



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา  
ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

Potential Study on Rooftop Solar Power Production  
Equipped with Energy Batteries

นายยศสินทร ผิวนิล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

Potential Study on Rooftop Solar Power Production  
Equipped with Energy Batteries

นายยศสินทร ผิววิล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายยศสินทร ผิวนิล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายสิทธิทิพ ฉายสุวรรณ
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีเป้าหมายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW โดยเริ่มต้นที่อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งแบตเตอรี่ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว โครงการนี้จึงศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46 แสดงความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ส่วนผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และกรณีติดตั้งแบตเตอรี่ กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งกำหนดปริมาณการกักเก็บในแบตเตอรี่ 1,000 kWh ในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. เพียงพอต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 18.00-8.00 น. โครงการนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 24 V และ 200 Ah สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาด 1,000 kWh ให้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา และผลการคำนวณพบว่าใช้แบตเตอรี่จำนวน 260 ลูก โดยต่อแบบอนุกรม 2 ลูก และต่อแบบขนาน 130 แถว เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ารวมขนาด 48 V และกระแสไฟฟ้ารวมขนาด 26,042 Ah สำหรับผลการวิเคราะห์ด้านการเงิน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี เท่ากับ 670,014 kWh ซึ่งสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี เท่ากับ 2,077,041 Baht และค่าตัวชี้วัดโครงการ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 9.83 Year, 8,437,288 Baht และ 8.99% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แบตเตอรี่ ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า การวิเคราะห์ด้านการเงิน

**Co-operative Title:** Potential Study on Rooftop Solar Power Production  
Equipped with Energy Batteries

**Student Intern Name:** Mr.Yossinthorn Phewnil

**Faculty:** Engineering **Department:** Electrical Engineering

**Advisor Name:** Assistant.Prof.Dr.Piyanart Sommani

**Mentor Name:** Mr.Sittip Chaisoowan

**Company:** Airports of Thailand Public Company Limited

## ABSTRACT

Airports of Thailand Public Company Limited, in particular Suvarnabhumi Airport, has targeted on a pilot project for 200-kW rooftop solar power production by implementing at the airport maintenance facility<sup>1</sup>. However, there is no any study on installing energy batteries for such pilot project. This project has focused on the potential study of the rooftop solar power production equipped with energy batteries. By using PVSyst version 6.46 program, the simulated results showed the feasibility of the rooftop solar power production project, which was designed to install on existing roofing materials of airport maintenance facility<sup>1</sup>. In addition, the electrical energy quantities, generated by the rooftop solar power system and the rooftop solar power system equipped with the energy batteries, were compared with 1 day-load profile of the airport maintenance facility<sup>1</sup>. In case of determining the battery capacity at 1,000 kWh during 9.00 to 17.00, it was found that the amount of electrical energy production is sufficient for the amount of electrical energy demand during 18.00 to 8.00. The lithium-ion battery 24 V/200 Ah was selected to store 1,000 kWh for the rooftop solar power production. The calculated results revealed that a number of batteries are 260. To obtain the total voltage of 48 V and total current of 26,042 Ah, the configurations of series and parallel are two packs in series and 130 strings in parallel. The financial analysis results are as follows: saving energy per year is 670,014 kWh in response with saving cost per year of 2,077,041 Baht. The project indicators, in terms of the payback period, net present value and internal rate of return, are 9.83 Years, 8,437,288 Baht, and 8.99%, respectively.

**Keywords:** Rooftop Solar Power Production, Energy Batteries, Potential of Power Production, Financial Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษานี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้จากความร่วมมือระหว่างบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (Airports of Thailand Public Company Limited: AOT) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณสิทธิทิพ ฉายสุวรรณ วิศวกรไฟฟ้า ตลอดจนพนักงานของงานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าทุกท่าน บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สำหรับคำปรึกษาด้านเทคนิค พร้อมทั้งการสนับสนุนข้อมูล และความรู้ต่างๆ เกี่ยวกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะนารถ สมมณี อาจารย์นิเทศโครงการสหกิจศึกษา สำหรับคำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ แนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางตลอดระยะเวลาโครงการ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความรู้ซึ่งสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งใหม่ได้อย่างรวดเร็ว และส่งผลให้โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่คอยสนับสนุน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

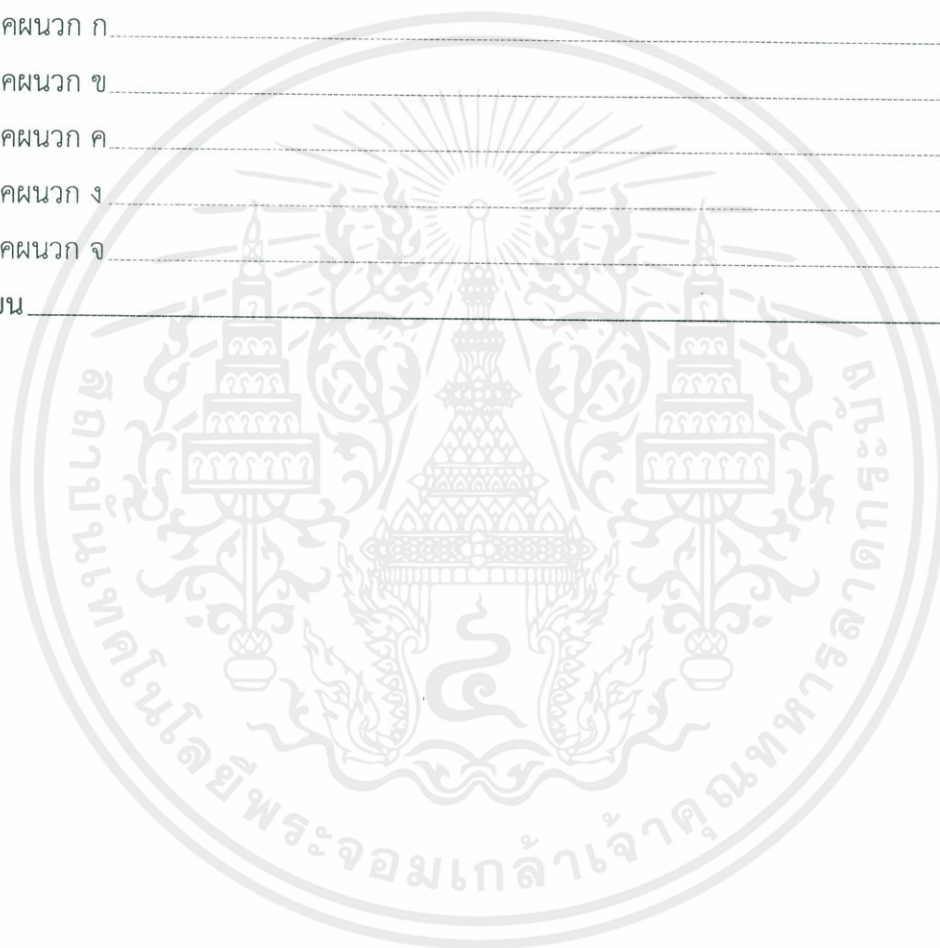
ยศสินทร ผิวนิล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า	4
2.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	12
2.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน	16
2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	19
2.5 การวิเคราะห์ด้านการเงิน	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	24
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล	24
3.2 การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า	25
3.3 การวิเคราะห์ด้านการเงิน	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	27
4.1 ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	27
4.2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	32
4.3 การวิเคราะห์ด้านการเงิน	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการศึกษา	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค	51
ภาคผนวก ง	53
ภาคผนวก จ	60
ประวัติผู้เขียน	62



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด นิกเกิล และลิเทียมไอออน	15
4.1 คุณลักษณะและมาตรฐานของอุปกรณ์หลักในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	31
4.2 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยบริเวณอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ของ พ.ศ. 2560	33
4.3 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยแต่ละเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	35
4.4 เงินลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	38
4.5 ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	39
4.6 ผลการวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา	40



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิระหว่าง พ.ศ. 2558-2560	1
2.1 ประเภทของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า	5
2.2 การเปรียบเทียบพลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรและน้ำหนักสำหรับเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภท	6
2.3 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการที่ดำเนินการจริง	8
2.4 ความพร้อมของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภท	9
2.5 ประสิทธิภาพของการกักเก็บพลังงานต่อรอบชาร์จของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแต่ละประเภท	10
2.6 ความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบและอายุการใช้งานของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแต่ละประเภท	11
2.7 ตัวชี้วัดสมรรถนะของแบตเตอรี่	13
2.8 แนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	16
2.9 การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามชนิดสารประกอบ	17
2.10 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแมงกานีส และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมเหล็กฟอสเฟต	18
2.11 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและสารมลพิษที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนระหว่างขั้นตอนการผลิต การใช้งาน และการขนส่งเพื่อนำไปรีไซเคิล	18
2.12 การใช้งานแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำไว้ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง	19
2.13 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบอนุกรม	21
2.14 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบขนาน	21
2.15 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบอนุกรมและขนานร่วมกัน	22
3.1 ขั้นตอนการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	24
4.1 แผนผังโครงสร้างหลังคาอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1	28
4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ในวันที่ 5 มิถุนายน 2558	29
4.3 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด นิกเกิลแคดเมียม และลิเทียมไอออน	29
4.4 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 5 ชนิด	30
4.5 รูปแบบและอุปกรณ์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 สรุปขั้นตอนของการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่.....	32
4.7 ผลการจำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46.....	34
4.8 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1.....	36
4.9 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1.....	37
4.10 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1.....	37
ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46.....	47
ง.1 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ REC รุ่น TwinPeak 2S 72 Series.....	53
ง.2 คุณลักษณะของเครื่องควบคุมการประจุ ยี่ห้อ SZMWKJ รุ่น CPE-48030.....	54
ง.3 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Tripower 25000TL-30.....	55
ง.4 คุณลักษณะของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Growatt รุ่น 25000TL3-S.....	57
ง.5 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ ยี่ห้อ Howell รุ่น HW8F20.....	59

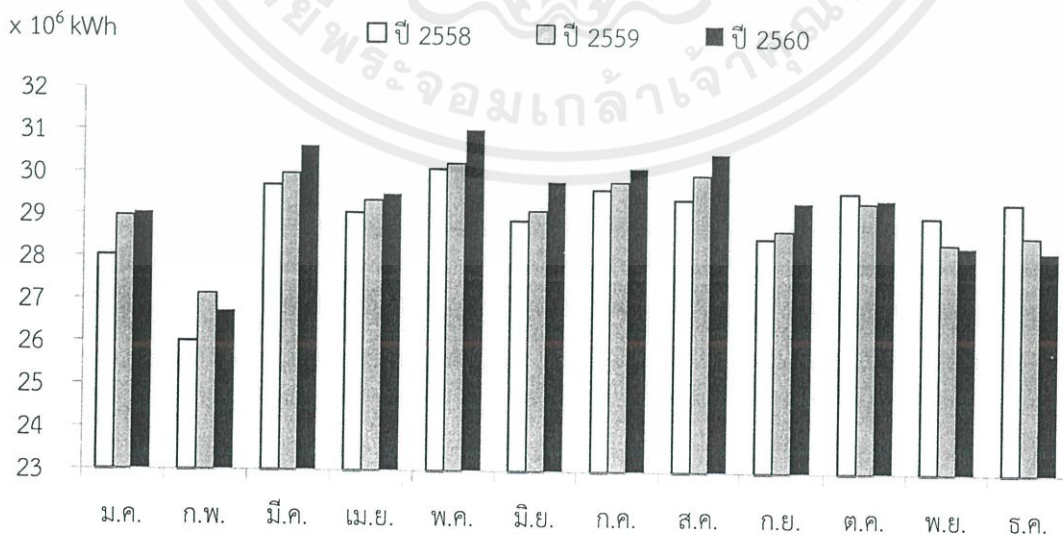
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561ก; บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด. 2561)

บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (ทอท.) เปิดใช้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) จังหวัดสมุทรปราการ ในวันที่ 28 กันยายน พ.ศ.2549 และใช้เป็นท่าอากาศยานหลักของประเทศไทย ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มีพื้นที่ 32,000,000 m<sup>2</sup> ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิต้องการกำลังไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 47 MW โดยรับไฟฟ้าจาก (1) บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด (District Cooling System and Power Plant Company Limited: DCAP) ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) บริษัท การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน) (ปตท.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด ตั้งอยู่ที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก และ (2) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) เขตอ่อนนุชและเขตหนองจอก ทั้งนี้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจะรับไฟฟ้าจากบริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด ยกเว้นกรณีที่บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจึงจะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยต่อปีระหว่าง พ.ศ. 2558-2560 ที่ 350 GWh หรือ 1,260 TJ (รูปที่ 1.1) และเข้าข่ายอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิจึงดำเนินการจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดประสิทธิผลในการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน และหนึ่งในนโยบายการอนุรักษ์พลังงานเน้นที่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop Solar Power Generation)



รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิระหว่าง พ.ศ. 2558-2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันท่าอากาศยานสุวรรณภูมิอยู่ระหว่างการดำเนินโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยเริ่มต้นจากกลุ่มอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน (Airport Maintenance Facilities: AMF) ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีเป้าหมายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW โดยเริ่มต้นที่อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และมีกำหนดแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2562 อย่างไรก็ตามโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งแบตเตอรี่ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว โครงการงานสหกิจศึกษานี้จึงได้ดำเนินการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาพร้อมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงานจากฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

1.2.2 ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ภายในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) จังหวัดสมุทรปราการ

1.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ขนาด 200 kW โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46

1.3.3 ชนิดและขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW

1.3.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

1.3.5 ตัวชี้วัดที่ใช้ในการวิเคราะห์การเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

## 1.4 วิธีการดำเนินการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ชนิดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว

1.4.2 วางแผนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>2</sup> และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

1.4.4 คำนวณศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

1.4.5 วิเคราะห์การเงินของโครงการจากผลการคำนวณตัวชี้วัดที่ใช้ในการวิเคราะห์การเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

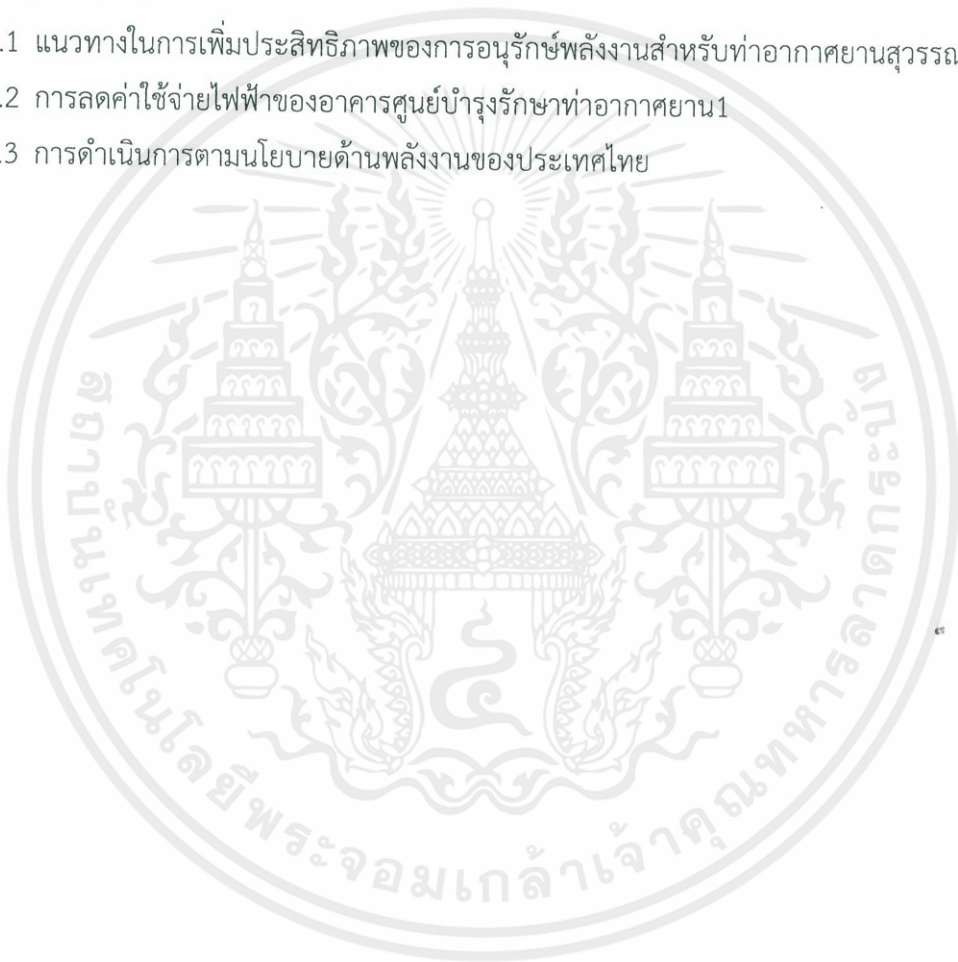
1.4.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของการอนุรักษ์พลังงานสำหรับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

1.5.2 การลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน 1

1.5.3 การดำเนินการตามนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์ ลม มีข้อจำกัดด้านความเสถียร ความเชื่อถือได้ และคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Power Stability, Reliability and Quality) เพราะพลังงานหมุนเวียนขึ้นกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลาและสภาพภูมิประเทศ ทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือความต้องการไฟฟ้าและช่วงเวลาใช้งานไม่สอดคล้องกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าคาดการณ์ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy Storage: EES) สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปพลังงานที่กักเก็บได้และแปลงกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งานในเวลาที่ต้องการหรือเวลาฉุกเฉิน ทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำหรือช่วงที่แหล่งพลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าต่อเนื่องไม่สูญเปล่าและสามารถนำกลับมาใช้ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจึงจัดเป็นเทคโนโลยีที่ใช้รักษาสมดุลและรักษาเสถียรภาพของการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีการนำเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น

#### 2.1 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Hart D. and Sarkissian A. 2016; Luo X., *et al.* 2015)

2.1.1 ประเภทของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า Luo X., *et al.* (2015) สรุปภาพรวมของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยจำแนกประเภทของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าตามรูปพลังงานที่สะสมไว้ ได้แก่ พลังงานศักย์ ไฟฟ้าเคมี ไฟฟ้า ความร้อนเคมี เคมี และความร้อน (รูปที่ 2.1) ดังนี้

2.1.1.1 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานศักย์ ได้แก่ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยปั๊มน้ำ (Pumped Hydroelectric Storage System: PHS) ระบบกักเก็บพลังงานด้วยอากาศอัด (Compressed Air Energy Storage System: CAES) และระบบกักเก็บพลังงานด้วยล้อตุนกำลัง (Flywheel Energy Storage: FES)

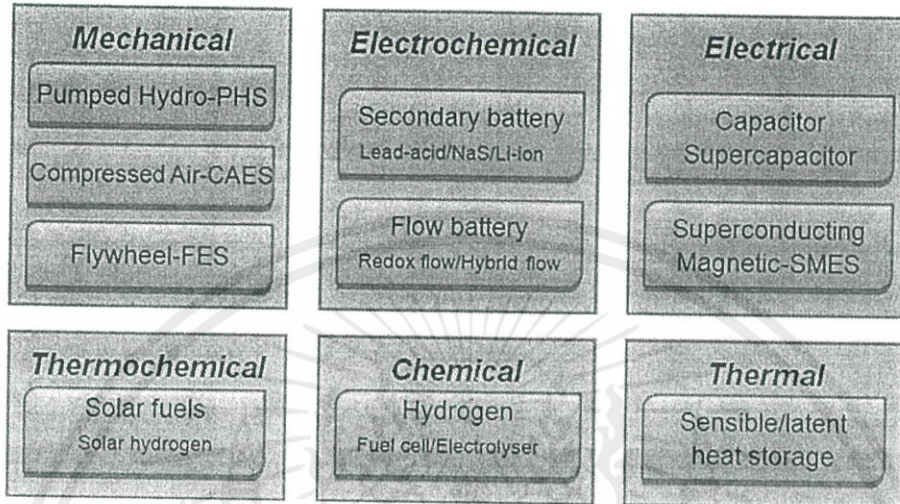
2.1.1.2 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมี ได้แก่ แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Secondary Battery) และแบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow Battery Energy Storage: FBES)

2.1.1.3 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ตัวเก็บประจุและตัวเก็บประจุแบบพิเศษ (Capacitor and Supercapacitor) และระบบกักเก็บพลังงานด้วยสนามแม่เหล็กของตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Magnetic Energy Storage: SMES)

2.1.1.4 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานความร้อนเคมี ได้แก่ เซลล์ไฟฟ้าสร้างจากแสงอาทิตย์ (Solar Fuel)

2.1.1.5 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานเคมี ได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

2.1.1.6 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานความร้อน ได้แก่ ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat)



รูปที่ 2.1 ประเภทของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Luo X., et al. 2015)

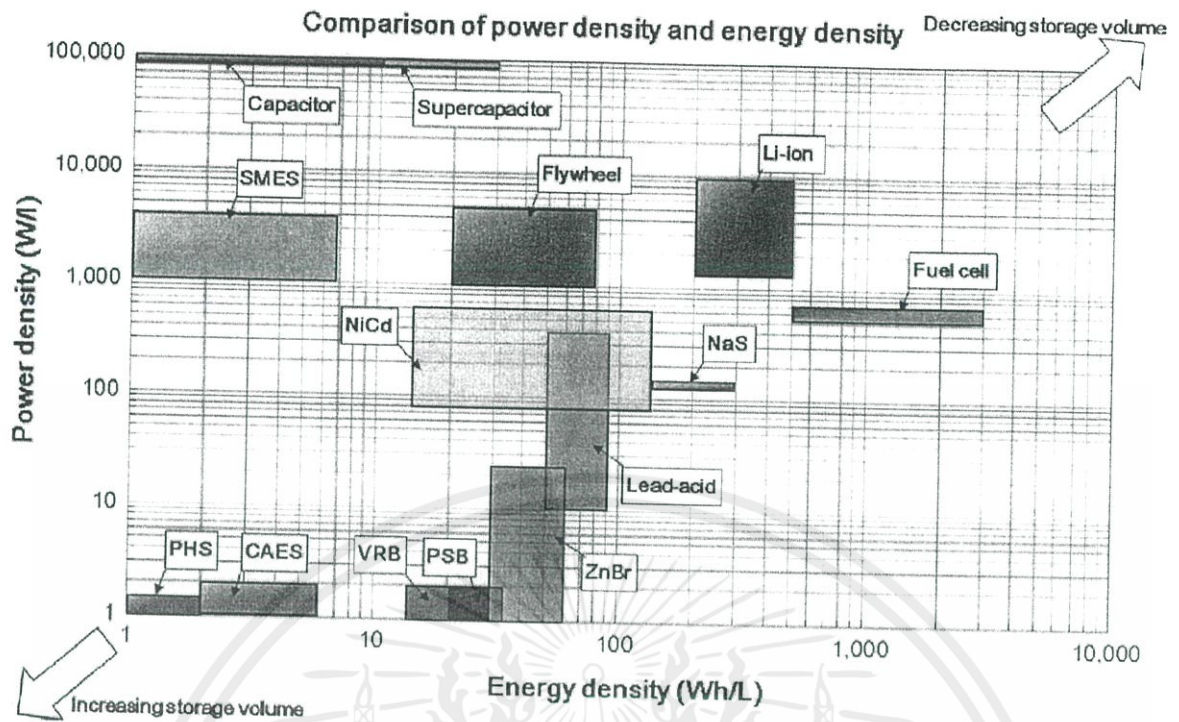
2.1.2 คุณลักษณะที่สำคัญของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ได้แก่

2.1.2.1 การกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จาก 3 ปัจจัย ดังนี้

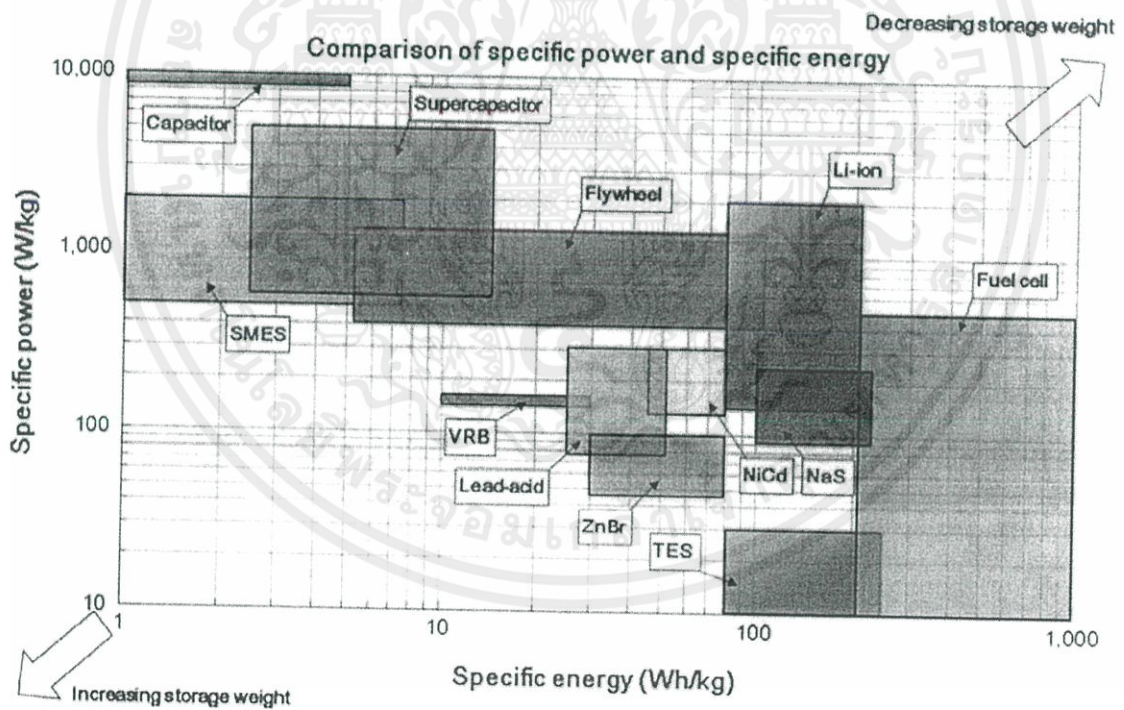
(1) ความสามารถในการเก็บพลังงานเชิงปริมาตรและเชิงมวล (Volumetric Energy Density and Gravimetric Energy Density) ได้แก่ ความหนาแน่นของพลังงานหรือความจุพลังงานต่อปริมาตร (Energy Density, kWh/L) และพลังงานจำเพาะหรือความจุพลังงานต่อน้ำหนัก (Specific Energy, kWh/kg) ตามลำดับ

(2) ความสามารถในการให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเชิงปริมาตรและเชิงมวล ได้แก่ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (Power Density, kW/L) และกำลังจำเพาะ (Specific Power, kW/kg)

การเปรียบเทียบพลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรและมวลสำหรับเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ กล่าวคือถ้าเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเข้าใกล้มุมขวาบน ปริมาตรและน้ำหนักจะลดลง แต่ถ้าเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเข้าใกล้มุมซ้ายล่าง ปริมาตรและน้ำหนักจะสูงขึ้น ข้อพิจารณาด้านพลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรหรือน้ำหนักส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่จำกัด



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบพลังงานและกำลังไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตรและน้ำหนัก สำหรับเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภท

(ก) ความหนาแน่นของพลังงานและความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า

และ (ข) พลังงานจำเพาะ และกำลังจำเพาะ (Luo X., et al. 2015)

(3) ความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ได้แก่ ปริมาณพลังงานที่ระบบกักเก็บพลังงานสะสมได้ (Rated Energy Capacity, kWh) อัตราการกักเก็บหรือการปลดปล่อยกำลังไฟฟ้า (Power Rating, kW) และระยะเวลาที่ระบบกักเก็บพลังงานปลดปล่อยพลังงาน ณ จุดพิกัดกำลัง (Discharge Time Duration at Power Rating, h) ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่ระบบกักเก็บพลังงานสะสมได้หารด้วยอัตราการกักเก็บหรือการปลดปล่อยกำลังไฟฟ้า

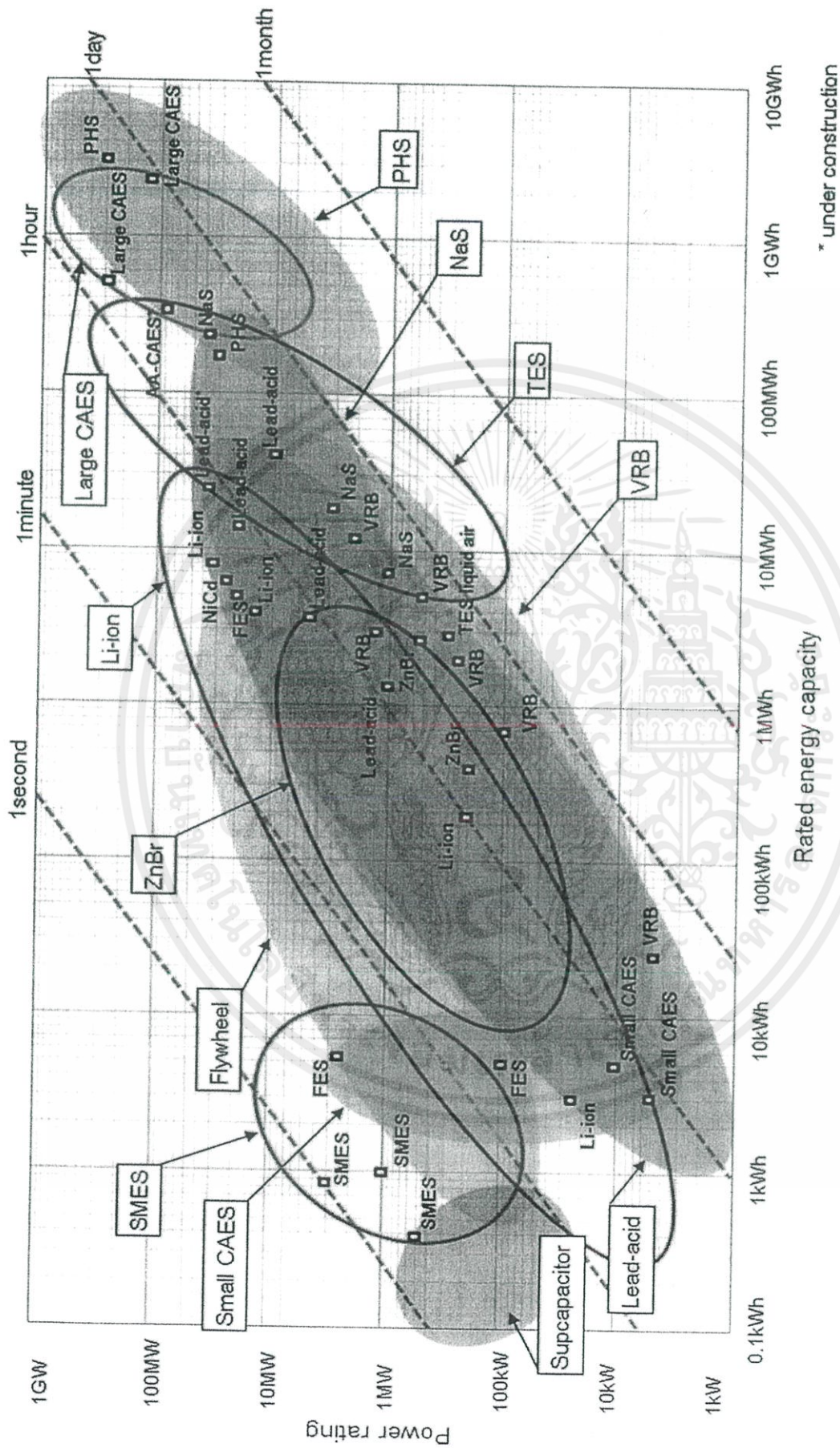
รูปที่ 2.3 รวบรวมและแสดงข้อมูลของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการที่มีดำเนินการจริง โดยมีการเปรียบเทียบ 3 ตัวแปรข้างต้น แกนตั้งหมายถึงปริมาณพลังงานที่ระบบกักเก็บพลังงานสะสมได้ แกนนอนหมายถึงอัตราการกักเก็บหรือการปลดปล่อยกำลังไฟฟ้า เส้นทแยงหมายถึงเส้นแบ่งของระยะเวลาที่ระบบกักเก็บพลังงานปลดปล่อยพลังงาน ณ จุดพิกัดกำลัง และจุดสีดำหมายถึงโครงการที่มีการใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการตัดสินใจเลือกประเภทของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับลักษณะและขนาดโครงการสามารถพิจารณาจากข้อมูลเทคนิคหรือตำแหน่งที่ปรากฏบนกราฟ เช่น

- ตำแหน่งของเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับกักเก็บพลังงานปริมาณมากเป็นเวลานาน จะปรากฏบริเวณมุมขวาบน เช่น ระบบกักเก็บพลังงานด้วยปั้มน้ำ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยอากาศอัด

- ตำแหน่งของเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการกักเก็บและปลดปล่อยกำลังอย่างรวดเร็ว จะปรากฏบริเวณมุมซ้ายล่าง เช่น ระบบกักเก็บพลังงานด้วยล้อตุนกำลัง ตัวเก็บประจุแบบพิเศษ ระบบกักเก็บพลังงานด้วยสนามแม่เหล็กของตัวนำยิ่งยวด

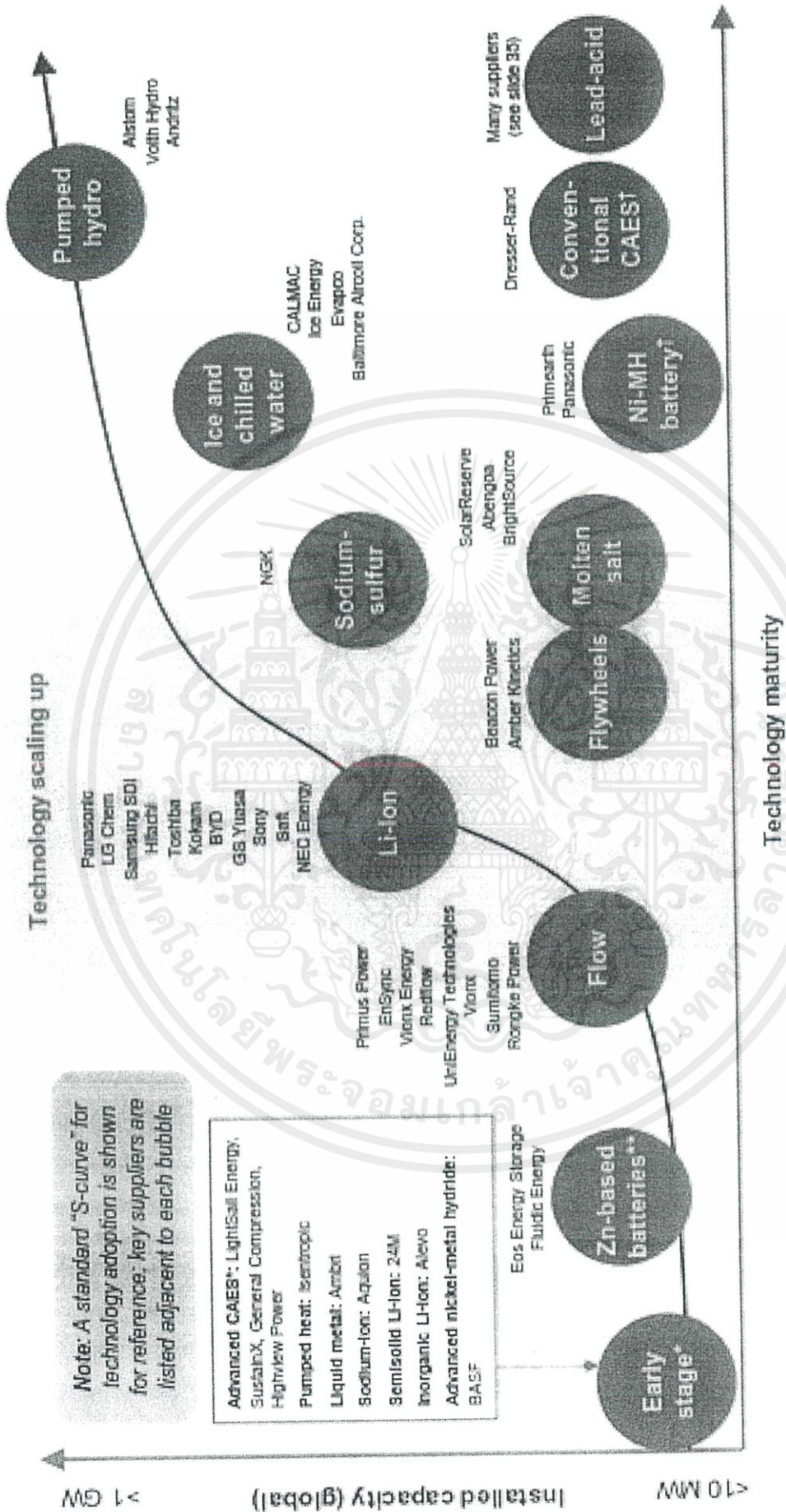
- ตำแหน่งของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมี โดยเฉพาะเทคโนโลยีแบตเตอรี่ จะปรากฏบริเวณกลางรูป ซึ่งหมายความว่าเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมีมีความเหมาะสมกับการกักเก็บพลังงานปริมาณมากเป็นเวลานาน

อย่างไรก็ตามให้พิจารณาข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์จากความพร้อม (Maturity) ของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (รูปที่ 2.4) ซึ่งจะช่วยกำหนดต้นทุนของโครงการและความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการที่ดำเนินการจริง (Luo X., et al. 2015)

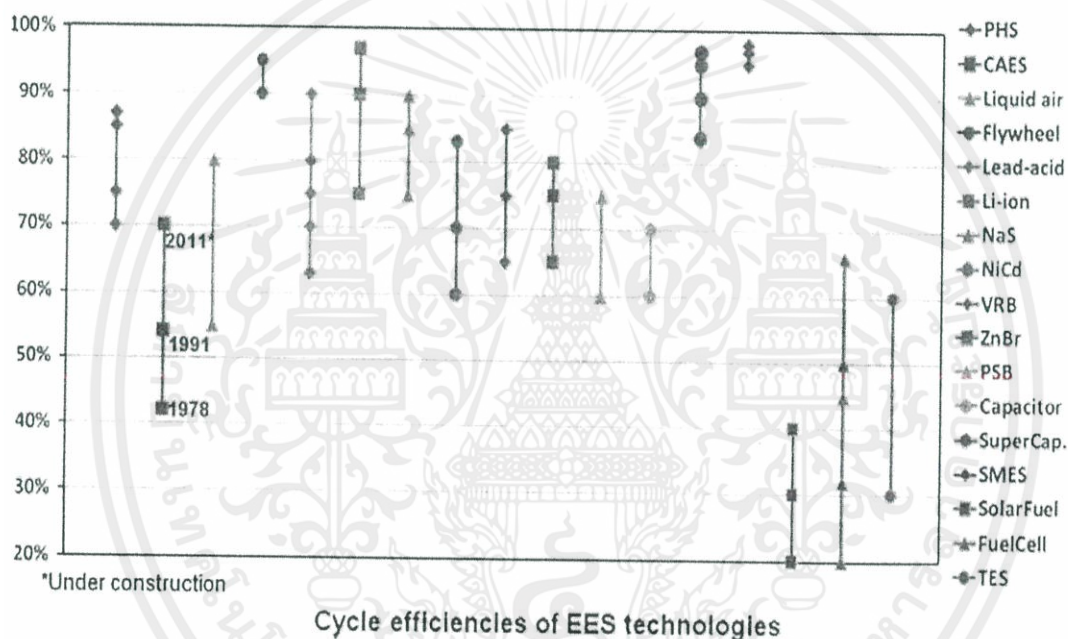
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>8</sup> และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความพร้อมของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแต่ละประเภท (Hart D. and Sarkissian A. 2016)

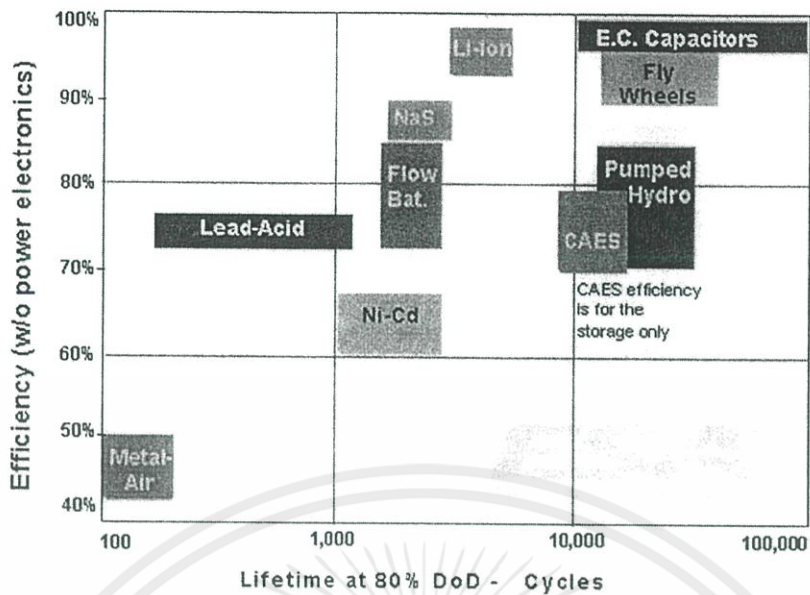
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ประสิทธิภาพของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบ (Cycle Efficiency) หรือประสิทธิภาพไป-กลับ (Round-Trip Efficiency) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ปลดปล่อยเทียบกับพลังงานที่กักเก็บ กรณีที่ระบบกักเก็บพลังงานมีประสิทธิภาพของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบสูง จะมีการสูญเสียพลังงานระหว่างขั้นตอนการกักเก็บหรือปลดปล่อยต่ำ ดังนั้นเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบต่ำ จะไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีรอบการชาร์จบ่อย รูปที่ 2.5 แสดงค่าประสิทธิภาพของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบของแบตเตอรี่หลายประเภทอยู่ระหว่าง 60%-98% และพบว่าปัจจุบันนิยมใช้แบตเตอรี่ที่มีค่าประสิทธิภาพของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบสูง ได้แก่ ชนิดลิเทียมไอออน ชนิดตะกั่วกรด และชนิดโซเดียมซัลเฟอร์



รูปที่ 2.5 ประสิทธิภาพของการกักเก็บพลังงานต่อรอบชาร์จของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแต่ละประเภท (Luo X., et al. 2015)

2.1.2.3 ความสามารถของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบ (Cycling Capacity) และอายุการใช้งาน (Operating Lifetime) แสดงดังรูปที่ 2.6 และพบว่าจำนวนรอบที่กักเก็บและปลดปล่อยพลังงาน (Cycling, Cycles) จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของระบบกักเก็บพลังงาน รวมถึงจำนวนรอบและอายุการใช้งานจะเปลี่ยนแปลงตามระดับการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD, %) ทั้งนี้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแต่ละประเภทมีพิกัดการปลดปล่อยพลังงานที่ต่างกัน ในกรณีที่เกิดการปลดปล่อยพลังงานไม่ตรงพิกัด จะเกิด Memory Effect ส่งผลให้อายุการใช้งานลดลง



รูปที่ 2.6 ความสามารถของการกักเก็บและปลดปล่อยพลังงานต่อรอบและอายุการใช้งานของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานแต่ละประเภท (Luo X., et al. 2015)

2.1.3 การเลือกใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ให้พิจารณาตามความต้องการนำไปใช้งาน ดังนี้

2.1.3.1 กักเก็บพลังงานปริมาณมากเป็นเวลานาน (Energy Application) ทำให้สามารถปรับปริมาณการผลิตไฟฟ้าตามความต้องการไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละช่วงเวลาได้ (Time Shifting) เช่น ให้บริการแบบ Load Following แทนการใช้โรงไฟฟ้าในปัจจุบัน

2.1.3.2 กักเก็บและปลดปล่อยกำลังไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (Power Application) ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Power Quality) และสามารถใช้งานเพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานต่อเนื่องส่งผลให้สามารถตอบสนองความต้องการไฟฟ้าปริมาณมากได้อย่างอย่างรวดเร็ว

2.1.4 ประโยชน์ของเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1.4.1 เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ และปรับปริมาณการผลิตไฟฟ้าตามความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) เพื่อจ่ายไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงในลักษณะ Energy Shifting

2.1.4.2 ลดความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยเพิ่มเสถียรภาพของระบบผลิตไฟฟ้า (Smoothing) ด้วยการควบคุมและรักษาคุณภาพไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้า

2.1.4.3 สามารถกักเก็บพลังงานในเวลากลางคืนสำหรับใช้ในเวลากลางวันด้วยการซื้อและสะสมพลังงานไฟฟ้าราคาถูกในช่วง Off-peak และขายคืนในช่วง On-peak

2.1.4.4 จัดการความหนาแน่นของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Congestion Management) ซึ่งเป็นการจัดการพลังงานหมุนเวียนไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2.2 ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2557 และ 2558; Patel MR. 1999; PVEducation. 2018)

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System: BESS) หรือแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า จัดเป็นการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์ไฟฟ้าเคมีประเภทเซลล์แกลวานิก (Galvanic Cells) ชนิดเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cells) คือ เมื่อปฏิกิริยาเคมีเกิดภายในเซลล์และดำเนินไปแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และสามารถย้อนกลับได้หรือนำมาอัดประจุซ้ำ

2.2.1 ประเภทของแบตเตอรี่สามารถจำแนกตามลักษณะของปฏิกิริยาเคมีได้ 2 ประเภท

2.2.1.1 แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิหรือแบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Primary Batteries) หรืออาจเรียกว่าแบตเตอรี่แห้ง (Dry Cells) สามารถแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อคายประจุแล้ว จะหมดสภาพและไม่สามารถอัดประจุกลับได้ จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีอายุการใช้งานสั้น และราคาไม่แพง

2.2.1.2 แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิหรือแบตเตอรี่แบบอัดประจุ (Secondary Batteries or Rechargeable Batteries) สามารถแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถอัดประจุเพื่อนำประจุกลับมาใช้ใหม่ได้จึงเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ รวมถึงสามารถใช้งานได้จนกว่าแบตเตอรี่นั้นจะเสื่อมสภาพ

การใช้แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิมีความเหมาะสมสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพราะสามารถอัดประจุซ้ำเพื่อใช้งานต่อได้ แต่แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิมีราคาสูงกว่า อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาถึงอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิอาจมีราคาถูกกว่าขึ้นกับการเลือกใช้ชนิดของแบตเตอรี่

2.2.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ ได้แก่

2.2.2.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารที่มีสถานะของเหลวเหนียวหรือของแข็งที่สามารถนำไฟฟ้าได้

2.2.2.2 ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ ขั้วแอโนด (Anode) เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และขั้วแคโทด (Cathode) เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

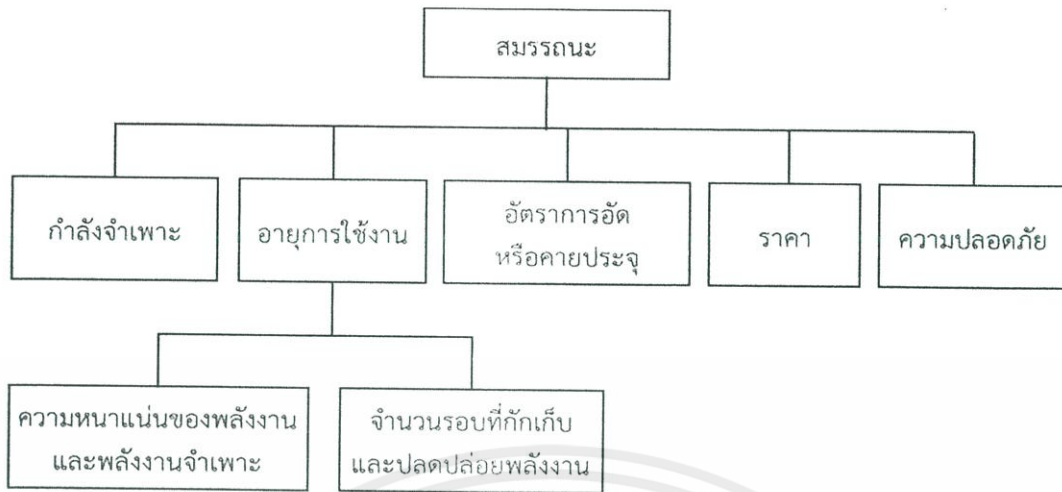
2.2.2.3 ฉนวนไฟฟ้าที่แยกส่วนของขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

หลักการทํางาน คือ ขณะใช้งาน ขั้วแอโนดหรือขั้วลบซึ่งเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ให้อิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน และขั้วแคโทดหรือขั้วบวกเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่รับอิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยารีดักชัน อิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาที่ขั้วลบ (เมื่อขั้วลบต่อกับขั้วบวกด้วยลวดโลหะ) จะวิ่งผ่านลวดเกิดกระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้ได้ ส่วนอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่ไม่นำอิเล็กตรอนแต่มีหน้าที่ส่งผ่านไอออนที่จำเป็นต่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด

2.2.3 สมรรถนะของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น ตะกั่วกรด นิกเกิลลิเทียมไอออนจะมีสมบัติที่ต่างกัน เช่น สมบัติทางเคมี แรงดันไฟฟ้า กำลังจำเพาะ ความจุของแบตเตอรี่ วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ เป็นต้น สำหรับภาพรวมสรุปตัวชี้วัดสมรรถนะของแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตัวชี้วัดสมรรถนะของแบตเตอรี่

2.2.3.1 กำลังจำเพาะ (Specific Power, kW/kg) เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการจ่ายโหลดหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายให้กับโหลด กำลังจำเพาะแสดงถึงความต้านทานภายในแบตเตอรี่ กล่าวคือถ้ากำลังจำเพาะมีค่าสูง ค่าความต้านทานภายในจะลดลง หรือถ้ากำลังจำเพาะมีค่าต่ำ ค่าความต้านทานภายในจะสูงขึ้น

2.2.3.2 ความจุของแบตเตอรี่ (Capacity, Ah) เป็นค่าพลังงานจำเพาะในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง การใช้งานแบตเตอรี่ต้องไม่ใช้เกินค่าพิกัดของความจุของแบตเตอรี่และสอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้า

2.2.3.3 ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density, kWh/L) เป็นค่าความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่

2.2.3.4 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy, kWh/kg) เป็นค่าความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของแบตเตอรี่

2.2.3.5 จำนวนรอบที่กักเก็บและปลดปล่อยพลังงาน เป็นค่าจำนวนรอบเมื่อมีการคายประจุจนหมดทุกครั้ง และพิจารณาว่าแบตเตอรี่หมดอายุเมื่อความจุพลังงานเหลือ 80% ของความจุพลังงานเริ่มต้น

2.2.3.6 อัตราการอัดหรือคายประจุ (C-rate) เป็นค่ากระแสที่ใช้ในการอัดหรือคายประจุของแบตเตอรี่เทียบกับความจุของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่มีความจุ 100 Ah และมีอัตราการอัดหรือคายประจุ 1C หมายถึงถ้าอัดและคายประจุจะต้องให้และดึงกระแสของแบตเตอรี่ตามลำดับ เท่ากับ 100 A และใช้เวลาในการอัดประจุจนเต็ม (จากแบตเตอรี่ที่หมด) หรือคายประจุจนหมด (จากแบตเตอรี่เต็ม) เท่ากับ 1 ชั่วโมง แต่ถ้ามีอัตราการอัดหรือคายประจุ 2C หมายถึงใช้กระแส 200 A (100 A × 2) เป็นเวลา 30 นาที (1 ชั่วโมง ÷ 2) และถ้ามีอัตราการอัดหรือคายประจุ C/4 หมายถึงใช้กระแส 25 A (100 A ÷ 4) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (1 ชั่วโมง × 4)

2.2.4 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิหรือแบตเตอรี่แบบอัดประจุ สามารถจำแนกตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่

2.2.4.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid Battery: Pb-acid) เป็นแบตเตอรี่ใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีข้อดี คือ มีค่าประสิทธิภาพต่อราคาค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัด คือ ความจุพลังงานต่อน้ำหนักและปริมาตรของแบตเตอรี่ต่ำ น้ำหนักสูง ความทนทานต่ำ ความเป็นพิษสูง

2.2.4.2 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล (Nickel Battery: Ni) แบ่งได้ดังนี้

(1) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม (Nickel Cadmium Battery: NiCd) เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดี คือ มีน้ำหนักเบา ระดับการคายประจุสูง และทนอุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ กล้องวิดีโอ แต่มีข้อจำกัด คือ วัสดุที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่มีราคาสูง และความเป็นพิษสูงเนื่องจากแคดเมียมมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะความจำ (Memory Effect) ของมนุษย์

(2) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel Metal Hydride Battery: NiMH) แบตเตอรี่ชนิดนี้พัฒนาจากแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม และมีข้อดี คือ มีค่าพลังงานจำเพาะสูง และพบว่าการใช้วัสดุเมทัลไฮไดรด์แทนแคดเมียมที่ขั้วแอโนดจะช่วยลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต รวมถึงนิยมใช้ในรถยนต์ไฮบริด แต่มีข้อจำกัด คือ มีกำลังจำเพาะต่ำ มีอัตราการคายประจุเองสูง (Self-discharge) ความทนทานต่ำ และราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม

2.2.4.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม (Lithium Battery: Li) แบ่งได้ดังนี้

(1) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery: Li-ion) เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดี คือ มีค่าความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่า 3 เท่า และมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงระหว่าง 3.3-3.7 V/cell จึงใช้จำนวนแบตเตอรี่น้อยกว่าเมื่อต่อนุกรม จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้า แต่มีข้อจำกัด คือ ราคาแพงและความทนทานต่ำ

(2) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมพอลิเมอร์ (Lithium Polymer Battery: Li-Poly) แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้ลิเทียมเป็นขั้วไฟฟ้าและพอลิเมอร์ที่อยู่สถานะของแข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เพิ่มค่าพลังงานจำเพาะ

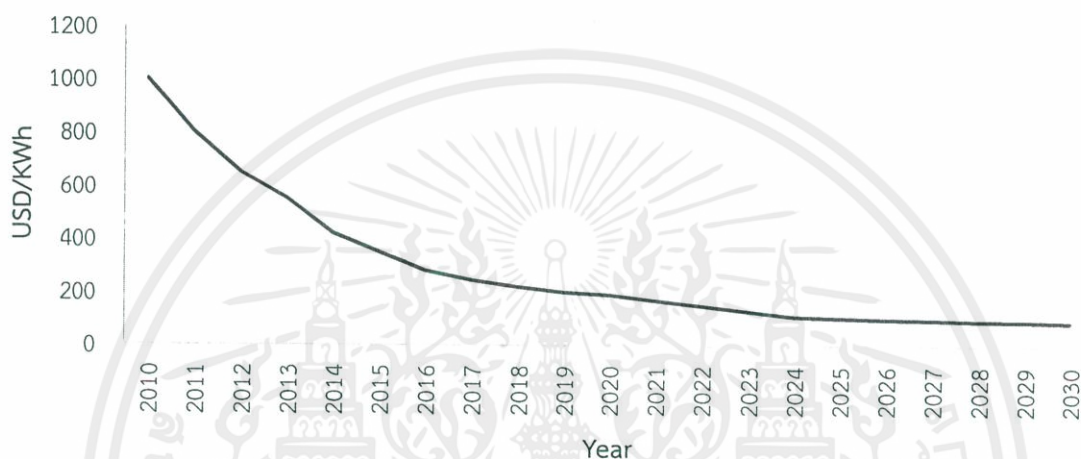
คุณลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิหรือแบตเตอรี่แบบอัดประจุทั้ง 3 ชนิด สรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด นิกเกิล และลิเทียมไอออน (PVEducation, 2018)

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion <sup>1</sup>		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–250	100–150	90–120
Internal resistance	Very Low	Very low	Low	Moderate	Low	Very low
Cycle life <sup>2</sup> (80% DoD)	200–300	1,000 <sup>3</sup>	300–500 <sup>3</sup>	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Charge time <sup>4</sup>	8–16h	1–2h	2–4h	2–4h	1–2h	1–2h
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. No trickle charge		
Self-discharge/month (roomtemp)	5%	20% <sup>5</sup>	30% <sup>5</sup>	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V <sup>6</sup>	1.2V <sup>6</sup>	3.6V <sup>7</sup>	3.7V <sup>7</sup>	3.2–3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20 typical Some go to higher V		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75V	1.00V		2.50–3.00V		2.50V
Peak load current Best result	5C <sup>8</sup> 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C (32 to 113°F)		0 to 45°C <sup>9</sup> (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	–20 to 65°C (–4 to 49°F)		–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months <sup>10</sup> (toping chg.)	Full discharge every 90 days when in full use		Maintenance-free		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection		Protection circuit mandatory <sup>11</sup>		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		
Coulombic efficiency <sup>12</sup>	~90%	~70% slow charge ~90% fast charge		99%		
Cost	Low	Moderate		High <sup>13</sup>		

### 2.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Buchmann I. 2018; Curry C. 2017; Wang Q., et al. 2018; Zackrisson M., et al. 2010)

เทคโนโลยีแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนหรือแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีการขยายกำลังการผลิตทั่วโลกอย่างรวดเร็ว เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีค่าความหนาแน่นของพลังงานและความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูง จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีที่ต้องการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก โดยเฉพาะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันการขยายกำลังการผลิตของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีราคาลดลงเป็นอย่างมากดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (ดัดแปลงจาก Curry C. 2017)

#### 2.3.1 ชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน สามารถแบ่งได้ตามโครงสร้างและชนิดของสารประกอบ ดังนี้

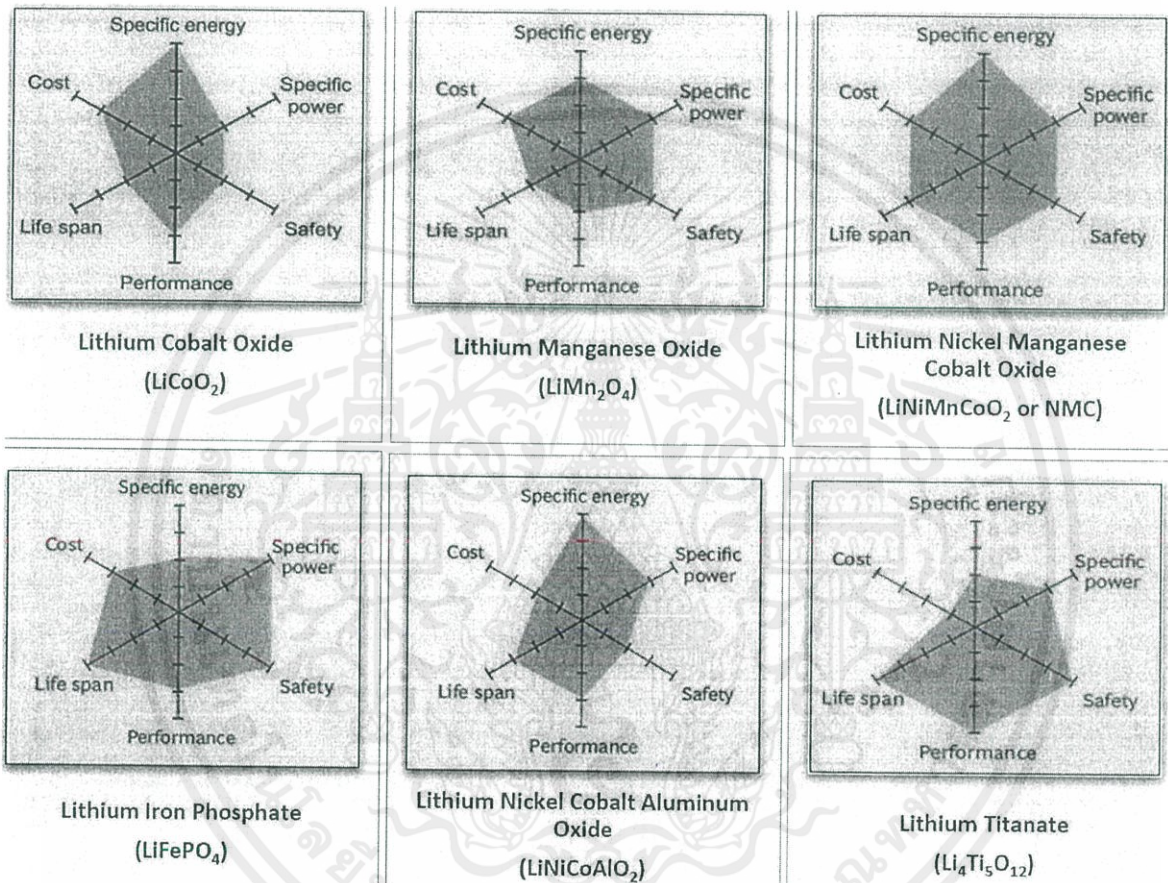
##### 2.3.1.1 การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามโครงสร้าง ได้แก่

(1) โครงสร้างทรงกระบอก (Cylindrical Cell) มีข้อดี คือ ผลิตได้ง่าย มีเสถียรภาพเชิงโครงสร้าง มีความปลอดภัยสูง ถูกออกแบบมาให้แตกตัวเมื่อได้รับแรงดันจากภายนอกจึงลดโอกาสการเกิดเพลิงไหม้ อายุใช้งานสูง แต่มีข้อจำกัด คือ ต้นทุนสูง และเมื่อนำมาเรียงต่อกันต้องใช้ขนาดพื้นที่มาก

(2) โครงสร้างของอ่อนทรงสี่เหลี่ยม (Prismatic and Pouch Cell) มีข้อดี คือ น้ำหนักเบา ประหยัดพื้นที่ นำมาซ้อนกันเป็นชั้นได้หลากหลาย เหมาะสำหรับการกักเก็บพลังงานปริมาณมาก แต่มีข้อจำกัด คือ ต้นทุนการออกแบบและการผลิตมีราคาสูง อายุใช้งานต่ำเพราะไม่สามารถจัดการกับความร้อนได้ดี จึงควรมีระบบทำความเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิ

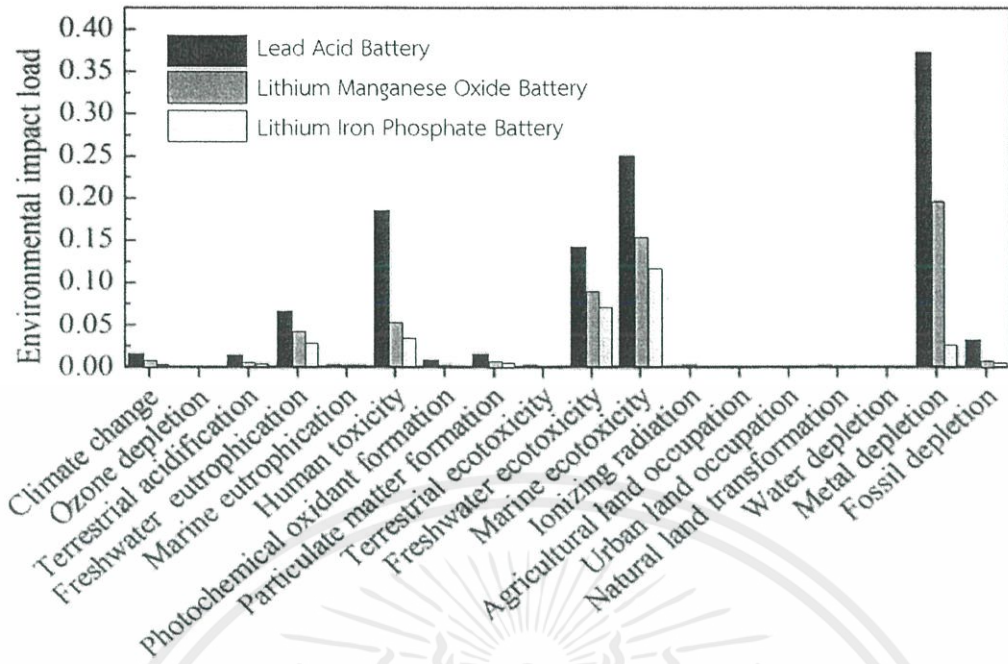
2.3.1.2 การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามชนิดสารประกอบในขั้วแคโทด (รูปที่ 2.9) ได้แก่ ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide,  $\text{LiCoO}_2$ ) ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, NMC) ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate,  $\text{LiFePO}_4$ ) ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide,  $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) และ

ลิเทียมไททาเนต (Lithium Titanate,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) สำหรับวัสดุที่ใช้ผลิตขั้วแอโนด คือ แกรไฟต์ ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบ่งได้ 2 สถานะ คือ ของเหลวและของแข็ง ซึ่งปัจจุบันสถานะของแข็ง (Solid-state Batteries) อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา เนื่องจากมีข้อดี คือ ประหยัดพื้นที่และมีความหนาแน่นของพลังงานสูง เพราะสามารถลดพื้นที่ระหว่างแคโทดและแอโนด มีอายุการใช้งานนาน ความปลอดภัยสูง (ไม่ติดไฟและระเบิด) แต่มีข้อจำกัด คือ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ (Low Conductance) มีราคาต้นทุนสูงกว่าสถานะของเหลว



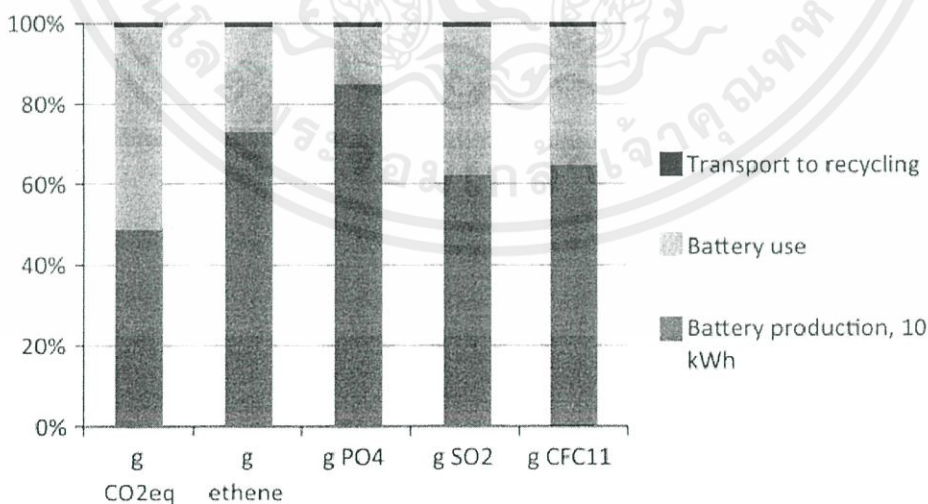
รูปที่ 2.9 การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามชนิดสารประกอบ (Buchmann I. 2018)

2.3.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ 3 ชนิด ได้แก่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแมงกานีส และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมเหล็กฟอสเฟต ทั้งนี้พบว่าแบตเตอรี่ลิเทียมเหล็กฟอสเฟตส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



รูปที่ 2.10 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแมงกานีส และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (Wang Q., et al. 2018)

รูปที่ 2.11 แสดงปริมาณแก๊สเรือนกระจกและสารมลพิษที่ปลดปล่อยระหว่างขั้นตอนการผลิต (Battery Production) การใช้งาน (Battery Use) และการขนส่งเพื่อนำไปรีไซเคิล (Transportation to Recycling) และพบว่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของขั้นตอนการผลิตกับการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้น มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและสารมลพิษระหว่างขั้นตอนการผลิต เช่น อีเทน ฟอสเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน มีมากกว่า 50%



รูปที่ 2.11 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกและสารมลพิษที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนระหว่างขั้นตอนการผลิต การใช้งาน และการขนส่งเพื่อนำไปรีไซเคิล (Zackrisson M., et al. 2010)

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ (ชานนท์ ธรรมศร. 2557; ธีระภัทร์ แมนมิตร และปานจิต ดำรงกุลกำจร. 2558; Photovoltaic Software. 2018; Shukla AK., et al. 2016)

2.4.1 แบตเตอรี่จัดเป็นระบบการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้ร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop Solar Power Production) โดยมีข้อดีนี้

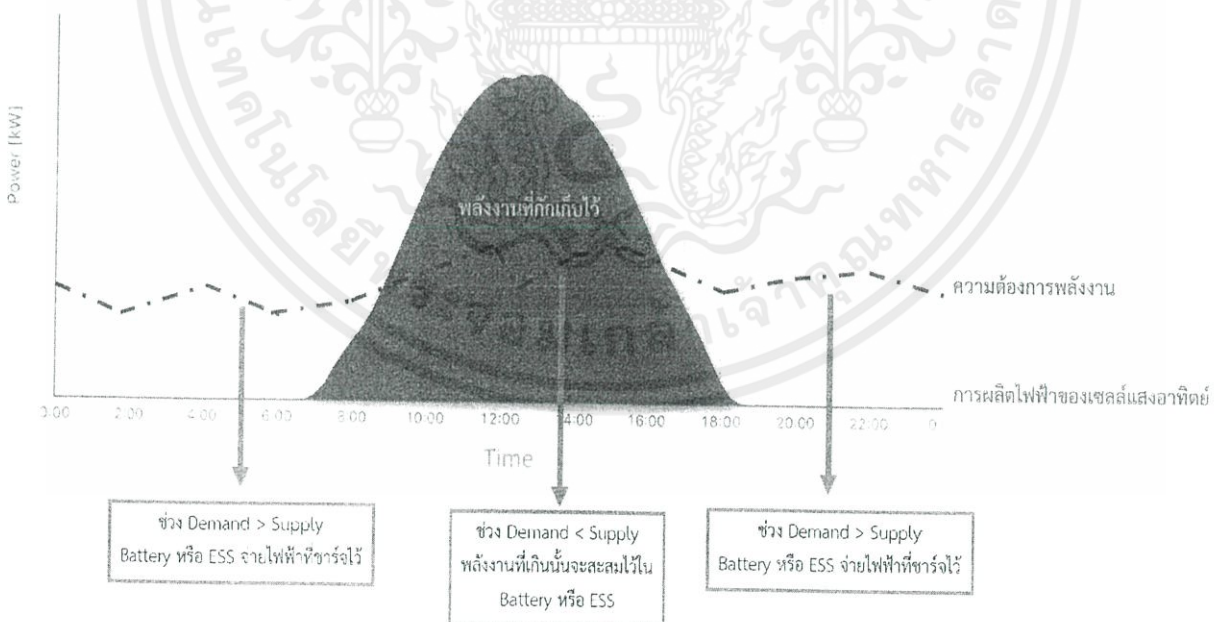
2.4.1.1 สามารถควบคุมความต้องการไฟฟ้า (Demand Charge Management)

2.4.1.2 สามารถควบคุมค่าไฟฟ้าในกรณีที่คิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time-of-Use Energy Cost Management)

2.4.1.3 สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเกินความต้องการไฟฟ้าไปใช้ในช่วงเวลาอื่น (Renewable Energy Time Shift)

ดังนั้นการใช้แบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงขึ้น รวมถึงการใช้งานแบตเตอรี่ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคายังเหมาะสมในแง่พื้นที่ติดตั้งและการใช้งานในระบบ

รูปที่ 2.12 แสดงถึงช่วงกลางวันจะมีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าปริมาณความต้องการไฟฟ้า ดังนั้นไฟฟ้าที่ผลิตเกินความต้องการจะถูกกักเก็บในแบตเตอรี่ เมื่อถึงช่วงกลางคืนซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด เพื่อให้โหลดทำงาน



รูปที่ 2.12 การใช้งานแบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำไว้ใช้ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง

2.4.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ดังสมการ (2.1) พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอาทิตย์และค่าสมรรถนะของระบบซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละเดือน

$$E = A \times \eta_{pv} \times H \times PR \quad (2.1)$$

- E คือ พลังงาน (kWh)  
 A คือ พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m<sup>2</sup>)  
 $\eta_{pv}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)  
 H คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m<sup>2</sup>-Month)  
 PR คือ สมรรถนะของระบบ

2.4.3 การคำนวณขนาดและจำนวนแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้กักเก็บพลังงานไฟฟ้าร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ควรเป็นแบตเตอรี่แบบดีปไซเคิล (Deep Cycle Battery) เพราะเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน

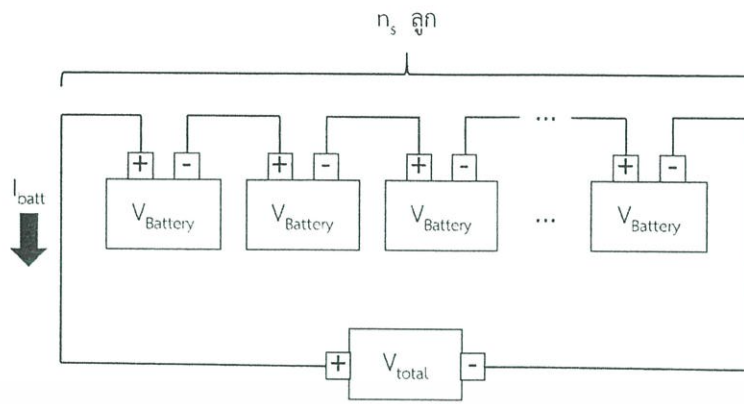
#### 2.4.3.1 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ดังสมการ (2.2)

$$ES = \frac{P \times C\text{-rating}}{V \times DOD} \quad (2.2)$$

- ES คือ ขนาดของแบตเตอรี่ (Ah)  
 P คือ กำลังไฟฟ้า (W)  
 C-rating คือ อัตราการอัดหรือคายประจุ  
 V คือ แรงดันไฟฟ้าในระบบ (V)  
 DOD คือ ระดับการคายประจุ (Depth of Discharge, %)

2.4.3.2 การต่อแบตเตอรี่หรือการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความจุรวมของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการใช้งาน โดยสามารถต่อได้ 3 รูปแบบ

(1) การต่อแบบอนุกรม เป็นการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งานในขณะที่ความจุของแบตเตอรี่ (หน่วย Ah) ยังมีค่าเท่าเดิม โดยนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่ง เชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกถัดไป จนได้แรงดันไฟฟ้ารวมของชุดแบตเตอรี่ตามความต้องการ (รูปที่ 2.13) และสามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้ารวมดังสมการ (2.3)



รูปที่ 2.13 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบอนุกรม

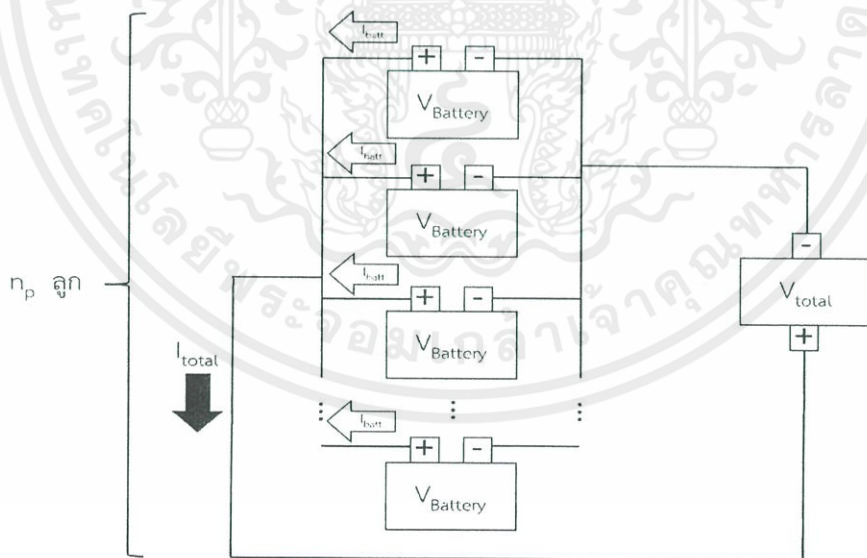
$$V_{total} = n_s \times V_{batt} \quad (2.3)$$

$V_{total}$  คือ แรงดันไฟฟ้ารวม

$n_s$  คือ จำนวนแบตเตอรี่สำหรับการต่อแบบอนุกรม

$V_{batt}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

(2) การต่อแบบขนาน เป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้าหรือความจุของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งานในขณะที่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ยังมีค่าเท่าเดิม โดยนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกที่หนึ่งเชื่อมต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกถัดไป และนำขั้วลบของแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกถัดไป จนได้ความจุรวมและกระแสไฟฟ้ารวมของชุดแบตเตอรี่ตามต้องการ (รูปที่ 2.14) และสามารถคำนวณกระแสไฟฟ้ารวมดังสมการ (2.4)



รูปที่ 2.14 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบขนาน

$$I_{total} = n_p \times I_{batt} \quad (2.4)$$

$I_{total}$  คือ กระแสไฟฟ้ารวม

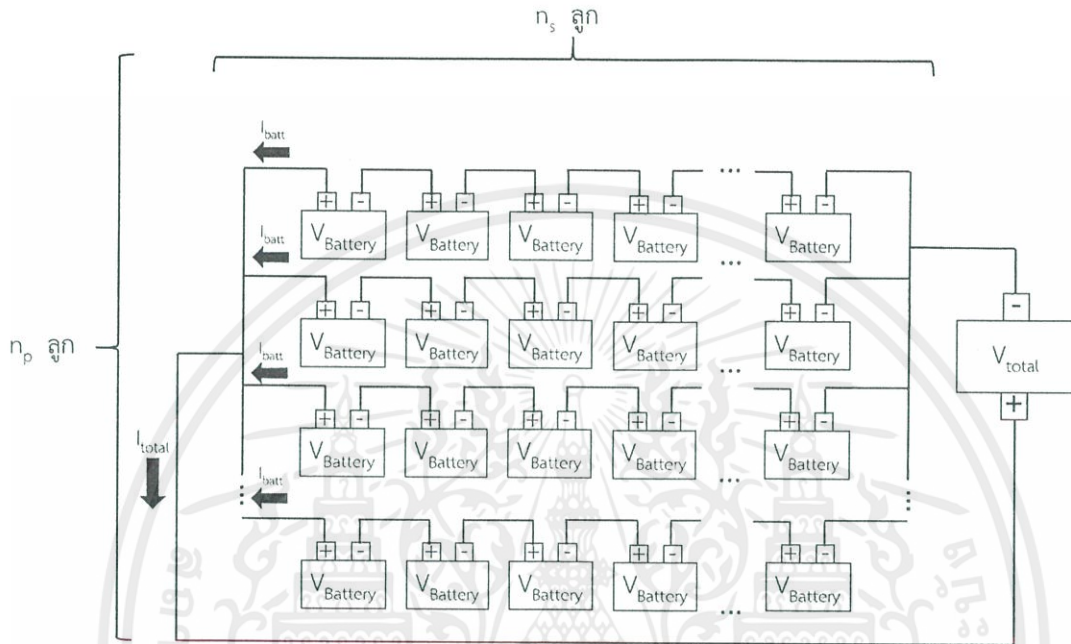
$n_p$  คือ จำนวนแบตเตอรี่สำหรับการต่อแบบขนาน

$I_{batt}$  คือ กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การต่อแบบอนุกรมและขนานร่วมกัน เป็นการกำหนดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งาน (รูปที่ 2.15) โดยสามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้ารวมจากผลรวมของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่ออนุกรม (สมการ (2.3)) และกระแสไฟฟ้ารวมหรือความจุรวมจากผลรวมของกระแสไฟฟ้าหรือความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่อขนาน (สมการ (2.4))



รูปที่ 2.15 การต่อชุดแบตเตอรี่รูปแบบอนุกรมและขนานร่วมกัน

## 2.5 การวิเคราะห์ด้านการเงิน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

เกณฑ์การวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการอนุรักษ์พลังงานสามารถจำแนกได้ 2 แบบ ได้แก่ เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา และเกณฑ์แบบปรับค่าเวลา โครงการสหกิจศึกษานี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้านการเงินเบื้องต้นที่ใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลาซึ่งมีการกำหนดให้ค่าเงินคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา คือ ระยะเวลาคืนทุน และใช้วิธีการวิเคราะห์ด้านการเงินเบื้องต้นที่ใช้เกณฑ์แบบปรับค่าเวลา คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน

2.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาการดำเนินโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ (สมการ (2.5))

$$PB = \frac{I_0}{ES_a} \quad (2.5)$$

PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (Year)

$I_0$  คือ เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ (Baht)

$ES_a$  คือ ผลตอบแทนของการประหยัดพลังงานต่อปี (Baht/Year)

2.5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่จะได้รับ ในระยะเวลาการดำเนินโครงการซึ่งได้แปลงค่ามาเป็นมูลค่าในปัจจุบันแล้ว ลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน (สมการ (2.6)) กรณีที่โครงการมีค่า NPV เป็นบวก หรือมากกว่า 0 แสดงว่าโครงการเหมาะสมกับการลงทุน

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} \quad (2.6)$$

- NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Year)  
 $I_0$  คือ เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ (Baht)  
 $ES_t$  คือ ผลตอบแทนของการประหยัดพลังงานในปีที่  $t$   
 $t$  คือ ระยะเวลาโครงการลงทุน ( $t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ )  
 $n$  คือ อายุของโครงการ (Year)  
 $r$  คือ อัตราคิดลด (Discount Rate, %)

2.5.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ (สมการ (2.7)) กรณีที่โครงการมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับเงินลงทุนที่ใช้ในโครงการ แสดงว่าโครงการจึงเหมาะสมกับการลงทุน

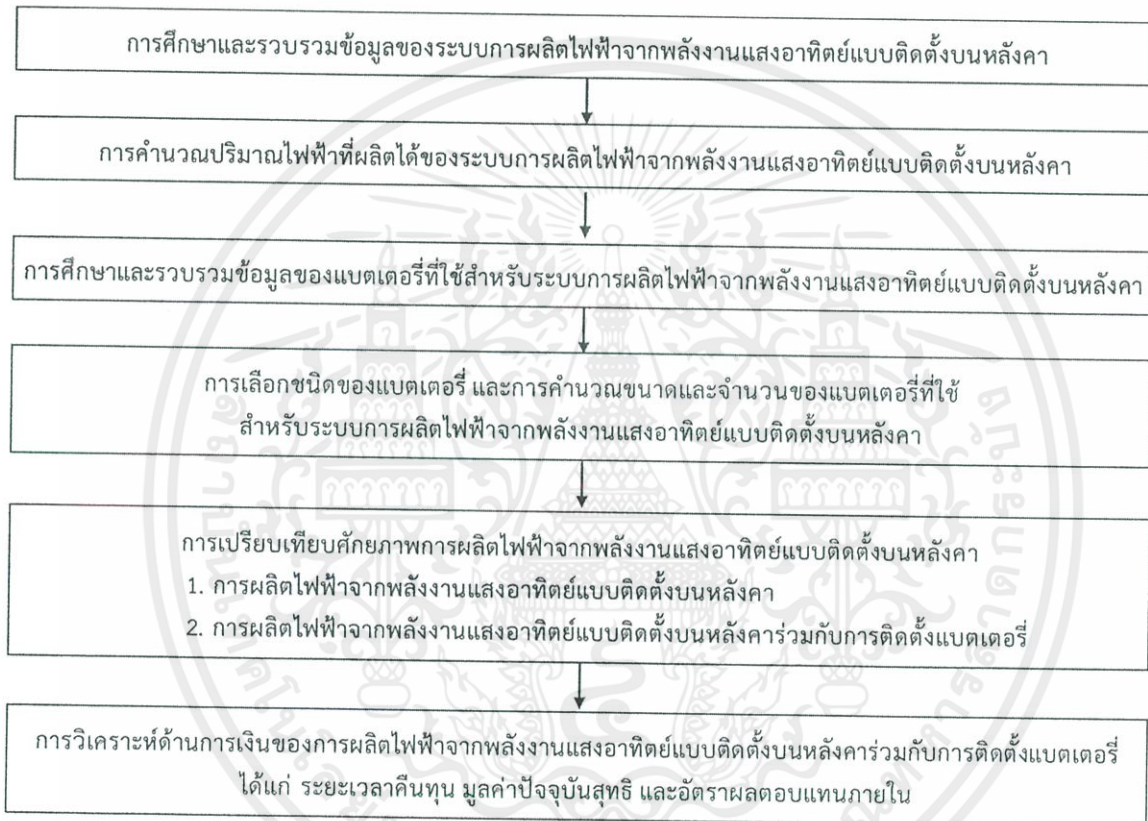
$$NPV = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} \quad (2.7)$$

- IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน หรืออัตราคิดลดที่ทำให้  $NPV = 0$   
 $I_0$  คือ เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ (Baht)  
 $ES_t$  คือ ผลตอบแทนของการประหยัดพลังงานในปีที่  $t$   
 $t$  คือ ระยะเวลาโครงการลงทุน ( $t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ )  
 $n$  คือ อายุของโครงการ (Year)  
 $r$  คือ อัตราคิดลด (Discount Rate, %)

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการศึกษา

โครงการสหกิจศึกษาเรื่องการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ ได้รับการอนุเคราะห์การดำเนินงานจากฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (ทอท.) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

#### 3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

วิธีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ มีดังนี้ การศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารและบันทึกที่เกี่ยวข้อง (Document and Reviews) และการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง (Interviews) ได้แก่ พนักงานฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ สำหรับข้อมูลที่ศึกษาและรวบรวม ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การสำรวจและออกแบบเพื่อติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ให้รวบรวมข้อมูลดังนี้

3.1.1.1 สถานที่ติดตั้ง ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างและแผนผังของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 โดยเฉพาะส่วนของหลังคาอาคาร

3.1.1.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือความต้องการไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ซึ่งรวบรวมจากบันทึกของอุปกรณ์วัด Data Logger

3.1.1.3 กำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด คือ ค่าเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยเริ่มต้นจากกลุ่มอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน

3.1.2 แบทเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ให้รวบรวมข้อมูลตัวชี้วัดของแบทเตอร์ โดยพิจารณาตามเกณฑ์ด้านสมรรถนะและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ กำลังจำเพาะ พลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพของแบทเตอร์ อายุการใช้งาน ราคา การบำรุงรักษา ความปลอดภัย และความเป็นพิษ และใช้เครื่องมือพิจารณาเลือกชนิดของแบทเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ แผนภูมิเรดาร์

3.1.3 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบทเตอร์ ให้รวบรวมข้อมูลรูปแบบการติดตั้งและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบซึ่งมีการระบุคุณลักษณะและมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้

## 3.2 การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า

บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ กำหนดเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW สำหรับใช้ในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ให้แล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2562 และกำหนดให้แต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผลิตไฟฟ้าได้ไม่ต่ำกว่า 300 W<sub>p</sub> สำหรับการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบทเตอร์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 คือ การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46 (PVsyst. 2018) เพื่อให้ได้ข้อมูลการออกแบบ ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ และ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 คือ การคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา เพื่อให้ได้ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยแต่ละเดือนสำหรับการคำนวณผลการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อไป

3.2.3 ขั้นตอนที่ 3 คือ การเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา และกรณีที่ 2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบทเตอร์

### 3.3 การวิเคราะห์ด้านการเงิน

บริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (ทอท.) สาขาทำอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) กำหนดให้โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW สำหรับใช้ในอาคารศูนย์บำรุงรักษาทำอากาศยาน1 มีระยะเวลาดำเนินการ 25 ปี และโครงการสหกิจนี้จะพิจารณาเกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา รวมถึงเกณฑ์แบบปรับค่าเวลา โดยใช้ตัวชี้วัดสำหรับโครงการ คือ ระยะเวลาคืนทุน รวมถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในตามลำดับ

3.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ ถ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีค่า PB ระหว่าง 7-10 ปี ดังนั้นโครงการจึงเหมาะสมกับการลงทุน (Thailand Investment Review, 2016)

3.3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่จะได้รับในระยะเวลาการดำเนินโครงการซึ่งได้แปลงค่ามาเป็นมูลค่าในปัจจุบันแล้ว ลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน ถ้าโครงการมีค่า NPV เป็นบวกหรือมากกว่า 0 แสดงว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนรวม ดังนั้นโครงการจึงเหมาะสมกับการลงทุน

3.3.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าโครงการมีค่า IRR มากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับเงินลงทุนที่ใช้ในโครงการ แสดงว่าโครงการนี้มีกำไร ดังนั้นโครงการจึงเหมาะสมกับการลงทุน

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

ปัจจุบันบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (ทอท.) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (ทสภ.) จังหวัดสมุทรปราการ อยู่ระหว่างการดำเนินโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีเป้าหมายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW โดยเริ่มต้นที่อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และมีกำหนดแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2562 อย่างไรก็ตามโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคานี้ ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งแบตเตอรี่ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว

โครงการสหกิจศึกษานี้ จึงศึกษาการใช้แบตเตอรี่สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้ามีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เช่น เวลากลางคืน หรือไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ผลการดำเนินการศึกษารวมถึงการวิเคราะห์ด้านศักยภาพและด้านการเงินของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่แสดงดังต่อไปนี้

#### 4.1 ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

ข้อมูลทางเทคนิคที่รวบรวมได้จากการศึกษาเอกสารและบันทึกที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและการกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ รวมถึงการสัมภาษณ์พนักงานฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า งานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เกี่ยวกับโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ได้แก่

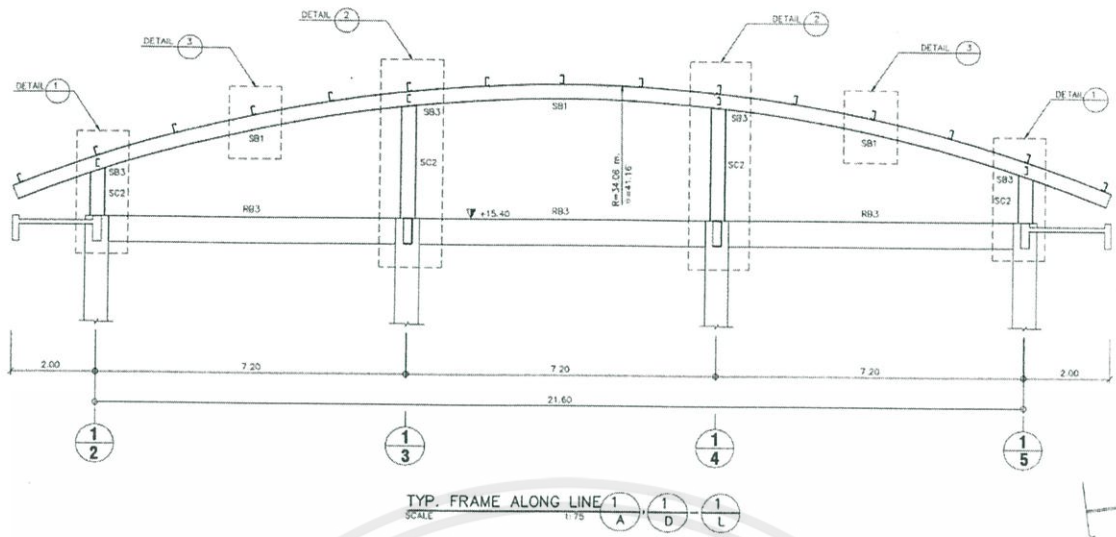
##### 4.1.1 การสำรวจและออกแบบเพื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

4.1.1.1 สถานที่ติดตั้ง คือ อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 เป็นอาคาร 3 ชั้น ผนังปูน และหลังคาอาคารทำจากโครงเหล็กและมีลักษณะโค้งเว้าดังรูปที่ 4.1 (ก)

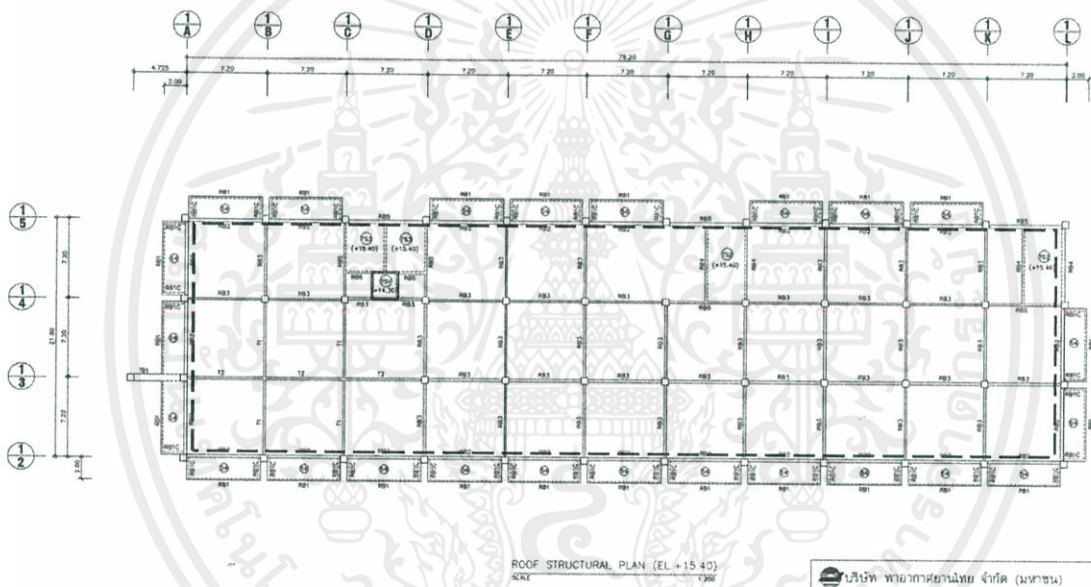
(1) การคำนวณพื้นที่หลังคาอาคารจากแผนผังโครงสร้าง (Layout) ตามเส้นประดังรูปที่ 4.1 (ข) พบว่ามีพื้นที่หลังคาอาคารเท่ากับ  $1,331 \text{ m}^2$

(2) การสัมภาษณ์พนักงานฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกลเกี่ยวกับพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าโครงสร้างหลังคาสามารถรองรับน้ำหนักแผงเซลล์แสงอาทิตย์และมีบริเวณรอบข้างที่เพียงพอสำหรับการซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

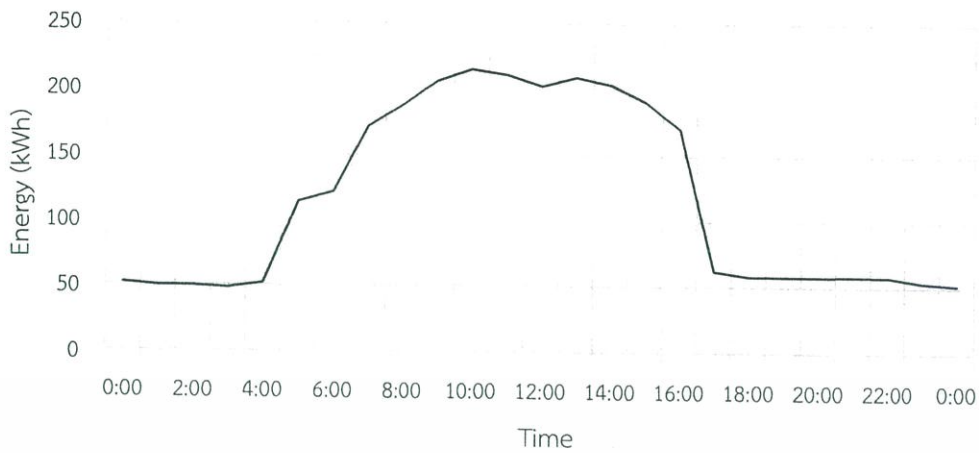


(ข)

รูปที่ 4.1 แผนผังโครงสร้างหลังคาอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

(ก) แบบ Front View และ (ข) แบบ Bird Eye View

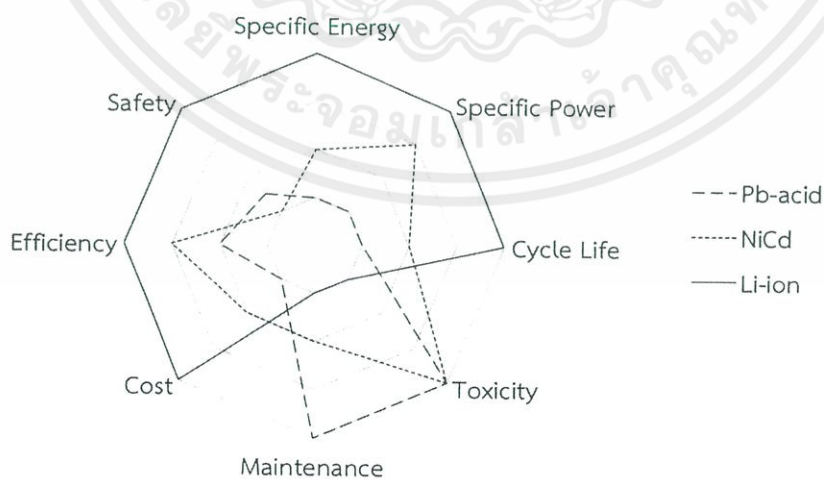
4.1.1.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือความต้องการไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 เป็นข้อมูลบันทึกการใช้ไฟฟ้าที่เก็บรวบรวมในวันที่ 5 มิถุนายน 2558 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120 kW (รูปที่ 4.2) ด้วยอุปกรณ์ Data Logger ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนด เช่น กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความถี่ รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในลักษณะระฆังคว่ำตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มงานจนถึงเลิกงาน และพบว่ามี การลดลงช่วง 11.00-13.00 น. ตามนโยบายการประหยัดพลังงานของบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)



รูปที่ 4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ในวันที่ 5 มิถุนายน 2558

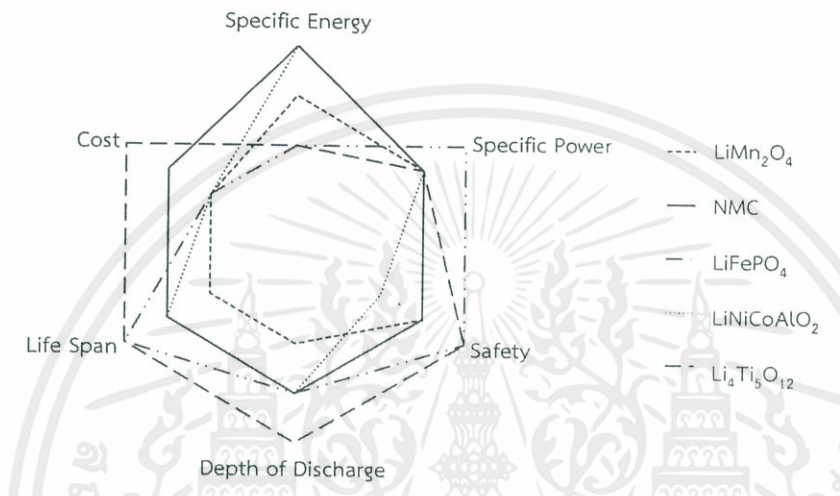
4.1.1.3 กำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด อาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 มีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 200 kW

4.1.2 ชนิดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โครงการสหกิจนี้จะกำหนดตัวชี้วัดด้านสมรรถนะและสิ่งแวดล้อม คือ กำลังจำเพาะ พลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพการคายประจุ อายุการใช้งาน การบำรุงรักษา ความปลอดภัยในการใช้งาน ราคา และความเป็นพิษ และเปรียบเทียบแบตเตอรี่ 3 ชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน รูปที่ 4.3 แสดงถึงความเหมาะสมของการนำแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนไปใช้งาน เพราะมีค่ากำลังจำเพาะ พลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพการคายประจุสูง รวมถึงมีอายุการใช้งานนานโดยไม่ต้องการบำรุงรักษาบ่อย มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง ในขณะที่มีความเป็นพิษต่ำ แต่มีข้อจำกัดคือราคาแพง



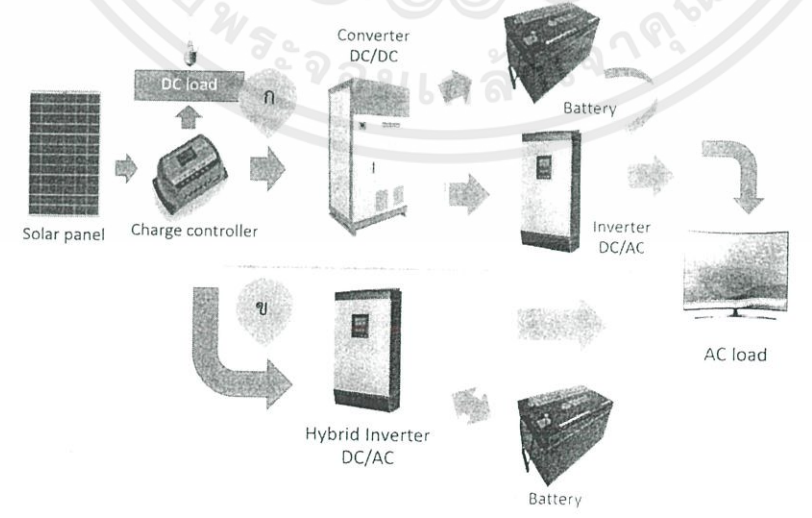
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด นิกเกิลแคดเมียม และลิเทียมไอออน (ดัดแปลงจาก PVEducation. 2018 และ Wilkins S. et al. 2004)

รูปที่ 4.4 แสดงแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 5 ชนิด ซึ่งจำแนกตามชนิดของสารประกอบ ได้แก่ ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, NMC) ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate,  $\text{LiFePO}_4$ ) ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide,  $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) และลิเทียมไททาเนต (Lithium Titanate,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) ซึ่งเมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะ กำลังจำเพาะ ระดับการคายประจุ อายุการใช้งาน ความปลอดภัย และราคา พบว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 5 ชนิด (ดัดแปลงจาก Buchmann I. 2018 และ PVEducation. 2018)

4.1.3 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา รวมถึงการติดตั้งแบตเตอรี่แบ่งเป็น 2 รูปแบบ (รูปที่ 4.5) อุปกรณ์ที่แตกต่างกัน คือ คอนเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 4.5 (ก) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าลง (Step Down) และไฮบริดอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 4.5 (ข) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าลง และแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ



รูปที่ 4.5 รูปแบบและอุปกรณ์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

รวมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ (ก) รูปแบบที่ใช้คอนเวอร์เตอร์ (ข) รูปแบบที่ใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการสหกิจศึกษานี้ พิจารณาใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนและไฮบริดอินเวอร์เตอร์สำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา เพราะช่วยกักเก็บพลังงานไฟฟ้ารวมถึงรักษาสมดุลและรักษาเสถียรภาพของการผลิตไฟฟ้า ในกรณีที่ใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์จะช่วยประหยัดพื้นที่ติดตั้ง ซึ่งเหมาะสมกับการติดตั้งในห้องเก็บแบตเตอรี่ของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 เนื่องจากห้องมีขนาดจำกัด

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะและมาตรฐานของอุปกรณ์หลัก 3 ประเภท ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์อินเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่ สำหรับใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยอ้างอิงคุณลักษณะและมาตรฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์จากข้อกำหนดและรายละเอียดในการจัดหาของบริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561ข)

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะและมาตรฐานของอุปกรณ์หลักในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ (บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561ข)

อุปกรณ์	คุณลักษณะ	มาตรฐาน
<b>1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์</b>		
- ชนิดแผง	Poly-Crystalline (Multi-Crystalline)	มอก.1843 หรือ IEC 61215 มอก.2580 หรือ IEC 61730
- กำลังการผลิตต่อแผง	345 W <sub>p</sub>	
- ประสิทธิภาพ (STC)	17.21 %	
- แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด	ไม่น้อยกว่า 39 V	
- กระแสไฟฟ้าเมื่อ Short circuit	ไม่น้อยกว่า 8 A	
- พื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแผง	2 m <sup>2</sup>	
<b>2. อินเวอร์เตอร์</b>		IEC 62109-1, IEC 62109-2
- ขนาดของอินเวอร์เตอร์	25 kW	
<b>3. แบตเตอรี่</b>		
- แรงดันไฟฟ้า	24 V	
- ความจุ	200 Ah	

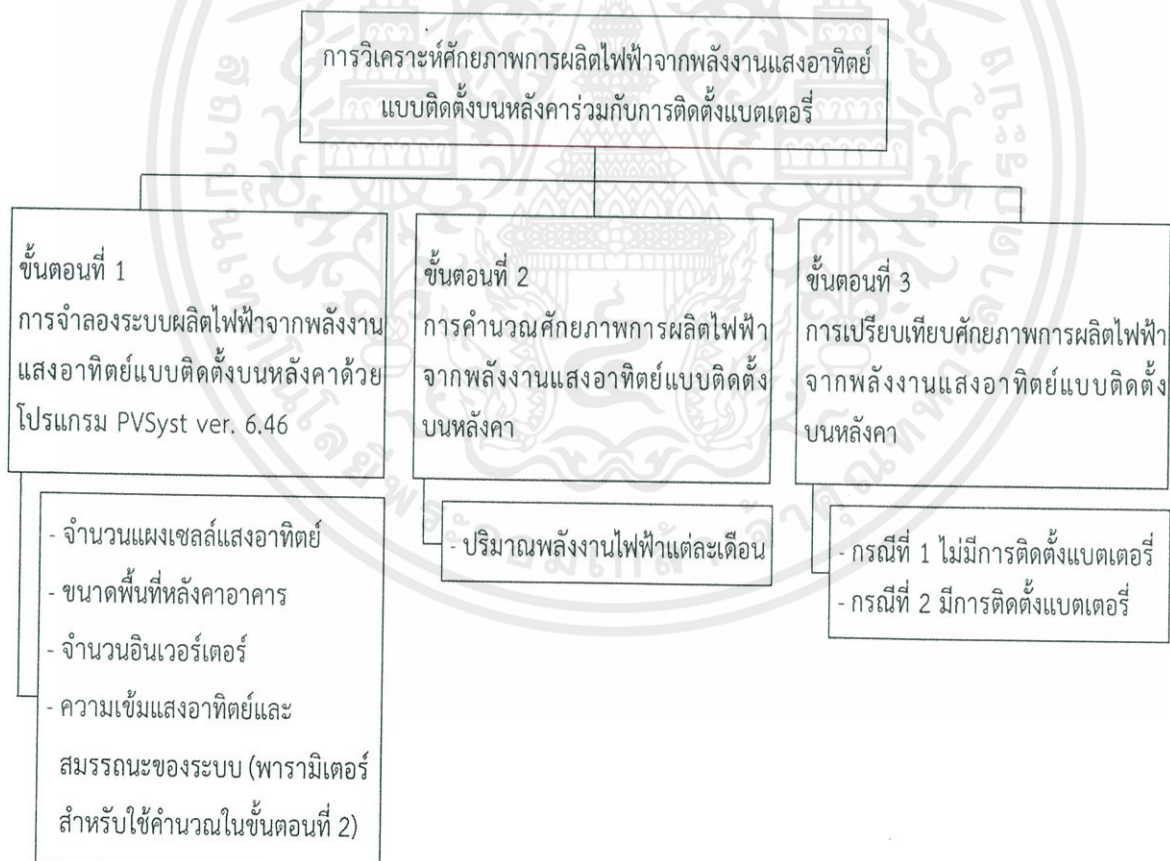
#### 4.2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (รูปที่ 4.6) ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 คือ การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46 เพื่อให้ได้ข้อมูลจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร และจำนวนอินเวอร์เตอร์ รวมถึงพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ สมรรถนะของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 คือ การคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือนสำหรับใช้คำนวณผลการประหยัดพลังงานในการวิเคราะห์ด้านการเงิน

ขั้นตอนที่ 3 คือ การเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และการติดตั้งแบตเตอรี่



รูปที่ 4.6 สรุปขั้นตอนของการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาร่วมกับการติดตั้งแบตเตอรี่

4.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46 สามารถสรุปผลการจำลองได้ดังนี้

4.2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ต้องการพื้นที่หลังคาอาคาร 1,220 m<sup>2</sup> เพื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 608 แผง โดยต่ออนุกรม 19 แผง และต่อขนาน 32 แถว และใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 25 kW 8 เครื่อง และได้ค่าจำลองกำลังไฟฟ้า 210 kW และค่าจำลองพลังงานไฟฟ้า 297.2 MWh/Year (รายละเอียดผลการจำลองแสดงในภาคผนวก ก)

4.2.1.2 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ ณ บริเวณอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ซึ่งตั้งอยู่ที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และค่าจำลองจากโปรแกรม PVsyst version 6.46 คือ 1,706.6 และ 1,789.8 kWh/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 4.6% ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าจำลองความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยจากโปรแกรม PVsyst version 6.46 สำหรับการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยแต่ละเดือนในขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยบริเวณอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ของ พ.ศ. 2560

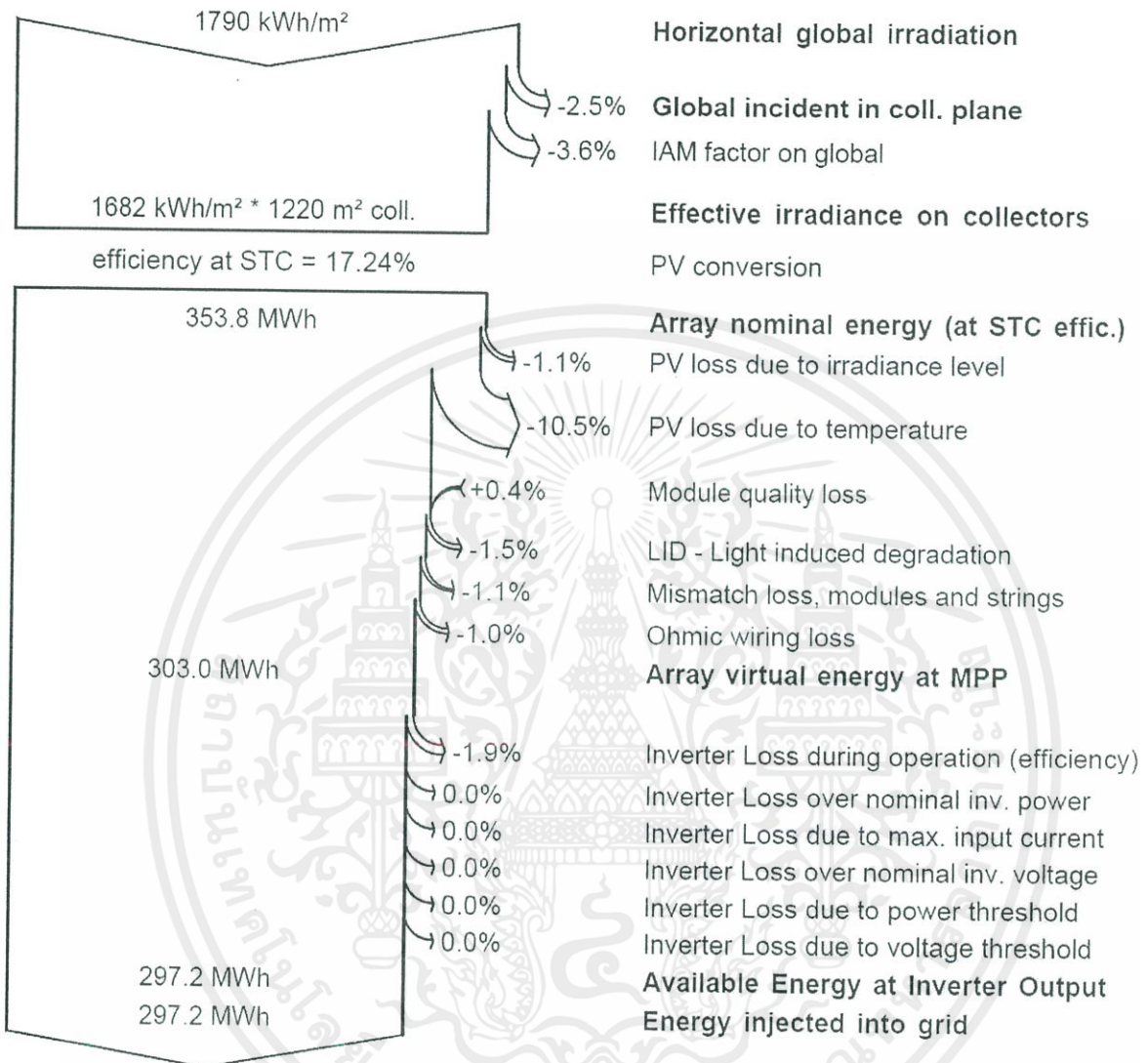
เดือน	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (kWh/m <sup>2</sup> )	
	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน*	โปรแกรม PVsyst version 6.46
มกราคม	154.2	145.0
กุมภาพันธ์	149.0	143.7
มีนาคม	171.4	174.4
เมษายน	173.1	174.7
พฤษภาคม	161.5	163.4
มิถุนายน	151.2	152.0
กรกฎาคม	149.1	148.8
สิงหาคม	149.0	138.6
กันยายน	141.8	129.9
ตุลาคม	156.9	137.6
พฤศจิกายน	149.4	139.8
ธันวาคม	149.4	142.0
รวม	1,706.6	1,789.8

หมายเหตุ \* เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยบริเวณตำบลหนองปรือ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งได้จากการแปลงค่าของฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และใช้ค่าการแปลงหน่วย คือ 1 MJ/m<sup>2</sup> = 0.28 kWh/m<sup>2</sup> (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ รูปที่ 4.7 แสดงผลการจำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46 เท่ากับ 297.2 MWh



รูปที่ 4.7 ผลการจำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46

4.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา กำหนดเป้าหมายไว้ที่ 200 kW และจากผลการจำลองของโปรแกรม PVsyst version 6.46 ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 210 kW ทั้งนี้ความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายและค่าจำลองของกำลังผลิตติดตั้งสูงสุด คือ 4.8% ดังนั้นเลือกใช้ค่าจำลองกำลังไฟฟ้าจากโปรแกรม PVsyst version 6.46 ซึ่งกำหนดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพื้นที่ติดตั้งเท่ากับ 608 แผง และ 1,220 m<sup>2</sup> ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข) ซึ่งมีผลรวมพลังงานไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 305,013.60 kWh หรือ 305.01 MWh และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าคำนวณในตารางที่ 4.3 (305.01 MWh) และค่าจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากโปรแกรม PVsyst version 6.46 (297.2 MWh) คือ 2.7% ดังนั้นโครงการสหกิจนี้ จะใช้ค่าคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนในตารางที่ 4.3 สำหรับการวิเคราะห์ด้านการเงินต่อไป เนื่องจากโปรแกรม PVsyst version 6.46 ไม่ได้แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยแต่ละเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

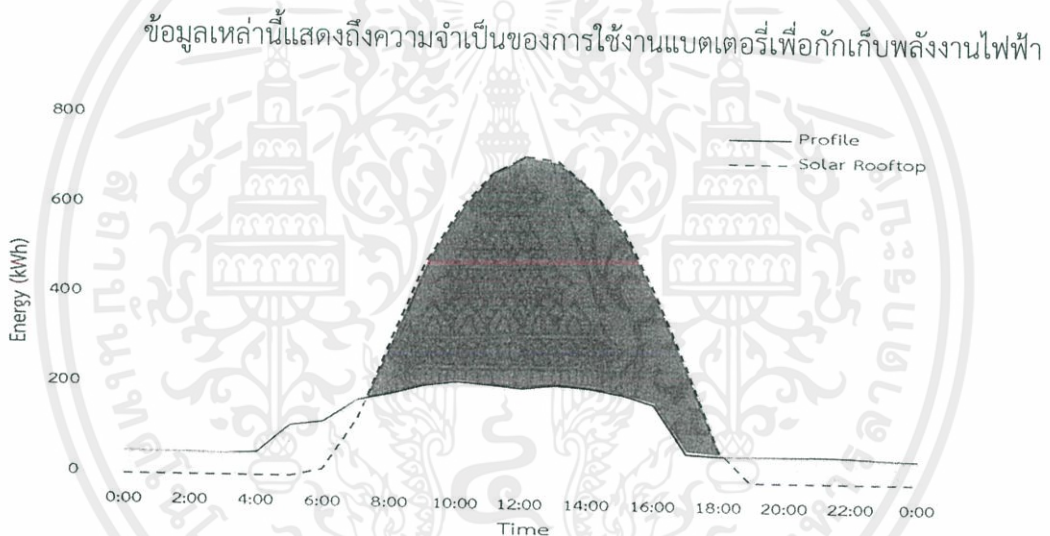
เดือน	ความเข้มแสงอาทิตย์* (kWh/m <sup>2</sup> )	สมรรถนะของระบบ*	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
มกราคม	145.0	0.82	24,903.59
กุมภาพันธ์	143.7	0.81	24,559.63
มีนาคม	174.4	0.81	29,550.22
เมษายน	174.7	0.80	29,454.33
พฤษภาคม	163.4	0.81	27,720.69
มิถุนายน	152.0	0.81	25,850.52
กรกฎาคม	148.8	0.81	25,400.03
สิงหาคม	138.6	0.81	23,688.00
กันยายน	129.9	0.81	22,119.27
ตุลาคม	137.6	0.82	23,574.87
พฤศจิกายน	139.8	0.81	23,863.74
ธันวาคม	142.0	0.82	24,328.72
รวม	1,789.8	-	305,013.60

หมายเหตุ \* เป็นค่าจำลองจากโปรแกรม PVsyst version 6.46

4.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ กับค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ในวันที่ 5 มิถุนายน 2558 ดังนี้

4.2.3.1 กรณีที่ 1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

- (1) ช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์เกินปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 (พื้นที่ส่วนแรเงาสีเทาเข้ม)
- (2) ช่วงเวลา 18.00-8.00 น. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 (พื้นที่ส่วนแรเงาสีเทาอ่อน ซึ่งมีขนาดประมาณ 850 kWh)



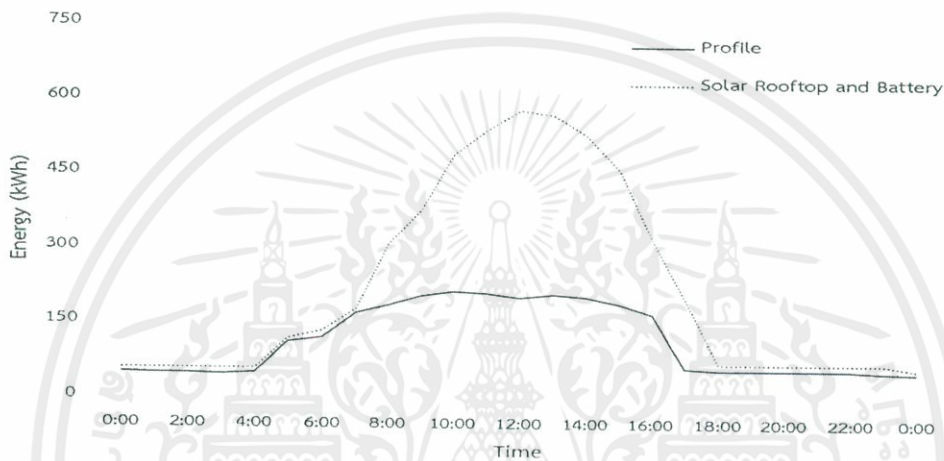
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

4.2.3.2 กรณีที่ 2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาพร้อมกับการติดตั้งแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาพื้นที่ส่วนแรเงาสีเทาอ่อนของกรณีที่ 1 ซึ่งมีขนาดประมาณ 850 kWh และกำหนดให้ปริมาณการกักเก็บไฟฟ้าเพิ่มอีก 15% ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 24 V และ 200 Ah สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาด 1,000 kWh และผลการคำนวณพบว่าต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 260 ลูก โดยต่อแบบอนุกรม 2 ลูก และต่อแบบขนาน 130 แถว เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ารวมขนาด 48 V และกระแสไฟฟ้ารวมขนาด 26,042 Ah (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) การศึกษาครั้งนี้กำหนดช่วงเวลาการอัดและคายประจุระหว่าง 9.00-17.00 น. และ 18.00-8.00 น. ตามลำดับ

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

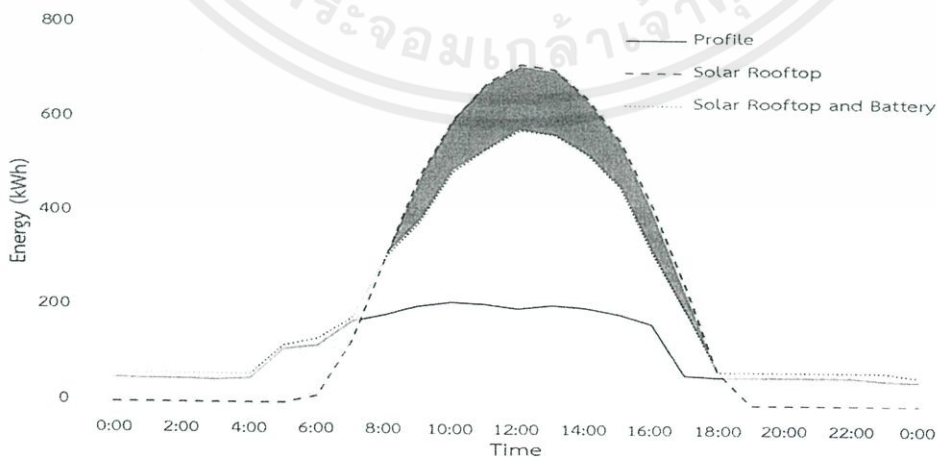
(1) ช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์เกินปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ทั้งนี้พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดจะลดลงจาก 700 kWh (รูปที่ 4.8) เป็น 600 kWh (รูปที่ 4.9) เมื่อเวลา 12.00 น. เพราะแบตเตอรี่อยู่ในช่วงอัดประจุ

(2) ช่วงเวลา 18.00-8.00 น. เป็นช่วงที่แบตเตอรี่คายประจุเพื่อให้พลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งานในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 และ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในพื้นที่ส่วนแรกเสีเทาเข้มซึ่งกำหนดไว้ที่ 1,000 kWh ในช่วงเวลา 9.00 และ 17.00 น. เพียงพอต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 18.00-8.00 น.



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การวิเคราะห์ด้านการเงิน

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่ สำหรับใช้ในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน 1 ได้แก่ เงินลงทุนและผลการคำนวณการประหยัดพลังงาน

4.3.1 เงินลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.4 ประกอบด้วย

4.3.1.1 ค่าอุปกรณ์ในระบบ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุ อินเวอร์เตอร์ ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่ (รายละเอียดคุณลักษณะและราคาของอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก ง)

4.3.1.2 ค่าติดตั้งระบบและค่าบำรุงรักษาตลอดอายุโครงการ ให้พิจารณาเท่ากับ 10% และ 30% ของเงินลงทุนของค่าอุปกรณ์ในระบบตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 เงินลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

รายการ	กรณีที่ 1: ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่		กรณีที่ 2: ติดตั้งแบตเตอรี่	
	จำนวน (Pcs.)	ราคา (Baht)	จำนวน (Pcs.)	ราคา (Baht)
<b>1. ค่าอุปกรณ์ในระบบ</b>				
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ขนาด 345 W: 6,600 Baht/Pc.)	608	4,012,800	608	4,012,800
- เครื่องควบคุมการประจุ (ขนาด 30 A: 2,946 Baht/Pc.)	60	176,760	60	176,760
- อินเวอร์เตอร์ (ขนาด 25,000 KW: 104,038 Baht/Pc.)	8	832,304	-	-
- ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ (ขนาด 25,000 KW: 128,220 Baht/Pc.)	-	-	8	1,025,760
- แบตเตอรี่ (ขนาด 24V, 200 Ah: 36,025 Baht/Pc.)	-	-	260	9,366,500
<b>รวมค่าอุปกรณ์</b>		<b>5,021,864</b>		<b>14,581,820</b>
<b>2. ค่าติดตั้งระบบและค่าบำรุงรักษา</b>				
- ค่าติดตั้งระบบ (10% ของเงินลงทุนค่าอุปกรณ์)		502,186		1,458,182
- ค่าบำรุงรักษาตลอดอายุโครงการ (30% ของเงินลงทุนค่าอุปกรณ์)		1,506,559		4,374,546
<b>รวมค่าติดตั้งระบบและค่าบำรุงรักษา</b>		<b>2,008,745</b>		<b>5,832,728</b>
<b>รวมเงินลงทุนทั้งหมด (Baht/Project)</b>		<b>7,030,610</b>		<b>20,414,548</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่เท่ากับ 945,541 Baht (29.11%) และ 2,077,041 Baht (63.94%) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

รายการ	ก่อนดำเนินโครงการ	หลังดำเนินโครงการ	
		กรณีที่ 1: ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่	กรณีที่ 2: ติดตั้งแบตเตอรี่
<b>1. การใช้พลังงานไฟฟ้า</b>			
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/Year)	1,047,952	742,938	377,938
- ราคาค่าไฟฟ้าที่ซื้อ (Baht/Year)	3,248,650	2,303,109	1,171,609
<b>2. การผลิตพลังงานไฟฟ้า</b>			
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/Year)	0	305,014	670,014
<b>3. ผลการประหยัดพลังงาน</b>			
- ผลประหยัดค่าไฟฟ้า (Baht; %)	0	945,541; 29.11	2,077,041; 63.94

หมายเหตุ ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าของบริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด เท่ากับ 3.1 Baht/kWh

การวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่ จะพิจารณาจากเงินลงทุน ได้แก่ ค่าอุปกรณ์ในระบบ และค่าติดตั้งระบบและค่าบำรุงรักษา (ตารางที่ 4.4) และผลการคำนวณการประหยัดพลังงาน (ตารางที่ 4.5) ซึ่งกำหนดอายุโครงการ 25 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราเงินดอกเบี้ยเงินกู้ 3.5% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป) เพื่อคำนวณตัวชี้วัด ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) แสดงดังตารางที่ 4.6 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

รายการ	กรณีที่ 1: ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่	กรณีที่ 2: ติดตั้งแบตเตอรี่
เงินลงทุน (Baht)	7,030,610	20,414,548
ระยะเวลาคืนทุน (Year)	7.44	9.83
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Baht)	5,995,993	8,437,288
อัตราผลตอบแทนภายใน (%)	12.78	8.99

หมายเหตุ อัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับ 5%



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

โครงการสหกิจศึกษานี้ เปรียบเทียบศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 ทั้งที่ไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และมีการติดตั้งแบตเตอรี่ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) สาขาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าขนาด 200 kW สำหรับใช้ภายในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโดยใช้โปรแกรม PV Syst version 6.46 แสดงให้เห็นว่าระบบต้องการพื้นที่หลังคาอาคาร 1,220 m<sup>2</sup> เพื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 608 แผง โดยต่ออนุกรม 19 แผง และต่อขนาน 32 แถว และใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 25 kW 8 เครื่อง และได้ค่าจำลองกำลังไฟฟ้า 210 kW และค่าจำลองพลังงานไฟฟ้า 297.2 MWh/Year ทั้งนี้พบว่าพื้นที่บนหลังคาอาคารสามารถรองรับจำนวนแผงเซลล์ดังกล่าวได้ (1,331 m<sup>2</sup>) และมีบริเวณรอบข้างที่เพียงพอสำหรับการซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

5.1.2 ผลการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน ของกรณีที่ 1 ซึ่งไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ และกรณีที่ 2 ซึ่งมีการติดตั้งแบตเตอรี่ กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 และพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งกำหนดปริมาณการกักเก็บในแบตเตอรี่ 1,000 kWh ในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. เพียงพอต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 18.00-8.00 น.

5.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้านการเงินของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของกรณีที่ 1 ซึ่งไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ และกรณีที่ 2 ซึ่งมีการติดตั้งแบตเตอรี่ ได้แก่

(1) กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ พบว่าได้ค่าพลังงานไฟฟ้า 305,014 kWh/Year สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 945,541 Baht/Year โดยมีค่าตัวชี้วัดโครงการ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 7.44 Year, 5,995,993 Baht และ 12.78% ตามลำดับ

(2) กรณีที่ 2 มีการติดตั้งแบตเตอรี่ โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 24 V และ 200 Ah สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาด 1,000 kWh และผลการคำนวณพบว่าต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 260 ลูก โดยต่อแบบอนุกรม 2 ลูก และต่อแบบขนาน 130 แถว เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ารวมขนาด 48 V และกระแสไฟฟ้ารวมขนาด 26,042 Ah

สำหรับกรณีที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ พบว่าได้ค่าพลังงานไฟฟ้า 670,014 kWh/Year สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,077,041 Baht/Year โดยมีค่าตัวชี้วัดโครงการ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 9.83 Year, 8,437,288 Baht และ 8.99% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาจัดเป็นโครงการระยะยาวซึ่งกำหนดเวลาโครงการที่ 25 ปี ดังนั้นการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อใช้กักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินจากระบบดังกล่าวจะช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจน เพราะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าได้ 365,000 kWh/Year และ 1,131,500 Baht/Year ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในปัจจุบันราคาแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนยังมีราคาสูงส่งผลให้เงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุนสูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาซึ่งเกินกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร เพื่อการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5.2.2 การคำนวณเงินลงทุนของอุปกรณ์ในระบบควรอ้างอิงราคาตามกรมบัญชีกลางเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ด้านการเงิน

5.2.3 กรณีศึกษาโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่ จำนวนการประหยัดพลังงานโดยใช้ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าของบริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด คือ 3.1 Baht/kWh (ตารางที่ 4.5) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของราคาต่อหน่วยไฟฟ้าใน พ.ศ. 2561 หากเป็นไปได้ควรใช้ค่าราคาหน่วยไฟฟ้าของแต่ละเดือน เพื่อความแม่นยำและความถูกต้องของข้อมูล

5.2.4 กรณีศึกษาของโครงการข้างต้นของฝ่ายอื่นซึ่งอาจรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงเขตอ่อนนุช และเขตหนองจอก ให้คำนวณการประหยัดพลังงานโดยใช้ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งต้องพิจารณาตามช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้า ได้แก่ ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) ซึ่งเป็นช่วงเวลา 9.00-22.00 น. ของวันทำงาน (จันทร์-ศุกร์) ช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ซึ่งเป็นช่วงเวลา 22.00-9.00 น. ของวันทำงาน (จันทร์-ศุกร์) และช่วงเวลา 0.00-24.00 ของวันเสาร์-อาทิตย์ รวมไปถึงวันหยุดราชการตามปกติ

5.2.5 ควรรักษาอุณหภูมิแบตเตอรี่อยู่ที่ 30 °C เพื่อยืดอายุการใช้งาน (อุณหภูมิการเก็บรักษาแบตเตอรี่ตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในการศึกษาค้างนี้ คือ 0-35 °C)

## บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. เครื่องมือในการประเมินโครงการ. [Online]. Available: <http://www2.dede.go.th/webpage/tools.htm>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป. เอกสารประกอบการบรรยายงานสัมมนา โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยสถาบันการเงิน. [Online]. Available: <http://dedeenergyfund.com/wp-content/uploads/2017/01/เอกสารสัมมนา.pdf>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ระดับตำบล ปี 2560. [Online]. Available: [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=47941&filename=index](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47941&filename=index)
- ชานนท์ ธรรมศร. 2557. การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธีระภัทร์ แมนมิตร และปานจิต ดำรงกุลกำจร. 2558. ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน. วารสารวิจัยพลังงาน;12:75-94. [Online]. Available: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/energy-research/article/view/48878/40606>
- บริษัท โซล่าฮับ จำกัด. 2562. แผงโซล่าเซลล์ REC Twin Peak 345 W. [Online]. Available: <https://www.solarhubsolution.com/products/rec-twin-peak-345-w>
- บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561ก. เกี่ยวกับ ทอท. [Online]. Available: <https://airportthai.co.th/เกี่ยวกับ-ทอท/ประวัติความเป็นมา/>
- บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561ข. ร่างประกวดราคางานซื้อพร้อมติดตั้งระบบเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding). [Online]. Available: <http://aotdatainfo.airportthai.co.th/bidding/Search>
- บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น จำกัด. 2561. ความเป็นมา. [Online]. Available: <http://www.dcap.co.th/index.php?mo=3&art=42089794>
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2557. สารพันความรู้ด้านพลังงาน: รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 1. [Online]. Available: [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/291\\_73-80.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/291_73-80.pdf)
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2558. สารพันความรู้ด้านพลังงาน: รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4. [Online]. Available: [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/298\\_63.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/298_63.pdf)

- Alibaba.com. 2019a. **High Capacity Must Power Grid Tie Inverter Solar Power System Hybrid**. [Online]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Capacity-Must-Power-Grid-Tie\\_60819984266.html?spm=a2700.7724857.normalList.176.403672e7013UX3](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Capacity-Must-Power-Grid-Tie_60819984266.html?spm=a2700.7724857.normalList.176.403672e7013UX3)
- Alibaba.com. 2019b. **Lithium Battery 24v 200ah for Solar Panel, Boat , Wind Turbine** [Online]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/Lithium-Battery-24v-200ah-for-Solar\\_60379918338.html?spm=a2700.7724857.normalList.96.15b442c7wPUVX2](https://www.alibaba.com/product-detail/Lithium-Battery-24v-200ah-for-Solar_60379918338.html?spm=a2700.7724857.normalList.96.15b442c7wPUVX2)
- Buchmann I. 2018. **BU-205: Types of Lithium-ion**. [Online]. Available: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
- Curry C. 2017. **Lithium-ion Battery Cost and Market: Squeezed Margins Seek Technology Improvements and New Business Models**. [Online]. Available: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- Ebay. 2019. **LCD 30A AMP MPPT Solar Battery Regulator Charge Controller 12/24/48V Protection**. [Online]. Available: [https://www.ebay.com/itm/LCD-30A-AMP-MPPT-Solar-Battery-Regulator-Charge-Controller-12-24-48V-Protection/283021033697?epid=26013614529&hash=item41e55e40e1%3Ag%3ASz4AAOSwyM1bK58k&fbclid=IwAR1FS548MsiQqLM7f2zWIJdsqfGApR2eDoOJLTxqC8AKUDTrM1v8yQ3\\_NjU](https://www.ebay.com/itm/LCD-30A-AMP-MPPT-Solar-Battery-Regulator-Charge-Controller-12-24-48V-Protection/283021033697?epid=26013614529&hash=item41e55e40e1%3Ag%3ASz4AAOSwyM1bK58k&fbclid=IwAR1FS548MsiQqLM7f2zWIJdsqfGApR2eDoOJLTxqC8AKUDTrM1v8yQ3_NjU)
- Europe-SolarShop.com. 2018. **SMA Sunny Tripower 25000TL-30**. [Online]. Available: [http://www.europe-solarshop.com/document/sma/sunny\\_tripower/STP25000TL-30-DEN1622-V30web.pdf](http://www.europe-solarshop.com/document/sma/sunny_tripower/STP25000TL-30-DEN1622-V30web.pdf)
- Hart D. and Sarkissian A. 2016. **Deployment of Grid-Scale Batteries in the United States**. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Deployment%20of%20Grid-Scale%20Batteries%20in%20the%20United%20States.pdf>
- Luo X., Wang J., Dooner M. and Clarke J. 2015. **Overview of Current Development in Electrical Energy Storage Technologies and the Application Potential in Power System Operation**. *Applied Energy*;137:511-536
- Patel MR. 1999. **Wind and Solar Power Systems**. [Online]. Available: [http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind\\_and\\_Solar\\_Power\\_Systems.pdf](http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind_and_Solar_Power_Systems.pdf)
- Photovoltaic Software. 2018. **Principle and Resources**. [Online]. Available: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>

- PVEducation. 2018. **Summary and Comparison of Battery Characteristics**. [Online]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/summary-and-comparison-of-battery-characteristics>
- PVSyst. 2018. **Download** [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/download/>
- Shukla AK., Sudhakar K. and Baredar P. 2016. Design, Simulation and Economic Analysis of Standalone Roof Top Solar PV System in India. **Solar Energy**;136:437-449
- Thailand Investment Review. 2016. Thailand's Solar Rooftop Market Poised To Take Off. **Thailand Investment Review**;26:1-12
- Wang Q., Liu W., Yuan X., Tang H., Tang Y., Wang M., Zuo J., Song Z., and Sun J. 2018. Environmental Impact Analysis and Process Optimization of Batteries Based on Life Cycle Assessment. **Journal of Cleaner Production**;174:1262-1273
- Wilkins S., Shah S., Walker A., and Lampérth M. 2003. Evaluation of Battery Pack Requirements for Mild Hybrid Electric Heavy Duty Vehicle. **European ELE-Drive Transportation Conference**, Estoril, Portugal
- Zackrisson M., Avellán L., and Orlenius J. 2010. Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Batteries for Plug-In Hybrid Electric Vehicles–Critical Issues. **Journal of Cleaner Production**;18:1519-1529



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46

Grid-Connected System: Simulation parameters

<b>Project :</b>		<b>Project YP</b>	
<b>Geographical Site</b>	<b>Bangkok</b>	<b>Country</b>	<b>Thailand</b>
<b>Situation</b>	<b>Latitude</b> 13.70° N	<b>Longitude</b>	100.80° E
Time defined as	<b>Legal Time</b> Time zone UT+7	<b>Altitude</b>	2 m
<b>Meteo data:</b>	<b>Albedo</b> 0.20	<b>Bang</b> Meteornorm 7.2 (1991-2010) - Synthetic	
<hr/>			
<b>Simulation variant :</b>	<b>Proect COOP YP</b>		
	<b>Simulation date</b>	27/12/18 14h56	
<hr/>			
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	No 3D scene defined, no shadings	
<b>2 orientations</b>	<b>tilts/azimuths</b>	5°/15° and 15°/-165	
<b>Models used</b>	<b>Transposition</b>	Perez	<b>Diffuse</b> Perez, Meteornorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		
<hr/>			
<b>PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	<b>Model</b>	REC 345TP2S 72
Original PVsyst database		<b>Manufacturer</b>	REC
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>		<b>Orientation</b>	#1 Tilt/Azimuth 5°/15°
Number of PV modules		<b>In series</b>	19 modules In parallel 16 strings
Total number of PV modules		<b>Nb. modules</b>	304 Unit Nom. Power 345 Wp
Array global power		<b>Nominal (STC)</b>	105 kWp At operating cond. 95.6 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		<b>U mpp</b>	652 V I mpp 147 A
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>		<b>Orientation</b>	#2 Tilt/Azimuth 15°/-165°
Number of PV modules		<b>In series</b>	19 modules In parallel 16 strings
Total number of PV modules		<b>Nb. modules</b>	304 Unit Nom. Power 345 Wp
Array global power		<b>Nominal (STC)</b>	105 kWp At operating cond. 95.6 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		<b>U mpp</b>	652 V I mpp 147 A
<b>Total</b>	<b>Arrays global power</b>	<b>Nominal (STC)</b>	210 kWp Total 608 modules
		<b>Module area</b>	1220 m <sup>2</sup> Cell area 1076 m <sup>2</sup>
<hr/>			
<b>Inverter</b>		<b>Model</b>	Sunny Tripower 25000TL-30
Original PVsyst database		<b>Manufacturer</b>	SMA
<b>Characteristics</b>		<b>Operating Voltage</b>	390-800 V Unit Nom Power 25.0 kWac
<b>Sub-array "Sub-array #1"</b>		<b>Nb. of inverters</b>	4 units Total Power 100 kWac Pnom ratio 1.05
<b>Sub-array "Sub-array #2"</b>		<b>Nb. of inverters</b>	4 units Total Power 100 kWac Pnom ratio 1.05
<b>Total</b>		<b>Nb. of inverters</b>	8 Total Power 200 kWac
<hr/>			
<b>PV Array loss factors</b>			
<b>Thermal Loss factor</b>	<b>Uc (const)</b>	20.0 W/m <sup>2</sup> K	<b>Uv (wind)</b> 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
<b>Wiring Ohmic Loss</b>	<b>Array#1</b>	74 mOhm	<b>Loss Fraction</b> 1.5 % at STC
	<b>Array#2</b>	74 mOhm	<b>Loss Fraction</b> 1.5 % at STC
	<b>Global</b>		<b>Loss Fraction</b> 1.5 % at STC
<b>LID - Light Induced Degradation</b>			<b>Loss Fraction</b> 1.5 %
<b>Module Quality Loss</b>			<b>Loss Fraction</b> -0.4 %
<b>Module Mismatch Losses</b>			<b>Loss Fraction</b> 1.0 % at MPP
<b>Strings Mismatch loss</b>			<b>Loss Fraction</b> 0.10 %
<b>Incidence effect, ASHRAE parametrization</b>	<b>IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)</b>		<b>bo Param.</b> 0.05

รูปที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

โดยใช้โปรแกรม PVsyst version 6.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

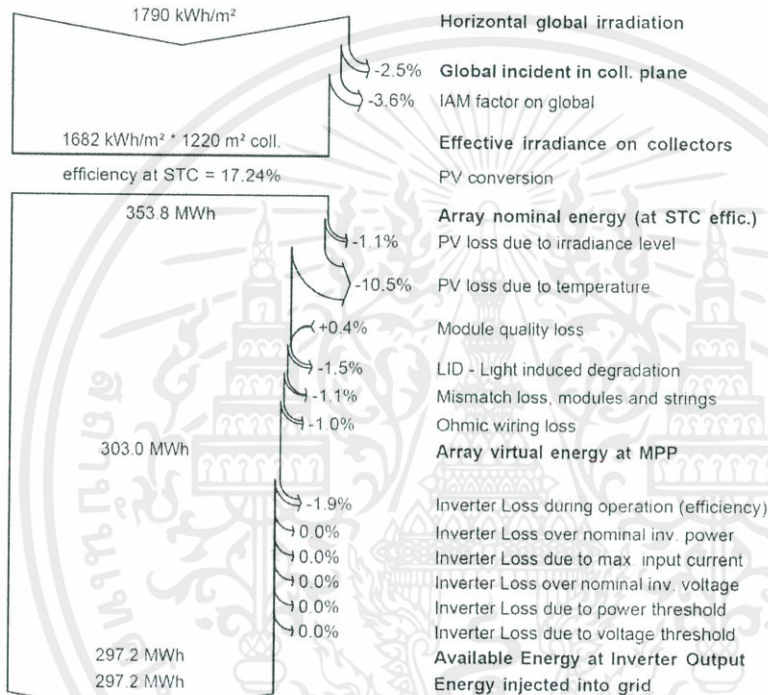


## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Project YP  
**Simulation variant :** Proect COOP YP

<b>Main system parameters</b>	System type	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	2 orientations	Tilt/Azimuth = 5°/15° and 15°/-165°	
PV modules	Model	REC 345TP2S 72	Pnom 345 Wp
PV Array	Nb. of modules	608	Pnom total 210 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	8.0	Pnom total 200 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year



รูปที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVSyst version 6.46 (ต่อ)

## ภาคผนวก ข

### ตัวอย่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเป็นไปตามสมการ (2.1) โดยกำหนดให้ใช้ค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามคุณลักษณะและมาตรฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์จากข้อกำหนดและรายละเอียดในการจัดหาของบริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) (บริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). 2561) คือ 17.21% และให้ใช้พารามิเตอร์จากผลการจำลองจากโปรแกรม PVSyst version 6.46 ดังนี้

1. พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $A$ ,  $m^2$ ) เท่ากับ  $1,220 m^2$
2. ความเข้มแสงอาทิตย์ ( $H$ ,  $kWh/m^2$ -Month) ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนแสดงดังตารางที่ 4.3 ในบทที่ 4
3. สมรรถนะของระบบ (PR) ค่าสมรรถนะของระบบในแต่ละเดือนแสดงดังตารางที่ 4.3 ในบทที่ 4

ตัวอย่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าในเดือนมกราคมตามสมการ (2.1) มีรายละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned} E \text{ (kWh)} &= A \text{ (m}^2\text{)} \times \eta_{pv} \times H \text{ (kWh/m}^2\text{-Month)} \times PR \\ &= 1,220 \times 0.1721 \times 145.0 \times 0.82 \\ &= 24,903.59 \text{ kWh} \end{aligned}$$

## ภาคผนวก ค

### ตัวอย่างการคำนวณขนาดและจำนวนของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

เมื่อกำหนดปริมาณการกักเก็บไฟฟ้าเท่ากับ 1,000 kWh และเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่มีคุณลักษณะดังนี้

- ขนาดของแบตเตอรี่ 200 Ah
- แรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ 24 V
- อัตราการอัดและคายประจุ (C-rate) 1
- ระดับการคายประจุ (DOD) 80%

การคำนวณขนาดและจำนวนของแบตเตอรี่เป็นไปดังสมการ (2.2) และ (2.4) และ (2.3) ตามลำดับ และมีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดของแบตเตอรี่ โดยคำนวณตามสมการ (2.2)

$$\begin{aligned} ES &= \frac{P (W) \times C\text{-rating}}{V (V) \times DOD (\%)} \\ &= \frac{1,000,000 \times 1}{48 \times 0.8} \\ &= 26,042 \text{ Ah} \end{aligned}$$

2. จำนวนของแบตเตอรี่

- 2.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม โดยคำนวณตามสมการ (2.3)

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= n_s \times V_{\text{batt}} \\ n_s &= \frac{V_{\text{total}}}{V_{\text{batt}}} \\ &= \frac{48}{24} \\ &= 2 \text{ ลูก} \end{aligned}$$

## 2.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน โดยคำนวณตามสมการ (2.4)

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= n_p \times I_{\text{batt}} \\ n_p &= \frac{I_{\text{total}}}{I_{\text{batt}}} \\ &= \frac{26,042}{200} \\ &= 130 \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

ผลการคำนวณพบว่าต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 260 ลูก โดยต่อแบบอนุกรม 2 ลูก และต่อแบบขนาน 130 แอมป์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ารวมขนาด 48 V และกระแสไฟฟ้ารวมขนาด 26,042 Ah



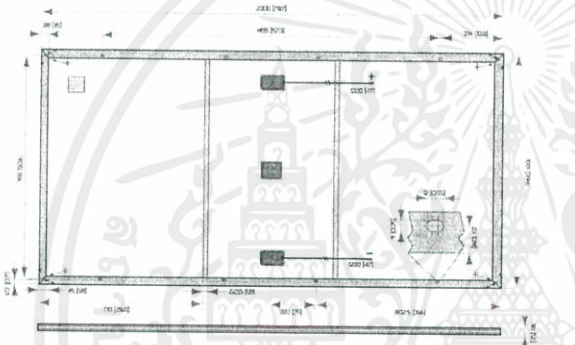
## ภาคผนวก ง

คุณลักษณะและราคาของอุปกรณ์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

คุณลักษณะและราคาของอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ REC รุ่น TwinPeak 2S 72 Series ราคา 6,600 Baht/pc. (บริษัท โซล่าฮับ จำกัด. 2562)

### REC TWINPEAK 2S 72 SERIES



Measurements in mm

ELECTRICAL DATA @ STC		Product Code*: RECxxxTP2S 72				
Nominal Power - $P_{MPP}$ (Wp)	330	335	340	345	350	
Watt Class Sorting - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	
Nominal Power Voltage - $V_{MPP}$ (V)	38.1	38.3	38.5	38.7	38.9	
Nominal Power Current - $I_{MPP}$ (A)	8.67	8.75	8.84	8.92	9.00	
Open Circuit Voltage - $V_{OC}$ (V)	46.0	46.2	46.3	46.5	46.7	
Short Circuit Current - $I_{SC}$ (A)	9.22	9.27	9.32	9.36	9.40	
Panel Efficiency (%)	16.4	16.7	16.9	17.1	17.4	

Values at standard test conditions STC (airmass AM1.5, irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, cell temperature 25°C)  
At low irradiance of 200 W/m<sup>2</sup> (AM1.5) and cell temperature 25°C at least 94% of the STC module efficiency will be achieved  
\* xxx indicates the nominal power class ( $P_{MPP}$ ) at STC, and can be followed by the suffix XV for modules with a 1500V maximum system rating.

ELECTRICAL DATA @ NOCT		Product Code*: RECxxxTP2S 72				
Nominal Power - $P_{MPP}$ (Wp)	244	246	251	255	259	
Nominal Power Voltage - $V_{MPP}$ (V)	34.9	35.1	35.2	35.4	35.6	
Nominal Power Current - $I_{MPP}$ (A)	6.99	7.06	7.13	7.21	7.28	
Open Circuit Voltage - $V_{OC}$ (V)	42.3	42.5	42.6	42.8	43.0	
Short Circuit Current - $I_{SC}$ (A)	7.44	7.48	7.52	7.57	7.61	


Nominal operating cell temperature NOCT (800 W/m<sup>2</sup> AM1.5, wind speed 1 m/s, ambient temperature 20°C)  
\* xxx indicates the nominal power class ( $P_{MPP}$ ) at STC, and can be followed by the suffix XV for modules with a 1500V maximum system rating.

GENERAL DATA	
Cell type	144 multi-crystalline in 6 strings of 24 cells
Glass	3.2 mm solar glass with anti-reflective surface treatment
Back sheet	Highly resistant polyester
Frame	Anodized aluminum (silver)
Support bars	Anodized aluminum (bonded to back sheet)
Junction box	IP67 rated with bypass diodes 4 mm <sup>2</sup> solar cable, 1.2 m x 1.2 m
Connectors	Tonghin TL-Cable 01S-F (4 mm <sup>2</sup> )

MAXIMUM RATINGS	
Operational temperature	-40 ~ +85°C
Maximum system voltage	1000 V / 1500 V* *Dependent on product type
Maximum snow load	550 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa)
Maximum wind load	244 kg/m <sup>2</sup> (2400 Pa)
Max series fuse rating	25 A
Max reverse current	25 A

MECHANICAL DATA	
Dimensions	2005 x 1001 x 30 mm
Area	2.01 m <sup>2</sup>
Weight	22 kg

Note: Specifications subject to change without notice.

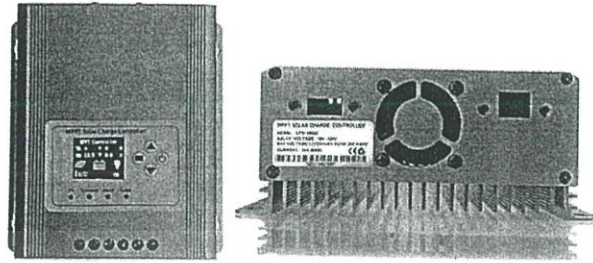
CERTIFICATIONS	WARRANTY
 Certificates pending: IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62884 (PID), IEC 61701 (Salt Mist Level 6), IEC 62715 (Ammonia Resistance), ISO 9001:2015, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2007	10 year product warranty 25 year linear power output warranty (max. degradation in performance of 0.7% p.a.) See warranty conditions for further details.

**takeaway**  
for an easy way  
takeaway WEEE Compliant Recycling scheme

รูปที่ ง.1 คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ REC รุ่น TwinPeak 2S 72 Series (บริษัท โซล่าฮับ จำกัด. 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องควบคุมการประจุ ยี่ห้อ SZMWKJ รุ่น CPE-48030 ราคา 2,946.05 Baht/pc. (Ebay. 2019)



### LCD 30A MPPT Solar Battery Regulator Charge Controller 12/24/48V Protection

#### Features:

1. 12V/24V/48V system voltage automatic operation, 36V optional, voltage can be set.
2. Temperature sensor, RS485 communication, USB and other applications can be selected to facilitate user expansion of applications.
3. Optimized shell design, effective shielding signal interference, excellent heat dissipation performance.
4. Unique innovative maximum power point tracking(MPPT) technology, tracking efficiency up to 99%.
5. Adopt temperature compensation, adjust charging and discharging parameters automatically which can improve battery life.
6. LCD menu display, can display charging voltage, current and other information, and parameters can be set.
7. The memory inside the controller can record data and history record can be checked at any time.
8. Image LCD display icon, multiple load working mode
9. Over-temperature protection, overload short-circuit protection, overcharge over-discharge protection, battery PV reverse protection
10. Optional battery inspection system to ensure the consistency of the single voltage of the battery in series.

#### Specifications:

Model Number: CPE-48030

Maximum Current: 30A

Control Mode: MPPT

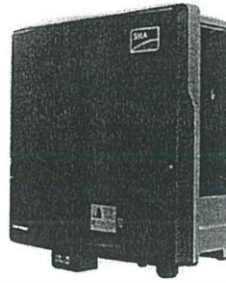
Display: LCD

Shell Material: Aluminium alloy

Working temperature: -25°C~+55°C

รูปที่ ง.2 คุณลักษณะของเครื่องควบคุมการประจุ ยี่ห้อ SZMWKJ รุ่น CPE-48030 (Ebay. 2019)

3. อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Tripower 25000TL-30 ราคา 104,038 Baht/pc. (Europe-SolarShop.com. 2018)

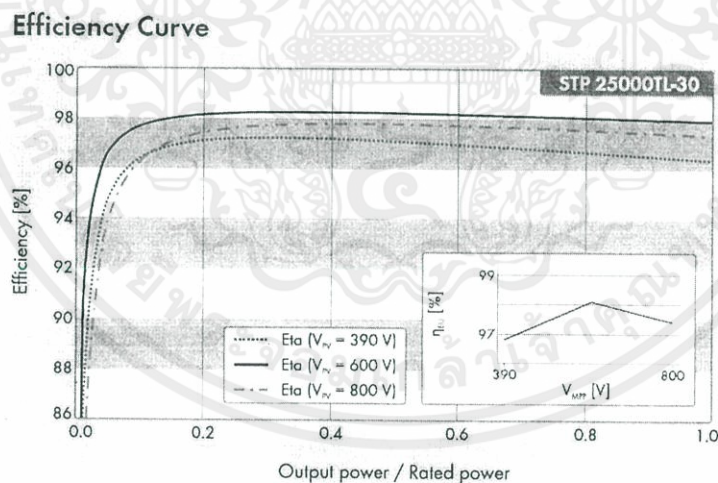


## SUNNY TRIPOWER 20000TL / 25000TL

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

The Sunny Tripower 20000TL/25000TL 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 20000TL/25000TL 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 (QonDemand24/7).\*



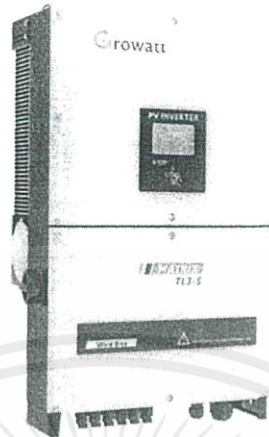
รูปที่ ๓.3 คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Tripower 25000TL-30 (Europe-SolarShop.com. 2018)

Technical Data	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
<b>Input (DC) Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V to 280 V	160 V to 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz to +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz to +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	29 A	36.2 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0 overexcited to 0 underexcited	0 overexcited to 0 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European Efficiency	98.4 % / 98.0 %	98.3 % / 98.1 %
<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 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	665 / 690 / 265 mm (26.2 / 27.2 / 10.4 inch) 61 kg (134.48 lb)	665 / 690 / 265 mm (26.2 / 27.2 / 10.4 inch) 61 kg (134.48 lb)
Weight		
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
Noise emission (typical)	51 dB(A)	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	-	-
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ○	○ / ○
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○	○ / ○
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Planned certificates and permits (more available on request)	AS 4777, BDEW 2008, C10/11, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438 <sup>1</sup> , G59/3, IEC61727, IEC 62109-1/2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, RD 1699, RD 661/2007, SI4777, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
Type designation	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

รูปที่ ง.3 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Tripower 25000TL-30 (ต่อ)  
(Europe-SolarShop.com. 2018)

4. ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Growatt รุ่น 25000TL3-S ราคา 128,220 Baht/pc.  
(Alibaba.com. 2019a)

Growatt

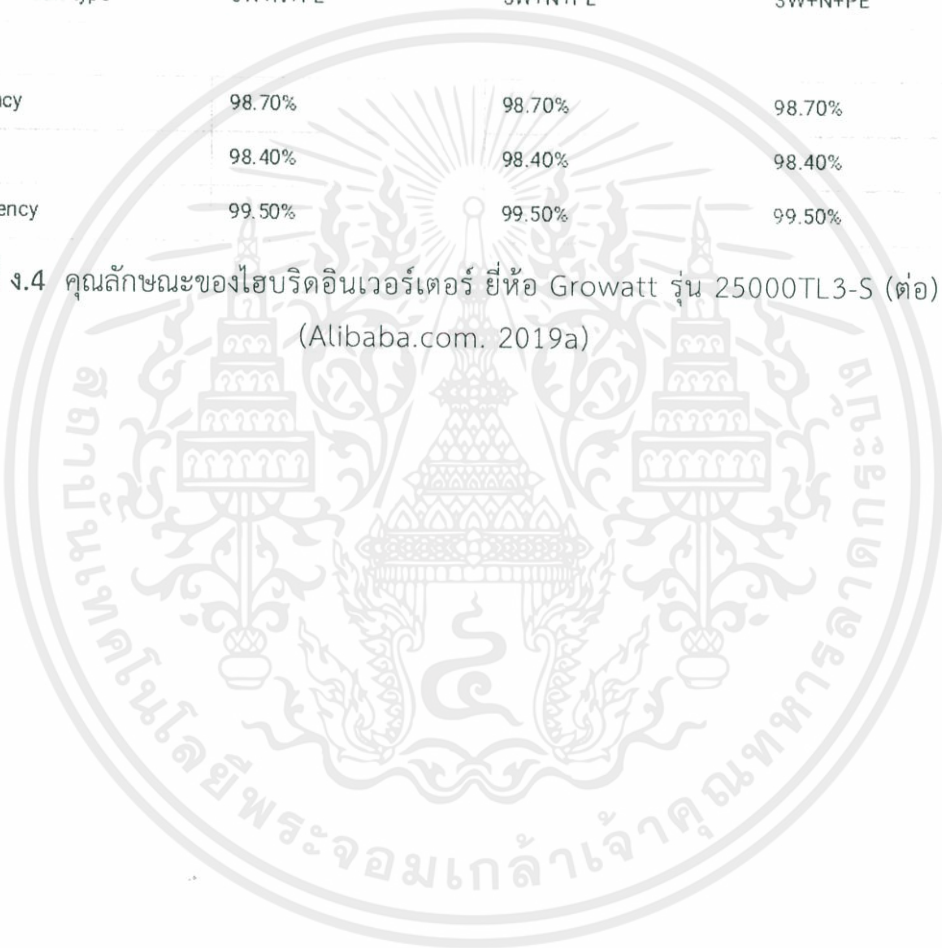


Name	High Capacity Must Power Grid Tie Inverter Solar Power System Hybrid		
Datasheet	Growatt 17000TL3-S	Growatt 20000TL3-S	Growatt 25000TL3-S
Input Data			
Max recommended PV Power (for module STC)	21250W	25000W	31250W
Max DC voltage	1000V	1000V	1000V
Start Voltage	250V	250V	250V
PV voltage range	200V - 1000V	200V - 1000V	200V - 1000V
Nominal voltage	580V	580V	580V
Full load MPP voltage range	400V - 800V	400V - 800V	400V - 800V
Max. input current	37.5A/37.5A	37.5A/37.5A	37.5A/37.5A
Max. input current per string	12.5A	12.5A	12.5A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	2 / 3	2 / 3	2 / 3

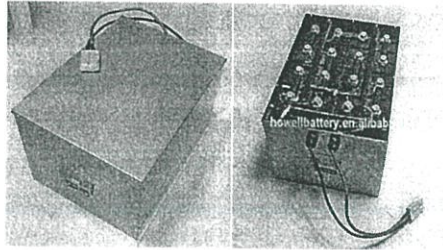
รูปที่ ง.4 คุณสมบัติของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Growatt รุ่น 25000TL3-S  
(Alibaba.com. 2019a)

Output (AC)			
Rated AC output power	17kW	20kW	25kW
Max. AC apparent power	18.8kVA	22.2kVA	27.7kVA
Max. output current	27.5A	32.2A	40.3A
AC nominal voltage	230V/400V	230V/400V	230V/400V
AC grid frequency	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz
Power factor	0.8 leading - 0.8 lagging	0.8 leading - 0.8 lagging	0.8 leading - 0.8 lagging
THDi	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE
Efficiency			
Max. efficiency	98.70%	98.70%	98.70%
Euro - eta	98.40%	98.40%	98.40%
MPPT efficiency	99.50%	99.50%	99.50%

รูปที่ ง.4 คุณลักษณะของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Growatt รุ่น 25000TL3-S (ต่อ)  
(Alibaba.com, 2019a)



5. แบตเตอรี่ ยี่ห้อ Howell รุ่น HW8F20 ราคา 36,025 Baht/pc. (Alibaba.com. 2019b)



Cell Type	Lifepo4 battery
Nominal Voltage	25.6V
Nominal Capacity	200Ah
Cycle Life	>2000times 0.2C
Discharge Cut-off Voltage	18.4V
Charging Cut-off Voltage	29.2V
Housing Material	Metal
Standard Charge	0.2C charge current
Max. Continual Discharge Current	100A
Charge Temperature	0~55°C
Discharge Temperature	-10~60°C
Storage Temperature	0~35°C
Weight	About 60kg
Dimension	Customized
Certificate	CE,UL,ROHS

รูปที่ ง.5 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ ยี่ห้อ Howell รุ่น HW8F20 (Alibaba.com. 2019b)

## ภาคผนวก จ

### ตัวอย่างการคำนวณวิเคราะห์ด้านการเงิน

การวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 200 kW ทั้งที่ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่ สำหรับใช้ในอาคารศูนย์บำรุงรักษาท่าอากาศยาน1 มีการกำหนดระยะเวลาโครงการ 25 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราเงินดอกเบี้ยเงินกู้ 3.5% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป) ทั้งนี้การคำนวณตัวชี้วัดทางการเงินจากข้อมูลเงินลงทุนและและผลประหยัดค่าไฟฟ้าของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (ตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 ในบทที่ 4) สามารถแสดงได้ดังนี้

#### 1. ระยะเวลาคืนทุน โดยคำนวณตามสมการ (2.5)

กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} PB &= \frac{I_0}{ES_a} \\ &= \frac{7,030,610}{945,541} \\ &= 7.44 \text{ Year} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 ติดตั้งแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} PB &= \frac{I_0}{ES_a} \\ &= \frac{20,414,548}{2,077,041} \\ &= 9.83 \text{ Year} \end{aligned}$$

#### 2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยคำนวณตามสมการ (2.6)

กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} NPV &= -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} \\ NPV &= -7,030,610 + \frac{945,541}{(1+0.05)^1} + \frac{945,541}{(1+0.05)^2} + \frac{945,541}{(1+0.05)^3} + \dots + \frac{945,541}{(1+0.05)^{25}} \\ &= 5,995,992.77 \text{ Baht} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ติดตั้งแบตเตอรี่

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t}$$

$$\begin{aligned} NPV &= -20,414,548 + \frac{2,077,041}{(1+0.05)^1} + \frac{2,077,041}{(1+0.05)^2} + \frac{2,077,041}{(1+0.05)^3} + \dots + \frac{2,077,041}{(1+0.05)^{25}} \\ &= 8,437,287.89 \text{ Baht} \end{aligned}$$

3. อัตราผลตอบแทนภายใน โดยคำนวณตามสมการ (2.7)

กรณีที่ 1 ไม่ติดตั้งแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} IRR &= NPV = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} \\ 0 &= -7,030,610 + \frac{945,541}{(1+IRR)^1} + \frac{945,541}{(1+IRR)^2} + \frac{945,541}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{945,541}{(1+IRR)^{25}} \end{aligned}$$

$$IRR = 0.1278 = 12.78\%$$

กรณีที่ 2 ติดตั้งแบตเตอรี่

$$\begin{aligned} IRR &= NPV = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+r)^t} \\ 0 &= -20,414,548 + \frac{2,077,041}{(1+IRR)^1} + \frac{2,077,041}{(1+IRR)^2} + \frac{2,077,041}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{2,077,041}{(1+IRR)^{25}} \end{aligned}$$

$$IRR = 0.0899 = 8.99\%$$

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายยศสินทร ผิวนิล
วัน เดือน ปีเกิด	30 พฤศจิกายน 2539
ที่อยู่	173/37 หมู่ 1 ซ.สุขสำราญ ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270
E-mail	Yossinthorn.ph@gmail.com
โทรศัพท์	081-842-0456

### ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2552-2557 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
- พ.ศ. 2558-ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน ตำแหน่ง วิศวกร แผนกประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าพระนครใต้  
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2561
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ตำแหน่ง วิศวกร งานหน่วยวัดและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า  
แผนก ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล  
บริษัท การท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)  
ระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม ถึง 23 พฤศจิกายน 2561