



รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การอบรมเชิงปฏิบัติการด้านการออกแบบ ติดตั้ง และประยุกต์ใช้งานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า
จากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบยั่งยืน สำหรับภาคครัวเรือน

WORKSHOP ON DESIGN, INSTALLATION AND APPLICATION TO PRODUCE SUSTAINABLE
ELECTRICITY FROM SOLAR CELLS
FOR THE HOUSEHOLD SECTOR

โดย

สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ

พนา ดุสิตากร

สุรเชษฐ เดชฟุ้ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เดือนกันยายน ปี พ.ศ. ๒๕๖๖

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๖

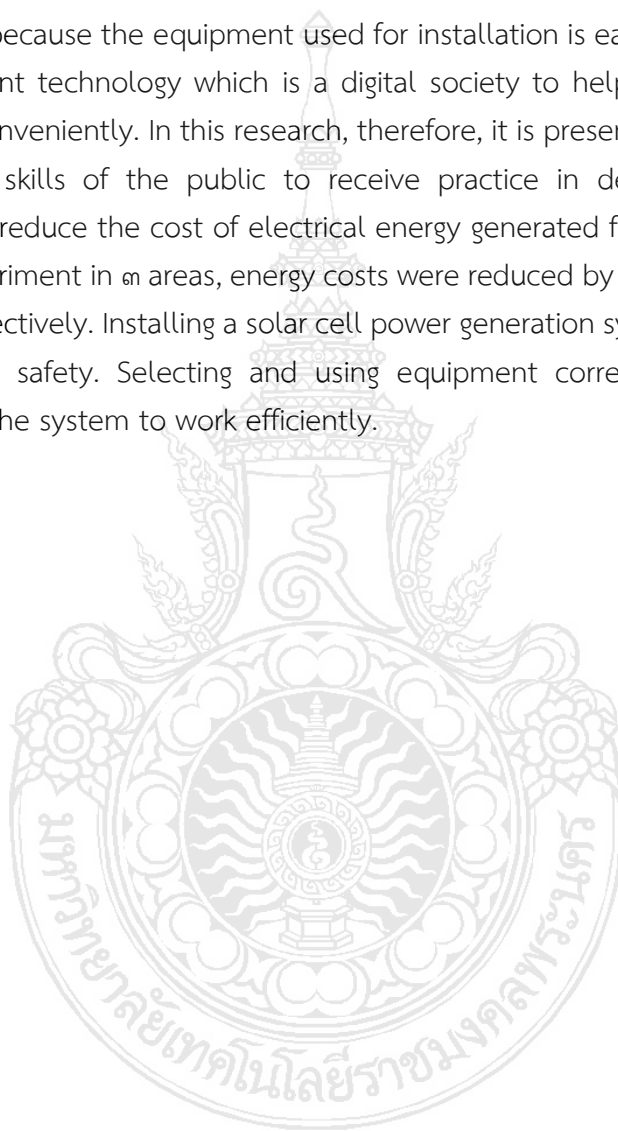
กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

บทคัดย่อ

การใช้พลังงานไฟฟ้าประเภทอยู่อาศัยมีความแปรผันตามระดับรายได้พื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมสูงกว่าพื้นที่ที่มีประชากรเบาบางเป็นผลมาจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและความสะดวกในการคมนาคม การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในบ้านอยู่อาศัยเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งเป็นสิ่งที่เข้าถึงได้ง่ายและยังสามารถใช้เทคโนโลยีปัจจุบันซึ่งเป็นสังคมดิจิทัลช่วยในการเข้าถึงข้อมูลส่วนที่เกี่ยวข้องได้สะดวก ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอในส่วนที่เป็นการเพิ่มทักษะของประชาชนทั่วไปให้ได้รับการฝึกปฏิบัติด้านการออกแบบ ติดตั้ง และประยุกต์ใช้งานเพื่อนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองจำนวน ๓ พื้นที่ มีการลดค่าพลังงานได้ ๑๘.๗๕% ๒๓.๔๕% และ ๒๓.๘๗% ตามลำดับพื้นที่ ซึ่งการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต้องอาศัยทักษะและต้องคำนึงถึงความปลอดภัย การเลือกใช้งานอุปกรณ์อย่างถูกต้องและได้มาตรฐาน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

Residential electrical energy use varies with income level. Densely populated areas have higher overall electrical energy use than sparsely populated areas because of economic growth and convenience of transportation. Installing an electrical energy production system from solar cells for use in homes is one option that is popular today. This is because the equipment used for installation is easily accessible and can also use current technology which is a digital society to help in accessing relevant information conveniently. In this research, therefore, it is presented in the section that increases the skills of the public to receive practice in design, installation, and application to reduce the cost of electrical energy generated from solar cell systems. From the experiment in ๓ areas, energy costs were reduced by ๑๘.๗๕%, ๒๓.๔๕%, and ๒๓.๘๗%, respectively. Installing a solar cell power generation system requires skill and must consider safety. Selecting and using equipment correctly and according to standards for the system to work efficiently.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับจัดสรรงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๖

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเพื่อข้อมูล บุคลากรและสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงการสนับสนุนทรัพยากรในทุกส่วนของการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงและผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ซึ่งประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณา ของทุกท่าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดีและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสพวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปประกอบ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ ๑ บทนำ	๑
๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	๑
๑.๒ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	๔
๑.๓ ขอบเขตของโครงการวิจัย	๔
๑.๔ ขั้นตอนดำเนินโครงการวิจัย	๔
๑.๕ ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	๔
บทที่ ๒ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	๕
๒.๑ บทนำ	๕
๒.๒ หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	๕
๒.๓ แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์	๖
๒.๔ แผงเซลล์แสงอาทิตย์	๑๒
๒.๕ อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	๒๓
๒.๖ ความคุ้มค่าของโครงการ	๒๘
๒.๗ นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	๓๐
๒.๘ การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	๓๓
บทที่ ๓ วิธีดำเนินการวิจัย	
๓.๑ บทนำ	๔๒
๓.๒ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านอยู่อาศัย	๔๒
๓.๓ การฝึกทักษะติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	๔๔

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ ๔ ผลการวิจัย	
๔.๑ บทนำ	๕๒
๔.๒ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	๕๒
บทที่ ๕ สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	๕๘
๕.๑ สรุป อภิปรายผล	๕๘
๕.๒ ข้อเสนอแนะ	๕๙
บรรณานุกรม	๖๐



สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
๒.๑	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ P-Type	๕
๒.๒	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติขนาดหนึ่งเซลล์	๖
๒.๓	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณขนาดหนึ่งเซลล์	๗
๒.๔	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบหนึ่งไดโอดขนาดหนึ่งเซลล์	๗
๒.๕	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งเซลล์	๘
๒.๖	แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งโมดูล	๑๑
๒.๗	เซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม ๒ เซลล์	๑๒
๒.๘	ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	๑๓
๒.๙	ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม ๓๖ เซลล์	๑๓
๒.๑๐	พาแนลต่อแบบสตริงและอาร์เรย์	๑๔
๒.๑๑	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	๑๕
๒.๑๒	แรงดันไฟฟ้าและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง	๑๖
๒.๑๓	แรงดันไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ	๑๗
๒.๑๔	คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Jinko ๕๘๐ W	๑๗
๒.๑๕	คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ LONGI Solar ๔๓๕ W	๑๘
๒.๑๖	แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม	๒๐
๒.๑๗	แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบขนาน	๒๐
๒.๑๘	แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกรณีแรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน	๒๑
๒.๑๙	แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน	๒๑
๒.๒๐	แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบขนานกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน	๒๒
๒.๒๑	เซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์	๒๓
๒.๒๒	ไดอะแกรมของเซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์	๒๔
๒.๒๓	สตริงอินเวอร์เตอร์	๒๕
๒.๒๔	ไดอะแกรมของสตริงอินเวอร์เตอร์	๒๕
๒.๒๕	ไฮบริดอินเวอร์เตอร์	๒๖
๒.๒๖	ไดอะแกรมของไฮบริดอินเวอร์เตอร์	๒๖

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๒.๒๗ ไมโครอินเวอร์เตอร์	๒๗
๒.๒๘ ไดอะแกรมของไมโครอินเวอร์เตอร์	๒๗
๒.๒๙ การรับซื้อไฟฟ้าโครงการโซลาร์ภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย	๓๑
๒.๓๐ ขั้นตอนการเข้าร่วมโครงการโซลาร์ภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย	๓๒
๒.๓๑ เครื่องมืองานช่างติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	๓๓
๒.๓๒ เครื่องมืองานช่างทั่วไปสำหรับติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์	๓๔
๒.๓๓ เกตกรกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๕
๒.๓๔ การเคลื่อนย้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๕
๒.๓๕ ทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๖
๒.๓๖ รางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๖
๒.๓๗ อุปกรณ์ต่อรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๗
๒.๓๘ อุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๗
๒.๓๙ อุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๓๘
๒.๔๐ อุปกรณ์ยึดหลังคา	๓๘
๒.๔๑ อุปกรณ์จับยึดสายกราวด์	๓๙
๒.๔๒ อุปกรณ์แผ่นยึดต่อกราวด์	๓๙
๒.๔๓ อุปกรณ์ตัดวงจรแบบ RCBO	๔๐
๒.๔๔ อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ	๔๑
๓.๑ ไดอะแกรมการเชื่อมต่อของผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบ ๒๒๐ โวลต์	๔๓
๓.๒ การติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคา	๔๔
๓.๓ การติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคาบนหลังคาแบบเมทัลชีท	๔๕
๓.๔ การติดตั้งรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๔๕
๓.๕ การติดตั้งรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเมทัลชีท	๔๖
๓.๖ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดสายกราวด์	๔๗
๓.๗ การติดตั้งอินเวอร์เตอร์	๔๘

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
๓.๘	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๔๘
๓.๙	การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๔๙
๓.๑๐	การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์	๕๐
๓.๑๑	การติดตั้งสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน	๕๑
๔.๑	การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑	๕๔
๔.๒	การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๒	๕๔
๔.๓	การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๓	๕๕
๔.๔	พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑	๕๕
๔.๕	พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๒	๕๖
๔.๖	พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๓	๕๖



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
๒.๑	แพ็คเกจข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์
๒.๒	ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
๔.๑	พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖
๔.๒	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖



บทที่ ๑

บทนำ

๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบริหารจัดการพลังงานให้มีความต่อเนื่องและมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นถูกคาดการณ์โดยกระทรวงพลังงาน การปรับตัวที่ก้าวไปสู่ยุคเปลี่ยนผ่านด้านพลังงาน (Energy Transition) นอกจากจะต้องสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน ยังต้องเปลี่ยนแปลงเชิงนโยบายและการดำเนินการหลายด้านเพื่อขับเคลื่อนประเทศเข้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) รวมถึงการส่งเสริมการผลิตพลังงานสะอาดให้เป็นไปตามเป้าหมาย การปรับตัวเพื่อรองรับและส่งเสริมการผลิตพลังงาน เพื่อลดผลกระทบต่อประชาชนและผู้ประกอบการ

ตามนโยบายด้านพลังงานที่ปรากฏในคำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรีแถลงต่อรัฐสภาในวันที่ ๒๕ กรกฎาคม ๒๕๖๒ ข้อ ๕ การพัฒนาเศรษฐกิจและความสามารถในการแข่งขันของไทย หัวข้อที่ ๕.๖ พัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐาน ข้อย่อยที่ ๕.๖.๓ เสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยกระจายชนิดของเชื้อเพลิงทั้งจากฟอสซิลและจากพลังงานทดแทนอย่างเหมาะสม สนับสนุนการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนตามศักยภาพของแหล่งเชื้อเพลิงในพื้นที่ เปิดโอกาสให้ชุมชนและประชาชนมีส่วนร่วมในการผลิตและบริหารจัดการพลังงาน ส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B๒๐ และ B๑๐๐ เพื่อเพิ่มการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และจัดทำแนวทางการใช้มาตรฐานน้ำมัน EURO๕ ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงาน อาทิ เทคโนโลยีระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และระบบกักเก็บพลังงาน รวมทั้งสนับสนุนให้เกิดโครงสร้างตลาดไฟฟ้ารูปแบบใหม่ อาทิ แพลตฟอร์มตลาดกลางซื้อขายพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้ารูปแบบใหม่ อาทิ ระบบหักลบหน่วยไฟฟ้าสุทธิ พร้อมทั้งปรับปรุงระบบการกำกับดูแลกิจการด้านพลังงานให้มีการแข่งขันอย่างเสรีและเป็นธรรม ราคาพลังงานสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและรูปแบบธุรกิจด้านพลังงานในอนาคต ดำเนินการให้มีการสำรวจและค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ และร่วมมือกับประเทศเพื่อนบ้าน ในการพัฒนาพลังงาน และข้อย่อยที่ ๕.๖.๔ ยกระดับโครงข่ายระบบไฟฟ้าและพลังงานให้มีความทันสมัย ทัวถึง เพียงพอ มั่นคง และมีเสถียรภาพ โดยจัดทำแผนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะทั้งระบบให้สามารถรองรับเทคโนโลยีด้านพลังงานสมัยใหม่ในอนาคต มุ่งเน้นการพัฒนาโครงข่ายภายในประเทศให้เชื่อมต่อระบบเศรษฐกิจภาคตะวันตก ตะวันออกเหนือ และใต้ เพื่อให้สามารถบริหารจัดการระบบไฟฟ้าและพลังงานระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ ได้อย่างมั่นคง และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในภาคการผลิต ซึ่งสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) คาดการณ์แนวโน้มการใช้พลังงาน ปี ๒๕๖๖ โดยความต้องการใช้พลังงานขั้นต้นของประเทศจะเพิ่มขึ้น ๒.๗% อยู่ที่ ๒,๑๑๑ พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน จากความต้องการเดินทางที่มีแนวโน้มกลับมาเป็นปกติมากขึ้นทั้งการเดินทางภายในประเทศและการเดินทางระหว่างประเทศ รวมทั้งการขยายตัวของการลงทุนทั้งการลงทุน

ภาคเอกชนและภาครัฐ ตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจ โดยเป็นการใช้น้ำมันที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น ๔.๒% ก๊าซธรรมชาติคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ๑.๘% การใช้ถ่านหิน/ลิกไนต์คาดว่าจะเพิ่มขึ้น ๑.๑% และการใช้ไฟฟ้าพลังน้ำและไฟฟ้านำเข้า คาดว่าจะเพิ่มขึ้น ๔.๔%

Tosapol Apaitan and Wichsinee Wibulpolprasert ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยมีข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทครัวเรือนทั้งหมดในเขต กฟภ. ระหว่างปี ค.ศ. ๒๐๑๓-๒๐๑๖ และใช้ข้อมูลมิเตอร์ไฟฟ้าประมาณ ๑๕-๑๖ ล้านมิเตอร์ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตและสามารถสรุปหัวข้อที่สนใจได้ คือ ๑) การใช้ไฟฟ้าครัวเรือนมีความแปรผันตามอุณหภูมิและระดับรายได้ กล่าวคือ โดยเฉลี่ยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทครัวเรือนในเขต กฟภ. ใช้ไฟฟ้าประมาณ ๙๐-๑๔๐ หน่วยต่อเดือน (หรือเท่ากับ ๓-๔ หน่วยต่อวัน) และเทียบเท่ากับค่าไฟฟ้าประมาณ ๒๕๓-๔๑๔ บาทต่อเดือน ๒) พื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมสูงกว่าพื้นที่ที่มีประชากรเบาบาง ซึ่งในประเด็นนี้ทำให้สะท้อนว่ามีครัวเรือนรายได้สูงอาศัยอยู่มากเนื่องจากความเจริญทางเศรษฐกิจและความสะดวกในการคมนาคม ๓) การใช้ไฟฟ้าในภาคครัวเรือนมีความยืดหยุ่นต่อราคาต่ำ โดยครัวเรือนที่ใช้ไฟฟ้ามากจะมีรายได้สูง ซึ่งมีความยืดหยุ่นต่อราคาต่ำกว่าครัวเรือนที่ใช้ไฟฟ้าน้อยจะมีรายได้ต่ำ

รศ.ดร.รองฤทธิ์ ฉัตรถาวร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้กล่าวไว้ในบทความ ติดโซลาร์เซลล์ลดค่าไฟคุ้มจริงไหม ซึ่งการติดตั้งโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในบ้านเพื่อทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะช่วยลดค่าไฟฟ้าได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะลดค่าไฟฟ้าได้นั้นยังมีสิ่งที่ประชาชนต้องคำนึงถึงคือต้นทุนในการติดตั้งโซลาร์เซลล์ โดยการติดตั้งโซลาร์เซลล์ ๑ กิโลวัตต์ มีต้นทุน ๓๐,๐๐๐ - ๕๐,๐๐๐ บาท ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแผงและอุปกรณ์แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับ (Inverter) ซึ่งตามประกาศของการไฟฟ้าระบุไว้ว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า ๓ เฟส จะติดตั้งได้ไม่เกิน ๑๐ กิโลวัตต์ ส่วนบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า ๑ เฟส จะติดตั้งได้ไม่เกิน ๕ กิโลวัตต์ โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยใช้ไฟตอนกลางวันมีแสงแดดปกติ ก็จะสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ ๘๐-๑๒๐ บาท ต่อวัน หรือหากในเดือนนั้นเป็นเดือนที่แดดออกดีก็จะสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ถึง ๒,๔๐๐ - ๓,๖๐๐ บาทต่อเดือน ซึ่งระยะเวลาความคุ้มทุนนั้นต้องขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า หากใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันมากเป็นประจำจะช่วยคืนทุนได้เร็ว แต่หากใช้ไฟฟ้าเฉพาะช่วงกลางคืนเป็นประจำจะคืนทุนช้า เนื่องจากการขายไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แก่การไฟฟ้า เราจะได้ในอัตรา ๒.๒ บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งยังน้อยเมื่อเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ซึ่งโดยเฉลี่ยความคุ้มทุนจะอยู่ที่ประมาณ ๔-๘ ปี

รูปแบบติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์เพื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านโดยส่วนมากจะมี ๓ รูปแบบ คือ ๑) แบบออนกริด (On Grid) คือ การใช้โซลาร์เซลล์จ่ายไฟฟ้าควบคู่กับการรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ๒) แบบออฟกริด (Off Grid) คือ การใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์เพียงอย่างเดียว ไม่พึ่งพาการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า การติดตั้งแบบนี้ ต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อเก็บไฟฟ้าไว้ในช่วงกลางคืน สำหรับการติดตั้งแบบนี้อาจไม่เหมาะสมจาก ๒ ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ ๑ ต้นทุนแบตเตอรี่ราคาสูง หากโซลาร์เซลล์มี

ต้นทุน ๒๐๐,๐๐๐ บาท ค่าแบตเตอรี่อาจสูงถึง ๑๐๐,๐๐๐ บาท ปัจจัยที่ ๒ คือ การผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มีความผันผวนไม่แน่นอนหากไม่มีแบตเตอรี่และไม่มีการซื้อไฟจากการไฟฟ้า จะทำให้เกิดเหตุการณ์ไฟดับได้ ๓) แบบไฮบริด (Hybrid) คือ การใช้ไฟฟ้าจากทั้งจากโซลาร์เซลล์และการไฟฟ้า โดยมี การติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อเก็บกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ไว้ใช้ในช่วงกลางคืน แต่หากไฟฟ้าไม่เพียงพอก็สามารถดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ได้หากพิจารณาด้านความคุ้มค่า การติดตั้งโซลาร์เซลล์ในรูปแบบที่ ๑ หรือ On Grid คุ้มทุนไวที่สุด เนื่องจากไม่ต้องมีต้นทุนเรื่องแบตเตอรี่ จึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุนไวกว่าแบบอื่น การสำรวจปัจจัยสำคัญก่อนลงทุนติดตั้งโซลาร์เซลล์ในบ้านควรพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน หากครัวเรือนไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันแต่ใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางคืนเป็นประจำก็อาจไม่คุ้มค่ากับการติดตั้ง ขณะเดียวกันต้องมีพื้นที่เพียงพอต่อการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ด้วย โดยที่ ๑ กิโลวัตต์ ต้องใช้พื้นที่ประมาณ ๗-๘ ตารางเมตร ส่วนตำแหน่งในการติดตั้งก็ต้องหันไปทิศทางรับแสงแดดได้ดี ซึ่งจากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน พบว่า ควรติดตั้งหันไปทางทิศใต้ทำมุม ๑๕ องศาจากพื้นดิน จะทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด และไม่ควรมีอาคารหรือต้นไม้มาบดบัง นอกจากนี้ภายในบ้านควรมีพื้นที่ใช้สอยที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์สนับสนุนการใช้งาน

งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอโครงการวิจัยเรื่องการอบรมเชิงปฏิบัติการด้านการออกแบบ ติดตั้ง และประยุกต์ใช้งานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบยั่งยืน สำหรับภาคครัวเรือน เพื่อให้เกิดทักษะสำหรับการใช้งานอย่างถูกวิธีและปลอดภัย

๑.๒ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- ๑.๒.๑ เสริมสร้างความรู้และความตระหนักเกี่ยวกับประโยชน์ของพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แก่ ประชาชน ชุมชน
- ๑.๒.๒ ถ่ายทอดและฝึกทักษะการติดตั้ง การดูแลซ่อมบำรุงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้องแก่ ประชาชน
- ๑.๒.๓ ส่งเสริมการมีส่วนร่วมด้านการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกอย่างรู้คุณค่าและปลอดภัยแก่ ประชาชน อย่างยั่งยืน

๑.๓ ขอบเขตของโครงการวิจัย

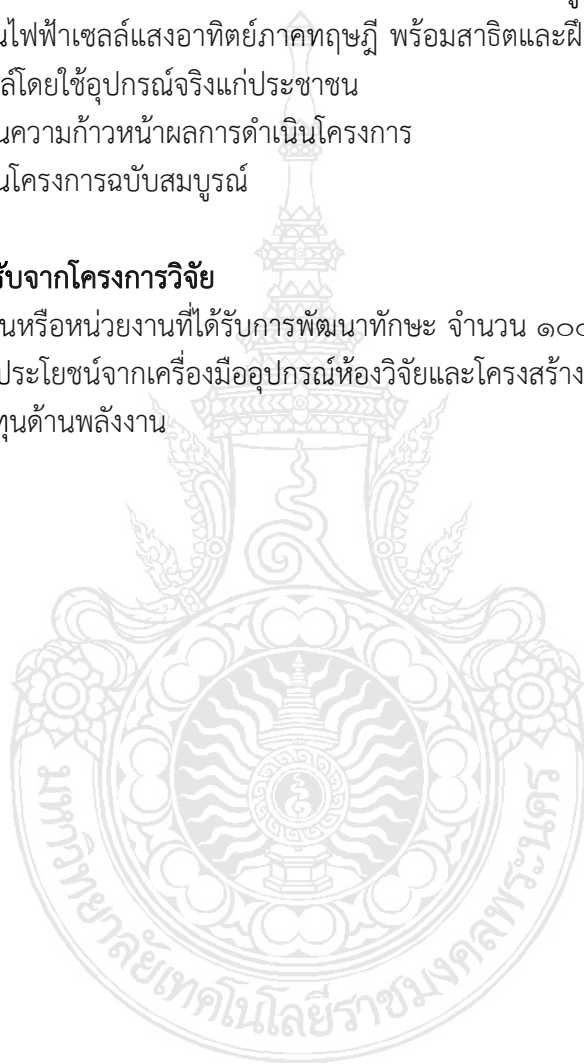
- ๑.๓.๑ อบรมเชิงปฏิบัติการด้านการโดยมีผู้เข้าอบรมจำนวนไม่น้อยกว่า ๑๐๐ คน
- ๑.๓.๒ ออกแบบชุดสาริตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด ๒,๑๖๐ วัตต์ สำหรับการใช้งานภาคครัวเรือน

๑.๔ ขั้นตอนดำเนินโครงการวิจัย

- ๑.๔.๑ ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและกำหนดเนื้อหาการอบรม และกำหนดคุณลักษณะของพื้นที่เป้าหมาย
- ๑.๔.๒ ติดต่อและประสานผู้เชี่ยวชาญในการให้ความร่วมมือพัฒนาหลักสูตรสำหรับการอบรมตัวแทนกลุ่มประชาชน
- ๑.๔.๓ ออกแบบชุดสารคดีสำหรับใช้ฝึกทักษะปฏิบัติการติดตั้ง
- ๑.๔.๔ ดำเนินโครงการอบรม โดยวิทยากรและคณะทำงานให้ความรู้ เสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ภาคทฤษฎี พร้อมสาธิตและฝึกทักษะการปฏิบัติงานติดตั้งโซลาร์เซลล์โดยใช้อุปกรณ์จริงแก่ประชาชน
- ๑.๔.๕ รายงานความก้าวหน้าผลการดำเนินโครงการ
- ๑.๔.๖ รายงานโครงการฉบับสมบูรณ์

๑.๕ ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

- ๑.๕.๑ กำลังคนหรือหน่วยงานที่ได้รับการพัฒนาทักษะ จำนวน ๑๐๐ คน
- ๑.๕.๒ การใช้ประโยชน์จากเครื่องมืออุปกรณ์ห้องวิจัยและโครงสร้างพื้นฐาน
- ๑.๕.๓ ลดต้นทุนด้านพลังงาน



บทที่ ๒

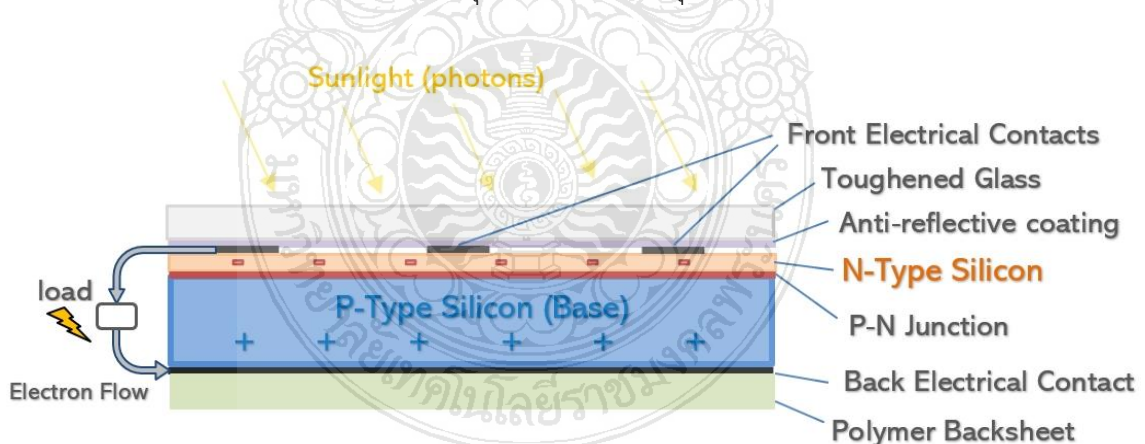
พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

๒.๑ บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) หมายถึงการเปลี่ยนแสงจากดวงอาทิตย์ไปเป็นพลังงาน ซึ่งแบ่งได้ ๒ ส่วน คือ พลังงานที่เกิดจากความร้อนและพลังงานที่เกิดจากแสงของดวงอาทิตย์ พลังงานที่เกิดจากแสงมีการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยใช้ปรากฏการณ์ โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic Effect) และสารกึ่งตัวนำสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยที่หลักการทางเศรษฐศาสตร์จะถูกนำเสนอเพื่อช่วยในการตัดสินใจ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าตามข้อกำหนดของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ที่แนะนำให้กับภาคประชาชน

๒.๒ หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ในเบื้องต้นเป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อแสงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงาน และเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งก็คือกระแสไฟฟ้าขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จากนั้นจะสามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ออกไปใช้งาน การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน นิยมใช้ซิลิคอน (Silicon, Si) มาผ่านกระบวนการผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เพื่อใช้เป็นวัสดุในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๒.๑ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ P-Type

เซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนประกอบอยู่ ๒ ชั้น คือ ๑) N-Type เป็นแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการโดป (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส (Phosphorus) มีคุณสมบัติเป็นตัวส่งอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาทางด้านบน ๒) P-Type เป็นแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการโดปด้วยสารโบรอน

(Boron) ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน ซึ่งเรียกว่า โฮล (Hole) มีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ การนำซิลิคอนทั้ง ๒ ชนิด มาประกบกันด้วยรอยต่อพีเอ็น (P - N Junction) จะทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์

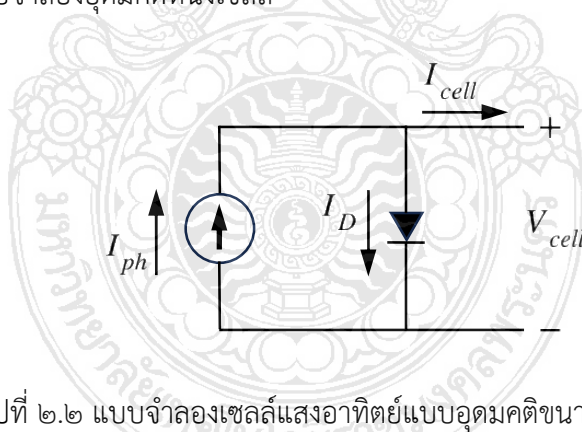
สถานะที่ยังไม่มีแสงอาทิตย์ขึ้นของ N-Type (ส่งอิเล็กตรอน) และ P-Type (โฮล รับอิเล็กตรอน) จะมีโฮลปะปนอยู่ เมื่อได้รับแสงอาทิตย์พลังงานจะถูกถ่ายเทให้กับอิเล็กตรอนและโฮลเกิดการเคลื่อนไหว โดยที่อิเล็กตรอนทั้งหมดจะไปรวมกันในชั้น N-Type ที่ Front Electrical Contacts และโฮลทั้งหมดจะไปรวมกันในชั้น P-Type ที่ Back Electrical Contacts ซึ่งทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้ว Front Electrical Contacts เทียบกับขั้ว Back Electrical Contacts จากนั้นเมื่อนำภาระ (Load) มาต่อเข้ากับขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ครบวงจรและสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้

๒.๓ แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์

การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบทำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเซลล์โดยมีการเชื่อมต่อครบวงจร การจำลองวงจรสมมูลจะอธิบายได้ ๔ ประเภท คือ

๒.๓.๑ การจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติ

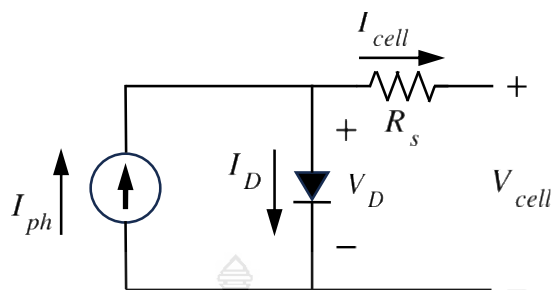
องค์ประกอบของแบบจำลองจะประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสอุดมคติและไดโอด โดยที่แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองอุดมคติหนึ่งเซลล์



รูปที่ ๒.๒ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบอุดมคติขนาดหนึ่งเซลล์

๒.๓.๒ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณ

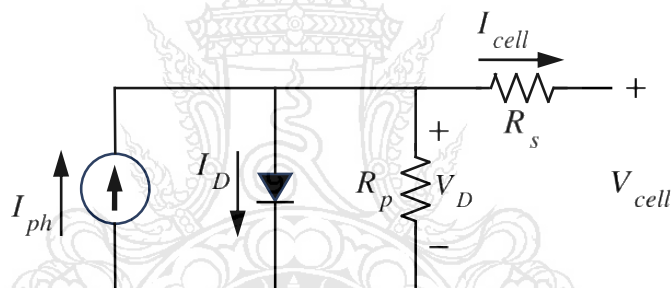
ความต้านทานถูกนำมาต่ออนุกรมกับวงจรแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์อุดมคติขนาดหนึ่งเซลล์ โดยที่แบบจำลองนี้จะถูกพัฒนาไปเป็นแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ



รูปที่ ๒.๓ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณขนาดหนึ่งเซลล์

๒.๓.๓ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบหนึ่งไดโอด

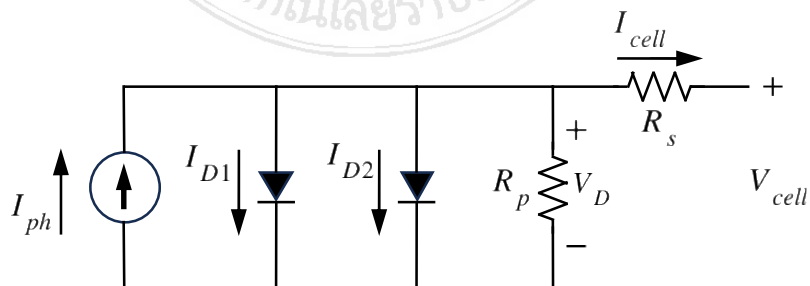
การนำแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์แบบประมาณมาพัฒนาโดยเพิ่มความต้านทานในส่วนขนานเข้าในวงจร ซึ่งความต้านทานที่แสดงในวงจรเป็นความต้านทานสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๒.๔ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบหนึ่งไดโอดขนาดหนึ่งเซลล์

๒.๓.๓ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอด

แบบจำลองนี้จะมีแหล่งจ่ายอุดมคติและไดโอดจำนวนสองตัวต่อขนานกันและมีความต้านทานสมมูลต่อขนานและอนุกรมอยู่ก็วงจร



รูปที่ ๒.๕ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งเซลล์

จากรูปที่ ๒.๕ สามารถพิจารณาโดยใช้สมการเคอร์ชอฟของกระแส (Kirchhoff's Current Law : KCL) ที่โน้ดด้านบนเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_{Rp} \quad (๒.๑)$$

โดยที่	I_{cell}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{ph}	คือ กระแสไฟฟ้าโฟโตอิเล็กทริกส์ (Photoelectric current) เกิดขึ้นจากความเข้มแสงตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์ หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{D1}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดตัวที่หนึ่ง (Diode ๑) ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์ หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{D2}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดตัวที่สอง (Diode ๒) ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์ หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{Rp}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานสมมูลต่อขนาน ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์ หน่วยแอมแปร์ [A]

เมื่อพิจารณาแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ (V_{cell}) จากพจน์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดทั้งสองตัวและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานสมมูลที่ต่อขนานให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า (V_D) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด

$$I_{Dj} = I_{oj} \left(\exp \left(\frac{V_D}{a_j V_{th}} \right) - 1 \right) \Big|_{j=1,2} \quad (๒.๒)$$

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} \quad (๒.๓)$$

โดยที่	I_{Dj}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดตัวที่ j โดยที่ $j=1,2$ หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{oj}	คือ กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว (Saturation current) ของไดโอดตัวที่ j โดยที่ $j=1,2$ หน่วยแอมแปร์ [A]
	V_D	คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ หน่วยโวลต์ [V]

- a_j คือ แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอดตัวที่ j ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่แฟกเตอร์ของไดโอด $a=1$ ซึ่งแสดงค่าได้ตามเทคโนโลยีของผู้ผลิต ตารางที่ ๒.๑
- V_{th} คือ ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Threshold voltage) ของไดโอด หน่วยโวลต์ [V]
- R_p คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งเซลล์ หน่วยโอห์ม [Ω]

ตารางที่ ๒.๑ แฟกเตอร์อุดมคติของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	แฟกเตอร์อุดมคติ (a)	E_g (eV)
Single-Si	๑.๐๒๖	๑.๑๒
Poly-Si	๑.๐๒๕	๑.๑๔
a-Si:H	๑.๘	๑.๖๕
a-Si:H tandem	๓.๓	๒.๙
a-Si:H triple	๓.๐๙	๑.๖
CdTe	๑.๕	๑.๔๘
CIS	๑.๕	๑
AsGa	๑.๓	๑.๔๓

หมายเหตุ : E_g คือ ช่องว่างพลังงาน (Energy gap) ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำไดโอด หน่วย อิเล็กตรอนโวลต์ (Electron Volt, eV)

$$V_{th} = \frac{kT}{q} \quad (๒.๔)$$

- โดยที่ k คือ ค่าคงตัวของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann constant) มีค่าเท่ากับ ๑.๓๘×๑๐^{-๒๓} J/K
- T คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ K
- q คือ ประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ ๑.๖×๑๐^{-๑๙} C

เมื่อนำค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอดตามสมการที่ (๒.๒) และค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานสมมูลต่อขนานตามสมการที่ (๒.๓) แทนลงในสมการที่ (๒.๑) จะได้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_{o1} \left(\exp \left(\frac{V_D}{a_1 V_{th}} \right) - 1 \right) - I_{o2} \left(\exp \left(\frac{V_D}{a_2 V_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V_D}{R_p} \quad (๒.๕)$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดจะแสดงได้จากความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์

$$V_D = V_{cell} + I_{cell} R_s \quad (๒.๖)$$

โดยที่ V_{cell} คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดหนึ่งเซลล์
 R_s คือ ความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอด
 ขนาดหนึ่งเซลล์

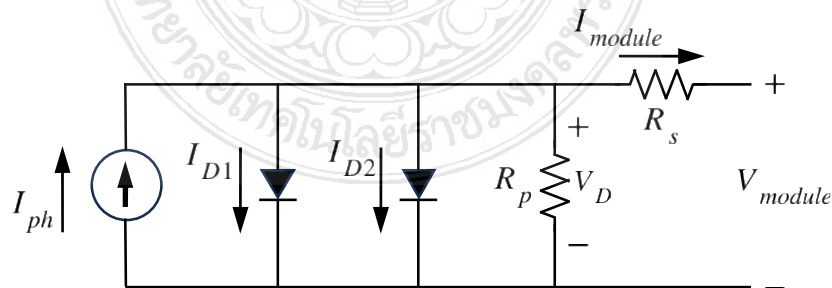
เมื่อนำสมการที่ (๒.๕) รวมกับสมการที่ (๒.๖) จะสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง
 กระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งเซลล์ได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_{o1} \left(\exp \left(\frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{a_1 V_{th}} \right) - 1 \right) - I_{o2} \left(\exp \left(\frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{a_2 V_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{R_p} \quad (๒.๗)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบหนึ่งไดโอด
 ขนาดหนึ่งเซลล์ได้ดังนี้

$$I_{cell} = I_{ph} - I_{o1} \left(\exp \left(\frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{a_1 V_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{R_p} \quad (๒.๘)$$

เซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์จะถูกจัดเรียงในรูปแบบของโมดูลเพื่อประกอบเป็นแผงเซลล์
 แสงอาทิตย์ ซึ่งแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบโมดูลจะมีลักษณะเดียวกับแบบจำลองหนึ่ง
 เซลล์ โดยที่แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดมีขนาดหนึ่งโมดูลสามารถแสดงได้
 ดังนี้



รูปที่ ๒.๖ แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งโมดูล

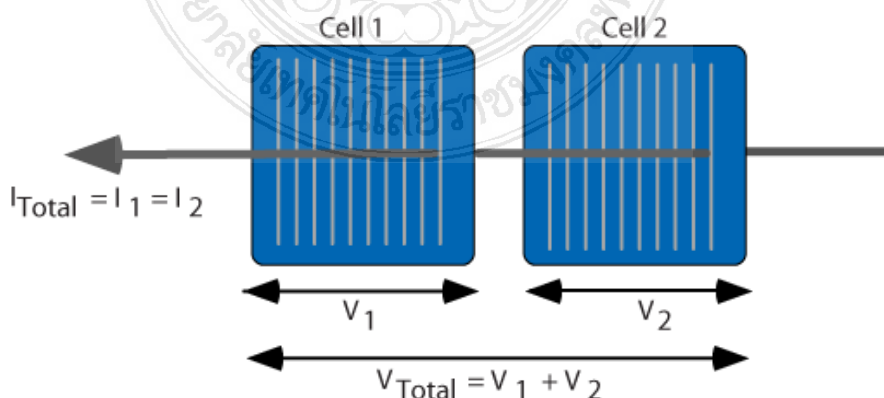
จากรูปที่ ๒.๖ มีลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอด ขนาดหนึ่งเซลล์ และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติแบบสองไดโอดขนาดหนึ่งโมดูลได้ดังนี้

$$I_{module} = I_{ph} - I_{o1} \left(\exp \left(\frac{V_{module} + I_{module} R_s}{a_1 N_s V_{th}} \right) - 1 \right) - I_{o2} \left(\exp \left(\frac{V_{module} + I_{module} R_s}{a_2 N_s V_{th}} \right) - 1 \right) \frac{V_{module} + I_{module} R_s}{R_p} \quad (2.9)$$

โดยที่	I_{module}	คือ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล หน่วยแอมแปร์ [A]
	V_{module}	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล หน่วยโวลต์ [V]
	I_{ph}	คือ กระแสโฟโตอิเล็กทริกส์ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล หน่วยแอมแปร์ [A]
	I_{oj}	คือ กระแสไฟฟ้าอิ่มตัว (Saturation current) ของไดโอดตัวที่ j ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล โดยที่ $j=1, 2$ หน่วยแอมแปร์ [A]
	a_j	คือ แฟกเตอร์อุดมคติของไดโอดตัวที่ j ของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล
	V_{th}	คือ ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Threshold voltage) ของไดโอดของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งหนึ่งโมดูล หน่วยโวลต์ [V]
	R_p	คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่อขนานของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล หน่วยโอห์ม [Ω]
	R_s	คือ ค่าความต้านทานสมมูลต่ออนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งโมดูล หน่วยโอห์ม [Ω]
	N_s	คือ จำนวนเซลล์ที่มีการต่ออนุกรมกันเป็นโมดูล

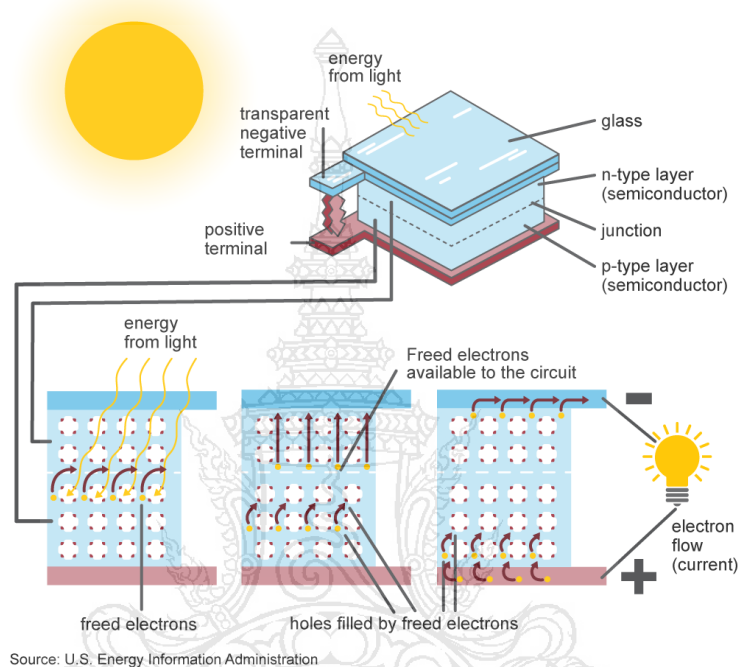
๒.๔ แผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากหัวข้อที่ ๒.๒ เป็นหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียว ซึ่งจะให้พลังงานที่มีค่าต่ำกว่าโหลดที่ใช้งาน หากเป็นการใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมในจำนวนที่เหมาะสมเพื่อทำให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการใช้งาน

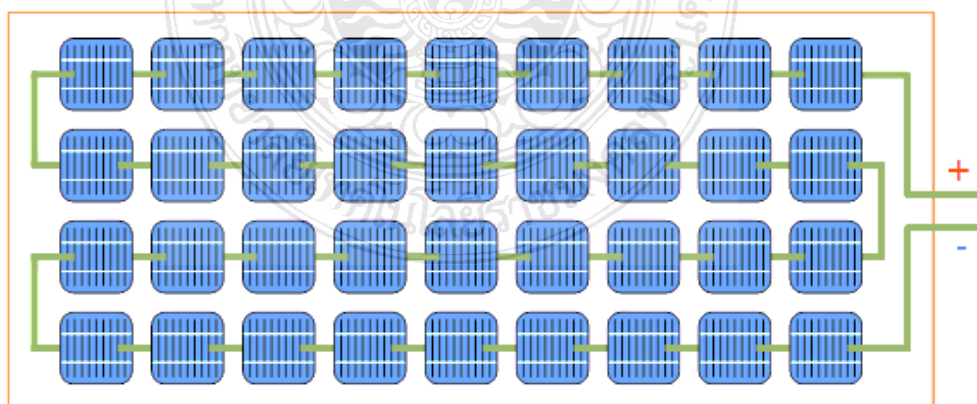


รูปที่ ๒.๗ เซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม ๒ เซลล์

โดยที่การนำวงจรเซลล์แสงอาทิตย์วางลงบนแผง เรียกว่า โมดูล หรือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel)

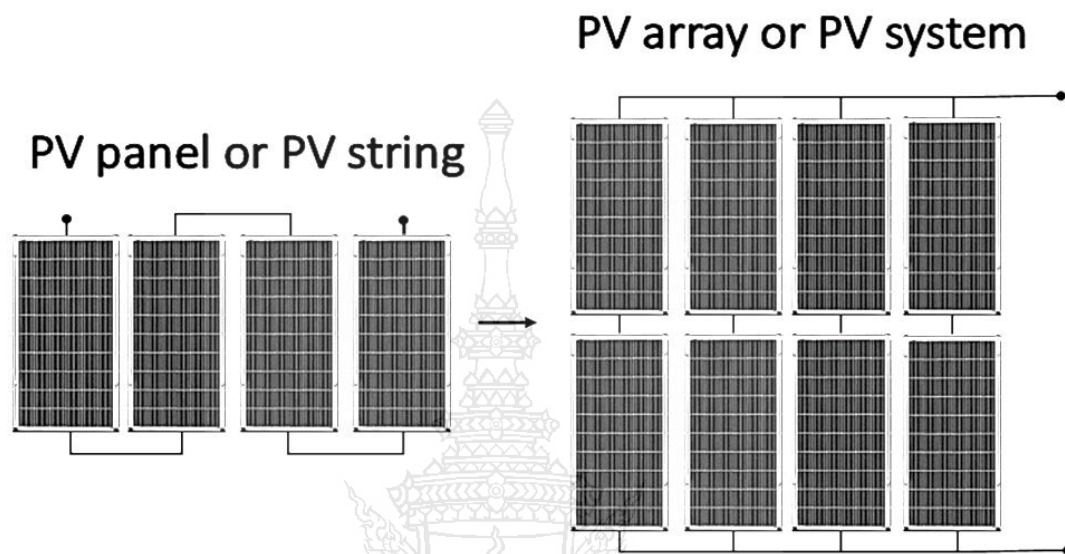


รูปที่ ๒.๘ ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๒.๙ ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรม ๓๖ เซลล์

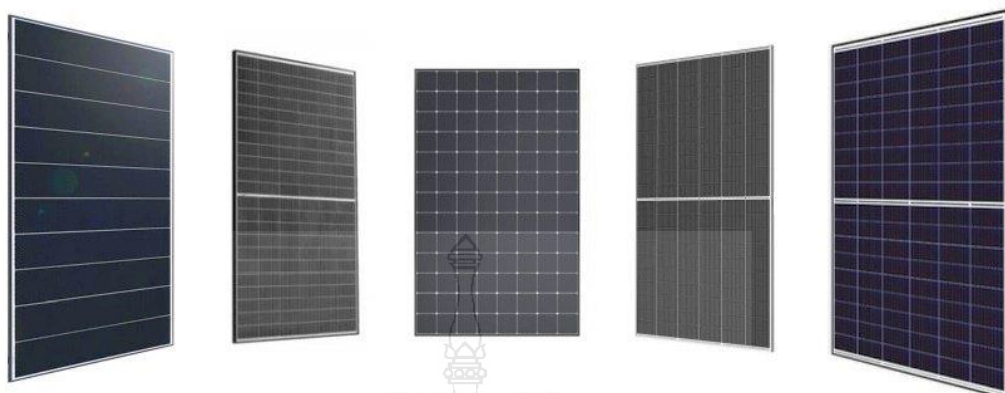
Crystalline silicon (C-Si) ถูกเรียกว่าเซลล์ (Cell) จากนั้นนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่ออนุกรมกันจะเรียกว่า พาเนล (Panel) หรือ โมดูล (Module) ถัดมาคือการนำพาเนลหลาย ๆ พาเนล มาต่ออนุกรมกันเรียกว่า สตริง (String) การนำสตริงหลาย ๆ สตริงมาต่อขนานกันเรียกว่าอาร์เรย์ (Array)



รูปที่ ๒.๑๐ พาเนลต่อแบบสตริงและอาร์เรย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า โฟโตวอลเทจิก (Photovoltaic, PV) เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น ๒ กลุ่มใหญ่ ๆ ตามชนิดของสารกึ่งตัวนำ คือแบบซิลิคอน (Silicon Semiconductor) และแบบผสม (Compound Semiconductor) โดยที่สารกึ่งตัวนำแบบซิลิคอนจะถูกนำมาใช้งานมากกว่าแบบผสมและสามารถแยกสารกึ่งตัวนำแบบซิลิคอนออกเป็นสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก (Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำเป็นผลึกจะได้รับความนิยมนำมาใช้งานเนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบไม่เป็นผลึก ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีหลักสำหรับการผลิตอยู่ ๓ ชนิด

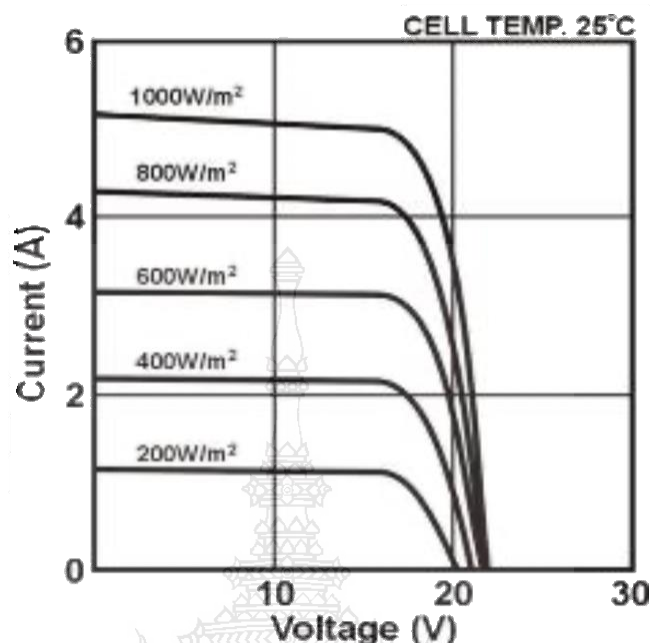
- ๑) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) แผงชนิดนี้เป็นหนึ่งในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปแล้วจะมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานได้ถึงร้อยละ ๑๕-๒๐ กล่าวคือ สามารถแปลงแสงอาทิตย์ที่กระทบกับแผงไปเป็นพลังงานได้ร้อยละ ๑๕-๒๐
- ๒) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ทำจากซิลิคอนแต่ชนิดของซิลิคอนที่ใช้บริสุทธิ์น้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่า
- ๓) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film) จะมีลักษณะเป็นฟิล์มที่มีซิลิคอนผสมอยู่ โดยซิลิคอนจะถูก พ่นไปยังพื้นผิวซึ่งจะทำให้กลายเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพร้อยละ ๘-๑๐



รูปที่ ๒.๑๑ แผงเซลล์แสงอาทิตย์

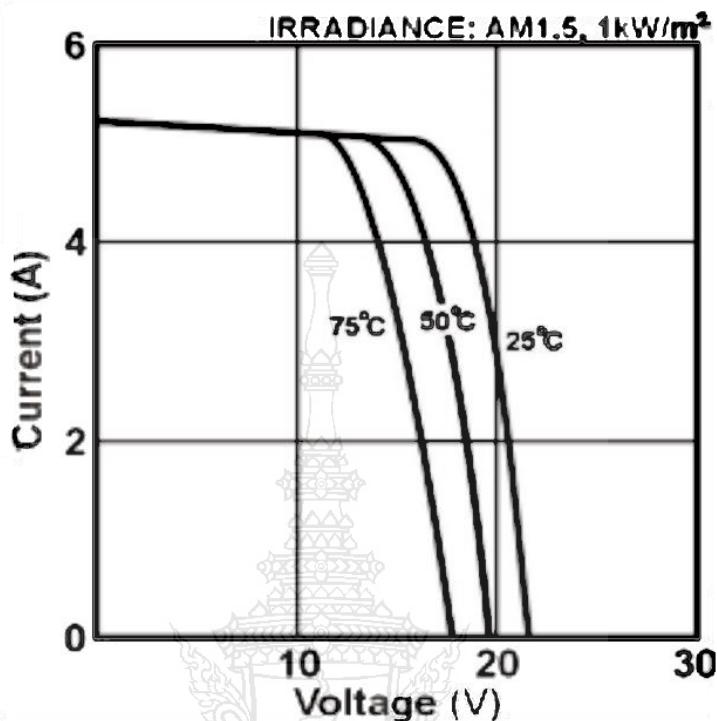
นอกจากกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้พลังงานสูง ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วย

- ๑) พื้นที่รับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่พื้นที่ขนาดใหญ่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าพื้นที่ขนาดเล็ก และหากมีเงาบนแผงจะทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ลดลงอย่างมากเนื่องจากมีพื้นที่รับแสงลดลง
- ๒) ทิศทางการติดตั้งแผง ต้องหันหน้าเข้าหาแสงอาทิตย์ในทิศทางตามดวงอาทิตย์ (โดยทั่วไปในประเทศไทยจะติดตั้งให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ โดยมีความชันประมาณ ๑๕ องศาจากพื้นดิน)
- ๓) ความเข้มของแสง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง กล่าวคือ เมื่อความเข้มของแสงมีค่าสูง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้น หรืออาจมองจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้น แต่ที่ผลิตได้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าไปค่อนข้างน้อย ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นดินในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ตัวอย่างเช่น ความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ ๑๐๐ เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ ๑,๐๐๐ วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีค่าเท่ากับ AM ๑.๕ (Air Mass ๑.๕) หากแสงอาทิตย์ทำมุม ๖๐ องศา กับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าประมาณ ๗๕ เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ ๗๕๐ วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ AM ๒ กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM ๑.๕ เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง



รูปที่ ๒.๑๒ แรงดันไฟฟ้าและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง

- ๔) อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว ทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ๑ องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ ๐.๕ ยกตัวอย่างเช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Open Circuit Voltage หรือ Voc) มีค่าเท่ากับ ๒๑ โวลต์ ที่ อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส หากวัดอุณหภูมิในขณะนั้นได้ค่าเท่ากับ ๓๐ องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ ๒.๕ ซึ่งจะนำร้อยละ ๐.๕ x ๕ องศาเซลเซียส ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า Voc ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ จะลดลง ๐.๕๒๕ โวลต์ ซึ่งจะทำให้ Voc มีค่าเท่ากับ ๒๐.๔๗๕ โวลต์ (๒๑ โวลต์ - ๐.๕๒๕ โวลต์ = ๒๐.๔๗๕ โวลต์)



รูปที่ ๒.๑๓ แรงดันไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

๒.๔.๑ ข้อมูลพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันมีผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ดังนั้นการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับความต้องการ จึงมีการให้ข้อมูลคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Electrical Characteristics Solar Module) หรือเรียกว่า สเปคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลพื้นฐาน

		Made in China Jinko Solar Co., Ltd. No.1, Yingbin Road, Economic Development Zone, Shangrao City, 334100 Jiangxi, P.R. China www.jinkosolar.com	JKM580N-72HL4-V Maximum Power(P_{max}) 580W Power Measurement Tolerance ± 3% Maximum Power Voltage(V_{mp}) 42.3V Maximum Power Current(I_{mp}) 13.60A Open Circuit Voltage(V_{oc}) 51.0V ± 3% Short Circuit Current(I_{sc}) 14.47A ± 4% Maximum System Voltage 1500VDC	Maximum Series Fuse Rating 25A Power Sorting 0~+ 3% Protection Class II Weight 28.0kg Dimension 2278×1134×35(mm) STC: 1000W/m², AM1.5, 25°C	WARNING ONLY qualified personnel should install or perform maintenance work on these modules. BE AWARE of dangerous high DC voltage when connecting modules. DO NOT damage or scratch the rear surface of the module. The modules meet the 2016 version of the standards E8
--	--	---	---	--	--

รูปที่ ๒.๑๔ คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Jinko ๕๘๐ W

Model: LR4-72HPH-435M **LONGi Solar**

Rated Maximum Power (Pmax)	435 W
Tolerance	0 ~ +5 W
Voltage at Pmax (Vmp)	48.7 V
Current at Pmax (Imp)	11.39 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	40.9 V
Short-Circuit Current (Isc)	10.64 A
Maximum System Voltage	1500 V
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Application Class	A

All technical data at STC: AM=1.5, E=1000W/m², Tc=25°C

LONGi Green Energy Technology Co., Ltd.

ADD: No. 388, Middle Hangtian Road, Chang'an District, Xi'an, Shaanxi
710100, P. R. China.

en.longi-solar.com

Made in China



รูปที่ ๒.๑๕ คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ LONGi Solar ๔๓๕ W

โดยที่ Maximum Power (Pmax)	คือ กำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ๔๓๐ W
Power Measurement Tolerance	คือ ความคลาดเคลื่อนของกำลังสูงสุด เพิ่มขึ้น-ลดลง ๓ เปอร์เซ็นต์ (±๓% ของ ๔๓๐ W มีค่าเท่ากับ ๔๖๒.๐๗ W - ๔๙๗.๔๐ W)
Maximum Power Voltage (Vmp)	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังสูงสุด
Maximum Power Current (Imp)	คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังสูงสุด
Open Circuit Voltage (Voc)	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะเปิดวงจร โดยมีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น-ลดลง ๓ เปอร์เซ็นต์ (±๓% ของ ๕๑.๐๒ V มีค่าเท่ากับ ๔๙.๔๔ V - ๕๒.๕๕ V)
Short Circuit Current (Isc)	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ขั้วบวกและขั้วลบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น-ลดลง ๔ เปอร์เซ็นต์ (±๔% ของ ๑๔.๔๗ A มีค่าเท่ากับ ๑๓.๘๖ A - ๑๕.๐๔ A)

Maximum System Voltage	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบที่มีการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงมีแรงดันไฟตรงไม่เกิน ๑๕๐๐ VDC
Maximum Series Fuse Rating Protection Class II	คือ พิกัดของฟิวส์สูงสุดไม่เกิน ๒๕ A คือ การป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าโดยมีฉนวนสองชั้นหรือมีฉนวนเสริมระหว่างชิ้นส่วนที่สัมผัสได้
STC	คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการทดสอบเมื่อได้รับแสงความเข้ม (Irradiance) ๑๐๐๐ W/m ² , แสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศ ๑.๕ เท่าของมวลอากาศที่อุณหภูมิ ๒๕ องศาเซลเซียส

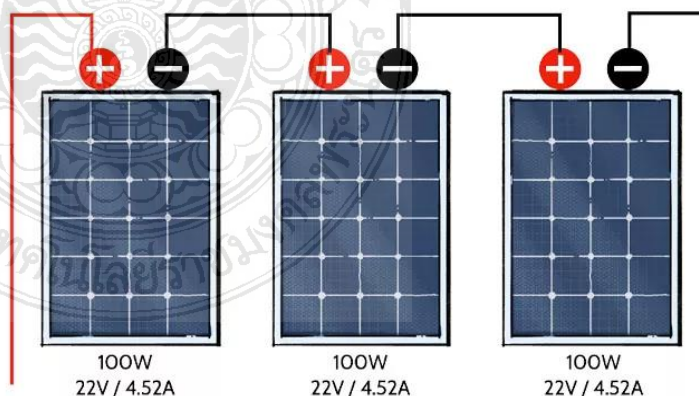
๒.๔.๒ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงมาเชื่อมต่อกันจะเป็นการสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยที่พลังงานรวมจะได้มาจากพิกัดพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงรวมกัน ซึ่งการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้ดังนี้

การต่อแบบอนุกรม

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมจะเป็นการนำขั้วบวกของแผงที่หนึ่งต่อเข้ากับขั้วลบของแผงที่สองและนำขั้วบวกของแผงที่สองต่อเข้ากับขั้วลบของแผงถัดไป โดยจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวตามจำนวนของแผง ซึ่งการต่อเป็นระบบแบบนี้เรียกอีกอย่างว่าการต่อแบบระบบสตริง (String)

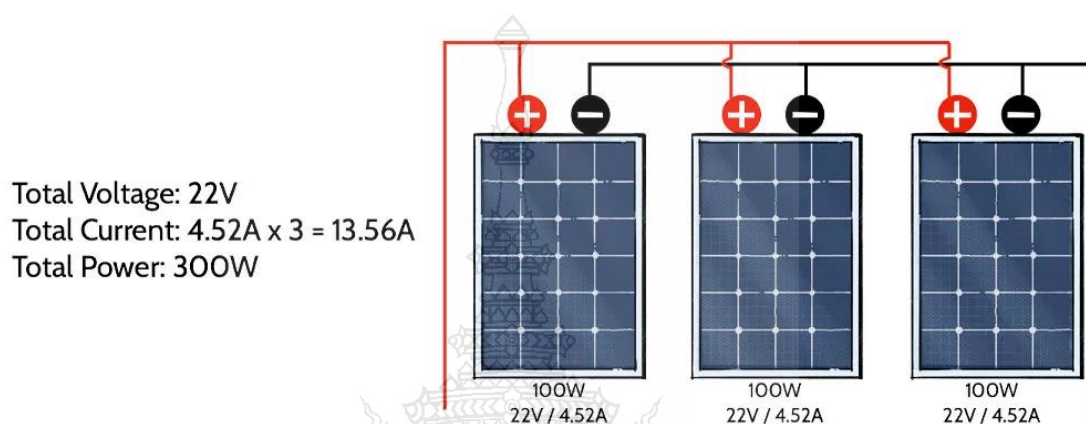
Total Voltage: $22\text{v} \times 3 = 66\text{V}$
Total Current: 4.52A
Total Power: 300W



รูปที่ ๒.๑๖ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม

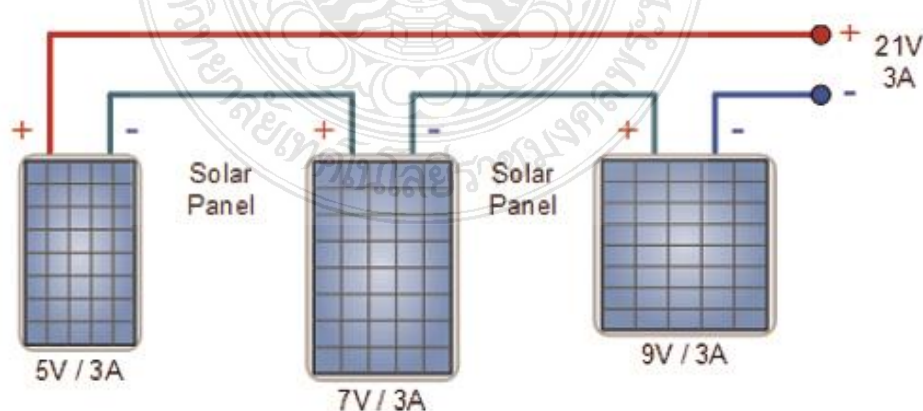
การต่อแบบขนาน

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานจะเป็นการนำขั้วบวกของแผงที่หนึ่งต่อเข้ากับขั้วบวกของแผงที่สองและนำขั้วบวกของแผงที่สองต่อเข้ากับขั้วบวกของแผงถัดไป ซึ่งขั้วลบจะทำเช่นเดียวกัน โดยจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าไม่เพิ่มขึ้น แต่กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มเป็นเท่าตัวตามจำนวนของแผง



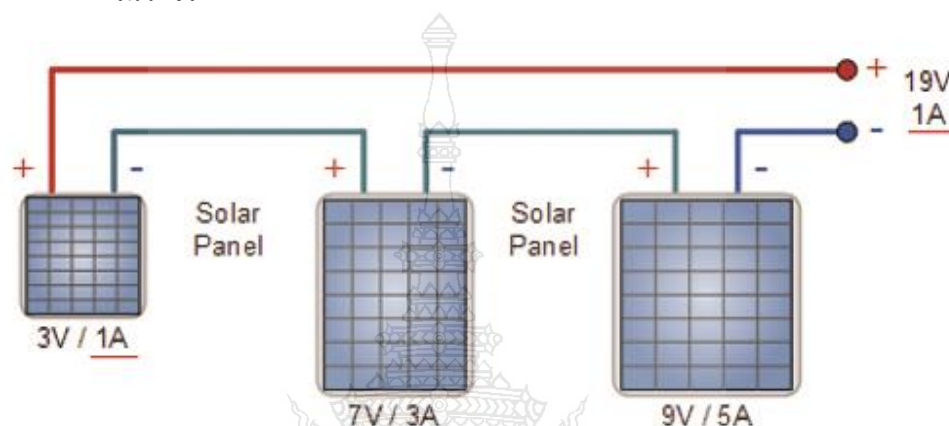
รูปที่ ๒.๑๗ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบขนาน

การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กรณีกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน
เมื่อมีการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยพิกัดกระแสไฟฟ้าเท่ากัน สามารถแสดงเป็นไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ ๒.๑๘ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกรณีแรงดันไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน

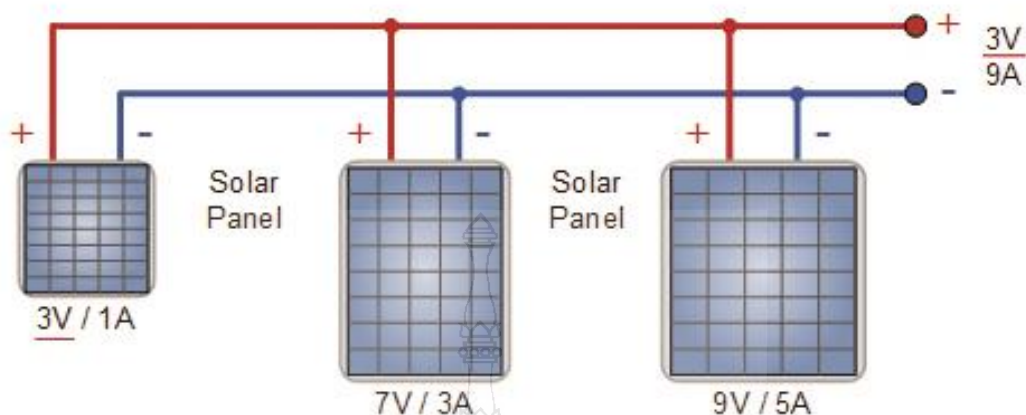
จากรูปที่ ๒.๑๘ จะพบว่าระบบมีกำลังไฟรวมที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ ๖๓ วัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้าวรรณมีค่าเท่ากับ ๒๑ โวลต์ และกระแสไฟฟ้า ๓ แอมแปร์ และกรณีกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันต่อแบบอนุกรม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกระแสสูงกว่าแผงอื่นจะสร้างกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจร ในขณะเดียวกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดกระแสต่ำจะกลายเป็นโหลดในวงจร และจะเป็นตัวจำกัดกระแสไฟฟ้า ในวงจร



รูปที่ ๒.๑๙ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน

จากรูปที่ ๒.๑๙ จะพบว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรถูกจำกัดที่ ๑ แอมแปร์ มีแรงดันไฟฟ้าวรรณเท่ากับ ๑๙ โวลต์ จึงทำให้มีกำลังไฟรวมเท่ากับ ๑๙ วัตต์ (กำลังไฟรายแผงเท่ากับ ๓ วัตต์ ๒๑ วัตต์ และ ๔๕ วัตต์ รวมกำลังไฟรายแผงเท่ากับ ๖๙ วัตต์) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลง กล่าวคือ กำลังผลิตจะทำได้เพียง ๒๗.๕%

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดแตกต่างกันเมื่อนำมาเชื่อมต่อแบบขนาน โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำจะทำหน้าที่เป็นโหลด ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร และหากมีกระแสไฟฟ้าขนาดสูงจะมีความเสี่ยงให้เกิดความเสียหายกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ



รูปที่ ๒.๒๐ แผงเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อกันแบบขนานกรณีแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน

จากรูปที่ ๒.๑๘ จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรถูกจำกัดที่ ๓ โวลต์ มีกระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ ๙ แอมแปร์ จึงทำให้มีกำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ ๒๗ วัตต์ (กำลังไฟฟ้ายาวแผงเท่ากับ ๓ วัตต์ ๒๑ วัตต์ และ ๔๕ วัตต์ รวมกำลังไฟฟ้ายาวแผงเท่ากับ ๖๙ วัตต์) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลง กล่าวคือ กำลังผลิตจะทำได้เพียง ๓๙.๑%

๒.๕ อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

กระบวนการส่งผ่านพลังงานในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับใช้งานภาคครัวเรือนในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงส่งเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยที่ด้านออก (Output) ของอินเวอร์เตอร์จะถูกต่อเข้ากับโหลดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะมีการกำหนดระดับแรงดันและความถี่ตามมาตรฐานของระบบไฟฟ้าที่ติดตั้ง และการเลือกใช้งานให้เหมาะสมจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

๑) เซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์ (Central Inverter)

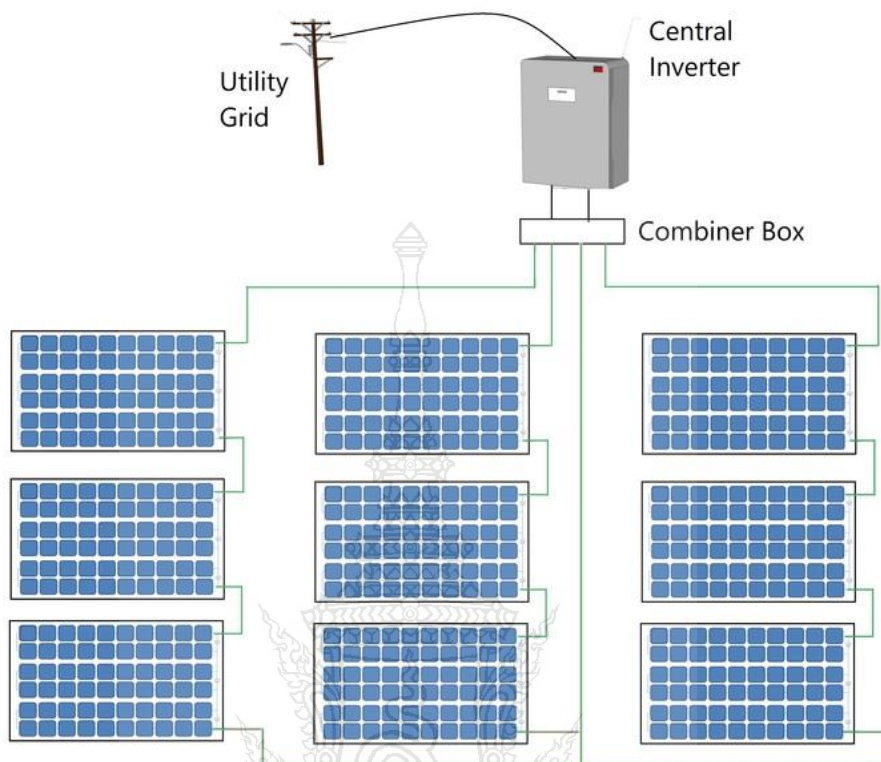
เซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์แบบออนกริด (On Grid) โดยที่อินเวอร์เตอร์หนึ่งตัวสามารถรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อเข้าได้เป็นจำนวนมาก มีข้อดีคือ สะดวก

ในการออกแบบ มีข้อเสียคือ ความยุ่งยากในการซ่อมบำรุงและขยายระบบ ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ในโครงการที่กำลังผลิตด้านไฟตรงมีปริมาณในระดับเมกะวัตต์ (MW)



รูปที่ ๒.๒๑ เซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์





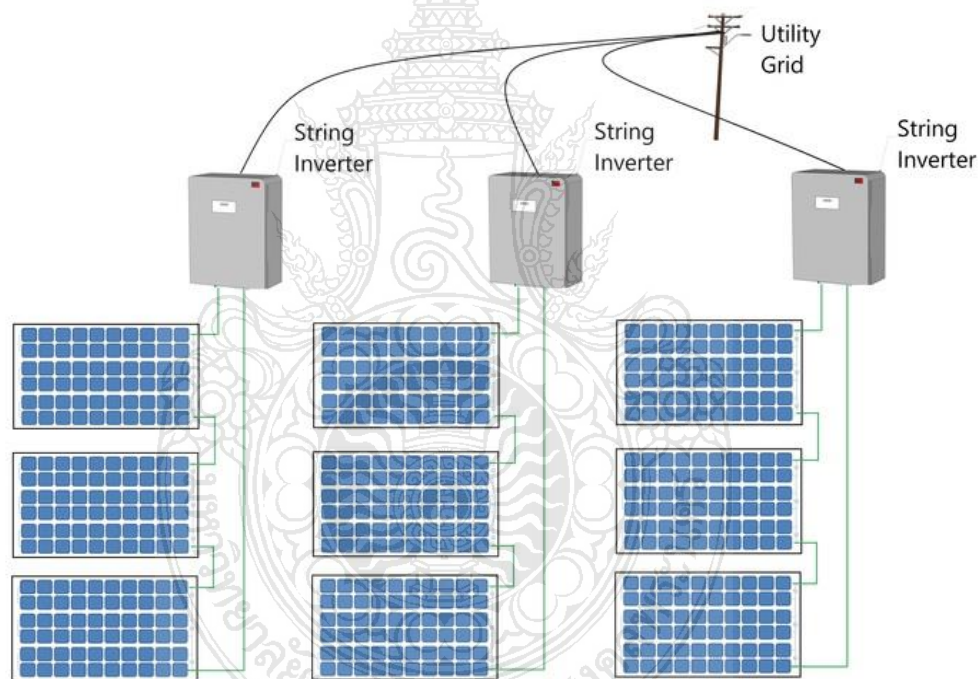
รูปที่ ๒.๒๒ ไดอะแกรมของเซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์

๒) สตริงอินเวอร์เตอร์ (String Inverter)

สตริงอินเวอร์เตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์แบบออนกริด (On Grid) จะถูกใช้ในระบบที่มีกำลังผลิตในระดับเล็กถึงระดับปานกลาง โดยส่วนใหญ่จะใช้กับโหลดที่เป็นบ้านอยู่อาศัย สำนักงาน โรงงาน สามารถใช้งานได้ยืดหยุ่นกว่าเซ็นทรัลอินเวอร์เตอร์ สามารถนำไปใช้กับระบบผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ทิศทางการติดตั้งแผง มุมการติดตั้งแผง หรือเงาตกกระทบบ้าง ทำให้ต้องมีการออกแบบแยกชุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์เพื่อการทำงานที่เหมาะสม



รูปที่ ๒.๒๓ สตริงอินเวอร์เตอร์



รูปที่ ๒.๒๔ ไดอะแกรมของสตริงอินเวอร์เตอร์

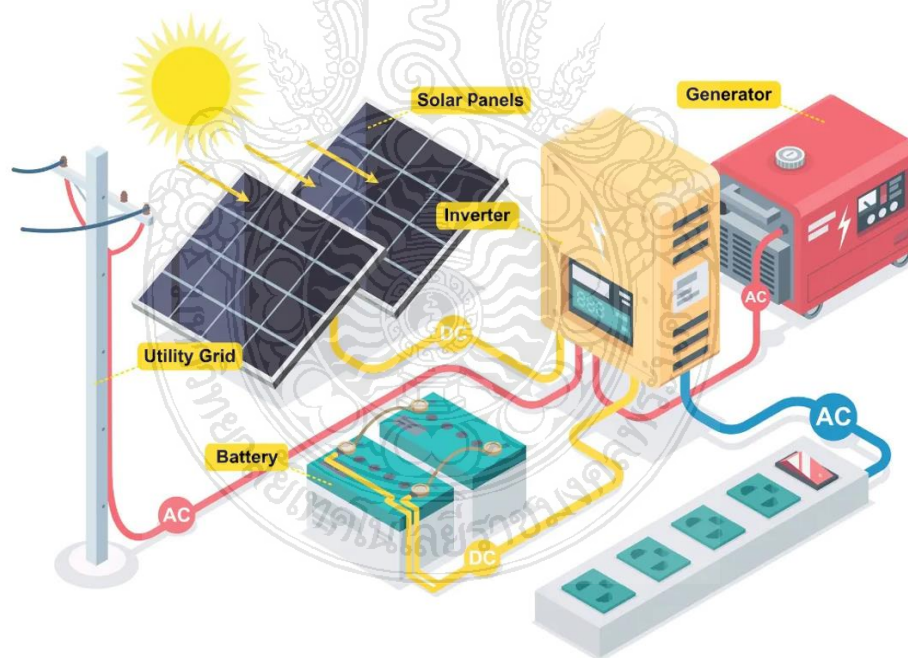
๓) ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ (Hybrid Inverter)

การทำงานที่นำอินเวอร์เตอร์แบบออนกริด (On Grid) และออฟกริด (Off Grid) รวมเข้าด้วยกัน โดยสามารถต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า หรือจะใช้งานโดยไม่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า กล่าวคือ การใช้งานโดยไม่เชื่อมต่อกับการไฟฟ้าจะต้องมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงาน เพื่อใช้งานในช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้

การทำงานขณะที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ หากพลังงานที่ผลิตได้นั้นเพียงพอกับโหลดที่ต่อใช้งานอยู่และมีพลังงานเกินจากโหลดบริโภค พลังงานที่เกินจะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ แต่หากพลังงานที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอกับโหลดที่ต่อใช้งานอยู่ ระบบจะดึงพลังงานจากการไฟฟ้าเข้าไปใช้งาน



รูปที่ ๒.๒๕ ไฮบริดอินเวอร์เตอร์

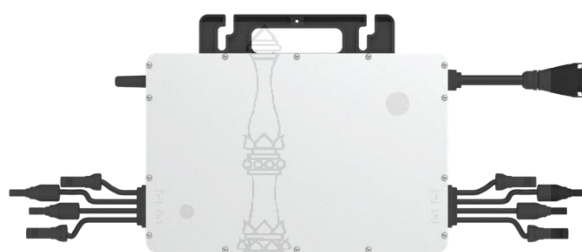


รูปที่ ๒.๒๖ ไดอะแกรมของไฮบริดอินเวอร์เตอร์

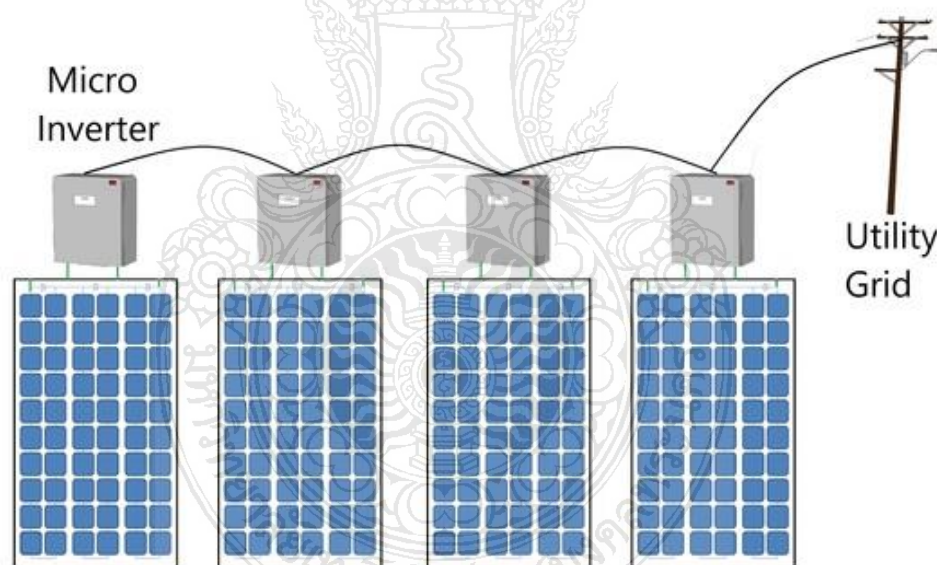
๔) ไมโครอินเวอร์เตอร์ (Micro Inverter)

ไมโครอินเวอร์เตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์แบบออนกริด (On Grid) ถูกออกแบบให้ใช้งานที่มีความยืดหยุ่นกว่าสตริงอินเวอร์เตอร์ โดยที่ไมโครอินเวอร์เตอร์มีการเชื่อมต่อแผงใน

ลักษณะขนานเข้ากับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งไมโครอินเวอร์เตอร์จะติดตั้งอยู่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากแผงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า



รูปที่ ๒.๒๗ ไมโครอินเวอร์เตอร์



รูปที่ ๒.๒๘ ไดอะแกรมของไมโครอินเวอร์เตอร์

๒.๖ ความคุ้มค่าของโครงการ

การลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับความคุ้มค่าของโครงการ ตัวชี้วัดที่จะกำหนดความคุ้มค่าของโครงการจะวิเคราะห์แบบปรับค่าเวลา โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้จะบ่งบอกถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุน

๒.๖.๑ กระแสเงินสด (Cash Flow)

รายจ่ายและรายรับที่เกิดขึ้นในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ ข้อมูลนี้จะทำให้ผู้ลงทุนทราบถึงปัญหาเพื่อหาแนวทางแก้ไขล่วงหน้าและจะสัมพันธ์กับสภาพคล่องทางการเงินดังนี้

- ๑) รายจ่าย (Cost) หมายถึง ต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ เช่น ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ต่อร่วม วัสดุสิ้นเปลือง เป็นต้น
- ๒) รายรับ (Benefit) หมายถึง ประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ซึ่งประโยชน์ทางตรง เช่น รายได้จากการขายพลังงานไฟฟ้าให้การไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า หรือ การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า โดยที่ประโยชน์ทางอ้อมจะได้มาจากการขาย Carbon Credit การลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น

๒.๖.๒ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิ คำนวณได้โดยแปลงกระแสผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน หรือคำนวณจากสมการดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (๒.๑๐)$$

โดยที่	B_t	คือ มูลค่าผลตอบแทนของโครงการในปีที่ ๑, ๒, ..., n
	C_t	คือ ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ ๑, ๒, ..., n
	C_0	คือ ต้นทุนโครงการในปีแรก (ปีที่ ๐)
	i	คือ อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของทุน (อัตราคิดลด)
	t	คือ ปีของโครงการ คือ ปีที่ ๑, ๒, ..., n
	n	คือ อายุโครงการ

เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจ

- กรณี $NPV < 0$ หมายถึง ไม่ควรลงทุนในโครงการนี้ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการมีค่าน้อยกว่ามูลค่าปัจจุบันที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ
- กรณี $NPV = 0$ หมายถึง จะลงทุน หรือ ไม่ลงทุนก็ได้ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ
- กรณี $NPV > 0$ หมายถึง ควรลงทุนในโครงการนี้ เนื่องจากโครงการสร้างผลประโยชน์โดยที่ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับมากกว่ามูลค่าปัจจุบันที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ

๒.๖.๓ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

โดยที่ IRR มีสมมติฐานว่ากระแสเงินสดที่ได้รับจากการดำเนินโครงการในแต่ละปีนำไปลงทุนต่อทุกปีจนถึงปีสุดท้ายของโครงการ ซึ่งจะใช้สำหรับประเมินอัตราผลตอบแทนในการลงทุนโครงการ

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + IRR)^t} - C_0 = 0 \quad (๒.๑๑)$$

โดยที่	B_t	คือ	มูลค่าผลตอบแทนของโครงการในปีที่ ๑, ๒, ..., n
	C_t	คือ	ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ ๑, ๒, ..., n
	C_0	คือ	ต้นทุนโครงการในปีแรก (ปีที่ ๐)
	IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนภายใน
	t	คือ	ปีของโครงการ คือ ปีที่ ๑, ๒, ..., n
	n	คือ	อายุโครงการ

เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจ

- กรณี $IRR < \text{ต้นทุนของเงินทุน}$ หมายถึง ไม่ควรลงทุนในโครงการ เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุนของเงินทุน หรือน้อยกว่าอัตราคิดลด (Discount Rate)
- กรณี $IRR = \text{ต้นทุนของเงินทุน}$ หมายถึง จะลงทุน หรือ ไม่ลงทุนก็ได้ เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนของเงินทุน หรือเท่ากับอัตราคิดลด
- กรณี $IRR > \text{ต้นทุนของเงินทุน}$ หมายถึง ควรลงทุนในโครงการ เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนของเงินทุน หรือมากกว่าอัตราคิดลด

๒.๖.๔ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB)

การหาระยะเวลาที่คุ้มค่าของการลงทุนในโครงการ โดยที่ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานจะมีค่าเท่ากับเงินลงทุนของโครงการ ซึ่งจะละเลยค่าของเงินตามเวลา

กรณีกระแสเงินสดรับสุทธิเท่ากันทุกปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \frac{\text{กระแสเงินสดจ่ายในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี (Annual Cash Inflow)}}$$

กรณีกระแสเงินสดรับสุทธิแต่ละปีไม่เท่ากัน วิธีนี้ต้องคำนวณกระแสเงินสดสะสม (Cumulative Cash Flows) ก่อนการคำนวณ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (PB)} = \text{จำนวนปีก่อนที่จะได้คืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดจ่ายในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิรายในปีที่คืนทุน (Cash Inflow)}}$$

เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจ

- ระยะเวลาการคืนทุนจะต้องไม่มากกว่าอายุการใช้งานของโครงการ ซึ่งการใช้ระยะเวลาการคืนทุนสั้นจะดีกว่าการใช้ระยะเวลาคืนทุนยาว

๒.๗ นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ได้ออกระเบียบว่าด้วยการจัดหาไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับภาคประชาชน พ.ศ. ๒๕๖๒ และประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับภาคประชาชน ประเภทบ้านอยู่อาศัย พ.ศ. ๒๕๖๕ และประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๖๖ โดยส่งเสริมให้ประชาชนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา สำหรับบ้านอยู่อาศัย

ตารางที่ ๒.๒ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า		ขนาดการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (แอมแปร์)	ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด (กิโลวัตต์, kwp)
แอมแปร์	จำนวนเฟส		
๕ (๑๕)	๑	๑๐	๒.๓
๑๕ (๔๕)		๓๐	๕
๓๐ (๑๐๐)		๗๕	
๕๐ (๑๕๐)		๑๐๐	
๑๕ (๔๕)	๓	๓๐	๑๐
๓๐ (๑๐๐)		๗๕	
๕๐ (๑๕๐)		๑๐๐	
๒๐๐		๒๐๐	
๔๐๐		๔๐๐	



เพื่อสนับสนุนประชาชนให้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา เพื่อการผลิตไฟฟ้าใช้เองเป็นหลัก ช่วยลดค่าไฟฟ้าในช่วงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak) กลางวัน ส่วนที่เหลือขายให้ กกพ. และ กฟผ.



ประกาศฉบับนี้ ไม่จำกัดเวลาการยื่นคำขอขายไฟฟ้า แต่จะพิจารณาตามเวลาที่กำหนด และผู้เสนอขายไฟฟ้าส่วนเกินจะต้องดำเนินการติดตั้งและตรวจสอบระบบให้แล้วเสร็จภายใน 270 วัน นับจากวันลงนามในสัญญาซื้อขายไฟฟ้า และหากดำเนินการไม่ทันตามกำหนด ให้ยื่นหนังสือถึงการไฟฟ้า แจ้งความพร้อมเพื่อขอขยายเวลาได้อีก 90 วัน ก่อนยกเลิกสัญญา

รูปที่ ๒.๒๙ การรับซื้อไฟฟ้าโครงการโซลาร์ภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย



รูปที่ ๒.๓๐ ขั้นตอนการเข้าร่วมโครงการโซลาร์ภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย

๒.๘ การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นสิ่งจำเป็น โดยจะเริ่มจากเครื่องมือหลัก ๆ สำหรับงานช่าง

๒.๘.๑ เครื่องมือสำหรับงานช่าง

เครื่องมือที่จำเป็นสำหรับงานช่างทั่วไป เช่น ไขควง ประแจ สว่าน หรืออุปกรณ์ตรวจวัด เช่น มัลติมิเตอร์ และอุปกรณ์ป้องกัน สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ ๒.๓๑ เครื่องมือช่างติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ ๒.๓๒ เครื่องมืองานช่างทั่วไปสำหรับติดตั้งระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

๒.๘.๒ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงดังนี้

๑. สำรวจพื้นที่โดยรอบไม่ควรมีสิ่งที่จะสร้างเงาตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อาคารสูง เสาสูง ต้นไม้ที่อาจมีเงาไม้หรือใบไม้หล่นไปตกอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้แผงรับแสงอาทิตย์ได้ไม่เต็มพื้นที่



รูปที่ ๓.๓๓ เงาตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

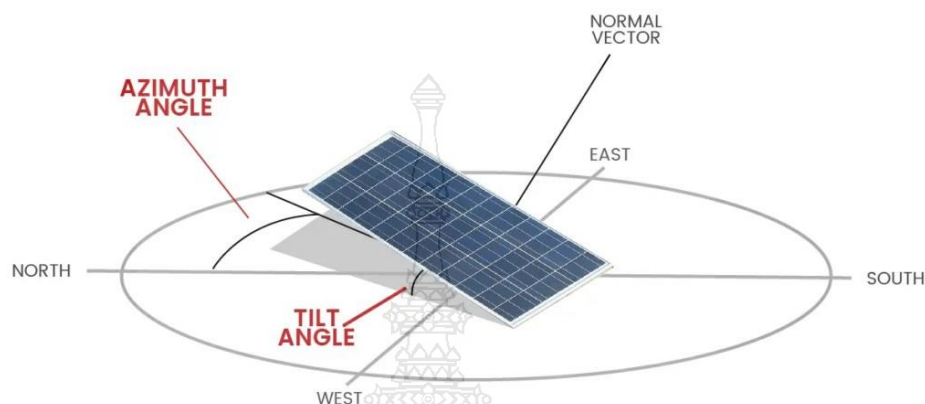
๒. การเคลื่อนย้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องใช้ความระมัดระวัง โดยแผงต้องไม่บิดตัว เนื่องจาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีกรอบอลูมิเนียมและถูกปิดด้วยกระจกแข็ง การบิดตัวที่เกิดจากการยกแผงขึ้นจากพื้นเพียงมุมใดมุมหนึ่งเพื่อเคลื่อนย้ายแผง จะทำให้กระจกแข็งเกิดความเสียหาย ซึ่งส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เสียหายด้วย ดังนั้นการเคลื่อนย้ายควรทำดังรูป



รูปที่ ๒.๓๔ การเคลื่อนย้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์

๓. ทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดีที่สุดหากหันแผงเข้าหาดวงอาทิตย์โดยให้แผงอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ แต่พื้นที่สำหรับประเทศไทยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ด้านหน้าแผงหันไปทางทิศใต้และทำมุม ๑๕-๒๐ องศา กับแนวระนาบพื้นดิน



รูปที่ ๒.๓๕ ทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

๔. อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

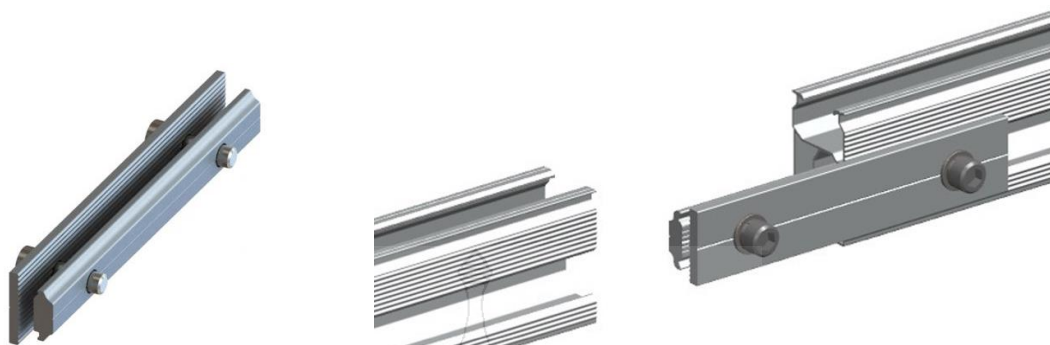
อุปกรณ์จับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Mounting) หรือทั่วไปเรียกว่า อุปกรณ์จับยึดแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะต้องใช้ในงานร่วมกับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในแบบต่างๆ

- รางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Rail) เป็นอุปกรณ์ที่รับน้ำหนักแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะมีความยาวต่าง ๆ เช่น ๒.๑ เมตร, ๓.๒ เมตร, ๔.๒ เมตร และ ๔.๘ เมตร



รูปที่ ๒.๓๖ รางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- อุปกรณ์ต่อรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Splice) หรือ (Joiner) เป็นอุปกรณ์เชื่อมรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



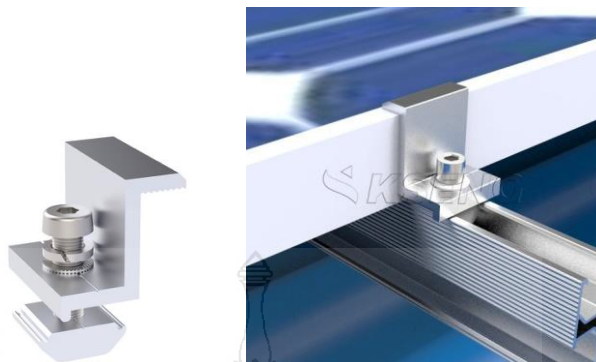
รูปที่ ๒.๓๗ อุปกรณ์ต่อรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- อุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Mid clamp) เมื่อมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เรียงต่อกันจะต้องใช้อุปกรณ์จับยึดระหว่างแผง โดยอุปกรณ์นี้จะติดตั้งลงบนรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๒.๓๘ อุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- อุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (End clamp) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดข้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผ่นแรกหรือแผ่นท้ายสุด



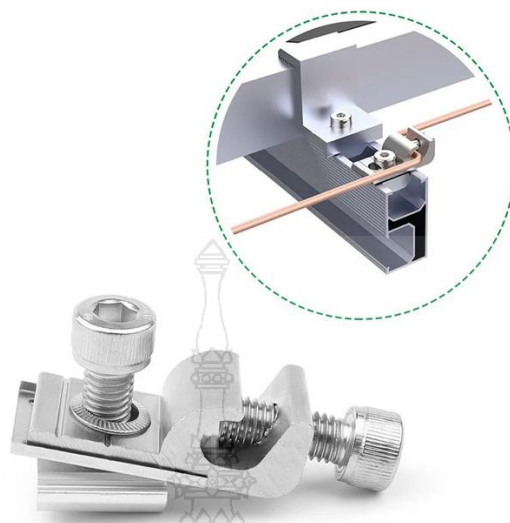
รูปที่ ๒.๓๙ อุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- อุปกรณ์ยึดหลังคา (L-feet) เป็นอุปกรณ์จับยึดระหว่างรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Rail) กับตัวหลังคา โดยจะใช้สกรูติดตั้งตัวยึดหลังคาเข้ากับโครงสร้างเหล็กหลังคา เพื่อนำรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งกับตัวยึดหลังคา ซึ่ง อุปกรณ์นี้จะมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้งานจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ติดตั้ง หรือ ชนิดของวัสดุหลังคา เช่น พื้นปูนเรียบลาดฟ้า กระเบื้องแผ่นเรียบ กระเบื้องลอน หรือหลังคาเมทัลชีท



รูปที่ ๒.๔๐ อุปกรณ์ยึดหลังคา

- อุปกรณ์จับยึดสายกราวด์ (Grounding lugs) เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ป้องกันความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร



รูปที่ ๒.๔๑ อุปกรณ์จับยึดสายกราวด์

- อุปกรณ์แผ่นยึดต่อกราวด์ (Grounding clip) ใช้สำหรับรองอุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์จับยึดปลายแผงเพื่อให้มีความเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างโครงกรอบแผงกับรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๒.๔๒ อุปกรณ์แผ่นยึดต่อกราวด์

๒.๘.๓ อุปกรณ์ป้องกันสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การป้องกันอุปกรณ์ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในนี้จะกล่าวถึงการป้องกันวงจรผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของบ้านอยู่อาศัยที่มีระดับแรงดัน ๒๓๐ โวลต์ ซึ่งมีอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้

- อุปกรณ์ตัดวงจรจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Residual Current Device, RCD) ทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าขาเข้าและออกที่ไหลผ่านอุปกรณ์มีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าบางส่วนรั่วไหลและทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน อุปกรณ์ตัดวงจรจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลอาจมีชื่อเรียกแยกตามลักษณะการใช้งาน เช่น RCCB (Residual Current Circuit Breakers), RCBO (Residual Current Circuit Breakers with Overload protection) และ ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อุปกรณ์ตัดวงจรชนิด RCBO



รูปที่ ๒.๔๓ อุปกรณ์ตัดวงจรแบบ RCBO

- อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Surge Protection Device, SPD) ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและจำกัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์เมื่อมีเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าเกิน



รูปที่ ๒.๔๔ อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ



บทที่ ๓

วิธีดำเนินการวิจัย

๓.๑ บทนำ

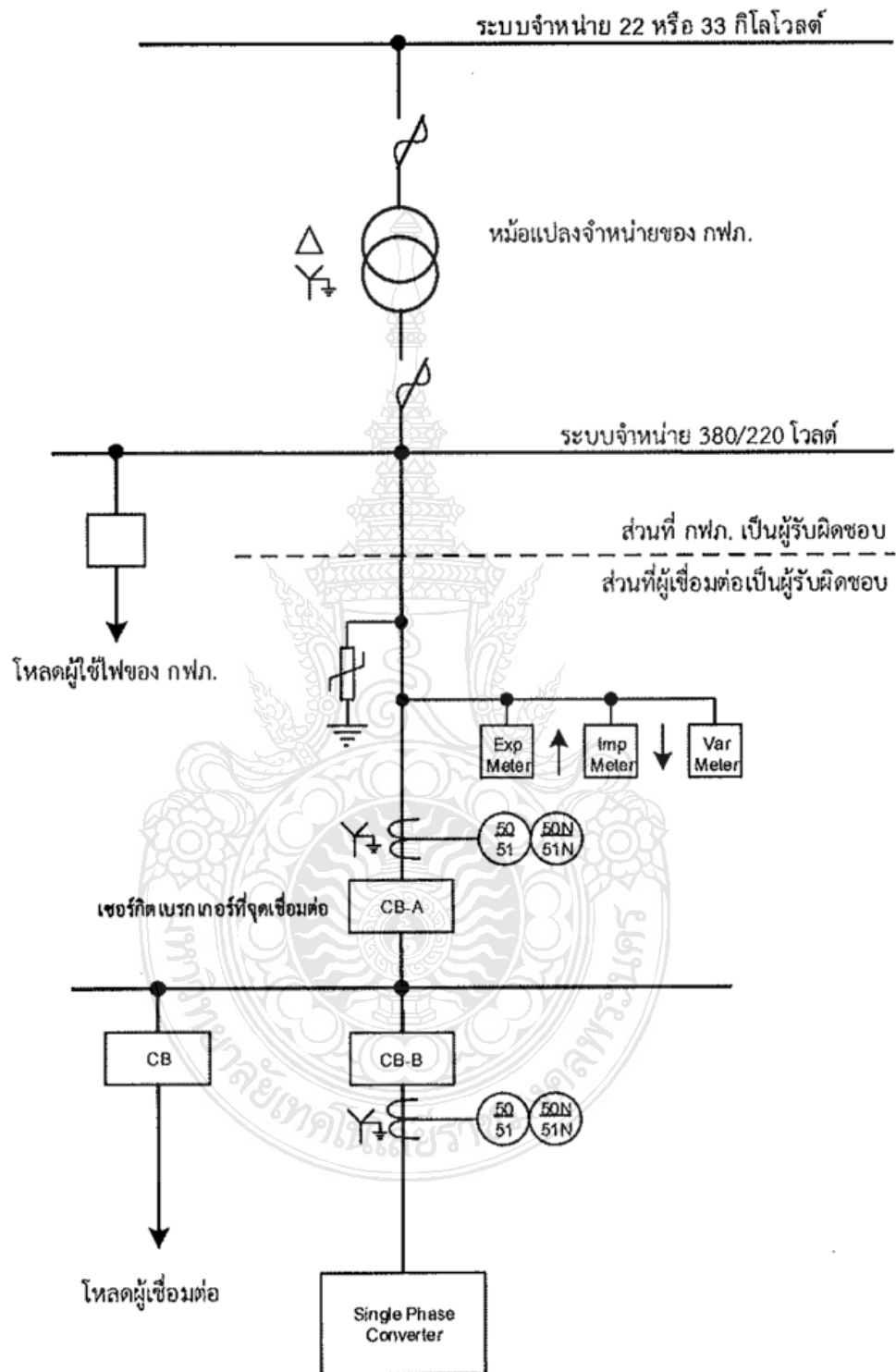
การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับภาคครัวเรือน บ้านอยู่อาศัย จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นอุปกรณ์ยึดจับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ในส่วนของวงจรไฟฟ้า ซึ่งจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดและมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

๓.๒ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านอยู่อาศัย

การเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านอยู่อาศัยเข้ากับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายในงานวิจัยนี้กำหนดให้ภาคครัวเรือน คือ บ้านอยู่อาศัยเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าแบบหนึ่งเฟสเชื่อมต่อกับระบบ ๒๒๐ โวลต์ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้รูปแบบการเชื่อมต่อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รูปแบบที่ ๑ ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการเชื่อมต่อของผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีคอนเวอร์เตอร์แบบหนึ่งเฟส เชื่อมต่อกับระบบ ๒๒๐ โวลต์ ดังนี้

- ๑) คอนเวอร์เตอร์จะต้องมีระบบป้องกันขั้นต่ำดังนี้
 - ๑.๑การป้องกันแรงดันต่ำ/แรงดันเกิน (๒๗/๕๙)
 - ๑.๒การป้องกันความถี่ต่ำ/ความถี่เกิน (๘๑)
 - ๑.๓ระบบการชิ่งโครโนซ์ (๒๕)
 - ๑.๔การป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-islanding protection)
- ๒) คอนเวอร์เตอร์จะต้องผ่านการทดสอบตามข้อกำหนดของ กฟผ.
- ๓) กรณีเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้า ไม่ต้องติดตั้ง Export Meter

จากข้อกำหนดดังกล่าวการป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดเพื่อไม่ให้เกิดการจ่ายไฟในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าให้ระบบผลิตไฟฟ้าของผู้ขอใช้บริการปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า ภายใน ๑ วินาที เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงาน



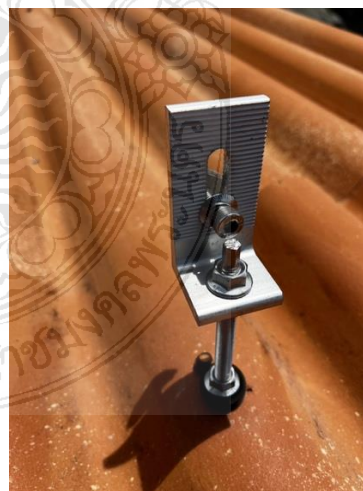
รูปที่ ๓.๑ ไดอะแกรมการเชื่อมต่อของผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบ ๒๒๐ โวลต์

๓.๓ การฝึกทักษะติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

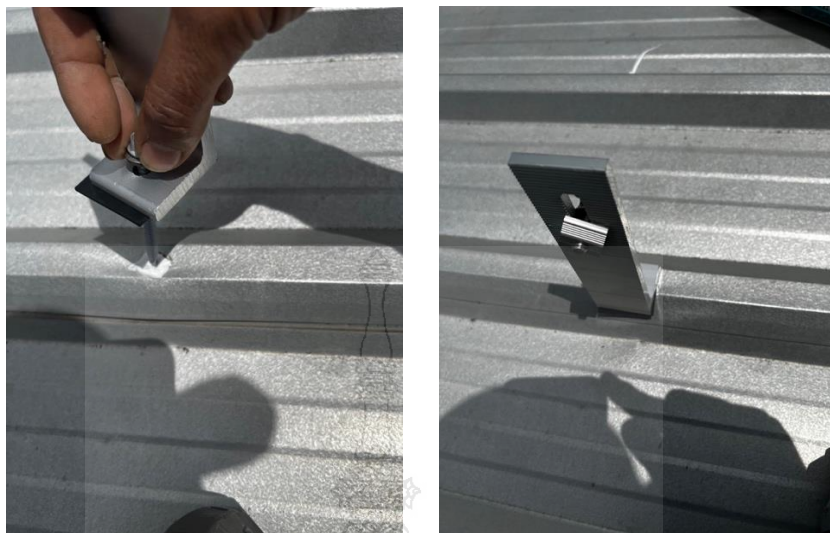
จากการเตรียมความพร้อมด้านความรู้ เครื่องมือ และความปลอดภัยในการปฏิบัติงานที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ ๒ จากนั้นจะสามารถดำเนินการเป็นขั้นตอนสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังนี้

ขั้นที่ ๑ การติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคา (L-feet)

- ระบุตำแหน่งจันทัน (Rafter)
- เปิดกระเบื้องหลังคาเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคา



รูปที่ ๓.๒ การติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคา



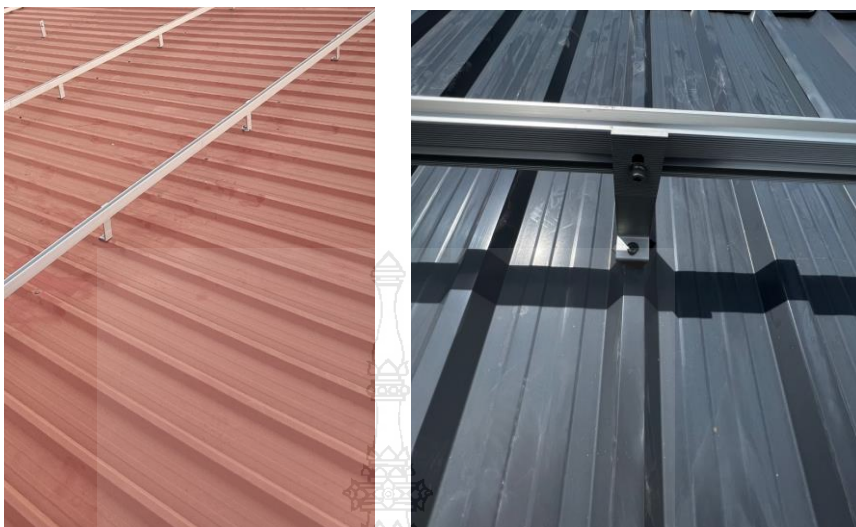
รูปที่ ๓.๓ การติดตั้งอุปกรณ์ยึดหลังคาบนหลังคาแบบเมทัลชีท

ขั้นที่ ๒ การติดตั้งรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Rail)

- รางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกติดตั้งอยู่กับอุปกรณ์ยึดหลังคา
- ปรับระดับความสูงของรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ระดับเดียวกัน



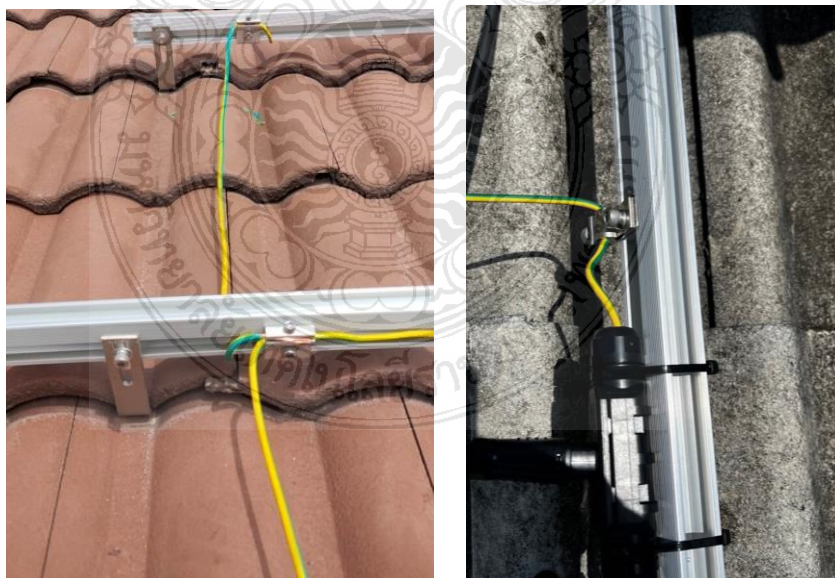
รูปที่ ๓.๔ การติดตั้งรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ๓.๕ การติดตั้งรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเมทัลชีท

ขั้นที่ ๓ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดสายกราวด์ (Grounding lugs)

- อุปกรณ์จับยึดสายกราวด์จะติดตั้งเข้ากับรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ต่อสายกราวด์เพื่อให้มีความเชื่อมต่อทางไฟฟ้า

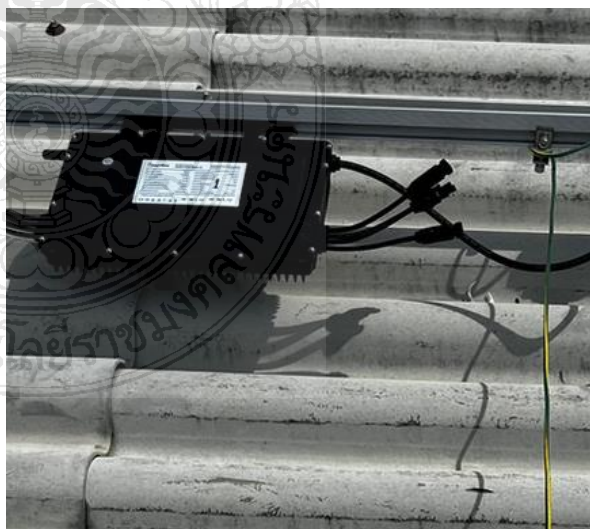




รูปที่ ๓.๖ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดสายกราวด์

ขั้นที่ ๔ การติดตั้งอินเวอร์เตอร์

- ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ลงบนรางยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ขันยึดให้แน่น เก็บสายไฟให้เรียบร้อยด้วยเข็มขัดรัดสาย





รูปที่ ๓.๗ การติดตั้งอินเวอร์เตอร์

ขั้นที่ ๕ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- หันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ทำมุมเอียง ๑๕ - ๒๐ องศา
- เคลื่อนย้ายแผ่นโดยห้ามให้แผ่นบิดตัว



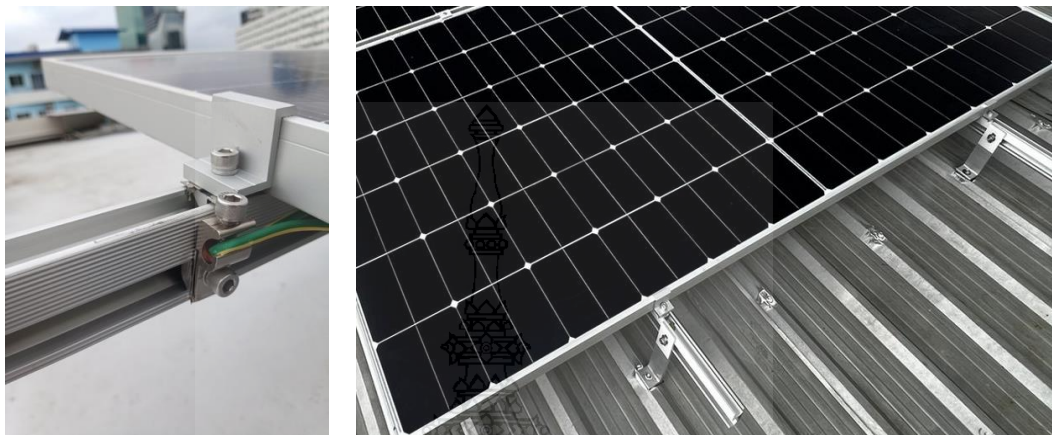
รูปที่ ๓.๘ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นที่ ๖ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Mid clamp) และแผ่นยึดต่อกราวด์ (Grounding clip)



รูปที่ ๓.๙ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

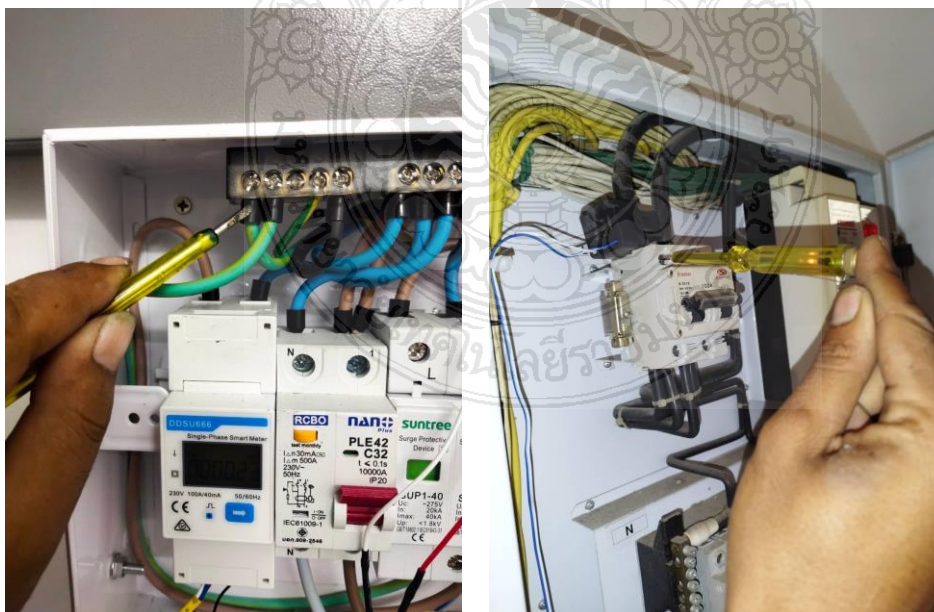
ขั้นที่ ๗ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (End clamp) และแผ่นยึดต่อกราวด์ (Grounding clip)

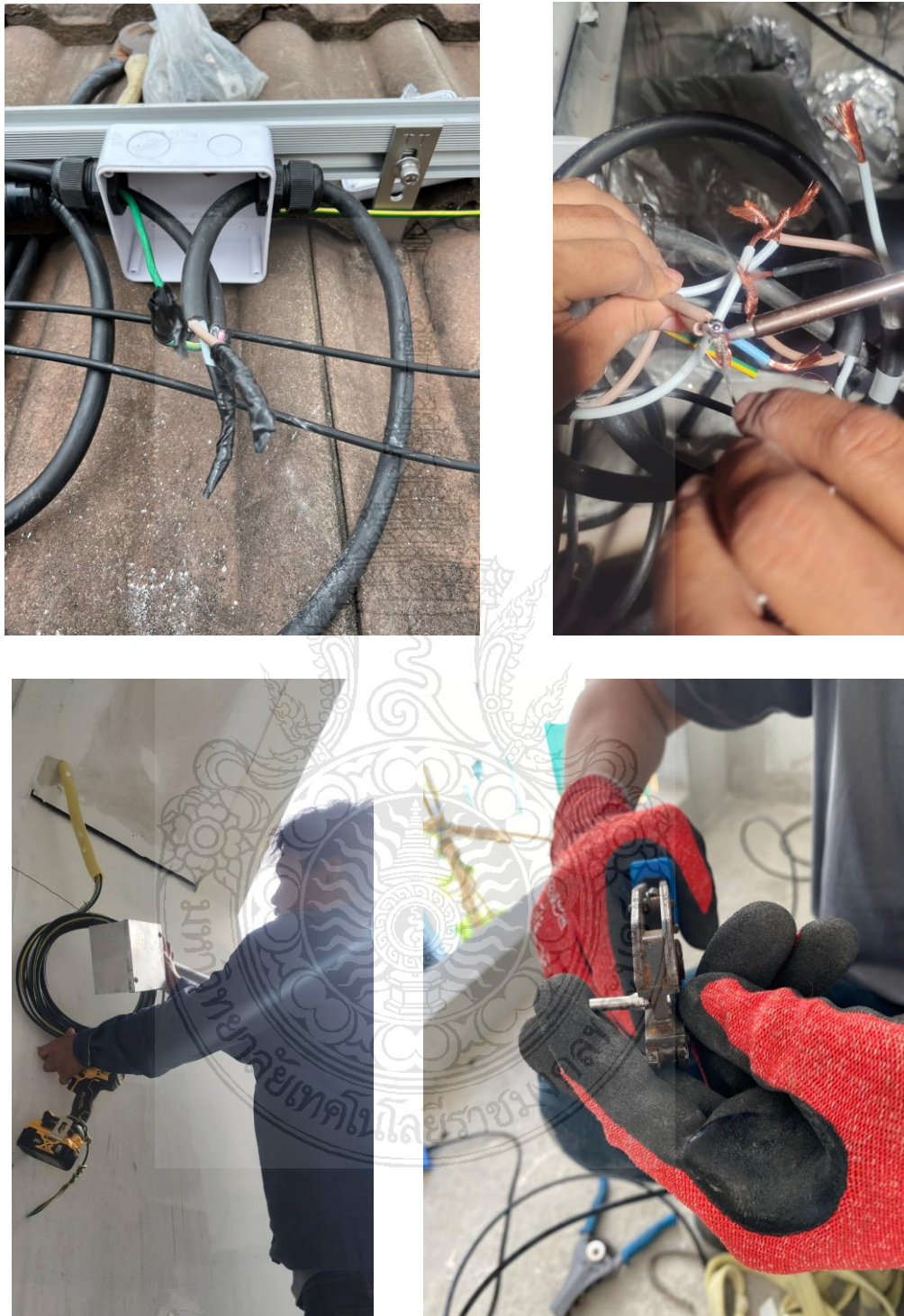


รูปที่ ๓.๑๐ การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นที่ ๘ การติดตั้งสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน

- การเข้าสายไฟฟ้าต้องทำการเชื่อมตะกั่วเพื่อป้องกันจุดต่อไม่แน่น
- ติดตั้งสายไฟเพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้า





รูปที่ ๓.๑๑ การติดตั้งสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกัน

บทที่ ๔ ผลการวิจัย

๔.๑ บทนำ

การทดลองนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานกับผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน ๓ ราย และ ได้ทำการบันทึกข้อมูลเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปสู่การหาค่าอัตราส่วนระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้า ต่อการบริโภค ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงแนวโน้มการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า

๔.๒ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิต ติดตั้งเท่ากับ ๒,๓๒๐ วัตต์ กับผู้ใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือน บ้านอยู่อาศัยที่ระดับแรงดัน ๒๒๐ โวลต์ จำนวน ๓ ราย ซึ่งอยู่ในพื้นที่ตำบลหนองผึกนาก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ตำบลตะคร้ำเอน อำเภอกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และตำบลตะนาวศรี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี โดยกำหนดเป็นผู้ใช้ไฟฟ้า รายที่ ๑ - ๓ ตามลำดับ และทำการทดลองในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖ เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าดังนี้

ตารางที่ ๔.๑ พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖

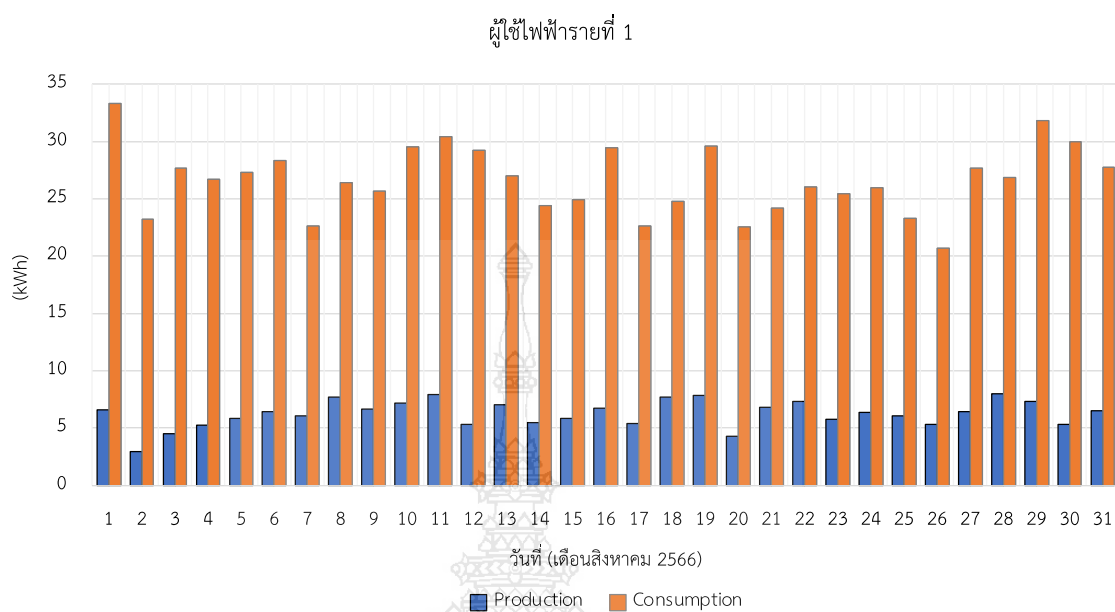
วันที่	ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๑ (kWh)		ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๒ (kWh)		ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๓ (kWh)	
	Production	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption
๐๑	๖.๖๑	๓๓.๒๙	๔.๓๖	๒๘.๑๕	๖.๒๐	๒๐.๓๓
๐๒	๒.๙๐	๒๓.๒๐	๓.๖๓	๒๓.๖๗	๔.๕๑	๒๐.๕๒
๐๓	๔.๔๙	๒๗.๖๗	๔.๒๒	๒๑.๓๒	๑.๗๒	๑๒.๖๕
๐๔	๕.๒๒	๒๖.๗๓	๔.๖๗	๒๕.๕๓	๒.๐๖	๑๓.๒๘
๐๕	๕.๘๕	๒๗.๓๓	๖.๐๔	๒๘.๑๕	๓.๙๔	๑๖.๙๐
๐๖	๖.๔๐	๒๘.๓๑	๔.๔๕	๒๔.๐๒	๖.๕๗	๒๒.๕๙
๐๗	๖.๐๔	๒๒.๖๕	๕.๑๔	๓๒.๒๐	๒.๓๑	๑๗.๐๖
๐๘	๗.๖๙	๒๖.๔๑	๔.๖๖	๓๓.๒๗	๔.๕๔	๒๒.๑๗
๐๙	๖.๖๓	๒๕.๖๘	๔.๒๔	๓๒.๖๑	๖.๔๓	๒๑.๒๒
๑๐	๗.๒๐	๒๙.๕๕	๖.๓๙	๓๒.๒๒	๖.๗๖	๒๑.๗๒

ตารางที่ ๔.๑ (ต่อ)

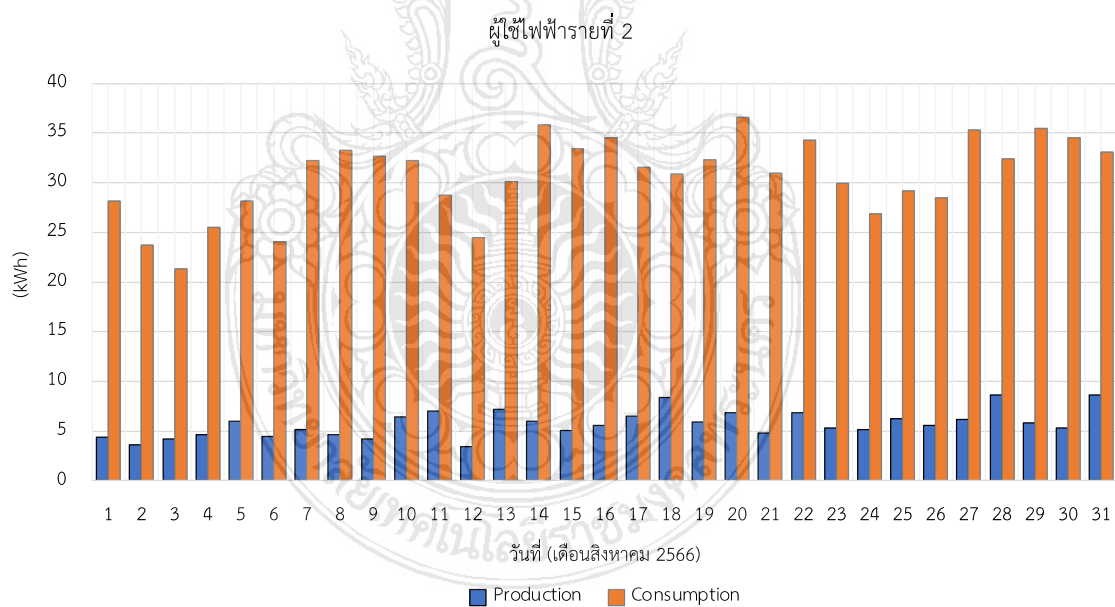
วันที่	ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๑ (kWh)		ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๒ (kWh)		ผู้ใช้ไฟฟ้ายายที่ ๓ (kWh)	
	Production	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption

๑๑	๗.๙๑	๓๐.๓๙	๖.๙๙	๒๘.๗๒	๔.๔๗	๒๐.๙๐
๑๒	๕.๓๔	๒๙.๒๐	๓.๔๑	๒๔.๕๐	๒.๒๑	๑๙.๑๑
๑๓	๗.๐๓	๒๗.๐๓	๗.๑๗	๓๐.๐๗	๘.๒๗	๒๕.๐๘
๑๔	๕.๔๓	๒๔.๓๙	๖.๐๐	๓๕.๘๒	๗.๐๔	๒๓.๔๘
๑๕	๕.๘๖	๒๔.๙๕	๕.๑๐	๓๓.๓๘	๕.๑๖	๒๐.๘๘
๑๖	๖.๗๑	๒๙.๔๔	๕.๖๑	๓๔.๕๓	๕.๑๘	๒๑.๓๔
๑๗	๕.๓๖	๒๒.๖๑	๖.๔๙	๓๑.๕๖	๓.๕๘	๑๖.๖๑
๑๘	๗.๗๑	๒๔.๗๙	๘.๓๖	๓๐.๘๗	๓.๗๖	๑๖.๔๘
๑๙	๗.๘๔	๒๙.๖๐	๕.๘๘	๓๒.๒๙	๒.๐๐	๒๘.๓๙
๒๐	๔.๒๙	๒๒.๕๒	๖.๘๗	๓๖.๕๖	๗.๙๘	๒๕.๒๑
๒๑	๖.๗๙	๒๔.๒๐	๔.๗๘	๓๐.๙๐	๕.๕๗	๒๒.๒๐
๒๒	๗.๓๐	๒๖.๐๗	๖.๘๖	๓๔.๒๔	๕.๕๓	๒๒.๗๓
๒๓	๕.๗๙	๒๕.๔๗	๕.๓๔	๒๙.๙๓	๕.๔๑	๒๑.๒๐
๒๔	๖.๓๔	๒๕.๙๙	๕.๑๕	๒๖.๘๕	๕.๙๓	๒๑.๒๔
๒๕	๖.๐๔	๒๓.๒๗	๖.๒๓	๒๙.๑๕	๓.๖๒	๑๓.๙๔
๒๖	๕.๓๔	๒๐.๗๑	๕.๕๔	๒๘.๔๙	๓.๑๑	๑๗.๑๓
๒๗	๖.๔๔	๒๗.๖๙	๖.๑๗	๓๕.๒๘	๗.๘๓	๒๔.๕๙
๒๘	๗.๙๙	๒๖.๘๕	๘.๖๓	๓๒.๓๕	๖.๓๓	๒๑.๑๖
๒๙	๗.๓๑	๓๑.๘๔	๕.๘๐	๓๕.๔๑	๓.๖๓	๑๘.๕๕
๓๐	๕.๓๑	๒๙.๙๘	๕.๓๒	๓๔.๕	๔.๑๑	๑๙.๘๘
๓๑	๖.๔๘	๒๗.๗๖	๘.๖๐	๓๓.๐๓	๔.๕๘	๒๑.๒๓

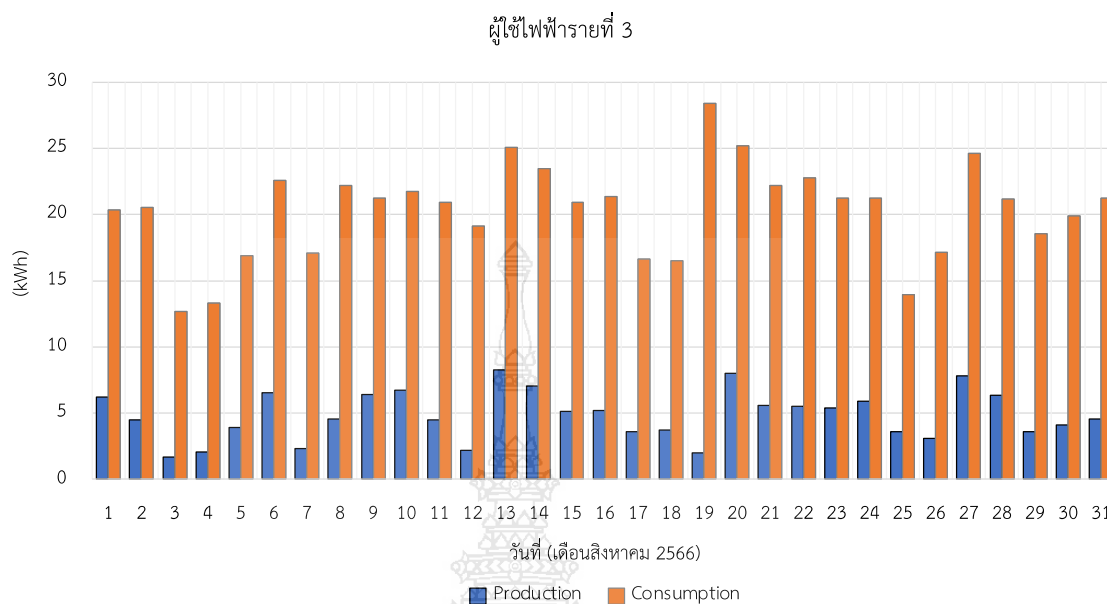
จากตารางที่ ๔.๑ ในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะแสดงข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์ (Production) และการบริโภคพลังงานไฟฟ้า (Consumption) ตั้งแต่วันที่ ๑ ถึงวันที่ ๓๑ เดือนสิงหาคม ๒๕๖๖ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ ๔.๑ การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑

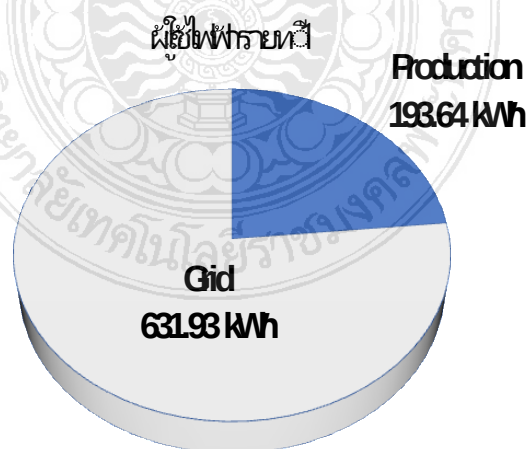


รูปที่ ๔.๒ การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๒

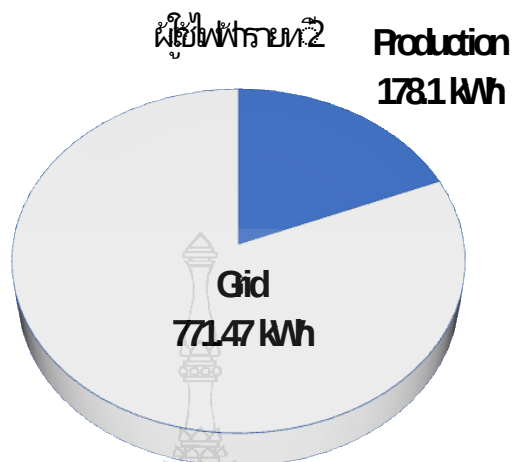


รูปที่ ๔.๓ การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๓

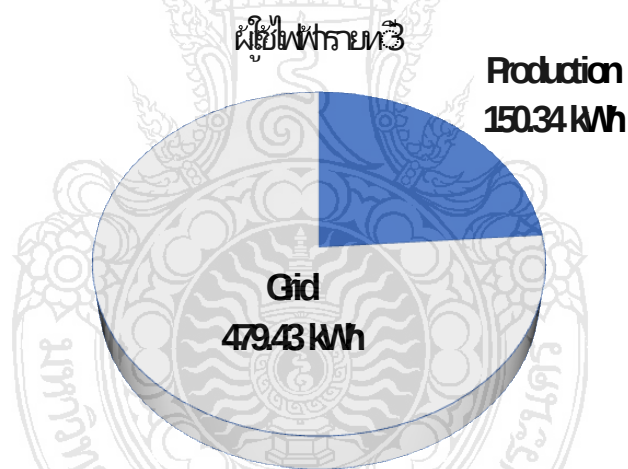
จากรูปที่ ๔.๑-๔.๓ เป็นข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า จะพบว่าเมื่อนำข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้ารวมลบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์รวมจะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ต้องรับจากกริดของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย หรืออีกทางหนึ่งกล่าวได้ว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าบริโภคทั้งหมดนั้น ก็คือพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์รวมกับพลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริด ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ ๔.๔ พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑



รูปที่ ๔.๕ พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟรายที่ ๒



รูปที่ ๔.๖ พลังงานไฟฟ้าที่รับจากกริดของผู้ใช้ไฟรายที่ ๓

จากข้อมูลในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖ จะพบว่าผู้ใช้ไฟรายที่ ๑ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รวมเท่ากับ ๑๙๓.๖๔ kWh และมีการบริโภคพลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ ๘๒๕.๕๗ kWh โดยที่อัตราส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อการบริโภคจะมีค่าเท่ากับ ๒๓.๔๕ % ผู้ใช้ไฟรายที่ ๒ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รวมเท่ากับ ๑๗๘.๑๐ kWh และมีการบริโภคพลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ ๙๔๙.๕๗ kWh โดยที่อัตราส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อการบริโภคจะมีค่าเท่ากับ ๑๘.๗๕ % และ ผู้ใช้ไฟรายที่ ๓ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์รวมเท่ากับ ๑๕๐.๓๔ kWh

และมีการบริโภคพลังงานไฟฟ้ารวมเท่ากับ ๖๒๙.๗๗ kWh โดยที่อัตราส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อการบริโภคจะมีค่าเท่ากับ ๒๓.๘๗ % ซึ่งจะสามารถแสดงเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ ๔.๒ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖

ผู้ใช้ไฟฟ้า	Production (kWh)	Grid (kWh)	Consumption (kWh)	ร้อยละของการลดค่าพลังงาน
รายที่ ๑	๑๙๓.๖๔	๖๓๑.๙๓	๘๒๕.๕๗	๒๓.๔๕
รายที่ ๒	๑๗๘.๑๐	๗๗๑.๔๗	๙๔๙.๕๗	๑๘.๗๕
รายที่ ๓	๑๕๐.๓๔	๔๗๙.๔๓	๖๒๙.๗๗	๒๓.๘๗

จากตารางที่ ๔.๒ พบว่าพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับผู้ไฟฟ้าภาคครัวเรือน บ้านอยู่อาศัย แต่จะมีปัจจัยด้านสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล รวมไปถึงเงาบังพื้นที่รับแสงและฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



บทที่ ๕

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

๕.๑ สรุป อภิปรายผล

การให้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แก่ ประชาชน ชุมชน ทำให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความตระหนักถึงการใช้พลังงาน และการใช้เทคโนโลยีในปัจจุบัน การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องได้รับการฝึกทักษะด้านการใช้งานเครื่องมือ อุปกรณ์ และความปลอดภัย ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถดูแลซ่อมบำรุงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้อง โดยที่งานวิจัยนี้ได้กำหนดพื้นที่ จำนวน ๓ พื้นที่ ได้แก่ ตำบลหนองผึกนาก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ตำบลตะคร้ำเอน อำเภอดำรงวิทยะ อำเภอท่งมะกา จังหวัดกาญจนบุรี และตำบลตะนาวศรี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี และมีผู้เข้าอบรมจำนวนไม่น้อยกว่า ๑๐๐ คน ผลที่ได้จากการฝึกทักษะและได้นำไปออกแบบชุดสาธิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการใช้งานภาคครัวเรือน ซึ่งแต่ละพื้นที่ได้ทำการทดลองกับผู้ใช้ไฟฟ้า ๑ ราย กล่าวคือ จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าพื้นที่ละ ๑ ราย ดังนั้น ๓ พื้นที่ จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน ๓ ราย โดยที่ผลการทดลองจะกำหนดเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยที่ ๑ - ๓ ตามลำดับพื้นที่ และจากการทดลองเพื่อคำนวณหาการลดค่าพลังงานโดยใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนสิงหาคม ๒๕๖๖ พบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑ มีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ๘๒๕.๕๗ kWh ได้รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จำนวน ๑๙๓.๖๔ kWh และดึงพลังงานไฟฟ้าจากกริดมาใช้งานจำนวน ๖๓๑.๙๓ kWh แสดงว่าผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๑ มีการลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ ๒๓.๔๕ ในขณะที่เดียวกันผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๒ มีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ๙๔๙.๕๗ kWh ได้รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จำนวน ๑๗๘.๑๐ kWh และดึงพลังงานไฟฟ้าจากกริดมาใช้งานจำนวน ๗๗๑.๔๗ kWh แสดงว่าผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๒ มีการลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ ๑๘.๗๕ และผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๓ มีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ๖๒๙.๗๗ kWh ได้รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จำนวน ๑๕๐.๓๔ kWh และดึงพลังงานไฟฟ้าจากกริดมาใช้งานจำนวน ๔๗๙.๔๓ kWh แสดงว่าผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ ๓ มีการลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ ๒๓.๘๗ ซึ่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรง และหลีกเลี่ยงสถานที่ที่มีเงาบังพื้นแผงเซลล์ที่รับแสงอาทิตย์

๕.๒ ข้อเสนอแนะ

การนำเสนอในประเด็นจุดคุ้มทุนซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการลงทุนค่าใช้จ่ายในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้า ๑ เฟส ซึ่งจะติดตั้งได้ไม่เกิน ๕ กิโลวัตต์ และการคำนวณหาระยะเวลาคุ้มทุนจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้านำไปวางแผนการติดตั้ง รวมไปถึงการนำเสนอราคา

ต่อหน่วยหรือราคาโดยประมาณเพื่อนำไปคำนวณหาต้นทุน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของการเลือกใช้งานวัสดุ อุปกรณ์ สำหรับการติดตั้ง



บรรณานุกรม

- นโยบายด้านพลังงานที่ปรากฏในคำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรี พลเอก ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี แถลงต่อรัฐสภา วันที่ ๒๕ กรกฎาคม ๒๕๖๒
- อกระเบียบว่าด้วยการจัดหาไฟฟ้าโครงการผลิต ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชน พ.ศ. ๒๕๖๒
- ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับ ภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย พ.ศ. ๒๕๖๕
- ประกาศ เชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๖๖
- การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กองถ่ายถอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- รศ.ดร.รองฤทธิ์ ฉัตรถาวร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (๒๕๖๖). ติดโซลาร์เซลล์ลดค่าไฟคุ้มจริงไหม
- สาคร อธิชัยสกุล. (๒๕๕๓). การพัฒนาอินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบ การไฟฟ้า. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปาติดา คงธนกมล. (๒๕๕๘). การประเมินผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท บนหลังคาต่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ. สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อิฐฐาน ทิพย์พงศ์ธร. (๒๕๖๒). การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สาขาวิชาวิศวกรรม การจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- อิทธิเดช ภู่นันทพงษ์. (๒๕๖๒). การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้ง บนหลังคาตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าสำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- นพดล ชวนไชยะกุล. (๒๕๕๕). แบบจำลองและการออกแบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.)

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สถาบันวิจัยเศรษฐกิจป๋วย อึ๊งภากรณ์

- Apaitan, T. and Wibulpolprasert, W. (๒๐๑๘). Stylized Facts on Thailand's Residential Electricity Consumption, PIER Discussion Paper (forthcoming)
- Atithan Thippongton and Keerati Suluksna. (๒๐๑๘). Feasibility Study of Installing a Rooftop PV Systems in Suranaree University of Technology
<https://www.cleanenergyreviews.info> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)
<https://www.premierlighting.co.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)
<https://new.abb.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)
<https://palmetto.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)
<https://www.hoymiles.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)
<https://www.prostarsolar.net> (วันที่สืบค้นข้อมูล: ๑ สิงหาคม ๒๕๖๖)

