

การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงภายใต้การฉายแสง Conductivity Change in Dye-sensitized Solar Cells upon Irradiation

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์*, สุพจน์ เกติมี, อาทิตย์ หู้เต็ม, ไพฑูรย์ บานเย็นงาม และ พงษ์ศักดิ์ คำศร

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

*sanit.suw@gmail.com (corresponding author)

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSCs) จาก Eosin Y disodium salt (eosin Y) ซึ่งเป็นสีย้อมที่ใช้ในการทำ DSSCs ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง มีราคาถูกมากและเหมาะกับการนำมาทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ เราได้สนใจ ปริมาณความเข้มข้นของ eosin Y ที่ 2 และ 3 mM ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของ DSSCs โดยการฉายแสงอาทิตย์และแสงจากหลอด LED ได้แก่ สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน, อัลตราไวโอเลต, cool daylight และ warm light จากการศึกษาได้พบว่า 3 mM ของ eosin Y มีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างในช่วงที่ตามองเห็นได้ (โดยเฉพาะช่วงของแสงสีเขียว) มีค่าการดูดกลืนแสง และการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า 2 mM จากการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า cool daylight ให้การเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงจากหลอดไฟชนิดอื่น และเมื่อพิจารณาเฉพาะหลอด LED พบว่า LED สีเขียว ให้การเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นและการดูดกลืนแสงของ Eosin Y ดังนั้นชนิดของแสง จึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าสูงสุดของสีย้อมและ DSSCs ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการประจุไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง, สีย้อมไวแสง, eosin Y, ผลของการฉายแสง, การนำไฟฟ้า

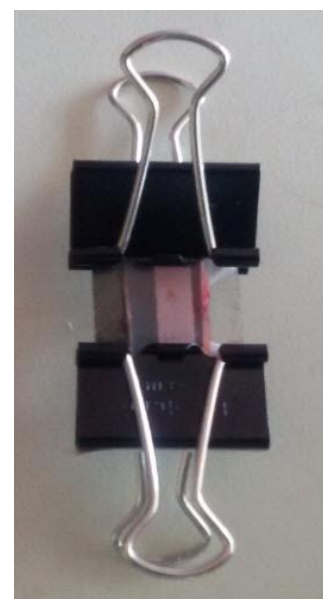
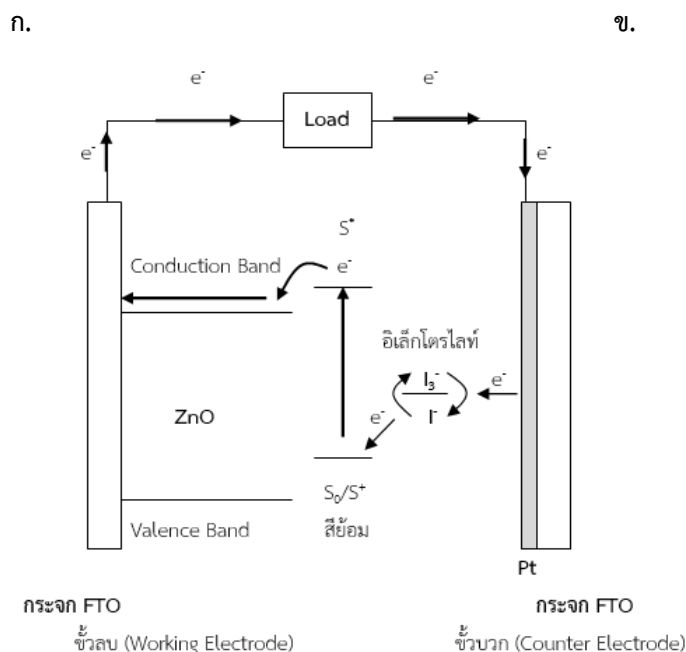
Abstract

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) of Eosin Y disodium salt (eosin Y) are used to produce high-efficiency, low cost DSSCs, and suitable for solar cells. In this study, we are interested in the concentration of eosin Y in 2 and 3 mM which affects the conductivity change in DSSCs upon irradiation by using sunlight and LED lights, namely, red, green, blue, ultraviolet, cool daylight and warm light lamps. The results of the study showed that the wavelength range of 3mM concentration of eosin Y is visible light (especially, the range of green light) with the higher light absorbance values and the maximum conductivity comparing with that of 2mM. We also found from additional studies that the maximum conductance changes in DSSCs upon cool daylight lamp compared with other types of lamp. Focusing on LED lights, we found that the maximum conductance changes in DSSCs upon green LED light. This is consistent with a range of wavelength and the light absorbance values of eosin Y. Thus, the types of light influence on the maximum conductivity change in dye and DSSCs. Sunlight is not the only choice used to discharge electricity devices.

Keywords: dye-sensitized solar cell, dye-sensitized, eosin Y, irradiation effect, conductivity

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนจากพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่วางขายทั่วไปมีราคาที่สูง เนื่องจากต้องใช้ต้นทุนในการผลิตและเทคโนโลยีในการผลิตขั้นสูง เมื่อ O'Regan และ Grätzel (1991) ได้ค้นพบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cells หรือเรียกว่า DSSCs) ที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ง่าย ต้นทุนต่ำ มีแนวโน้มที่จะมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงด้วยต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ (O'Regan and Grätzel, 1991) และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น ซึ่งสีย้อมไวแสงที่ใช้มีหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น N719 (Siroj et al., 2012) Eosin Y และ N_3 (Mali et al., 2011) ยังมีการใช้สีย้อมจากธรรมชาติโดยใช้ดอกและผลของพืช (Hao et al., 2006) เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีส่วนประกอบ ดังรูปภาพที่ 1 ก. คือ (1) กระจกนำไฟฟ้า (Fluorine doped tin oxide coated glass slide หรือเรียกว่า กระจกนำไฟฟ้า FTO) 1 ด้าน จำนวน 2 แผ่น (2) ด้านที่นำไฟฟ้าของกระจกนำไฟฟ้า FTO ที่ใช้เป็นขั้วลบ หรือขั้วแอโนด (Working electrode) เคลือบด้วยชั้นฟิล์มของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรืออนุภาคนาโน (Dai and Rabani 2001) ซึ่งเป็นโลหะออกไซด์ (Metal Oxides) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่มีแถบพลังงานของช่องว่างที่กว้าง (wide band-gap) และสามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของสีย้อมได้เป็นอย่างดี (3) สีย้อม (Dye) จะยึดเกาะกับโมเลกุลของโลหะออกไซด์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี มีทำหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงและทำให้อิเล็กตรอนของสีย้อมที่สถานะพื้นถูกกระตุ้นแล้วทำให้ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ (4) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากวงนอกสุดกลับคืนเข้ามาสู่ตัวโมเลกุลของสีย้อม (5) กระจกนำไฟฟ้า FTO อีกแผ่นเป็นขั้วบวก หรือขั้วแคโทด (Counter electrode) ที่เคลือบด้วยแพลตตินัม (Pt), คาร์บอน (C), กราไฟท์ (Graphite) หรือสารจำพวกนาโนคาร์บอน (Siroj et al., 2012) จะทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วเกิดกระบวนการรีดอกซ์ ทำให้โมเลกุลของสีย้อมกลับคืนสู่สถานะกระตุ้น (วินิช พรหมอารักษ์ และคณะ, 2550) จึงทำให้ได้กระแสไฟฟ้าตลอดเวลา และสุดท้ายจะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ดังรูปภาพที่ 1 ข.



รูปภาพที่ 1 ก. หลักการเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และ ข. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

โดยงานวิจัยนี้จะใช้สีย้อมไวแสงเป็น Eosin Y disodium salt จากบริษัท s d fine-chem limited ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าอีโอสินวาย (Eosin Y) ที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนที่เกาะกับโบรมีนและโซเดียม โดยมีโครงสร้างโมเลกุลเป็น $C_{20}H_6Br_4Na_2O_5$ มีมวลโมเลกุล 691.86 เนื่องจาก Eosin Y สามารถยึดเกาะกับซิงค์ออกไซด์ได้เป็นอย่างดี มีราคาถูกกว่า N719 และ N_3 ถึง 200 เท่าใน 1 กรัม แต่ยังคงให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสงกระตุ้นได้ในปริมาณที่มากพอให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ และสามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีในช่วงของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ในช่วงกว้าง (Wang et al., 2005) โดยพิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Eosin Y ที่ต่างกันของ 2 mM และ 3 mM ถึงค่าการดูดกลืนแสง ช่วงกว้างของความยาวคลื่นแสงในการดูดกลืนแสง และค่าความนำไฟฟ้าที่ให้แนวโน้มให้มีค่าสูงสุดเพื่อนำมาประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดด้วย ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y จะมีหลักการทำงานดังนี้

- 1) แสงอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนโมเลกุลของสีย้อมไวแสง Eosin Y ที่เกาะอยู่บนผิวของโลหะออกไซด์เป็นพวกสารกึ่งตัวนำของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่เป็นขั้วลบ หรือขั้วแอโนด (Working electrode) จะทำให้สีย้อมไวแสงดูดกลืนพลังงานแสงและทำให้อิเล็กตรอนที่สถานะพื้น (S_0) จะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (S^+)
- 2) อิเล็กตรอนที่สถานะกระตุ้น จะถูกส่งผ่านไปยังแถบนำไฟฟ้า (Conduction band, C.B.) ของโลหะออกไซด์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำไปยังขั้วลบ หรือขั้วแอโนด (กระจุก FTO) แล้วออกไปยังวงจรภายนอก
- 3) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วบวก หรือขั้วแคโทด (Counter electrode) ที่เคลือบด้วยแพลตตินัม (Pt) จะเกิดกระบวนการรีดอกซ์ ซึ่งให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมที่ได้สูญเสียอิเล็กตรอนไป (S^+) จึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น (S_0) ซึ่งในเวลาเดียวกันนั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะรับอิเล็กตรอนคืนกลับมาจากขั้วบวก หรือขั้วแคโทด (Counter electrode) จากแพลตตินัม (Pt)

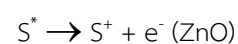
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง มีดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาที่ working electrode (ขั้วลบ)

การดูดกลืนพลังงานแสง

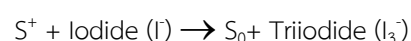


การส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับสารกึ่งตัวนำ

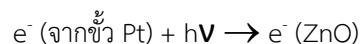


ปฏิกิริยาที่ Counter electrode (ขั้วบวก)

การสร้างใหม่ของสีย้อม



ปฏิกิริยารวม



ด้วยเหตุนี้เราจึงได้อิเล็กตรอนในตอนสุดท้ายทำให้เกิดการนำไฟฟ้า อีกทั้งยังมีการวิจัยที่ได้ใช้แสงชนิดต่าง ๆ ฉายบนผิวของวัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนทำให้เกิดอิเล็กตรอนจึงมีการนำไฟฟ้าบนวัสดุอย่างเช่น $SrTiO_3$ (Meevasana et al., 2011), $Ba_{0.7}Ca_{0.3}TiO_3$ (Jaiban et al., 2015), $CaCu_3Ti_4O_{12}$ (Masingboon et al., 2013) และ $KTaO_3$ (Suwanwong et al., 2012) อีกทั้งยังมีการใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงในสีต่าง ๆ (Suwanwong et al., 2015) เช่น แสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน แสงอัลตราไวโอเลต (Saekow et al., 2012) รวมถึงแสงซินโครตรอน (ศานิตย์ สุวรรณวงศ์, 2555) เป็นต้น ดังนั้นพลังงานแสงจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของ Eosin Y ที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าแล้วนำไปประจุไฟด้วยแบตเตอรี่ เพื่อสำรองไฟแล้วนำไปใช้งานต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้ไอโอดีนในระหว่างการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม
- 2.2 ศึกษาอิทธิพลของการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสีย้อมจากไอโอดีน

เตรียมสีย้อมไวแสงจากไอโอดีน ไดโซเดียม ซอลท์ (Eosin Y disodium salt) จากบริษัท s d fine-chem limited เป็นปริมาณความเข้มข้น 2 mM และ 3 mM ผสมในเอทานอล 50 ml คนให้เข้ากัน แล้วทำการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 30 นาที จะได้สีย้อมไวแสงจาก Eosin Y มาทั้ง 2 ปริมาณ

3.2 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1) การเตรียมครีมนำด้วยผงซิงค์ออกไซด์ (ZnO powder) ใช้ผง ZnO 5 g ผสมกับโพลีเอทิลีนไกลคอล 400 (Polyethylene Glycol 400) จำนวน 2 g ในน้ำกลั่น (DI water) 18 ml คนให้เข้ากัน ก็จะได้ครีม ZnO ที่ใช้ในการเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า FTO

2) การเตรียมขั้วลบ (Working electrode) โดยการตัดกระจกนำไฟฟ้า FTO ให้มีขนาด $2 \times 1.5 \text{ cm}^2$ จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่ อะซิโตน เอทานอล และน้ำกลั่น โดยการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลาอย่างละ 10 นาที ตามลำดับ แล้วเป่าให้แห้ง จากนั้นนำเทป 3M ปิดทับขอบของแผ่นกระจกนำไฟฟ้าตรงกลางให้มีขนาด 0.25 cm^2 แล้วหยดครีมของซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นที่ที่เลือกเอาไว้และปาดให้เรียบบนกระจกนำไฟฟ้า เป่าให้แห้ง จากนั้นให้ความร้อนด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นลงก่อนแล้วนำไปแช่สีย้อมไวแสงจากสารละลาย Eosin Y เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้แห้ง

3) การเตรียมขั้วบวก (Counter electrode) โดยนำกระจกนำไฟฟ้า FTO เคลือบแพลตตินัม (Pt) ด้วยวิธี Sputtering technique

4) การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ผงโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.5 M และไอโอดีน (I_2) 0.05 M ผสมกับเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) 50 ml จากนั้นคนให้เข้ากัน แล้วนำไปสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที ก็จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์

5) การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีขนาดของเซลล์รับแสง $1 \times 0.25 \text{ cm}^2$ ด้วยการตัดแผ่นพาราฟิล์มให้มีขนาดช่องว่างเป็นพื้นที่ขนาด 0.25 cm^2 แล้ววางทับบนกระจกที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ที่ติดสีย้อมไอโอดีน จากนั้นก็ประกบด้วยแผ่นกระจกที่เคลือบด้วยแพลตตินัมแล้วใช้คลิปหนีบกระดาษที่ด้านข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ นำไปเป่าให้ความร้อนเพื่อให้พาราฟิล์มหลอมติดกับกระจก วางไว้ให้เย็นแล้วหยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ระหว่างขอบของกระจกทั้งสองที่ประกบกัน ก็จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากไอโอดีน

3.3 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย Eosin Y

วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ในปริมาณความเข้มข้น 2 mM และ 3 mM ด้วยเครื่อง UV-VISIBLE Spectrophotometer (รุ่น UV-1700 PharmaSpec ของ Shimadzu Co.,Ltd.) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y และวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย Eosin Y ด้วยเครื่อง Microprocessor

Conductivity Meter ของ WTW รุ่น LF 3000 เพื่อการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ที่เหมาะสมของสารละลาย Eosin Y ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

3.4 การวัดสเปกตรัมและความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง

วัดสเปกตรัมของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในวิจัยนี้ นอกจากจะใช้แสงอาทิตย์แล้วยังใช้หลอดไฟ LED ขนาด 5 mm ที่ให้สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน อัลตราไวโอเลต และหลอดไฟ LED ขนาด 4 W ยี่ห้อ Philips รุ่น Philips LEDbulb 4 W, E27, 220-240V, 350 lumen มี 2 ประเภท คือ หลอด Cool daylight ที่ให้แสงสว่างสดใส และ warm light ที่ให้แสงสว่างในโทนเหลือง ซึ่งแสงที่ได้จากหลอดทั้งสองให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นเท่านั้น ดังในรูปภาพที่ 3 ก. โดยทำการวัดสเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Spectrometer ของยี่ห้อ Ocean optics รุ่น HR 4000 แล้วทำการวัดความเข้มของแสง (I_{photo}) ด้วยเครื่อง Power and Energy meter ของยี่ห้อ THORLABS รุ่น PM 100 USB ที่มีตัวรับแสง (Detector) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 cm ได้ค่าความเข้มแสง ดังตารางที่ 1

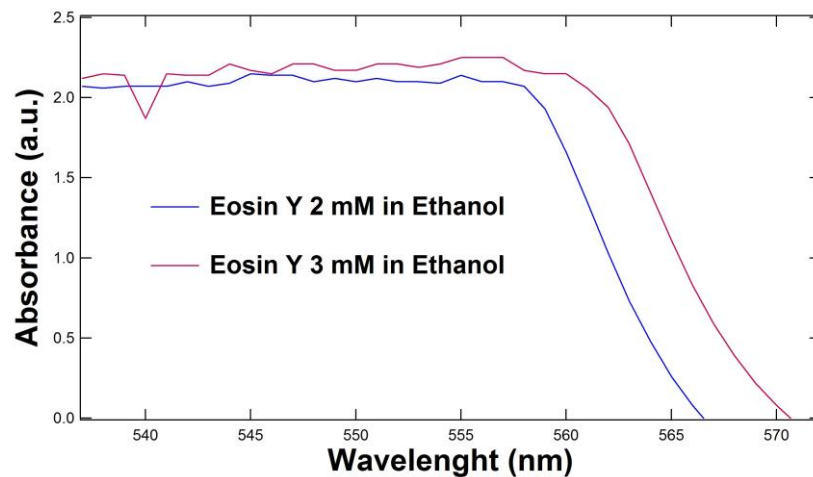
3.5 การนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อได้รับการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ

วัดการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสารละลาย Eosin Y โดยการวัดด้วยเครื่อง MULTIMETER ยี่ห้อ hp HEWLETT PACKARD รุ่น 971A ต่อเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ดังรูปภาพที่ 3 ข. ที่เป็นรูปเล็ก เมื่อฉายแสงชนิดต่าง ๆ ได้แก่ หลอดไฟ LED สีแดง, สีเขียว, สีน้ำเงิน, อัลตราไวโอเลต, cool daylight, warm light และแสงอาทิตย์ ด้วยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) และศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) ในขณะที่แสงตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เพื่อวัดค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด ($G_{\text{max}} = I_{\text{max}}/V_{\text{max}}$) ต่อพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีพื้นที่รับแสงขนาด 0.25 cm^2

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การดูดกลืนแสง

สีย้อมไวแสงทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงต่าง ๆ และให้อิเล็กตรอนกับแถบนำพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์ ซึ่งจะต้องมีช่วงของการดูดกลืนแสงที่กว้างในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) เพื่อให้การดูดกลืนพลังงานแสงมีค่าที่สูงยิ่งขึ้น จากรูปภาพที่ 2 การดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ที่มีความเข้มข้น 2 mM และ 3 mM วัดด้วยเครื่อง UV-VISIBLE Spectrophotometer พบว่าสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ที่ความเข้มข้น 2 mM (เส้นสีน้ำเงิน) มีช่วงของความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงอยู่ระหว่าง 537nm – 566.5 nm มีค่าสูงสุดที่ 545 nm และมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ $70.6 \mu\text{S/cm}$ วัดด้วยเครื่อง Microprocessor Conductivity Meter สำหรับปริมาณความเข้มข้น 3 mM (เส้นสีแดง) อยู่ระหว่าง 537nm – 570.5 nm มีค่าสูงสุดที่ 557 nm และมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ $89.6 \mu\text{S/cm}$ ซึ่งมีช่วงของความยาวคลื่น ค่าการดูดกลืนแสงโดยรวม และค่าการนำไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่า 2 mM เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของ Eosin Y ที่มากขึ้น ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของ Eosin Y ที่มากขึ้น ซึ่งจะทำให้จำนวนของอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นในปริมาณที่สูงขึ้นเช่นกัน พิจารณาได้จากรูปภาพที่ 2 พบว่าความเข้มข้น 3 mM มีค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) สูงขึ้น และทำให้ช่วงความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงที่มากขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม Eosin Y ให้สูงขึ้น ก็จะมีแนวโน้มที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งเหมาะกับการนำมาประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีประสิทธิภาพได้สูงขึ้น จึงกล่าวได้ว่าสีย้อมไวแสงสามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่มากกระทบบและมีการนำไฟฟ้าได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ที่มีความเข้มข้น 3 mM ซึ่งมีช่วงของความยาวคลื่น การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าการนำไฟฟ้าได้สูงกว่า 2 mM



รูปภาพที่ 2 การดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ที่มีความเข้มข้น 2 mM และ 3 mM

4.2 อิทธิพลของแสงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้า

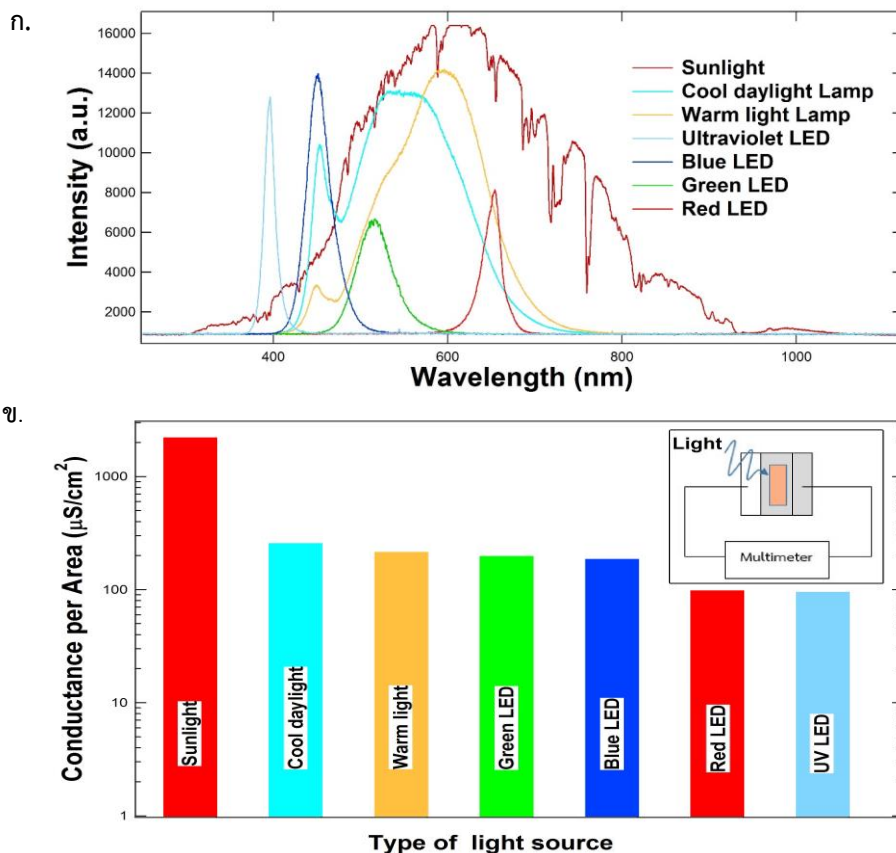
อิทธิพลของแสงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ที่มีปริมาณความเข้มข้น 3 mM เมื่อได้รับการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่รับแสง เมื่อฉายแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสง 987.32 W/m^2 ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นเป็น $2207.28 \text{ }\mu\text{S/cm}^2$ หรือ 2.207 mS/cm^2 แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะแสงจากหลอดไฟ พบว่า Cool daylight ที่มีความเข้มแสง 147.95 W/m^2 จะให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเป็น $256.14 \text{ }\mu\text{S/cm}^2$ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดไฟชนิดอื่น เปรียบเทียบได้จากรูปภาพที่ 3 ข. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง $399 \text{ nm} - 788 \text{ nm}$ ของหลอด Cool daylight ดังรูปภาพที่ 3 ก. ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของแสงสีเขียวในปริมาณความเข้มแสงที่สูง (มีช่วงของความยาวคลื่นเดียวกับ Warm light แต่หลอดไฟ Cool daylight มีปริมาณความเข้มแสงที่สูงกว่า) และเมื่อพิจารณาช่วงของความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงจากรูปภาพที่ 2 พบว่าสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ตอบสนองได้ดีในช่วงของการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นระหว่าง $537 \text{ nm} - 570.5 \text{ nm}$ ซึ่งเป็นสีเขียว และมีลำดับของการนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่รับแสงเรียงจากมากไปหาน้อย ดังรูปภาพที่ 3 ข. ได้แสดงไว้ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า I_{photo} , V_{max} , I_{max} , และ G_{max} เมื่อฉายแสงชนิดต่าง ๆ บนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y ความเข้มข้น 3 mM

ชนิดของแสง	I_{photo} (W/m^2)	V_{max} (mV)	I_{max} ($\mu\text{A/cm}^2$)	G_{max} ($\mu\text{S/cm}^2$)
Red LED	1.55	182.5	18	98.63
Green LED	26.25	251.7	49.6	197.06
Blue LED	33.21	271.3	50.4	185.77
UV LED	68.41	196.3	18.8	95.77
Cool daylight	147.95	301.4	77.2	256.14
Warm light	129.66	273.7	58.8	214.83
Sunlight	987.32	357.0	788.0	2207.28

แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะหลอดไฟ LED สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และหลอด UV LED จากรูปภาพที่ 3 ข. พบว่าแสงจากหลอด LED สีเขียว ให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าหลอด LED ชนิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Eosin Y ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 537nm – 570.5 nm ซึ่งเป็นช่วงของแสงสีเขียวพอดี เนื่องจาก Eosin Y มีสีแดง-ส้มเมื่อละลายในเอทานอล ซึ่งดูดกลืนแสงสีเขียวและสีน้ำเงินได้เป็นอย่างดีตามลำดับ ทำให้แสงสีเขียวเป็นส่วนใหญ่และสีน้ำเงินส่วนหนึ่งถูกกำจัดไปจากแสงขาว ดังนั้นแสงสีเขียวจึงถูกดูดกลืนได้ดีกว่าสีน้ำเงินและสีแดง ทำให้เราเห็นสารละลาย Eosin Y เป็นสีแดง-ส้ม สำหรับแสงจากหลอด LED สีน้ำเงิน เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมของแสงสีน้ำเงินในรูปภาพ 3 ก. นั้นมีช่วงคลื่นที่ใกล้สเปกตรัมของแสงสีเขียวเล็กน้อย ซึ่งมากพอที่จะไปกระตุ้นสีย้อมให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนได้มากยิ่งขึ้น จึงทำให้มีค่าความนำไฟฟ้าที่สูงเป็นอันดับสองของหลอด LED สำหรับสีแดงและอัลตราไวโอเลตมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำลงมา ตามลำดับ

พิจารณารูปภาพที่ 3 ก. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิดจะให้ปริมาณของความเข้มแสงของแต่ละสีที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าของแต่ละสี ทั้งนี้เนื่องจาก Eosin Y ดูดกลืนแสงสีเขียวได้ดี ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสงที่มีปริมาณความเข้มแสงของสีเขียวสูงก็จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์นี้ นำไฟฟ้าได้ดี โดยเรียงลำดับค่าการนำไฟฟ้าดังรูปภาพ ข. ดังนั้นแสงที่ตกกระทบบนสีย้อมจะกระตุ้นให้สีย้อมปล่อยอิเล็กตรอนได้ดีนั้นจะต้องมีช่วงการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นพอเหมาะกับสีย้อม จึงจะให้กระแสอิเล็กตรอนทำให้เกิดการนำไฟฟ้าที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากงานวิจัยนี้จึงพบว่าเราไม่จำเป็นต้องใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการทำให้เกิดการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เรายังสามารถเลือกใช้แสงให้เหมาะสมกับชนิดของสีย้อมที่เลือกใช้ ในการนำมาใช้ในการประจุไฟผ่านแบตเตอรี่ ให้กับโฟนอย เครื่องคิดเลข และอุปกรณ์ไฟฟ้าได้



รูปภาพที่ 3 ก. สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ และ ข. การนำไฟฟ้าสูงสุดต่อพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจาก Eosin Y และรูปเล็ก เซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลต่อการสามารถในการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าเมื่อฉายแสงชนิดต่าง ๆ บนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม Eosin Y ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. สีย้อมไวแสงจาก Eosin Y มีช่วงของการดูดกลืนแสงค่อนข้างกว้างอยู่ระหว่าง 537nm – 570.5 nm และมีค่าสูงสุดที่ 557 nm ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมของแสงสีเขียวยเป็นส่วนใหญ่
2. ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมให้ค่าสูงสุดซึ่งสัมพันธ์กับค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงของ Eosin Y ทำให้มีค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดเมื่อฉายแสงที่มีองค์ประกอบของสเปกตรัมแสงที่สีย้อมสามารถดูดกลืนแสงได้ดี
3. แหล่งกำเนิดแสงที่เลือกใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ควรจะเลือกให้เหมาะสมชนิดของสีย้อมที่มีการดูดกลืนแสงได้ดีในสีใด จึงเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ปริมาณความเข้มแสงของสีนั้นเป็นส่วนใหญ่ จึงจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของสีย้อมชนิดนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับสีย้อม Eosin Y เหมาะกับแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงสีเขียวที่มีปริมาณความเข้มแสงสูง
4. ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการทำให้เกิดการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เรายังสามารถเลือกใช้แสงที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในการนำมาใช้ในการประจุไฟฟ้าผ่านแบตเตอรี่ให้กับไฟฉาย เครื่องคิดเลข และอุปกรณ์ไฟฟ้าได้

6. เอกสารอ้างอิง

- วินิช พรหมอารักษ์ และคณะ. (2550). เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง, วารสารวิชาการ ม.อบ., ปีที่ 9, ฉบับ 2.
- ศานิตย์ สุวรรณวงศ์. (2555). LIGHT SENSOR PROTOTYPE USING THE RESISTANCE CHANGE AT SURFACE OF PEROVSKITE METAL OXIDES UPON IRRADIATION. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Dai, Q., and Rabani, I. (2001). Photosensitization of nanocrystalline TiO₂ films by pomegranate pigments with unusually high efficiency in aqueous medium. Chem. Commun, 20, 2142-2143.
- Hao, S., Wu, I., Huang, Y., and Lin, I. (2006). Natural dye as photosensitized for dye-sensitized solar cell. Solar Energy, 80, 209-214.
- Jaiban, P., Suwanwong, S., Namsar, O., Watcharapasorn, A., and Meevasana, W. (2015). Simultaneous tuning of the dielectric property and photo-induced conductivity in ferroelectric Ba_{0.7}Ca_{0.3}TiO₃ via La doping, Materials Letters, 147, 29–33.
- Mali, S. S., Betty, C. A., Bhosale, P. N., and Patil, P. S. (2012). Eosin-Y and N3-Dye sensitized solar cells (DSSCs) based on novel nanocoral TiO₂: A comparative study. Electrochimica Acta, 59, 113-120.
- Masingboon, C., Eknapakul, T., Suwanwong, S., Buaphet, P., Nakajima, H., Mo, S. K., Thongbai, P., King, P. D. C., Maensiri, S., and Meevasana, W. (2013). Anomalous change in dielectric constant of CaCu₃Ti₄O₁₂ under violet-to-ultraviolet irradiation, Applied Physics Letters, 102, 202903.
- Meevasana, W., King, P. D. C., He, R. H., Mo, S.-K., Hashimoto, M., Tamai, A., Songsiririthigul, P., Baumberger, F. and Shen, Z.-X. (2011). Creation and control of a two-dimensional electron liquid at the bare SrTiO₃ surface. Nature Materials, 10, 114-118.

- O'Regan, B., and Grätzel, M. (1991). **A Low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films.** *Nature*, 353, 737.
- Saekow, S., Maiakgree, W., Jarernboon, W., Pimanpang, S., and Amornkitbamrung, V. (2012). **High intensity UV radiation ozone treatment of nanocrystalline TiO₂ layers for high efficiency of dye-sensitized solar cells efficiency of dye-sensitized solar cells.** *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 2496–2500.
- Siroj, S., Pimanpang, S., Towannang, M., Maiaugree, W., Phumying, S., Jarernboon, W., and Amornkitbamrung, V. (2012). **High performance dye-sensitized solar cell based on hydrothermally deposited multiwall carbon nanotube counter electrode.** *Applied Physics Letters*, 100, 243303.
- Suwanwong, S., Eknapakul, T., Rattanachai, Y., Masingboon, C., Rattanasuporn, S., Phatthanakun, R., Nakajima, H., King, P.D.C., Hodak, S.K. and Meevasana, W. (2015). **The dynamics of ultraviolet-induced oxygen vacancy at the surface of insulating SrTiO₃ (001).** *Applied Surface Science*, 355, 210-212.
- Suwanwong, S., Kullapapinyokul, J., Eknapakul, T., Buaphet, P., Phatthanakun, R., and Meevasana, W. (2015). **Resistivity change in SrTiO₃ upon irradiation and its application in light sensing.** *Suranaree Journal Science Technology*, 22 (1), 93-98.
- Wang, Z.-S., Sayama, K., and Sugihara, H. (2005). **Efficient Eosin Y Dye-Sensitized Solar Cell Containing Br⁻/Br₃⁻ Electrolyte.** *Journal of Physical Chemistry B*, 109, 22449-22455.