

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียงเพื่อการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ชนมน จันทนา^{1*} และวิชมา โพธิ์ทอง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*fengcnm@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียง เพื่อการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผง PV เนื่องจากข้อมูลรังสีจากเครื่องมือวัดรังสี pyranometer เป็นรังสีบนพื้นราบ และสมการอ้างอิงที่ใช้คำนวณรังสีบนพื้นราบให้เป็นรังสีบนพื้นเอียงขึ้นกับตัวแปรหลายตัว เช่น สมการของ Lui และ Jordan ที่ใช้ในการศึกษานี้ สำหรับวิธีการศึกษาประกอบด้วย การติดตั้งแผง PV ชนิด polycrystalline จำนวน 4 แผง โดยทำมุม 20 องศา กับพื้นราบ หันไปทางทิศใต้ ที่ละติจูด 14.02° N ในเขตพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จากนั้นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงจะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติ และนำไปคำนวณความเข้มรังสีรวมบนแผง PV ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายให้กับระบบสร้างอากาศเย็นสำหรับโรงเพาะเห็ดทดสอบ สำหรับข้อมูลรังสีบนพื้นราบได้มาจากเครื่องมือวัดรังสี pyranometer ที่ติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงกับแผง PV โดยทำการเก็บข้อมูลในเดือน มีนาคม 2566 ผลจากการศึกษาพบว่า รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างรังสีพื้นราบและพื้นเอียงรายชั่วโมงจากข้อมูลการทดสอบมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงที่มีค่า R^2 เท่ากับ 92.95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และมีรูปแบบความสัมพันธ์เดียวกันกับข้อมูลจากงานวิจัยอื่นที่ได้ศึกษามาก่อนหน้า รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างรังสีพื้นราบและพื้นเอียงเฉลี่ยรายวันที่คำนวณจากสมการอ้างอิงด้วย แต่รังสีพื้นเอียงเฉลี่ยรายวันที่คำนวณจากผลการทดสอบและสมการอ้างอิงมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ระหว่าง ± 6 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างรังสีบนพื้นราบและพื้นเอียง และควรเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของแต่ละเดือน

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ โรงเพาะเห็ด รังสีดวงอาทิตย์

A Study of the Relationship between Solar Radiation on the Horizontal and Inclined Plane for the Design of Solar Cells

Chanamon Chantana^{1*} and Watchama Pothong¹

¹Department of Mechanical engineering Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen Kasetsart University

*fengcnm@ku.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the relationship between solar radiation on the horizontal and inclined plane. This was used for the design of solar cells or PV cells since the total radiation intensity data recorded by the pyranometer is a horizontal type. Also, there are many variables in the referenced equations which are used for the calculation of horizontal to inclined plane radiation. For example, Liu and Jordan equation that was used in this study. The methodology consisted of the installation of four crystalline PV cells with a slope of 20° facing south at the latitude of 14.02° N in Kamphaeng Saen district Nakhon Pathom province. The produced direct current (DC) from the cells was automatically recorded and then calculated to total radiation on the PV cells. The inverter converted the DC to alternating current (AC) and supplied it to the air cooling system for a tested mushroom house. The pyranometer was installed at the nearby location of the PV cells for automatic recording the radiation intensity. The study was done during March 2023. The conclusions from the study were that the relationship between the hourly solar radiation on the horizontal and inclined plane from the tested data was a straight line with the R^2 value at 92.95 percent. The p-value was less than the significant level of 0.05. This relationship was the same format as the tested data from the earlier published study and the relationship between average daily solar radiation on the horizontal plane and the inclined plane calculated from the referenced equation. However, there was a percentage difference between the average daily solar radiation on the inclined plane from the tested data and the referenced equation which was in the range of ± 6 percent. This could be concluded that there was a relationship between the solar radiation on the horizontal and inclined plane, but additional data is required to set up the equations for each month.

Keywords: Solar cell, Mushroom house, Solar radiation

1. บทนำ

โรงเรือน หมายถึง สิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสิ่งแวดล้อมภายในสามารถปรับให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือสัตว์ ปกป้องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมภายนอกได้ สำหรับพืชทั่วไปที่ต้องการแสงในการเจริญเติบโตนั้น วัสดุปิดโครงโรงเรือนจะมีลักษณะโปร่งใส เช่น กระจก พลาสติก เพื่อให้แสงผ่านได้ สำหรับโรงเรือนที่ทำจากวัสดุทึบ เช่น อิฐ หรือ แผ่นโลหะที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์นั้น มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะเห็ด เนื่องจากเห็ดต้องการแสงในบางช่วงเวลาของการเจริญเติบโตเท่านั้น ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และมีแสงแดดตลอดทั้งปี จึงมีเห็ดหลากหลายสายพันธุ์ เห็ดเศรษฐกิจของประเทศไทยมีประมาณ 13 ชนิด โดยมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงขึ้นทุกปี [1] เห็ดจะมีระยะเวลาการบ่มก้อนเชื้อและระยะเกิดดอกแตกต่างกันตามสายพันธุ์ โดยเฉพาะในช่วงการเกิดดอกนั้น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศนับเป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญอย่างมาก แต่จากผลกระทบของภาวะโลกร้อน (global warming) ทำให้อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย

ของประเทศไทยมีค่าสูงขึ้นทุกปี รวมทั้งจังหวัดนครปฐมซึ่งเกษตรกรจำนวนหนึ่งยึดถืออาชีพเพาะเห็ดเป็นทั้งอาชีพหลักและอาชีพเสริม การเพาะเห็ดในโรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในได้จึงได้รับความนิยมจากเกษตรกรมากขึ้น

ระบบสร้างอากาศเย็นสำหรับโรงเรือนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบทำความเย็นแบบระเหย (evaporative cooling system) โดยชนิดที่นิยมใช้กับโรงเพาะเห็ด คือ ระบบพ่นหมอก (fog system) และระบบแผงรังผึ้ง (cooling pad system) ซึ่งล้วนแต่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ โดยเฉพาะระบบแผงรังผึ้งที่มีอุปกรณ์หลัก คือ พัดลม และปั้มน้ำ โดยพัดลมและแผงรังผึ้งติดตั้งอยู่ที่ผนังด้านตรงกันข้ามกันของโรงเรือน เมื่อระบบทำงาน พัดลมจะดึงอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรังผึ้งที่มีน้ำที่สูบน้ำจากปั้มน้ำไหลผ่าน อากาศที่ทางออกจึงมีอุณหภูมิลดลงและมีความชื้นสูงขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับการเพาะเห็ด อย่างไรก็ตาม พัดลมจะต้องใช้พลังงานมากเพื่อสร้างความดันให้กับอากาศที่ไหลปะทะกับก้อนเห็ดที่มักจะวางอยู่บนชั้นวางตลอดความยาวของโรงเรือน ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบระบบกระจายอากาศในโรงเรือนด้วยท่อลมร่วมกับแผงรังผึ้งซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ [2] แต่เมื่อนำไปใช้กับโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่ การใช้พลังงานของระบบจะยังมีค่ามากเนื่องจากแผงรังผึ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่อยู่ในแผนการผลิตไฟฟ้าของประเทศ หรือแผน PDP 2022 (2565-2580) เพื่อมุ่งไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ในปี ค.ศ. 2050 และมีเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net Zero emissions) ภายในปี ค.ศ. 2065 ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ $17.5 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ [3] ซึ่งจัดว่ามีค่าสูงและมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell) หรือ แผง PV ที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้านั้น สามารถแบ่งระบบการผลิตไฟฟ้าได้เป็น 3 ประเภทหลัก ๆ ชนิดแรกเป็น ชนิดอิสระไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง หรือ PV stand-alone system ที่ต้องมีแบตเตอรี่ไว้สำรองกระแสไฟฟ้า ชนิดที่สองเป็นแบบต่อกับระบบสายส่ง หรือ PV grid connected system และแบบผสมผสาน หรือ PV hybrid system เช่น การใช้ระบบแผง PV ร่วมกับพลังงานทดแทนอื่น เช่น พลังงานลม หรือ ชีวมวล โดยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผง PV ให้กับโรงเรือน ตัวอย่างเช่น การใช้แผง PV จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบพ่นหมอกในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมโดยการติดตั้งบนหลังคาและเป็นร่มเงา (shading) ให้กับโรงเรือนด้วย [4] หรือ การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบแผงรังผึ้งในโรงเรือนขนาด 300, 900 และ 1500 m^2 [5] โดยใช้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ 1000 W/m^2 ในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลความเข้มรังสีเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับงานประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ที่นำมาใช้สามารถแบ่งที่มาได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ กล่าวคือ ข้อมูลที่มาจากสถานีวัด หรือ จากการวัดเฉพาะกิจ ซึ่งจัดเป็นข้อมูลปฐมภูมิ และ ข้อมูลที่มาจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิมิถวิทยา หรือ ภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจัดเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ถ้าข้อมูลจากการวัดมีความน่าเชื่อถือ ควรเลือกใช้ข้อมูลปฐมภูมิก่อน จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมมี 38 สถานี ซึ่งไม่ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศ โดยข้อมูลรังสีที่วัดได้เป็นชนิดรังสีรวมบนพื้นราบ ซึ่งหากนำไปออกแบบระบบแผง PV จำเป็นต้องเปลี่ยนข้อมูลรังสีดังกล่าวให้เป็นรังสีบนพื้นเอียง เนื่องจากแผง PV ที่ติดตั้งจะทำมุมเอียงกับพื้นราบ โดยนำข้อมูลรังสีบนพื้นราบไปคำนวณโดยใช้สมการอ้างอิงต่าง ๆ เช่น สมการของ Liu และ Jordan [6] อย่างไรก็ตาม สมการดังกล่าวมีความซับซ้อนขึ้นกับตัวแปรหลายตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลรังสีบนพื้นราบและรังสีบนพื้นเอียงเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน โดยข้อมูลรังสีบนพื้นเอียงคำนวณจากข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผง PV ที่มีการต่อแบบ on grid เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบสร้างอากาศเย็นสำหรับโรงเพาะเห็ดทดสอบ ซึ่งติดตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สำหรับข้อมูลรังสีพื้นราบได้จากเครื่องมือวัดรังสีรวม pyranometer ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันกับแผง PV โดยมีการเปรียบเทียบรูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้กับข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ด้วย รวมทั้งเปรียบเทียบรังสีที่คำนวณได้จากข้อมูลการทดสอบและที่คำนวณจากสมการของ Liu และ Jordan

2. วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพที่ 1 แสดงโรงเพาะเห็ดทดสอบพร้อมระบบสร้างอากาศเย็น โรงเรือนมีความกว้าง 2.50 m ยาว 3.0 m และสูง 2.0 m ผนังโรงเรือนมีลักษณะเป็น sandwich panel ที่มีแผ่นเมทัลชีทประกบอยู่ด้านหน้าและหลังของฉนวนที่มีค่าการนำ

ความร้อน 0.04 W/m.K ระบบสร้างอากาศเย็น ประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่สัมผัส (indirect contact heat exchanger) และแผงรังผึ้ง (cooling pad) อุปกรณ์ในระบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าประกอบด้วย พัดลมที่ใช้ส่งอากาศให้กับโรงเรือนขนาด 0.55 kW โดยมีการใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อให้ความเร็วรอบพัดลมได้ ป้อนน้ำขนาด 373 W สำหรับสูบน้ำหมุนเวียนไปที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และปั๊มไดอะแฟรมขนาด 72 W สำหรับหัวพ่นน้ำที่แผงรังผึ้ง ทั้งนี้ความเร็วพัดลมจะใช้ค่าที่ต่ำที่สุดที่ทำให้การกระจายอุณหภูมิในโรงเรือนมีค่าสม่ำเสมอ ระบบดังกล่าวทำงานระหว่างเวลา 09.00 น. ถึง 16.00 น. โดยช่วงเวลาทดสอบอยู่ระหว่างวันที่ 1 ถึง 31 มีนาคม 2566



ภาพที่ 1 โรงเพาะเห็ดทดสอบและระบบสร้างอากาศเย็น

ระบบกระแสไฟฟ้าจากแผง PV ที่จ่ายให้กับระบบสร้างอากาศเย็นเป็นชนิด on-grid กล่าวคือ มีการใช้กระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับจากแผง PV ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากแผง PV เป็นไฟฟ้ากระแสตรง มีการใช้อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ มีการใช้เครื่องวัดรังสีชนิด pyranometer ทำการบันทึกค่ารังสีแสงอาทิตย์รวม (global radiation) บริเวณที่ติดตั้งแผง PV แบบอัตโนมัติทุก 20 นาที โดยมีหน่วยของรังสีที่บันทึกเป็น W/m^2 กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผง และกำลังกระแสไฟฟ้าสลับจากอินเวอร์เตอร์จะมีการบันทึกค่าแบบอัตโนมัติทุก 20 นาที เช่นกัน สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้ แผง PV เป็นชนิด polycrystalline ยี่ห้อ GENIUS ขนาด 340 W จำนวน 4 แผง อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ NV รุ่น ND1-2-002-S-3PH และเครื่องวัดรังสี pyranometer ยี่ห้อ LSI รุ่น DPA154 โดยในภาพที่ 2 (A) แสดงแผง PV และ เครื่องวัดรังสีที่ติดตั้งใกล้กับโรงเพาะเห็ด และ ภาพที่ 2 (B) แสดงภายในตู้ที่ติดตั้งอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ประกอบ



(A)



(B)

ภาพที่ 2 (A) แผงโซลาร์เซลล์ และ pyranometer (B) อินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ประกอบในตู้

2.2 สมการที่ใช้คำนวณ

แผง PV ติดตั้งทำมุม 20 องศา กับพื้นราบโดยประมาณ เพื่อให้ใกล้เคียงกับละติจูดของพื้นที่ที่กล่าวคือ 14.02° N และหันไปทางทิศใต้ รังสีรวมที่ตกกระทบแผง PV จึงเป็นรังสีบนพื้นเอียง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลการบันทึกผล ดังแสดงสมการที่ใช้คำนวณดังนี้ [6]

$$P = I_T \times PSH \times N \times A_c \times \eta \quad (1)$$

P หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง, I_T หมายถึง ความเข้มรังสีรวมที่ตกกระทบแผง หน่วย W/m^2 , PSH หรือ peak sun hour หมายถึง ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด ในที่นี้แทนค่าเท่ากับ 5, N หมายถึง จำนวนแผง, A_c หมายถึง พื้นที่แผง หน่วย m^2 และ η หมายถึง ประสิทธิภาพแผง หน่วย เปอร์เซ็นต์

ค่ารังสีรายวันที่ตกกระทบพื้นเอียงสามารถคำนวณได้จากสมการของ Liu และ Jordan [6] ดังนี้

$$\frac{H_T}{H_g} = \left(1 - \frac{H_d}{H_g}\right) r_b + \frac{H_d}{H_g} \left(1 + \frac{\cos\beta}{2}\right) + \rho \left(1 - \frac{\cos\beta}{2}\right) \quad (2)$$

H_T หมายถึง รังสีรวมรายวันบนระนาบเอียง, H_g หมายถึง รังสีรวมรายวันบนระนาบระดับ, H_d คือ รังสีกระจายรายวันบนระนาบระดับ, ρ หมายถึง สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นโลก, β หมายถึง มุมเอียงของระนาบ หน่วย องศา และ r_b หมายถึง แฟคเตอร์สำหรับแปลงรังสีตรงรายวันบนระนาบระดับให้เป็นระนาบเอียง ในกรณีที่ระนาบหันไปทางทิศใต้นั้น ค่า r_b จะคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$r_b = \frac{\omega_{st} \sin\delta (\phi - \beta) + \cos\delta \sin\omega_{st} \cos(\phi - \beta)}{\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s} \quad (3)$$

δ หมายถึง declination angle, ϕ หมายถึง ละติจูดของพื้นที่ หน่วย องศา ω_{st} และ ω_s หมายถึง มุมชั่วโมงเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตก บนระนาบเอียงและระนาบระดับ ตามลำดับ และมีหน่วยเป็นเรเดียน ดังนี้

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (4)$$

สำหรับระนาบที่หันไปทางทิศใต้

$$|\omega_{st}| = \min [|\cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)|, |\cos^{-1}\{-\tan(\phi - \beta) \tan\delta\}|] \quad (5)$$

อัตราส่วนรังสีกระจายต่อรังสีรวมรายวัน (H_d/H_g) จะใช้แบบจำลองของสถานีวัดรังสีแสงอาทิตย์จังหวัดนครปฐม [7]

$$\frac{H_d}{H_g} = -1.9843 K_T^2 + 0.2154 K_T + 0.9881 \quad (6)$$

K_T คือ ดัชนีความแจ่มใสของบรรยากาศ โดยที่

$$K_T = \frac{H_g}{H_o} \quad (7)$$

H_o คือ รังสีนอกบรรยากาศโลก ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) (\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s) \quad (8)$$

I_{sc} คือ solar constant มีค่าเท่ากับ 1.367 kW/m^2

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการปรับค่าความเร็วรอบของพัดลมเพื่อให้ความเร็วอากาศที่กระจายในโรงเรือนมีค่าสม่ำเสมอ สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบต้องการได้เท่ากับ 0.55 kW ค่ารังสีที่ตกบนแผง PV หรือรังสีบนพื้นเอียง จะคำนวณจากกำลังไฟฟ้ากระแส

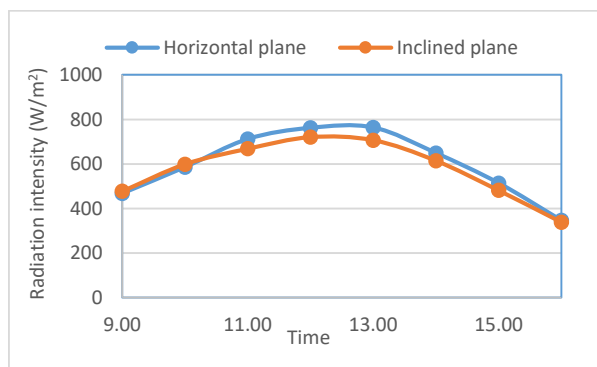
ตรงที่ผลิตได้จากแผง หรือค่า I_T จากสมการ (1) ทุก 20 นาที ตามที่ได้มีการบันทึกไว้ และนำมาเฉลี่ยให้เป็นค่ารายชั่วโมง เช่น ที่เวลา 9.00 น. ได้จากการเฉลี่ยค่าที่เวลา 9.00 น. 9.20 น. และ 9.40 น. ดังตัวอย่างผลในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการบันทึกค่าในวันที่ 1 มีนาคม 2566 ค่าประสิทธิภาพแผงที่ใช้คำนวณมีค่าเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ [8] โดยในตารางได้แสดงค่ารังสีรวมที่บันทึกจาก pyranometer ที่เป็นการบันทึกค่าที่เวลาเดียวกัน และนำมาเฉลี่ยให้เป็นค่ารายชั่วโมงเช่นเดียวกันกับค่ารังสีรวมบนแผง PV จากการคำนวณข้างต้น และแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างรังสีทั้งสองด้วย

ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าคำนวณรังสีรวมบนแผง PV และ ที่บันทึกจาก pyranometer รายชั่วโมง วันที่ 1 มีนาคม 2566

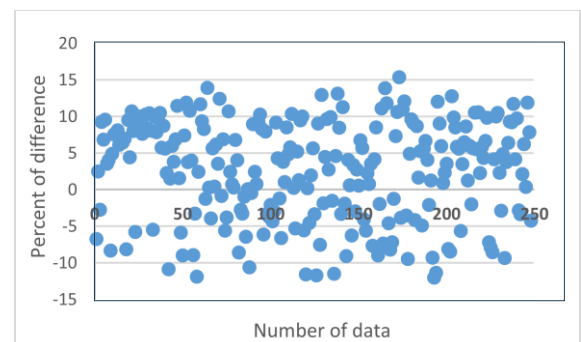
เวลา	กำลังที่ผลิตจากแผง (W)	ค่าคำนวณรังสีรวมบนแผง (1) (W/m^2)	รังสีรวมจาก Pyranometer(2) (W/m^2)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (2),(1) (%)
9.00	650.5	639.15	598.67	- 6.76
10.00	664.1	652.48	669.00	2.47
11.00	838.4	823.69	801.67	-2.75
12.00	830.3	815.77	899.00	9.26
13.00	824.3	809.91	869.33	6.84
14.00	767.4	753.97	833.67	9.56
15.00	669.9	658.20	682.33	3.54
16.00	455.5	447.51	466.33	4.04

หมายเหตุ วันที่ 1 มีนาคม 2566

ค่าเฉลี่ยรังสีรวมบนแผงและที่บันทึกจาก pyranometer ที่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสองในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบ แสดงดังในภาพที่ 3 (A) และ (B) ตามลำดับ ทั้งนี้ช่วงของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง $\pm 10\%$ และสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีเฉลี่ยรายชั่วโมงบนแผงและที่บันทึกจาก pyranometer ในช่วงเวลาที่ทดสอบได้ดังในภาพที่ 4 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด หรือ R^2 เท่ากับ 0.9295 จากการใช้โปรแกรม Microsoft EXCEL วิเคราะห์ข้อมูลพบว่า P-value เท่ากับ 1.1×10^{-143} น้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงว่า รังสีพื้นราบมีผลกับรังสีพื้นเอียง ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 8.24×10^{-14} หรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

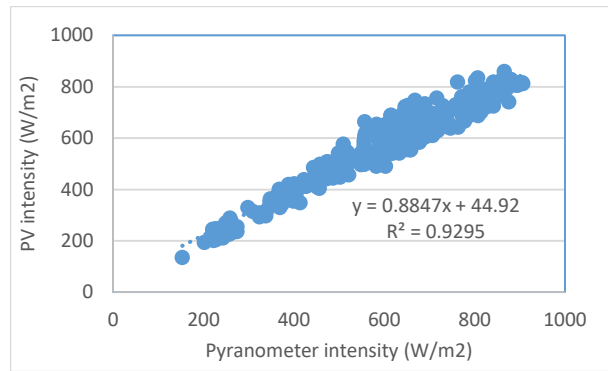


(A)



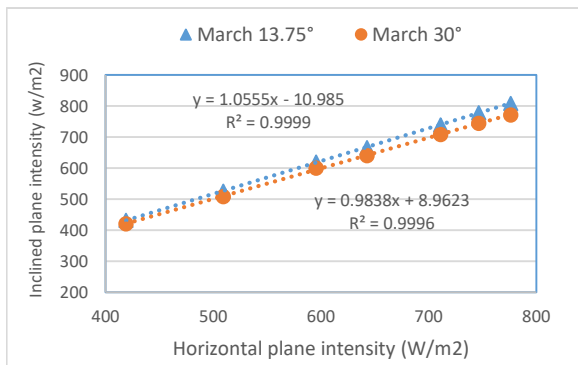
(B)

ภาพที่ 3 (A) ค่ารังสีรวมพื้นเอียงบนแผง PV และพื้นราบจาก pyranometer (B) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่ารังสีรวมบนแผง และจาก pyranometer

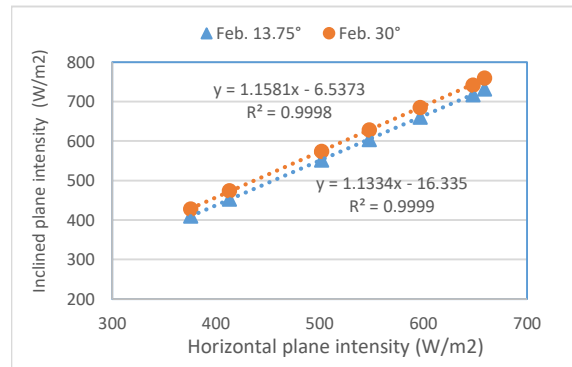


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมพื้นเอียงบนแผง PV และพื้นราบจาก pyranometer

อย่างไรก็ตามมีปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้งาน กล่าวคือ เส้นทางโคจรของดวงอาทิตย์ สภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ และ มุมของแผง PV ดังตัวอย่างแสดงในงานวิจัยที่ศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์บนระนาบเอียงและระนาบระดับที่หันไปทางทิศใต้ของพื้นที่กรุงเทพมหานคร ระหว่างเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม 2565 [9] โดยเป็นการเปรียบเทียบค่ารังสีแสงอาทิตย์จากการวัดซึ่งเป็นระนาบระดับกับค่าจากการคำนวณบนระนาบเอียงที่มุมต่าง ๆ ได้แก่ ละติจูดของพื้นที่ (13.5°), 30° , 60° และ 90° ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มรังสีทั้งบนระนาบเอียงและระนาบระดับมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเดือนและมุมของระนาบเอียง ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 5 (A) และ (B) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีดังกล่าวในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ที่มุมระนาบเอียง 13.5° และ 30° ทั้งนี้จะเห็นว่า มีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงเช่นเดียวกับผลที่ได้จากการทดสอบ จึงสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ของรังสีบนพื้นราบและพื้นเอียง อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวขึ้นกับปัจจัยอื่นดังได้กล่าวข้างต้น



(A)

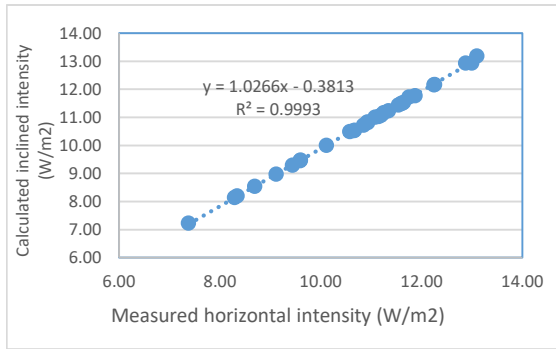


(B)

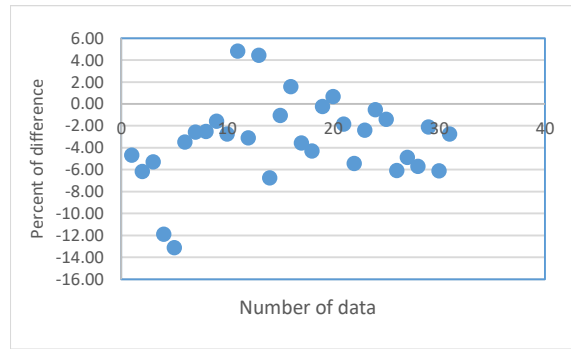
ภาพที่ 5 (A) ความเข้มรังสีบนระนาบระดับและระนาบเอียงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 (B) ความเข้มรังสีบนระนาบระดับและระนาบเอียง เดือนมีนาคม 2565

หมายเหตุ ข้อมูลจาก [9]

ข้อมูลที่ได้แสดงข้างต้นเป็นข้อมูลรายชั่วโมง เพื่อเป็นการคำนวณข้อมูลรังสีรวมเฉลี่ยรายวันบนพื้นเอียง จึงนำข้อมูลความเข้มรังสีรวมปัจจุบันที่บันทึกจาก pyranometer ระหว่างเวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. ในแต่ละวันมาเฉลี่ยให้เป็นรังสีรวมรายวันพื้นราบ แล้วนำไปคำนวณเป็นค่ารังสีรวมบนพื้นเอียง โดยใช้สมการที่ (2) ถึง (8) ที่ละติจูดพื้นที่ 14.02° นำมาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 6 (A) ทั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของรังสีดังกล่าวไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าแพคเตอร์แปลงรังสีในสมการมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละวัน ภาพที่ (B) แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่ารังสีบนแผง PV และรังสีบนพื้นเอียง เฉลี่ยรายวันจากสมการที่ (2) ถึง (8) ซึ่งพบว่าช่วงของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ระหว่าง ± 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีบนพื้นราบและพื้นเอียงจึงควรสร้างจากผลการทดสอบ เพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้นในการนำไปประยุกต์ใช้งาน



(A)



(B)

ภาพที่ 6 (A) ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีบนพื้นราบและที่คำนวณจากสมการ Lui และ Jordan (B) เปอร์เซนต์ความแตกต่าง รังสีบนแผง PV และที่คำนวณจากสมการ Lui และ Jordan

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีบนพื้นราบและพื้นเอียงข้างต้น จะเห็นลักษณะกราฟที่มีความคล้ายคลึงกันทั้ง จากผลการทดสอบและงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้งาน แทนสมการอ้างอิงที่มีความซับซ้อนในการใช้งานในละติจูดพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม การทดสอบควรกระทำเพิ่มเติมในเดือนต่าง ๆ เพื่อให้ได้สมการที่เป็นตัวแทนในแต่ละเดือน เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์ที่แปรเปลี่ยนไป

4. บทสรุป

ปัจจุบันโรงเรือนมีความสำคัญกับเกษตรกรทั้งการเพาะปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากสภาพอากาศปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ระบบสร้างอากาศเย็นสำหรับโรงเรือนจึงมีความจำเป็นแต่มีการใช้พลังงานมากเช่นกัน ระบบสร้างอากาศเย็นชนิดใช้แผงรังผึ้งเป็นระบบที่เกษตรกรนิยมใช้กับโรงเรือน เช่น โรงเพาะเห็ด เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย แต่เป็นระบบที่ใช้พลังงานมากในพัดลม เนื่องจากต้องสร้างความดันในอากาศให้สามารถไหลผ่านแผงรังผึ้งและก้อนเห็ดที่วางบนชั้นตลอดความยาวของโรงเรือน การใช้พลังงานไฟฟ้าผลิตจากแสงอาทิตย์โดยแผง PV จึงนับเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้กระแสไฟฟ้าจากสายส่ง อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบระบบแผง PV นั้น ข้อมูลรังสีอาทิตย์จากเครื่องมือวัดรังสีเป็นข้อมูลชนิดบนพื้นราบ จำเป็นต้องใช้สมการคำนวณเพื่อเปลี่ยนให้เป็น รังสีบนพื้นเอียงหรือที่ตกบนแผง PV เพื่อให้สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม สมการที่ใช้คำนวณขึ้นกับตัวแปรหลายตัวทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณ ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษารูปแบบ ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีบนพื้นราบและพื้นเอียง หรือ บนแผง PV ที่ทำมุม 20 องศาที่พื้นราบเพื่อให้ใกล้เคียงละติจูดพื้นที่ที่ 14.02° N ในเขตอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ผลจากการศึกษาพบว่า รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างรังสีที่พื้นราบและพื้นเอียงรายชั่วโมงจากข้อมูลการทดสอบและจากข้อมูลงานวิจัยที่ศึกษาก่อนหน้านี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สามารถแทนได้ด้วยสมการเส้นตรงที่มีค่า R^2 มากกว่า 90 เปอร์เซนต์ โดยผลจากการทดสอบได้ค่า R^2 เท่ากับ 92.95 เปอร์เซนต์ จึงสามารถสรุปได้ว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างรังสีที่พื้นราบและพื้นเอียง ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบรังสีบนพื้นเอียงที่คำนวณจากผลการทดสอบและจากสมการของ Lui และ Jordan ชนิดเฉลี่ยรายวัน พบว่ามีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง ± 6 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ผลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้สามารถสร้างแบบจำลองของรังสีบนพื้นเอียงที่ง่ายต่อการคำนวณ และสะดวกต่อการออกแบบระบบแผง PV แต่ควรเก็บข้อมูลในเดือนต่าง ๆ เพิ่มเติมและที่ละติจูดพื้นที่อื่น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในเดือนต่าง ๆ ได้และในเขตจังหวัดพื้นที่ใกล้เคียง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] National Science and Technology Development Agency (2021, February). <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2021/20210817-economic-mushroom-market.pdf>.
- [2] Chanamon Chantana. (2023). Two-Stage Evaporative Cooler for Mushroom-Growing Houses in Hot and Humid Climates. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(2), 1-12.



- [3] Department of Physics Silpakorn University. (2022, September). <https://kc.dede.go.th/project-view-file.aspx?p=2382>.
- [4] Kolaly, W., Ma, W., Li, M., & Darwesh, M. (2020). The investigation of energy production and mushroom yield in greenhouse production based on mono photovoltaic cells effect. *Renewable Energy*, 159, 506-518
- [5] Romantchik, E., Rios, E., Sánchez, E., López, I., & Sánchez, J.R. (2017). Determination of energy to be supplied by photovoltaic systems for fan-pad systems in cooling process of greenhouses. *Applied Thermal Engineering* 114, 1161–1168
- [6] Sukhatme, S.P. & Nayak, J.K. (2008). *Solar Energy–Principles of Thermal Collection and Storage*. (3rd ed.) McGraw-Hill: New Delhi.
- [7] Serm Janjai, (2020) *Radiation*. Faculty of Physics Silpakorn University. (In Thai)
- [8] Chanamon Chantana and Anake Krairod (2023). Field Investigation of a PV System for Mushroom Houses Using Two- Stage Evaporative Cooler, in *Proceedings The 7th National Conference Rajamangala University of Technology Rattanakosin*, pp.(1-8). (In Thai)
- [9] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2022). <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/6141>