

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงใช้สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง

Dye-sensitized Solar Cell Using Red Cabbage Extract

วรรณวิมล อารยะปราณี และ ชนภัทร มีศิลป์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้สารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงเป็นสีย้อมไวแสง ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) เป็นสารกึ่งตัวนำ และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide, KI) และไอโอดีน (Iodine, I_2) เป็นอิเล็กโทรไลต์ ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงในสารละลายเอทานอลดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร สารสกัดกะหล่ำปลีม่วงดูดซับบนไททาเนียมไดออกไซด์จะแสดงฟิสิกการดูดกลืนแสงที่กว้างกว่าสารละลายของสีย้อมด้วยการเคลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่สูงกว่าความแตกต่างของฟิสิกการดูดกลืนแสงขึ้นอยู่กับการเกิดพันธะของแอนโทไซยานินในสารสกัดกับพื้นผิวของออกไซด์โลหะ ศึกษาหาอิทธิพลของปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการสกัดสีย้อมและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายสีย้อมต่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power output, P_{max}) เมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณกะหล่ำปลีม่วง จาก 1 ถึง 10 g ค่า P_{max} เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณวัตถุดิบสำหรับการสกัดสีย้อม ศึกษาค่าความเป็นกรดเบสต่อค่า P_{max} ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 9 พบว่าค่า P_{max} จะลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบส ดังนั้นสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงเป็นแหล่งของแอนโทไซยานินสำหรับการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากเทคนิคการเตรียมเซลล์ที่ไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความคงทนดี เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมธรรมชาติจึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาต่อไป

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว สีย้อมไวแสง กะหล่ำปลีม่วง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

Abstract

Dye-sensitized solar cells (DSSC) were fabricated by using crude Red Cabbage as sensitizers, TiO_2 as semiconductor, and KI and I_2 as electrolyte. The solvent was methanol. The maximum absorption wavelength of Red Cabbage extracts in methanol solution was about 500 nm. Red Cabbage extract adsorbed on TiO_2 , an absorption peak was broader than that of the dye solution with a shift to a higher wavelength. The difference in the absorption peak was due to the binding of anthocyanin in the extract to the oxide surface. The effect of amount of crude

materials and pH of the dye solution on the maximum power output (P_{max}) was also determined. The variation of the amount of crude materials from 1 to 10 g, the P_{max} was seen to increase with a rising amount of crude materials. The effect of the pH on the P_{max} was studied over the range of approximately 1 to 9. The P_{max} was seen to decrease with an increase in pH from 1 to 9. Therefore, it could be summarized that Red Cabbage extract should be an alternative anthocyanin source for DSSC preparation. Due to the simple preparation technique, low cost, friendliness to environment, and good durability, the DSSC sensitized with natural dyes is promising for further investigation.

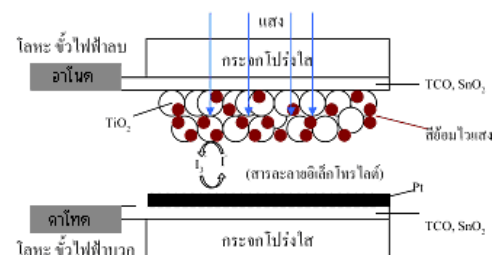
Keywords : Dye-sensitized solar cells, Sensitizers, Red Cabbage, Maximum power output

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่เหมาะสมนำมาใช้งานในอนาคต เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายโดยทั่วไปเป็นแบบซิลิกอนซึ่งมีราคาแพงและใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตในประเทศไทยมีราคาสูงมาก เนื่องจากต้องนำเข้าวัสดุและสารเคมีที่จำเป็นต่อการผลิต เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell, DSSC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่เป็นทางเลือกที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจ อาทิเช่น มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูง ขณะที่ต้นทุนการผลิตต่ำ ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง คือ (1) กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conductive oxide glass: TCO glass) ทำจากกระจกใส ที่เคลือบด้วย Indium Tin Oxide (ITO) หรือ Fluorine doped Tin Oxide (FTO) 1 ด้าน (2) ชั้นอนุภาคนำสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer) เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal-oxide semiconductor) ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง (wide band-gap) และสามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลสีย้อมได้ โดยชั้นสารกึ่งตัวนำที่มีการศึกษากันมาก คือ TiO_2 และ ZnO (3) โมเลกุลสีย้อม (Dye) เป็นโครงสร้างสำคัญที่ดูดซับพลังงานแสงและปลดปล่อยอิเล็กตรอนสถานะกระตุ้น โดยจะยึดเกาะกับ

อนุภาคนำสารกึ่งตัวนำ ด้วยพันธะ $-OH$ หรือ $=O$ และ (4) สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ทำงานในวงจรภายนอก กลับคืนสู่โมเลกุลสีย้อม ดังนั้นสีย้อมจึงเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทำหน้าที่เป็นวัสดุเก็บเกี่ยวแสง

เมื่อแสงส่องผ่านมากระทบกับสีย้อมไวแสง อิเล็กตรอนในโมเลกุลของสีย้อมไวแสง จะถูกกระตุ้นให้ไปที่ระดับพลังงานสูงจะส่ง กระแสไฟฟ้าชั่วพลันผ่านผลึก TiO_2 ที่สีย้อมไวแสงนั้นเคลือบอยู่ แล้วเคลื่อนไปสู่ขั้วไฟฟ้าบวก ขั้วไฟฟ้าได้แผ่นกระจกด้านที่รับแสงจึงให้กระแสชั่วพลัน เมื่อกระแสผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกแล้วเคลื่อนผ่านเข้ามาบนกระจกนำไฟฟ้าด้านล่าง โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านชั้นของทองขาวหรือคาร์บอน ให้ช่วยส่งอิเล็กตรอนผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และกลับสู่สีย้อมไวแสง ดังรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

มีรายงานการวิจัยหลายเรื่องที่ใช้สีข้อมไวแสงจากพืชโดยตรง นิยมสกัดสีข้อมจากดอกและผลของต้นไม้ Hao และคณะ (Hao *et al.*, 2006) ศึกษาการนำข้าวเหนียวดำ (Black rice), ดอกปาริฉัตร, ดอก Rosa xanthina, พริก และสาหร่ายทะเล มาสกัดด้วยอัลกอฮอล์แล้วทำให้สีข้อมบริสุทธิ์ขึ้นด้วยโครมาโทกราฟี นำสีข้อมมาทดลองทำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง ได้ผลว่าสีข้อมจากข้าวเหนียวดำดีที่สุด เนื่องจากข้าวเหนียวดำมีแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งยึดเกาะฟิล์ม TiO_2 ได้ดี

แอนโทไซยานิน ซึ่งพบได้ง่ายในดอกไม้และผลไม้ที่มีสีเข้ม และคงทนในสภาพกรด ได้รับความสนใจมากกว่ารงควัตถุในธรรมชาติชนิดอื่น สมบัติในการยึดเกาะอนุภาค TiO_2 เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล งานวิจัยที่ใช้ส่วนของพืชที่มีสารในกลุ่มแอนโทไซยานินมาเป็นสีข้อมไวแสง เช่น Sirimanne และคณะ (Sirimanne *et al.*, 2006) ใช้รงควัตถุจากผลทับทิม Dai และ Rabani (Dai และ Rabani, 2001) ใช้รงควัตถุจากผลทับทิมในตัวอย่างที่เป็นน้ำ ส่วน Kumara และคณะ (2006) รายงานสีข้อมไวแสงที่สกัดจากโบชิโซ (Shiso) Garcia และคณะ (2003b) ศึกษาส่วนสกัดสดจากผล Chaste tree (*Solanum americanum*, Mill.), Mulberry (*Morus alba*, L.) และ Cabbage-palm (*Euterpe oleracea*, Mart) ใช้เป็นสีข้อมไวแสงเปรียบเทียบกับสารประกอบของรูทีเนียม และเสนอว่าการใช้สีข้อมไวแสงจากผลไม้ทั้งสามเป็นทางเลือกในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่รวดเร็วกว่า ง่ายกว่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าสีข้อมสังเคราะห์ Yamazaki และคณะ (2007) ใช้สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นสีข้อมไวแสง Wongcharee และคณะ (2007) ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงที่ใช้สารสกัด

จากกระเจี๊ยบ และดอกอัญชัน ได้ผลว่า กระเจี๊ยบให้ประสิทธิภาพดีกว่าดอกอัญชันและสารผสม

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงโดยใช้สีข้อมธรรมชาติที่สกัดได้กะหล่ำปลีม่วงทดแทนสีข้อมประเภทสารประกอบเชิงซ้อนของสีข้อมที่มีโลหะเป็นแกนของโครงสร้าง

2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณกะหล่ำปลีม่วงและค่าความเป็นกรด-เบสสำหรับการสกัดสีข้อมของกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power output, P_{max}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การเตรียมสีข้อมไวแสงจากธรรมชาติ

สกัดกะหล่ำปลีม่วงซึ่งถูกสับด้วยเมทานอลที่ปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยกรดเกลือและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิ 30°C กรองกากออกจะได้สารละลายใสของสีข้อม

3.2 การเตรียมขั้วอิเล็กโทรด

การเตรียมครีမ် TiO_2 ด้วยการผสมผง TiO_2 0.2 g สารละลายกรดอะซิติก (acetic solution, 0.1 M) 4.0 ml พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, MW 10,000) 0.08 g และหนึ่งหยดของสารลดแรงตึงผิว (Triton X-100) บดผสมสารละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

การเตรียมขั้วลบ ตัดเทปใสให้มีขนาดช่องตามความต้องการ ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) นำไปติดไว้บนแผ่น block screen หลังจากนั้นนำกระจกเคลือบดินกอกไซด์มาวางไว้อีกด้านของ block screen ให้ตรงกับช่องเทปใส โดยวางด้านนำไฟฟ้าหงายขึ้น หยอดครีမ်ไททาเนียมได-

ออกไซด์ลงบน block screen แล้วใช้ยางปาด ปาดให้เรียบโดยใช้แรงกดพอประมาณ นำกระจกแผ่นที่เคลือบด้วยครีมนิทาเนียมไดออกไซด์ไปให้แห้งด้วย Heat gun นำกระจกแผ่นที่เคลือบด้วยครีมนิทาเนียมไดออกไซด์ให้ความร้อนในเตาเผา โดยใช้อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ปลดชิ้นงานเย็นลงก่อนนำมาข้อมสี โดยแช่กระจกที่เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสารละลายสีข้อมเป็นเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้แห้ง

การเตรียมขั้วบวก นำกระจกนำไฟฟ้ามาวางไว้ก้นด้านของ block screen หยดครีมนิทาเนียมไดออกไซด์ลงบน block screen แล้วใช้ยางปาด ปาดให้เรียบโดยใช้แรงกดพอประมาณ เป่าให้แห้งด้วย Heat gun ให้ความร้อนในเตาเผา โดยใช้อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ปลดกระจกเคลือบเย็นลง

3.3 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง

เตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง ขนาด 1 x 1 cm² ด้วยการตัดแผ่นพอลิเมอร์ และเจาะให้มีช่องว่างกว้างกว่าฟิล์ม TiO₂ เล็กน้อย วางแผ่นพอลิเมอร์ลงบนกระจกเคลือบพอลิเมอร์ประกบกับกระจกกระจกที่เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์และข้อมสีหนึ่บด้านข้างของเซลล์ด้วยคลิปหนีบกระดาษ นำเซลล์ไปเป่าให้ความร้อนด้วย Heat gun จนแผ่นพอลิเมอร์หลอม วางทิ้งไว้ให้เย็น หยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (0.5M potassium iodide ผสมกับ 0.05M iodine ใน ethylene glycol) ลงไปในเซลล์ผ่านด้านขอบของกระจกที่ประกบ

3.4 การตรวจสอบและการวัดกราฟ Current- voltage

วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีข้อมและสีข้อมที่ถูกดูดกลืนบนพื้นผิวฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (รุ่น

Spectronic Education ของ Thermo electron corporation) และวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า (Current- voltage, I-V curve) ด้วยเครื่อง Voltage Recorder VR-71 (ความถูกต้อง 0.5%) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง ภายใต้แสงสังเคราะห์ (Simulated sunlight, AM 1.5)

จากกราฟ I-V ค่า Fill factor (FF) สามารถคำนวณได้

$$FF = \frac{I_{\max} \times V_{\max}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (1)$$

เมื่อ I_{SC} เป็นค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิด

(short-circuit) ที่ $\Delta E = V = 0$

V_{OC} เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดของ (open-circuit)

$I_{\max}$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้กำลังสูงสุด

$V_{\max}$ คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power output)

คือ $P_{\max} = I_{\max} \times V_{\max}$

ประสิทธิภาพ (Efficiency, η) คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\eta = \frac{I_{\max} \times V_{\max}}{P_{in}} = \frac{I_{SC} \times V_{OC} \times FF}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad (2)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

P_{in} คือ ผลรวมของกำลังที่แผ่รังสีตกกระทบ

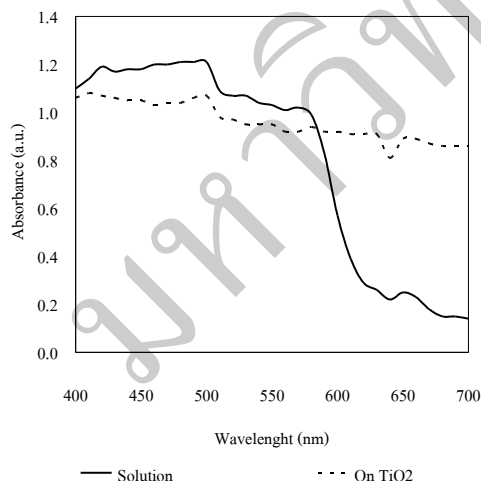
บนเซลล์แสงอาทิตย์

4. ผลการวิเคราะห์และข้อวิจารณ์

4.1 การดูดกลืนแสง

โมเลกุลสีข้อมไวแสงทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และให้กระแสอิเล็กตรอนกับอนุภาคละอองไฮดรอกไซด์ ดังนั้นจะต้องมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงกว้างในช่วงที่ตามองเห็น (Visible range) จนถึงช่วงใกล้อินฟราเรด เพื่อให้ดูดกลืนพลังงานมีค่า

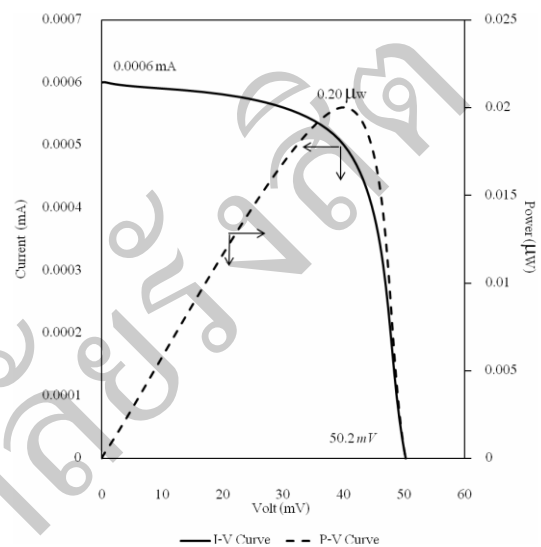
สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง จากรูปภาพที่ 2 แสดงลักษณะการดูดกลืนแสงของสารละลายสีข้อม พบว่าสีข้อมไวแสงที่ได้จากการสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงจะมีช่วงการดูดกลืนที่ค่อนข้างกว้างมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 nm จึงกล่าวได้ว่าสีข้อมนี้ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้ แต่เมื่อดูดซับสีข้อมไวแสงที่สกัดบนไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าสีข้อมที่ดูดซับบนฟิล์ม TiO_2 มีช่วงสเปกตรัมในการดูดกลืนแสงกว้างกว่าสารละลายสีข้อม นอกจากนี้ยังพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีข้อมไวแสงที่ดูดซับบนไททาเนียมไดออกไซด์มีตำแหน่งของพีกเลื่อนในลักษณะ Red shift เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพีกการดูดกลืนแสงของสารละลาย (510 nm เทียบกับ 500 nm) ลักษณะเช่นนี้สัมพันธ์กับอันตรกิริยาระหว่างสีข้อมกับผิวของ TiO_2 และบ่งชี้ว่ามีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของสีข้อมไวแสงที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงกับผิวฟิล์มของ TiO_2 ค่อนข้างน้อย



รูปภาพที่ 2 ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสีข้อมไวแสงที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงและที่ดูดซับบน TiO_2

จากการวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่เวลาต่าง ๆ สามารถเขียนกราฟ I-V ของแสงอาทิตย์ที่ใช้กะหล่ำปลีม่วง 3 กรัมในตัวอย่างละลายเมทานอล 100 mL

ที่ pH = 5 และอุณหภูมิ 30°C คำนวณกำลังไฟฟ้า ($P = I \times V$) และเขียนกราฟ P-V ได้ผลการทดลองดังรูปภาพที่ 2 และจากรูปภาพที่ 2 จะได้ค่า $V_{oc} = 50.2 \text{ mV}$, $I_{sc} = 0.6 \mu\text{A}$, และ $P_{max} = 0.20 \mu\text{W}$ ตามลำดับ



รูปภาพที่ 3 เส้นโค้งความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีม่วง 3 กรัมด้วยเมทานอล 100 mL, pH = 5, อุณหภูมิ 30°C

4.2 อิทธิพลของปริมาณกะหล่ำปลีม่วง

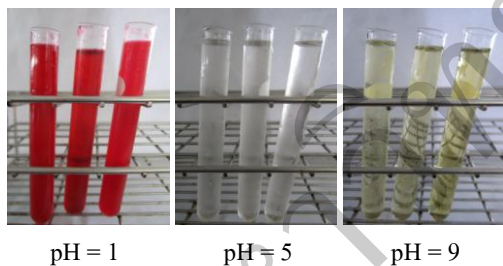
ตารางที่ 1 แสดงอิทธิพลของปริมาณกะหล่ำปลีม่วงในตัวอย่างละลายเมทานอลต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกะหล่ำปลีม่วงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เพราะจากสมการ (2) พบว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อผลรวมของกำลังที่แผ่รังสีตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์คงที่ การเพิ่มปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดทำให้ได้สารสกัดสีข้อมไวแสงแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น และเกิดการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้น เป็นผลให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่ม

ขึ้น นั้นหมายถึงประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังที่แผ่รังสีตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์คงที่

ตารางที่ 1 ค่า V_{oc} , I_{sc} , และ P_{max} ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สีย้อมที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยเมทานอล 100 mL ที่ pH=3 และอุณหภูมิ 30°C ที่น้ำหนักกะหล่ำปลีม่วงต่างๆ

น้ำหนัก (g)	I_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (mV)	P_{max} (μW)	FF (-)
1	0.330	165.0	10.9	0.20
5	0.670	246.0	29.9	0.18
7	0.850	280.0	39.6	0.17
10	0.920	199.0	51.2	0.28

4.3 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-เบส



รูปภาพที่ 4 สีย้อมที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยเมทานอลที่ pH ต่างๆ

สารแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีสีตั้งแต่สีน้ำเงินเข้มในสถานะเป็นเบส (pH>7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงถึงส้มได้ในสถานะเป็นกรด (pH<7) สีย้อมไวแสงที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงจะให้สารละลายสีม่วงแดงที่ pH = 1, ไม่มีสีที่ pH = 5, และสีเขียวที่ pH = 9 ดังรูปภาพที่ 3 ดังนั้นสถานะความเป็นกรด-เบสจึงมีอิทธิพลต่อการประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ตารางที่ 2 แสดงอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-เบสสำหรับการสกัดสีย้อมไวแสงจากกะหล่ำปลี

ม่วงปริมาณ 5 กรัมในตัวทำละลายเมทานอล 100 mL ที่อุณหภูมิ 30°C ต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 2 ค่า V_{oc} , I_{sc} , และ P_{max} ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สีย้อมที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงด้วยเมทานอลที่น้ำหนัก 5 g ด้วยเมทานอล 100 mL ที่อุณหภูมิ 30°C และ pH ต่างๆ

pH	I_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (mV)	P_{max} (μW)	FF (-)
1	0.688	245	35.6	0.20
3	0.670	246.0	29.9	0.18
5	0.004	406.0	0.004	0.18
7	0.024	127.0	0.0	0.17
9	0.060	427.0	0.0	0.28

จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น เพราะสารสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วงจะให้สารละลายสีแดงในช่วงสถานะที่เป็นกรดจะเป็นสารแอนโทไซยานินที่มีความเสถียรและจับยึด TiO_2 ได้ดีเป็นผลให้เมื่อสีย้อมที่ได้รับการกระตุ้นจากแสงแล้วจะจ่ายอิเล็กตรอนไปยังแถบตัวนำของไททาเนียมไดออกไซด์ได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกะหล่ำปลีม่วงสกัดด้วยเมทานอลเป็นสีย้อม แล้วนำสีย้อมมาทดลองทำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ได้ผลการทดลองดังนี้

1. สีย้อมไวแสงที่ได้จากการสกัดกะหล่ำปลีม่วงจะมีช่วงการดูดกลืนที่ค่อนข้างกว้างมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 nm

นอกจากนี้พบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีข้อมไวแสงที่ดูดซับลงบนไทเทเนียมไดออกไซด์มีตำแหน่งของพีคเลื่อนในลักษณะ red shift เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพีคการดูดกลืนแสงของสารละลาย (510 nm เทียบกับ 500 nm) ลักษณะเช่นนี้สัมพันธ์กับอันตรกิริยาระหว่างสีข้อมกับผิวของ TiO_2 ก่อนข้างด้า

2. การเพิ่มปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดทำให้ได้สารสกัดสีข้อมไวแสงแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้นเป็นผลให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงเพิ่มขึ้น

3. สารละลายสีข้อมไวแสงที่สกัดจากกะหล่ำปลีม่วงจะให้สีม่วงแดงในสถานะที่เป็นกรด ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะลดลงเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบสในการสกัดแอนโทไซยานินจากกะหล่ำปลีม่วง

6. เอกสารอ้างอิง

- Dai, Q. and Rabani, I. (2001). "Photosensitization of nanocrystalline TiO_2 films by pomegranate pigments with unusually high efficiency in aqueous medium" Chem. Commun. 20: 2142-2143.
- Garcia, C.G., Polo, A.S. and Iha, N.Y.M. (2003). "Fruit extracts and ruthenium polypyridinic dyes for sensitization of TiO_2 in photoelectrochemical solar cells" I. Photochem. Photobiol. A: Chemistry. 160: 87-91.
- Hao, S., Wu, I., Huang, Y., and Lin, I. (2006). "Natural dye as photosensitized for dye-sensitized solar cell" Solar Energy, 80: 209-214.
- Kumara, G.R.A., Kaneko, S., Okuya, M., Onwona-Agyeman, B., Konno, A. and Tennakone, K. (2006). "Shiso leaf pigments for dye-sensitized solid-state solar cell" Solar Energy Materials and Solar Cells. 90(9): 1220-1226.
- Sirimanne, P.M., Senevirathna, M.K.I., Premalal, E.V.A., Pitigala, P.K.D.D.P., Sivakumar, V. and Tennakone, K. (2006). "Utilization of natural pigment extracted from pomegranate fruits as sensitizer in solid-state solar cells" I. Photochem. Photobiol. A: Chemistry. 177: 324-327.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., and ChavadaI, S. (2007). "Dye-sensitized solar cell using natural dye extracted from rosella and blue pea flowers" Solar Energy Material & Solar Cells, 91: 566-571.
- Yamazaki, E., Murayamaa, M., Nishikawaa, N., Hashimotoa, N., Shoyamaa, M. and Kurita, O. (2007). "Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells" Solar Energy. 81: 512-516.