

การลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงไฟฟ้าพลังงาน  
แสงอาทิตย์ด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
พ.ศ. 2563

การลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงไฟฟ้าพลังงาน  
แสงอาทิตย์ด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงไฟฟ้าพลังงาน  
แสงอาทิตย์ด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม

จุมพล ไชยบิน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันจักรี เล่นวารีย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม
ชื่อผู้เขียน	นายจุมพล ไชยบิน
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัช อรรถเวชกุล

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีนโยบายจากภาครัฐในการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น โดยมีนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าของแหล่งพลังงานต่างๆ จากภาคเอกชน อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy), พลังงานลม (Wind Energy), พลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ทุกภาคส่วนมีเสรีภาพในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองได้มากขึ้น โดยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อใช้เองที่เป็นที่นิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศก็คือการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากก่อสร้างโรงไฟฟ้าได้ง่ายและสามารถมีความคุ้มค่าการลงทุน ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เองมากขึ้นเรื่อยๆ และบางรายมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าและไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อีกทั้งถือว่าเป็นการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรมงานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานและหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เองของตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมหนึ่ง รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำแบตเตอรี่มาใช้ งาน ผลการวิจัยพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 489 หน่วยต่อเดือน เมื่อติดตั้งขนาดแบตเตอรี่ที่ขนาด 20 kWh และสามารถมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการลดการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานพลังงานแสงอาทิตย์ได้

คำสำคัญ : โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, แบตเตอรี่, ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

<b>Title</b>	REDUCE POWER-LOSSES IN POWER SYSTEM FOR USING OF SOLAR POWER PLANT BY ENERGY STORAGE OF THEOPTIMAL BATTERY CAPACITY
<b>Author</b>	Mr. Jumpol Chaiyabin
<b>Degree</b>	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
<b>Advisory Committee Chairperson</b>	Assistant Professor Dr. Yingrak Auttawaitkul

### ABSTRACT

Nowadays, Thailand has a policy from the government to support the production of electricity from renewable energy. The policy is to buy electricity from various energy sources from the private sector such as Solar Energy, Wind Energy, Biogas etc. In addition, it gives the opportunity to all sectors to have more freedom to produce electricity for their own use. The production of electricity from renewable energy for self-use that is popular both in Thailand and abroad is the production of electricity from solar power plants because the power plant construction is easy and can be worth the investment. For the above reasons, electricity users of the Provincial Electricity Authority Industrial factories have installed solar power generation systems for their own use. And some have installed solar power generation systems more than the actual load. Causing electricity to enter the electricity network of the Provincial Electricity Authority, affecting the quality of electricity and not meeting the connection requirements of the Provincial Electricity Authority, it is also considered to be a loss of energy in the electricity production system of solar power plants that need to be used by the industrial factory. This research presents an analysis of energy losses and the suitable battery size of a solar power plant in a self-made electricity system of an example of an industrial plant and economic worthiness analysis in using batteries. The results show that industrial plants can reduce energy loss in the electricity generation system for self-use of solar power plants, about 489 kWh when installing a battery at 20 kWh and can be economically cost-effective Therefore, this research can

be a way to reduce energy loss in the power generation system for self-use of solar power plants.

Keywords : solar power plant, battery, worthiness economy



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากผู้ร่วมงานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ได้กรุณาให้ข้อมูล คำปรึกษา และคำแนะนำอันมีค่า ประกอบกับได้รับคำชี้แนะที่ดีมีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน

ขอขอบคุณบริษัทต่างๆ ที่ให้ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และข้อมูลเทคโนโลยีแบตเตอรี่ อันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยิ่งรัช อรรถเวชกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องในงานวิจัย อีกทั้งดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จุมพล ไชยบิน



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญภาพผนวก.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีของแสงอาทิตย์.....	7
2.1.1 แสงอาทิตย์.....	7
2.1.2 การประมาณพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
2.1.3 การฉายรังสี.....	10
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	10
2.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์.....	17
2.4 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	19
2.4.1 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic).....	19

2.4.2 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal).....	24
2.5 ระบบเก็บกักพลังงาน.....	25
2.5.1 เทคโนโลยีระบบเก็บกักพลังงานชนิดแบตเตอรี่.....	26
2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	37
2.6.1 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period).....	38
2.6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV).....	38
2.6.3 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio: BCR).....	39
2.6.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR).....	40
2.7 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	40
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	51
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	53
3.1 โปรแกรมวิเคราะห์.....	53
3.2 ข้อมูลการวิเคราะห์.....	53
3.2.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าภายในโรงงานภาคอุตสาหกรรม.....	53
3.2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Power Plant : PVP).....	54
3.2.3 โหลดการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม.....	54
3.2.4 แบตเตอรี่ (BESS).....	55
3.3 การหาค่าการสูญเสียพลังงาน.....	55
3.4 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	57
3.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	57
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	59
4.1 การสูญเสียพลังงานและการเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่.....	59
4.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	60
4.3 อภิปรายผลการวิจัย.....	62

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้วิจัย.....	79



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่ว .....	28
ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่นิกเกิล .....	30
ตารางที่ 3 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน .....	31
ตารางที่ 4 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน .....	33
ตารางที่ 5 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่สังกะสี-โบรมีน .....	35
ตารางที่ 6 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์ .....	37
ตารางที่ 7 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค .....	46
ตารางที่ 8 กำหนดความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังและวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้า ....	46
ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ .....	49
ตารางที่ 10 แสดงระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันพิกัด .....	50
ตารางที่ 11 ข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ PVPจ่ายให้กับโหลดและข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า รายชั่วโมง ของโรงงาน .....	54
ตารางที่ 12 สมมติฐานในการศึกษาวิจัย .....	57
ตารางที่ 13 ข้อมูลแสดงการสูญเสียพลังงาน ( $E_{Loss}$ ) และการสูญเสียพลังงานเมื่อเทียบกับพลังงาน การใช้ไฟฟ้า ( $E_G$ ) ในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดของโรงงาน .....	60
ตารางที่ 14 แสดงค่า IRR และ PBP ของโรงงานกรณีหากมีการสูญเสียพลังงาน ไม่สามารถขายไฟฟ้า ได้ .....	61
ตารางที่ 15 แสดงค่า IRR และ PBP ของโรงงาน กรณีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสามารถขายไฟฟ้าได้ ...	62

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค .....	1
ภาพที่ 2 สถานะการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าเพื่อใช้เองจากแหล่งพลังงานต่างๆ เข้ากับระบบไฟฟ้า ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	2
ภาพที่ 3 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand alone system).....	3
ภาพที่ 4 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้า (Grid connected system).....	3
ภาพที่ 5 ตัวอย่างการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งาน จริง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค .....	4
ภาพที่ 6 แสดงสเปกตรัมของแสง.....	7
ภาพที่ 7 รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนที่ผ่านเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ .....	8
ภาพที่ 8 รังสีแสงอาทิตย์ .....	9
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบรังสีอาทิตย์กับพื้นที่รับรังสี .....	10
ภาพที่ 10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆ.....	12
ภาพที่ 11 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี.....	17
ภาพที่ 12 ลักษณะเซลล์ไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด .....	27
ภาพที่ 13 ระบบการทำงานของแบตเตอรี่ .....	27
ภาพที่ 14 ลักษณะของแบตเตอรี่ นิกเคิล-แคดเมียม.....	29
ภาพที่ 15 ลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน .....	31
ภาพที่ 16 หลักการทำงานของหนึ่งเซลล์เคมีในแบตเตอรี่โซเดียม-ซัลเฟอร์.....	32
ภาพที่ 17 แสดงแบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน.....	34
ภาพที่ 18 แสดงองค์ประกอบและการทำงานของแบตเตอรี่สังกะสี-โบรมีน .....	35
ภาพที่ 19 แสดงองค์ประกอบและการทำงานของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์ .....	36

ภาพที่ 20 แสดงความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through) ..... 50

ภาพที่ 21 รูปแบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่ ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร..... 53

ภาพที่ 22 ปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของ PVP และปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ของโรงงาน ..... 56

ภาพที่ 23 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 58

ภาพที่ 24 กราฟแสดงช่วงเวลาการสูญเสียพลังงานในช่วงวันธรรมดา และวันหยุดของโรงงาน..... 59



## สารบัญภาพผนวก

	หน้า
ภาพผนวกที่ 1 รายละเอียดซอฟต์แวร์ .....	69
ภาพผนวกที่ 2 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ .....	70
ภาพผนวกที่ 3 ข้อมูลแผงโซลาร์เซลล์ .....	73
ภาพผนวกที่ 4 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของโรงงาน วันที่ 12 - 18 มกราคม 2561 .....	75
ภาพผนวกที่ 5 ข้อมูลโหลดโรงงาน วันที่ 12 - 18 มกราคม 2561 .....	77

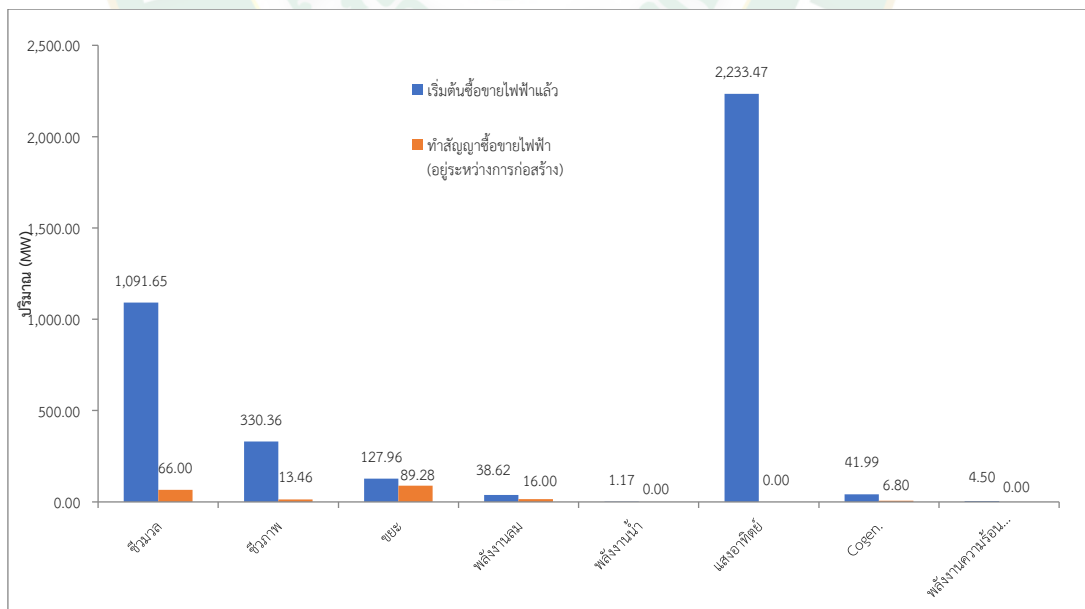


# บทที่ 1

## บทนำ

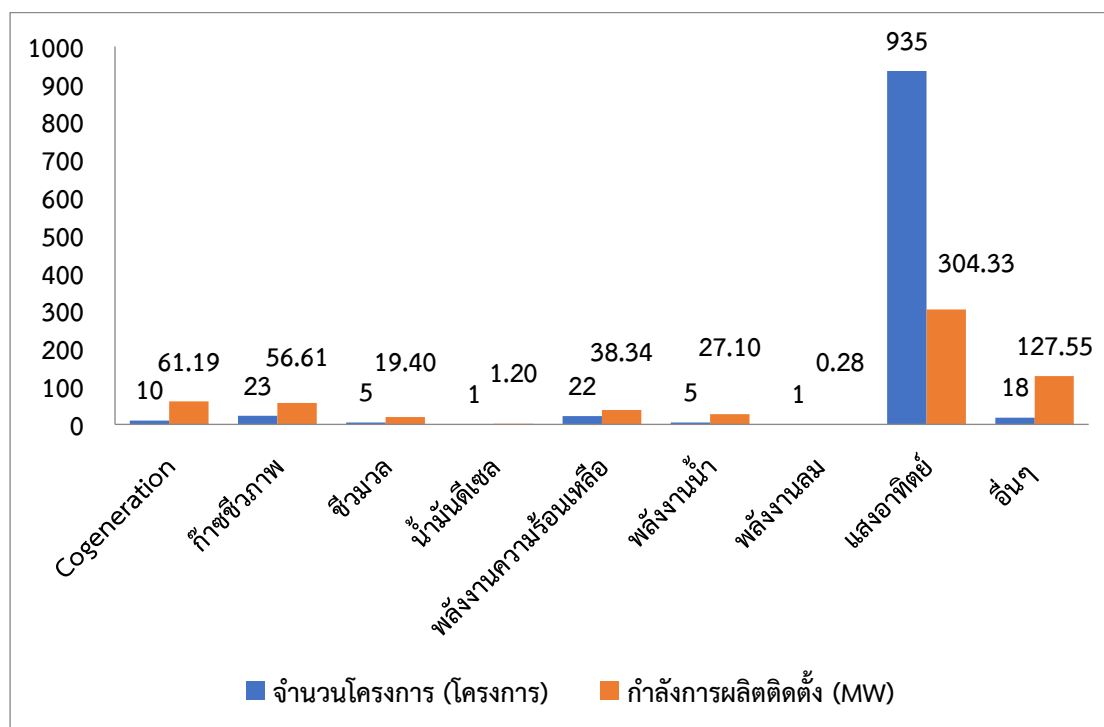
### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีนโยบายจากภาครัฐในการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น โดยมีนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าของแหล่งพลังงานต่างๆ จากภาคเอกชน อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy), พลังงานลม (Wind Energy), พลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Biogas), พลังงานจาก ชีวมวล (Biomass), พลังงานจากขยะ (Waste) เป็นต้น ซึ่งภาครัฐให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ได้แก่ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นผู้รับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ขนาดไม่เกิน 10 MW ตามประกาศการรับซื้อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ซึ่งคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) จะเป็นผู้ออกประกาศระเบียบหลักเกณฑ์การรับซื้อไฟฟ้าต่างๆ และจากข้อมูลสถานะภาพการรับซื้อไฟฟ้า (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2562) ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าที่เป็นที่นิยมและขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมากที่สุดในปัจจุบันคือ การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย 2,233.47 MW เนื่องจากก่อสร้างโรงไฟฟ้าได้ง่ายและสามารถมีคุ้มค่าการลงทุนได้



ภาพที่ 1 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

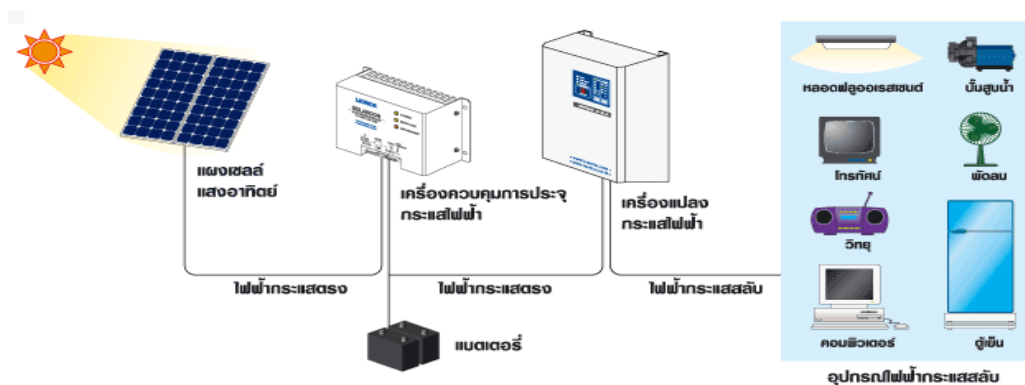
นอกจากนี้ยังพบว่าสถานะการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองเป็นที่นิยมและมากที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สถานะการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้าเพื่อใช้เองจากแหล่งพลังงานต่างๆ  
เข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากการที่การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการแข่งขันทางการตลาดของผู้ผลิตสินค้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำให้การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand alone system) เป็นรูปแบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถทำงานโดยอิสระ ผลิตไฟฟ้าใช้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าสำหรับอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่

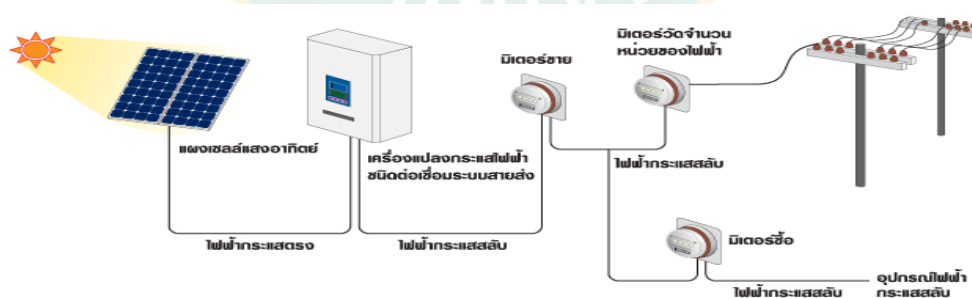


ภาพที่ 3 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand alone system)

ที่มา : LEONICS (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid connected system) เป็นรูปแบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องเชื่อมต่อไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 4 ซึ่งสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ดังนี้

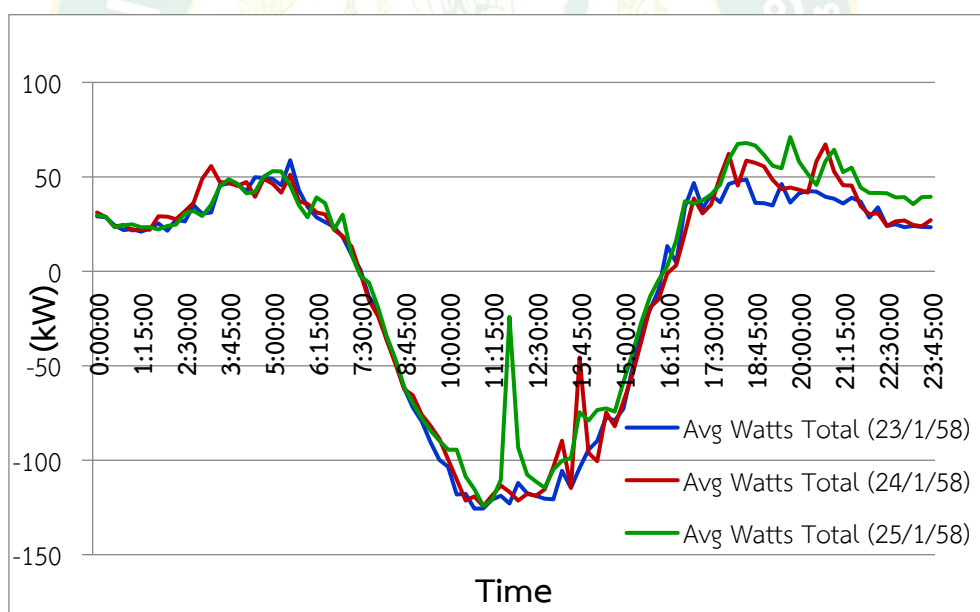
- 1.) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าตามประกาศการรับซื้อไฟฟ้าของ กกพ. เป็นคราวๆ ไป
- 2.) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อใช้เองและมีการรับไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายในบางช่วงเวลาเพื่อให้เพียงพอกับภาระ (Load) การใช้งาน ซึ่งต้องมีการขออนุญาตเชื่อมต่อจากเจ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้าด้วย



ภาพที่ 4 ตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid connected system)

ที่มา : บริษัท เอ็มพีซี พิวเจอร์ เอ็นเนอจี้ เซฟ จำกัด (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อใช้เองนั้น ปัจจุบันพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นประเภทบ้านอยู่อาศัย (Residential), ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก (Small general service), ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง (Medium general service), ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่ (Large general service), ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร (Non-Profit organization: Worship places) เป็นต้น มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เองมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ 10 ปีที่ผ่านมา ประกอบกับสามารถมีความคุ้มค่าในการลงทุนและติดตั้งใช้งานได้ง่าย แต่ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค บางรายมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เองไม่เหมาะสม กล่าวคือมีขนาดการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากภาพที่ 5 พบว่าผู้ใช้ไฟฟ้ามีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริง ทำให้ในช่วงเวลาประมาณ 7.30-16.00 น. มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า ส่งผลกระทบทางเทคนิคต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และไม่ปฏิบัติตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้า ณ

ปัจจุบัน ซึ่งบังคับใช้กับผู้ขอใช้บริการที่เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญของข้อกำหนดการเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ระบุไว้ดังนี้

1. ปริมาณกำลังไฟฟ้ารับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า สำหรับระบบจำหน่าย 22/33 kV

1.) ระบบจำหน่าย 22 kV ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 8 MW/วงจร

2.) ระบบจำหน่าย 33 kV ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 10 MW/วงจร

โดยปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมที่รับซื้อในระบบจำหน่าย 22/33 kV รวมทุกวงจร จะต้องไม่เกิน 75% (หน่วยเป็นกิโลวัตต์-แอมแปร์) ของพิกัดสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแต่ละลูกของสถานีไฟฟ้า”

2. “5.1.2 การคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulation) ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องไม่ทำให้แรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยหากผู้ขอใช้บริการทำให้แรงดันอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐาน ผู้ขอใช้บริการจะต้องเป็นผู้ปรับปรุงหรือควบคุมการเดินเครื่องเพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค”

3. “7.1.15 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องออกแบบระบบไม่ให้เกิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งต้องไม่รับกระแสไฟฟ้าจนทำให้ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกิดความเสียหายหรือกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยอื่น”

จากรายละเอียดข้อ 1-3 ของข้อกำหนดการเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายไฟฟ้าเห็นได้ว่าเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ามีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริงจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และจะส่งผลกระทบต่อขีดจำกัดสายจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กล่าวคือ หากมีการรับซื้อไฟฟ้าที่ 8 MW ต่อวงจร สำหรับระบบจำหน่าย 22 kV ตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อฯ แล้ว ต่อมามีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในวงจรไฟฟ้าของระบบจำหน่ายมากๆ ก็จะทำให้มีกระแสเกินพิกัดสายจำหน่ายและเกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ การจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจนอาจเกินมาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และที่สำคัญการที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าภาระ (Load) ที่ใช้งานจริงทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ถือว่าผิดข้อกำหนดการเชื่อมต่อฯ ตามข้อ 3 และเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ซึ่งควรจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าและหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการเก็บกักพลังงานเพื่อลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง รวมถึงวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้งานแบตเตอรี่ ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม
- 2) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง และหาค่าขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการเก็บกักพลังงาน
- 3) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้แบตเตอรี่ เพื่อเก็บกักพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ในกรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- 2) ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) จำลองการทำงานการแก้ไขปัญหาการลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DigSILENT PowerFactory
- 4) ศึกษาหาค่าขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการกักเก็บพลังงานเพื่อลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการนำแบตเตอรี่มาใช้งาน
- 5) เปรียบเทียบผลการศึกษาทางด้านวิศวกรรม ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และวิเคราะห์ผลการแก้ไขปัญหาการลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้วิธีการใช้งานแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง
- 2) ได้แนวทางการเลือกขนาดใช้งานของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการกักเก็บพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง
- 3) ได้แนวทางการลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง

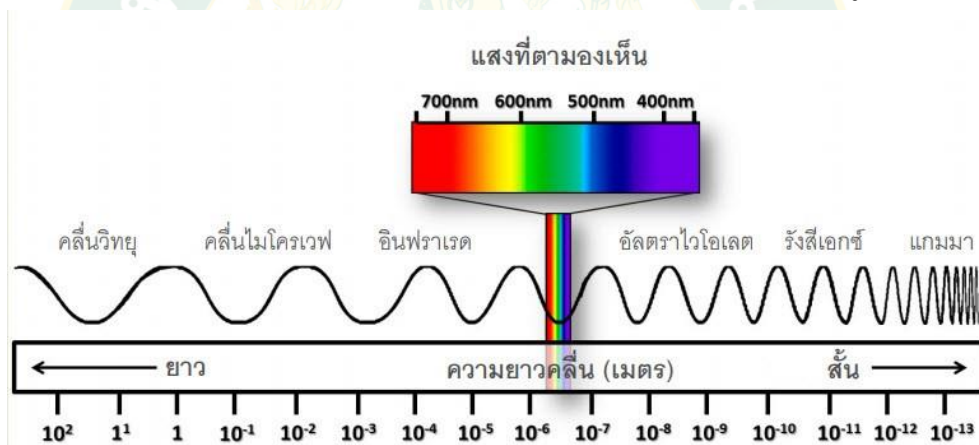
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีของแสงอาทิตย์

##### 2.1.1 แสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์ เป็นคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยแสงในช่วงอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น และอัลตราไวโอเล็ต บนพื้นโลกแสงอาทิตย์ถูกกรองผ่านชั้นบรรยากาศและเห็นชัดเจนในเวลากลางวันเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า แสงอาทิตย์มีสีขาวย สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการรวมกันของแสงทั้ง 7 สี เรียกว่าสเปกตรัมของแสง มีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 nm สีม่วง คือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำสุด รองลงมาเป็นสีน้ำเงิน จนมาถึงสีแดงที่มีความยาวคลื่นสูงสุดคือประมาณ 700 nm ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยความยาวคลื่นของแสงจะสอดคล้องกับความถี่และพลังงาน โดยที่ความยาวคลื่นสั้น จะมีความถี่และพลังงานสูง

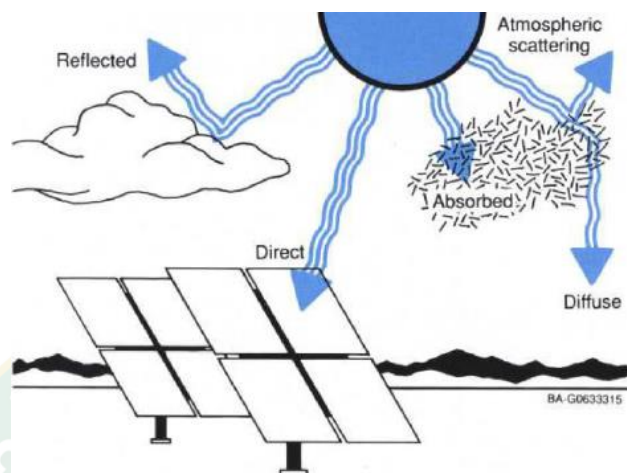


ภาพที่ 6 แสดงสเปกตรัมของแสง

ที่มา : ญัฐดนัย เนียมทอง (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ทุกวินาทีดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานความร้อนจำนวนมหาศาลออกสู่ระบบสุริยะ โลกได้รับพลังงานนี้เพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ย 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ขอบด้านนอกของชั้นบรรยากาศโลก ชั้นบรรยากาศดูดซับและสะท้อนการแผ่รังสี รังสีส่วนใหญ่เป็นรังสีเอกซ์และรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบพื้นผิวโลกทุกนาทินั้นมากกว่าปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ประชากรมนุษย์โลกบริโภคในหนึ่งปี ชั้นบรรยากาศของโลกและก้อนเมฆปกคลุมดูดซับ สะท้อน และกระจาย รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามมีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่าน

โดยตรงและแพร่กระจายจำนวนมหาศาลไปถึงพื้นผิวของโลกและสามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนที่ผ่านเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ

ที่มา : (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่งตรงมาที่ชั้นบรรยากาศนอกโลก แม้ว่าชั้นบรรยากาศจะดูดซับและสะท้อนรังสีเหล่านี้ แต่ก็ยังมีพลังงานจำนวนมหาศาลที่มาถึงพื้นผิวโลก ปริมาณแสงแดดที่กระทบพื้นโลกแตกต่างกันไปตาม ภูมิภาค ฤดูกาล เวลาของวัน สภาพภูมิอากาศ และมลพิษทางอากาศ เมื่อแสงแดดถึงโลกจะมีการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอในแต่ละภูมิภาค โดยพื้นที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์มากกว่าบริเวณอื่น ๆ แสงแดดจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลในขณะที่แกนหมุนของโลกที่เปลี่ยนไปจะ ยืดหรือลดระยะเวลาในแต่ละวัน เมื่อฤดูกาลเปลี่ยนแปลง ปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ คุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะสามารถแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกกำหนดด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาที่แผงนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามในการวิจัยและพัฒนาในช่วงหลายปีที่ผ่านมาในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้สามารถแข่งขันกับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานแบบเดิมได้มากขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

### 2.1.2 การประมาณพลังงานแสงอาทิตย์

รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) หมายถึง พลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 8 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพลังงานกัมมันตภาพรังสีและแสง และสามารถอธิบายลักษณะรังสีได้ดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

- การแผ่รังสีที่ไม่สะท้อนหรือกระจัดกระจาย แต่ถึงพื้นผิวโลกโดยตรงเรียกว่ารังสีโดยตรง (Direct radiation) GB

- รังสีที่กระจัดกระจายที่มาถึงพื้นผิวโลกเรียกว่ารังสีกระจาย (Diffuse radiation) GD

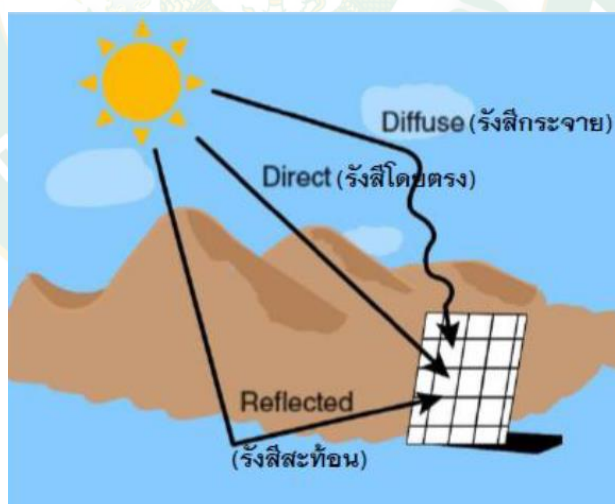
- รังสีสะท้อน (Reflected radiation) GR คือ รังสีสะท้อนกลับเข้าสู่วงโคจรเมื่อถึงโลก

การแผ่รังสีโดยรวม (G) คือ ผลรวมของรังสีโดยตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อน ดังสมการที่ 1

$$G = GB + GD + GR$$

สมการที่ 1

รังสีจากดวงอาทิตย์ไม่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด การแผ่รังสีสามารถมาในรูปของรังสีอินฟราเรดที่มองไม่เห็น หรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถใช้ส่วนของรังสีที่มองไม่เห็นผลิตกระแสไฟฟ้าได้

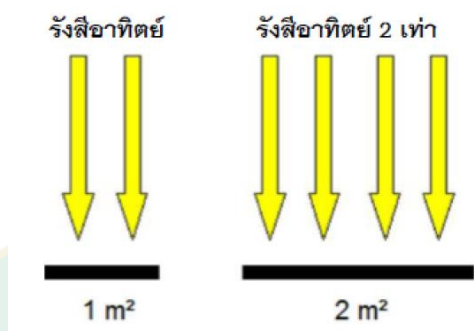


ภาพที่ 8 รังสีแสงอาทิตย์

ที่มา : (กรมอุตุวิทยามหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานขึ้นและหน่วยสำหรับการวัดกำลังคือวัตต์ (W) อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ และขนาดของพื้นที่ผิวที่รับ

แสง พื้นผิวที่ใหญ่ขึ้นจะได้รับพลังงานมากขึ้น ดังนั้นการฉายรังสีจึงมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ ) โดยพื้นที่ 2 ตารางเมตร ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $W$ ) 2 เท่ามากกว่าพื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบรังสีอาทิตย์กับพื้นที่รับรังสี

ที่มา : (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

### 2.1.3 การฉายรังสี

การฉายรังสีเป็นมาตรวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งวัดพลังงานเป็น Wh (วัตต์ชั่วโมง) หรือ kWh (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลของกำลังงานแสงอาทิตย์และเวลา ซึ่งวัดเป็น  $Wh/m^2$  (วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร) หรือเป็น  $kWh/m^2$  (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร)

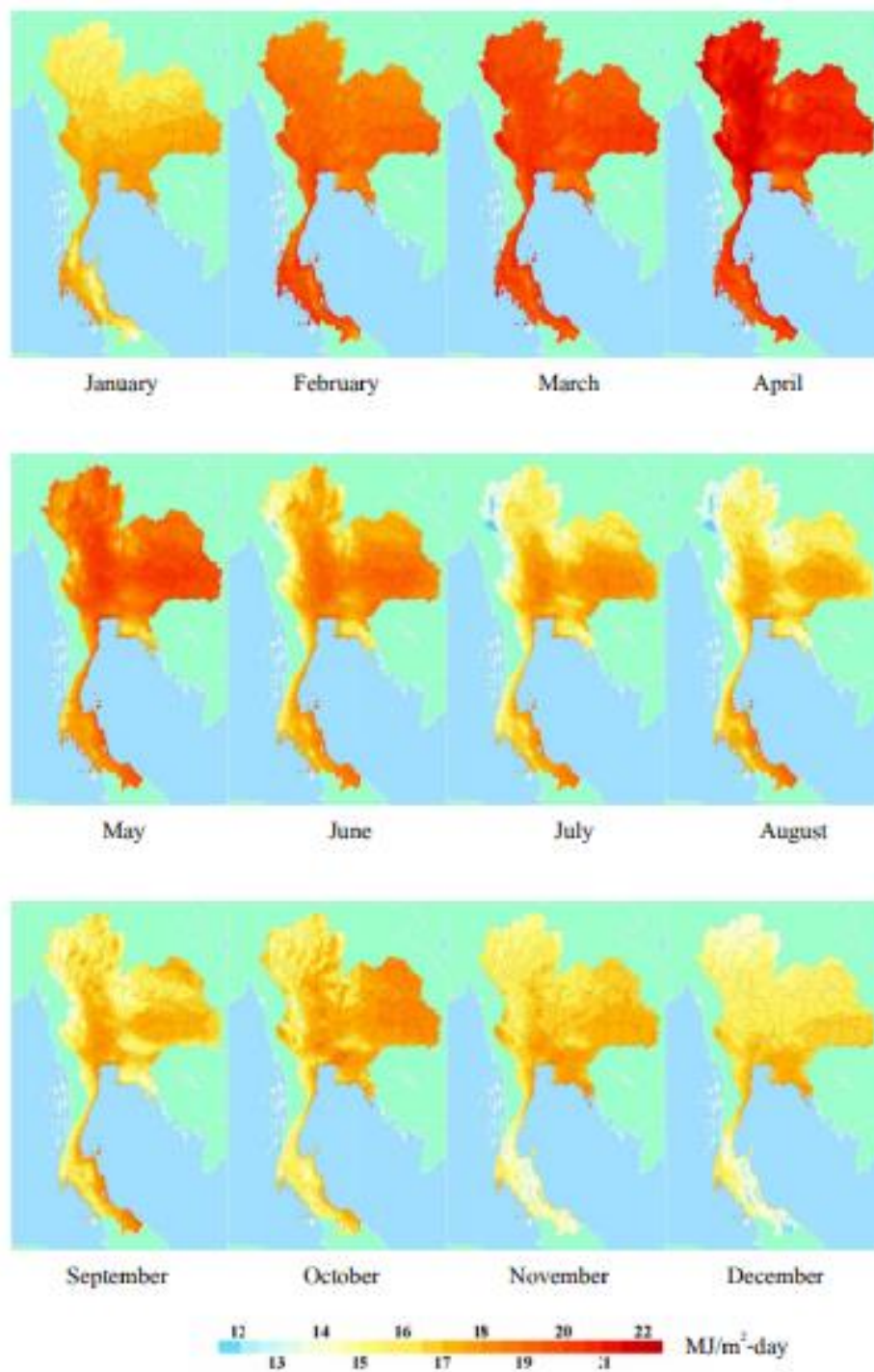
ช่างเทคนิคพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องรู้ว่าสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้มากแค่ไหนในหนึ่งวัน ดังนั้นเราจึงวัดพลังงานแสงอาทิตย์ในหน่วย วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

## 2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.) ได้พัฒนาแผนที่ดังกล่าว โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แบบจำลองดังกล่าวคำนึงถึงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน ไอน้ำ และการลดทอนของฝุ่นละออง ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้เป็นข้อมูลจากดาวเทียม GMS5 GOES9 และ MTSAT1R รวมระยะเวลา 15 ปี (ค.ศ. 2001-2015) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยมีความละเอียดเชิงพื้นที่  $3 \times 3$  ตารางกิโลเมตร ทั้งนี้จะแปลงภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบ cylindrical projection และทำ

การหาพิกัดของตำแหน่งต่างๆ ในภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แนวชายฝั่งเป็นเส้นอ้างอิงจากนั้นจะทำการแปลงค่า gray level ของภาพถ่ายดาวเทียมให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก โดยใช้ตารางสอบเทียบ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในแบบจำลอง การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของไอน้ำจะคำนวณจากปริมาณไอน้ำในบรรยากาศซึ่งคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับการดูดกลืนของโอโซนจะคำนวณจากปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม AURA/OMI ในด้านการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองจะทำการคำนวณจากข้อมูลทัศนวิสัย หลังจากการคำนวณสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองแล้ว จะทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง โดยนำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ 38 แห่ง และนำค่ามาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้พบว่าค่าจากการคำนวณส่วนใหญ่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีความแตกต่างในรูปของ root mean square difference เท่ากับ 8.4%

หลังจากได้ทดสอบแล้ว จะนำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศและนำผลที่ได้ไปจัดแสดงในรูปแบบแผนที่รายเดือน และรายปี จากแผนที่รายเดือน พบว่า การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ และร้อยเอ็ด เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m<sup>2</sup>-day ค่าดังกล่าวลดลงจากแผนที่ฉบับเดิม (18.0 MJ/m<sup>2</sup>-day) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศในประเทศไทย โดยสามารถแสดงแผนที่ศักยภาพของประเทศไทยได้ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่างๆ

ที่มา : (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

จากภาพแผนที่ศักยภาพจะเห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาในรอบปีซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนมกราคมบริเวณตอนเหนือของประเทศจะมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าภาคอื่นๆ ถึงแม้ว่าเดือนมกราคมเป็นช่วงฤดูหนาว สภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปมีเมฆน้อย แต่ความเข้มรังสีอาทิตย์มิได้ขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มุมดังกล่าวจะขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งบนพื้นโลกและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคมดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าประมาณ 20 องศา ทิศฟ้าใต้ ทำให้ค่ามุมตกกระทบรังสีอาทิตย์ในบริเวณทางตอนเหนือของประเทศมีค่าน้อยกว่าทางตอนใต้ของประเทศ โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในช่วง 15-18 MJ/m<sup>2</sup>-day แม้เป็นบริเวณกว้างจนถึงภาคกลางตอนบน ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ซึ่งสูงกว่าภาคอื่นๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ช่วง 16 -18 MJ/m<sup>2</sup>-day จะอยู่ที่ภาคใต้ตอนบนและบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากกว่าด้านตะวันตก ส่วนภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตก เช่น บริเวณภูเก็ต พังงา และกระบี่ จะมีความเข้มรังสีอาทิตย์ช่วง 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day

2) การกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม โดยทางตอนเหนือสุดของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 17-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนบริเวณทางตอนกลางของประเทศความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงขึ้นโดยจะอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day บริเวณทางตอนใต้ของประเทศและภาคตะวันตกตอนใต้ซึ่งติดกับชายฝั่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 19-21 MJ/m<sup>2</sup>-day เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลน้อยลง ท้องฟ้ามีเมฆมากขึ้น

3) การกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนมีนาคม ดวงอาทิตย์จะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า และเป็นช่วงฤดูร้อน พื้นที่โดยทั่วไปจึงได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น โดยทางตอนใต้และตะวันตกของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นแถบกว้างซึ่งมีความเข้มอยู่ในช่วง 20-23 MJ/m<sup>2</sup>-day กระจายอยู่ทั่วประเทศ และภาคเหนือมีความเข้มรังสีอาทิตย์แปรค่าอยู่ในช่วง 18-22 MJ/m<sup>2</sup>-day

4) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนเมษายน มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกทั่วทั้งประเทศ เนื่องจากช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูแล้งจะมีเมฆน้อย ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงทั่วทั้งประเทศ โดยกระจายอยู่ในช่วง 18-23 MJ/m<sup>2</sup>-day โดยเฉพาะทางภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ รังสีอาทิตย์มีความเข้มสูงกระจายอยู่ระหว่าง 20-23 MJ/m<sup>2</sup>-day เนื่องจากเป็นบริเวณใกล้เส้นศูนย์

สูตรมากกว่าทางตอนเหนือของประเทศบริเวณภาคเหนือยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงประมาณ 19-22 MJ/m<sup>2</sup>-day ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำประมาณ 17-20 MJ/m<sup>2</sup>-day

5) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนพฤษภาคม ในเดือนพฤษภาคมทั่วทั้งประเทศเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ส่งผลให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและบางวันมีฝนตก ทำให้บริเวณทั่วทั้งประเทศมีความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงจากเดือนเมษายนโดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 16-21 MJ/m<sup>2</sup>-day ตลอดแนวเทือกเขาของภาคตะวันตกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงอยู่โดยจะในช่วง 15-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 15-18 MJ/m<sup>2</sup>-day เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมากแต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อย สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างน้อย ทำให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงประมาณ 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day

6) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนมิถุนายน อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีผลต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ในบริเวณต่างๆ ของประเทศสูงขึ้น ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมและมีฝนตกมาก ทำให้ทั่วทั้งประเทศได้รับรังสีอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤษภาคม โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศกระจายอยู่ในช่วง 15-21 MJ/m<sup>2</sup>-day สำหรับบริเวณเงาฝนในเขตภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศในจังหวัดสิงห์บุรี ร้อยเอ็ดมหาสารคาม สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ และจังหวัดใกล้เคียงยังมีค่าความเข้มสูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day

7) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีเมฆและฝนกระจาย ซึ่งเป็นผลทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ลดลง โดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตกของประเทศซึ่งติดกับเทือกเขาตะนาวศรี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ ประมาณ 14-17 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะปรากฏบริเวณความเข้มสูง 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day เป็นหย่อมๆ

8) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนสิงหาคมพื้นที่ทั่วประเทศยังคงอยู่ในอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศมีค่าลดลงจากเดือนกรกฎาคม โดยการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วทั้งประเทศอยู่ในช่วง 13-19 MJ/m<sup>2</sup>-day แต่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงคือมีค่าอยู่ในช่วง 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนทางภาคตะวันตกที่ติดกับเทือกเขาและภาคใต้ฝั่งภาคตะวันตกของประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้มีค่าต่ำสุดในรอบปี มีค่าประมาณ 13-16 MJ/m<sup>2</sup>-day

9) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนกันยายน ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวมาอยู่ที่ศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่พื้นที่ทั่วประเทศยังถูกปกคลุมด้วยเมฆอันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่ทุกภาคของประเทศไทยยังคงมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือส่วนใหญ่มีค่ากระจายอยู่ในช่วง 14-19 MJ/m<sup>2</sup>-day มีเพียงบริเวณพื้นที่เล็กๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในจังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นบริเวณเงาฝนที่แห้งแล้งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 19-21 MJ/m<sup>2</sup>-day

10) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนตุลาคม โดยทั่วไปในช่วงเดือนตุลาคมประเทศไทยจะเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณฝนลดลงและท้องฟ้าแจ่มใส แต่เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปอยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าทำให้รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าลดลงจากเดือนกันยายนแต่ด้วยสภาพท้องฟ้าที่แจ่มใสจึงทำให้การกระจายรังสีอาทิตย์ของภาคและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนบริเวณอื่นๆ ของประเทศไทยยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนไม่ต่างกับเดือนกันยายน ยกเว้นทางภาคเหนือตอนบน และภาคใต้ของประเทศไทยที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนลดลงเป็น 14-17 MJ/m<sup>2</sup>-day

11) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างมาก ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จึงมีค่าน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออก ส่วนภาคเหนือก็ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าจะมีสภาพของฟ้าห้ว ซึ่งทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้รับมีค่าน้อยอยู่ในช่วง 13-17 MJ/m<sup>2</sup>-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์คล้ายคลึงกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day

12) การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของเดือนธันวาคม ในเดือนนี้ดวงอาทิตย์เคลื่อนตัวไปอยู่ทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามากที่สุด ทำให้รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบมีค่าต่ำสุด ถึงแม้ท้องฟ้าจะมีสภาพแจ่มใส แต่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทยยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤศจิกายน โดยเป็นผลมาจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ กล่าวคือ ทางตอนใต้รังสีอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 12-16 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนบริเวณอื่นของประเทศ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/m<sup>2</sup>-day โดยทางภาคเหนือตอนบนของประเทศ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 13-16 MJ/m<sup>2</sup>-day

สำหรับการกระจายของรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ซึ่งแสดงในภาพที่ 11 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี จะเห็นว่าการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17-20 MJ/m<sup>2</sup>-

day โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m<sup>2</sup>-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทยพบว่ามีความเท่ากับ 17.6 MJ/m<sup>2</sup>-day ที่ผ่านมาในโครงการวิจัยที่ได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2542 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทย มีค่า 18.2 MJ/m<sup>2</sup>-day และในปี พ.ศ. 2553 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทย มีค่า 18.0 MJ/m<sup>2</sup>-day สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยในรายงานวิจัยนี้มีค่า 17.6 MJ/m<sup>2</sup>-day จะเห็นว่าค่าศักยภาพความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าลดลงทั้งนี้ เนื่องจากส่วนหนึ่งมาจากค่าของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนที่ส่งผลให้สภาวะอากาศโลกมีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศแห้งสามารถรับปริมาณความชื้นได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้อากาศที่เข้ามาถึงยังพื้นโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีความสูงเหมาะสมแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก



ที่มา : (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

### 2.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน (สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.)

1. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์

2. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.1 การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ เป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ

2.2 การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้อย่างต่อเนื่อง

2.3 การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น หรือเครื่องปรับอากาศ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1) การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่

1.1 เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุที่ต้องการตากแห้งไว้กลางแจ้ง ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมธรรมชาติในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

1.2 ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ทำจากวัสดุที่โปร่งใส ใช้การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุเป็นตัวให้ความร้อนแก่ตู้อบ อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทความชื้นของวัสดุที่อบ

1.3 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ 1) รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง และ 2) รับจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศเกิดความร้อนและผ่านวัสดุที่ต้องการอบแห้ง

2) การอบแห้งระบบ Active คือระบบที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียน เช่น การติดตั้งพัดลมในระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัด

ลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของวัสดุที่ต้องการอบ จึงพาความชื้นจากวัสดุอบแห้งออกสู่ภายนอก

- 3) การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า ใช้ในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย

## 2.4 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.)

### 2.4.1 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

ประเทศไทยได้เริ่มมีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อปี พ.ศ.2519 มีประมาณ 300 แผง แต่ละแผงมีขนาด 15/30 วัตต์ ในกระทรวงสาธารณสุขและมูลนิธิแพทย์อาสาฯ มีนโยบายและแผนด้านเซลล์แสงอาทิตย์ บรรจุลงใน แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2520-2524) ซึ่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) โดยมีกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน) กรมโยธาธิการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เป็นหน่วยงานหลัก ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้งานในด้านแสงสว่าง ระบบโทรคมนาคม และเครื่องสูบน้ำ การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีการออกแบบเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสามารถใช้งานได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพที่สุดในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- 1) เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ. 1954 โดยแชปปีน(Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลกซึ่งมี ประสิทธิภาพเพียง 6% โดยในระยะเวลา

ต่อมามีการวิจัยและพัฒนาให้มี ประสิทธิภาพสูงกว่า 15 % โดยในระยะเริ่มต้น ได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ ไป ใช้งานในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านอวกาศดาวเทียมระบบสื่อสารต่างๆจนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากความต้องการการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสะอาดที่เพิ่มสูงขึ้น และการพัฒนาเทคโนโลยีส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพสูงขึ้นเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนซึ่งเป็นวัสดุเช่นเดียวกับ Transistors และวงจรรวม (Integrated Circuit :IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์(Dope) โดยการเติมธาตุในกลุ่ม 3 และ5 ของตารางธาตุซึ่งจะได้ผลึกซิลิคอน(P- Type และ N-type) ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกันตามลำดับ เมื่อนำ มา ต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสภาวะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้นบาง (Layer) เมื่อมีแสงซึ่งมีอนุภาคโฟตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะเกิดการไหลความไม่สมดุลของ ประจุระหว่างชั้นเซลล์เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็เกิดการความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้นเมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้วเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้

ทั้งนี้ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้า (Current) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง เมื่อความเข้มของแสงมีค่าสูง กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย แต่แรงดันไฟฟ้าไม่แปรตาม ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลก สภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอก วัดที่ระดับน้ำทะเลที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก เท่ากับ 100 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อตารางเมตร AM 1.5 (Air Mass 1.5) ถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 75 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อตารางเมตร AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

### 2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (Voltage) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะ

เท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 V ( $21\text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V ( $21\text{V} - 0.525\text{V}$ ) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียสแล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่ใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

1. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ขบวนการผลิตเริ่มจากการนำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.9999%) ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 ฐC เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) จากต้นผลึก (seed crystal) ด้วยการดึงผลึกคุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไปก็จะนำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เวเฟอร์หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จาก นั้นก็จะนำไป เจือสารที่จำเป็นในการทำให้ กิด เป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1,000ฐC หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ จากนั้นเป็นการเคลือบฟิล์มผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ในขั้นตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน แต่เนื่องจากในการใช้งานจริง เราจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ หลังจากนั้นก็นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิคอน และ อีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) ช่วยป้องกันความชื้น
2. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบผลึกรวมก็คือการนำเอา ซิลิคอนบริสุทธิ์ รวมถึงซิลิคอนที่เหลือทิ้งจากการผลิตเซลล์

แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวมาหลอมในแก้วให้เป็นแท่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้า ๆ หลังจากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300-400 ไมโครเมตรแล้วนำไปทำ p-n junction ต่อไป

3. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิงโดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบาง ไม่ใช่เวเฟอร์โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรอง โดยใช้เทคนิคที่ใช้ในการผลิตมีหลายเทคนิค ที่นิยมใช้กันมากคือเทคนิคที่มีชื่อเรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมี ระบบนำก๊าซที่เป็นสารประกอบประเภทซิลิคอน เช่นก๊าซซิลเลน ( $\text{SiH}_4$ ) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ ก๊าซจะถูกทำการกระตุ้นด้วยวิธีต่างๆเช่น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ก๊าซสารประกอบซิลิคอนแยกตัวและซิลิคอนเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรองที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200-300 °C โดยแผ่นฐานรองส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สเตนเลส หรือพลาสติกซึ่งได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน ซิลิคอนจะทับถม สะสมบนแผ่น ด้วยอุณหภูมิการผลิตที่ไม่สูงมากซิลิคอนที่เกิดขึ้นเป็นแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนในชั้นตอนนี้หากเราใส่ก๊าซที่มี Boron เช่น  $\text{B}_2\text{H}_6$  เข้าไปด้วยเราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด p และถ้าหากใส่ก๊าซที่มี phosphorus เช่น  $\text{PH}_3$ เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด n ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้จะสามารถควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อสร้างให้เกิดชั้นของ pin อะมอร์ฟัสซิลิคอนขึ้นได้อย่างง่าย หลังจากได้ โครงสร้าง pin แล้วก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้าให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยได้แก่

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อนๆได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่างๆจึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองมีฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีผลเสียคือประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มากแถมนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเช่นเครื่องคิดเลขนาฬิกาหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กๆเป็นต้น
- เซลล์แสงอาทิตย์ Crystalline เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟิล์มชั้นบางๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบ Mono crystalline หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยวและแบบ Poly Crystalline หรือผลึกผสมหรืออาจมีชื่อเป็นอย่างอื่นเช่น Single Crystalline และ Multi Crystalline

เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมากที่สุด แผงแบบ Mono Crystalline จะมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบ Poly Crystalline เล็กน้อย

ทั้ง 2 มีข้อดีคือหาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่ายมีราคาถูกอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ทนทานใช้พื้นที่น้อยกว่ามีน้ำหนักเบาแต่มีข้อจำกัดคือประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก เมื่อทำงานในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง

**2) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็กๆ ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 % เช่นกำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์เป็นต้น แต่ปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ก็มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างมาก ดังนั้นควรตรวจสอบรายละเอียดก่อนการออกแบบใช้งาน

**3) แบตเตอรี่ (Battery)** แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ถูกพัฒนาให้สามารถจัดเก็บประจุได้มากและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นานยิ่งขึ้นกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป ที่เรียกว่า แบตเตอรี่ชนิด Deep cycle มีแผ่นธาตุตะกั่วที่หนาเป็นพิเศษ ค่าความต้านทานภายในจึงสูง ทำให้สามารถจัดเก็บประจุไฟฟ้าได้สูงแต่การจ่ายกระแสไฟฟ้าจะได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงในระยะเวลายาว เช่น การใช้กับรถยนต์ แต่เหมาะสำหรับรถไฟฟ้า รถยกของ (Flock lift) เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply: UPS) รวมถึงการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทน แบตเตอรี่นี้จะมีราคา หนา และน้ำหนักที่ต่างกับกับแบตเตอรี่รถยนต์ (Verhicle battery) มาก แม้ว่ากำลังวัตต์ต่อชั่วโมง (Watt Hour :WH) หรือความจุของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันก็ตาม การใช้งานแบตเตอรี่ให้ยาวนาน จะต้องทราบข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิและระดับความลึกในการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD) การใช้งานจนพลังงานไฟฟ้าหมดจะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างมาก ดังนั้นการใช้งานจึงไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ และควรเก็บไว้ในที่อากาศเย็นปกติ อุณหภูมิไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ประจุไฟฟ้าจะต้องสูงเกินไปเพราะจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด เสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

**4) Charge controller** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ และจะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) เพราะจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด เสื่อมสภาพเร็ว เมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วจะต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปสัญญาณเป็นพัลส์ (Pulse) และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่า

แบตเตอรี่ประมาณ 15-20% ในกระบวนการชาร์จแบตเตอรี่มีค่าตัวแปรอื่นอีก ได้แก่ อุณหภูมิแบตเตอรี่ ความไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้ (แหล่งพลังงานทดแทน เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือกังหันลม) จึงต้องเพิ่มอุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller) เพื่อควบคุมการทำงานวงจรชาร์จประจุและใช้วงจร PWM (Pulse Width Modulation) สร้างรูปสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้การประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 2.4.2 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal)

เป็นเทคโนโลยีที่แบบรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่ตัวรับแสงโดยการใช้กระจก หรือวัสดุสะท้อนแสงที่หมุนตามดวงอาทิตย์ได้ เพื่อสะท้อนและส่งแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับแสงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ความร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงกับชุดเครื่องยนต์ (Cycle Heat Engine) ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวรับแสง หรือนำความร้อนที่ได้ไปทำให้ของเหลวร้อนก่อนแล้วนำไปใช้กับเครื่องยนต์ (Central Engine) การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบันใช้ทั้งวิธีการสะท้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรงและการใช้โดยอ้อมโดยการใช้ไอน้ำหรือการใช้ลมร้อนเพื่อหมุนเจเนอเรเตอร์ (Generator) มีลักษณะต่าง ๆ กัน ได้แก่

- 1) ระบบรางพาราโบลิก (Parabolic Through) ประกอบด้วยรางยาว โค้งมิติเดียวเป็นตัวรับแสง ติดตั้งอยู่บนระบบหมุนตามดวงอาทิตย์แกนเดียว ทำหน้าที่รวมแสงอาทิตย์ให้สะท้อนไปยังท่อที่ขนานกับแนวราง เพื่อถ่ายเทความร้อนให้ของเหลว (น้ำหรือน้ำมัน) ที่ไหลผ่านท่อ ทำให้ของเหลวนั้นกลายเป็นไอและไปขับเคลื่อนกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หากในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ การผลิตไอน้ำจะใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติเข้ามาช่วยเสริม
- 2) ระบบหอคอย (Power Tower) ประกอบด้วยตัวรับความร้อนที่ติดตั้งอยู่กับที่ตั้งบนหอคอย ที่ล้อมรอบด้วยแผงกระจกขนาดใหญ่จำนวนมาก เรียกว่า “โกลีโอสเตท” ซึ่งจะหมุนตามดวงอาทิตย์และสะท้อนแสงไปยังตัวรับความร้อนเพื่อให้ของเหลวที่อยู่ภายในได้รับความร้อนจนระเหยเป็นไอและไปขับเคลื่อนกังหัน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งระบบนี้ส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและกำลังจะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่น โรงไฟฟ้า Gemasolar ในเมือง Seville ทางตอนใต้ของประเทศสเปน เป็นต้น
- 3) ระบบจานพาราโบลิก (Parabolic Dish) ร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) จะใช้หลักการแปลงความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า โดยจะประกอบด้วยจานรวมแสงแบบพาราโบลิกและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำงานด้วยการส่งผ่านความร้อน

ของแสงอาทิตย์ ให้กับลูกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่ติดตั้งบนจุดโฟกัสของจานพาราโบลิก เมื่ออากาศภายในลูกสูบมีอุณหภูมิสูงขึ้นและขยายตัวจนทำให้เครื่องยนต์ทำงานอย่างต่อเนื่อง ส่วนตัวรวมแสงแบบจานพาราโบลิกจะมีผิวสะท้อน โดยประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงหลายชิ้นประกอบกัน และมีระบบขับเคลื่อนแบบ 2 แกน หมุนตามดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

## 2.5 ระบบเก็บกักพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System) คือ การกักเก็บสะสมพลังงานส่วนเกินจากที่ผลิตได้ แล้วนำมาใช้ในยามจำเป็น เพื่อรักษาสมดุลของการผลิตพลังงานกับการบริโภคพลังงานที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งรูปแบบเทคโนโลยีของระบบการกักเก็บพลังงานนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานตั้งต้นกับการนำไปประยุกต์ใช้ โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง กรณีที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อลดการเกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองและไม่ให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การชาร์จหรือดิสชาร์จของระบบกักเก็บพลังงานแสดงในรูปสมการที่ 2 และ 3

$$E(t+\Delta t) = E(t) - \Delta t \cdot P_d / \eta_d \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$E(t+\Delta t) = E(t) - \Delta t \cdot P_c / \eta_c \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่  $P_d$  คือกำลังไฟฟ้าดิสชาร์จของแบตเตอรี่ และ  $P_c$  คือกำลังไฟฟ้าชาร์จของแบตเตอรี่,  $E$  คือ พลังงานที่กักเก็บในแบตเตอรี่ ณ เวลา  $t$ ,  $\Delta t$  คือระยะเวลาของแต่ละช่วงเวลา  $\eta_d$  และ  $\eta_c$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของการดิสชาร์จ และชาร์จของแบตเตอรี่

การสะสมกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะถูกจำกัดโดยสมการที่ 4 และ 5

$$0 \leq P_c(t) \leq P_c^{\max} \quad \text{สมการที่ 4}$$

$$0 \leq P_d(t) \leq P_d^{\max} \quad \text{สมการที่ 5}$$

$P_d$  และ  $P_c$  คือปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่ในการชาร์จ และดิสชาร์จ ตามลำดับ

พลังงานไฟฟ้าสะสมในระบบกักเก็บพลังงานและสถานะการชาร์จประจุ (State-of-charge) อยู่ภายใต้สมการที่ 6 และ 7

$$E_{\min} \leq E(t) \leq E_{\max} \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$SOC_{\min} \leq SOC(t) \leq SOC_{\max} \quad \text{สมการที่ 7}$$

$E_{\min}$  และ  $E_{\max}$  คือค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของพลังงานไฟฟ้าที่จะถูกเก็บไว้ในระบบกักเก็บพลังงาน

$SOC_{\min}$  และ  $SOC_{\max}$  คือสถานะการชาร์จประจุต่ำสุดและสูงสุดในระบบกักเก็บพลังงาน

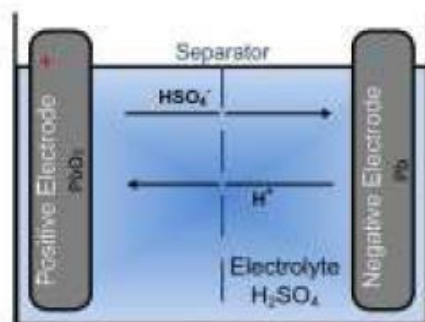
### 2.5.1 เทคโนโลยีระบบเก็บกักพลังงานชนิดแบตเตอรี่

ระบบเก็บกักพลังงานชนิดแบตเตอรี่ที่ยังอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาและที่มีการใช้ประโยชน์แล้วแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ตามลักษณะการทำงาน คือ แบตเตอรี่ธรรมดาและแบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. แบตเตอรี่ธรรมดา ได้แก่ ชนิดตะกั่ว (Lead acid batteries) , ชนิดนิกเกิล (Nickel-electrode batteries) , ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries) , โซเดียม-ซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur batteries; NaS) เป็นต้น
  - ชนิดตะกั่ว (Lead acid batteries)

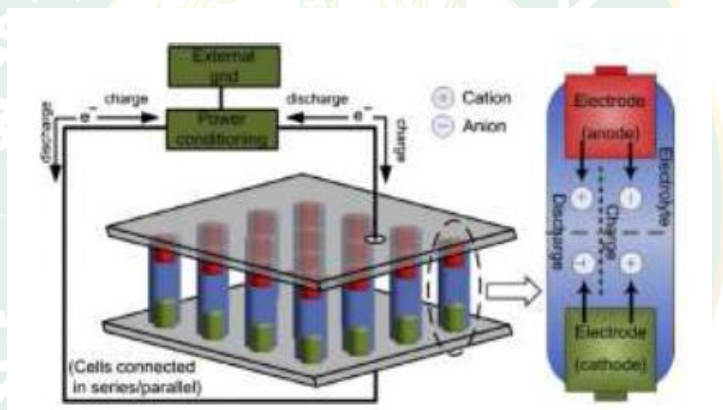
แบตเตอรี่ตะกั่วถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี 1860 ถือเป็นแบตเตอรี่ที่มีความเก่าแก่ที่สุด และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุด แบตเตอรี่ตะกั่วใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยขั้วไฟฟ้าลบมีลักษณะเป็นตะแกรงของโลหะผสมตะกั่วและมีตะกั่วบริสุทธิ์เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาเกาะอยู่ ในส่วนของขั้วไฟฟ้าบวกมีลักษณะเป็นตะแกรงของโลหะผสมเช่นเดียวกันและมีตะกั่วออกไซด์เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาเกาะอยู่ ซึ่งทั้งสองขั้วไฟฟ้าจะจมอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นั่นคือ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 37% ( $599 \text{ mol L}^{-1}$ ) ดังภาพที่ 12 ในขั้นตอนของการปลดปล่อยพลังงาน ทั้งสองขั้วไฟฟ้าจะกลายเป็น เลดซัลเฟต (Lead Sulphate; PbSO<sub>4</sub>) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเสียซัลเฟตให้กับขั้วไฟฟ้าทั้งสองสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงกลายเป็นน้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยมีความศักย์ไฟฟ้าต่อ 1 เซลล์ เท่ากับ 2 โวลต์ แบตเตอรี่หนึ่งระบบจะมีอยู่หลายเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ต่อกัน

แบบอนุกรม (Series) หรือแบบขนาน (Paralle) ขึ้นอยู่กับค่าพลังงาน ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าศักย์ไฟฟ้า (Potential) ที่ต้องการใช้งาน ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 ลักษณะเซลล์ไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)



ภาพที่ 13 ระบบการทำงานของแบตเตอรี่

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

- ข้อดีของ Lead acid batteries

ราคาถูก โดยราคาโดยส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับราคาของตะกั่ว ซึ่งมีช่วงค่อนข้างกว้าง ขึ้นอยู่กับผู้จัดจำหน่ายวัตถุดิบ การออกแบบโครงสร้างของระบบ หน้าที่ในแต่ละรอบและการออกแบบอายุการใช้งาน จากการศึกษาวิจัยใช้เงินลงทุนต่ำและคืนทุนในระยะเวลาดำเนิน เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนจึงไม่ต้องการจัดการ มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานเป็นระบบกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่ มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถยอมรับได้ในเรื่องความหนาแน่นของพลังงานและกำลังไฟฟ้า สำหรับการใช้งานแบบอยู่กับที่ มีความปลอดภัยเนื่องจากการควบคุมปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการ Overcharge

- ข้อจำกัดของ Lead acid batteries

มีจำนวนรอบของการใช้งานที่ต่ำ (ประมาณ 2000 รอบ) ความหนาแน่นของพลังงานต่ำ (50-90 Wh/L) พลังงานจำเพาะต่ำ (25-50 Wh/k) การกักเก็บและการปลดปล่อยพลังงานเกิดขึ้นแบบไม่สมมาตรกันนอกจากนี้ยังมีเรื่องอุณหภูมิของการใช้งานซึ่งต้องอยู่ระหว่าง -5 ถึง 40 องศาเซลเซียส ถ้านอกเหนือจากช่วงนี้จะทำให้ระบบมีอายุการใช้งานที่ลดลงและต้องเพิ่มราคาของการบำรุงรักษา ทั้งนี้ยังต้องการพื้นที่ที่มีระบบถ่ายเทอากาศอีกด้วย

- คุณลักษณะของเทคโนโลยี Lead acid batteries แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่ว

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	75 ถึง 80
ความหนาแน่นของพลังงาน	50 Wh/L ถึง 100 Wh/L
ความหนาแน่นของกำลัง	10 W/L ถึง 500 W/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	500 รอบ ถึง 2000 รอบ
อายุการใช้งาน	5 ปี ถึง 15 ปี (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ SOC)
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	0.1% ต่อวัน ถึง 0.4% ต่อวัน
ราคาติดตั้งต่อหน่วยกำลัง	150 USD/kW ถึง 600 USD/kW
ราคาติดตั้งต่อหน่วยพลังงาน	180D/kWh ถึง 400 USD/kWh

- ชนิดนิกเกิล (Nickel- electrode batteries)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความเก่าแก่ (นับตั้งแต่ปี 1990) รองลงมาจากแบตเตอรี่ตะกั่ว หรืออาจกล่าวได้ว่าการพัฒนาควบคู่กันมาโดยตลอด แบตเตอรี่ชนิดนี้มีค่าพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว และมีความคงทนต่อสภาวะที่เลวร้ายได้มากกว่า สามารถปลดปล่อยพลังงานออกหมดได้โดยไม่เป็นการทำลายความสามารถในการเก็บพลังงาน มีอายุการใช้งานและประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว แต่มีราคาที่แพงกว่า แบตเตอรี่นิกเกิลเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ตะกั่ว ในหนึ่งระบบจะประกอบไปด้วยหลายเซลล์ไฟฟ้าเคมีเชื่อมต่อกันเพื่อให้ได้ค่าพลังงาน ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH(H-O)) ในส่วนของขั้วไฟฟ้าบวก เป็นส่วนประกอบของนิกเกิลไฮดรอกไซด์ (Nickel Hydroxide; Ni(OH)) ส่วนขั้วลบมีอยู่หลายชนิด ทำให้แบตเตอรี่นิกเกิลมีอยู่หลายชนิดตามขั้วไฟฟ้าลบ ดังนี้ (Bradbury, 2010)

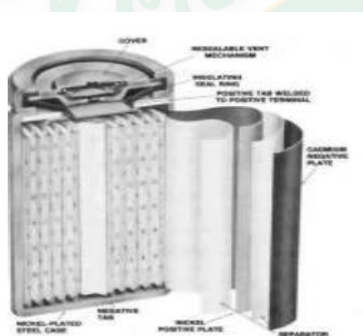
นิกเคิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium; NiCd) แบตเตอรี่นิกเกิลโดยส่วนใหญ่ คือ แบตเตอรี่ชนิดนี้ ซึ่งใช้ขั้วไฟฟ้าลบเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cadmium hydroxide;  $\text{Cd(OH)}_2$ ) โดยขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟ้าลบจะถูกแยกกันด้วยแผ่นแยก (Separator) แล้วจะถูกม้วนเป็นวงใส่ไว้ในกล่องครอบ (Case) ดังภาพที่ 14

นิกเคิล-เหล็ก (Nickel-iron; NiFe) เป็นแบตเตอรี่นิกเกิลที่มีความเก่าแก่ที่สุด ซึ่งขั้วไฟฟ้าลบที่ใช้คือสารประกอบของเหล็ก มีความคงทนค่อนข้างมาก ทนต่อการใช้งานที่ผิดปกติ เช่น การ Overcharge การ Overdischarge การอยู่ในสภาวะวงจรเปิดในระยะยาวและการลัดวงจร เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างมากและเกิดก๊าซในระหว่างการทำงานปกติ

นิกเกิลไฮโดรเจน (Nickel-Hydrogen; NiH) ถือเป็นลูกผสมระหว่างแบตเตอรี่กับเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากมีการใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วไฟฟ้าลบ ส่วนขั้วไฟฟ้าบวกที่ใช้คือ นิกเกิลออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (Nickel oxyhydroxide) ข้อดีของแบตเตอรี่นิกเกิลชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานที่นาน ต้องการการบำรุงรักษาน้อย แต่มีข้อเสียคือ มีราคาแพงที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่นิกเกิล

นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal-Hydride; NiMH) ขั้วไฟฟ้าลบใช้ไฮโดรเจนเช่นเดียวกับแบตเตอรี่นิกเกิลไฮโดรเจน แต่เป็นไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับบนโลหะผสม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีจำนวนรอบของการใช้งานที่สูง ไม่เกิดการสูญเสียการเก็บพลังงานได้ง่ายเหมือนแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม แต่เกิด Overcharge ได้เร็วและมีอัตราการคายพลังงานออกสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ไฟฟ้เคมี

นิกเกิลสังกะสี (Nickel-Zinc; NiZn) ยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนา ซึ่งคาดว่าจะให้พลังงานจำเพาะที่สูง



ภาพที่ 14 ลักษณะของแบตเตอรี่ นิกเคิล-แคดเมียม

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ข้อดีของ Nickel- electrode batteries

เป็นแบตเตอรี่ที่มีความทนทานมากและต้องการการบำรุงรักษาที่ต่ำ

ข้อจำกัดของ Nickel- electrode batteries

แบตเตอรี่ชนิดนี้ทำจากโลหะหนัก เช่น แคดเมียมและนิกเกิล ซึ่งเป็นพิษทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีปัญหาเรื่องการจัดการกับโลหะหนัก นอกจากนี้ยังมีผลเรื่องการมีความจำ (Memory effect) ซึ่งคือความสามารถในการเก็บพลังงานสูงสุดจะลดลงถ้าแบตเตอรี่ถูกนำไปใช้เก็บพลังงานอีกครั้งหลังจากการปลดปล่อยพลังงานบางส่วนในรอบที่ผ่านมา เกิด Overcharging ได้ง่าย

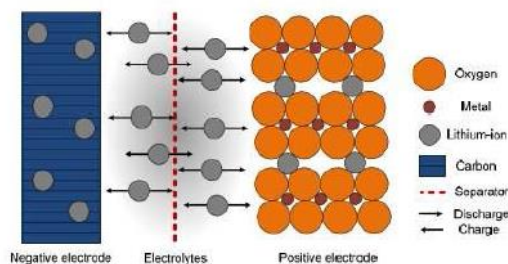
คุณลักษณะของเทคโนโลยี Nickel- electrode batteries แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่นิกเกิล

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	60 ถึง 70
ความหนาแน่นของพลังงาน	60 Wh/L ถึง 150 Wh/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	800 รอบ ถึง 3500 รอบ
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	0.2% ต่อวัน ถึง 0.6% ต่อวัน
ราคาติดตั้งต่อหน่วยกำลัง	500 USD/kW ถึง 1500 USD/kW
ราคาติดตั้งต่อหน่วยพลังงาน	800USD/kWh ถึง 1500 USD/kWh

- ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีการนำเสนครั้งแรกเมื่อปี 1960 และมีการผลิตเพื่อการค้าครั้งแรกในปี 1990 โดยบริษัท โซนี่ (Sony) เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงาน ความหนาแน่นของกำลังและประสิทธิภาพที่สูงมาก แต่มีราคาค่อนข้างสูง จึงยังไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมีเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว มีขั้วไฟฟ้าบวกคือโลหะที่มีส่วนประกอบของลิเทียมออกไซด์ (Lithiated Metal Oxide) เช่น  $\text{LiCoO}_2$   $\text{LiMO}_2$   $\text{LiNiO}_2$  เป็นต้น และมีขั้วไฟฟ้านลบเป็นแผ่นกราไฟท์ที่ซ้อนกันอยู่เป็นชั้นๆ (Layered Graphitic Carbon) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ เกลือของลิเทียม(LiPF) ละลายในสารอินทรีย์คาร์บอนต ในขั้นตอนของการกักเก็บพลังงาน อะตอมของลิเทียมที่ขั้วไฟฟ้าบวกจะกลายเป็นไอออนและเคลื่อนย้ายผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วไฟฟ้านลบ ซึ่งเป็นกราไฟท์แล้วรวมตัวกับอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกแล้วไปเกาะอยู่ระหว่างชั้นของแกรไฟท์ในรูปของอะตอม ลิเทียม ส่วนในขั้นตอนของการปลดปล่อยพลังงาน ปฏิกิริยาจะเกิดในทิศทางตรงข้าม ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ข้อดีของ Lithium-ion batteries

มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีการตอบสนองที่รวดเร็ว (ระดับมิลลิวินาที) มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา (ประมาณ 1,500-10,000 WL, 75-200 W h/kg, 150-2,000 WK) นอกจากนี้ ยังมีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 97% มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (~10000 รอบ)

ข้อจำกัดของ Lithium-ion batteries

มีราคาแพง ต้องการระบบควบคุมที่ดี เนื่องจากบรรจุภัณฑ์และการระบายความร้อนทำได้ยากขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์จึงไม่มีความปลอดภัยในแง่ของความร้อน นอกจากนี้ เมื่อใช้งานแบบปลดปล่อยพลังงานออกในระดับลึก (Depth- of- Discharge) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงและต้องการระบบควบคุมในการจัดการระหว่างการใช้งาน ซึ่งเป็นการเพิ่มราคาโดยรวมให้สูงขึ้น

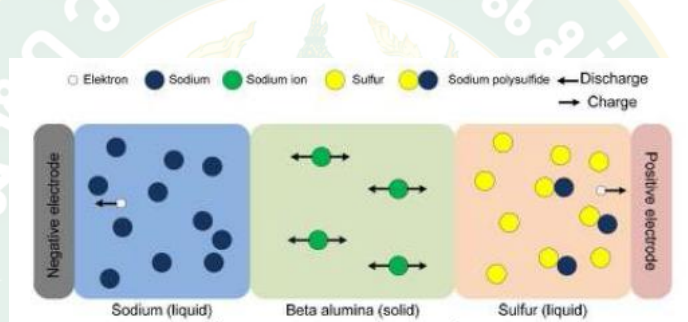
คุณลักษณะของเทคโนโลยี Lithium-ion batteries แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	85 ถึง 98
ความหนาแน่นของพลังงาน	200 Wh/L ถึง 350 Wh/L
ความหนาแน่นของกำลัง	100 W/L ถึง 3,500 W/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	1,000 รอบ ถึง 10,000 รอบ
อายุการใช้งาน	5 ปี ถึง 20 ปี (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ SOC)
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	5 ต่อเดือน
ราคาติดตั้งต่อหน่วยกำลัง	1,200 USD/kW ถึง 4,000 USD/kW
ราคาติดตั้งต่อหน่วยพลังงาน	600 USD/kWh ถึง 2,500 USD/kWh

- ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur batteries; NaS)

เป็นแบตเตอรี่ที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ขั้วไฟฟ้าที่เป็น การหลอมเหลวของเกลือโลหะโดยขั้วไฟฟ้าบวกคือของเหลวซัลเฟอร์ (Molten sulfur) และขั้วไฟฟ้าลบคือของเหลวโซเดียม (Molten sodium) และใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งเซรามิคเบตาอลูมินา (Solid betaalumina ceramic electrolyte) ซึ่งอิเล็กโทรไลต์นี้จะยอมให้อิออนของโซเดียมเท่านั้น ผ่านได้ ในขั้นตอนของการปลดปล่อยพลังงานไอออนของโซเดียมจากขั้วไฟฟ้านลบจะเคลื่อนที่ผ่าน ของแข็งอิเล็กโทรไลต์ไปรวมตัวกับไอออนของซัลเฟอร์ที่อยู่ขั้วบวก พร้อมกับการที่อิเล็กตรอน เคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอก แล้วได้เป็นโซเดียมโพลีซัลไฟด์ (Sodium Polysulfur; Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub>) ในขั้นตอน ของการกักเก็บพลังงานกระบวนการที่เกิดขึ้นจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในภาพที่ 16 ใน หนึ่งระบบจะมีหลายเซลล์ต่อกันเพื่อให้ได้พลังงาน กำลังไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งาน



ภาพที่ 16 หลักการทำงานของหนึ่งเซลล์เคมีในแบตเตอรี่โซเดียม-ซัลเฟอร์

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

#### ข้อดีของ Sodium-sulfur batteries

จุดเด่นของแบตเตอรี่โซเดียมซัลเฟอร์คือมีจำนวนรอบของการใช้งานที่สูงและสามารถใช้งาน ที่กำลังไฟฟ้าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าปกติของระบบได้ถึง 6 เท่าในช่วงเวลาสั้นๆ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัว ปรับคุณภาพของกำลังไฟฟ้า มีความหนาแน่นของพลังงานสูง (Fuchs et al., 2012) ราคาไม่แพง วัสดุไม่เป็นพิษสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ประมาณ 99%

#### ข้อจำกัดของ Sodium-sulfur batteries

มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานออกเองค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องรักษาอุณหภูมิของการทำงาน ไว้ที่ประมาณ 300 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียความร้อนในระหว่างการเตรียมพร้อมใช้งาน มีความ อันตรายเนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมีค่าใช้จ่ายรายปีในระหว่างการดำเนินการที่สูง (80 USD/kW ต่อปี) จากการที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ

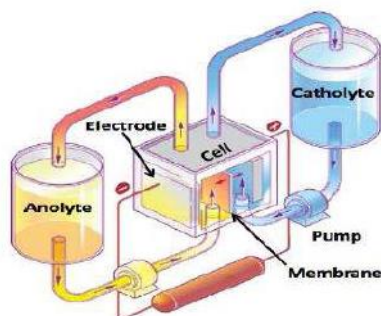
คุณลักษณะของเทคโนโลยี Sodium-sulfur batteries แสดงในตารางที่ 4

#### ตารางที่ 4 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	75 ถึง 90
ความหนาแน่นของพลังงาน	150 Wh/L ถึง 250 Wh/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	2,500 รอบ ถึง 4,500 รอบ
อายุการใช้งาน	5 ปี ถึง 20 ปี
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	20 ต่อวัน
ราคาติดตั้งต่อหน่วยกำลัง	180 USD/kW ถึง 1,000 USD/kW
ราคาติดตั้งต่อหน่วยพลังงาน	250 USD/kWh ถึง 500 USD/kWh

#### 2. แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บกักพลังงาน (Flow batteries)

เป็นเทคโนโลยีการเก็บพลังงานที่เก็บพลังงานในรูปของพลังงานเคมีและใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีเช่นเดียวกับแบตเตอรี่ทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นส่วนที่เก็บพลังงานผ่านเซลล์ไฟฟ้าเคมี แสดงดังภาพที่ 17 โดย อิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยธาตุ หรือ สารประกอบหนึ่งชนิดหรือมากกว่าที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี ส่วนเซลล์ไฟฟ้าเคมีเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์ไฟฟ้าเคมี ประกอบด้วยขั้วแคโทดและขั้วแอโนดที่แยกกันโดยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane) สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะบรรจุอยู่ในถังภายนอกเซลล์และถูกปั๊มผ่านเข้าไปในเซลล์เพื่อเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับโดยจะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเก็บและการคายประจุ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์และพื้นที่ของเซลล์ ส่วนพลังงานจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงานจะสามารถปล่อยพลังงานต่อเนื่องได้มากกว่า 10 ชั่วโมง สามารถแบ่งประเภทตามชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้งาน ได้แก่ สังกะสี-โบรมีน (Zinc-bromine flow batteries) , วานาเดียม (Vanadium Redox flow batteries) เป็นต้น

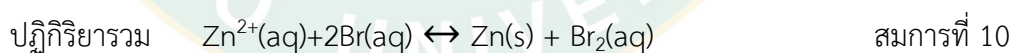


ภาพที่ 17 แสดงแบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

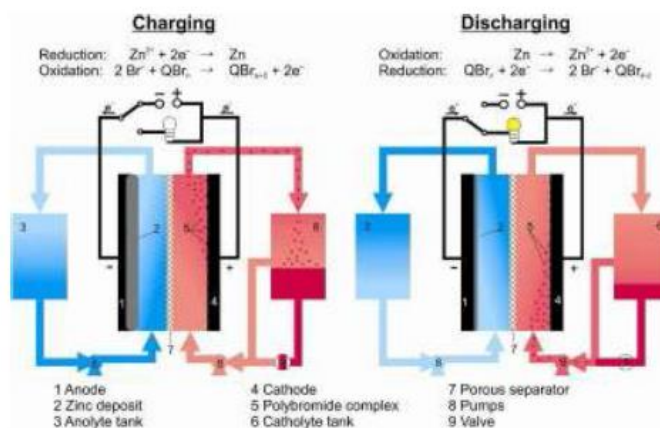
- สังกะสี-โบรมีน (Zinc-bromine flow batteries)

หลักการทำงานและรายละเอียดทางเทคนิคในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่สังกะสีโบรมีน จะมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าที่เป็นคาร์บอนพลาสติก โดยขั้วไฟฟ้าทั้งสองถูกแยกจากกันโดยใช้เยื่อเลือกผ่านที่ทำจากพอลิเอเลฟินส์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องแสดงได้ดังสมการที่ 8-10



ในระหว่างการเก็บประจุจะเกิดปฏิกิริยาจากด้านซ้ายไปขวาโลหะสังกะสีจะถูกเก็บเป็นฟิล์มบางๆ ที่ด้านหนึ่งของขั้วไฟฟ้า ในขณะที่โบรมีนจะเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่เป็นเอมีน (Organic amine) เกิดเป็นน้ำมันโบรมีนตกตะกอนลงสู่กันถึงอิเล็กโทรไลต์ ทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกด้านหนึ่งของเมมเบรนเจือจาง และมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ประมาณ 1.8 โวลต์ ในระหว่างการคายประจุ Zn และ Br จะรวมตัวกันกลายเป็นซิงค์โบรมไนด์ (ปฏิกิริยาย้อนกลับ) ทำให้เกิดความต่างศักย์คร่อมเซลล์ 1.8 โวลต์ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของ  $\text{Zn}^{2+}$  และ  $\text{Br}^{-}$  ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ องค์กรประกอบและ

การทำงานของแบตเตอรี่สังกะสีโบรมีน แสดงได้ดังภาพที่ 18 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่สังกะสีโบรมีน แสดงได้ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 18 แสดงองค์ประกอบและการทำงานของแบตเตอรี่สังกะสี-โบรมีน

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ข้อดีของ Zine-bromine flow batteries

จุดเด่นของแบตเตอรี่สังกะสี-โบรมีนเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์ คือสามารถประยุกต์ใช้กับการสะสมพลังงานขนาดใหญ่และมีราคาถูกกว่าสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง ข้อจำกัดของ Zine-bromine flow batteries ยังคงอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา คุณลักษณะของเทคโนโลยี Zine-bromine flow batteries แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่สังกะสี-โบรมีน

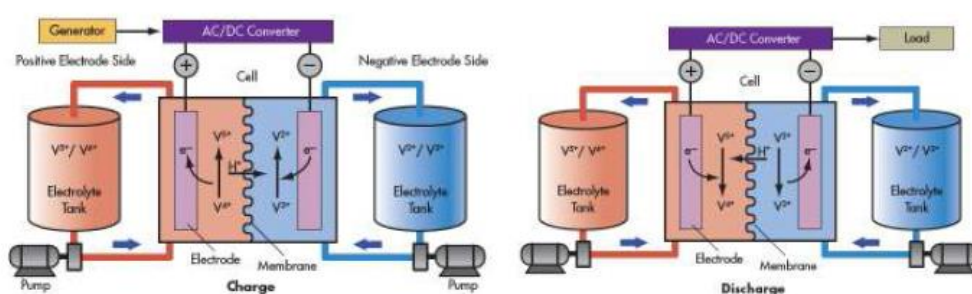
ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	66 ถึง 80
ความหนาแน่นของพลังงาน	30 Wh/L ถึง 50 Wh/L
ความหนาแน่นของกำลัง	30 W/L ถึง 60 W/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	มากกว่า 2,000 รอบ
อายุการใช้งาน	5 ปี ถึง 10 ปี
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	น้อย
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	มีสารพิษตกค้าง
ราคา (capacity cost)	150-1,000 USD/kWh , 700-2,500 USD/kW

- วานาเดียม (Vanadium Redox flow batteries)

หลักการทํางานและรายละเอียดทางเทคนิคของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์เก็บพลังงานจะใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นสารละลายวานาเดียมในกรดซัลฟิวริกเจือจางโดยด้านแอโนดจะเป็นสารละลายวานาเดียมที่มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 ส่วนด้านแคโทดจะเป็นสารละลายวานาเดียมที่มีเลขออกซิเดชัน +4 และ +5 สมการที่ 11-12



ในขั้นตอนการประจุไฟฟ้าปฏิกิริยาจะดำเนินไปจากด้านซ้ายไปขวาของสมการที่ 11 และ 12 ส่วนการคายประจุจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ การประจุและคายประจุจะเกิดการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองชนิดที่บรรจุอยู่ในถังเก็บภายนอก โดยไฮโดรเจนไอออนจะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านที่ทำจากสารพอลิเมอร์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในแต่ละเซลล์อยู่ที่ 1.4-1.6 โวลต์ แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 85 % องค์ประกอบและการทํางานของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์แสดงได้ดังภาพที่ 19 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์แสดงได้ดังตารางที่ 6



ภาพที่ 19 แสดงองค์ประกอบและการทํางานของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ข้อดีของ Vanadium Redox flow batteries

พิกัดกำลังและขนาดของความจุพลังงานสามารถออกแบบได้อย่างอิสระต่อกัน โดยพิกัดกำลังจะกำหนดโดย Cell Stack และความจุพลังงานจะกำหนดโดยขนาดของ Electrolyte Tank สามารถอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ได้ใหม่หลายครั้งอย่างรวดเร็ว ในปริมาณความจุที่ไม่จำกัดของ

แหล่งกักเก็บ โดยการนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้แล้วออกมาจากแบตเตอรี่ แล้วนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่อัดประจุไฟฟ้าแล้วเข้าไปแทนที่แบตเตอรี่รีวานาเดียมรีดอกซ์ สามารถประจายประจุได้มากกว่า 10,000 ครั้ง มีกำลังสูญเสียจากการคายประจุภายในแบตเตอรี่น้อย ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ 70% (รวมปั๊ม)

ข้อจำกัดของ Vanadium Redox flow batteries

ในปัจจุบันแบตเตอรี่รีวานาเดียมรีดอกซ์ยังมีความจุพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักค่อนข้างต่ำอยู่ที่ประมาณ 20-50 Wh/L และราคาแพงทำให้ยังต้องมีการพัฒนาอีกมาก

คุณลักษณะของเทคโนโลยี Vanadium Redox flow batteries แสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่รีวานาเดียมรีดอกซ์

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ประสิทธิภาพ	75 ถึง 80
ความหนาแน่นของพลังงาน	10 Wh/L ถึง 30 Wh/L
ความหนาแน่นของกำลัง	16 W/L ถึง 33 W/L
จำนวนรอบของการใช้งาน	มากกว่า 12,000 รอบ
อายุการใช้งาน	5 ปี ถึง 10 ปี
การปลดปล่อยพลังงานออกเอง	น้อยมาก
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	มีสารพิษตกค้าง
ราคา (capacity cost)	150-1,000 USD/kWh , 600-1,500 USD/kW

## 2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis) เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์ของโครงการมากกว่าหรือ น้อยกว่าต้นทุนของโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการ ลงทุนหรือไม่ เพื่อช่วยในการตัดสินใจใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใช้การประเมินต้นทุน (Costs) ทั้งต้นทุนทางตรง และต้นทุนทางอ้อม และประเมินผลประโยชน์ (Benefits) ทั้งทางตรง และ ผลประโยชน์ทางอ้อม แล้วนำมาวิเคราะห์โดยอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนมี 2 ประเภท คือ เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา และเกณฑ์แบบปรับค่าเวลา

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา เป็นเกณฑ์ที่ไม่นำเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดมูลค่าของเงินตรา (Value of Money) อันจะมีผลให้มูลค่าของเงินในอนาคต (Future value) เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน (Present Value) เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลาประกอบด้วย

### 2.6.1 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิ ในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 13 ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}} \quad \text{สมการที่ 13}$$

เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน หรือผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อม ราคาของทรัพย์สิน เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ คือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มค่ากับ จำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วก็จะเป็นผลดี เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินไปลงทุน ในกิจการอื่นๆต่อไป เกณฑ์การตัดสินใจโดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในวงการธุรกิจหรือ กรณีที่โครงการมีความเสี่ยงสูง

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าเวลา เป็นเกณฑ์ที่นำเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดมูลค่าของเงินตรา (Value of Money) เนื่องจากมูลค่าของเงินมีความแตกต่างกัน แต่ละปีจึงต้องปรับค่าของเวลาในอนาคต (Future Value) ให้เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน (Present Value) โดยการหักลดมูลค่าของเงินที่เกิดขึ้นในอนาคตด้วยอัตราคิดลด (Discount Rate) เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าเวลาประกอบด้วย

### 2.6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และมูลค่าปัจจุบันของ ต้นทุนของโครงการเพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 14 ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad \text{สมการที่ 14}$$

โดยกำหนดให้

$B_t$  = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่  $t$

$C_t$  = ต้นทุนของโครงการในปีที่  $t$

$R$  = อัตราคิดลด (Discount Rate)

$n$  = อายุของโครงการ

$t$  = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และไม่ควรลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเป็นลบ แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

### 2.6.3 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio: BCR)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 15 ดังนี้

$$BCR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t (1+r)^{-t}}{C_t (1+r)^{-t}}$$

สมการที่ 15

โดยกำหนดให้

$B_t$  = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่  $t$

$C_t$  = ต้นทุนของโครงการในปีที่  $t$

$R$  = อัตราคิดลด (Discount Rate)

$n$  = อายุของโครงการ

$t$  = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ควรลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และไม่ควรถูกลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

### 2.6.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณตามสมการที่ 16 ดังนี้

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + IRR)^t} = 0$$

สมการที่ 16

โดยกำหนดให้

$B_t$  = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่  $t$

$C_t$  = ต้นทุนของโครงการในปีที่  $t$

$n$  = อายุของโครงการ

$t$  = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ หรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะยาวตามที่กฎหมายกำหนด อาทิ อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล เป็นต้น แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่าอัตราค่าเสียโอกาสของเงินทุน แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

### 2.7 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ด้วยพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 มาตรา 81 กำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตที่มีระบบโครงข่ายพลังงานต้องยินยอมให้ผู้รับใบอนุญาตหรือผู้ประกอบการพลังงานรายอื่นใช้หรือเชื่อมต่อระบบโครงข่ายพลังงานของตน ตามข้อกำหนดที่ผู้รับใบอนุญาตที่มีระบบโครงข่ายพลังงานประกาศกำหนด เพื่อให้เป็นไปตามบทบัญญัติของกฎหมายดังกล่าว การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงออกระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ประกอบด้วย ข้อกำหนดการใช้บริการ ข้อกำหนดการเชื่อมต่อ และข้อกำหนดการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 โดยข้อกำหนดทั้ง 3 ฉบับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้บังคับใช้กับผู้ประกอบกิจการพลังงาน ดังนี้

1. ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer, SPP) หมายถึง ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้าที่ขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก โดยมีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขาย ตั้งแต่ 10 MW ถึง 90 MW
2. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer, VSPP) หมายถึง ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้าที่ขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก โดยมีปริมาณพลังไฟฟ้าเสนอขายไม่เกิน 10 MW
3. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายถึง ผู้ที่ทำสัญญาซื้อไฟฟ้ากับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เอง เป็นการลดค่าซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
4. ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้ารายอื่น หมายถึง ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้าที่ให้คำนิยามนอกเหนือจากข้อ 1. ถึงข้อ 3. และเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตการประกอบกิจการไฟฟ้า หรือผู้ที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขอใบอนุญาตการประกอบกิจการไฟฟ้าที่ผลิต จัดให้ได้มาจัดส่ง จำหน่ายไฟฟ้า หรือ ควบคุมระบบไฟฟ้า ตามพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550

ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้างดงที่กล่าวมาข้างต้น ที่จะขอใช้บริการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ต้องปฏิบัติตาม 3 ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดการใช้บริการ ข้อกำหนดการเชื่อมต่อ และข้อกำหนดการปฏิบัติกระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งก่อนการพิจารณาอนุญาตให้เชื่อมต่อ นอกจากการพิจารณาตรวจสอบเอกสารแล้ว การไฟฟ้าจะพิจารณารายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิคตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการ โดยสามารถสรุปรายละเอียดสำคัญ ได้ดังนี้

1. ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบ ให้มีรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามรูปแบบการเชื่อมต่อในระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 เป็นอย่างน้อย และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาอนุญาตหรือไม่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาทั้งด้านความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า และผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก ซึ่งผู้ขอใช้บริการจะต้องยอมรับปฏิบัติตาม และจะนำไปเป็นเหตุอ้างเพื่อเรียกร้องค่าเสียหายใดๆต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมิได้ อีกทั้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์ที่จะแก้ไข เปลี่ยนแปลง หรือกำหนดเงื่อนไขรายละเอียดอื่นๆ เพื่อความปลอดภัยและความมั่นคงของระบบไฟฟ้า และผู้ขอใช้บริการจะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม
2. ปริมาณกำลังไฟฟ้ารับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า แบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

### ระบบจำหน่ายแรงดัน 380/220 โวลต์

1) ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบเฟสเดียวได้ หากมีกำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 5 กิโลวัตต์ ในกรณีที่ผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเฟสเดียวหลายชุดกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า จะต้องกระจายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบโครงข่ายไฟฟ้าในแต่ละเฟสให้สม่ำเสมอ โดยยอมให้มีความแตกต่างของกำลังผลิตติดตั้งในแต่ละเฟสสูงสุดไม่เกิน 5 กิโลวัตต์

2) ปริมาณกำลังผลิตติดตั้งรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (หน่วยเป็นกิโลวัตต์) ของผู้เชื่อมต่อทุกราย ที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกัน ต้องไม่เกินขีดจำกัดร้อยละ 15 ของพิกัดหม้อแปลงจำหน่าย (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์)

### ระบบจำหน่ายแรงดัน 22/33 กิโลโวลต์

1) ระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 8 เมกะวัตต์/วงจร

2) ระบบจำหน่าย 33 กิโลโวลต์ ปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน 10 เมกะวัตต์/วงจร โดยปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมที่รับซื้อในระบบจำหน่าย 22 / 33 กิโลโวลต์รวมทุกวงจร จะต้องไม่เกิน 75 เปอร์เซ็นต์ (หน่วยเป็นกิโลโวลต์-แอมแปร์) ของพิกัดสูงสุดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแต่ละลูกของสถานีไฟฟ้า

3) ระบบ 115 กิโลโวลต์ ปริมาณรวมที่รับซื้อไม่เกิน 120 เมกะวัตต์/วงจร Single Conductor และไม่เกิน 230 เมกะวัตต์/วงจร Double Conductor

### 3. หลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค

เพื่อให้คุณภาพไฟฟ้าสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าทั่วไป อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภายหลังจากมีผู้เชื่อมต่อแล้ว อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อทางด้านความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า จึงกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ดังนี้

- 1) การจ่ายกระแสไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายจำหน่ายหรือสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินพิกัดกระแสต่อเนื่อง โดยกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าไปยังระบบส่งไฟฟ้าจะต้องไม่กระทบต่อความมั่นคงระบบไฟฟ้าในภาพรวม
- 2) การคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulation) ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้แรงดันในระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยหากผู้ขอใช้บริการทำให้แรงดันอยู่นอกเกณฑ์มาตรฐาน ผู้ขอใช้บริการจะต้องเป็นผู้ปรับปรุงหรือควบคุมการเดินเครื่องเพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- 3) กระแสลัดวงจร ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรรวมในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินร้อยละ 85 ของค่าวิสัยสามารถตัด

กระแสลัดวงจร (Short Circuit Interrupting Capacity) ของอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อหรืออุปกรณ์ป้องกัน และไม่ทำให้เกิดการทำงานที่ไม่ประสานสัมพันธ์ (Protection Coordination) ของอุปกรณ์ป้องกัน

หากผู้ขอใช้บริการรายใดที่ไม่ผ่านหลักเกณฑ์การพิจารณาทางเทคนิค ผู้ขอใช้บริการจะต้องทำการศึกษาการแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งการจ่ายกระแสไฟฟ้า การคุมค่าแรงดัน กระแสลัดวงจร ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ถ้าหากมีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นรายๆไป

#### 4. รูปแบบการเชื่อมต่อและระบบป้องกัน

รูปแบบการเชื่อมต่อและระบบป้องกันสำหรับผู้เชื่อมต่อระบบเครือข่ายไฟฟ้าแยกออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

##### 4.1 กรณีผู้ขอใช้บริการที่เป็นผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก และผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการต้องติดตั้งอุปกรณ์ไม่น้อยกว่าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ดังมีรายละเอียดรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นไปตามข้อกำหนดการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีรายละเอียดต่างๆ เพิ่มเติมดังนี้ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

- 1) อุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อเป็นไปตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด โ
- 2) อุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ประกอบจะต้องมีมาตรฐานตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ
- 3) หม้อแปลงไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการจะต้องมีการเชื่อมต่อขดลวด (Winding Connection) สอดคล้องต่อปริมาณการจ่ายเข้าระบบ และลักษณะการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบ หากไม่เป็นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด จะต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก่อน
- 4) ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีรูปแบบการปิดซ้ำอัตโนมัติ (Automatic Reclosing Scheme) ผู้ขอใช้บริการจะต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อของผู้ขอใช้บริการปลดการจ่ายไฟออกก่อนที่ การปิดซ้ำอัตโนมัติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำงาน มิฉะนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่รับผิดชอบต่ออุปกรณ์ของผู้ขอใช้บริการ
- 5) หากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาเห็นควรต้องปรับปรุงวิธีการปิดซ้ำ (Reclosing) หรือต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ เช่น ติดตั้งระบบซิงโครไนซ์ (Synchronizing system) ระบบป้องกันระยะไกล (Tele protection) หรือ

ระบบกั้นการปิดซ้ำ (Block Reclosing) ทั้งในส่วนของผู้ขอใช้บริการและใน ส่วนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยคิดค่าใช้จ่ายจากผู้ขอใช้บริการ ผู้ขอใช้ บริการจะต้องยอมรับและปฏิบัติตาม และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่รับผิดชอบ ความเสียหายต่ออุปกรณ์ของผู้ขอใช้บริการ เนื่องจากการปิดซ้ำนี้

- 6) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่อนุญาตให้ผู้ขอใช้บริการมีรูปแบบการปิดซ้ำอัตโนมัติ สำหรับการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า
- 7) การซิงโครไนซ์ (Synchronization) ให้ทำที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า (Generator Circuit Breaker) หรือที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จุดเชื่อมต่อ (Interconnection Circuit Breaker) ตามความเหมาะสม
- 8) ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบระบบป้องกัน เพื่อไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบ ไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding) คือไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อบนระบบ โครงข่ายไฟฟ้า ในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อไม่มีไฟฟ้า โดยหาก ไม่มีไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ให้ปลดการเชื่อมต่อโดยทันที
- 9) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาความเหมาะสม ในการจ่าย ไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Islanding) จากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ให้กับผู้ ขอใช้บริการเป็นรายๆ ไป
- 10) ผู้ขอใช้บริการจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าของ ตนเอง ตามระเบียบนี้ หรือติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติมอื่นๆ ตามความ เหมาะสม ทั้งนี้การติดตั้งรีเลย์ระบบป้องกันจะต้องทำงานสอดคล้องกับระบบ ป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลังจากเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าแล้ว หากมีความเสียหายเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความบกพร่องทางด้านอุปกรณ์ระบบ ไฟฟ้าหรือสาเหตุอื่น ๆ ที่ผู้เชื่อมต่อต้องรับผิดชอบ ผู้เชื่อมต่อจะต้องเป็น ผู้รับผิดชอบต่อความเสียหายดังกล่าวทั้งหมด
- 11) ระบบป้องกันที่กำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นการออกแบบระบบ ป้องกันขั้นต่ำสุด ผู้ขอใช้บริการต้องพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้ง อุปกรณ์ป้องกันเพิ่มเติม เพื่อป้องกันการผิดพลาดของระบบป้องกันกรณีที่มีได้ กำหนดไว้ในระเบียบนี้ เช่น กระแสลัดวงจรผ่านความต้านทานสูง (High Impedance Fault: HIF) การเกิดการจ่ายไฟแบบแยกโดดโดยไม่ได้เจตนา (Inadvertent Islanding) ซึ่งหลังจากเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าแล้ว หากเกิดความเสียหายขึ้นต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าและหรือบุคคลที่ 3 ที่มีสาเหตุ

มาจากการจ่ายไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อ ผู้เชื่อมต่อจะต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น

- 12) ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพื่อไม่ทำให้เกิดการทำงานที่ไม่ประสานสัมพันธ์ (Protection Coordination) ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบโครงข่ายไฟฟ้า
- 13) ในกรณีที่ไม่มีรูปแบบการเชื่อมต่อและอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมสำหรับผู้ขอใช้บริการรายใด การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขอสงวนสิทธิ์การพิจารณารูปแบบการเชื่อมต่อที่เหมาะสมเป็นรายๆ ไป
- 14) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อและอุปกรณ์ป้องกันตามความเหมาะสม เพื่อความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า และผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก
- 15) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องออกแบบระบบไม่ให้เกิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า รวมทั้งต้องไม่รับกระแสไฟฟ้าจนทำให้ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเกิดความเสียหายหรือกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่น

#### 4.2 กรณีผู้ประกอบการไฟฟ้ารายอื่น

ผู้ประกอบการไฟฟ้ารายอื่นที่ขอเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาเป็นรายๆ ไป โดยคำนึงถึงความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า และผลประโยชน์ต่อส่วนรวมเป็นหลัก

#### 5. การควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบระบบควบคุมการจ่ายไฟจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อ ดังนี้

##### 5.1 การควบคุมระดับแรงดัน และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมระดับแรงดัน เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

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

ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมตัวประกอบกำลัง เพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยระบบที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) จะต้องสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.85 นำหน้าถึง 0.85 ตามหลัง หรือดีกว่า และจะต้องควบคุมได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ

- 1) A fixed displacement factor  $\cos \Theta$
- 2) A variable reactive power depending on the voltage Q(U)

ส่วนระบบที่มีคอนเวอร์เตอร์ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) จะต้องสามารถปรับค่าและควบคุมได้ตามตารางที่ 8 ดังนี้

**ตารางที่ 8** กำหนดความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังและวิธีการควบคุมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ สำหรับระบบที่มีคอนเวอร์เตอร์

ระดับแรงดัน ณ จุด เชื่อมต่อ	ความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังที่พิกัดกำลังไฟฟ้า	วิธีการควบคุมกำลังไฟฟารีแอกทีฟ
1) ระดับแรงดันต่ำ	0.95 ตามหลัง ถึง	จะต้องควบคุมได้อย่างน้อย 1 วิธี
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	0.95 นำหน้า หรือดีกว่า	คือ A fixed displacement factor $\cos \Theta$

### ตารางที่ 8 (ต่อ)

ระดับแรงดัน ณ จุด เชื่อมต่อ	ความสามารถในการปรับค่าตัวประกอบกำลังที่พิกัดกำลังไฟฟ้า	วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า500 กิโลวัตต์ )	0.90 ตามหลัง to 0.90 นำหน้า หรือ ดีกว่า	จะต้องควบคุมได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ 1) A fixed displacement factor $\cos \Theta$ 2) A variable reactive power depending on the voltage Q(U)

#### 5.2 การควบคุมความถี่ไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเป็นผู้ควบคุมความถี่ของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ให้อยู่ในเกณฑ์  $50 \pm 0.5$  รอบต่อวินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ซิงโครไนส์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ในกรณีเกิดเหตุผิดปกติ ถ้าความถี่ของระบบไม่อยู่ในช่วง 47.00 – 52.00 รอบต่อวินาที ต่อเนื่องเกิน 0.1 วินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องออกแบบให้ปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จุดเชื่อมต่อด้วยระบบอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าทันที สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจะต้องปฏิบัติตามที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกำหนด

#### 5.3 การควบคุมแรงดันกระเพื่อม

ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบ ติดตั้ง และควบคุมอุปกรณ์ ไม่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) ที่จุดต่อร่วมเกินข้อกำหนดเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ ทั้งนี้ ข้อกำหนดเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้า อาจมีการปรับปรุงเป็นคราวๆ ไป

#### 5.4 การควบคุมฮาร์มอนิก

ผู้ขอใช้บริการจะต้องออกแบบ ติดตั้ง และควบคุมอุปกรณ์ ที่ไม่ทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมผิดเพี้ยนเกินค่าที่กำหนดตามข้อกำหนดเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ ทั้งนี้ ข้อกำหนดเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้า อาจมีการปรับปรุงเป็นคราวๆ ไป

### 5.5 การควบคุมการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า

ผู้ขอใช้บริการที่มีระบบคอนเวอร์เตอร์ จะต้องออกแบบป้องกันการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อไม่เกินร้อยละ 0.5 ของกระแสพิคกิ้งของคอนเวอร์เตอร์

### 5.6 การติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

เพื่อให้สามารถตรวจสอบและควบคุมระดับคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ขอใช้บริการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตรวมกันเกินกว่า 1 เมกะวัตต์ หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดคอนเวอร์เตอร์และมีขนาดกำลังผลิตของคอนเวอร์เตอร์รวมกันเกินกว่า 250 กิโลวัตต์ จะต้องจัดหาและติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power quality meter) ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ณ ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของผู้ขอใช้บริการ

โดยผู้ขอใช้บริการจะต้องจัดหา ออกแบบ และติดตั้งระบบ Monitoring Systems สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ข้อมูล แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ความถี่ไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลัง, THDv, THDi, Pst และ Plt เป็นต้น ส่วนกรณีเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสงวนสิทธิ์อาจจะกำหนดให้มีการเก็บบันทึกข้อมูลของความเข้มแสง อุณหภูมิ หรือความเร็วลม(ตามแต่ละประเภทของแหล่งพลังงาน) เป็นกรณีๆไปตามรายละเอียดข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะต้องสามารถเรียกดูข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าในรูปแบบเวลาจริง (Real Time) ผ่านระบบสื่อสาร โดยผู้ขอใช้บริการเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด รวมทั้งค่าบริการรายเดือนของระบบสื่อสาร (ถ้ามี)

### 5.7 ระบบควบคุมระยะไกล

ผู้ขอใช้บริการที่เชื่อมโยงเพื่อขายไฟฟ้า ต้องเป็นผู้จัดหา ออกแบบ และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit) และ/หรือสวิตช์ตัดโหลดชนิดที่สามารถควบคุมสั่งการจากระยะไกลได้ (Remote Control Switch: RCS) แล้วแต่กรณีพร้อมระบบสื่อสาร เพื่อใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมระยะไกลของผู้ขอใช้บริการกับระบบควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition: SCADA) ของศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตามรายละเอียดที่กำหนดในข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมทั้งทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมระยะไกลกับระบบควบคุมระยะไกลของศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า โดยผู้ขอใช้บริการเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด รวมทั้งค่าบริการรายเดือนของระบบสื่อสารและอื่นๆ (ถ้ามี)

### 5.8 ระบบการติดต่อสื่อสาร

ผู้ขอใช้บริการต้องติดตั้งช่องทางการสื่อสารสำหรับการประสานงานในการสั่งการโดยตรงกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอย่างน้อย 2 ช่องทาง ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนด ยกเว้นผู้ขอใช้บริการที่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าปริมาณ ไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ ให้ใช้

ช่องทางการสื่อสารอย่างน้อย 1 ช่องทาง โดยช่องทางการสื่อสารที่เลือกใช้อาจเป็นวิทยุสื่อสารที่มีคลื่นความถี่ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด โทรศัพท์ หรืออื่นๆตามความเหมาะสม

#### 5.9 การเพิ่มกำลังการผลิตหรือขยายระบบไฟฟ้า

ผู้เชื่อมต่อที่จะเพิ่มกำลังการผลิตหรือขยายระบบไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อ จากส่วนที่ได้รับอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าแล้ว จะต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคก่อน โดยส่งรายละเอียดแผนการเพิ่มกำลังการผลิตหรือขยายระบบไฟฟ้าของผู้เชื่อมต่อ ให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาจะเริ่มดำเนินการไม่น้อยกว่า 3 เดือน

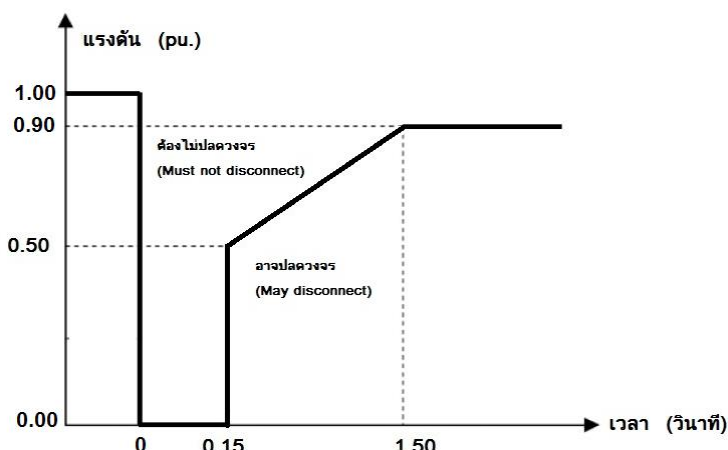
#### 5.10 ข้อกำหนดเพิ่มเติมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่จ่ายไฟผ่านคอนเวอร์เตอร์

1) ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมกำลังไฟฟ้า (Active power control) เพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยจะต้องสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าจาก 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0 เปอร์เซ็นต์ ได้ โดยสามารถปรับลดกำลังไฟฟ้าอย่างน้อยครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที

2) ความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ (Low voltage fault Ride through) ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนด ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยกำหนดตามระดับแรงดัน ณ จุดต่อเชื่อมดังแสดงตามตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** แสดงระยะเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องไม่ปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ระดับแรงดัน ณ จุด เชื่อมต่อ	Duration time (วินาที)
1) ระดับแรงดันต่ำ	
2) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งไม่เกิน 500 กิโลวัตต์)	ไม่ต้องการ
3) ระดับแรงดันปานกลางหรือระดับแรงดันสูง (กำลังผลิตติดตั้งมากกว่า 500 กิโลวัตต์)	ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงความสามารถในการทนต่อสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ  
(Low voltage fault Ride through)

3) การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection) ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการจะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหากขนาดของแรงดัน Line to Neutral ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า มีค่าออกนอกช่วงที่ระบุในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงระยะเวลาปลดวงจรเมื่อแรงดันไม่อยู่ในช่วงแรงดันพิกัด

ระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อ	ระยะเวลาตัดวงจร (วินาที)
$V < 50\%$	0.3
$50\% \leq V < 90\%$	2.0
$90\% \leq V \leq 110\%$	แรงดันทำงานต่อเนื่อง
$110\% < V < 120\%$	1.0
$V \geq 120\%$	0.16

4) การป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าให้ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายใน 1 วินาที

5) การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Response to utility recovery) ภายหลังจากที่ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการปลดตัวเองออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดัน/ความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่สภาวะปกติ

แล้วระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ให้บริการจะต้องหนดวงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลา 20 วินาที ถึง 5 นาที

6) การต่อลงดิน (Earthing), การป้องกันการลัดวงจร (Short circuit protection) และการตัดตอนและการปลดสับ (Isolation and switching) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60364-7-712

7) ผู้ขอใช้บริการจะต้องทำการทดสอบคอนเวอร์เตอร์ ตามรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการทดสอบตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lin C.-H., Hsieh W.-H., Chen C.-S., Hsu C.-T.,(2011) ทำการวิเคราะห์และศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ใน Main Stadium of the 2009 World Games ที่มีการขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งศึกษาในเรื่องของ Net Present Value(NPV) และ Internal Rate of Return(IRR) พร้อมทั้งศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายในเรื่องของแรงดันไฟฟ้า และลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

Suh M.-h.,Kim K.-H., Kwon Y.I.(2012) ศึกษาประสิทธิภาพและวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยศึกษาจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 20 MW ที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและผลิตไฟฟ้าแล้ว ซึ่งสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้าอยู่ที่ Incheon ประเทศเกาหลี

Muneer W., Bhattacharya K., Cañizares C. A.(2011) ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ที่ Ontario ประเทศ Canada โดยพิจารณาความเหมาะสมจากขนาดโรงไฟฟ้า, ที่ตั้งโรงไฟฟ้า และระยะเวลาของการลงทุน ทั้งนี้ยังมีการพิจารณาความเข้มแสงอาทิตย์ รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่างๆ ประกอบการวิเคราะห์ด้วย

Zhao B., Zhang X., Chen J., Wang C., Guo L.(2013) ทำการศึกษางานที่เหมาะสมของแบตเตอรี่(การดิสชาร์จ และชาร์จที่เหมาะสม) ร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทนและเครื่องยนต์ดีเซลในระบบไมโครกริดบนเกาะในประเทศจีน เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งจะเป็นลดต้นทุนในการเปลี่ยนแบตเตอรี่

Mao M., Jin P., Chang L., Xu H. (2014) ทำการศึกษาและออกแบบระบบไมโครกริดที่มีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับแบตเตอรี่ให้เหมาะสม โดยศึกษาข้อมูลและออกแบบระบบไมโครกริดพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 500 kW ร่วมกับแบตเตอรี่ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศจีน ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาและประเมินผลประโยชน์ที่ได้รับทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อม 3 หัวข้อ คือ ระดับราคาของพลังงาน (Levelized Energy Cost(LEC)),ผลตอบแทนจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Reduction Benefit(ERB)) และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period(PBP))

2. ศึกษาโครงสร้างทั่วไปของระบบไมโครกริดและภาระการใช้ไฟฟ้า ซึ่งได้ศึกษาโครงสร้างของโรงงานอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ของระบบไมโครกริดและลักษณะพฤติกรรมภาระการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งได้ศึกษาและกำหนดการทำงานของระบบไมโครกริดใน 4 ลักษณะ คือ

- 1) ไม่มีระบบเก็บกักพลังงานและไม่ให้จ่ายไฟเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (Utility)
- 2) มีระบบเก็บกักพลังงานและไม่ให้จ่ายไฟเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (Utility)
- 3) ไม่มีระบบเก็บกักพลังงานและสามารถให้จ่ายไฟเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (Utility)
- 4) มีระบบเก็บกักพลังงานและสามารถให้จ่ายไฟเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า (Utility)

3. ออกแบบระบบระบบไมโครกริดให้เหมาะสมโดยพิจารณาปริมาณพลังงานที่ผลิตได้, ปริมาณภาระการใช้ไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งมีการกำหนดการทำงานชาร์จหรือดิสชาร์จของแบตเตอรี่

จากการวิจัยสรุปว่าการออกแบบระบบไมโครกริดด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะให้ผลประโยชน์สูงสุดทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและต่อสังคมจะต้องมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมโดยต้องสามารถขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้า (Utility) ด้วยและผลประโยชน์สูงสุดทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสังคมก็จะมีเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่กำหนด เช่น ราคารับซื้อไฟฟ้า, ราคาแบตเตอรี่ เป็นต้น

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

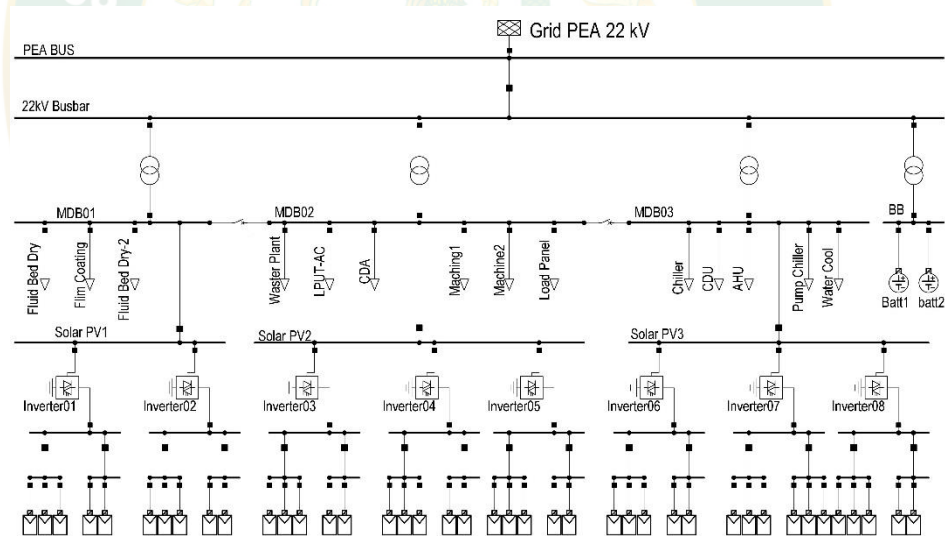
#### 3.1 โปรแกรมวิเคราะห์

ในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DigSILENT PowerFactory เพื่อสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงงานและเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเนื่องจากโปรแกรมเป็นที่ยอมรับในระดับสากล และวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านไฟฟ้าตามที่ต้องการได้

#### 3.2 ข้อมูลการวิเคราะห์

##### 3.2.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าภายในโรงงานภาคอุตสาหกรรม

แบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลโคกขาม อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยเป็นไปตามภาพที่ 21



ภาพที่ 21 รูปแบบจำลองระบบไฟฟ้าของโรงงานซึ่งตั้งอยู่ที่  
ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

### 3.2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Power Plant : PVP)

PVP ของโรงงานมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวมของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 995.715 kWp ต่อร่วมกับอินเวอร์เตอร์ขนาดรวม 825 kW เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดภายในงานอุตสาหกรรมสำหรับรายละเอียดการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวม แสดงตามตารางที่ 11

### 3.2.3 โหลดการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of use: TOU Rate) และในการวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลโหลดการใช้ไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการการใช้ไฟฟ้าให้ครอบคลุมในช่วงเวลา Peak และ Off-peak ทั้งวันธรรมดา และวันหยุด ซึ่งพบว่าวันธรรมดา(จันทร์-ศุกร์) มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าวันหยุด(เสาร์-อาทิตย์) และในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 19.00 น. มีการใช้ไฟฟ้ามาก รายละเอียดปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าแสดงตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ PVPจ่ายให้กับโหลดและข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ของโรงงาน

เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจาก PVP และโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า (MW)ของโรงงาน		
	กำลังไฟฟ้าจาก PVP	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เฉลี่ยวันธรรมดา	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เฉลี่ยวันหยุด
1.00	0.00	52.00	59.20
2.00	0.00	52.20	57.90
3.00	0.00	50.10	56.10
4.00	0.00	51.60	56.70
5.00	0.00	51.60	57.00
6.00	0.00	41.40	55.80
7.00	6.80	45.60	44.90
8.00	130.30	114.00	33.20
9.00	292.40	752.00	467.10
10.00	370.70	769.00	544.30
11.00	678.40	882.70	466.30

ตารางที่ 11 (ต่อ)

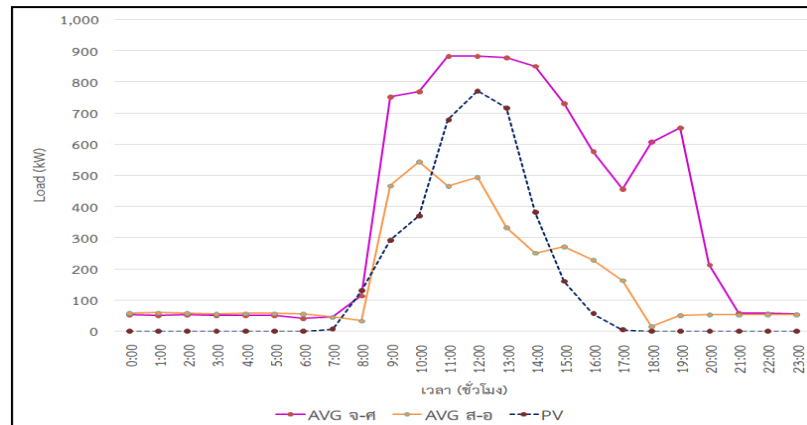
เวลา (ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าจาก PVP และโหลดผู้ใช้ไฟฟ้า (MW)ของโรงงาน		
	กำลังไฟฟ้าจาก PVP	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เฉลี่ยวันธรรมดา	โหลดผู้ใช้ไฟฟ้า เฉลี่ยวันหยุด
12.00	771.60	883.20	493.80
13.00	716.90	878.10	332.70
14.00	381.50	851.00	251.10
15.00	160.10	730.60	271.80
16.00	56.80	576.90	229.10
17.00	5.60	456.20	163.10
18.00	0.00	606.70	14.80
19.00	0.00	652.70	51.00
20.00	0.00	213.60	52.70
21.00	0.00	58.20	52.00
22.00	0.00	57.20	53.30
23.00	0.00	54.80	52.40
24.00	0.00	52.90	57.80

### 3.2.4 แบตเตอรี่ (BESS)

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการเก็บกักพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมนี้ จะเลือกแบบชนิดตะกั่ว ที่มีประสิทธิภาพ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเลือกขนาดไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับการสูญเสียพลังงานทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรม อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ประมาณ 5 ถึง 15 ปี

### 3.3 การหาค่าการสูญเสียพลังงาน

การสูญเสียพลังงานเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการจ่ายไฟฟ้าของ PVP กับปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าแสดงตามภาพที่ 22 ซึ่งค่าการสูญเสียพลังงานเกิดจาก PVP มีการติดตั้งไม่เหมาะสม ทำให้มีการผลิตไฟฟ้ามากเกินไปกว่าโหลดการใช้ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้มีพลังงานส่วนเกินจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยปัจจุบันพลังงานที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้านี้ไม่สามารถขายไฟฟ้าได้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองโดยการหาตามสมการที่ 17 – 18



ภาพที่ 22 ปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของ PVP และปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า  
ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ของโรงงาน

$$E_{LOSS} = E_{PVP} - E_{USE}$$

สมการที่ 17

$$E_G = \frac{E_{LOSS}}{E_{USE}} \times 100$$

สมการที่ 18

โดยกำหนดให้

$E_{LOSS}$  คือ การสูญเสียพลังงานหน่วยเป็น kWh

$E_{PVP}$  คือ พลังงานที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์หน่วยเป็น kWh

$E_{USE}$  คือ พลังงานการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมหน่วยเป็น kWh

$E_G$  คือ การสูญเสียพลังงานเมื่อเทียบกับพลังงานการใช้ไฟฟ้าหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

จากสมการที่ 17- 18 ก็ได้จะได้ค่าการสูญเสียพลังงานและนำไปหาขนาดแบตเตอรี่ที่

เหมาะสมต่อไป

### 3.4 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

สมมติฐานในการศึกษาวิจัย เพื่อหาค่า IRR และ PBP นี้เป็นไปตาม ตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สมมติฐานในการศึกษาวิจัย

อัตราค่าซื้อไฟฟ้า TOU (บาท/kWh)		อัตราค่าขายไฟฟ้า	ราคาแบตเตอรี่	อายุโครงการ
PEAK	OFF-PEAK	(บาท/kWh)	(บาท/kWh)	
4.2097	2.6295	1.68	6,000	5 ปี

### 3.5 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นตามขั้นตอน ลำดับตามแผนภาพภาพที่ 23 โดยมีรายละเอียดดังนี้  
ลำดับที่ 1 สร้างจำลองวงจรระบบไฟฟ้าของโรงงาน

ลำดับที่ 2 ป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การจ่ายพลังงานไฟฟ้าของ PVP และภาระการใช้ไฟฟ้าของโรงงานในแบบจำลองระบบไฟฟ้า

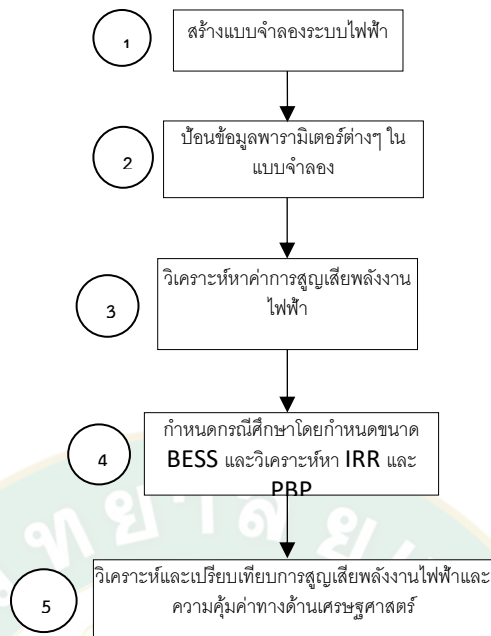
ลำดับที่ 3 วิเคราะห์หาค่าการสูญเสียพลังงานของโรงงานในรอบ 1 สัปดาห์ โดยหาค่าการสูญเสียพลังงานเฉลี่ยในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดซึ่งไม่มีการติดตั้ง BESS

ลำดับที่ 4 กำหนดกรณีศึกษาโดยกำหนดขนาด BESS และวิเคราะห์หา IRR และ PBP ของโรงงานโดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดติดตั้งขนาด BESS ที่สามารถเก็บกักพลังงานเท่ากับ 100% ของค่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในวันธรรมดาของโรงงานโดย BESS เริ่มชาร์จเพื่อเก็บกักพลังงานตั้งแต่เริ่มมีพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK หรือ OFF-PEAK

กรณีที่ 2 กำหนดติดตั้งขนาด BESS ที่สามารถเก็บกักพลังงานเท่ากับ 100% ของค่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุดของโรงงานโดย BESS เริ่มชาร์จเพื่อเก็บกักพลังงานตั้งแต่เริ่มมีพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK หรือ OFF-PEAK

ลำดับที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงงาน



ภาพที่ 23 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

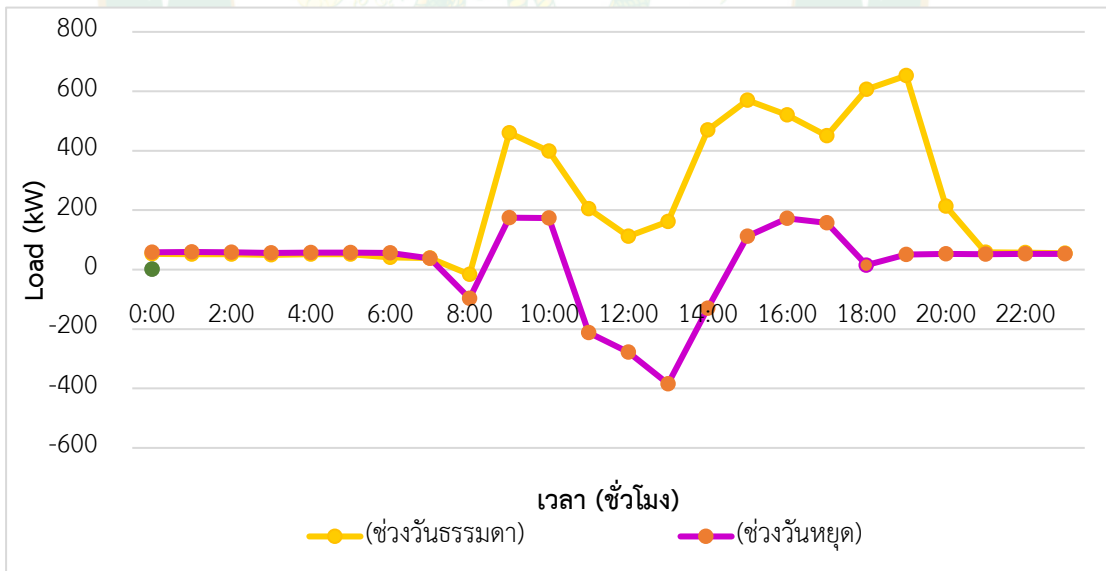
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การสูญเสียพลังงานและการเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่

ผลการวิจัยแสดงช่วงเวลาการสูญเสียพลังงานในช่วงวันธรรมดา(เฉลี่ยวันจันทร์ถึงศุกร์) และวันหยุด(เฉลี่ยวันเสาร์และอาทิตย์) ของโรงงานตามภาพที่ 24 พร้อมแสดงค่าการสูญเสียพลังงานและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียพลังงานในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดของโรงงานพร้อมเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ซึ่งถูกแสดงตามตารางที่ 13 โดยมีรายละเอียดดังนี้

โรงงานมีการสูญเสียพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองช่วงวันธรรมดาในช่วงเวลาประมาณ 8.00 น. เท่ากับ 16.3 kWh คิดเป็น 0.18 เปอร์เซ็นต์และเลือกขนาดแบตเตอรี่ 20 kWh เพื่อเก็บกักพลังงาน สำหรับช่วงวันหยุดพบการสูญเสียพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองในช่วงเวลาประมาณ 8.00 น. และ 11.00-14.00 น. เท่ากับ 1,101.64 kWh คิดเป็น 27.72 เปอร์เซ็นต์ และเลือกขนาดแบตเตอรี่ 1,377 kWh เพื่อเก็บกักพลังงาน



ภาพที่ 24 กราฟแสดงช่วงเวลาการสูญเสียพลังงานในช่วงวันธรรมดา และวันหยุดของโรงงาน

**ตารางที่ 13** ข้อมูลแสดงการสูญเสียพลังงาน ( $E_{Loss}$ ) และการสูญเสียพลังงานเมื่อเทียบกับพลังงานการใช้ไฟฟ้า ( $E_G$ ) ในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดของโรงงาน

	วันธรรมดา	วันหยุด
$E_{Loss}$ (kWh)	16.3	1,101.64
$E_G$ (%)	0.18	27.72
ขนาดแบตเตอรี่ (kWh) ที่เพียงพอ	20	1,377

#### 4.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่ากรณีไม่ติดตั้ง BESS จะต้องลดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือหากไม่ลดกำลังการผลิตไฟฟ้าก็จะเกิดพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหากไม่สามารถขายไฟฟ้าตามอัตราค่าขายไฟฟ้าได้จะถือเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยโรงงานมีค่าการสูญเสียพลังงานในช่วงวันธรรมดาเท่ากับ 16.3 kWh ต่อวัน และในช่วงวันหยุดเท่ากับ 1,101.64 kWh ต่อวัน แต่เมื่อติดตั้ง BESS จะเป็นการลดการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาค่า PBP และ IRR ในการลงทุนติดตั้ง BESS ของโรงงานได้ ตามตารางที่ 14 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีติดตั้ง BESS = 20 kWh (เพื่อเก็บกักพลังงาน 100% ในช่วงวันธรรมดา) พบว่ามีค่า IRR เท่ากับ -2.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ IRR เท่ากับ -13.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK โดย IRR จะดีขึ้นหากราคาลงทุน BESS ลดลง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจะได้ PBP เท่ากับ 5 ปี เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ PBP เท่ากับ 7 ปี เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK โดย PBP จะดีขึ้นหากราคาลงทุน BESS ลดลง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

กรณีติดตั้ง BESS = 1,377 kWh (เพื่อเก็บกักพลังงาน 100% ในช่วงวันหยุด) พบว่ามีค่า IRR เท่ากับ -37.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ IRR เท่ากับ -38.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK โดย IRR จะดีขึ้นหากราคาลงทุน BESS ลดลง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจะได้ PBP เท่ากับ 25 ปี เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ PBP เท่ากับ 26 ปี เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK โดย PBP จะดีขึ้นหากราคาลงทุน BESS ลดลง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่าหากติดตั้ง BESS เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในวันธรรมดา (20 kWh) ก็จะมีค่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองในช่วงวันหยุด เท่ากับ 1,085.34 kWh ต่อวัน หรือเท่ากับ 2,170.68 kWh ต่อสัปดาห์

**ตารางที่ 14** แสดงค่า IRR และ PBP ของโรงงานกรณีหากมีการสูญเสียพลังงานไม่สามารถขายไฟฟ้าได้

BESS	ส่วนลด ค่าการ ลงทุน BESS	IRR ของ BESS จ่าย พลังงานในแต่ละ ช่วงเวลา		PBP ของ BESS จ่ายพลังงานในแต่ละ ช่วงเวลา		การสูญเสีย พลังงานใน รอบ 1 สัปดาห์ (kWh)
		Peak	Off- Peak	Peak	Off- Peak	
		100 %	0%	-2.9%	-13.2%	
(20 kWh)	-10%	0.5%	-10.4%	4	7	2,170.7
	-20%	4.6%	-7.0%	4	6	
100 %	0%	-37.9%	-38.2%	25	26	
(1,377 kWh)	-10%	-36.1%	-36.5%	23	23	0
	-20%	-34.1%	-34.5%	20	21	

ทั้งนี้หากติดตั้ง BESS เพื่อลดการสูญเสียพลังงานแล้ว และในช่วงวันหยุดมีพลังงานไฟฟ้าคงเหลือจากการเก็บกักพลังงานที่ไหลย้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าสามารถขายไฟฟ้าได้ สามารถหาค่า PBP และ IRR ในการลงทุนติดตั้งแบตเตอรี่ของโรงงานได้ ตามตารางที่ 15 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีติดตั้ง BESS = 20 kWh จะสามารถเก็บกักพลังงาน 100% ในช่วงวันธรรมดา แต่จะพบว่ามีความพลังงานไฟฟ้าคงเหลือสามารถขายไฟฟ้าได้ในช่วงวันหยุดเท่ากับ 2,170.7 kWh ต่อสัปดาห์ พบว่ามีค่า IRR เท่ากับ 172.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ IRR เท่ากับ 166.7 เปอร์เซ็นต์เมื่อ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK โดย IRR จะดีขึ้นหากราคาลงทุน BESS ลดลง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจะสามารถคืนทุนได้เลย (PBP เท่ากับ 0 ปี ทั้งกรณี BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่าย

ไฟฟ้าให้กับโหนดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK และ BESS ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหนดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา OFF-PEAK)

ตารางที่ 15 แสดงค่า IRR และ PBP ของโรงงาน กรณีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสามารถขายไฟฟ้าได้

BESS	ส่วนลด ค่าการ ลงทุน	IRR ของ BESS จ่าย พลังงานในแต่ละ ช่วงเวลา		PBP ของ BESS จ่ายพลังงานในแต่ละ ช่วงเวลา		การสูญเสีย พลังงานใน รอบ 1 สัปดาห์ (kWh)
		Peak	Off- Peak	Peak	Off- Peak	
		BESS				
100 %	0%	172.3%	166.7%	0	0	
(20 kWh)	-10%	191.8%	185.6%	0	0	0
	-20%	216.1%	209.1%	0	0	
100 %	0%	-37.9%	-38.2%	25	26	
(1,377 kWh)	-10%	-36.1%	-36.5%	23	23	0
	-20%	-34.1%	-34.5%	20	21	

#### 4.3 อภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลพบว่าโรงงานมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันในช่วงกลางวันของวันธรรมดาและวันหยุด โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากในช่วงธรรมดาและใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยในช่วงวันหยุด ดังนั้น เมื่อโรงงานมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองในโรงงาน และมีการผลิตไฟฟ้าเกินกว่าความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะถือได้ว่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เอง ดังแสดงค่าการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าตามตารางที่ 13 ตามลักษณะการใช้พลังงานและความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และเพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานจึงได้ศึกษาโดยติดตั้ง BESS ขนาด 20 kWh หรือ 1,377 kWh ให้กับโรงงาน ซึ่งพบว่าถ้าเลือกติดตั้ง BESS ที่ 20 kWh จะไม่สามารถชาร์จและดิสชาร์จพลังงานแต่ละวันได้ทั้งหมด จะยังคงมีการสูญเสียพลังงานมากในช่วงวันหยุด และถ้าเลือกติดตั้ง BESS ที่ 1,377 kWh จะสามารถชาร์จและดิสชาร์จพลังงานแต่ละวันได้ทั้งหมด ไม่มีการสูญเสียพลังงาน แต่จะใช้ BESS ไม่คุ้มค่าเต็มประสิทธิภาพอย่างมาก และการลงทุนติดตั้ง BESS ระหว่างขนาด 20 kWh และ 1,377 kWh ซึ่งแตกต่างกันมากจะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างชัดเจน ดังแสดงตามตารางที่ 14 โดยพบว่า การติดตั้ง BESS ที่ 20 kWh เพื่อเก็บกักพลังงานในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดและ

ดิสชาร์จเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา PEAK มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ แต่จะยังคงมีการสูญเสียพลังงานอย่างมาก เนื่องจากโรงงานมีความแตกต่างของลักษณะการใช้พลังงานในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดที่สูงมาก หากในอนาคตต้นทุนราคา BESS ลดลงจะทำให้ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทั้ง IRR และ PBP ดีขึ้นอีกในทุกกรณี

ทั้งนี้หากพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการเก็บกักพลังงานของโรงงาน สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและขายพลังงานไฟฟ้าได้ จะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงตามตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าการติดตั้ง BESS ที่ขนาด 20 kWh มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น เนื่องจากมีรายได้เพิ่มจากการขายพลังงานไฟฟ้าที่คงเหลือจากการเก็บกักพลังงาน แต่ถ้าหากโรงงานเลือกติดตั้ง BESS ที่ขนาด 1,377 kWh จะไม่มีความเปลี่ยนแปลงเรื่องความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากสามารถเก็บกักพลังงานได้ทั้งหมด และไม่มีพลังงานไฟฟ้าเหลือขาย



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์และหาค่าการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีลักษณะของความต้องการใช้พลังงานในช่วงวันธรรมดา(วันจันทร์-ศุกร์) และวันหยุด(วันเสาร์-อาทิตย์) แตกต่างกัน และเลือกขนาดแบตเตอรี่รีขนาดต่างๆ ตามลักษณะช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านระยะเวลาการคืนทุน(Payback Period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return:IRR) ซึ่งพบว่าหากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองแล้ว และมีการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าก็สามารถเลือกติดตั้งแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าและมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเพื่อใช้เองให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด และลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่อาจจะจ่ายเข้ามาสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ลดผลกระทบเรื่องคุณภาพไฟฟ้าและเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของโรงงานนี้ ควรเลือกขนาดเล็กที่เก็บกักพลังงานได้ทั้งหมดในช่วงวันธรรมดา (วันจันทร์-วันศุกร์) และยินยอมให้มีการสูญเสียพลังงานบ้างในช่วงวันหยุด(วันเสาร์-อาทิตย์) เนื่องจากโรงงานมีลักษณะความต้องการใช้พลังงานในช่วงวันธรรมดาน้อยกว่าวันหยุดมาก และสามารถมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ดีกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดใหญ่เพื่อเก็บพลังงานได้ทั้งหมด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้าน IRR และ PBP ตามสมมุติฐานที่กำหนด ซึ่งการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ยังต้องคำนึงถึงสมมุติฐานและการวิเคราะห์ด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องต่อไป รวมถึงแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ ที่อาจจะนิยมใช้ในอนาคตต่อไป

2. ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ในการหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของโรงงาน อาจจะต้องใช้มากกว่ารอบ 1 สัปดาห์ เช่น 1 เดือน หรือ 1 ปี เพื่อให้การวิเคราะห์หาค่าขนาดแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสมมากขึ้นกับการใช้งานเก็บกักพลังงานและใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

## บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/4535> (30 กรกฎาคม 2562).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **ศักยภาพแสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [https://www.dede.go.th/article\\_attach/developed\\_solarmap60%20-%20Copy.pdf](https://www.dede.go.th/article_attach/developed_solarmap60%20-%20Copy.pdf). (30 มิถุนายน 2562)
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). **ข้อกำหนดการใช้บริการระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559, ข้อกำหนดการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559, ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.pea.co.th/เกี่ยวกับเรา/การดำเนินการตามนโยบายรัฐบาล/โครงการเชื่อมโยงโครงการต่างๆกับระบบงาน-กฟภ-VSPP/PID/1070/ev/0/CategoryID/42/CategoryName/ระเบียบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง> (15 ธันวาคม 2562)
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). **รายงานฉบับสมบูรณ์ แนวทางการผลิตพลังงานหมุนเวียนกับระบบไฟฟ้าและพัฒนานโยบายการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/climatechange/103-educationbook/87-2016-02-19-03-47-7>. (30 พฤศจิกายน 2562)
- จุมพล ไชยบิน, ศุภเสฏฐ์ ดันไชยโรจน์, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวารี, เสริมสุข บัวเจริญ, ยิ่งรักษ อรรถเวชกุล. (2561a). **การเก็บกักพลังงานโดยใช้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าที่ตัวเอง**. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กฟภ. ปี 2561. 58-62.
- จุมพล ไชยบิน, ศุภเสฏฐ์ ดันไชยโรจน์, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวารี, เสริมสุข บัวเจริญ, ยิ่งรักษ อรรถเวชกุล. (2561b). **การวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ในการเก็บกักพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่แต่ละขนาดของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบผลิตไฟฟ้าที่ตัวเอง**. งานประชุมวิชาการและนวัตกรรม กฟภ. ปี 2561. 209-214
- ณัฐดนัย เนียมทอง. (ม.ป.ป.). **สเปกตัมของแสง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.sci.math.org/article-physics/item/7744-2017-12-04-04-50-47> (30 กันยายน 2562).

- บริษัท เอ็มพีซี พิวเจอร์ เอ็นเนอร์ยี เซฟ จำกัด. (ม.ป.ป.). **เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับสายส่งการไฟฟ้า**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.mpcfutureenergy.com/Grid-Connected-System.php> (30 กันยายน 2562).
- วสุพร ตีวงาม. (2558). **การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี สำหรับบ้านอยู่อาศัย**. วิทยานิพนธ์ เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต.คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.). **การใช้พลังงานแสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.reca.or.th/library-solar-energy.aspx> (15 กรกฎาคม 2562)
- สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2562). **ข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้า SPP/VSP**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=&muid=23&prid=41> (30 กันยายน 2562).
- LEONICS. (ม.ป.ป.). **ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อบ้านพักอาศัย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.leonics.co.th/html/th/pd\\_ecs/pd\\_ecs\\_ses.php](http://www.leonics.co.th/html/th/pd_ecs/pd_ecs_ses.php) (30 กันยายน 2562).
- Lin C.-H., Hsieh W.-H., Chen C.-S., Hsu C.-T. (2011) Financial analysis of a large-scale photovoltaic system and its impact on distribution feeders. **IEEE Trans. Ind.**, vol. 47, 1884–1891.
- Mao M., Jin P., Chang L., Xu H. (2014) Economic Analysis and Optimal Design on Microgrids With SS-PVs for Industries. **IEEE Trans. Sustain. Energy.**, vol. 5, 1328 - 1336.
- Muneer W., Bhattacharya K., Cañizares C. A. (2011) Large-scale solar PV investment models, tools, and analysis: The Ontario case. **IEEE Trans. Power Syst.**, vol. 26, 2547–2555.
- Suh M.-h., Kim K.-H., Kwon Y.I. (2012) Economic analysis of Korean photovoltaic power generation project. **Proc. 8th Int. Conf. Inf. Sci. Digit. Content Technol. (ICIDT)**, Jeju Island, Korea, 340–343.

Zhao B., Zhang X., Chen J., Wang C., Guo L. (2013) Operation optimization of standalone microgrids considering lifetime characteristics of battery energy storage system. **IEEE Trans. Sustain. Energy.**, vol. 4, 934–943.

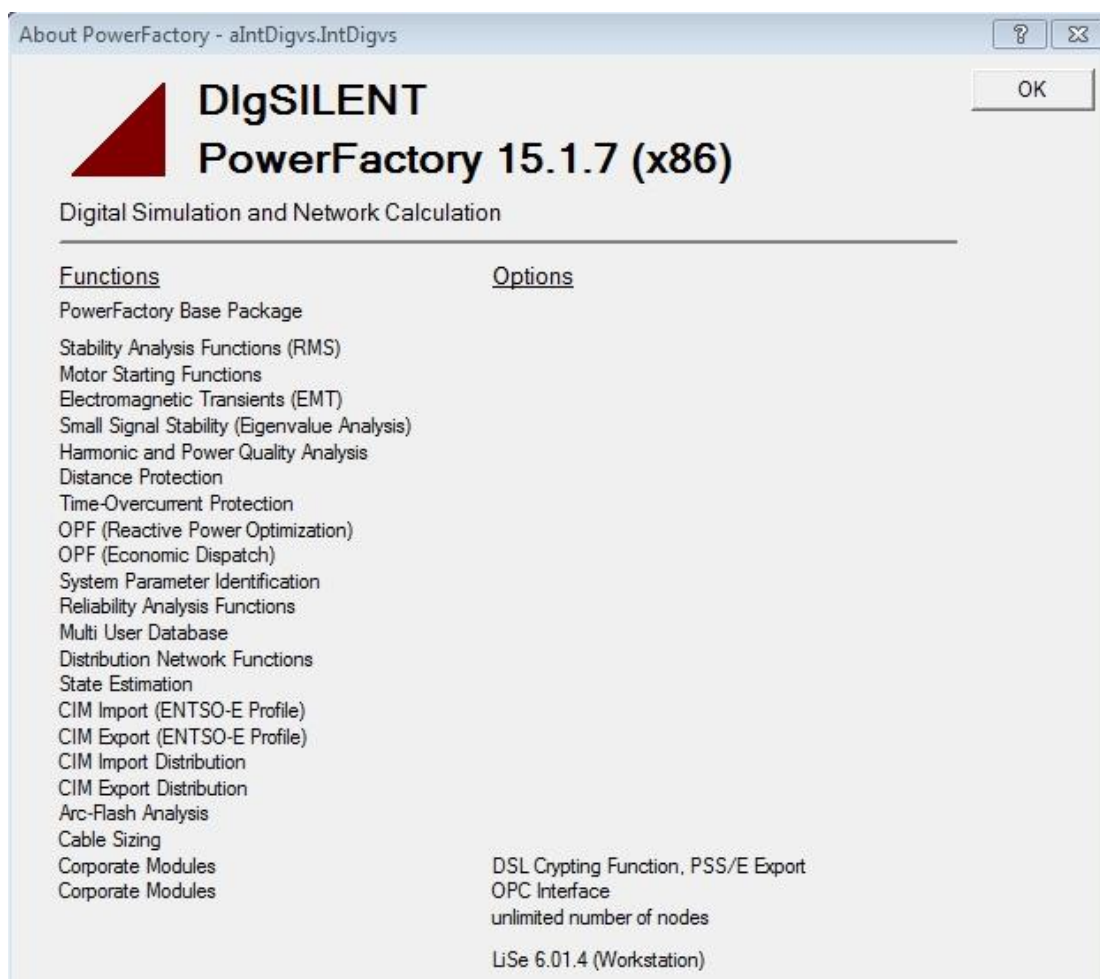




ภาคผนวก

## ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

ซอฟต์แวร์ DlgSILENT PowerFactory รุ่น 15.1.7 ถูกใช้สำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของโรงงาน โดยมีรายละเอียดตามภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 รายละเอียดซอฟต์แวร์

## ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ของโรงงาน

อินเวอร์เตอร์สำหรับใช้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของโรงงาน มีรายละเอียดตามภาพผนวกที่ 2

### SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL




SPT 15000TL-30 / SPT 20000TL-30 / SPT 25000TL-30

<p><b>Efficient</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum efficiency of 98.4%</li> </ul>	<p><b>Safe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DC surge arrester (SPD type II) can be integrated</li> </ul>	<p><b>Flexible</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DC input voltage of up to 1000 V</li> <li>• Multistring capability for optimum system design</li> <li>• Optional display</li> </ul>	<p><b>Innovative</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cutting-edge grid management functions with Integrated Plant Control</li> <li>• Reactive power available 24/7 (Q on Demand 24/7)</li> </ul>
---	--	---	---

### SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

The versatile specialist for large-scale commercial plants and solar power plants

The Sunny Tripower is the ideal inverter for large-scale commercial and industrial plants. Not only does it deliver extraordinary high yields with an efficiency of 98.4%, but it also offers enormous design flexibility and compatibility with many PV modules thanks to its multistring capabilities and wide input voltage range.

The future is now: the Sunny Tripower comes with cutting-edge grid management functions such as Integrated Plant Control, which allows the inverter to regulate reactive power at the point of common coupling. Separate controllers are no longer needed, lowering system costs. Another new feature—reactive power provision on demand (Q on Demand 24/7).

ภาพผนวกที่ 2 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์

## SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL
<b>Input (DC)</b>	
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$ ) / DC rated power	15330 W / 15330 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3
<b>Output (AC)</b>	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W
Max. AC apparent power	15000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V
AC voltage range	180 V to 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
THD	≤ 3%
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%
<b>Protective devices</b>	
DC-side disconnection device	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester (Type II) can be integrated	○
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
<b>General data</b>	
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)
Weight	61 kg (134.48 lb)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
Noise emission (typical)	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
<b>Features / function / Accessories</b>	
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	○
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
Planned certificates and permits	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 016, CEI 021, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 0972:1, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15712.1, VDE 0126-1-1, VDE AR N 4105, VFR 2014
* Does not apply to all national appendices of EN 50438	
Type designation	STP 15000TL-30

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



## ข้อมูลแผงโซลาร์เซลล์






แผงโซลาร์เซลล์สำหรับใช้ในโรงงาน มีรายละเอียดตามภาพผนวกที่ 3

www.jinkosolar.com

Jinko Solar



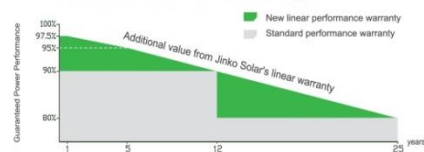
### KEY FEATURES

-  Worldwide first PID free module under 85 °C /85% RH condition: No power loss caused by potential induced degradation
-  Polycrystalline 72-cell module achieves a power output up to 315Wp
-  Entire module certified to withstand high wind loads (2400 Pascal) and snow loads (5400 Pascal)
-  Excellent low light performance thanks to optimize solar cell design
-  Passing anti ammonia and anti salt mist guarantees to deliver full performance in coastal or agricultural areas

### QUALITY & SAFETY

- Positive power tolerance of  $-0/+3\%$  \*
- 10 year warranty on material & workmanship \*
- Industry leading power output warranty (12 years/90%, 25 years/80%)
- Premium linear performance warranty \*

#### Premium Performance Warranty



\* Based on customer requirements and contract terms

ISO9001:2008-ISO14001:2004-OHSAS18001 certified factory  
IEC61215-IEC61730-IEC61701-IEC62716 certified products

### APPLICATIONS



On-grid residential roof-tops



On-grid commercial/ industrial roof-tops



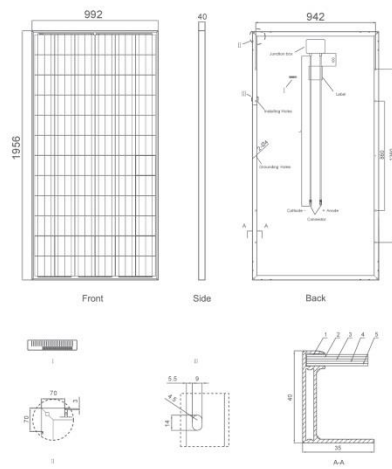
Solar power plants



Off-grid systems

ภาพผนวกที่ 3 ข้อมูลแผงโซลาร์เซลล์

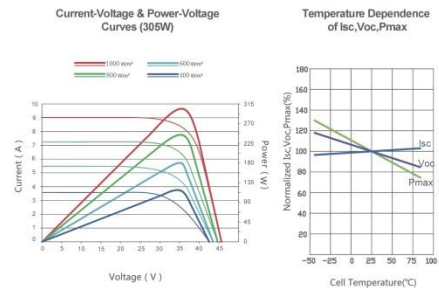
## Engineering Drawings



## Packaging Configuration

( Two boxes = One pallet )  
25pcs/ box, 50pcs/pallet, 550 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline	156×156mm (6 inch)
No. of cells	72 (6×12)	
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)	
Weight	25.9 kg (57.1 lbs.)	
Front Glass	4.0mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box	IP67 Rated	
Output Cables	TÜV 1×4.0mm², Length:900mm	

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM300PP		JKM305PP		JKM310PP		JKM315PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	300Wp	221Wp	305Wp	225Wp	310Wp	230Wp	315Wp	234Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.6V	33.2V	36.8V	33.5V	37.0V	33.8V	37.2V	34.2V
Maximum Power Current (Imp)	8.20A	6.67A	8.30A	6.72A	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A
Open-circuit Voltage (Voc)	45.3V	41.5V	45.6V	42.1V	45.9V	42.6V	46.2V	43.1V
Short-circuit Current (Isc)	8.84A	7.18A	8.91A	7.22A	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A
Module Efficiency STC (%)	15.46%		15.72%		15.98%		16.23%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📖 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📖 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-MKT -315PP\_rev2013

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)

### ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงงานที่ตั้งอยู่ที่ ต.ตำบลโคกขาม อำเภอมืองจังหวัดสมุทรสาคร ระหว่างวันที่ 12 – 18 มกราคม 2561 มีรายละเอียดตามภาพผนวกที่ 4

INV-SMA-kw				
date--time		kw		
12-01-61	1:00 ...	0.0	13-01-61 17:00 ...	5.5
12-01-61	2:00 ...	0.0	13-01-61 18:00 ...	0.0
12-01-61	3:00 ...	0.0	13-01-61 19:00 ...	0.0
12-01-61	4:00 ...	0.0	13-01-61 20:00 ...	0.0
12-01-61	5:00 ...	0.0	13-01-61 21:00 ...	0.0
12-01-61	6:00 ...	0.0	13-01-61 22:00 ...	0.0
12-01-61	7:00 ...	6.5	13-01-61 23:00 ...	0.0
12-01-61	8:00 ...	129.3	13-01-61 24:00 ...	0.0
12-01-61	9:00 ...	315.4	14-01-61 1:00 ...	0.0
12-01-61	10:00 ...	375.2	14-01-61 2:00 ...	0.0
12-01-61	11:00 ...	679.8	14-01-61 3:00 ...	0.0
12-01-61	12:00 ...	751.8	14-01-61 4:00 ...	0.0
12-01-61	13:00 ...	722.9	14-01-61 5:00 ...	0.0
12-01-61	14:00 ...	359.0	14-01-61 6:00 ...	0.0
12-01-61	15:00 ...	155.2	14-01-61 7:00 ...	7.1
12-01-61	16:00 ...	55.7	14-01-61 8:00 ...	135.5
12-01-61	17:00 ...	4.8	14-01-61 9:00 ...	280.1
12-01-61	18:00 ...	0.0	14-01-61 10:00 ...	362.4
12-01-61	19:00 ...	0.0	14-01-61 11:00 ...	682.2
12-01-61	20:00 ...	0.0	14-01-61 12:00 ...	763.2
12-01-61	21:00 ...	0.0	14-01-61 13:00 ...	711.8
12-01-61	22:00 ...	0.0	14-01-61 14:00 ...	386.4
12-01-61	23:00 ...	0.0	14-01-61 15:00 ...	162.0
12-01-61	24:00 ...	0.0	14-01-61 16:00 ...	58.9
13-01-61	1:00 ...	0.0	14-01-61 17:00 ...	6.0
13-01-61	2:00 ...	0.0	14-01-61 18:00 ...	0.0
13-01-61	3:00 ...	0.0	14-01-61 19:00 ...	0.0
13-01-61	4:00 ...	0.0	14-01-61 20:00 ...	0.0
13-01-61	5:00 ...	0.0	14-01-61 21:00 ...	0.0
13-01-61	6:00 ...	0.0	14-01-61 22:00 ...	0.0
13-01-61	7:00 ...	6.7	14-01-61 23:00 ...	0.0
13-01-61	8:00 ...	125.9	14-01-61 24:00 ...	0.0
13-01-61	9:00 ...	286.3	15-01-61 1:00 ...	0.0
13-01-61	10:00 ...	359.9	15-01-61 2:00 ...	0.0
13-01-61	11:00 ...	671.5	15-01-61 3:00 ...	0.0
13-01-61	12:00 ...	781.3	15-01-61 4:00 ...	0.0
13-01-61	13:00 ...	715.3	15-01-61 5:00 ...	0.0
13-01-61	14:00 ...	398.2	15-01-61 6:00 ...	0.0
13-01-61	15:00 ...	163.1	15-01-61 7:00 ...	6.7
13-01-61	16:00 ...	53.2	15-01-61 8:00 ...	132.1
			15-01-61 9:00 ...	298.6
			15-01-61 10:00 ...	386.7
			15-01-61 11:00 ...	687.6

ภาพผนวกที่ 4 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของโรงงาน วันที่ 12 - 18 มกราคม 2561

15-01-61	12:00 ...	784.1	17-01-61	7:00 ...	6.8
15-01-61	13:00 ...	723.2	17-01-61	8:00 ...	133.0
15-01-61	14:00 ...	362.8	17-01-61	9:00 ...	287.7
15-01-61	15:00 ...	166.3	17-01-61	10:00 ...	361.6
15-01-61	16:00 ...	60.0	17-01-61	11:00 ...	675.8
15-01-61	17:00 ...	6.2	17-01-61	12:00 ...	757.7
15-01-61	18:00 ...	0.0	17-01-61	13:00 ...	715.0
15-01-61	19:00 ...	0.0	17-01-61	14:00 ...	385.5
15-01-61	20:00 ...	0.0	17-01-61	15:00 ...	159.8
15-01-61	21:00 ...	0.0	17-01-61	16:00 ...	56.5
15-01-61	22:00 ...	0.0	17-01-61	17:00 ...	5.8
15-01-61	23:00 ...	0.0	17-01-61	18:00 ...	0.0
15-01-61	24:00 ...	0.0	17-01-61	19:00 ...	0.0
16-01-61	1:00 ...	0.0	17-01-61	20:00 ...	0.0
16-01-61	2:00 ...	0.0	17-01-61	21:00 ...	0.0
16-01-61	3:00 ...	0.0	17-01-61	22:00 ...	0.0
16-01-61	4:00 ...	0.0	17-01-61	23:00 ...	0.0
16-01-61	5:00 ...	0.0	17-01-61	24:00 ...	0.0
16-01-61	6:00 ...	0.0	18-01-61	1:00 ...	0.0
16-01-61	7:00 ...	6.9	18-01-61	2:00 ...	0.0
16-01-61	8:00 ...	124.0	18-01-61	3:00 ...	0.0
16-01-61	9:00 ...	296.5	18-01-61	4:00 ...	0.0
16-01-61	10:00 ...	388.0	18-01-61	5:00 ...	0.0
16-01-61	11:00 ...	666.2	18-01-61	6:00 ...	0.0
16-01-61	12:00 ...	773.9	18-01-61	7:00 ...	6.9
16-01-61	13:00 ...	719.4	18-01-61	8:00 ...	132.3
16-01-61	14:00 ...	378.6	18-01-61	9:00 ...	282.2
16-01-61	15:00 ...	158.4	18-01-61	10:00 ...	361.1
16-01-61	16:00 ...	57.1	18-01-61	11:00 ...	685.7
16-01-61	17:00 ...	5.1	18-01-61	12:00 ...	789.2
16-01-61	18:00 ...	0.0	18-01-61	13:00 ...	710.7
16-01-61	19:00 ...	0.0	18-01-61	14:00 ...	400.0
16-01-61	20:00 ...	0.0	18-01-61	15:00 ...	155.9
16-01-61	21:00 ...	0.0	18-01-61	16:00 ...	56.2
16-01-61	22:00 ...	0.0	18-01-61	17:00 ...	5.8
16-01-61	23:00 ...	0.0	18-01-61	18:00 ...	0.0
16-01-61	24:00 ...	0.0	18-01-61	19:00 ...	0.0
17-01-61	1:00 ...	0.0	18-01-61	20:00 ...	0.0
17-01-61	2:00 ...	0.0	18-01-61	21:00 ...	0.0
17-01-61	3:00 ...	0.0	18-01-61	22:00 ...	0.0
17-01-61	4:00 ...	0.0	18-01-61	23:00 ...	0.0
17-01-61	5:00 ...	0.0	18-01-61	24:00 ...	0.0
17-01-61	6:00 ...	0.0			

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)

### ข้อมูลโหลดของโรงงาน

ข้อมูลโหลดของโรงงานที่ตั้งอยู่ที่ ต.ตำบลโคกขาม อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร ระหว่างวันที่ 12 – 18 มกราคม 2561 มีรายละเอียดตามภาพผนวกที่ 5

SW01-Load-Daily		
date--time		kW
12-01-61	1:00 ...	47.48
12-01-61	2:00 ...	47.75
12-01-61	3:00 ...	46.01
12-01-61	4:00 ...	51.74
12-01-61	5:00 ...	46.76
12-01-61	6:00 ...	36.90
12-01-61	7:00 ...	48.78
12-01-61	8:00 ...	85.16
12-01-61	9:00 ...	578.20
12-01-61	10:00 ...	785.88
12-01-61	11:00 ...	1055.02
12-01-61	12:00 ...	1085.56
12-01-61	13:00 ...	833.96
12-01-61	14:00 ...	980.87
12-01-61	15:00 ...	766.82
12-01-61	16:00 ...	663.54
12-01-61	17:00 ...	468.04
12-01-61	18:00 ...	505.80
12-01-61	19:00 ...	529.20
12-01-61	20:00 ...	179.10
12-01-61	21:00 ...	54.95
12-01-61	22:00 ...	50.00
12-01-61	23:00 ...	47.95
12-01-61	24:00 ...	44.99
13-01-61	1:00 ...	50.27
13-01-61	2:00 ...	50.72
13-01-61	3:00 ...	47.72
13-01-61	4:00 ...	47.82
13-01-61	5:00 ...	48.33
13-01-61	6:00 ...	39.97
13-01-61	7:00 ...	47.37
13-01-61	8:00 ...	102.07
13-01-61	9:00 ...	880.62
13-01-61	10:00 ...	989.28
13-01-61	11:00 ...	808.50
13-01-61	12:00 ...	943.98
13-01-61	13:00 ...	640.19
13-01-61	14:00 ...	936.27
13-01-61	15:00 ...	846.22
13-01-61	16:00 ...	745.94
13-01-61	17:00 ...	578.04
13-01-61	18:00 ...	692.50
13-01-61	19:00 ...	797.60
13-01-61	20:00 ...	225.55
13-01-61	21:00 ...	52.49
13-01-61	22:00 ...	53.96
13-01-61	23:00 ...	50.58
13-01-61	24:00 ...	49.39
14-01-61	1:00 ...	51.97
14-01-61	2:00 ...	52.17
14-01-61	3:00 ...	50.06
14-01-61	4:00 ...	51.63
14-01-61	5:00 ...	51.56
14-01-61	6:00 ...	41.38
14-01-61	7:00 ...	51.03
14-01-61	8:00 ...	148.93
14-01-61	9:00 ...	752.03
14-01-61	10:00 ...	768.99
14-01-61	11:00 ...	882.71
14-01-61	12:00 ...	883.18
14-01-61	13:00 ...	878.13
14-01-61	14:00 ...	850.98
14-01-61	15:00 ...	730.56
14-01-61	16:00 ...	576.86
14-01-61	17:00 ...	456.24
14-01-61	18:00 ...	606.73
14-01-61	19:00 ...	652.65
14-01-61	20:00 ...	213.64
14-01-61	21:00 ...	58.21
14-01-61	22:00 ...	57.18
14-01-61	23:00 ...	54.84
14-01-61	24:00 ...	52.91
15-01-61	1:00 ...	50.48
15-01-61	2:00 ...	49.80
15-01-61	3:00 ...	48.74
15-01-61	4:00 ...	49.11
15-01-61	5:00 ...	50.92
15-01-61	6:00 ...	39.84
15-01-61	7:00 ...	40.03
15-01-61	8:00 ...	87.81
15-01-61	9:00 ...	571.86
15-01-61	10:00 ...	572.53
15-01-61	11:00 ...	817.58

ภาพผนวกที่ 5 ข้อมูลโหลดโรงงาน วันที่ 12 - 18 มกราคม 2561

15-01-61	12:00 ...	785.45	17-01-61	7:00 ...	15.03
15-01-61	13:00 ...	1009.54	17-01-61	8:00 ...	8.60
15-01-61	14:00 ...	439.49	17-01-61	9:00 ...	740.02
15-01-61	15:00 ...	340.48	17-01-61	10:00 ...	817.88
15-01-61	16:00 ...	328.71	17-01-61	11:00 ...	780.70
15-01-61	17:00 ...	390.94	17-01-61	12:00 ...	844.28
15-01-61	18:00 ...	607.30	17-01-61	13:00 ...	380.99
15-01-61	19:00 ...	612.80	17-01-61	14:00 ...	269.11
15-01-61	20:00 ...	229.23	17-01-61	15:00 ...	258.77
15-01-61	21:00 ...	62.18	17-01-61	16:00 ...	249.27
15-01-61	22:00 ...	62.89	17-01-61	17:00 ...	177.86
15-01-61	23:00 ...	60.64	17-01-61	18:00 ...	21.93
15-01-61	24:00 ...	54.57	17-01-61	19:00 ...	56.96
16-01-61	1:00 ...	59.65	17-01-61	20:00 ...	60.37
16-01-61	2:00 ...	60.40	17-01-61	21:00 ...	59.59
16-01-61	3:00 ...	57.78	17-01-61	22:00 ...	60.20
16-01-61	4:00 ...	57.85	17-01-61	23:00 ...	58.19
16-01-61	5:00 ...	60.23	17-01-61	24:00 ...	58.26
16-01-61	6:00 ...	48.81	18-01-61	1:00 ...	58.53
16-01-61	7:00 ...	41.00	18-01-61	2:00 ...	57.85
16-01-61	8:00 ...	145.93	18-01-61	3:00 ...	54.81
16-01-61	9:00 ...	977.42	18-01-61	4:00 ...	54.91
16-01-61	10:00 ...	728.28	18-01-61	5:00 ...	56.28
16-01-61	11:00 ...	849.74	18-01-61	6:00 ...	47.20
16-01-61	12:00 ...	717.74	18-01-61	7:00 ...	74.78
16-01-61	13:00 ...	1028.84	18-01-61	8:00 ...	57.75
16-01-61	14:00 ...	1047.27	18-01-61	9:00 ...	194.24
16-01-61	15:00 ...	968.72	18-01-61	10:00 ...	270.63
16-01-61	16:00 ...	569.24	18-01-61	11:00 ...	151.91
16-01-61	17:00 ...	387.94	18-01-61	12:00 ...	143.39
16-01-61	18:00 ...	621.30	18-01-61	13:00 ...	284.32
16-01-61	19:00 ...	671.00	18-01-61	14:00 ...	233.00
16-01-61	20:00 ...	220.67	18-01-61	15:00 ...	284.75
16-01-61	21:00 ...	63.23	18-01-61	16:00 ...	208.84
16-01-61	22:00 ...	61.87	18-01-61	17:00 ...	148.27
16-01-61	23:00 ...	60.20	18-01-61	18:00 ...	7.74
16-01-61	24:00 ...	62.69	18-01-61	19:00 ...	45.06
17-01-61	1:00 ...	59.93	18-01-61	20:00 ...	45.06
17-01-61	2:00 ...	58.02	18-01-61	21:00 ...	44.37
17-01-61	3:00 ...	57.44	18-01-61	22:00 ...	46.39
17-01-61	4:00 ...	58.39	18-01-61	23:00 ...	46.62
17-01-61	5:00 ...	57.78	18-01-61	24:00 ...	57.37
17-01-61	6:00 ...	64.48			

ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	จุมพล ไชยบิน
เกิดเมื่อ	18 สิงหาคม 2524
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน	2562-ปัจจุบัน รองผู้อำนวยการกองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร 2561-2562 ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร 2560-2561 วิศวกร ระดับ 9 กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร 2555-2559 หัวหน้าแผนกส่งเสริมพลังงานแสงอาทิตย์และน้ำ กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร 2553-2554 ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกวิเคราะห์ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก กองวางแผนแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร 2548-2553 วิศวกร แผนกวิเคราะห์แหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก กองแผนงานระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร

#### ผลงานทางวิชาการ

จุมพล ไชยบิน, ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวาริ, เสริมสุข บัวเจริญ, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2561). การวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ในการเก็บกักพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่แต่ละขนาดของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เอง. งานประชุมวิชาการ และนวัตกรรม กฟภ. ปี 2561 (หน้า 209-214) กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

จุมพล ไชยบิน, ศุภเสฏฐ์ ตันไชยโรจน์, กมล จิรเสรีอมรกุล, วันจักรี เล่นวาริ, เสริมสุข บัวเจริญ, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2561). การเก็บกักพลังงานโดยใช้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดหน่วยสูญเสียในระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เอง. งานประชุมวิชาการ และนวัตกรรม กฟภ. ปี 2561 (หน้า 58-62) กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

