



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

วิธีการประเมินความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลอ่านค่าสี TCS3200

A method for estimating dirt on photovoltaic panel using TCS3200 color sensor module

อนุชา ดีผาง^{1*} พิพัฒน์ ดรุงค์ดำรงชัย²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Anucha Deephang^{1*} Pipat Durongdumrongchai²

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, North Eastern University Khonkaen 40000

² Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, North Eastern University Khonkaen 40000

* Corresponding author.

E-mail: anucha.dee@neu.ac.th; Telephone: 066 112 1579

วันที่รับบทความ 10 พฤศจิกายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 15 เมษายน 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 22 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โมดูลอ่านค่าสี TCS3200 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32 เพื่อประมาณค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากฝุ่น ซึ่งพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสะสมของฝุ่นในปริมาณที่แตกต่างกันมีค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงนี้โดยใช้โมดูลอ่านค่าสี TCS3200 เพื่อวัดค่าการสะท้อนแสงแล้วแปลงเป็นค่าแม่สีแบบเติมเต็ม (RGB) จากนั้นนำมาผ่านเทคนิคการแปลงเป็นค่าระดับสีเทา (Gray scale) แล้วนำค่าระดับสีเทาไปหาความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0 – 25 g/m² บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 50 W ผลการทดสอบพบว่าค่าระดับสีเทาที่วัดได้ด้วยโมดูลอ่านค่าสี TCS3200 มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อทดสอบโดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ พบว่ามีค่าลดลงตามปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์แบบผกผันกับค่าระดับสีเทา กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 43.56 W เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะอาดปราศจากฝุ่น และค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มลดลงเมื่อมีปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 5 g ขึ้นไป และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 38.23 W เมื่อฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณเท่ากับ 25 g/m² การลดลงของกำลังไฟฟ้าเกิดจากปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านไปยังเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงเพราะถูกปิดบังโดยอนุภาคของฝุ่นทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ และพบว่าอัตราส่วนระดับความสกปรก (Soil Ratio) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณฝุ่น สรุปได้ว่าโมดูลอ่านค่าสี TCS3200 สามารถวัดความแตกต่างของการสะท้อนแสงที่เกิดจากฝุ่นบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ช่วยให้สามารถประเมินระดับความสกปรกหรือการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นโมดูลอ่านค่าสี TCS3200 จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินความสะอาดของพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการอ่านค่าการสะท้อนแสงได้

คำสำคัญ

โมดูลแยกสี การประเมินความสกปรก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราส่วนระดับความสกปรก

Abstract

This paper presents the application of the TCS3200 color sensor module with Arduino ESP32 microcontroller to estimate the dirtiness of solar panels caused by dust. The surfaces of solar panels with different amounts of dust accumulation have different reflectance values. Therefore, this reflectance measurement instrument was designed using the TCS3200 color sensor module to measure the reflectivity in RGB values and convert it to gray scale values. The gray scale was then used to correlate with the amount of dust accumulated on the solar panels by experiments by simulating the dust situation on the solar panels at various levels ranging from 0 – 25 g/m² on a 50 W polycrystalline solar panels. The results showed that the gray scale value measured by the TCS3200 color sensor module correlated with the amount of dust on the solar panel. When tested by measuring the short-circuit current and open-circuit voltage of the tested solar panel. It was found that the value decreased with the amount of dust on the solar panel inversely related to the gray scale. The maximum power output from the solar panel is 43.56 W when the solar panel is clean and free of dust. When the dust accumulation on a solar panel reaches 5 g or more, it initiates a decline in the power output generated by the panel. The power output reached its minimum value at 38.23 W when the dust accumulation on the solar panel reached 25 g/m². The decrease in power is caused by the amount of sunlight reaching the solar panel is reduced because it is blocked by dust particles, causing the solar panel to lose its efficiency in receiving sunlight. The soil ratio of solar panels decreased inversely with the amount of dust. It was found that the soil ratio of the solar panels decreased inversely with the amount of dust. it can be inferred that the TCS3200 color sensor module is capable of measuring the difference in reflectivity caused by dust on the surface of the solar panel. This ability enables the module to estimate the level of dirtiness or dust accumulation on the solar panel surface. Therefore, the TCS3200 color sensor module can be used as a tool to assess the cleanliness of the solar panel surface based on its reflectivity readings.

Keywords

color sensor module; dirt estimation; solar panel; soil ratio

1. บทนำ

ตลอดหลายปีที่ผ่านมาโลกกำลังประสบปัญหาด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่มีแนวโน้มความต้องการที่มากขึ้นในทุกปีจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสถานการณ์ในประเทศไทยธุรกิจผลิตไฟฟ้าภาคเอกชนมีแนวโน้มการเติบโตที่ดี ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศที่คาดว่าจะขยายตัวเฉลี่ย 2.8-3.8% ต่อปี [1] สอดคล้องกับนโยบายสนับสนุนการลงทุนจากภาครัฐตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศและแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก [2] โดยหนึ่งในกลุ่มโรงไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีการลงทุนขยายตัวเพิ่มขึ้น ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยในปี พ.ศ. 2561 มียอดการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะสมถึง 598.86 MW [3] และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์คือความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์จะลดลงถึง 25% ขณะที่ปกคลุมด้วยสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละออง [4] และจะลดลงได้มากถึง 40% ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการสะสมของฝุ่นละอองตั้งแต่ 4 g/m² [5] สิ่งนี้เป็นปัญหาอย่างมากในภูมิประเทศแถบทะเลทรายเนื่องจากฝุ่นทรายมีปริมาณค่อนข้างมาก ในเลบานอนพบว่า การทำความสะอาดสามารถลดผลกระทบของฝุ่นต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 32.27% [6] หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ [7] นำเสนอวิธีการทดสอบผลของการทำความสะอาดแผง โดยสร้างสถานการณ์จำลองปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการโปรยฝุ่นที่มีขนาดน้อยกว่า 0.356 mm ที่ได้จากการร่อนผ่านกระชอนตาถี่ กำหนดปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการทดสอบระหว่าง 0.5-2.5 g/m² พบว่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง ประมาณ 0.85% ต่อทุก ๆ 1 g/m² ของปริมาณฝุ่นสะสมที่เพิ่มขึ้น การทราบถึงระดับความสกปรกจะช่วยให้การวางแผนทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] [9] นำเสนอการประมาณค่าความสกปรก

ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กระบวนการทางภาพ โดยการแปลงภาพสี แม่สีแบบเดิมเติมเต็มไปเป็นภาพขาวดำหรือภาพระดับสีเทาแบบฮิสโตแกรม ด้วยโปรแกรม MATLAB แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพื่อประมาณค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าวิธีการนี้สามารถใช้ประเมินความสกปรกได้ในเบื้องต้น

โมดูลอ่านค่า TCS3200 COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER ดังรูปที่ 1 เป็นโมดูลแปลงแสงสีเป็นความถี่พัฒนาโดย TAOS (Texas Advanced Optoelectronic Solutions) องค์ประกอบหลักของโมดูลนี้คือ เซ็นเซอร์และโฟโตไดโอด แล้วแปลงความถี่เป็นค่าแม่สีแบบเดิมเติม แต่ละจุดสีประกอบขึ้นจากสีพื้นฐาน สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หรือเรียกว่า แม่สีแบบเดิมเติม [10] มีการนำโมดูลแยกสี TSC3200 สร้างเครื่องมืออ่านค่าสีเพื่อจำแนกผลิตภัณฑ์ตามสี พบว่าโมดูลแยกสี TCS3200 อ่านค่าสีได้อย่างแม่นยำและมีความเสถียรในการทำงานสูง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประเมินความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นด้วยการประยุกต์ใช้โมดูลแยกสี TCS3200 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32

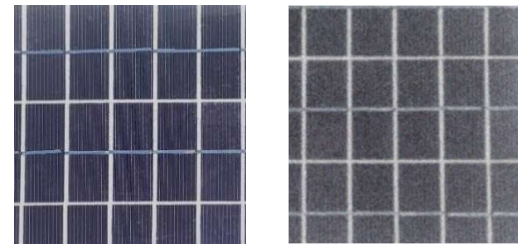


รูปที่ 1 โมดูลอ่านค่าสี TCS3200: COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER

2. การวัดค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดจะมีสีของพื้นผิวเป็นสีดำเป็นมัน และเมื่อถูกฝุ่นปกคลุมพื้นผิวบริเวณนั้นจะมีเฉดสีของพื้นผิวเปลี่ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 2 ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วย

โมดูลแยกสี TCS3200 ค่าเฉดสีที่วัดจะอยู่ในรูปค่าแม่สีแบบเดิมเติม จากนั้นจะนำค่านี้ไปปรับเทียบเพื่อกำหนดระดับความสะอาดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



แผงสะอาด

แผงสกปรก

รูปที่ 2 สีของพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดและที่สกปรก เนื่องจากถูกปกคลุมด้วยฝุ่น

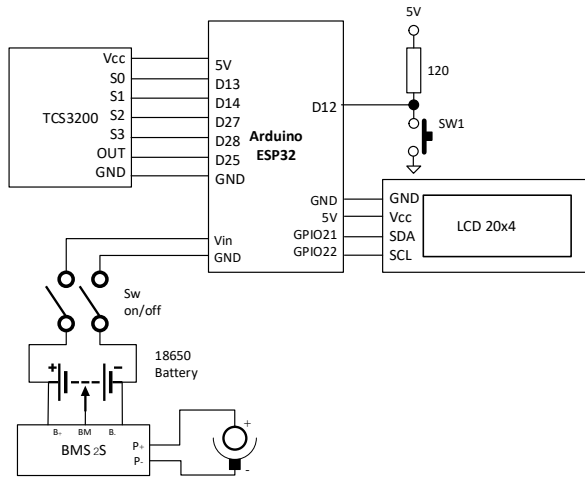
2.1 การออกแบบวงจร

การประเมินความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200 ซึ่งใช้หลักการอ่านค่าสีที่สะท้อนจากวัตถุ ซึ่งค่าที่อ่านนี้ได้จากกระบวนการผสมสีจากแม่สีทางแสง 3 สี คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เรียกว่า ค่าแม่สีแบบเดิมเติม ค่าที่อ่านได้จากโมดูลแยกสี TCS3200 จะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO ESP32 และแสดงค่าด้วยจอผลึกเหลว (Liquid Crystal Display) โดยมีวงจรดังรูปที่ 3

ค่าที่วัดได้จากวงจรในรูปที่ 3 เป็นค่าแม่สีแบบเดิมเติมของจุดภาพ การนำไปเทียบสัดส่วนเพื่อกำหนดระดับความสกปรกของแผงนั้นจะต้องมีการแปลงค่าแม่สีแบบเดิมเติมของจุดภาพไปเป็นค่าระดับสีเทา โดยใช้สมการที่ (1) [9]

$$pixel_{(x,y)} = \frac{(R + G + B)}{3} \quad (1)$$

โดยที่ $pixel_{(x,y)}$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง x,y R คือ ระดับของแสงสีแดง G คือ ระดับของแสงสีเขียว และ B คือ ระดับของแสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 3 วงจรวัดค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200



รูปที่ 4 เครื่องวัดค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200

2.2 การประเมินความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดสามารถรับแสงอาทิตย์ที่มากตกกระทบได้เต็มที่ซึ่งทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ทำให้วัดค่าพลังงานได้สูงและจะลดลงเมื่อมีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกมาปิดกั้นการรับแสง ซึ่งค่าพลังงานนี้จะแปรผกผันตามปริมาณฝุ่นที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [9][11] การประมาณระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้การเปรียบเทียบค่าพลังงานของแผงที่วัดได้ระหว่างแผงที่สะอาดกับแผงที่สกปรก แล้วนำมากำหนดสัดส่วนเพื่อระบุระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เรียกว่า ค่าอัตราส่วนระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($SR^{I_{sc}}$) โดยใช้สมการที่ (2) [12]

$$SR^{I_{sc}} = \frac{G_2}{G_1} = \frac{C_2^{I_{sc}} \cdot (1 - \alpha \cdot (T_2 - T_{ref})) \cdot I_{sc2}}{C_1^{I_{sc}} \cdot (1 - \alpha \cdot (T_1 - T_{ref})) \cdot I_{sc1}} \quad (2)$$

จากสมการ (2) เป็นสัดส่วนระหว่างความสามารถในการรับพลังงานของแผงที่สะอาด (G_1) และความสามารถในการรับพลังงานของแผงที่สกปรก (G_2) โดยอัตราส่วนของ G_1 และ G_2 จะเป็นตัวบอกความสกปรกของแผง โดยคำนวณจากความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงที่สะอาด (I_{sc1}) ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงที่สกปรก (I_{sc2}) อุณหภูมิของแผงที่สะอาด (T_1) อุณหภูมิของแผงที่สกปรก (T_2) อุณหภูมิอ้างอิง (โดยทั่วไปคือ 25°C) (T_{ref}) ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิขณะลัดวงจร (α) ค่าคงที่ของการเปรียบเทียบที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงสะอาด ($C_1^{I_{sc}}$) และค่าคงที่ของการเปรียบเทียบที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงสกปรก ($C_2^{I_{sc}}$) ในส่วนของระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่ากำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดกับแผงที่สกปรก $SR^{P_{max}}$ เป็นดังสมการที่ (3) [12]

$$SR^{P_{max}} = \frac{C_2^{P_{max}} \cdot (1 - \gamma \cdot (T_2 - T_{ref})) \cdot P_{max2}}{C_1^{P_{max}} \cdot (1 - \gamma \cdot (T_1 - T_{ref})) \cdot P_{max1}} \quad (3)$$

สมการที่ (3) เป็นระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าส่งออกสูงสุดของแผงสะอาด (P_{max1}) กับค่ากำลังไฟฟ้าส่งออกสูงสุดของแผงสกปรก (P_{max2}) โดยที่ $C_1^{P_{max}}$ และ $C_2^{P_{max}}$ เป็นค่าคงที่ของการเปรียบเทียบที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงสะอาดและแผงสกปรก γ คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าส่งออกสูงสุด

3. การทดลองอุปกรณ์วัดระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับสีเทาของจุดภาพ กับปริมาณฝุ่นบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของระดับความสกปรกกับประสิทธิภาพการ

ทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจำลองสถานการณ์ ปริมาณฝุ่นที่แตกต่างกันในระดับต่างๆ มีค่าระหว่าง 0-25 g/m^2 จากนั้นวัดค่าแอมป์แบบเต็มเต็ม รวมถึงพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วแปลงค่าแอมป์แบบเต็มเต็มของจุดที่วัดเป็นค่าระดับสีเทา เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าสีทางแสงที่วัดได้จากวงจรวัดค่าสีที่ ออกแบบกับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร กับระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมี รายละเอียดอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ 50 W ความกว้างของแผง 510 mm ยาว 800 mm คิดเป็นพื้นที่ 0.408 m^2 ติดตั้งในแนวราบ วัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรของแต่ละแผง ด้วยเครื่องมือสำหรับ วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้ายี่ห้อ UNI-T รุ่น UT50 มีระดับ ความแม่นยำในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $\pm 5\%$ และมี ระดับความแม่นยำในการวัดกระแสไฟฟ้า $\pm 8\%$ ค่าสูงสุดของ กระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ 20 A ติดตั้งดังรูปที่ 5 สำหรับฝุ่น ที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะเป็นฝุ่นที่ผ่านการกรองจากตะแกรง ละเอียดที่มีขนาดช่องรู 0.356 mm เพื่อให้ได้ฝุ่นที่มีขนาด สม่ำเสมอและมีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน จัดเตรียมฝุ่นปริมาณ ต่างๆ ด้วยเครื่องซังดิจิตอล รุ่น FX 5000i ยี่ห้อ AND ความ ละเอียด 0.01 μm โดยเทียบอัตราส่วนปริมาณฝุ่นที่ต้องใช้กับ ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการจำลองสถานการณ์ความสกปรกของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยการโปรยฝุ่นที่เตรียมไว้ แล้วเกลี่ยให้ทั่วแผง

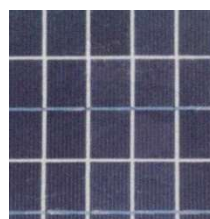
ด้วยแปรงปัดขนาดเล็ก โดยกำหนดปริมาณฝุ่นที่ใช้ในการ ทดสอบระหว่าง 0-25 g/m^2 ดำเนินการติดตั้งและวัด ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วงเวลา 12.00 น. – 14.00 น. วันที่ 25 สิงหาคม 2565 ณ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น ตั้งอยู่ ละติจูดที่ 16.42281 องศาเหนือ และ ลองจิจูดที่ 102.8154 องศาตะวันออก แสดงผลข้อมูลที่วัดได้ในรูปของค่า ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับค่าแรงดันไฟฟ้า เปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นปริมาณต่างๆ และค่า ระดับสีเทาที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดค่าความสกปรกของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200 ซึ่งทำการวัด 5 ตำแหน่ง กระจายครอบคลุมทั่วแผง แล้วบันทึกค่าเฉลี่ย โดยมีลักษณะ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการโปรยฝุ่นเป็นดังรูปที่ 6 โดยมี ลักษณะการใช้เครื่องวัดเป็นดังรูปที่ 7



ปริมาณฝุ่น 0 g/m^2



ปริมาณฝุ่น 5 g/m^2



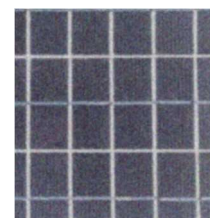
ปริมาณฝุ่น 10 g/m^2



ปริมาณฝุ่น 15 g/m^2



ปริมาณฝุ่น 20 g/m^2

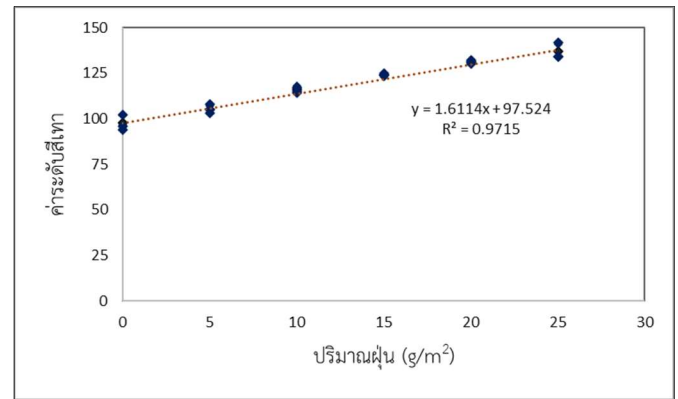


ปริมาณฝุ่น 25 g/m^2

รูปที่ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นปริมาณต่างๆ



รูปที่ 7 ขณะทำการวัดค่าระดับสีเทาของพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าระดับสีเทาของจุดภาพ

4. ผลการทดลอง

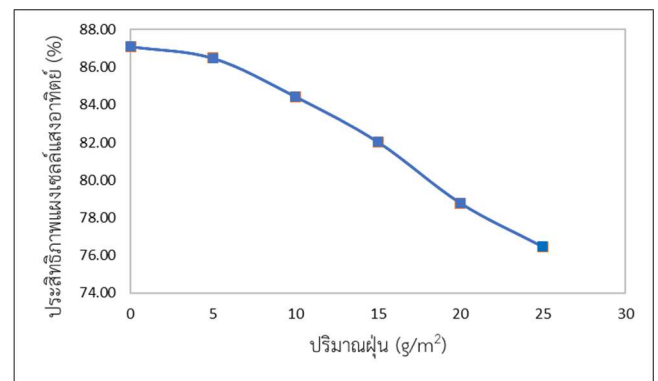
ขณะทำการทดลองค่าความเข้มแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยประมาณ 352 W/m^2 วัดโดย RS PRO Solar Power Meter & Digital Multimeter DT-1307 ระดับความแม่นยำ $\pm 5 \text{ W/m}^2$ ความละเอียดในการวัด 1 W/m^2 ผลการทดลองวัดค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นปริมาณต่างๆ เป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

ปริมาณ ฝุ่น (g/m ²)	ค่า ระดับ สีเทา	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	P (W)	η (%)	SR ^{Isc}	SR ^{Pmax}
0	98	3.10	13.05	43.56	87.11	1.000	1.000
5	105	3.08	14.04	43.24	86.49	0.994	0.993
10	116	3.02	13.98	42.22	84.44	0.974	0.969
15	124	2.94	13.95	41.01	82.03	0.948	0.942
20	131	2.85	13.82	39.39	78.77	0.919	0.904
25	137	2.78	13.75	38.23	76.45	0.897	0.878

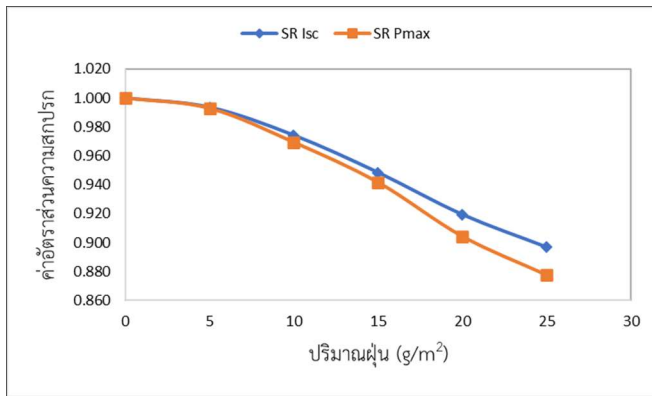
เมื่อมีฝุ่นบนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปริมาณต่างๆ ตามตารางที่ 1 พบว่าค่าระดับสีเทามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีมากขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นกับค่าระดับสีเทาของจุดภาพเป็นดังรูปที่ 8

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับปริมาณฝุ่นที่ปกคลุมบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผกผันกับปริมาณฝุ่นปกคลุมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 9



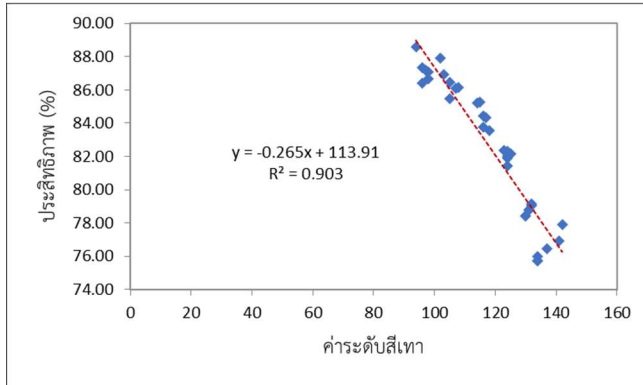
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับปริมาณฝุ่นที่ปกคลุมบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสกปรกกับค่าปริมาณฝุ่น ในรูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราส่วนความสกปรก SR I_{sc} และ SR P_{max} ซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสะอาดปราศจากฝุ่นหรือคราบสกปรก จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มมีการสูญเสียพลังงานเมื่อมีปริมาณฝุ่นมากกว่า 5 g ขึ้นไป และการสูญเสียพลังงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณฝุ่นบนแผงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสกปรกกับค่าปริมาณฝุ่น

ความสัมพันธ์ระหว่างกับค่าระดับสีเทาที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดค่าความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโมดูลแยกสี TCS3200 กับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นดังรูปที่ 11 โดยพบว่าค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าระดับสีเทามีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความสกปรกของแผง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คือ 0.903



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกับค่าระดับสีเทากับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ชนิดใช้แสงประเมินความสกปรกด้วยเทคนิคโมโนโครมเพื่อทำการวัดการส่งผ่านหรือการสะท้อนแสงของพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่พิจารณาโครงสร้างสเปกตรัมของคราบสกปรก ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ได้เป็นตัวแทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งการแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการสร้างแบบจำลองสเปกตรัมการส่งผ่านและสะท้อนของแสง โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบเอกรงค์หลาย

แหล่งที่เรียกว่า “DUSST” ซึ่งพบว่าสามารถลดข้อผิดพลาดในการประมาณค่าความสกปรกได้มากกว่า 3% [13]

5. สรุปและอภิปรายผล

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 50 W ที่ได้จากการวัดขณะความเข้มแสงอาทิตย์ 352 W/m² โดยจำลองสถานการณ์ให้มีปริมาณฝุ่นเกาะบนแผงตั้งแต่ 0-25 g/m² พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของแผงทดสอบมีค่าลดลงตามปริมาณฝุ่นบนหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สอดคล้องกับค่าระดับสีเทาที่วัดได้ และพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 43.56 W เมื่อผิวหน้าของแผงสะอาดไม่มีฝุ่น แต่เมื่อมีฝุ่นเกาะที่แผงพบว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงโดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 38.23 W เมื่อฝุ่นที่เกาะบนหน้าแผงมีปริมาณเท่ากับ 25 g/m² หรือลดลงคิดเป็น 12.23% ค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่วัดได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นที่ปกคลุม และสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าที่มีลักษณะลดลงตามปริมาณฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแสงที่ส่องผ่านไปยังเซลล์แสงอาทิตย์มีการลดลงเพราะถูกปิดบังโดยฝุ่น ค่าอัตราส่วนระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงสัมพันธ์กับระดับความสกปรก เมื่อมีปริมาณฝุ่นมากกว่า 5 g ขึ้นไปค่ากำลังงานที่ได้จะเริ่มลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงาน จึงสรุปได้ว่าวงจรอ่านค่าสีด้วยโมดูลอ่านค่าสี TCS3200 ที่ออกแบบสามารถใช้ในการประมาณค่าระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งสามารถนำไปออกแบบติดตั้งกับระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ โดยใช้ตรวจวัดระดับความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการเริ่มทำความสะอาดได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท โซล่า เพาเวอร์ จำกัด สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นรินทร์ ต้นไพบูลย์. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566. เข้าถึงได้จาก: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Energy-Utilities/Power-Generation/IO/io-power-generation-21> [เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2565]
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. มติการประชุมคณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน ครั้งที่ 46. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/18092-cepa-prayut46> [เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2565]
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. รายงานสถิติพลังงานรายปี 2564. เข้าถึงได้จาก: <https://www2.energy.go.th/th/annual-energy-statistics-reportw> [เข้าถึงเมื่อ 12 มิถุนายน 2565]
- [4] Bergin MH, Ghoroi C, Dixit D, Schauer JJ, Shindell DT. Large reductions in solar energy production due to dust and particulate air pollution. *Environmental Science & Technology Letters*. 2017; 4(8): 339–344.
- [5] นิพนธ์ เกตุจ้อย, มรุตพงศ์ กอนอยู่. การศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 2556; 32(5): 555–562.
- [6] Hammoud M, Shokr B, Assi A, Hallal J, Khoury P. Effect of dust cleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV- power plant at Zahrani Lebanon. *Solar Energy*. 2019; 184: 195–201.
- [7] เกตุวดี วงศ์ปน, ปิยะ ชัยมงคล, อัครินทร์ อินทนิเวศน์. ผลของการทำความสะอาดโดยใช้น้ำที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์. ใน: *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 3*. ชลบุรี: 2561. หน้า. 76–83.
- [8] Roy S, Mandal M, Jena C, Sinha P, Jena T. Programmable- Logic- Controller Based Robust Automatic Cleaning of Solar Panel for Efficiency Improvement. In: *2021 International Conference in Advances in Power, Signal, and Information Technology (APSIT)*. 2021. p. 1–4.
- [9] พงษ์ศักดิ์ ทามแก้ว, ประจวบ อินระวงศ์, กาณท์ เกิดขึ้น. การประมาณค่าความสกปรกบนแผงโซลาร์เซลล์ด้วยกระบวนการทางภาพ. ใน: *การประชุมวิชาการระดับชาติวิศวกรรมวิจัย ครั้งที่ 1* ชลบุรี. 2560. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2560. หน้า. 14–17.
- [10] Nguyen TT, Nguyen TT, Nguyen VT, Cao CC, Hua J. Application of Arduino control mainboard with color light sensor TCS3200 in color recognition of edge banding in laser edge banding machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 252(2): 1-10. Available from: doi: 10.1088/1755-1315/252/2/022130 [Accessed 12th July 2022]
- [11] อนุชา ดีผาง, ชัยพร อัดโดดตร. การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. *วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*. 2565; 9(1): 56-69.
- [12] Gostein M, Littmann B, Caron JR, Dunn L. Comparing PV power plant soiling measurements extracted from PV module irradiance and power measurements. In: *2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. 2013. p. 3004–3009.
- [13] Fernández- Solas Á, Micheli L, Almonacid F, Fernández EF. Indoor validation of a multiwavelength measurement approach to estimate soiling losses in photovoltaic modules. *Solar Energy*. 2022; 241: 584–591.