

การปรับปรุงประสิทธิภาพชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเอทิลีนไกลคอล
Improvement of the Efficiency of Titanium Dioxide Layers in Dye-sensitized
Solar Cell by Comparison Molecular Weight of Polyethylene Glycol

ฉัตรียะ ศิริสัมพันธ์วงศ์¹, ศุภชัย ทวี¹, ณฐพร มีสวัสดิ์¹,
พนัดดา สิทธิเชตรกรณ์¹, อัญชลี แสนสง¹, ณัฏฐ์ นุชนารถ¹,
ศศิณา กาฬภักดี², ชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง^{1*}

Chattariya Sirisamphanwong¹, Supachai Tawee¹, Natapron Meesawat¹,
Panadda Sittiketkorn¹, Anchalee Sansong¹, Nutt Nutnart¹,
Sasina Kalaphakdee² Chaiwat Yimchang^{1*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

¹Department of Physics and General Science, Nakhon Sawan Rajabhat University

²กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนลาซาลโชติรวินนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

²Department of Science and Technology, La Salle Chotiravi Nakhonsawan, Nakhonsawan Province

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเอทิลีนไกลคอล (Poly Ethylene Glycol : PEG) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000 จากผลการศึกษาลักษณะเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ พบว่าเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเฟสอะนาเทสและเฟสรูไทล์ เมื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยาของชั้นไทเทเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 10,000 มีลักษณะเป็นรูพรุนที่กระจายบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นจำนวนมากทำให้มีช่องว่างสำหรับสีย้อมไวแสงมากที่สุด และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 10,000 พบว่ามีคุณสมบัติทางไฟฟ้าสูงสุด โดยพบว่ามีค่าแรงดันไฟฟ้าลัดวงจร เท่ากับ 0.348 V ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร เท่ากับ 0.580 A/cm² ค่าฟิลแฟคเตอร์ เท่ากับ 0.440 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเท่ากับร้อยละ 0.888

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ โพลิเอทิลีนไกลคอล

Abstract

This research aimed to improve the efficiency of the titanium dioxide layer of dye-sensitized solar cells by the comparison of the molecular weight of 6,000 8,000 and 10,000 poly ethylene glycol (PEG). The XRD results revealed the presence of a mixed anatase and rutile TiO_2 phase. The morphology of the titanium layer was investigated by a scanning electron microscope. It was found that the PEG-filled titanium dioxide layer with a molecular weight of 10,000 showed the appearance of large pores distributed on the surface of the dye-sensitized solar cell, resulting in a significant porosity for the efficiency of the dye-sensitized solar cell. The electrical properties of dye-sensitized solar cells loaded with 10,000 molecular weight of PEG were examined. According to the findings, it possessed the highest electrical properties, with a short-circuit voltage of 0.348 V, a short-circuit current of 0.580 A, a filter factor of 0.440, and the efficiency value of 0.888 percent for dye-sensitized solar cells.

Keywords: Dye-sensitized solar cells, Titanium dioxide layer, Poly Ethylene Glycol

1. บทนำ

พลังงานหมุนเวียน คือ พลังงานที่ใช้ไม่หมดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติรอบ ๆ ตัวเรา ไม่ว่าจะเป็น แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ความร้อนใต้พิภพ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ รวมถึงผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง หรือมูลสัตว์ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานหมุนเวียนได้ พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะพลังงานเหล่านี้ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ทั้งยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและยังสามารถส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย พลังงานหมุนเวียนที่ทั่วโลกนิยมใช้ในปัจจุบันเมื่อพิจารณาตามแหล่งกำเนิดสามารถแบ่งออกเป็น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่มากมายมหาศาลในธรรมชาติ เป็นพลังงานสะอาดที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน และไม่ได้ผลิตจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2566)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้จากซากพืชซากสัตว์ (ชานู โทธิพิทักษ์ และ สุกัลยา ขุนจรรย์, 2559) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีหลักการทำงานโดยเริ่มจากเมื่อแสงส่องผ่านมากระทบกับโมเลกุลของสีย้อมไวแสง อิเล็กตรอนในโมเลกุลสีย้อมไวแสงที่ถูกกระตุ้นจะส่งกระแสไฟฟ้าชั่วพลันผ่านผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide : TiO_2)

ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ผ่านกระจกด้านที่รับแสงจึงให้กระแสไหลกลับ เมื่อกระแสผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอก แล้วเคลื่อนผ่านกระจกนำไฟฟ้าอีกขั้ว อิเล็กตรอนจะเคลื่อนผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และกลับสู่สีย้อมไวแสงที่อยู่ในขั้วลบ (ภาสภณ มโนสุกฤตกุล, 2558) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงประกอบด้วย กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์เจือด้วยฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide : FTO) สีย้อมไวแสง สารละลายอิเล็กโทรไลต์และอนุภาคโลหะออกไซด์ โดยชั้นของอนุภาคโลหะออกไซด์จะใช้ TiO_2 เนื่องจาก TiO_2 เป็นสารประกอบที่มีความเสถียรทางเคมีสูง ค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง และเป็นสารสีขาวที่สามารถดูดกลืนแสงได้ดี จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นชั้นอนุภาคโลหะออกไซด์เนื่องจากโพลิเอทิลีนไกลคอล (Poly Ethylene Glycol : PEG) PEG เป็นของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถดูดความชื้นได้ดี และมีจุดหลอมเหลวต่ำ (สามารถ มุลน้อย, 2559; สุรศักดิ์ แสนทวีสุข, 2558) ซึ่ง กัญญารัตน์ เปล่งสันเทียะ และ สุภาพร ดาวทอง (2559) ใช้ PEG น้ำหนักโมเลกุล 20,000 ในการเตรียมฟิล์ม TiO_2 พบว่าบริเวณพื้นผิวของฟิล์ม TiO_2 มีรูพรุนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เติม PEG 20,000 และผลของค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.8

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยชั้น TiO_2 ที่เติมสาร PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน คือ 6,000 8,000 และ 10,000 และศึกษาลักษณะพื้นผิวของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้สูงขึ้น โดยสร้างชั้น TiO_2 ด้วยการเติมสาร PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกระจกนำไฟฟ้า FTO

เตรียมกระจกนำไฟฟ้า FTO ขนาด 2.5×2.5 cm ทำความสะอาดโดยนำไปวางในบีกเกอร์ที่มีน้ำยาที่โพลและน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องอัลตราโซนิก โดยใช้หลักการคลื่นเสียงความถี่สูงในการทำทำความสะอาดแผ่นกระจก FTO เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำออกมาผึ่งให้แห้ง หลังจากนั้นนำกระจกนำไฟฟ้า FTO แช่ในสารละลายอะซิโตนเป็นเวลา 5 นาที นำกระจกนำไฟฟ้า FTO ไปเป่าแห้งด้วยเครื่องเป่าความร้อนแล้วนำไปเก็บในตู้ดูดความชื้น

2. การเตรียมขั้วอิเล็กโทรด

2.1 การเตรียมครีม TiO_2

นำผง TiO_2 ปริมาณ 6 g และ PEG (MW 6,000 8,000 และ 10,000) ปริมาณ 2 g น้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 2 ml ผสมสารละลายทั้งสองเข้ากัน นำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กจนเป็นสารเนื้อเดียว (ดัดแปลงจาก Pawet Gnida, et al., 2021; Jayachithra et al., 2022)

2.2 การเตรียมครีมแกรไฟต์

นำสารโพลีไวนิลลิดีน ฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride, PVDF) ปริมาณ 0.08 g ผสมกับสารละลายเอ็น-เมทิล-2-ไพโรลิโดน (n-methyl-2-pyrrolidone) ปริมาตร 15 ml แล้วนำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กจนได้สารเนื้อเดียว จากนั้นเติมแกรไฟต์ปริมาณ 5 g และน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 5 ml แล้วนำไปกวนต่อด้วยเครื่องกวนสารเป็นเวลา 30 นาที จนสารเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 การเตรียมขั้วแอโนด

นำกระจก FTO ที่ทำความสะอาดแล้วมาติดเทปใสให้มีช่องว่างขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ โดยวางด้านที่นำไฟฟ้าอยู่ด้านบน จากนั้นหยดครีม TiO_2 ลงบนช่องว่างของกระจกแล้วใช้ยางปาดให้เรียบรอนแห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิของกระจกลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องให้นำกระจกนำไฟฟ้าดังกล่าวแช่ในสารละลาย N719 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสารละลาย N719 เตรียมจากการละลาย N719 จำนวน 0.0089 g ในตัวทำละลายเอทานอลปริมาตร 15 mL เมื่อครบ 12 ชั่วโมงแล้วนำน้ำปราศจากไอออนล้างละลายส่วนเกินก่อนนำไปตากให้แห้ง

2.4 การเตรียมขั้วแคโทด

นำกระจก FTO ที่ทำความสะอาดแล้วมาติดเทปใสให้มีช่องว่างขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ โดยวางด้านที่นำไฟฟ้าอยู่ด้านบน จากนั้นหยดครีมแกรไฟต์ลงบนช่องว่างของกระจกแล้วใช้ยางปาดให้เรียบทั้งไว้ในอุณหภูมิห้องจนแห้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที ปลอยกระจกให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

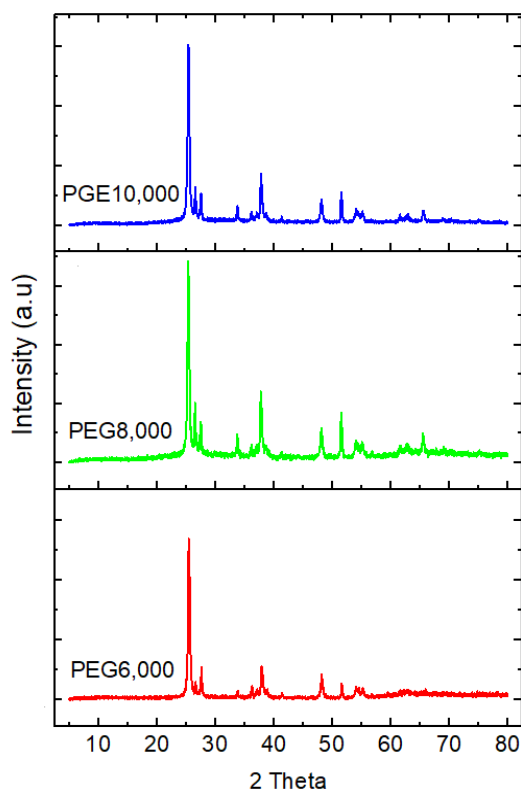
3. การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

นำสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ที่เตรียมได้จากการผสมไอโอดีน 1 g, โพแทสเซียม ไอโอดีน 2 g และน้ำปราศจากไอออน 300 ml จนได้สารละลายเนื้อเดียวมาหยดลงบนกระจกที่ปาดด้วยครีม TiO_2 และย้อมสีแล้ว นำกระจกที่ปาดด้วยครีมแกรไฟต์ประกบเข้าด้วยกันโดยใช้แผ่นเซลล์ลูโลสขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ กันเพื่อไม่ให้กระจกทั้งสองแผ่นสัมผัสกัน ใช้คลิปดำหนีบกระจกทั้งสองแผ่นให้แน่น นำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้วัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่อง Solar Simulator ความเข้มของแสงเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ อุณหภูมิ 25°C และมวลอากาศ 1.5

4. ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางโครงสร้างของผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

จากผลการศึกษาลักษณะเฟสของ TiO_2 ที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000 นำไปเคลือบด้วยวิธีการปาดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเมื่อแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจสอบวิธีการวัดทางกายภาพเฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์เพื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมสาร PEG ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แสดงดังภาพที่ 1

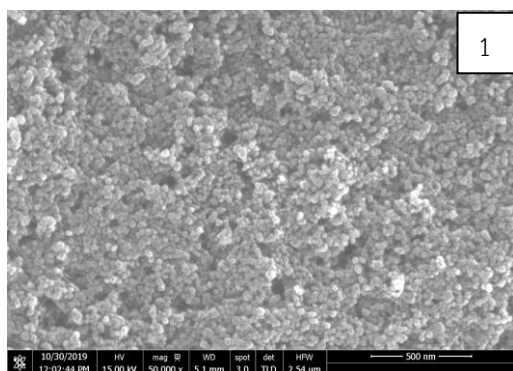


ภาพที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชั้น TiO_2 ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000

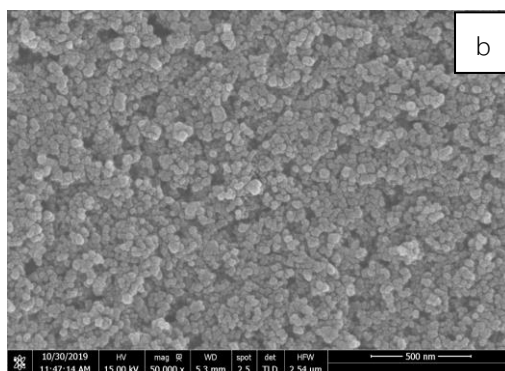
จากภาพที่ 1 พบว่ารูปแบบโครงสร้างผลึกของ TiO_2 ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า TiO_2 ที่เติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000 มีลักษณะเฟสอะนาเทสและรูไทล์ โดย TiO_2 ที่มีเฟสอะนาเทสพบตำแหน่งพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (101) (004) (202) และ (211) ตรงกับตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25° 38° 48° และ 54° ส่วน TiO_2 ที่มีเฟสรูไทล์พบตำแหน่งพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (110) (101) และ (220) ตรงกับตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27° 34° และ 56° ซึ่งตรงกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS No. 75-1537 (ฉพล บุตรราช, 2561; Morad et al., 2020) และพบว่า TiO_2 มีความเป็นผลึกเนื่องจากมีความเข้มของสัญญาณสูง และไม่พบสัญญาณของ PEG เนื่องจาก PEG เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีอุณหภูมิกลาสทรานสิชันต่ำ ดังนั้นจึงเกิดการสลายหลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 500°C เนื่องจากสาร PEG มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันจุดหลอมเหลวเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ $60-65^\circ\text{C}$ ทำให้พบเพียงแค่ผลึกของ TiO_2 บริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

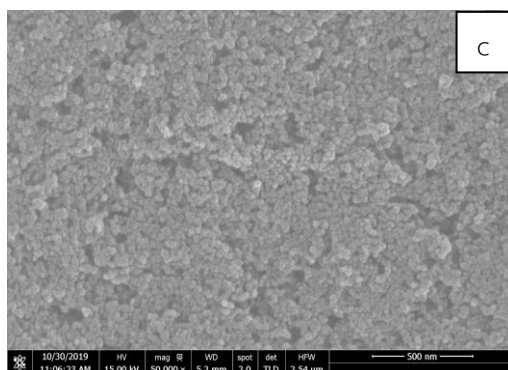
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของ TiO_2 ที่มีการเติม PEG ที่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน พบว่า TiO_2 ที่เติมด้วย PEG มวลโมเลกุล 10000 มีรูพรุนกระจายบนพื้นผิวของ TiO_2 มากกว่า TiO_2 ที่เติมด้วย PEG ที่มีมวลโมเลกุล 6000 และ 8000 ทั้งนี้เนื่องจาก PEG เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีอุณหภูมิกลาสทรานสิชันต่ำ ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจึงถูกกำจัดได้ง่าย และเกิดเป็นรูพรุนกระจายทั่วพื้นผิวของ TiO_2 (ภาพที่ 2)



(a) PEG (MW 6,000)



(b) PEG (MW 8,000)

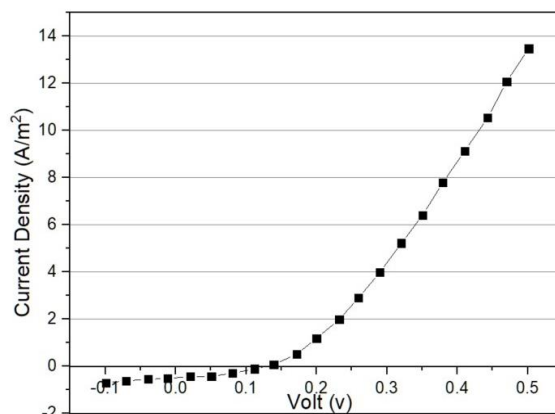


(c) PEG (MW 10,000)

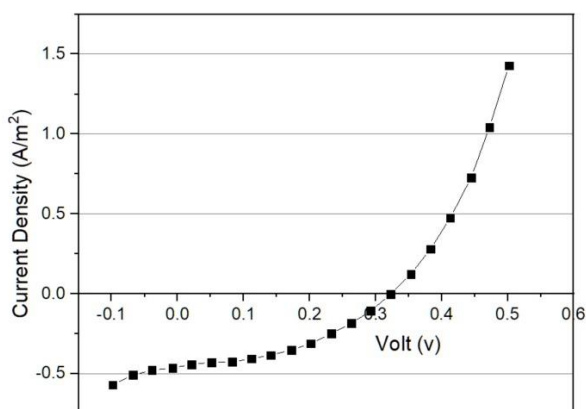
ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของชั้น TiO_2 ที่เติมสาร PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล (a) 6,000 (b) 8,000 และ (c) 10,000

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ได้

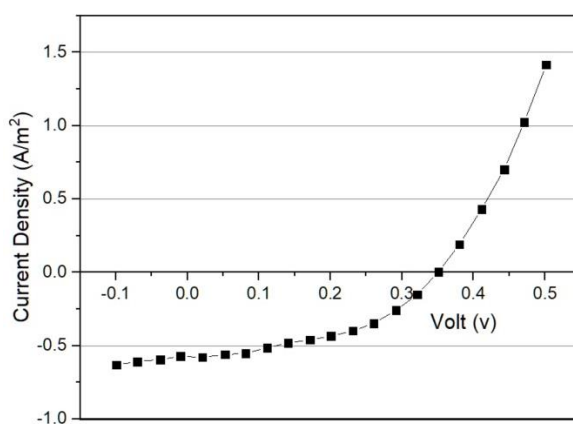
การหาค่าฟิลแฟกเตอร์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เครื่องจำลองสภาวะแสงอาทิตย์ โดยให้ความเข้มแสงเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ ที่อุณหภูมิ 25°C และมวลอากาศ 1.5 ผลการวัดประสิทธิภาพแสดงกราฟ I-V Curve ดังภาพที่ 3-5 และตารางที่ 1



ภาพที่ 3 I-V curve ของชั้น TiO_2 ที่ผสม PEG 6,000



ภาพที่ 4 I-V curve ของชั้น TiO_2 ที่ผสม PEG 8,000



ภาพที่ 5 I-V curve ของชั้น TiO_2 ที่ผสม PEG 10,000

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของ TiO_2 โดยเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของ PEG

น้ำหนักโมเลกุล PEG	V_{oc} (V)	J_{sc} (A/m^2)	FF%	EFF%
6,000	0.121	0.480	0.390	0.227
8,000	0.319	0.450	0.430	0.617
10,000	0.348	0.580	0.440	0.888

จากภาพที่ 3-5 และตารางที่ 1 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของ TiO_2 ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 10,000 มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมากที่สุด เท่ากับ 0.348 โวลต์ ค่าฟิลแฟคเตอร์มากที่สุดร้อยละ 0.440 และประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.888 ลำดับ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 8,000 มีประสิทธิภาพรองลงมา คือ มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด เท่ากับ 0.319 โวลต์ ค่าฟิลแฟคเตอร์ ร้อยละ 0.430 และประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เท่ากับร้อยละ 0.617 ส่วนเซลล์ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 6,000 มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.121 โวลต์ ค่าฟิลแฟคเตอร์น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.390 และประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เท่ากับร้อยละ 0.227 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่าฟิลแฟคเตอร์ และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แปรผันตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของสาร PEG ที่เติมลงบนชั้นของ TiO_2 เนื่องจากการเติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะทำให้เกิดรูพรุนที่ชั้นของ TiO_2 มากตามไปด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะของสารละลายสีย้อมและเกิดการดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นได้มากตามไปด้วย

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพชั้น TiO_2 ที่เติมสาร PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6,000 8,000 และ 10,000 เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ TiO_2 ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่าผลึกของ TiO_2 มีลักษณะเป็นเฟสอะนาเทสผสมกับเฟสรูไทล์และมีความเป็นผลึก โดยไม่พบ PEG เมื่อศึกษาสัญญาณวิทยาของ TiO_2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าชั้น TiO_2 ที่เติมสาร PEG น้ำหนักโมเลกุล 10,000 มีลักษณะเป็นรูพรุนกระจายทั่วพื้นผิวทำให้มีช่องว่างสำหรับสีย้อมไวแสงมากที่สุด ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะของสารละลายสีย้อมและเกิดการดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นได้มากที่สุดซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ $0.580 \text{ A}/\text{cm}^2$ ความต่างศักย์ 0.348 V ค่าฟิลแฟคเตอร์ร้อยละ 0.440 และมีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 0.888 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ควรปรับปรุงประสิทธิภาพชั้น TiO_2 ด้วยการเติมสาร PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 และควรศึกษาเพิ่มความหนาของชั้น TiO_2 ถ้าความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้เพิ่มพื้นที่สำหรับการยึดเกาะของสารละลายสี ย่อมเกิดการดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ทางด้านสถานที่ และขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องวัดประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เครื่องจำลองสภาวะแสงอาทิตย์

7. เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2566, 1 ธันวาคม). *พลังงานหมุนเวียน*. <https://www.egat.co.th>
- กัญญารัตน์ เปล่งสันเทียะ และสุภาพร ดาวทอง. (2559). ปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล, *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54. สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาพันธุวิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม* (หน้า 151-158). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- ขานู โพธิพิทักษ์ และ สุกัลยา ขุนจรรย์. (2559). การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงด้วยชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บล็อกกิ้ง. *วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9(2), 119-140. <https://www.thaiscience.info/journals/Article/SDUJ/10984845.pdf>
- ภาสภณ มโนสุกฤตกุล. (2558). การศึกษาสีย้อมไวแสงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพฯ. https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/KMITL.res.2015.6
- ณพล บุตรราช. (2561). *ลักษณะเฉพาะของนาโนเทสเฟสและรูโพลเฟสของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิในการอบแตกต่างกัน*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สุรศักดิ์ แสนทวีสุข. (2558). *การพัฒนาต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิล็กโตรไลต์ สถานะของแข็งโดยไม่ต้องใช้ clean room*. [รายงานวิจัย]. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.
- สามารถ มุลน้อย. (2559). *การพัฒนาประสิทธิภาพและการทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Gnida, P., Jarka, P., Chulkin, P., Drygała, A., Libera, M., Tanski, T. & Schab-Balcerzak, E. (2021). Impact of TiO_2 Nanostructures on Dye-Sensitized Solar Cells Performance. *Materials*, 14(7), 1633. <https://doi.org/10.3390/ma14071633>

- González-Verjan, V.A., Trujillo-Navarrete, B., Félix-Navarro, R.M., Díaz de León, J.N., Romo-Herrera, J.M., Calva-Yañez, J.C., Hernández-Lizalde, J.M. & Reynoso, E. (2019). Effect of TiO_2 particle and pore size on DSSC efficiency. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 9(13), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s40243-020-00173-7>
- Jayachithra, J.V., Elampari, K. & Meena, M. (2022). Fabrication of TiO_2 based Dye-Sensitized Solar Cell using Nerium oleander as a sensitizer. In Sunil Thomas (Ed.), *International Conference on Materials-Properties, Measurements, and Applications: Volume 1263. Materials Science and Engineering* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1263/1/012018>
- Morad, I., El-Desoky, M.M., Mansour, A.F. & Wasfy, M.H. (2020). Synthesis, structural and electrical properties of PVA/ TiO_2 nanocomposite films with different TiO_2 phases prepared by sol-gel technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(5). <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04313-7>
- Xie, K., Guo, M., Liu, X. & Huang, H. (2015). Enhanced efficiencies in thin and semi-transparent dye-sensitized solar cells under low photon flux conditions using TiO_2 nanotube photonic crystal. *Journal of Power Sources*, 293, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.05.025>