

# การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และพิกัดของโหลด สำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

## Analysis of the Relationship between Solar Power and Rated Load for Installation of Stand-Alone PV System

ไพโรจน์ ทองประศรี<sup>1\*</sup>  
Pairote Thongprasri<sup>1\*</sup>  
pairote@eng.src.ku.ac.th<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

<sup>1\*</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

Received: May 15, 2018  
Revised: July 19, 2018  
Accepted: August 20, 2018

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และพิกัดของโหลด เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ การวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 กรณีคือต้องการทราบพิกัดของเซลล์อาทิตย์สำหรับติดตั้งเมื่อผู้ใช้ทราบขนาดของโหลดและระยะเวลาในการใช้งาน ต้องการทราบขนาดของโหลดสูงสุดเมื่อผู้ใช้ทราบพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์และระยะเวลาในการใช้งาน และต้องการทราบระยะเวลาในการใช้งานเมื่อผู้ใช้ทราบพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดของโหลด ผลที่ได้จากการทดลองผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิกัด 50 วัตต์ 100 วัตต์ 150 วัตต์ และ 200 วัตต์ ใน 1 วันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการพาราโบลาและได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นสมการสำหรับหาพิกัดของโหลด สมการที่ได้นี้ถูกนำไปทดสอบทั้ง 3 กรณี เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.25% 4.01% และ 5.09% ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การวิเคราะห์ กำลังไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ พิกัดของโหลด สมการพาราโบลา

### Abstract

This paper presents a method for analyzing the relationship between solar power and rated load to use as a database for the installation of stand-alone PV system. The analysis is divided into 3 cases; need to know the rated of the solar cell for installation when the user knows the size of the load and the duration of use, need to know the maximum load size when the user knows the rated of the solar cell and the duration of use, and need to know the duration of use when the user knows the rated of the solar cell and the size of the load. The results of experiments to produce solar cell power at 50 watts, 100 watts, 150 watts and 200 watts in one day can be written in the form of the equation of a parabola and it is transformed into the equation for determining the rated load. This equation was tested for all three cases to verify the accuracy that the results have the average error of 8.25%, 4.01% and 5.09%, respectively.

**Keywords:** analysis, power, solar cell, rated load and equation of parabola.

## 1. บทนำ

แถบพื้นที่ซึ่งระบบการไฟฟ้าเข้าไปให้บริการไม่ถึง เช่น พื้นที่บนภูเขา พื้นที่ทุรกันดาร เป็นต้น หรือผู้ที่ต้องการลดค่าการใช้พลังงานโดยใช้พลังงานทดแทน การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยม เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า  $17\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$  [1] ซึ่งเป็นระดับที่สูงสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดแต่ละช่วงเวลาของวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ [2] กระบวนการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ให้มีความสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดในทุกๆ ช่วงเวลา วิธีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีรบกวนและสังเกต (Perturb and Observe : P&O) เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน [3] โดยการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในคาบเวลาปัจจุบันกับคาบเวลา ก่อน เพื่อนำมาวิเคราะห์ว่าจะเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิธีการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่หรือดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle : D) ของวงจรแปลงผันกำลัง เพื่อให้จุดทำงานเข้าใกล้จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ความเข้มแสงขณะนั้นมากที่สุด วิธีการดังกล่าวนี้เป็นกระบวนการที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสูงในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ปัญหาคือเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าในสภาวะคงตัว [2] การติดตาม

ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำ (Incremental Conductance : IC) เป็นวิธีที่สามารถหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดได้แม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงอย่างรวดเร็ว [4] ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ [1] แบ่งเป็น 3 ระบบ คือ i) ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone PV system) ถูกออกแบบใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า ii) ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-connected PV system) ถูกออกแบบให้ผลิตไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง iii) ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid PV system) ถูกออกแบบให้ผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าอื่นๆ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการตัดสินใจเลือกติดตั้งระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ศักยภาพความเข้มรังสีรวม ไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อต้องการใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับต้องมีตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ หรือที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ ใน [5] ได้นำเสนออินเวอร์เตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมกันอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันการหาซื้อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการติดตั้งไม่ใช่ว่าเรื่องยาก โดยถ้าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 1843-2553 (เฉพาะชนิดผลึกซิลิคอน) และ มอก. 2210 (เฉพาะชนิดฟิล์มบาง) [6] ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับใช้งานกลางแจ้งในระยะยาวในภูมิภาคทั่วไประยะยาวที่ใช้เชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเลือกใช้ตามมาตรฐาน IEC 60502 [6] แต่ปัญหาหลักคือผู้ที่จะติดตั้งนั้นไม่ทราบว่าควรใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งขนาดเท่าไรที่จะทำให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการ บทความนี้ นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และพิกัดของโหลด เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกทำให้อยู่

ในรูปแบบของสมการสำหรับหาพิกัดของโหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยมีลักษณะเป็นกราฟพาราโบลา สมการที่ได้นี้ถูกนำไปทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องกับชุดการทดลองการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

## 2. เซลล์แสงอาทิตย์ [2]

### 2.1 พื้นฐานการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนแบ่งได้ 2 ประเภท คือแบบรูปผลึกและแบบไม่เป็นรูปผลึก โดยประเภทแบบรูปผลึกดังแสดงในรูปที่ 1 มีทั้งแบบซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon) และแบบหลายผลึก (Polycrystalline Silicon) ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยวมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูง ต้นทุนการผลิตสูง ส่วนแบบหลายผลึกมีสีน้ำเงินเข้มเห็นเป็นลายประสิทธิภาพการแปลงพลังงานต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยวเล็กน้อย แต่ต้นทุนการผลิตต่ำกว่ามาก

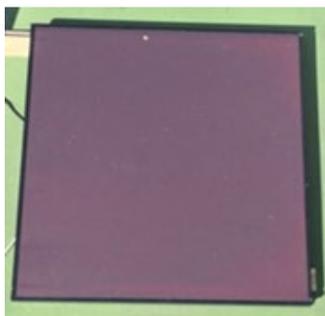


(ก) แบบผลึกเดี่ยว



(ข) แบบหลายผลึก

รูปที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิคอน



รูปที่ 2 ซิลิคอนแบบอะมอร์ฟัส

แบบไม่เป็นรูปผลึกหรือซิลิคอนแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous Silicon) ดังแสดงในรูปที่ 2 เกิดจากสารประกอบซิลิคอนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในสถานะก๊าซ มาเคลือบเป็นฟิล์มบางบนแผ่นฐาน ต้นทุนการผลิตต่ำ ประสิทธิภาพต่ำและอายุการใช้งานสั้น

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งได้ 2 แบบคือการติดตั้งแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ การติดตั้งแบบอยู่กับที่ ต้องให้ความลาดเอียงเพียงพอเพื่อให้ได้รับแสงมากที่สุด และให้เกิดการระบายน้ำฝน สำหรับประเทศไทยควรติดตั้งให้มีความลาดเอียง 15 องศา โดยหันหน้าไปทางทิศใต้ ดังรูปที่ 3

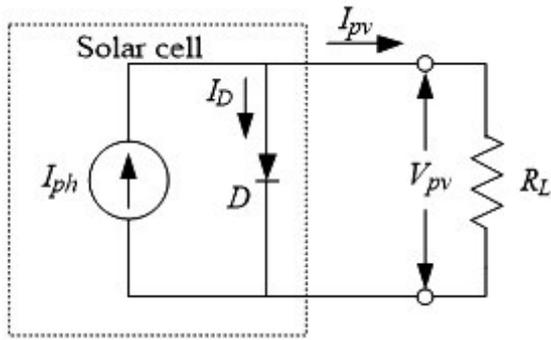


รูปที่ 3 การติดตั้งแบบอยู่กับที่

การติดตั้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ เป็นการติดตั้งให้หน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถปรับตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดแต่มีค่าใช้จ่ายสูง

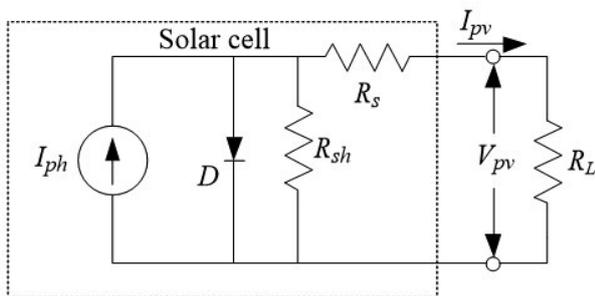
### 2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในอุดมคติ สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสขนานกับไดโอด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรสมมูลทางอุดมคติ

กระแส  $I_{ph}$  คือกระแสที่สร้างจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงและอุณหภูมิ โดยสามารถแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดแสดงถึงคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพีเอ็น สำหรับกระแสจ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์  $I_{pv}$  คือความแตกต่างของกระแส  $I_{ph}$  กับกระแสของไดโอด



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแทนด้วยความต้านทานที่ขนาน และความต้านทานที่อนุกรมกับวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยคุณลักษณะทางกระแสต้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล [7] หาได้จากสมการที่ (1)

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left( e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

โดยที่

$I_{pv}$  คือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์

(A)

$I_s$  คือกระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด (A)

$q$  คือประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ  $1.602 \times 10^{-19}$

(C)

$T$  คืออุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $^{\circ}\text{K}$ )

$A$  คือตัวประกอบทางอุดมคติ (Ideal Factor) มีค่าตั้งตารางที่ 1

$K$  คือค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ ( $\text{J}/^{\circ}\text{K}$ )

$V_{pv}$  คือแรงดันที่ขั้วเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

$R_s$  คือค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\Omega$ )

$R_{sh}$  คือค่าความต้านทานขนานของเซลล์อาทิตย์ ( $\Omega$ )

ตารางที่ 1 ตัวประกอบทางอุดมคติ

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	A
ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว	1.2
ซิลิคอนแบบหลายผลึก	1.3
ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน	1.8

ค่า  $I_{ph}$  เป็นค่ากระแสที่ถูกสร้างขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง (Radiation Intensity) และอุณหภูมิ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2)

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i(T - T_{ref})) \frac{\lambda}{1000} \quad (2)$$

โดยที่

$I_{sc}$  คือกระแสขณะลัดวงจร (A)

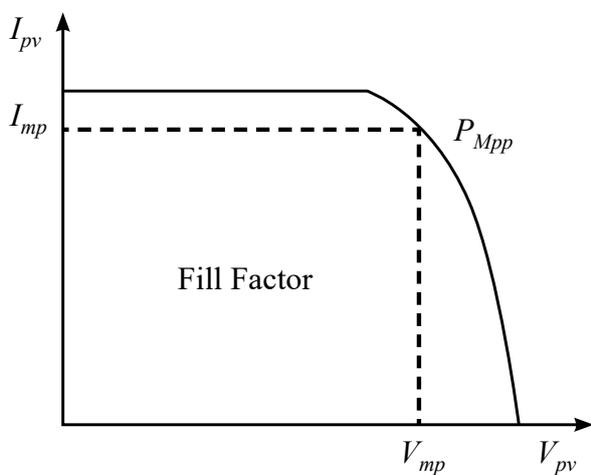
$K_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร ( $\text{A}/^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ref}$  คือค่าอุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่  $25^{\circ}\text{C}$  หรือ  $298^{\circ}\text{K}$

$\lambda$  คือค่าความเข้มแสง ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

### 2.3 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน (I-V Curve) หากอุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าคงที่ กราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งมีจุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point : MPP) อยู่ที่ตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด  $V_{mp}$  และกระแสไฟฟ้าสูงสุด  $I_{mp}$



รูปที่ 6 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิและปริมาณความเข้มแสงคงที่

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าด้านออกต่อกำลังแสงอาทิตย์ด้านเข้า สามารถหาได้จาก

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (3)$$

โดยที่  $FF$  คือค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor) แสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (4)$$

### 3. วิธีการวิเคราะห์

เซลล์อาทิตย์รุ่น KANEKA G-EA050 ในรูปที่ 7 ซึ่งมีคุณลักษณะต่อแผงดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 7 เซลล์แสงอาทิตย์รุ่น KANEKA G-EA050

ตารางที่ 2 คุณลักษณะ KANEKA G-EA050 (1แผง)

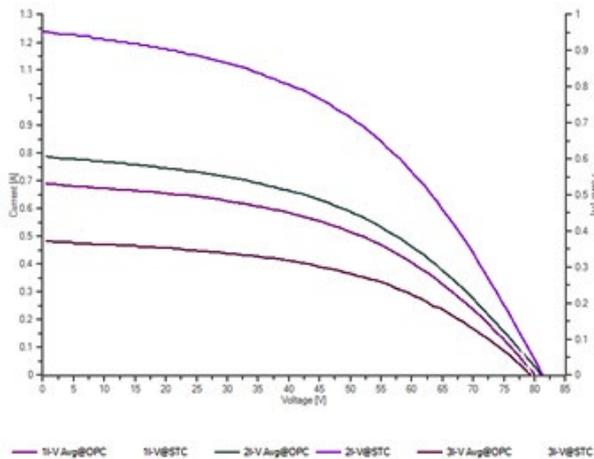
ตัวแปร	พิกัด
Nominal Power	50W
Tolerance	+10/-5%
Efficiency of Module (not Cell)	6.3%
Kind of Cell	a-Si
Cells per Module	108
Voltage MPPT	67V
Current MPPT	0.9A
Voltage open circuit	92V
Current short circuit	1.19A



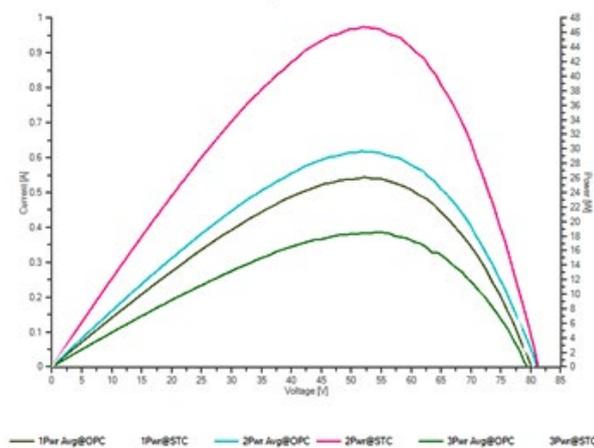
รูปที่ 8 เครื่องวัดเซลล์แสงอาทิตย์ (รุ่น HT Instruments I-V 400)

เครื่องมือวัดเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น HT Instruments I-V 400 ดังแสดงในรูปที่ 8 สำหรับวัดวิเคราะห์ กำลังไฟฟ้า ทดสอบประสิทธิภาพ วัดพลังงาน ความเข้มของแสง และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปที่ 9 (ก) วัดที่ความเข้มแสง 1,000 W/m<sup>2</sup>, 636W/m<sup>2</sup>, 563W/m<sup>2</sup>, และ 423W/m<sup>2</sup> (ลำดับจากบนลงล่าง) และกราฟคุณลักษณะของแรงดัน-กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 9 (ข) วัดที่ความเข้มแสง 1,000W/m<sup>2</sup> 636W/m<sup>2</sup>, 563W/m<sup>2</sup> และ 423W/m<sup>2</sup> (ลำดับจากบนลงล่าง)



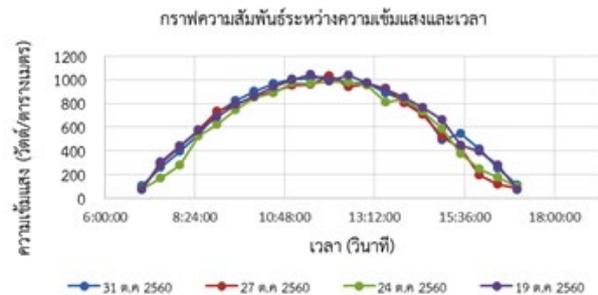
(ก) กราฟคุณลักษณะกระแส-แรงดัน



(ข) กราฟคุณลักษณะของแรงดัน-กำลังไฟฟ้า

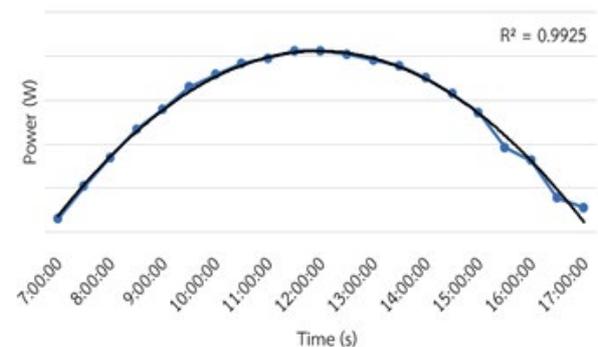
รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น KANEKA G-EA050

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง ค่าความเข้มของแสงที่ทดสอบอยู่ในช่วงเวลา 7:00 -17.00 น. โดยในรูปที่ 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาที่ได้จากการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและเวลาในรอบ 1 วัน

รูปที่ 11 แสดงผลผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์อาทิตย์ 1 แผงในรอบ 1 วัน (สีน้ำเงิน) โดยใช้เครื่องมือวัดเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากสมการทางคณิตศาสตร์ (สีดำ) พาราโบลาดังแสดงในสมการที่ (5) เมื่อกำหนดให้ช่วงเวลา 12.00 น. คือจุดกึ่งกลางของพาราโบลา



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาในรอบ 1 วัน

$$y = ax^2 + bx + c \quad (5)$$

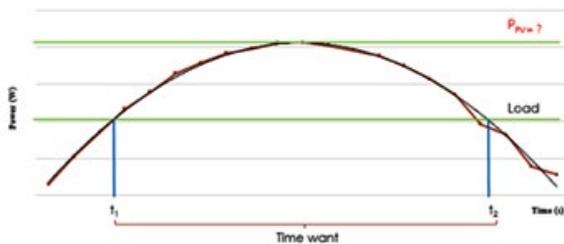
โดยที่

$y$  คือกำลังไฟฟ้า (W)

$x$  คือช่วงเวลา (ชั่วโมง)

$a, b, c$  คือค่าคงที่

สมการที่ (5) แสดงถึงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้งาน โดยกำลังไฟฟ้าสามารถเป็นได้ทั้งของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้หรือขนาดของโหลดที่ใช้งาน ความแตกต่างคือกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้งพาราโบลาเกิดขึ้นตามความเข้มของแสงอาทิตย์ ในขณะที่ขนาดของโหลดจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงตลอดการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 12

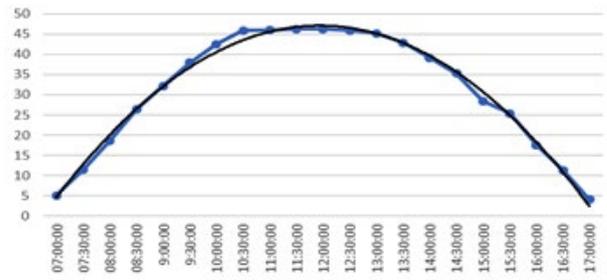


รูปที่ 12 กราฟสำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้งาน

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 12 ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและฐานการใช้โหลดได้ 3 กรณี คือ i) ต้องการทราบพิกัดของเซลล์อาทิตย์สำหรับติดตั้ง เมื่อผู้ใช้ทราบขนาดของโหลดและระยะเวลาในการใช้งาน ii) ต้องการทราบขนาดของโหลดสูงสุด เมื่อผู้ใช้ทราบพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์และระยะเวลาในการใช้งาน iii) ต้องการทราบระยะเวลาในการใช้งาน โดยต้องเปลี่ยนสมการที่ (5) ให้อยู่ในรูปของสมการสำหรับหาขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุดที่ใช้ ซึ่งจะแสดงวิธีการได้มาของสมการในหัวข้อถัดไป

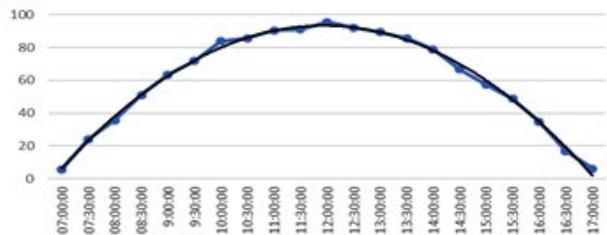
#### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ทดลองวัดกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้พิกัด 50 วัตต์ 100 วัตต์ 150 วัตต์ และ 200 วัตต์ ในรอบเวลา 1 วัน การทดลองจะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกันเพื่อให้ได้ตามพิกัด (1 แผงมีพิกัด 50 วัตต์) ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 16 ตามลำดับ



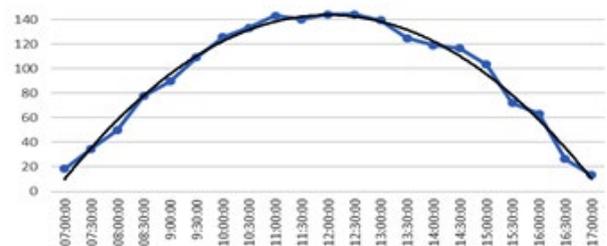
รูปที่ 13 เซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 50 วัตต์

$$y_1 = -0.436x^2 + 9.486x - 4.4301 \quad (6)$$



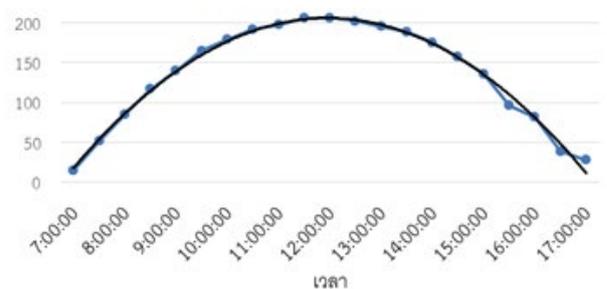
รูปที่ 14 เซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 100 วัตต์

$$y_2 = -0.862x^2 + 18.501x - 10.671 \quad (7)$$



รูปที่ 15 เซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 150 วัตต์

$$y_3 = -1.337x^2 + 29.424x - 18.119 \quad (8)$$



รูปที่ 16 เซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 200 วัตต์

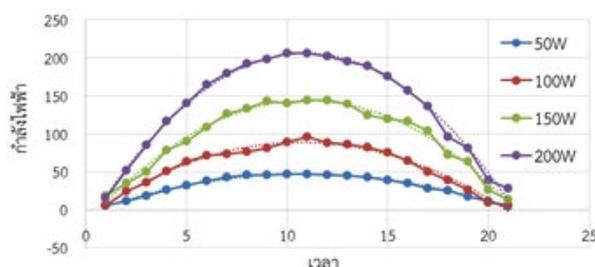
$$y_4 = -1.910x^2 + 41.699x - 21.648 \quad (9)$$

รูปที่ 13 ถึงรูปที่ 16 สามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และช่วงเวลาใน 1 วัน โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการพาราโบลาได้ดังสมการที่ (6) ถึง (9) ตามลำดับ โดยที่  $y$  คือกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ และ  $x$  คือช่วงเวลามีหน่วยเป็นชั่วโมง

เปลี่ยนช่วงเวลาให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วน 30 นาทีต่อ 1 ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เทียบค่าเวลาเป็นเลขจำนวนเต็ม

เวลา	$t$	เวลา	$t$
07:00 น.	1	12:30 น.	12
07:30 น.	2	13:00 น.	13
08:00 น.	3	13:30 น.	14
8:30 น.	4	14:00 น.	15
09:00 น.	5	14:30 น.	16
09:30 น.	6	15:00 น.	17
10:00 น.	7	15:30 น.	18
10:30 น.	8	16:00 น.	19
11:00 น.	9	16:30 น.	20
11:30 น.	10	17:00 น.	21
12:00 น.	11	-	-



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเทียบกับช่วงเวลาในรูปจำนวนเต็ม

รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ทั้ง 4 พิกัดเทียบกับช่วงเวลาที่อยู่ในรูปแบบจำนวนเต็ม

เปลี่ยนสมการให้อยู่ในรูปของสมการพาราโบลา 1 วัตต์ โดยนำสมการที่ (6) ถึง (9) หาค่าพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ 50 วัตต์ 100 วัตต์ 150 วัตต์ และ 200 วัตต์ ตามลำดับ ผลที่ได้คือ

$$y_{1B} = -0.0087t^2 + 0.1897t - 0.0886 \quad (10)$$

$$y_{2B} = -0.0086t^2 + 0.1850t - 0.1067 \quad (11)$$

$$y_{3B} = -0.0089t^2 + 0.1962t - 0.1208 \quad (12)$$

$$y_{4B} = -0.0096t^2 + 0.2085t - 0.1082 \quad (13)$$

นำสมการที่ (10) ถึง (13) เฉลี่ยเป็นสมการพาราโบลาเฉลี่ยฐาน 1 วัตต์ ( $y_b$ ) ซึ่งเป็นสมการกลางสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา

$$y_b = \frac{(y_{1B} + y_{2B} + y_{3B} + y_{4B})}{4} \quad (14)$$

สมการกลางหรือสมการสำหรับหาขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุดที่ใช้ได้ ( $P_L$ ) ขึ้นอยู่กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้จริงในแต่ละช่วงเวลาสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_L &= y_b \times P_V \\ &= \frac{(y_{1B} + y_{2B} + y_{3B} + y_{4B})}{4} \times P_V \end{aligned} \quad (15)$$

โดยที่

$P_V$  คือพิกัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำสุดที่ต้องใช้ (W)

$t$  คือเวลาที่ต้องการใช้งาน (ชั่วโมง) โดยเทียบค่าเป็นจำนวนเต็มในตารางที่ 3

ตรวจสอบความถูกต้องของสมการกลาง โดยทดสอบ 3 กรณี กำหนดเงื่อนไขดังนี้

i) ผู้ใช้ต้องการใช้โหลดที่ 70 วัตต์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (8:00-16:00 น.) จะต้องติดตั้งพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำสุดเท่าไร

วิธีคิด กำหนด  $P_L = 70$  วัตต์ ใช้งานเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (8:00-16.00 น.) เทียบตารางที่ 3 ดังนั้นเวลามีค่า  $t = 3$  และ  $t = 19$  แทนลงในสมสมการที่ (15) ทำให้ได้

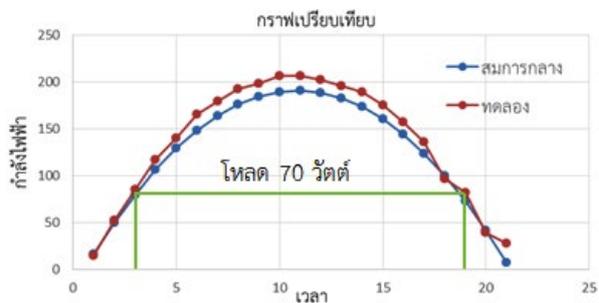
$$70 = (-0.0089t^2 + 0.1949t - 0.1061)P_V$$

เมื่อแทน  $t = 3$  ผลที่ได้คือ  $P_V = 175.93$  วัตต์

เมื่อแทน  $t = 19$  ผลที่ได้คือ  $P_V = 192.33$  วัตต์

สรุปเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 200 วัตต์

รูปที่ 18 แสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งเกิดจากการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (15) ผลจากการวิเคราะห์หามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.25% เมื่อเทียบกับการวัดและเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าช่วงเวลา 8.00-16.00 น. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าความต้องการของโหลด 70 วัตต์



รูปที่ 18 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและการคำนวณที่พิกัด 200 วัตต์

ii) ผู้ใช้มีเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 100 วัตต์ ต้องการใช้งาน 6 ชั่วโมง (9:00-15.00 น.) จะสามารถใช้โหลดขนาดสูงสุดได้กี่วัตต์

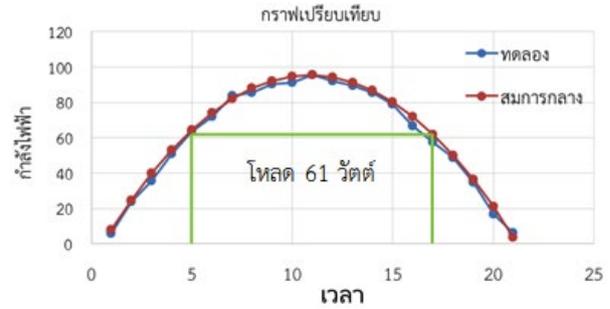
วิธีคิด กำหนด  $P_V = 100$  วัตต์ ใช้งานเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (8:00-16.00 น.) เทียบตารางที่ 3 ดังนั้นเวลามีค่า  $t = 5$  และ  $t = 17$  แทนลงในสมสมการที่ (15) ทำให้ได้

$$P_L = (-0.0089t^2 + 0.1949t - 0.1061) \times 100$$

เมื่อแทน  $t = 5$  ผลที่ได้คือ  $P_L = 64.31$  วัตต์

เมื่อแทน  $t = 17$  ผลที่ได้คือ  $P_L = 61.89$  วัตต์

สรุปสามารถใช้โหลดขนาดสูงสุด 61 วัตต์



รูปที่ 19 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและการคำนวณที่พิกัด 100 วัตต์

รูปที่ 19 แสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งเกิดจากการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (15) ผลจากการวิเคราะห์หามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.01% เมื่อเทียบกับการวัดและเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าช่วงเวลา 9.00-15.00 น. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าความต้องการของโหลด 61 วัตต์

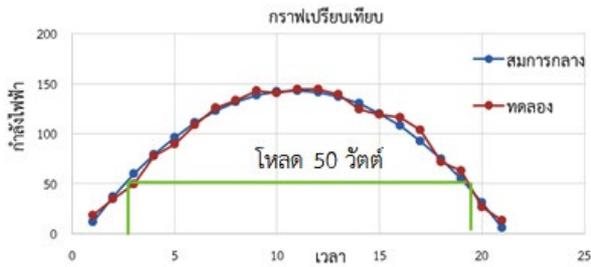
iii) ผู้ใช้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 150 วัตต์ ต้องการใช้กับโหลดขนาด 50 วัตต์ จะสามารถใช้งานได้กี่ชั่วโมง

วิธีคิด กำหนด  $P_V = 150$  วัตต์ และ  $P_L = 50$  วัตต์ แทนลงในสมสมการที่ (15) ทำให้ได้

$$50 = (-0.0089t^2 + 0.1949t - 0.1061) \times 150$$

ผลที่ได้คือ  $t = 2.55$  และ  $t = 19.02$

นำค่า  $t$  ที่ได้เปรียบเทียบกับตารางที่ 3 ทำให้ได้เวลาที่ใช้ 8 ชั่วโมง คือช่วงเวลาที่ใช้คือ 7.48-16.07 น.



รูปที่ 20 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดและการคำนวณที่พิกัด 150 วัตต์

รูปที่ 20 แสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งเกิดจากการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (15) ผลจากการวิเคราะห์มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.09% เมื่อเทียบกับการวัด และเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าช่วงเวลา 8.00-16.00 น. เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าความต้องการของโหลด 50 วัตต์

หลักการวิเคราะห์เพื่อหาพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับขนาดของโหลดที่ใช้ในช่วงเวลาที่กำหนดที่นำเสนอ ไม่จำเป็นต้องมีระบบกักเก็บพลังงานเมื่อใช้ในรอบ 1 วันที่มีความเข้มดวงอาทิตย์ในสภาวะปกติ เมื่อพิจารณาผลการทดลองในรูปที่ 18-20 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะเหลือน้อยเมื่อใช้ช่วงเวลาสั้น ในทางตรงข้ามถ้าต้องการใช้ช่วงเวลาเต็มวันควรต้องมีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยในบทความนี้ระบบคอนเวอร์เตอร์ต่างๆจะพิจารณาแบบทางความคิด (ไม่มีการสูญเสีย)

## 5.สรุป

บทความนี้แนะนำวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้และเวลาในรอบ 1 วัน โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น KANEKA G-EA050 เป็นต้นแบบ ผลของการวิเคราะห์สามารถเขียนแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบ

พาราโบลา สมการที่ได้นี้ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการหาพิกัดโหลดซึ่งประกอบไปด้วย 3 ตัวแปร คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของโหลด พิกัดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และช่วงเวลาที่ต้องการใช้งาน สมการที่นำเสนอได้ถูกนำไปทดสอบกับเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นมา 3 กรณี เพื่อยืนยันสอบความถูกต้อง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำให้ผู้ใช้สามารถทราบพิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งให้เหมาะสมกับโหลดที่ใช้งานตามช่วงเวลาที่กำหนด ผลพลอยได้คือจะมีพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตเกินความต้องการของโหลด ดังนั้นพลังงานในส่วนนี้สามารถนำไปกักเก็บในระบบสะสมพลังงาน (แบตเตอรี่) ได้ เพื่อนำไปใช้ช่วงเวลากลางคืนหรือช่วงที่ไม่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่องที่กำลังดำเนินการ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลังและการจัดการพลังงาน (PEAEM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rinpol N. Design for solar power systems. 13th ed. Ecoplanetworld; 2014. (in Thai)
- [2] Thongprasri P. Power electronics for energy conservation. KU press; 2017. (in Thai)
- [3] Viswambaran VK, Ghani A, Zhou E. Modeling and simulation of maximum power point tracking algorithms & review of MPPT techniques for PV applications. ICEDSA. 2016;1-4.

- [4] Zakzouk NE, Elsharty MA., Abdelsalam AK, Helal AA, Williams BW. Improved performance low-cost incremental conductance PV MPPT technique. IET J Renewable Power Generation. 2015;10(4);1-14.
- [5] Jain S, Sonti V. A highly efficient and reliable inverter configuration based cascaded multilevel inverter for PV systems. IEEE Trans on industrial electronics, 2016;64(4);2865-2875.
- [6] Academic service center renewable energy conservation. Solar PV rooftop safety. Department of Alternative Energy Development and Efficiency. 2014. (in Thai)
- [7] Impreeda D, Subsingha W. Real-time simulation with MATLAB/Simulink photovoltaic module. TREC-4; 2011; (37-44). (in Thai)