โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางจะอยู่ที่ร้อยละ 7-13 ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเคลือบชั้น

#### 2.4.1.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกันไปตามตารางที่ 2.1 ดังนั้น การนำไปใช้จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และความเหมาะสม

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	จุดเด่น	จุดด้อย
ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีประสิทธิภาพสูงสุด ประมาณร้อยละ 15-20 เนื่องจากผลิตจากซิลิกอนคุณภาพดีที่สุด</li> <li>- มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่สูงที่สุด เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนให้กำลังที่สูงเมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่น้อยกว่าในการติดตั้ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ จะเห็นว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนมีราคาที่สูงที่สุด</li> </ul>

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์	จุดเด่น	จุดด้อย
	- อายุการใช้งานยาวนานที่สุด โดยเฉลี่ยประมาณ 25 ปี	
ชนิดโพลีซิลิกอน	- มีขั้นตอนการผลิตที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน จึงใช้ปริมาณซิลิกอนน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน - มีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ - ราคาถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน	- ประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 13-16 ซึ่งต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน - มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน
ชนิดฟิล์มบาง	- มีราคาถูกกว่า สามารถผลิตเป็นจำนวนมากได้ง่ายกว่าชนิดซิลิกอน - ในที่ที่มีอากาศร้อนมากๆ เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางจะมีผลกระทบน้อยกว่า	- มีประสิทธิภาพต่ำ - ไม่เหมาะกับการมาใช้งานหลังคาบ้าน เนื่องจากมีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด

#### 2.4.2 แบตเตอรี่

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกซึ่งได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ตลอดเวลา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในเวลาที่ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น ในเวลากลางคืน หรือเวลาที่ไม่มีแสงแดด เป็นต้น ดังนั้น ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไว้ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้น คือแบตเตอรี่

##### 2.4.2.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่

หลักการทางานของแบตเตอรี่คือการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ต้องมีการสะสมและจ่ายไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่า การไหลของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเมื่อมีการจุ่มแผ่นทองแดง และแผ่นสังกะสีลงในกรดซัลฟู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริก อิเล็กตรอนมีทิศทางการไหลจากแผ่นสังกะสีไปยังแผ่นทองแดง ซึ่งที่แผ่นทองแดงจะเกิดไฮโดรเจนไอออนเกิดและแปลงเป็นก๊าซไฮโดรเจน และรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากแผ่นสังกะสีโดยที่อิเล็กตรอนที่ได้รับมาจะเป็นขั้วลบ เนื่องจากแผ่นสังกะสีให้อิออนในสารละลายหรือเป็นการคายอิเล็กตรอนทำให้เกิดเป็นขั้วบวก จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้เกิดการขาดอิเล็กตรอน และการรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ ทำให้เกิดการมีอิเล็กตรอน ขั้วบวกและลบมีแรงดันไฟฟ้า ทำให้เกิดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า และเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้าในที่สุด

ปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนนั้น เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) แบ่งเป็นปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ที่เกิดในขั้วแคโทด เป็นปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน ซึ่งสารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ที่เกิดในขั้วแอโนด เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน ซึ่งสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง



ภาพที่ 2.3 หลักการท างานของแบตเตอรี่

#### 2.4.2.2 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) **แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Battery)** คือแบตเตอรี่ที่ชาร์จมาแล้ว เมื่อนำไปใช้งานหมดพลังงาน จะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น แบตเตอรี่ไฟฉาย เป็นต้น
- 2) **แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Battery)** คือแบตเตอรี่ที่สามารถนำไปชาร์จพลังงานใหม่ เช่น แบตเตอรี่มือถือ แบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น

#### 2.4.2.3 การปล่อยประจุของแบตเตอรี่

การปล่อยประจุของแบตเตอรี่จะมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่

- 1) **Shallow Cycle Battery** สามารถปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำ ทว่าร้อยละ 10 – 20 ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดก่อนที่จะทำการชาร์จไฟฟ้าใหม่ ทนต่อการกระชากไฟฟ้าได้ดี ส่วนมากใช้กับรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Deep Cycle Battery สามารถปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 80 ของพลังงานทั้งหมด ก่อนที่จะทำการชาร์จไฟฟ้าใหม่ ทนการกระชากไฟฟ้าไม่ค่อยดี ส่วนใหญ่นำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยที่มีระบบพลังงานหมุนเวียน ระบบไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาสูงกว่าแบบแรก แต่มีข้อดีคือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้คงที่ สามารถชาร์จพลังงานกลับง่ายด้วยกระแสไฟฟ้าที่ต่ำ

#### 2.4.2.4 แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งมีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เมื่อแบตเตอรี่ที่อยู่ในระบบมีพลังงานลดลง แบตเตอรี่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ และในช่วงที่ระบบไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เนื่องจากไม่มีแสงแดด แบตเตอรี่ก็จะส่งพลังงานไฟฟ้าไปที่โหลด แบตเตอรี่ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ซึ่งส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟูริก โดยมีเหตุผลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการพัฒนามานาน</li> <li>- ราคาที่ถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอื่นๆ</li> <li>- สามารถคายประจุ (Discharge) ได้มาก แต่มีการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-discharge) ต่ำ</li> <li>- หาซื้อได้ง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักน้อย ทำให้มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอื่นๆ</li> <li>- มีตะกั่วและกรดเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งบ่งชี้ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อทการย่อยสลาย</li> </ul>

กล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความทนทาน และสามารถคายประจุไฟฟ้าสูงแต่มีอัตราการปล่อยประจุด้วยตัวเองต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาด้านราคา แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีราคาที่ถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เช่นกัน บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้น มีการชาร์จแบตเตอรี่ตลอดเวลา ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติสูง ดังนั้น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

### 2.4.3 โหลดทางไฟฟ้า

โหลดไฟฟ้าคืออุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ได้กับระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น โหลดทางไฟฟ้าที่มีทั้งแบบธรรมดาและออกแบบมาเป็นพิเศษที่ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะ มีทั้งโหลดทางไฟฟ้ากระแสตรงและโหลดทางไฟฟ้ากระแสสลับ อย่างไรก็ตาม ในการเลือกใช้ จะต้องคำนึงถึงคุณภาพและความปลอดภัยเป็นสำคัญ [61] ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเสนอโหลดทางไฟฟ้าโดยแบ่งตามระบบไฟฟ้าได้ 2 ประเภท ได้แก่

#### 2.4.3.1 โหลดทางไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและเวลาของกระแสไฟฟ้าตรงท ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ในปัจจุบันโหลดทางไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มแพร่หลายขึ้นมาก เช่น หลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากเป็นหลอดไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ ยังมีหลอดไฟสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงโดยเฉพาะ หรือ DC Compact Fluorescent Lamps (DC CFL) ซึ่งประหยัดไฟมากกว่าหลอดไส้และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีลักษณะคล้ายหลอดตะเกียบ สามารถใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์ เป็นต้น ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบความเข้มของแสงสว่างและขนาดของหลอดไฟฟ้าดังตารางที่ 2.3 [62] โดยจะเห็นว่าหลอด LED ประหยัดพลังงานได้มากกว่าหลอดไฟฟ้าชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความเข้มของแสงจากหลอดไฟฟ้า

หลอดไส้ (Incandescent) (W)	หลอด ตะเกียบ (CFL) (W)	หลอดฮาโล เจน (Halogen) (W)	หลอด แอลอีดี (LED) (W)	หลอด โซเดียม ความดันสูง (High Pressure Sodium) (W)	ค่าแสงสว่าง โดยประมาณ (Lumen Range) (lm)
12-15	-	-	1	-	90
25	5-6	25	3	-	270
30	7-9	-	4	-	360
40	9-13	50	5	-	450
60	13-15	60	7	-	630
75	18-23	-	9	-	810
100	25-30	-	13	-	1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไส้ (Incandescent) (W)	หลอด ตะเกียบ (CFL) (W)	หลอดฮาโล เจน (Halogen) (W)	หลอด แอลอีดี (LED) (W)	หลอด โซเดียม ความดันสูง (High Pressure Sodium) (W)	ค่าแสงสว่าง โดยประมาณ (Lumen Range) (lm)
150	30-52	-	15	-	1300
-	-	150	40	-	3600
-	-	-	50	150-250	4500
-	-	-	70	250-300	6300
-	-	-	90	300-400	8100
-	-	-	100	400-450	9000
-	-	-	120	450-550	11000

#### 2.4.3.2 โหลดทางไฟฟ้ากระแสสลับ

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแหล่งจ่ายพลังงานไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสลับขั้วบวกและลบกันอยู่ตลอดเวลา โหลดไฟฟ้ากระแสสลับคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนส่วนใหญ่ เช่น ตู้เย็น พัดลม เตารีด เป็นต้น เนื่องจากไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปก็เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับจึงพบเห็นได้โดยทั่วไป

#### 2.4.3.3 โหลดทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

เนื่องจากระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก มุ่งเน้นเรื่องประสิทธิภาพของระบบเป็นสำคัญ เนื่องจากระบบไฟฟ้ากระแสตรงการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการแปลงไฟฟ้าเพราะไม่มีเครื่องแปลงไฟฟ้าในระบบ ดังนั้นระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จึงเลือกใช้โหลดทางไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในการแปลงไฟฟ้า และมีการแปรรูปพลังงานที่น้อยที่สุด

## 2.5 บทสรุป

แนวความคิดของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมาจากแนวคิดของการใช้พลังงานเป็นศูนย์ ซึ่งบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องมีการจำกัดการใช้พลังงาน โดยที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องใช้ในบ้านพักอาศัยขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง/

วัน ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะมีอุปกรณ์หลักได้แก่ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงาน 2) เครื่องควบคุมควบคุมการชาร์จพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ 3) แบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ และ 4) โหลดทางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้เลือกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจากเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบเพราะมีการแปรรูปพลังงานที่น้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้า กระแสตรง สมมติฐานความต้องการใช้ไฟฟ้า และแหล่งพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จากนั้น จะเป็นการออกแบบและสร้างบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก เพื่อให้มีการทดสอบว่าบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเกิดขึ้นได้จริง โดยจะนำเสนอ 6 ตัวชี้วัด (criteria) และดัชนีชี้วัด (key performance indicator) ที่จะนำมาวิเคราะห์ว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงไร สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

#### 3.1 ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

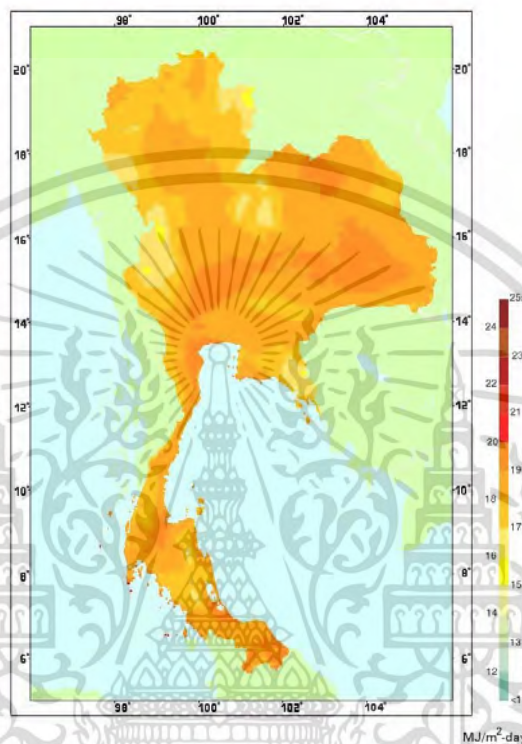
ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ประกอบด้วย ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ พื้นที่และทิศทางในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งความสกปรกที่อาจเกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.1.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ทำให้พื้นที่เกือบทั้งหมดของประเทศไทยได้รับแสงอาทิตย์ต่อเนื่องและมีช่วงเวลาที่มิแสงอาทิตย์ในแต่ละวันคงที่ตลอดทั้งปี คนไทยรู้จักการใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์มาเป็นระยะเวลานาน เช่น การถนอมอาหารโดยการตากอาหารแห้ง การตากผ้า หรือการทานาเกลือ เป็นต้น

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) [63] ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยศิลปากรในการศึกษาและจัดทำแผนที่ศักยภาพแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งในแผนที่ดังกล่าวได้แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์บริเวณต่างๆของประเทศไทยในรูปของค่าเฉลี่ยรายวันต่อปี ในหน่วยเมกกะจูล ต่อ ตารางเมตร.วัน และพบว่าลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ส่งผลกระทบต่อความเข้มของแสงอาทิตย์ ส่งผลให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 18.2 เมกกะจูลต่อตารางเมตรวัน หรือเทียบเท่า 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรวัน โดยเทียบจาก 1 วัตต์ ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3,600 จูล ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเทียบกับหลายประเทศ ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 20-23 เมกกะจูลต่อตารางเมตรวัน บริเวณที่ได้รับ ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัดนครราชสีมา

สะเกษ อุบลราชธานี อุตรธานี บุรีรัมย์ ยโสธร และร้อยเอ็ด ในส่วนของภาคกลางนั้น พื้นที่ที่ได้รับ ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่บริเวณจังหวัดอยุธยา สุพรรณบุรี ชัยนาทและอ่างทอง โดยมีความเข้ม ของแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 19-20 เมกกะจูลต่อตารางเมตรวัน



ภาพที่ 3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย [63]

เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่มีโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 3.1 แล้ว จะเห็นว่าศักยภาพของความเข้มของแสงอาทิตย์ในประเทศไทยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับ ประเทศดังกล่าว [64] อีกทั้ง เมื่อพิจารณาความเข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร จะเห็นได้ว่า ความเข้มของแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิต พลังงานไฟฟ้าได้เต็มที่ 4.23 ชั่วโมง/วัน ในเขตกรุงเทพมหานคร [65] นอกจากนี้ ข้อมูลย้อนหลัง 5 ปีของ กระทรวงพลังงานในตารางที่ 3.2 ความเข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 16.84 เมกกะจูลต่อตารางเมตรวัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากมีอัตราความเข้มของแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครจะต้องพิจารณาพื้นที่ในการติดตั้งด้วย เนื่องจากบางพื้นที่มีตึกสูงซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อารบดบังการได้รับแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครควรติดตั้งในที่โล่ง ไม่มีการเงาจากตึกสูงบดบังการได้รับแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยและประเทศต่างๆ

ประเทศ	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวัน เฉลี่ยต่อปี ( $\text{MJ}/\text{m}^2 - \text{day}$ )
สหราชอาณาจักร	8.95
ไอร์แลนด์	9.95
ญี่ปุ่น	13.0
สหรัฐอเมริกา	19.0
ออสเตรเลีย	19.6
อินเดีย	20.3
ไทย	18

ตารางที่ 3.2 ความเข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครโดยเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ. 2553 - 2557

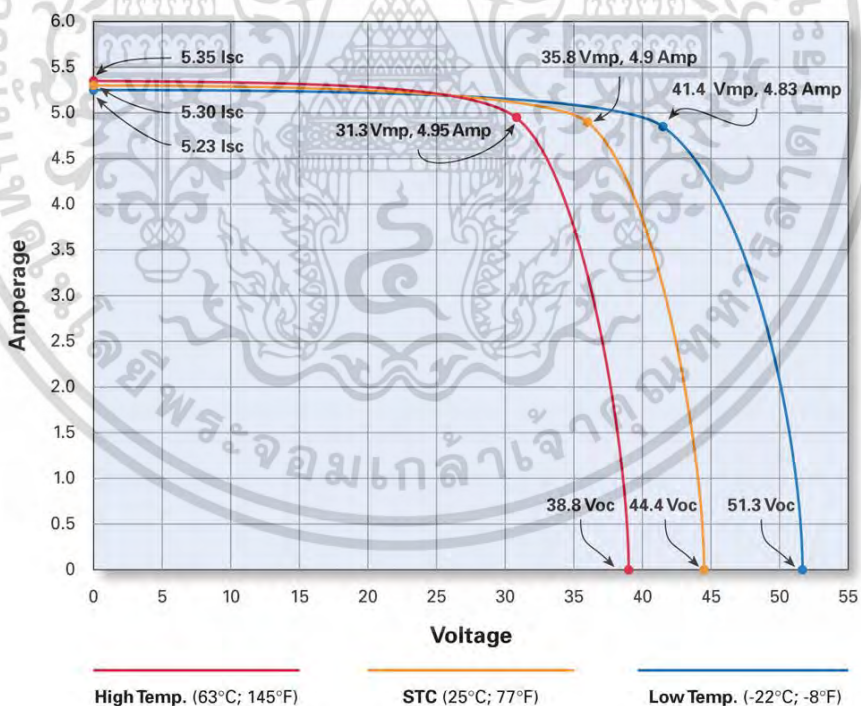
สถานีวัดความเข้มแสงอาทิตย์: กรุงเทพมหานคร (ถนนพระรามที่ 1) Latitude 13.749 N Longitude 100.518 E												
ปี	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือน ( $\text{MJ}/\text{m}^2 - \text{day}$ )											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2553	14.01	18.52	20.70	22.37	19.16	20.74	17.02	15.56	15.48	13.31	14.72	14.85
2554	17.47	17.98	13.96	18.05	18.28	15.38	17.62	16.20	15.25	13.79	17.74	17.07
2555	13.84	16.60	18.36	21.30	18.89	16.91	16.34	16.25	14.27	14.34	12.03	14.64
2556	15.67	16.48	19.76	20.03	20.47	16.41	15.07	16.90	13.76	12.84	20.43	17.41
2557	17.14	17.98	19.47	19.70	20.37	16.79	17.06	16.44	17.45	13.86	14.29	15.78

### 3.1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่า ในช่วงเดือนเมษายนของทุกปีนั้น เป็นช่วงเวลาที่อากาศร้อนที่สุดของกรุงเทพมหานครและของประเทศไทย ซึ่งอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส แต่ความเข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครมีค่าสูงที่สุดในเดือนเมษายน 2555 โดยอยู่ที่ 21.3 เมกกะจูล/ตารางเมตรวัน และความ

เข้มของแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานครจะมีค่าลดลงในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคมของทุกปี เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตก

อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง [66] โดยทั่วไป ผลกระทบด้านอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณร้อยละ 0.4-0.5 ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ผลกระทบต่ออุณหภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เช่น แผงซิลิกอนจะมีค่าความดันลดลงประมาณ 2.3 มิลลิโวลต์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส [67] ภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดัน โดยได้แสดงค่าความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พื้นที่ใต้กราฟคือพลังงานที่ผลิตได้ พลังงานสูงสุดของแต่ละอุณหภูมิผลิตได้คือบริเวณพื้นที่ใต้กราฟที่ใหญ่ที่สุด เส้นสีแดงแสดงอุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดในกราฟ จุดที่คำนวณหาค่าพลังงานสูงสุดคือ 31.3 โวลต์และ 4.95 แอมแปร์สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด 154.93 วัตต์ ในขณะที่เส้นสีฟ้าแสดงอุณหภูมิ -22 องศาเซลเซียส จุดที่คำนวณหาค่าพลังงานสูงสุดคือ 41.4 โวลต์และ 4.83 แอมแปร์สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุด 199.96 วัตต์ ดังนั้น กล่าวได้ว่า การลดอุณหภูมิสามารถทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้น



ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิ [68]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 พื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติแล้วตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือบริเวณหลังคาของบ้าน แต่ในบางครั้งอาจมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน หรือผนังบ้าน ในกรณีที่หลังคาของบ้านมีเงาของต้นไม้ หรือเงาของอาคารมาบัง ซึ่งเงาดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคือบริเวณพื้นที่โล่งแจ้งที่สามารถรับแสงอาทิตย์โดยตรงได้ โดยเฉพาะในช่วงเวลา 9:00 – 15:00 น.

### 3.1.4 ทิศทางในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ซึ่งดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกโดยจะเคลื่อนที่อ้อมทิศใต้ ดังนั้น เมื่อมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เงาไปทางทิศเหนือ และควรมีความลาดชันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 15-20 องศากับพื้นดินเพื่อให้แสงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด

### 3.1.5 ความสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลาานาน จะมีฝุ่นละออง คราบน้ำ หรือความสกปรกอื่นๆ มาเกาะบริเวณด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้ลดลงซึ่งส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตาม ในแต่ละพื้นที่มีค่าฝุ่นละอองที่แตกต่างกัน เช่น ในเขตอุตสาหกรรมจะมีค่าฝุ่นละอองสูงกว่าเขตเกษตรกรรม เป็นต้น

## 3.2 สมมติฐานสถานะแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

งานวิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า สภาพอากาศจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ สภาพแสงอาทิตย์ดีมาก (Full-Day Sunshine) สภาพแสงอาทิตย์ปานกลาง (Partial Sunshine) และสภาพไม่มีแสงอาทิตย์ (No Sunshine) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.2.1 สภาพแสงอาทิตย์ดีมาก

ในสภาพอากาศที่แสงอาทิตย์ดีมาก หมายถึง แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 4.23 ชั่วโมง [69] คำนวณเบื้องต้นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ซึ่งมีขนาด 300 วัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,269 วัตต์ หรือประมาณ 1.3 กิโลวัตต์

### 3.2.2 สถานะแสงอาทิตย์ปานกลาง

ในสภาพอากาศที่แสงอาทิตย์ปานกลาง เนื่องจาก มีเมฆฝน มรสุม หรือพายุ ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไม่ได้เต็มที่ งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 50 ของสภาพอากาศที่แสงอาทิตย์ดีมาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 2.11 ชั่วโมง คำนวณเบื้องต้นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ซึ่งมีขนาด 300 วัตต์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 633 วัตต์ หรือประมาณ 0.63 กิโลวัตต์

### 3.2.3 สถานะไม่มีแสงอาทิตย์

ในสภาพอากาศที่ไม่มีแสงอาทิตย์ หมายถึงช่วงระยะกลางคืนซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงาน ดังนั้น แบตเตอรี่จะถูกรับมาใช้เพื่อจ่ายพลังงานแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

## 3.3 สมมติฐานความต้องการพลังงาน

สมมติฐานความต้องการพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมาจากความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรในประเทศไทย และความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรโลกดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.1 ความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรในประเทศไทย

จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี จากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) พบว่า จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าตามเครื่องวัดมิเตอร์ที่ขึ้นทะเบียนกับการไฟฟ้ามีจำนวนทั้งสิ้น 21.1 ล้านราย กลุ่มที่มีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย โดยมีผู้ใช้ไฟฟ้าตามเครื่องวัดมิเตอร์เป็นจำนวนร้อยละ 89 ของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าตามเครื่องวัดมิเตอร์ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2557 ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน (หรือไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน) และกลุ่มที่ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งมีจำนวนร้อยละ 50 และร้อยละ 39 ของจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าตามเครื่องวัดมิเตอร์ [70] นอกจากนี้ จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าประชากรในภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศ [71] ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการใช้ไฟฟ้าจะเห็นว่า ประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 1,133 บาทต่อเดือน เป็นจำนวนเงินประมาณ 3 เท่าของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือมีการชำระค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ยประมาณ 367 บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐกิจและด้านสังคม มีประชากรย้ายถิ่นฐานเข้ามาอยู่ในกรุงเทพมหานคร เป็นจำนวนมากเนื่องจากต้องการหารายได้ หรือต้องการมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ประชากรที่ย้ายถิ่นฐานดังกล่าวได้เปลี่ยนวิถีการดำรงชีพจากในภาคเกษตรกรรมสู่ภาคอุตสาหกรรม ร้อยละ 99.2 ของประชากรที่เป็นผู้ใช้แรงงานมีไฟฟ้าใช้ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายของกลุ่มผู้ใช้แรงงาน จะเห็นว่าใน 1 ครั้วเรือนจะมีค่าใช้จ่ายต่างๆ ประมาณ 13,879 บาทต่อเดือน โดยมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประมาณ 1,301 บาทต่อเดือนซึ่งรวมค่าไฟฟ้า ค่าแก๊สหุงต้ม ค่าเดินทาง อย่างไรก็ตาม ถ้าครั้วเรือนใดใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 50 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อเดือน ครั้วเรือนดังกล่าวจะได้รับยกเว้นค่าไฟฟ้า ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 มีประชากรจำนวน 93,620 ครั้วเรือนที่สามารถรับสิทธิไฟฟ้าฟรีเนื่องจากใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 50 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ต่อเดือน [72]

จะเห็นได้ว่า จำนวนประชากรที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ลดลงในทุกๆ ปี ประชากรในเขตชุมชนเมืองสามารถใช้ไฟฟ้าอย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม ร้อยละ 0.05 ของจำนวนประชากรทั้งหมดในประเทศไทยไม่มีไฟฟ้าใช้ เนื่องจากอาศัยอยู่ในพื้นที่ห่างไกลและสายส่งไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือบางครั้วเรือนมีฐานะยากจนมากไม่สามารถรับผิดชอบค่าไฟฟ้าได้

### 3.3.2 ความต้องการไฟฟ้าขั้นพื้นฐานของประชากรโลก

องค์การสหประชาชาติได้กล่าวไว้ถึงความเท่าเทียมในการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชากรโลกว่า ประชากรบนโลกทุกคนจะสามารถมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างน้อยที่สุด 500 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี หรือเทียบเท่า 1.37 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อวัน ในปี พ.ศ. 2563 [34]

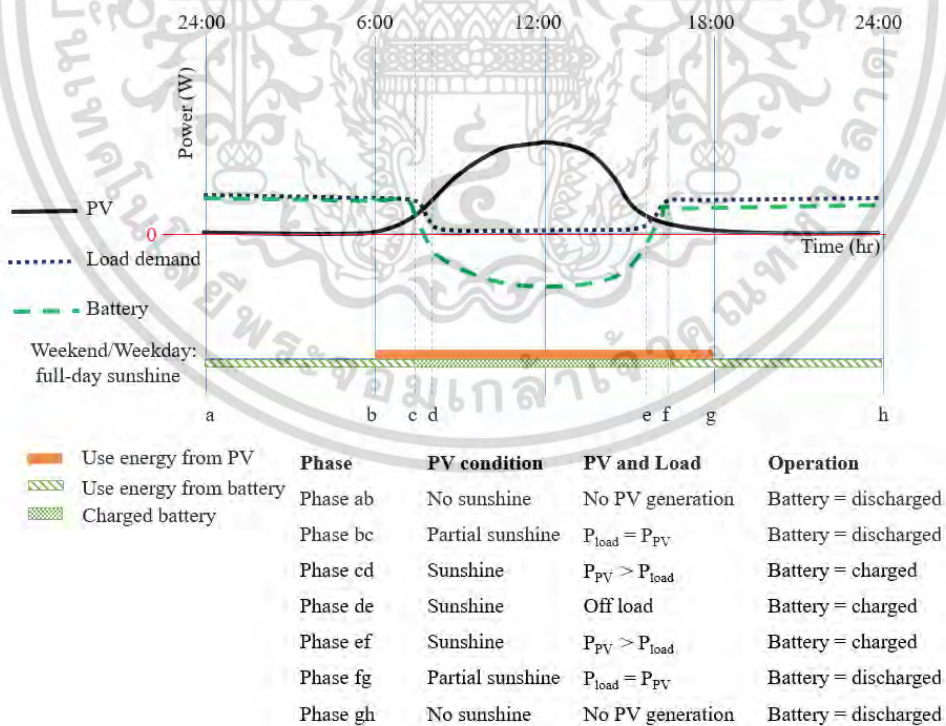
## 3.4 แหล่งพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก คือแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ จะเห็นได้ว่าแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาแหล่งพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จะเห็นได้จากตารางที่ 3.3 ซึ่งการนำเสนอแหล่งที่มาของพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก (Energy Matrix) โดยแบ่งตามสภาพอากาศตามสมมติฐานสถานะแสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยจะเห็นว่า ในกรณีที่สถานะแสงอาทิตย์ดีมาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ เพียงพอต่อความต้องการพลังงาน และสามารถชาร์จพลังงานสู่แบตเตอรี่ ในขณะที่สถานะแสงอาทิตย์ปานกลาง และสถานะไม่มีแสงอาทิตย์นั้น ต้องพลังงานจากแบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่

ตารางที่ 3.3 แหล่งที่มาของพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก (Energy Matrix)

ข้อจำกัด		แหล่งที่มาของพลังงาน		หมายเหตุ
		แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV <sub>Gen</sub> )	แบตเตอรี่	
สภาวะแสงอาทิตย์ มาก	กลางวัน: แสงอาทิตย์ปานกลาง	ใช่	ใช่	Load > PV <sub>Gen</sub>
	กลางวันแสงอาทิตย์ดีมาก	ใช่	ไม่	Load < PV <sub>Gen</sub>
	กลางคืน	ไม่	ใช่	PV <sub>Gen</sub> = 0
สภาวะแสงอาทิตย์ ปานกลาง	กลางวัน: แสงอาทิตย์ปานกลาง	ใช่	ใช่	Load > PV <sub>Gen</sub>
	กลางวัน: แสงอาทิตย์น้อย	ไม่ (หรือใช่)	ใช่	Load > PV <sub>Gen</sub>
	กลางคืน	ไม่	ใช่	PV <sub>Gen</sub> = 0
สภาวะไม่มี แสงอาทิตย์	กลางวัน: แสงอาทิตย์น้อย	ไม่	ใช่	PV <sub>Gen</sub> = 0
	กลางคืน	ไม่	ใช่	PV <sub>Gen</sub> = 0

กล่าวได้ว่า ในกรณีที่สภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ ดังกราฟในภาพที่ 3.3 ซึ่งแสดงแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยแสดงระยะเวลาในแต่ละช่วงดังนี้



ภาพที่ 3.3 แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

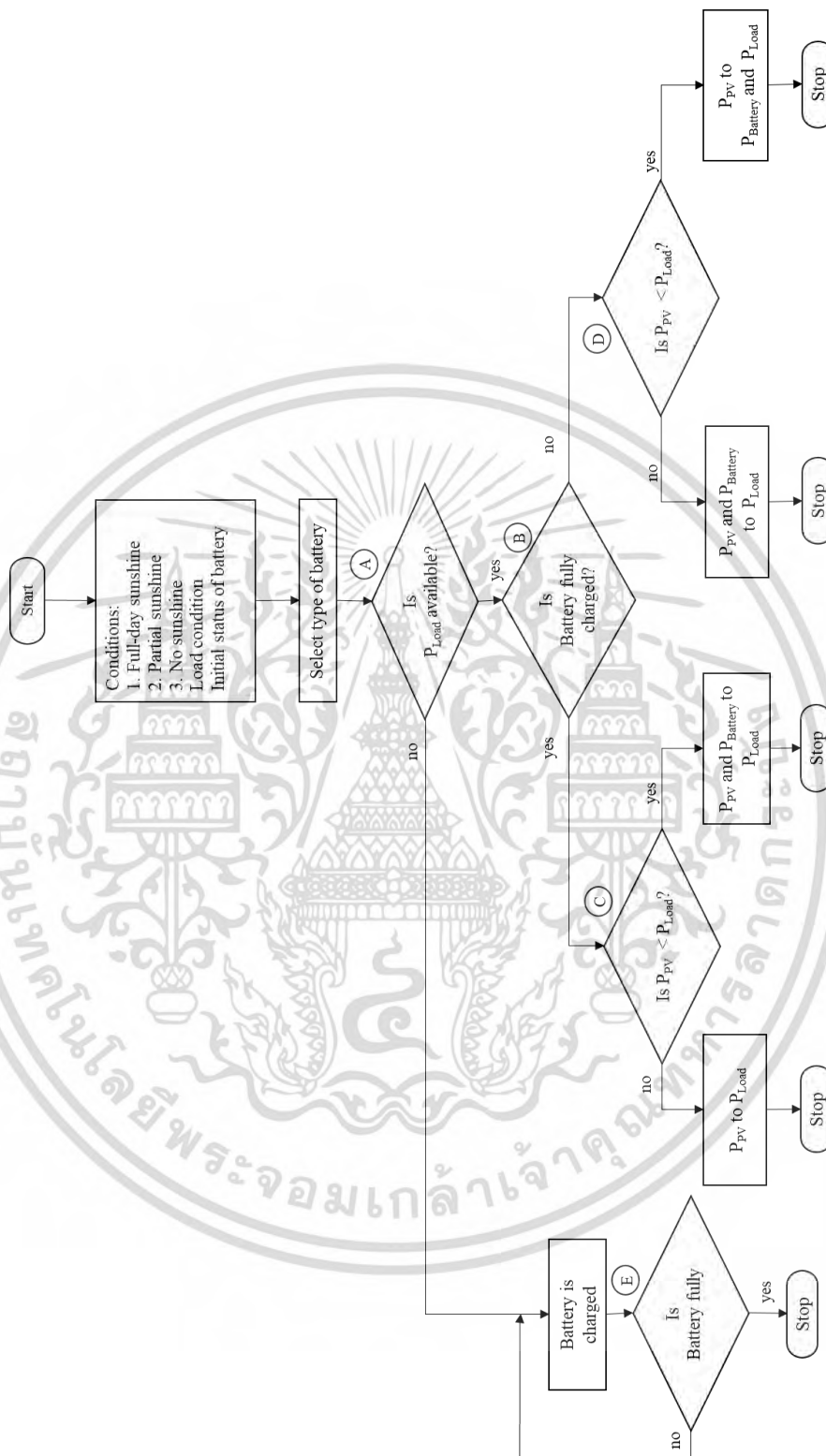
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ระยะเวลา  $ab$  หรือตั้งแต่กลางคืนจนถึงรุ่งเช้าที่ไม่มีแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ จึงต้องใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่
- 2) ระยะเวลา  $bc$  หรือในช่วงเช้าซึ่งมีแสงอาทิตย์อ่อนๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ ดังนั้น พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่จะถูกดึงออกมาใช้ร่วมกับพลังงานที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ระยะเวลา  $cd$  หรือระยะที่เริ่มมีแสงอาทิตย์เต็มที่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าความต้องการพลังงาน ดังนั้นพลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งไปยังความต้องการพลังงาน ในขณะที่แบตเตอรี่จะเริ่มทำการเก็บพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้ในตอนกลางคืน
- 4) ระยะเวลา  $de$  หรือในช่วงกลางวัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่แต่ไม่มีความต้องการพลังงาน ดังนั้น แบตเตอรี่จะทำการเก็บพลังงานและหยุดเมื่อพลังงานในแบตเตอรี่เต็ม
- 5) ระยะเวลา  $ef$  หรือในช่วงบ่ายที่แสงอาทิตย์ยังมีเพื่อผลิตพลังงาน และมีความต้องการพลังงาน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานส่งไปยังความต้องการพลังงาน
- 6) ระยะเวลา  $fg$  หรือในช่วงเย็นก่อนพระอาทิตย์ตก พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่จะถูกดึงออกมาใช้ร่วมกับพลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 7) ระยะเวลา  $gh$  หรือในช่วงค่ำ เป็นต้นไปซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงาน

### 3.5 โมเดลการทำงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีการออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการใช้พลังงาน (Load on Demand) และการทำงานของเครื่องควบคุม ภาพที่ 3.4 เป็นการนำเสนอโมเดลการทำงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกซึ่งมีเครื่องควบคุมเป็นตัวกำหนดการส่งกำลังไปยังโหลดทางไฟฟ้าและแบตเตอรี่ ไม่ว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะอยู่ในสถานะแสงแดดใดก็จะมีโมเดลการทำงานดังต่อไปนี้

- 1) จุด A พิจารณากว่ามีกำลังจากโหลดทางไฟฟ้าเรียกมาหรือไม่ ถ้ามีโหลดทางไฟฟ้าจะไปจุด B ถ้าไม่มีโหลดทางไฟฟ้าจะส่งไปจุด E
- 2) จุด B พิจารณาว่า แบตเตอรี่เต็มอยู่หรือไม่ ถ้าแบตเตอรี่เต็มอยู่จะไปจุด C แต่ถ้าแบตเตอรี่ยังไม่เต็มจะไปจุด D
- 3) จุด C ในกรณีที่แบตเตอรี่เต็ม จะพิจารณาว่ากำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่ากำลังของโหลดทางไฟฟ้าหรือไม่ ถ้ากำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า กำลังของโหลดทางไฟฟ้า กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งไปที่โหลดทางไฟฟ้า แต่ถ้ากำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าโหลดทางไฟฟ้า กำลังของแบตเตอรี่จะถูกดึงมาจ่ายโหลดทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.4 โมเดลการท างานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกในระบบไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) จุด D ในกรณีที่แบตเตอรี่ไม่เต็ม จะพิจารณาว่ากำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า กำลังของโหลดทางไฟฟ้าหรือไม่ ถ้า กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า กำลังของโหลดทางไฟฟ้า กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังของแบตเตอรี่จะส่งไปที่โหลดทางไฟฟ้า แต่ถ้ากำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่ากำลังของโหลดทางไฟฟ้า กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งไปที่โหลดทางไฟฟ้า และแบตเตอรี่

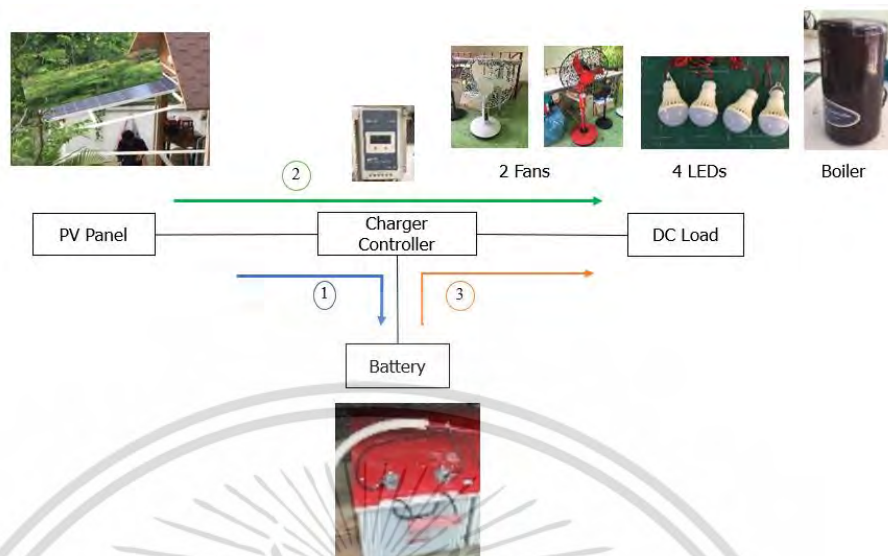
5) จุด E เนื่องจากไม่มีโหลดทางไฟฟ้า แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังจ่ายพลังงานได้ แบตเตอรี่จะทำการชาร์จและหยุดเมื่อทำการชาร์จเต็ม

### 3.6 การออกแบบและสร้างระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก ซึ่งได้มีการดัดแปลงมาใช้ในการปฏิบัติธรรม มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 22.5 ตารางเมตร ประกอบด้วย 1 ห้องนอน และ 1 ห้องน้ำ ดังภาพที่ 3.5 โดยตั้งสมมติฐานไว้สำหรับผู้ที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยมาก ซึ่งจะมีกิจกรรมอยู่นอกบ้านทุกวัน ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนี้ได้ทำการติดตั้งและทดสอบจริงที่บ้านปฏิบัติธรรม ตั้งอยู่บนถนนร่มเกล้า เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยมีเพียงแสงสว่างจากหลอดไฟ ระบบมอเตอร์หรือพัดลม และระบบความร้อนหรือเครื่องต้มน้ำ แบบขนาดเล็ก เท่านั้น



ภาพที่ 3.5 แผนผังบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก



ภาพที่ 3.6 ส่วนประกอบและโหมดการส่งผ่านพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

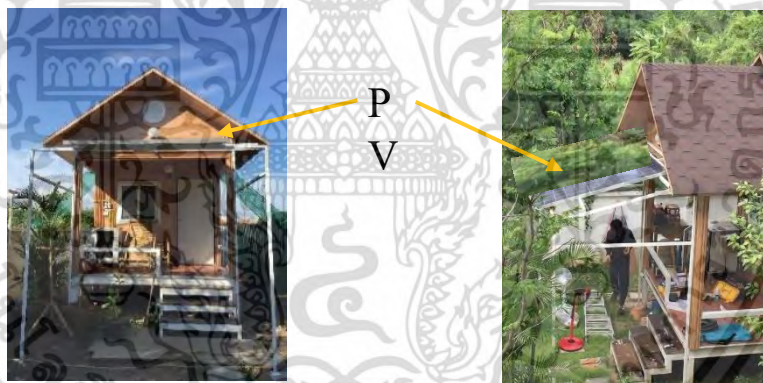
ภาพที่ 3.6 เป็นการแสดงให้เห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักได้แก่ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2) เครื่องควบคุม 3) แบตเตอรี่ และ 4) โหลดทางไฟฟ้า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีใช้ไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความจำเป็นพื้นฐานเท่านั้น ซึ่งได้แก่ พัดลม หลอดไฟ และเครื่องต้มน้ำ โดยจะเห็นว่าทิศทางการไหลของพลังงานมีทั้งหมด 3 โหมดได้แก่ โหมดที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานสู่แบตเตอรี่ โหมดที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานสู่โหลดทางไฟฟ้า และโหมดที่ 3 การดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า

### 3.6.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Panel)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้สำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน แบบผลึกโพลีที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่สุดสูงกว่าแบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน เนื่องจากเป็นที่นิยมหาซื้อได้ทั่วไป และราคาไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจาก ยังใช้ปริมาณซิลิกอน ในการผลิตน้อยกว่า จึงมีต้นทุนที่ต่ำกว่าผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้มีรายละเอียดตามตารางที่ 3.4 งานวิจัยนี้ได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ยกขึ้นทางทิศเหนือ และมีความลาดชันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 14 องศาขึ้นไปทางทิศเหนือกับพื้นดิน ดังภาพที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Electrical Performance		
Max. Power	Pmax	300 W
Operating Voltage	Vmp	36.7 V
Operating Current	Imp	8.17 A
Open Circuit Voltage	Voc	44.4 V
Short Circuit Current	Isc	8.99 A
All rating at STC 1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5 spectrum,		
Temperature Characteristics		
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C	
Temperature Coefficient of Pmax	-0.43%/°C	
Temperature Coefficient of Voc	-0.33%/°C	
Temperature Coefficient of Isc	-0.067%/°C	



(1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้านหน้า (2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาด้านข้าง

ภาพที่ 3.7 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

### 3.6.2 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่มีหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เพื่อใช้เวลากลางคืน หรือเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ งานวิจัยนี้ใช้แบตเตอรี่ 1 ลูก ขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมง มีการเก็บพลังงานเท่ากับ 2,400 วัตต์ชั่วโมง โดยแบตเตอรี่ที่เลือกใช้สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีการคายประจุแบบ Deep Cycle ที่สามารถคายประจุได้มากกว่าแบตเตอรี่ธรรมดาทั่วไป

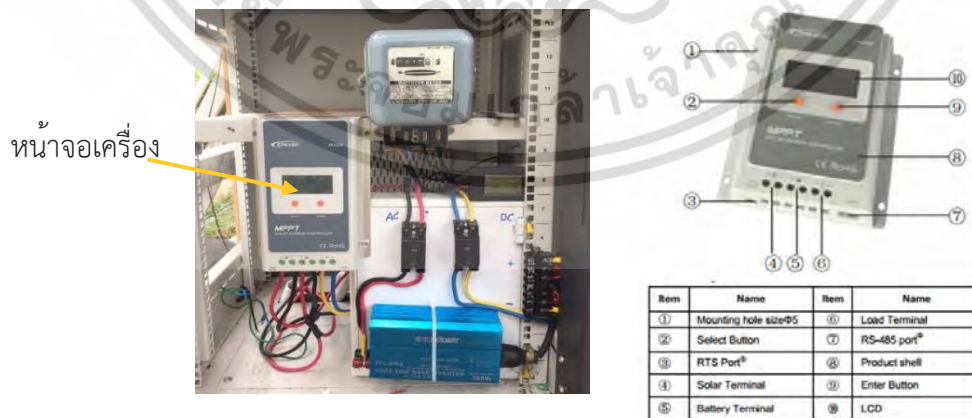
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แบตเตอรี่

### 3.6.3 เครื่องควบคุม (Solar Charger Controller)

เครื่องควบคุมมีหน้าที่ประจุพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุพลังงานไฟฟ้าให้มีปริมาณที่พอเหมาะกับแบตเตอรี่ เมื่อพลังงานไฟฟ้าประจุเข้าแบตเตอรี่จนเต็มแล้ว เครื่องควบคุมจะหยุดการประจุพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยี่ห้อ MPPT รุ่น Tracer 2210 มีขนาด 12 โวลต์ 20 แอมแปร์ ดังภาพที่ 3.9 ซึ่งรองรับซอฟต์แวร์ชื่อ EPEver สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยจุดเด่นของเครื่องควบคุมรุ่นนี้คือมี Micro Processor ตรวจสอบหาสัญญาณที่ได้กำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประจุแบตเตอรี่ให้เต็มตลอดเวลา สามารถแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องควบคุมและหน้าจอคอมพิวเตอร์ในกรณีที่มีการลงโปรแกรม EPEver บนคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.9 เครื่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.4 โหลดทางไฟฟ้า (Load Demand)

งานวิจัยชิ้นตั้งเงื่อนไขว่า 1) บ้านสำหรับผู้ใช้พลังงาน 2 คน ที่มีต้องการใช้ไฟฟ้าไม่สูงมาก 2) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านมีเพื่อใช้ในขั้นพื้นฐานของการดำรงชีพ ได้แก่ พัดลม หลอดไฟ และเครื่องต้มน้ำ และ 3) ผู้อาศัยในบ้านจะออกไปทำงานนอกบ้านในช่วงเวลากลางวัน ส่วนเวลากลางคืนจะกลับมา โดยที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกหลังนี้ต้องสามารถน ไปใช้ติดตั้งได้จริง สำหรับประชากรที่อาศัยในพื้นที่ห่างไกลหรือสายส่งไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยที่ระบบไฟฟ้าในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนี้เป็ระบบไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้ ความต้องการพลังงานของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกแห่งนี้จะมีขนาดไม่เกิน 1.00 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน

ความต้องการไฟฟ้าในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกแห่งนี้มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อให้ความร้อน ได้แก่ พัดลม อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างได้แก่ หลอดไฟ LED และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความร้อน ได้แก่ เครื่องต้มน้ำ ขนาดเล็กโดยที่รายละเอียดความต้องการไฟฟ้าได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลัง (วัตต์)	ช่วงเวลาในการใช้งาน				พลังงานทั้งหมด (kWh)
			กลางวัน (6:00-18:00)		กลางคืน (18:00-6:00)		
			ระยะเวลา (ชั่วโมง)	พลังงาน (kWh)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	พลังงาน (kWh)	
1. มอเตอร์							
พัดลม 1	1	15	1	0.015	12	0.18	0.195
พัดลม 2	1	20	1	0.02	12	0.24	0.26
2. แสงสว่าง							
LED 1 (หลัก)	2	5	1	0.01	12	0.12	0.13
LED 2 (หน้าบ้าน)	1	5	1	0.005	10	0.05	0.055
LED 3 (ห้องน้ )	1	5	1	0.005	10	0.05	0.055
3. ความร้อน							
เครื่องต้มน้ำ	1	100	1	0.1	0	0	0.1
รวม				0.155	0.64		0.795

หมายเหตุ พลังงานทั้งหมดต่อวัน

### 3.7 ตัวชี้วัดเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

การใช้พลังงานที่ยั่งยืน (Sustainable Energy) คือการใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ที่สุด โดยที่พลังงานจะเป็นของทุกคน และทุกคนสามารถนำมาใช้ได้ [73] การพัฒนาให้มีการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนนั้น จะต้องส่งเสริมให้มีการลดการใช้ทรัพยากรต่างๆ ในอาคาร เช่น พลังงานเชื้อเพลิง น้ำ และวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับหลักแนวคิดของอาคารที่ยั่งยืน (Sustainable Building) ซึ่งสนับสนุนให้การก่อสร้างและการใช้อาคารนั้นๆ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด [74] หลักแนวคิดของอาคารที่ยั่งยืนจะพิจารณาความยั่งยืน (Sustainability) ใน 3 ด้านเป็นสำคัญ ได้แก่ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคม [75]

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถส่งเสริมการใช้พลังงานที่ยั่งยืนได้เนื่องจาก เป็นการส่งเสริมให้ผู้มีอยู่ห่างไกลความเจริญสามารถมีไฟฟ้าใช้เพื่อการดำรงชีพ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการใช้พลังงานที่ยั่งยืน [76] นอกจากนี้ บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีกระบวนการทางานที่มีการส่งเสริมการรักษาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งส่งเสริมการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่

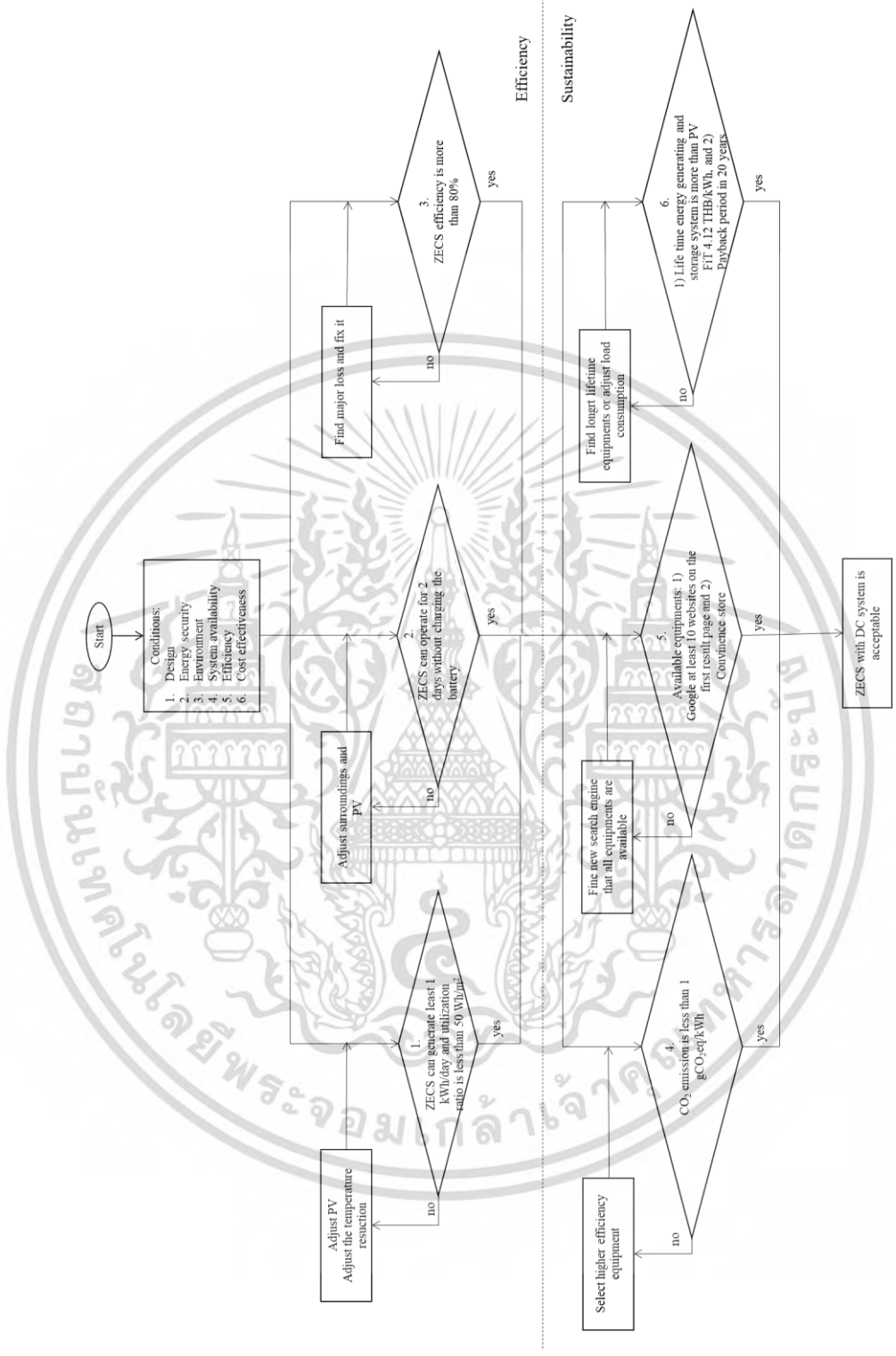
งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอ 6 ตัวชี้วัด (Criteria) และดัชนีชี้วัด (Key Performance Indicator) ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงไรสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.6 และมีลำดับการพิจารณาดังภาพที่ 3.10



ตารางที่ 3.6 ตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด

ตัวชี้วัด	คำอธิบาย	ดัชนีชี้วัด
การออกแบบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบสามารถผลิตพลังงานอย่างน้อย 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน</li> <li>- เปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ได้พลังงานอย่างน้อย 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน</li> <li>- อัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่น้อยกว่า 50 วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน</li> </ul>
ความมั่นคงของพลังงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบสามารถจ่ายพลังงานได้เมื่อมีเหตุการณ์ไม่ปกติ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างน้อย 2 วันโดยไม่ต้องท การชาร์จแบตเตอรี่</li> </ul>
ประสิทธิภาพ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การลดการสูญเสียในระบบ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ประสิทธิภาพของระบบมากกว่าร้อยละ 80</li> </ul>
สิ่งแวดล้อม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบสามารถลดปริมาณการปล่อยมลภาวะเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา มีค่าต่ำกว่า 1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh</li> </ul>
ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อุปกรณ์ต่างๆ สามารถหาซื้อได้ง่าย มีขายทั่วไปตามท้องตลาด</li> <li>- การบำรุงรักษาอุปกรณ์ค่อนข้างง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อุปกรณ์ต่างๆ สามารถหาซื้อได้ในระบบออนไลน์ ในหน้าแรกของการค้นหาในกูเกิล (Google Search Engine)</li> <li>- อุปกรณ์ต่างๆ สามารถหาซื้อได้ในร้านค้าทั่วไป</li> </ul>
ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เปรียบเทียบราคาต่อพลังงาน (Life Time Cost Per Unit)</li> <li>- เปรียบเทียบระยะเวลาการคืนทุนโดยรวมค่าใช้จ่ายปลีกย่อยอื่นๆ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ราคาต่อพลังงานไม่ต่ำกว่า 6.85 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง</li> <li>- ระยะเวลาการคืนทุนภายใน 20 ปี</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ลาดับการพิจารณาตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.10 จะเห็นว่า การพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จะพิจารณาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะ (Efficiency) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ประกอบไปด้วย 1) การออกแบบ 2) ความมั่นคงของพลังงาน และ 3) ประสิทธิภาพ และกลุ่มที่ 2 จะพิจารณาเรื่องความยั่งยืน (Sustainability) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ได้แก่ 4) สิ่งแวดล้อม 5) ความพร้อมใช้ด้านพลังงาน และ 6) ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ถ้าตัวชี้วัดใดไม่ผ่าน จะต้องทำการปรับปรุงแก้ไข ทั้งนี้ รายละเอียดของตัวชี้วัดมีดังต่อไปนี้

### 3.7.1 การออกแบบ (Design)

อาคารที่เกี่ยวข้องกับแนวทางที่ยั่งยืนจะให้ความสำคัญกับวัสดุก่อสร้างเป็นอย่างมาก ซึ่งวัสดุก่อสร้างจะต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และต้องส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอาคาร ตั้งแต่ระยะการก่อสร้างอาคาร จนถึงการปรับปรุงอาคาร [77] ระบบพลังงานที่ยั่งยืนที่มีการนำมาใช้ในอาคารจะต้องส่งเสริมการลดการสูญเสียในระบบพลังงาน เช่น การมีประตู หรือหน้าต่างตามทิศทางลม เพื่อระบายความร้อนภายในอาคารโดยไม่ต้องใช้พัดลม หรือเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในการออกแบบอาคาร เพื่อลดปริมาณความต้องการพลังงาน เช่น การใช้สีทาผนังกันความร้อนเพื่อลดความร้อนในอาคาร หรือการใช้แสงสว่างอาคารโดยระบบเซนเซอร์ประหยัดไฟฟ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องผลิตพลังงานได้อย่างน้อย 1 กิโลวัตต์ ชั่วโมง/วันตามปริมาณพลังงานขั้นต่ำที่ทุกคนสามารถใช้พลังงานได้ในแต่ละวัน นอกจากนี้ อัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่ (Utilization Ratio) หรือการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรจะต้องมีค่าต่ำกว่า 50 วัตต์ ชั่วโมง/ตารางเมตร โดยที่อัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Utilization ratio} = \frac{\text{Required energy}}{\text{Total area}} \quad (3.1)$$

โดยที่พลังงานที่ต้องการหมายถึงพลังงานที่ต้องการทั้งหมดใน 1 วัน [วัตต์ ชั่วโมง] และพื้นที่ทั้งหมดหมายถึงพื้นที่ใช้งานในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก [ตารางเมตร]

ทั้งนี้ การเปรียบเทียบกับค่าพลังงานต่อพื้นที่ 50 วัตต์ ชั่วโมง/ตารางเมตร มาจากการคำนวณการใช้พลังงานในบ้านเอื้ออาทร ซึ่งโดยเฉลี่ยบ้านเอื้ออาทรที่มีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกันกับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนี้จะมีพื้นที่ใช้งานประมาณ 33 ตารางเมตร [78] และมีการตั้งสมมติฐานว่าบ้านเอื้ออาทรได้รับไฟฟ้าฟรี 50 หน่วย ดังนั้น ใน 1 วัน จะมีความต้องการพลังงาน 1.67 หน่วย และเมื่อนำมา

คำนวณค่าพลังงานต่อพื้นที่ บ้านเอื้ออาทรจะมีค่าพลังงานต่อพื้นที่อยู่ที่ 1667วัตต์ชั่วโมง/33 ตารางเมตร เท่ากับ 50.51 วัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านการออกแบบไม่ผ่าน ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกอาจปรับค่าความต้องการพลังงานให้ลดลง เช่น การปรับสภาพโดยรอบบริเวณบ้านให้มีต้นไม้เพิ่มขึ้นหรือมีบ่อน้ำไว้รอบบ้านเพื่อลดความร้อนในบ้าน ท าล์ลดการใช้พลังงานในบ้าน เป็นต้น

### 3.7.2 ความมั่นคงของพลังงาน (Energy Security)

การนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในอาคารนั้น ท ให้อาคารเป็นอิสระจากกริด ซึ่งเป็นการส่งเสริมการความมั่นคงพลังงาน และจะเห็นว่าอาคารที่นำพลังงานหมุนเวียนมาใช้สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในอาคาร อีกทั้งยังเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระยะยาว [79]

ความมั่นคงทางพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้น พิจารณาว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ผิดปกติ เช่น ในช่วงฤดูฝนที่ฝนตกติดกัน ท ให้อ่างเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ระบบจะสามารถจ่ายพลังงานได้ 2 วัน โดยดึงพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่มาใช้

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านความมั่นคงของพลังงานไม่ผ่าน อาจมีการเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ เพื่อสำรองพลังงานได้นานขึ้น

### 3.7.3 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

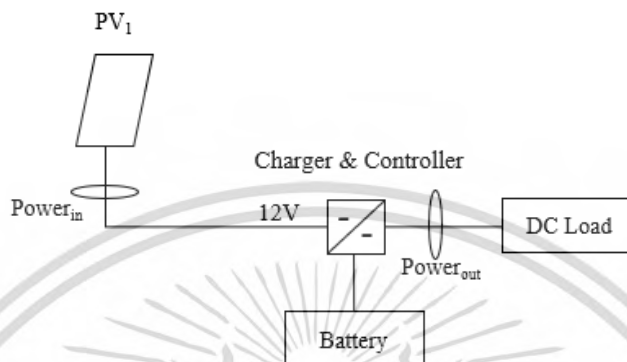
การลดปริมาณการสูญเสียในระบบเป็นเรื่องสำคัญอีกเรื่องสำหรับการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน ระบบใดมีการสูญเสียในระบบมาก หมายความว่าระบบนั้นมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้น ตัวชี้วัดนี้จะแสดงว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพดีเพียงไร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ที่ได้จากการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ และก าลังไฟฟ้าที่ส่งไปความต้องการพลังงานของระบบ โดยค านวณประสิทธิภาพจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{System Efficiency} = \frac{\text{Power}_{out}}{\text{Power}_{in}} \quad (3.2)$$

ทั้งนี้  $\text{Power}_{in}$  และ  $\text{Power}_{out}$  หมายถึง พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ และพลังงานที่ส่งไปยังความต้องการพลังงานตามลำดับ โดยแสดงดังภาพที่ 3.11 ประสิทธิภาพที่ผ่านเกณฑ์จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพไม่ผ่าน อาจทำการตรวจสอบว่าในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเกิดการสูญเสียในระบบที่ช่วงใด เพื่อทำการลดการสูญเสียในระบบที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 3.11 พลังงานเข้า (Power<sub>in</sub>) และ พลังงานออก (Power<sub>out</sub>) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

### 3.7.4 สิ่งแวดล้อม (Environment)

ตามที่กล่าวมาแล้วว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเน้นที่การลดปริมาณการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับหลักการของพลังงานที่ยั่งยืน ซึ่งพยายามที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบการผลิตพลังงาน ในตัวชี้วัดนี้สามารถเปรียบเทียบว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานสามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถทำการเปรียบเทียบในอุปกรณ์ทุกชิ้นของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกซึ่งอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบสามารถเป็นตัวชี้วัดได้ว่า ระบบมีประสิทธิภาพมากหรือน้อย ถ้าระบบใดมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่า ย่อมหมายความว่าระบบนั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ทั้งนี้ การอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละระบบสามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ [76]

$$\text{CO}_2 \text{ emission} = \frac{(E_{\text{total}}) \times \text{CO}_2 \text{ emission per kWh}}{17} \quad (3.3)$$

โดยที่  $\eta$  [%] คือประสิทธิภาพในแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งคำนวณมาจากพลังงานเข้า [วัตต์] หารด้วยพลังงานออก [วัตต์] และ  $E_{total}$  คือพลังงานที่ต้องการในแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก [กิโลวัตต์ชั่วโมง] ทั้งนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกปล่อยออกมาจะต้องมีค่าต่ำกว่า  $1 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh}$  เนื่องจากมีงานวิจัยได้นำเสนออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ  $1 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh}$  [80]

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านสภาพแวดล้อมไม่ผ่าน อาจมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากถ้าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าลดลง

### 3.7.5 ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน (System availability)

เนื่องจากหลักการของการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนเน้นให้ทุกคน ทุกกลุ่มสามารถเข้าถึงแหล่งพลังงานได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเปรียบเทียบความพร้อมใช้ในการจัดหาและติดตั้งของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสสลับหาได้ง่ายกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป อุปกรณ์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น ในตัวชี้วัดนี้จะพิจารณาว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก สามารถหาซื้อได้ในระบบออนไลน์ ในหน้าแรกของการค้นหาในกูเกิล (Google search engine) โดยรายชื่อ 10 เว็บไซต์แรกที่ปรากฏเมื่อทำการค้นหา จะต้องมียุกรณ์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้ากระแสตรงอย่างน้อย 5 เว็บไซต์

นอกจากนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้าระบบกระแสตรงที่นำมาใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องหาซื้อได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไปในชุมชน

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านความพร้อมใช้งานด้านพลังงานไม่ผ่าน อาจเปลี่ยนแหล่งค้นหาจากเว็บไซต์อื่นๆ หรือร้านค้าที่มีสินค้ามากขึ้น

### 3.7.6 ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ (Cost Effectiveness)

บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ ราคารวมของอุปกรณ์ที่ใช้คำนวณด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Total cost of equipment} = & n(a \times \text{cost}_{PV}) + n(b \times \text{cost}_{Charger}) + \\ & (c \times \text{cost}_{Battery}) + n(d \times \text{cost}_{Fan}) + \\ & n(e \times \text{cost}_{LED}) + n(f \times \text{cost}_{Boiler}) \end{aligned} \quad (3.4)$$

โดยที่ค่า a ถึง f แทนอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Warranted Lifetime) แต่ละชนิด (ปี) และ n คือจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุใช้งาน 20 ปี เครื่องควบคุมมีอายุใช้งาน 10 ปี แบตเตอรี่ พัดลม หลอด LED และเครื่องต้มน้ำมีอายุ 5 ปี [81] ถ้าสมมติฐานของงานวิจัยนี้มีอายุ 20 ปีเท่ากับอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมจะต้องทำการเปลี่ยนทุก 10 ปี แบตเตอรี่ พัดลม หลอด LED และเครื่องต้มน้ำมีอายุ 5 ปี ดังนั้น ต้องการการเปลี่ยนทุก 4 ปี

เมื่อพิจารณาราคาต่อพลังงาน (Life Time Cost Per Unit) เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อพลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุของระบบ โดยคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Life time cost per unit} = \frac{\text{Total cost of equipment}}{\text{Annual load consumption} \times \text{Life time}} \quad (3.5)$$

นอกจากนี้ การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (payback period) สามารถพิจารณาประสิทธิภาพเชิงพลังงานเช่นกัน โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Total investment}}{\text{Annual energy cost saving}} \quad (3.6)$$

ทั้งนี้ ราคาต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องน้อยกว่า 6.85 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามอัตรา Feed-in Tariff (FIT) ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา สำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดต่ำกว่า 10 กิโลวัตต์ ตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2557 [82] และระยะเวลาคืนทุนที่เหมาะสมของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องไม่เกิน 20 ปีตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในกรณีที่ตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ไม่ผ่าน ระบบอาจระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกอาจปรับใช้อุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานยิ่งขึ้น

### 3.7 บทสรุป

จะเห็นได้ว่าภูมิประเทศของกรุงเทพมหานครเหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากมีความเข้มของแสงแดดและอุณหภูมิที่พอเหมาะ โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหันไปทางทิศใต้ อย่างไรก็ตาม การทำความสะอาดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรักษาระดับการแปรรูปพลังงานไม่ให้ลดลงเนื่องจากความหนาของฝุ่นและช่วยลดอุณหภูมิที่บริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถผลิตพลังงานได้อย่างน้อย 1 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลของสหประชาชาติที่ระบุว่าประชากรบนโลกทุกคนสามารถมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างน้อยที่สุด 500 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือเทียบเท่า 1.37 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน อีกทั้ง บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจากมีความต้องการลดการสูญเสียที่เกิดจากการแปรรูปพลังงานในระบบ โดยในบทนี้ได้นำเสนอตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัดเพื่อนามาวิเคราะห์ในบทต่อไปว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกหรือไม่



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยแบ่งเป็น ขั้นตอนการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก การท งานของโปรแกรม EPEver ที่ใช้ประมวลผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งแสดงผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

#### 4.1 การติดตั้งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 4.1 โดยมีจอมอนิเตอร์เพื่อแสดงค่าแรงดันของระบบไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า รวมทั้งค่าของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อน ำไปประมวลผลร่วมกับโปรแกรม EPEver และเมื่อทำการทดสอบ จะมีการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Power Meter) รุ่น ST-1307 ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 การติดตั้งระบบพลังงานในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

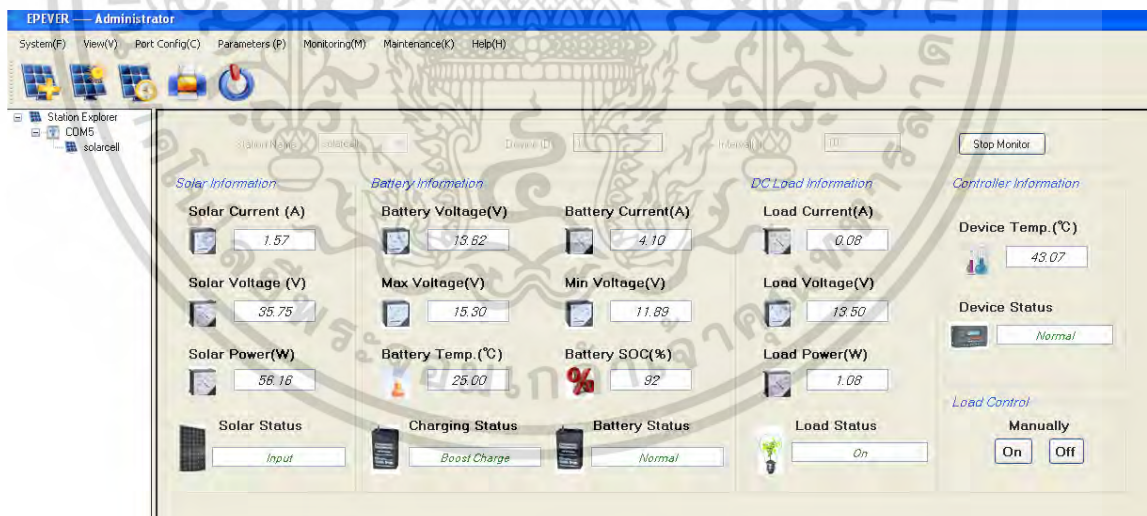
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์

## 4.2 การทำงานของโปรแกรม EPEver

โปรแกรม EPEver เป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมที่ชื่อว่า MPPT Solar Charge Controller ที่มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่ใช้ในบ้านเรือน สามารถแสดงค่าแรงดัน (Voltage Real Time Curve) กระแสไฟฟ้า (Current Real Time Curve) และก ล้างไฟฟ้า (Power Real Time curve) โดยเมื่อมีการลงโปรแกรม EPEver บนคอมพิวเตอร์ จะมีการประมวลผลค่าพลังงานต่างๆ ในระบบ ดังภาพที่ 4.3

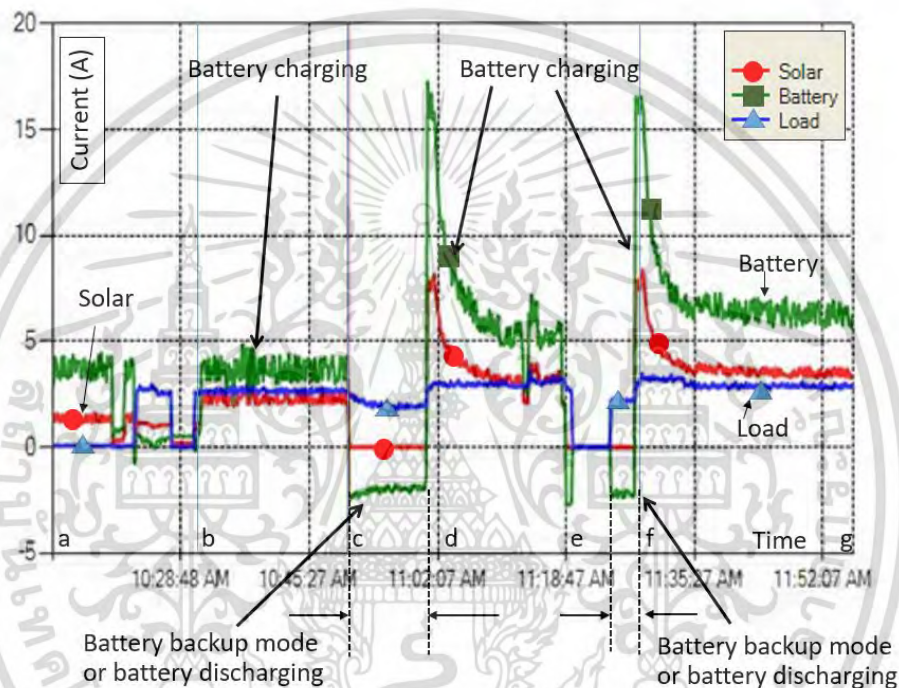


ภาพที่ 4.3 โปรแกรม EPEver บนคอมพิวเตอร์

ถ้าคอมพิวเตอร์มีการเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมตลอดเวลา โปรแกรม EPEver จะทำการเก็บข้อมูล และสามารถประมวลผลได้ตลอด ดังภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม EPEver มีการทำงานที่ต่อเนื่อง ตั้งแต่เวลา 10:00 – 12:00 น. โดยได้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (เส้นสีแดง) กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (เส้นสีเขียว) และ กระแสไฟฟ้าจากโหลดทางไฟฟ้า (เส้นสีฟ้า) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานแต่ไม่มีโหลดทางไฟฟ้า พลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะส่งไปที่แบตเตอรี่ แต่เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้ระบบจะมีการนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ และเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานได้ ก็จะจ่ายพลังงานมายังแบตเตอรี่และจ่ายพลังงานให้กับโหลดทางไฟฟ้า ทั้งนี้ รายละเอียดของภาพที่ 4.4 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.4 การเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม EPEver

- 1) ช่วง ab ในตอนแรกไม่มีโหลดทางไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะถูกส่งมายังแบตเตอรี่ และเมื่อมีโหลดทางไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจะเป็นตัวจ่ายพลังงาน
- 2) ช่วง bc ในช่วงนี้มีโหลดทางไฟฟ้าคงที่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการจ่ายพลังงานคงที่ ดังนั้น เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวจ่ายพลังงาน และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่
- 3) ช่วง cd โหลดทางไฟฟ้าคงที่ต่อจากช่วงที่แล้ว แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ดังนั้น จึงต้องนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้
- 4) ช่วง de โหลดทางไฟฟ้าคงที่ต่อจากช่วงที่แล้ว และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานได้ ดังนั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจะเป็นตัวจ่ายพลังงาน และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ช่วง  $ef$  ในตอนแรกไม่มีโหลดทางไฟฟ้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงาน ดังนั้น ระบบจะไม่ทำงานใดๆ แต่เมื่อมีโหลดทางไฟฟ้าในช่วงหลัง ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ดังนั้น แบตเตอรี่จึงเป็นตัวจ่ายพลังงาน

6) ช่วง  $fg$  ความต้องการพลังงานคงที่ต่อจากช่วงที่แล้ว และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานได้ ดังนั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจะเป็นตัวจ่ายพลังงาน และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่

### 4.3 ขั้นตอนการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

เนื่องจากการทดลองระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเป็นการทดสอบเพื่อแสดงว่า ระบบสามารถทำงานได้จริง และระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการนำมาใช้สำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก การทดสอบจะทาเป็นรอบ รอบละ 10 นาที ดังตารางที่ 4.1 โดยมี Interswitch ซึ่งเป็นตัวเปิด - ปิด การทดสอบการเปิดสวิตช์ของระบบไฟฟ้ากระแสตรง 4 นาที จากนั้นระบบจะหยุดการทำงาน 2 นาที และเปิดสวิตช์ระบบไฟฟ้ากระแสตรงต่ออีก 4 นาที ซึ่งจะเป็นการจบ 1 รอบการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

ลำดับนาที	ระยะเวลา	เปิด/ปิดระบบ
นาทีที่ 1-4	4 นาที	เปิดระบบ
นาทีที่ 5-6	2 นาที	ปิดระบบ
นาทีที่ 7-10	4 นาที	เปิดระบบ

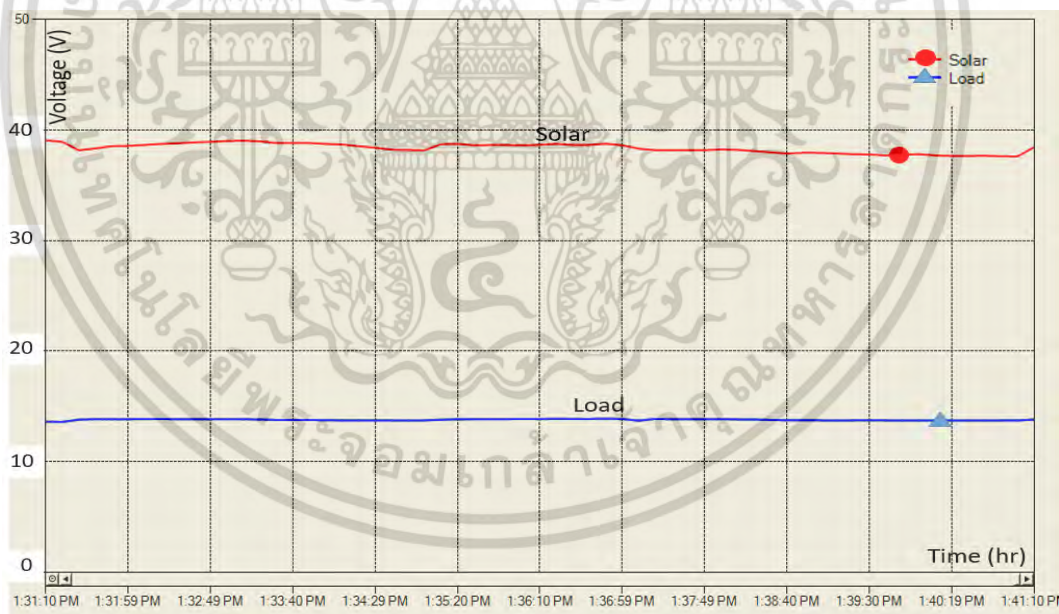
### 4.4 ผลการทดสอบ

โปรแกรม EPEver สามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลได้ตลอดเวลา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบหลายรอบและยกตัวอย่างเพื่อประกอบการศึกษา โดยนาเสนอรอบบันทึกที่สมบูรณ์ที่สุด คือรอบที่ทำการทดสอบในสภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก ในการทดสอบความเข้มของแสงอาทิตย์ระหว่างทดสอบมีค่าเป็น 529 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิตั้งที่ 55 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.5 และโหลดทางไฟฟ้ามีค่า 34 วัตต์ เนื่องจากมีการปิดโหลดเครื่องต้นน้ำ ซึ่งเมื่อคานวนในเบื้องต้นจะเพียงพอสำหรับความต้องการในการใช้ไฟฟ้าโดยไม่ต้องน ากระเสไฟฟ้าส ารงจากแบตเตอรี่มาช่วย



ภาพที่ 4.5 การวัดความเข้มแสงอาทิตย์

ภาพที่ 4.6 – 4.8 ซึ่งเป็นการแสดงผลแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความต้องการพลังงาน กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และความต้องการพลังงาน และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลด โดยที่การแสดงผลการทดสอบนี้ได้แสดงผลโดยโปรแกรม EPEver

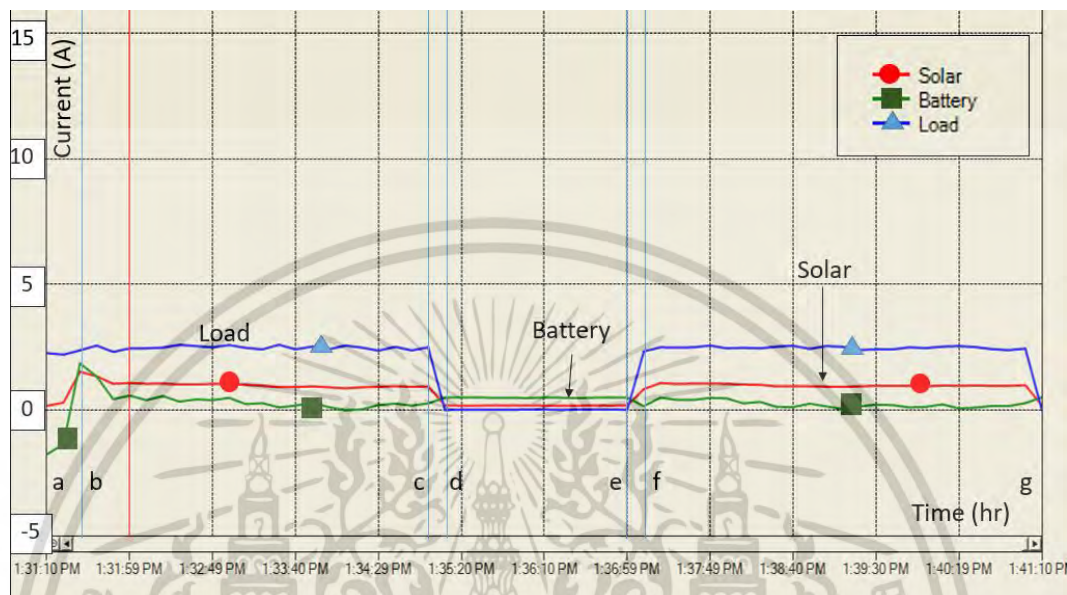


ภาพที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า

ภาพที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า จะเห็นว่าเส้นแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ใกล้เคียงกับแรงดันสูงสุดของแผงเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ (Operating Voltage) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.7 โวลต์ ในขณะที่เส้นแรงดันของโหลดทางไฟฟ้ามีค่าคงที่ประมาณ 12 โวลต์



ภาพที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้า

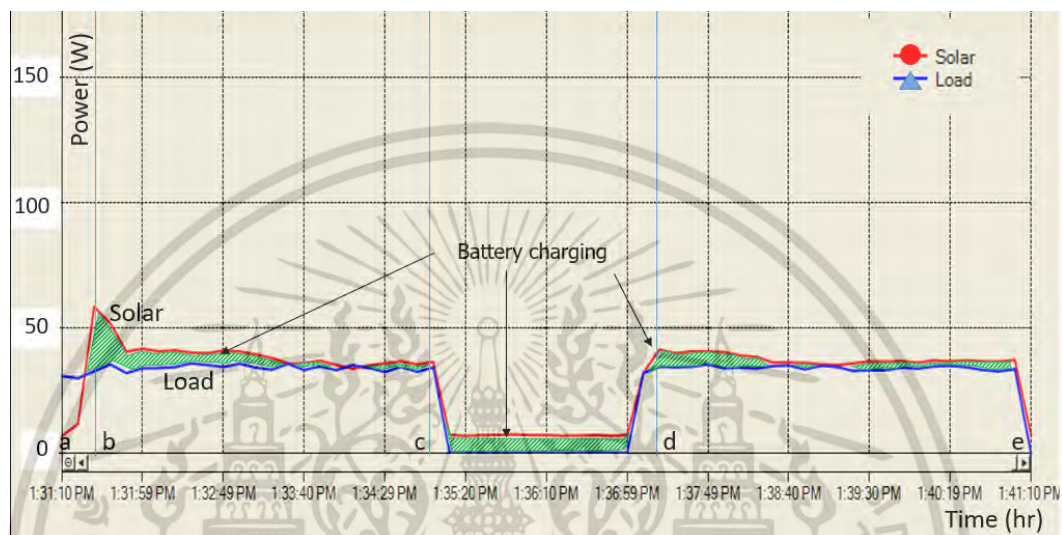
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้าได้แสดงในภาพที่ 4.7 จะเห็นว่า กระแสไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในระยะเวลา 4 นาทีแรกที่เริ่มทดสอบ เมื่อทำการปิดระบบ 2 นาที กระแสไฟฟ้าของโหลดทางไฟฟ้าจะเท่ากับศูนย์ และกลับมาที่ระดับเดิมอีกครั้งเมื่อทำการเปิดให้ระบบทำงานในระยะเวลา 4 นาทีสุดท้าย ในช่วงแรกที่เปิดระบบจะมีการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานไม่เพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า แต่พอแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า ก็จะส่งพลังงานมายังแบตเตอรี่ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

- 1) ช่วง ab เริ่มมีโหลดทางไฟฟ้าในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังผลิตพลังงานได้ไม่เต็มที่ ดังนั้น จึงต้องใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่มาใช้
- 2) ช่วง bc โหลดทางไฟฟ้าคงที่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้คงที่ ซึ่งเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่
- 3) ช่วง cd โหลดทางไฟฟ้าลดลงพร้อมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งผลิตพลังงานได้ลดลง แต่ยังคงเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า
- 4) ช่วง de ไม่มีโหลดทางไฟฟ้า แต่ยังมีกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ช่วง ef โหลดทางไฟฟ้าเริ่มเพิ่มขึ้นและแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มผลิตพลังงานได้สูงขึ้นซึ่งเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่

6) ช่วง fg โหลดทางไฟฟ้าคงที่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้คงที่ ซึ่งเพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า และส่งพลังงานที่เหลือมายังแบตเตอรี่

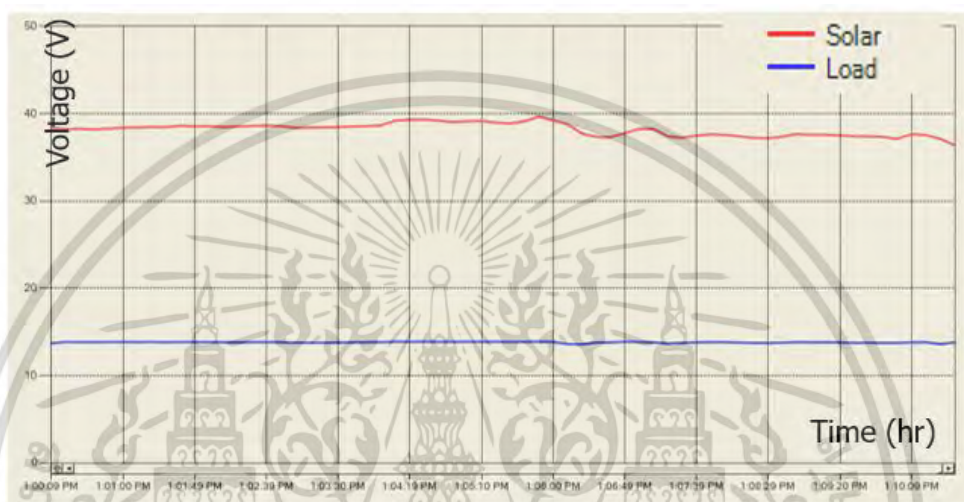


ภาพที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า

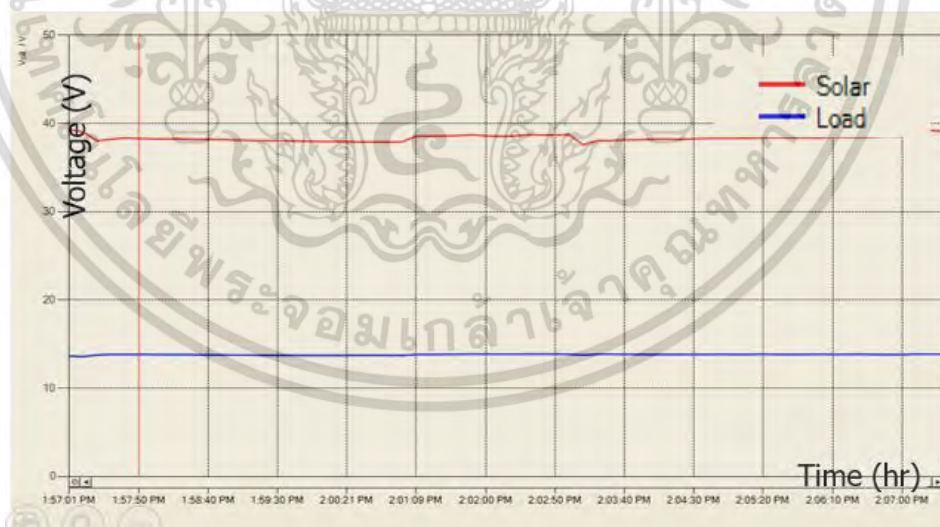
ภาพที่ 4.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้า เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าโหลดทางไฟฟ้า จะไม่จำเป็นต้องนำแบตเตอรี่มาจ่ายพลังงาน พื้นที่ใต้กราฟที่แสดงผลต่างระหว่างพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานของโหลดทางไฟฟ้าคือพลังงานที่เหลือจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปที่โหลดทางไฟฟ้าจะส่งมาแบตเตอรี่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ช่วง ab โหลดทางไฟฟ้าคงที่ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจ่ายพลังงาน
- 2) ช่วง bc โหลดทางไฟฟ้าคงที่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานสูงสุดในช่วงแรก และปรับลดลงจนคงที่
- 3) ช่วง cd โหลดทางไฟฟ้าลดลง จนกระทั่งเป็นศูนย์ในช่วงปิดระบบทำงาน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเปิดระบบ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ลดลงในช่วงแรก แต่ยังคงผลิตพลังงานในขณะที่ไม่มีโหลดทางไฟฟ้า และผลิตพลังงานได้สูงขึ้นในช่วงท้าย ซึ่งเป็นการเติมพลังงานสู่แบตเตอรี่
- 4) ช่วง de โหลดทางไฟฟ้าคงที่ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานคงที่

นอกจากนี้ เมื่อนำข้อมูลที่เก็บได้ในห้วงเวลาต่างๆ จะเห็นว่า ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ามีลักษณะที่คล้ายกัน ภาพที่ 4.9 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ โดยจะเห็นว่า กราฟของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์อาทิตย์และโหลดมีลักษณะใกล้เคียงกับภาพที่ 4.6 ซึ่งแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันของโหลดทางไฟฟ้ามีค่าค่อนข้างคงที่



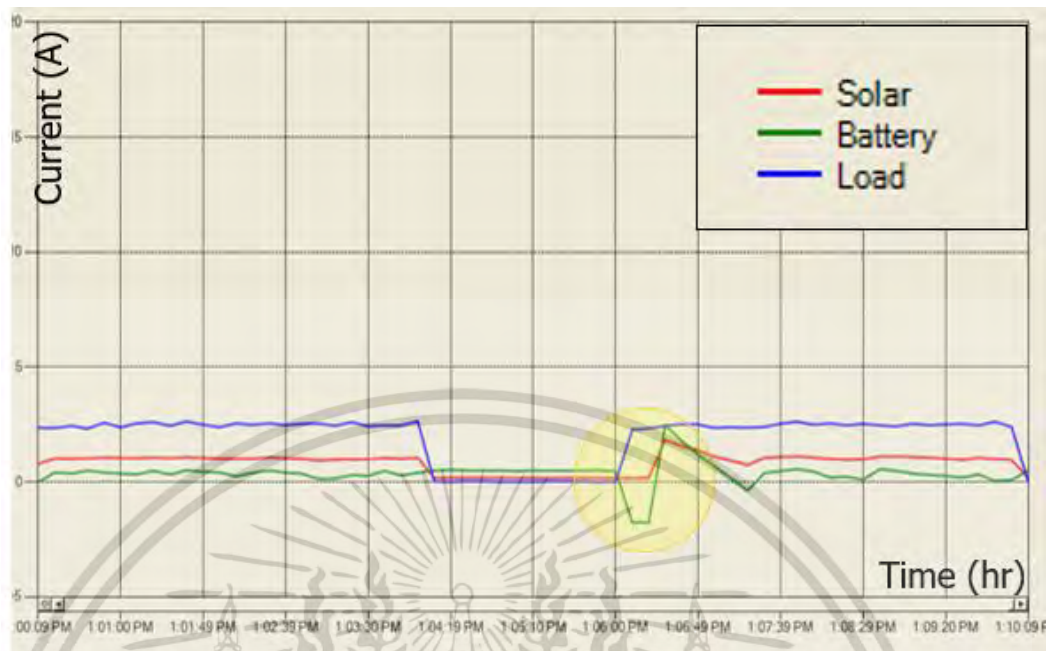
(1)



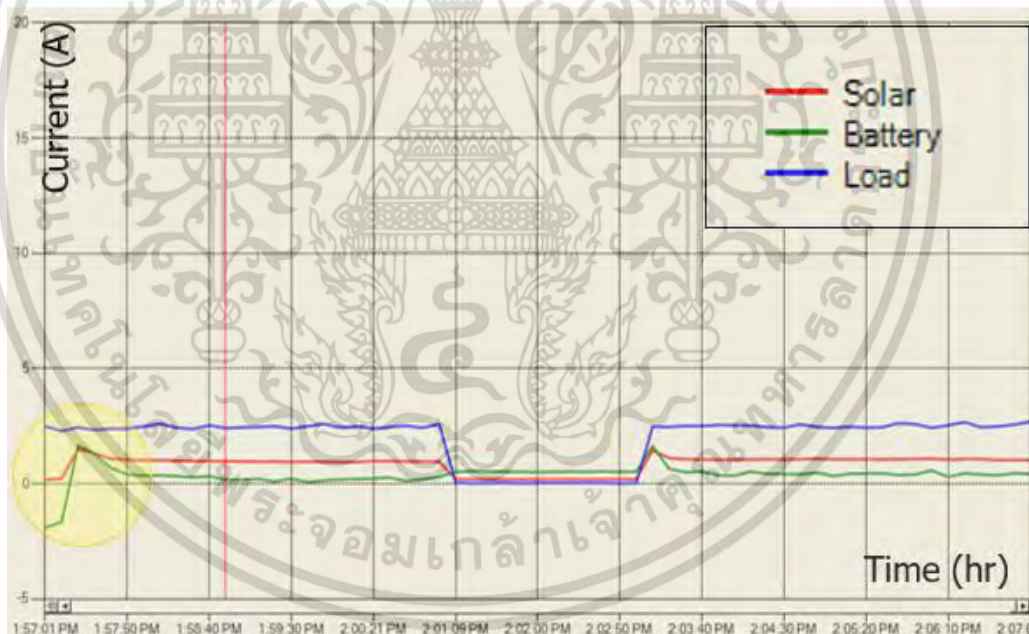
(2)

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



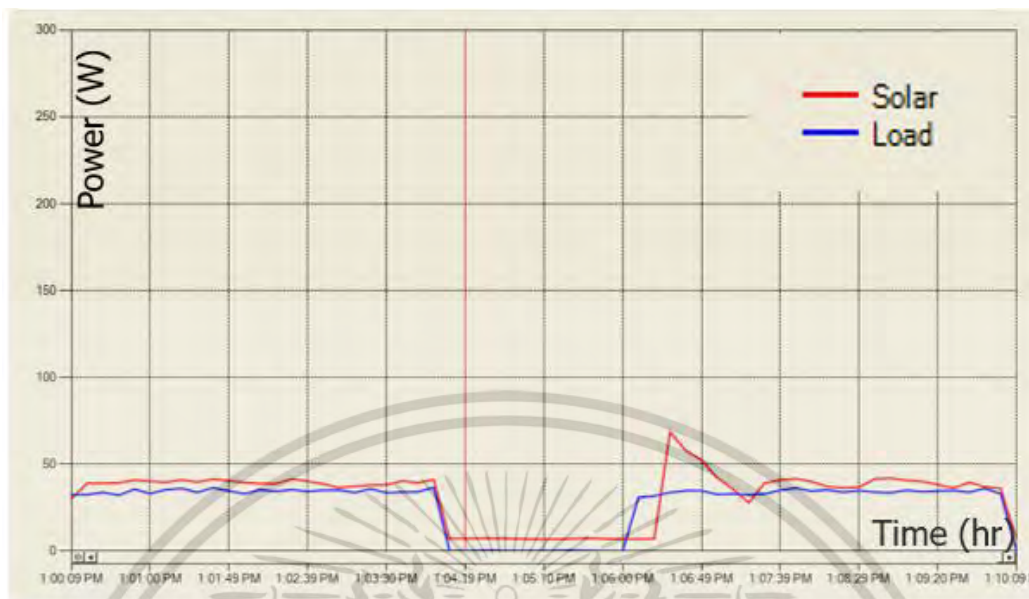
(1)



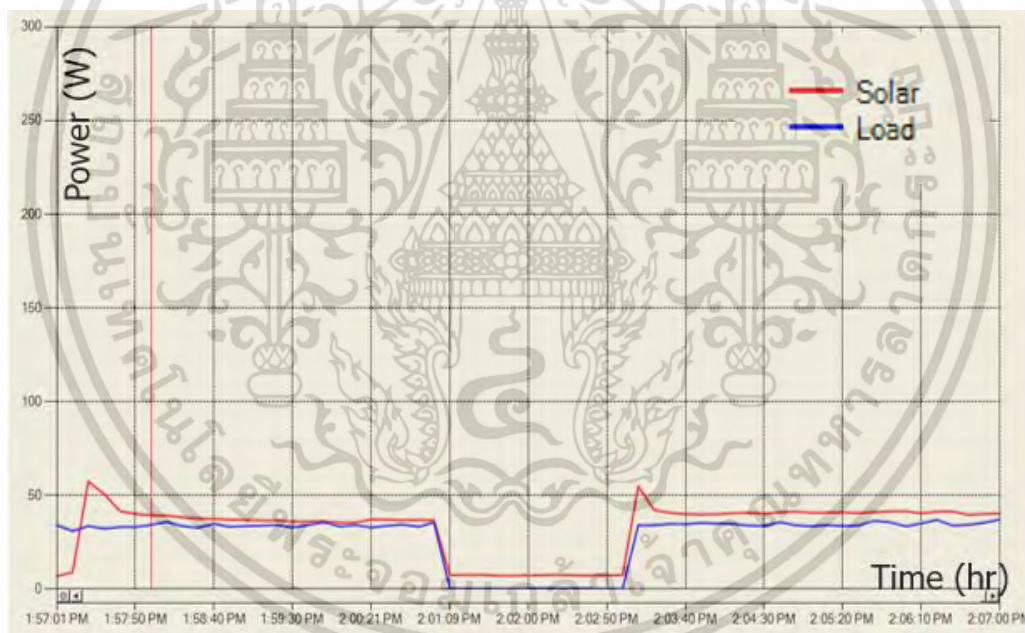
(2)

ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1)



(2)

ภาพที่ 4.11 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้าในห้วงเวลาต่างๆ

ในส่วนของการสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ โหลดทางไฟฟ้าในภาพที่ 4.10 จะมีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกันกับภาพที่ 4.7 วงกลมในภาพที่ 4.10 (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่า เกิดการดึงพลังงานมาใช้จากแบตเตอรี่เนื่องจากพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้น้อยกว่าโหลดทางไฟฟ้า และมีการส่งพลังงานไปยังแบตเตอรี่เมื่อพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า เช่นเดียวกับวงกลมในภาพที่ 4.10 (2) แสดงให้เห็นว่า มีการนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ และมีการส่งพลังงานไปยังแบตเตอรี่เมื่อพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า

ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และโหลดทางไฟฟ้าที่ทำการทดสอบในช่วงเวลาต่างๆ โดยจะเห็นว่า มีความใกล้เคียงกับภาพที่ 4.8 อย่างไรก็ตาม ทั้งภาพที่ 4.11 (1) และ 4.11 (2) มีความเหมือนกันคือเมื่อเปิดให้ระบบทำงานในช่วง 4 นาทีสุดท้าย จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของตัวอย่างทั้งสองเพิ่มขึ้นมามากกว่าความต้องการพลังงาน ดังที่แสดงในวงกลมของภาพที่ 4.11 (1) และ 4.11 (2)

#### 4.5 บทสรุป

งานวิจัยได้เก็บข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าและเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และโหลดทางไฟฟ้าผ่านทางโปรแกรม EPEver จะพบว่าบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานได้จริง โดยโปรแกรม EPEver ได้มีการแสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายพลังงานสู่โหลดทางไฟฟ้าและแบตเตอรี่ สามารถสรุปได้ว่า บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถทำงานได้จริงในระบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีพลังงานเข้ามายังระบบจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายให้กับโหลดทางไฟฟ้า นอกจากนี้ ยังได้แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ได้จ่ายพลังงานสำรองให้กับระบบในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอ

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกตามตัวชี้วัดทั้ง 6 ได้แก่ 1) การออกแบบ 2) ความมั่นคงของพลังงาน 3) ประสิทธิภาพ 4) สภาพแวดล้อม 5) ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน และ 6) ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด

##### 5.1.1 การออกแบบ

จะเห็นว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเป็นอาคารที่ให้ความสำคัญกับเรื่องการใช้ทรัพยากร กล่าวคือ มีการออกแบบให้ใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด รวมทั้งช่วยสนับสนุนให้ผู้ใช้อาคารลดการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า ตามหลักของอาคารที่ยั่งยืน เช่น ตั้งตามทิศทางของลมเพื่อลดการใช้พัดลม และสามารถใช้แสงจากดวงอาทิตย์ได้ในช่วงกลางวัน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการใช้วัสดุก่อสร้างที่ช่วยระบายความร้อนได้ เช่น มีฉนวนป้องกันความร้อน รวมทั้งการทาสีขาวเพื่อให้มีแสงสว่าง

ตัวชี้วัดของการออกแบบนี้มี 2 ตัวได้แก่ ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องผลิตพลังงานได้อย่างน้อย 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน และอัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่ หรือการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรจะต้องมีค่าต่ำกว่า 50 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร

เมื่อพิจารณาว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีกำลังการผลิตสูงสุด 300 วัตต์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4.23 ชั่วโมง/วันในบริเวณกรุงเทพมหานคร [69] ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 1.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่ สามารถคำนวณจากสมการที่ 3.1 ในบทที่ 3 โดยอัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่มีค่าเท่ากับพลังงานที่ต้องการใน 1 วันหรือ 795 วัตต์หารด้วยพื้นที่ของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก 22.5 ตารางเมตร จะเท่ากับ 35.33 วัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร กล่าวได้ว่าการออกแบบของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้น ผ่านเกณฑ์ชี้วัด

##### 5.1.2 ความมั่นคงของพลังงาน

ความมั่นคงทางพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้น พิจารณาว่า เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ผิดปกติ เช่น ฝนตกติดต่อกันจนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องจ่ายพลังงานได้อย่างน้อย 2 วัน

เมื่อพิจารณาขนาดของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งมีขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมง จะสามารถสำรองพลังงานได้ 2.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการพลังงานจะเห็นว่า เมื่อแบตเตอรี่ที่ได้ทำการประจุค่าพลังงานจนเต็มจะสามารถจ่ายพลังงานได้ในระยะเวลากว่า 2 วัน นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบความมั่นคงของพลังงาน โดยทำการเพิ่มขนาดความต้องการพลังงาน รวมทั้งเพิ่มจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ดังผลการทดสอบดังต่อไปนี้

### 5.1.2.1 การทดสอบความมั่นคงของพลังงานของระบบไฟฟ้ากระแสตรง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบความมั่นคงของพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกซึ่งใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยได้ทำการบันทึกข้อมูลดิบของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของโหลด ระหว่างวันที่ 5 - 15 พฤศจิกายน 2560 และนำมาเฉลี่ยดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความมั่นคงของพลังงานระหว่างวันที่ 5 - 15 พฤศจิกายน 2560

Time (hr)	PV			Load			Battery		
	PV voltage (V)	PV current (A)	PV power (W)	Load voltage (V)	Load current (A)	Load power (W)	Battery voltage (V)	Battery current (A)	Battery power (W)
6:00	14.0	0.3	4.2	11.4	3.86	44.05	12.1	-3.32	-40.19
6:30	22.1	0.5	9.9	12.2	5.94	72.51	12.1	-5.24	-63.36
7:00	22.2	0.6	12.2	12.6	2.11	26.60	11.8	-1.30	-15.37
7:30	23.2	0.7	16.2	12.3	2.12	26.03	11.8	-0.94	-11.09
8:00	23.6	1.5	34.2	0.0	0.00	0.00	11.9	2.65	31.48
8:30	24.4	2.7	65.9	0.0	0.00	0.00	12.2	4.97	60.61
9:00	26.3	3.4	89.4	0.0	0.00	0.00	12.3	6.69	82.27
9:30	27.2	3.3	89.8	0.0	0.00	0.00	11.2	7.37	82.58
10:00	28.0	4.2	117.6	0.0	0.00	0.00	12.3	8.80	108.19
10:30	27.3	5.1	139.2	0.0	0.00	0.00	11.2	11.44	128.09
11:00	28.6	4.2	120.1	0.0	0.00	0.00	11.5	9.61	110.51
11:30	28.0	3.1	86.8	0.0	0.00	0.00	11.2	7.13	79.86
12:00	29.1	3.8	110.6	0.0	0.00	0.00	11.6	8.77	101.73
12:30	27.0	1.8	48.6	0.0	0.00	0.00	11.8	3.79	44.71

Time (hr)	PV			Load			Battery		
	PV voltage (V)	PV current (A)	PV power (W)	Load voltage (V)	Load current (A)	Load power (W)	Battery voltage (V)	Battery current (A)	Battery power (W)
13:00	26.5	2.3	61.0	0.0	0.00	0.00	12	4.67	56.07
13:30	27.1	2.4	63.7	0.0	0.00	0.00	11.9	4.92	58.59
14:00	25.9	1.1	27.2	0.0	0.00	0.00	11.9	2.10	25.02
14:30	24.3	1.3	31.6	0.0	0.00	0.00	11.9	2.44	29.06
15:00	25.5	1.1	28.1	0.0	0.00	0.00	11.7	2.21	25.81
15:30	25.8	1.2	31.0	0.0	0.00	0.00	11.9	2.39	28.48
16:00	23.6	0.7	15.3	0.0	0.00	0.00	11.5	1.23	14.11
16:30	24.7	0.7	16.1	0.0	0.00	0.00	11.8	1.25	14.77
17:00	24.9	0.2	5.0	0.0	0.00	0.00	12.3	0.37	4.58
17:30	24.8	0.4	8.7	0.0	0.00	0.00	12.3	0.65	7.99
18:00	24.8	0.3	7.4	11.4	1.98	22.55	12.1	-1.30	-15.70
18:30	3.6	0.3	1.1	11.7	2.18	25.51	12.2	-2.01	-24.52
19:00	3.6	0.3	1.1	11.4	1.93	22.02	11.9	-1.77	-21.03
19:30	3.6	0.3	1.1	11.9	2.07	24.63	12.4	-1.91	-23.64
20:00	3.5	0.3	1.1	12.6	2.12	26.66	12.1	-2.12	-25.70
20:30	3.5	0.3	1.1	11.7	1.98	23.14	11.7	-1.90	-22.18
21:00	3.6	0.3	1.1	12.4	2.21	27.38	11.7	-2.26	-26.39
21:30	3.5	0.3	1.1	13.4	2.12	28.35	11.9	-2.30	-27.39
22:00	3.5	0.3	1.1	12.2	2.12	25.82	12.2	-2.04	-24.85
22:30	3.2	0.3	1.0	12.4	2.07	25.67	12.1	-2.05	-24.78
23:00	3.2	0.3	1.0	11.7	2.02	23.68	12.1	-1.88	-22.80
23:30	3.4	0.3	1.0	13.2	2.12	27.93	12.6	-2.14	-26.99
0:00	3.3	0.3	1.0	13.1	2.16	28.32	12.2	-2.25	-27.41
0:30	3.2	0.3	1.0	12.2	2.02	24.69	12.3	-1.94	-23.81
1:00	3.3	0.3	1.0	12.4	2.07	25.67	12.2	-2.03	-24.76
1:30	3.4	0.3	1.0	12.5	2.02	25.30	12.2	-2.00	-24.36
2:00	3.3	0.3	1.0	12.7	2.12	26.87	12.8	-2.03	-25.96
2:30	3.1	0.3	0.9	12.4	2.02	25.10	12.2	-1.99	-24.24
3:00	3.0	0.3	0.9	11.6	2.07	24.01	12.3	-1.88	-23.18
3:30	3.3	0.3	1.0	12.1	2.07	25.05	11.9	-2.03	-24.14

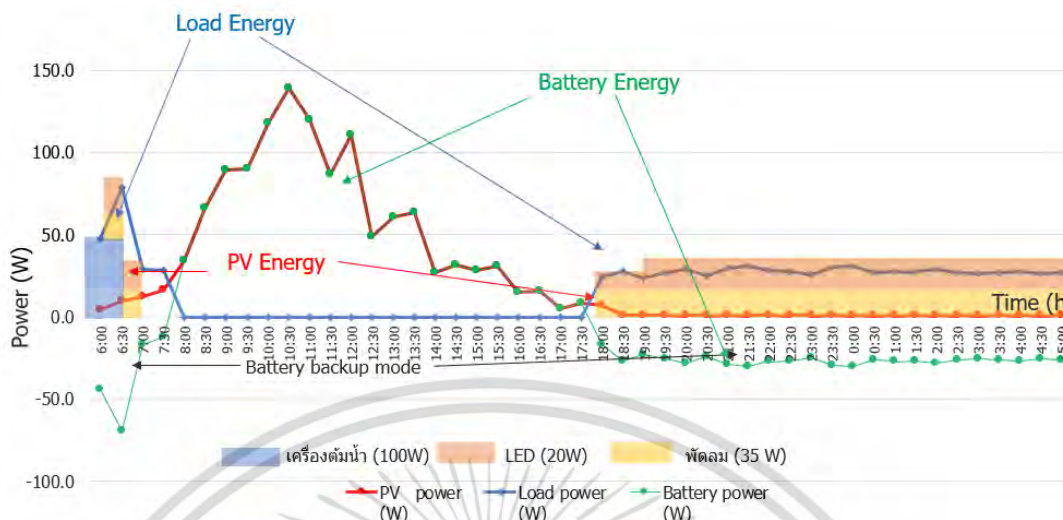
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (hr)	PV			Load			Battery		
	PV voltage (V)	PV current (A)	PV power (W)	Load voltage (V)	Load current (A)	Load power (W)	Battery voltage (V)	Battery current (A)	Battery power (W)
4:00	3.2	0.3	1.0	12.3	2.07	25.46	11.7	-2.10	-24.58
4:30	3.1	0.3	0.9	12.3	1.98	24.33	11.8	-1.99	-23.47
5:00	3.4	0.3	1.0	11.7	2.12	24.76	11.3	-2.11	-23.82
5:30	3.4	0.3	1.0	12.4	2.02	25.10	12.2	-1.98	-24.16

จากข้อมูลในตารางที่ 5.1 ได้แสดงข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในระยะเวลา 1 วัน กำลังของแบตเตอรี่ติดลบในบางช่วงเวลาหมายถึงมีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปจ่ายโหลดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้ามาในระบบรวม 1,269.9 วัตต์ชั่วโมง ขณะที่โหลดมีค่ารวม 777.20 วัตต์ชั่วโมง และเหลือเก็บในแบตเตอรี่ 384.66 วัตต์ชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ในตาราง 5.1 มาเสนอความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่และโหลดทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 5.1 จะเห็นว่า ในช่วงเช้าก่อนที่คนออกจากบ้านไปทำงาน โหลดทางไฟฟ้าจะขึ้นสูงสุดเพราะมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าพร้อมกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอจึงต้องนำพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่เข้ามาช่วยจ่ายโหลด ในช่วงเวลากลางวันไม่มีโหลดเนื่องจากไม่มีคนอยู่บ้าน ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะถูกส่งไปแบตเตอรี่ และในช่วงเย็นซึ่งเป็นเวลาที่คนอยู่บ้านโดยมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า 2 ชนิดตลอดเวลา แบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงนี้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางวันได้

แบตเตอรี่สามารถสำรองพลังงานได้ 2.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะสามารถจ่ายพลังงานเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้อย่างน้อย 3.08 วัน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่วางไว้ ดังนั้นกล่าวได้ว่า ความมั่นคงทางพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกผ่านเกณฑ์ชีวิต



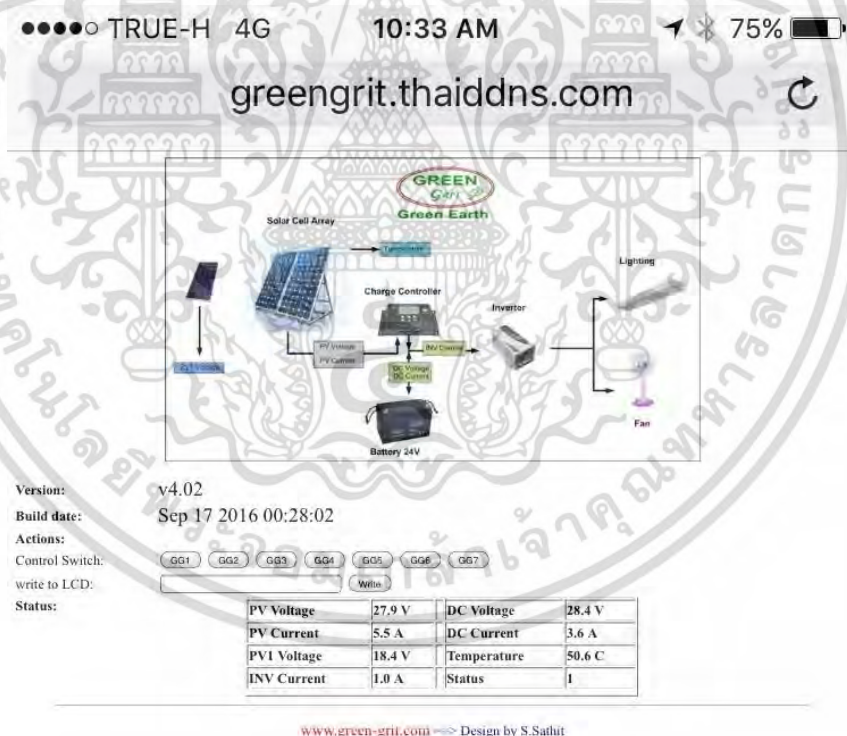
ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่และโหลดทางไฟฟ้า

1) การศึกษาเพิ่มเติมกรณีทดสอบความมั่นคงของพลังงานเมื่อใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความมั่นคงของพลังงานเมื่อใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับในกรณีที่เพิ่ม โหลดทางไฟฟ้า ระหว่างวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง ขนาดแผงละ 300 วัตต์ แบตเตอรี่จำนวน 2 ลูก ขนาด 12 โวลต์ 120 แอมป์ชั่วโมง และเครื่องแปลงพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้อาจรองรับกับโหลดทางไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาด 1.262 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน ดังตารางที่ 5.2 นอกจากนี้ ระบบมีการประมวลผลแบบ Real Time มายังระบบคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังภาพที่ 5.2 โดยมีข้อมูลที่แสดงดังนี้ โดยที่ 1) PV Voltage คือแรงดันไฟฟ้าของแผงวงจรแสงอาทิตย์ 2) PV Current คือกระแสไฟฟ้าของแผงวงจรแสงอาทิตย์ 3) PV1 คือค่าอ้างอิงปริมาณแสงแดดที่ตกลงมา 4) INV Current คือกระแสตรงที่ป้อนเข้าเครื่องแปลงไฟฟ้า 5) DC Voltage คือแรงดันไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสตรง 6) DC Current คือ กระแสไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสตรงสามารถติดลบถ้ามีการดึงไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่ 7) Temperature คืออุณหภูมิที่แผงวงจรแสงอาทิตย์ และ 8) Status แสดงวาระบบยังทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างการทดสอบความมั่นคงของระบบพลังงานในกรณีที่โหลดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

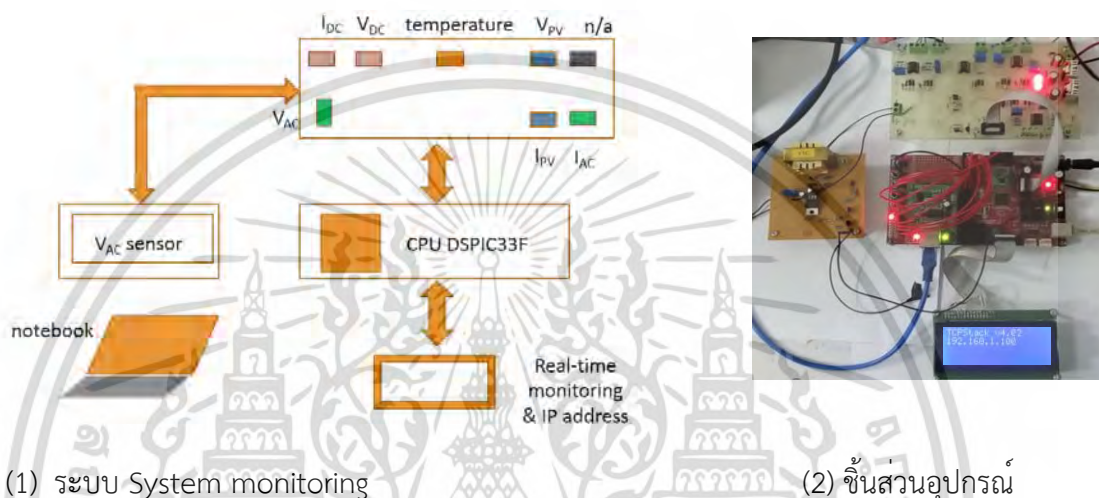
อุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลัง (W)	เวลา (h)	พลังงาน (kWh/day)
หลอดไฟ 1	1	12	1	0.012
หลอดไฟ 2	1	12	1	0.012
หลอดไฟ 3	1	12	12	0.144
พัดลม	1	58	18	1.044
คอมพิวเตอร์	1	50	1	0.05
รวม		144		1.262



ภาพที่ 5.2 การประมวลผลการทดสอบความมั่นคงของพลังงานผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บข้อมูลเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ความมั่นคงของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ประกอบด้วยเซนเซอร์ (Sensor) CPU เครื่องมือสื่อสารเพื่อเชื่อมต่อระบบ และระบบ Monitoring ดังภาพที่ 5.3 (1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเก็บข้อมูลจะสามารถเก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงวงจรแสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสตรง อุณหภูมิของแผงวงจรแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลผ่านระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีอุปกรณ์ชิ้นส่วนของระบบ ดังภาพที่ 5.3 (2)



ภาพที่ 5.3 การเก็บข้อมูลเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ความมั่นคงของพลังงาน

เมื่อมาข้อมูลที่ได้มาพยากรณ์การใช้พลังงานในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนั้น สามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Energy}_{Gen} = \text{Energy}_{Load} + \text{Energy}_{Storage} \quad (5.1)$$

พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ( $\text{Energy}_{Gen}$ ) จะมีค่าเท่ากับความต้องการพลังงาน ( $\text{Energy}_{Load}$ ) บวกพลังงานที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ ( $\text{Energy}_{Storage}$ ) โดยที่  $\text{Energy}_{Load}$   $\text{Energy}_{Gen}$  และ  $\text{Energy}_{Storage}$  สามารถคำนวณจากสมการที่ 5.2 5.3 และ 5.4 ดังนี้

$$(\text{P} \times \text{t})_{Gen} = P_{PVpeak} \times \text{time}_{Average} \quad (5.2)$$

$$(\text{P} \times \text{t})_{Load} = \eta \times \sum (P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_n \times t_n) \quad (5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(P \times t)_{Storage} = (P \times t)_{Gen} - (P \times t)_{Load} \quad (5.4)$$

ทั้งนี้  $time_{average}$  หรือจ านวนชั่วโมงเฉลี่ยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ ซึ่งในเขต กรุงเทพมหานครจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 ชั่วโมงต่อวัน

### ผลการทดสอบ

เมื่อมาผลการทดสอบตั้งแต่วันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559 มาคำนวณหา ค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.3 (ภาคผนวก ก) จะได้ข้อมูลดังภาพที่ 5.4 เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลทุก 30 นาที ผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลบางช่วงอาจไม่สมบูรณ์ เช่น ในช่วงเวลา 23:00 น. – 5:00 น. อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เก็บได้ระหว่างเวลา 5:00 น. – 23:00 น. สามารถแสดงให้เห็นในแต่ละช่วงเวลาได้ดังนี้

1) ในช่วงเวลา 6:00 น. – 12:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มผลิตพลังงานแสง ไฟฟ้าและผลิตได้เต็มที่ในเวลาประมาณ 9:00 น. ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของโหลด แผงเซลล์ แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งมายังโหลด และเพียงพอที่จะเก็บไว้ในแบตเตอรี่

2) ในช่วงเวลา 12:00 น. – 18:00 น. แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าน้อยลง แต่ยังคงเพียงพอต่อความต้องการ ในช่วงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าโหลด พลังงานไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งไปยังโหลด และเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่า โหลด จะมีการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้

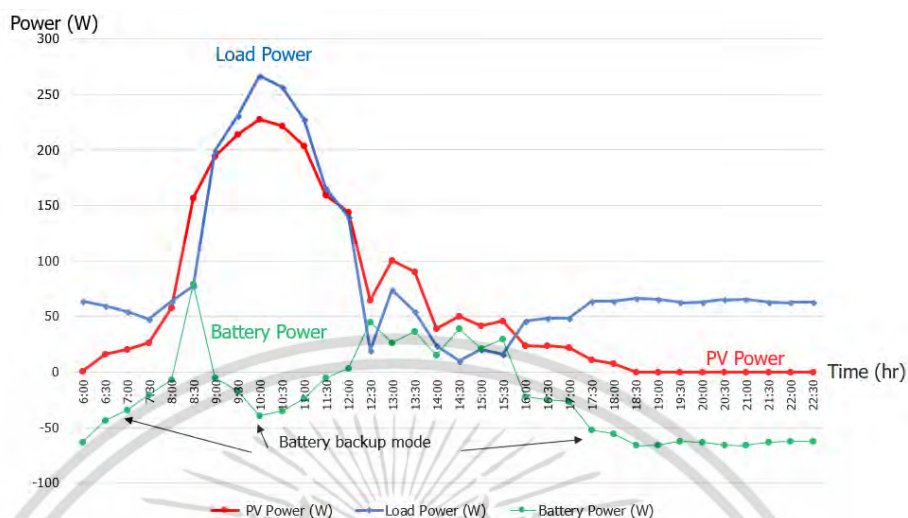
3) ในช่วงเวลา 18:00 น. – 24:00 น. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะนำพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่มาใช้

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลเฉลี่ยของการทดสอบความมั่นคงของพลังงาน ระหว่างวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึง วันที่ 23 ตุลาคม 2559

Time	PV current (A)	PV1 (V)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temperature (Degree C)	PV Power (W)	Load Power (W)	Battery Power (W)
6:00	0.6	1.6	2.1	24.7	2.6	23.4	0.96	64.22	-63.26
6:30	0.9	18.1	2.1	24.8	2.4	24	16.29	59.52	-43.23
7:00	1.1	18.6	2.2	24.8	2.2	24.3	20.46	54.56	-34.1
7:30	1.4	19.1	2.1	24.9	1.9	24.9	26.74	47.31	-20.57
8:00	2.9	19.9	4.6	24.7	2.6	27.7	57.71	64.22	-6.51

Time	PV current (A)	PV1 (V)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temperature (Degree C)	PV Power (W)	Load Power (W)	Battery Power (W)
8:30	7.9	19.8	4.3	26.7	2.9	37.9	156.42	77.43	78.99
9:00	10	19.4	2	27.3	7.3	44.4	194	199.29	-5.29
9:30	11.1	19.3	2	27.5	8.4	46.9	214.23	231	-16.77
10:00	11.9	19.1	1.9	28.4	9.4	51.3	227.29	266.96	-39.67
10:30	11.6	19.1	1.9	28.5	9	51.4	221.56	256.5	-34.94
11:00	10.8	18.9	1.9	28.5	8	52.6	204.12	228	-23.88
11:30	8.5	18.8	1.9	28.5	5.8	50.6	159.8	165.3	-5.5
12:00	7.6	18.9	1.9	28.6	4.9	56.7	143.64	140.14	3.5
12:30	3.6	17.9	2	27.5	0.7	52.4	64.44	19.25	45.19
13:00	5.4	18.6	2	28.6	2.6	51.1	100.44	74.36	26.08
13:30	4.7	19.3	2	28.7	1.9	38.6	90.71	54.53	36.18
14:00	2.1	18.6	2.1	26.4	0.9	34.9	39.06	23.76	15.3
14:30	2.6	19.2	2.1	26.2	0.4	33.7	49.92	10.48	39.44
15:00	2.2	19	2	26	0.8	32.2	41.8	20.8	21
15:30	2.4	19.1	2	27	0.6	40.1	45.84	16.2	29.64
16:00	1.3	18.3	2.1	25.6	1.8	32.7	23.79	46.08	-22.29
16:30	1.3	18.1	2	25.5	1.9	32	23.53	48.45	-24.92
17:00	1.2	18.1	2.1	25.5	1.9	31	21.72	48.45	-26.73
17:30	0.7	16.1	2.1	25.4	2.5	29.4	11.27	63.5	-52.23
18:00	0.6	13.2	2.1	25.4	2.5	28.8	7.92	63.5	-55.58
18:30	0.6	0	2.1	25.4	2.6	28.3	0	66.04	-66.04
19:00	0.6	0	2.1	25.3	2.6	27.8	0	65.78	-65.78
19:30	0.6	0	2.1	25.1	2.5	27.7	0	62.75	-62.75
20:00	0.6	0	2.1	25.2	2.5	27.5	0	63	-63
20:30	0.6	0	2.1	25.2	2.6	27.4	0	65.52	-65.52
21:00	0.6	0	2.1	25.3	2.6	26.9	0	65.78	-65.78
21:30	0.6	0	2.1	25.2	2.5	26.7	0	63	-63
22:00	0.6	0	2.1	25.1	2.5	26.8	0	62.75	-62.75
22:30	0.6	0	2.1	25.1	2.5	26.4	0	62.75	-62.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

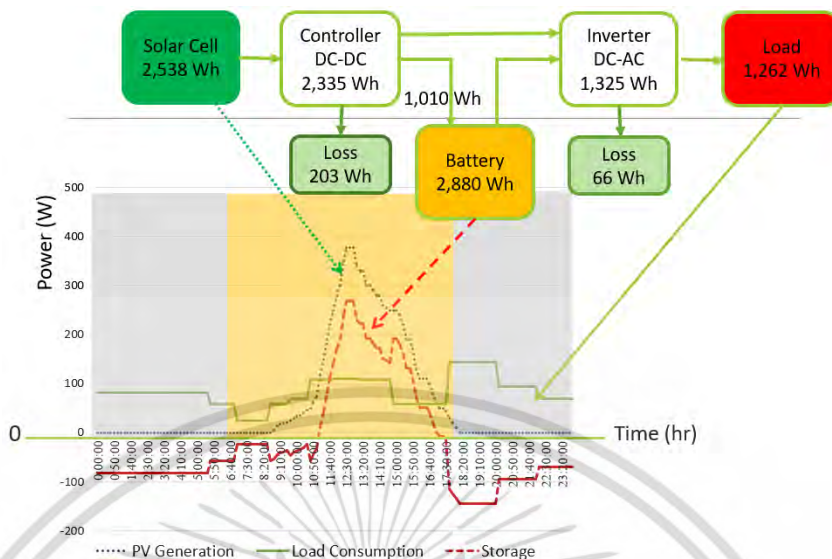


ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่และโหลดทางไฟฟ้า

#### การคำนวณค่าพลังงานตามสมมติฐานสถานะแสงอาทิตย์

ในกรณีนี้มาผลการทดสอบความมั่นคงของพลังงานมาคำนวณค่าพลังงานตามสมมติฐานสถานะแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก สามารถคำนวณตามสถานะแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

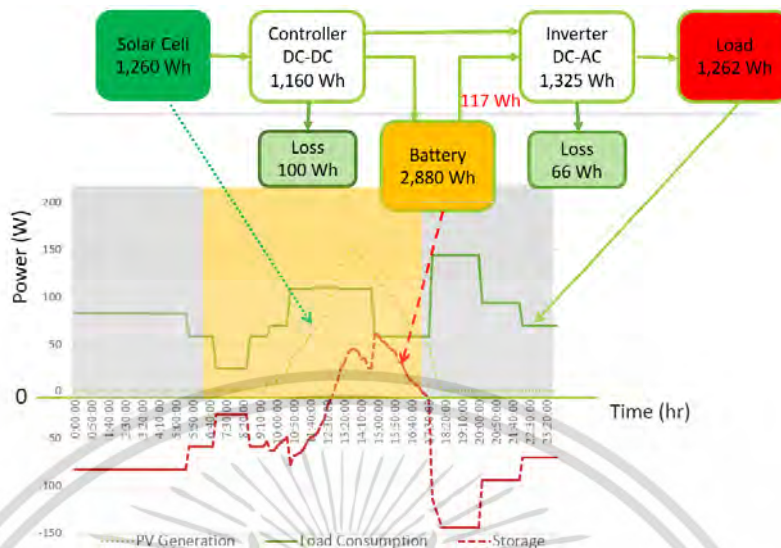
1) **สถานะแสงอาทิตย์ดีมาก** เมื่อคำนวณหาพลังงานที่ผลิตได้ในสถานะที่มีแสงอาทิตย์เต็มวันและมีอุณหภูมิปกติ โดยคำนวณจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง แผงละ 300 วัตต์ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 4.23 ชั่วโมง คำนวณเบื้องต้นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,538 วัตต์ชั่วโมง เมื่อผ่าน เครื่องควบคุมซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 0.92 จะเหลือพลังงานไฟฟ้าออกมาจากเครื่องควบคุม 2,335 วัตต์ชั่วโมง เมื่อมีความต้องการพลังงาน 1,262 วัตต์ชั่วโมง พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งไปยังความต้องการพลังงานก่อน และพลังงานที่เหลือ 1,010 วัตต์ชั่วโมงจะส่งไปยังแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 5.5



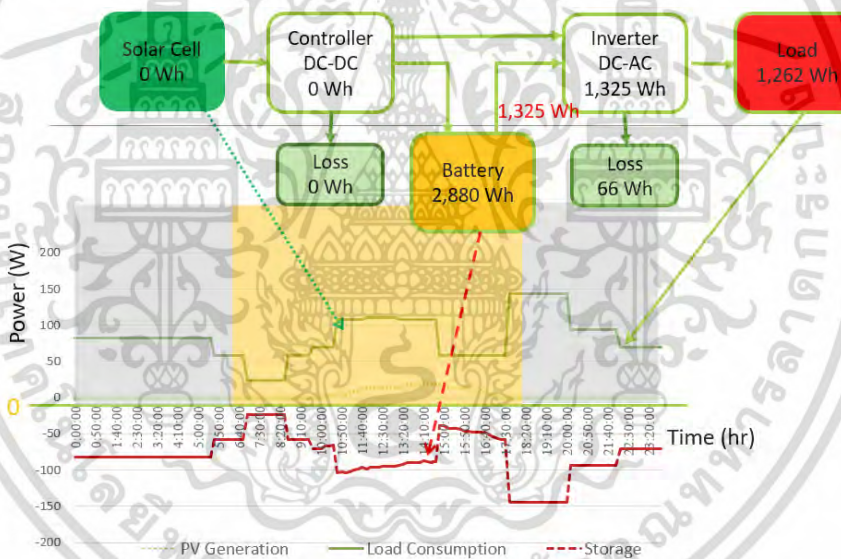
ภาพที่ 5.5 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก

2) สภาวะแสงอาทิตย์ปานกลาง เมื่อคำนวณหาพลังงานที่ผลิตได้ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์ครึ่งวันและมีอุณหภูมิปกติ โดยคำนวณจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง แผงละ 300 วัตต์ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 2.1 ชั่วโมง คำนวณเบื้องต้นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,260 วัตต์ชั่วโมง ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงาน 1,262 วัตต์ชั่วโมง ดังนั้นในสภาวะนี้จะต้องดึงพลังงานสำรองที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่มาใช้เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงาน ดังภาพที่ 5.6

3) สภาวะไม่มีแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือมีฝนตกตลอดเวลานั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถเก็บพลังงานได้ แต่ยังมีความต้องการพลังงาน ดังนั้น พลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถนำพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ได้ 2 วันเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงาน ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.6 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสถานะแสงอาทิตย์ปานกลาง



ภาพที่ 5.7 สมมติฐานความต้องการพลังงานในสถานะไม่มีแสงอาทิตย์

### ข้อสรุป

จากการทดสอบระบบไฟฟ้ากระแสสลับระหว่างวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559 แสดงให้เห็นว่า ระบบเกิดความสูญเสียในระหว่างการแปลงพลังงานจากระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อมาจ่ายโหลดทางไฟฟ้า ถ้าใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องมีเครื่องแปลงไฟฟ้าในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากระบบกระแสตรงเป็นระบบกระแสสลับเพื่อให้รองรับกับโหลดทางไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เกิดความสูญเสียค่าพลังงานในระบบ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ากระแสตรง และต้องแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นกระแสสลับ กล่าวได้ว่า ถ้าต้องการลดปริมาณความสูญเสียในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลของการทดสอบการใช้ระบบไฟฟ้าของกระแสตรงและกระแสสลับในตารางที่ 5.4 ในสภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับร้อยละ 92 และประสิทธิภาพของกระแสสลับเท่ากับร้อยละ 88 เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขที่วางไว้ว่าใช้เครื่องใช้ไฟฟ้ามีกำลังเท่ากัน อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าของกระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ มีค่าใช้จ่ายรวม 61,300 บาท และอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าของกระแสสลับซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และเครื่องแปลงพลังงาน และแบตเตอรี่ มีค่าใช้จ่ายรวม 76,300 บาท ดังนั้น งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และราคาของอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาของระบบไฟฟ้ากระแสตรงและระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำการทดสอบ

หัวข้อ	ระบบไฟฟ้า กระแสตรง	ระบบไฟฟ้า กระแสสลับ	หมายเหตุ
ประสิทธิภาพ	ร้อยละ 92	ร้อยละ 88	ในสภาวะแสงอาทิตย์ดีมาก
ราคาอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้า	61,300 บาท	76,300 บาท	เปรียบเทียบราคาอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้า 20 ปี (เทียบตามอายุแผงเซลล์แสงอาทิตย์)

#### 5.1.2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

ความมั่นคงของพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกพิจารณาจากการรองรับการใช้งานได้อย่างน้อย 2 วันในสภาวะที่ผิดปกติ เช่น ฝนตกติดต่อกันจนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ หมายความว่าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องจ่ายพลังงานได้อย่างน้อย 2 วันเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามงานได้ตามเงื่อนไขที่วางไว้ จึงมีความจำเป็นที่จะวิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ประกอบกับข้อมูลของโหลดทางไฟฟ้า แบตเตอรี่และ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับความต้องการแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 ตามลำดับโดยที่ตารางที่ 5.5 แสดงชนิดและราคาของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานกับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก เมื่อคำนวณหาระยะเวลาในการใช้งานในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ จะเห็นว่ามีแบตเตอรี่ 3 ขนาดที่สามารถรองรับความต้องการพลังงานของบ้านพลังนี้ได้อย่างน้อย 2 วัน ได้แก่ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมง ขนาด 12 โวลต์ 160 แอมป์ชั่วโมง และขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมง

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอน และได้คำนวณหาขนาดพลังงานสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์และแผงผลิตพลังงานได้ในช่วงเวลา 1 วัน คือ 4.23 ชั่วโมง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานครอบคลุมถึงความต้องการพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกหรือ 0.795 กิโลวัตต์ต่อวันได้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ขนาด 265 วัตต์ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 265 วัตต์ขึ้นไปมีค่าพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 วันไม่ต่างกันมากนัก

เมื่อมองแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมง ขนาด 12 โวลต์ 160 แอมป์ชั่วโมง และขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมง และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 265 วัตต์ขึ้นไปมาพิจารณาพร้อมกับโหลดทางไฟฟ้าของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก 795 วัตต์ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้และขนาดของแบตเตอรี่ ดังตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 265 วัตต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อโหลดทางไฟฟ้า 795 วัตต์ชั่วโมง และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมงซึ่งสามารถใช้พลังงานได้อย่างน้อย 2.26 วันโดยไม่มีที่ การชาร์จแบตเตอรี่

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบราคาและขนาดของแบตเตอรี่ [83]

ขนาดของแบตเตอรี่ (Ah)	ราคา (บาท)	ขนาด (Wh)	เปรียบเทียบ (Wh/บาท)	การใช้งาน (วัน)
12V 65Ah	3,850	780	0.20	0.98
12V 100Ah	5,600	1,200	0.21	1.51
12V 120Ah	5,200	1,440	0.27	1.81
12V 150Ah	7,000	1,800	0.26	2.26
12V 160Ah	8,200	1,920	0.23	2.42
12V 200Ah	12,700	2,400	0.19	3.02

ตารางที่ 5.6 ขนาดและราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอน [84]

ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดโพลี (W)	ราคา (บาท)	เปรียบเทียบ (W/บาท)	พลังงานสูงสุดใน 1 วัน (kWh/day)
120	3,000	0.04	0.51
335	5,400	0.06	1.42
50	1,380	0.03	0.21
80	1,968	0.04	0.34
100	2,376	0.04	0.42
120	2,760	0.04	0.51
140	3,264	0.03	0.59
150	3,300	0.04	0.63
265	4,040	0.06	1.12
270	5,220	0.05	1.14
300	6,100	0.04	1.27
310	7,200	0.04	1.31
320	7,500	0.04	1.35

ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมงมาทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก แต่เมื่อมาพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ จะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 265 วัตต์ และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมงสามารถนำมาใช้เพื่อให้เพียงพอตามเงื่อนไขของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก นอกจากนี้เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างวัตต์ต่อบาท จะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 265 วัตต์มีอัตราส่วนระหว่างวัตต์ต่อบาทเท่ากับ 0.06 วัตต์ต่อบาท ซึ่งสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ตามเงื่อนไขระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก และแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 150 แอมป์ชั่วโมงมีอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อบาทเท่ากับ 0.26 วัตต์ชั่วโมงต่อบาท ซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ขนาดอื่นๆ ที่สามารถรองรับเงื่อนไขความมั่นคงทางพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาใช้ตามสมมติฐานของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)	พลังงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh)	พลังงานที่เหลือจากการใช้ใน 1 วัน (Wh)	ขนาดแบตเตอรี่	ความจุแบตเตอรี่ (Wh)	จำนวนวันที่ชาร์จเต็ม (วัน)	ระยะเวลาที่ใช้พลังงานสำรอง (วัน)
265	1120.95	325.95	12V 150Ah	1800	5.52	2.26
			12V 160Ah	1920	5.89	2.42
			12V 200Ah	2400	7.36	3.02
270	1142.1	347.1	12V 150Ah	1800	5.19	2.26
			12V 160Ah	1920	5.53	2.42
			12V 200Ah	2400	6.91	3.02
300	1269	474	12V 150Ah	1800	3.80	2.26
			12V 160Ah	1920	4.05	2.42
			12V 200Ah	2400	5.06	3.02
310	1311.3	516.3	12V 150Ah	1800	3.49	2.26
			12V 160Ah	1920	3.72	2.42
			12V 200Ah	2400	4.65	3.02
320	1353.6	558.6	12V 150Ah	1800	3.22	2.26
			12V 160Ah	1920	3.44	2.42
			12V 200Ah	2400	4.30	3.02

### 5.1.3 ประสิทธิภาพ

จากที่กล่าวไว้ว่า ถ้าระบบมีประสิทธิภาพต่ำจะเกิดการสูญเสียในระบบมาก ดังนั้น เมื่อมีการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ที่ได้จากการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปยังโหลดทางไฟฟ้าและแบตเตอรี่ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จะทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพของระบบเป็นเช่นไร จากทดสอบและเก็บข้อมูลของการทำงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก (ตารางที่ 5.1) จะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ส่งไปยังโหลดมีค่าเท่ากับ 777.2 วัตต์ชั่วโมง และพลังงานเฉลี่ยที่ส่งไปยังแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 384.66 วัตต์ชั่วโมง ในขณะที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า 1,262.9 วัตต์ชั่วโมง เมื่อกำหนดประสิทธิภาพของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกตามสมการที่ 3.2 จะคำนวณได้ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 92 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่วัดที่ตั้งไว้

### 5.1.4 สิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> emission) ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [gCO<sub>2</sub>eq/kWh] ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 54.8 gCO<sub>2</sub>eq/kWh ดังตารางที่ 5.8 [85] เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแหล่งเชื้อเพลิงอื่นที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า

CO <sub>2</sub> Emission (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)				
Sources	Structure & Components	Fuels	Fuel combustion	Total
Solar cell	0.0548	-	-	0.0548
Natural gas	0.0003	0.11	0.53	0.6403
Coal	0.0019	0.15	0.93	1.0819
Lignite	0.0019	0.16	1.07	1.2319
Fuel oil	0.0015	0.10	0.77	0.8715

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2017

จะเห็นว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงอื่น ซึ่งกล่าวได้ว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เมื่อมีการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลาต่างๆ ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยคำนวณจากพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ขนาด 300 วัตต์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะสามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ 1.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังตารางที่ 5.9 จะเห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกไม่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตพลังงาน อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากระดับการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์และส่วนประกอบต่างๆ ทำให้อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น เมื่อมีการคำนวณเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลาต่างๆ ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก และเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในระยะเวลาที่เท่ากัน จะเห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำสุดและต่ำกว่าเกณฑ์ชีวิตที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกในช่วงระยะเวลาต่างๆ และเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกกับเชื้อเพลิงต่างๆ

ZECH CO <sub>2</sub> Emission (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)	
ระยะเวลา	CO <sub>2</sub> Emission (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)
1 วัน	0.0436
1 เดือน	1.3070
1 ปี	15.6838
เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นในระยะเวลา 1 วัน	
Natural Gas	0.5090
Coal	0.8601
Lignite	0.9794
Fuel Oil	0.6928

### 5.1.5 ความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน

เนื่องจากระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเป็นการสนับสนุนหลักการของการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความยากง่ายในการจัดหาและติดตั้งระบบรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ภายในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก บทที่ 3 ได้กล่าวไว้ว่า บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกคือผลิตพลังงาน ซึ่งได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ และส่วนที่สองคือส่วนของความต้องการพลังงาน ดังนั้น ความยากง่ายในการจัดหาและติดตั้งระบบจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญตัวหนึ่ง

กล่าวได้ว่า อุปกรณ์ในส่วนแรกหรือส่วนผลิตพลังงานมีขายอยู่ทั่วไป ทั้งในร้านขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในชุมชน หรือจากการค้นหาในระบบอินเทอร์เน็ต ([www.google.com](http://www.google.com)) อุปกรณ์ในส่วนผลิตนี้จะมีการรับประกันคุณภาพสินค้า ดังนั้น ถ้าอุปกรณ์ชิ้นใดมีความจำเป็นต้องซ่อมแซมในช่วงเวลารับประกัน ก็จะมีการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างง่าย ทั้งนี้ การให้คะแนนการหาอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานผ่านเครื่องมือค้นหาในระบบอินเทอร์เน็ต (Search Engine) จะดูว่า ในการค้นหาแต่ละครั้ง 5 ลำดับแรกของผลลัพธ์นั้นตรงตามที่ต้องการหรือไม่ โดยมีการให้คะแนน ซึ่งตารางที่ 5.10 จะแสดงข้อกำหนดในการให้คะแนน เพื่อนำไปใช้ให้คะแนนความง่ายในการจัดหาของส่วนผลิตพลังงาน ซึ่งแบ่งระดับคะแนนเป็น 0 ถึง 5 ตามจำนวนเว็บไซต์ที่แสดงในการค้นหา และส่วนความต้องการพลังงานซึ่งแบ่งระดับคะแนนเป็น 0 ถึง

1 ซึ่งหมายความว่า โดย 0 คะแนนหมายความว่าจัดทำได้ยากและมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นทดแทน และ 1 คะแนนหมายความว่าจัดทำได้ง่ายและไม่มี ความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นทดแทน

ตารางที่ 5.10 ข้อกำหนดในการให้คะแนนเพื่อประเมินความพร้อมใช้งานด้านพลังงาน

ระดับ คะแนน	ข้อกำหนด	
	ความยากง่ายในการจัดหา	ความจำเป็นที่ต้องใช้ของทดแทน
0	แสดงผล 10 ล ดัชนีไม่มีตรงตามที่ต้องการ	มีความจำเป็นที่ต้องใช้ของทดแทน
1	แสดงผล 10 ล ดัชนี มี 1 ล ดัชนีตรงตามที่ต้องการ	ไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ของ ทดแทน
2	แสดงผล 10 ล ดัชนี มี 2 ล ดัชนีตรงตามที่ต้องการ	-
3	แสดงผล 10 ล ดัชนี มี 3 ล ดัชนีตรงตามที่ต้องการ	-
4	แสดงผล 10 ล ดัชนี มี 4 ล ดัชนีตรงตามที่ต้องการ	-
5	แสดงผล 10 ล ดัชนี มี 5 ล ดัชนีตรงตามที่ต้องการ	-

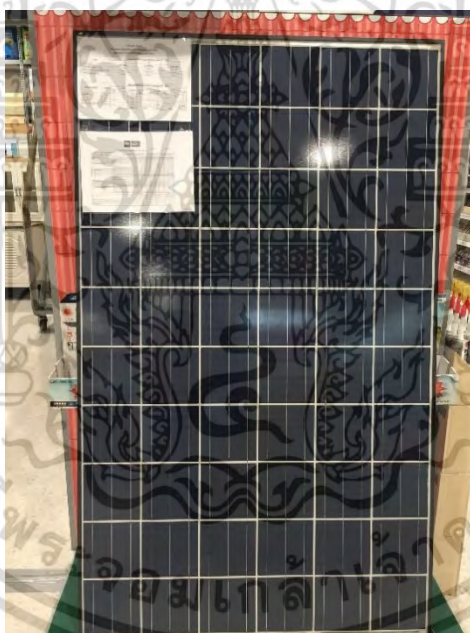
ตารางที่ 5.11 เป็นการสำรวจอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่ต้องการพลังงานภายนอกผ่านเครื่องมือค้นหาในระบบอินเทอร์เน็ต โดยใช้คำที่ค้นหาประกอบด้วย 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300 วัตต์ 2) เครื่องควบคุม 12 โวลต์ 20 แอมป์ และ 3) แบตเตอรี่ 12 V 200 Ah โดยจะเห็นว่า อุปกรณ์ที่ใช้หาง่ายในระบบอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ ภาพที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่า เมื่อได้สำรวจตามร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในชุมชน จะเห็นว่าจะมีอุปกรณ์เหล่านี้ขายเช่นกัน

ในส่วนขอความต้องการพลังงานนั้น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้ประกอบด้วย 1) หลอดไฟฟ้า LED 2) พัดลม และ 3) เครื่องต้มน้ำ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชิ้นจะต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ตารางที่ 5.12 เป็นการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าตามความต้องการพลังงานสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ผ่านเครื่องมือค้นหาในระบบอินเทอร์เน็ต และใช้คำที่ค้นหาประกอบด้วย 1) พัดลม DC 15 วัตต์ 2) พัดลม DC 20 วัตต์ 3) หลอดไฟฟ้า LED 12 โวลต์ 5 วัตต์ และ 4) เครื่องต้มน้ำ 12 โวลต์ 100 วัตต์ โดยจะเห็นว่าพัดลม DC ขนาด 15 วัตต์ และหลอดไฟฟ้า LED 12 โวลต์ 5 วัตต์ หาได้ง่ายในระบบอินเทอร์เน็ต แต่พัดลม DC 20 วัตต์ และเครื่องต้มน้ำ 12 โวลต์ 100 วัตต์ค่อนข้างยาก ดังนั้นถ้าจำกัดขนาดของพลังงาน อาจต้องเปลี่ยนขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจใช้อุปกรณ์ตัวอื่น ที่มีความสามารถคล้ายกันมาทดแทน เช่น อาจใช้ cartridge heater ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 2 ทางเพื่อมาทดแทนเครื่องต้มน้ำ 12 โวลต์ 100 วัตต์ ซึ่ง cartridge heater ขนาด 50 วัตต์สามารถหาซื้อได้ง่ายในระบบอินเทอร์เน็ต และร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบการจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจากระบบอินเทอร์เน็ต

อุปกรณ์	จำนวน	คุณสมบัติ	หาได้จากอินเทอร์เน็ต	จำนวนเว็บไซต์ที่พบจาก 10 หน้าแรก	คะแนน (ความง่ายในการจัดหา)	คะแนน (ไม่ต้องใช้ของทดแทน)	คะแนนรวม
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	1	300 W	ใช่	5	5	1	5
เครื่องควบคุม	1	12 V 20 A	ใช่	5	5	1	5
แบตเตอรี่	1	12 V 200 Ah	ใช่	5	5	1	5



ภาพที่ 5.8 อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานสำหรับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่พบในร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม เป็นที่สังเกตว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ในเรื่องขนาดที่ต้องการ ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงอาจมีมากขึ้นในท้องตลาด แต่ยังมีขนาดและตัวเลือกไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่อาจมีพบเห็นอยู่บ้างตามร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าใหญ่ๆ ในชุมชน ดังภาพที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบการจัดหาอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจากระบบอินเทอร์เน็ต

อุปกรณ์	จำนวน	คุณสมบัติ	หาได้จากอินเทอร์เน็ต	จำนวนเว็บไซต์ที่พบจาก 10 หน้าแรก	คะแนน (ความง่ายในการจัดหา)	คะแนน (ไม่ต้องใช้ของทดแทน)	คะแนนรวม
1. มอเตอร์พัดลม 1	1	15 W	ใช่	5	5	1	5
พัดลม 2	1	20 W	ใช่	2	2	1	2
2. แสงสว่าง LED	4	5 W	ใช่	5	5	1	5
3. ความร้อน เครื่องต้มน้ำ	1	100 W	ใช่	2	2	1	2



ภาพที่ 5.9 อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกที่พบในร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ทั้งนี้ ภาพแสดงการค้นหาอุปกรณ์ต่างๆด้วยระบบอินเทอร์เน็ตจะแสดงไว้ในภาคผนวก ข ความพร้อมใช้งานด้านพลังงานของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกผ่านเกณฑ์ชี้วัด เนื่องจากส่วนผลิตพลังงาน ซึ่งได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ สามารถจัดหาได้ง่ายจากระบบอินเทอร์เน็ต หรือร้านค้าที่ขายอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม อาจมีข้อจำกัดบางอย่างในเรื่องของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดหาอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะจัดหาได้ แต่ยังมีข้อ ก่าอยู่บ้าง เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงมีตัวเลือกที่น้อยกว่า เพราะยังไม่เป็นที่นิยมเท่ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่พบเห็นได้ทั่วไป นอกจากนี้ การซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในส่วนผลิตพลังงานและอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถท ำได้ง่ายเพราะอุปกรณ์ทุกชิ้นมีการรับประกันคุณภาพสินค้า

### 5.1.6 ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

บ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกประกอบด้วยอุปกรณ์ในการผลิตพลังงาน ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ รวมทั้งมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านได้แก่ พัดลม หลอดไฟ LED และเครื่องต้มน้ำ โดยที่อุปกรณ์แต่ละชิ้นมีอายุการใช้งานตามตารางที่ 5.13 สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีอายุ 20 ปีเท่ากับอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆจะต้องมีการเปลี่ยนเพื่อให้ใช้งานในห้วงเวลา 20 ปี ตามอายุของระบบได้ เช่น เครื่องควบคุมมีอายุการใช้งาน 10 ปี จะต้องทากการเปลี่ยนทุก 10 ปี ดังนั้นต้องใช้เครื่องควบคุมจ นวน 2 เครื่องตลอดอายุของระบบบ้าน หรือแบตเตอรี่ พัดลม หลอด LED และเครื่องต้มน้ำ มีอายุ 5 ปี ดังนั้น ต้อง ท ำการเปลี่ยนทุก 5 ปี ดังนั้นต้องใช้แบตเตอรี่ พัดลม หลอด LED และเครื่องต้มน้ำ อย่างละ 4 เครื่องตลอดอายุของระบบบ้าน

ตารางที่ 5.13 อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด

อุปกรณ์ไฟฟ้า	อายุการใช้งาน (ปี)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	20
เครื่องควบคุม	10
แบตเตอรี่	5
พัดลม	5
หลอด LED	5
เครื่องต้มน้ำ	5

ราคารวมของอุปกรณ์ของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.4 ราคารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละระบบคำนวณจากผลรวมของจำนวนเครื่องไฟฟ้าคูณอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าคูณด้วยราคาของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด และตารางที่ 5.14 แสดงค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งเท่ากับ 68,500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ราคา(THB)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	$1 \times 1 \times 6500 = 6,500$
เครื่องควบคุม	$1 \times 2 \times 2000 = 4,000$
แบตเตอรี่	$1 \times 4 \times 12700 = 50,800$
พัดลม	$2 \times 4 \times 500 = 4,000$
หลอด LED	$4 \times 4 \times 100 = 1,600$
เครื่องต้นน้ำ	$1 \times 4 \times 400 = 1,600$
ราคารวม	<b>68,500 THB</b>

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ 4.23 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถผลิตพลังงานได้เต็มที่ 1.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบราคาต่อพลังงาน จะเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อพลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุของระบบ โดยคำนวณจากสมการที่ 3.5 ซึ่งราคาอุปกรณ์รวมของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเท่ากับ 68,500 บาท หากด้วยพลังงานที่ผลิตเต็มที่ 1.3 กิโลวัตต์ ชั่วโมงใน 365 วัน ที่อายุการใช้งาน 20 ปี ได้เท่ากับ 7.218 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าดัชนีชี้วัดที่กำหนดไว้

ในกรณีที่ค่าพลังงาน 1 หน่วยเท่ากับ 5 บาท ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะสามารถผลิตพลังงานเทียบเท่า 6.5 บาทต่อวัน หรือเทียบเท่า 2,372.5 บาทต่อปี เมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนตามสมการที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเป็นเพียงราคาอุปกรณ์รวมของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกเพียงอย่างเดียว ซึ่งเมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนแล้วจะได้เท่ากับ 28.8 ปี กล่าวได้ว่า ตัวชี้วัดนี้ไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดนี้อาจเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้บางชนิดให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางอุปกรณ์ในบางชิ้น

ตารางที่ 5.15 การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน

(แทรก)

งานวิจัยนี้ได้การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return-IRR) เพื่อพิจารณาเพิ่มเติมว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีความน่าสนใจในการลงทุนหรือไม่ อัตราผลตอบแทนภายในคืออัตราราคาลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการประหยัดพลังงานตลอดอายุ

ZES: IRR

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
TOTAL	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
Revenue	49,855	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373
Operating cost																						
Depreciation	(483,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)	(23,000)
EBIT		(20,628)	(20,628)	(20,621)	(20,628)	(20,628)	(20,621)	(20,628)	(20,628)	(20,628)	(20,621)	(20,628)	(20,628)	(20,628)	(20,621)	(20,628)	(20,628)	(20,628)	(20,621)	(20,628)	(20,628)	(20,628)
Tax																						
CAPEX		(68,500)	(6,500)	(10,500)	(6,500)	(68,500)	(6,500)	(10,500)	(6,500)	(68,500)	(6,500)	(10,500)	(6,500)	(68,500)	(6,500)	(10,500)	(6,500)	(68,500)	(6,500)	(10,500)	(6,500)	(68,500)
Change in W/C																						
FCF	2,290	(3,793)	1,788	1,434	1,788	(3,793)	1,788	1,434	1,788	(3,793)	1,788	1,434	1,788	(3,793)	1,788	1,434	1,788	(3,793)	1,788	1,434	1,788	(3,793)
IRR	13%																					
Subsidy	91% of CAPEX	62,335	5,915	9,555	5,915	62,335	5,915	9,555	5,915	62,335	5,915	9,555	5,915	62,335	5,915	9,555	5,915	62,335	5,915	9,555	5,915	62,335
Back-up Calculation																						
Start	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
End	31/12/2018	31/12/2019	31/12/2020	31/12/2021	31/12/2022	31/12/2023	31/12/2024	31/12/2025	31/12/2026	31/12/2027	31/12/2028	31/12/2029	31/12/2030	31/12/2031	31/12/2032	31/12/2033	31/12/2034	31/12/2035	31/12/2036	31/12/2037	31/12/2038	
No. of days	365	365	366	365	365	365	366	365	365	365	366	365	365	366	365	366	365	365	366	365	365	
Weekday	261	261	262	261	260	260	262	261	261	261	260	261	261	260	261	262	260	261	262	261	261	
Weekend	104	104	104	104	105	105	104	104	104	104	106	104	104	106	104	105	105	104	104	104	104	
kWh per day																						
Weekday	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	
Weekend	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	
Total kWh																						
Weekday	339	339	341	339	338	338	341	339	339	339	338	339	338	339	341	338	338	339	341	339	339	
Weekend	135	135	135	135	137	137	135	135	135	135	138	135	135	135	135	137	137	135	135	135	135	
Total Kwh	475	475	476	475	475	475	476	475	475	475	476	475	475	475	476	475	475	475	476	475	475	
Revenue																						
Weekday	5.00	1,697	1,697	1,703	1,697	1,690	1,690	1,703	1,697	1,697	1,697	1,697	1,690	1,697	1,697	1,697	1,697	1,697	1,703	1,690	1,697	1,697
Weekend	5.00	676	676	676	676	683	683	676	676	676	676	689	676	676	676	676	683	683	676	676	676	676
Total Revenue		2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	2,379	2,373	2,373	
Depreciation																						
1	6,500	136,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	
2	4,000	42,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
3	50,800	266,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	12,700	
4	4,000	21,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
5	1,600	8,400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
6	1,600	8,400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
T	68,500	483,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	
CAPEX																						
1	6,500	136,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	
2	4,000	44,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
3	50,800	304,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	50,800	
4	4,000	24,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
5	1,600	9,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	
6	1,600	9,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	
T	68,500	528,500	68,500	10,500	6,500	68,500	6,500	10,500	6,500	68,500	6,500	10,500	6,500	68,500	6,500	10,500	6,500	68,500	6,500	10,500	6,500	

โครงการ โดยกำหนดให้เงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี สามารถคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในจากสมการดังต่อไปนี้ [86]

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (5.1)$$

โดยที่  $n$  คืออายุของโครงการ  $ES_t$  คือต้นทุนของพลังงานที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง  $n$  และ  $I_0$  คือเงินลงทุนตอนเริ่มโครงการหรือ Total Investment

ตารางที่ 5.15 เป็นการแสดงการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก จะเห็นว่า ในกรณีที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 1.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน ในระยะเวลา 20 ปี มีการเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งานข้างต้น โดยอัตราผลตอบแทนคำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อหน่วยในระยะเวลา 20 ปี เมื่อมาคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน จะเห็นว่าอัตราผลตอบแทนภายในติดลบหรือการลงทุนนี้ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน ซึ่งไม่สามารถหาผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะเวลาของระบบการทางานได้ เนื่องจากการลงทุนในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบแทนที่ได้ ดังนั้น จากการคำนวณนี้ สรุปว่าประชากรที่ไม่มีพลังงานไว้ใช้ไม่สามารถลงทุนในระบบนี้ เนื่องจากส่วนใหญ่ประชากรที่ไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้ จะไม่สามารถรับผิดชอบค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ค่าต่อสายไฟฟ้า ค่ามิเตอร์ เป็นต้น ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายสำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานจะไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์ดังกล่าว แต่ยังเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงสำหรับประชากรกลุ่มนี้

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการสนับสนุนการลงทุนในระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยมีการปรับให้ตารางที่ 5.14 มีการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อแบ่งเบาภาระกับผู้ที่ต้องการใช้พลังงานที่อยู่ห่างไกลและไม่สามารถรับผิดชอบค่าใช้จ่ายการติดตั้งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก เมื่อปรับอัตราการสนับสนุนค่าใช้จ่ายเท่ากับร้อยละ 91 ของราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของอายุระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก อัตราผลตอบแทนภายในจะเท่ากับร้อยละ 13 ของอายุระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

เพื่อให้ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถนำไปใช้ได้จริง หน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องสามารถให้ความช่วยเหลือในการสนับสนุนค่าใช้จ่ายร้อยละ 91 ของราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดของอายุระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ทั้งนี้ การช่วยเหลืออาจมีหลายรูปแบบ เช่น การปล่อยเงินกู้เงินให้เปล่า ซึ่งขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานหรือองค์กรที่จะสนับสนุนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างทั่วถึงของประชากรที่อยู่ห่างไกลและไม่สามารถรับผิดชอบค่าใช้จ่ายได้

## 5.2 บทสรุป

จากตัวชี้วัดและดัชนีชี้วัดที่นำมาวิเคราะห์ว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรงมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงไร สำหรับระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 พิจารณาเรื่องสมรรถนะ (Efficiency) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ประกอบไปด้วย 1) การออกแบบ 2) ความมั่นคงของพลังงาน และ 3) ประสิทธิภาพ และกลุ่มที่ 2 จะพิจารณาเรื่องความยั่งยืน (Sustainability) ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ได้แก่ 1) สิ่งแวดล้อม 2) ความพร้อมใช้ด้านพลังงาน และ 3) ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ จะเห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกผ่านดัชนีชี้วัดในกลุ่มสมรรถนะ แต่ดัชนีชี้วัดในกลุ่มความยั่งยืนนั้น มีเพียง 1 ดัชนีชี้วัดที่ไม่ผ่านเกณฑ์การชี้วัดได้แก่ เรื่องประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการลงทุนมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนี้



## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ซึ่งใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีอุปกรณ์การผลิตพลังงานประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม และแบตเตอรี่ นอกจากนี้ความต้องการพลังงานของบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะต้องไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกโดย สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ รวมทั้งข้อเสนอแนะ มีดังต่อไปนี้

#### 6.1 สรุปผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

งานวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจริง โดยมีการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัย 2 ช่วงได้แก่

1) การเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559 เพื่อทดสอบความมั่นคงของพลังงาน การทดสอบมีการประมวลผลแบบ real time มายังระบบคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีการเก็บข้อมูลทุก 30 นาทีผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถสรุปว่าเกิดความสูญเสียจากการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับในระบบ จึงเป็นที่มาของการตั้งสมมติฐานที่ให้ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

2) การเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 – 15 พฤศจิกายน 2560 เพื่อทดสอบว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรงสามารถใช้งานร่วมกับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกได้จริง โดยได้ทำการทดสอบจะทาเป็นรอบ รอบละ 10 นาที โดยการเปิดสวิตช์ของระบบไฟฟ้า 4 นาที จากนั้น ระบบจะหยุดการทงาน 2 นาที และเปิดสวิตช์ระบบไฟฟ้าต่ออีก 4 นาที ผลการทดสอบระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจะแสดงผ่าน โปรแกรม EPEver ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุม ที่สามารถเก็บและแสดงผลได้ตลอดเวลา โดยสามารถสรุปได้ว่า ระบบไฟฟ้ากระแสตรงเหมาะสมที่จะร่วมกับบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกส่งเสริมให้ทุกคนมีความเสมอภาคในการเข้าถึงพลังงานสามารถใช้พลังงานอย่างทั่วถึง นอกจากนี้ ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกส่งเสริมให้ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการใช้พลังงานที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้สรุปว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถนำไปใช้งานได้จริงสำหรับผู้ต้องการไฟฟ้าที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล

ความเจริญ ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า หรือประชากรที่ต้องการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพขั้นพื้นฐาน แต่มีข้อจำกัดไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้าได้

ในเรื่องของประสิทธิภาพ ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังสามารถสำรองพลังงานไว้ใช้ได้ 2 วันในกรณีที่ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกไม่สามารถชาร์จพลังงานได้ ในส่วนของความยั่งยืน การผลิตพลังงานไฟฟ้าระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ และอุปกรณ์ของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกจัดหาได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม ผลของดัชนีชี้วัดในหัวข้อประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนสูงกว่าอายุของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก นอกจากนี้ เมื่อถามค นวนอัตราผลตอบแทนภายในจะเห็นว่า ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกไม่สามารถหาผลตอบแทนได้ตลอดช่วงอายุของระบบ อาจกล่าวได้ว่า การพัฒนาระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกสามารถเป็นไปได้ถ้าได้รับการสนับสนุนด้านการลงทุนจากองค์กรที่เล็งเห็นความสำคัญของการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ห่างไกลความเจริญ เช่น องค์การสหประชาชาติ (United Nations Development Programmes – UNDP) หรือหน่วยงานภาครัฐของประเทศไทยที่สามารถส่งเสริมในด้านนโยบายของการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างทั่วถึง หรือธนาคารสามารถปล่อยเงินกู้ให้กับประชาชนในอัตราดอกเบี้ยต่ำ เพื่อให้ผู้ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ขาดโอกาสได้มีพลังงานไฟฟ้าใช้ในการดำรงชีพขั้นพื้นฐาน

นอกจากนี้ ในช่วงที่เกิดปัญหาอุทกภัยหรือวิกฤติการณ์ทางธรรมชาติที่มีประชากรต้องการความช่วยเหลือเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการดำรงชีพเป็นไปด้วยความยากลำบาก โดยทั่วไปหน่วยงานภาครัฐหรือองค์กรต่างๆ จะนำถุงยังชีพไปแจกแก่ประชากรที่ประสบภัยพิบัติ เพื่อช่วยเหลือประชากรในเบื้องต้นให้มีอาหาร น้ำดื่ม ยา และเครื่องนุ่งห่ม แต่ยังไม่มีการช่วยเหลือด้านจัดหาพลังงาน ดังนั้น ระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกนี้เปิดตั้งเพื่อช่วยเหลือประชากรที่ประสบภัยพิบัติ เพื่อให้มีพลังงานใช้ชั่วคราวได้

อย่างไรก็ตาม การนาระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอกไปใช้อาจมีการปรับเปลี่ยนขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแบตเตอรี่เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ถ้ามีความต้องการพลังงานที่สูงในช่วงเวลากลางวัน อาจเพิ่มจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือถ้าต้องการพลังงานสำรองเพื่อใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ อาจเปลี่ยนขนาดของแบตเตอรี่จาก 12 โวลต์ 200 แอมป์ชั่วโมง ซึ่งจะสำรองการใช้พลังงานได้ 2 วันโดยไม่ทำการชาร์จพลังงาน เป็น 12 โวลต์ 400 แอมป์ชั่วโมงเพื่อทำการสำรองพลังงานได้ 4 วัน

นอกจากนี้ อุณหภูมิมีผลต่อการประสิทธิภาพของระบบบ้านที่ไม่พึ่งพาพลังงานภายนอก ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความเย็นระหว่างวันมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้น อาจพิจารณาการออกแบบบ้านโดยใช้ระบบ Self Cooling เข้ามาช่วย กล่าวคือ ทิศทางลมมีผลต่อการระบายอากาศ และ

ความร้อนในบ้าน บริเวณรอบตัวบ้านอาจมีสนาม ต้นไม้ แทนพื้นปูนซีเมนต์ หรือการตั้งบ่อน้ำไว้บริเวณตัวบ้าน อาจช่วยลดความร้อน และส่งผลดีต่อการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] U. E. I. Administration, "International Energy Outlook 2017," 2017. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf). [Accessed 2018].
- [2] X. Cao, X. Dai and J. Liu, "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade," *Energy and Buildings* , vol. 128, pp. 198-213, 2016.
- [3] E. Perlova, M. Platonova, A. Gorshkov and X. Rakova, "Concept Project of Zero Energy Building," *Procedia Engineering*, vol. 100, pp. 1505-1514, 2015.
- [4] D. H. W. Li, L. Yang and J. C. Lam, "Zero energy buildings and sustainable development implications - A review," *Energy*, vol. 54, pp. 1-10, 2013.
- [5] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 815-821, 2010.
- [6] A. Kylili and P. A. Fokaides, "European smart cities: The role of zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society*, vol. 15, pp. 86-95, 2015.
- [7] L. Wells and L. A. B. Rismanchi, "A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context," *Energy and Buildings* , vol. 158, p. 616 – 628, 2018.
- [8] S. Hui, "Zero energy and zero carbon buildings: myths and facts," in *The International Conference on Intelligent Systems, Structures and Facilities* , Hong Kong, 2010.
- [9] A. Kylili and P. A. Fokaides, "European smart cities: The role of zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society* , vol. 15, pp. 86-95, 2015.
- [10] H. M. Mazrae and M. Pazhouhanfar, "Effects of vernacular architecture structure on urban sustainability case study: Qeshm Island, Iran," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 7, pp. 11-24, 2018.
- [11] M. Panagiotidou and R. J. Fuller, "Progress in ZEBs - A review of definitions, policies and construction activity," *Energy Policy*, vol. 62, pp. 196-206, 2013.

- [12] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru and D. Crawley, "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition," in *ACEEE Summer Study*, Pacific Grove, California, 2006.
- [13] F. Harkouss, F. Fardoun and P. H. Biwole, "Optimization of design parameters of a Net Zero Energy Home," in *3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*, Zouk Mosbeh, Lebanon, 2016.
- [14] K. Peterson, P. Torcellini, C. Taylor and R. Grant, "Establishing a Common Definition for Zero Energy Buildings: Time to Move the Market," ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2016. [Online]. Available: [https://aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/10\\_815.pdf](https://aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/10_815.pdf). [Accessed 2018].
- [15] A. Marszal, P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano, "Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 971-979, 2011.
- [16] Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides, "European smart cities: The role of zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society*, vol. 15, pp. 86-95, 2015.
- [17] D. Crawley, S. Pless and P. Torcellini, "Getting to Net Zero," National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, 2009.
- [18] L. Wang, J. Gwilliam and P. Jones, "Case study of zero energy house design in UK," *Energy and Buildings*, vol. 4, pp. 1215-1222, 2009.
- [19] W. Thomas and J. Duffy, "Energy performance of net-zero and near net-zero energy homes in New England," *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 551-558, 2013.
- [20] S. Pless and P. Torcellini, "Net Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options," National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, 2010.
- [21] D. H. Li, L. Yang and J. C. Lam, "Zero energy buildings and sustainable development implications - A review," *Energy*, vol. 54, pp. 1-10, 2013.
- [22] A. Chel and G. Kaushik, "Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building," *Alexandria Engineering Journal*, 217.

- [23] T. Wongwuttanasatian, D. Soodphakdee, N. Malasri and K. Triratanasirichai, "A demonstrated net zero energy building in Thailand: The way for sustainable development in buildings," *Advanced Materials Research*, vol. 1119, pp. 741-747, 2015.
- [24] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru and D. Crawley, "Zero energy buildings: A critical look at the definition," in *To be presented at ACEEE Summer Study Pacific Grove, California August 14-18, 2006*, 2006.
- [25] F. Alrashed and M. Asif, "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1395-1403, 2015.
- [26] A. Scognamiglio, G. Adinolfi, G. Graditi and E. Sarett, "Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: enabling the smart city operation," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1171-1174, 2014.
- [27] M. D. Leonard and E. E. Michaelides, "Grid-independent residential buildings with renewable energy sources," *Energy*, vol. 148, pp. 448-460, 2018.
- [28] M. Kolhe, S. Kolhe and J. C. Joshi, "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India," *Energy Economics*, vol. 24, pp. 155-165, 2002.
- [29] S. Berry and K. Davidson, "Zero energy homes - Are they economically viable?," *Energy Policy*, vol. 85, pp. 12-21, 2015.
- [30] D. Paker, "Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data," *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 512-520, 2009.
- [31] S. Baurzhan and G. P. Jenkins, "Off-grid solar PV: Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in Sub-Saharan African countries?," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1405-1418, 2016.
- [32] A. Marszal, P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano, "Zero energy building – A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 971-979, 2011.

- [33] A. R. E. A. P. (AFREA), Photovoltaics for Community Service Facilities: Guidance for Sustainability, Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK GROUP, 2010.
- [34] WBGU, World in Transition: Towards Sustainable Energy Systems, London: Earthscan, 2004.
- [35] T. Trainer, "Some problems in storing renewable energy," *Energy Policy*, vol. 110, p. 386–393, 2017.
- [36] B. Nordman and K. Christensen, "DC Local Power Distribution: technology, deployment, and pathways to success," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 2, no. 4, pp. 29 - 36 , 2016.
- [37] S. Deng, R. Wang and Y. Dai, "How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research," *Energy* , vol. 71, pp. 1-16, 2014.
- [38] L. Fara and D. Craciunescu, "Output Analysis of Stand-Alone PV Systems: Modeling, Simulation and Control," *Energy Procedia* , vol. 112, p. 595 – 605, 2017.
- [39] A. J. Veldhuis and A. H. M. E. Reinders, "Reviewing the potential and cost-effectiveness of off-grid PV systems in Indonesia on a provincial level," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , vol. 52, pp. 757-769, 2015.
- [40] F. Alrashed and M. Asif, "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1395-1403, 2015.
- [41] A. Scognamiglio, G. Adinolfi, G. Graditi and E. Sarett, "Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: enabling the smart city operation," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1171-1174, 2014.
- [42] M. Iqbal, "A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland," *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 277-289, 2004.
- [43] K. Meah, S. Fletcher and S. Ula, "Solar photovoltaic water pumping for remote locations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 472-487, 2008.

- [44] K. Meah, S. Ula and S. Barrett, "Solar photovoltaic water pumping - opportunities and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 1162-1175, 2008.
- [45] A. E.-S. A. Nafeh, "Design and economic analysis of a stand-alone system to electrify a remote area household in Egypt," *The Open Renewable Energy Journal*, vol. 2, pp. 33-37, 2009.
- [46] A. Ghafoor and A. Munir, "Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 496-502, 2015.
- [47] H. Guda and U. Aliyu, "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 34-44, 2015.
- [48] R. Akikur, R. Saidur, H. Ping and K. Ullah, "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 27, pp. 738-752, 2013.
- [49] M. Kolhea, S. Kolhea and J. Joshi, "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India," *Energy Economics*, vol. 24, pp. 155-165, 2002.
- [50] P. Kaur, S. Jain and A. Jhunjhunwala, "Solar-DC Deployment Experience in Off-Grid and Near Off-Grid Homes: Economics, Technology and Policy Analysis," in *IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Atlanta, GA, USA, 2015.
- [51] M. Alirezaei, M. Noori and O. Tatari, "Getting to net zero energy building: Investigating the role of vehicle to home technology," *Energy and Buildings*, vol. 130, p. 465-476, 2016.
- [52] J. Kijjanuluck, "Success factors in achieving Energy Efficiency Goals and Targets: Energy Efficiency Strategy for Thailand for the next 20 years," Ministry of Energy, 2015.
- [53] EPPO, "Energy Efficiency Plan; EEP 2015," 2015. [Online].

- [54] "การค านวณเพื่อออกแบบและเชื่อมต่อระบบโซลาร์เซลล์," [Online]. Available: <http://solarcellsystemdesign.blogspot.com/2013/09/blog-post.html>. [Accessed 2015].
- [55] Guda H.A., Aliyu U.O., "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 34-44, 2015.
- [56] M. Felgueiras, F. Martins and N. Caetano, "Sustainability in buildings – a teaching approach," *Energy Procedia*, vol. 107, pp. 15-22, 2017.
- [57] A. Ramachandran, S. Mannar and A. Jhunjhunwala, "Inverterless Solar- DC System Design for OffGrid and Near Off-Grid Indian Homes," in *First International Conference on Sustainable Green Buildings and Communities (SGBC)*, Chennai, India, 2016.
- [58] S. Singh, A. R. Gautam and D. Fulwani, "Constant power loads and their effects in DC distributed power systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, p. 407–421, 2017.
- [59] V. Vossos, K. Garbesi and H. Shen, "Energy savings from direct-DC in U.S. residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 223-231, 2014.
- [60] P. Kaur, S. Jain and A. Jhunjhunwala, "Solar-DC Deployment Experience in Off-Grid and Near Off-Grid Homes: Economics, Technology and Policy Analysis," in *IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Atlanta, 2015.
- [61] H. Wade, "PV Solar Photovoltaic Technical Training Manual," [Online]. Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway16.php>. [Accessed May 2018].
- [62] S. S. Knowledge. [Online]. Available: <https://solarsmileknowledge.com/load/ไฟส่องสว่าง-หลอดไฟ/>. [Accessed July 2018].
- [63] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์, กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.
- [64] T. S. Energy, "Thai Solar Energy," [Online]. Available: <http://www.thaisolarenergy.com/knowledge.php>.

- [65] T. Nation, "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].
- [66] M. Fathi, M. Abderrezek, F. Djahli and M. Ayad, "Study of thin film solar cells in high temperature condition," *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1410-1417, 2015.
- [67] T. Markvart, *Solar Electricity*, West Sussex: John Wiley & Sons, 1994.
- [68] H. Power, "Home Power," *Solar Electricity*, [Online]. Available: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/string-theory>. [Accessed 3 2018].
- [69] T. Nation, "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].
- [70] EPPO, "Energy statistics of Thailand," Ministry of Energy, Bangkok, 2015.
- [71] NSO, "Major Findings of 2013 Nation Energy Consumption," Bangkok, 2014.
- [72] MEA, *Fact Sheet: Power Development Fund*, Bangkok, 2017.
- [73] D. Frame, K. Tembo, M. J. Dolan, S. M. Strachan and W. Ault, "A community based approach for sustainable off-grid PV systems in developing countries," in *Power and Energy Society General Meeting*, Detroit, MI, 2011.
- [74] C. Ju, Y. Ning and W. Pan, "A review of interdependence of sustainable building," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 56, pp. 120-127, 2016.
- [75] N. Aste, R. S. Adhikari, C. D. Pero, F. Leonforte and I. Timis, "Sustainable Building Design in Kenya," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2803-2810, 2017.
- [76] I. Dincer and C. Acar, "Smart energy systems for a sustainable future," *Applied Energy*, vol. 194, pp. 225-235, 2017.
- [77] H. Rothrock, "Sustainable housing: Energy evaluation of an off-grid residence," *Energy and buildings*, vol. 85, pp. 287-292, 2014.

- [78] การเคหะแห่งชาติ. [Online]. Available: [http://crc.nha.co.th/download/article/article\\_20150225133110.pdf](http://crc.nha.co.th/download/article/article_20150225133110.pdf). [Accessed 04 2018].
- [79] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, A. A. Sahito, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi and M. S. Shaikh, "Building energy for sustainable development in Malaysia: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, p. 1392–1403, 2017.
- [80] D. Nugent and B. K. Sovacoo, "Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey," *Energy Policy*, vol. 65, pp. 229-244, 2014.
- [81] A. Ristow, M. Begovic, A. Pregelj and A. Rohatgi, "Development of a Methodology for Improving Photovoltaic Inverter Reliability," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 7, pp. 2581 - 2592, 2008.
- [82] E. P. a. P. Office, "Minutes of Meeting, the National Energy Policy, on August 15, 2014," Ministry of Energy, Bangkok, 2014.
- [83] Alibaba, "Prices of lead-acid batteries," [Online]. Available: <https://thai.alibaba.com/g/price-of-lead-acid-battery.html>. [Accessed July 2018].
- [84] "Chang Store," [Online]. Available: <https://www.chang-store.com/category/15/solar-cell-โซล่าเซลล์/แผงโซล่าเซลล์-solar-panel/แผงโซล่าเซลล์โพลี-polycrystalline-solar-cell>.
- [85] DEDE, "How to protect the environmental impacts and how to manage some disposals from solar cell projects in Thailand," Ministry of Energy Bangkok, 2017.
- [86] DEDE, "เครื่องมือในการประเมินโครงการ," [Online]. Available: <http://www2.dede.go.th/webpage/tools.htm#Internal Rate Return: IRR>. [Accessed July 2018].

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2559 ถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
17/9/2016	16:00	26.23	2.3	1.3	26.9	0.4	35.4	60.329	10.76	49.569
	16:39	25.3	1.3	1.2	25.9	-0.7	32.5	32.89	-18.13	51.02
	17:30	25.1	1	1.3	25.7	-1	30.5	25.1	-25.7	50.8
	17:46	25.1	0.8	1.3	25.7	-1.1	30.3	20.08	-28.27	48.35
	18:00	25	0.6	1.3	25.6	-1.3	29.9	15	-33.28	48.28
	18:15	24.9	0.5	1.3	25.5	-1.4	29.3	12.45	-35.7	48.15
	18:30	7.9	0.5	1.3	25.5	-1.4	28.8	3.95	-35.7	39.65
	18:45	3.4	0.5	1.3	25.5	-1.4	28.5	1.7	-35.7	37.4
	19:00	3.4	0.5	1.3	25.5	-1.4	28.4	1.7	-35.7	37.4
	19:15	3.4	0.5	1.3	25.5	-1.4	28.2	1.7	-35.7	37.4
	19:30	3.4	0.5	1.3	25.4	-1.4	28.1	1.7	-35.56	37.26
	20:05	3.5	0.5	1.3	25.4	-1.4	28.3	1.75	-35.56	37.31
	22:30	3.1	0.5	1.3	25.3	-1.4	26.9	1.55	-35.42	36.97
	23:00	3.1	0.5	1.3	25.3	-1.4	25.4	1.55	-35.42	36.97
	23:30	3	0.5	1.3	25.3	-1.4	24.3	1.5	-35.42	36.92
18/9/2016	0:00	3	0.5	1.3	25.2	-1.4	24	1.5	-35.28	36.78
	0:30	2.9	0.5	1.3	25.2	-1.4	23.7	1.45	-35.28	36.73
	1:00	2.8	0.5	1.3	25.2	-1.4	23.9	1.4	-35.28	36.68
	1:20	2.8	0.5	1.4	25.2	-1.4	23.9	1.4	-35.28	36.68
	5:00	2.4	0.5	1.3	25.1	-1.4	24	1.2	-35.14	36.34
	5:20	2.4	1.5	1.3	25.1	-1.4	23.9	3.6	-35.14	38.74
	6:00	20.6	0.5	1.3	25.1	-1.4	23.9	10.3	-35.14	45.44
	6:28	24.6	0.8	1.3	25.2	-1.1	24.4	19.68	-27.72	47.4
	9:24	27.1	7.4	1.3	27.5	5.7	42.7	200.54	156.75	43.79
	10:00	29.3	8.2	1.2	28.6	6.4	48	240.26	183.04	57.22
	10:30	26.6	3.1	1.2	27.1	1.2	42.8	82.46	32.52	49.94
	11:05	31.3	5.4	1.2	28.7	3.4	51.7	169.02	97.58	71.44
	11:35	28.1	4.5	1.2	28.7	2.7	45.4	126.45	77.49	48.96
	12:00	26.9	2.8	1.2	27.4	1	36.6	75.32	27.4	47.92
	12:30	29.1	4	1.2	28.8	2.1	45.5	116.4	60.48	55.92
13:00	30.4	3.8	1.3	28.8	2	53.9	115.52	57.6	57.92	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	13:30	26.5	1.9	1.3	27.1	0.1	38.7	50.35	2.71	47.64
	14:00	30	3.5	1.2	28.8	1.7	40.9	105	48.96	56.04
	14:30	28.4	3.5	1.2	28.7	1.6	47.9	99.4	45.92	53.48
	15:00	32.7	3.5	1.3	28.8	1.4	47.8	114.45	40.32	74.13
	15:30	32	3.3	1.2	28.8	1.5	46.9	105.6	43.2	62.4
	16:00	26.9	2.2	1.3	27.6	0.3	39.7	59.18	8.28	50.9
	16:30	27	2.1	1.3	27.6	0.2	37.7	56.7	5.52	51.18
	17:00	26.6	1.8	1.3	27.2	-0.1	35.2	47.88	-2.72	50.6
	17:30	25.1	0.9	1.3	25.7	-1.1	31.6	22.59	-28.27	50.86
	18:00	24.5	0.7	1.3	25.5	-1.3	30.2	17.15	-33.15	50.3
	18:30	9.6	0.5	1.3	25.5	-1.4	28.8	4.8	-35.7	40.5
	19:00	3.3	0.5	1.3	25.4	-1.4	28	1.65	-35.56	37.21
	19:30	3.4	0.5	1.3	25.4	-1.4	27.6	1.7	-35.56	37.26
	20:00	3.4	0.5	1.3	25.4	-1.4	27.6	1.7	-35.56	37.26
	20:30	3.4	0.5	1.3	25.4	-1.4	27.8	1.7	-35.56	37.26
	21:00	3.4	0.5	1.3	25.4	-1.4	27.3	1.7	-35.56	37.26
	21:30	3.5	0.5	1.3	25.3	-1.4	25.7	1.75	-35.42	37.17
	22:00	3.5	0.5	1.3	25.3	-1.4	24.3	1.75	-35.42	37.17
	22:30	3.4	0.5	1.2	25.3	-1.4	24.4	1.7	-35.42	37.12
	23:00	3.4	0.5	1.3	25.3	-1.4	24.3	1.7	-35.42	37.12
19/9/2016	5:00	2.5	0.5	1.2	25.1	-1.4	23.7	1.25	-35.14	36.39
	5:30	2.5	0.5	1.2	25.1	-1.4	23.7	1.25	-35.14	36.39
	6:00	15.8	0.5	1.2	25.1	-1.4	23.8	7.9	-35.14	43.04
	6:30	24.6	0.6	1.2	25.2	-1.3	24	14.76	-32.76	47.52
	7:00	24.8	1.1	1.2	25.3	-0.8	24.9	27.28	-20.24	47.52
	7:30	24.8	1.3	1.2	25.4	-0.5	25.3	32.24	-12.7	44.94
	8:00	25.1	1.8	1.2	25.7	-0.1	26.7	45.18	-2.57	47.75
	8:30	25.6	2.3	1.2	26.1	0.4	28.5	58.88	10.44	48.44
	9:00	26	3	1.2	26.5	1.2	31.8	78	31.8	46.2
	9:30	26.5	4.6	1.1	27	2.8	34.7	121.9	75.6	46.3
	10:00	26.8	4.8	1.1	27.3	3	40.7	128.64	81.9	46.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	10:30	27.1	6	2.5	27.5	2.9	43.3	162.6	79.75	82.85
	11:00	26.7	6	3.6	27.1	1.9	50.7	160.2	51.49	108.71
	11:30	32.4	6.1	2.1	28.7	3.3	57.8	197.64	94.71	102.93
	12:00	27.8	5.2	2.1	28.3	2.3	49	144.56	65.09	79.47
	12:30	27.2	3.9	2.2	27.8	1.1	40.9	106.08	30.58	75.5
	13:00	32.5	4.4	2.1	28.7	1.6	40.6	143	45.92	97.08
	13:30	32.1	4.3	2.1	28.7	1.5	52.7	138.03	43.05	94.98
	14:00	33.3	3.9	2.1	28.7	1.3	49.1	129.87	37.31	92.56
	14:30	31.9	3.9	2.1	28.7	1.1	41.8	124.41	31.57	92.84
	15:00	26.4	2.7	2.1	26.9	-0.3	37.4	71.28	-8.07	79.35
	15:30	25.1	1.7	2.2	25.6	-1.4	33.7	42.67	-35.84	78.51
	16:00	24.8	0.9	2.2	25.3	-2.2	29.3	22.32	-55.66	77.98
	16:30	24.7	0.8	2.2	25.3	-2.3	28.1	19.76	-58.19	77.95
	17:00	24.7	0.7	2.3	25.2	-2.5	25.8	17.29	-63	80.29
	17:30	24.6	0.6	2.3	25.2	-2.5	25.8	14.76	-63	77.76
	18:00	22.4	0.6	2.3	25.2	-2.5	25.8	13.44	-63	76.44
	18:30	5.6	0.5	2.3	25.1	-2.6	23.9	2.8	-65.26	68.06
	19:00	3.4	0.5	2.3	25.1	-2.6	23.8	1.7	-65.26	66.96
	19:30	3.4	0.5	2.3	25.1	-2.5	23.9	1.7	-62.75	64.45
	20:00	3.3	0.5	2.3	25	-2.5	24.1	1.65	-62.5	64.15
	20:30	3.2	0.5	2.3	25	-2.6	24.1	1.6	-65	66.6
	21:00	3.2	0.5	2.3	25	-2.6	24.1	1.6	-65	66.6
	21:30	3	0.5	2.3	25	-2.6	24	1.5	-65	66.5
	22:00	3	0.5	2.3	25	-2.6	24.1	1.5	-65	66.5
	22:30	2.8	0.5	2.3	24.9	-2.5	24.1	1.4	-62.25	63.65
	23:30	2.7	0.5	2.3	24.9	-2.5	24.3	1.35	-62.25	63.6
20/9/2016	0:30	2.6	0.5	2.3	24.9	-2.6	24	1.3	-64.74	66.04
	1:00	2.5	0.5	2.3	24.9	-2.6	24.2	1.25	-64.74	65.99
	5:30	2.1	0.5	2.3	24.8	-2.6	24.5	1.05	-64.48	65.53
	6:00	15.2	0.5	2.3	24.8	-2.6	24.5	7.6	-64.48	72.08
	6:30	24.2	0.6	2.3	24.8	-2.5	24.8	14.52	-62	76.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	7:00	24.2	0.8	2.3	24.8	-2.3	25.4	19.36	-57.04	76.4
	7:30	24.3	1.5	2.3	24.9	-1.7	26.7	36.45	-42.33	78.78
	8:00	24.4	1.9	2.3	25	-1.2	27.3	46.36	-30	76.36
	9:00	25.2	3	1.1	25.7	1	34.3	75.6	25.7	49.9
	9:30	25.3	2.1	1.1	25.9	0.1	32.3	53.13	2.59	50.54
	10:30	26.1	4.5	1.1	26.5	2.5	35.8	117.45	66.25	51.2
	11:00	25.7	2.8	1.1	26.2	0.8	36.5	71.96	20.96	51
	11:30	25	1.2	1.1	25.6	-0.9	30.2	30	-23.04	53.04
	12:00	24.8	0.7	1.1	25.3	-1.5	25.7	17.36	-37.95	55.31
	12:30	24.8	0.9	1.1	25.3	-1.2	24.7	22.32	-30.36	52.68
	13:00	24.8	1	1.1	25.3	-1.2	24.9	24.8	-30.36	55.16
	13:30	24.8	1.3	1.1	25.3	-0.8	25.5	32.24	-20.24	52.48
	14:00	24.8	1.5	1.1	25.4	-0.5	26.1	37.2	-12.7	49.9
	16:00	24.9	1.5	1.1	25.5	-0.6	28.3	37.35	-15.3	52.65
	16:30	24.9	1.4	1.1	25.4	-0.6	28.2	34.86	-15.24	50.1
	17:00	24.7	1.2	1.1	25.3	-0.9	27.5	29.64	-22.77	52.41
	17:30	24.7	1.1	1.1	25.2	-1	27.4	27.17	-25.2	52.37
27/9/2016	6:00	24.6	0.7	1.2	25.1	-1.4	24.7	17.22	-35.14	52.36
	6:30	24.6	0.9	1.2	25.2	-1.2	24.8	22.14	-30.24	52.38
	7:00	24.6	1.1	1.2	25.2	-1	25.4	27.06	-25.2	52.26
	7:30	24.7	1.1	0.2	25.2	-1	25.6	27.17	-25.2	52.37
	8:00	24.7	1.3	1.2	25.2	-0.8	25.7	32.11	-20.16	52.27
	8:30	26.5	6.1	1.2	27	4.3	38.9	161.65	116.1	45.55
	9:00	27.5	8.1	1.2	27.9	6.4	42.9	222.75	178.56	44.19
	9:30	30.1	8	1.2	28.7	6.2	49.2	240.8	177.94	62.86
	10:00	28.1	6.7	1.2	28.6	4.9	49.9	188.27	140.14	48.13
	11:00	33.3	5.3	1.2	28.7	3.5	48.5	176.49	100.45	76.04
	11:30	29.1	5	1.2	28.7	3	45.2	145.5	86.1	59.4
	12:00	33.8	4.8	1.2	28.8	2.9	53.4	162.24	83.52	78.72
	12:30	26.7	2.6	1.2	27.3	0.7	48.3	69.42	19.11	50.31
	13:30	28	3.7	1.2	28.6	1.9	48.4	103.6	54.34	49.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	14:00	26.8	2.3	1.2	27.4	0.4	40.9	61.64	10.96	50.68
	14:30	27.9	3.4	1.2	28.6	1.5	43.8	94.86	42.9	51.96
	14:30	27	2.5	1.2	27.6	0.6	38.8	67.5	16.56	50.94
	15:00	26.6	1.8	1.2	27.2	-0.2	34.6	47.88	-5.44	53.32
	16:00	25.7	1.5	1.2	26.3	-0.5	30.1	38.55	-13.15	51.7
	16:30	25.1	0.9	1.2	25.7	-1.1	28.2	22.59	-28.27	50.86
	17:00	25	0.8	1.1	25.6	-1.3	25.7	20	-33.28	53.28
	17:30	24.9	0.7	1.1	25.5	-1.4	25.4	17.43	-35.7	53.13
	18:00	24.9	0.6	1.1	25.4	-1.5	24.8	14.94	-38.1	53.04
	18:30	3.5	0.6	1.1	25.4	-1.5	24.7	2.1	-38.1	40.2
	19:00	3.4	0.6	1.1	25.4	-1.5	24.7	2.04	-38.1	40.14
	19:30	3.4	0.6	1.1	25.4	-1.5	25	2.04	-38.1	40.14
	20:00	3.3	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.4	1.98	-37.95	39.93
	21:00	3.2	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.5	1.92	-37.95	39.87
	21:30	3.1	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.2	1.86	-37.95	39.81
	22:00	3	0.6	1.1	25.3	-1.5	24.9	1.8	-37.95	39.75
	22:30	2.9	0.6	1.1	25.3	-1.5	25	1.74	-37.95	39.69
	23:00	2.7	0.6	1.1	25.2	-1.5	24.9	1.62	-37.8	39.42
	23:30	2.7	0.6	1.1	25.2	-1.5	24.9	1.62	-37.8	39.42
28/9/2016	5:00	2.1	0.6	1.1	25.1	-1.5	24.2	1.26	-37.65	38.91
	5:30	2.2	0.6	1.1	25.1	-1.5	24.3	1.32	-37.65	38.97
	6:00	16.4	0.6	1.2	25.1	-1.5	24.2	9.84	-37.65	47.49
	6:30	24.6	0.9	1.2	25.1	-1.2	24.6	22.14	-30.12	52.26
	7:00	24.7	1.3	1.1	25.3	-0.8	25.5	32.11	-20.24	52.35
	7:30	24.8	1.5	1.1	25.4	-0.5	26.1	37.2	-12.7	49.9
	8:30	26.6	6	1.2	27.1	4.1	37.7	159.6	111.11	48.49
	9:00	27.1	7	1.1	27.6	5.1	41.8	189.7	140.76	48.94
	9:30	27.6	9	3.7	28	4.8	44	248.4	134.4	114
	10:00	26.1	3.5	3.7	26.7	-1	42.4	91.35	-26.7	118.05
	10:30	26.8	3.8	1.1	27.3	1.9	39.1	101.84	51.87	49.97
	11:00	26.5	2.5	1.2	27.1	0.6	41.2	66.25	16.26	49.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	11:30	26.7	3.1	1.1	27.3	1.2	36.7	82.77	32.76	50.01
	12:00	28	4.8	1.2	28.6	2.9	37.3	134.4	82.94	51.46
	12:30	33.2	4.8	1.1	28.7	2.4	42.6	159.36	68.88	90.48
	13:00	28	3.8	1.2	28.6	1.9	36.6	106.4	54.34	52.06
	13:30	30.4	3.4	1.1	28.8	1.5	37	103.36	43.2	60.16
	14:00	29.8	3.4	1.1	28.8	1.5	44.5	101.32	43.2	58.12
	14:30	31.2	3.3	1.2	28.8	1.2	46.2	102.96	34.56	68.4
	15:00	32.2	3.1	1.1	28.7	1.3	40.3	99.82	37.31	62.51
	16:00	26.1	1.5	1.2	26.7	-0.5	33.9	39.15	-13.35	52.5
	16:30	27.1	2	1.1	27.7	0.1	33.3	54.2	2.77	51.43
	17:00	24.9	0.8	1.1	25.5	-1.3	28.9	19.92	-33.15	53.07
	17:30	25.1	1	1.2	25.7	-1	29.7	25.1	-25.7	50.8
	18:00	19.7	0.6	1.1	25.4	-1.5	28.2	11.82	-38.1	49.92
	18:30	3.4	0.6	1.1	25.4	-1.5	27.8	2.04	-38.1	40.14
	19:00	3.4	0.6	1.1	25.4	-1.5	27.6	2.04	-38.1	40.14
	19:30	3.4	0.6	1.1	25.4	-1.5	27.4	2.04	-38.1	40.14
	20:30	3.4	0.6	1.1	25.3	-1.5	26.8	2.04	-37.95	39.99
	21:00	3.4	0.6	1.1	25.3	-1.5	26.7	2.04	-37.95	39.99
	21:30	3.3	0.6	1.1	25.3	-1.5	26.5	1.98	-37.95	39.93
	22:00	3.3	0.6	1.1	25.3	-1.5	26.7	1.98	-37.95	39.93
	22:30	3.2	0.6	1.1	25.2	-1.5	26.3	1.92	-37.8	39.72
29/9/2016	6:30	24.6	0.8	1.2	25.1	-1.3	25.2	19.68	-32.63	52.31
	7:00	24.7	1.2	1.2	25.2	-0.9	26.1	29.64	-22.68	52.32
	8:00	25.3	2.2	1.2	25.8	0.2	29.8	55.66	5.16	50.5
	8:30	26.8	6.1	1.1	27.3	4.3	39.9	163.48	117.39	46.09
	9:00	28	8.5	1.2	28.5	6.7	46.2	238	190.95	47.05
	10:00	30.6	8.1	3.7	28.6	3.9	51.9	247.86	111.54	136.32
	10:30	32.2	7	3.7	28.7	2.7	55.9	225.4	77.49	147.91
	11:00	34.3	3.6	1.1	28.7	1.7	53.9	123.48	48.79	74.69
	11:30	35	2.8	1.1	28.7	0.9	59.9	98	25.83	72.17
	12:00	34.8	2.8	1.2	28.7	0.9	59.3	97.44	25.83	71.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	12:30	35	3.1	1.2	28.8	1.2	56.4	108.5	34.56	73.94
	14:30	34.5	1.9	1.2	27.6	0	42.9	65.55	0	65.55
	15:00	28.2	2	1.2	27.6	0	37.9	56.4	0	56.4
	16:30	25	1.2	1.1	25.6	-0.8	29.3	30	-20.48	50.48
	17:00	25	1.3	1.1	25.6	-0.8	29.3	32.5	-20.48	52.98
	17:30	25	1.2	1.1	25.5	-0.9	29.2	30	-22.95	52.95
1/10/2016	7:00	24.7	1.4	1.1	25.3	-0.7	26.5	34.58	-17.71	52.29
	7:30	25	1.8	1.1	25.5	-0.2	28.3	45	-5.1	50.1
	8:00	26.2	3.6	1.1	26.7	1.7	31.8	94.32	45.39	48.93
	9:00	26.2	3.8	1.1	26.8	1.9	33.6	99.56	50.92	48.64
	9:30	27.3	8	1.1	27.8	6.2	41	218.4	172.36	46.04
	10:00	27.4	5.8	1.1	27.9	4	38.4	158.92	111.6	47.32
	10:30	31.3	6.3	1.1	28.7	4.5	42.2	197.19	129.15	68.04
	11:00	31.7	7.8	3.8	28.7	2.7	50.8	247.26	77.49	169.77
	12:00	33.4	5.8	3.7	28.6	0.9	52.2	193.72	25.74	167.98
	12:30	31.8	5.2	3.7	28.7	0.8	51	165.36	22.96	142.4
	13:00	33.6	4	3.8	27.4	0.4	57.8	134.4	10.96	123.44
	14:00	26.7	2.7	2.2	27.3	-0.2	46.9	72.09	-5.46	77.55
	14:30	31.4	3.2	2.2	27.6	0.1	52.4	100.48	2.76	97.72
	15:00	32.9	2.9	2.3	27.6	-0.1	49.9	95.41	-2.76	98.17
	15:30	28.5	2.9	2.3	27.6	-0.1	40.3	82.65	-2.76	85.41
	16:00	26.9	2.9	2.3	27.5	-0.1	39.5	78.01	-2.75	80.76
	16:30	26.3	2.4	2.2	26.8	-0.5	36.7	63.12	-13.4	76.52
	17:00	24.7	13.4	2.3	25.3	-1.8	33	330.98	-45.54	376.52
	17:30	24.7	1	2.3	25.2	-2.1	31.6	24.7	-52.92	77.62
	18:00	20.7	0.6	2.3	25.2	-2.5	29.6	12.42	-63	75.42
	18:30	3.7	0.6	2.3	25.2	-2.6	29.2	2.22	-65.52	67.74
19:00	3.7	0.6	2.3	25.1	-2.5	28.6	2.22	-62.75	64.97	
19:30	3.6	0.6	2.3	25.1	-2.5	28.6	2.16	-62.75	64.91	
20:00	3.6	0.6	2.3	25.1	-2.5	28.6	2.16	-62.75	64.91	
21:00	3.6	0.6	2.3	25.1	-2.6	28.5	2.16	-65.26	67.42	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	22:30	3.6	0.6	2.3	25	-2.6	27.5	2.16	-65	67.16
	23:00	3.6	0.6	2.3	24.9	-2.6	27.2	2.16	-64.74	66.9
2/10/2016	6:30	24.3	0.9	2.3	24.8	-2.3	25.3	21.87	-57.04	78.91
	7:00	24.3	1	2.3	24.8	-2.1	25.7	24.3	-52.08	76.38
	7:30	24.4	1.2	2.3	24.8	-2	26.7	29.28	-49.6	78.88
	8:00	24.4	1.3	2.3	24.9	-1.9	27	31.72	-47.31	79.03
	9:00	26.8	8.9	2.2	27.1	6.1	48.3	238.52	165.31	73.21
	12:30	26.9	3.3	1.2	27.4	1.4	50.6	88.77	38.36	50.41
	13:00	28	4.2	1.2	28.6	2.3	55.6	117.6	65.78	51.82
	13:30	25.9	1.7	1.2	26.4	-0.3	36.2	44.03	-7.92	51.95
	14:30	25.4	1.2	1.1	25.9	-0.9	29.4	30.48	-23.31	53.79
	3/10/2016	5:30	5	0.6	1.1	25.1	-1.5	23.8	3	-37.65
6:00		24.6	0.7	1.1	25.1	-1.4	23.9	17.22	-35.14	52.36
6:30		24.7	1.1	1.1	25.2	-1	24.8	27.17	-25.2	52.37
7:00		24.9	1.5	1.1	25.4	-0.5	26.2	37.35	-12.7	50.05
7:30		25	1.6	1.1	25.5	-0.5	26.9	40	-12.75	52.75
8:00		25	1.8	1.1	25.5	-0.3	27.4	45	-7.65	52.65
8:30		26.7	7	1.1	27.1	5.2	35	186.9	140.92	45.98
9:30		27.1	10.5	2.4	27.3	7.5	34.3	284.55	204.75	79.8
10:00		26.5	5.9	4.1	27	1.1	44.5	156.35	29.7	126.65
11:00		29.8	6.1	2.1	28.7	3.3	55.7	181.78	94.71	87.07
11:30		33.7	5.2	2.1	28.6	2.4	56.7	175.24	68.64	106.6
12:00		32.9	5.2	2.1	28.7	2.3	56.3	171.08	66.01	105.07
12:30		33.5	4.8	2.2	28.7	2	54.5	160.8	57.4	103.4
13:00		33.7	4.1	2.1	28.7	1.2	55.8	138.17	34.44	103.73
13:30		33.6	3.4	2.2	27.5	0.5	54.7	114.24	13.75	100.49
14:00		33.4	3.4	2.2	27.5	0	54.9	113.56	0	113.56
15:00		26.2	2.9	2.2	26.7	-0.1	37.7	75.98	-2.67	78.65
16:00		24.9	1.4	2.2	25.5	-1.7	33.9	34.86	-43.35	78.21
16:30	24.8	0.9	2.2	25.3	-2.2	27.9	22.32	-55.66	77.98	
17:00	24.9	0.8	1.1	25.4	-1.3	26.2	19.92	-33.02	52.94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	17:30	24.9	0.8	1.1	25.4	-1.3	25.6	19.92	-33.02	52.94
	18:00	24.8	0.6	1.1	25.4	-1.5	25.6	#VALUE!	-38.1	#VALUE!
	18:30	4.9	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.4	2.94	-37.95	40.89
	19:00	3.7	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.7	2.22	-37.95	40.17
	20:30	3.5	0.6	1.1	25.3	-1.5	25.9	2.1	-37.95	40.05
	21:30	3.4	0.6	1.1	25.2	-1.5	24.1	2.04	-37.8	39.84
4/10/2016	5:30	2.9	0.6	1.1	25.1	-1.5	24.2	1.74	-37.65	39.39
	6:00	24.6	0.6	1.1	25.1	-1.5	24.2	14.76	-37.65	52.41
	6:30	24.6	0.8	1.1	25.1	-1.3	24.5	19.68	-32.63	52.31
	7:00	24.8	1.5	1.1	25.3	-0.6	25.7	37.2	-15.18	52.38
	8:00	26.1	4.1	1.1	26.6	2.1	30.7	107.01	55.86	51.15
	8:30	25.8	2.9	1.1	26.3	0.9	33.6	74.82	23.67	51.15
	10:00	29.1	11	1.1	28.5	9.3	50.3	320.1	265.05	55.05
	10:30	30.6	9.7	1.1	28.6	8	49.8	296.82	228.8	68.02
	11:00	33.6	5.7	1.1	28.6	4.3	58.6	191.52	122.98	68.54
	11:30	27.4	3.3	1.1	28	1.4	46.3	90.42	39.2	51.22
	12:00	28	3.4	1.1	28.6	1.5	42.1	95.2	42.9	52.3
	12:30	34.3	3.2	1.1	28.7	1.2	45.5	109.76	34.44	75.32
	13:30	35	2.6	1.1	28.7	0.6	54.8	91	17.22	73.78
	15:00	30.2	2	1.1	27.6	0	39	60.4	0	60.4
6/10/2016	6:00	5.3	0.6	1.2	25.1	-1.5	24.5	3.18	-37.65	40.83
	6:30	18.4	0.6	1.2	25.1	-1.5	24.5	11.04	-37.65	48.69
	7:30	24.6	0.7	1.2	25.1	-1.3	24.9	17.22	-32.63	49.85
	8:30	24.6	0.7	1.2	25.1	-1.1	24.9	17.22	-27.61	44.83
	9:00	24.6	1	1.2	25.1	-1	25.1	24.6	-25.1	49.7
	10:00	25.1	1.9	1.2	25.6	-0.1	26.5	47.69	-2.56	50.25
	12:30	26.8	3.5	1.2	27.3	1.6	41.4	93.8	43.68	50.12
	14:30	31.3	3.2	1.1	28.7	1.2	39.8	100.16	34.44	65.72
	16:30	25.2	1.3	1.1	25.8	-0.7	29.9	32.76	-18.06	50.82
	17:30	2.3	0.6	1.1	25.1	-1.5	23.7	1.38	-37.65	39.03
	18:00	21.9	0.6	1.1	25.1	-1.5	23.7	13.14	-37.65	50.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	18:30	24.6	0.9	1.1	25.1	-1.2	24.2	22.14	-30.12	52.26
	19:00	24.8	1.3	1.1	25.3	-0.7	25.3	32.24	-17.71	49.95
	19:30	25.2	2	1.1	25.6	-0.1	27.5	50.4	-2.56	52.96
	20:30	24.6	3.1	4.1	25	-1.7	31.6	76.26	-42.5	118.76
7/10/2016	10:00	26.7	5.2	1.2	27.1	3.4	38.9	138.84	92.14	46.7
	10:30	26.8	5.1	1.2	27.3	3.3	36.1	136.68	90.09	46.59
	11:00	31.6	7	1.1	28.6	5.2	53.5	221.2	148.72	72.48
	11:30	33.5	6	1.2	28.6	4.2	54.3	201	120.12	80.88
	12:00	34.4	4.4	1.2	28.6	2.5	53.9	151.36	71.5	79.86
	14:00	33.9	2.9	1.2	28.8	0.6	39.9	98.31	17.28	81.03
	14:30	34.4	2.9	1.2	28.8	0.9	41.6	99.76	25.92	73.84
	15:00	31.6	2.8	1.2	28.8	0.8	37.1	88.48	23.04	65.44
	16:00	27.6	2.2	1.2	28.2	0.2	34.3	60.72	5.64	55.08
	17:30	24.9	1	1.2	25.4	-1.1	29.9	24.9	-27.94	52.84
	18:30	3.4	0.6	1.2	25.3	-1.5	27.6	2.04	-37.95	39.99
	19:00	3.6	0.6	1.2	25.3	-1.5	27.3	2.16	-37.95	40.11
	19:30	3.6	0.6	1.2	25.3	-1.5	27	2.16	-37.95	40.11
	21:30	3.6	0.6	1.2	25.3	-1.5	26.9	2.16	-37.95	40.11
	22:00	3.6	0.6	1.2	25.2	-1.5	27.1	2.16	-37.8	39.96
	22:30	3.6	0.6	1.2	25.2	-1.5	26.5	2.16	-37.8	39.96
9/10/2016	6:00	3.3	0.6	1.2	25	-1.5	24.9	1.98	-37.5	39.48
	6:30	24.5	0.7	1.2	25	-1.4	25	17.15	-35	52.15
	7:30	24.9	1.7	1.2	25.4	-0.4	27.9	42.33	-10.16	52.49
	10:00	26.4	4.6	1.2	26.9	2.7	35.5	121.44	72.63	48.81
	10:30	27.1	6.4	1.2	27.5	4.5	41.3	173.44	123.75	49.69
	12:00	26.8	4.7	1.1	27.3	2.8	40.5	125.96	76.44	49.52
	12:30	32.7	7.4	1.2	28.6	5.7	48.7	241.98	163.02	78.96
	14:00	26.4	1.8	1.1	27	-0.2	35.9	47.52	-5.4	52.92
	15:30	26.1	1.8	1.1	26.7	-0.2	31.2	46.98	-5.34	52.32
10/10/2016	6:30	24.6	0.9	1.1	25.1	-1.2	24.4	22.14	-30.12	52.26
	7:00	24.6	1	1.2	25.2	-1.1	24.5	24.6	-27.72	52.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	7:30	24.8	1.4	1.1	25.3	-0.7	25.1	34.72	-17.71	52.43
	8:00	25.4	2.4	1.1	25.9	0.4	27.4	60.96	10.36	50.6
	9:00	26.9	8.5	3.7	27.3	4.3	39.9	228.65	117.39	111.26
	9:30	27.8	10.3	3.5	28	6.4	47.7	286.34	179.2	107.14
	10:30	32.4	6.8	2.3	28.6	3.5	55.1	220.32	100.1	120.22
	11:30	27.1	3.3	2.1	27.7	0.4	45.1	89.43	11.08	78.35
	12:00	34.5	4.1	2.1	28.7	0.5	58.4	141.45	14.35	127.1
	13:30	33.7	3.7	2	28.7	0.5	54	124.69	14.35	110.34
	14:00	26.4	2.8	2.1	27	-0.1	41.9	73.92	-2.7	76.62
	15:00	24.9	1.5	2.2	25.4	-1.5	34.7	37.35	-38.1	75.45
	17:30	24.7	0.7	2.2	25.2	-2.4	27.6	17.29	-60.48	77.77
	19:00	3.6	0.6	2.2	25.1	-2.5	26.9	2.16	-62.75	64.91
18/10/2016	7:30	25.2	1.9	1	25.8	-0.2	28	47.88	-5.16	53.04
	8:00	26	3.2	1	26.6	1.2	30.7	83.2	31.92	51.28
	8:30	26.6	5.4	1	27.1	3.6	36.6	143.64	97.56	46.08
	11:30	35.1	2.7	1	28.7	0.88	49.8	94.77	25.256	69.514
	16:30	25.9	1.4	1	16.6	-0.6	33.5	36.26	-9.96	46.22
	17:00	25.9	1.4	1	26.5	-0.6	33.5	36.26	-15.9	52.16
20/1/2016	6:30	24.6	1	1	25.2	-1.1	26.2	24.6	-27.72	52.32
	7:30	24.8	1.6	1	25.3	-0.4	27.4	39.68	-10.12	49.8
	8:30	27.3	7.8	1	27.7	6	32.6	212.94	166.2	46.74
	10:00	33.1	7.1	1	28.6	53	40.2	235.01	1515.8	-1280.79
	11:00	30.7	2.9	1	28.7	1	43.3	89.03	28.7	60.33
	12:30	35.1	2.5	1	28.8	0.5	51.5	87.75	14.4	73.35
	16:00	27	1.9	1	27.6	-0.1	32	51.3	-2.76	54.06
	17:30	24.8	0.7	1	25.4	-1.3	29.1	17.36	-33.02	50.38
	18:30	3.4	0.6	1	25.4	-1.5	28.2	2.04	-38.1	40.14
21/10/2016	6:00	5.8	0.6	1	25	-1.5	24.5	3.48	-37.5	40.98
	6:30	24.5	0.7	1	25.1	-1.4	24.8	17.15	-35.14	52.29
	7:00	24.7	1.4	1	25.3	-0.7	26.9	34.58	-17.71	52.29
	8:30	26.4	2.8	0.9	27	0.8	40.9	73.92	21.6	52.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	10:00	26.7	3.2	1	27.3	1.3	44.9	85.44	35.49	49.95
	11:00	33.6	5.8	1	28.7	3.9	44.5	194.88	111.93	82.95
	13:30	35.4	2.1	0.9	27.6	0.2	41.3	74.34	5.52	68.82
22/10/2016	6:00	10	0.6	0.9	25.1	-1.5	26.1	6	-37.65	43.65
	6:30	24.5	0.8	1	25.1	-1.3	26.2	19.6	-32.63	52.23
	8:00	25.4	1.8	1	25.9	-0.2	30.3	45.72	-5.18	50.9
	8:30	27.4	8.7	1	27.7	6.9	40.7	238.38	191.13	47.25
	9:00	27.7	9.3	1	28.1	7.5	43.7	257.61	210.75	46.86
	9:30	31.1	7.3	1	28.6	5.6	48.2	227.03	160.16	66.87
	10:00	32.6	5.2	1	28.7	3.3	52.7	169.52	94.71	74.81
	10:30	34.3	3.8	1	28.7	1.2	55.4	130.34	34.44	95.9
	11:00	34.3	4.3	2	28.7	0.8	52.7	147.49	22.96	124.53
	11:30	33.6	3.7	2	28.7	0.7	48.4	124.32	20.09	104.23
	12:00	34.7	3	2	27.5	0.1	46.4	104.1	2.75	101.35
	12:30	26.3	2.4	2.1	26.9	-0.5	41.3	63.12	-13.45	76.57
	13:00	28.9	2.8	2	27.5	-0.1	39.6	80.92	-2.75	83.67
	13:30	25.9	2.7	2	26.4	-0.3	35.5	69.93	-7.92	77.85
	14:00	26.9	2.8	2	27.5	-0.1	36.4	75.32	-2.75	78.07
	14:30	25.3	1.4	2.1	25.9	-1.6	35.2	35.42	-41.44	76.86
	15:00	33.6	3.4	2	27.5	0.3	36	114.24	8.25	105.99
	15:30	25.9	2.4	2	26.5	-0.5	36.8	62.16	-13.25	75.41
	16:00	25	2	2	25.6	-1.1	34.9	50	-28.16	78.16
	16:30	24.9	1.8	2.1	25.4	-1.3	33.7	44.82	-33.02	77.84
	17:00	24.7	1.2	2.1	25.3	-1.9	28.3	29.64	-48.07	77.71
	17:30	24.7	0.7	2.1	25.2	-2.4	27.8	17.29	-60.48	77.77
	18:00	7.6	0.6	2	25.2	-2.6	24.4	4.56	-65.52	70.08
	18:30	3.4	0.6	2.1	25.2	-2.6	24.7	2.04	-65.52	67.56
	19:00	3.4	0.6	2.1	25.1	-2.6	25	2.04	-65.26	67.3
	19:30	3.4	0.6	2.1	25.1	-2.6	25.2	2.04	-65.26	67.3
	20:00	3.3	0.6	2.1	25.1	-2.6	25.3	1.98	-65.26	67.24
	20:30	3.3	0.6	2.2	25.1	-2.6	25.3	1.98	-65.26	67.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	21:00	3.2	0.6	2.2	25.1	-2.6	25.7	1.92	-65.26	67.18
	21:30	3.2	0.6	2.1	25	-2.6	25.7	1.92	-65	66.92
	22:00	3.2	0.6	2.1	25	-2.6	25.7	1.92	-65	66.92
	22:30	3.1	0.6	2.1	24.9	-2.6	25.6	1.86	-64.74	66.6
	23:00	3.1	0.6	2.1	24.8	-2.6	25.3	1.86	-64.48	66.34
23/10/2016	6:00	23.6	0.6	2.1	24.8	-2.6	24.1	14.16	-64.48	78.64
	6:30	24.3	0.8	2.1	24.8	-2.4	24.3	19.44	-59.52	78.96
	8:30	25.7	4	2	26.2	1	37.1	102.8	26.2	76.6
	9:00	25.9	5.2	2	26.4	2.3	36.8	134.68	60.72	73.96
	9:30	27.1	11	2	27.4	8.3	45.7	298.1	227.42	70.68
	10:00	27.7	12.2	2	27.9	9.6	50.7	337.94	267.84	70.1
	10:30	28.1	11.9	1.9	28.3	8.9	54	334.39	251.87	82.52
	11:00	27.8	8.8	2	28.2	6.1	54.3	244.64	172.02	72.62
	11:30	31.8	9.2	2	28.6	6.5	57	292.56	185.9	106.66
	12:00	32.1	7.3	1.9	28.6	4.6	51.3	234.33	131.56	102.77
	12:30	27.6	5.8	2	28.1	3	43.3	160.08	84.3	75.78
	13:00	26.2	3	2	26.8	0	41.9	78.6	0	78.6
	13:30	32.6	5.2	1.9	28.7	2.4	39.3	169.52	68.88	100.64
	14:00	26.9	3.5	2	27.5	0.6	37.7	94.15	16.5	77.65
	15:30	25.1	1.5	2	25.7	-1.6	30.6	37.65	-41.12	78.77
	16:00	25.2	1.9	2.1	25.8	-1.1	29	47.88	-28.38	76.26
	16:30	25	1.4	2.1	25.6	-1.8	30	35	-46.08	81.08
	17:00	24.9	1	2.1	25.5	-2.2	29.4	24.9	-56.1	81
	18:00	15.3	0.6	2.1	25.3	-2.5	28.1	9.18	-63.25	72.43
	18:30	3.7	0.6	2.1	25.2	-2.5	27.8	2.22	-63	65.22
	19:00	3.6	0.6	2.1	25.3	-2.6	27.2	2.16	-65.78	67.94
	19:30	3.6	0.6	1	25.4	-1.5	27.3	2.16	-38.1	40.26
	20:00	3.6	0.6	1	25.4	-1.5	26.5	2.16	-38.1	40.26
	20:30	3.5	0.6	1	25.4	-1.5	26.6	2.1	-38.1	40.2
	21:00	3.4	0.6	1	25.4	-1.5	27	2.04	-38.1	40.14
	21:30	3.2	0.6	1	25.3	-1.5	27	1.92	-37.95	39.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date	Time	PV voltage (V)	PV current (A)	Conversion current (A)	DC voltage (V)	DC current (A)	Temp (Degree C)	Power PV (W)	Power Load (W)	Storage (W)
	22:00	3.1	0.6	1	25.4	-1.5	26.7	1.86	-38.1	39.96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Keywords: แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300 W ราคา

The screenshot shows a Google search results page for the query "แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300 W ราคา". The search results are displayed in a list format, with several entries marked with green checkmarks. The results include:

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300W ราคา 10 | แผงแผง 4,700บาท มีจำนวนจำกัด** - www.smartsears.com
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300W | รับประกัน25ปี ประสิทธิภาพดีเยี่ยม!** - supersolarz.com
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด monocrystalline Silicon ขนาด 100 W | Lazada.co.th** - www.lazada.co.th
- SolarCell 300W ราคาจากแผง - solarmateth.com** - www.solarmateth.com
- PV-1200P แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300W 4แผง ใช้ได้ทั้งบ้านเรือนและโครงการจัดสรร** - www.solartech-center.com
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์** - www.supersolarz.com
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 300W เซลล์จากแผงราคาถูกจากแผงจุ่มเงิน - Priceza.com** - https://www.priceza.com

The right side of the page shows related search results and a "Videos" section with three video thumbnails. The bottom of the page features a search bar and a "Type here to search" prompt.



# Keywords: แบตเตอรี่ 12V 120Ahราคา

The image shows a Google search results page for the query "แบตเตอรี่ 12v 200ah ราคา". The search results are displayed in two columns. Several results are marked with green checkmarks, indicating they are relevant to the search. The results include:

- GS BATTERY N200 แบตเตอรี่รถยนต์ ราคาถูก แบต 200 แอมป์** - www.batterydelivery.com
- แบตเตอรี่ GS N200 (12โวลต์ 200แอมป์) - Saraphan Battery** - www.saraphanbattery.com
- แบตเตอรี่ PUMA N200 (12โวลต์ 200แอมป์) - Saraphan Battery** - www.saraphanbattery.com
- ผลัดราคา แบตเตอรี่ GS-N200 แบตเตอรี่สำหรับรถยนต์** - www.batterythailand.com
- แบตเตอรี่ GS N200 นำเข้า ใช้แทนที่ของรถยนต์ทุกค่าย แบตเตอรี่ดีที่สุดในราคา** - www.doborn.co.th
- แบตเตอรี่ GS-N200 ขนาด 12V 200Ah สำหรับรถจักรยานยนต์** - www.saraphanbattery.com
- Battery 12v 200ah เวียดนามราคาถูก ราคาจับใจ - Priceza.com** - www.priceza.com
- Images for แบตเตอรี่ 12v 200ah ราคา** - A section showing various battery models.
- แบตเตอรี่รถยนต์, ยานยนต์, ยานยนต์, ยานยนต์ราคาถูก, GS, PANASONIC, YUASA** - www.carbatt.com
- แบตเตอรี่ลิเธียม ( Battery Deep cycle ) 200Ah 12V ยี่ห้อ GLOBATT**
- แบตเตอรี่ GS สำหรับรถจักรยานยนต์ แบตเตอรี่ รถยนต์ - แบตเตอรี่รถยนต์** - www.batterydelivery.com
- แบตเตอรี่รถยนต์ YUASA N200 12V 200Ah Car... - แบตเตอรี่ รถยนต์** - www.yuasa.com
- แบตเตอรี่รถยนต์ ยี่ห้อ โซล่าเซลล์ - Home | Facebook** - www.facebook.com
- แบตเตอรี่รถยนต์ GS แบตเตอรี่ แบตเตอรี่ ราคาถูกพร้อมเปลี่ยนรถจักรยานยนต์** - www.batterythailand.com
- จำหน่ายแบตเตอรี่รถยนต์ FB Battery คุณภาพดีในราคาพิเศษ 100%** - www.fb-battery.com
- รถ battery - แบตเตอรี่รถยนต์ ยานยนต์ แบตเตอรี่ราคาถูก พร้อมบริการจัดส่ง** - batterydelivery.com
- 12v 200ah Lithium Ion Battery - Alibaba** - www.alibaba.com
- แบตเตอรี่ 3K Ah N200** - www.kingbattery.com
- GS แบตเตอรี่ รถยนต์ แบตเตอรี่รถยนต์ - GS BATTERY AUTOMOBILE** - www.kingbattery.com
- 200AH แบตเตอรี่รถยนต์ 12V/24V ยานยนต์ ยานยนต์ ยานยนต์ ยานยนต์ ยานยนต์** - www.kingbattery.com
- Cheap Solar Battery Online | 12v 100ah 150ah 200ah Battery** - www.solarbattery.com











ภาคผนวก ค.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- 1) Nidchabendha Chandanachulaka and Werachet Khan-ngern, "Design of Zero Energy Consumption System for Small DC Residential Home Based on Off-grid PV," *International Review of Electrical Engineering*, Vol. 13 No. 3, 2018
- 2) Nidchabendha Chandanachulaka and Werachet Khan-ngern, "Design of Zero Energy Consumption Home System in Bangkok for Energy Efficiency Plan," in *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Chonburi, Thailand, 2017.
- 3) Nidchabendha Chandanachulaka and Werachet Khan-ngern, "Zero Energy Consumption Home Based on Utilization - Pricing Ratio, Using Solar System in Bangkok," in *13th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Chiangmai, Thailand, 2016



Publishing House

### To whom it may concern

We communicate that the paper entitled:

“Design of zero energy consumption system for small DC residential home based on offgrid PV system” (Id 15205) by Nidchabendha Chandanachulaka and Werachet Khanngern has been submitted on our Journal International Review of Electrical Engineering (IREE).

and after a regular peer-review process has been accepted and will be published on Vol 13 n°3 June 2018 issue of the Journal.

Sincerely yours,

Robert Riceford

Editorial Staff

Praise Worthy Prize  
Publishing House Publishing Division, 945 Concord Street, Framingham, Massachusetts 01701 U. S. A.  
[administration@praiseworthyprize.com](mailto:administration@praiseworthyprize.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Design of zero energy consumption system for small DC residential home based on off-grid PV system

Nidchabendha Chandanachulaka<sup>1</sup>, Werachet Khan-ngern<sup>2</sup>

**Abstract** - This research presents the design of a zero energy consumption system (ZECS) based on off-grid photovoltaic (PV) system for small DC system whose load demand is less than 1 kWh/day. This system consists of 3 parts: 300 W PV panel, energy conversion or solar charger, and 12 V 200 Ah energy storage. The used electrical utilizing system consists of 3 types: 20 W LED lighting system, 35 W fan for air cooling system, and 100 W electrical boiler or heating system, whose average load requirement is 0.795 kWh/day. This research defines 6 key sustainability parameters and key performance indicators in order to evaluate the benefits of ZECS, which are design, energy security, system availability, efficiency, environment and investment. The result has been analyzed and it was found that ZECS can achieve more than 80% of the energy conversion efficiency and it can operate for 2 days without charging the battery. The battery charging and discharging from PV are demonstrated to confirm ZECS energy security. The utilization ratio or the energy that required per one square meter is less than 50 Wh/m<sup>2</sup>. DC ZECS and DC electric appliances are available, affordable and easy to be maintained. ZECS is designed in order to provide the electricity for low-income people in remote areas, and its social benefits are more important than the return on investment. It can be concluded that DC utilizing system is reliable for ZECS which can benefit to apply this system in remote area where it cannot connect to the grid.

**Keywords:** PV, Off-grid, Zero energy, Small residential home, DC system

## Nomenclature

		Power <sub>in</sub>	Power Input [kW]
		Power <sub>out</sub>	Power Output [kW]
AC	Alternate current	P <sub>PV</sub>	Power that generated from PV panels [kW]
BEC	Building energy code	PV	Photovoltaic
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide	THB	Thai Baht
DC	Direct current	USD	United States Dollar
DEDE	Department of Alternative Energy Development and Efficiency	V <sub>mp</sub>	Maximum power-point voltage [V]
EEP	Energy Efficiency Plan	V <sub>oc</sub>	Open circuit voltage [V]
EISA	Energy Independence and Security Act	ZEB	Zero energy building
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive	ZECS	Zero energy consumption system
EPPO	Energy Policy and Planning office, Ministry of Energy	η	Efficiency
E <sub>total</sub>	The required Energy for each component during the lifetime [kWh]		
GHG	Greenhouse gas		
I <sub>mp</sub>	Maximum power-point current [A]		
I <sub>sc</sub>	Short circuit current [A]		
NZEB	Net zero energy building		
OECD	The Organization for Economic Co-operation and Development		
P <sub>Batt</sub>	Power that required from battery [kW]		
P <sub>load</sub>	Power that required from load demand [kW]		
P <sub>max</sub>	Maximum Power [W]		

## I. Introduction

Electricity demand is increasing every year. Electricity generation in non-OECD countries has been increased approximately 1.9% per year. It has been estimated that the required energy will increase in both residential and commercial buildings over the period of 2015–40 as a result of personal incomes rise and as urban migration will continue in non-OECD countries. [1]. Moreover, most people presently spend approximately 90% of their daily lives indoors and they rely on their electric appliances such as air conditioning or washing

machine, leading the energy consumption in buildings to become a large share of the world's total end use of energy [2]. In OECD countries, both residential and commercial buildings require approximately 35 % of the end use of energy and buildings also require approximately 40% of total end use of energy in the world [3].

People have concerned about using a large amount of fossil fuels to generate the electricity. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emitted from the combustion of fossil fuels can change the composition of atmosphere, causing many environmental problems such as global warming, waste or air pollutions. This uncontrolled use of fossil fuels leads to the depletion of reserve of primary energy resources [4]. Therefore, it is necessary to find out some alternative sources of energy.

Since 1970s, the terms 'net energy' and 'zero energy' have been used in many different fields. In the building sectors, they could be used to describe a balance between energy consumption and produced energy by their renewable energy system [5] [6]. Additionally, there are some different terms that have been applied to name different building concepts such as 'net zero energy building', 'zero energy building', 'zero carbon building', or 'zero energy housing'. These terms are used to represent the building with zero carbon emission, which can minimize the daily energy requirements and generating energy by using renewable resources [7]. In other words, they could be used to describe any building that can provide equal energy generation to usage, with energy costs equaling zero or net zero GHG emissions [8].

This research aims to propose the design of a zero energy consumption system based on off-grid photovoltaic system for small DC system whose load demand is less than 1 kWh/day. In Section 2, this research is going to review the scope of zero energy building (ZEB) which has been applied to contribute the concept of zero energy consumption system (ZECS). Some examples of ZEB projects will be presented in order to state that the concept of ZEB has been intensely emerged and it has gained attention during the last decades. The direct current (DC) system performance in ZECS and 6 key sustainability parameters which are design, energy security, system availability, efficiency, environment and investment that used to evaluate ZECS will be proposed in Section 3. The experiment analysis and evaluation will be presented in Section 4. At the end, conclusion and recommendation will be presented in Section 5.

## II. Zero Energy Consumption Building

### II.1. Literature Review

In 2006, the first country that provided the original definition of 'zero carbon home' was the United Kingdom.

Zero carbon home has zero net emission of CO<sub>2</sub> from all energy appliances used in any house such as lighting, heating, etc. [9]. On the same year, the definition of zero energy building (ZEB) appeared in the USA, related to any residential or commercial building that can reduce required energy through efficiency gains, for example, the balance between required energy and renewable technology [10].

Comparing the difference between net zero energy building (NZEB) and ZEB, both NZEB and ZEB refer to a building with zero net energy consumption and zero carbon emissions [11]. In other words, both NZEB and ZEB comprise energy-efficient buildings which can control the actual annual delivered energy to be less than or equal to the on-site renewable exported energy [12]. Significantly, they have low energy demand and the balance of required energy can be supplied by renewable energy technologies [13]. NZEB is often used to perform the annual energy balance of grid connected building and its components [6], and it could be used to describe the building connected with the energy infrastructure that has a balance between energy demand and energy supply over a period of time; on the other hand, ZEB is simpler and it includes an autonomous building [5] [14].

ZEB can be defined in several ways. According to P. Torcellini, ZEB produces energy as it uses in the building in a year [10]. According to T. Samarji et al [15], it is necessary to calculate a balance between energy demand and energy supply in a year because weather conditions in a year can effect on-site renewable energy generation. However, if it can produce energy more than the demand, it can export the excess energy to other utilities, such as electricity grid or other energy distribution system [16].

According to D. Crawley et al [17], ZEB can define both residential and commercial buildings that can reduce the amount of energy demand as well generate energy in order to meet the energy demand from on-site renewable energy technologies. ZEB often relies on renewable energy technology in order to meet the required energy in the buildings [18]. Having considered the source of energy for ZEB, there are several choices of renewable energy that can be used in ZEB in particular solar panels (both thermal and electric), hydro electrical generator, and small wind, photovoltaic or PV system seem to be ones of the most sustainable technologies used in ZEB [19] [20]. Solar energy systems have become alternative to fossil energy systems. In comparison with other conventional alternative systems, PV system is the best with the lowest cost option, even under unfavorable economic conditions [21]. Since the cost of solar electricity production or PV system has been dropped in price, the number of buildings using the PV system has become gradually practicable, therefore, ZEB has become economically and technically feasible because of PV technologies implementation [22] [23] [24]. Geography represents another important

parameter used to determine the sources of renewable energy, for example, Middle-east countries and some southern countries of the EU often use solar panel in ZEB because of high solar radiation [25] [26]. The application of PV system on ZEB has become gradually attractive and it should be placed on the rooftops of both residential and commercial buildings [27] as PV installations on rooftops are able to generate more electricity in order to balance the required energy [28]. In other words, ZEB is the innovative model of high performance building because it combines both renewable energy utilization and technologies that support energy efficiently [29].

ZEB may or may not be grid connected, however, no fossils are used to generate energy on the site [30]. Off-grid ZEB can give access to electricity in remote areas or rural places whereas they cannot connect to the grid [31]. As it does not connect to any utility grid, it is important to arrange the appropriate size of energy storage system for the periods of peak energy requirements [14]. However, the most important requirements for a storage for off-grid PV system are low cost, long life time with low maintenance, high energy efficiency, self-discharging and easy operation [32].

ZEBs have attracted much attention in many countries because they are considered as an important strategy to achieve the energy conservation and to reduce emissions of greenhouse gases [11]. Furthermore, because the main objective of ZEB is to reduce some heavy consumptions in the buildings, some sustainable policies have promoted the construction of ZEB and many countries around the world have established ZEB as the national target [33]. In the USA, the 2007 Energy Independence and Security Act (EISA) has authorized the Net-Zero Energy Commercial Building Initiative in order to support the zero energy target for all new commercial buildings by the end of 2030, then it should be reached a zero energy goal for 50% of U.S. commercial buildings by 2040 and net zero for all U.S. commercial buildings by 2050 [17]. In the EU countries, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) has targeted a nearly ZEB goal for all the existing public buildings by 2018 and for all new buildings by 2020 [34]. In the United Kingdom, the target has been set at net zero carbon for new dwellings by 2016. These policies have focused on energy savings, or on emission reductions or on economic efficiencies [35]. Further in some Asia-Pacific countries such as Hong Kong, the government also has established the target to reduce the carbon intensity, which should be minimized by 50-60% by 2020, compared with 2005 baseline [29]. In Thailand, the government approved the Energy Efficiency Plan (EEP) 2015-2036 proposed by the Energy Policy and Planning office (EPPO). It aims to minimize the energy intensity by 30% in 2036, compared with 2010 baseline. This plan creates the energy awareness that can influence people to be concerned about energy preservation [36]. It aims also

to promote the use of building energy code (BEC) for new buildings and the implementation of ZEB [37]. Some examples of researches on ZEB for residential houses using PV to generate energy are presented in Table I.

TABLE I  
RESEARCH ON ZEB FOR RESIDENTIAL HOUSES

City /Country	Ref.	Type of building	Required energy	Source of energy	System
Altiplanic, Bolivia	[38]	Household	665 Wh/day	PV	AC
		School	1.946 kWh/day		
		Health center	4.912 kWh/day		
Faisalabad, Pakistan	[39]	Residential house	5.90 kWh/day	PV	AC
Sinai Peninsula, Egypt	[40]	Residential house	5.5 kWh/day	PV	AC
Bauchi, Nigeria	[41]	Residential house	6.5 kWh/day	PV	AC and DC

F. Benavente-Araoz et al [38] have studied some electrical power consumption profiles estimated for a household, school and health center in the rural Altiplanic region of Bolivia, evaluating the use of energy storage technologies. The authors agreed that an increase of battery size can prevent the risk of electricity blackouts, which is important for off-grid ZEB in rural areas.

A. Ghafoor and A. Munir [39] designed an off-grid PV system for the electrification of a single residential household in Pakistan. Their design was applied on the residential house with the lowest energy demand without any high energy consumptions such as air conditioner. The required energy demand consisted of 5 lamps, 1 refrigerator, 1 washing machine, 1 TV and 2 fans with the average daily energy demand of 5.90 kWh/day. At the end, the authors concluded that the unit cost of electricity produced from an off-grid system is lower than the unit cost charged from the electric supply. Therefore, the authors stated that an off-grid PV system is both economically and technically feasible for low energy demand users in Pakistan.

A. E.-S. A. Nafeh [40] designed an off-grid PV system to provide the electricity for a single residential household in a remote site of Sinai Peninsula in Egypt. The required energy demand consisted of 5 lamps, 1 washing machine, 1 refrigerator, 1 water pump, and 1 TV. The average required energy demand of this house was 5.50 kWh/day. As a result of their life cycle cost analysis, the author demonstrated that using off-grid PV system in remote area is suitable for long-term investment if the initial prices of PV systems are decreased.

H.A. Guda and U. O. Aliyu [41] provided a case study of an off-grid PV system for a 3 bedroom bungalow in Bauchi, Nigeria, with a residential daily energy demand was 6.5 kWh/day. The authors concluded that the success of each off-grid PV system depend on different factors

such as weather condition, solar irradiance, load profile, and geographical location.

Graca et al [42] conducted a feasibility study on solar stand-alone system for single residential house in mild southern Europe climate zone suggesting that it is necessary to use some natural lights and ventilations in order to minimize energy requirements. ZEB or stand-alone should have high efficiency energy appliance and appropriate size of renewable energy system. Also, they should concern on some environmental conditions such as site location, solar radiation, or climate.

## II.2. Zero Energy Consumption System Concept

From the above ZEB definition, this research concludes that ZEB refers to buildings that can balance between the total amount of required energy in an annual basis and the amount of renewable energy generated on this site [43]. Zero energy consumption system or ZECS refers also to the balance between the required energy and the energy generated on the site. However, there are some necessary aspects which should be discussed in this section.

Many researches agreed that a decrease in the cost of PV panels and an improvement in their energy conversion efficiencies will help to promote the use of PV panels in off-grid or stand-alone system [20]. Therefore, ZECS must be a stand-alone or an off-grid system and it is preferable to use PV technology because it has low operating costs, minimal service requirements, and low environmental effect [44].

Secondly, many researches mentioned that ZEB can define either residential or office buildings, which is still board. To narrow this topic, this research suggests that ZECS must comprise residential buildings with a small amount of required energy. ZECS focuses on small scale of ZEB that can implement renewable energy to support the demand in small buildings such as small homes in the rural villages with a low electricity load demand. In rural areas without grid connection, PV systems can play an important role to provide the electricity needed for improving the living quality standards [45].

Furthermore, the required energy for ZECS is less than 1 kWh/day in order to meet the world's minimum requirement of electricity in 2020 [46], hence everyone should be able to access at least 500 kWh per year or 1.37 kWh/day of electricity. Additionally, a small amount of required energy is positive because it must be comfortable to install all equipments in ZECS and it must be able to control the investment cost.

Power system is another parameter that must be considered. Many researches about ZEB have often used Alternating Current (AC) system because it is easier to maintain and to distribute at long distance with less losses than Direct Current (DC) system. Additionally, AC

electric appliance is more common used than DC electric appliance. When choosing AC system, it is essential to have a power inverter in order to convert DC power to AC power. On the other hand, choosing DC system is a good solution because the energy can flow from PV generation to the end use without converting to AC system. Therefore, choosing AC system can save the energy from some conversion losses [47].

P. Kuar et al [48] focused on an off-grid DC solar home using DC system to avoid AC/DC conversions in Nilgiris District, Tamil Nadu, India. Load requirements consisted of 125 W PV panel, 800Ah, 48V battery, one 18W LED tube-light, one 32W fan, one 5W LED bulb and one mobile phone charger, which could be considered as the minimum requirement of low-income households. Solar DC power is connected directly to feed the load requirement. They concluded that connecting solar panels and batteries directly to DC line avoiding converter losses. Compared to the existing solar system, PV panel and battery size are reduced by 2 to 2.5 times and the cost to power a house is reduced to nearly half the cost of the existing solutions.

Hence, it can be stated that using DC system can minimize the energy losses occurring when converting power from energy conversions. Without energy conversions, it is cost effective to the off-grid power [49]. Additionally, some researches asserted that DC system is useful to integrate some sources of renewable energy [50] and it can be used directly from renewable energy system [51].

Therefore, this research is going to demonstrate that ZECS requires DC system in order to minimize some converter losses.

## III. Proposed ZECS

### III.1. ZECS and subsystem components

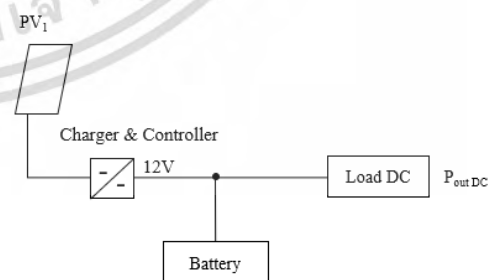


Fig. 1. Proposed ZECS system

ZECS mainly consists of PV panel, charger controller, and battery as presented in Fig. 1 and it can be operated by

the priority flow as presented in Fig. 2. This research assumes that there are 3 conditions of sunshine which are full-day sunshine, half-day or partial sunshine, and no sunshine, and the required energy in the weekdays is equal to the required energy in the weekends. ZECS has been designed according to the load on demand, which means ZECS will operate when load demand requires energy. First, if PV power is more than the load demand, PV power will generate the energy and deliver it to load demand. If PV power is less than the load demand, a battery is required for supporting PV to generate energy and to deliver to the load demand. In this case, if PV power and battery power are more than the load demand, power will generate the energy to load demand. If not, battery will be charged.

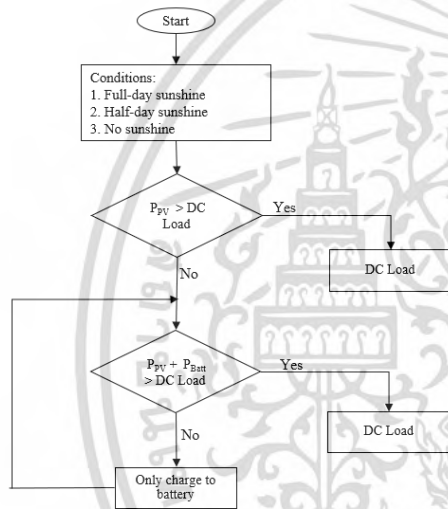


Fig. 2. Proposed ZECS model

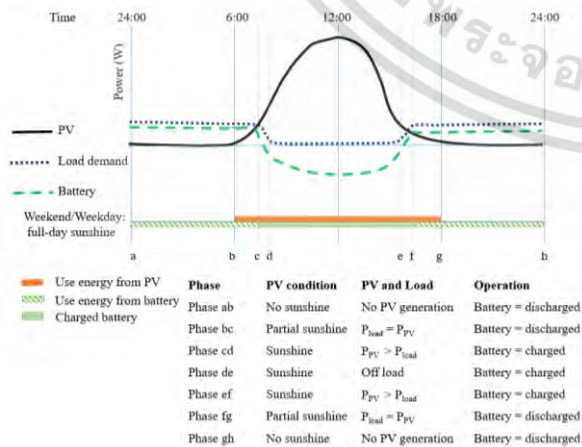


Fig. 3. Timing diagram of energy source in ZECS system

Fig. 3 presents the timing diagram of energy source and load demand in ZECS for full-day sunshine. Energy sources in ZECS are PV panel and battery. Each phase can be explained as follows:

Phase ab: if during the night time up to the early morning, there is no sunshine, and therefore PV cannot generate energy, then a battery is required to generate energy.

Phase bc: if during the early morning, there is partial sunshine and PV power is equal to load demand, therefore, a battery is required to support PV to generate energy.

Phase cd: if during the late morning, there is fully sunshine and PV power is more than the load demand, therefore, PV power will generate and deliver to load demand while the battery will be charged.

Phase de: if during the daytime, there is fully sunshine but the load demand is off, the battery will be charged and will stop when it is fully charged.

Phase ef: if during the afternoon, there is fully sunshine and PV power is more than the load demand, therefore, PV power will generate and deliver the energy to load demand and the battery will be charged.

Phase fg: if during the late afternoon, there is partial sunshine and PV power is equal to the load demand, therefore, the battery is required to generate energy.

Phase gh: if during the evening and night time, there is no sunshine, and PV cannot generate energy, therefore, the battery is required to generate energy.

TABLE II  
ZECS ENERGY MATRIX

Conditions	Sources of energy to the load		Note	
	PV <sub>Gen</sub>	Battery		
Full-day Sunshine	Day time: few sunshine	Yes	Yes	Load > PV <sub>Gen</sub>
	Day time: full sunshine	Yes	No	Load < PV <sub>Gen</sub>
	Night time	No	Yes	PV <sub>Gen</sub> = 0
Half-day sunshine	Day time: partial sunshine	Yes	Yes	Load > PV <sub>Gen</sub>
	Day time: very few sunshine	No (or yes)	Yes	Load > PV <sub>Gen</sub>
	Night time	No	Yes	PV <sub>Gen</sub> = 0
No Sunshine	Day time: no sunshine	No	Yes	PV <sub>Gen</sub> = 0
	Night time	No	Yes	PV <sub>Gen</sub> = 0

ZECS energy matrix presents the sources of energy depending to different conditions of load on demand as presented on Table II. In the best-case condition, PV power can generate enough energy to the load demand during the day time and it is required the battery to generate energy during the night time. In half-day sunshine condition, whereas there is partial sunshine, the

battery is required to support PV power when PV panel cannot generate much energy. In the last condition or no sunshine, PV panel cannot generate energy, therefore, ZECS requires the battery.

### III.1.1. PV panel

This is the most essential part in the system because it generates the electricity from the daylight. This research selects polycrystalline silicon for ZECS because it is the most common PV in the market. The electrical performance of the selected PV panel is presented on Table III.

TABLE III  
ELECTRICAL PERFORMANCES OF SELECTED PV PANEL

Electrical Performance (PV panel)		
Maximum Power	Pmax	300 W
Maximum power-point voltage	Vmp	36.7 V
Maximum power-point current	Imp	8.17 A
Open circuit voltage	Voc	44.4 V
Short circuit voltage	ISC	8.99 A

### III.1.2. Charger controller

It manages the power that generated from PV panel to battery that is needed to prevent the battery from being overcharged [52]. This research selects a 12V 20A charger controller with an efficiency equal to 92%. In addition, the charger controller operates in order to control the energy source that presented in Fig. 3.

### III.1.3. Battery

It is charged during the daytime and it is used to supply the load requirements during the night or during the day time when load power level is higher than PV power. This research selects a 12V 200 Ah battery, whose storage energy is 2.4 kWh which can cover for 2 days with 1 kWh load demand. A deep cycle battery has been chosen because it can be discharged using most of its capacity and because of its low costs.

### III.1.4. Load

Because the proposed research has chosen for its demonstration a site in Thailand, therefore, it is necessary to consider the average minimum load demand in this country. According to the number of electricity meters in 2014, there were 21.1 million customers in Thailand. The major group of electricity customers in this country was in the residential sectors, which was 89% of total electricity customers. There is approximately 50% of residential sector with energy needs less than 50 kWh per month [53]. According to the Major Findings of 2013 Nation Energy

Consumption in Thailand [54], households in Bangkok and in the surroundings spent on electricity more than the households in other regions. The price of electricity in this country is 5 THB per unit. If the average expenditure on electricity of households in Bangkok and surroundings was 1,133 THB per month, the average required energy in Bangkok and surroundings should be approximately 226.6 kWh per month. Compared to other regions, it was 3.1 times of the households in Northeast, which spent approximately 367 THB per month on electricity or 73.4 kWh per month.

Having considered on the socio-economic issues, there is an enormous number of migrations in Bangkok. People from countryside have migrated to Bangkok to get better living standards, therefore, they have moved to work as labors or basic workers in industries. It has been observed that 99.2% of households of labors and basic workers had electricity. The average monthly expenditure of each household spent on energy for 1,301 THB. However, if any households consume electricity less than 50 kWh per month, they will receive free electricity for that month. In 2016, there were approximately 93,620 households in Bangkok that received free electricity [55].

Electrification rate of population without access to electricity has been decreased gradually in this country. It was approximately 0.05% of population without electricity assessment in 2015. This group of population was living in remote areas whereas they cannot connect to the grid.

TABLE IV  
PROPOSED LOAD DEMAND

DC Equipment	No. of equipment	Power of Equipment (W)	Weekdays/weekends				Total (kWh/day)
			Day time (6:00-18:00)		Night time (18:00-6:00)		
			Daily use (h)	Energy required (kWh/day)	Daily use (h)	Energy required (kWh/day)	
1. Motor							
Fan 1	1	15	1	0.015	12	0.18	0.195
Fan 2	1	20	1	0.02	12	0.24	0.26
2. Lighting							
LED 1 (main)	2	5	1	0.01	12	0.12	0.13
LED 2 (reading)	1	5	1	0.005	10	0.05	0.055
LED 3 (toilet)	1	5	1	0.005	10	0.05	0.055
3. Heating Cartridge Heaters	2	50	1	0.1	0	0	0.1
Total				0.155		0.64	0.795

The sample used in this research is a small-living home for a very low load demand, that is less than 1kWh/day in order to meet the minimum requirement of electricity in

2020. The conditions of this small-living home are 1) there are two people in this home, and 2) they access electricity just for the basic needs, for examples, lighting system, fan for air cooling system, and electrical boiler or heating system. According to their routine lifestyle, they work during the daytime and they stay at home at night and in the weekends. They do not have any high energy consumption machines in their households such as washing machine or air conditioner. This home has 3 basic types of electrical appliances, which are 35 W fan for air cooling with motor operating, 20 W LED lighting, and 100 W electric boiler as presented on Table IV. It can be assumed that the load demand during the weekdays is equal to the load demand in the weekends.

### III.1.5. Site location

Since this research has chosen as sample a home in Bangkok, it is necessary to ensure that daylight hour, temperature and solar radiance are good enough for PV panel to generate energy. First, Thailand locates slightly above the equator, therefore the daylight hour is constant during a year. Having considered the temperature which directly effects on PV panel, Bangkok has a huge climate with always the sunlight and the peak temperature is approximately 39.9°C while the lowest temperature is approximately 14.8°C [56]. According to DEDE [57], the average solar radiance in Bangkok has been about 5.84 kW/m<sup>2</sup>-day during 2010-2014 as presented in Fig. 4. It has been found that the daily solar radiation had a peak in April 2012, while the temperature reached 40°C, therefore, this research can conclude that high temperature during summer season does not much effect on the solar radiation.



Fig. 4. Monthly average solar radiation in Bangkok

### III.2. Six sustainability parameters for ZECS system

In order to evaluate the success of ZECS, it is necessary to indicate the key parameters to measure ZECS reliability. If ZECS follows the sustainability concept or promotes the concept of sustainable energy, all activities

in ZECS must provide energy-related sustainability challenges, for example, minimizing the required energy in the buildings [58]. In general, the concept of sustainable energy is about how to develop energy services to be available, reliable, and affordable for everyone [59], in particular sustainable building must promote the sustainability in terms of efficiency, resource use, cost effectiveness, environment, energy security, and design and analysis [60]. If ZECS focuses on the sustainability, it is important to consider these two designed strategies– (i) to reduce the energy requirements in the building, and (ii) to implement renewable energy and other technologies to support the energy requirement in the building [5]. Moreover, ZECS must reachable to generate energy for everyone, especially people who are not able to connect to the grid because they cannot afford the related expenses. This research defines the key sustainability parameters and the key performance indicators as illustrated in Table V to evaluate ZECS.

TABLE V  
SIX PARAMETERS AND KEY PERFORMANCE INDICATORS

Parameters	Definition	KPI
Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The system can generate energy at least 1kWh/day</li> <li>- Utilization ratio or comparison between required energy and area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacity: 1kWh/day</li> <li>- Utilization ratio: &lt; 50 Wh/m<sup>2</sup></li> </ul>
Energy security	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The system can operate under critical situations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The system can operate for 2 days without charging the battery</li> </ul>
System availability	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The system equipment and DC electric appliances should be available and affordable for everyone</li> <li>- Maintenance is convenience</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Google search engine will be used to evaluate the availability. In each appliance, if 10 websites appear on the result page and only 5 websites are related to accessibility, 5 points will be counted</li> </ul>
Efficiency	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The losses that occur in the system can be minimized</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- System efficiency: &gt; 80%</li> </ul>
Environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The system is less polluting if compared with other energy sources</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission is less than 0.1 gCO<sub>2</sub>eq/kWh</li> </ul>
Investment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Life time cost per unit compared to the total cost and the load consumption is less than 10 THB/kWh</li> <li>- Payback period is less than 20 years (without concerning any maintenance cost,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Life time energy generating and storage system is 10 THB/kWh</li> <li>- Payback period in 20 years (as PV lifecycle)</li> </ul>

---

construction cost and  
other miscellaneous)

---

### III.2.1. Design

A sustainable building must apply environmental-friendly materials and minimize energy requirement needed in the construction, operation, and maintenance of a building structure [61]. The sustainable energy system has been designed to minimize some losses that occurred in the sample home and its design must minimize the required energy in the building. Moreover, it is necessary to ensure that ZECS can generate at least 1 kWh/day, equal to the proposed minimum requirement of electricity in 2020, and the utilization ratio or energy required per one square meter of home utilization should be less than 50 kWh/m<sup>2</sup>. Utilization ratio can be calculated by following equation:

$$\text{Utilization ratio} = \frac{\text{Required energy}}{\text{Total area}} \quad (1)$$

Whereas the required energy is the energy requirement in one day [Wh] and the total area is the utilizing area in the sample home [m<sup>2</sup>]

### III.2.2. Energy Security

Another criterion is to ensure that using ZECS is reliable and can operate under critical situations. In some critical situations such as in raining seasons, it is necessary to ensure that the system will be able to operate without charging the battery for 2 days.

### III.2.3. System availability

Since the concept of sustainable energy concerns on resource, equipment, and DC electric appliances available and affordable for everyone, it is necessary to consider how to maintain them and how difficult would be to acquire certain components for the system. Google search engine is used to evaluate the availability of equipment and DC appliances. If 10 websites appear on the result page and only 5 websites are related to accessibility, it means that each equipment and DC appliance is convenient and 5 points will be counted.

### III.2.4. Efficiency

In sustainable energy issue, it also requires to consider on efficiency improvement in order to minimize losses in the system. In this criterion, the losses that occur in the system can be minimized. Power generated from PV panel will be compared with the power generated to the load center by using this following equation:

$$\text{System efficiency} = \frac{\text{Power}_{\text{out}}}{\text{Power}_{\text{in}}} \quad (2)$$

Whereas  $\eta$  [%] is the efficiency of each component, calculated from output power [W] divided by input power.

### III.2.5. Environment

Sustainable energy also targets to zero or almost zero emission from the energy chain. CO<sub>2</sub> emission rate is used to evaluate the effectiveness of each system. The total CO<sub>2</sub> emission in each system has been calculated from CO<sub>2</sub> emission rate in each ZECS system component as in the following equation:

$$\text{CO}_2 \text{ emission} = \frac{(\text{E}_{\text{total}}) \times \text{CO}_2 \text{ emission per kWh}}{\eta} \quad (3)$$

Whereas  $E_{\text{total}}$  [kWh] is the required Energy for each component during the lifetime.

According to DEDE, CO<sub>2</sub> emission per kWh [gCO<sub>2</sub>eq/kWh] from PV structure and material is equal to 54.8 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, as presented in Table VI [62].

TABLE VI  
CAMPARING DIFFERENT SOURCES OF CO<sub>2</sub> EMISSION

CO <sub>2</sub> Emission (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)				
Sources	Structure & Components	Fuels	Fuel combustion	Total
Solar cell	0.0548	-	-	0.0548
Natural gas	0.0003	0.11	0.53	0.6403
Coal	0.0019	0.15	0.93	1.0819
Lignite	0.0019	0.16	1.07	1.2319
Fuel oil	0.0015	0.10	0.77	0.8715

(Source: DEDE, 2017)

### III.2.6. Investment

Life time cost per unit is used to compare the effectiveness of competing interventions. This ratio between total cost and load consumption over the PV lifetime measures the expenditure per 1 kWh

$$\text{Life time cost per unit} = \frac{\text{Total cost of equipment}}{\text{Annual load consumption} \times \text{Life time}} \quad (4)$$

Whereas the annual load consumption is the total required energy annually [kWh] and the total cost of equipment can be calculated from this following equation:

$$\begin{aligned} \text{Total cost of equipment} = & n(a \times \text{cost}_{\text{PV}}) + \quad (5) \\ & n(b \times \text{cost}_{\text{Charger}}) + (c \times \text{cost}_{\text{Battery}}) + n(d \times \text{cost}_{\text{Fan}}) + \\ & n(e \times \text{cost}_{\text{LED}}) + n(f \times \text{cost}_{\text{Boiler}}) \end{aligned}$$

Whereas  $a$  to  $f$  are the warranted lifetime of each equipment [year], and  $n$  is the number of each equipment. This research specifies that PV panel have a warranted life time of 20 years. Solar charger has a warranted life time of 10 years, so it is necessary to change it every 10 years or 2 times in 20 years. Battery, fan, LED, and electric boiler have a lifetime of 5 years, so it is required to change them 4 times in 20 years [63].

In addition, the payback period in capital budgeting [year] can be used as an indicator to determine whether to undertake the project. It represents the length of time required to recover the investment cost and it can be illustrated through the following equation:

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Total cost of equipment}}{\text{Annual outcome}} \quad (6)$$

### IV. Experimented setup and analysis

#### IV.1. Experimental setup

The experiment setup is presented in Figs. 5. The system monitoring sets are presented in Fig. 5 (a). PV parameters of DC voltage, DC current, and PV temperature will be monitored by the solar charger controller as presented in Fig. 5 (b). The data can be monitored by using EPEver data application as presented in Fig. 5 (c). Solar irradiation is measured by the solar power meter ST-1307 as presented in Fig. 5 (d).



Fig. 5. ZECS data analysis system

#### IV.2. Result

Each round of the experiment was 10 minutes. Load demand was activated first for 4 minutes, and then it had 2 minutes break. After that, load demand was reactivated again for the remaining 4 minutes. EPEver data application recorded all experiment results as presented in Fig. 6, where the battery charging and discharging from PV are demonstrated in order to confirm the energy security. This research selected the most appropriate record, which solar radiation was 810 W/m<sup>2</sup> in the full-day sunshine condition.

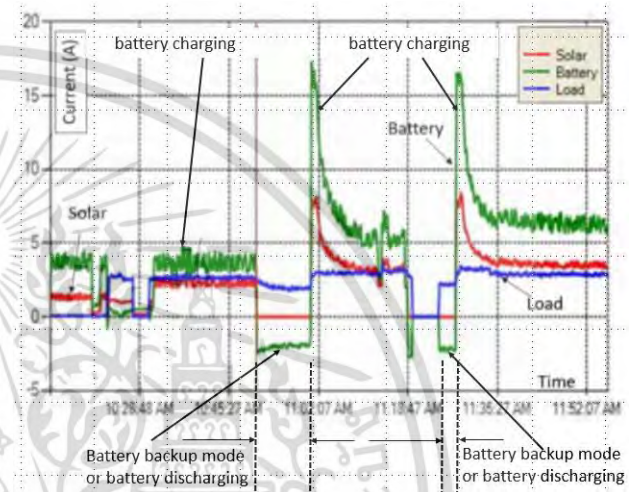
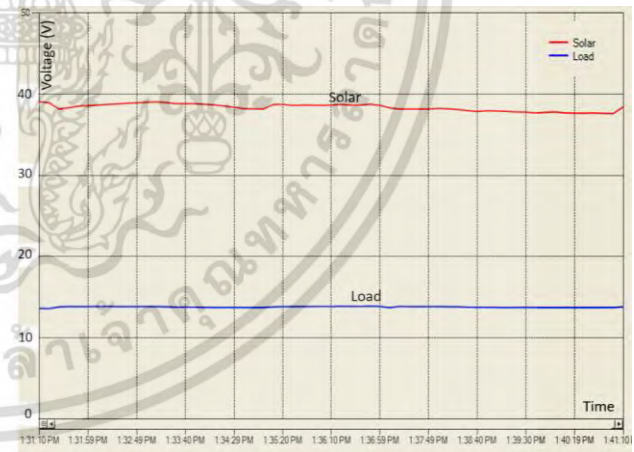
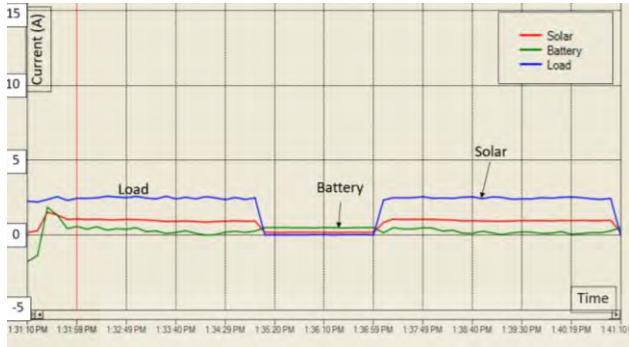


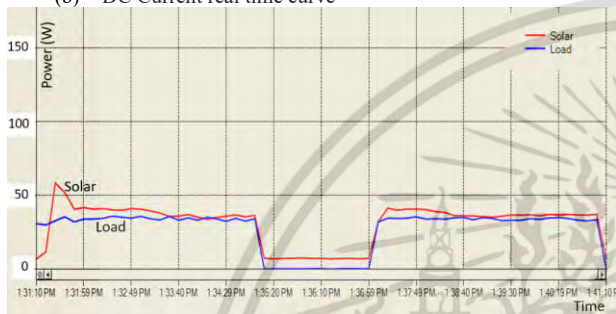
Fig. 6. Record from EPEver data application



(a) DC Voltage real time curve



(b) DC Current real time curve



(c) DC Power real time curve

Fig. 7. ZECS system performance

The experimental performance is presented in Figs. 7 in 3 curves: voltage, current and power curves. In Fig. 7 (a) or voltage real time curve, ZECS is reliable because solar and load voltages were stable during the experiment. Focusing on Fig. 7 (b) or DC current real time curve, load current is stable during the first 4 minutes then drops in for the next 2 minutes and goes back to the same level again in the remaining 4 minutes. Battery is also fully charged and it does not generate energy to the load demand. PV panel also generates energy directly to the load demand. If load demand is not activated and battery is also fully charged, PV panel does not generate energy to the system as shown in Fig. 7 (c) or DC power real time curve.

### IV.3. Experimented analysis

#### IV.3.1. Design

The sample home with the size of 7.5 m x 3 m presented in Figs. 8 has only one bedroom and one restroom for two persons. Further the PV panel is attached at the south-north direction with a slope of 14 degree. In this home, doors and windows have been constructed by considering the wind direction. They can be opened to cool off the room temperature. White color is used in every rooms in order to reflect the natural light that comes

in during the day-time. In addition, thermal insulation is used in this home in order to reduce heat gain.

If this system can generate energy more than 1kWh/day, it means that this parameter can achieve this indicator. Having considered ZECS full capacity, 300 W PV panel can generate energy for 1.3 kWh/day, which can cover the minimum requirement of electricity. Also, utilization ratio or the comparison between required energy per day and the utilization area is equal to  $795 \text{ Wh}/22.5 \text{ m}^2 = 35.33 \text{ Wh/m}^2$ , which is lower than the target. Therefore, this parameter can achieve the performance indicator.



Fig. 8. The demonstrated home

#### IV.3.2. Energy Security

Energy security concerns about how reliable energy is. From the study about PV system in Thailand, daylight hour, temperature and solar radiance are good enough for PV system to generate energy. This research selected 12V 200 Ah battery, whose storage energy is 2.4 kWh so it can cover 1 kWh load demand. If some critical situations occur, for example, some days in raining season with no sunshine, the system can operate by discharged the battery for 2 days at the regular load demand. Therefore, this parameter can achieve the performance indicator.

#### IV.3.3. System availability

When Google search engine is used to find ZECS components which are PV panel, charger controller, and battery, the result page area will show all the websites containing each searched component. This can confirm that all system components are convenient. For DC electric appliances, when Google search engine is used,

the points are relevant to the result as presented on Table VII. For example, by searching the terms '15W DC fan', if 10 websites appear on the result page and only 5 websites are related to accessibility of 35W DC fan, 5 points will be counted. However, 100 W DC electric boiler is proposed even if it is not available on Google search engine. As the sample home is limited in its expenses, it is crucial to replace 100W DC electric boiler with cartridge heater, which is cheaper than other types of electric boiler. Therefore, it can be said that system components and DC electric appliances are available and affordable for everyone. Further, each system component has its warranties so it can be concluded that it is convenient in terms of maintenance.

TABLE VII  
RESOURCES ACCESSIBILITY SCORE

Equipment	No. of equipment	Power of Equipment (W)	Availability on Google	Note	Score (Accessibility)	Score (no replacement)	Total score
1. Motor							
Fan 1	1	15	Yes	available on 4 websites	4	1	4
Fan 2	1	20	Yes	available on 3 websites	3	1	3
2. Lighting							
LED 1 (main)	2	5	Yes	available on 3 websites	3	1	3
LED 2 (main)	1	5	Yes	available on 3 websites	3	1	3
LED 3 (toilet)	1	5	Yes	available on 3 websites	3	1	3
3. Heating Electric Boiler	1	100	No	Replaced by cartridge heater available on 2 websites	2	0	0

#### IV.3.4. Efficiency

As the performance indicator states that system efficiency should not be lower than 80%. In the experiment, ZECS efficiency has been calculated from the best scenario of full-day sunshine with efficiency equal to 57/61 or 93% which is higher than the performance indicator. Therefore, this parameter can achieve the performance indicator.

#### IV.3.5. Environment

From Table VI, when PV system generates energy, just only its structure and components pollute CO<sub>2</sub> emission.

However, PV system does not use any fuel to generate energy, so there is no CO<sub>2</sub> emission from fuel and fuel combustion. Compared with other energy sources, PV system has the lowest CO<sub>2</sub> emission rate. Therefore, this parameter can achieve the performance indicator.

#### IV.3.6. Investment

ZECS cost effective ratio has been calculated based on PV life time or 20 years. Table VIII presents the estimated total cost of equipment. Each equipment already includes the time of replacement in 20 years. The total cost of equipment is 65,800 THB and the average cost of equipment per year is equal to 3,290 THB/year.

TABLE VIII  
ESTIMATED TOTAL COST OF EQUIPMENT

Equipment	DC utilizing system (THB)
PV	1 x 1 x 6500 = 6,500
Charger	1 x 2 x 2000 = 4,000
Battery	1 x 4 x 5200 = 20,800
Fan	2 x 4 x 500 = 4,000
LED	4 x 4 x 100 = 1,600
Electric boiler	1 x 4 x 400 = 1,600
<b>Total cost of equipment</b>	<b>38,500 THB</b>

(1 USD = 33.00 THB as of September 2017)

This research assumes that PV panel can generate energy for 4.23 hours/day [64], so 300 W PV panel can generate energy for 1.3 kWh; ZECS energy generating and storage system is 38,500/(1.3 x 365 x 20) = 4.05 THB/kWh or \$0.128/kWh. Further, it can be calculated that ZECS system can generate 6.5 THB per day or 2,372.5 THB per year (1 electricity energy unit = 5 THB). Therefore, the payback period of this system should be approximately equal to 16.2 years, which means that this output meets the expectation set by KPI. It should be noted that this calculation excludes the construction cost and maintenance cost; moreover IRR calculations have not been calculated. The reason is that this research aims to a social responsibility and sustainability, so that it seems to be difficult to get any return from the investment on this system.

## V. Conclusion and Recommendation

The stand-alone photovoltaic system whose load demand is less than 1kWh/day, based on the concept of zero energy consumption system has been presented. This research has set up the sample home in DC utilizing system with low-energy demand. DC utilizing system has been chosen for ZECS because it is able to flow from PV panel to the end use without having to be converted to or from AC system, so it can save energy from conversion loss. ZECS has been tested and operated successfully

under the condition of load on demand. When load demand requires energy, PV panel can generate energy and send it to the load during the day time. If the energy is not enough because of the night time or for some bad weather conditions, it can use the preserved energy from the battery. Having analyzed the experimented data from EPEver data application, the load demand in ZECS is very low, confirming that PV panel can be used to generate the energy during the day time while battery can be used to generate the energy during the night time. Further, the battery charging and discharging from PV are demonstrated to confirm ZECS energy security.

This home has 3 basic types of electrical appliances, which are 35 W fan for air cooling with motor operating, 20 W LED lighting, and 100 W electric boiler because this home is designed for low-income people who require to access electricity just for the basic needs.

Having evaluated ZECS with key sustainability parameters, this research can prove by the achievement of key performance indicators that ZECS can operate successfully. Having considered ZECS full capacity, it can generate energy for 1.3 kWh/day, more than proposed by the performance indicator. The utilization ratio or energy required per one square meter of home utilization is equal to 35.33 Wh/m<sup>2</sup>, which is lower than the target.

In terms of energy security, it can ensure that the system can operate under some critical situations, for example, heavy raining day in which PV panel cannot generate energy. The system can operate at least 2 days without charging the battery. In terms of availability, DC ZEC system and DC electric appliances are available, affordable and easy to be maintained. System efficiency is more than 80% of the energy conversion efficiency, so the losses that occur in the system can be minimized. By the point of view of environment, this system produces less CO<sub>2</sub> emission, compared with other energy sources. Life time of ZECS energy generating and storage system is equal to 4.05 THB/kWh or \$0.128/kWh, and the length of time required to recover the investment cost or the payback period is 16.2 years. It should be noted that this calculation excludes both the construction cost and maintenance cost. Because ZECS aim is to provide the electricity for low-income people in remote areas, social benefits are more important than its return on investment.

In terms of ZECS benefits, it should be said that it can be used in remote areas where people cannot connect with the electricity grid or for other purposes such as knock-down emergency homes. However, the types of load demand can be adjusted depending on the users. As ZECS has been designed for low load demand for low-income people, therefore some DC electronic appliances such as television or refrigerator are still expensive and not necessary for them. In addition, ZECS can adjust the energy storage size, depending on the load demand and the energy security consideration. Normally, a 12 V battery

seems to be convenient for low-energy consumption which requires only basic appliances, such as LED lighting system, fan for air cooling system, and electrical boiler or heating system. If energy consumption is increased, 24 V battery are recommended.

Moreover, this research confirms that 12 V 200 Ah battery can be convenient for low load demand. ZECS can have until 2 days backup time without charging the battery, therefore this system is reliable and it can be used in some critical situations such as rainy seasons when PV cannot generate energy for 2 days.

It can be said that ZECS is good and applicable for low load demand in DC utilizing system. The organizations, such as the United Nations or the governments can apply this system in order to provide the electricity for people who live in remote areas because ZECS has only 3 components, which is convenient to setup the system. However, ZECS is still expensive even though the cost of PV technology has gradually dropped. Moreover, DC electronic appliances are not much popular, and they seem to be more expensive than AC electronic appliances. Setting ZECS for low-income people in remote areas requires some supports from the government. In other words, ZECS has a low return, hence a government subsidy which could reduce the capital cost, is necessary to make this project feasible and bankable. The subsidy can be in form of adder or grant for ZECS investment.

## Acknowledgment

Authors would like to thank Dr. Bhirasak Vorasutharoth who authorize and support ZECS installation, including PV panel system, energy conversion system, battery, and data analysis system in order to collect useful data in his meditation home.

## References

- [1] U. E. I. Administration, "International Energy Outlook 2017," 2017. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\)2017\(.pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484)2017(.pdf). [Accessed 2018].
- [2] X. Cao, X. Dai and J. Liu, "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade," *Energy and Buildings*, vol. 128, pp. 198-213, 2016.
- [3] J. Laustsen, "Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings," International Energy Agency, Paris, France, 2008.
- [4] E. Perlova, M. Platonova, A. Gorshkov and X. Rakova, "Concept Project of Zero Energy Building," *Procedia Engineering*, vol. 100, pp. 1505-1514, 2015.

- [5] D. H. W. Li, L. Yang and J. C. Lam, "Zero energy buildings and sustainable development implications - A review," *Energy*, vol. 54, pp. 1-10, 2013.
- [6] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 815-821, 2010.
- [7] A. Kylili and P. A. Fokaides, "European smart cities: The role of zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society*, vol. 15, pp. 86-95, 2015.
- [8] L. Wells and L. A. B. Rismanchi, "A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context," *Energy and Buildings*, vol. 158, p. 616 – 628, 2018.
- [9] M. Panagiotidou and R. J. Fuller, "Progress in ZEBs - A review of definitions, policies and construction activity," *Energy Policy*, vol. 62, pp. 196-206, 2013.
- [10] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru and D. Crawley, "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition," in *ACEEE Summer Study*, Pacific Grove, California, 2006.
- [11] S. Hui, "Zero energy and zero carbon buildings: myths and facts," in *The International Conference on Intelligent Systems, Structures and Facilities*, Hong Kong, 2010.
- [12] K. Peterson, P. Torcellini, C. Taylor and R. Grant, "Establishing a Common Definition for Zero Energy Buildings: Time to Move the Market," ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2016. [Online]. Available: [https://aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/10\\_815.pdf](https://aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/10_815.pdf). [Accessed 2018].
- [13] F. Harkouss, F. Fardoun and P. H. Biwole, "Optimization of design parameters of a Net Zero Energy Home," in *3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*, Zouk Mosbeh, Lebanon, 2016.
- [14] A. Marszal, P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano, "Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 971-979, 2011.
- [15] T. Samarji, A. Jouni and A. Karaki, "Net Zero Energy Buildings: Application in Lebanon on a typical residential Building," in *2012 International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)*, Beirut, 2012.
- [16] S. Pless and P. Torcellini, "Net Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options," National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, 2010.
- [17] D. Crawley, S. Pless and P. Torcellini, "Getting to Net Zero," National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, 2009.
- [18] F. Alrashed and M. Asif, "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1395-1403, 2015.
- [19] A. Scognamiglio, G. Adinolfi, G. Graditi and E. Saret, "Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: enabling the smart city operation," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1171-1174, 2014.
- [20] M. D. Leonard and E. E. Michaelides, "Grid-independent residential buildings with renewable energy sources," *Energy*, vol. 148, pp. 448-460, 2018.
- [21] M. Kolhe, S. Kolhe and J. C. Joshi, "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India," *Energy Economics*, vol. 24, pp. 155-165, 2002.
- [22] S. Berry and K. Davidson, "Zero energy homes - Are they economically viable?," *Energy Policy*, vol. 85, pp. 12-21, 2015.
- [23] D. Paker, "Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data," *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 512-520, 2009.
- [24] S. Baurzhan and G. P. Jenkins, "Off-grid solar PV: Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in Sub-Saharan African countries?," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1405-1418, 2016.
- [25] J. Eshraghi, N. Narjabadifam, N. Mirkhani, S. S. Khosroshahi and M. Ashjaee, "A comprehensive feasibility study of applying solar energy to design zero energy building for a typical home in Tehran," *Energy and Buildings 72 (2014)*, vol. 72, p. 329–339, 2014.
- [26] G. Tsalikis and G. Martinopoulos, "Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings," *Solar Energy*, vol. 115, pp. 743-756, 2015.
- [27] H. B. Madessa, "Performance Analysis of Roof-mounted Photovoltaic Systems – The Case of a Norwegian Residential Building," *Energy Procedia*, vol. 83, pp. 474-483, 2015.
- [28] S. Lou, E. K. W. Tsang, D. H. W. Li, E. W. M. Lee and J. C. Lam, "Towards zero energy school building designs in Hong Kong," *Energy Procedia*, vol. 105, p. 182 – 187, 2017.
- [29] S. Deng, R. Wang and Y. Dai, "How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research," *Energy*, vol. 71, pp. 1-16, 2014.
- [30] M. Iqbal, "A feasibility study of a zero energy home in," *Renewable Energy*, vol. 29, p. 277–289, 2004.
- [31] D. F. Q. Pulido, G. Hoogsteen, M. V. Kortenaar, J. L. Hurink, R. E. Hebner and G. J. M. Smit, "Characterization of Storage Sizing for an Off-Grid House in the US and the Netherlands," *Energies*, vol. 11, no. 265, pp. 1-13, 2018.
- [32] R.K. Akikur, R.Saidur, H.W. Ping, K.R. Ullah, "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 27, pp. 738-752, 2013.
- [33] R. Adhikari, N. Aste, C. D. Pero and M. Manfren, "Net Zero Energy Buildings: Expense or Investment?," *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 1331-1336, 2012.
- [34] M. Alirezaei, M. Noori and O. Tatari, "Getting to net zero energy building: Investigating the role of vehicle to home technology," *Energy and Buildings*, vol. 130, p. 465–476, 2016.
- [35] S. Berry, D. Whaley, K. Davidson and W. Saman, "Near zero energy homes – What do users think?," *Energy Policy*, vol. 73, pp. 127-137, 2014.
- [36] J. Kijjanuluck, "Success factors in achieving Energy Efficiency Goals and Targets: Energy Efficiency Strategy for Thailand for the next 20 years," Ministry of Energy, 2015.
- [37] EPP0, "Energy Efficiency Plan; EEP 2015," 2015. [Online].
- [38] F. Benavente-Araoz, A. Lundblad, P. E. Campana, Y. Zhang, S. Cabrera and L. Lindbergh, "Loss-of-load probability analysis for optimization of small off-grid PV-battery systems in Bolivia," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 3715-3720, 2017.
- [39] A. Ghafoor and A. Munir, "Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 496-502, 2015.
- [40] A. E. A. Nefeh, "Design and economic analysis of a stand-alone system to electrify a remote area household in Egypt," *The Open Renewable Energy Journal*, vol. 2, pp. 33-37, 2009.
- [41] H. A. Guda and U. O. Aliyu, "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 34-44, 2015.

- [42] G. Graca, A. Augusto and M. Lerer, "Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study," *Solar Energy*, vol. 86, p. 634-646, 2012.
- [43] W. Thomas and J. Duffy, "Energy performance of net-zero and near net-zero energy homes in New England," *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 551-558, 2013.
- [44] A. R. E. A. P. )AFREA(, Photovoltaics for Community Service Facilities: Guidance for Sustainability, Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK GROUP, 2010.
- [45] A. J. Veldhuis and A. H. M. E. Reinders, "Reviewing the potential and cost-effectiveness of off-grid PV systems in Indonesia on a provincial level," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, pp. 757-769, 2015.
- [46] WBGU, World in Transition: Towards Sustainable Energy Systems, London: Earthscan, 2004.
- [47] B. Nordman and K. Christensen, "DC Local Power Distribution: technology, deployment, and pathways to success," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 2, no. 4, pp. 29 - 36 , 2016.
- [48] P. Kaur, S. Jain and A. Jhunjhunwala, "Solar-DC Deployment Experience in Off-Grid and Near Off-Grid Homes: Economics, Technology and Policy Analysis," in *IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Atlanta, GA, USA, 2015.
- [49] A. Ramachandran, S. Mannar and A. Jhunjhunwala, "Inverterless Solar- DC System Design for OffGrid and Near Off-Grid Indian Homes," in *First International Conference on Sustainable Green Buildings and Communities (SGBC)*, Chennai, India, 2016.
- [50] S. Singh, A. R. Gautam and D. Fulwani, "Constant power loads and their effects in DC distributed power systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, p. 407-421, 2017.
- [51] V. Vossos, K. Garbesi and H. Shen, "Energy savings from direct-DC in U.S. residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 223-231, 2014.
- [52] Guda H.A., Aliyu U.O., "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 34-44, 2015.
- [53] EPPO, "Energy statistics of Thailand," Ministry of Energy, Bangkok, 2015.
- [54] NSO, "Major Findings of 2013 Nation Energy Consumption," Bangkok, 2014.
- [55] MEA, *Fact Sheet: Power Development Fund*, Bangkok, 2017.
- [56] NSO, "Mean of Monthly Temperature in Bangkok," 2017. [Online]. Available: [http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector\\_21\\_59\\_TH\\_mht](http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector_21_59_TH_mht). [Accessed June 2017].
- [57] DEDE, 2015.
- [58] M. Felgueiras, F. Martins and N. Caetano, "Sustainability in buildings – a teaching approach," *Energy Procedia*, vol. 107, pp. 15-22, 2017.
- [59] D. Frame, K. Tembo, M. J. Dolan, S. M. Strachan and W. Ault, "A community based approach for sustainable off-grid PV systems in developing countries," in *Power and Energy Society General Meeting*, Detroit, MI, 2011.
- [60] I. Dincer and C. Acar, "Smart energy systems for a sustainable future," *Applied Energy*, vol. 194, pp. 225-235, 2017.
- [61] H. Rothrock, "Sustainable housing: Energy evaluation of an off-grid residence," *Energy and buildings*, vol. 85, pp. 287-292, 2014.
- [62] DEDE, "How to protect the environmental impacts and how to manage some disposals from solar cell projects in Thailand," Ministry of Energy Bangkok, 2017.
- [63] A. Ristow, M. Begovic, A. Pregelj and A. Rohatgi, "Development of a Methodology for Improving Photovoltaic Inverter Reliability," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 7, pp. 2581 - 2592, 2008.
- [64] "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].

## Authors' Information

<sup>1</sup>Faculty of Electrical Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

<sup>2</sup>Faculty of Electrical Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand



Nidchabendra Chandanachulaka was born in Bangkok, Thailand. She received B.Eng. in Industrial Engineering from Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand in 2000, M.Sc. in Development and Planning, and M.Sc. in Built Environment from University College London, UK in 2003 and 2004 respectively. She is currently working towards her Ph.D. degree at Faculty of Electrical Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. Her major research interests include off-grid PV system and energy management.



Werachet Khan-ngern was born in Ubon Ratchathani, Thailand. He received B.Eng. and M.Eng. in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand in 1983 and 1989 respectively and Ph.D. and DIC in Electrical Engineering (Power Electronics) from Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK in 1996. Currently, he is an associate professor at Faculty of Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. His major research interests include green energy technology, PEM fuel cell, electric vehicles, electromagnetic compatibility (EMC) and power electronics.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## CERTIFICATE OF PRESENTATION

*This is to certify that*

**Nidchabendha Chandanachulaka**

*presented a paper entitled*

**Design of Zero Energy Consumption Home System in Bangkok  
for Energy Efficient Plan 2015**

**at The 2017 International Electrical Engineering Congress ( iEECON2017 )**

**8 -10 March 2017, Pattaya, Thailand**

**Assoc. Prof. Dr. Athikom Roeksabutr**

**EEAAT President**

**Assoc. Prof. Dr. Krischonme Bhumkittipich**

**iEECON2017 General Chair**

# Design of Zero Energy Consumption Home System in Bangkok for Energy Efficient Plan 2015

Nidchabendha Chandanachulaka

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand  
nidchabendha@hotmail.com

Werachet Khan-ngern

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand  
kkveerac@yahoo.com

**Abstract** - This paper focuses on the design of zero energy consumption for small building system that can support the government energy efficiency plan (EEP 2015). The design suits for small residential home in Bangkok that the energy consumption is up to 1,500 Wh/day. This paper designs the off-grid photovoltaic (PV) system which its structure consists of 3 main parts: generation, storage, and load. Experimental results can be the real-time observed via a web server. The appropriate proportion of PV energy : load energy : battery energy becomes 7:5:2 using the most PV energy collection scenario. The storage and generation ratio is 1/3.5, is tested for 38 days and sustained to serve during the ending of raining season in Thailand.

**Keywords** – off-grid system, zero energy consumption for small building, EEP 2015

## I. INTRODUCTION

People are aware that the amount of fossil fuel usage has increased dramatically which lead many environmental problems. These problems include greenhouse gas, wastewater, or air pollution, therefore, people are concerned about the ways to preserve or minimize the use of fossil fuels. Alternative energy such as photovoltaic has become popular at the moment because it can protect some environmental pollutions that cause from the use of fossil fuel [1]. Installing PV panel is considered more economical than other kinds of energy generations. An off-grid PV system mainly consist of few equipments, which are PV panel, energy conversions and battery as used as a energy storage. It can be seen that an off-grid PV system has been used to generate the electricity in many rural areas around the world. Another reason is solar energy from PV system cannot run out, so solar energy can be accessed as long as sunlight is available.

The concept of zero energy home has become emerged, it is about the building that can minimize energy requirements and use renewable technologies in order to provide the electricity for the buildings and must equal to the amount of energy requirements in the buildings [2]. Many US architectures design a new home with PV system that can generate electricity as it consumes on annual basis because it can reduce the total energy bill, including gas and electricity, by at least 60% [3].

The concept of zero energy building has been implemented for energy policy in many countries [4]. In Thailand, the Government approved the Energy Efficiency Plan 2015-2036 in August 2015 which targets to reduce the energy intensity by 30% in 2036, comparing to the level in 2010. This plan identifies mobilization of energy conversion under 3 strategies, 10 measures, and 4 economic clusters. The uses of high energy efficiency equipment and buildings will be promoted as well as Clean Development Mechanism (CDM) will be applied in order to minimize global warming and greenhouse emission. Moreover, this plan creates the energy awareness that effects the efficient use of energy such as saving energy in the manufacturing, transport and household sectors [5]. One of 10 measures is to promote the building energy code (BEC) for new buildings, for example, it is required to calculate the energy use per area for construction of new buildings, to support reduction of energy consumption, plus to promote net zero energy buildings [6].

Next, Section II will propose the zero energy consumption small building concept. Experimental result will be presented in Section III. At the end, the analysis and the conclusion will be available in Section IV and Section V respectively.

## II. THE ZERO ENERGY CONSUMPTION SMALL BUILDING SYSTEM CONCEPT

The off-grid PV system has been founded dramatically in many rural areas and some remote location around the world because of low maintenance and low operation cost as well as it provides the long-life expectancy [7]. It is possible to define zero energy consumption home as zero energy consumption small building as it consumes only small amount of energy requirements. This paper focus on the off-grid system in the small size of building that required low energy demand so, this paper uses the term 'zero energy consumption small building' to define the way to minimize the use of fossil fuel which mainly generates the electricity implementing renewable energy in the building, together with to minimize the energy requirements in this demonstrated small building.

### A. Load Requirements

Having concerned on solar radiance in Bangkok, it is possible to state that its location is fine for PV installation. According to DEDE solar radiance record during 2010 – 2014, the average solar radiance is approximately 5.84kW/m<sup>2</sup>-day [8]. The highest average solar radiation is during April – May and it has declined in July – October annually as in the raining seasons. However, this paper has not focused on the temperature issue since it does not much effect on solar radiation.

TABLE 1. AVERAGE SOLAR RADIATION IN BANGKOK (2010 – 2014)

Month	Average Solar Radiation (kW/m <sup>2</sup> -day)
January	5.42
February	6.08
March	6.41
April	7.05
May	6.74
June	5.99
July	5.77
August	5.65
September	5.29
October	4.73
November	5.50
December	5.53

This paper focuses on any small building that energy consumption is lower than 1,500 Wh. Note that this small building does not have any high energy consumption usage, for example, washing machine. The demonstrated small building is located in Meanburi District, Bangkok, Thailand. Its size is less than 25m<sup>2</sup> and it uses AC system. The main propose of this small building is for mediation. The owner stays alone in this mediation building with approximately 1.26 kWh/day load energy requirement as presented in Fig.1.



Fig. 1. Total load requirements.

### B. Setting up the system

The main components of zero energy consumption for small building system consists of 4 parts as presented in Fig. 2.

1) PV panel: this paper selects polycrystalline silicon for the design system. Each PV array has P<sub>max</sub> is 300W, with the

operating voltage and operating current are 36.7 V and 8.17 A respectively.

2) Solar charger controller: to manage power flow from PV panel to battery and to prevent the battery from overcharged.

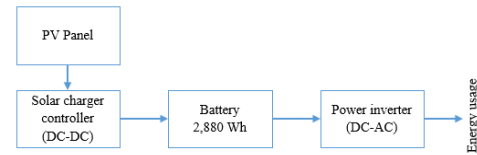


Fig. 2. The main components of zero energy consumption for small building system.

3) Battery: to supply load requirement when no sunshine. This paper selects the 2,880 Wh deep cycle battery.

4) Power inverter: this paper selects pure sine wave power inverter in order to convert the direct current (DC) into the alternating current (AC) at 220 Volt.

### C. System analysis

The data analysis system consists of sensor, CPU, communication and monitoring as shown in Fig. 3(a). This system can analyze PV parameters of DC current, DC voltage, AC current, AC voltage, PV current, PV voltage and its temperature in CPU using DSP33F. Experimental result can be real-time monitored via connecting the internet as in Fig. 3(b).

According to the previous study [9], authors proposed 3 scenarios depending on the situations of sunlight. Equation models that used in this system are presented as follow:

$$Energy_{generation} = Energy_{load} + Energy_{storage} \quad (1)$$

$$\eta \times \sum(P_1xt_1 + P_2xt_2 + P_nxt_n) = (Pt)_{load} \quad (2)$$

Since PV generates the electricity from the sunlight in order to support load requirement and to reserve the remaining electricity in form of battery. The equation for energy from PV generation is in (1). Whereas Energy<sub>load</sub> has been calculated from the load profile of n loads including their η efficiency as in (2).

Energy<sub>generation</sub> comes from the peak power (P<sub>PVpeak</sub>) multiplied by the average time (t<sub>avg</sub>) that PV can produce the electricity as in (3). According to [10], the average time that PV can produce the electricity in Bangkok is approximately 4.23 hours/day.

$$P_{PVpeak} \times t_{avg} = (Pt)_{gen} \quad (3)$$

Energy<sub>storage</sub> has been calculated from Energy<sub>generation</sub> minus Energy<sub>load</sub>, however, some losses such as Ohmic loss is included in those energy components.

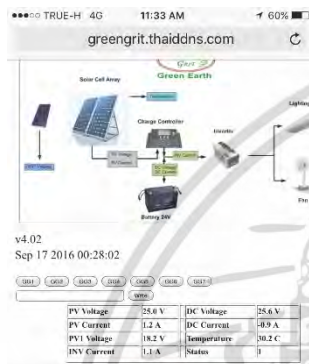
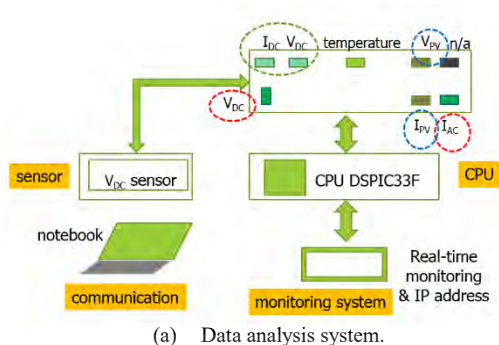


Fig. 3. Zero energy consumption for small building system.

### III. EXPERIMENTAL RESULT

This paper monitored all key parameters, which are DC current, DC voltage, AC current, AC voltage, PV current, PV voltage and its temperature, during September 17 – October 24, 2016. The monitoring system could not record all information automatically, so all parameters were monitored manually. In addition, this paper could not monitor the data during the late nights. From these reasons, this paper proposes the selected sample the record, which is the most completed data, then analyzes the result from the average monitored data.

Figure 4 presents the one day load profile, the area under each curve represents the energy from each parameter in the system. All key parameters have been monitored and recorded in every 30 minutes. Having considered the energy balance, the efficiency of charger and inverter are required to calculate energy balance of this system to support  $Energy_{gen}$  to equal to  $Energy_{loads}$  plus  $Energy_{storage}$ .

Figure 4a presents generated energy, load energy and storage energy, which are 1,394 Wh, 991 Wh, and 403 Wh respectively. On another day, Figure 4b shows that it is

necessary to use the backup mode to support load demand in the daytime.

### IV. ANALYSIS

According to the previous study, the proportion of PV energy : load energy : battery energy had been forecasted at 2:1:1 on the full-day sunshine. However, the result from the previous part shows that the proportion becomes 7:5:2, which totally different from the previous study. This means this system can generate the sufficient electricity to support load requirement. After delivered the electricity to support load demand, remaining electricity can be preserved in form of battery.

Although, this system can be monitored via a web server application, it is necessary to check the monitoring result manually. The calculation would be more accurate if this system has been monitored automatically.

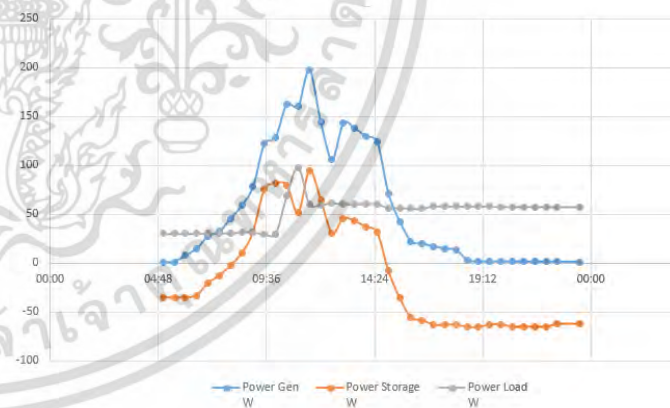
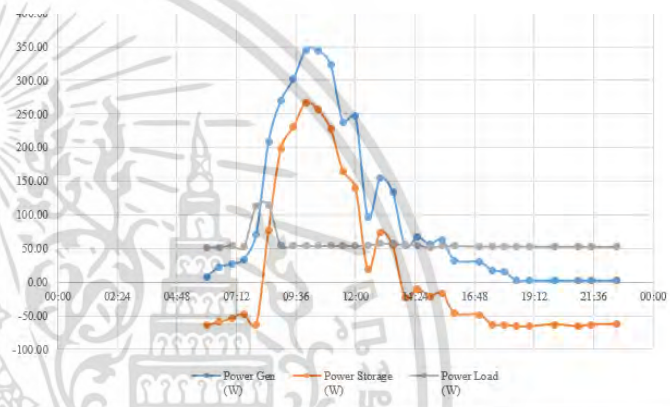


Fig. 4. Load profile.

## V. CONCLUSION

Zero energy consumption for small building system is presented, which energy consumption is up to 1,500 kW/day in Bangkok. According to the result, this system can generate the electricity to support the load requirement and can preserve the remaining electricity in battery.

After the zero energy consumption small building system concept has been proposed, this paper presents the experimental results that come from the real time monitoring system. Having considered on the energy balance from the best sample, the proportion of PV energy : load energy : battery energy becomes 7:5:2, which means this system can preserve the electricity in the battery.

## ACKNOWLEDGMENT

Authors would like to thank Sa-ard Chit Mediation Home that permit all installations and permit to collect all valuable data.

## REFERENCES

- [1] K. Meah, S. Ula and S. Barrett, "Solar photovoltaic water pumping - opportunities and challenges," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 1162-1175, 2008.
- [2] F. Alrashed, M. Asif, "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1395-1403, 2015.
- [3] M. Keesee, "Setting a new standards zero energy home in the US," *RE Focus*, vol. July/August, pp. 26-28, 2005.
- [4] I. Satori, A. Napolitano and K. Voss, "Net zero energy buildings: A consistent definition framework," *Energy and Buildings*, vol. 48, pp. 220-232, 2012.
- [5] J. Kijjanuluck, "Success factors in achieving Energy Efficiency Goals and Targets: Energy Efficiency Strategy for Thailand for the next 20 years," Ministry of Energy, 2015.
- [6] EPPO, "Energy Efficiency Plan; EEP 2015," 2015. [Online].
- [7] D. Fong, "Sustainable Energy Solutions for Rural Areas and Application for Groundwater Extraction," Global Energy Network Institute, 2014.
- [8] DEDE, 2015.
- [9] N. Chandanachulaka, W. Khan-ngern, "Zero Energy Consumption Home Based on Utilization – Pricing Ratio, Using Solar System in Bangkok," in *13th ECTI-CON*, Chiangmai, Thailand, 2016.
- [10] "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].



ECTI-CON 2016



RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LANNA, CHIANG MAI, THAILAND.

*This certificate is awarded to  
Nidchabendha Chandanachulaka  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*

*for paper entitled  
Zero Energy Consumption Home Based on Utilization - Pricing Ratio, Using Solar  
System in Bangkok.*

*Presented in  
2016 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics,  
Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2016).*

*(Dr. Kitchar Chaitanu)  
General co-chair  
Dean Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Lanna*

*(Professor Dr. Prayoot Akkaraekthalin)  
General chair  
President, ECTI Association*

*(Assoc. Prof. Dr. Nummyoot Songthanapitak)  
President  
Rajamangala University of Technology Lanna*

ECTI-CON 2016 June 28<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup> at Chiang Mai, THAILAND.

**Paper ID: 1084**

# Zero Energy Consumption Home Based on Utilization – Pricing Ratio, Using Solar System in Bangkok

Nidchabendha Chandanachulaka and Werachet Khan-ngern  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

**Abstract**—This paper presents the design of zero energy consumption on a stand-alone photovoltaic (PV) system for a small residential house. The load requirement which is less than 1,500 Wh per day located in Bangkok. System structure composes of three main parts: 600 W PV system, 2880 Wh energy storage of battery and charging system, and the 1 kW inverter for AC use. The proposed design process starts with the 3 scenarios of load requirement on full sunshine, half day sunshine and no sunshine conditions including the proposed model on the appropriate proportion of generated energy : load energy : storage energy which becomes 2:1:1 while using the best scenario. Experimental results are remote monitored via a Web server application in real-time. The analysis of the zero energy consumption has been done all the solar conditions. The result from proposed model has been tested and found that it can be used successfully in stand-alone PV system for a small residential house in Bangkok.

**Keywords**—Photovoltaic; stand-alone system; zero energy consumption; utilization – pricing Ratio

## I. INTRODUCTION

Since the concept of zero energy buildings has gained world wide attention and now become a target for many designs of buildings [1]. The term 'zero energy buildings', also recognized as net zero energy buildings are about the buildings that have zero carbon emissions on annual basis. They must minimize the daily energy requirements and generate energy by using renewable resources [2]. According to P. Torcellini et al [3], there are several definitions of zero energy buildings with a difference in usage between Europe and North America. In North America, zero energy buildings usually refer to the building that can provide the amount of energy by on-site renewable energy sources and must equal to the amount of energy used in the building. On the other hand, the term zero energy building that used in Europe can be defined as zero net energy emission, zero carbon building, or zero emission buildings. This means the carbon emissions that generated from fossil fuel are balanced by the amount of on-suite renewable production.

The concept of zero energy buildings is completely about minimizing the required energy use, particularly energy that generated from fossil fuel and implementing the use of

renewable energy resource to meet the energy demand. Supported by Danny H.W. Li et al [4], zero energy buildings have two design strategies – (i) minimizing the needs for energy use in the buildings, and (ii) adopting renewable energy and other technologies to meet the minimal energy needs.

It could be stated that there are many ways to minimize the use of energy in the building. Energy consumption can be minimized by applying new technologies in the buildings such as wall materials, insulation materials, high efficient air conditioning system or solar lighting which lead to meet zero energy building designs [5].

Farajallah Alrashed [6] mentioned that zero energy buildings actually rely on renewable energy to meet their energy needs, therefore, it sounds important to have sufficient and appropriate renewable resources to sustain the energy demands and Photovoltaic or PV seems to be one of the most sustainable energy generation technologies for zero energy building [7].

Next, Section II introduces zero energy home reviews. The design concept of zero energy consumption home is proposed in Section III. The system setup and testing result are presented in Section IV. Lastly, the conclusion is in Section V.

## II. ZERO ENERGY CONSUMPTION HOME REVIEW

Since M. Iqbal [8] expressed that zero energy buildings may or may not be grid connect, it is possible to state that zero energy consumption home could be an off-grid buildings which do not consume any fossil fuels and renewable energy must be used in zero energy consumption home in order to replace the use of fossil. In addition, the appropriate size of energy storage is required to preserve the energy that generated from renewable resources. However, there are many studies have presented that an off-grid PV system is viable in rural areas and remote locations.

Kaka Meah et al [9] designed PV water pumping for remote areas and found that solar water pumping has a cost effective as well as it is an environmental friendly method to pump water in remote areas. It can stated that solar water pumping system has challenges in terms of technology, economic, and environment

particularly in developing countries. To minimize the investment cost, it is possible to use the local resources such as materials, skills, and finances, therefore, an off-grid PV system can be competed with the conventional diesel water pumping system [10].

Abd El-Shafy A. Nafeh [11] designed an off-grid PV system to provide the electricity for a single residential household in a remote site of Sinai Peninsula in Egypt. As a result of life cycle cost analysis, the author presented that electrifying a remote household using PV system could benefit and proper for long-term investments.

Abdul Ghafoor et al [12] designed an off-grid PV system for electrification of a single residential household in Pakistan. Their design based on the residential house which is the low energy demand without any high energy consumptions such as air conditions. The electrical load requirement in this design consisted of 5 lamps, 1 refrigerator, 1 washing machine, 1 TV and 2 fans and the average daily energy demand of this house was 5.90 kWh per day. At the end, the authors concluded that the unit cost of electricity that produced from an off-grid system is lower than the unit cost that charged from the electric supply. Therefore, the authors stated that an off-grid PV system is both economically and technically feasible for low energy demand users in Pakistan.

Guda H.A. et al [13] provided a case study of an off-grid PV system for the 3 bedroom bungalow in Bauchi, Nigeria, and the residential daily energy demand was 6.5 kWh per day. The authors concluded that the success of each off-grid PV system depended on different factors such as weather condition, solar irradiance, load profile, and geographical location. However, the most important requirements for a storage for off-grid PV system are low cost, long life time with low maintenance, high energy efficiency, self-discharging and easy operation [14].

Comparing an off-grid PV system with other conventional alternative systems such as diesel-powered system, Kolhe et al [15] analyzed the energy demand from PV and diesel generators for a school through the sensitivity analysis by using life cycle cost and concluded that an off-grid PV system is the most feasible powered system because it could provide the lowest cost option for minimal power using in the school.

### III. PROPOSED ZERO ENERGY CONSUMPTION HOME SYSTEM

The main components of zero energy consumption home system consists of PV arrays, solar charger controller, battery, and inverter as presented in Figure 1.

#### A. PV arrays

Photovoltaic power generation is the process that directly generates the electricity from the daylight, therefore, PV arrays is the most important component in the system. Polycrystalline Silicon has been selected for this designed system. The electrical performances of selected PV array is shown in Table I.

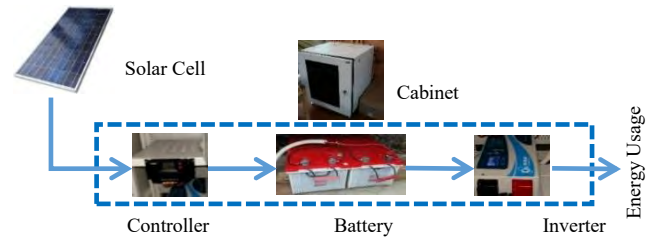


Fig. 1. The zero energy consumption home system components.

TABLE I. ELECTRICAL PERFORMANCE OF PV ARRAYS

Electrical Performance		
Max. Power	Pmax	300 W
Operating Voltage	Vmp	36.7 V
Operating Current	Imp	8.17 A
Open Circuit Voltage	Voc	44.4 V
Short Circuit Current	Isc	8.99 A

#### B. Solar charger controller

The solar charger controller manages the power flow from the PV arrays to battery and to prevent the battery from being overcharged [13].

#### C. Battery

The battery is charged during the sunshine hours and used to supply the load during the night time and no daylight hours. It is necessary to have the appropriate size of energy storage that used in the of-grid or stand-alone side.

#### D. Power inverter

The main activity of the power inverter is to convert the direct current (DC) into the alternating current (AC) at 220 volt. Pure sine wave power inverter is selected to use because it suites for the continuous load and could generate AC load directly. Table 2 provides the information of selected power inverter.

TABLE II. INVERTER PERFORMANCES

Inverter Performance	
Inverter Mode	
Related Power	1000 W
DC Input	24 VDC
AC Output	220VAC+35%, 50Hz
AC Charger Mode	
AC Input	220VAC+35%, 50Hz
AC Output	220VAC+5%, 50Hz
AC Charge Current (optional)	0A 5A 10A 15A 20A 30A
Working Mode (optional)	
Solar First, Mains First, Save Mode	

#### E. Energy demand for a residential house

During 2010-2014, Bangkok has the average solar radiance of 5.84 kW/m<sup>2</sup>-day as shown in Figure 2 [16]. It can be

observed that the daily solar radiation in Bangkok has a peak in April 2012, while the daily temperature reached 40 degree Celsius. Also, the daily solar radiation has slightly dropped during the rainy season, July – October. Therefore, the high temperature does not much affect on solar radiation.

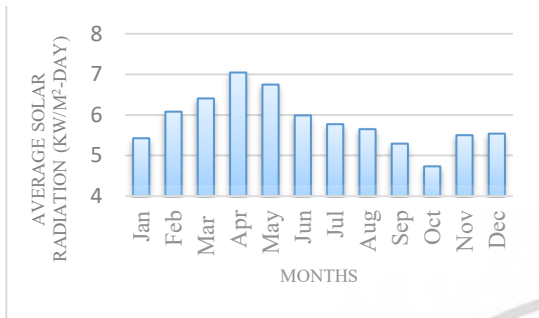


Fig. 2. The average solar radiation in Bangkok during 2010-2014.

TABLE III. LOAD REQUIREMENTS

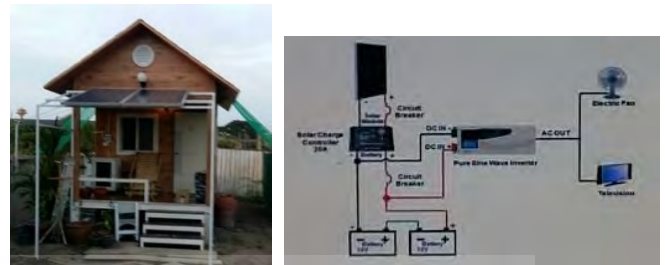
Equipment	No. of equipment	Power of Equipment (W)	Daily use (h)	Energy required (kWh/d)
Light 1	1	12	1	0.012
Light 2	1	12	1	0.012
Light 3	1	12	12	0.144
Fan	1	58	18	1.044
Computer	1	50	1	0.05
Total				1.262

In many households in Thailand, energy demand is small. People just need electricity for their basic needs such as lights, TV for news, such as a fan during hot weather. They use electricity just a few hours at night. Not only people who are living in rural areas, low income people in Bangkok also concern about how to minimize the use of energy in their household.

Therefore, this paper focuses on a small residential house with less than 1,500 Wh energy demand and without any high energy consumption usages such as air condition or washing machine. The proposed residential house is an off-grid PV system for electrification, located in Meanburi district, Bangkok. Its size is 3m x 7.5 m with AC supply system. In addition, this paper targets that the break-even must be reached within 15 year. The load requirement for this residential house is 1.262 kWh/day as indicated in Table 3.

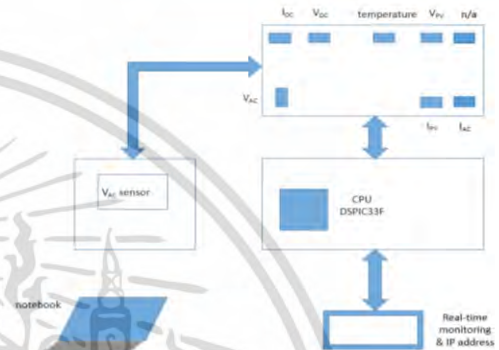
In addition, this zero energy consumption home system also concerns the utilization-pricing ratio. The result from this paper will be used in the small residential house that require the electricity for basic needs and this system must be worth for investment as this paper targets that the break-even must be reached within 15 year. There are 3 scenarios, depending on the situations of sunlight, which are 1) full-day sunlight, 2) half-day sunlight and 3) no sunlight.

#### IV. THE ZERO ENERGY CONSUMPTION HOME SYSTEM SETEUP AND RESULTS



(a) Pilot project home.

(b) system monitoring.



(c) data analysis system.



(d) hardware of data analysis system.

PV Voltage	0.0 V	DC Voltage	24.6 V
PV Current	0.0 A	DC Current	0.1 A
AC Voltage	1253 V	Temperature	26.2 C
AC Current	0 A	Status	0

(e) example of data monitoring.

Fig. 3. Zero energy consumption home system.

The data analysis system of zero energy consumption home composes of sensors, CPU, communication and monitoring are shown in Figure 3. The zero energy consumption home size of 22.5 m<sup>2</sup> shown in Figure 3a where the PV is attached at the south-north direction with a slope of 14 degree. The energy and temperature parameter are monitoring in Figure 3b. The diagram and prototype of data analysis system are shown in Figure 3c and 3d respectively where the PV parameters of DC voltage, DC current, PV temperature, AC voltage and AC current from inverter will be calculated in CPU using DSP33F.

The monitoring of key information of energy is shown in Figure 3e. The data can be monitoring at any location via the internet system. The remote data can be nearly real-time analyzed.

The zero energy consumption model are expressed as follows:

#### A. Equations

As the concept of off-grid PV system, the electricity that generated from PV power generation must be sufficient to support the energy demand and must be able to preserve in the battery in order to use the electricity when the PV system cannot generate the electricity because of no sunshine. The equation for the generated energy is shown in (1)

$$\text{Energy}_{\text{gen}} = \text{Energy}_{\text{load}} + \text{Energy}_{\text{storage}} \quad (1)$$

$\text{Energy}_{\text{load}}$  has been calculated from the load profile as shown in (2)

$$\eta \times \Sigma(P_{1xt_1} + P_{2xt_2} + P_{nxt_n}) = (Pt)_{\text{load}} \quad (2)$$

$\text{Energy}_{\text{gen}}$  has been calculated from peak power multiplied by voltage and time that PV arrays could generate the electricity from the sunshine hour as shown in (3)

$$PV_{\text{peak}} \times t_{\text{avg}} = (Pt)_{\text{gen}} \quad (3)$$

This paper assumes that PV arrays can generate the electricity for 4.23 hours/day [17].  $\text{Energy}_{\text{storage}}$  has been calculated from  $\text{Energy}_{\text{gen}}$  minused by  $\text{Energy}_{\text{load}}$  as shown in (4)

$$(Pt)_{\text{gen}} - (Pt)_{\text{load}} = (Pt)_{\text{storage}} \quad (4)$$

Noted that, losses in the system such as Ohmic loss has not been calculated yet.

#### B. Scenario 1: full-day sunshine

Having calculated  $\text{Energy}_{\text{gen}}$  on the sunshine day, there are 2 PV arrays, each array can generate 300 W. It is observed that PV array can generate the electricity for 4.23 hours/day in Bangkok [18]. Basically, PV arrays could generate 2,538 Wh. After the electricity passes the controller, with 95% efficiency, the remaining electricity becomes 2,411 Wh. Next,  $\text{Energy}_{\text{storage}}$  is calculated by deduct required load, which is 1,086 Wh as shown in Figure 4a and the forecasted load profile is shown in Figure 4b.

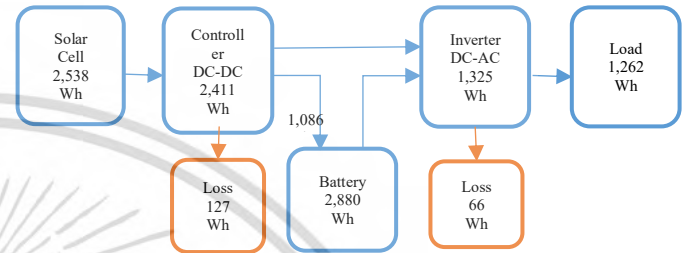
#### C. Scenario 2: limited or half-day sunshine

In this scenario, PV arrays are supposed to generate electricity for 2.115 hours day, so PV could generate 1,272 Wh. After electricity passes the controller, the remaining electricity becomes 1,208 Wh which is not enough for the 1,262 Wh load requirement. It is necessary to use 117 Wh from the save energy in battery. Therefore, it can conclude that if battery is

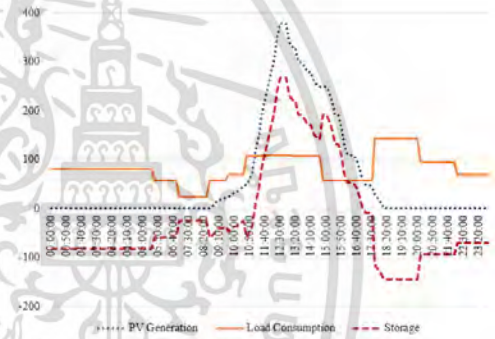
full charged and sunlight is available only few hours, it can use save energy in the battery to support load requirement for 19.4 days as shown in Figure 5a and the forecasted load profile is shown in Figure 5b.

#### D. Scenario 3: no sunshine

In the raining day that PV array cannot generate electricity, it is necessary to use the energy that saved in battery. If the battery is full charged, it is possible to use the energy for 1.7 days as shown in Figure 6a and the forecasted load profile is shown in Figure 6b.



(a) Calculation.



(b) Forecasted load profile.

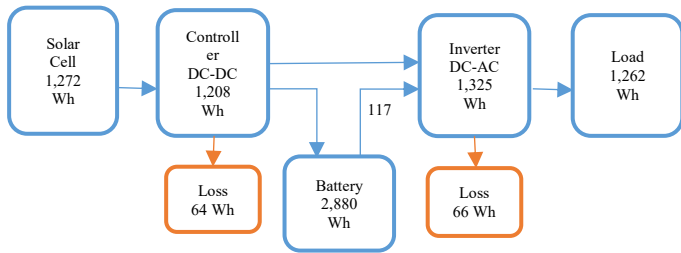
Fig. 4. Full-day sunlight.

#### E. Energy ratio

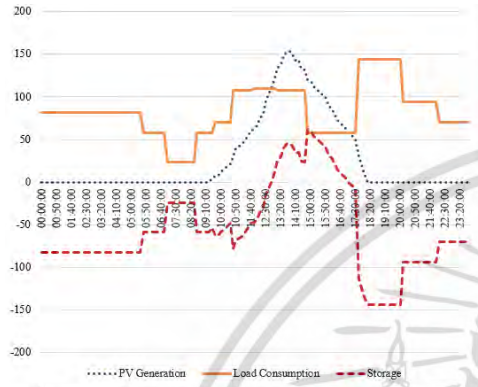
Full-day sunlight is the best case that used to find the energy ratio. This system can generate electricity 2,538 Wh with 1,262 Wh load requirement and the remaining 1,086 Wh is saved in the battery. Without concerning other losses in the system, such as Ohmic loss,  $\text{Energy}_{\text{gen}} : \text{Energy}_{\text{load}} : \text{Energy}_{\text{storage}}$  will become 2:1:1.

#### F. Utilization-pricing analysis

The cost summary is presented on Table 4. If the energy costs 4 THB per unit, it can calculated that the energy cost for 2,538 Wh is 10.152 THB/day or 3,705.48 THB/year. The break even for this system is 16.39 years, without other factors concerns such as government subsidies or carbon footprint.

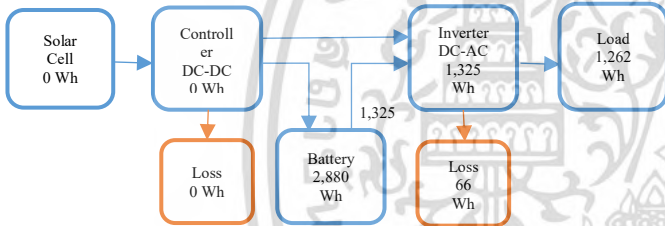


(a) Calculation.

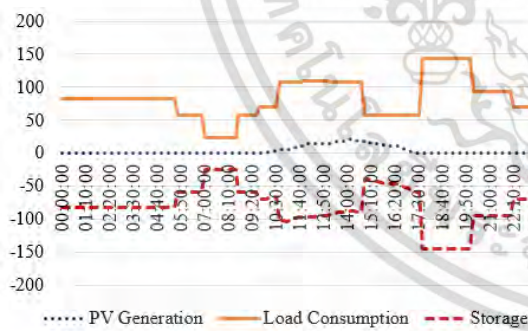


(b) Forecasted load profile.

Fig. 5. Half-day sunlight.



(a) Calculation.



(b) Forecasted load profile.

Fig. 6. No sunlight.

Having considered on utilization by changing battery size; 1) standard: 2 batteries (12V 120Ah), 2) long-storage time: 4 batteries (12V 120 Ah), and short-storage time: 2 batteries (12V 80Ah), the system cost will be changed as presented on Table 5.

TABLE IV. SYSTEM COST SUMMARY

Equipment	Unit	THB/Unit	Total (THB)	USD*	%
<b>1. Generation</b>					
PV Arrays	2	6,500	13,000	360.11	21.40
<b>2. Storage</b>					
Battery (12 x 120Ah)	2	5,200	10,400	288.09	17.12
Charger (20A)	1	1,040	1,040	28.81	1.71
<b>3. Inverter DC-AC</b>					
Inverter DC-AC	1	7,400	7,400	204.99	12.18
<b>4. Installation</b>					
19 inch cabinet	1	7,500	7,500	207.76	12.35
Roof structure	1	7,000	7,000	193.91	11.52
<b>5. Expenses</b>					
Electric installation		6,400	6,400	177.29	10.54
Labor cost		8,000	8,000	221.61	13.17
Total			60,740	1,682.55	100.00

\*Currency exchange 1 USD = 36.01 THB as of 4 December 2015

TABLE V. COMPARING COST OF DIFFERENT BATTERY SIZES

Equipment	Unit	THB/unit	Case 1 (THB)	Case 2 (THB)	Case 3 (THB)
<b>1. Generate</b>					
PV arrays (300 W)	2	6,500	13,000	13,000	13,000
<b>2. Storage</b>					
Battery (12 x 120Ah)	2	5,200	10,400		
Battery (12 x 80Ah)	4	5,200		20,800	
Battery (12 x 80Ah)	2	3,600			7,400
Charger (20A)	1	1,040	1,040	1,040	1,040
<b>3. Inverter DC-AC</b>					
Inverter DC-AC	1	7,400	7,400	7,400	7,400
<b>4. Installation</b>					
19 inch cabinet	1	7,500	7,500	7,500	7,500
Roof structure	1	7,000	7,000	7,000	7,000
<b>5. Expenses</b>					
Electric installation		6,400	6,400	6,400	6,400
Labor cost		8,000	8,000	8,000	8,000
Total cost			60,740	71,140	57,740

Table 6 compares cost of different battery sizes and their capacities and could be stated that Case 1 suits for the area in the central of Thailand or Bangkok because they have the stable solar radiation. Case 2 suits for South of Thailand, which has

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

long rainy season and Case 3 suits for the North and the Northeastern of Thailand because of less raining day with high solar radiation, when comparing to different regions of Thailand.

TABLE VI. COMPARING COST OF DIFFERENT BATTERY SIZES AND CAPACITIES

Case	Battery capacity (Wh)	Cost (THB)	Day
1	2,880	60,740	2.28
2	5,760	71,140	4.56
3	1,920	57,740	1.52

## V. CONCLUSION

The stand-alone photovoltaic (PV) system for a small residential home, which load requirement is less than 1,500 Wh per day in Bangkok, based on the concept of zero energy consumption was presented. This design system shows that the possibility of the stand-alone PV system for a small residential home can be done successfully in all weather conditions. The model of appropriate proportion of generated energy: load energy: storage energy of 2:1:1 ratio is proposed. In case of a full day sunshine is operated, battery is run on the storage mode. In a half day sunshine, the battery can be run either storage mode or discharge mode depended on the load condition. The real situation of no sunshine occurs for two days, the battery discharges up to 1,800 Wh. This storage energy system can be sustainability operated. It is confirmed that three scenario of sunshine, the proposed model can be exactly run in the real situation. The utilization-pricing ratio is analyzed. This ratio is one of key parameter to make a decision on the investment by using break even for this system is 16.39 years, without any government subsidies or carbon footprint.

However, having considered on utilization-pricing ratio, it could be suggested that battery size also depends on the user requirements. Although this study presents that PV arrays can generate enough electricity for the residential house that require low energy demand, if the user requires to secure on electricity, it is possible to use the large size of battery.

In addition, this paper will use a graphical user interface or GUI for the data monitoring and logging system which enhances a user friendly approach. The result will be published in a future publication.

## ACKNOWLEDGMENT

Authors would like to thank Dr. Bhirasak Vorasutharoth to permit and support the installation of PV system, battery, inverter and data analysis system to collect useful data in his meditation home.

## REFERENCES

[1] A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, "Zero energy building – A review of

definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 971-979, 2011.

[2] Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides, "European smart cities: The role of zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society*, vol. 15, pp. 86-95, 2015.

[3] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, "Zero energy buildings: A critical look at the definition," in *To be presented at ACEEE Summer Study Pacific Grove, California August 14-18, 2006*, 2006.

[4] Danny H.W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam, "Zero energy buildings and sustainable development implications - A review," *Energy*, vol. 54, pp. 1-10, 2013.

[5] Tanakorn Wongwuttanasatian, Denpong Soodphakdee, Narinporn Malasri, Kittichai Triratanasirichai, "A demonstrated net zero energy building in Thailand: The way for sustainable development in buildings," *Advanced Materials Research*, vol. 1119, pp. 741-747, 2015.

[6] Farajallah Alrashed, Muhammad Asif, "Analysis of critical climate related factors for the application of zero-energy homes in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1395-1403, 2015.

[7] A. Scognamiglio, G. Adinolfi, G. Graditi, E. Sarett, "Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: enabling the smart city operation," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1171-1174, 2014.

[8] M. Iqbal, "A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland," *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 277-289, 2004.

[9] Kala Meah, Steven Fletcher, Sadrul Ula, "Solar photovoltaic water pumping for remote locations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 472-487, 2008.

[10] Kala Meah, Sadrul Ula, Steven Barrett, "Solar photovoltaic water pumping - opportunities and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 1162-1175, 2008.

[11] A. E.-S. A. Nafeh, "Design and economic analysis of a stand-alone system to electrify a remote area household in Egypt," *The Open Renewable Energy Journal*, vol. 2, pp. 33-37, 2009.

[12] Abdul Ghafoor, Anjum Munir, "Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 496-502, 2015.

[13] Guda H.A., Aliyu U.O., "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 34-44, 2015.

[14] R.K. Akikur, R.Saidur, H.W. Ping, K.R. Ullah, "Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review," *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 27, pp. 738-752, 2013.

[15] Mohanlal Kolhea, Sunita Kolhea, J.C. Joshi, "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India," *Energy Economics*, vol. 24, pp. 155-165, 2002.

[16] DEDE, 2015.

[17] "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].

[18] T. Nation, "Time to use the resources we have in abundance," 2 5 2013. [Online]. Available: <http://www.nationmultimedia.com/opinion/Time-to-use-the-resources-we-have-in-abundance-30205228.html>. [Accessed 2015].

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวณิชาเบญญา จันทนจุลกะ
วัน เดือน ปีเกิด	12 ตุลาคม 2522 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	179 ถนนลาดพร้าว 35 แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2547 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพัฒนาระบบและวางแผนเมือง University College London, University of London 2548 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม University College London, University of London
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2548-2550	ตำแหน่งเจ้าหน้าที่พัฒนาธุรกิจ บริษัทกัลป์ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด - วิเคราะห์ข้อมูลการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้า
พ.ศ.2550-2552	ตำแหน่งผู้จัดการส่วนพัฒนาธุรกิจ บริษัทซีที อินฟราสตรัคเจอร์ จำกัด - วิเคราะห์ข้อมูลการลงทุนโครงการสาธารณูปโภค
พ.ศ. 2552-2556	ตำแหน่งผู้อำนวยการพิเศษ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน - วิเคราะห์ข้อมูลการลงทุนของ 3 การไฟฟ้า เพื่อนำเสนอต่อคณะรัฐมนตรี
พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน	อาจารย์พิเศษคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้