

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

Technical Feasibility Study of 6 MW Solar PV Power Plant at Hpa-an City, Republic of the Union of Myanmar

นางสาวศิรดา เจียรพงศ์ปกรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวศิรดา เจียรพงศ์ปกรณ์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนาถ สมมณี

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายเทวนาถ ดมอุ่นดี

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ประกอบธุรกิจด้านการออกแบบทางวิศวกรรม การจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และการก่อสร้างโรงงานแบบครบวงจร รวมถึงประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานฟอสซิลและโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เช่น โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โครงงานสหกิจศึกษานี้จึงศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ที่เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ขั้นตอนการศึกษา ได้แก่ (1) การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (2) การศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 (3) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และ (4) การศึกษาต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กำหนดให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 15° และเปรียบเทียบความแตกต่างของชนิดและยี่ห้อของแผงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ และพบว่าเมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวแบบตัดครึ่งเซลล์ ยี่ห้อ B หรือ C ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 405 และ 400 Wp เป็นจำนวน 14,840 และ 15,008 แผง โดยต่ออนุกรม 28 แผง/สตริง จำนวน 530 และ 536 สตริง ตามลำดับ และระบบอินเวอร์เตอร์แบบสตริง ยี่ห้อ X ขนาด 225 kW จำนวน 24 เครื่อง แสดงค่าจำลองสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าต่อปี 9,246 และ 9,240 MWh/year, พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้งต่อปี 1,538 และ 1,539 kWh/kWp/year, และอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยต่อปี 79.54 และ 79.58% ตามลำดับ ส่วนค่าประมาณการต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ B หรือ C เท่ากับ 4,577,905.57 หรือ 4,539,236.17 USD ตามลำดับ โดยไม่รวมค่าที่ดินของโครงการ สรุปคือการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยี่ห้อ B หรือ C สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW แสดงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมและเป็นไปได้เชิงเทคนิค

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย, โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49, สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย, ต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title: Technical Feasibility Study of 6 MW Solar PV Power Plant at Hpa-an City, Republic of the Union of Myanmar

Student Intern Name: Miss Sirada Jearapongpakorn

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor Name: Assistant.Prof.Dr.Piyanart Sommani

Mentor Name: Mr. Thawanart Domundee

Company: TTCL Public Co., Ltd.

ABSTRACT

TTCL Public Co., Ltd. (TTCL) has provided business in integrated design and engineering, procurement of machinery and equipment, and construction (integrated EPC), as well as fossil energy power plant and renewable energy power plant, e.g., solar PV power plant. Therefore, the cooperative project has performed the technical feasibility study of 6 MW solar PV power plant at Hpa-an City, Republic of the Union of Myanmar. The study steps include: (1) study and collect the grid-connected PV system data; (2) study the PVsyst program version 6.49; (3) design the 6 MW grid-connected solar PV system, using PVsyst program version 6.49; and (4) study the investment cost of solar PV power plant. The simulation of solar PV system is focused on installing the PV modules at an angle of 15° and comparing the differences in types and brands of PV modules and inverters. As a result, the use of either brand B or C of monocrystalline half cell PV modules, with maximum power of 405 and 400 Wp, and amount of 14,840 and 15,008 pieces, which were connected in series of 28 pieces/string, in 530 and 536 strings, respectively; with the use of 225 kW string inverter of 24 units showed the simulated performance of grid-connected solar PV system, i.e., produced energy of 9,246 and 9,240 MWh/year; specific production of 1,538 and 1,539 kWh/kWp/year; and performance ratio of 79.54 and 79.58%, respectively. By using brand B or C of PV modules, the approximate investment costs of solar PV power plant were 4,577,905.57 or 4,539,236.17 USD, respectively, excluding the land cost. In conclusion, the use of brand B or C of PV modules for 6 MW solar PV power plant demonstrated the optimal performance of grid-connected solar PV system, implying the technical feasibility.

Keywords: Grid-connected Solar PV System, PVsyst Program Version 6.49, Performance of Grid-connected Solar PV System, Investment Cost of Solar PV Power Plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้จากความร่วมมือระหว่างบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (TTCL Public Co., Ltd.) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมถึงความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งที่ต้องขอบคุณ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณเทวนาถ ดมอุ่นดี พนักงานแผนกไฟฟ้า รวมถึงพนักงานทุกท่านของแผนกไฟฟ้าและแผนกโยธา ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการให้ความรู้ คำปรึกษาด้านเทคนิค พร้อมทั้งสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานสหกิจศึกษานี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะนาถ สมมณี อาจารย์นิเทศโครงงานสหกิจศึกษา ที่เสียสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ แนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางให้โครงงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความรู้ซึ่งสามารถนำไปเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งใหม่ได้อย่างรวดเร็ว

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ รวมถึงความช่วยเหลือ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ศิรดา เจียรพงศ์ปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ 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 รังสีอาทิตย์ 4

2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ 5

2.3 อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 7

2.4 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา 22

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 23

3.2 การศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 24

3.3 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 25

3.4 การศึกษาต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 30

บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 31

4.1 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 31

4.2 ผลการศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 33

4.3 ผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 36

4.4 ผลการคำนวณต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 47
5.1 สรุปผลการศึกษา 47
5.2 ข้อเสนอแนะ 48
บรรณานุกรม 49
ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก 52
ภาคผนวก ข 56
ประวัติผู้เขียน 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินโครงงานสหกิจศึกษา 2562 2

3.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของ Global Solar Atlas 23

3.2 Section ของ Project Design แบบ Grid-connected ในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 25

3.3 พารามิเตอร์ที่กำหนดในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW 26

3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 29

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐคะหยิ่นซึ่งได้จาก Global Solar Atlas 32

4.2 ชนิดและยี่ห้อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา 33

4.3 การใช้งาน Section ของ Project Design แบบ Grid-connected ในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 34

4.4 ผลของมุมเอียงต่อศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 37

4.5 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์ แบบ Central Inverter ทุกยี่ห้อ 38

4.6 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์ แบบ String Inverter ทุกยี่ห้อ 38

4.7 เงินลงทุนของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ประเภทของรังสีอาทิตย์ 4
2.2 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.3 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์ 7
2.4 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 8
2.5 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีแบบเต็มเซลล์และตัดครึ่งเซลล์ 10
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 10
2.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 11
2.8 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์ 12
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า 14
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 15
2.11 อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ 17
2.12 อินเวอร์เตอร์แบบสตริง 18
2.13 อินเวอร์เตอร์แบบโมดูล 19
3.1 ขั้นตอนการศึกษาของโครงงานสหกิจศึกษา 22
4.1 ภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 32
4.2 คู่มือการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 35
4.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด และพิจารณาตามชนิดระบบอินเวอร์เตอร์ 40
4.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบอินเวอร์เตอร์แต่ละชนิด และพิจารณาตามชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 41
4.5 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM 42
4.6 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter 43
4.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM 3 ยี่ห้อ และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X 44
4.8 สรุปขั้นตอนการเลือกชนิดและยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบอินเวอร์เตอร์ สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW 45
ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X 52
ข.1 คุณลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C 56
ข.2 คุณลักษณะระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน). 2557)

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (TTCL Public Company Limited: TTCL) ประกอบธุรกิจด้านการออกแบบทางวิศวกรรม การจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และการก่อสร้างโรงงานแบบครบวงจร (Integrated Engineering, Procurement and Construction: Integrated EPC) ภายใต้การร่วมทุนของบริษัท Toyo Engineering Corporation ประเทศญี่ปุ่นและบริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) ในสัดส่วนร้อยละ 49.0 และร้อยละ 51.0 ตามลำดับ และในปัจจุบัน บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ยังมีการประกอบธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองและพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ โรงงานไฟฟ้าพลังงานก๊าซธรรมชาติ (Gas-fired Power Plant) โรงงานไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ (Biogas Power Plant) และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Plant)

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) เล็งเห็นโอกาสในการลงทุนธุรกิจการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะหลายประเทศเพิ่มความนิยมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างมีแนวโน้มต่ำลงและการดำเนินระบบรวมถึงการดูแลบำรุงรักษาไม่ซับซ้อน รวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและไม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งส่งผลกระทบทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ตามลำดับ การประกอบธุรกิจผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งเป็นธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หรือเรียกว่า “โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์” (Solar Photovoltaic Power Plant or Solar PV Power Plant) และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Power Plant) สำหรับบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) เน้นที่การประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ คือ (1) การจัดหาที่ตั้งโครงการและการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (2) การขออนุญาตก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (3) การจัดจ้างผู้รับเหมาก่อสร้างแบบเบ็ดเสร็จ (4) การจัดจ้างผู้บริหารจัดการและบำรุงรักษา และ (5) มาตรการเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับขั้นตอนการจัดหาที่ตั้งโครงการและการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลักของการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) สนใจในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ที่เมืองพะอัน รัฐคะหยิ่น สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา แผนกไฟฟ้า (Electrical Department) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Division) บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) จึงให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นและเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แก่โครงงานสหกิจศึกษานี้ การศึกษาความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW เน้นที่การออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-connected Solar PV System) โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ที่ให้ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และศึกษาราคาต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW

1.2.2 ศึกษาต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สถานที่ผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เมืองพะอัน รัฐคะหยิ่น สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

1.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW

1.3.3 การใช้งานโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 เพื่อออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

1.3.4 ตัวชี้วัดการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (Produced Energy) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้งต่อปี (Specific Production) และอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยต่อปี (Performance Ratio: PR)

1.3.5 คุณลักษณะ (Specifications) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่ดำเนินการศึกษา

1.3.6 ต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษาและกำหนดระยะเวลาการดำเนินการตั้งแต่ 5 สิงหาคม-22 พฤศจิกายน 2562 รวมทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ (ตารางที่ 1.1) ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินโครงงานสหกิจศึกษา 2562

ขั้นตอน	สัปดาห์ที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←	←	←	←												
		←	←	←	←											
1.4.2 วางแผนการดำเนินงานการศึกษา			←	←	←	←										
				←	←	←	←									
1.4.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์						←	←									
						←	←									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	สัปดาห์ที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.4.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49						◄- - - -

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษและเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบทำความเย็น สำหรับโครงงานสหกิจศึกษานี้ กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับรังสีอาทิตย์ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ และการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

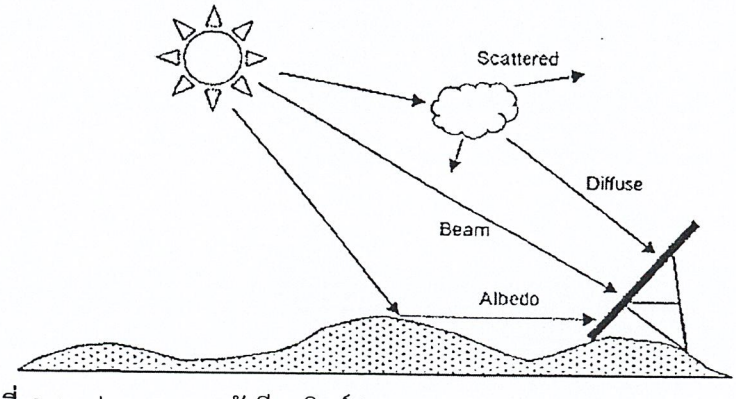
2.1 รังสีอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554; Australian National University. 1998)

ก๊าซในชั้นบรรยากาศและก้อนเมฆดูดซับ สะท้อน และกระจายรังสีอาทิตย์บางส่วน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สามารถแบ่งประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลก (ภาพที่ 2.1) ดังนี้

2.1.1 รังสีตรง (Direct or Beam Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง รังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ มีทิศทางที่แน่นอน และมีลำแสงขนาน จึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

2.1.2 รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละออง รวมถึงวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้า จึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

2.1.3 รังสีรวม (Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 μm) โดยไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ



ภาพที่ 2.1 ประเภทของรังสีอาทิตย์ (Australian National University. 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554, มปป.ก และ มปป.ข)

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน และเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบทำความเย็น สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้กล่าวเฉพาะเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งแบ่งเป็นเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์ดังนี้

2.2.1 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554, มปป.ก และ มปป.ข) เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง สามารถแบ่งตามรูปแบบของการผลิตไฟฟ้า 3 ชนิด ดังนี้

2.2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand-alone PV System) ดังภาพที่ 2.2 (ก) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าหรือเขตชนบท อุปกรณ์สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ชนิดอิสระ ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานตามช่วงเวลา คือ เวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าและจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า จากนั้นพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินถูกประจุในแบตเตอรี่ ส่วนเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ แต่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า

2.2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-connected PV System) ดังภาพที่ 2.2 (ข) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือเขตเมือง อุปกรณ์สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่

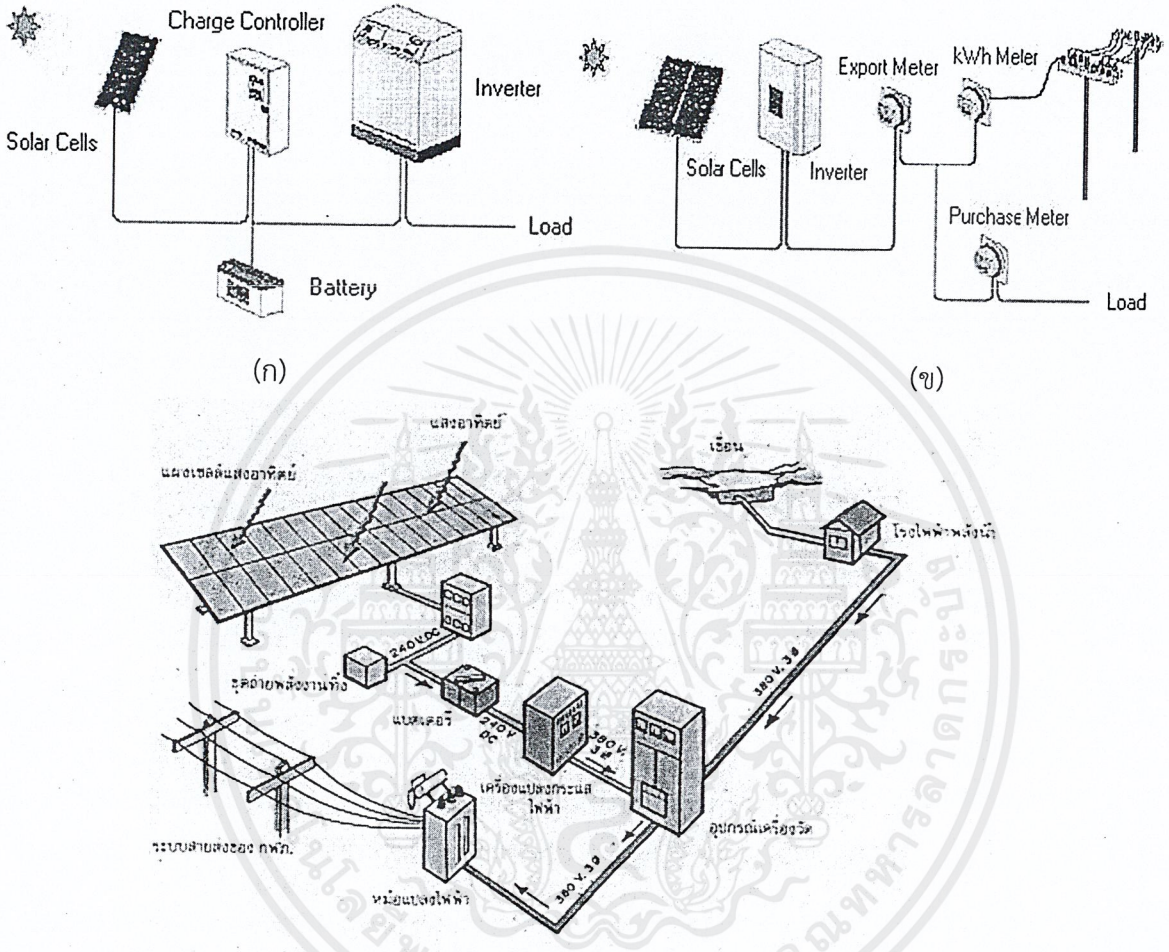
1) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายสำหรับที่อยู่อาศัย (Grid-connected PV System for Residences) เป็นระบบขนาดไม่เกิน 2 kWp

2) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายสำหรับอาคาร (Grid-connected PV System for Buildings) เช่น การติดตั้งด้านบนและผนังของอาคาร การติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของอาคาร ระบบนี้เหมาะสมกับอาคารพาณิชย์และอาคารอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แทนวัสดุก่อสร้างผนังหรือหลังคา

3) โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-connected PV Power Plant) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อผลิตไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid PV System) ดังภาพที่ 2.2 (ค) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีศักยภาพและความน่าเชื่อถือ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม เครื่องยนต์ดีเซล ไฟฟ้าพลังน้ำ การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสานขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน



ภาพที่ 2.2 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
(ก) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (ข) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และ (ค) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ก)

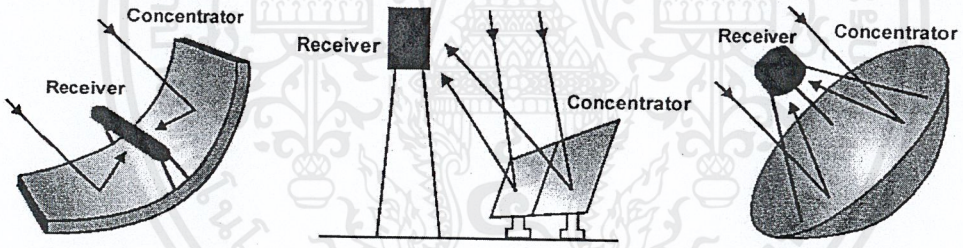
2.2.2 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์ (Concentrating Solar Power) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ข) เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนแล้วใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงาน คือ ใช้กระจกหรือวัสดุสะท้อนแสงรวมแสงอาทิตย์ไปที่วัตถุรับแสง จากนั้นถ่ายเทความร้อนให้ของไหล (Heat Transfer Fluid) เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามรูปแบบของการรวมแสง 3 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 แบบรางพาราโบลา (Parabolic Trough) ดังภาพที่ 2.3 (ก) ตัวรวมแสง (Concentrator) มีลักษณะเป็นรางยาวโค้งแบบมิติเดียวและติดตั้งบนระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว (Single-axis Tracking System) แล้วสะท้อนแสงไปยังตัวรับความร้อน (Receiver) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อและภายในบรรจุของไหล ความร้อนถูกถ่ายเทให้กับของไหลซึ่งโดยปกติแล้วเป็นน้ำ จากนั้นของไหลเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วส่งต่อไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน

2.2.2.2 แบบตัวรับศูนย์กลาง (Central Receiver) ดังภาพที่ 2.3 (ข) ตัวรวมแสงเป็นแผงกระจกจำนวนมากเรียกว่าเฮลิโอสแตท (Heliostat) ที่สามารถปรับมุมตามการหมุนของดวงอาทิตย์ เฮลิโอสแตทวางรอบหอคอยซึ่งมีการติดตั้งตัวรับความร้อน ภายในตัวรับความร้อนบรรจุของไหล ความร้อนถูกถ่ายเทให้กับของไหล จากนั้นของไหลเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แล้วส่งต่อไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน หรือของไหลที่ได้รับความร้อนนั้นถูกเก็บที่ถังเก็บสำหรับรอใช้งานต่อไป

2.2.2.3 แบบจานพาราโบลา (Parabolic Dish) ดังภาพที่ 2.3 (ค) ตัวรวมแสงมีลักษณะเป็นจานพาราโบลาและมีจุดรวมแสงสะท้อนแสงไปยังตัวรับความร้อน ตัวรวมแสงอยู่บนโครงสร้างที่ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน (Two-axis Tracking System) เพื่อรวมแสงเป็นจุดเดียวไปที่ตัวรับความร้อน ความร้อนถูกถ่ายเทให้กับของไหล ระบบนี้มีประสิทธิภาพการแปลงความร้อนสูงกว่าแบบรางพาราโบลา เพราะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า



ภาพที่ 2.3 เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรวมแสงอาทิตย์
(ก) ระบบรวมแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา (ข) ระบบรวมแสงอาทิตย์แบบตัวรับศูนย์กลาง และ (ค) ระบบรวมแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ข)

2.3 อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ก, และ มปป.ค; Bhattacharjeea S. and Saharia BJ. 2014; GWL a.s. 2020; Marsh J. 2018)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อาจแตกต่างกันตามรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าที่ระบุในข้อ 2.2.1 สำหรับอุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า สวิตช์เกียร์ และเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้กล่าวโดยละเอียดเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดจากการนำเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell or Photovoltaic Cell: PV Cell) หลายเซลล์เรียงต่อกันจนได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และส่วนใหญ่มักผลิตจากซิลิคอน (Silicon: Si)

2.3.1.1 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค) เซลล์แสงอาทิตย์ได้จากการเชื่อมต่อหรือวางซ้อนผลึกซิลิคอนชนิด N-type Silicon กับ P-type Silicon และได้รอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (ภาพที่ 2.4) ประกอบด้วย

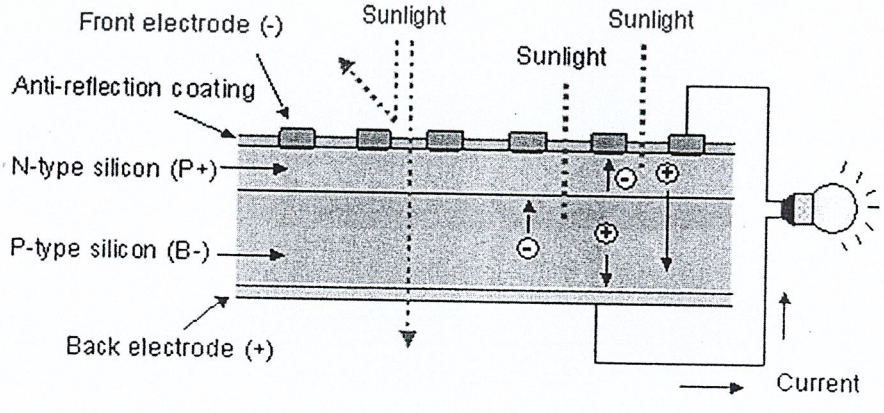
1) ขั้วไฟฟ้าด้านหน้า (Front Electrode) ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอน

2) ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง (Back Electrode) ทำหน้าที่รวบรวมโฮล

3) N-type Silicon คือ ชั้นของสารกึ่งตัวนำซิลิคอนที่เติม (Doping) สารเจือ เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus: P) เพื่อให้มีสมบัติให้อิเล็กตรอน

4) P-type Silicon คือ ชั้นของสารกึ่งตัวนำซิลิคอนที่เติมสารเจือ เช่น โบรอน (Boron: B) เพื่อให้มีสมบัติรับอิเล็กตรอน

เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ส่วน N-type Silicon ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์อยู่ในสถานะพร้อมให้อิเล็กตรอนและมีโฮลปนเล็กน้อย สำหรับส่วน P-type Silicon ซึ่งอยู่ด้านล่างของเซลล์อยู่ในสถานะพร้อมให้โฮลและมีอิเล็กตรอนปะปนเล็กน้อย แต่เมื่อมีแสงอาทิตย์และแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์ถ่ายเทพลังงานและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (ประจุลบ) และโฮล (ประจุบวก) สนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อพีเอ็นแยกอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ไปที่ขั้วลบ และโฮลให้เคลื่อนไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ดังนั้นเมื่อต่อวงจรกับภาระทางไฟฟ้า เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในวงจร (ภาพที่ 2.4) โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 V ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าขึ้นกับประสิทธิภาพและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ก) สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon-based Solar Cell) สามารถแบ่งตามลักษณะของการเกิดผลึกได้ 3 ชนิด ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Mono/Single Crystalline Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวม (Poly/Multi Crystalline Solar Cell) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ไม่เป็นรูปผลึกหรืออะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) รวมถึงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell)

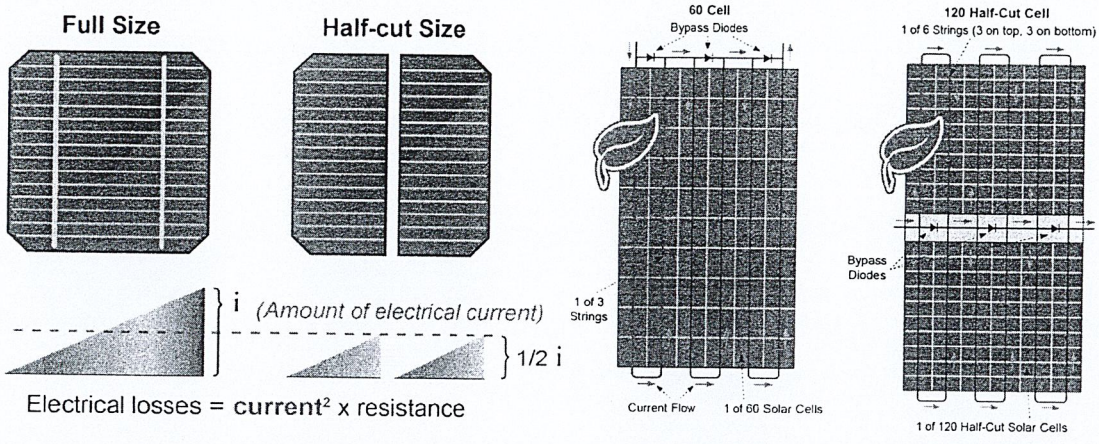
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนทั้งชนิดที่เป็นรูปผลึกและชนิดที่ไม่เป็นรูปผลึก สำหรับการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวมีประสิทธิภาพสูงกว่าแต่นิยมใช้งานน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวม เนื่องจากมีราคาสูงกว่า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีข้อดีคือความไวต่อแสง ทำให้สามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆ หมอก ฝุ่นละออง ฝนตก รวมถึงอุณหภูมิสูง แต่มีข้อจำกัด คือ ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำทำให้ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งมาก

2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทอื่น เช่น แคดเมียมเทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride Solar Cell: CdTe) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Gallium Selenide Solar Cell: CIGS) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Germanium Solar Cell: GaAs) สำหรับชนิด GaAs อาจมีประสิทธิภาพสูงถึง 25% แต่มีราคาแพง จึงไม่นิยมใช้บนพื้นโลกและเหมาะสำหรับใช้บนดาวเทียมหรืออวกาศ

เทคโนโลยีตัดครึ่งเซลล์ (Half Cell Technology) (Marsh J. 2018) เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดการสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้า (Reduced Resistive Losses) และทนทานต่อการเกิดเงาบดบัง (Higher Shade Tolerance) เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ได้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยวและชนิดซิลิคอนผลึกรวม โดยปกติแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ปัจจุบันหรือแบบเต็มเซลล์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 60 หรือ 72 เซลล์

ภาพที่ 2.5 แสดงการตัดครึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 60 เซลล์ เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 120 เซลล์ เมื่อตัดเซลล์ครึ่งหนึ่ง ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงครึ่งหนึ่ง ส่งผลให้ค่าความสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้าลดลงด้วย (จากสูตร $P = I^2R$ โดย P คือ ค่าความสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้า, I คือ กระแสไฟฟ้า, และ R คือ ความต้านทานไฟฟ้า) และเมื่อเกิดเงาบดบังเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกันทั้งแถวนั้นไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักแบ่งแถวเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 3 แถว เมื่อเกิดเงาบดบังเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แถว ทำให้ลดการผลิตไฟฟ้า 1 ใน 3 แต่เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตัดครึ่งเซลล์ ทำให้ลดการผลิตไฟฟ้าเพียง 1 ใน 6 เท่านั้น

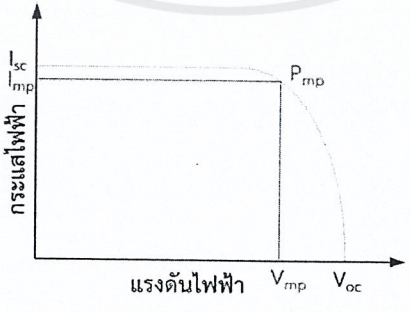
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.5 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีแบบเต็มเซลล์และตัดครึ่งเซลล์ (ก) การสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้า และ (ข) การทนทานต่อการเกิดเงาบดบัง (GWL a.s. 2020)

2.3.1.3 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554) ได้แก่ กระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้กับแรงดันไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อภาระทางไฟฟ้า (Load) ตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (Short Circuit) ถึงสภาวะเปิดวงจร (Open Circuit) พบว่าจุดตัดแกนตั้งที่แรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ ได้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current: I_{sc}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Open Circuit Voltage: V_{oc}) เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าคูณกับแรงดันไฟฟ้า ได้กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at Maximum Point: P_{mp}) ส่วนกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า กระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at Maximum Power Point: I_{mp}) กับแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at Maximum Power Point: V_{mp}) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

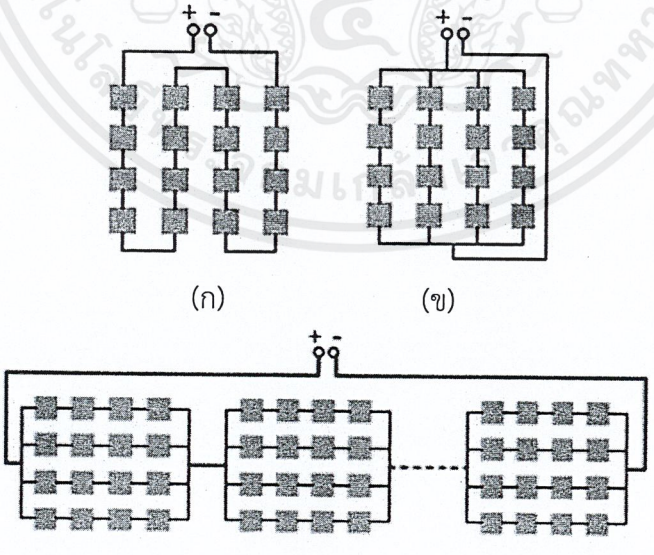
กรณีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำได้โดยต่อภาระทางไฟฟ้าซึ่งตั้งค่าระหว่างสภาวะเปิดวงจรถึงสภาวะลัดวงจรเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้แสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยควบคุมสภาพแวดล้อมและดำเนินการทดสอบที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Condition: STC) คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 W/m^2 สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผง 25°C จากนั้นวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve)

2.3.1.4 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554) สามารถแบ่งตามรูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3 แบบ ดังนี้

1) แบบอนุกรม คือ การต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 1 แถว เรียกว่า 1 สตริง ดังภาพที่ 2.7 (ก) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ถ้าแต่ละเซลล์มี V_{oc} เท่ากับ 0.6 V เท่ากันทุกเซลล์ และกระแสไฟฟ้าเท่ากัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า V_{oc} เท่ากับจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมคูณกับ V_{oc} ของเซลล์ ในกรณีนี้ คือ 16 เซลล์ ค่า V_{oc} เท่ากับ 9.6 V ส่วนกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าของหนึ่งเซลล์เท่านั้น

2) แบบอนุกรม-ขนาน คือ การต่อขนานของแต่ละสตริงเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าดังภาพที่ 2.7 (ข) แต่ละสตริงมีเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม 4 เซลล์ ทำให้ค่า V_{oc} แต่ละสตริงเท่ากับ 2.4 V สมมติให้กระแสไฟฟ้าแต่ละสตริงเท่ากับ 5 A ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับผลรวมกระแสไฟฟ้าของทุกสตริงที่ต่อขนานกันเท่ากับ 20 A

3) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือ การต่ออนุกรมของแต่ละกลุ่มที่เชื่อมต่อกันตามแบบอนุกรม-ขนานดังภาพที่ 2.7 (ค) เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน และ (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554)

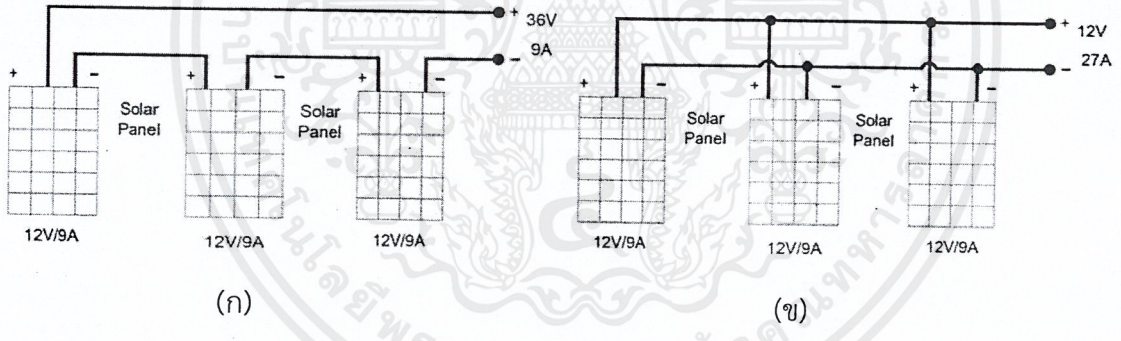
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์ (Array) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค) สามารถแบ่งตามรูปแบบการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์ได้ 3 แบบ ดังนี้

1) แบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วบวก (+) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับขั้วลบ (-) ของแผงถัดไปในอาร์เรย์ดังภาพที่ 2.8 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับผลรวมแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่าเดิม เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง แต่ละแผงมีขนาด 12 V และ 9 A เมื่อต่อแบบอนุกรม แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของอาร์เรย์เท่ากับ 36 V และ 9 A ตามลำดับ

2) แบบขนาน เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วบวก (+) แต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าด้วยกัน และขั้วลบ (-) แต่ละแผงต่อเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 2.8 (ข) กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับผลรวมกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่าเดิม เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง แต่ละแผงมีขนาด 12 V และ 9 A เมื่อต่อแบบขนาน แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของอาร์เรย์เท่ากับ 12 V และ 27 A ตามลำดับ

3) แบบผสม การต่ออนุกรมและขนานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของอาร์เรย์



ภาพที่ 2.8 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์ (ก) แบบอนุกรม และ (ข) แบบขนาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค)

2.3.1.5 การเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Bloomberg L.P. 2019) การกำหนดอายุโครงการโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มักอยู่ที่ 20-30 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมั่นใจได้ว่าบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับประกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์และให้บริการแก้ปัญหาจนสิ้นสุดโครงการ ดังนั้นนอกจากการพิจารณาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว ผู้ออกแบบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต้องพิจารณาใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับ Tier1 ที่กำหนดโดย Bloomberg New Energy Finance ซึ่งเป็นบริษัทที่ทำหน้าที่รวบรวมและจัดอันดับบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกไตรมาส โดยวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการลงทุนจากข้อมูลด้านการเงินของบริษัทผู้ผลิตนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์การพิจารณาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับ Tier1 ของ Bloomberg New Energy Finance มีดังนี้

1) บริษัทผู้ผลิตต้องมีโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจรและมียี่ห้อเป็นของตนเอง และต้องจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับโครงการที่มีลักษณะแตกต่างกันอย่างน้อย 6 โครงการ รวมถึงได้รับการสนับสนุนการเงินด้านสินเชื่อแบบไม่มีสิทธิในการไล่เบี้ย (Non-recourse) ภายใน 2 ปีที่ผ่านมา

2) บริษัทผู้ผลิตต้องอยู่ในตลาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 5 ปี

3) บริษัทผู้ผลิตต้องมุ่งเน้นด้านการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

2.3.1.6 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค) สามารถแบ่งตามรูปแบบการติดตามดวงอาทิตย์ได้ 2 ระบบ ดังนี้

1) ระบบยึดติดอยู่กับที่ (Fixed System) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกติดตั้งในองศาที่กำหนด โดยพิจารณาความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในการกำหนดองศาเพื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อดี คือ ต้นทุนการติดตั้งและค่าบำรุงรักษาต่ำกว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ ข้อจำกัด คือ รับแสงอาทิตย์ได้ในบางช่วงเวลาของวันเท่านั้น

2) ระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking System) แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าระบบยึดติดอยู่กับที่ถึง 20% แต่ต้องมีอุปกรณ์เซนเซอร์และมอเตอร์เพื่อปรับทิศทางและองศาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก) การติดตามแบบแกนเดียว (Single-axis Trackers: SAT) ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถเลือกหมุนได้ทิศทางเดียว ได้แก่

- การติดตามแบบแกนเดียวแกนนอน (Horizontal Single-axis Trackers) เหมาะสำหรับภูมิประเทศที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เยอะในช่วงกลางวัน

- การติดตามแบบแกนเดียวแกนตั้ง (Azimuth Single-axis Trackers) เหมาะสำหรับภูมิประเทศที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ไม่มากแต่มีระยะเวลานาน

- การติดตามแบบแกนเดียวแบบแกนเอียง (Tilted Single-axis Trackers)

ข) การติดตามแบบสองแกน (Dual-axis Trackers: DAT) ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถหมุนได้ 2 ทิศทาง คือ แนวนอนและแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค; Bhattacharjeea S. and Saharia BJ. 2014) ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายถึงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

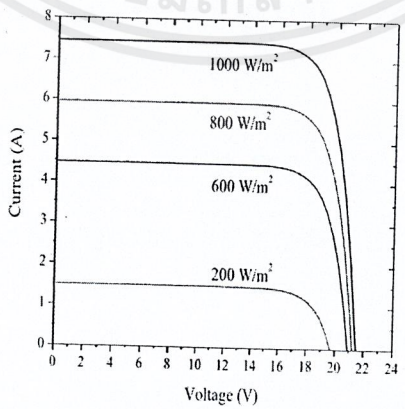
1) ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนเดี่ยว ชนิดผลึกซิลิคอนรวม และชนิดฟิล์มบาง พบว่าชนิดผลึกซิลิคอนเดี่ยวมีประสิทธิภาพสูงสุด

2) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตำแหน่งที่ติดตั้ง ลักษณะภูมิประเทศ และความชันของพื้นที่ติดตั้งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ประเทศที่ตั้งใกล้เส้นศูนย์สูตรได้รับความเข้มแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศที่ตั้งห่างเส้นศูนย์สูตร ประเทศที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรมักติดตั้งให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ ปัจจัยหลักที่ใช้พิจารณาการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่

ก) มุมเอียง (Tilt Angle) เป็นมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับแนวราบ

ข) มุมอะซิมุธ (Azimuth Angle) เป็นมุมที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันเทียบกับทิศใต้ เช่น 0° หมายถึง แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันทางทิศใต้ เหมาะกับประเทศที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรทำให้รับแสงอาทิตย์ได้ดี

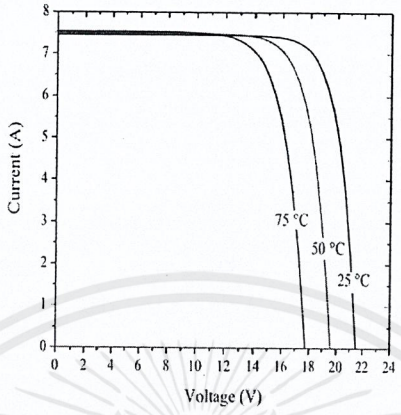
3) ความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่แปรไปตามความเข้มของแสงอย่างมีนัยสำคัญ การคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งกำหนดจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficients of I_{sc}) ของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยความเข้มแสงอาทิตย์ที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือค่าที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก โดยความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1,000 W/m^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับมวลอากาศ 1.5 (Air Mass: AM)



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (Bhattacharjeea S. and Saharia BJ. 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ในขณะที่กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 และการคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งกำหนดจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (Temperature Coefficients of V_{oc}) ของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (Bhattacharjeea S. and Saharia BJ. 2014)

5) วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น กระจกต้องสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด

6) เงาบดบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เงาบดบังส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ออกแบบ เมื่อมีเงาบดบังเพียงแค่หนึ่งแผง ทำให้หยุดการไหลของกระแสไฟฟ้าในระบบ

7) อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าลดลง 0.5%/year ขึ้นกับการออกแบบของผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้ผลิตจึงต้องรับประกันประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงกว่า 80% ในปีที่ 25

2.3.1.8 การคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) อย่างไรก็ตามในบางกรณี เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดความผิดพลาด อาจทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน เมื่ออินเวอร์เตอร์ทำงานอีกครั้ง ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่สภาวะแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรอีกครั้ง ดังนั้นค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ (Maximum DC Input Voltage) ต้องสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงเซลล์อาทิตย์ เพื่อป้องกันความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์ ดังนี้

$$\text{แผงเซลล์แสงอาทิตย์/สตริง} = \frac{\text{พิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์}}{\text{แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงเซลล์ที่อุณหภูมิต่ำสุดในการทำงาน}}$$

$$\text{สตริง} = \frac{\text{กระแสไฟฟ้าขาเข้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์}}{\text{กระแสไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละสตริง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยกำหนดให้ด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และด้านขาออกจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ อาคารพักอาศัย ดังนั้น เมื่อไฟฟ้ากระแสตรงผ่านอินเวอร์เตอร์จึงสามารถใช้งานกับภาระทางไฟฟ้าได้

2.3.2.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ค) สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

1) อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า แบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

ก) อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid Tie Inverter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในระบบเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้า (On-grid System) โดยมีพิกัดเป็นกิโลวัตต์ (kW) และเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ ไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ และไม่สามารถทำงานแบบอิสระ

ข) อินเวอร์เตอร์แบบอิสระ (Stand-alone Inverter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone System) โดยมีพิกัดเป็นกิโลโวลต์แอมป์ (kVA) อินเวอร์เตอร์นี้สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านทั่วไป

2) อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบรูปคลื่นสัญญาณขาออก แบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่

ก) อินเวอร์เตอร์แบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ให้รูปคลื่นเป็นทรงสี่เหลี่ยม ส่วนใหญ่พบในอินเวอร์เตอร์ที่มีราคาถูก หาซื้อได้ทั่วไป แต่มีข้อจำกัดคือสามารถใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทหลอดไฟเท่านั้น

ข) อินเวอร์เตอร์แบบคลื่นไซน์ (Pure Sine Wave) ให้รูปคลื่นที่คล้ายกับรูปคลื่นของเอาต์พุตจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์นี้มีราคาสูงที่สุด สามารถใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกประเภท

ค) อินเวอร์เตอร์แบบคลื่นไซน์ดัดแปลง (Modified Sine Wave) ให้รูปคลื่นไซน์ที่เป็นขั้นบันได อินเวอร์เตอร์นี้ไม่สามารถใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกประเภท แต่มีข้อดีคือราคาถูก

2.3.2.2 ระบบอินเวอร์เตอร์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554) สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Central Inverter) แบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

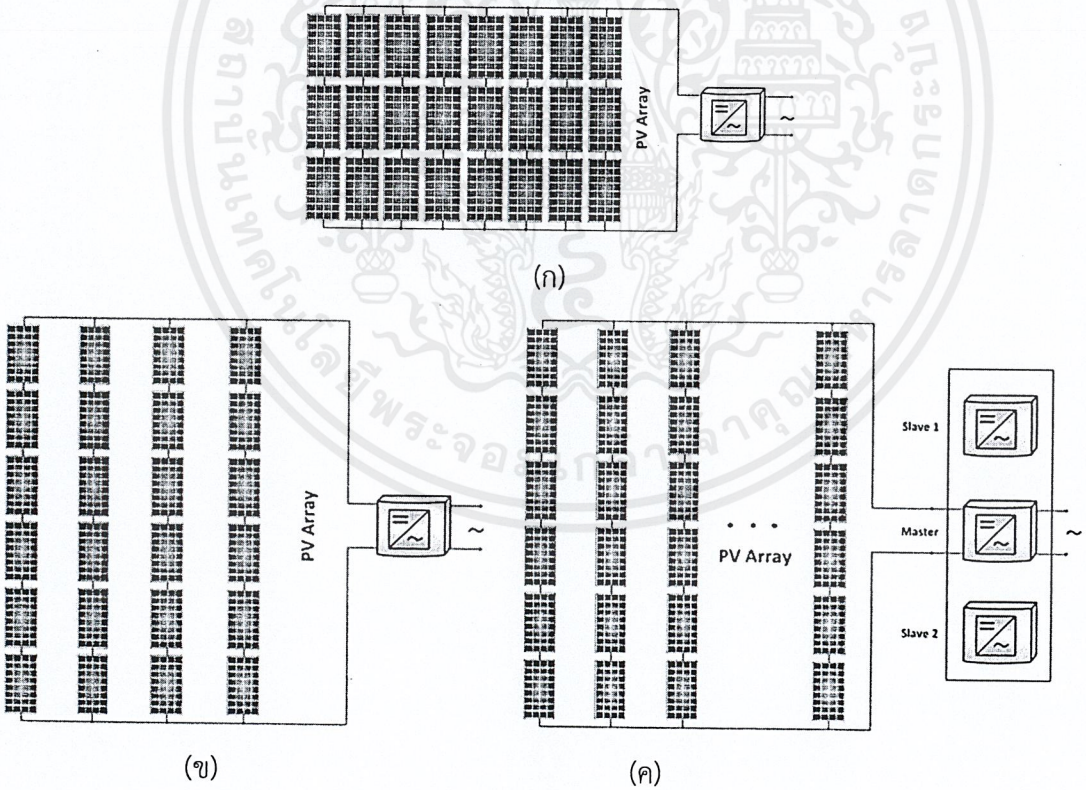
ก) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์แรงดันต่ำ ใช้ในกรณีที่การต่อวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละสตริงไม่มากและแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่า 120 V ภาพที่ 2.11 (ก) แสดงการต่อระบบแบบรวมศูนย์แรงดันต่ำ ข้อดี คือ หากเกิดเงาบดบัง อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์แรงดันต่ำจะได้รับผลกระทบต่ำกว่าอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์แรงดันสูง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในสตริงที่ไม่ถูกเงาบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บังสามารถไหลไปที่อินเวอร์เตอร์ ข้อจำกัด คือ สายไฟฟ้าต้องมีขนาดใหญ่เนื่องจากในระบบมีกระแสไฟฟ้ามาก และอินเวอร์เตอร์ต้องติดตั้งใกล้กับอาร์เรย์เพื่อลดการสูญเสียในสายไฟฟ้า

ข) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์แรงดันสูง ใช้ในกรณีที่การต่อวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละสตริงมีจำนวนมากและแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่า 120 V ภาพที่ 2.11 (ข) แสดงการต่อระบบแบบรวมศูนย์แรงดันสูง ข้อดี คือ สายไฟมีขนาดเล็กลงเนื่องจากในระบบมีกระแสไฟฟ้าน้อย ข้อจำกัด คือ เกิดการสูญเสียเนื่องจากเงาบดบังมากกว่าเพราะมีจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละสตริงมากกว่า

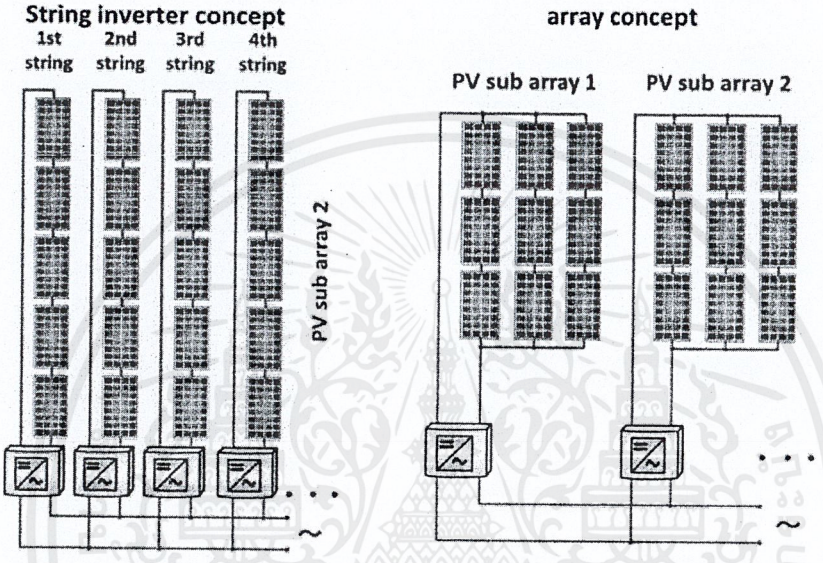
ค) อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ Master-slave ภาพที่ 2.11 (ค) แสดงถึงอินเวอร์เตอร์สลาฟ (Slave) มากกว่า 1 ตัว ซึ่งแบ่งพิกัดกำลังไฟฟ้าไปให้อินเวอร์เตอร์มาสเตอร์ (Master) อินเวอร์เตอร์นี้ทำงานได้ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำจนกระทั่งความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เมื่อกำลังไฟฟ้ามากเกินกว่าอินเวอร์เตอร์มาสเตอร์ทำงานได้ อินเวอร์เตอร์สลาฟ (Slave) จึงทำงาน ข้อแนะนำ คือ ควรกำหนดให้ทำงานสลับกันเป็นรอบ (Rotating Master) เพื่อเฉลี่ยภาระการทำงานให้เท่ากัน ข้อดี คือ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำ อินเวอร์เตอร์นี้มีประสิทธิภาพรวมดีกว่าการใช้อินเวอร์เตอร์เพียงตัวเดียว ข้อจำกัด คือ ต้นทุนของระบบที่สูงขึ้น



ภาพที่ 2.11 อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (ก) ชนิดแรงดันต่ำ (ข) ชนิดแรงดันสูง และ (ค) ชนิด Master-slave (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อินเวอร์เตอร์แบบสตริง (String Inverter) นิยมใช้ในระบบขนาด 3 kW ขึ้นไป สามารถแบ่งตามขนาดของระบบได้ 2 รูปแบบ คือ ระบบขนาดเล็กใช้แบบ String Inverter Concept และระบบขนาดกลางถึงใหญ่ใช้แบบ Array Concept ดังภาพที่ 2.12 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สำหรับอินเวอร์เตอร์แบบสตริงต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางและมุมเดียวกัน ข้อดี คือ สามารถปรับพิกัดกำลังไฟฟ้าตามความเข้มแสงอาทิตย์ ระบบไม่ต้องมีกล่องรวมสาย (Junction Box) และลดจำนวนสายไฟที่ใช้งาน ข้อจำกัด คือ เมื่อเกิดเงาบดบัง เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้ามาก

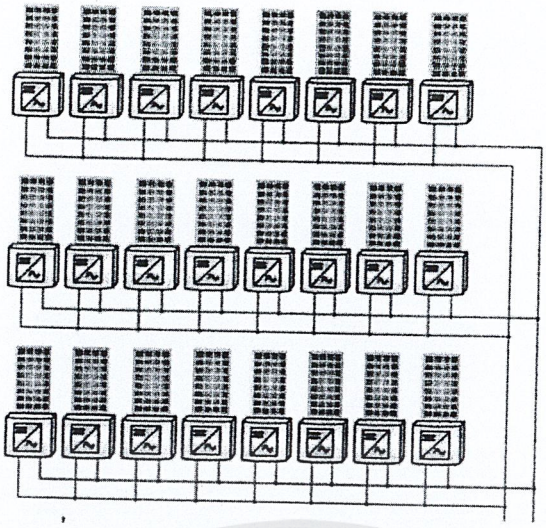


(ก) (ข)

ภาพที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์แบบสตริง (ก) String Inverter Concept และ (ข) Array Concept (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554)

3) อินเวอร์เตอร์แบบโมดูล หลักการ คือ การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ใกล้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงเพื่อให้ทุกแผงทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์มีขนาดเล็ก จึงสามารถติดตั้งภายในกล่องรวมสายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 2.13 ข้อดี คือ สามารถขยายขนาดของระบบได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่อินเวอร์เตอร์ระบบอื่นไม่สามารถทำได้ ข้อจำกัด คือ มีประสิทธิภาพต่ำกว่าอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์เล็กน้อย และมีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 อินเวอร์เตอร์แบบโมดูล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554)

2.3.2.3 การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554) ต้องพิจารณาพิกัดและจำนวนอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับระบบการผลิตไฟฟ้า ดังนี้

1) พิกัดกำลังไฟฟ้า กรณีของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ให้ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าช่วง ± 20% ของกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน ($0.8 \times P_{pv} < P_{inv,DC} < 1.2 \times P_{pv}$ โดย P_{pv} คือ กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน และ $P_{inv,DC}$ คือ กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์)

2) จำนวนอินเวอร์เตอร์ คำนวณจากกำลังไฟฟ้าที่ต้องการผลิตหารด้วยพิกัดกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

2.4 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (เอกพันธ์ ผัดศรี และคณะ. 2561)

การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission (IEC) 61724 ดังนี้

2.4.1 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{pv}, %) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ

$$\eta_{pv} = \frac{P_{DC}}{GA} \times 100$$

เมื่อ P_{DC} (W) คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

G (W/m^2) คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ

A (m^2) คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{sys}, %) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ

$$\eta_{sys} = \frac{P_{AC}}{GA} \times 100$$

เมื่อ P_{AC} (W) คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์

G (W/m^2) คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ

A (m^2) คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม

2.4.3 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{inv}, %) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ต่อกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100$$

เมื่อ P_{AC} (W) คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์

P_{DC} (W) คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.4 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังผลิตติดตั้ง (Y_a, kWh/kWp)

$$Y_a = \frac{E_{PV\,(DC)}}{P_0}$$

เมื่อ $E_{PV\,(DC)}$ (kWh) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

P_0 (kWp) คือ กำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้ง (Y_f, kWh/kWp)

$$Y_f = \frac{E_{PV\,(AC)}}{P_0}$$

เมื่อ $E_{PV\,(AC)}$ (kWh) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

P_0 (kWp) คือ กำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Y_r, kWh/kWp)

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}}$$

เมื่อ H_i (kWh/m^2) คือ พลังงานของรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

G_{STC} (W/m^2) คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐานเท่ากับ 1,000 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 อัตราส่วนสมรรถนะหรือสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio: PR, %) แสดงประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100$$

เมื่อ Y_f (kWh/kWp) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้ง

Y_r (kWh/kWp) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน

2.4.8 พลังงานที่สูญเสียในระบบ (L_s, kWh/kWp) คือ ผลต่างระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทางทฤษฎีและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง

$$L_s = Y_r - Y_f$$

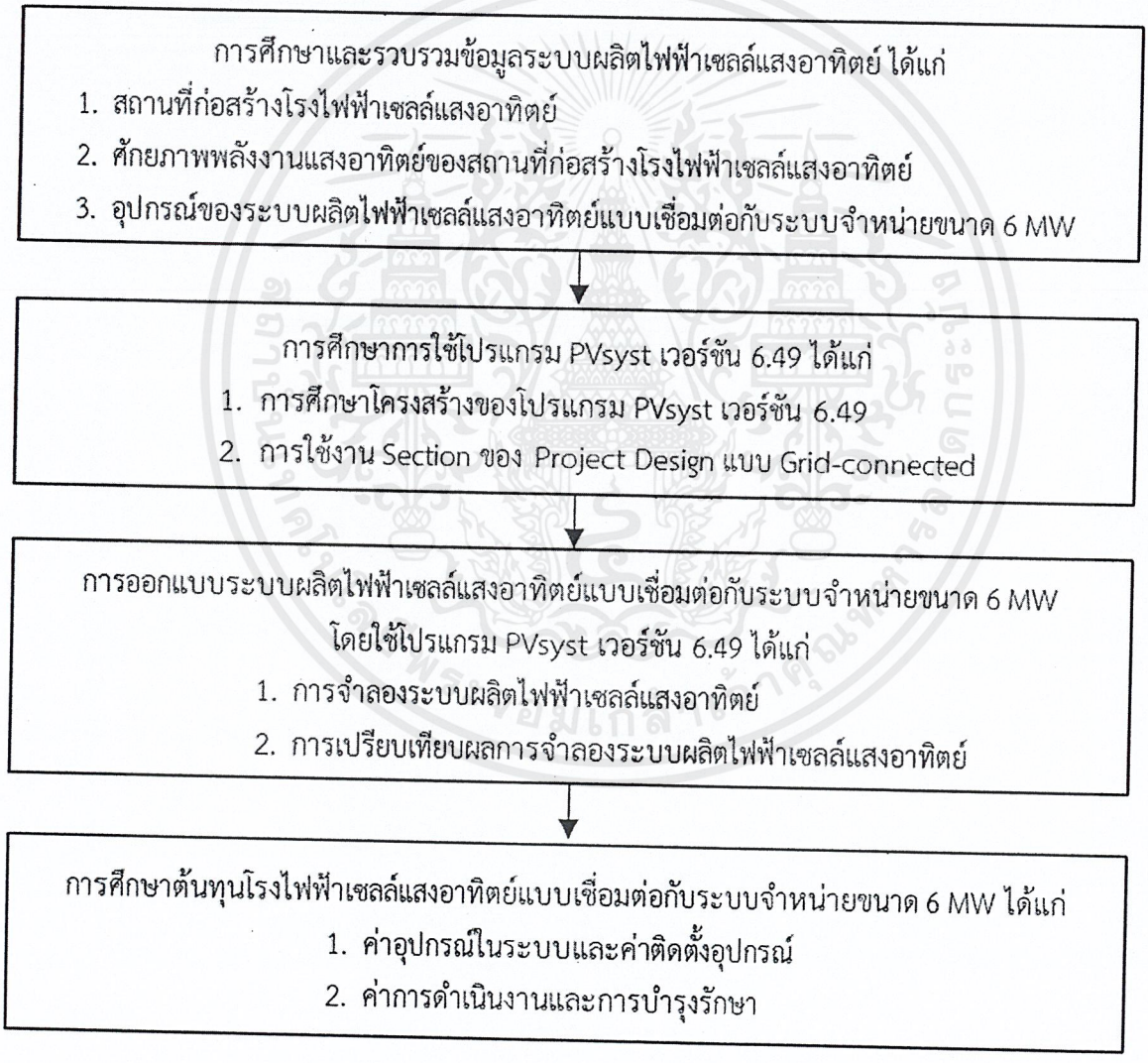
เมื่อ Y_r (kWh/kWp) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน

Y_f (kWh/kWp) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ได้รับการอนุเคราะห์ความช่วยเหลือจากแผนกไฟฟ้า (Electrical Department) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Division) บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) โครงงานสหกิจศึกษานี้เน้นการออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายโดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และศึกษาต้นทุนของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการศึกษาของโครงงานสหกิจศึกษา



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาของโครงงานสหกิจศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ได้แก่ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ (Interview with Experts) คือ พนักงานแผนกไฟฟ้าและพนักงานแผนกโยธาของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) และข้อมูลจากการศึกษา รวบรวม ทบทวนเอกสารต่าง ๆ (Document Reviews) ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ดังนี้

3.1.1 สถานที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) กำหนดให้ก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่เมืองพะอัน (Hpa-An City) ซึ่งเป็นเมืองหลวงของรัฐคะหยิ่น (Kayin State) สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

3.1.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของสถานที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ธนาคารโลก (World Bank Group) และบริษัท เงินทุนระหว่างประเทศ (International Finance Corporation) ได้ร่วมมือกันจัดทำแอปพลิเคชันระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ “Solar Atlas 2.0” โดยอาศัยข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จาก บริษัท Solargis s.r.o. เพื่อใช้แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ระดับโลกผ่านเว็บไซต์ https://globalsolaratlas.info/map (Global Solar Atlas. 2019) และโครงการนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากแผนงานสนับสนุนการจัดการสาขาพลังงาน (Energy Sector Management Assistance Program: ESMAP) ของธนาคารโลก คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบุในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของ Global Solar Atlas (2019)

คำศัพท์	หน่วย	ความหมาย
Specific Photovoltaic Power Output (PVOUT)	kWh/kWp	พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังผลิตติดตั้ง 1 kWp
Direct Normal Irradiation (DNI)	kWh/m^2	พลังงานของรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีตรง
Global Horizontal Irradiation (GHI)	kWh/m^2	พลังงานของรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นโลกในแนวราบ
Diffuse Horizontal Irradiation (DIF)	kWh/m^2	พลังงานของรังสีอาทิตย์ชนิดรังสีกระจายที่ตกกระทบพื้นโลกในแนวราบ
Global Tilted Irradiation at Optimum Angle (GTI_{opta})	kWh/m^2	พลังงานของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกในแนวเอียงโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มุมที่เหมาะสม
Optimum Tilt of PV Module (OPTA)	°	มุมติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับเส้นศูนย์สูตรที่เหมาะสม
Air Temperature (TEMP)	°C	อุณหภูมิอากาศที่ระดับเหนือพื้นผิวดิน 2 เมตร
Terrain Elevation (ELE)	m	ระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศเทียบระดับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โครงงานสหกิจศึกษานี้กล่าวเฉพาะอุปกรณ์หลัก คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

3.1.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้เกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน แบ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกรวมและเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว ซึ่งใช้เทคโนโลยีแบบเต็มเซลล์และแบบตัดครึ่งเซลล์

2) ยี่ห้อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในรายชื่อทะเบียนผู้ค้า (Approved Vendor List: AVL) ของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในระดับ Tier 1 ของ Bloomberg New Energy Finance

3.1.3.2 อินเวอร์เตอร์ ใช้เกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) ชนิดของระบบอินเวอร์เตอร์ แบ่งเป็นแบบรวมศูนย์และแบบสตริง

2) ยี่ห้อของอินเวอร์เตอร์อยู่ใน AVL ของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

3.2 การศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

โครงงานสหกิจศึกษานี้ใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW เนื่องจากโปรแกรม PVSyst เป็นซอฟต์แวร์การจำลองเพื่อคำนวณการออกแบบ ผลิต และการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับ และเป็นโปรแกรมที่แผนกไฟฟ้า บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1 การศึกษาโครงสร้างของโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ดังนี้

3.2.1.1 Menu Barเป็นแถบที่ใช้เก็บคำสั่งทั้งหมดในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ประกอบด้วย

1) Files ได้แก่ Workspace, Import, Export, Switch, Import Components, Export Components, Import Projects, Export Projects, Export Logs, และ Quit

2) Preferences ได้แก่ Preferences และ Edit Hidden Parameters

3) Language

4) License ได้แก่ Status and Activation

5) Help

3.2.1.2 Section เป็นปุ่มแสดงส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างโครงการ ประกอบด้วย

1) Preliminary Design ได้แก่ Grid-connected, Stand Alone และ Pumping

2) Project Design ได้แก่ Grid-connected, Stand Alone, Pumping และ DC Grid

3) Databases

4) Tools

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การใช้งาน Section ของ Project Design แบบ Grid-connected โครงงานสหกิจศึกษานี้ใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 เฉพาะ Section ของ Project Design แบบ Grid-connected และแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 Section ของ Project Design แบบ Grid-connected ในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

รายการ	รายละเอียด
1. Project's Designation	Site and Meteo
	Albedo-settings* - Albedo - Design Conditions - Other Limitations
2. System Variant	Mandatory - Orientation ได้แก่ Field Type และ Field Parameters - System - Detailed Losses* ได้แก่ Thermal Loss, Ohmic Loss, Module quality-LID-Mismatch, Soiling Loss, IAM Losses, Degradation และ Unavailability - User's Needs
	Optional - Horizon - Near Shadings - Module Layout
	Simulation Results

หมายเหตุ * หมายถึง ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ กรณีที่ไม่กำหนด ให้ใช้ค่าเริ่มต้น (Default) ของโปรแกรม

3.3 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ปฏิบัติดังนี้

3.3.1.1 การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ตามข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และจากการสัมภาษณ์พนักงานแผนกไฟฟ้าของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ดังระบุในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่กำหนดในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
1. Project's Designation	
1.1. Site and Meteo	ตามค่าสถานที่ออกแบบในโปรแกรมหรือตามพิกัดภูมิศาสตร์
1.2. Albedo-settings	
1) Albedo: อัตราส่วนของรังสีที่สะท้อนบริเวณใกล้อาร์เรย์	0.2
2) Site-dependent Design Parameters: อุณหภูมิอ้างอิงสำหรับอาร์เรย์ตามแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะแวดล้อมนั้น ๆ ได้แก่	
- Lower Temperature for Absolute Voltage Limit (°C): อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของอาร์เรย์	5°C
- Winter Operating Temperatures for $V_{mpp, Max}$ Design (°C): อุณหภูมิทำงานต่ำสุดของอาร์เรย์ในฤดูหนาว หมายเหตุ: แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของอาร์เรย์ต้องน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์	20°C
- Usual Operating Temperature under 1000 W/m^2 (°C): อุณหภูมิทำงานของอาร์เรย์ในสภาวะทำงานปกติ	50°C
- Summer Operating Temperature for $V_{mpp, Min}$ Design (°C): อุณหภูมิทำงานสูงสุดของอาร์เรย์ในฤดูร้อน หมายเหตุ: แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของอาร์เรย์ต้องมากกว่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของอินเวอร์เตอร์	60°C
3) Other Design Parameters ได้แก่	
- Array Max. Voltage: แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละอาร์เรย์	IEC 61215, 1000 V
- Limit Overload Loss (%): ความสูญเสียของอินเวอร์เตอร์ต่อปี	3.0%
- muV_{oc} Value: แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	One-diode Model
- Transposition Model for This Project: โมเดลการคำนวณรังสีที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Perez-Ineichen Model
4) Other Limitations: การกำหนดเงาบดบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ใช้ค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
2. System Variant	
2.1 Orientation	
1) Field Type	ตามการออกแบบ
- การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบบยึดติดอยู่กับที่	
- การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบบติดตามดวงอาทิตย์	
2) Field Parameters	
- Tilt Angle: มุมเอียง	ตามการออกแบบ
- Azimuth Angle: มุมอะซิมุธ	0°
2.2 System เช่น กำลังผลิตติดตั้ง ชนิดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบและจำนวนอินเวอร์เตอร์	ตามการออกแบบ
2.3 Detailed Losses	
1) Soiling Loss (%): ความสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสิ่งสกปรก	2.0%
2) Wiring Ohmic Loss (%): ความสูญเสียของสายไฟฟ้าจากความต้านทานไฟฟ้า ได้แก่	
- DC Ohmic Loss (%): ความสูญเสียด้านไฟฟ้ากระแสตรง	
- อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์	1.0%
- อินเวอร์เตอร์แบบสตริง	0.5%
- AC Ohmic Loss (%): ความสูญเสียด้านไฟฟ้ากระแสสลับ	
- อินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์	0.5%
- อินเวอร์เตอร์แบบสตริง	1.0%
3) Light Induces Degradation (LID, %): ความสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนเมื่อเริ่มทำงาน	2.5%
4) Module Quality Loss (%): ความสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิต	0.0%
5) Module Mismatch Loss (%): ความสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากความไม่เข้ากัน	2.0%
6) Incidence Angle Modifier (IAM): ความสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์	ตามผู้ผลิต
7) External Transformer Loss (%): ความสูญเสียของระบบเมื่อต่อหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
- Iron Loss (%): ความสูญเสียในแกนเหล็ก	0.1%
- Resistive Loss (%): ความสูญเสียจากความต้านทานของหม้อแปลงไฟฟ้า	1.0%
8) Shading Loss (%): ความสูญเสียของอาร์เรย์เมื่อเกิดเงาบดบัง	ตามการออกแบบ
9) PV Loss due to Temperature: ความสูญเสียของอาร์เรย์จากอุณหภูมิ ได้แก่	
- Temperature Coefficient: ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%/°C)	ตามผู้ผลิต
- Thermal Loss Factor: ตัวประกอบความสูญเสียทางความร้อนหรือ Heat Transfer Factor (U, $W/m^2 \cdot K$): ตัวประกอบการถ่ายเทความร้อนซึ่งคำนวณจากสมการ $U = U_c + (U_v \times v)$	
- U_c คือ Constant Loss Factor ($W/m^2 \cdot K$): ค่าคงที่ของตัวประกอบความสูญเสีย	20.0 $W/m^2 \cdot K$
- U_v คือ Wind Loss Factor ($W/m^2 \cdot K/m/s$): ตัวประกอบความสูญเสียจากความเร็วลม	0.0 $W/m^2 \cdot K/m/s$
- v คือ Wind Velocity (m/s): ความเร็วลม	ตามโปรแกรม

3.3.1.2 การกำหนดมุมเอียงในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ที่แสดงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด ให้พิจารณาตามเกณฑ์ดังนี้

1) การกำหนดกำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW
2) การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง
3) การกำหนดมุมอะซิมุธที่ 0°

เมื่อได้ค่ามุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้จำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ตามขอบเขตการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.3.1.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ตามขอบเขตที่กำหนด คือ กำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง การกำหนดมุมอะซิมุธและมุมเอียงตามข้อ 3.3.1.2 และการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ตามที่กำหนด ขั้นตอนนี้ทำให้ทราบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์ทุกชนิดและยี่ห้อ (ตารางที่ 3.4) จากนั้นให้เปรียบเทียบผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ให้พิจารณาตามเกณฑ์ดังนี้

3.3.2.1 สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance of Grid-connected PV System) ได้แก่

1) พลังงานไฟฟ้าต่อปี (Produced Energy)

2) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้งต่อปี (Specific Production)

3) อัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยต่อปี (Performance Ratio: PR)

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ทราบชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชนิดระบบอินเวอร์เตอร์ที่แสดงสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด (ตารางที่ 3.4) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่อไป

3.3.2.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Specifications) คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ ได้แก่

1) ข้อมูลทั่วไป เช่น บริษัทผู้ผลิต ยี่ห้อ รุ่น ราคา

2) ข้อมูลเชิงเทคนิค เช่น กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพการทำงาน

เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ ทำให้ทราบยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และยี่ห้ออินเวอร์เตอร์ที่แสดงสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม (ตารางที่ 3.4) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต้นทุนของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

ขั้นตอนการศึกษา	ผลลัพธ์
ข้อ 3.3.1.3: การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ตามขอบเขตที่กำหนด	สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์ทุกชนิดและยี่ห้อ
ข้อ 3.3.2.1: การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์	ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชนิดระบบอินเวอร์เตอร์ที่ให้ค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด
ข้อ 3.3.2.2: การเปรียบเทียบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ของชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชนิดระบบอินเวอร์เตอร์	ยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และยี่ห้อระบบอินเวอร์เตอร์ที่แสดงสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบชนิดและยี่ห้อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม จากนั้นให้คำนวณต้นทุนของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ได้แก่

3.4.1 ค่าอุปกรณ์ในระบบและค่าติดตั้งอุปกรณ์ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า ระบบอาคาร ระบบสาธารณูปโภค

3.4.2 ค่าการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เช่น ค่าเดินระบบ ค่าบำรุงรักษา ค่าตรวจสอบบริภัณฑ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ภายใต้การอนุเคราะห์การดำเนินงานจาก แผนกไฟฟ้า (Electrical Department) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Division) บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ประกอบด้วยการออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายโดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และศึกษาต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

4.1 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูลเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งรวบรวมจากการสัมภาษณ์พนักงานแผนกไฟฟ้าและพนักงานแผนกโยธาของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) และจากการศึกษาเอกสารรวมถึงข้อมูลต่าง ๆ มีดังนี้

4.1.1 สถานที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) กำหนดให้ก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่เมืองพะอัน (Hpa-An City) ซึ่งเป็นเมืองหลวงของรัฐคะหยิ่น (Kayin State) สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

สถานที่ก่อสร้างที่เมืองพะอัน รัฐคะหยิ่น สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา มีลักษณะดังนี้

4.1.1.1 เมืองพะอันมีพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูดที่ 16 องศา 56 ลิปดา 25.7 ฟิลิปดาเหนือ (16°56'25.7"N) ลองจิจูดที่ 97 องศา 41 ลิปดา 46.8 ฟิลิปดาตะวันออก (97°41'46.8"E)

4.1.1.2 รัฐคะหยิ่นมีพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูดที่ 16 องศา 56 ลิปดา (16°56'N) ลองจิจูดที่ 97 องศา 42 ลิปดา (97°42'E)

4.1.1.3 พื้นที่ก่อสร้างมีขนาด 162,966 m^2 และล้อมรอบทุกทิศทางด้วยแนวต้นไม้ที่มีความสูงประมาณ 9 m

4.1.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐคะหยิ่น ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐคะหยิ่น (Global Solar Atlas. 2019) ซึ่งส่งผลถึงศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้พบว่ารัฐคะหยิ่นมีค่าเฉลี่ยต่อปีของ Global Horizontal Irradiation (GHI) เท่ากับ 1,803 kWh/m^2 และจัดเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ระดับต่ำ แต่สามารถผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐคะหยิ่นซึ่งได้จาก Global Solar Atlas (2019)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยต่อปี
Specific Photovoltaic Power Output (PVOUT)	1,493 kWh/kWp
Direct Normal Irradiation (DNI)	1,363 kWh/m^2
Global Horizontal Irradiation (GHI)	1,803 kWh/m^2
Diffuse Horizontal Irradiation (DIF)	845 kWh/m^2
Global Tilted Irradiation at Optimum Angle (GTI_{opta})	1,923 kWh/m^2
Optimum Tilt of PV Module (OPTA)	23/180°
Air Temperature (TEMP)	27.6 °C
Terrain Elevation (ELE)	19 m

4.1.3 อุปกรณ์หลักของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ ภาพที่ 4.1 แสดงภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยมีการทำงาน คือ

1) แสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

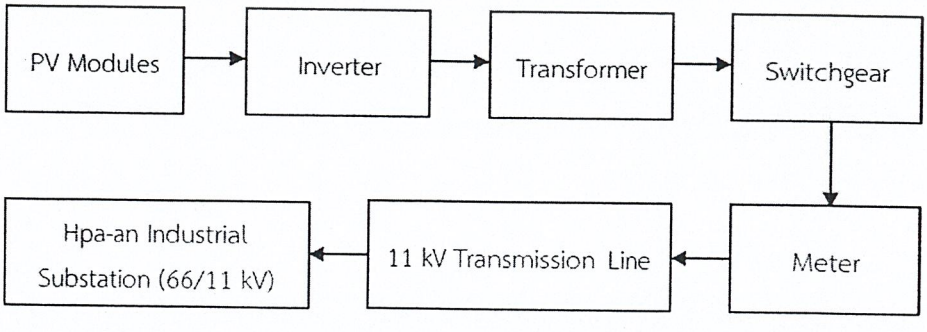
2) อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

3) หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 11 kV

4) สวิตช์เกียร์ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าแรงสูงเพื่อควบคุมและป้องกันระบบผลิตไฟฟ้า

5) เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าทำหน้าที่วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้า 11 kV

6) ระบบสายส่งไฟฟ้า 11 kV เชื่อมต่อสถานีไฟฟ้าพะอันซึ่งมีหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 66 kV จากนั้นจึงจำหน่ายไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้าของสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา



ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โครงงานสหกิจศึกษาเลือกชนิดและยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางที่ 4.2) ตามเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประเภทผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน ได้แก่ ชนิดซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) และชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon) โดยแบ่งเป็นเทคโนโลยีแบบเต็มเซลล์ (PV Module) และเทคโนโลยีแบบตัดครึ่งเซลล์ (Half Cell PV Module)

2) ยี่ห้อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ใน AVL ของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) และเป็นยี่ห้อที่อยู่ในระดับ Tier 1 ซึ่งกำหนดโดย Bloomberg New Energy Finance (Edison T. 2019) เพื่อแสดงถึงความน่าเชื่อถือของบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B, C, และ D

ตารางที่ 4.2 ชนิดและยี่ห้อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษา

Type	Brand			
	A	B	C	D
เทคโนโลยีแบบเต็มเซลล์				
- Polycrystalline PV Module (PM)	/	/	/	/
- Monocrystalline PV Module (MM)	/	/	/	/
เทคโนโลยีแบบครึ่งเซลล์				
- Monocrystalline Half Cell PV Module (MHM)	/	/	/	/

4.1.3.2 อินเวอร์เตอร์ โครงงานสหกิจศึกษาเลือกชนิดและยี่ห้อของระบบอินเวอร์เตอร์ตามเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) ระบบอินเวอร์เตอร์ ได้แก่ ระบบอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Central Inverter) และระบบอินเวอร์เตอร์แบบสตริง (String Inverter)

2) ยี่ห้อของอินเวอร์เตอร์อยู่ใน AVL ของบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ได้แก่ ยี่ห้อ X และ Y

4.2 ผลการศึกษาการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

โครงงานสหกิจศึกษาใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ใน Section ของ Project Design แบบ Grid-connected เพื่อออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW และสรุปขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ดังตารางที่ 4.3 และจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 เพื่อส่งมอบให้กับแผนกไฟฟ้า ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (ภาพที่ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การใช้งาน Section ของ Project Design แบบ Grid-connected ในโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

รายการ	รายละเอียด
1. Project's Designation	การออกแบบโครงการ
Site and Meteo	การกำหนดสถานที่ออกแบบตามที่ระบุในโปรแกรมหรือตามพิกัดภูมิศาสตร์
Albedo-settings	การตั้งค่าอัลบีโด*
2. System Variant	การกำหนดพารามิเตอร์ของระบบ ดังนี้
Mandatory	การกำหนดพารามิเตอร์ของระบบแบบบังคับ 1. ออกแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงมุมเอียงและมุมอะซิมุธ 2. ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น จำนวนอาร์เรย์ย่อย กำลังผลิตติดตั้งหรือพื้นที่ออกแบบ ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ จำนวนอินเวอร์เตอร์ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3. กำหนดค่าความสูญเสีย* ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 4. กำหนดภาระทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ หมายเหตุ: ให้ใช้ Unlimited Load (Grid) เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม
Optional	การกำหนดพารามิเตอร์ของระบบแบบทางเลือก เช่น - ออกแบบสภาวะแวดล้อมหรือสิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดความสูญเสียของอาร์เรย์เมื่อเกิดเงาบัง - ตั้งค่าการจัดเรียงรูปแบบการจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ - ประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ และอื่น ๆ
Simulation Results	การจำลองผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบจำนวนและพื้นที่ใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนอินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของอาร์เรย์ รวมถึงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

หมายเหตุ * หมายถึง ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ กรณีที่ไม่กำหนด ให้ใช้ค่าเริ่มต้น (Default) ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานโปรแกรม PVsyst 6.49 เบื้องต้น

PVsyst Manual Version 6.49

สำหรับการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-connected Solar PV System)

PVSYST

สารบัญ

บทที่ 1 INTRODUCTION 1
Menu bar 1
Files 2
Workspace 2
Import 3
Export 3
Switch 3
Import components 4
Export components 4
Import projects 4
Export projects 5
Export logs 5
Quit 5
Preferences 5
Preferences 6
Edit hidden parameters 6
Language 7
License 7
Status and activation 7

สารบัญ (ต่อ)

Help 8
ส่วนเกี่ยวกับการสร้างโปรเจกต์ 8
Preliminary design 8
Project design 9
Databases 11
Tools 11

บทที่ 2 PRELIMINARY DESIGNS 12
Grid connected system 12
Stand alone system 15
Pumping system 16

บทที่ 3 GRID CONNECTED SYSTEM 17
Project's designation 18
Site and Meteo 18
Albedo - settings 19
Albedo 19
Design conditions 19
Other limitations 20

สารบัญ (ต่อ)

System variant 21
Mandatory 21
Orientation 21
Field type 22
Field parameters 22
System 27
Detailed losses 31
Thermal loss 31
Ohmic loss 31
Module quality - LID - Mismatch 32
Soiling loss 32
IAM losses 32
Degradation 33
Unavailability 33
Simulation results 38
Optional 41
Horizon 41
Near shadings 42
Module layout 51

ภาพที่ 4.2 คู่มือการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

ผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.3.1 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1.1 เมื่อกำหนดพิกัดภูมิศาสตร์ของรัฐคะหยิ่นตามข้อ 4.1.1.2 และเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของรัฐคะหยิ่นระหว่างเว็บไซต์ Global Solar Atlas และโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 พบว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ค่าเฉลี่ยต่อปีของ GHI มีค่าเท่ากับ 1,803 kWh/m^2 และ 1,843 kWh/m^2 ตามลำดับ หรือแตกต่างเท่ากับ 2.17% ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของการใช้งานโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49

4.3.1.2 โครงงานสหกิจศึกษากำหนดกำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง และมุมอะซิมุธที่ 0° เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 จากการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด PM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Central Inverter ยี่ห้อ X และปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 12°-18° (ตารางที่ 4.4) พบว่ามุมเอียงที่ระดับองศาต่าง ๆ มีผลต่อค่าพลังงานของรังสีอาทิตย์บนระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Effective Irradiance on Collectors) สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (Produced Energy) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้งต่อปี (Specific Production) และอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยต่อปี (Performance Ratio: PR) และความสูญเสียของอาร์เรย์เมื่อเกิดเงาบดบัง (Shadings Loss) ดังนี้

1) เมื่อปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นระหว่าง 12°-18° พบว่า Shadings Loss เพิ่มขึ้น และ PR ลดลง เนื่องจากมุมเอียงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดเงาบดบังตกกระทบมากขึ้น ส่วน Specific Production ใกล้เคียงกัน

2) เมื่อปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นระหว่าง 12°-15° ทำให้ Effective Irradiance on Collectors และ Produced Energy เพิ่มขึ้น

3) เมื่อปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นระหว่าง 15°-18° ทำให้ Effective Irradiance on Collectors และ Produced Energy ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของมุมเอียงต่อศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

Tilt Angle (°)	Effective Irradiance on Collectors (kWh/m^2)	Produced Energy (MWh/year)	Specific Production (kWh/kWp/year)	PR (%)	Shading Loss (%)
12	1850	9114	1517	78.86	0.9
13	1852	9120	1519	78.76	1.0
14	1853	9124	1519	78.66	1.1
15	1854	9126	1519	78.56	1.2
16	1854	9125	1519	78.45	1.4
17	1853	9123	1519	78.35	1.5
18	1853	9117	1518	78.24	1.6

ดังนั้นเลือกติดตั้งมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 15° สำหรับการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากให้ Effective Irradiance on Collectors, Produced Energy และ Specific Production สูงที่สุด แม้ว่าจะให้ Performance Ratio (PR) และ Shadings Loss ปานกลาง

4.3.1.3 เมื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายโดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ตามขอบเขตที่กำหนด ได้แก่ การกำหนดกำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง การกำหนดมุมเอียงและมุมอะซิมุธที่ 15°และ 0° ตามลำดับ รวมถึงการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ตามที่กำหนดในข้อ 4.1.3.1 และ 4.1.3.2 ตามลำดับ พบว่าผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Central Inverter ทุกยี่ห้อดังตารางที่ 4.5 และผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ทุกยี่ห้อดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Central Inverter ทุกยี่ห้อ

PV Module Type	PM								MM								MHM							
Brand of Inverters	X				Y				X				Y				X				Y			
Brand of PV Modules	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Produced Energy (MWh/year)	9,014	9,081	9,120	9,039	8,947	9,013	9,097	9,017	9,036	9,150	9,132	9,156	8,967	9,081	9,062	9,086	9,074	9,238	9,232	8,949	9,004	9,167	9,161	8,880
Specific Production (kWh/kWp/year)	1,501	1,513	1,518	1,505	1,490	1,501	1,515	1,501	1,506	1,521	1,522	1,526	1,494	1,510	1,510	1,514	1,512	1,537	1,538	1,488	1,500	1,525	1,526	1,476
Performance Ratio (PR, %)	77.60	78.21	78.51	77.82	77.02	77.63	78.31	77.62	77.85	78.65	78.68	78.89	77.26	78.05	78.08	78.28	78.15	79.47	79.51	76.92	77.55	78.86	78.9	76.33
PV Power Nominal Total (MWp)	6.006	6.003	6.006	6.006	6.006	6.003	6.006	6.006	6.001	6.015	6.001	6.001	6.001	6.015	6.001	6.001	6.003	6.010	6.003	6.015	6.003	6.010	6.003	6.015
Number in Series	28																							
Number in Parallel	650	640	650	650	650	640	650	650	564	558	564	564	564	558	564	564	536	530	536	558	536	530	536	558
Number of PV Module	18,200	17,920	18,200	18,200	18,200	17,920	18,200	18,200	15,792	15,624	15,792	15,792	15,792	15,624	15,792	15,792	15,008	14,840	15,008	15,624	15,008	14,840	15,008	15,624
Inverter Power Nominal (kW)	2,500																							
Number of Inverter	2																							
No. of Independent MPP Inputs	1				2				1				2				1				2			
Inverter Power Nominal Total (kW)	5,000																							

ตารางที่ 4.6 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชนิดและยี่ห้อกับระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ทุกยี่ห้อ

PV Module Type	PM								MM								MHM							
Brand of Inverters	X				Y				X				Y				X				Y			
Brand of PV Modules	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Produced Energy (MWh/year)	9,003	9,069	9,159	9,076	8,964	9,031	9,122	9,036	9,040	9,155	9,139	9,159	9,023	9,137	9,126	9,139	9,078	9,246	9,240	8,954	9,062	9,238	9,231	8,941
Specific Production (kWh/kWp/year)	1,499	1,511	1,525	1,511	1,492	1,504	1,519	1,505	1,506	1,522	1,523	1,526	1,504	1,519	1,521	1,523	1,512	1,538	1,539	1,489	1,510	1,537	1,538	1,486
Performance Ratio (PR, %)	77.50	78.11	78.85	78.13	77.17	77.78	78.53	77.79	77.89	78.69	78.74	78.91	77.74	78.54	78.63	78.74	78.18	79.54	79.58	76.96	78.05	79.47	79.50	76.86
PV Power Nominal Total (MWp)	6.006	6.003	6.006	6.006	6.006	6.003	6.006	6.006	6.001	6.015	6.001	6.001	6.001	6.015	6.001	6.001	6.003	6.010	6.003	6.015	6.003	6.010	6.003	6.015
Number in Series	28																							
Number in Parallel	650	640	650	650	650	640	650	650	564	558	564	564	564	558	564	564	536	530	536	558	536	530	536	558
Number of PV Module	18,200	17,920	18,200	18,200	18,200	17,920	18,200	18,200	15,792	15,624	15,792	15,792	15,792	15,624	15,792	15,792	15,008	14,840	15,008	15,624	15,008	14,840	15,008	15,624
Inverter Power Nominal (kW)	225				208				225				208				225				208			
Number of Inverter	28				26				24				26				24				26			
No. of Independent MPP Inputs	12																							
Max. Number of Input	2				3				2				3				2				3			
Inverter Power Nominal Total (kW)	6,300				5,408				5,400				5,408				5,400				5,408			

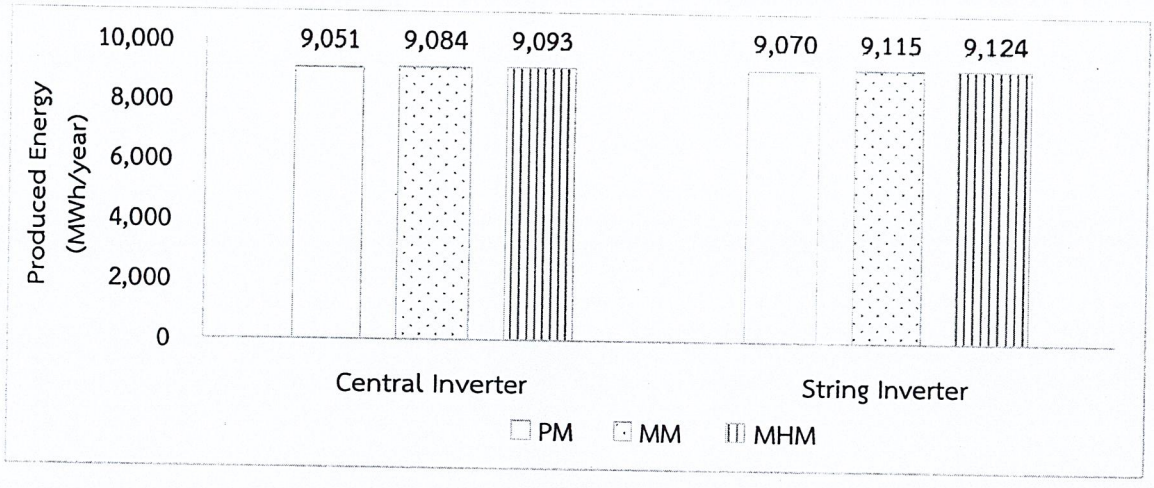
4.3.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้จากการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 กำหนดกำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง ติดตั้งมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 15° และมุมอะซิมุธที่ 0° สามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.2.1 สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 ภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด จำนวน 4 ยี่ห้อ และระบบอินเวอร์เตอร์แต่ละชนิด จำนวน 2 ยี่ห้อ เมื่อพิจารณาตามชนิดระบบอินเวอร์เตอร์และชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ ดังนี้

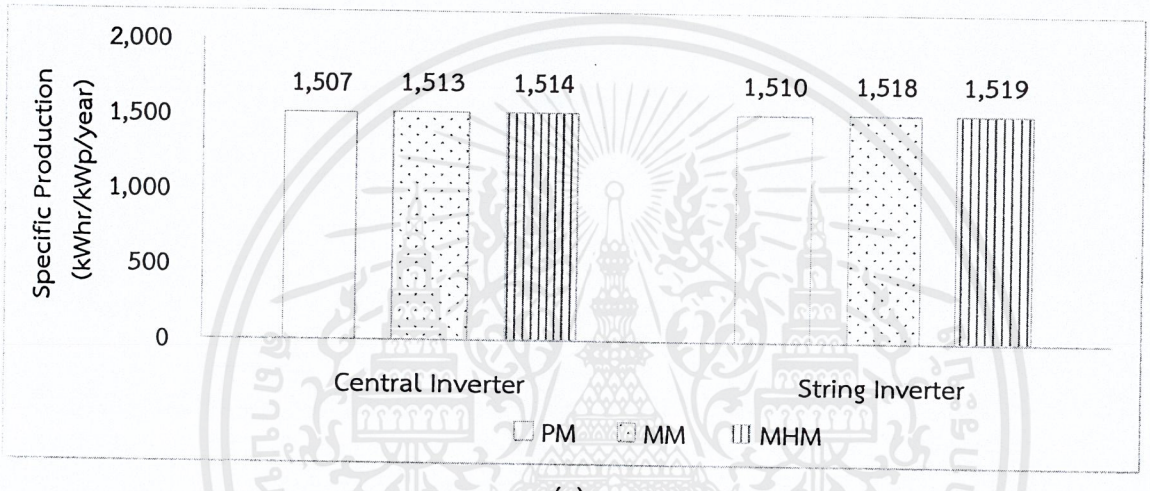
1) เมื่อพิจารณาชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า MHM แสดงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดสำหรับทั้ง 2 ระบบอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 4.3)

2) เมื่อพิจารณาระบบอินเวอร์เตอร์ พบว่า String Inverter แสดงสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดสำหรับทั้ง 3 ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ภาพที่ 4.4)

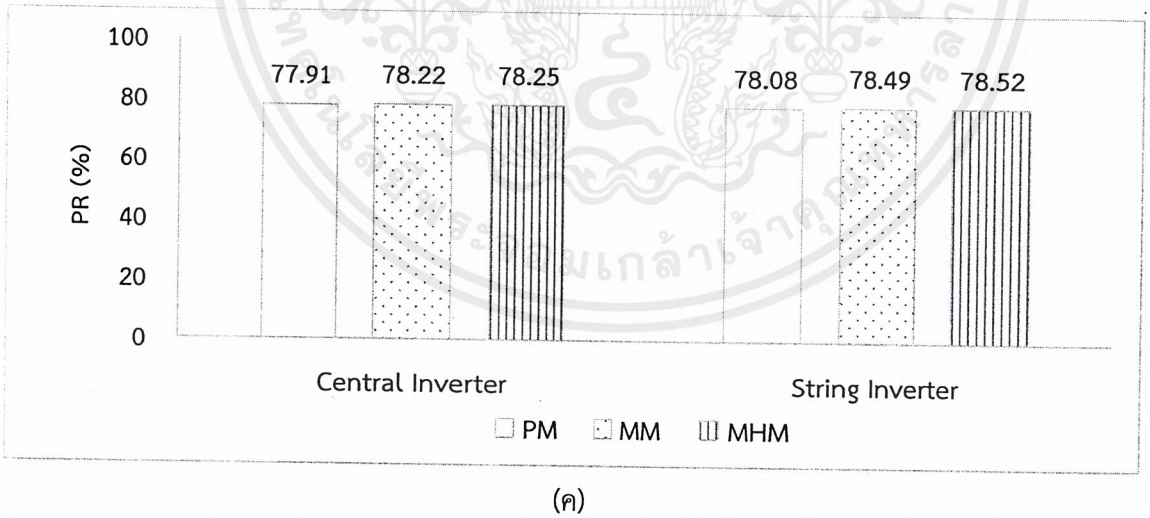
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



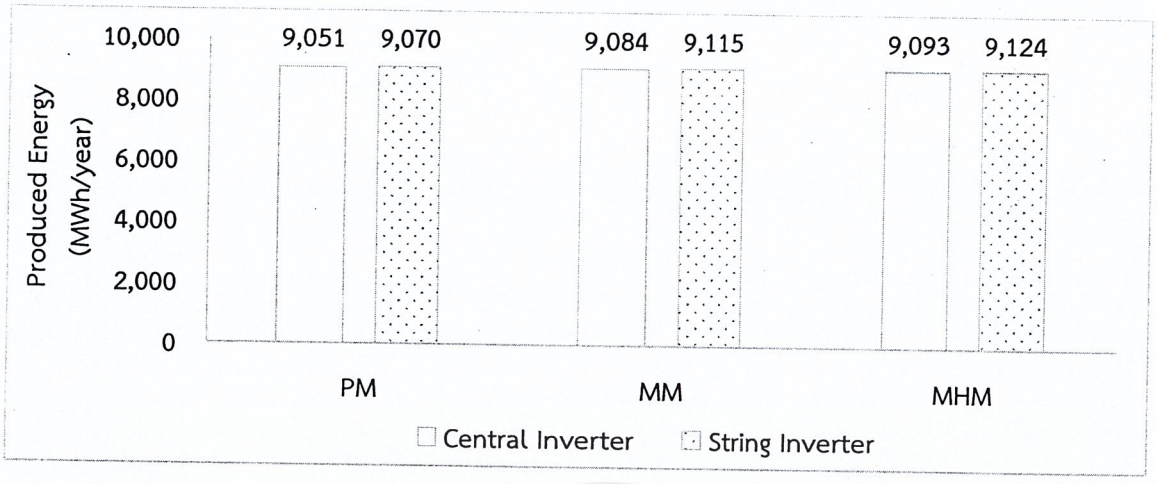
(ข)



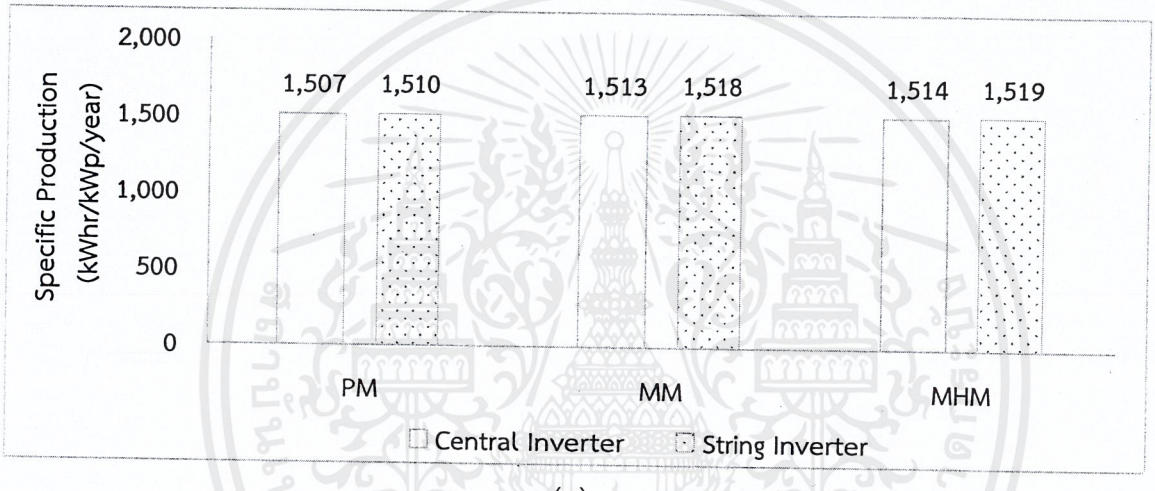
(ค)

ภาพที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด และพิจารณาตามชนิดระบบอินเวอร์เตอร์ (ก) Produced Energy (ข) Specific Production และ (ค) Performance Ratio (PR)

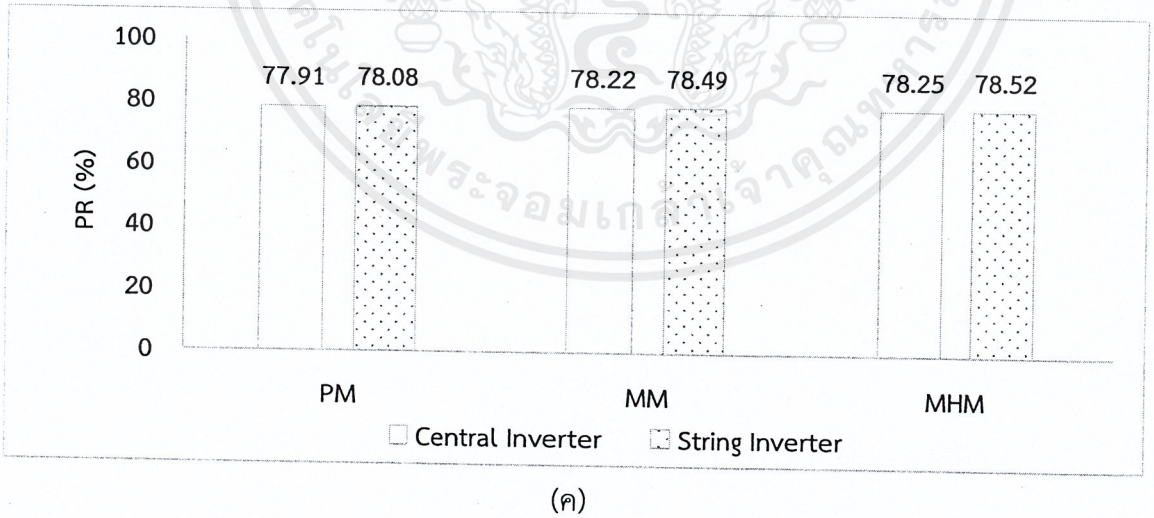
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบอินเวอร์เตอร์แต่ละชนิด และพิจารณาตามชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) Produced Energy (ข) Specific Production และ (ค) Performance Ratio (PR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter เพื่อศึกษาด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter แสดงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด

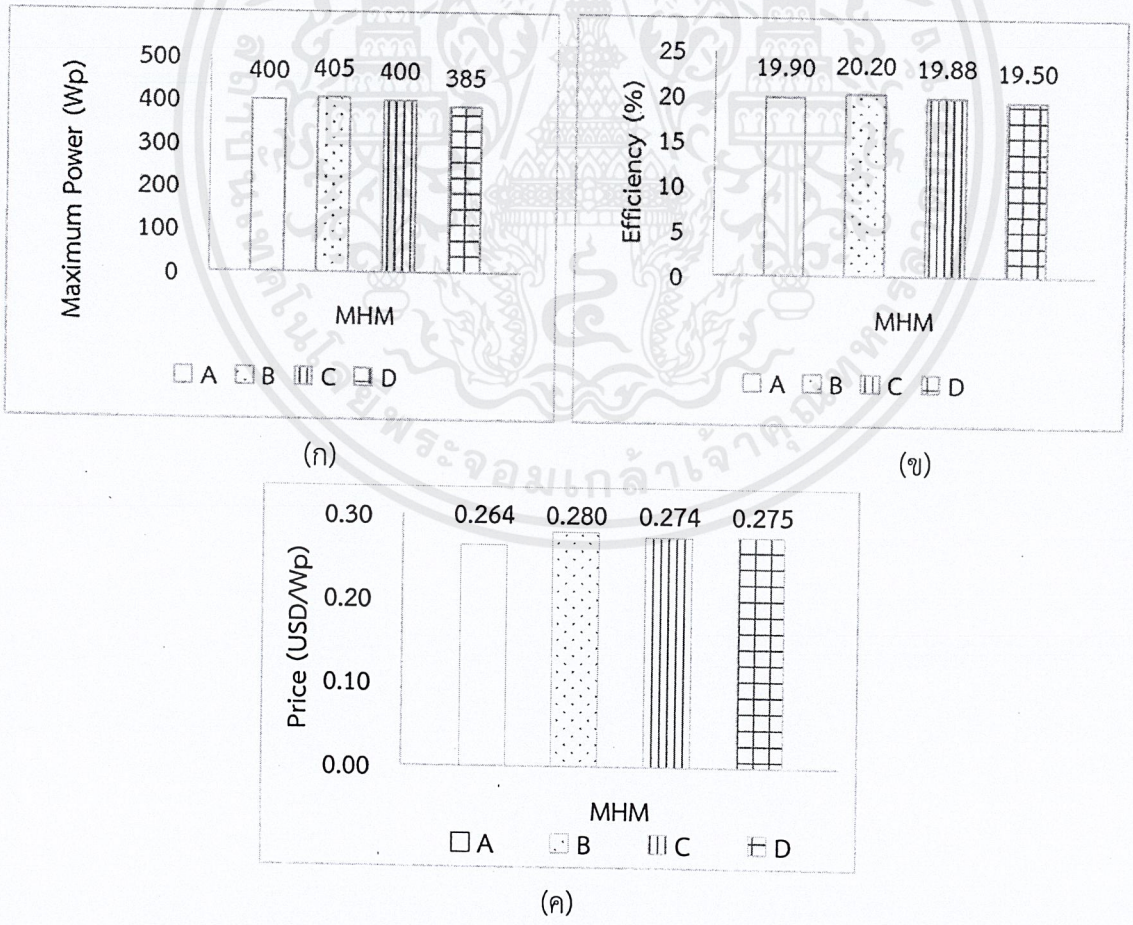
4.3.2.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM จำนวน 4 ยี่ห้อ และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter จำนวน 2 ยี่ห้อ ตามลำดับดังนี้

1) คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด ประสิทธิภาพการทำงาน และราคา (ภาพที่ 4.5) สามารถสรุปได้ดังนี้

ก) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ภาพที่ 4.5 (ก)) ยี่ห้อ B แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด, รองลงมา คือ A และ C ซึ่งมีค่าเท่ากัน, และ D แสดงค่าต่ำสุด

ข) ประสิทธิภาพการทำงาน (ภาพที่ 4.5 (ข)) ยี่ห้อ B, A, C และ D แสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานจากมากไปน้อย

ค) ราคา (ภาพที่ 4.5 (ค)) ยี่ห้อ A, C, D และ B แสดงราคาจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM
(ก) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ข) ประสิทธิภาพการทำงาน และ (ค) ราคา

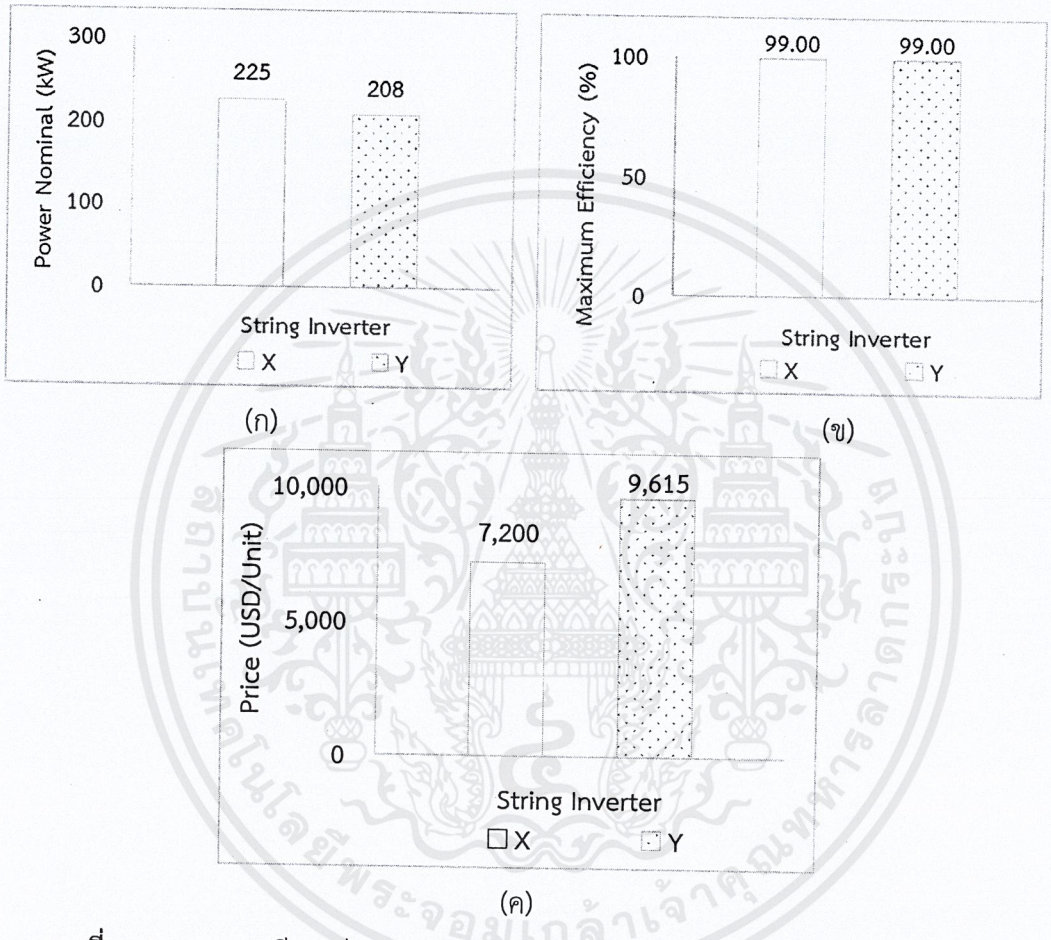
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ ได้แก่ กำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพการทำงาน และราคา (ภาพที่ 4.6) สามารถสรุปได้ดังนี้

ก) กำลังไฟฟ้า (ภาพที่ 4.6 (ก)) ยี่ห้อ X แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

ข) ประสิทธิภาพการทำงาน (ภาพที่ 4.6 (ข)) ยี่ห้อ X และ Y แสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานเท่ากัน

ค) ราคา (ภาพที่ 4.6 (ค)) ยี่ห้อ X แสดงราคาต่ำสุด

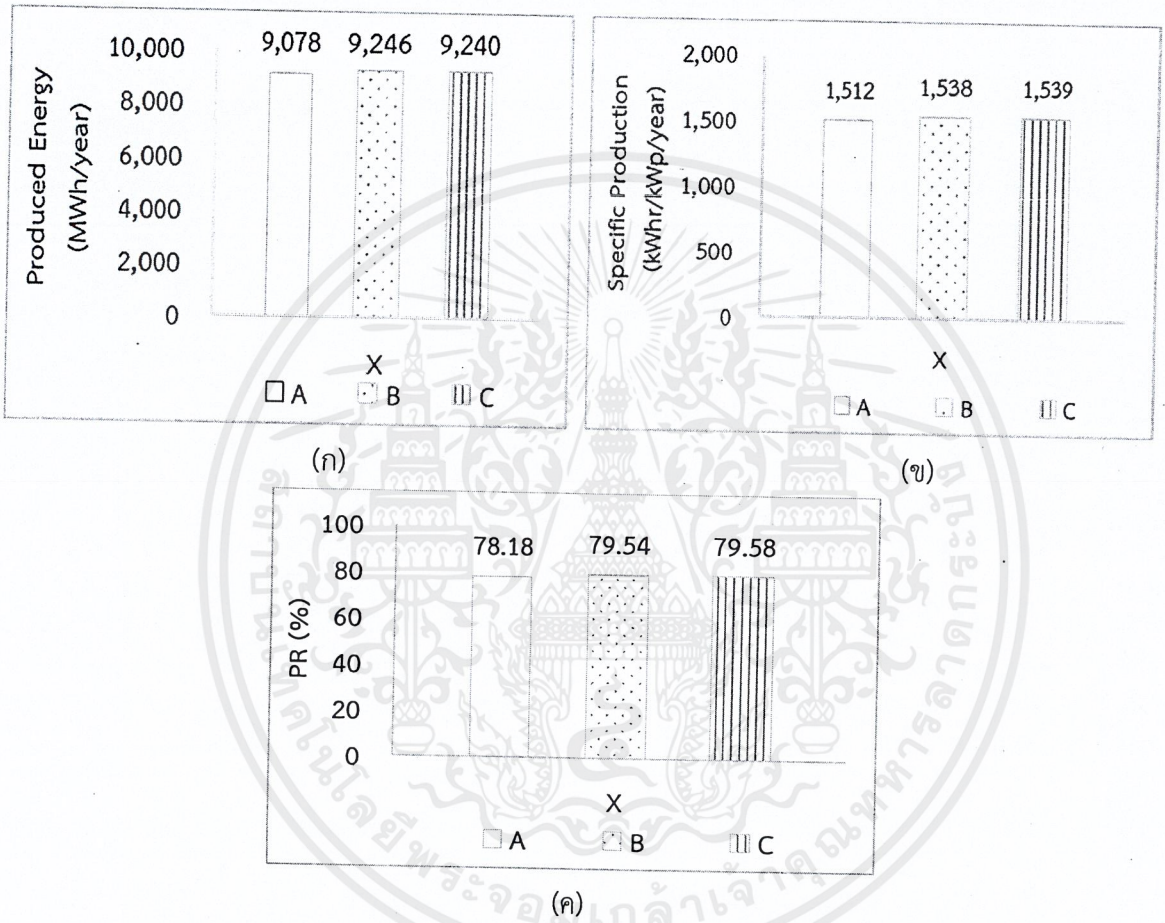


ภาพที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter (ก) กำลังไฟฟ้า (ข) ประสิทธิภาพการทำงาน และ (ค) ราคา

ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ สามารถสรุปได้ดังนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM จำนวน 4 ยี่ห้อ พบว่า ยี่ห้อ A, B และ C แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและประสิทธิภาพการทำงานใกล้เคียงกัน และยี่ห้อ B และ C แสดงราคาใกล้เคียงกัน ในขณะที่ยี่ห้อ A แสดงราคาต่ำสุด ส่วนระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter จำนวน 2 ยี่ห้อ พบว่า ยี่ห้อ X แสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและราคาต่ำสุด จึงเลือกระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

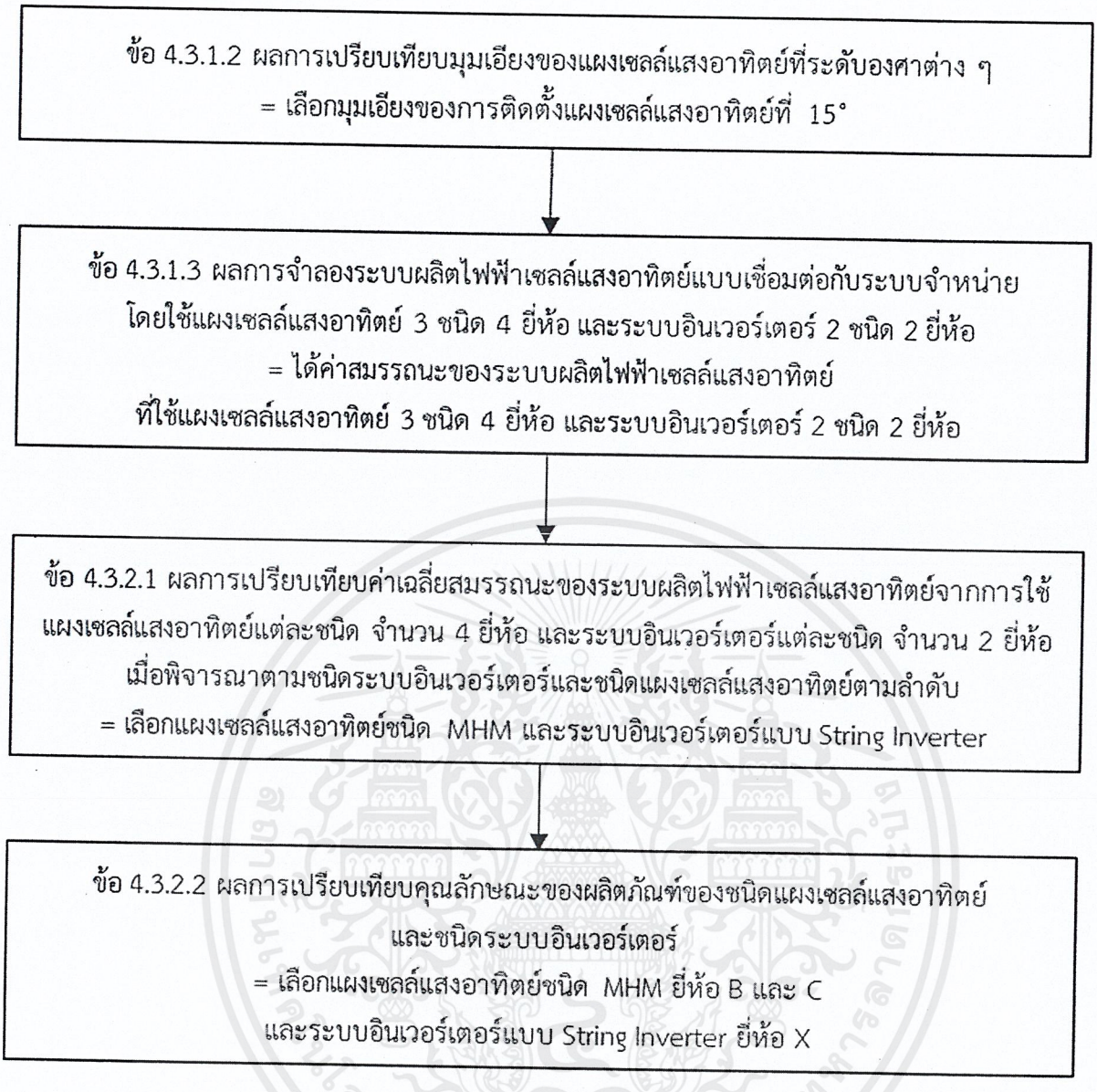
เนื่องจากไม่สามารถเลือกยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ได้ จึงเปรียบเทียบผลการจำลองสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A, B และ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (ภาพที่ 4.7) พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B และ C แสดงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สูง ซึ่งยี่ห้อ B แสดงค่า Produced Energy สูงกว่าเล็กน้อย แต่แสดงค่า Specific Production และ Performance Ratio (PR) ต่ำกว่าเล็กน้อย



ภาพที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM 3 ยี่ห้อ และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (ก) Produced Energy (ข) Specific Production และ (ค) Performance Ratio (PR)

ดังนั้นเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B และ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (สรุปผลการเลือกชนิดและยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบอินเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 4.8) เพื่อศึกษาต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 สรุปขั้นตอนการเลือกชนิดและยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบอินเวอร์เตอร์
สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW

ตัวอย่างผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW และตัวอย่างคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์แสดงดังภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการคำนวณต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

การคำนวณต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่เมืองพะอัน รัฐคะหยิ่น สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา พิจารณาตามระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B และ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X ซึ่งเลือกจากผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

เงินลงทุนของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางที่ 4.7) ได้แก่

4.4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B และ C จำนวน 14,840 และ 15,008 แผง ตามลำดับ และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X จำนวน 24 เครื่อง รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ

4.4.2 ค่าการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เช่น ค่าเดินระบบ ค่าบำรุงรักษา ค่าตรวจสอบบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 เงินลงทุนของโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW

รายการ	ยี่ห้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	
	B	C
1. ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง เช่น - แผงเซลล์แสงอาทิตย์ - อินเวอร์เตอร์ - หม้อแปลงไฟฟ้า - ระบบอาคาร - ระบบสาธารณูปโภค	4,396,176.87	4,357,507.47
2. ค่าการดำเนินงานและการบำรุงรักษา	181,728.70	181,728.70
รวมเงินลงทุนทั้งหมด (USD/Project)	**4,577,905.57**	**4,539,236.17**

หมายเหตุ 1. เงินลงทุนนี้ไม่รวมค่าที่ดิน

2. เงินลงทุนบางส่วน เช่น ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งของอุปกรณ์อื่น ๆ ระบบอาคาร ระบบสาธารณูปโภค และค่าการดำเนินงานและการบำรุงรักษา อ้างอิงจากเงินลงทุนของโครงการโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายที่แล้วเสร็จ รวมถึงได้จากการสัมภาษณ์พนักงานแผนกไฟฟ้าและแผนกโยธา ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW ณ เมืองพะอัน สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ได้รับการอนุเคราะห์การดำเนินงานจากแผนกไฟฟ้า (Electrical Department) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Division) บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) และได้ออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายโดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และศึกษาราคาต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 และส่งมอบให้กับแผนกไฟฟ้า บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ต้องการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เมืองพะอัน รัฐคะหยิ่น สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา โดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ดังนี้

5.1.1.1 พิกัดภูมิศาสตร์ของรัฐคะหยิ่นอยู่ที่ละติจูด 16 องศา 56 ลิปดา (16°56'N) และลองจิจูด 97 องศา 42 ลิปดา (97°42'E)

5.1.1.2 พื้นที่ก่อสร้างมีขนาด 162,966 m^2 และล้อมรอบทุกทิศทางด้วยแนวต้นไม้ที่มีความสูงประมาณ 9 m

5.1.1.3 กำลังผลิตติดตั้ง 6 MW

5.1.2 การใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 หัวข้อ Section ของ Project Design แบบ Grid-connected เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW มีขอบเขตดังนี้

5.1.2.1 การกำหนดกำลังผลิตติดตั้งไม่ต่ำกว่า 6 MW

5.1.2.2 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรม 28 แผง/สตริง

5.1.2.3 การกำหนดมุมเอียงและมุมอะซิมุธที่ 15°และ 0° ตามลำดับ

5.1.2.4 การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด PM, MM, และ MHM ยี่ห้อ A, B, C, และ D

5.1.2.5 การใช้ชนิดระบบอินเวอร์เตอร์แบบ Central Inverter และแบบ String Inverter ยี่ห้อ X และ Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.49 แสดงถึงความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 6 MW จากการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B หรือ C ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 405 และ 400 Wp เป็นจำนวน 14,840 และ 15,008 แผง โดยต่ออนุกรม 28 แผง/สตริง จำนวน 530 และ 536 สตริง ตามลำดับ และใช้อินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X ขนาด 225 kW จำนวน 24 เครื่อง เนื่องจากให้ค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ดังนี้

5.1.3.1 พลังงานไฟฟ้าต่อปี คือ 9,246 และ 9,240 MWh/year ตามลำดับ

5.1.3.2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังผลิตติดตั้งต่อปี คือ 1,538 และ 1,539 kWh/kWp/year ตามลำดับ

5.1.3.3 อัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยต่อปี คือ 79.54 และ 79.58% ตามลำดับ

5.1.4 ผลการคำนวณต้นทุนโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ B หรือ C โดยใช้ระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X จำนวน 24 เครื่อง คือ 4,577,905.57 หรือ 4,539,236.17 USD ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่รวมค่าที่ดินของโครงการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

กรณีที่ทราบราคาที่ดิน รวมถึงระยะเวลาโครงการและอัตราค่าไฟฟ้าจากสัญญาซื้อขายไฟฟ้าซึ่งกำหนดโดยกระทรวงไฟฟ้าและพลังงาน (Ministry of Electricity and Energy) สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา ให้คำนวณตัวชี้วัด ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายในเพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2554. **หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป.ก. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์.** [Online]. Available: http://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป.ข. **เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** [Online]. Available: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=630

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป.ค. **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.** [Online]. Available: http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf

บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน). 2557. **ข้อมูลบริษัท.** [Online]. Available: https://www.ttcl.com/about/company_profile

เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว, และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. 2561. **การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW.** การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, 95-104.

Australian National University. 1998. **The Irradiation Data.** [Online]. Available: https://users.cecs.anu.edu.au/~Andres.Cuevas/Sun/Irrad/Irradiation.html

Bhattacharjeea S. and Saharia BJ. 2014. **A Comparative Study on Converter Topologies for Maximum Power Point Tracking Application in Photovoltaic Generation.** Journal of Renewable and Sustainable Energy;6:053140,1-21.

Bloomberg Finance L.P. 2019. **BloombergNEF PV Module Tier 1 List Methodology.** [Online]. Available: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2012/12/bnef_2012-12-03_PVModuleTiering.pdf

Edison T. 2019. **Latest Tier 1 Solar Panels List 2019 (Q1, Q2, Q3 update).** [Online]. Available: https://review.solar/latest-tier-1-solar-panels-list-2019/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GWL a.s. 2020. Half Cut Solar Cells. [Online]. Available: https://www.ev-power.eu/Solar-Systems/Solar-panels-PV-module/Solar-panel-CanadianSolar-Poly-300Wp-Half-Cut-CS3K-300P.html

JinkoSolar Holding Co. , Ltd. 2018. **CheetahPerc JKM390-410 Watt.** [Online]. Available: https://www.jinkosolar.eu/files/jinko/module/datasheets%2007.2019/CheetahPerc%20JKM390-410M-72H-V-A2-EN.pdf

Marsh J. 2018. **Half-Cut Solar Cells: An Overview.** [Online]. Available: https://news.energysage.com/half-cut-solar-cells-overview/

PVSyst. 2020. **PVsyst.** [Online]. Available: https://www.pvsyst.com/

Sungrow Power Supply Co., Ltd. 2019. **SG250HX.** [Online]. Available: https://en.sungrowpower.com/sites/default/files/SG250HX_datasheet.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X

PVSYST V6.49 | 22/10/19 | Page 1/4

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : Grid-Connected Project at Kayin state Myanmar

Geographical Site Kayin State — Country: Myanmar

Situation — Latitude: 16.94° N — Longitude: 97.70° E
Time defined as — Legal Time: Time zone UT+7 — Altitude: 32 m
Albedo: 0.20

Meteo data: Kayin State — MeteoNorm file - Synthetic

Simulation variant : Jinko 400 Wp +Sungrow 225 kW
Simulation date: 22/10/19 16h58

Simulation parameters

Collector Plane Orientation — Tilt: 15° — Azimuth: 0°
Models used — Transposition: Perez — Diffuse: Perez, Meteonorm
Horizon — Free Horizon
Near Shadings — Linear shadings

PV Array Characteristics

PV module — Si-mono — Model: **JKM 400M-72H-V**
Custom parameters definition — Manufacturer: Jinkosolar
Number of PV modules — In series: 28 modules — In parallel: 536 strings
Total number of PV modules — Nb. modules: 15008 — Unit Nom. Power: 400 Wp
Array global power — Nominal (STC): **6003 kWp** — At operating cond.: 5492 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C) — U mpp: 1035 V — I mpp: 5308 A
Total area — Module area: **30196 m²** — Cell area: 27231 m²

Inverter — Model: **SG250HX**
Custom parameters definition — Manufacturer: Sungrow
Characteristics — Operating Voltage: 600-1500 V — Unit Nom. Power: 225 kWac
Max. power (=>30°C): 250 kWac
Inverter pack — Nb. of inverters: 288 * MPPT 8 % — Total Power: 5400 kWac

PV Array loss factors

Array Soiling Losses — Loss Fraction: 2.0 %
Thermal Loss factor — Uc (const): 20.0 W/m²K — Uv (wind): 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss — Global array res.: 1.1 mOhm — Loss Fraction: 0.5 % at STC
LID - Light Induced Degradation — Loss Fraction: 2.5 %
Module Quality Loss — Loss Fraction: 0.0 %
Module Mismatch Losses — Loss Fraction: 2.0 % at MPP
Incidence effect, user defined profile

0°	30°	50°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
1.00	1.00	1.00	0.96	0.92	0.86	0.76	0.53	0.00

System loss factors

AC wire loss inverter to transfo — Inverter voltage: 800 Vac tri
External transformer — Wires: 3x4000.0 mm² — 229 m — Loss Fraction: 1.0 % at STC
Iron loss (24H connexion) — 5964 W — Loss Fraction: 0.1 % at STC
Resistive/Inductive losses — 1.1 mOhm — Loss Fraction: 1.0 % at STC

User's needs : Unlimited load (grid)

PVsyst Licensed to TTCL Public Company Limited (Thailand)

ภาพที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.49		22/10/19	Page 2/4

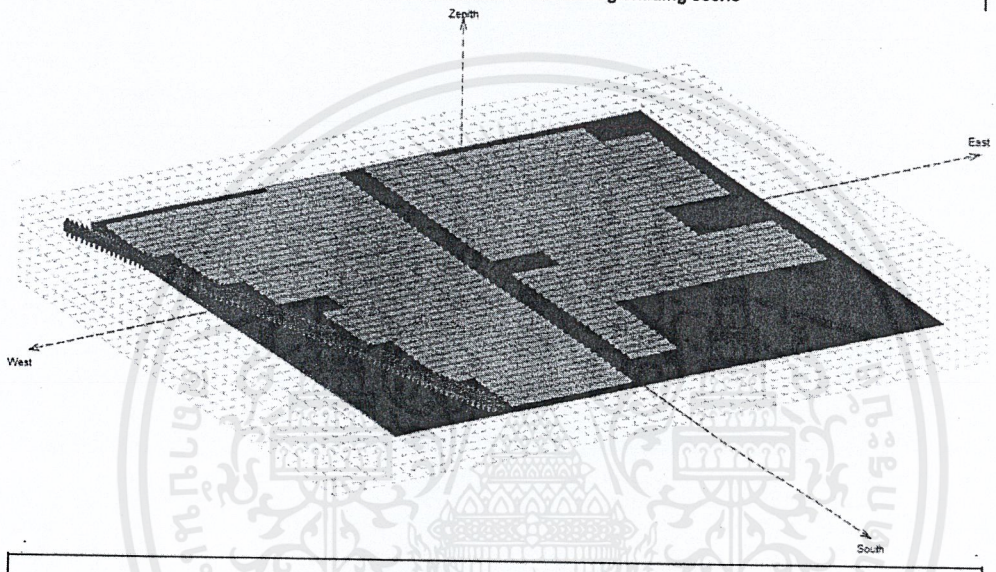
Grid-Connected System: Near shading definition

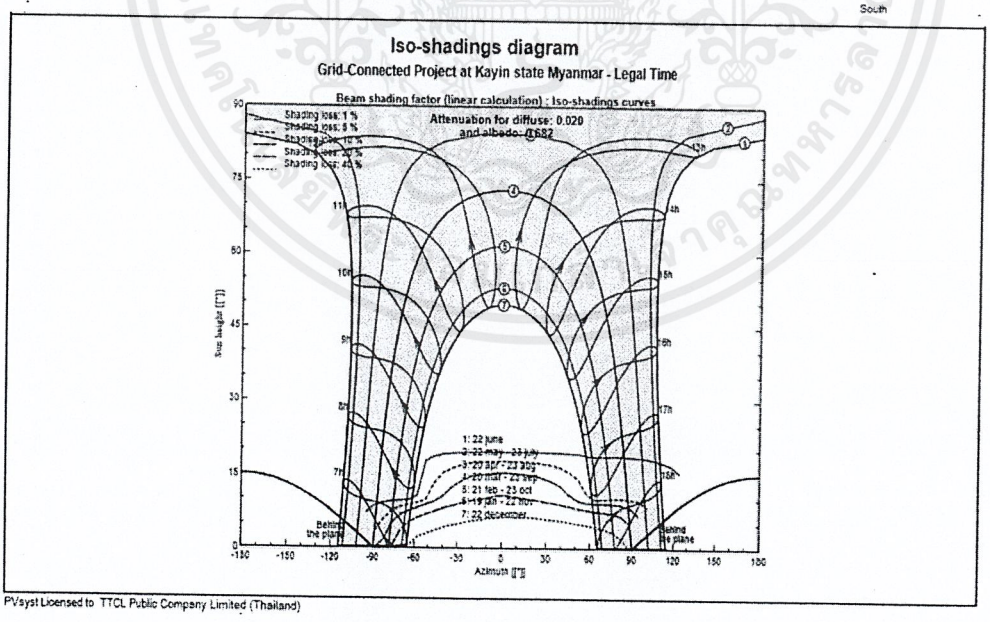
Project : **Grid-Connected Project at Kayin state Myanmar**

Simulation variant : **Jinko 400 Wp +Sungrow 225 kW**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	JKM 400M-72H-V	Pnom	400 Wp
PV Array	Nb. of modules	15008	Pnom total	**6003 kWp**
Inverter	Model	SG250HX	Pnom	225 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	24.0	Pnom total	**5400 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene





PVsyst Licensed to TTCL Public Company Limited (Thailand)

ภาพที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.49		22/10/19	Page 3/4

Grid-Connected System: Main results

Project : **Grid-Connected Project at Kayin state Myanmar**

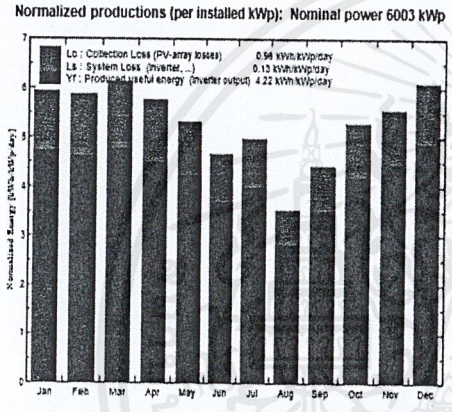
Simulation variant : **Jinko 400 Wp +Sungrow 225 kW**

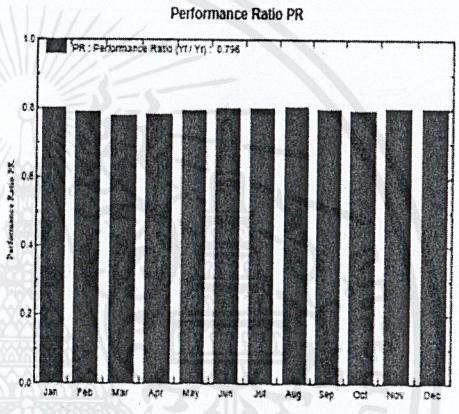
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	JKM 400M-72H-V	Pnom	400 Wp
PV Array	Nb. of modules	15008	Pnom total	**6003 kWp**
Inverter	Model	SG250HX	Pnom	225 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	24.0	Pnom total	**5400 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

System Production — **Produced Energy** **9240 MWh/year** Specific prod. 1539 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 79.58 %





Jinko 400 Wp +Sungrow 225 kW

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	156.2	23.90	183.9	176.5	911.5	885.1	16.41	15.94
February	147.9	26.17	164.3	157.3	802.7	779.6	16.18	15.71
March	181.5	28.76	190.5	182.1	918.6	892.0	15.96	15.50
April	174.2	29.93	173.1	164.7	836.7	812.6	16.01	15.55
May	173.4	28.20	165.2	157.1	811.3	787.8	16.26	15.79
June	149.0	26.98	139.6	132.4	691.3	671.2	16.40	15.93
July	163.6	27.17	154.4	146.5	765.7	743.9	16.42	15.95
August	112.3	27.00	109.3	103.1	543.9	527.6	16.48	15.99
September	130.3	26.60	132.4	125.8	653.5	634.2	16.34	15.86
October	152.4	27.10	164.6	156.9	809.4	786.4	16.28	15.82
November	145.4	25.26	166.9	159.9	828.5	804.7	16.44	15.97
December	157.0	23.86	189.8	182.6	942.2	914.7	16.44	15.96
Year	1843.2	26.74	1934.1	1844.9	9515.5	9239.7	16.29	15.82

Legends:

GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

PVsyst Licensed to TTCL Public Company Limited (Thailand)

ภาพที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PVSYST V6.49		22/10/19	Page 4/4

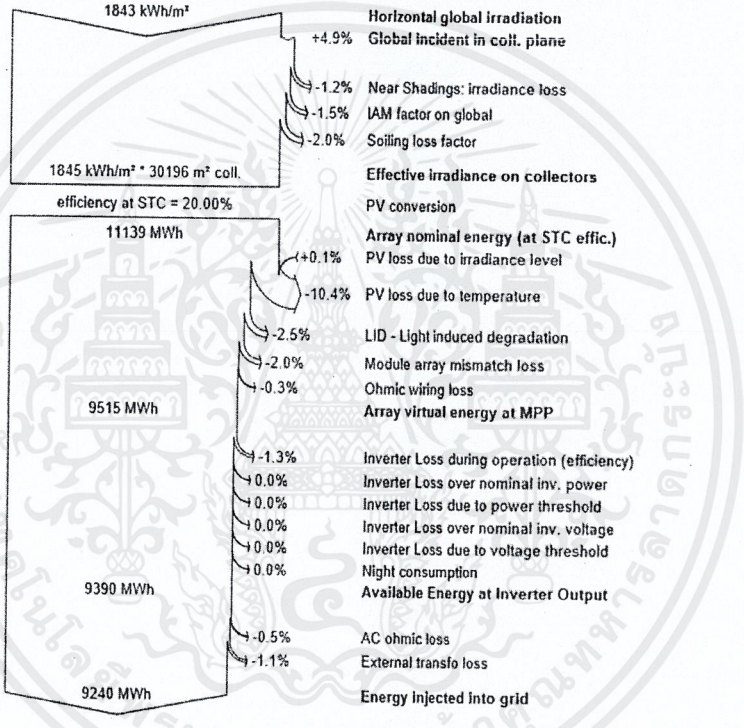
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Kayin state Myanmar**

Simulation variant : **Jinko 400 Wp +Sungrow 225 kW**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
Near Shadings	Linear shadings			
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	JKM 400M-72H-V	Pnom	400 Wp
PV Array	Nb. of modules	15008	Pnom total	**6003 kWp**
Inverter	Model	SG250HX	Pnom	225 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	24.0	Pnom total	**5400 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



PVsyst Licensed to TTCL Public Company Limited (Thailand)

ภาพที่ ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (ต่อ)

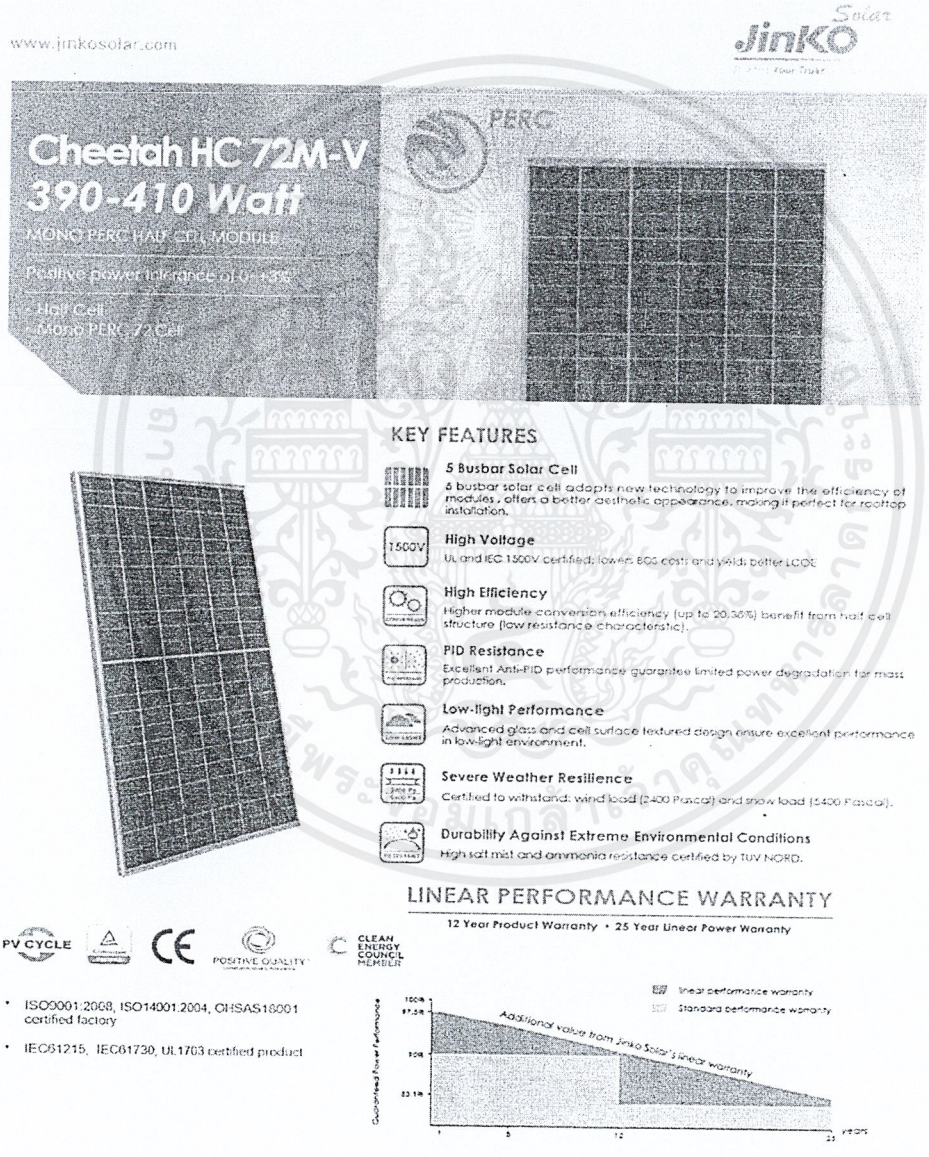
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C และระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด 6 MW ที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

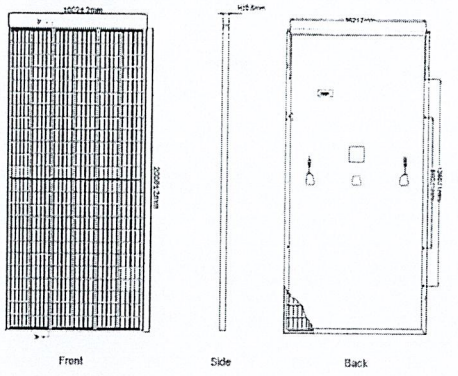
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ MHM ยี่ห้อ C หรือยี่ห้อ Jinko Solar ขนาด 400 Wp รุ่น JKM400M-72H-V

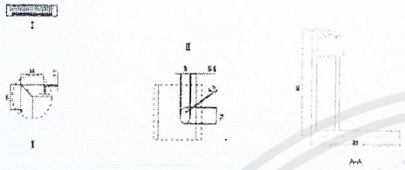


ภาพที่ ข.1 คุณลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C (Jinko Solar. 2019)

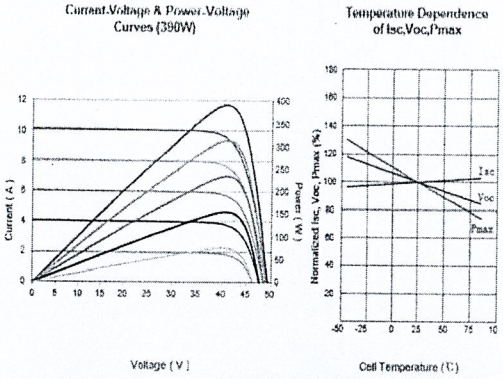
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Engineering Drawings





Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No.of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1x4.0mm², Anode 290mm, Cathode 145mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets =One stack)

27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H-V		JKM395M-72H-V		JKM400M-72H-V		JKM405M-72H-V		JKM410M-72H-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (℃)	-40℃~+85℃									
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/℃									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/℃									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/℃									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2℃									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

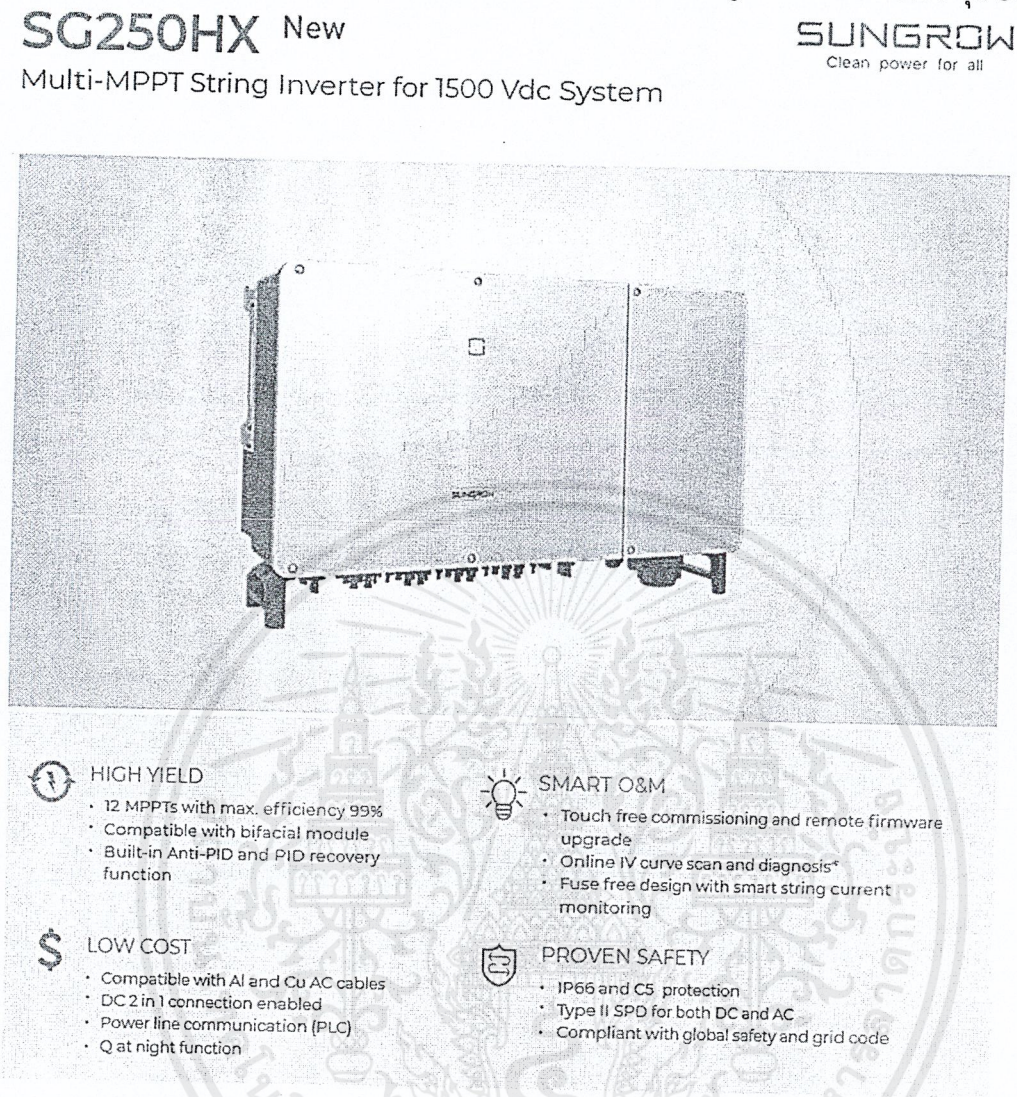
NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

ภาพที่ ข.1 คุณลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด MHM ยี่ห้อ C (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X หรือยี่ห้อ Sungrow ขนาด 225kW รุ่น SG250HX



ภาพที่ ข.2 คุณลักษณะระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (Sungrow. 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type designation	SG250HX
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	600 V / 600 V
Nominal PV input voltage	1160 V
MPP voltage range	600 V – 1500 V
MPP voltage range for nominal power	860 V – 1300 V
No. of independent MPP inputs	12
Max. number of input connectors per MPPT	2
Max. PV input current	26 A * 12
Max. current for input connector	30 A
Max. DC short-circuit current	50 A * 12
Output (AC)	
AC output power	250 kVA @ 30 °C / 225 kVA @40 °C / 200 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	180.5 A
Nominal AC voltage	3 / PE, 800 V
AC voltage range	680 – 880V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency	99.0 %
European efficiency	98.8 %
Protection	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch	Yes
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
Q at night function	Yes
PID protection	Anti-PID or PID recovery
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type II
General Data	
Dimensions (W*H*D)	1051 * 660 * 363 mm
Weight	95kg
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP66
Night power consumption	< 2 W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / PLC
DC connection type	Amphenol UTX (Max. 6 mm²)
AC connection type	OT terminal (Max. 300 mm²)
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-3, EN 50549, UNE 206007-1:2013, P.O.12.3, UTE C15-712-1:2013
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT,active & reactive power control and power ramp rate control

*: Only compatible with Sungrow logger and iSolarCloud

ภาพที่ ข.2 คุณลักษณะระบบอินเวอร์เตอร์แบบ String Inverter ยี่ห้อ X (Sungrow. 2019) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวศิรดา เจียรพงศ์ปกรณ์

วัน เดือน ปีเกิด 15 สิงหาคม 2541

ที่อยู่ 299/55 ซอยสุขุมวิท 66/1 ถนนสุขุมวิท แขวงพระโขนงใต้ เขตพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10260

E-mail muicinj@hotmail.com

โทรศัพท์ 061-386-5826

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2553-2558 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน กลุ่มกำกับการอนุรักษ์พลังงาน 1 กองกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ระหว่างวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 31 กรกฎาคม 2562
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ตำแหน่งนักศึกษาฝึกงาน แผนกไฟฟ้า ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ระหว่างวันที่ 5 สิงหาคม ถึง 22 พฤศจิกายน 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้