

การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจาก
เมล็ดคำแสดและยางมังคุด

FABRICATION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELLS USING ACHIOTE
SEED AND MANGOSTEEN LATEX EXTRACTS AS SENSITIZER



971
ข 394ก
2556

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...133792
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2557

b. 10601940
i.....

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ KMITL-2013-NT-M-001-001 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELLS USING ACHIOTE
SEED AND MANGOSTEEN LATEX EXTRACTS AS SENSITIZER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

KMITL-2013-NT-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสดและยางมังคุด

นักศึกษา

นางสาว นิสสรณ์ ปวรินทร์พงษ์

รหัสประจำตัว

52670152

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.วิรัตน์ เจริญบุญ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.สิรพัฒน์ ประโชนเทพ

ดร.ดารินี พรหมโยธิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้ตัวดูดกลืนแสงเป็นสีย้อมที่สกัดจากธรรมชาติ และเลือกใช้ฟิล์มนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชั้นสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้างในชั้นไฟฟ้าเวคคิง โดยมีฟิล์มโลหะแพททินัมเป็นชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาในชั้นแคโทด ซึ่งชั้นฟิล์มทั้งสองเตรียมด้วยวิธีการพิมพ์แบบสกรีน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นระบบคูรีดอกซ์ของไอโอดี-ไตรไอโอดี (I/I_3) ทดสอบประสิทธิภาพภายใต้แสงมาตรฐาน A.M. 1.5 ที่อุณหภูมิ 25 °C ในงานวิจัยเลือกใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติหลายชนิด ได้แก่ พืชสด พืชแห้ง เปลือกไม้ และเมล็ด พบว่าสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดและยางมังคุดให้ค่าประสิทธิภาพที่ดี จึงนำสีย้อมจากสารสกัดของพืชทั้งสองชนิดมาพัฒนาต่อ โดยเลือกศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ คือ ชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัด เวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อม และค่าความเป็นกรด-ด่างของสีย้อมก่อนการแช่ ผลการศึกษาพบว่าสารละลายที่มีความเป็นขี้ดใกล้เคียงกับสารในพืชที่ต้องการสกัดจะให้สีย้อมที่ให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด ซึ่งก็คือไดคลอโรมีเทนสำหรับเมล็ดค้ำแสดและเอทานอลสำหรับยางมังคุด ส่วนเวลาในการแช่สีย้อมที่เหมาะสมพบว่าเป็น 48 ชั่วโมงสำหรับสีย้อมทั้งสองชนิด ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างพบว่าที่ค่า pH 8 เซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมเมล็ดค้ำแสดให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด 0.55% ($V_{oc} = 0.54$ V, $J_{sc} = 1.63$ mA/cm² และ FF = 0.63) ส่วนสีย้อมจากยางมังคุดที่ pH 1 มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด 1.15% ($V_{oc} = 0.62$ V, $J_{sc} = 2.80$ mA/cm² และ FF = 0.66) นอกจากนี้ได้ศึกษาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมธรรมชาติ โดยเลือกใช้สีย้อมจากยางมังคุดมาทดสอบที่เวลา 1000 ชั่วโมง พบว่าค่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นเล็กน้อยในช่วง 100 ชั่วโมงแรก จากนั้นมีค่าลดลงตามเวลาและคงเหลือ 63% ส่วนการศึกษาเพื่อเพิ่มความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ทำโดยการเพิ่มพอลิเมอร์นำไฟฟ้า PEO ที่มีความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กันเข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง, สีย้อมจากธรรมชาติ, นาโนไททาเนียมไดออกไซด์, การพิมพ์แบบสกรีน, พอลิเมอร์อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Fabrication of Dye Sensitized Solar Cells Using Achiote Seed and Mangosteen Latex Extracts as Sensitizer
Student	Miss. Nissorn Pavarinpong
Student ID	52670152
Degree	Master of Science
Program	Nanoscience and Nanotechnology
Year	2013
Thesis Advisor	Dr. Wirat Jarernboon
Thesis Co-advisor	Dr. Sirapat Pratontep Dr. Darinee Phromyothin

ABSTRACT

The aim of this research is to fabricate dye-sensitized solar cells (DSSCs) by using natural dye extracts as the sensitizer. The wide band gap nanocrystalline titanium dioxide film was used as the working electrode and the Pt film as a catalyst of the counter electrode. Both electrodes were prepared by the screen printing technique. The electrolyte of DSSC was the redox couple of iodide/triiodide (I^-/I_3^-) in organic solvent. DSSCs were measured under the AM 1.5 solar simulator at 25 °C. Several kinds of natural extract were investigated such as the fresh plants, dried plants, bark of woods and seed. The results show that achiote seed and mangosteen latex extract produce DSSCs with high efficiency. They were selected for further investigation. The effects of the type of extracting solvent, soaking duration and the pH of dye solution were examined. The DSSCs performances exhibit dependence on the polarity of the solvents. The most suitable extracting solvent is dichloromethane and ethanol for achiote seed and mangosteen latex, respectively. The optimal of soaking duration of 48 h is found in both cases. The conversion efficiency of the DSSCs using achiote seed extract of pH 8 is 0.55% ($V_{oc} = 0.54$ V, $J_{sc} = 1.63$ mA/cm² and FF = 0.63). The pH 1-mangosteen extract produces the maximum efficiency of DSSCs of 1.15% ($V_{oc} = 0.62$ V, $J_{sc} = 2.80$ mA/cm² and FF = 0.66). In addition, under the stability test, the efficiency of DSSCs from mangosteen latex extract increases slightly in the first 100 hours. Although the efficiency tends to decrease with the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operation time, the conversion efficiency of the dye sensitized solar cell remains over 63% of the initial value in 1000 hours testing. The stability improvement of DSSCs was also investigated by adding PEO in electrolyte with different molecular weights and concentrations.

Keywords : Dye sensitized solar cell, Natural dyes, Nano-Titanium dioxide, Screen-printing technique, Polymer electrolyte



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณา ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในทุกด้านเสมอมาจาก ดร.วิรัตน์ เจริญบุญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ใจดีและเข้าใจในลูกศิษย์ ดร.สิริพัฒน์ ประโทนเทพ และดร.ตารินี พรหมโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่คอยบอกกล่าว สั่งสอน และชี้แนะข้อผิดพลาดให้กับลูกศิษย์เสมอมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ดูแลและให้ความรู้กับลูกศิษย์ตลอดการศึกษานี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ให้โอกาสและสอนให้รู้จักคำว่านาโนเทคโนโลยี และกระบวนการวิจัยในการศึกษาระดับปริญญาโทนี้

ขอขอบคุณทุนการศึกษาจากศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านฟิสิกส์ ที่สนับสนุนการศึกษาสำหรับงานวิจัยในระดับปริญญาโทนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการที่ช่วยดูแล ชี้แนะ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ อาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาและการทำวิจัยตลอดมา

ขอบคุณสมาชิกในห้อง Lab ทุกคน (พี่หญิง พี่พีต น้องสอง น้องมี น้องโบว์ น้องเบงค์) รวมทั้งเพื่อน พี่ และน้องๆ ทุกคนในวิทยาลัยนาโนฯ ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ แบ่งปันความรู้สึกต่อกัน ทำให้ผู้เขียนได้พบประสบการณ์ที่เป็นช่วงเวลาสำคัญในชีวิต

ขอบคุณนายณัฐสิทธิ์ แซ่ลิ้ม คนสำคัญที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใย เข้าใจถึงหน้าที่ และสนับสนุนผู้เขียนในด้านต่างๆ ตลอดเวลาการศึกษานี้

และสุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญ คือ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ซึ่งได้ดูแลและช่วยเหลือผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นิสสรณ์ ปวรินทร์พงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	v
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 รายละเอียดของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	5
2.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนแบบรอยต่อพี-เอ็น.....	9
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC).....	11
2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	12
2.2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	17
2.2.3 คุณสมบัติของสีย้อมที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	18
2.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.3.1 ค่ามวลอากาศ (Air Mass, AM).....	18
2.3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	20
2.4 รงควัตถุ (Pigments).....	22

เอกสารนี้เป็น 2.4.1 สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง..... 22

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน.....	23
2.4.3 สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน.....	24
2.4.4 บีตาเลน (Betalains).....	27
2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer).....	28
2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	29
2.5.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ.....	31
2.6 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy).....	31
2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี.....	32
2.6.2 การวิเคราะห์และการแปลผลเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี.....	32
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจาก พืชธรรมชาติเป็นตัวดูดกลืนแสง.....	33
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้า สารละลายอิเล็กโทรไลต์และการประกอบ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	37
3.1.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง.....	37
3.1.2 การเตรียมขั้วแคโทด.....	40
3.1.3 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	42
3.1.4 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	42
3.2 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสง ที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ.....	43
3.2.1 การสกัดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	45
3.2.3 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	45
3.3 การทดสอบหาความหนาที่เหมาะสมของการเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้วิธีการพิมพ์แบบสกรีน.....	46
3.3.1 การเตรียมสีย้อมไวแสง.....	46
3.3.2 การเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการพิมพ์แบบสกรีนที่ความหนาต่างๆ.....	46
3.3.3 การประกอบและวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	47
3.3.4 การศึกษาลักษณะของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	47
3.3.5 การสร้างกราฟมาตรฐานและการหาปริมาณของสีย้อมมาตรฐาน ในฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	47
3.4 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด.....	48
3.4.1 การทดสอบชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสีจากเมล็ดคำแสด.....	48
3.4.2 การแยกสารประกอบหลักในเมล็ดคำแสดให้เป็นสารบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง.....	48
3.4.3 การทดสอบเวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อมที่เหมาะสม ของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดคำแสด.....	50
3.4.4 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด.....	50
3.5 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากมังคุด.....	51
3.5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุด.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5.2 การทดสอบเปรียบเทียบตัวทำละลายที่ใช้สกัดยางมังคุดและตัวทำละลาย ที่ใช้ละลายสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง.....	52
3.5.3 การทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง....	52
3.5.4 การทดสอบเวลาในการแช่ฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ในสีย้อม ที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุด.....	53
3.5.5 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุด.....	53
3.6 การทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุด.....	53
3.7 การสร้างและพัฒนาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	53
3.7.1 การเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	53
3.7.2 การทดสอบหาค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	54
3.7.3 การทดสอบหาความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	55
3.7.4 การวัดประสิทธิภาพและทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	56
3.7.5 การวัดประสิทธิภาพและทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้สีย้อมไวแสงจากสารสกัดธรรมชาติและพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์.....	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	57
4.1 การวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ.....	57
4.2 การทดสอบหาความหนาที่เหมาะสมของการเตรียมชั้นฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ โดยใช้วิธีการพิมพ์แบบสกรีน.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.1 ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่างๆ.....	60
4.2.2 กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนฟิล์มTiO ₂	63
4.2.3 การศึกษาลักษณะของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM).....	67
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด.....	68
4.3.1 การทดสอบชนิดของสารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมจากเมล็ดคำแสด.....	70
4.3.2 การแยกสารประกอบหลักในเมล็ดคำแสดให้เป็นสารบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง.....	74
4.3.3 การทดสอบเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีสกัดจากเมล็ดคำแสดของฟิล์มTiO ₂	77
4.3.4 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด.....	81
4.4 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากมังคุด.....	84
4.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุด.....	84
4.4.2 การทดสอบเปรียบเทียบสารละลายที่ใช้สกัดจากมังคุดและตัวทำละลาย ที่ใช้ละลายสารสกัดจากมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง.....	87
4.4.3 การทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากมังคุด เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง.....	91
4.4.4 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีจากมังคุดลงบนฟิล์มTiO ₂	94
4.4.5 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากมังคุด.....	97
4.5 การทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมที่สกัดจากมังคุด.....	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.6 การสร้างและพัฒนาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	
โดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์.....	103
4.6.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PEO ต่อประสิทธิภาพของ	
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	103
4.6.2 ผลการศึกษาน้ำหนักของโมเลกุลของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า PEO ต่อประสิทธิภาพของ	
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากยางมังคุด.....	109
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	114
เอกสารอ้างอิง.....	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมของรังสีจากดวงอาทิตย์.....	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบต่างๆ.....	7
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์.....	7
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์.....	8
2.5 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิคอน.....	9
2.6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็น.....	10
2.7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็น.....	11
2.8 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์.....	14
2.9 โครงสร้างของสีย้อมไวแสงชนิด N3 Black dye และ N719.....	15
2.10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	17
2.11 ค่ามวลอากาศที่ชื้นและที่มวลอากาศรวมต่างๆ.....	19
2.12 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	20
2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (JV-Curve).....	21
2.14 โครงสร้างพื้นฐานของเม็ดสีที่มีลักษณะเป็นวงพอร์ไพรีน.....	22
2.15 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์.....	23
2.16 ตัวอย่างโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ.....	24
2.17 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์.....	25
2.18 โครงสร้างของฟลาโวลีเทียมแคโทไอออน.....	26
2.19 โครงสร้างโมเลกุลของควิโนโนนบางชนิด.....	27
2.20 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจีเฟอร์ริน.....	27
2.21 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของปีตาเลน.....	28
2.22 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 องค์ประกอบของเครื่องยิวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	30
2.24 องค์ประกอบหลักของเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี.....	33
3.1 ไททาเนียมไดออกไซด์เพสต์ชนิด PST-18NR (TiO ₂ แบบโปร่งแสง)	38
3.2 บล็อกสกรีนสำหรับเทคนิคการพิมพ์แบบสกรีน.....	38
3.3 โครงสร้างชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	39
3.4 อุณหภูมิการเผาแบบชั้นบันไดของการเผาฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	39
3.5 ชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	39
3.6 ชั้นของสีย้อมบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	40
3.7 แพททินัมเพสต์และชั้นฟิล์มแพททินัมบนกระจกนำไฟฟ้า FTO.....	41
3.8 สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นระบบไอโอดี-ไตรไอโอดี (I ⁻ / I ₃).....	42
3.9 โครงสร้างการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	42
3.10 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบแล้ว.....	43
3.11 กลุ่มของพืชสดสำหรับนำมาสกัดสีย้อม.....	44
3.12 กลุ่มของพืชแห้งและเมล็ดสำหรับนำมาสกัดสีย้อม.....	44
3.13 กลุ่มของเปลือกไม้สำหรับนำมาสกัดสีย้อม.....	45
3.14 เครื่องโซลาร์ซิมูเลเตอร์พร้อมระบบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	46
3.15 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	47
3.16 โครงสร้างของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินในเมล็ดคำแสด.....	49
3.17 การแยกสารประกอบไบซิน.....	49
3.18 การแยกสารประกอบนอร์ไบซิน.....	50
3.19 ส่วนต่างๆของมังกุดที่นำมาสกัดสีย้อมไวแสง.....	51
3.20 สารสกัดจากยางมังกุด.....	52
3.21 การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารตัวอย่างขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารนำไฟฟ้าจากค่าความชันของกราฟของกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ลักษณะสีย้อมที่ดูดซับลงบนฟิล์ม TiO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	57
4.2 ช่วงการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชชนิดต่างๆ.....	59
4.3 ลักษณะสีย้อมที่ดูดซับลงบนฟิล์ม TiO_2 ที่มีความหนาต่างกัน.....	60
4.4 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 หนาต่างกัน.....	61
4.5 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีความหนาของฟิล์ม TiO_2 ต่างกัน.....	63
4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมมาตรฐาน N719.....	64
4.7 การหาค่า extinction coefficient (ϵ) ของสีย้อม N719 ที่ตำแหน่ง ความยาวคลื่น 309.5 nm.....	64
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมมาตรฐาน N719 และค่าการดูดกลืนแสง.....	65
4.9 ปริมาณของโมเลกุลสีย้อมมาตรฐาน N719 กับความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์.....	66
4.10 ลักษณะของฟิล์ม TiO_2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	67
4.11 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวของฟิล์ม TiO_2 ที่ความหนาต่างๆกัน (กำลังขยาย 500 เท่า).....	68
4.12 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบ Bixin และ Norbixin.....	69
4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสด.....	69
4.14 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จากสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดซึ่งละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	70
4.15 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	72
4.16 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	73
4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมจากเมล็ดค้ำแสดที่เกาะอยู่ในฟิล์ม TiO_2 โดยสีย้อมนี้ใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน.....	74

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมของสารละลายไบซิน นอร์ไบซิน สารผสมของไบซินและนอร์ไบซิน และสารสกัดของเมล็ดกาแฟด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านการแยกสาร.....	75
4.19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไบซิน นอร์ไบซิน สารผสมของไบซินและนอร์ไบซิน และสารสกัดของเมล็ดกาแฟด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านการแยกสาร.....	76
4.20 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็นเอ็มอาร์ของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินที่ได้จากการสกัดเมล็ดกาแฟ.....	77
4.21 ลักษณะการติดสีของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟซึ่งใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์ม TiO_2 ต่างกัน.....	78
4.22 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่เวลาในการแช่ฟิล์ม TiO_2 ในสีย้อมต่างๆกัน.....	78
4.23 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่ใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่างกัน.....	80
4.24 แบบจำลองของการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของสีย้อมที่เคลือบเพียงชั้นเดียวและหลายชั้นไปยังอนุภาค TiO_2	80
4.25 ลักษณะสีย้อมจากเมล็ดกาแฟที่ค่า pH ต่างกันบนฟิล์ม TiO_2	81
4.26 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่ค่า pH ต่างๆ.....	81
4.27 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่ค่า pH ต่างๆ.....	83
4.28 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่ค่า pH ต่างๆ.....	84

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 สารละลายสีย้อมไวแสงที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุด.....	84
4.30 ลักษณะสีย้อมจากส่วนต่างๆของมังคุดที่เกาะอยู่บนฟิล์ม TiO_2	85
4.31 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุดเป็นตัวดูดกลืนแสง.....	85
4.32 ค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมจากเปลือกมังคุด (exocarp) ขั้วและหมวกของมังคุด (pedicle) และยางมังคุด (latex).....	87
4.33 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงที่ใช้สีย้อมสกัดจากยางมังคุด โดยมีเอทานอลและเมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ในการสกัดและใช้ในการละลายสีย้อมในขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง.....	88
4.34 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดโดยใช้สารละลาย ในการสกัดและละลายสีย้อมต่างๆกัน.....	90
4.35 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบแซนโทน.....	91
4.36 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากสารสกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	92
4.37 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	93
4.38 การตกตะกอนของสารละลายสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดเมื่อ ความเข้มข้นของผงสีย้อมมากกว่า 20 g/L.....	94
4.39 ลักษณะสีย้อมจากยางมังคุดที่เกาะติดอยู่บนฟิล์ม TiO_2 ซึ่งใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน.....	94
4.40 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่เวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อมต่างๆกัน.....	95
4.41 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม ไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์ม TiO_2 ต่างกัน.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 ลักษณะสีย้อมของยางมังกุดที่เกาะติดบนฟิล์ม TiO_2 ที่ผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆ.....	97
4.43 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมจากยางมังกุดที่ค่า pH ต่างๆกัน.....	97
4.44 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากยางมังกุดที่ค่า pH ต่างๆกัน.....	99
4.45 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังกุด ซึ่งผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆกัน.....	100
4.46 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังกุดที่วัดค่าตามเวลา.....	101
4.47 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังกุดที่เวลา 1000 ชั่วโมง.....	102
4.48 กราฟค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับปริมาณของ PEO ที่เติมในสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	104
4.49 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม N719 และพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ.....	105
4.50 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม N719 และใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO ปริมาณต่างๆ โดยทดสอบความเสถียรของเซลล์เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง.....	107
4.51 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (PEO 1 wt%) โดยทำการวัดตามเวลา.....	108
4.52 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ PEO.....	109
4.53 กราฟแสดงค่าความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ PEO.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.54 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุดโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลของ PEO ต่างกัน.....	111
4.55 กราฟค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ขึ้นกับเวลา.....	112



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติ.....	35
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ.....	58
4.2 สรุปค่าตัวแปรต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ฟิล์ม TiO_2 หนาต่างกัน.....	61
4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม ที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดซึ่งละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	71
4.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม จากสารสกัดของเมล็ดค้ำแสด.....	75
4.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม ที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดที่ใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน.....	79
4.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม ที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดที่ค่า pH ต่างๆ.....	82
4.7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อม ที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุดเป็นตัวดูดกลืนแสง.....	86
4.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อม ที่สกัดจากยางมังคุด โดยมีเอทานอลและเมทานอลเป็นตัวทำละลาย ในการสกัดและใช้ในการละลายสีย้อมในขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง.....	89
4.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม ที่สกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	92
4.10 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งได้จากกราฟ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน.....	95
4.11 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม ที่สกัดจากยางมังคุด ที่ผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆ.....	98

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม ที่สกัดจากยางมังคุด.....	101
4.13 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมื่อเติม พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ปริมาณต่างๆ.....	104
4.14 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์.....	106
4.15 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย ของพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ต่างๆ.....	109
4.16 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อม ที่สกัดจากยางมังคุดโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์.....	111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

แนวโน้มของความต้องการใช้พลังงานตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แหล่งพลังงานสำคัญมาจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันซึ่งจะหมดไปในอนาคต ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน ตัวอย่างเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม และน้ำ เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากแหล่งพลังงานทางเลือกต่างๆ จะเห็นได้ว่าพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจและมีอยู่อย่างมากมาย เป็นแหล่งพลังงานสำคัญของระบบสุริยะและเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบความร้อนหรือในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อเบคเคอเรล ในปี ค.ศ. 1839 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแรก ๆ ที่ถูกคิดค้นขึ้นเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1954 และมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการใช้งานเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจนถึงปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตมาจากซิลิกอนมีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่า 20 ปี แต่มีข้อเสียที่ราคาแพง และมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน จึงมีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ที่มีการนำวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นสารอินทรีย์มาใช้คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitized solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุราคาไม่แพงและสามารถผลิตในปริมาณมากได้

เมื่อ 3 พันล้านปีมาแล้วสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ยุคแรกจะมีเม็ดสีรงควัตถุ (pigment หรือ dye) เป็นส่วนประกอบหลักเรียกว่า กลุ่มสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว คือ สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารประกอบอินทรีย์โดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวกระตุ้น เพื่อผลิตวัตถุดิบให้พลังงาน น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต และสร้างส่วนประกอบเพื่อเจริญเติบโต เม็ดสีที่เป็นส่วนสำคัญในการดูดแสงอาทิตย์นี้เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) มีขนาด 10-50 นาโนเมตร ในปี ค.ศ.1991 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ M. Grätzel และคณะวิจัย ได้อาศัยหลักการสังเคราะห์แสงของพืชสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 7% ซึ่งใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si แบบฟิล์มบาง โดยใช้ฟิล์มนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุนเป็นองค์ประกอบ [1] ต่อมาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีประสิทธิภาพสูงถึง 11% [2] เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีหลักการทำงานโดยอาศัยกลไกทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ถูกกระตุ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง องค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ประกอบด้วยหลายส่วน เช่น ชั้นของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ สีย้อมสำหรับดูดกลืนแสง ขั้วแคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่ส่วนที่มีความสำคัญมากคือสีย้อมซึ่งทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยเฉพาะแสงในย่านที่ตาเรามองเห็น สีย้อมไวแสงที่ใช้ในปัจจุบันนิยมใช้สารประกอบของรูทีเนียม (ruthenium (II) polypyridyl complex) เป็นตัวดูดกลืนแสง มีส่วนประกอบของโลหะ Ru ซึ่งเป็นโลหะหนัก (Heavy metal) และมีราคาแพงพร้อมทั้งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม การมุ่งค้นคว้าวิจัยเพื่อหาสีย้อมชนิดใหม่มาทดแทนให้มีราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงที่ได้จากพืชธรรมชาติที่พบได้ในประเทศไทยซึ่งมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงและมีราคาถูก อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนในการผลิตและลดการใช้สารประกอบจากโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้นที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ มีพืชหลากหลายชนิดที่มีรงควัตถุหลากหลายสีแตกต่างกันไป จากเหตุผลนี้จึงเป็นจุดที่น่าสนใจในการนำพืชที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ประโยชน์ในด้านการวิจัยพลังงาน ซึ่งในต่างประเทศได้มีงานวิจัยที่นำส่วนของพืชธรรมชาติหลายชนิดมาสกัดเป็นสีย้อมไวแสง อย่างเช่น ข้าวเหนียวดำ, ดอกปาริฉัตร, ดอกโรซ่า, พริกและสาหร่ายทะเล นำมาสกัดเพื่อทำสีย้อม [3] โดยข้าวเหนียวดำจะให้ค่ากระแสลัดวงจรดีที่สุด อันเนื่องมาจากในข้าวเหนียวดำมีสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งจะยึดเกาะได้ดีกับฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ สารกลุ่มแอนโทไซยานินพบได้ง่ายในดอกไม้และผลไม้ที่มีสีเข้ม และคงทนในสภาพกรด จึงได้รับความสนใจมากกว่าสารกลุ่มอื่น ซึ่งเมื่อสกัดจากพืชต่างชนิดกันจะให้ค่าประสิทธิภาพในการเป็นสีย้อมดูดกลืนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างกันด้วย [4-8] นอกจากสารกลุ่มแอนโทไซยานินแล้วยังมีงานวิจัยอื่นที่ศึกษาสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และครอโรฟิลล์อีกด้วย [9, 10] ในสมัยก่อนคนไทยได้มีการนำสีจากพืชธรรมชาติมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นสีประกอบอาหาร ใช้ย้อมเครื่องนุ่งห่ม เป็นเครื่องสำอาง เป็นต้น โดยสีจากธรรมชาติได้มาจากพืชต่างๆ อาทิ สีแดงจากรากยอและครั่ง, สีส้มจากเมล็ดคำแสดและลูกตะตี่, สีน้ำเงินจากต้นคราม, สีเหลืองจากแก่นขนุน ขมิ้นชัน แก่นเขและรากสะกือ เป็นต้น จากความหลากหลายของสีที่สามารถสกัดได้จากพืชนี้ เป็นสิ่งที่น่าสนใจของการศึกษาการสกัดสีจากพืชธรรมชาติเพื่อทดลองใช้เป็นสีย้อมสำหรับดูดกลืนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการสกัดสีย้อมจากพืชธรรมชาติด้วยเทคนิคการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการพัฒนาประสิทธิภาพของสีย้อมเพื่อนำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.2.2 ออกแบบและทดลองสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชชนิดต่างๆในประเทศไทย

1.2.3 ปรับปรุงโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมมาตรฐาน (N719) และศึกษาความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากธรรมชาติเป็นตัวดูดกลืนแสงจะให้ค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมเพื่อเป็นแหล่งพลังงานได้ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาและใช้สารสกัดจากเมล็ดคำแสดและยางมังคุดเป็นสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติสามารถใช้เป็นสีย้อมไวแสงได้ อีกทั้งเมื่อพัฒนาคุณสมบัติของสีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติ โดยการศึกษา ตัวทำละลายที่เหมาะสม สภาวะ pH ของสีย้อม ซึ่งน่าจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้ การใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทดแทนสีย้อมที่มาจากโลหะหนัก

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเริ่มศึกษาจากการเตรียมขั้วไฟฟ้าเวกคิงด้วยฟิล์มนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และเตรียมขั้วแคโทดซึ่งมีฟิล์มโลหะแพลตินัม (Pt) เป็นองค์ประกอบ ทั้งฟิล์ม TiO_2 และ Pt จะถูกเคลือบลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง โดยใช้เทคนิคการพิมพ์แบบสกรีน (Screen Printing) ศึกษาความหนาของ TiO_2 ที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ระบบสารละลายคูรีดอกซ์ของไอโอดีน-ไตรไอโอดีน (I^-/I_3^-) ทั้งแบบของเหลวธรรมดา (Liquid electrolyte) และแบบพอลิเมอร์ (Polymer electrolyte) จากนั้นทำการศึกษานำพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ มาสกัดสีย้อมเพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมุ่งเน้นสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสดและยางมังคุด อีกทั้งทำการพัฒนาคุณสมบัติของสีย้อมสองชนิดนี้ โดยศึกษาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อม เวลาในการแช่สีย้อม ค่าความเป็นกรด-ด่างของสีย้อมที่เหมาะสม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นทำการศึกษาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ โดยวัดนาน 1000 ชั่วโมง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เข้าใจถึงหลักการทำงาน การออกแบบและสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้
- 1.5.2 สามารถสกัดสีย้อมจากพืชธรรมชาติด้วยเทคนิคการใช้ตัวทำละลายได้
- 1.5.3 สามารถใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้
- 1.5.4 สามารถวิเคราะห์ถึงปัญหา ข้อบกพร่องในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้
- 1.5.5 สามารถนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติไปพัฒนาต่อเพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต

1.6 รายละเอียดของงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการวิจัย และรายละเอียดของการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้

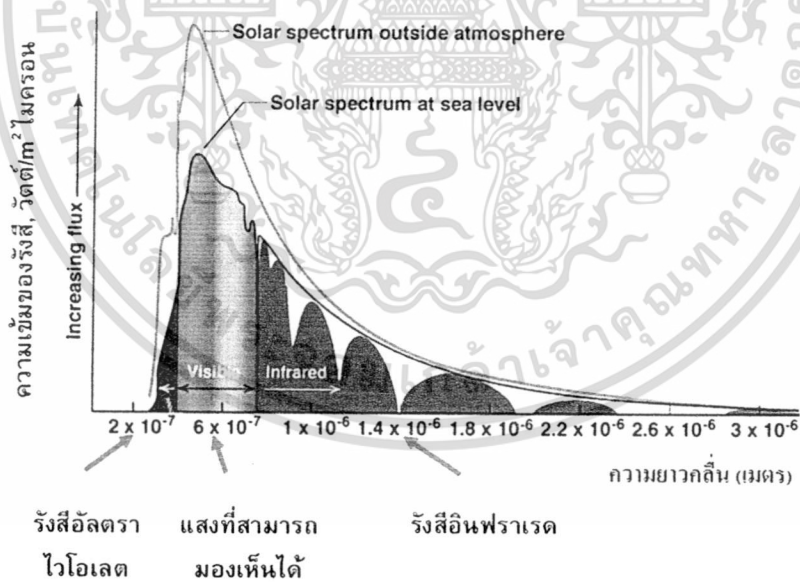
บทที่ 2 เป็นส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะเป็นหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไปและเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง วัสดุที่มีในสารธรรมชาติ รวมถึงทฤษฎีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยเทคนิคและเครื่องมือทางเคมีทั่วไป รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติบทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย จะประกอบด้วยการศึกษา ออกแบบ และสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง การเลือกชนิดและวิธีการสกัดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติ การวัดประสิทธิภาพ การทดสอบและพัฒนาส่วนประกอบและสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพ รวมถึงศึกษาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล แสดงส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ เป็นตัวดูดกลืนแสง และเลือกชนิดที่น่าสนใจมาศึกษาและพัฒนาเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแสดงผลของการทดสอบต่างๆ ทั้งการทดสอบหาความหนาของฟิล์มไททานเนียม ไดออกไซด์ที่เหมาะสม การเลือกตัวทำละลายในการสกัดสีย้อม การทดสอบหาเวลาในการแช่สีย้อม และการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อม ทั้งนี้ยังแสดงผลของการทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย ส่วนบทสรุปของการทดลองและข้อเสนอแนะได้เขียนไว้ในบทที่ 5

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทั้งทางตรงและทางอ้อมให้แก่โลก โดยแสงสว่างจากดวงอาทิตย์จะให้พลังงานและความร้อนเพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.39 ล้านกิโลเมตร มีมวลเท่ากับ 1.99×10^{30} กิโลกรัม และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1,410 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยธาตุหลักคือไฮโดรเจน ที่เหลือเป็นฮีเลียมและธาตุหนักอื่นๆ ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาหนึ่งที่สำคัญ คือ การรวมตัวของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม โดยมวลส่วนที่หายไปของการรวมตัวจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานที่เกิดภายในดวงอาทิตย์ และถ่ายเทออกมาที่ผิวและแผ่ออกสู่อวกาศ พลังงานของแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีในทุกย่าน เช่น คลื่นวิทยุ ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยพื้นที่ใต้เส้นโค้งแทนกำลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้ มีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร [11]



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของรังสีจากดวงอาทิตย์^[11]

พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกบนพื้นที่ 0.836 ตารางเมตร มีค่าพลังงานประมาณ 1.33 แรงแมหรือ 1 กิโลวัตต์เท่านั้น ในส่วนของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร จะได้รับค่าพลังงานในปริมาณมาก ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเป็นค่าพลังงานที่ดูไม่มากนักแต่เมื่อคิดเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแล้ว ค่าพลังงานค่านี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์ที่มาถึงโลกใน 1 เดือนนั้นจะเทียบได้กับถ่านหินถึงแปดล้านล้านตันเลยทีเดียว ตั้งแต่ในสมัยโบราณมนุษย์ได้มีการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เริ่มตั้งแต่การนำความร้อนมาทำให้ของแห้งและถนอมอาหาร จนกระทั่งในปัจจุบันได้มีการคิดค้นอุปกรณ์สำหรับผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมา เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับร้อยละ 15 ซึ่งหมายความว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร ซึ่งรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์ จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 150 วัตต์ หรือเฉลี่ย 600-750 วัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ในวันหนึ่งๆ ประเทศไทยเรามีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้น ถ้าเรามีพื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร (คิดเป็นร้อยละ 0.3 ของประเทศไทย) [11] เราก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ

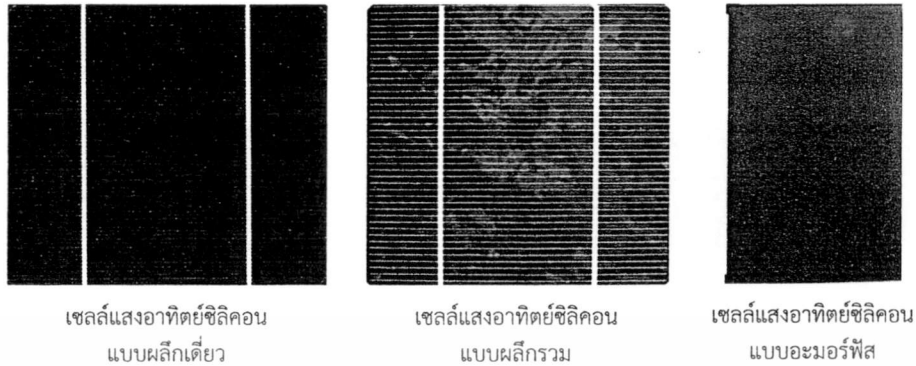
2.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า จัดเป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์ตามสารประกอบหลักที่ใช้ประดิษฐ์ได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารอนินทรีย์

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้จะใช้วัสดุสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารอนินทรีย์ในการประดิษฐ์ เช่น GaAs, GaP, InTe, InP, CdS, CdTe, CuInSe₂, Si เป็นต้น ซึ่งในสารกึ่งตัวนำข้างต้นที่กล่าวมานี้ Si จะได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการใช้งานบนพื้นโลก อันเนื่องมาจากเป็นธาตุที่มีอยู่มากในโลกทำให้มีราคาถูกกว่าสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า(เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก GaAs จะให้ประสิทธิภาพสูงมากกว่า25% ขึ้นไป) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน สามารถแบ่งตามลักษณะผลึกที่เกิดขึ้นได้เป็นหลายแบบ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และแบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ทั้งสองแบบจะมีลักษณะเป็นผลึก สีน้ำเงินเข้ม ค่อนข้างแข็งและบางมาก ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากแบบผลึกรวมจะเห็นหน้าผลึกหลาย ๆ หน้าในแผ่นเซลล์ ในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นสีเดียว คือสีน้ำเงินเข้ม เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกรวมนี้จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว อย่างไรก็ตาม เซลล์ทั้ง 2 ชนิดมีข้อเสีย คือแตกหักง่าย นอกจากนี้ยังมีเซลล์แสงอาทิตย์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ การเคลือบสารซิลิคอนที่เป็นฟิล์มบาง (Thin film) เพียง 0.5 ไมครอนบนแผ่นแก้วหรือแผ่นโลหะสารซิลิคอนที่ใช้เป็นแบบไม่มีรูปผลึกหรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำกว่า 2 แบบแรก ลักษณะสีม่วงน้ำตาล มีข้อดีที่น้ำหนักเบา สามารถบิดงอได้โดยไม่แตกหัก ราคาถูกกว่า นิยมใช้ในเครื่องคิดเลข อุปกรณ์ขนาดเล็กต่างๆ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบต่างๆ

2.1.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารอินทรีย์

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้จะใช้วัสดุสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น phthalocyanine, pentacene, poly(phenylene vinylene)(PPV) และ poly(3-hexylthiophene) (P3HT) เป็นต้น มีข้อดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารอนินทรีย์ คือ สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีแสงน้อย มีความยืดหยุ่นสูงสามารถโค้งงอได้ ทนต่อการแตกหัก สามารถใช้เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ Inkjet ซึ่งทำให้ประดิษฐ์ได้ที่ละมากๆ และที่สำคัญสามารถนำไปรีไซเคิลได้ง่ายกว่า แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ยังมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก ประมาณ 3-7% [12-15] และไม่เสถียรเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมที่สุดโต้ง เช่น สภาพแสงความเข้มสูงและความชื้นสูง เป็นต้น โครงสร้างเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์มีชั้นสารอินทรีย์แบบชั้นเดียว สองชั้น และบัลค์เฮเทอโรจังก์ชัน (Bulk heterojunctions) ที่เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด ทำหน้าที่เป็นชั้นของตัวให้และรับอิเล็กตรอน (donor-acceptor bilayer) จากนั้นประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองด้าน โดยด้านหนึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง เช่น ITO และอีกด้านเป็นโลหะเช่น Al, Ca และ Mg เป็นต้น ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารอินทรีย์แสดงดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น [16] ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ประดิษฐ์จากวัสดุผสมระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ใช้วัสดุประเภทพอลิเมอร์นำไฟฟ้า เช่น poly(3-hexylthiophene) (P3HT), phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) และ poly(3,4-ethylenedioxythiophene) :poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) เป็นต้น มาผสมกับวัสดุนาโนของสารอนินทรีย์ พวก CdSe [17], GaAs [18], TiO₂ [19] และ ZnO [20] อีกพวกคือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าที่ดีนำมาผสมกับ P3HT:PCBM ซึ่งเป็นสารอินทรีย์และมีประสิทธิภาพประมาณ 2.2 % [21] และอีกแบบหนึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ที่มีข้อดีทางด้านต้นทุนการผลิตต่ำ มีขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากมากนัก เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งใช้สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์ อย่างเช่น phenothiazine [22], triarylamine [23] หรือสารผสมของสารอนินทรีย์กับอินทรีย์ เช่น *cis*-di(thiocyanato) bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) ruthenium (II) (N719) [2, 24, 25] ถูกย้อมอยู่บนชั้นของวัสดุนาโนของสารอนินทรีย์ อย่างเช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์^[26]

2.1.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติและปัจจัยบางประการจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อนำไปใช้งานในพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งมีดังนี้

2.1.2.1 ความเข้มของแสง

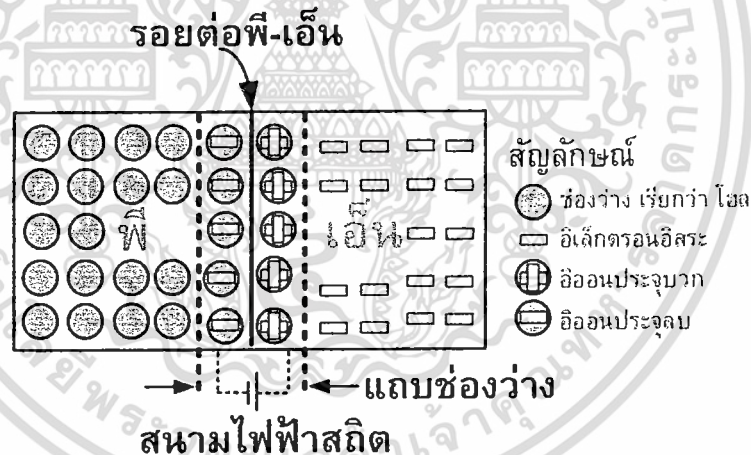
ความเข้มของแสงจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ได้ เมื่อความเข้มของแสงสูงจะให้ค่ากระแสไฟฟ้ามากขึ้น แต่จะไม่มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้ามากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นโลกในสภาวะอากาศปกติ ที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่า 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความเข้มแสงที่ระดับสเปกตรัมมาตรฐาน แอร์แมส 1.5 (Air Mass 1.5, A.M. 1.5)

2.1.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si แต่ไม่มีผลกับกระแสไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเป็นจุดได้เปรียบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ [27] สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงร้อยละ 0.5 ต่อทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จึงกำหนดให้ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

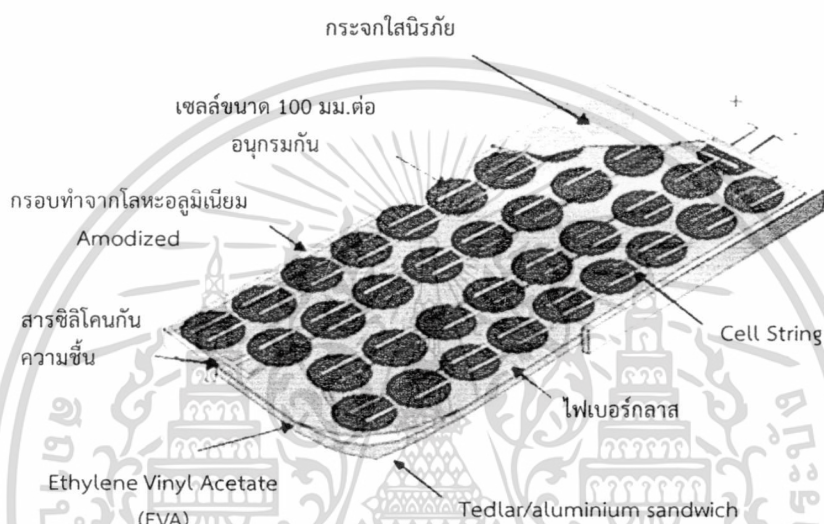
2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนแบบรอยต่อพี-เอ็น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิคอน^[28]

โดยทั่วไปโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดพี-และรอยต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นดังรูปที่ 2.5 ส่วนมากสารกึ่งตัวนำที่นำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์มักทำจากซิลิคอนด้วยเหตุผลที่ธาตุ Si เป็นธาตุที่มีมากในโลก ซึ่ง Si จะถูกนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ 99.99999% [29] จากนั้นจะมีกระบวนการทำให้เป็นแท่งผลึก (Ingot) แล้วตัดออกเป็นแผ่นบางๆ หนาหลายร้อยไมโครเมตร จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพี-เอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือปนฟอสฟอรัส (P) จะเกิดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเนื่องจากฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเมื่อเติมสารเจือปนโบรอน (B) จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะขาดอิเล็กตรอนไป ซึ่งอิเล็กตรอนที่ขาดไปนี้จะถูกเรียกว่า โฮล (Hole) ดังนั้นเมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองมาประกบต่อกัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันจะเกิดรอยต่อพี-เอ็นขึ้น ซึ่งรอยต่อนี้มีความสำคัญมากต่อการเกิดของพาหะที่รอยต่อ ที่ใกล้บริเวณรอยต่อจะมีค่าสนามไฟฟ้าสูงมากทำให้พาหะที่เกิดขึ้นไม่สามารถอยู่ได้ในบริเวณรอยต่อพาหะที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปยังฝั่งใดฝั่งหนึ่งซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปในด้านชนิดพี ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อมายังฝั่งชนิดเอ็น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกส่วนมากจะมีความหนาประมาณ 200-400 ไมครอน ด้านบนของแผ่นจะเป็นขั้วนำไฟฟ้าซึ่งทำมาจากโลหะเงิน มีลักษณะเป็นซี่คล้ายก้างปลา มีหน้าที่นำกระแสออกจากเซลล์ไปสู่วงจรภายนอก ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะ



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็น [28]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายในท้องตลาดจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ดังรูปที่ 2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current, I_{sc}) ประมาณหลายแอมแปร์ (A) และให้แรงดันไฟฟ้าวงจเปิด (Open Circuit Voltage, V_{oc}) ประมาณ 0.5 V ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ก็สามารถทำได้โดยนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน ในส่วนด้านหน้าสุดของแผงเซลล์จะเป็นวัสดุใสที่ยอมให้แสงผ่านได้ดีและทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกวัสดุนี้มักเป็นพวกกระจกใส นิรภัยและถัดจากกระจกนิรภัยจะเป็นชั้นป้องกันความชื้นของเซลล์ ซึ่งมีความใสและคงทนพร้อมทั้งกันความชื้นได้ดี วัสดุชั้นนี้มักเป็นพวก ซิลิโคนหรืออีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นต้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ เหตุผลเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการติดตั้ง

หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็น มีดังนี้ เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์หรือที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) ตกกระทบลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ ในบริเวณรอยต่อพี-เอ็น เอกสารนี้เป็นโฮลซึ่งเป็นพาหะส่วนน้อยในข้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อมายังสารกึ่งตัวนำค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดพี ทำให้ด้านชนิดพีมีประจุเป็นบวก ในทำนองคล้ายกันอิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนน้อยในข้างสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อมายังฝั่งชนิดเอ็น ดังนั้นฝั่งชนิดเอ็นจึงมีประจุลบมากขึ้น ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนและโฮลถูกต่อออกมาสู่โหลดภายนอกให้ครบวงจรจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแผ่นซิลิคอนเกือบทั้งหมดในเซลล์แสงอาทิตย์มักจะถูกทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ในขณะที่ผิวส่วนหน้าของเซลล์ด้านที่แสงตกกระทบจะเป็นเพียงชั้นบางเป็นแบบชนิดเอ็น รอยต่อพี-เอ็นเป็นส่วนสำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์เพราะเป็นบริเวณที่มีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านและทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นระหว่างรอยต่อ ในส่วนของซิลิคอนที่เป็นชนิดเอ็นนั้นอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ซิลิคอนส่วนที่เป็นชนิดพีมีส่วนที่เรียกว่าโฮล คือส่วนที่อิเล็กตรอนขาดหายไปสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องเช่นกัน



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็น

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อพี-เอ็นที่ทำมาจากสารอนินทรีย์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si ได้พัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงมากกว่า 15% แต่มีข้อเสียอยู่ที่ราคาแพง มีต้นทุนการผลิตสูง อันเนื่องมาจากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของ Si ซึ่งต้องมีความบริสุทธิ์สูงมากถึง 99.99999% อีกทั้งต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการหลอม Si เพื่อทำให้เป็นแท่งผลึก นอกจากนี้สารตั้งต้นบางตัวที่ใช้ในกระบวนการแพรร่ซึมเพื่อทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีหรือชนิดเอ็นเป็นก๊าซพิษซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการวิจัยหาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ๆ มาแทนชนิดเดิม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาพลังงานทดแทนในอนาคต เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างโดยอาศัยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำกับของเหลว เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำแคดเมียมเซลไนด์กับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ของ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเผยแพร่ในวงจำกัด เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดในการใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนแสงทำให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ถูกกระตุ้นขึ้นไปแถบการนำ ทำให้เกิดโฮลในแถบวาเลนซ์ อิเล็กตรอนในแถบการนำจะเคลื่อนที่ออกสู่วงจรภายนอก ซึ่งโฮลของแถบวาเลนซ์ได้รับอิเล็กตรอนชดเชยจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรไลต์จะรับอิเล็กตรอนคืนจากขั้วแคโทด เกร็ดกรวนการนี้จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าครบวงจร ในการเลือกใช้สารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อแบบนี้จะต้องมีช่องว่างแถบพลังงาน (E_g) ในช่วง 1-2 eV และมีความคงตัวต่อแสง อุณหภูมิ ความชื้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลาย โดยส่วนมากมักจะใช้สารกึ่งตัวนำในกลุ่ม CdSe หรือ InP เป็นขั้วไฟฟ้าและทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ แต่สารในกลุ่มนี้เกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือออกซิเจนได้ง่าย เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและมีโฮลที่ไม่เสถียร ทำให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็วไม่มีความคงทนต่อการใช้งาน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาไปเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรอยต่อสารกึ่งตัวนำและของเหลว ที่ใช้สารกึ่งตัวนำเป็นโลหะออกไซด์ที่มีแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 eV แทนสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานแคบ โดยที่ผิวของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์จะถูกเคลือบด้วยโมเลกุลสีย้อมไวแสง (dye Sensitizer) ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วให้อิเล็กตรอนส่งผ่านไปยังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ซึ่งจะเรียกเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะนี้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขั้วไฟฟ้าเวคคิง ขั้วแคโทด สีย้อมไวแสง และอิเล็กโทรไลต์โดยในแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ ดังนี้

2.2.1.1 ขั้วไฟฟ้าเวคคิง (Working Electrode)

ประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ เช่น TiO_2 , SnO_2 , ZnO เป็นต้น แก้วเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting Oxide glass, TCO glass) เช่น สารกลุ่ม ITO (Indium doped Tin Oxide) หรือ FTO (Fluorine doped Tin Oxide) และโมเลกุลของสีไวแสง

1. สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มักเป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (wide band gap semiconductor) และมักถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง (high porous) และเมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของเม็ดสีย้อมทำให้สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตาเรามองเห็นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้องการให้โมเลกุลของสีย้อมมีการดูดกลืนแสงให้ได้มากที่สุด สารกึ่งตัวนำที่ใช้ควรจะไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น ทำให้ต้องเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 eV และระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับพลังงานที่ถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อม เพื่อทำให้เกิดการส่งผ่าน

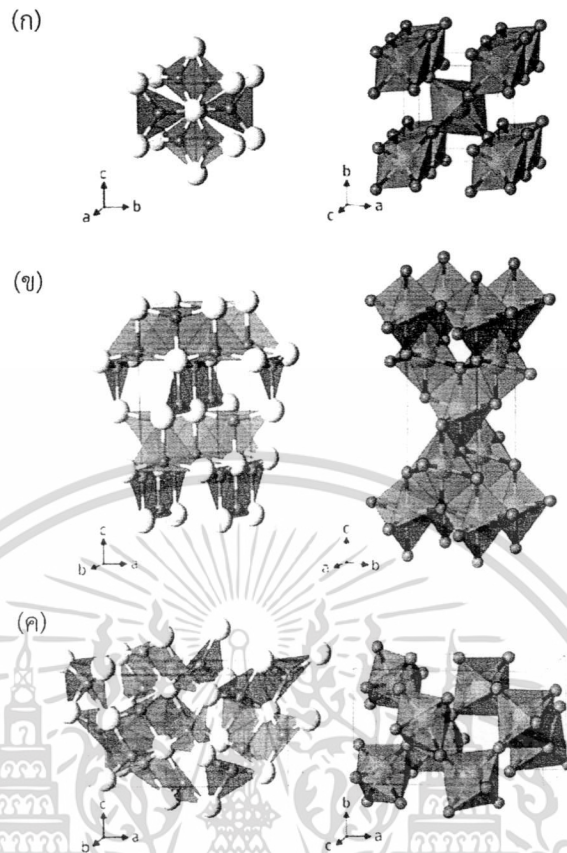
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้เอาผิดเห็นเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์จากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้ นอกจากนั้นสารกึ่งตัวนำยังต้องมีค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (dielectric constant, ϵ) ที่สูง มีความเสถียร ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สารกึ่งตัวนำในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในรูปของโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส (Anatase) (ค่า $E_g = 3.2 \text{ eV}$) ซึ่งผลึกแบบ อนาเทสมีค่าคงที่การนำไฟฟ้าสูง ($\epsilon \sim 80$) และมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูง ($n = 2.5$) ทำให้มีการ สะท้อนของแสงกลับไปกลับมาได้ดี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงของโมเลกุลของเม็ดสีย้อม[31]

1.1. ไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่ากับโลกของเรา และเป็น 1 ใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดทั่วโลก มีสีขาว ทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 3 รูปแบบ ใหญ่ๆ คือ รูไทล์ (Rutile) อานาเทส (Anatase) และบรูคไคท์ (Brookite) ดังรูปที่ 2.8 ทั้ง 3 รูปแบบมีไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ปนอยู่กับสารปนเปื้อน ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้ เหลือไว้แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ มีประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากมันไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับ แร่ชนิดนี้พบได้ในหลายผลิตภัณฑ์ตั้งแต่สีทาบ้านไปถึงอาหารและเครื่องสำอาง

เนื่องจากไททาเนียมมีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงผลึก จึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อมๆ กัน ทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน โดยการกระตุ้นด้วยโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าพลังงานแถบต้องห้ามของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำจะมีความแตกต่างจากโลหะที่ระดับพลังงานไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดเป็นช่องว่างของแถบพลังงาน ซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกกันของอิเล็กตรอนและโฮลหลังจากที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง ความแตกต่างของโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดอนาเทสและรูไทล์จะมีความหนาแน่นและโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีช่องว่างของแถบพลังงานที่แตกต่างกัน คือ 3.20 eV สำหรับโครงสร้างผลึกอนาเทส และ 3.02 eV สำหรับโครงสร้างผลึกรูไทล์ ดังนั้นโครงสร้างทั้งสองชนิดจึงมีช่วงการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาจากการกระตุ้นด้วยแสง



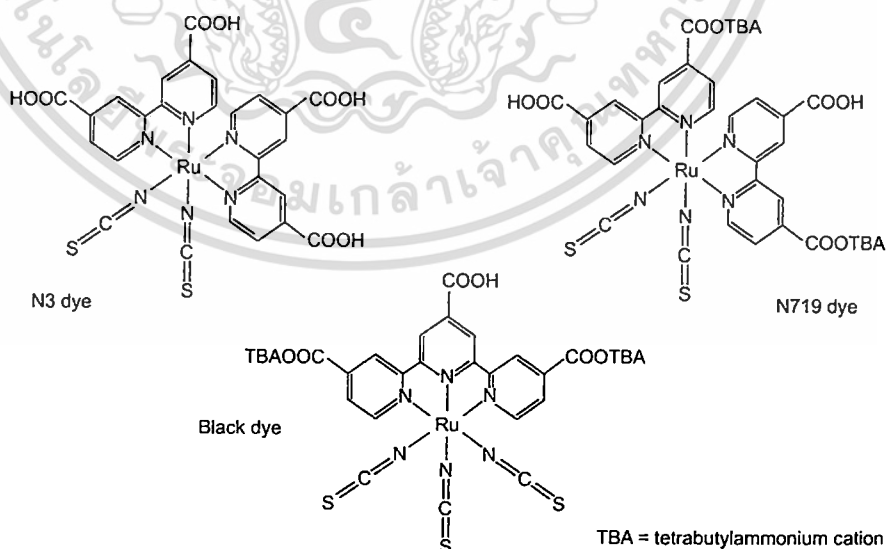
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ ; (ก) รูไทล์ (ข) อานาเทส และ (ค) บรูกไคท์^[32]

2. แก้วเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting Oxide glass) สารนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดี แต่ในขณะเดียวกันก็ยอมให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มักใช้สารอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากในกระบวนการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะต้องมีการให้ความร้อนประมาณ 450 องศาเซลเซียส ในการเตรียมชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง ซึ่งพบว่าการใช้ ITO นั้นจะไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อผ่านอุณหภูมิสูงทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้น อันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงมีการใช้สารทินออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออไรด์ ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เป็นชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสงหรือกระจกนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โมเลกุลสีย้อมไวแสง (Dye-sensitizer)

โมเลกุลของเม็ดสีจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ และทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยเฉพาะช่วงที่ตาเรามองเห็น โดยที่เม็ดสีจะต้องมีคุณสมบัติ คือ มีความเสถียรภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่ถูกออกซิไดซ์ สภาวะพื้นและสภาวะถูกกระตุ้น มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูง มีราคาถูกและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งปกติแล้วมักใช้โมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (Ru) กับลิแกนด์ในกลุ่มของโพลีไพริดีน (polypyridine) โดยลิแกนด์นี้จะมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (-COOH) เป็นส่วนประกอบของโมเลกุลและมีความสามารถยึดเกาะบนพื้นผิวของโลหะออกไซด์ได้ดี ตัวอย่างสีย้อมไวแสงกลุ่มนี้ อย่างเช่น N3 Dye, Black Dye และ N719 เป็นต้น ซึ่งค่าประสิทธิภาพที่ได้จากสีย้อมกลุ่มนี้ให้ค่าสูง [24, 33-36] อย่างไรก็ตามสารดังกล่าวมีราคาแพงอันเนื่องมาจากการมีอยู่น้อยมากของโลหะรูทีเนียม การสังเคราะห์และทำให้บริสุทธิ์ยาก จึงมีการเลือกใช้สีย้อมที่ได้จากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมา โดยส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวต่อกันยาว และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นขั้วสูง อย่างเช่น สารอนุพันธ์ของเคมาริน (Coumarin) [37, 38] และสารอนุพันธ์ของไตรฟีนิลลามีน (Triphenylamine) [39-41] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเลือกใช้สีย้อมที่สกัดได้จากพืช เช่น สารคลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน, แคโรทีนอย หรืออื่นๆ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีราคาถูกลง



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสีย้อมไวแสงชนิด N3 Black dye และ N719^[42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

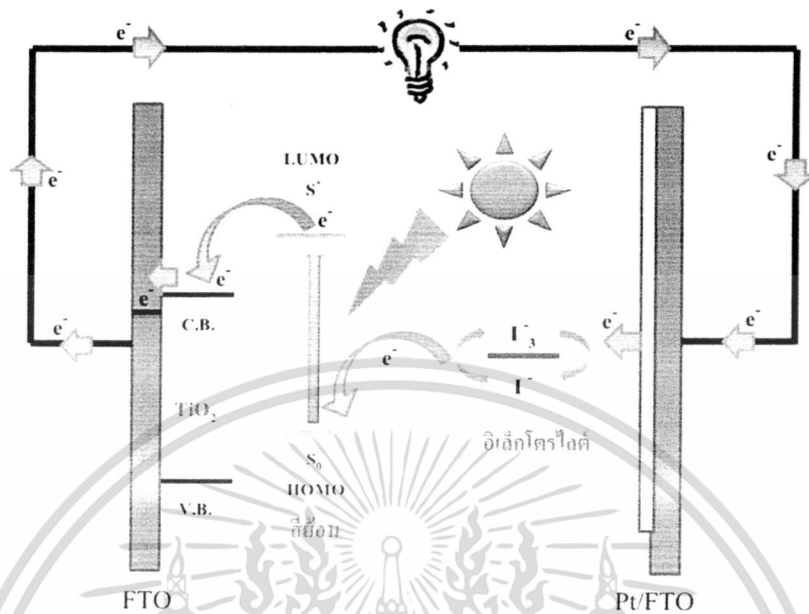
2.2.1.2 ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ (Counter Electrode)

ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยที่เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติดังนี้คือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา และจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วย วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดคือ โลหะแพลตตินัม (Pt) แต่เนื่องจากโลหะแพลตตินัมมีราคาแพงอาจใช้วัสดุอื่นแทนได้เช่น ผงคาร์บอน ท่อคาร์บอนนาโน หรือโพลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) เช่น PEDOT เป็นต้น

2.2.1.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอน (electron transfer) จากขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลตตินัมไปยังโมเลกุลของเม็ดสีที่เสียอิเล็กตรอนไปในตอนแรกจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดีจะต้องไม่มีการดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็น มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชันได้ง่าย เพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว และต้องมีความคงตัวสูง ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการขึ้นภายในเซลล์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่นิยมใช้ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในระบบ ที่ได้จากการแตกตัวของสารไอโอดีน (I_2) โดย จะมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวจะให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีแต่มีข้อเสียคือตัวทำละลายที่ใช้ระเหยง่าย จึงทำให้เกิดปัญหาการรั่วซึมของสารละลายออกจากตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ไม่มีความคงทน ซึ่งถือเป็นปัญหาใหญ่ของระบบอิเล็กโทรไลต์แบบของเหลว จึงได้มีการคิดค้นระบบอิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวไอออนิก [43, 44] ที่มีจุดเดือดสูงขึ้น มีการนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งที่นิยมใช้จะเป็นสารประกอบของอิมิดาโซเลียม (Imidazolium) แม้ว่าระบบนี้จะช่วยแก้ปัญหาของการระเหยได้ แต่ก็ยังคงมีการรั่วซึมอยู่ และให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่ำกว่าระบบ อิเล็กโทรไลต์ของเหลว เพราะมีความหนืดสูงกว่า ทำให้ไอออนแพร่ได้ช้ากว่า นอกจากนี้ยังมีอีกระบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา คือ ระบบพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ [33, 45-50] โดยมีข้อดีในการพาไอออนสูง และสามารถแข็งตัวได้ ช่วยป้องกันปัญหาการระเหยและรั่วซึมของสารละลาย แต่อย่างไรก็ตามระบบอิเล็กโทรไลต์ยังคงต้องได้รับการพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้สูงขึ้น

2.2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

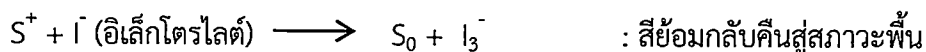
จากรูปที่ 2.10 เมื่อมีพลังงานจากแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ เม็ดสีย้อมที่อยู่ภายในจะทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแล้วอิเล็กตรอนของเม็ดสีย้อมจะมีระดับพลังงานที่สูงขึ้นจากสถานะพื้น (HOMO, S_0) ไปที่สถานะถูกกระตุ้น (LUMO, S^*) และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปสู่แถบการนำของผลึกสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง (TiO_2) ที่มีขนาดผลึกอยู่ในระดับนาโนเมตรจากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง(กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง) ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก และเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าแคโทดอีกข้างหนึ่งซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ สารอิเล็กโตรไลต์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (Redox) โดยให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมที่เสียอิเล็กตรอนไป ทำให้โมเลกุลของสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น ในขณะที่เดียวกันสารอิเล็กโตรไลต์จะรับอิเล็กตรอนคืนจากขั้วไฟฟ้าแคโทด (Pt) ซึ่งกระบวนการอย่างนี้จะเกิดซ้ำไปเรื่อยๆ トラบใดที่ยังมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม



2.2.3 คุณสมบัติของสีย้อมที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อมเป็นส่วนสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเป็นองค์ประกอบในการดูดกลืนแสงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า สีย้อมไวแสงที่ดีต้องมีสมบัติในการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงกว้างตั้งแต่ช่วงอินฟราเรดครอบคลุมถึงช่วงอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด อย่างเช่น สีย้อมที่โครงสร้างมีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวหรือมีวงอะโรเมติกเป็นองค์ประกอบ และมีหมู่อัลคิลเป็นสายยาว เป็นต้น สีย้อมที่ดีมีค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (extinction coefficient) มีค่าสูงและมีความสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี ซึ่งจะเป็นสีที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (-COOH) หรือ ไฮดรอกซิล (-OH) ที่เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ช่วยให้สีย้อมเกาะกับผิวของชั้นโลหะออกไซด์ได้ รวมทั้งสีย้อมควรมีเสถียรภาพเมื่ออยู่ในสถานะที่ถูกออกซิไดซ์ อีกคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของสีย้อมไวแสง คือ สามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสีย้อมกับโลหะออกไซด์ได้ดี โดยมีค่าระดับพลังงานที่สถานะกระตุ้น (LUMO) ของสีย้อม สูงกว่าค่าแถบการนำ (conduction band) ของโลหะออกไซด์ (ไททาเนียมไดออกไซด์ มีค่าแถบการนำ -4.26 eV และแถบวาเลนซ์ (valence band) -7.46 eV) และมีแถบพลังงานต้องห้าม (Energy gap) ในช่วงแคบ ขนาดของโมเลกุลสีย้อมที่เหมาะสมควรมีขนาดเล็กเพื่อสามารถเข้าเกาะภายในรูพรุนของชั้นโลหะออกไซด์ได้ นอกจากนี้สีย้อมไวแสงที่ดีควรเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

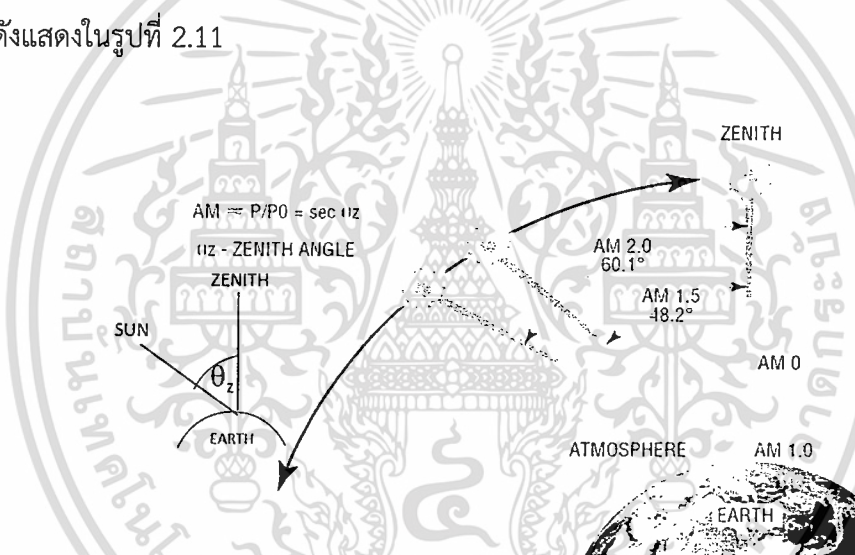
2.3.1 ค่ามวลอากาศ (Air Mass, AM)

บรรยากาศของโลกมีผลต่อสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ โดยเมื่อลำแสงผ่านบรรยากาศในทิศทางต่างกัน เป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์มีพลังงานรวมและความเข้มต่างกัน ปริมาณของแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในอากาศมีค่าคงที่เท่ากับ $1,365 \text{ W/m}^2$ เมื่อแสงแดดผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการสะท้อนกลับ 30% และถูกดูดกลืนด้วยเมฆ ฝุ่น ก๊าซในบรรยากาศ และชั้นโอโซน อีก 20% เมื่อแสงแดดเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางมากขึ้น ความเข้มแสงก็จะลดลง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ โดยอิทธิพลของบรรยากาศต่อความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปนั้นสามารถแสดงด้วยดัชนีที่เรียกว่า มวลอากาศ (Air mass, AM) ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กับมุมที่แสงอาทิตย์กระทำกับเส้นตั้งฉากผิวโลก ดังสมการที่ 2.1

$$AM = 1 / \cos \theta_z \quad (2.1)$$

โดย θ_z เป็นค่ามุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะและแนวลำแสงอาทิตย์ หรือมุมซีนิก (Zenith Angle) ที่มุม $\theta_z = 0$ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะและมีค่าความเข้มแสงที่สูงที่สุดที่วัดได้บนพื้นโลก คือ ค่ามวลอากาศ 1 (Air Mass 1, AM 1) เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60.1° กับแนวตั้ง คือค่ามวลอากาศ 2 (AM 2) ส่วนค่าที่แสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกจะเรียกว่า ค่ามวลอากาศ 0 (AM 0) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

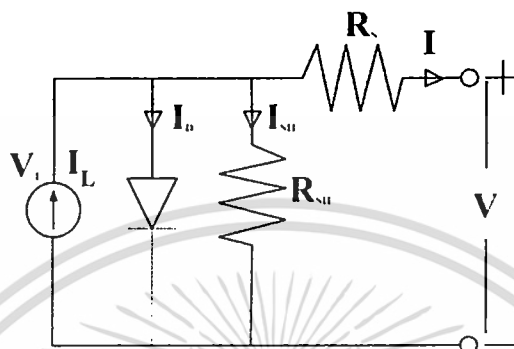


รูปที่ 2.11 ค่ามวลอากาศที่ซีนิก และที่มวลอากาศมุมต่างๆ^[51]

เนื่องจากกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงสูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะไม่สัมพันธ์กับความเข้มแสงมากนัก แต่จะแปรตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าความเข้มแสงมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ความเข้มแสงที่วัดได้บนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเล ที่ดวงอาทิตย์ทำมุมเท่ากับ 48.2° กับแนวตั้ง คือ AM 1.5 ซึ่งจะมีค่าความเข้มแสงเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ของหลายหน่วยงาน ตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM)

2.3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์^[11]

จากรูป 2.12 จะให้ว่ามี ไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และตัวต้านทานขนาน (Shunt resistance, R_{SH}) ต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์ และยังมีความต้านทานอีกตัวต่ออนุกรมกับวงจร โดยค่ากระแสสุทธิ I ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถจ่ายไปยังโหลด มีค่าเท่ากับกระแส I_L ที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์หักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอด I_D และกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานขนาน R_{SH} ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในแต่ละจุดขึ้น และค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใดๆ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกแล้วบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม ความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 นี้

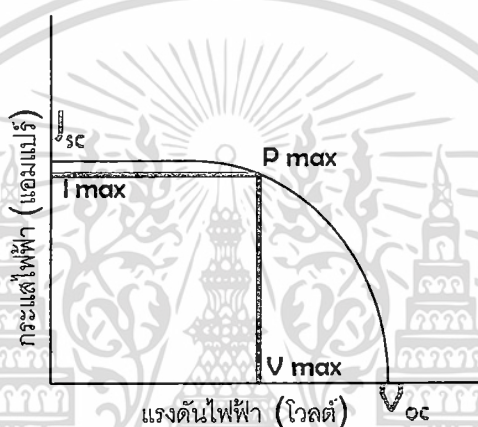
$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (2.2)$$

$$V_L = V + IR_S \quad (2.3)$$

โดยที่	I	กระแสไฟฟ้าขาออกสุทธิ มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_L	กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_D	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_{SH}	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	V	แรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็น V
	I	กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	R_S	ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม
	V_L	แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดและความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็น V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับความยาวคลื่นแสง โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Cell Conversion Efficiency) จะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) และฟิลต์แฟกเตอร์ (FF) โดยค่า J_{sc} เป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนค่า V_{oc} เป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดขณะไม่มีกระแสไฟฟ้างดรูปที่ 2.13 ส่วนค่าฟิลต์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่จุดทำงานสูงสุด(จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด, P_{max}) และผลคูณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดดังสมการที่ 2.4 และพบว่าค่า FF มีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (JV-Curve)

ค่าฟิลต์แฟกเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.4)$$

โดยที่ $P_{max} = I_{max} \times V_{max}$ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}} \quad (2.5)$$

เมื่อ P_{in} คือ พลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)

และ η คือ ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

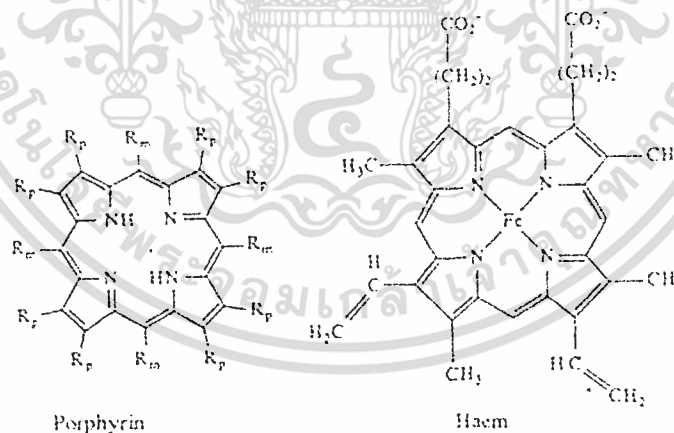
2.4 รังควัตถุ (Pigments)

สารสีที่สามารถพบได้ในธรรมชาตินั้นมีมากมายหลายแบบ ทั้งจากพืช สัตว์ หิน และแร่ธาตุ พืชเป็นแหล่งสารอินทรีย์ที่หลากหลาย ในประเทศไทยก็มีภูมิปัญญาการทำสีผสมอาหารและสีย้อมผ้า จากพืชมากมาย ตัวอย่างสีผสมอาหารจากพืช เช่น กลีบดอกกระเจียวให้สีแดง ดอกแก่คำฝอยให้สีเหลือง เมล็ดคำแสดให้สีส้ม ใบเตยสดให้สีเขียว แก่นไม้ฝางให้สีชมพูเข้ม ดอกอัญชันสดให้สีม่วง ตัวอย่างสีย้อมผ้าจากพืช เช่น แก่นขนุนให้สีเหลือง เปลือกต้นสมอให้สีดำ เปลือกต้นนุ่นให้สีชมพู ต้นครามให้สีน้ำเงิน และใบหูกวางให้สีน้ำตาลแก่ เป็นต้น

สารสีธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ชนิด [52] ตามลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารสีเหล่านั้น คือ สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน และสารสีกลุ่มบีตาไซยานินหรือบีตาเลน

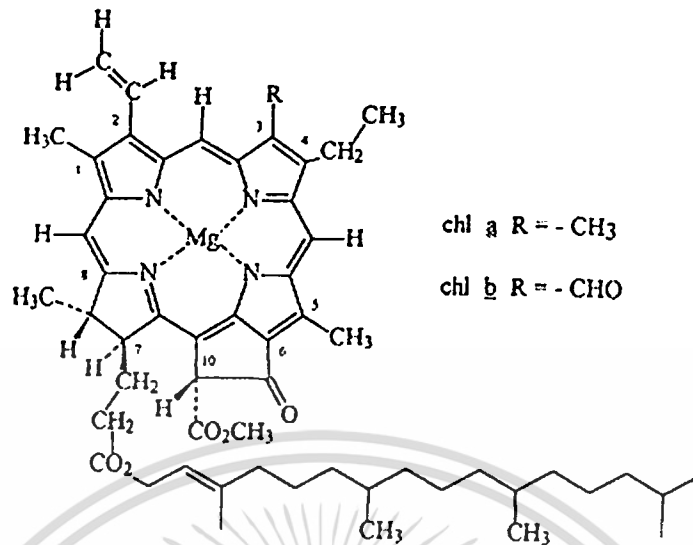
2.4.1 สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง

สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง หรือเรียกรวมกันว่า วงพอร์ไพรีน (Porphyrin) พบในสัตว์ เรียกว่าฮีม ซึ่งมีเหล็กอยู่ตรงกลางสร้างพันธะกับไนโตรเจนของวงไพโรล พบในพืช เรียกว่า คลอโรฟิลล์ที่มีแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง ฮีมในกล้ามเนื้อสัตว์เรียกว่า ไมโอโกลบิน และในเลือดเรียกว่า ฮีโมโกลบิน



รูปที่ 2.14 โครงสร้างพื้นฐานของเม็ดสีที่มีลักษณะเป็นวงพอร์ไพรีน^[53]

คลอโรฟิลล์ เป็นรงควัตถุสีเขียวที่สำคัญที่สุดในพืชชั้นสูงอยู่ในคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ใกล้กับผนังเซลล์พบในทุกส่วนของพืชที่มีสีเขียว เช่น ใบ ก้านและในผลไม้ดิบ ใบเป็นส่วนที่มีคลอโรฟิลล์มากกว่าส่วนอื่น โดยโครงสร้างของคลอโรฟิลล์แสดงในรูปที่ 2.15



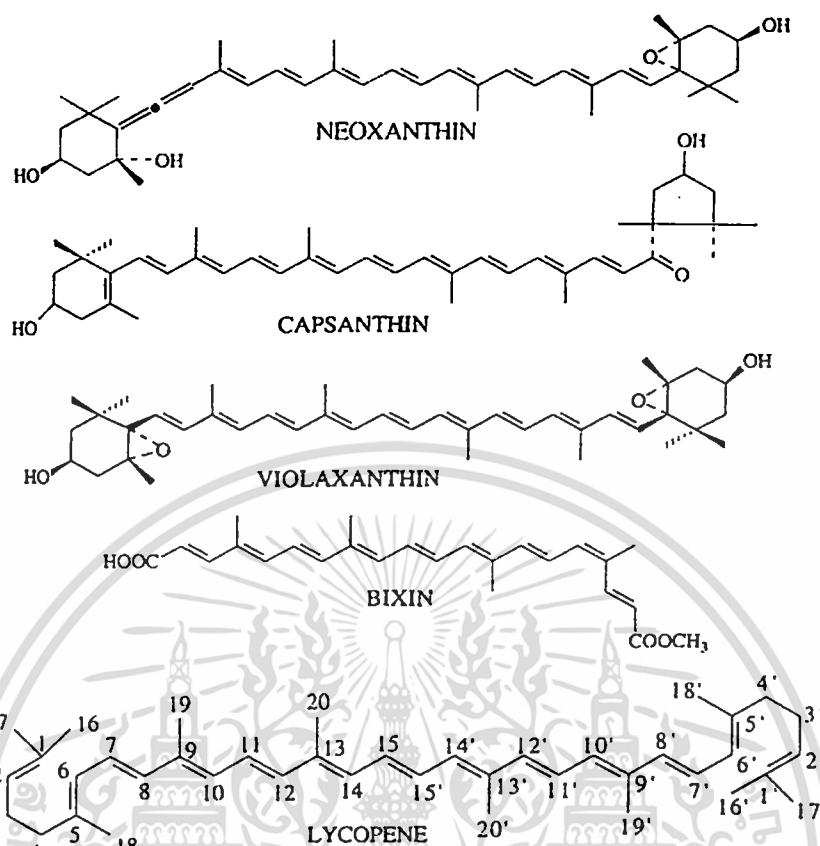
รูปที่ 2.15 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์^[52]

2.4.2 สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน

ไอโซพรีนเป็นหน่วยย่อยของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 5 ตัว สารสีในกลุ่มนี้คือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารสีหลักในแคโรทีน แคโรทีนอยด์เป็นจำนวนมาก ประกอบด้วยคาร์บอนถึง 40 อะตอม โครงสร้างจะเป็นแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวจำนวนมาก ซึ่งยังมีมากสีกี่จะเข้มข้น รูปร่างของโครงสร้างส่วนมากจะเป็นแบบทรานส์ ถ้าเป็นแบบซิส จะมีน้อยและจะทำให้สีจางลง สีของแคโรทีนอยด์จะเป็นสีเหลืองและแดง แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ ชนิดแรกเป็นไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ไม่มีวงแหวน และชนิดที่มีวงแหวนที่ปลายด้านหนึ่ง และทั้งสองด้าน ส่วนชนิดที่สองโครงสร้างโมเลกุลมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล เช่น หมูของไฮดรอกซิล อีพอกซี แอลดีไฮด์ หรือหมู่คีโตน รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์แคโรทีนอยด์ อย่างเช่น บีตา-แคโรทีน ที่เป็นสีผสมอาหารที่สกัดจากสาหร่ายหรือการสังเคราะห์ไลโคพีนมีสีแดงพบในมะเขือเทศ บีตา-แคโรทีนและแอลฟา-แคโรทีน มีสีเหลืองพบในแคโรทีน บีตา-คริปโทแซนทินมีสีเหลืองพบในข้าวโพด มะละกอ และส้มแมนดาริน นีโอแซนทินมีสีเหลืองพบในใบผักที่มีสีเขียว แคปแซนทินมีสีแดงพบในพริก ไวโอลาแซนทินมีสีเหลืองพบในผักใบเขียว ใบชินพบในเมล็ดของคำแสด ผักใบเขียวทั้งหมดจะมีแคโรทีนอยด์รวมอยู่กับครอโรฟิลล์ แต่ไม่ปรากฏสีเพราะมีอยู่น้อย จะเห็นเมื่อผักเริ่มแก่มาก ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในผลไม้บางชนิด นอกจากนี้ยังมีแคโรทีนอยด์บางชนิดอยู่ร่วมกับกรดไขมันในรูปเอสเทอร์ เช่น ลูทีนในใบไม้ของไม้ยืนต้นที่เปลี่ยนสีได้ในฤดูหนาว บางชนิดอยู่ร่วมกับโปรตีน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนพบในเปลือกกุ้ง และปู ให้สีฟ้าเทา หรือสีน้ำเงิน จะสลายไปเมื่อโดนความร้อนทำให้เปลี่ยนเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



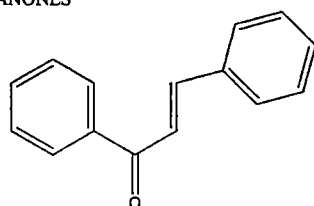
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ [52]

2.4.3 สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน

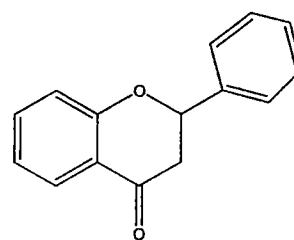
2.4.3.1 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 2 วงเชื่อมกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ฟลาโวนอน (flavones) ซึ่งมีโครงสร้างแบบคีโตนอยู่ในโมเลกุล และฟลาวัน (flavans) ซึ่งมีโครงสร้างแบบแอลดีไฮด์หรือแอลกอฮอล์ ดังโครงสร้างในรูปที่ 2.17 เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นฟลาโวนอยด์หลักที่พบทั่วไป จึงจะกล่าวแอนโทไซยานินเป็นหลัก ส่วนฟลาโวนอยด์อื่นๆ มีข้อมูลน้อยกว่าแอนโทไซยานิน สำหรับสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างจากนี้จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลอื่นๆ

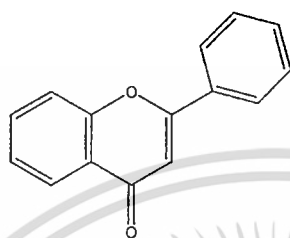
FLAVANONES



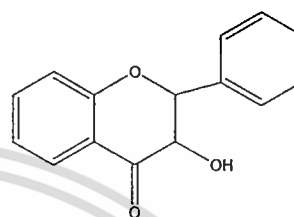
Chalcone



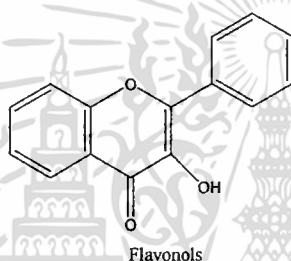
Flavanones



Flavones

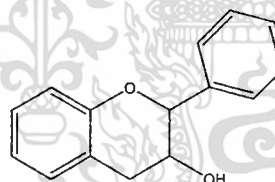


Flavanonols

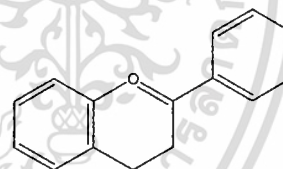


Flavonols

FLAVANS



Catechins

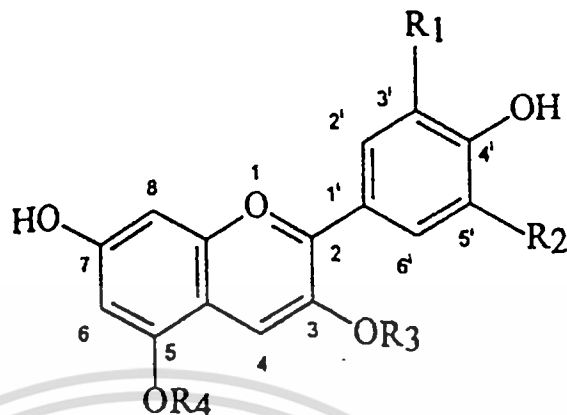


Anthocyanidins

รูปที่ 2.17 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ [52]

1. แอนโทไซยานิน เป็นสารสีที่มีหลายสีตั้งแต่สีน้ำเงิน ม่วง จนถึงสีแดง พบในผัก ผลไม้และดอกไม้ ละลายน้ำได้ดี โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยฟลาเวียม แคทไอออน (flavylium cation) ดังรูปที่ 2.18 โดยมีโมเลกุลของน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 แต่ก็พบน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 7 3' 4' หรือ 5' เล็กน้อย น้ำตาลส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป มอนิโต หรือ ไตรแซ็กคาไรด์ของน้ำตาลกลูโคส กาแลกโทส อะราบิโนส และไซโลส เมื่อน้ำตาลถูกไฮโดรไลซ์จะเหลืออะไกลโคน (aglycone) หรือที่เรียกว่า แอนโทไซยานิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สตีดิ (anthocyanidines) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



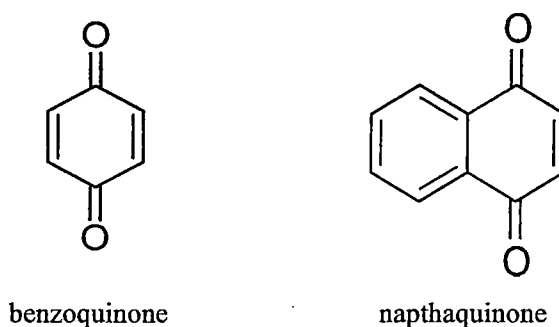
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของฟลาโวนอยด์เคอโตน [52]

2. ฟลาโวนอยด์อื่นๆ เรียกว่า แอนโทแซนทีน (anthoxanthins) เป็นกลุ่มสารสีที่ไม่มีสีไปจนถึงมีสีเหลือง กลุ่มฟลาโวนอน (flavanones) เช่น เฮสเพอริดิน (hesperidin) ในผลไม้จำพวกส้ม นารินจีน (naringin) เป็นสารที่ให้รสขมในส้มโอและมะนาว เทนเจอร์นิน (tangerin) ในส้มจีน กลุ่มฟลาโวน เช่น อะพิจินิน (apiginin) ในผักชีฝรั่ง กลุ่มฟลาโวนมีโครงสร้างเช่นเดียวกับไอโซฟลาโวน (isoflavane) ยกเว้นวงแหวนฟีนิลที่อยู่ตำแหน่งที่ 2 ขณะที่ในกลุ่มไอโซฟลาโวนจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ของฟลาโวนเคอโตน ไอโซฟลาโวนมีตัวอย่างเช่น เจนิสทิน (genistein) ในพวกลั่ว เช่น ถั่วเหลือง กลุ่มฟลาโวนอล (flavanol) ในพืชทั่วไปและหัวหอม สตรอบเอร์รี่ และน้ำผึ้ง และไมริซิทิน (myricetin) ในองุ่น ส่วนคาเทชิน (catechin) เช่น อีพิกาทะชิน (epicatechin) แกลโลคาเทชิน (gallocatechin) และแกลโลอิกาทะชิน (gallepicatechin) ในชาเขียว แอปเปิล ลูกพรุนและองุ่น ฟลาโวนอยด์เหล่านี้เป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน

2.4.3.2 กลุ่มสารประกอบฟีนอลอื่นๆ สารสีกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่ไม่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ จะมีสารประกอบกลุ่มควิโนน (quinones) และสารประกอบกลุ่มแซนโทน (xanthenes) ซึ่งเป็นสารสีที่ให้สีเหลือง

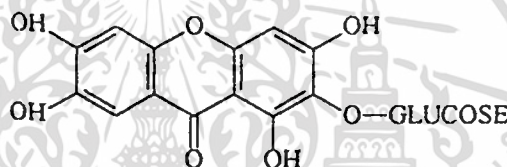
1. ควิโนน เป็นสารที่มีโครงสร้างวงแหวนเบนซีนซึ่งอาจเป็นวงแหวนเดี่ยว (monomer) สองวง (dimer) หรือหลายๆ วง (polymer) พบในพืชหลากหลายที่ให้รสขม ให้สีเหลือง สีส้ม และในเชื้อราบางชนิดให้สีน้ำตาล สารประกอบแนฟทาควิโนน (naphthaquinone) และแอนโทโรควิโนน (antroquinine) พบในพืชให้เฉดสีในช่วงสีม่วงจนถึงสีดำ มีการนำไปเป็นสีย้อมผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างโมเลกุลของควิโนนบางชนิด^[52]

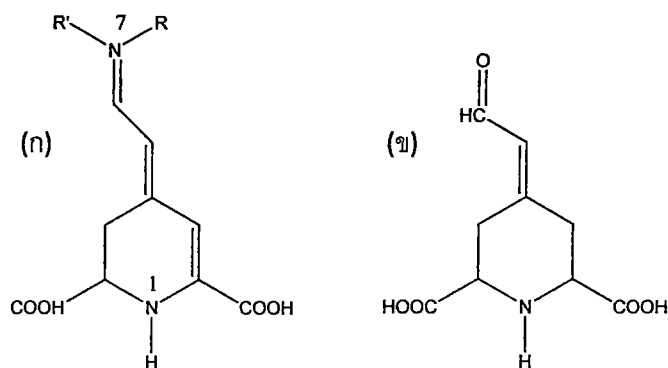
2. แชนโทนเป็นสารสีเหลืองมีโครงสร้างไม่เหมือนกับสารฟลาโวน เป็นสารสีที่มีสีเหลือง ตัวอย่างเช่น แมงจีเฟอร์ินที่พบในมะม่วง



รูปที่ 2.20 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจีเฟอร์ิน^[52]

2.4.4 บีตาเลน (Betalains)

บีตาเลนประกอบด้วยสารสี 2 กลุ่มคือ บีตาไซยานินมีสีแดงและบีตาแซนทินให้สีเหลือง พบในผักโขม (amaranth) pH ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสี เป็นสารที่ละลายน้ำได้ พืชที่มีสารสีชนิดนี้เป็นพืชในตระกูล *Centrosperme* เท่านั้น โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลมีดังรูปที่ 2.21 ถ้าหมู่ R' ไม่ทำให้เกิดพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (conjugation) ในตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 7 จะให้สีเหลือง ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร แต่ถ้าหมู่ R' ทำให้เกิดคอนจูเกชันจะให้สีแดง ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ซึ่งเป็นลักษณะของบีตาไซยานิน



รูปที่ 2.21 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของบีตาเลน; (ก) บีตาเลน (ข) กรดบีตาเลน^[52]

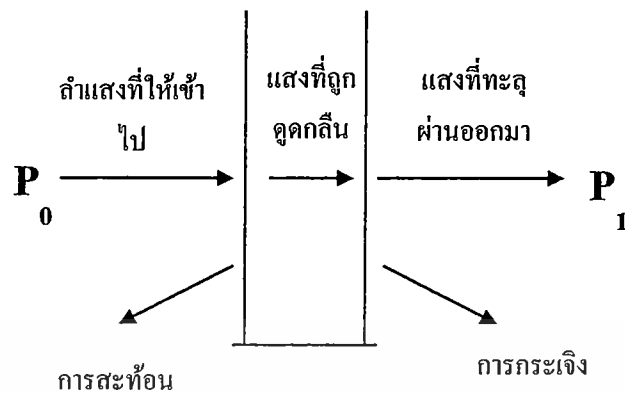
บีตาไซยานินเป็นอนุพันธ์ของบีตานิดิน (betanidin) และไอโซบีตานิดิน (isobetanidine) และเมื่อเกาะกับน้ำตาลที่แตกต่างกันไปจะได้บีตาไซยานินแตกต่างกันไป บีตาไซยานินหลักที่พบในหัวบีตาคือ บีตานินและไอโซบีตานิน และบีตาไซยานินหลักที่พบในผักโขมคือ อะมารานทินและไอโซอะมารานทิน

นอกจากสีที่พบในธรรมชาติแล้ว ยังมีสีสังเคราะห์ที่นำมาใช้ได้อีก อย่างเช่น สีเอโซ (Azo dye) เป็นสีที่มีหมู่เอโซ (-N=N-) ภายในโมเลกุล สีไตรเฟนนิลมีเทนเป็นสีที่มีหมู่เฟนิล 3 หมู่เกาะอยู่กับหมู่เมทิล สีแซนทินที่มีโครงสร้างคล้ายสารหมู่แซนทิน และสีอินดิโกที่ให้น้ำเงินคล้ายสีจากต้นคราม

2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)

การตรวจวัดสารเคมีเพื่อศึกษาถึงสมบัติ และโครงสร้างของสารนั้นจะใช้เทคนิคสเปกโทรสโคปี (spectroscopy) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการวัดการดูดกลืน (absorption) หรือการคาย (emission) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ของสาร โดยเฉพาะสารส่วนใหญ่สามารถดูดกลืนคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet UV) และช่วงแสงที่มองเห็นได้ (visible) จากสมบัตินี้จึงนำมาใช้เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี ในปัจจุบันยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปีเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง เพราะถือว่าเป็นเทคนิคที่ง่าย ถูกต้องแม่นยำและใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเมื่อให้ลำแสงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนทะลุผ่านออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ถ้าให้แสงที่ผ่านออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสงพวกปริซึมหรือเกรตติง จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปเรียกว่า สเปกตรัมที่ถูกดูดกลืน (absorption spectrum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

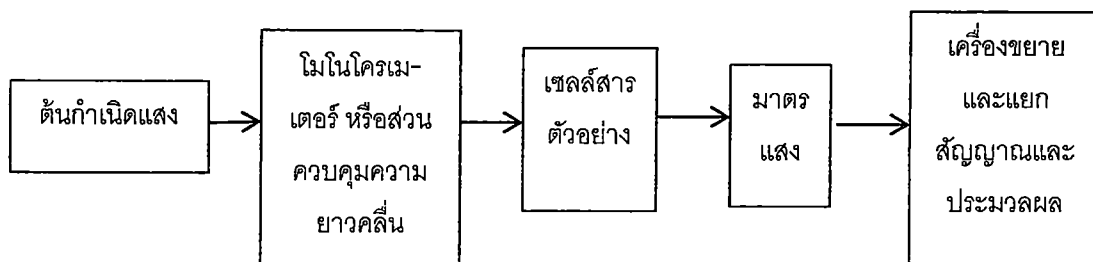
ในการวัดปริมาณของแสงหรือ radiation ที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น เราสามารถทำได้ โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของแสงที่ผ่าน โมโนโครมาเตอร์เข้าไปยังเซลล์ที่ใส่ตัวทำละลายกับสารอื่นๆ ซึ่งไม่มีสารที่จะดูดกลืนแสง เรียกว่า สารละลาย blank ดังนั้น ค่าแสงที่ทะลุออกมาให้เป็น P_0 (Corrected incident radiant energy) จากกฎของ เบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's law) จะแสดงค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$A = \epsilon bc = \log \frac{P_0}{P} \quad \text{หรือ} \quad -\log T = \epsilon bc \quad (2.6)$$

เมื่อ A คือ แอบซอร์เบอานซ์ (absorbance) ϵ คือ โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (molar absorptivity) b คือ ความกว้างของเซลล์เป็นเซนติเมตร และ c คือ ความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร แต่ถ้าความเข้มข้นเป็นหน่วยอื่นให้เขียนเป็น $A = abc$ เมื่อ a คือ แอบซอร์ปติวิตี (absorptivity) ทั้ง ϵ และ a เป็นค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของสารและความยาวคลื่น อาจกล่าวได้ว่า ค่าแอบซอร์เบอานซ์ของสารละลายจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้น ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต ได้สมมติให้ แสงที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้นต้องเป็นแสงโมโนโครมาติก (monochromatic radiation) และกระบวนการดูดกลืนแสงแต่ละอนุภาคต้องไม่ขึ้นแก่กัน คือ ต้องทำให้สารละลายเจือจาง และเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 องค์ประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ในส่วนของต้นกำเนิดแสงที่ใช้นั้นจะเป็นหลอดไฮโดรเจน หรือหลอดทิวทิลัม ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของหลอดแสง ช่องที่ให้แสงออกจะต้องทำด้วยควอร์ตซ์ ทั้งหลอดทิวทิลัมและไฮโดรเจนมีอายุใช้งานจำกัด แต่หลอดทิวทิลัมซึ่งมีราคาแพงกว่าจะมีอายุการใช้งานมากกว่า และให้ความเข้มแสงมากกว่า ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นมักใช้หลอดชนิดทั้งสแตน โมนโครเมเตอร์เป็นส่วนที่ควบคุมแสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (แสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ โมนโครเมเตอร์จะประกอบด้วย ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า กระบอกและเลนส์เพื่อให้เกิดการสะท้อนไปมาในเครื่อง และส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ กันเพื่อให้เหมาะแก่การใช้หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงแสงที่ต้องการ เช่น เกรตติง (grating) แสงจากส่วนโมนโครเมเตอร์จะผ่านช่องแสงออกไปสู่สารตัวอย่างและมาตรวัดแสง โดยทั่วไปช่องแสงเข้าและช่องแสงออกมักจะเปิดเท่ากัน เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างบางครั้งเรียกว่า คิวเวท (cuvettes) ซึ่งทำจากซิลิกาและควอร์ตซ์ที่ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล ส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของเครื่องวัดแสงซึ่งจะมีหลายแบบ แต่ละแบบอาจแตกต่างกันบ้างที่ความกว้างของช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนองของแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะที่มีสภาพไวแสงสูง มีการตอบสนองเป็นแบบสภาพเชิงเส้นตามแสงที่ตกกระทบ มีสัญญาณรบกวนน้อย มีเสถียรภาพที่ดีให้ค่าที่วัดไม่แปรปรวนมาก ขนาดไม่ใหญ่และราคาไม่แพงมาก ที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่ เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่า absorbance และค่าความยาวคลื่น

เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยว และแบบลำแสงคู่ สำหรับเครื่องแบบลำแสงเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้ลำแสงเดี่ยวจากแหล่งกำเนิด ผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องแบบนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวก และมีราคาไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์อันใด กรุณาแจ้งกลับมาที่สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่ โทร. 053-251111 หรือ 053-251112

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพงมากนักสำหรับเครื่องแบบลำแสงคู่ นั้น แสงจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำ ก่อนที่จะไปตกลงบนตัวอย่าง โดยแสงลำหนึ่งจะใช้เป็นลำแสงอ้างอิงขณะที่อีกลำจะผ่านไปยังตัวอย่าง เครื่องมือที่เป็นแบบลำแสงคู่บางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัด 2 ตัวเพื่อที่จะตรวจวัดแสงอ้างอิงและแสงที่มาจากตัวอย่างได้พร้อมกัน แต่ในบางรุ่นจะมีเครื่องตรวจวัดเพียงตัวเดียว โดยแสงทั้งสองลำจะผ่านตัวชิ้อบเปอร์ (chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่กักแสงลำหนึ่งไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เครื่องตรวจวัดจึงสามารถตรวจวัดความแตกต่างของแสงทั้งสองลำได้

2.5.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ

โดยหลักการแล้ว สเปกตรัมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีและแสงขาวของสารตัวอย่างจะแสดงคุณสมบัติเฉพาะของสารนั้นๆ ทำให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์สารชนิดต่างๆ ได้ แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้เท่านั้นจะให้ผลได้เพียงคร่าวๆ เพราะลักษณะของสเปกตรัมของสารแต่ละชนิดที่ได้จะมีความกว้างมากและยังมีรายละเอียดอีกเยอะจึงต้องใช้เทคนิคอื่นๆ ร่วมวิเคราะห์ด้วย สำหรับการวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณด้วยเทคนิคนี้ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการทำกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มแสง ดังนั้นเมื่อสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารได้ก็สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ได้จากกราฟ

2.6 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี หรือชื่อย่อว่า เอ็นเอ็มอาร์ (NMR) นั้น มีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับสูตรโครงสร้างของสาร ไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ตาม เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ซึ่งพลังงานที่เกี่ยวข้องจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสปิน (spin) หรือการหมุนของนิวเคลียส ซึ่งเป็นสปินที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ อย่างเช่น ^1H , ^{13}C , ^{19}F เป็นต้น แต่ที่สำคัญจะเป็น ^1H ซึ่งพบมากในสารเคมีทั่วไป ในส่วนของหลักการของเทคนิคนี้จะศึกษาในส่วนของนิวเคลียสที่อนุภาคที่มีประจุและมีพฤติกรรมเหมือนกับหมุนอยู่ตลอดเวลา การสปินนี้จะก่อให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็กบริเวณการหมุน ซึ่ง ^1H มีเลขสปินควอนตัมเป็น $\frac{1}{2}$ และมีค่าที่เป็นไปได้ 2 แบบคือ $+\frac{1}{2}$ และ $-\frac{1}{2}$ เมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกแก่นิวเคลียส จะเกิดการจัดเรียงตัวแบบใหม่ที่เป็นไปได้เพียงสองแบบ คือ นิวเคลียสที่มีสปินบวกจะวางตัวในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก แต่มีทิศทางเดียวกัน และเป็นสถานะที่มีพลังงานต่ำ ส่วนนิวเคลียสที่มีสปินเป็นลบ จะวางตัวในแนวขนานเช่นเดียวกัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็ก และจะมีพลังงานสูงกว่า ความแตกต่างของพลังงาน (ΔE) ระหว่างการจัดเรียงตัวทั้งสองแบบจะเป็นไปตามสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E = h\nu \quad (2.7)$$

หากนำตัวอย่างที่มีนิวเคลียส ^1H ไปวางในสนามแม่เหล็ก แล้วให้พลังงานในช่วงความถี่วิทยุที่เหมาะสม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียส โดยนิวเคลียสที่ระดับพลังงานต่ำจะถูกกลืนพลังงานแล้วขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูง (จัดตัวในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก) นิวเคลียสบางตัวจะถูกกระตุ้นให้คายพลังงานออกมาแล้วลงไปอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำ (จัดตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก) เรียกว่า การเกิดเรโซแนนซ์ จะเห็นว่า ΔE จะขึ้นกับชนิดของนิวเคลียส และความแรงของสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ถ้าสิ่งแวดล้อมต่างกันก็จะให้ค่าต่างกันด้วย จากข้อนี้จึงใช้ศึกษาโครงสร้างของสารได้

2.6.1 ส่วนประกอบของเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

ส่วนประกอบหลักๆ ของเอ็นเอ็มอาร์ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักดังนี้

2.6.1.1 แม่เหล็ก (Magnets) สมบัติของแม่เหล็กเป็นตัวกำหนดความถี่ของนิวเคลียสในการหมุนควงในเครื่องเอ็นเอ็มอาร์ ซึ่งกำหนดในหน่วย SI ว่าเป็นสนามเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic induction field) ให้สัญลักษณ์เป็น B มีหน่วยเป็นเทสลา โดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 แบบ คือ แม่เหล็กถาวร แม่เหล็กไฟฟ้า และ แม่เหล็กชนิด superconducting

2.6.1.2 แหล่งกำเนิดความถี่คลื่นวิทยุ (Radio frequency transmitter) และตัวรับความถี่คลื่นวิทยุ (Radio frequency receiver) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังตัวอย่างและตรวจวัดสัญญาณที่ถูกดูดกลืน หรือปลดปล่อยออกมา

2.6.1.3 แหล่งเก็บและบันทึกข้อมูล (Data Processor) เพื่อใช้เก็บข้อมูลสัญญาณในการวัดสารตัวอย่าง ก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

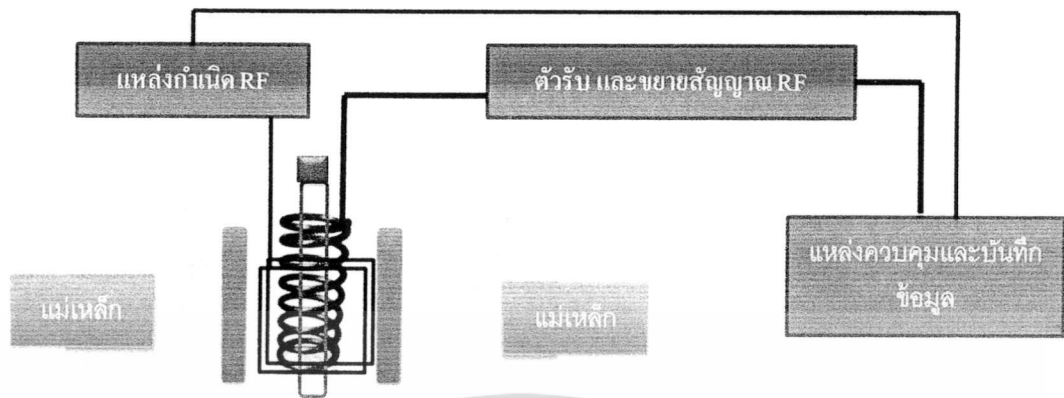
2.6.2 การวิเคราะห์และการแปลผลเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

ในการวัดสัญญาณเอ็นเอ็มอาร์จะต้องนำตัวอย่างไปละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งไม่มีนิวเคลียสชนิดเดียวกันกับที่ตรวจวัดสัญญาณ อย่างเช่นจะวัดสัญญาณโปรตอนของสารตัวอย่างจะใช้ตัวทำละลายเป็นสารละลายที่มีควิที่เตรียมแทน ข้อมูลที่ได้จากเครื่องเอ็นเอ็มอาร์จะประกอบด้วยความเข้มของสัญญาณ (แกน y) พล็อตเทียบกับความถี่ (แกน x) ในลักษณะกลับหัวกับอินฟราเรดสเปกตรัม พิกที่สูงแสดงว่ามีการดูดกลืนคลื่นวิทยุที่ความถี่นั้นมาก ในการระบุความถี่นั้นไม่นิยมระบุความถี่โดยตรง จึงจะอ้างอิงถึงความถี่ในลักษณะสัมพันธ์กับความถี่อ้างอิงค่าหนึ่งซึ่งคำนวณจาก $\delta = (\nu - \nu_{\text{ref}}) / \nu_{\text{ref}}$ ค่าสัมพันธ์นี้เรียกว่าเคมีคัลชิฟต์

(chemical shift) หน่วยคือ ppm ค่าเคมีคัลชิฟต์ของโปรตอนทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0-10 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 องค์ประกอบหลักของเครื่องนิวเคลียร์แมกเนตริกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

หลักการแปลงผลเอ็นเอ็มอาร์เป็นการแปลงผลจากข้อมูลที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างนิวเคลียสทั้งหมดที่ประกอบกันขึ้นเป็นโครงของสารตัวอย่างนั้นในสเปกตรัมของเอ็นเอ็มอาร์ โดยจำนวนชนิดของสัญญาณจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนชนิดของโปรตอนที่แตกต่างกันในโมเลกุล ตำแหน่งของสัญญาณหรือตำแหน่งของเคมีคัลชิฟต์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมอิเล็กทรอนิกส์ของโปรตอนแต่ละกลุ่มนั้น ความเข้มของสัญญาณ ซึ่งแสดงในรูปพื้นที่ใต้พีค จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนของโปรตอนแต่ละชนิด และการแยกของสัญญาณ กลุ่มหนึ่งๆ ออกเป็นหลายพีค จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนโปรตอนอื่นๆ ที่ต่ออยู่กับคาร์บอนซึ่งต่อกับคาร์บอนที่โปรตอนที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นต่ออยู่ด้วย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติเป็นตัวดูดกลืนแสง

จากความหลากหลายของชนิดพืชธรรมชาติในโลกนี้ จึงได้มีการศึกษาและนำพืชธรรมชาติหลายชนิดมาวิจัยเพื่อเป็นสีย้อมไวแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซึ่งมีทั้งการนำใบ ดอก เมล็ด และส่วนอื่นของพืชที่สามารถสกัดสีย้อมได้มาใช้ อย่างเช่น มีงานวิจัยหลายกลุ่มที่ศึกษาถึงสีย้อมที่เป็นสีเขียวของโครโรฟิลล์ ตัวอย่างเช่น H. Chang และคณะ ได้ศึกษาถึงการสกัดสีย้อมจากใบผักบุ้งและใบผักโขมเพื่อใช้เป็นสีย้อมโดยได้ค่าประสิทธิภาพของสีย้อมจากใบผักบุ้ง 0.318% [9] นอกจากนั้นได้มีการวิจัยการสกัดสีย้อมจากใบทับทิมและลูกหม่อนในปี 2010 ซึ่งมีสารโครโรฟิลล์และแอนโทไซยานินเป็นส่วนประกอบ โดยใบทับทิมให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่ 0.597% ส่วนลูกหม่อนอยู่ที่ 0.548%[54] นอกจากนี้มีการนำสีย้อมของกะหล่ำปลีม่วงและขมิ้นมาผสมกันแล้วให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0.6% [55] งานวิจัยที่นำข้าวเหนียวดำ, ดอกปาริฉัตร, ดอกโรซ่า, พริกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
 เอ็กสตรัคชันของสารสกัดเพื่อทำสีย้อม [3] โดยข้าวเหนียวดำจะให้ค่า J_{sc} ที่ดีที่สุด เนื่องจากมีสารในกลุ่ม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งจะยึดเกาะได้ดีกับฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ มีงานวิจัยที่เตรียมสีย้อมจากกระเจี๊ยบและดอกอัญชันที่มีสารแอนโทไซยานินในกลุ่มไซยาnidin (cyanidin) หรือดีฟิnidin (dephinidin) และทอนาทิน (tornatin) ให้ค่าประสิทธิภาพที่ 0.37% และเมื่อทำการปรับระบบและสถานะของสีย้อมสามารถให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึง 0.7% [8] จากประสิทธิภาพและสมบัติที่ดีทำให้แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่นิยมใช้เป็นสีย้อมไวแสงได้มีงานวิจัยอื่นอีกที่สกัดสารกลุ่มนี้จากส้ม เปลือกมะเขือม่วง [56] ดอกพุทธรักษา ดอกชัลเวีย และมะแว้ง [57] แอนโทไซยานินสีน้ำเงินม่วงจากลูกองุ่นบราซิล (Jaboticaba) และคาลาฟาเต (Calafate) [7] งานวิจัยของ Kumara และคณะวิจัยศึกษาถึงสารสกัดจากใบชิโสะที่มีสารแอนโทไซยานินในกลุ่ม ชิโซนิน (shisonin) และ มาโลนิลชิโซนิน (malonylshisonin) ให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 1.3% [6] นอกจากนี้ยังมีการใช้สีย้อมจากรงควัตถุแคโรทีนอยด์พวก โครซีติน (crocetin) และโครซิน (crocin) ที่สกัดจากลูกพุด (gardenia) [10] สารโบซินและนอร์โบซินที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสตที่ให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0.53% [58] มีงานวิจัยที่ได้นำหลายๆส่วนของพืชทั้งดอก ใบ ผล พืชที่ใช้เป็นยาของคนจีนโบราณ และใช้สำหรับตกแต่งอาหารมาสกัดเป็นสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลค่าต่างๆกัน แต่สารที่ให้ค่าดีที่สุดเป็นสารที่สกัดมาจากเปลือกมังคุดที่ยังไม่ได้ผ่านการแยกสารให้บริสุทธิ์มีค่าประสิทธิภาพที่ 1.17% [59] ส่วนงานวิจัยที่แสดงค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสารสกัดธรรมชาติที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีจะใช้สารสกัดจากหัวบีท (red turnip) ที่มีสารบีตาเลนเป็นโครงสร้างหลัก ประกอบด้วยสารบีตาไซยานิน บีตานิดิน หรือบีตานิน ให้ค่า J_{sc} ที่ 9.5 mA/cm^2 และค่าประสิทธิภาพสูงถึง 1.70% [60] และงานวิจัยที่ใช้สีย้อมไวแสงโมนัสคัสสีเหลือง (monascus yellow) ที่สกัดได้จากข้าวแดง ให้ค่า J_{sc} ที่ 6.1 mA/cm^2 และค่าประสิทธิภาพสูงถึง 2.3% [61] ในระบบที่เหมาะสม ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติได้เรียบเรียงไว้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติ

ชนิดของสีย้อมไวแสง	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	อ้างอิง
กระเจี๊ยบ	1.63	0.4	0.57	0.37	[8]
อัญชัน	0.37	0.37	0.33	0.05	[8]
ข้าวเหนียวดำ	1.14	0.55	0.52	-	[3]
พริกหยวก	0.23	0.41	0.63	-	[3]
ดอกโรซ่า	0.64	0.49	0.52	-	[3]
สาหร่ายทะเล	0.43	0.44	0.62	-	[3]
ดอกปาริชาติ	0.78	0.48	0.55	-	[3]
ไบซิน	1.10	0.57	0.59	0.37	[58]
สารสกัดคำแสด	0.53	0.56	0.66	0.19	[58]
นอร์ไบซิน	0.38	0.53	0.64	0.13	[58]
ควอซีติน	2.84	0.43	0.46	0.56	[10]
ควอซิน	0.45	0.58	0.60	0.16	[10]
ผลของคาลาฟาเต	6.20	0.47	0.36	-	[7]
น้ำหวานจากคาลาฟาเต	1.50	0.38	0.20	-	[7]
เปลือกองุ่นบราซิล	7.20	0.59	0.54	-	[7]
ส้มซิซิเลียน	3.84	0.34	0.50	-	[56]
เปลือกมะเขือม่วง	3.40	0.35	0.40	-	[56]
แก้วมังกร	0.20	0.22	0.30	0.22	[62]
น้ำทับทิม	0.20	0.40	0.45	1.50	[63]
หัวปืท	9.50	0.43	0.37	1.70	[60]
ซิโซนิน	3.56	0.55	0.51	1.01	[6]
ซิโซนินกับครอโรฟิลล์	4.80	0.53	0.51	1.31	[6]
ครอโรฟิลล์	3.52	0.43	0.39	0.59	[6]
ผักโขม	0.47	0.55	0.51	0.13	[9]
ผักบุ้ง	0.91	0.54	0.56	0.28	[9]
ดอกเฟื่องฟ้า	5.00	0.25	0.36	0.45	[64]
ดอกการ์ซีเนีย	6.48	0.32	0.33	0.69	[64]
Ficus reusa	7.85	0.52	0.29	1.18	[64]
ว่านกาบหอย	10.9	0.50	0.27	1.49	[64]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) งานวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติ

ชนิดของสีย้อมไวแสง	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	อ้างอิง
บีโกเนีย	0.63	0.54	0.72	0.24	[59]
เปลือกส้ม	0.74	0.59	0.63	0.28	[59]
กุหลาบขาวเชียงดาว	1.61	0.59	0.61	0.57	[59]
เก้าอี้	0.53	0.69	0.47	0.17	[59]
ดาวเรือง	0.51	0.54	0.83	0.23	[59]
ใบงา	1.36	0.52	0.70	0.50	[59]
Herba artemisiae scopariae	1.03	0.48	0.68	0.34	[59]
China loropetal	0.84	0.52	0.63	0.27	[59]
กุหลาบเหลือง	0.74	0.61	0.57	0.26	[59]
Flowery knotweed	0.60	0.55	0.63	0.21	[59]
ต้นเสี้ยวเครือ	0.96	0.57	0.66	0.36	[59]
พิทูเนีย	0.85	0.62	0.61	0.32	[59]
มูราซากิ	0.14	0.34	0.59	0.03	[59]
Violet	1.02	0.50	0.65	0.33	[59]
กุหลาบจีน	0.90	0.48	0.62	0.27	[59]
เปลือกมังคุด	2.69	0.67	0.63	1.17	[59]
กุหลาบ	0.97	0.60	0.66	0.38	[59]
ลิลลี่	0.51	0.50	0.67	0.17	[59]
กาแฟ	0.85	0.56	0.69	0.33	[59]
Broadleaf holly leafbase	1.19	0.61	0.65	0.47	[59]
Monascus yellow	6.1	0.57	0.66	2.3	[61]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มจากการศึกษางานวิจัยและหลักการของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง วัสดุและอุปกรณ์ รวมถึงวิธีการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ ต่อจากนั้นจะศึกษางานวิจัยที่มีการเลือกใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติหลากหลายชนิด แล้วนำข้อมูลมาออกแบบแนวทางของงานวิจัย เพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากพืชธรรมชาติ พร้อมทั้งตรวจวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

3.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้า สารละลายอิเล็กโทรไลต์และการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ขั้วไฟฟ้าเวคคิง ขั้วแคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยในแต่ละส่วนจะสามารถเตรียมได้ ดังนี้

3.1.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง

ขั้วไฟฟ้าเวคคิงจะประกอบไปด้วยส่วนใหญ่ว่า คือ ส่วนของแก้วเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง ชั้นฟิล์มโลหะออกไซด์ (ไททาเนียมไดออกไซด์) และชั้นของสีย้อมไวแสง

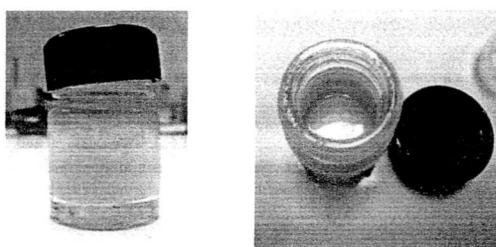
3.1.1.1 แก้วเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสงหรือกระจกนำไฟฟ้า

กระจกนำไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นแก้วเคลือบด้วยสารทินออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออไรด์ ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) หรือ กระจกนำไฟฟ้า FTO ของบริษัทโซลารอนิก (Solaronix SA) ซึ่งมีค่าความต้านทานประมาณ $15 \Omega/\square$ นำมาตัดให้มีขนาด 1.5×2 เซนติเมตร และทำความสะอาดด้วยสารทำความสะอาด ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหรือน้ำ DI และล้างด้วยสารละลายเอทานอล จากนั้นทำให้แห้งด้วยการเป่าลมร้อน จะได้แผ่นแก้วสะอาดสำหรับการเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

3.1.1.2 ชั้นฟิล์มโลหะออกไซด์ (ไททาเนียมไดออกไซด์)

การเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์นี้จะใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เพสต์ (Titanium dioxide paste) ชนิด PST-18NR ที่ผลิตโดยบริษัท JGC Catalysts and Chemicals Ltd. จากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีขนาดอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนเมตร มีสีขาวขุ่น ลักษณะชั้นคล้ายนมข้นจืดรูปที่ 3.1 เป็นชั้นฟิล์มโลหะออกไซด์แบบโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



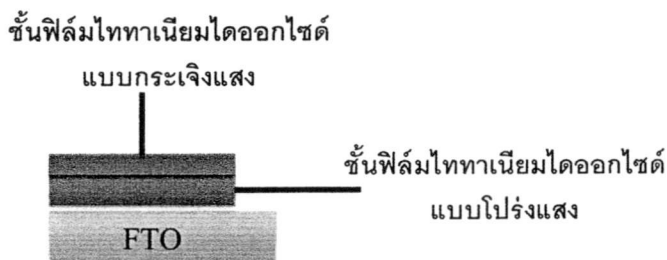
รูปที่ 3.1 ไททาเนียมไดออกไซด์เพสต์ชนิด PST-18NR (TiO_2 แบบโปร่งแสง)

โดยเตรียมชั้นฟิล์มด้วยเทคนิคการพิมพ์แบบสกรีน ขนาด 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร โดยใช้บล็อกสกรีนแสดงในรูปที่ 3.2 ลงบนแผ่นแก้วที่เคลือบสารนำไฟฟ้า (FTO) ขนาด 1.5×2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งทำความสะอาดแล้วหลังจากเคลือบด้วย PST-18NR นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียสเพื่อให้ชั้นฟิล์มที่สกรีนแห้ง ทำการสกรีนไททาเนียมไดออกไซด์เพสต์ซ้ำเป็นจำนวนหลายชั้นจากนั้นจะทำการสกรีนชั้นบนสุดด้วยไททาเนียมไดออกไซด์แบบกระเจิงแสงโดยใช้สารที่เรียกว่า สแคตเตอริงเพสต์ (TiO_2 -scattering paste) ชนิด PST-400C ที่ผลิตโดยบริษัท JGC Catalysts and Chemicals Ltd. ให้เป็นชั้นฟิล์มสำหรับกระเจิงแสง โดยมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.3



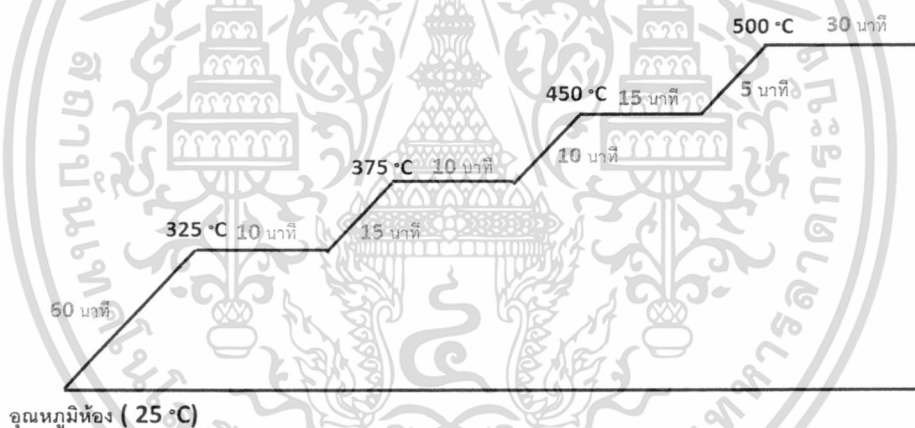
รูปที่ 3.2 บล็อกสกรีนสำหรับเทคนิคการพิมพ์แบบสกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

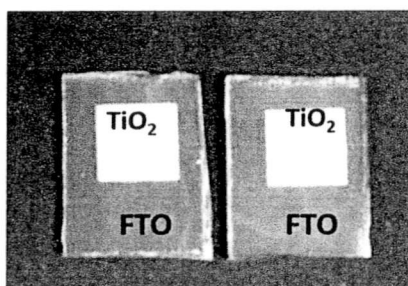


รูปที่ 3.3 โครงสร้างชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

จากนั้นนำฟิล์มไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิการเผาแบบขั้นบันไดดังรูปที่ 3.4 แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งหลังจากการเผาจะได้ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่บนกระจกนำไฟฟ้า FTO ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 อุณหภูมิการเผาแบบขั้นบันไดของการเผาฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 3.5 ชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 ชั้นของสีย้อมไวแสง

การเตรียมชั้นของสีย้อมโดยการนำชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เย็นตัวแล้วมาแช่ในสีย้อมไวแสงที่เตรียมไว้ ซึ่งมีสีย้อมไวแสงจากสีมาตรฐาน N719 (cis-dithiocyanate-N,N'-bis-(4-carboxylate-4'-tetra butyl ammonium-carboxylate-2,2'-bipyridine) ruthenium (II)) จากบริษัทดายโซล (Dyesol) ประเทศออสเตรเลีย และสีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติ โดยใช้เวลาในการแช่สีย้อมอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บไว้ไม่ให้โดนแสง หลังจากนั้นนำชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นจากสีย้อมและล้างด้วยสารละลายชนิดเดียวกันกับที่ใช้เป็นตัวทำละลายสีย้อม แล้ววางพักไว้ให้แห้งสำหรับใช้เป็นขั้วเวคิงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต่อไปดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ชั้นของสีย้อมบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์

3.1.2 การเตรียมขั้วแคโทด

3.1.2.1 การเตรียมแพททินัมเพสต์ (Platinum paste)

ขั้วแคโทดในการวิจัยนี้จะใช้โลหะแพททินัมสำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วนี้โดยจะทำการเตรียมแพททินัมเพสต์ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายเหลวชั้น สีขุ่นตามรูปที่ 3.7 สามารถเตรียมได้จากขั้นตอนดังนี้

ผงแพทตินัม (Tetraammineplatinum (II) chloride (hydrate))
ผสมสารละลายกรด น้ำ DI และสารละลายเอทานอล



เติมสารละลาย เทอพิเนล (Terpineol)



เติมเอทิลเซลลูโลส (Ethyl cellulose) ที่
ละลายในเอทานอล



ผสมให้เข้ากันด้วยโฮโมจีไนเซอร์
(Homogenizer)



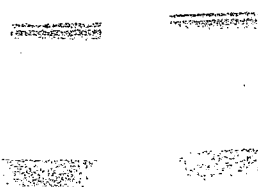
ระเหยตัวทำละลายจนเป็นสารละลายเหลวข้น

3.1.2.2 การเตรียมฟิล์มแพทตินัม

การเตรียมชั้นฟิล์มแพทตินัมจะใช้เทคนิคการพิมพ์แบบสกรีน เตรียมฟิล์มขนาด 0.5 x 0.5 ตารางเซนติเมตร โดยใช้บล็อกสกรีนเช่นเดียวกับชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ แล้วสกรีนลงบนกระจกนำไฟฟ้า FTO ขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งทำความสะอาดและเจาะรูสำหรับเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้ว จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียสเพื่อให้ชั้นฟิล์มที่สกรีนแห้ง และนำไปเผาในเตาเผาตามการขึ้นของอุณหภูมิการเผาแบบขั้นบันไดดังรูปที่ 3.4 จะได้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับประติษฐานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต่อไป

(ก)

(ข)



รูปที่ 3.7 (ก) แพทตินัมเพสต์และ (ข) ชั้นฟิล์มแพทตินัมบนกระจกนำไฟฟ้า FTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเบี่ยงเบนจากการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

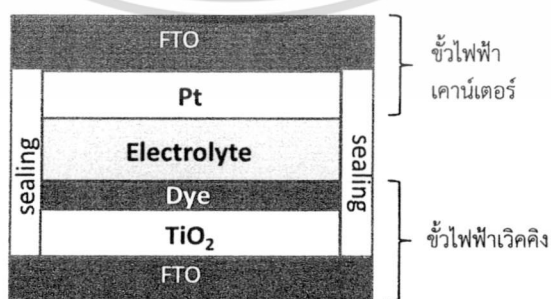
3.1.3 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นระบบไอโอดีน-ไตรไอโอดีน (I/I_3^-) ในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เพื่อให้คืนอิเล็กตรอนกับสีย้อมไวแสง โดยเตรียมสารละลายจากไอโอดีนเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ลิเทียมไอโอดีน (LiI) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร สารละลายเตตระบิวทิลไพริดีน (4-tert-butylpyridine, TBP) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร และอิมิดาโซเลียมไอโอดีน (Imidazolium Iodide) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ในตัวทำละลายคือสารละลาย 3-เมทอกซีโพรพิโอไนไตรล์ (3-methoxypropionitrile) ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายสีน้ำตาลเข้มดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ระบบไอโอดีน-ไตรไอโอดีน (I/I_3^-)

3.1.4 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เมื่อเตรียมส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง คือ ขั้วไฟฟ้าเวคคิง ขั้วแคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้ว จะเป็นขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีโครงสร้างดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 โครงสร้างการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นการนำขั้วไฟฟ้าเวดจ์มาประกบกับขั้วเคาน์เตอร์ที่เป็นแพททินัมโดยมีชั้นฟิล์มพลาสติกเป็นส่วนกัน (sealing) แผ่นแก้วนำไฟฟ้าทั้งสองแผ่น ซึ่งจะเว้นพื้นที่ในส่วนของขั้วไฟฟ้าไว้เท่านั้น โดยฟิล์มพลาสติกที่ใช้จะเป็นพาราฟิล์มหรือกาวพลาสติก ส่วนตรงกลางเป็นชั้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ซึ่งจะเติมเข้าไปหลังการประกบของขั้วทั้งสอง ถ้ามีการเจาะรูขั้วแพททินัมจะปิดรูด้วยกระจกแผ่นเล็กและกาวพลาสติก เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้จะมีขนาดพื้นที่ 0.25 ตารางเซนติเมตร (0.5 x 0.5 ตารางเซนติเมตร)

รูปที่ 3.10 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบแล้ว

3.2 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ

ในตอนเริ่มต้นของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงชนิดของพืชที่เหมาะสมสำหรับนำมาสกัดสีย้อมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเลือกชนิดของพืชที่มีสีและเป็นที่ยูจกในท้องถิ่น และสามารถหาได้ง่ายเพื่อใช้ในการทดลอง

3.2.1 การสกัดสีย้อมไวแสงจากพืชธรรมชาติโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย

พืชธรรมชาติที่นำมาสกัดสีย้อมไวแสงมีหลายชนิด ซึ่งต้องนำมาหั่นและบดให้ละเอียดก่อนทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ สารละลายเอทานอล (เกรดบริสุทธิ์ 95 %) โดยจะแบ่งกลุ่มของพืชที่จะใช้เป็นสีย้อมออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ กลุ่มของพืชสด กลุ่มของพืชแห้งและเมล็ด และกลุ่มของเปลือกไม้

3.2.1.1 กลุ่มของพืชสด ประกอบด้วย ก้างปลาเครือ ใบสาบเสือ ลูกหม่อน บีทรูท และ มังคุด เตรียมโดยนำมาหั่นและบดให้ละเอียดก่อนนำไปแช่ในสารละลายเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ในที่มืด จากนั้นนำมากรองกากออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายมีสีที่ได้สำหรับเป็นสีย้อม

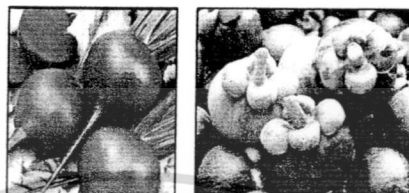
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก้างปลาเครือ (Kang pla khruca)

สาบเสือ (Bitter bush)

ลูกหม่อน (Mulberry)

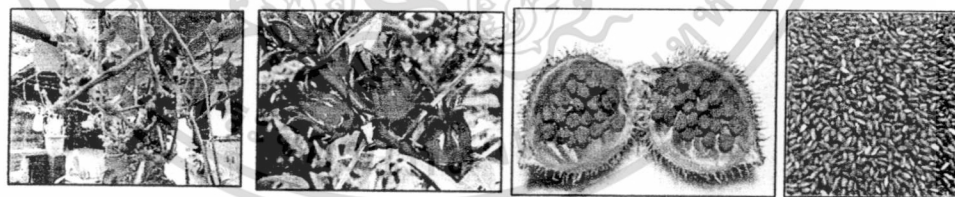


บีทรูท (Beetroot)

มังคุด (Mangosteen)

รูปที่ 3.11 กลุ่มของพืชสดสำหรับนำมาสกัดสีย้อม

3.2.1.2 กลุ่มของพืชแห้งและเมล็ด ประกอบด้วยเมล็ดคำแสด ลูกปรงอบแห้ง กระเจี๊ยบแห้งและข้าวแดง ในกลุ่มนี้สามารถนำไปแช่ในสารละลายเอทานอลได้เลย แล้วใช้แห้งแก้ว คนให้พืชสัมผัสกับสารละลายให้ทั่วประมาณ 10 นาที ก่อนแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ในที่มืด จากนั้นนำมากรองกากออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายมีสีที่ได้สำหรับเป็นสีย้อม



ลูกปรง (Ceylon Spinach)

กระเจี๊ยบ (Roselle)

คำแสด (Achiote)

ข้าวแดง (Monascus)

รูปที่ 3.12 กลุ่มของพืชแห้งและเมล็ดสำหรับนำมาสกัดสีย้อม

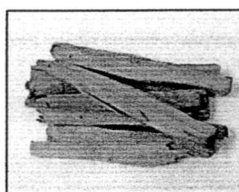
3.2.1.3 กลุ่มของเปลือกไม้ ประกอบด้วย แก่นฝาง แก่นขนุน แก่นเข เปลือกมะม่วง ไม้แดง ประดงเลือด และเปลือกประดู่ การเตรียมเปลือกไม้ที่ใช้ในการทดลองสามารถสกัดสีได้โดยนำไปต้มให้ความร้อนในน้ำปราศจากไอออนจนสีจากเปลือกไม้ละลายออกมา จากนั้นให้กรองกากไม้ออกด้วยผ้ากรองสะอาดและนำสารละลายสีที่ได้ไปให้ความร้อนต่อจนเป็นผงสีแห้ง เมื่อนำไปใช้ทดลองจะนำผงแห้งของสีจากเปลือกไม้ชนิดต่างๆ มาละลายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเอทานอลและใช้แท่งแก้วคนให้ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บสารละลายมีสีที่ได้สำหรับเป็นสีย้อม



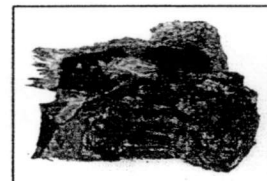
แก่นฝาง (Sappan)



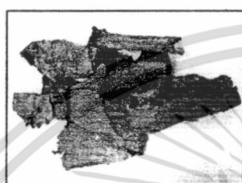
แก่นขนุน (Jackfruit)



แก่นเข (Kae lae)



เปลือกต้นมะม่วง (Mango)



ไม้แดง (Mai Deang)



ประดมเลือด (Milletia)



เปลือกประดู่ (Burmese Ebony)

รูปที่ 3.13 กลุ่มของเปลือกไม้สำหรับนำมาสกัดสีย้อม

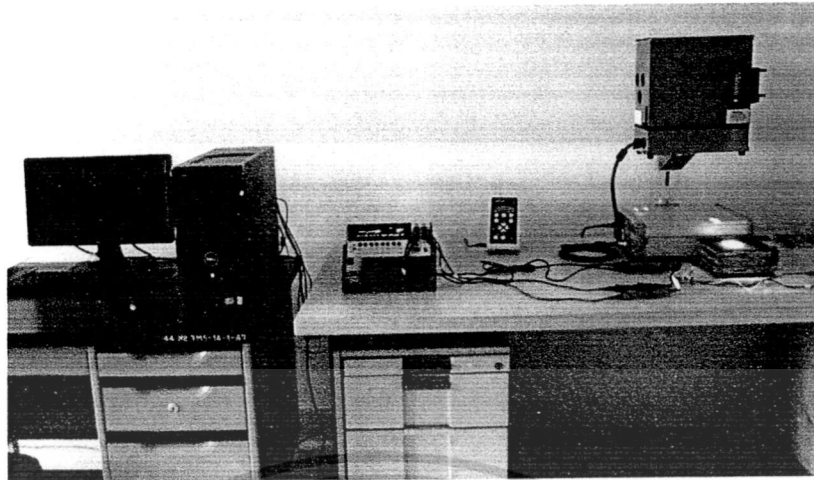
3.2.2 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ในงานวิจัยนี้จะนำสีย้อมที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ของบริษัท PG Instrument รุ่น T90⁺ ซึ่งเป็นเครื่องแบบลำแสงคู่ โดยต้องทำการเจือจางสารละลายสีย้อมก่อนการวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.2.3 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

สารละลายสีย้อมของพืชชนิดต่างๆ ที่สกัดได้จะนำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททานเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการพิมพ์แบบสกรีนจำนวน 3 ชั้น ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบ เซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมที่สกัดจากพืชธรรมชาติสามารถวัดค่าประสิทธิภาพโดยเครื่องโซลาร์ซิมูเลเตอร์ (Solar simulator Instrument) ของบริษัท SOLAR LIGHT ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน A.M. 1.5 ที่ความเข้มแสง 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วย Keithley 2400 electrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 เครื่องโซลาร์ซิมูเลเตอร์พร้อมระบบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า

3.3 การทดสอบหาความหนาที่เหมาะสมของการเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้วิธีการพิมพ์แบบสกรีน

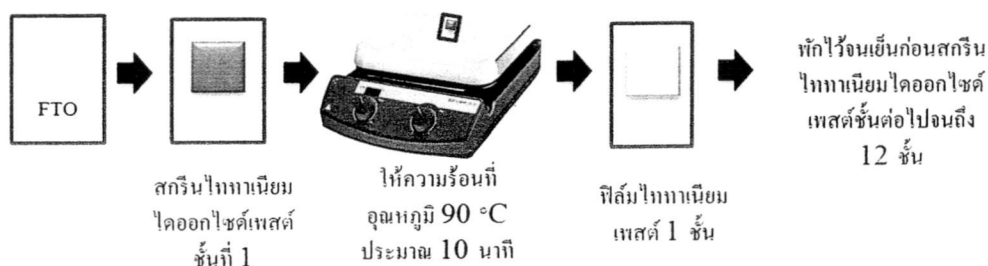
ในงานวิจัยนี้เมื่อได้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติที่สนใจแล้วจะทำการศึกษาถึงระบบที่เหมาะสมในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหาความหนาที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการพิมพ์แบบสกรีน

3.3.1 การเตรียมสีย้อมไวแสง

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้สีย้อมมาตรฐานสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม คือ N719 โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลด้วยตัวทำละลายอะซิโตนทรายต์ผสมกับเทอร์เทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 1:1 เป็นสีย้อมไวแสงของการวิจัยนี้

3.3.2 การเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการพิมพ์แบบสกรีนที่ความหนาต่างๆ

การทดลองนี้จะทดสอบหาความหนาที่เหมาะสมของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการพิมพ์แบบสกรีนที่ความหนา 1 ชั้นจนถึง 12 ชั้น มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.15 ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในแต่ละชั้นจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์

3.3.3 การประกอบและวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การทดลองนี้นำฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ กัน ในช่วงความหนา 1 ชั้น จนถึง 12 ชั้น แच्छ่งในสีย้อมมาตรฐาน N719 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาล้างด้วยสารละลายอะซิโตนทรายต์เล็กน้อยก่อนประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์และวัดค่าประสิทธิภาพโดยเครื่องโซลาร์ซีมิเลเตอร์ ที่แสงมาตรฐาน A.M. 1.5 ที่ความเข้มแสง 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.3.4 การศึกษาลักษณะของฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์

ศึกษาลักษณะของฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) รุ่น S4700 ของ Hitachi โดยดูลักษณะทางกายภาพและความหนาของฟิล์ม

3.3.5 การสร้างกราฟมาตรฐานและการหาปริมาณของสีย้อมมาตรฐานในฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์

3.3.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน เตรียมสารละลายมาตรฐาน N719 ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.03 และ 0.05 มิลลิโมลาร์ ในตัวทำละลายอะซิโตนทรายต์ผสมกับเทอร์เทียรี่บิวทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำสีมาตรฐานที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ วัดหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และนำไปสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น เพื่อหาสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

3.3.5.2 การหาปริมาณของสีย้อมมาตรฐาน สามารถคำนวณหาปริมาณสีย้อมมาตรฐานที่ดูดซับบนฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์โดยนำฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเตรียมไว้ที่จำนวน 1 ชั้น จนถึง 12 ชั้น ที่แช่สารละลายมาตรฐาน N719 แล้วมาแช่ในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อละลายสีย้อมออกจากฟิล์มโพลิเมอร์ไดออกไซด์ สารละลายที่ได้นำมาวัดหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคำนวณหาปริมาณสีย้อมโดยใช้ค่าจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายและสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

3.4 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด

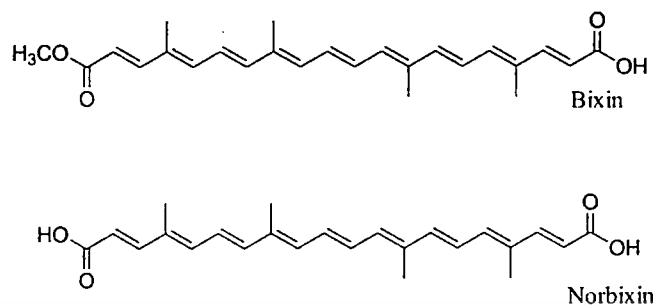
3.4.1 การทดสอบชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสีจากเมล็ดคำแสด

การทดลองนี้มีชนิดของตัวทำละลายที่เลือกใช้สำหรับสกัดเมล็ดคำแสด คือ สารละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เทอร์เทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ (tert-Butanol) อะซิโตนไนไตรด์ (Acetonitrile) เมทานอล (Methanol) และน้ำปราศจากไอออน (DI water) โดยทำการชั่งน้ำหนักของเมล็ดคำแสด 10 กรัมต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 10 นาที และแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ไม่ให้โดนแสง จากนั้นนำมากรองกากเมล็ดออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายมีสีที่ได้สำหรับเป็นสีย้อม แล้วนำสีย้อมวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งต้องทำการเจือจางสารละลายสีย้อมก่อนการวัดค่าการดูดกลืนแสง และวัดปริมาณการดูดซับของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยตัวทำละลายต่าง ๆ บนไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่แช่สีย้อมแล้วในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที เพื่อละลายสีย้อมออกจากฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ จากนั้นนำมาวัดปริมาณสีย้อมด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

สารละลายสีย้อมของเมล็ดคำแสดที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างๆ นำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำการซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ต่อชนิดของตัวทำละลาย แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

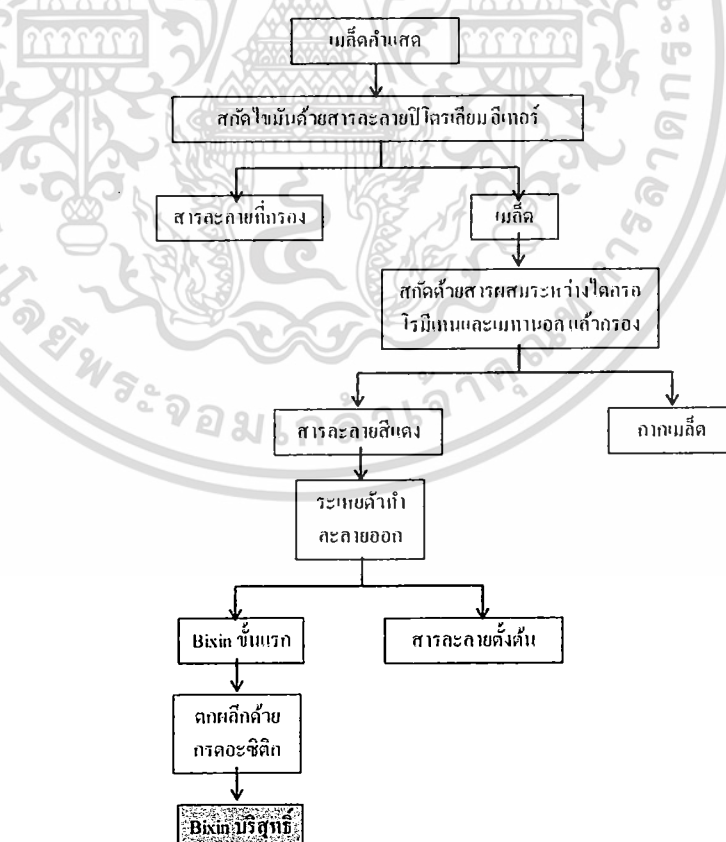
3.4.2 การแยกสารประกอบหลักในเมล็ดคำแสดให้เป็นสารบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

ในเมล็ดคำแสดจะมีสารประกอบหลักในกลุ่มแคโรทีนอยด์ คือ สารประกอบไบซิน (Bixin) และนอร์ไบซิน (Norbixin) [58] มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.16



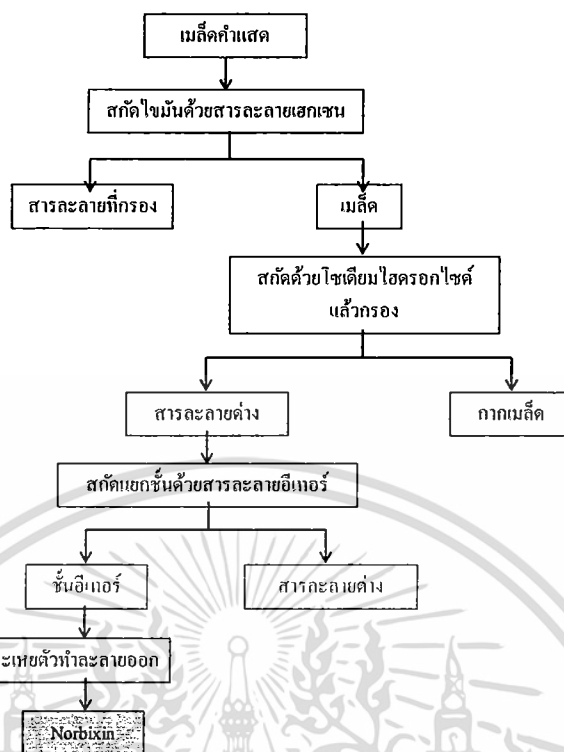
รูปที่ 3.16 โครงสร้างของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินในเมล็ดคําแสด

ในการแยกสารประกอบไบซินมีขั้นตอน ดังรูปที่ 3.17 และการแยกสารประกอบนอร์ไบซินแสดงในรูปที่ 3.18 สารประกอบไบซินและนอร์ไบซินที่บริสุทธิ์จะวิเคราะห์โครงสร้างโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แยกได้ไปละลายในตัวทำละลายเพื่อเป็นสีย้อมไวแสง โดยเตรียมสารละลายของไบซิน สารละลายของนอร์ไบซิน และสารละลายผสมระหว่างไบซินและนอร์ไบซิน



รูปที่ 3.17 การแยกสารประกอบไบซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การแยกสารประกอบนอร์ไบซิน

สีของสารละลายไปซินและสารละลายนอร์ไบซินที่สกัดได้สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบ แล้วหยดอิเล็กโทรไลต์ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.3 การทดสอบเวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อมที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดคำแสด

เตรียมสารละลายสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลาต่างๆ กัน คือ 2, 4, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ซึ่งจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบแล้วเติมอิเล็กโทรไลต์ระหว่างขั้วทั้งสอง จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

3.4.4 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด

ชั่งน้ำหนักของเมล็ดคำแสด 10 กรัมต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 10 นาที และแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด จากนั้นนำมากรองกากเมล็ดออกโดยใช้เอกซาร์นี่เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายมีสีที่ได้เพื่อนำไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสีย้อม โดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลต่อลิตรเป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลต่อลิตร เป็นตัวปรับค่าความเป็นด่าง ตรวจวัดค่า pH ของสีย้อมโดยใช้เครื่องวัด pH ให้ได้ช่วง pH ที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ

นำสีย้อมที่ปรับค่า pH เป็นค่าต่างๆ แล้วมาวัดหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกบกับขั้วแพททินัมแล้วเติมอิเล็กโทรไลต์ระหว่างขั้วทั้งสองให้เต็ม จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพ

3.5 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากมังคุด

3.5.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของมังคุด



รูปที่ 3.19 ส่วนต่างๆของมังคุดที่นำมาสกัดสีย้อมไวแสง

การทดลองนี้นำส่วนต่างๆ ของมังคุด ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นขั้วและหามวก เปลือกมังคุดดิบ เปลือกมังคุดสุก จะสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ส่วนที่สองเป็นยางมังคุดที่สกัดด้วยตัวทำละลายสารละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) เมทานอล (Methanol) และเอทานอล (Ethanol) โดยนำส่วนที่หนึ่งของมังคุดมาปั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ และแช่ทิ้งไว้ในตัวทำละลาย ส่วนของยางมังคุดสามารถนำมาแช่ได้เลย ซึ่งใช้เวลาในการแช่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด จากนั้นนำมากรองกากออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายมีสีที่ได้สำหรับเป็นสีย้อม และวัดหาค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

สารละลายสีย้อมของส่วนต่างๆของมังคุดที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างๆ นำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาประกอบกับข้าวแพทตินัมตามขั้นตอนการประกอบ ทำการประกอบเซลล์ทั้งหมด 3 เซลล์ จากนั้นวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.5.2 การทดสอบเปรียบเทียบตัวทำละลายที่ใช้สกัดยางมังคุดและตัวทำละลายที่ใช้ละลายสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

สกัดสารจากยางมังคุดที่เก็บได้จากมังคุดดิบโดยใช้เมทานอลและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด จากนั้นนำมากรองกากออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายสีที่ได้มาระเหยเอาตัวทำละลายออก ที่อุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดที่ได้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.20 สารสกัดจากยางมังคุด

นำสารสกัดจากยางมังคุดที่สกัดจากสองตัวทำละลายมาละลายในตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ หลังจากแช่สีย้อมนำขึ้นมาประกอบกับข้าวแพทตินัมและเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้เต็ม จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

3.5.3 การทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

นำสารสกัดจากยางมังคุดมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นสีย้อมสำหรับสีย้อมไวแสง โดยจะเตรียมที่ความเข้มข้น 2, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 กรัมต่อลิตร

นำสารละลายสีย้อมของยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ ใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาประกอบกับข้าวแพทตินัมตามขั้นตอนการประกอบ หลังจากเติมอิเล็กโทรไลต์ทำการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การทดสอบเวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อมที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุด

นำสารละลายสีย้อมของยางมังคุดที่เตรียมความเข้มข้นเหมาะสมแล้ว ใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมเป็นเวลาต่างๆ กัน คือ 2, 4, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ซึ่งจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบ แล้วเติมอิเล็กโทรไลต์ระหว่างขั้วทั้งสอง จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.5.5 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุด

นำสารสกัดจากยางมังคุดมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วนำมาปรับค่า pH ของสีย้อม โดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลต่อลิตรเป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 โมลต่อลิตร เป็นตัวปรับค่าความเป็นด่าง ตรวจวัดค่า pH ของสีย้อมโดยใช้เครื่องวัด pH ให้ได้ช่วง pH ที่ 1, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ และใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อมในเวลาที่เหมาะสม แต่ละเงื่อนไขจะทำซ้ำทั้งหมด 3 เซลล์ ขั้วแคโทดเป็นชนิดแพททินัม เมื่อประกอบเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพ

3.6 การทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุด

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุด ทำการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบที่เหมาะสมจากผลการทดลองในส่วนก่อนหน้า และวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

3.7 การสร้างและพัฒนาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

3.7.1 การเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

ในงานทดลองนี้จะเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ 2 แบบ คือ พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติมโพลีเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ปริมาณต่างๆ กัน และ พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน โดยเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์เริ่มต้นเป็นระบบไอโอดีน-ไตรไอโอดีน จากสารละลายจากไอโอดีนเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ลิเทียมไอโอดีนเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร และสารละลายเตตระบิวทิลไพรีดีนเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ในตัวทำละลายคือสารละลาย

เอกสารนี้เป็น 3-เมทอกซีไพโรฟีโนในไตรายต์ จากนั้นเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ปริมาณต่างๆ กัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเติม PEO น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 100000 ลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมไว้ 0.1, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 wt%

ในส่วนของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน จะเตรียมจาก PEO น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 100000, 200000, 300000, 600000 และ 900000 กรัมต่อโมล เติมนลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมไว้ในปริมาณเท่ากัน

3.7.2 การทดสอบหาค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

การทดลองนี้วัดค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์โดยเครื่อง Autolab's potentiostat/ galvanostat ของ Metrohm ในเซลล์ที่มีขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารตัวอย่างขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร

การหาค่าการนำไฟฟ้าสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.1 ดังนี้

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ R = ความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

l = ความยาวของเซลล์ใส่สารตัวอย่าง A = พื้นที่หน้าตัดของเซลล์ใส่สารตัวอย่าง

ρ = ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโอห์มเซนติเมตร

และค่าสภาพนำไฟฟ้าจะเป็นค่าผกผันของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.2)$$

โดย σ คือ ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นซีเมนตต่อเซนติเมตร

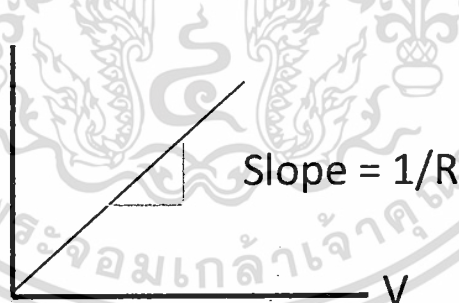
จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ข้างต้น จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (3.3)$$

และเมื่อกำหนดให้ L มีค่าเป็น 1 เซนติเมตร และ A มีค่าเป็น 1 ตารางเซนติเมตร จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{1}{R} \quad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 และ $V = IR$ เมื่อ V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และ I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) สามารถคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าจากค่าความชันของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.22 เมื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 3.22 ค่าการนำไฟฟ้าจากค่าความชันของกราฟของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

3.7.3 การทดสอบหาความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

การทดลองนี้วัดค่าความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุล ต่างๆกัน คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 100000, 200000, 300000, 600000 และ 900000 โดย เครื่อง viscometer ของ Anton Paar วัดสารละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 การวัดประสิทธิภาพและทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

ใช้สีย้อมมาตรฐาน N719 ที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลในตัวทำละลายอะซิโตนทรายด์ผสมกับเทอร์เทียริบิวทิลแอลกอฮอล์เป็นสีย้อมสำหรับการทดลองนี้ แล้วแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีย้อม ซึ่งจะทำการแช่ทั้งหมด 3 เซลล์ แล้วนำขึ้นมาประกอบกับขั้วแพททินัมตามขั้นตอนการประกอบ จากนั้นเติมอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มี PEO ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นไปวัดประสิทธิภาพ

3.7.5 การวัดประสิทธิภาพและทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงจากสารสกัดธรรมชาติและพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

การทดลองนี้ใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุด เตรียมในระบบที่เหมาะสมเป็นสีย้อมไวแสงสำหรับแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งจะทำการแช่ทั้งหมด 3 เซลล์ ใช้ขั้วแพททินัมเป็นขั้วแคโทด และใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มี PEO น้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันเป็นส่วนผสม เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปวัดค่าประสิทธิภาพโดยเครื่องโซลาร์ซีมิวเลเตอร์

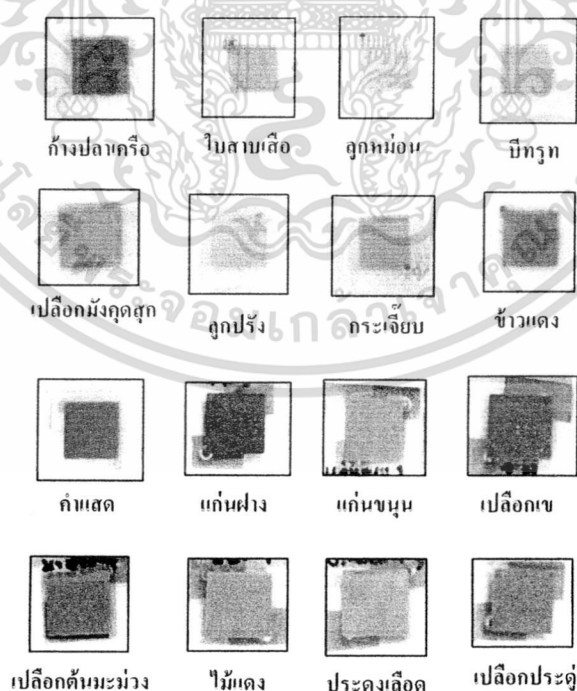
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองจากการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมุ่งเน้นใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติหลายๆชนิดมาทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ศึกษาถึงระบบที่เหมาะสมต่อการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นจะเลือกสีย้อมไวแสงจากสารสกัดธรรมชาติที่น่าสนใจเพื่อนำมาพัฒนาคุณภาพของสีย้อมแล้วนำไปสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงผลการทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นด้วย

4.1 การวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ

ลักษณะสีย้อมบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างจากสีย้อมที่สกัดจากพืชชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเมื่อวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงผลในตารางที่ 4.1 โดยมีสีย้อมที่สกัดจากพืชในกลุ่มพืชสด กลุ่มพืชแห้งและเมล็ด และกลุ่มเปลือกไม้ ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ลักษณะสีย้อมที่ดูดซับลงบนฟิล์ม TiO_2 ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

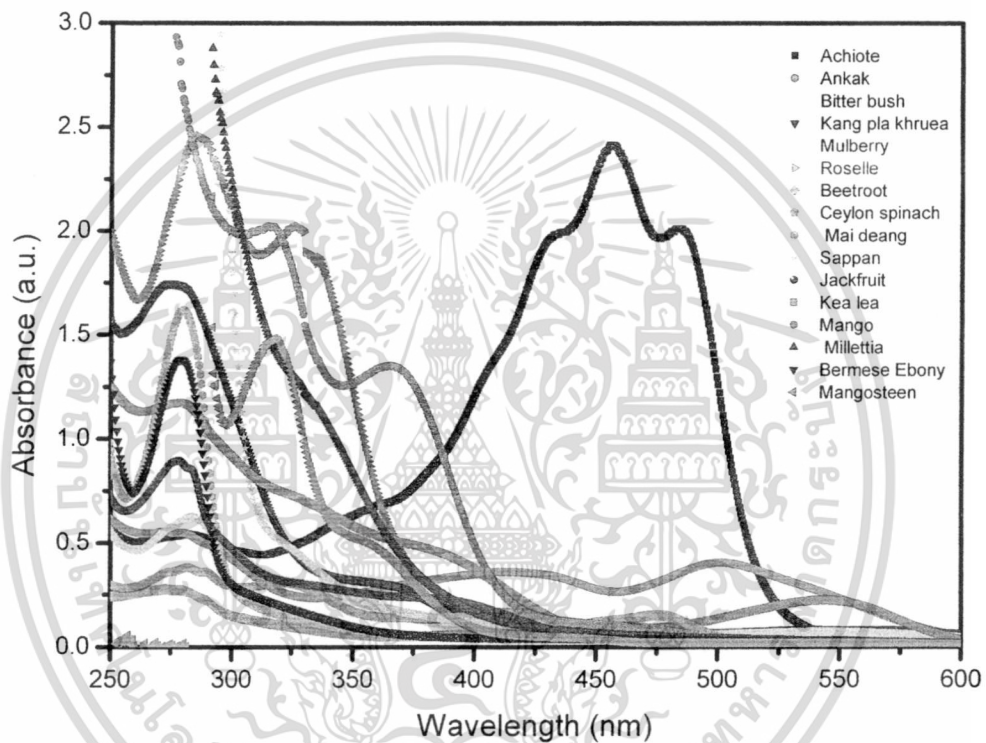
ลักษณะของสีย้อมบนฟิล์ม TiO_2 จากรูปที่ 4.1 ในกลุ่มพืชสดนั้นสีย้อมจากก้างปลาเครือและเปลือกมังคุดให้สีบนฟิล์ม TiO_2 เป็นสีน้ำเงินอมเขียวและม่วงน้ำตาลค่อนข้างเข้ม ส่วนใบสาบเสือ ลูกหม่อน และบีทรูทสุก ให้สีอ่อนๆบนฟิล์ม TiO_2 เป็นสีออกเหลืองน้ำตาล ในกลุ่มของเมล็ดจะมีสีย้อมจากข้าวแดงและคำแสดที่ให้สีเข้มบนฟิล์ม TiO_2 เป็นสีส้มและแดง ส่วนสีย้อมจากลูกปริงและกระเจียบแห้งให้สีอ่อนเนื่องจากสีย้อมเกาะติดบนฟิล์ม TiO_2 ได้ไม่ดี กลุ่มของเปลือกไม้จากเปลือกเขและเปลือกต้นมะม่วงจะให้สีย้อมเป็นน้ำตาล ยกเว้นในส่วนของฝางจะให้สีน้ำตาลแดงเข้มกว่าเปลือกไม้ชนิดอื่น ส่วนเปลือกไม้ของแก่นขนุน ไม้แดง ประดงเลือด และประดู่ จะให้สีน้ำตาลอ่อนบนฟิล์ม TiO_2 การที่พืชต่างๆ ให้สีแตกต่างกันนั้นเป็นการบ่งบอกถึงความหลากหลายของพีชธรรมชาติ ซึ่งเป็นแห่งที่น่าสนใจต่อการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชธรรมชาติชนิดต่างๆ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

ชนิดสารสกัดสีย้อมไวแสง	ชื่อภาษาอังกฤษ	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
ลูกก้างปลาเครือ	Kang pla khrua	0.53 ± 0.01	0.32 ± 0.07	0.68 ± 0.01	0.12 ± 0.03
ต้นสาบเสือ	Bitter bush	0.48 ± 0.03	0.29 ± 0.02	0.56 ± 0.06	0.08 ± 0.01
ลูกหม่อน	Mulberry	0.53 ± 0.02	0.20 ± 0.07	0.64 ± 0.08	0.08 ± 0.04
บีทรูท	Beetroot	0.54 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.64 ± 0.02	0.04 ± 0.01
เปลือกมังคุดสุก	Mangosteen	0.60 ± 0.01	0.81 ± 0.01	0.64 ± 0.00	0.31 ± 0.01
ลูกปริง	Ceylon spinach	0.55 ± 0.00	0.20 ± 0.00	0.62 ± 0.00	0.07 ± 0.00
กระเจียบแห้ง	Roselle	0.52 ± 0.02	0.18 ± 0.05	0.64 ± 0.06	0.06 ± 0.02
เมล็ดคำแสด	Achiote	0.57 ± 0.01	0.74 ± 0.12	0.59 ± 0.06	0.24 ± 0.03
ข้าวแดง	Ankak	0.48 ± 0.01	0.19 ± 0.04	0.62 ± 0.02	0.06 ± 0.01
ฝาง	Sappan	0.45 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.39 ± 0.02	0.01 ± 0.00
แก่นขนุน	Jackfruit	0.57 ± 0.02	0.05 ± 0.00	0.59 ± 0.04	0.02 ± 0.00
เข	Kea lea	0.55 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.54 ± 0.02	0.01 ± 0.00
เปลือกมะม่วง	Mango	0.62 ± 0.04	0.05 ± 0.01	0.58 ± 0.11	0.02 ± 0.00
ไม้แดง	Mai deang	0.60 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.62 ± 0.06	0.01 ± 0.00
ประดงเลือด	Millettia	0.56 ± 0.03	0.02 ± 0.00	0.54 ± 0.03	0.01 ± 0.00
ประดู่	Bermese Ebony	0.65 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.82 ± 0.07	0.03 ± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งสารสกัดจากสีย้อมจะมีค่า J_{sc} ในช่วง 0.02-0.81 mA/cm^2 ค่า V_{oc} มีค่าในช่วง 0.45-0.65 V ค่า FF มีค่า 0.39-0.82 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.31% ในท่ามกลางพืชต่างๆ จะให้ว่ามีพืชที่น่าสนใจอยู่สองชนิดคือ เมล็ดค้ำแสด และเปลือกมังคุด ซึ่งให้ค่า J_{sc} เป็น 0.74 และ 0.81 mA/cm^2 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึง 0.24% และ 0.31% ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ช่วงการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากพืชชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าพืชชนิดต่างๆมีช่วงการดูดกลืนแสงในช่วงตั้งแต่ 250 ถึง 600 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงยูวีและวิสิเบิล โดยค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงให้เห็นว่าสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดและมังคุดให้ค่าที่ดีที่สุดคล้องกับค่าการดูดกลืนแสง โดยช่วงการดูดกลืนแสงของค้ำแสดมีช่วงกว้างตั้งแต่ 300 ถึง 550 นาโนเมตร ส่วนมังคุดมีค่าการดูดกลืนในช่วง 250 ถึง 400 นาโนเมตร สีย้อมจากเมล็ดค้ำแสดค่อนข้างน่าสนใจเพราะมีช่วงการดูดกลืนแสงในย่านที่ตามองเห็น โดยเฉพาะช่วง 375 nm ถึง 525 nm ส่วนมังคุดนั้นถึงแม้จะมีการดูดกลืนแสงได้ดีเฉพาะในช่วงรังสี UV แต่ก็มีที่น่าสนใจมาก เพราะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ดังนั้นการใช้สีย้อมจากพืชทั้งสองในการทำวิจัยให้ลึกขึ้น อาจจะไปสู่การพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบหาความหนาที่เหมาะสมของการเตรียมชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้วิธีการพิมพ์แบบสกรีน

4.2.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีความหนาของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่างกัน

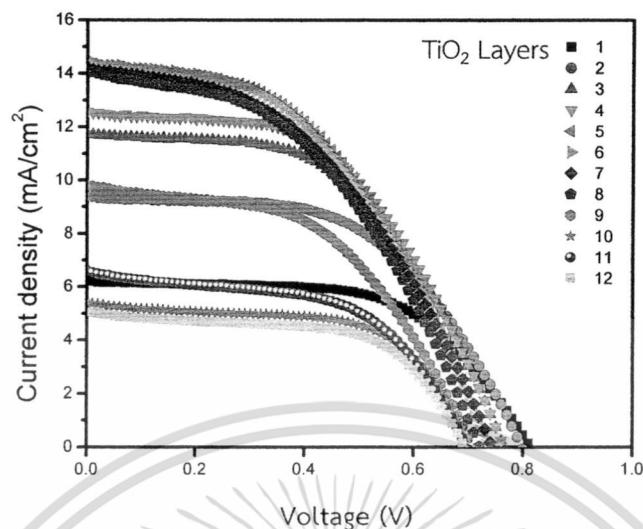
ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จะเริ่มต้นจากการหาความหนาของการสกรีนฟิล์ม TiO_2 ด้วยวิธีการพิมพ์ที่เหมาะสม โดยจะใช้สีย้อมมาตรฐาน N719 เป็นสีย้อมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชุดนี้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อจำนวนชั้นหรือความหนาของฟิล์ม TiO_2 ซึ่งใช้ในสีย้อม N719 มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นจะแสดงลักษณะของสีย้อมที่สีเข้มขึ้นจากสีม่วงอ่อนไปเป็นม่วงเข้มและม่วงดำ ตามความหนาของฟิล์ม TiO_2 ที่เพิ่มขึ้น ปกติแล้วสีมาตรฐาน N719 ที่ใช้เป็นสีย้อมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะให้สีแดงอมม่วงอ่อนๆ จนถึงมีสีแดงอมม่วงเข้มจนเกือบมีสีดำ ขึ้นอยู่กับปริมาณของโมเลกุลของสีย้อมที่เข้าไปในฟิล์ม TiO_2



รูปที่ 4.3 ลักษณะสีย้อมที่ดูดซับลงบนฟิล์ม TiO_2 ที่มีความหนาต่างกัน

จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟความหนาแน่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความหนาของฟิล์ม TiO_2 เป็นค่าต่างๆ โดยมีความหนาดังแต่ 1 ชั้น ไปจนถึงหนา 12 ชั้น สีย้อมที่ใช้เป็นชนิด N719 และใช้อิเล็กโตรไลต์เป็นอิเล็กโตรไลต์แบบของเหลวธรรมดา จะเห็นว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเปลี่ยนไปตามความหนาของฟิล์ม โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของฟิล์ม TiO_2 ที่เพิ่มขึ้น จากหนา 1 ชั้นจนถึงหนา 6 ชั้น และค่า J_{sc} มีค่าค่อยๆ ลดลงเมื่อ TiO_2 หนามากกว่า 6 ชั้น ส่วนค่า V_{oc} ของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเมื่อความหนาของฟิล์ม TiO_2 เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี TiO_2 หนาต่างกัน

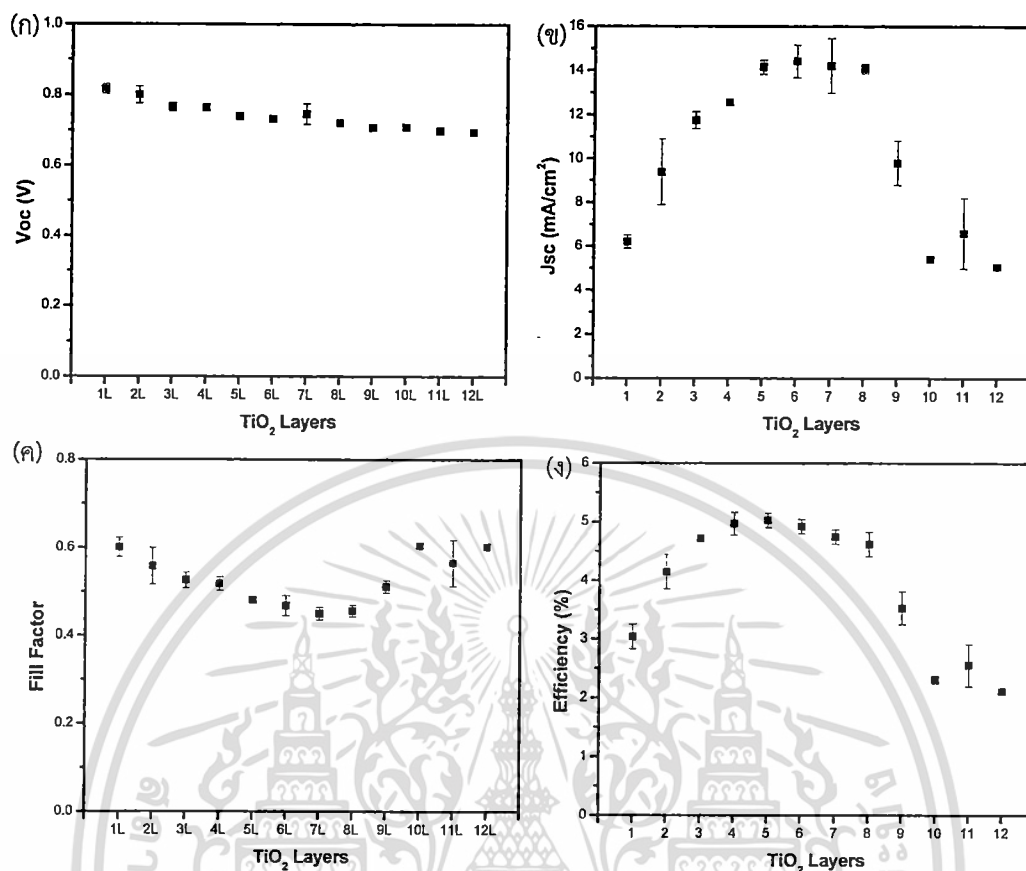
ตารางที่ 4.2 สรุปค่าตัวแปรต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ฟิล์ม TiO_2 หนาต่างกัน (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

จำนวนชั้นของ TiO_2	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
1	0.82 ± 0.01	6.19 ± 0.31	0.60 ± 0.02	3.03 ± 0.21
2	0.80 ± 0.02	9.38 ± 1.5	0.56 ± 0.04	4.14 ± 0.29
3	0.77 ± 0.01	11.74 ± 0.39	0.53 ± 0.02	4.71 ± 0.03
4	0.76 ± 0.01	12.55 ± 0.01	0.52 ± 0.02	4.97 ± 0.20
5	0.74 ± 0.01	14.15 ± 0.32	0.48 ± 0.00	5.02 ± 0.12
6	0.73 ± 0.01	14.41 ± 0.73	0.47 ± 0.02	4.92 ± 0.12
7	0.75 ± 0.03	14.20 ± 1.24	0.45 ± 0.01	4.74 ± 0.12
8	0.72 ± 0.01	14.08 ± 0.23	0.45 ± 0.01	4.61 ± 0.21
9	0.71 ± 0.00	9.80 ± 1.01	0.51 ± 0.01	3.53 ± 0.28
10	0.71 ± 0.00	5.40 ± 0.11	0.60 ± 0.01	2.31 ± 0.07
11	0.70 ± 0.00	6.58 ± 1.61	0.56 ± 0.05	2.55 ± 0.36
12	0.69 ± 0.00	5.05 ± 0.15	0.60 ± 0.01	2.11 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลของการวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฟิล์ม TiO₂ หนาต่างๆกัน จากหนา 1 ชั้นไปจนถึงมีความหนา 12 ชั้น พบว่าค่า J_{sc} มีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงความหนาของฟิล์ม TiO₂ เป็น 1-6 ชั้นแรก โดยมีค่า J_{sc} เท่ากับ 6.19, 9.38, 11.74, 12.55, 14.15 และ 14.41 mA/cm² ตามลำดับ และเมื่อความหนาของฟิล์ม TiO₂ ในช่วง 7-12 ชั้น จะมีค่า J_{sc} ลดลง และมีค่าเป็น 14.20, 14.08, 9.80, 5.40, 6.58 และ 5.05 mA/cm² ค่า V_{oc} ของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อความหนาของฟิล์ม TiO₂ เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า V_{oc} มีค่าเป็น 0.82, 0.80, 0.77, 0.76, 0.74, 0.73, 0.75, 0.72, 0.71, 0.71, 0.70 และ 0.60 V ส่วนค่า FF มีค่าลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นจาก 1 ชั้นไปจนถึง 8 ชั้น และมีค่าเท่ากับ 0.60, 0.56, 0.53, 0.52, 0.48, 0.47, 0.45 และ 0.45 จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ในช่วงความหนา 9-12 ชั้น และมีค่าเท่ากับ 0.51, 0.60, 0.56 และ 0.60 ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของฟิล์ม TiO₂ โดยเฉพาะในช่วงความหนาตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.03%, 4.14%, 4.71%, 4.97% และ 5.02% ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าลดลงตามความหนาของฟิล์ม TiO₂ ที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่ความหนาเป็น 6-12 ชั้น ซึ่งประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็น 4.92%, 4.74%, 4.61%, 3.53%, 2.31%, 2.55% และ 2.11% จากตารางที่ 4.2 นี้เป็นที่น่าสนใจกว่าที่ความหนาของฟิล์ม TiO₂ เป็น 5 ชั้น จะให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงที่สุด

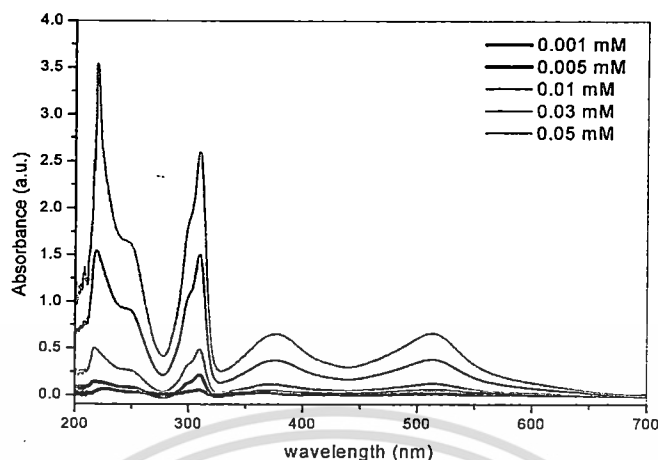
รูปที่ 4.5 แสดงค่า V_{oc}, J_{sc}, FF และ η ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขึ้นกับความหนาของฟิล์ม TiO₂ และจากรูปที่ 4.5 (ข) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นในช่วงฟิล์มที่หนา 6 ชั้นแรก จากนั้นค่า J_{sc} จะมีค่าลดลงตามความหนาที่เพิ่มขึ้น ส่วนรูป 4.5 (ค) แสดงค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามความหนาที่เพิ่มขึ้นจนถึงชั้นที่ 8 จากนั้นค่า FF จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงความหนามากกว่า 8 ชั้น และรูปที่ 4.5 (ง) พบว่าค่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มคล้ายกันกับค่า J_{sc} โดยฟิล์ม TiO₂ ที่หนา 5 ชั้น ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด และมีค่าเท่ากับ 5.02%



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีความหนาของฟิล์ม TiO₂ ต่างกัน : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

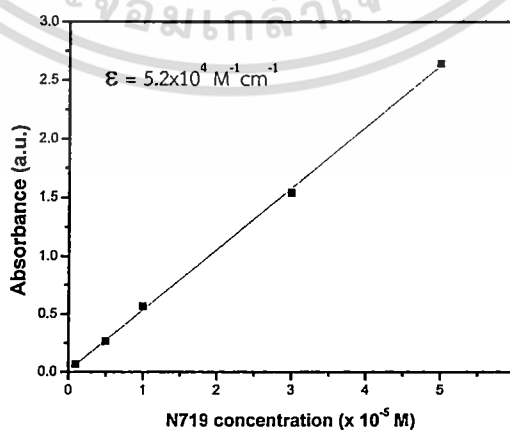
4.2.2 กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับบนฟิล์ม TiO₂

จากรูปที่ 4.6 พบว่าสารละลายสีย้อมไวแสง N719 มีช่วงของการดูดกลืนแสงตั้งแต่ 200 ไปจนถึง 700 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตพิคของการดูดกลืนได้หลักๆ จำนวน 5 พิค ที่ตำแหน่ง 225 nm, 260 nm, 320 nm, 375 nm และ 525nm ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมมาตรฐาน N719

เมื่อนำสารละลายสีย้อมที่เตรียมไว้ในช่วงความเข้มข้น 0.001-0.05 มิลลิโมลาร์ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible spectroscopy สามารถนำค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่วัดได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณโมเลกุลหรือความเข้มข้นของสีย้อมมาตรฐาน N719 ได้ และจากกราฟความสัมพันธ์นี้สามารถใช้หาจำนวนโมเลกุลของสีย้อมมาตรฐาน N719 ที่เข้าไปยึดเกาะอยู่ในฟิล์ม TiO_2 นอกจากนั้นยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (ϵ) ได้อีกด้วย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่า Absorbance กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย (c) ที่ตำแหน่งพีคของการดูดกลืนที่ 309.5 nm ความชันของกราฟสามารถหาค่า ϵ ได้เท่ากับ $5.2 \times 10^4 \text{ (M}^{-1}\text{cm}^{-1})$ ดังรูปที่ 4.7 (ค่า ϵ จะขึ้นกับความยาวคลื่นของแสง)



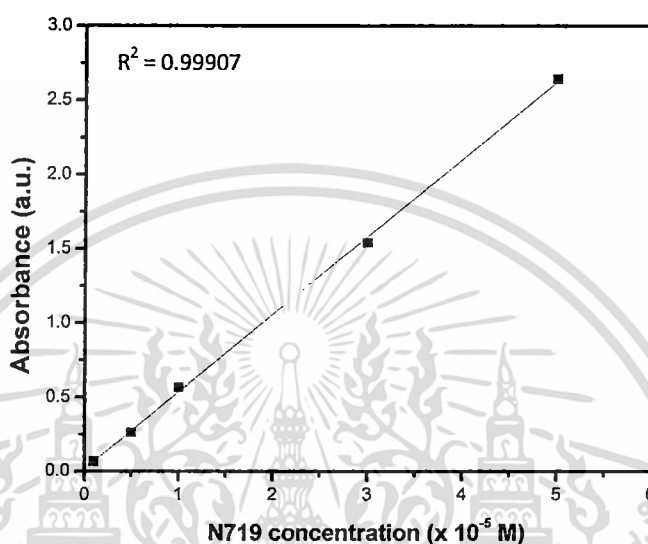
รูปที่ 4.7 การหาค่า extinction coefficient (ϵ) ของสีย้อม N719 ที่ตำแหน่งความยาว

คลื่น 309.5 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในทำนองคล้ายกันเมื่อเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมมาตรฐาน N719 กับค่าการดูดกลืนแสง โดยให้ค่าความเข้มข้นของสีย้อมมาตรฐาน N719 อยู่บนแกน y และค่าการดูดกลืนแสงอยู่บนแกน x จะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นกราฟเส้นตรง และสามารถหาสมการเส้นตรงได้เป็น $y = 52.24x + 0.012$ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมมาตรฐาน N719 และค่าการดูดกลืนแสง

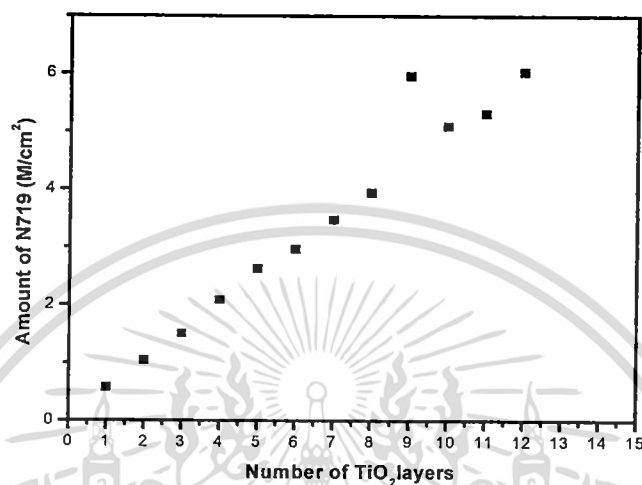
จากสมการ $y = 52.24x + 0.012$ ซึ่งได้จากรูปที่ 4.8 เมื่อให้ค่า y คือ ความเข้มข้นของสีย้อม N719 และ x คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 309.5 นาโนเมตร ซึ่งในทางปฏิบัติจากสมการนี้ เมื่อเราทราบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 309.5 นาโนเมตร (x) ของสีย้อม N719 ที่ถูกละลายออกมาจากฟิล์ม TiO_2 ก็จะทำให้สามารถหาค่าความเข้มข้นของสีย้อม N719 (y) ที่เกาะอยู่ในฟิล์ม TiO_2 ได้

จากรูปที่ 4.9 พบว่าปริมาณของสีย้อมไวแสง N719 ที่เข้าไปยึดเกาะในฟิล์ม TiO_2 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาหรือจำนวนชั้นของฟิล์ม TiO_2 เพิ่มขึ้นและมีลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรง โดยค่าปริมาณสีย้อม N719 ที่เข้าไปในฟิล์ม TiO_2 วัดได้ในช่วง 5.78×10^{-8} ถึง 6.03×10^{-7} โมลต่อตารางเซนติเมตร การเพิ่มขึ้นของปริมาณสีย้อมตามความหนาของฟิล์ม TiO_2 สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่า J_{sc} ตามความหนาของชั้นฟิล์ม TiO_2 โดยเฉพาะในช่วงความหนา 1 - 6 ชั้นแรก อย่างไรก็ตามเมื่อความหนาของชั้นฟิล์ม TiO_2 หนามากกว่า 6 ชั้น ค่าของ J_{sc} กลับมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสวนทางกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสีย้อม N719 ในฟิล์ม ดังรูปที่ 4.7 การลดลงของค่า J_{sc} อาจเป็นผลมาจากการเกิดรอยแตกในฟิล์ม TiO_2 เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การเกิดรอยแตกในฟิล์ม TiO_2 ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

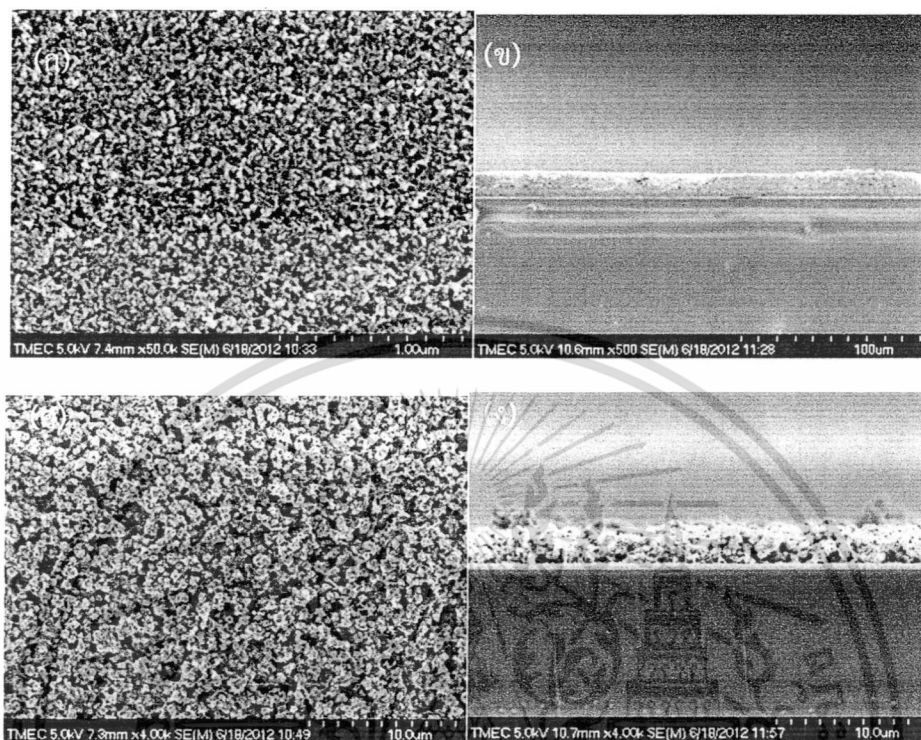
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นฟิล์ม TiO_2 มากยังชั่วของกระจกนำไฟฟ้า FTO ทำได้ยากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของค่า J_{sc} นอกจากนี้การเกิดรอยแตกในฟิล์มเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นยังสอดคล้องกับการลดลงของค่า FF และค่า V_{oc} ตามความหนาของฟิล์ม TiO_2 ที่เพิ่มขึ้น



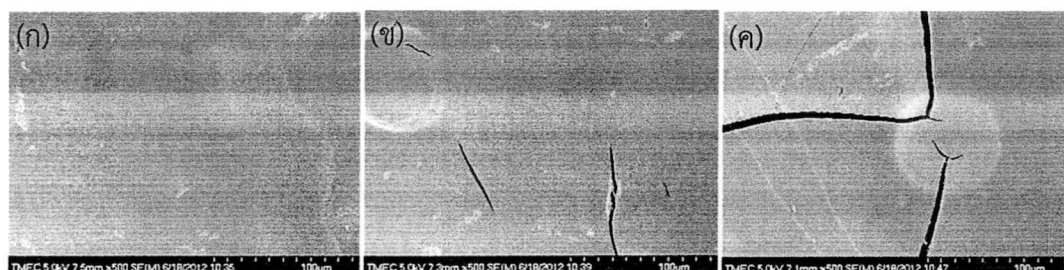
รูปที่ 4.9 ปริมาณของโมเลกุลสีย้อมมาตรฐาน N719 กับความหนาของฟิล์ม TiO_2

4.2.3 การศึกษาลักษณะของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM)



รูปที่ 4.10 ลักษณะของฟิล์ม TiO_2 ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) ชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ความหนา 5 ชั้น, (ข) ภาคตัดขวาง (cross-section) ของชั้นฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ความหนา 5 ชั้น, (ค) ชั้นฟิล์มกระเจิงแสง (scattering) และ (ง) ภาคตัดขวางของชั้นฟิล์มกระเจิงแสง

จากรูปที่ 4.10 (ก) พบว่าที่ฟิล์ม TiO_2 ความหนา 5 ชั้นมีลักษณะของผลึก TiO_2 ขนาดเล็ก และมีรูพรุนกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ และจากภาพภาคตัดขวางของฟิล์ม TiO_2 ความหนา 5 ชั้นในรูปที่ 4.10 (ข) พบว่ามีความหนาประมาณ 14.34 ไมโครเมตร ส่วนรูปที่ 4.10 (ค) พบว่าชั้นกระเจิงแสงจะมีขนาดของผลึกใหญ่กว่าชั้นฟิล์ม TiO_2 แบบโปร่งแสง และรูปที่ 4.10 (ง) พบว่าความหนาของชั้นกระเจิงแสงมีค่าเท่ากับ 2.48 ไมโครเมตร ตามลำดับ



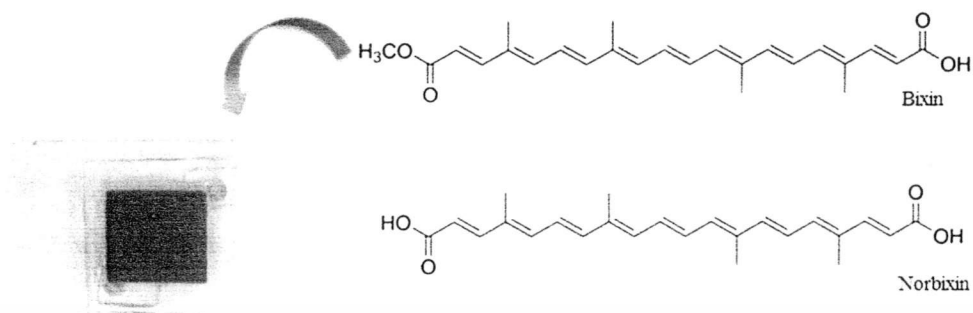
รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวของฟิล์ม TiO_2 ที่ความหนาต่างๆกัน (กำลังขยาย 500 เท่า) ; (ก) ความหนาของฟิล์ม TiO_2 5 ชั้น (ข) ความหนาของฟิล์ม TiO_2 6 ชั้น และ (ค) ความหนาของฟิล์ม TiO_2 8 ชั้น

จากรูปที่ 4.11 พบว่าลักษณะของฟิล์ม TiO_2 เมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดรอยแตกของฟิล์มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยรอยแตกจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในขณะที่ผ่านชั้น TiO_2 นอกจากนี้การลดลงของค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อความหนาของฟิล์ม TiO_2 มีความหนาเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการเกิดรีคอมบิเนชัน (recombination) ระหว่างชั้น TiO_2 กับสีย้อมเพิ่มขึ้น [65] ซึ่งทำให้ค่า V_{oc} มีค่าลดลง

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสด

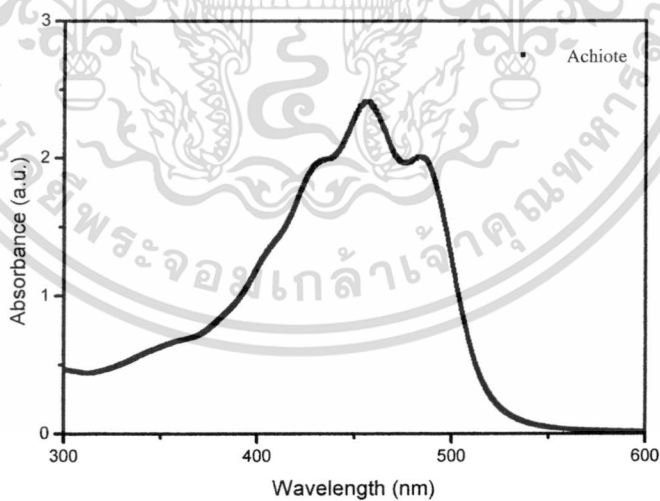
สีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดคำแสดเมื่อถูกย้อมบนฟิล์ม TiO_2 จะให้สีแดงอมส้ม โดยสารประกอบหลักของสารสกัดจากเมล็ดคำแสดจะเป็นสารประกอบที่มีชื่อเรียกว่า ไบซินและนอร์ไบซิน ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีโครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 4.12 สารประกอบนี้มีโครงสร้างแบบพันธะคู่สลับเดี่ยวเป็นสายโซ่ยาว ซึ่งเป็นส่วนที่ให้อิเล็กตรอนได้ดี และมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (-COOH) ที่ช่วยในการยึดเกาะบนผิวของอนุภาค TiO_2 เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดคำแสดจะมีพีคการดูดกลืนแสงเป็นลักษณะพีคกว้างๆอยู่ในช่วงประมาณ 350-550 nm ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จากโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินพบว่าไบซินมีหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เอสเตอร์ (-COO-) ที่ส่วนปลายของโครงสร้าง ซึ่งต่างกับนอร์ไบซินที่มีหมู่คาร์บอกซิลเหมือนกันที่ปลายทั้งสอง โดยหมู่คาร์บอกซิลมีอิทธิพลในการดึงอิเล็กตรอนให้กระจายตัวไปที่ส่วนปลายทั้งสองด้านของนอร์ไบซิน และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากสารประกอบนอร์ไบซินมีค่าลดลง และน้อยกว่าที่ใช้สีย้อมจากสารประกอบไบซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบ Bixin และ Norbixin

ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของเมล็ดค้ำแสดในรูปที่ 4.13 มีการดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible) สเปกตรัมมีลักษณะเป็นพีคฐานกว้าง ครอบคลุมตั้งแต่ความยาวคลื่น 350 nm ไปจนถึง 550 nm และมียอดสเปกตรัมประมาณ 3 จุด ที่ความยาวคลื่น 420, 450 และ 480 nm ตามลำดับ การที่สารสกัดจากเมล็ดค้ำแสดมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงค่อนข้างกว้าง โดยเฉพาะในย่านที่ตามองเห็น ถือเป็นข้อดีและน่าสนใจต่อการนำไปประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

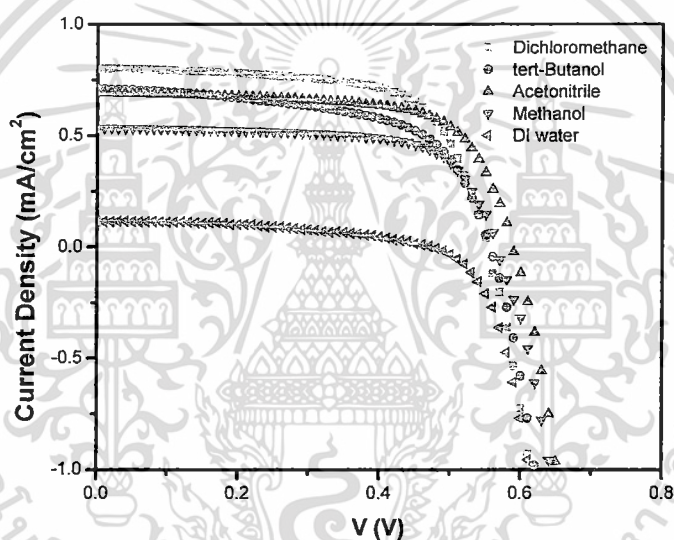


รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การทดสอบชนิดของสารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมจากเมล็ดกาแฟ

สารสกัดจากเมล็ดกาแฟให้สีส้มหรือสีแดงเข้มขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารสีในเมล็ดกาแฟต่อตัวทำละลายนั่น ซึ่งเมล็ดกาแฟสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิด โดยสารละลายไดคลอโรมีเทนสามารถสกัดสีออกจากเมล็ดกาแฟได้มากที่สุด สีที่ได้เป็นสีแดงเข้ม ส่วนสารละลายเทอเทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์ใช้สกัดสีได้ไม่ดึนนัก ซึ่งจะให้สีส้มอมแดง เช่นเดียวกับการใช้สารละลายอะซิโตนในทรายดำ ส่วนสารละลายเมทานอลสกัดสีจากเมล็ดกาแฟได้น้อยจึงได้สีส้มอ่อนและพบว่าน้ำปราศจากไอออน ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นการสกัดสีจากเมล็ดกาแฟ ซึ่งให้สีที่จางมาก เมื่อนำสีย้อมที่สกัดได้ไปสร้างเซลล์แสงอาทิตย์และวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะให้ผลดังรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.3



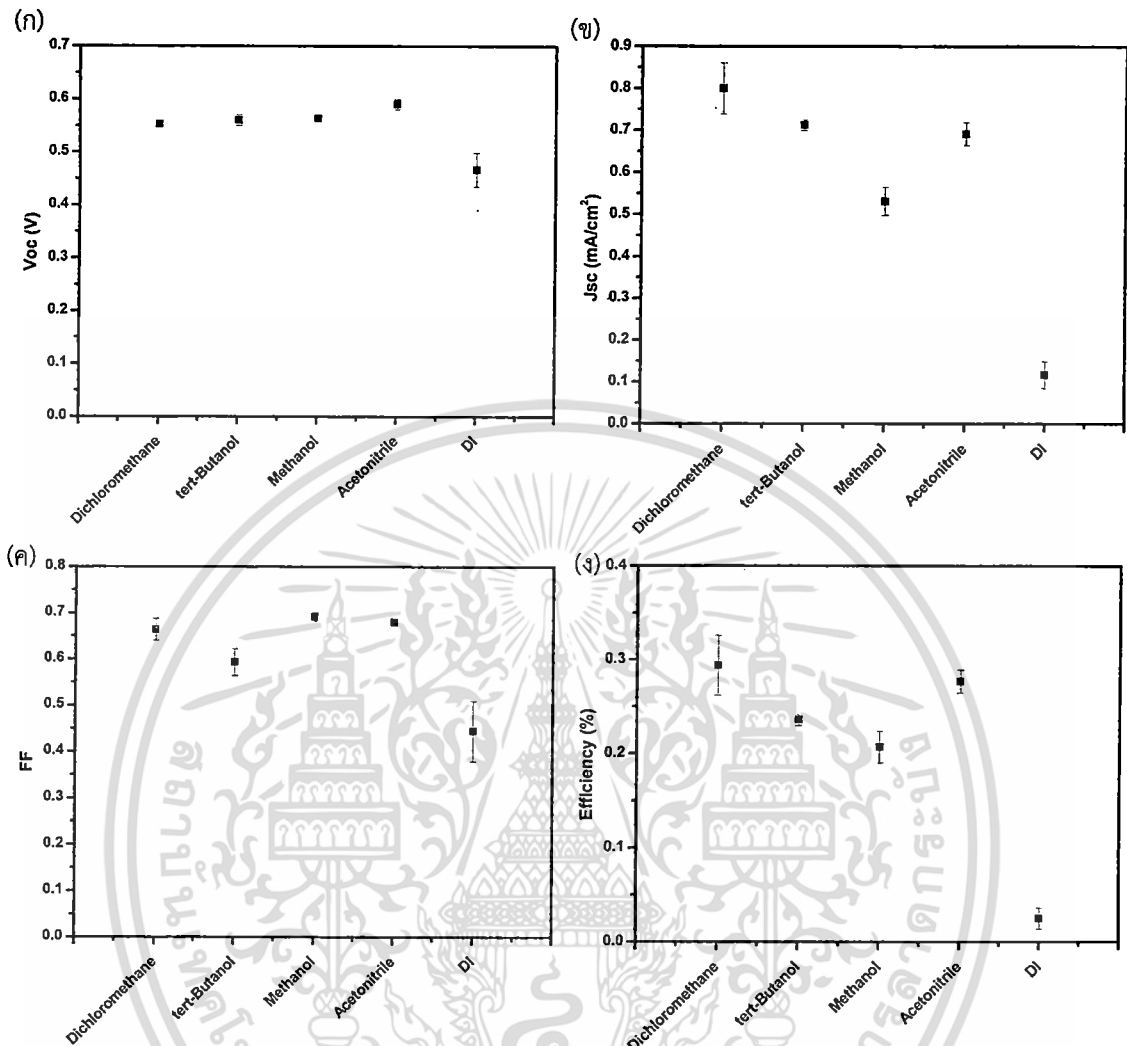
รูปที่ 4.14 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดกาแฟซึ่งละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่า V_{oc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมซึ่งละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ มีค่าต่างกันเล็กน้อยดังตารางที่ 4.3 แต่ค่ากระแสลัดวงจรของสีย้อมจากตัวทำละลายต่างๆกันให้ค่าที่แตกต่างกันมาก โดยค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมของสารสกัดเมล็ดกาแฟที่ใช้สารละลายไดคลอโรมีเทนให้ค่าสูงที่สุด

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟซึ่งละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

ชนิดของสารละลาย	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
ไดคลอโรมีเทน	0.55 ± 0.01	0.80 ± 0.06	0.66 ± 0.02	0.29 ± 0.03
เทอเทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์	0.56 ± 0.01	0.71 ± 0.01	0.59 ± 0.03	0.24 ± 0.01
อะซิโตนทราายด์	0.59 ± 0.01	0.69 ± 0.03	0.68 ± 0.01	0.28 ± 0.01
เมทานอล	0.56 ± 0.01	0.53 ± 0.03	0.69 ± 0.01	0.21 ± 0.02
น้ำ	0.47 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.44 ± 0.06	0.03 ± 0.01

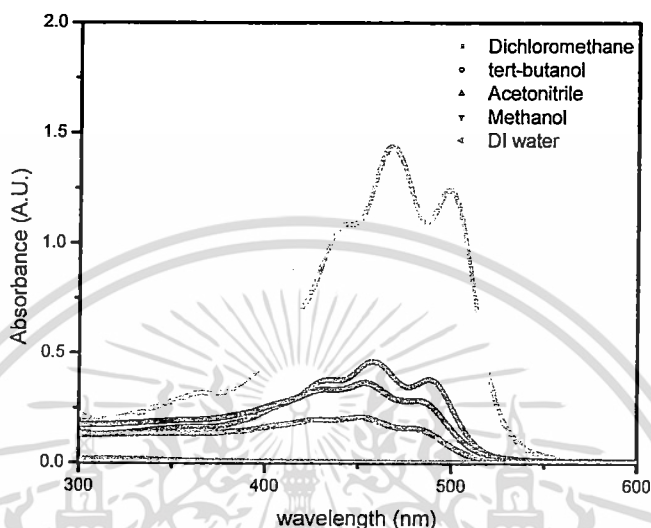
จากตารางที่ 4.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จากสารสกัดของสีย้อมจากเมล็ดกาแฟโดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนมีค่า J_{sc} เท่ากับ 0.80 mA/cm² ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.55 V, ค่า FF คือ 0.66 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 0.29% ตัวทำละลายเทอเทียรีบิวทิลแอลกอฮอล์มีค่า J_{sc} เป็น 0.71 mA/cm², ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.56 V, ค่า FF เท่ากับ 0.59 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.24% ตัวทำละลายอะซิโตนทราายด์ มีค่า J_{sc} เท่ากับ 0.69 mA/cm², ค่า V_{oc} เป็น 0.59 V, ค่า FF เท่ากับ 0.68 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.28% ตัวทำละลายเมทานอลมีค่า J_{sc} เท่ากับ 0.53 mA/cm², ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.56 V, ค่า FF เท่ากับ 0.69, และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.21% ตามลำดับ และตัวทำละลายน้ำ DI มีค่า J_{sc} เป็น 0.12 mA/cm², ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.47 V, ค่า FF เท่ากับ 0.44 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.03%



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดงด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

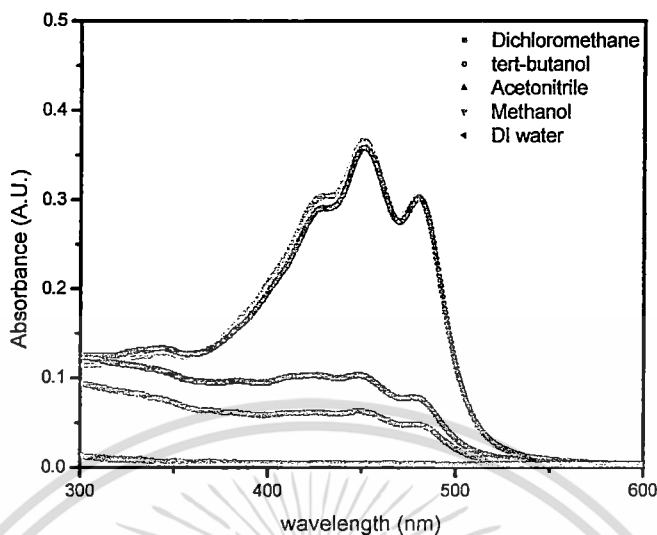
จากรูปที่ 4.15 พบว่าค่า V_{oc} และค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมของสารสกัดเมล็ดค้ำแสดงด้วยตัวทำละลายต่างๆนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นตัวทำละลายที่เป็นน้ำ DI ซึ่งให้ค่า V_{oc} และ FF ที่ต่ำมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะตัวทำละลายน้ำ DI สามารถละลายสารสีย้อมจากเมล็ดค้ำแสดงได้ไม่ค่อยดีซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในรูปที่ 4.16 แต่ในส่วนของค่า J_{sc} มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละตัวทำละลาย โดยเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมของสารสกัดเมล็ดค้ำแสดงด้วยไดคลอโรมีเทนให้ค่า J_{sc} สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากไดคลอโรมีเทนมีความสามารถในการสกัดสีจากเมล็ดค้ำแสดงได้ดี (อาจเป็นเพราะมีค่าสภาพขั้วที่เหมาะสมกับสีย้อมเมล็ดค้ำแสดง) ซึ่งหมายความว่าสารสีย้อมที่อยู่ในเมล็ดค้ำแสดงสามารถสกัดออกมาได้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่มากกว่าการใช้ตัวทำละลายอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในรูปที่ 4.17 ที่มีความเข้มของสเปกตรัมสูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ ดังนั้นการที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากเมล็ดคำแสดมีค่า J_{sc} สูงสุดจึงส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าตัวอื่นๆ ด้วย



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

การที่ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนสามารถละลายสีย้อมจากเมล็ดคำแสดได้ดี ส่งผลให้โมเลกุลของสีย้อมเมล็ดคำแสดสามารถเข้าไปยึดเกาะกับฟิล์ม TiO_2 ได้มากขึ้น การที่มีจำนวนโมเลกุลของสีย้อมมากขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนเมื่อโดนฉายด้วยแสง และทำให้มีค่า J_{sc} สูงขึ้นนั่นเอง ซึ่งจากรูปที่ 4.17 เป็นการยืนยันถึงความสามารถในการละลายสีย้อมจากเมล็ดคำแสดของตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ซึ่งให้ค่าความเข้มของสเปกตรัมสูงกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น



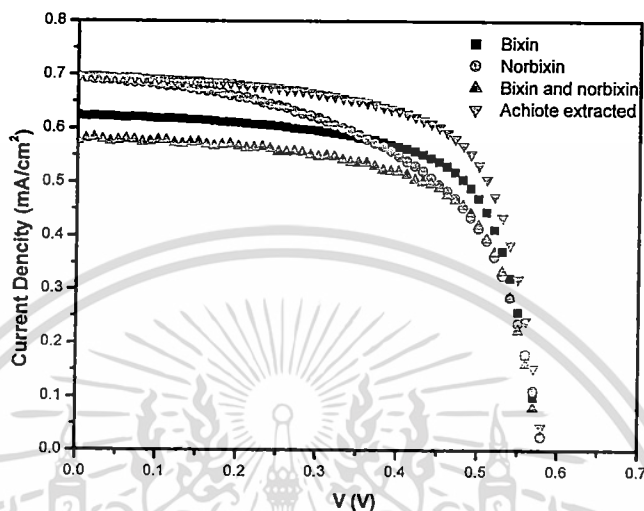
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมจากเมล็ดคำแสดที่เกาะอยู่ในฟิล์ม TiO_2 โดยสีย้อมนี้ใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน

ดังนั้นโดยสรุปกล่าวได้ว่าสารละลายสำหรับสีกัดสีย้อมจากเมล็ดคำแสดที่เหมาะสมคือ สารละลายไดคลอโรมีเทนซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด มีค่าเป็น 0.29% อาจมีเหตุผลมาจาก สภาพความเป็นขั้วของไดคลอโรมีเทนและสารประกอบของเมล็ดคำแสดเอง มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกัน ซึ่งสารประกอบในเมล็ดคำแสดส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบโบชิน และจากโครงสร้างของสารโบชินที่เป็นสายยาวของพันธะคู่สลับเดี่ยว และมีหมู่คาร์บอกซิลและ เอสเทอร์ที่ด้านปลายของโครงสร้าง ที่แสดงความเป็นขั้วเล็กน้อย จึงทำให้สามารถสีกัดสาร โบชินออกมาได้ปริมาณมากเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นไดคลอโรมีเทน

4.3.2 การแยกสารประกอบหลักในเมล็ดคำแสดให้เป็นสารบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

เมื่อนำเมล็ดคำแสดมาผ่านขั้นตอนการแยกสารจะได้เป็นสารประกอบโบชินและนอร์โบชิน สำหรับเป็นสีย้อมไวแสงของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และเมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพ จะได้ กราฟระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.18 ส่วนตัวแปรอื่นๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.4 จากการทดลองพบว่าค่า V_{oc} ของสารประกอบโบชิน นอร์โบชิน และ สารสีกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านกระบวนการแยกสาร มีค่า เท่ากัน ที่ V_{oc} เท่ากับ 0.58 V ส่วนค่า FF จะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ระหว่าง 0.65 – 0.68 ยกเว้น สารนอร์โบชิน ที่ให้ค่า FF เท่ากับ 0.56 ซึ่งต่ำกว่าเซลล์อื่นๆ ส่วนค่า J_{sc} ของเซลล์จากสีย้อมสารประกอบโบชิน นอร์โบชิน โบชินผสมกับนอร์โบชิน และสารสีกัดจากเมล็ดคำแสดด้วย สารละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านกระบวนการแยกสารจะมีค่าเป็น 0.62, 0.70, 0.58 และ 0.70 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mA/cm^2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมของสารสกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านกระบวนการแยกสาร จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.27%

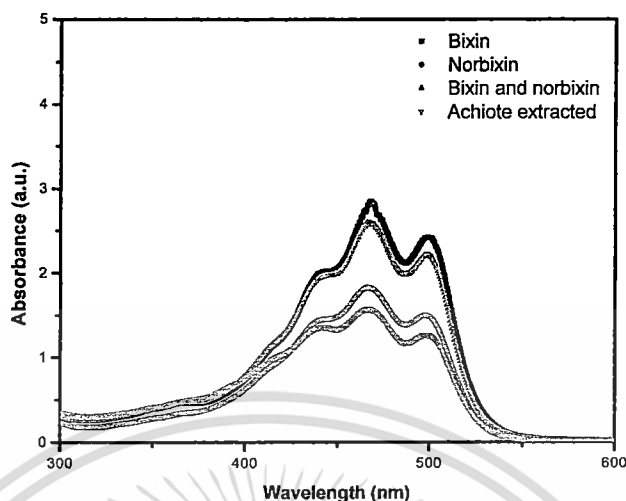


รูปที่ 4.18 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมของสารละลายไบซิน นอร์ไบซิน สารผสมของไบซินและนอร์ไบซิน และสารสกัดของเมล็ดคำแสดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านการแยกสาร

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมจากสารสกัดของเมล็ดคำแสด (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

สีย้อม	ชนิดตัวทำละลาย	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
ไบซิน	ไดคลอโรมีเทน	0.58 ± 0.00	0.62 ± 0.01	0.65 ± 0.04	0.24 ± 0.00
นอร์ไบซิน	ไดคลอโรมีเทน	0.58 ± 0.00	0.70 ± 0.03	0.56 ± 0.02	0.22 ± 0.02
ไบซินและนอร์ไบซิน	ไดคลอโรมีเทน	0.58 ± 0.07	0.58 ± 0.00	0.67 ± 0.01	0.22 ± 0.07
สารสกัดเมล็ดคำแสด	ไดคลอโรมีเทน	0.58 ± 0.00	0.70 ± 0.02	0.68 ± 0.01	0.27 ± 0.01

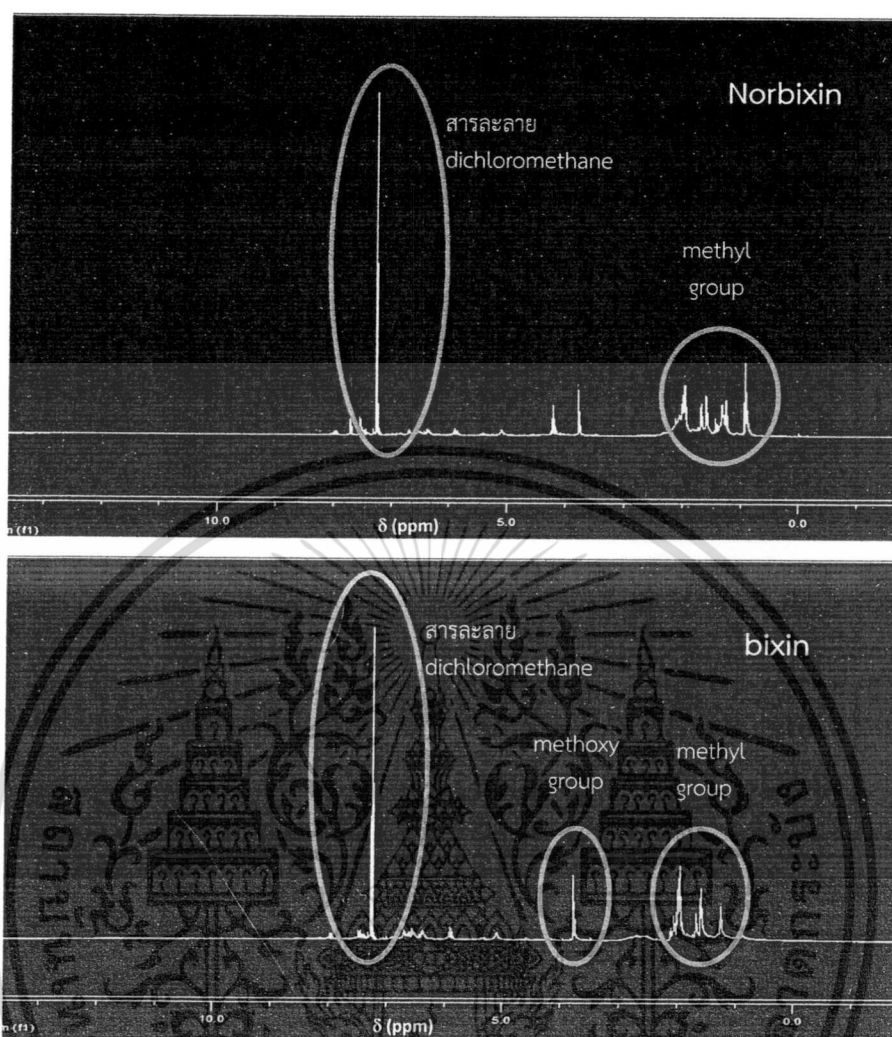
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไบซิน นอร์ไบซิน สารผสมของไบซินและนอร์ไบซิน และสารสกัดของเมล็ดค้ำแสดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านการแยกสาร

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเมล็ดค้ำแสดแสดงดังรูปที่ 4.19 ซึ่งทุกตัวอย่างมีรูปแบบหรือลักษณะของสเปกตรัมคล้ายกัน โดยจะมียอดสเปกตรัมอยู่ 3 ค่า ซึ่งไบซินมียอดสเปกตรัมประมาณ 442 467.5 และ 500.5 นาโนเมตร ส่วนนอร์ไบซินประมาณ 445 467 และ 498 นาโนเมตร เมื่อนำสารประกอบที่ผ่านการสกัดแยกจากเมล็ดค้ำแสดไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีหรือเอ็นเอ็มอาร์ (NMR) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.20 จากผลการวิเคราะห์เอ็นเอ็มอาร์ที่ตำแหน่งเคมีคัลชิฟต์ที่ 3.76 ppm จะบ่งชี้ถึงกลุ่มของเมทอกซี (methoxy group) ที่กลุ่มปลายของไบซิน และที่ตำแหน่ง 1.9 และ 2.0 ppm จะบอกถึงกลุ่มเมทิล (methyl group) ของสารประกอบทั้งสอง [58] เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินให้รูปแบบของสเปกตรัม NMR ที่คล้ายกันมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากขั้นตอนการแยกของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินไม่สมบูรณ์โดยจะแยกสารไบซินออกมาได้ส่วนใหญ่ แต่แยกนอร์ไบซินออกมาไม่ทัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลองที่พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ของสีย้อมจากไบซินและนอร์ไบซินมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนที่ไม่ผ่านการบวนการแยกสารให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุด อาจเนื่องมาจากในสารสกัดประกอบไปด้วยทั้งไบซินและนอร์ไบซินผสมกันอยู่ ซึ่งการผสมกันอย่างเหมาะสมตามธรรมชาตินี้อาจมีส่วนช่วยส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการเกาะกับไททานเนียมไดออกไซด์ได้มากขึ้นเมื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง [6] และส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



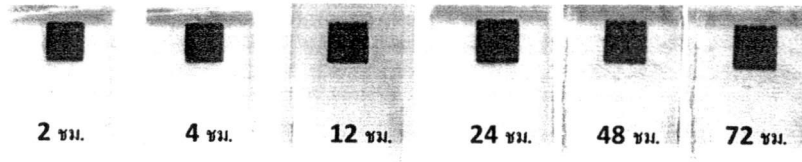
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็นเอ็มอาร์ของสารประกอบไบซินและนอร์ไบซินที่ได้จากการสกัดเมล็ดคำแสด

4.3.3 การทดสอบเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีสกัดจากเมล็ดคำแสดของฟิล์ม TiO_2

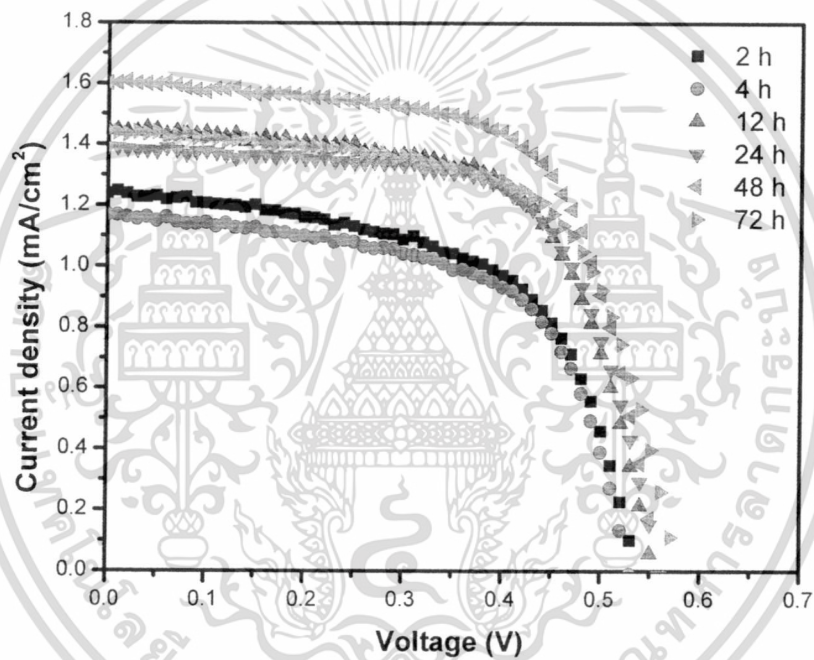
สีที่ย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน จะถูกใช้เป็นสีย้อมไวแสงสำหรับการหาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีบนฟิล์ม TiO_2 และจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้เวลาในการย้อมสีนานขึ้น จะเห็นว่าลักษณะของสีที่ย้อมที่เกาะอยู่บนฟิล์ม TiO_2 มีสีแดงอมส้มเข้มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการย้อมสี ดังแสดงในรูปที่ 4.21

การที่เห็นสีเข้มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการย้อมนั้นแสดงว่า มีปริมาณสีย้อมหรือจำนวนโมเลกุลของสีย้อมสามารถเข้าไปยึดเกาะกับฟิล์ม TiO_2 ได้มากขึ้นเมื่อเวลาในการย้อมเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ลักษณะการติดสีของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคำแสดซึ่งใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์ม TiO_2 ต่างกัน



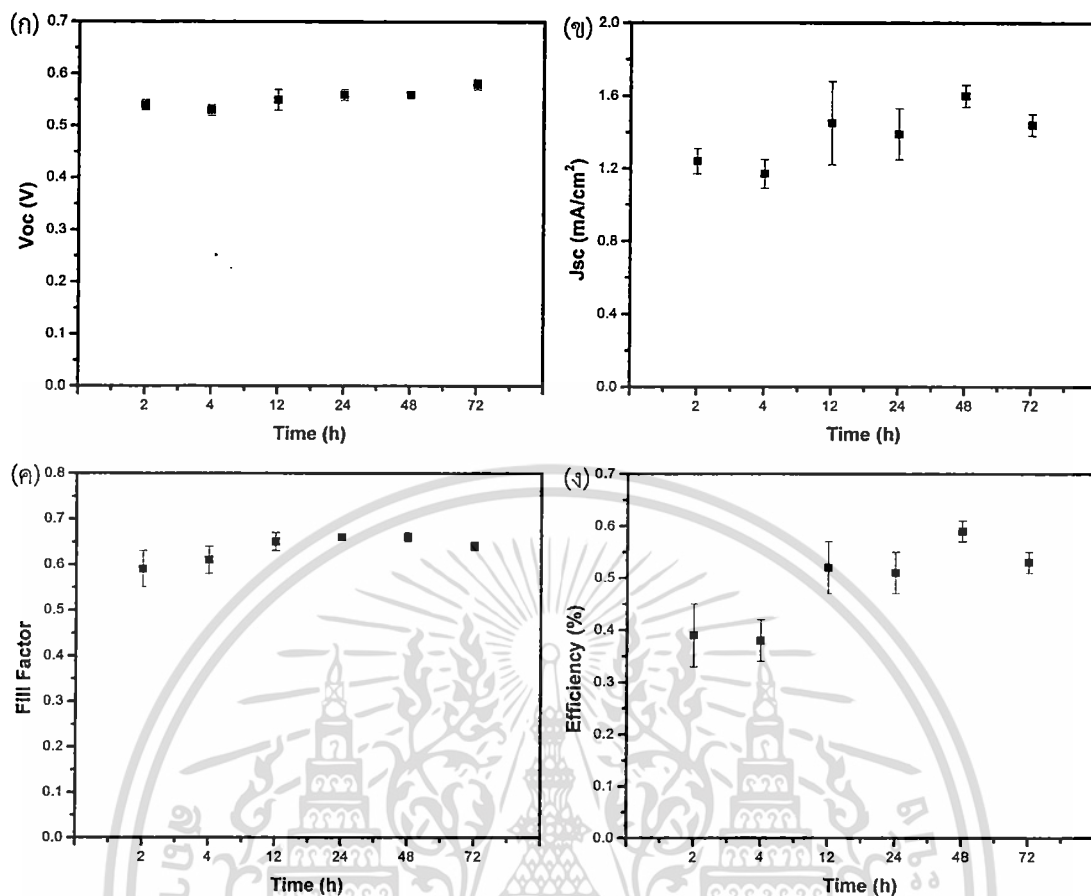
รูปที่ 4.22 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดจากเมล็ดคำแสดที่เวลาในการแช่ฟิล์ม TiO_2 ในสีย้อมต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

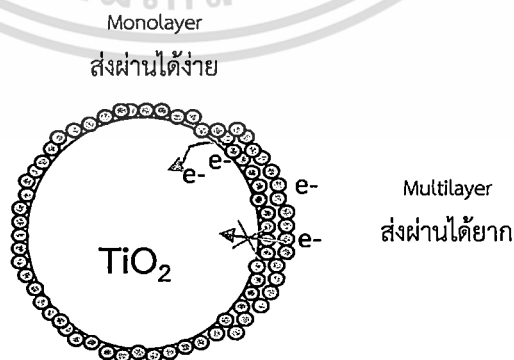
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟที่ใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

เวลาในการแช่สีย้อม (ชั่วโมง)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
2	0.54 ± 0.01	1.24 ± 0.07	0.59 ± 0.04	0.39 ± 0.06
4	0.53 ± 0.01	1.17 ± 0.08	0.61 ± 0.03	0.38 ± 0.04
12	0.55 ± 0.02	1.45 ± 0.23	0.65 ± 0.02	0.52 ± 0.05
24	0.56 ± 0.01	1.39 ± 0.14	0.61 ± 0.00	0.51 ± 0.04
48	0.56 ± 0.00	1.60 ± 0.06	0.66 ± 0.01	0.59 ± 0.02
72	0.58 ± 0.01	1.44 ± 0.06	0.64 ± 0.01	0.53 ± 0.02

จากรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าและตารางที่ 4.5 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด V_{oc} ของแต่ละเงื่อนไขที่ใช้เวลาในการย้อมต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.53 – 0.58 V แต่ค่า J_{sc} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการย้อมสี จาก 2, 4, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเป็น 1.24, 1.17, 1.45, 1.39 และ 1.60 mA/cm² ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.23 ส่วนเมื่อย้อมสีเป็นเวลา 72 ชั่วโมง กลับพบว่าค่า J_{sc} เท่ากับ 1.44 mA/cm² ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะว่ามีจำนวนโมเลกุลของสีย้อมเข้าไปในฟิล์ม TiO₂ มากเกินไป การมีโมเลกุลของสีย้อมเข้าไปเคลือบบนผิวของอนุภาค TiO₂ หลายชั้นมากเกินไปเป็นการส่งผลในด้านลบทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลง เพราะว่ามีโมเลกุลของสีย้อมที่เคลือบอยู่ชั้นแรกเท่านั้นที่มีความสำคัญเพราะสามารถส่งผ่านพาหะอิเล็กตรอนจากสีย้อมเข้าไปยัง TiO₂ ได้ง่ายกว่าสีย้อมที่เคลือบอยู่ในชั้นนอกๆ [66, 67] ซึ่งแบบจำลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ย้อมสีเป็นเวลา 2, 4, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 0.39, 0.38, 0.52, 0.51, 0.59 และ 0.53% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพมีลักษณะสอดคล้องกับค่า J_{sc} ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการแช่สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดกาแฟคือ 48 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพสูงถึง 0.59%



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดคาเสตที่ใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ต่างกัน : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิลด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.24 แบบจำลองของการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโกลเกล็ดของสีย้อมที่เคลือบเพียงชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

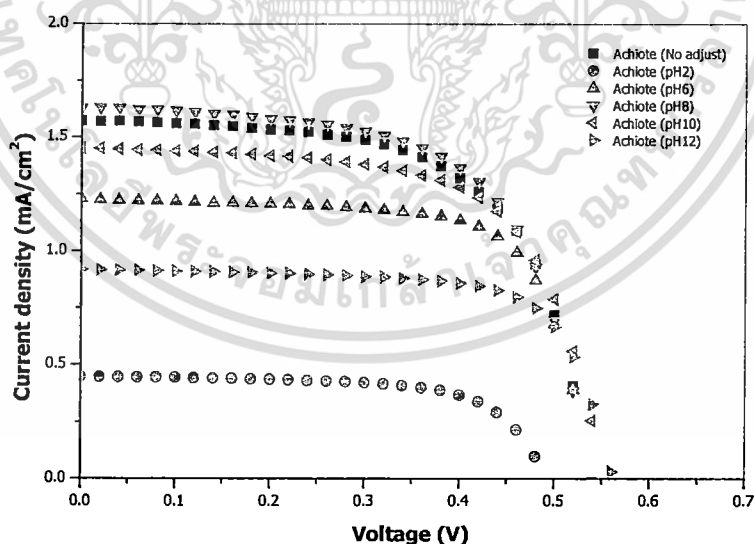
และหลายชั้นไปยังอนุภาค TiO_2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสด

ในขั้นตอนต่อไปหลังจากศึกษาถึงสารละลายที่เหมาะสมกับการสกัดเมล็ดค้ำแสดแล้ว จะเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของสีย้อมเพื่อเพิ่มค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดลองปรับค่าความเป็นกรด-ด่างหรือ pH ของสีย้อมที่ใช้ประติขันธ์เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำสารละลายสีย้อมจากสารสกัดเมล็ดค้ำแสดที่ผ่านการปรับ pH ไปย้อมสีย้อมฟิล์ม TiO_2 พบว่าจะให้สีที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.25

การที่มีสีต่างกันแสดงว่า การยึดติดของโมเลกุลของสีจากเมล็ดค้ำแสดขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายด้วย ซึ่งสีย้อมของเมล็ดค้ำแสดบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่ค่า pH 6-12 จะให้สีคล้ายกัน มีลักษณะเป็นสีแดงเข้ม แต่ที่ค่า pH 2 จะพบว่าให้สีที่จางกว่าเป็นสีส้ม แสดงถึงการเกาะของสีย้อมบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ได้ไม่ดึ้นักที่ค่า pH น้อยๆ (เป็นกรดเข้มข้น)



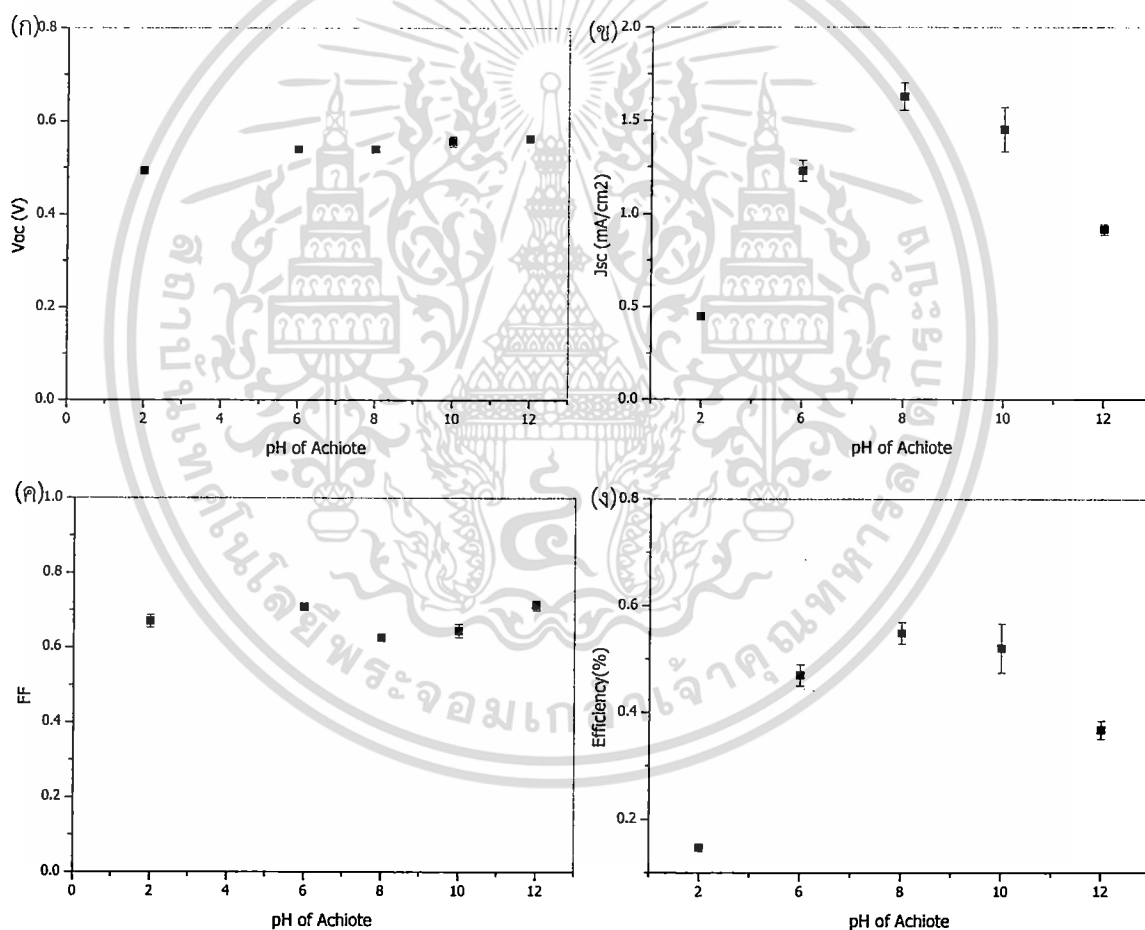
รูปที่ 4.26 กราฟความแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดที่ค่า pH ต่างๆ

กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมที่ได้จากสารสกัดจากเมล็ด
 คำแสดงที่ค่า pH ต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.26 ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันวงจรเปิด
 (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแสดง
 ในตารางที่ 4.6 โดยสารสกัดจากเมล็ดคำแสดงที่ไม่ได้ปรับค่า pH มีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.57
 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.54 V, ค่า FF มีค่า 0.63 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.54% ส่วน
 เซลล์ที่เตรียมที่ค่า pH 2 จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ 0.45 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.49 V, ค่า FF มีค่า
 0.67 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.15% ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ให้ค่า η ต่ำกว่าเงื่อนไขอื่นๆ และเมื่อ
 เซลล์ที่เตรียมที่ค่า pH 6 จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ 1.23 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.54 V, ค่า FF มีค่า
 0.71 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.47% ตามลำดับ เซลล์จากสารสกัดที่ pH 8 มีค่า J_{sc} เท่ากับ
 1.63 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.54 V, ค่า FF มีค่า 0.62 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.55% ซึ่ง
 ที่ค่า pH 8 นี้เป็นค่า pH ที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมที่ค่า pH ของสาร
 สกัดในช่วงความเป็นด่างที่ pH 10 จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ 1.45 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.56 V, ค่า
 FF มีค่า 0.64 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.52% และเซลล์ที่ pH 10 มีค่า J_{sc} เท่ากับ 0.92
 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.56 V, ค่า FF มีค่า 0.71 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.37% จากผล
 การทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์จากสารสกัดสีย้อมเมล็ดคำแสดงจะมีประสิทธิภาพ
 สูงสุดเมื่อเตรียมหรือย้อมสีที่เงื่อนไขของค่า pH ที่เหมาะสม ไม่เป็นกรดแก่หรือด่างแก่มากเกินไป
 ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจาก
 เมล็ดคำแสดงที่ค่า pH ต่างๆ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

ค่า pH	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
No adjust	0.54 ± 0.01	1.57 ± 0.12	0.63 ± 0.03	0.54 ± 0.02
2	0.49 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.67 ± 0.02	0.15 ± 0.00
6	0.54 ± 0.00	1.23 ± 0.06	0.71 ± 0.00	0.47 ± 0.02
8	0.54 ± 0.00	1.63 ± 0.07	0.62 ± 0.01	0.55 ± 0.02
10	0.56 ± 0.01	1.45 ± 0.12	0.64 ± 0.02	0.52 ± 0.05
12	0.56 ± 0.01	0.92 ± 0.03	0.71 ± 0.01	0.37 ± 0.02

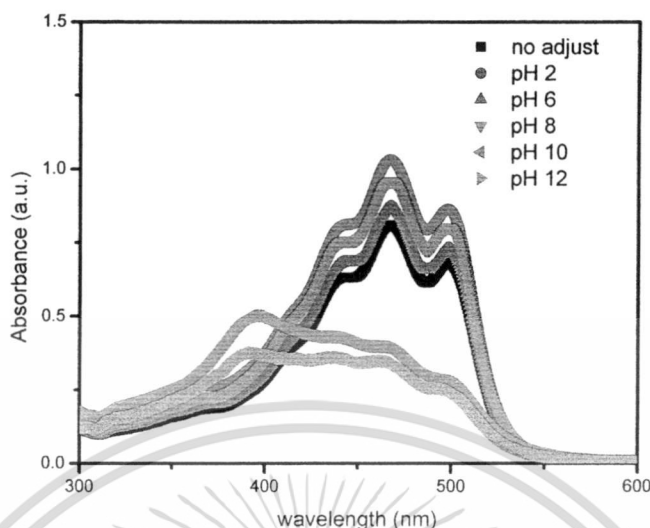
จากรูปที่ 4.27 นอกจากที่ pH 2 แล้ว ค่า V_{oc} และค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อม
 ไวแสงที่สกัดจากเมล็ดคำแสดงที่ pH อื่นจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันในส่วนของ J_{sc} ซึ่ง
 จะพบว่ามีความเพิ่มขึ้นจนถึงค่า pH 8 แล้วจึงลดลงไป โดยสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพของเซลล์
 แสงอาทิตย์ที่พบว่าค่า pH 8 จะให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เมื่อดูค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่
 pH ต่างๆ ที่แสดงในรูปที่ 4.28 ที่ค่า pH 10 และ pH 12 รูปร่างของสเปกตรัมเปลี่ยนไปจาก

รูปแบบปกติ น่าจะเป็นผลมาจากการเสถียรภาพของสารประกอบในสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสด กล่าวคือ เมื่อสีย้อมมีค่า pH ที่เป็นต่างมากเกินไป น่าจะทำให้โครงสร้างของสารประกอบไบซิน และนอร์ไบซินถูกทำลายบางส่วนและเปลี่ยนโครงสร้างไป[68] และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของช่วงการดูดกลืนแสงของสีย้อม ส่วนช่วง pH เป็นกรด พบว่าในรูปที่ 4.25 แสดงลักษณะของสีย้อมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีสีส้มไม่ใสสีแดงเข้ม น่าจะเป็นผลมาจากการที่สีย้อมเกาะบนผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ได้ไม่ดีนัก ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่สารสกัดจากเมล็ดค้ำแสดจะเกิดการตกตะกอนในช่วง pH ที่ต่ำกว่า 4 และมีความคงตัวของสีย้อมที่ค่า pH ไม่เกิน 8 [68] ด้วยเหตุนี้ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดคือ ที่ค่า pH 8



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดที่ค่า pH ต่างๆ: (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

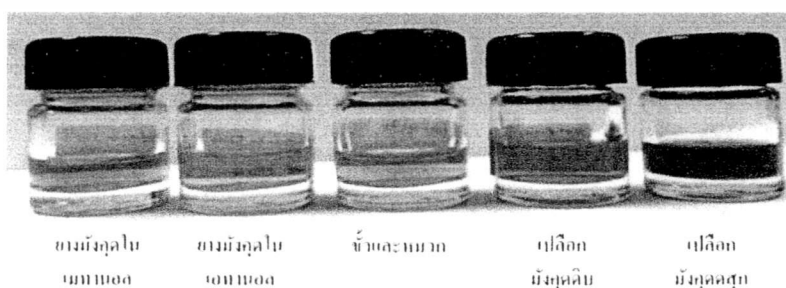


รูปที่ 4.28 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากเมล็ดค้ำแสดที่ค่า pH ต่างๆ

4.4 การสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากมังคุด

4.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของมังคุด

การนำส่วนต่างๆ ของมังคุดมาสกัดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง จะนำส่วนของเปลือกมังคุด ขั้ว และหมวกของมังคุด และยางมังคุดมาทำการทดสอบ ซึ่งเมื่อสกัดสีออกมาจะพบว่าให้สีที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.29 โดยสารสกัดที่ได้จากยางมังคุดและส่วนขั้วและหมวกของมังคุดมีสีเหลือง สารสกัดจากเปลือกมังคุดดิบจะให้สีเหลืองอมน้ำตาล และสารสกัดจากเปลือกมังคุดสุกมีสีม่วงแดง



รูปที่ 4.29 สารละลายสีย้อมไวแสงที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

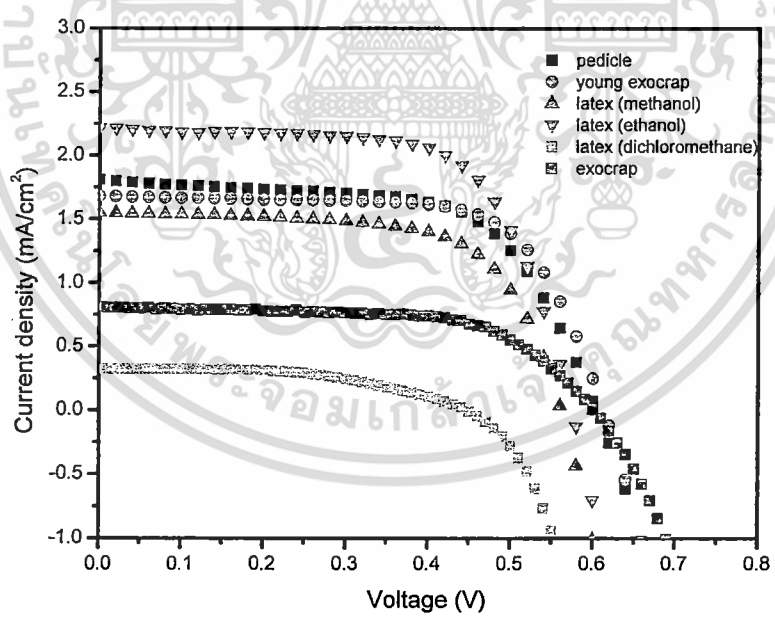
เมื่อนำสารละลายสีย้อมจากแต่ละส่วนของมังคุดไปใช้เป็นสีย้อมไวแสงจะพบว่าลักษณะการเกาะของสีย้อมบนฟิล์ม TiO₂ จะให้สีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.30 โดยส่วนของยางมังคุด เปลือกมังคุดดิบ และขั้วและหมวกของมังคุดจะให้สีเหลืองเข้ม ส่วนเปลือกมังคุดสุกให้สีม่วงอมน้ำตาล



ยางมังคุดสกัดด้วยเอทานอล ยางมังคุดสกัดด้วยเมทานอล ขั้วกับหมวกของมังคุด

เปลือกมังคุดดิบ เปลือกมังคุดสุก

รูปที่ 4.30 ลักษณะสีย้อมจากส่วนต่างๆของมังคุดที่เกาะอยู่บนฟิล์ม TiO₂



รูปที่ 4.31 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุดเป็นตัวดูดกลืนแสง

จากกราฟรูปที่ 4.31 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดจากมังคุดส่วนต่างๆ ให้ค่า J_{sc} และ V_{oc} ที่แตกต่างกัน ซึ่งเปลือกมังคุดและส่วนของขั้วและหมวกให้ค่า V_{oc} สูงกว่าสารเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดจากส่วนอื่นๆ ส่วนค่า V_{oc} ของเซลล์จากยางมังคุดที่สกัดด้วยสารละลายเมทานอลและเอทานอลให้ค่าใกล้เคียงกัน แต่เซลล์จากยางมังคุดที่สกัดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนจะมีค่า V_{oc} และค่ากระแสลัดวงจรต่ำที่สุด ส่วนเซลล์ที่ให้ค่ากระแสลัดวงจรที่สูงที่สุด คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารสกัดจากยางมังคุดที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอล

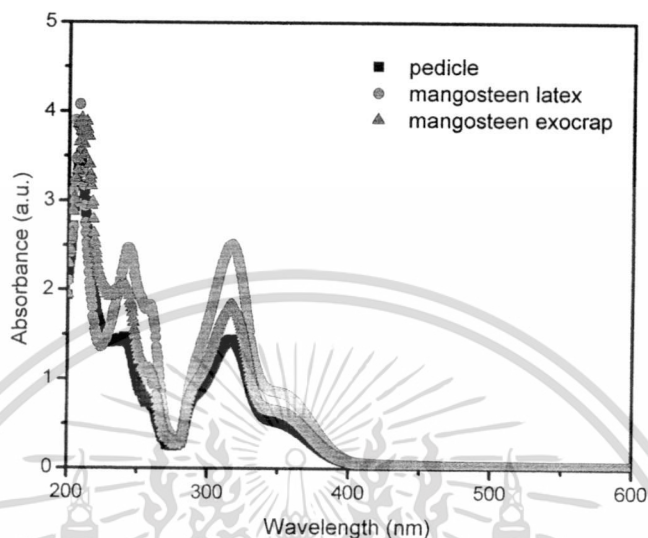
ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุดเป็นตัวดูดกลืนแสง (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

ส่วนที่ใช้สกัดสีย้อม	ตัวทำละลาย	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
ขั้วและหมวกของมังคุด (pedicle)	เมทานอล	0.60 ± 0.01	1.81 ± 0.02	0.63 ± 0.02	0.69 ± 0.02
ยางมังคุด (latex /methanol)	เมทานอล	0.56 ± 0.01	1.55 ± 0.09	0.66 ± 0.02	0.58 ± 0.01
ยางมังคุด (latex /ethanol)	เอทานอล	0.58 ± 0.00	2.22 ± 0.09	0.67 ± 0.03	0.85 ± 0.01
ยางมังคุด (latex /dichloromethane)	ไดคลอโรมีเทน	0.44 ± 0.02	0.32 ± 0.07	0.53 ± 0.02	0.07 ± 0.02
เปลือกมังคุดดิบ (young exocarp)	เมทานอล	0.61 ± 0.00	1.68 ± 0.05	0.69 ± 0.02	0.71 ± 0.02
เปลือกมังคุดสุก (exocarp)	เมทานอล	0.60 ± 0.01	0.81 ± 0.01	0.64 ± 0.00	0.31 ± 0.01

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจเปิด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายพบว่า เซลล์ที่ใช้สารสกัดจากขั้วและหมวกของมังคุดมีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.81 mA/cm², ค่า V_{oc} 0.60 V ค่า FF เท่ากับ 0.63 และประสิทธิภาพเท่ากับ 0.69% ส่วนเปลือกมังคุดสุกมีค่า J_{sc} เท่ากับ 0.81 mA/cm², ค่า V_{oc} 0.60 V ค่า FF เท่ากับ 0.64 และประสิทธิภาพเท่ากับ 0.31% ซึ่งเปลือกมังคุดสุกให้ค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเซลล์จากสารสกัดส่วนต่างๆของมังคุด แต่เซลล์ที่ใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดดิบจะมีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.68 mA/cm², ค่า V_{oc} 0.61 V ค่า FF เท่ากับ 0.69 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.71% ซึ่งมีค่าสูงกว่าเซลล์จากเปลือกมังคุดสุก การที่เซลล์จากสารสกัดเปลือกมังคุดดิบให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์จากสารสกัดเปลือกมังคุดสุกน่าจะเป็นผลมาจากให้ปริมาณของสารประกอบแซนโทนมากกว่าซึ่งสังเกตได้จากได้สารสีเหลืองออกมาคล้ายกับสารสกัดจากยางมังคุด[69] เมื่อเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารสกัดจากยางมังคุดเป็นตัวดูดกลืนแสง ซึ่งใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน 3 ชนิด คือ เมทานอล, เอทานอล และ ไดคลอโรมีเทน พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ให้ค่า J_{sc} เป็น 1.55, 2.22 และ 0.32 mA/cm² ตามลำดับ, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.56, 0.58 และ 0.44 V ให้ค่า FF เท่ากับ 0.66, 0.67 และ 0.53 และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.58, 0.85 และ 0.07 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นเป็นที่น่าสังเกตว่าสารสกัดจากยางมังคุดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายจะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดจากส่วนอื่นๆ ของมังคุด



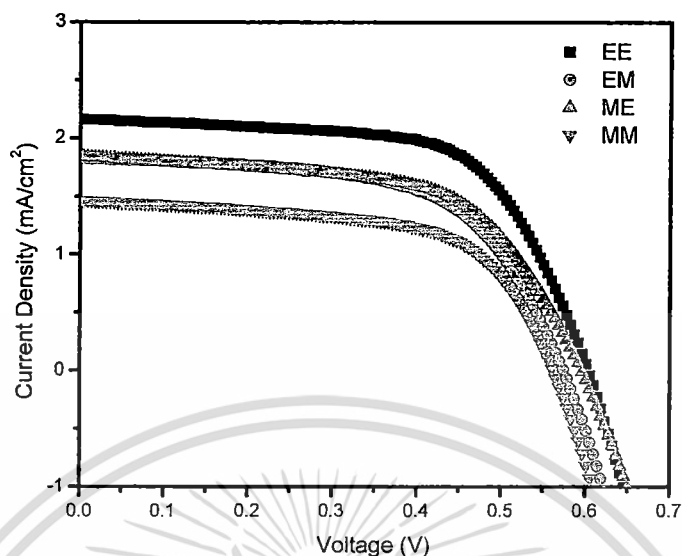
รูปที่ 4.32 ค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมจากเปลือกมังคุด (exocarp) ขั้วและหมวกของมังคุด (pedicle) และยางมังคุด(latex)

จากรูปที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารที่สกัดจากส่วนต่างๆของมังคุดพบว่าสารสกัดจากส่วน ขั้วและหมวกของมังคุด (pedicle) ยางมังคุด(latex) และเปลือกมังคุดสุก (exocarp) มีการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 200-400 nm ซึ่งเป็นย่านรังสี UV และเป็นที่น่าสังเกตว่าสารสกัดทั้งสามส่วนมียอดพีคของสเปกตรัมตรงกันที่ตำแหน่ง 316.5 nm และตำแหน่งประมาณ 245 nm สเปกตรัมโดยรวมของสารทั้งสามส่วนมีลักษณะรูปแบบคล้ายกัน

4.4.2 การทดสอบเปรียบเทียบสารละลายที่ใช้สกัดยางมังคุดและตัวทำละลายที่ใช้ละลายสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

การทดสอบนี้จะสกัดสารด้วยสารละลายสองชนิดคือเมทานอลและเอทานอล ซึ่งสามารถนำมาละลายด้วยตัวทำละลายสองแบบคือ เมทานอลและเอทานอลเช่นกัน เมื่อนำสารละลายสีย้อมที่เตรียมได้ไปสร้างเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



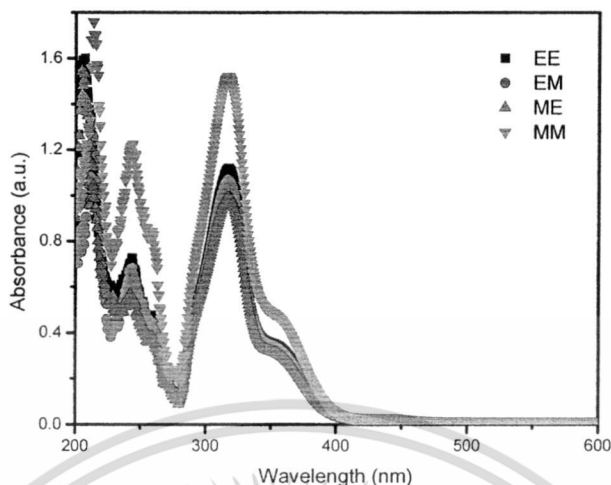
รูปที่ 4.33 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมสกัดจากยางมังคุด โดยมีเอทานอลและเมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้ในการสกัดและใช้ในการละลายสีย้อมในขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง

จากรูปที่ 4.33 พบว่าสีย้อมจากยางมังคุดที่สกัดจากสารละลายต่างกันและละลายในตัวทำละลายต่างกันจะให้ค่ากระแสลัดวงจรต่างกัน โดยสารจากยางมังคุดที่สกัดจากสารละลายเอทานอลและละลายในเอทานอลเช่นเดียวกัน (ตัวอย่าง EE) จะให้ค่ากระแสลัดวงจรสูงที่สุด แต่สีย้อมจากยางมังคุดที่สกัดด้วยเมทานอลและละลายในเมทานอล(ตัวอย่าง MM) จะให้ค่ากระแสลัดวงจรน้อยที่สุด ส่วนสีย้อมจากยางมังคุดที่สกัดด้วยเมทานอลและละลายในสารละลายเอทานอล (ตัวอย่าง ME) จะให้ค่า J_{sc} ใกล้เคียงกับตัวอย่างสีย้อมจากยางมังคุดที่สกัดด้วยเอทานอลและละลายในสารละลายเมทานอล (ตัวอย่าง EM) ค่า V_{oc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากยางมังคุดและใช้เอทานอลไม่ว่าจะเป็นในการสกัดและในการละลายล้วนแล้วแต่ให้ค่า V_{oc} สูงกว่ากรณีใช้เมทานอลทั้งสิ้น

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุด โดยมีเอทานอลและเมทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัดและใช้ในการละลายสีย้อมในขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเวคคิง (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

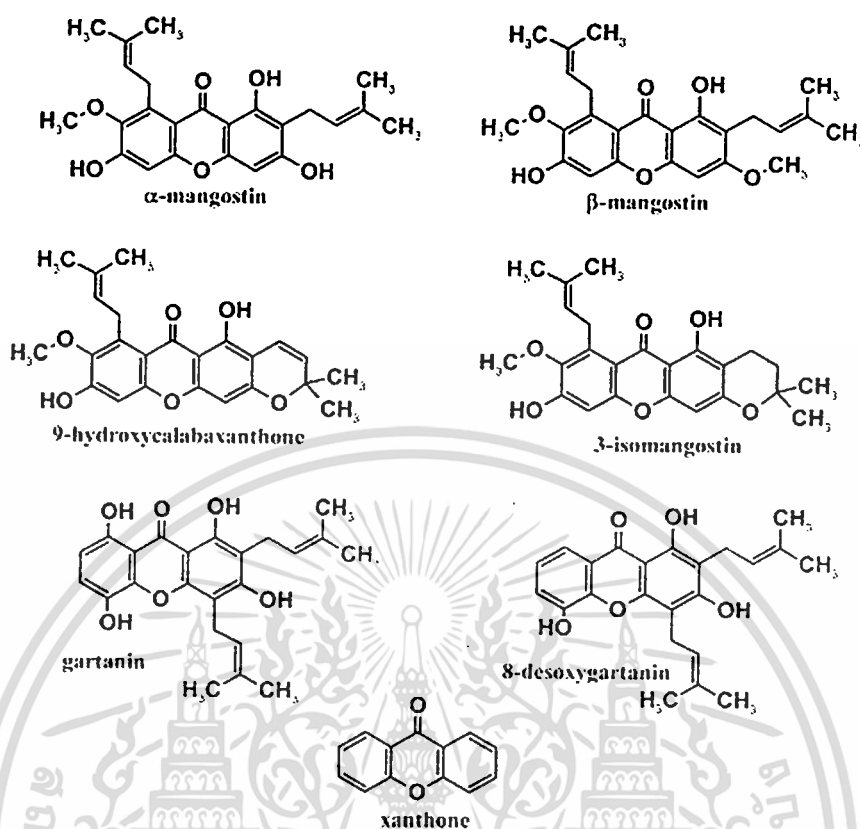
สารละลายที่ใช้ในการสกัด	ตัวทำละลาย	อักษรย่อ	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
เอทานอล	เอทานอล	EE	0.60 ± 0.01	2.16 ± 0.18	0.64 ± 0.01	0.84 ± 0.04
เอทานอล	เมทานอล	EM	0.57 ± 0.01	1.8 ± 0.21	0.61 ± 0.05	0.64 ± 0.05
เมทานอล	เอทานอล	ME	0.60 ± 0.04	1.84 ± 0.28	0.61 ± 0.02	0.67 ± 0.10
เมทานอล	เมทานอล	MM	0.56 ± 0.02	1.46 ± 0.11	0.62 ± 0.02	0.51 ± 0.04

จากตารางที่ 4.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดยางมังคุดด้วยสารละลายเอทานอลและละลายด้วยเอทานอล (EE) ให้ค่า J_{sc} เท่ากับ $2.16 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} มีค่า 0.60 V , ค่า FF เท่ากับ 0.64 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 0.84% ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ส่วนยางมังคุดที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลและละลายในเมทานอล (EM) จะให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆลดลง ซึ่งค่า J_{sc} ลดลงเป็น $1.8 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} 0.57 V , ค่า FF เท่ากับ 0.61 และประสิทธิภาพเท่ากับ 0.64% ตามลำดับ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารละลายในการสกัดยางมังคุดเป็นเมทานอลและละลายด้วยเอทานอล (ME) จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ $1.84 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} มีค่า 0.60 V , ค่า FF เท่ากับ 0.61 และประสิทธิภาพเท่ากับ 0.67% ซึ่งมีค่ามากกว่าตัวอย่าง EM เล็กน้อย อาจจะเป็นผลมาจากสารละลายที่ใช้ละลายสีย้อมเป็นชนิดเอทานอลมีความเหมาะสมกับสีย้อมนี้มากกว่าใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งสารละลายเอทานอลมีสภาพขั้วปานกลางและน้อยกว่าเมทานอลจึงน่าจะสกัดสารสกัดออกมาได้มากกว่า และเป็นที่น่าสังเกตว่าเซลล์ที่ใช้เมทานอลเป็นสารสกัดและเป็นตัวทำละลายสารสกัดยางมังคุดตัวอย่าง MM ให้ค่า J_{sc} เท่ากับ $1.46 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.56 V , ค่า FF เท่ากับ 0.62 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.51% ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ



รูปที่ 4.34 ค่าการดูดกลืนแสงของสี้อมที่สกัดจากยางมังคุดโดยใช้สารละลายในการสกัดและละลายสี้อมต่างๆกัน

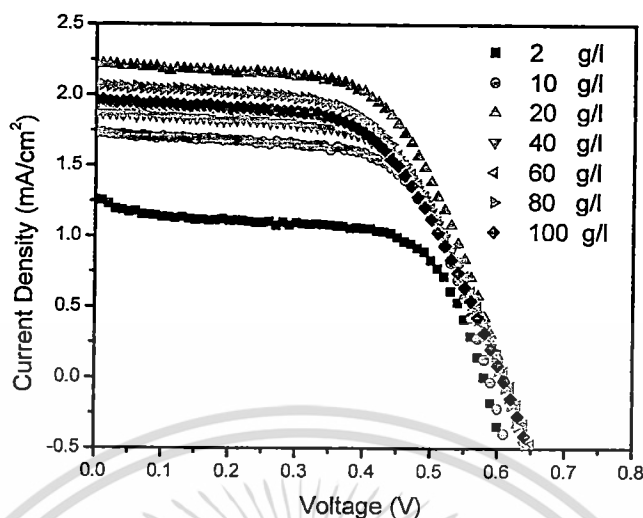
สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากมังคุดแสดงดังรูปที่ 4.34 สารละลายสี้อมของทั้งสี่เงื่อนไข EE, ME, EM และ MM มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 200-400 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในย่านรังสี UV และลักษณะของรูปแบบสเปกตรัมก็มีความคล้ายกัน สารสกัดจากยางมังคุดส่วนมากจะประกอบด้วยสารหลักๆ คือ สารประกอบแซนโทน (xanthone) [69] ซึ่งโครงสร้างของสารในกลุ่มนี้เป็นวงเบนซีนสามวงต่อกันเป็นแกนหลัก และมีพันธะคู่สลับเดี่ยวภายในวง ซึ่งเป็นกลุ่มที่ให้อิเล็กตรอน ส่วนกลุ่มอนุพันธ์ของสารประกอบแซนโทนจะมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ที่ช่วยในการยึดเกาะกับไททานเนียมไดออกไซด์และทำหน้าที่ถ่ายเทอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของสารประกอบแซนโทนไปยังอนุภาค TiO_2 ได้อีกด้วย โดยโครงสร้างของสารประกอบแซนโทนแสดงดังรูปที่ 4.35 การมีพันธะคู่สลับเดี่ยวภายในวงเบนซีนเป็นกลุ่มให้อิเล็กตรอนและมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ของสารประกอบแซนโทนทำให้สารนี้สามารถใช้เป็นสี้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้



รูปที่ 4.35 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบแซนโทน^[69]

4.4.3 การทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากยางมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสง

เมื่อได้ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดยางมังคุดแล้ว จากนั้นจะสกัดยางมังคุดเพื่อเก็บไว้ทำการวิจัยในลักษณะเป็นผงซึ่งได้จากการระเหยเอาตัวทำละลายออก ทำการทดสอบหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายยางมังคุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ผงของสีย้อมจากยางมังคุดจะถูกนำมาละลายในสารละลายเอทานอล โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 2, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำสารละลายสีย้อมที่เตรียมไว้ไปย้อมบนฟิล์ม TiO_2 แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป



รูปที่ 4.36 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสารสกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.36 พบว่าค่า V_{oc} ของสารสกัดยางมังคุดของทุกความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.9 แต่ค่ากระแสลัดวงจรจะแตกต่างกันโดยที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร จะมีค่ากระแสลัดวงจรมีน้อยที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นจนถึงความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ซึ่งที่ความเข้มข้น 20 g/L จะให้ค่ากระแสลัดวงจรสูงที่สุด และเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเป็น 40, 60 และ 80 g/L ค่า J_{sc} จะมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมมากเกินไปจะเกิดการเกาะกลุ่มของสีย้อมบนผิวของชั้น TiO_2 ซึ่งส่งผลต่อการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากสีย้อมไปชั้น TiO_2 [66, 67]

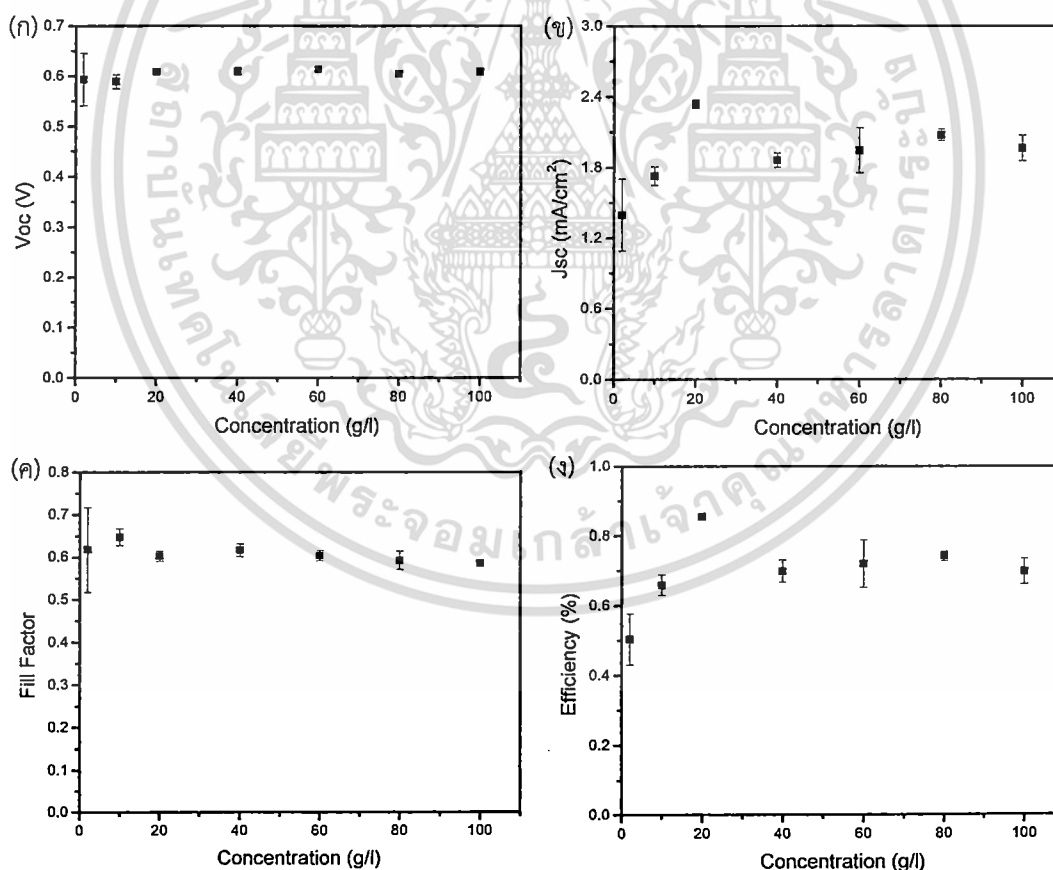
ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

ความเข้มข้นของยางมังคุด(g/L)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
2	0.59 ± 0.05	1.40 ± 0.31	0.62 ± 0.1	0.50 ± 0.07
10	0.59 ± 0.01	1.73 ± 0.08	0.65 ± 0.02	0.66 ± 0.03
20	0.61 ± 0.00	2.33 ± 0.04	0.60 ± 0.01	0.85 ± 0.01
40	0.61 ± 0.01	1.86 ± 0.06	0.62 ± 0.02	0.70 ± 0.03
60	0.61 ± 0.00	1.94 ± 0.19	0.60 ± 0.01	0.72 ± 0.07
80	0.60 ± 0.00	2.08 ± 0.05	0.59 ± 0.02	0.74 ± 0.01
100	0.61 ± 0.00	1.96 ± 0.11	0.59 ± 0.00	0.70 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

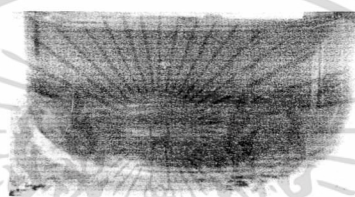
จากตารางที่ 4.9 สารสกัดยางมังคุดที่ความเข้มข้น 2 และ 10 กรัมต่อลิตร มีค่า J_{sc} 1.40 และ 1.73 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.59 V, ค่า FF เท่ากับ 0.62 และ 0.65 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 0.50 และ 0.66% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร จะเป็นความเข้มข้นที่ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่า J_{sc} เท่ากับ 2.33 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.61 V, ค่า FF เท่ากับ 0.60 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.85% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น จะให้ค่า J_{sc} และค่าประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตรมีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.86 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.61 V, ค่า FF เท่ากับ 0.62 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.70% ความเข้มข้น 60 กรัมต่อลิตรมีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.94 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.61 V, ค่า FF เท่ากับ 0.60 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.72% ความเข้มข้น 80 กรัมต่อลิตรมีค่า J_{sc} เท่ากับ 2.08 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.60 V, ค่า FF เท่ากับ 0.59 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.74% และความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตรมีค่า J_{sc} เท่ากับ 1.96 mA/cm^2 , ค่า V_{oc} มีค่า 0.61 V, ค่า FF เท่ากับ 0.59 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.70%



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆ: (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิลด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

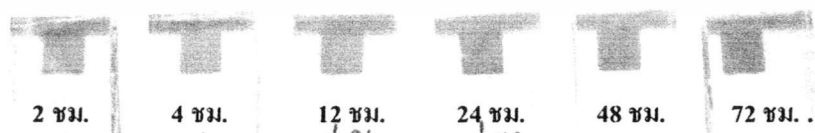
เมื่อนำค่า Voc, Jsc, FF, และ η ในตารางที่ 4.9 มาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มจะได้ดังรูปที่ 4.37 และพบว่าสารสกัดยางมังคุดที่ความเข้มข้นต่างๆกันจะมีค่า Voc และ FF ใกล้เคียงกัน แต่ค่า Jsc จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกที่ความเข้มข้น 2, 10 และ 20 กรัมต่อลิตร และลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมที่เข้มข้นมากกว่า 20 กรัมต่อลิตรมีปริมาณของสารสกัดยางมังคุดมากเกินไป ซึ่งสังเกตได้จากการเริ่มตกตะกอนของสีดังรูปที่ 4.38 ส่งผลให้การเกาะตัวของสีย้อมบนฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เกิดเป็นกลุ่มก้อนไม่สม่ำเสมอและบางส่วนไม่เกาะกับผิวของอนุภาค TiO₂ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลง ด้วยเหตุนี้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสีย้อมจากยางมังคุดคือ 20 กรัมต่อลิตร



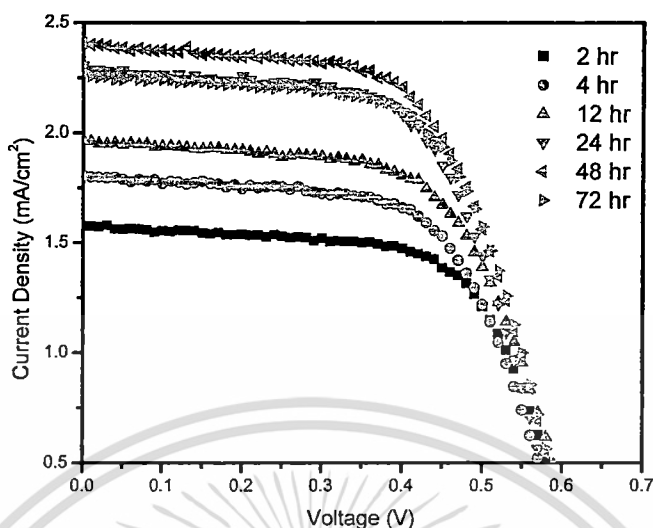
รูปที่ 4.38 การตกตะกอนของสารละลายสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดเมื่อความเข้มข้นของผงสีย้อมมากกว่า 20 g/L

4.4.4 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีจากยางมังคุดลงบนฟิล์ม TiO₂

เมื่อได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของการเตรียมสีย้อมจากยางมังคุดแล้ว ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 20 g/L จึงศึกษาหาเวลาในการย้อมสีที่เหมาะสมโดยทำการย้อมสีจากยางมังคุดลงบนฟิล์ม TiO₂ เป็นเวลา 2, 4, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อย้อมสีเป็นเวลานานขึ้น สีย้อมที่เกาะติดอยู่บนฟิล์ม TiO₂ จะมีสีเข้มขึ้นดังรูปที่ 4.39 ซึ่งการที่มีสีเข้มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการย้อมแสดงว่ามีปริมาณของสีย้อมเกาะบนฟิล์ม TiO₂ ได้มากขึ้น[67]



รูปที่ 4.39 ลักษณะสีย้อมจากยางมังคุดที่เกาะติดอยู่บนฟิล์ม TiO₂ ซึ่งใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน



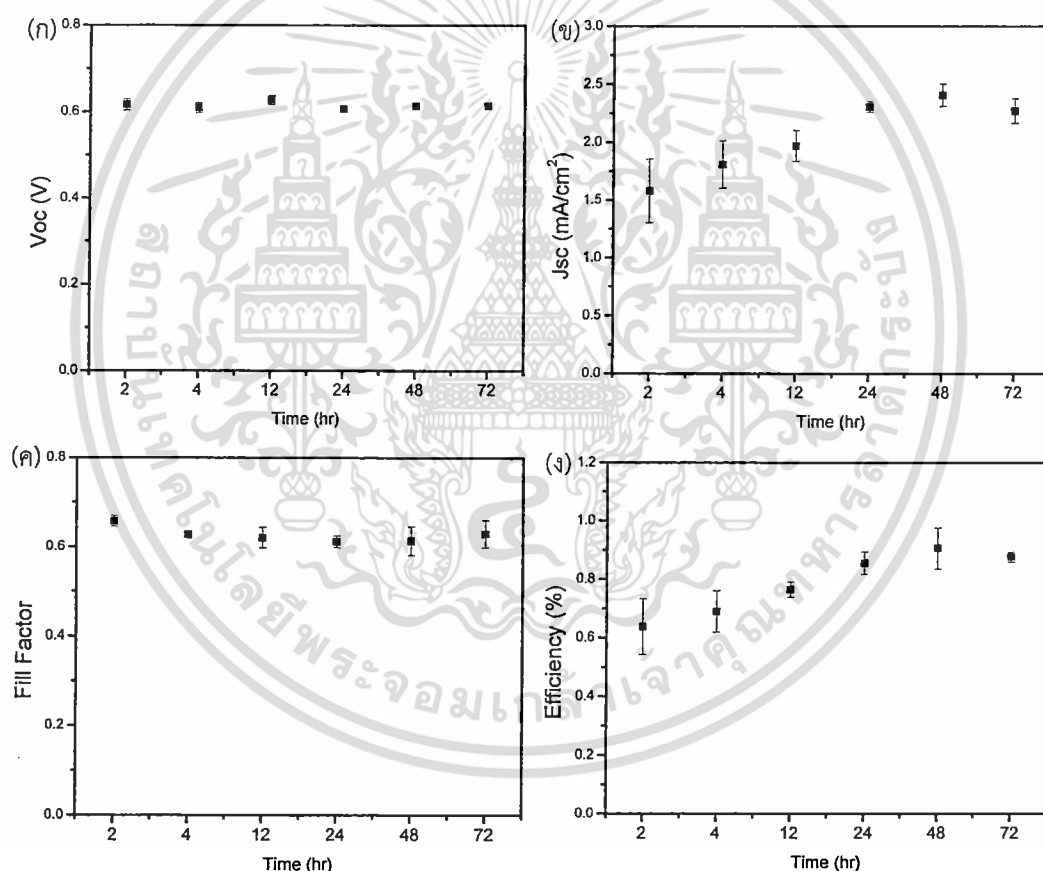
รูปที่ 4.40 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เวลาในการแช่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสีย้อมต่างๆกัน

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งได้จากกราฟ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ใช้เวลาในการย้อมสีต่างกัน (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

เวลาในการแช่สีย้อม (ชั่วโมง)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
2	0.62 ± 0.01	1.58 ± 0.27	0.66 ± 0.01	0.64 ± 0.10
4	0.61 ± 0.01	1.81 ± 0.20	0.63 ± 0.00	0.70 ± 0.07
12	0.63 ± 0.01	1.97 ± 0.13	0.62 ± 0.02	0.76 ± 0.03
24	0.61 ± 0.00	2.30 ± 0.05	0.61 ± 0.01	0.85 ± 0.04
48	0.61 ± 0.01	2.41 ± 0.10	0.61 ± 0.03	0.90 ± 0.07
72	0.61 ± 0.01	2.27 ± 0.10	0.63 ± 0.03	0.88 ± 0.02

จากรูปที่ 4.40 รูปที่ 4.41 และตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าค่า V_{oc} และค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ย้อมสีเป็นเวลาต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันมากและมีค่าประมาณ 0.61 V – 0.63 V และ 0.61 – 0.66 ดังตารางที่ 4.10 ส่วนค่า J_{sc} จะแตกต่างกันมาก เพราะค่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโมเลกุลของสีย้อมที่เกาะอยู่ในฟิล์ม TiO_2 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาในการย้อมสีมากขึ้นจาก 2, 4, 12, 24, และ 48 ชั่วโมง ค่า J_{sc} จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งมีค่าเป็น 1.58, 1.81,

1.97, 2.30 และ 2.41 mA/cm^2 การที่ค่า J_{sc} มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลานั้นอาจจะมีปริมาณสีย้อมที่เกาะติดฟิล์ม TiO_2 ได้มากขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการย้อมสีมากขึ้นไปเป็น 72 ชั่วโมง กลับพบว่าค่าของ J_{sc} ลดลง โดยมีค่าเท่ากับ $2.27 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ทั้งนี้การลดลงของค่า J_{sc} อาจมีเหตุผลมาจากการย้อมสีที่เวลามากเกินไป การมีโมเลกุลของสีย้อมเข้าไปเคลือบบนผิวของอนุภาค TiO_2 หลายชั้นมากขึ้นไปเป็นการส่งผลในด้านลบทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลง เพราะว่าโมเลกุลของสีย้อมที่เคลือบอยู่ชั้นแรกเท่านั้นที่มีความสำคัญเพราะสามารถส่งผ่านพาหะอิเล็กตรอนจากสีย้อมเข้าไปยัง TiO_2 ได้ง่ายกว่าสีย้อมที่เคลือบอยู่ในชั้นนอกๆ [66, 67] ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีลักษณะคล้ายกับค่า J_{sc} ซึ่งพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เวลาในการย้อมสีเท่ากับ 48 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.90%



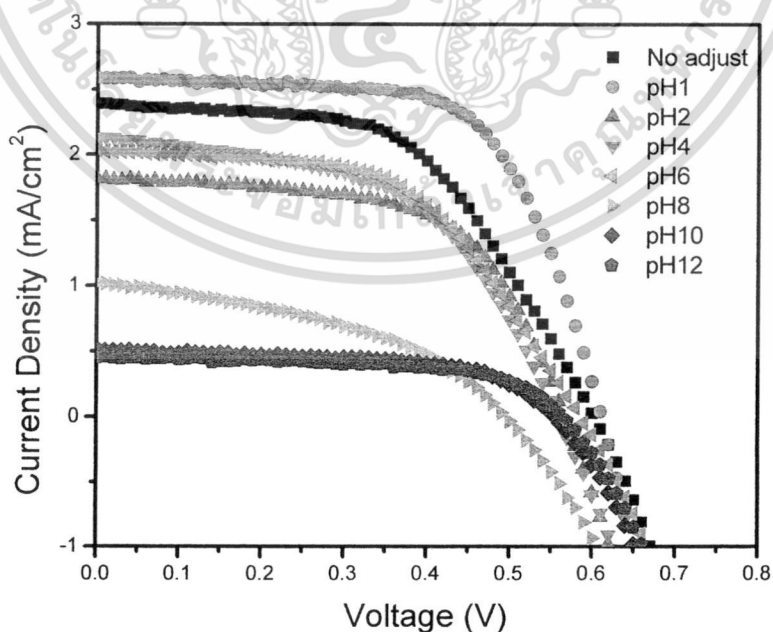
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ใช้เวลาในการย้อมสีบนฟิล์ม TiO_2 ต่างกัน : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

4.4.5 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุด

จากผลการทดลองหาค่า pH ที่เหมาะสมของสีย้อมจากเมล็ดคั่วแสด พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างหรือ pH ของสารละลายสีย้อมมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมาก และในทำนองคล้ายกันสำหรับสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดจะต้องทำการหาสภาวะหรือค่า pH ที่เหมาะสมในการย้อมสีลงบน TiO_2 แล้วให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด ในการทดลองนี้ทำการปรับค่า pH ของสารละลายสีย้อมจากสารสกัดยางมังคุดเป็น pH 1, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.42 พบว่าลักษณะความเข้มของสีย้อมที่เกาะติดอยู่บนฟิล์ม TiO_2 มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยสีย้อมจากยางมังคุดที่ไม่ผ่านการปรับค่า pH (No adjust) จะให้สีเหลืองอมน้ำตาล แต่เมื่อปรับค่า pH ของสารละลายอยู่ในช่วงที่เป็นกรดจะให้สีเหลืองอ่อน และเมื่อปรับค่า pH ของสารละลายอยู่ในช่วงที่เป็นด่างจะให้สีเหลืองอมน้ำตาลที่เข้มขึ้น

No adjust pH 1 2 4 6 8 10 12

รูปที่ 4.42 ลักษณะสีย้อมของยางมังคุดที่เกาะติดบนฟิล์ม TiO_2 ที่ผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆ



รูปที่ 4.43 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสีย้อมของสารสกัดจากยางมังคุดที่ค่า pH ต่างๆไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้กราฟระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4.43 จะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด V_{oc} และค่า FF ของแต่ละค่า pH มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันที่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร โดยค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.44 อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับค่า pH พบว่าเซลล์ที่ผ่านการย้อมสีที่ pH 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มีค่า J_{sc} ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับค่า pH แต่กลับพบว่าตัวอย่างของ pH 1 ให้ค่า J_{sc} ที่มากกว่า นอกจากนี้พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะลดลงมากเมื่อค่า pH อยู่ในช่วงความเป็นด่างมาก (pH 8-12)

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุด ที่ผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

pH	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
No adjust	0.60 ± 0.01	2.39 ± 0.07	0.55 ± 0.03	0.79 ± 0.03
1	0.61 ± 0.00	2.59 ± 0.01	0.65 ± 0.00	1.03 ± 0.01
2	0.57 ± 0.01	1.81 ± 0.05	0.61 ± 0.00	0.63 ± 0.01
4	0.56 ± 0.02	2.13 ± 0.23	0.54 ± 0.02	0.64 ± 0.02
6	0.59 ± 0.01	2.04 ± 0.06	0.55 ± 0.02	0.66 ± 0.02
8	0.49 ± 0.06	1.02 ± 0.26	0.42 ± 0.10	0.22 ± 0.13
10	0.55 ± 0.01	0.52 ± 0.11	0.58 ± 0.05	0.17 ± 0.05
12	0.56 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.63 ± 0.01	0.16 ± 0.00

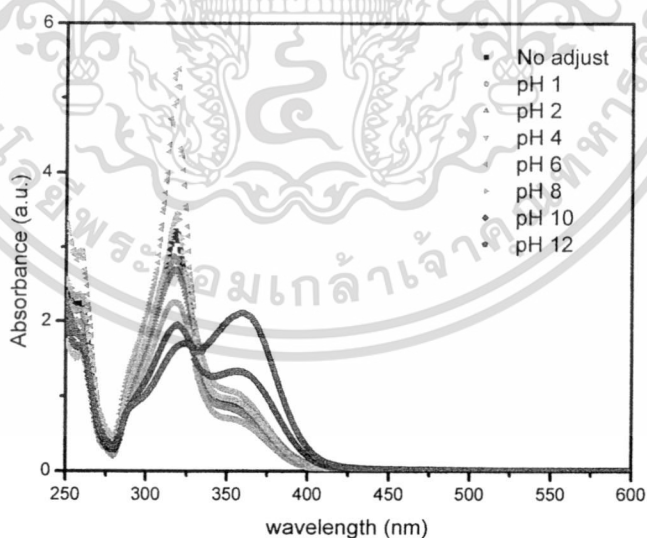
จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.45 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ปรับค่า pH มีค่า J_{sc} เท่ากับ $2.39 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.60 V, ค่า FF มีค่าเป็น 0.55 และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.79% ซึ่งเป็นค่าที่สูงพอสมควรสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากธรรมชาติ เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมให้มีค่า pH 1 จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ $2.59 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.61 V, ค่า FF เท่ากับ 0.65 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.03% ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ แต่เมื่อตัวอย่างที่มี

ค่า pH 2 จะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ $1.81 \text{ mA}/\text{cm}^2$, ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.57 V, ค่า FF เท่ากับ 0.61 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

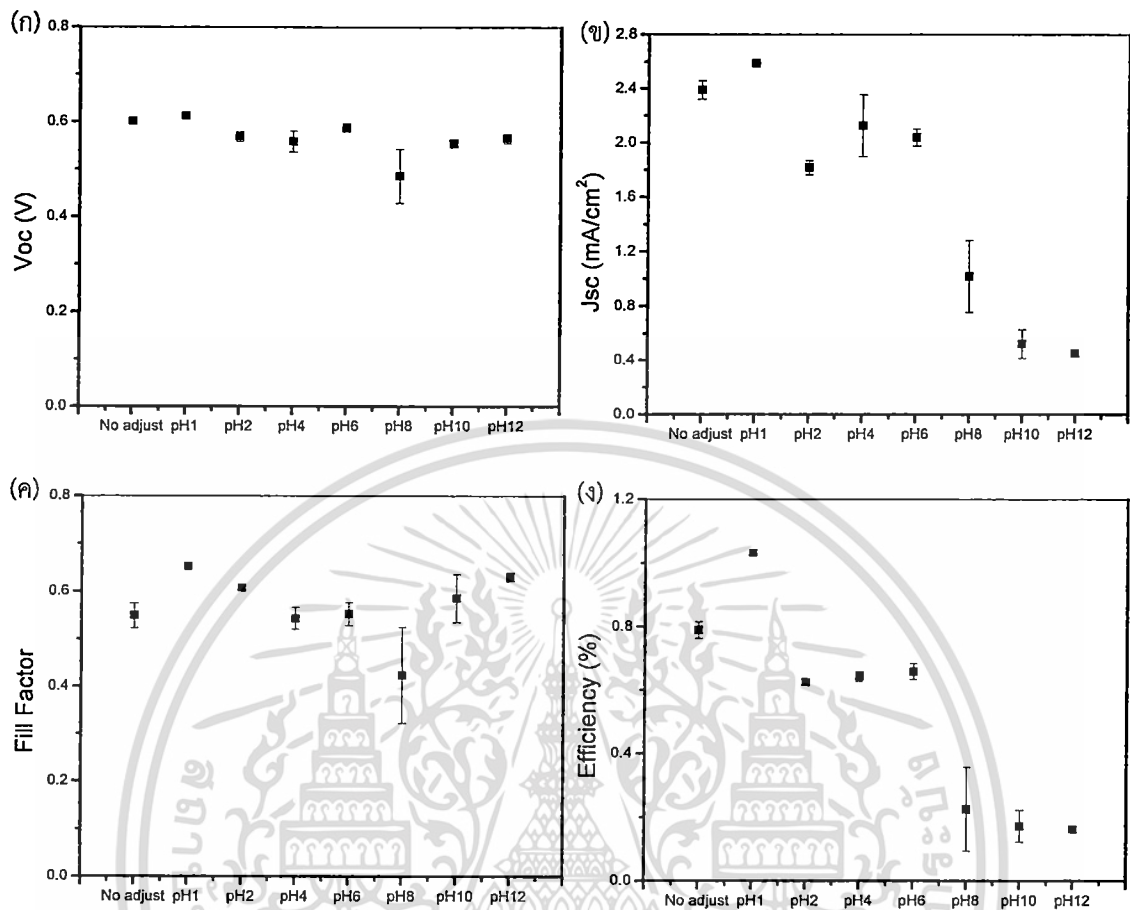
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.63% ซึ่งได้ประสิทธิภาพน้อยกว่าตัวอย่าง pH 1 เมื่อมองภาพโดยรวมพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงตามค่า pH ของสารละลายสีย้อมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการลดลงของค่า J_{sc} เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่า pH 4, 6, 8, 10 และ 12 มีค่าเป็น 0.64%, 0.66%, 0.22%, 0.17, 0.16% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าตัวอย่างที่มีค่า pH 10 และ pH 12 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีความเป็นด่างแก่จะให้ค่า J_{sc} และ ประสิทธิภาพน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นกรด ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเสถียรภาพของโครงสร้างทางเคมีสารประกอบแซนโทนที่อยู่ในสีย้อมจากยางมังคุดเมื่อมีสภาวะความเป็นด่างมากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในรูปที่ 4.44 โดยจะเห็นว่าที่ค่า pH 10 และ pH 12 จะมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไปจากเดิม คือ ความเข้มของพีคที่ตำแหน่ง 370 nm จะปรากฏสูงขึ้นในขณะที่ พีคที่ตำแหน่งประมาณ 320 nm กลับมีความเข้มของพีคลดลง โดยทั่วไปสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่จะมีความคงตัวที่ค่า pH น้อยกว่า 3.8 [68] ซึ่งสารประกอบแซนโทนในสารสกัดจากยางมังคุดมีโครงสร้างคล้ายกับสารฟลาโวนอยด์ จึงน่าจะมียุทธิพลของค่า pH ที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นสารประกอบแซนโทนจึงมีความเสถียรในช่วงสภาวะความเป็นกรดมากกว่าสภาวะที่มีความเป็นด่าง ด้วยเหตุนี้ค่า pH ที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุด คือ ที่ pH 1 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึง 1.03%



รูปที่ 4.44 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ค่า pH ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุด ซึ่งผ่านการย้อมสีที่ค่า pH ต่างๆกัน : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิลด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

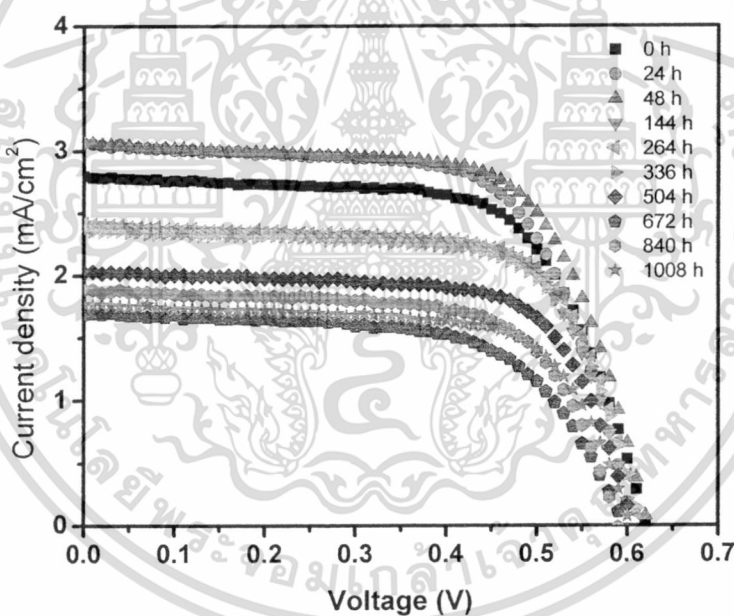
4.5 การทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุด

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดซึ่งได้ศึกษามาแล้วในหัวข้อ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของยางมังคุดดิบที่ดีที่สุดคือ 20 g/L สารละลายสีย้อมควรมีค่า pH 1 และควรใช้เวลาในการย้อมสี 48 ชั่วโมง จะนำเงื่อนไขเหล่านั้นมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดและทำการทดสอบความคงตัวหรือความเสถียรของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ผลการทดสอบเป็นดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังกุด (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

สีย้อม	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
ยางมังกุด	0.62 ± 0.01	2.80 ± 0.10	0.66 ± 0.01	1.15 ± 0.02

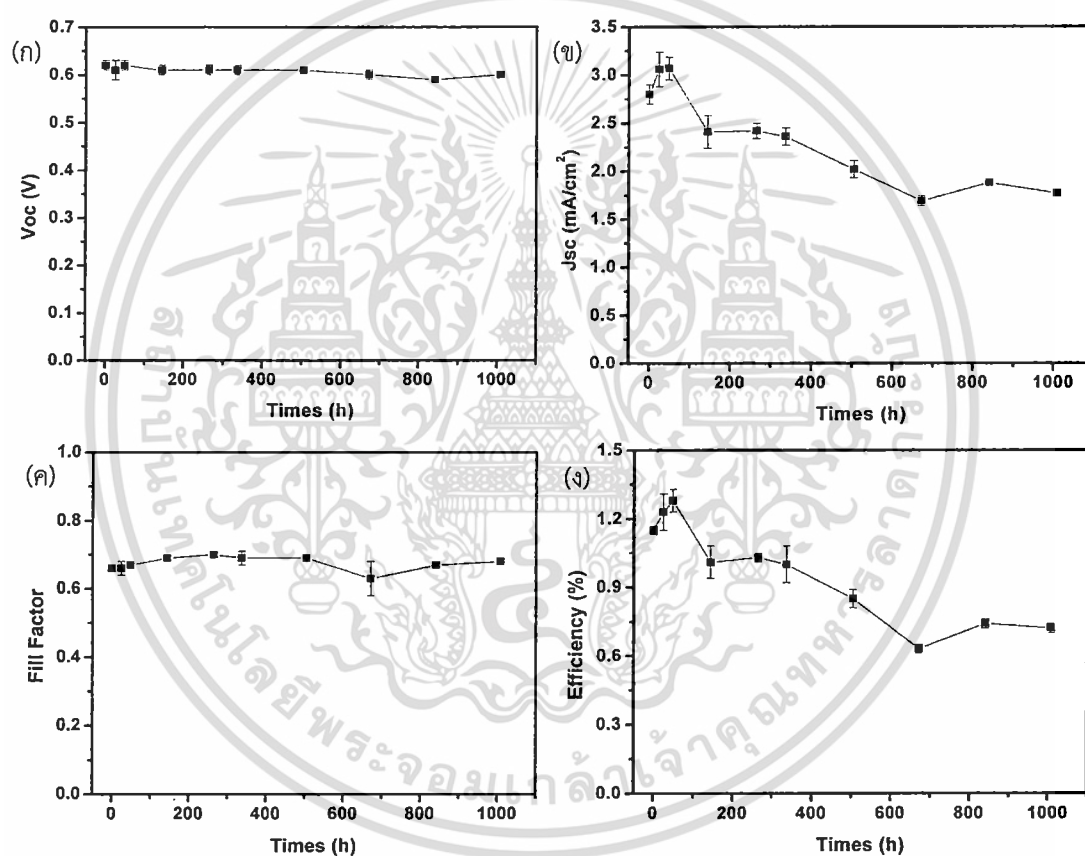
จากตารางที่ 4.12 เมื่อใช้เงื่อนไขการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมซึ่งได้จากหัวข้อ 4.4 พบว่าจะให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) เท่ากับ 2.80 mA/cm^2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) เท่ากับ 0.62 V ค่าฟิลด์แฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.66 และประสิทธิภาพ (η) เท่ากับ 1.15% ค่าต่างๆเหล่านี้จะถูกรวบรวมเมื่อเวลาผ่านไป โดยเก็บข้อมูลของการวัดนานประมาณ 1000 ชั่วโมง



รูปที่ 4.46 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังกุดที่วัดค่าตามเวลา

เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาทดสอบความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 4.46 จากการพิจารณารูปพบว่าค่า V_{oc} และ FF ของเซลล์แสงอาทิตย์ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยที่ V_{oc} มีค่าประมาณ 0.6 V และค่า FF มีค่าประมาณ 0.70 ดังรูปที่ 4.47(ก) และ 4.47(ค) ส่วนค่า J_{sc} จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยจะเพิ่มขึ้นในช่วง 48 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงแรกๆ อิเล็กโทรไลต์สามารถแทรกซึมเข้าในรูพรุนของสีย้อมสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่หรือแพร่เข้าไปในฟิล์ม TiO_2 ได้ลึกและทั่วถึงขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกันระหว่างรอยต่อ Dye/ TiO_2 และ อิเล็กโทรไลต์ และหลังจาก 48 ชั่วโมง ค่า J_{sc} มีแนวโน้มลดลงตามเวลา ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลงตามเวลาเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 4.47(ข) และ 4.47(ง) การลดลงตามเวลาของค่าทั้งสองนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น การระเหยของอิเล็กโทรไลต์ หรือ การหลุดของโมเลกุลสีย้อมจากผิวของ TiO_2 หรือการระเหยของ I_2 ในอิเล็กโทรไลต์ ก็เป็นไปได้[47, 70] อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1000 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดข่ามยังคงเหลือมากถึง 63 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพเริ่มต้น



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมที่สกัดจากข่ามที่เวลา 1000 ชั่วโมง : (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

4.6 การสร้างและพัฒนาความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

อีกแนวทางหนึ่งของการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพื่อช่วยลดข้อเสียนั้นเกิดจากสาเหตุการระเหยและรั่วซึมของอิเล็กโทรไลต์ คือ การเปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์เป็นชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight, M_w) ของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิเอธิลีนออกไซด์ (Polyethylene Oxide, PEO) ในพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

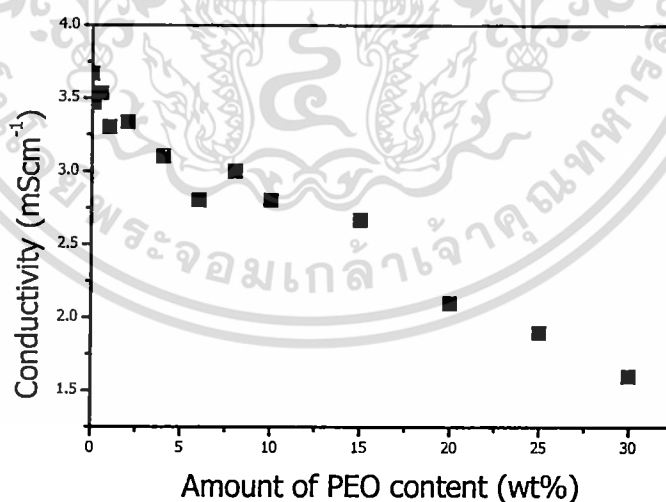
4.6.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PEO ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เมื่อเตรียมสารพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาจาก I_2 , LiI และ TBP ในสารละลาย 3-methoxypropionitrile และเติม PEO ที่ความเข้มข้นต่างๆ จาก 0-30 wt% ทำการวัดสภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ โดยหาจากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังหัวข้อที่ 3.7.2 ผลการทดสอบสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.13

พบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของ PEO เพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.48 โดยอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาซึ่งไม่มีการเติม PEO มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.67 mS/cm เมื่อเติม PEO ลงไปที่ปริมาณ 0.1, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 wt% ให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็น 3.47, 3.53, 3.30, 3.33, 3.10, 2.80, 3.00, 2.80, 2.67, 2.10, 1.90 และ 1.60 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ น่าจะเกิดจากการที่อิเล็กโทรไลต์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมพอลิเมอร์นำไฟฟ้า PEO มากขึ้น

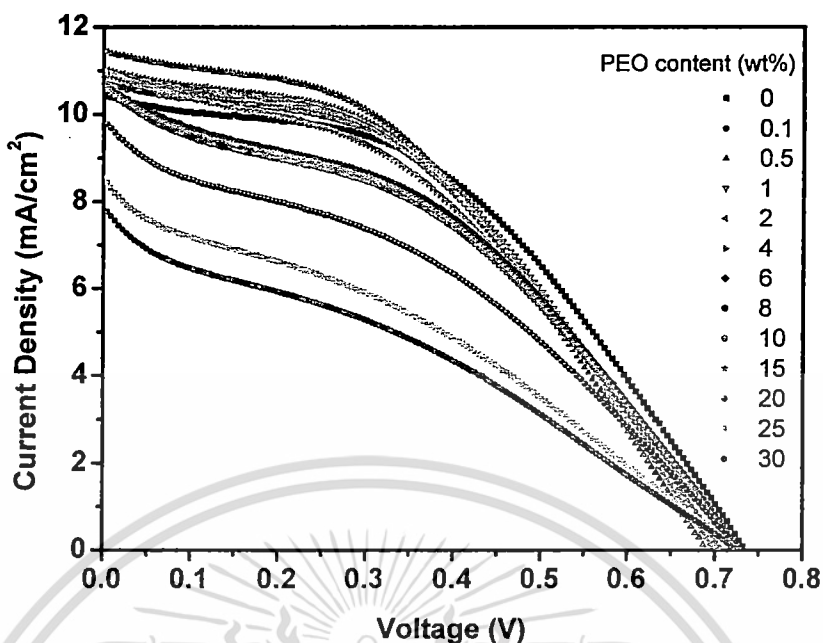
ตารางที่ 4.13 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมื่อเติมพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ปริมาณต่างๆ

ปริมาณของ PEO (% โดยน้ำหนัก)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (mS/cm)
0	3.67
0.1	3.47
0.5	3.53
1	3.30
2	3.33
4	3.10
6	2.80
8	3.00
10	2.80
15	2.67
20	2.10
25	1.90
30	1.60



รูปที่ 4.48 กราฟค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์กับปริมาณของ PEO ที่เติม สารละลายอิเล็กโตรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อม N719 และพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.49 เป็นกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าใกล้เคียงกันมากโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.74 V ส่วนค่า FF มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ PEO เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ปริมาณความเข้มข้นของ PEO อยู่ระหว่าง 0.1-30 wt% มีค่า FF เท่ากับ 0.43, 0.42, 0.44, 0.41, 0.41, 0.40, 0.38, 0.39, 0.36, 0.36, 0.32 และ 0.31 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.14 นอกจากนั้นพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะต่างกัน โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO ไม่มากโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-15 wt% จะให้ค่า J_{sc} สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดา (PEO 0 wt%) โดยมีค่า J_{sc} เป็น 10.71, 11.44, 10.91, 10.53, 11.00, 10.54, 10.64, 10.63 และ 11.06 mA/cm^2 ตามลำดับ แต่ที่ปริมาณความเข้มข้นของ PEO สูงๆ เป็น 20, 25 และ 30 wt% จะให้ค่า J_{sc} น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เติมพอลิเมอร์นำไฟฟ้า PEO โดยจะให้ค่า J_{sc} เท่ากับ 9.83, 8.49 และ 7.84 mA/cm^2 ซึ่งการที่ค่า J_{sc} มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความเข้มข้นของ PEO ในอิเล็กโทรไลต์อยู่ระหว่าง 0.1-15 wt% อาจเป็นผลมาจากการที่พื้นระของพอลิเมอร์ในพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์จับกับผิวของ TiO_2 แล้วเกิดเป็นแถบของไอออนเคลือบอยู่ ซึ่งอาจมีส่วนช่วยยับยั้งการเกิดรีคอมบิเนชันของอิเล็กตรอนระหว่างไททานเนียมไดออกไซด์กับไตรไอโอดีไอออนในอิเล็กโทรไลต์[71, 72] แต่ที่ความเข้มข้นของ PEO สูงๆ เท่ากับ 20, 25 และ 30 wt% ให้ค่า J_{sc} ลดลงอาจเป็นผลจากการที่มีค่าการนำไฟฟาลดลงอย่างมากของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเห็น

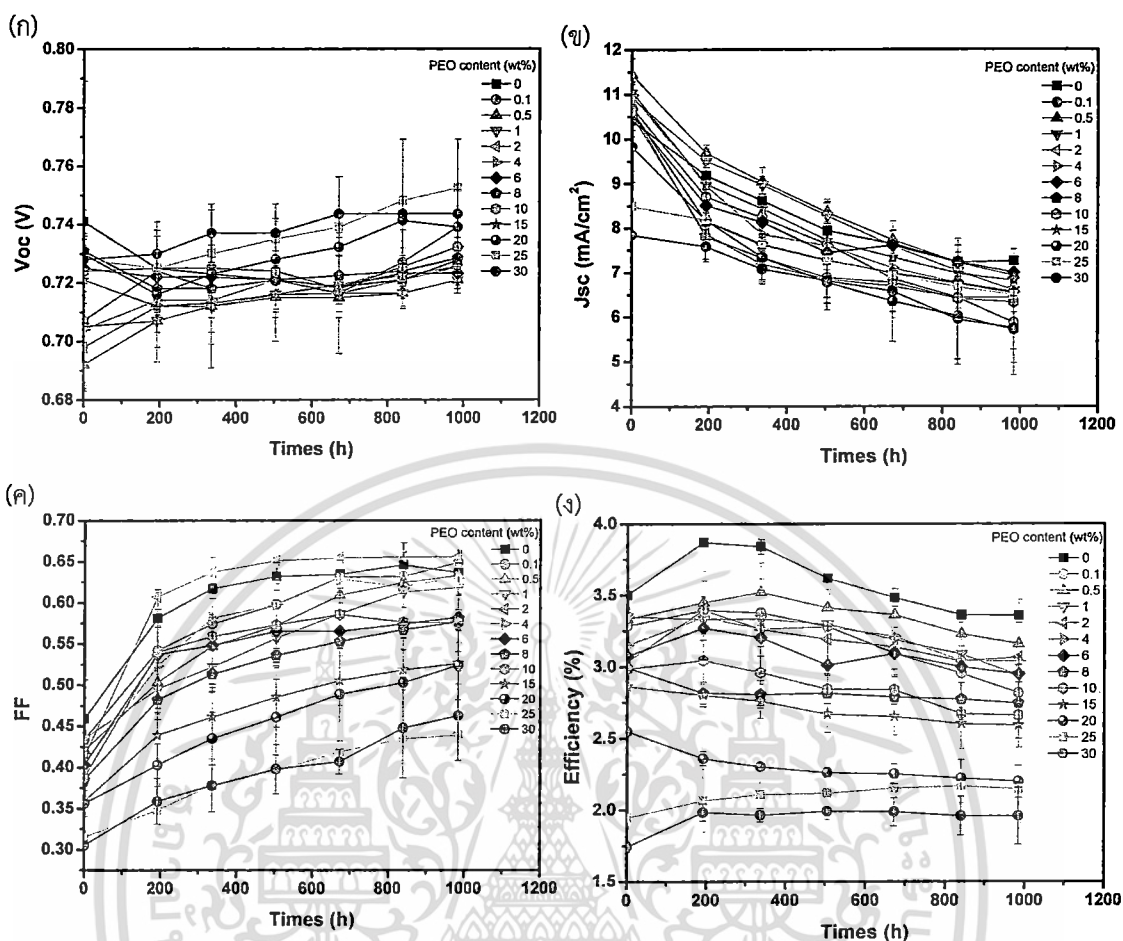
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากการลดลงของค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อความเข้มข้นของ PEO ในอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

GPEs	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
without PEO	0.74 ± 0.05	10.41 ± 1.39	0.46 ± 0.05	3.50 ± 0.12
0.1 wt% PEO	0.71 ± 0.02	10.71 ± 0.39	0.43 ± 0.01	3.29 ± 0.13
0.5 wt% PEO	0.69 ± 0.01	11.44 ± 0.05	0.42 ± 0.01	3.33 ± 0.07
1 wt% PEO	0.71 ± 0.02	10.91 ± 0.45	0.44 ± 0.01	3.35 ± 0.02
2 wt% PEO	0.70 ± 0.01	10.53 ± 0.47	0.41 ± 0.02	3.04 ± 0.03
4 wt% PEO	0.70 ± 0.02	11.00 ± 0.28	0.41 ± 0.01	3.15 ± 0.21
6 wt% PEO	0.73 ± 0.01	10.54 ± 0.69	0.40 ± 0.03	3.07 ± 0.10
8 wt% PEO	0.73 ± 0.01	10.64 ± 0.08	0.38 ± 0.01	2.99 ± 0.07
10 wt% PEO	0.72 ± 0.01	10.63 ± 0.42	0.39 ± 0.02	2.99 ± 0.17
15 wt% PEO	0.72 ± 0.01	11.06 ± 0.23	0.36 ± 0.01	2.86 ± 0.07
20 wt% PEO	0.73 ± 0.01	9.83 ± 0.54	0.36 ± 0.02	2.55 ± 0.00
25 wt% PEO	0.73 ± 0.00	8.49 ± 0.10	0.32 ± 0.01	1.94 ± 0.03
30 wt% PEO	0.73 ± 0.00	7.84 ± 0.05	0.31 ± 0.01	1.74 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



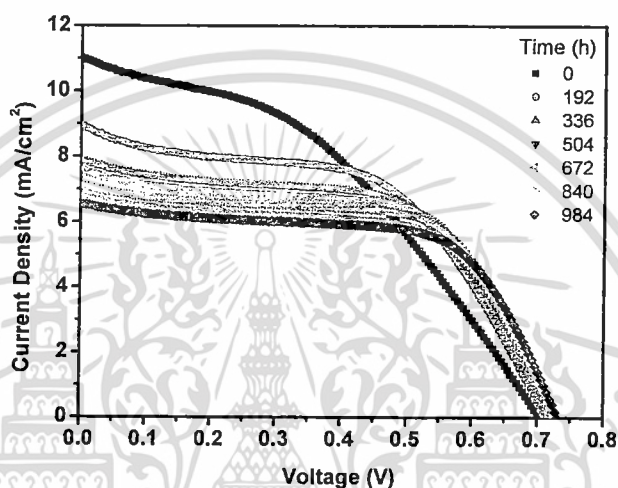
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อม N719 และใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO ปริมาณต่างๆ โดยทดสอบความเสถียรของเซลล์เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง : (ก) V_{oc} (ข) J_{sc} (ค) FF และ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 4.50 แสดงค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมื่อวัดตามเวลานาน 1000 ชั่วโมง ซึ่งรูปที่ 4.50 (ก) พบว่าค่า V_{oc} จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป การเพิ่มขึ้นของค่า V_{oc} ตามเวลาจะเป็นผลจากการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการลดลงของปริมาณไตรไอโอดีไอออน เพราะธาตุ I_2 สามารถระเหยเป็นไอได้แล้วอาจเกิดการรั่วออกจากตัวเซลล์ ซึ่งการหายไปของปริมาณ I_2 จะนำไปสู่การลดลงของปริมาณไตรไอโอดีไอออน [73, 74] และจากรูปที่ 4.50 (ข) ค่า J_{sc} จะลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาซึ่งแสดงถึงความไม่เสถียรของเซลล์แสงอาทิตย์ ค่า FF ของเซลล์แสงอาทิตย์ของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาดังรูปที่ 4.50(ค) และ 4.50 การเพิ่มขึ้นของค่า FF ตามเวลาอาจเป็นผลมาจากการมีการสัมผัสกันของรอยต่อของ TiO_2 และสีย้อมกับชั้นของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้นตามเวลานั่นเอง [75, 76] นอกจากนี้ยังพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO อยู่ในช่วงต่ำๆ 0.1-15 wt% ค่าประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 0-200 ชั่วโมง อาจเนื่องมาจากการแพร่ของของอิเล็กโทรไลต์เข้าสู่ชั้น TiO_2 ได้มากขึ้น และหลังจาก 200 ชั่วโมงแรก ค่าประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่เสถียรของเซลล์แสงอาทิตย์เอง ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ อย่างเช่น การหลุดออกของโมเลกุลสีย้อมจากผิวของ TiO_2 หรือ การเพิ่มขึ้นของความชื้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์เอง เป็นต้น



รูปที่ 4.51 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (PEO 1 wt%) โดยทำการวัดตามเวลา

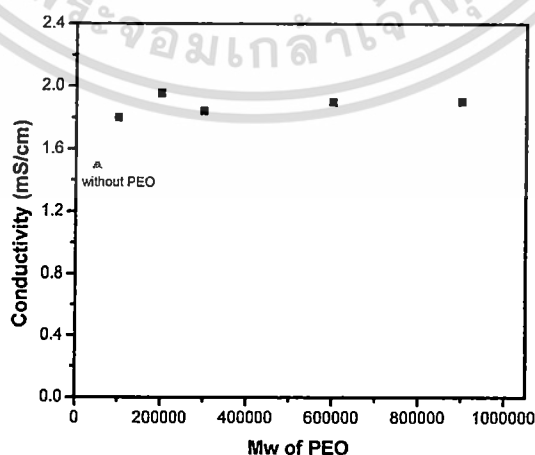
จากผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เวลา 1000 ชั่วโมง พบว่าการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาที่ไม่เติม PEO ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีการเติม PEO ซึ่งพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO เป็น 1 wt% มีค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นมากกว่าเมื่อเทียบกับที่ปริมาณของ PEO ค่าอื่นๆ โดยเซลล์จากอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาจะมีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 96% จากค่าเริ่มต้น ส่วนเซลล์จากพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของ PEO เป็น 1 wt% จะมีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 88% จากค่าเริ่มต้น ซึ่งน้อยกว่ากรณีไม่เติม PEO ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติม PEO ทำให้อิเล็กโทรไลต์มีค่าการนำไฟฟ้าลดลงและความหนืดมากขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง

4.6.2 ผลการศึกษาน้ำหนักของโมเลกุลของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า PEO ต่อประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากยางมังคุด

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของ PEO ในพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ของหัวข้อมีที่ผ่านมา พบว่าที่ความเข้มข้นของ PEO 1 wt% จะให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ (ยกเว้นที่ 0 wt%) ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของ PEO ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกใช้ PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 100000, 200000, 300000, 600000 และ 900000 กรัมต่อโมล สำหรับเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ จากนั้นวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

ตารางที่ 4.15 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) ต่างๆ

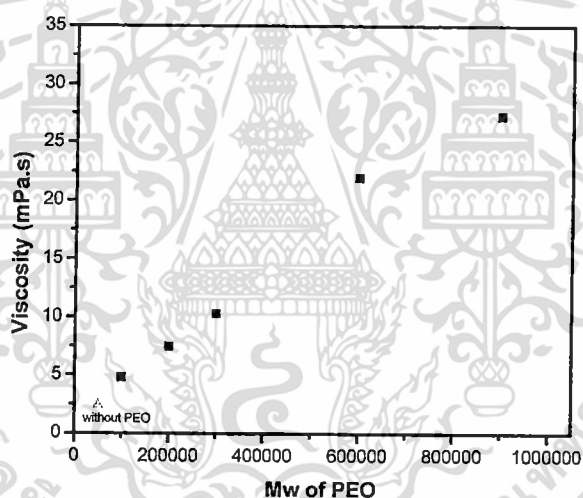
Samples	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)
without PEO	5.50
1 wt% PEO 100000	5.83
1 wt% PEO 200000	5.90
1 wt% PEO 300000	6.20
1 wt% PEO 600000	6.30
1 wt% PEO 900000	6.40



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย

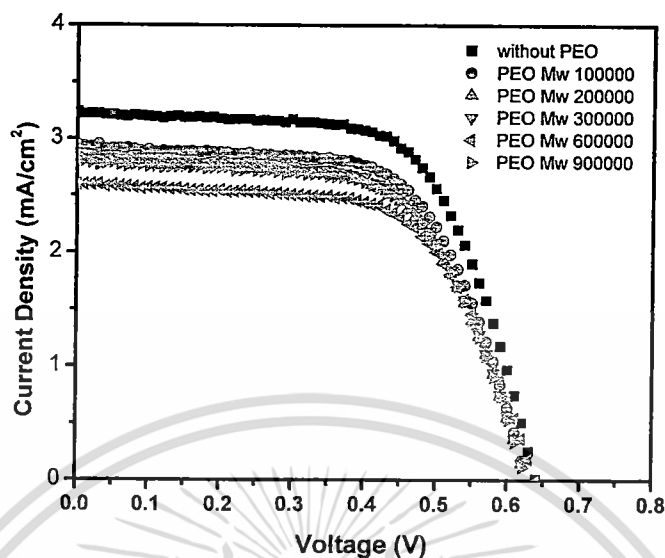
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ของพอลิเมอร์ PEO ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.52 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ โดยอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาที่ไม่เติม PEO มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.50 mS/cm และเมื่อเติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยเป็น 100000, 200000, 300000, 600000 และ 900000 กรัมต่อโมล มีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็น 5.83, 5.90, 6.20, 6.30 และ 6.40 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO จะมีค่ามากกว่า อิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาเล็กน้อยดังรูปที่ 4.52 การเติมพอลิเมอร์ PEO ในปริมาณความเข้มข้นต่างๆ แล้วทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นได้อาจเป็นเพราะสายโซ่พอลิเมอร์มีส่วนอีเทอร์ออกซิเจนที่มีขั้วมาก[77, 78] ส่วนอิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันจะให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุล น่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความยาวพันธะของโมเลกุล PEO ซึ่งการมีความยาวของพันธะโมเลกุลมากขึ้นจะไปช่วยให้เพิ่มค่าสภาพการนำไฟฟ้า [79]



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์กับค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของพอลิเมอร์ PEO

เมื่อนำอิเล็กโทรไลต์มาวัดหาความหนืด พบว่าความหนืดของอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดามีค่าเท่ากับ 2.4 mPa.s และเมื่อเติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 100000, 200000, 300000, 600000 และ 900000 กรัมต่อโมล จะมีค่าความหนืดเป็น 4.8, 7.5, 10.3, 21.9 และ 27.3 mPa.s ตามลำดับ จากรูปที่ 4.53 จะพบว่าค่าความหนืดจะเพิ่มมากขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ PEO ที่เพิ่มขึ้น โดยความหนืดของพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการลดลงของค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมาก



รูปที่ 4.54 กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมจากสารสกัดจากยางมังคุดโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลของ PEO ต่างกัน

จากรูปที่ 4.54 แสดงกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมไวแสงซึ่งใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากยางมังคุดโดยใช้อิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาและพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่เติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยต่าง ๆ กัน จะพบว่าค่า V_{oc} มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่า J_{sc} จะต่างกันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของ PEO ที่ผสมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แบบธรรมดาจะมีค่า J_{sc} และ η สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

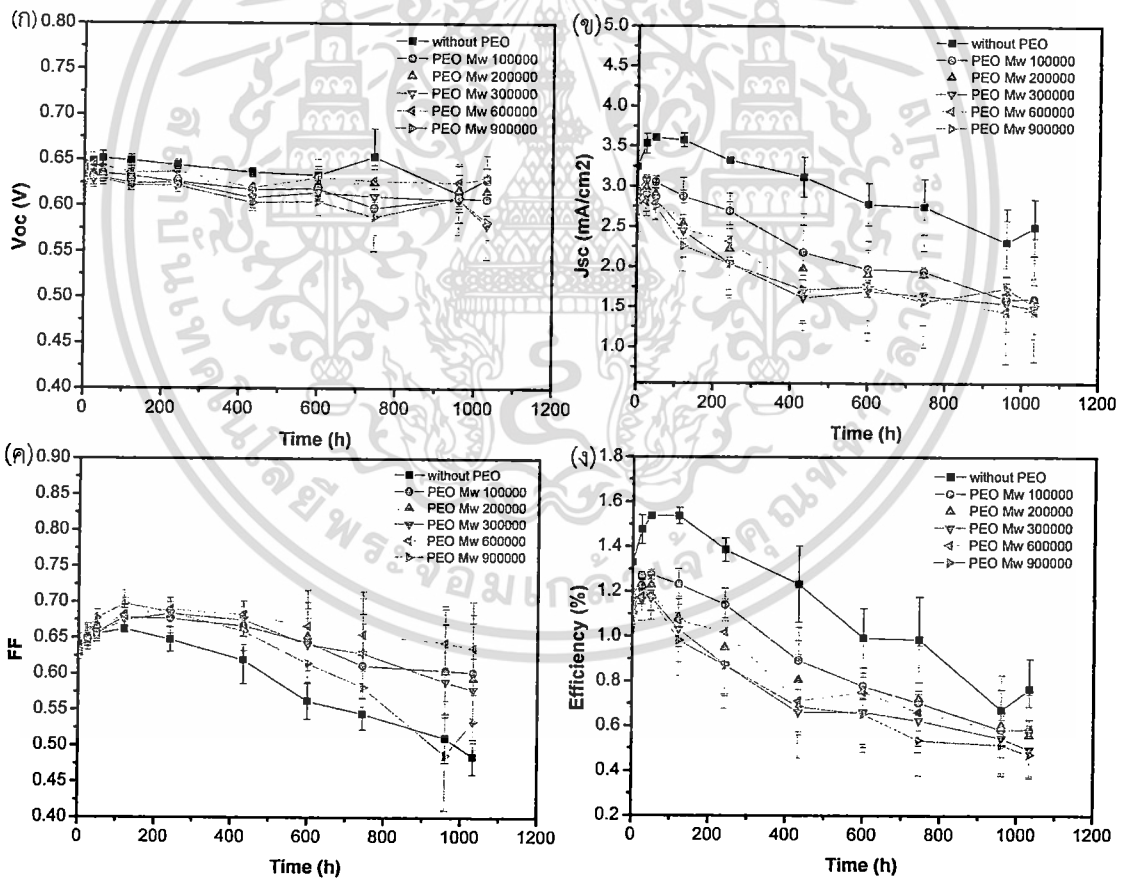
ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดโดยใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (ค่าเฉลี่ยของการวัดมาจาก 3 เซลล์)

Samples	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
without PEO	0.64 ± 0.01	3.24 ± 0.04	0.64 ± 0.01	1.33 ± 0.01
PEO 100000	0.63 ± 0.01	2.95 ± 0.05	0.63 ± 0.01	1.17 ± 0.01
PEO 200000	0.63 ± 0.01	2.81 ± 0.17	0.63 ± 0.01	1.11 ± 0.06
PEO 300000	0.63 ± 0.01	2.86 ± 0.08	0.63 ± 0.01	1.12 ± 0.03
PEO 600000	0.64 ± 0.02	2.60 ± 0.16	0.63 ± 0.01	1.05 ± 0.03
PEO 900000	0.63 ± 0.00	2.81 ± 0.13	0.63 ± 0.01	1.11 ± 0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (V_{oc}) ฟิวด์แฟกเตอร์ (FF) และค่าประสิทธิภาพ (η) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โพลิเมอร์ที่ไม่เติม PEO จะมีค่า J_{sc} มากกว่าแบบพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ โดยค่า J_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โพลิเมอร์ที่ไม่เติม PEO มีค่าเท่ากับ 3.24 mA/cm², ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.64 V, ค่า FF มีค่าเป็น 0.64 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.33% ตามลำดับ ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ PEO ต่างๆกันในช่วง 100,000 ถึง 900,000 กรัมต่อโมล มีค่า J_{sc} เป็น 2.95, 2.81, 2.86, 2.60 และ 2.81 mA/cm², ค่า V_{oc} เท่ากับ 0.63, 0.63, 0.63, 0.64 และ 0.63 V, ค่า FF มีค่าเท่ากันที่ 0.63 และค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.17%, 1.11%, 1.12%, 1.05% และ 1.11% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.16 ค่า J_{sc} มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PEO เพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความหนืดของสารอิเล็กโทรไลต์ดังแสดงในรูปที่ 4.54 และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.55 กราฟค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมที่สกัดจากยางมังคุดที่ขึ้นกับเวลา: (ก) แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (ข) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (ค) ฟิวด์แฟกเตอร์ (ง) ค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.55 พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลา 100 ชั่วโมงแรก อาจเป็นผลจากการแพร่ของอิเล็กโตรไลต์เข้าสู่ชั้น TiO_2 ได้ดีขึ้น จากนั้นประสิทธิภาพจะเริ่มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอาจจะมีสาเหตุมาจากการรั่วของอิเล็กโตรไลต์ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ หรืออาจจะมาจากความไม่เสถียรของเซลล์แสงอาทิตย์เอง ซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ อย่างเช่น เกิดการหลุดออกของโมเลกุลสีย้อมจากผิวของ TiO_2 หรือ การเพิ่มขึ้นของความชื้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นผลจากขั้นตอนของการประกบติดของขั้วไฟฟ้าไม่ดี เป็นต้น จากผลการเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ใช้พอลิเมอร์กับชนิดที่ใช้อิเล็กโตรไลต์แบบธรรมดา พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1000 ชั่วโมง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้นกลับมีค่า FF ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อิเล็กโตรไลต์แบบธรรมดาซึ่งไม่เติม PEO ดังแสดงในรูปที่ 4.55 (ค) การที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีเหตุผลมาจากการมีการสัมผัสกันของรอยต่อของไททาเนียมไดออกไซด์และสีย้อมกับชั้นของอิเล็กโตรไลต์ที่ค่อยๆดีขึ้นตามเวลา[75, 76] อย่างไรก็ตามจะพบว่าค่า V_{oc} , J_{sc} และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่ผสม PEO จะมีค่าน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อิเล็กโตรไลต์แบบธรรมดา ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความหนืดของสารอิเล็กโตรไลต์เมื่อเติม PEO ลงไป โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เมื่อความหนืดของอิเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นทำให้การแพร่ของสารอิเล็กโตรไลต์เข้าสู่ชั้น TiO_2 เกิดขึ้นได้น้อยลง และเมื่อดูผลของน้ำหนักโมเลกุลของ PEO โดยเฉลี่ยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า กรณีที่น้ำหนักโมเลกุลของ PEO เท่ากับ 100000 กรัมต่อโมล จะให้ค่า J_{sc} และ η มากกว่าการเติม PEO ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอื่นๆ การที่เป็นเช่นนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการมีความหนืดที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์จากอิเล็กโตรไลต์แบบธรรมดาหรือไม่เติม PEO จะมีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 57% เมื่อเทียบจากค่าเริ่มต้น ส่วนพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ PEO เป็น 100000 กรัมต่อโมล มีค่าประสิทธิภาพคงเหลือเพียง 49% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเซลล์จากอิเล็กโตรไลต์แบบธรรมดา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่าการเติมพอลิเมอร์ PEO ในอิเล็กโตรไลต์ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และไม่ช่วยให้เซลล์แสงอาทิตย์มีความคงทนขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลของ PEO ที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากเกินไป ซึ่งการที่น้ำหนักโมเลกุล (M_w) มีค่ามากไปจะส่งผลโดยตรงต่อความหนืดของอิเล็กโตรไลต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโตรไลต์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติม PEO เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย ซึ่งปัญหานี้ อาจแก้ไขได้ โดยการเติมอนุภาคนาโน SiO_2 ในปริมาณที่เหมาะสม แทนการเติม PEO ซึ่งจะทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็กโตรไลต์สามารถเพิ่มขึ้นได้ และจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในที่สุด [80-82]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการวิจัยของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสารสกัดจากพืชธรรมชาติหลายชนิด ซึ่งในส่วนใหญ่ของงานวิจัยจะใช้สีย้อมไวแสงจากการสกัดเมล็ดค้ำแสดและยางมังคุดมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจะใช้ฟิล์มนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชั้นสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้างในชั้นไฟฟ้าเวดคิงและใช้ฟิล์มโลหะ Pt เป็นชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาในชั้นแคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบสารละลายคูรีดอกซ์ของไอโอดีน-ไตรไอโอดีน (I/I_3^-) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงจากสารสกัดเมล็ดค้ำแสดจะมีสารละลายโคคลอโรมีเทนเป็นสารละลายที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสีจากเมล็ดค้ำแสดให้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 0.29% และเวลาที่เหมาะสมในการแช่สีย้อมค้ำแสดคือ 48 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.59% เมื่อทำการปรับค่า pH ของสีย้อมจะพบว่าที่ค่า pH 8 เซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมเมล็ดค้ำแสดให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด 0.55%

2. เมื่อทำการสกัดส่วนต่างๆของมังคุดเพื่อใช้เป็นสีย้อมไวแสงจะพบว่ายางมังคุดให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.85 % ซึ่งเมื่อดูจากค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากยางมังคุดพบว่าเป็นสารในกลุ่มแซนโทนที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ที่ช่วยให้อะตอมกับ TiO_2 ได้ดี โดยสารละลายในการสกัดและเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมกับยางมังคุดคือ เอทานอล เมื่อเก็บสารสกัดจากยางมังคุดเป็นลักษณะของแข็งแล้วนำมาเตรียมเป็นสีย้อมจะเตรียมที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร และเวลาที่เหมาะสมในการแช่สีย้อมจากสารสกัดยางมังคุดคือ 48 ชั่วโมง จะให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 0.91% เซลล์แสงอาทิตย์จากสีย้อมจากยางมังคุดให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ pH 1 มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 1.15%

3. การศึกษาถึงความคงตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การวัดที่สภาวะมาตรฐานพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นเล็กน้อยในช่วง 100 ชั่วโมงแรก ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการแพร่ของอิเล็กโทรไลต์เข้าสู่ชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ได้ดีขึ้น จากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงตามเวลา อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมเป็นสารสกัดจากยางมังคุดยังคงเหลือ 63% ของค่าเริ่มต้นหลังจากวัดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1000 ชั่วโมง และเมื่อศึกษาการเพิ่มพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิเอธิลีนออกไซด์ (PEO) ในสารอิเล็กโทรไลต์พบว่าเซลล์

แสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่ม PEO ให้ค่าประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณีที่ไม่ได้เติม PEO และค่าประสิทธิภาพมีไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มลดลงตามเวลา เมื่อเวลาผ่านไป 1000 ชั่วโมง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พอลิเมอร์อีเล็กโตรไลต์ที่ความเข้มข้นของ PEO 1 wt% มีค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นมากกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ PEO ค่าอื่นๆ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอีเล็กโตรไลต์ธรรมดาจะมีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 96% จากค่าเริ่มต้น และแบบพอลิเมอร์อีเล็กโตรไลต์ที่ 1 wt% มีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 88% จากค่าเริ่มต้นเมื่อทดสอบด้วยสีย้อมมาตรฐาน (N719) ในส่วนของการเพิ่ม PEO ที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยต่างๆกันในอีเล็กโตรไลต์ จะพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PEO เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุล เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความหนืดของสารอีเล็กโตรไลต์เมื่อเพิ่ม PEO ลงไป ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบอีเล็กโตรไลต์ธรรมดาจะมีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 57% จากค่าเริ่มต้น และพอลิเมอร์อีเล็กโตรไลต์ที่น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 100000 กรัมต่อโมล มีค่าประสิทธิภาพคงเหลือประมาณ 49% จากค่าเริ่มต้น เมื่อใช้สีย้อมจากสารสกัดยางมังคุด

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสีย้อมไวแสงจากสารสกัดจากพืชธรรมชาตินั้นสามารถนำมาทำเป็นสีย้อมไวแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ แต่ประสิทธิภาพที่ได้นั้นยังมีค่าต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสังเคราะห์ที่มีธาตุโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงจากสารสกัดจากพืชยังมีความต้านทานภายในสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับราคาของสารสกัดจากธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าสีย้อมสังเคราะห์มาก มีขั้นตอนการทำที่ไม่ยุ่งยาก และยังคงสามารถพัฒนาต่อได้ จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการใช้เป็นสีย้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

ถึงแม้ว่าผลของการเพิ่มพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิเอธิลีนออกไซด์ (PEO) ในสารอีเล็กโตรไลต์ของงานวิจัยนี้มีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารอีเล็กโตรไลต์ที่ไม่ได้เติม PEO แต่จะพบว่าพอลิเมอร์อีเล็กโตรไลต์มีผลช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และลดข้อเสียของระบบอีเล็กโตรไลต์ที่เกิดการระเหย และรั่วซึมได้ โดยสามารถทดลองเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล หรือทำการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกันเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. O'Regan and M. Gratzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature*, vol. 353, pp. 737-740, 1991.
- [2] Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide, and L. Han, "Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%," *Japanese Journal of Applied Physics, Part 2: Letters*, vol. 45, pp. L638-L640, 2006.
- [3] S. Hao, J. Wu, Y. Huang, and J. Lin, "Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell," *Solar Energy*, vol. 80, pp. 209-214, 2006.
- [4] G. Calogero, J.-H. Yum, A. Sinopoli, G. Di Marco, M. Gratzel, and M. K. Nazeeruddin, "Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells," *Solar Energy*, vol. 86, pp. 1563-1575.
- [5] K. V. Hemalatha, S. N. Karthick, C. Justin Raj, N. Y. Hong, S. K. Kim, and H. J. Kim, "Performance of *Kerria japonica* and *Rosa chinensis* flower dyes as sensitizers for dye-sensitized solar cells," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 96, pp. 305-309.
- [6] G. R. A. Kumara, S. Kaneko, M. Okuya, B. Onwona-Agyeman, A. Konno, and K. Tennakone, "Shiso leaf pigments for dye-sensitized solid-state solar cell," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 90, pp. 1220-1226, 2006.
- [7] A. S. Polo and N. Y. Murakami Iha, "Blue sensitizers for solar cells: Natural dyes from Calafate and Jaboticaba," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 90, pp. 1936-1944, 2006.
- [8] K. Wongcharee, V. Meeyoo, and S. Chavadej, "Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 91, pp. 566-571, 2007.
- [9] H. Chang, H. M. Wu, T. L. Chen, K. D. Huang, C. S. Jwo, and Y. J. Lo, "Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 495, pp. 606-610.
- [10] E. Yamazaki, M. Murayama, N. Nishikawa, N. Hashimoto, M. Shoyama, and O. Kurita, "Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells," *Solar Energy*, vol. 81, pp. 512-516, 2007.
- [11] สำนักวิชาการพลังงาน, "เซลล์แสงอาทิตย์," in [Online]. Available: area3.energy.go.th:กระทรวงพลังงาน.
- [12] G. Dennler, M. C. Scharber, and C. J. Brabec, "Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunction Solar Cells," *Advanced Materials*, vol. 21, pp. 1323-1338, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] N. Blouin, A. Michaud, D. Gendron, S. Wakim, E. Blair, R. Neagu-Plesu, M. Belletate, G. Durocher, Y. Tao, and M. Leclerc, "Toward a Rational Design of Poly(2,7-Carbazole) Derivatives for Solar Cells," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 130, pp. 732-742, 2013/02/04 2007.
- [14] S. H. Park, A. Roy, S. Beaupre, S. Cho, N. Coates, J. S. Moon, D. Moses, M. Leclerc, K. Lee, and A. J. Heeger, "Bulk heterojunction solar cells with internal quantum efficiency approaching 100%," *Nature Photonics*, vol. 3, pp. 297-303, 2009.
- [15] Y. Liang, Z. Xu, J. Xia, S.-T. Tsai, Y. Wu, G. Li, C. Ray, and L. Yu, "For the Bright Future—Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells with Power Conversion Efficiency of 7.4%," *Advanced Materials*, vol. 22, pp. E135-E138.
- [16] D. Quick, "World record efficiency for organic based photovoltaic solar cells," December 5, 2010.
- [17] H. Fu, M. Choi, W. Luan, Y.-S. Kim, and S.-T. Tu, "Hybrid solar cells with an inverted structure: Nanodots incorporated ternary system," *Solid-State Electronics*, vol. 69, pp. 50-54.
- [18] J.-J. Chao, S.-C. Shiu, and C.-F. Lin, "GaAs nanowire/poly(3,4-ethylenedioxythiophene): poly(styrenesulfonate) hybrid solar cells with incorporating electron blocking poly(3-hexylthiophene) layer," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 105, pp. 40-45.
- [19] T.-W. Zeng, H.-H. Lo, C.-H. Chang, Y.-Y. Lin, C.-W. Chen, and W.-F. Su, "Hybrid poly(3-hexylthiophene)/titanium dioxide nanorods material for solar cell applications," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 93, pp. 952-957, 2009.
- [20] C.-T. Chen, F.-C. Hsu, Y.-M. Sung, H.-C. Liao, W.-C. Yen, W.-F. Su, and Y.-F. Chen, "Effects of metal-free conjugated oligomer as a surface modifier in hybrid polymer/ZnO solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 107, pp. 69-74.
- [21] S.-Y. Park, W.-D. Kim, D.-G. Kim, J.-K. Kim, Y.-S. Jeong, J. H. Kim, J. K. Lee, S. H. Kim, and J.-W. Kang, "Effect of hybrid carbon nanotubes bimetallic composite particles on the performance of polymer solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, pp. 750-754.
- [22] Z. Iqbal, W.-Q. Wu, D.-B. Kuang, L. Wang, H. Meier, and D. Cao, "Phenothiazine-based dyes with bilateral extension of pi-conjugation for efficient dye-sensitized solar cells," *Dyes and Pigments*, vol. 96, pp. 722-731.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [23] X. Cheng, S. Sun, M. Liang, Y. Shi, Z. Sun, and S. Xue, "Organic dyes incorporating the cyclopentadithiophene moiety for efficient dye-sensitized solar cells," *Dyes and Pigments*, vol. 92, pp. 1292-1299.
- [24] Z.-S. Wang, H. Kawauchi, T. Kashima, and H. Arakawa, "Significant influence of TiO₂ photoelectrode morphology on the energy conversion efficiency of N719 dye-sensitized solar cell," *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 248, pp. 1381-1389, 2004.
- [25] P. Pachy, T. Renouard, S. M. Zakeeruddin, R. Humphry-Baker, P. Comte, P. Liska, L. Cevey, E. Costa, V. Shklover, L. Spiccia, G. B. Deacon, C. A. Bignozzi, and M. Gratzel, "Engineering of Efficient Panchromatic Sensitizers for Nanocrystalline TiO₂-Based Solar Cells," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 123, pp. 1613-1624, 2001/08/29 2001.
- [26] S. Global, "cx_news." vol. vol 56: sony corporation, 2013.
- [27] J. B. s. Blog, "In the heat of the Sun: efficiency and temperature of solar cells." vol. 7, 2009.
- [28] ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, "เซลล์แสงอาทิตย์," in วารสารประสิทธิภาพพลังงาน: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.
- [29] ๒. พวงจำปี, "ซิลิคอน," กรุงเทพฯ: กลุ่มเทคโนโลยีโลทวิทยา, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ 2547.
- [30] ว. พรหมอารักษ์และคณะ, " เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง," วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, vol. 9, พฤษภาคม-สิงหาคม 2550.
- [31] A. Kay and M. Grätzel, "Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 44, pp. 99-117, 1996.
- [32] M Landmann, E. Rauls, and W. G. Schmidt, "The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO₂," *Phys.: Condens. Matter* vol. 24, 2012.
- [33] W. Kubo, K. Murakoshi, T. Kitamura, S. Yoshida, M. Haruki, K. Hanabusa, H. Shirai, Y. Wada, and S. Yanagida, "Quasi-Solid-State Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cells: Effective Charge Transport in Mesoporous Space Filled with Gel Electrolytes Containing Iodide and Iodine," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 105, pp. 12809-12815, 2001/08/29 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [34] M. K. Nazeeruddin, T. Bessho, L. Cevey, S. Ito, C. Klein, F. De Angelis, S. Fantacci, P. Comte, P. Liska, H. Imai, and M. Graetzel, "A high molar extinction coefficient charge transfer sensitizer and its application in dye-sensitized solar cell," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 185, pp. 331-337, 2007.
- [35] M. K. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Humphry-Baker, E. Mueller, P. Liska, N. Vlachopoulos, and M. Graetzel, "Conversion of light to electricity by cis-X₂bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II) charge-transfer sensitizers (X = Cl-, Br-, I-, CN-, and SCN-) on nanocrystalline titanium dioxide electrodes," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 115, pp. 6382-6390, 2012/08/29 1993.
- [36] M. K. Nazeeruddin, C. Klein, P. Liska, and M. Graetzel, "Synthesis of novel ruthenium sensitizers and their application in dye-sensitized solar cells," *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 249, pp. 1460-1467, 2005.
- [37] K. D. Seo, I. T. Choi, Y. G. Park, S. Kang, J. Y. Lee, and H. K. Kim, "Novel of a coumarin dyes containing low band-gap chromophores for dye-sensitized solar cells," *Dyes and Pigments*, vol. 94, pp. 469-474.
- [38] K. D. Seo, H. M. Song, M. J. Lee, M. Pastore, C. Anselmi, F. De Angelis, M. K. Nazeeruddin, M. Graetzel, and H. K. Kim, "Coumarin dyes containing low-band-gap chromophores for dye-sensitized solar cells," *Dyes and Pigments*, vol. 90, pp. 304-310.
- [39] C. Sakong, S. H. Kim, S. B. Yuk, J. W. Namgoong, S. W. Park, M. J. Ko, D. H. Kim, K. S. Hong, and J. P. Kim, "Influence of solvent and bridge structure in alkylthio-substituted triphenylamine dyes on the photovoltaic properties of dye-sensitized solar cells," *Chemistry - An Asian Journal*, vol. 7, pp. 1817-1826.
- [40] H. Tian, X. Yang, R. Chen, R. Zhang, A. Hagfeldt, and L. Sun, "Effect of different dye baths and dye-structures on the performance of dye-sensitized solar cells based on triphenylamine dyes," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 112, pp. 11023-11033, 2008.
- [41] F. Zhang, Y.-h. Luo, J.-s. Song, X.-z. Guo, W.-l. Liu, C.-p. Ma, Y. Huang, M.-f. Ge, Z. Bo, and Q.-B. Meng, "Triphenylamine-based dyes for dye-sensitized solar cells," *Dyes and Pigments*, vol. 81, pp. 224-230, 2009.
- [42] M. Ryan, "Progress in Ruthenium Complexes for Dye Sensitized Solar Cells," *Platinum metals review*, vol. 53, pp. 216-218, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [43] D. Kuang, P. Wang, S. Ito, S. M. Zakeeruddin, and M. Gratzel, "Stable Mesoscopic Dye-Sensitized Solar Cells Based on Tetracyanoborate Ionic Liquid Electrolyte," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 128, pp. 7732-7733, 2012/08/29 2006.
- [44] P. Wang, S. M. Zakeeruddin, J.-E. Moser, and M. Gratzel, "A New Ionic Liquid Electrolyte Enhances the Conversion Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 107, pp. 13280-13285, 2012/08/29 2003.
- [45] U. Bach, D. Lupo, P. Comte, J. E. Moser, F. Weissartel, J. Salbeck, H. Spreitzer, and M. Gratzel, "Solid-state dye-sensitized mesoporous TiO₂ solar cells with high photon-to-electron conversion efficiencies," *Nature*, vol. 395, pp. 583-585, 1998.
- [46] J. H. Kim, M.-S. Kang, Y. J. Kim, J. Won, N.-G. Park, and Y. S. Kang, "Dye-sensitized nanocrystalline solar cells based on composite polymer electrolytes containing fumed silica nanoparticles," *Chemical Communications*, pp. 1662-1663, 2004.
- [47] S. J. Lim, Y. S. Kang, and D.-W. Kim, "Dye-sensitized solar cells with quasi-solid-state cross-linked polymer electrolytes containing aluminum oxide," *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 2031-2035.
- [48] A. F. Nogueira, J. R. Durrant, and M. A. De Paoli, "Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells Employing a Polymer Electrolyte," *Advanced Materials*, vol. 13, pp. 826-830, 2001.
- [49] J. Tang, W. Wu, J. Hua, J. Li, X. Li, and H. Tian, "Starburst triphenylamine-based cyanine dye for efficient quasi-solid-state dye-sensitized solar cells," *Energy & Environmental Science*, vol. 2, pp. 982-990, 2009.
- [50] L. Wang, S. Fang, Y. Lin, X. Zhou, and M. Li, "A 7.72% efficient dye sensitized solar cell based on novel necklace-like polymer gel electrolyte containing latent chemically cross-linked gel electrolyte precursors," *Chemical Communications*, pp. 5687-5689, 2005.
- [51] J. Jeong, "An optical power meter and a thermopile detector both have applications in photovoltaics research," 2009.
- [52] J. H. V. Elbe and S. J. Schwartz, *Colorants. In Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.
- [53] M. F. Perutz, "Hemoglobin and Respiratory Structure," *Scientific American*, pp. 144-158, 1978.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [54] H. Chang and Y.-J. Lo, "Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells," *Solar Energy*, vol. 84, pp. 1833-1837.
- [55] S. Furukawa, H. Iino, T. Iwamoto, K. Kukita, and S. Yamauchi, "Characteristics of dye-sensitized solar cells using natural dye," *Thin Solid Films*, vol. 518, pp. 526-529, 2009.
- [56] G. Calogero and G. D. Marco, "Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, pp. 1341-1346, 2008.
- [57] P. Luo, H. Niu, G. Zheng, X. Bai, M. Zhang, and W. Wang, "From salmon pink to blue natural sensitizers for solar cells: *Canna indica* L., *Salvia splendens*, cowberry and *Solanum nigrum* L.," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 74, pp. 936-942, 2009.
- [58] N. M. Gamez-Ortiz, I. A. Vazquez-Maldonado, A. R. Perez-Espadas, G. J. Mena-Rejan, J. A. Azamar-Barrios, and G. Oskam, "Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, pp. 40-44.
- [59] H. Zhou, L. Wu, Y. Gao, and T. Ma, "Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 219, pp. 188-194.
- [60] G. Calogero, G. Di Marco, S. Cazzanti, C. S., R. Argazzi, A. Di Carlo, and C. A. Bignozzi, "Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Using Red Turnip and Purple Wild Sicilian Prickly Pear Fruits," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 11, pp. 254-267, 2010.
- [61] S. Ito, T. Saitou, H. Imahori, H. Uehara, and N. Hasegawa, "Fabrication of dye-sensitized solar cells using natural dye for food pigment: Monascus yellow," *Energy & Environmental Science*, vol. 3, pp. 905-909.
- [62] Ali RAM and N. N., "Fabrication and analysis of dye-sensitized solar cell using natural dye extracted from dragon fruit," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 2, pp. 55-62, 2010.
- [63] B. MH., "Performance of nanostructured dye-sensitized solar cell utilizing natural sensitizer operated with platinum and carbon coated counter electrodes digest.," *Journal of Nanomaterials and Biostructures* vol. 4, p. 723, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [64] Lai WH, Sub YH, H. Teoh LG, and MH., "Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles. ," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 195, p. 307, 2008.
- [65] N. G. Park, J. van de Lagemaat, and A. J. Frank, "Comparison of Dye-Sensitized Rutile- and Anatase-Based TiO₂ Solar Cells," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 104, pp. 8989-8994, 2013/01/09 2000.
- [66] B. Volker, F. Wolz, T. Burgi, and D. Lingenfelter, "Dye Bonding to TiO₂: In Situ Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy Study, Simulations, and Correlation with Dye-Sensitized Solar Cell Characteristics," *Langmuir*, vol. 28, pp. 11354-11363, 2013/02/16.
- [67] Y. Seo and J. H. Kim, "Rapid dye adsorption for dye-sensitized solar cells using a simple ultrasonication method," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 19, pp. 488-492.
- [68] E. Knehr, "Maintaining Color Stability," 2006.
- [69] E. B. Walker, "HPLC analysis of selected xanthenes in mangosteen fruit," *Journal of Separation Science*, vol. 30, pp. 1229-1234, 2007.
- [70] R.-K. Zhang, Z. Sun, H.-H. Xie, X. Wu, M. Liang, and S. Xue, "A new comb-like copolymer and its blend with poly(ethylene oxide) for solid electrolytes and application in dye-sensitized solar cells," *Solar Energy*, vol. 86, pp. 2346-2353.
- [71] B. A. Gregg, F. Pichot, S. Ferrere, and C. L. Fields, "Interfacial recombination processes in dye-sensitized solar cells and methods to passivate the interfaces," *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 105, pp. 1422-1429, 2001.
- [72] X. Huang, Y. Liu, J. Deng, B. Yi, X. Yu, P. Shen, and S. Tan, "A novel polymer gel electrolyte based on cyanoethylated cellulose for dye-sensitized solar cells," *Electrochimica Acta*, vol. 80, pp. 219-226.
- [73] D. Cahen, G. Hodes, M. Gratzel, J. F. o. Guillemoles, and I. Riess, "Nature of Photovoltaic Action in Dye-Sensitized Solar Cells," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 104, pp. 2053-2059, 2012/09/13 2000.
- [74] Y.-S. Jung, A. R. Sathiya Priya, M. K. Lim, S. Y. Lee, and K.-J. Kim, "Influence of amylopectin in dimethylsulfoxide on the improved performance of dye-sensitized solar cells," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 209, pp. 174-180.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [75] C. H. Ahn, J.-D. Jeon, and S.-Y. Kwak, "Photoelectrochemical effects of hyperbranched polyglycerol in gel electrolytes on the performance of dye-sensitized solar cells," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, pp. 2184-2190.
- [76] S. J. Lue, P. W. Lo, L.-Y. Hung, and Y. L. Tung, "Application of micro-porous polycarbonate membranes in dye-sensitized solar cells: Cell performance and long-term stability," *Journal of Power Sources*, vol. 195, pp. 7677-7683.
- [77] J. Kang, W. Li, X. Wang, Y. Lin, X. Xiao, and S. Fang, "Polymer electrolytes from PEO and novel quaternary ammonium iodides for dye-sensitized solar cells," *Electrochimica Acta*, vol. 48, pp. 2487-2491, 2003.
- [78] M. Wang, X. Xiao, X. Zhou, X. Li, and Y. Lin, "Investigation of PEO-imidazole ionic liquid oligomer electrolytes for dye-sensitized solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 91, pp. 785-790, 2007.
- [79] R. O. Ebewele, *Polymer Science and Technology*. Boca Raton, New York: CRC Press, 1996.
- [80] C.-W. Nan, L. Fan, Y. Lin, and Q. Cai, "Enhanced Ionic Conductivity of Polymer Electrolytes Containing Nanocomposite SiO₂ Particles," *Physical Review Letters*, vol. 91, p. 266104, 2003.
- [81] M. Berginc, M. Hoačvar, U. Opara Kraovec, A. Hirsch, R. Sastrawan, and M. Topić, "Ionic liquid-based electrolyte solidified with SiO₂ nanoparticles for dye-sensitized solar cells," *Thin Solid Films*, vol. 516, pp. 4645-4650, 2008.
- [82] M.-S. Kang, J. H. Kim, J. Won, and Y. S. Kang, "Oligomer Approaches for Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells Employing Polymer Electrolytes," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 111, pp. 5222-5228, 2012/11/23 2007.

ภาคผนวก

ข้อมูลของพืชธรรมชาติที่ใช้เป็นสีย้อมสำหรับ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

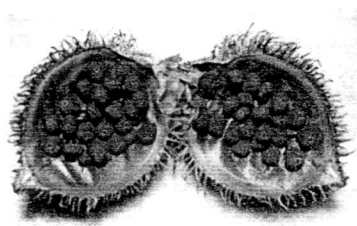
1. คำแสดง



รูปที่ 1.1 ผลและต้นคำแสดง

คำแสดงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง หรือไม้พุ่มขนาดใหญ่ สูงประมาณ 3-5 เมตร มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่แถบเขตร้อนของทวีปอเมริกาตอนกลาง ต่อมาได้ขยายต่อไปทางเหนือและใต้ เช่น เม็กซิโก กัวเตมาลา และ บราซิล ก่อนถูกนำไปปลูกในเขตร้อนทั่วโลก สำหรับประเทศไทยพบปลูกคำแสดงในทุกภาค แต่คาดว่าคำแสดงคงเข้ามาในประเทศไทยไม่เกิน 150 ปี คำแสดงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bixa orellana* Linn. อยู่ในวงศ์ Bixaceae ชื่อสามัญคือ Annatto tree คำแสดงมีใบคล้ายใบโพธิ์ ก้านใบยาวสีแดง หน้าใบสีเขียวเป็นมัน ท้องใบสีเทาหรือเขียวอมน้ำตาล ใบบางนุ่ม ไม่ผลัดใบ ดอกออกเป็นช่อใหญ่ตามปลาย ยอดของกิ่ง ดอกมีสีขาวหรือชมพู รูปร่างคล้ายดอกกุหลาบ กลีบดอกมี ชั้นเดียว ปกติออกดอกช่วงฤดูหนาวตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ผลมีรูปไข่ ขนาดราว 2.5 x 4 เซนติเมตร ผิวนอกของผลปกคลุมด้วยขนยาวคล้ายผลเงาะ เมื่อแก่จัดผิวนอกและขนกลายเป็นสีเหลืองหรือ แดงส้ม รวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตาม ปลายกิ่งดูสวยงามและติดอยู่ได้นาน ภายในผลแต่ละผลมีเมล็ดขนาดเล็กอยู่ภายในประมาณ 50 เมล็ด แต่ละเมล็ดจะห่อหุ้มด้วยผงสีแดงส้ม ซึ่งเกิดจากสารที่ชื่อ ไบซิน (bixin) และออเรลลิน (orellin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 เมล็ดคำแสด

ประโยชน์ของคำแสดในทางสมุนไพร คำแสดใช้รักษาโรคได้หลายอย่าง เช่น ดอกใช้เลือดให้บริบูรณ์ แก่แสบร้อนตามผิวหนัง แก้พิษ เป็นต้น เมล็ดใช้ตัดไข้จับ แก้ลม ส่วนเนื้อหุ้มเมล็ดเป็นยาระบาย ส่วนที่ใช้ประโยชน์จากคำแสดมากที่สุดก็คือสีที่ได้จากเนื้อหุ้มเมล็ด นั่นเอง คนท้องถิ่นดั้งเดิมในเขตอเมซอนใช้ทำตามร่างกายและใบหน้า แสดงเอกลักษณ์เฉพาะตัว ใช้ย้อมเสื้อผ้า ส่วนคนรุ่นใหม่ในประเทศพัฒนาแล้ว นำสีจากเมล็ดคำแสดมาใช้ในการค้า เรียกว่า annatto เป็นสีย้อมเฉพาะใช้เรียกสีที่สกัดได้จากเนื้อหุ้มเมล็ดคำแสด สีจากคำแสดใช้ย้อมฝ้ายและไหม และแต่งสีอาหารที่เป็นไขมัน เช่น เนย เนยแข็ง เนย เทียม ฯลฯ หรือเพิ่มความเข้มของไข่แดง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผู้นำมาใช้เป็นยาขัดพื้น ยาขัดรองเท้า และเครื่องสำอางบางชนิด เนื่องจากสีจากคำแสดเป็นสีจากพืชพันธุ์ธรรมชาติจึงมีสีเฉพาะตัวและไม่เป็นพิษภัยเหมือนสีสังเคราะห์จากสารเคมี

ที่มา : 2555. สมุนไพรคำแสด. [Online].Available : www.thehuki.com.

2. ก้างปลาเครือ



รูปที่ 2 ลูกก้างปลาเครือ

ก้างปลาเครือ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Phyllanthus reticulatus* Poir. อยู่ในวงศ์ EUPHORBIACEAE เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กสูงประมาณ 7 เมตร ใบออกเรียงสลับกัน ใบไม่มีสารแทนนิน ผลสุกสีดำ มีชื่อท้องถิ่นว่า ก้างปลาเครือ ดอกออกเป็นช่อๆ ละ 2-10 ดอก ตามซอกใบ และปลายกิ่ง

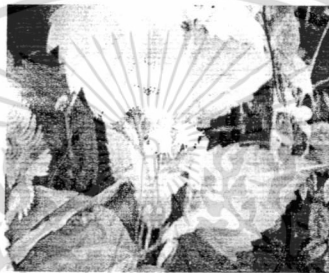
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวหรือใบเหลืองที่เห็นที่นี้ กรุณาอย่าทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอด ดอกมีขนาดเล็ก กลีบดอก 5 กลีบ สีแดงขอบสีจาง ผลกลมแบน สีดำ ภายในมี 9 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ดรูปสามเหลี่ยม 2 เมล็ดเรียงซ้อนกัน ผิวเมล็ดเป็นมันใสสีเขียว พบตามที่รกร้างทั่วไป มีสรรพคุณทางยาทุกส่วน ใบต้มดื่มขับปัสสาวะ ต้น เปลือก รสฝาดเผื่อนแก้บิดแก้ท้องเสีย ลูกสมานในระบบทางเดินอาหาร รากแก้ไข้รากสาดได้

ที่มา : อ.ณรงค์ศักดิ์ เจริญสิทธิชัย. 2555. [ฐานข้อมูลพรรณไม้รายต้น. \[Online\].Available: http://www.hinsorn.ac.th/botanyhinsorn.](http://www.hinsorn.ac.th/botanyhinsorn)

3. สาบเสือ



รูปที่ 3 สาบเสือ

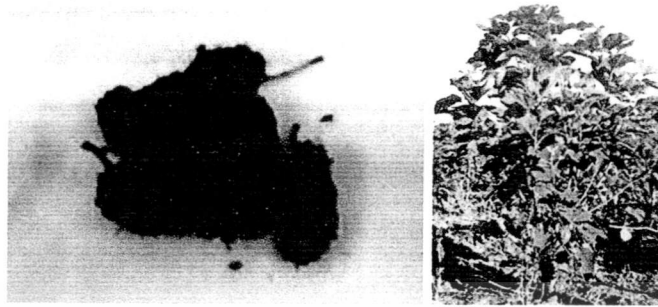
สาบเสือเป็นวัชพืชอายุหลายปี ลำต้นและกิ่งก้านปกคลุม ด้วยขนอ่อนนุ่ม ก้านและใบเมื่อขยี้จะมีกลิ่นแรงคล้ายสาบเสือ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Eupatorium odoratum* L. และมีชื่อสามัญว่า Bitter bush, Siam weed อยู่ในวงศ์ Asteraceae สาบเสือนี้อายุสูง 1-2 เมตร ใบเดี่ยวออกจากลำต้น ที่ข้อแบบตรงกันข้าม รูปรีค่อนข้างเป็นสามเหลี่ยมขอบใบ หยัก ปลายใบแหลม ฐานใบกว้าง เรียวสอบเข้าหากัน สีเขียวอ่อน เส้นใบเห็นชัดเจน 3 เส้น มีขนปกคลุม ผิวใบทั้งสองด้าน ดอกเป็นช่อ สีขาวหรือฟ้าอมม่วง ดอกย่อย 10-35 ดอก ดอกวงนอกบานก่อน กลีบดอก หลอมรวมกันเป็นหลอด ผลขนาดเล็ก รูปร่างเป็น ห้า เหลี่ยมสีน้ำตาลหรือดำ มีหนามแข็งบนเส้นของผล ส่วน ปลายผลมีขนสีขาว ช่วยพวงให้ผลและเมล็ดปลิวตามลม มักพบตามที่รกร้างทั่วไป ชอบขึ้นตามที่มืดแฉะตามทุ่งกว้าง ริมถนน

ประโยชน์ของสาบเสือจะใช้ก้านและใบเพื่อฆ่าแมลง ห้ามเลือดแก้แผลที่แมลงบางชนิดกัดแล้วเลือดไหลไม่หยุด ใช้ใบสดตำพอกปากแผล หรือ อาจใช้ใบสดตำกับปูนกินหมากพอกแผลห้ามเลือดได้ หรือใช้ใบสดขยี้ปิดปากแผลเลือดออกเล็กน้อยได้ดี

ที่มา : POL.SGT.Suwit manasthaisong. 2555. [บล็อกมหาวิทยาลัยแห่งสมุนไพรรไทย. \[Online\].Available : thaiherb-tip108.blogspot.com.](http://thaiherb-tip108.blogspot.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลูกหม่อน



รูปที่ 4 ลูกหม่อนและต้นหม่อน

หม่อนเป็นไม้ยืนต้นจำพวกไม้พุ่ม อยู่ในวงศ์ Moraceae genus Morus มีอยู่หลาย ชนิด ที่พบมากมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* Linn. หม่อนมีลำต้นใหญ่ ตั้งตรง มีกิ่งก้านมาก ใบ เป็นส่วนที่ใช้เลี้ยงไหม ขนาด ความหนา และลักษณะรูปร่างของขอบใบจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ รากประกอบด้วยรากแก้ว รากแขนง และรากฝอย แต่หม่อนที่ขยายพันธุ์ด้วยกิ่งจะมีรากแขนงและรากฝอยเท่านั้น โดยรากแขนงจะทำหน้าที่ยึดลำต้นและกิ่งให้ทรงตัวอยู่ได้ ส่วนรากฝอยมีหน้าที่ดูดซึมอาหารและน้ำจากดิน ดอกและผล โดยทั่วไปหม่อนเป็นพืชที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันคนละต้น แต่บางพันธุ์อาจมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกหม่อนมีลักษณะเป็นกลุ่มเกาะติดกันเป็นช่อ เมื่อดอกตัวเมียได้รับการผสมจะเปลี่ยนเป็นผล ซึ่งมีลักษณะเป็นช่อประกอบด้วยเมล็ดเล็กๆ จำนวนมาก

ประโยชน์ของใบหม่อนเป็นอาหารของหนอนไหม และหนอนไหมที่เจริญเติบโตเต็มที่ จะนำโปรตีนในใบหม่อนไปสร้างเป็นโปรตีนผลิตเป็นเส้นไหม ซึ่งเส้นไหม จะเป็นวัตถุดิบในการผลิตผ้าไหมที่มีความสวยงาม ผลหม่อนสามารถรับประทานสด นำไปแปรรูปเป็นน้ำผลหม่อนเข้มข้นหรือพร้อมดื่ม และเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารต่าง เช่น ไอศกรีม แยม แยมลี่ ข้าวเกรียบ ขนมพายลูกหม่อน รวมทั้งการผลิตเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทไวน์ ลำต้นและกิ่งสามารถใช้เป็นไม้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางกีฬางานชนิดได้ และเยื่อจากเปลือกลำต้นและกิ่งสามารถนำมาทำเป็นกระดาษที่สวยงามเช่นเดียวกับกระดาษสา นอกจากนี้สามารถนำต้นหม่อนไปใช้ในการจัดและประดับสวน เพื่อให้มีภูมิทัศน์ที่ดีได้เนื่องจากต้นหม่อนทนต่อการตัดแต่ง และหลังการตัดแต่งจะมีการแตกกิ่งและเจริญเติบโตเร็ว

ใบหม่อนมีสาร flavonoid phytoestrogen , triterpene , ceramide , mulberroside และน้ำมันหอมระเหย และใบหม่อนสามารถนำไปทำเป็นชาสำหรับชงน้ำร้อนดื่มโดยจะทำในรูปชาเขียว ชาจีน และชาฝรั่ง หรือ รับประทานใบและยอดอ่อนโดยตรงโดยการใส่ในต้ม หรือแกงก็ได้

ที่มา : อุไรวรรณ นิลเพ็ชร. 2555. หม่อน (Mulberry) : พืชมากประโยชน์. [Online].Available : http://www.rdi.ku.ac.th/kufair50/plant/67_plant.

5. ลูกปราง



รูปที่ 5 ลูกปราง

ผักปลังนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือ ผักปลังขาว ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Basella alba* Linn. และผักปลังแดง ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Basella rubra* Linn. อยู่ในวงศ์ Basellaceae จะเห็นได้ว่าทั้งผักปลังขาวและผักปลังแดงต่างก็อยู่ในวงศ์และสกุลเดียวกัน อีกด้วย ทั้งผักปลังขาวและผักปลังแดง มีลักษณะร่วมกันคือ เป็นไม้เถาเลื้อย ลำต้นและใบอวบน้ำ ขึ้นพาดพันรั้วหรือค้ำ ใบรูปร่างคล้ายใบพลู แต่เล็กกว่านิดหน่อย ดอกสีแดงอ่อน ผลติดเป็นช่อ ผลขนาดเล็ก ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกสีม่วงดำ ผักปลังพบขึ้นเองตามธรรมชาติ ตามที่รกร้างว่างเปล่าที่น้ำไม่ท่วม สันนิษฐานว่าถิ่นกำเนิดดั้งเดิมของผักปลังอยู่ในทวีปแอฟริกาและเอเชียเขตร้อน จึงอาจนับได้ว่าผักปลังเป็นผักพื้นบ้านดั้งเดิมของไทยอีกชนิดหนึ่ง ความแตกต่างระหว่างผักปลังขาวและผักปลังแดงคือ ลำต้นและใบของผักปลังขาวมีสีเขียว ส่วนผักปลังแดงมีลำต้นและใบสีม่วงแดง ชื่อภาษาอังกฤษของผักปลังคือ Malabar Nightshade และ Ceylon Spinach

ส่วนของผักปลังที่ใช้เป็นผักคือส่วนยอด ใบ และดอกอ่อน ส่วนมากใช้เป็นผักจิ้ม โดยทำให้สุกเสียก่อน นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้แกงส้มอีกด้วย ผักปลังนับเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงชนิดหนึ่ง เพราะมีธาตุเหล็กและแคลเซียมอยู่สูง นอกจากนี้ยังมีวิตามินเอ วิตามินบี และวิตามินซี อยู่มากด้วย สำหรับเมื่อกินผักปลังนั้นก็มีคุณสมบัติเป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยให้ท้องไม่ผูก ผักปลัง มีคุณสมบัติทางสมุนไพรหลายอย่าง นอกจากใช้เป็น ยาระบายอ่อนๆแล้ว ต้นยังสามารถแก้พิษฝีดาษ ใบแก้กลาก ดอกแก้เกลื้อนได้

ที่มา : วราภรณ์ วิชญรัฐ. 2555. ไม้เลื้อยกินได้, สุวีริยาสาส์น กรุงเทพมหานคร, 2548. 120.

6. กระเจี๊ยบ



รูปที่ 6 กระเจี๊ยบ

กระเจี๊ยบแดง การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ เป็นพืชสมุนไพรที่เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 3-6 คอก ลำต้นและกิ่งก้านมีสีม่วงแดง ใบมีหลายแบบด้วยกัน ชอบใบเรียบ บางทีก็มีรอยหยักเว้า 3 หยัก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* L. ในวงศ์ Malvaceae ชื่อสามัญว่า กระเจี๊ยบแดง (Roselle) สีของดอกเป็นสีชมพู ตรงกลางดอกมีสีเข้มมากกว่าขอบนอกของกลีบ กลีบดอกร่วงโรยไป กลีบรองดอกและกลีบเลี้ยงก็จะเจริญเติบโตขึ้นอีกเกิดเป็นสีม่วงแดงเข้มหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายในสำหรับผลกระเจี๊ยบแดงนั้นมีลักษณะค่อนข้างกลม มีกลีบเลี้ยงหนาสีแดง เรามักจะนำผลแห้งใช้มาต้มทำน้ำกระเจี๊ยบ รสเปรี้ยวของดอกกระเจี๊ยบทำให้ชุ่มคอ กัดเสมหะ แก้ไอ ช่วยย่อยอาหาร แก้อ่อนเพลีย บำรุงกำลัง ขับเมือกมันในลำไส้ บำรุงโลหิต ช่วยขับปัสสาวะ และยังสามารถลดไขมันในเลือด ใบอ่อนและยอด มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย ใช้ต้มหรือแกง กลีบเลี้ยงสีแดง และรสเปรี้ยว มีคุณค่าทางอาหาร ตลอดจนถึงทำ อาหารหวานบางจำพวก เช่น แยม เมล็ดมีน้ำมันมาก เส้นใยจากต้น ใช้ทำเชือกและกระสอบ ผลอ่อน รับประทานติดต่อกัน 5-8 วัน โดยการต้มรับประทาน ช่วยขับพยาธิตัวจิ๋ว ผลแห้ง ปั่นเป็นผง กินครั้งละ 1 ช้อนโต๊ะ ตมน้ำตามวันละ 3-4 ครั้ง ช่วยรักษาโรคกระเพาะ

ที่มา : 2546. กรีนไฮเปอร์มาร์ท: สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืช.

7. ข้าวแดง

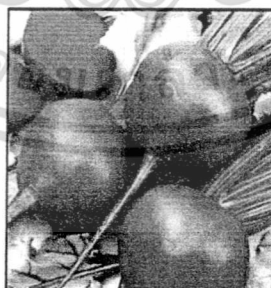


รูปที่ 7 ข้าวแดง

ข้าวแดงเมืองจีนหรืออังกัก เป็นพืชล้มลุกเขตร้อน ชอบขึ้นในที่ดินเหนียวมีน้ำท่วมขัง ข้าวมีลำต้น กลวงและแตกเป็นข้อเจริญเติบโตแบบแตกกอ ใบยาวเรียวยาวคล้ายเหมือนใบตะไคร้หรือใบหญ้าคา ดอกออกเป็นช่อดอกรวมที่ปลายยอด เรียกว่า รวงข้าว ผลหรือเมล็ดเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะมีสีเหลืองทอง ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. และชื่อสามัญคือ ข้าวแดง angkak Monascus เป็นต้น สามารถผลิตได้จากการใช้โมแนสคัสซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถสร้างรงควัตถุได้ ตั้งแต่สีเหลืองถึงสีแดงเลี้ยงบนข้าวเพื่อให้เกิดสี สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อ และปลา เป็นต้น รวมถึงใช้เป็นสีแดงสำหรับย้อมอาหาร

ที่มา : 2555. ข้าวแดงเมืองจีน อังกัก. [Online]. Available : http://www.rspg.or.th/plants_data/use/color3-2.htm.

8. บีทรูท



รูปที่ 8 บีทรูท

บีทรูท เป็นพืชที่หัวอยู่ใต้ดิน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Beta vulgaris* L. ในวงศ์ *Chenopodiaceae* และชื่อสามัญ คือ Chard, Beetroot, Sugarbeet, Mangel-wurzel มีสีแดง

น้ำ จึงใช้เป็นสีธรรมชาติผสมอาหารได้อย่างปลอดภัย นิยมนำมาแกะสลักตกแต่งอาหารให้มีสีสันน่า
เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ความรู้แก่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไปโดยไม่คิดค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับประทาน และสามารถทำเป็นเครื่องดื่มขึ้นโต๊ะได้อย่างดีอีกด้วย เพราะให้น้ำสีแดงสด รสชาติเยี่ยม เปี่ยมสรรพคุณ และที่สำคัญปรุงดื่มได้เอง คุณค่าทางโภชนาการ น้ำบีทรูทมีวิตามินซี และวิตามินเอ สูง หัวบีทรูทมีโพแทสเซียมสูงสารสีที่เรียกว่าเบทานินมีสรรพคุณในการรักษาโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันร่างกาย บำรุงเลือด ทำให้การไหลเวียนของโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย ได้ดี บำรุงไตและถุงน้ำดี เป็นอาหารล้างพิษสำหรับร่างกาย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่ติดสุราเรื้อรัง ผู้ติดยาเสพติด ผู้สูงอายุ และผู้ที่กำลังฟื้นฟูร่างกาย ใช้เป็นยาระบาย แก้กึ่งคอ ขับเสมหะ แก้ไอ ช่วยในการเจริญอาหารและแก้บิด ในสมัยโบราณนิยมนำส่วนหัวของบีทรูทมาใช้เป็นยาแก้อาการปวดต่างๆ เช่น ปวดหัวและปวดฟัน เป็นต้น

ที่มา : 2555. ข้อมูลของผักบีทรูท. [Online]. Available : <http://www.kmitl.ac.th/agritech/nutthakorn/sproject/sunnu/project/pak/beetroot.htm>.

9. มังคุด



รูปที่ 9 มังคุด

ชื่อพันธุ์ไม้ มังคุด

ชื่ออังกฤษ mangosteen

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Garcinia mangostana* Linn.

ชื่อวงศ์ Guttiferace

มังคุดมีฉายาในแถบเอเชียด้วยความภาคภูมิใจในผลไม้ชนิดนี้ว่า “ราชินีแห่งผลไม้, the queen of fruits” มีฉายาในแถบ French Caribbean ว่า “อาหารของพระเจ้า” “the food of the Gods” คนไทยรู้จักมังคุดเป็นอย่างดี รู้ว่ามังคุดเป็นยาเย็นหรือตามการแพทย์จีนเรียกว่ามีฤทธิ์ “เย็น” หลังจากกินทุเรียนที่มีรสร้อน หรือมีฤทธิ์เป็น “หยาง” แล้วต้องกินมังคุดตาม เพื่อให้ร่างกายเกิดความสมดุล ที่สำคัญคือ มังคุดเป็นผลไม้ร่อยมาก มีรสหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอม เป็นที่นิยมของทั้งคนเมืองและชนบท ไม่เว้นแม้แต่คนต่างชาติที่ชื่นชอบผลไม้เมืองร้อนนี้ด้วย ไม่ว่าจะเป็นฝรั่งหรือจีนก็ตาม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชาวไทยและชาวต่างประเทศ ซึ่งเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของไทยไปยังต่างประเทศ แหล่งกำเนิดของ มังคุดคาดว่าเป็นแถบหมู่เกาะมลายูและประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันยังพบมังคุดเป็น พืชในป่าธรรมชาติในประเทศมาเลเซียและหมู่เกาะในประเทศอินโดนีเซีย รวมทั้งในประเทศไทย ซึ่ง พบ “มังคุดป่า” หรือ “มะแปม”(Garcinia costata Hemsl.) บริเวณป่ารอยต่อ ๕ จังหวัดภาค ตะวันออก เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน ด้วยความอรร่ของมังคุดจึงมีความพยายามที่จะ นำมังคุดไปปลูกในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก แต่ดูเหมือนจะไม่ประสบความสำเร็จ มังคุดจึงยังคงเจริญเติบโต ได้ดีในแถบแหลมมลายูและชวา พม่า ไทย ประเทศในกลุ่มอินโดจีน สำหรับประเทศไทยนับว่าเป็น สวรรค์ของคนชอบมังคุด เพราะมังคุดไทยรสชาติดี เนื้อมากเมล็ดเล็ก เปลือกบาง ในประเทศอื่นมักจะมีเปลือกหนา รสชาติเปรี้ยวจัดกว่าของไทย

ประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกมังคุด ๓ แหล่งใหญ่ๆ คือ ภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป และภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดนนทบุรี มังคุดเป็นไม้ ต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ ทรงต้นแบบกรวยคว่ำหรือทรงพีระมิด เป็นพุ่มทึบ สูง ๑๐-๑๒ เมตร เมื่อ เจริญเติบโตเต็มที่อาจสูงถึง ๓๐ เมตร ทุกส่วนมียางสีเหลือง ใบเดี่ยวออกตรงข้ามใบ เป็นรูปใบพาย รูปไข่หรือรูปวงรีแกมขอบขนาน ปลายใบแหลม ใบคล้ายใบชมพู่ม่าเหมี่ยว หลังใบสีเขียวเข้มเป็นมัน ท้องใบสีอ่อนกว่า เนื้อใบค่อนข้างหนาและค่อนข้างเหนียว ใบมีขนาดใหญ่ยาว กว้าง ๖-๑๑ เซนติเมตร ยาว ๑๕-๒๕ เซนติเมตร ผล ค่อนข้างกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๓.๕-๗.๐ เซนติเมตร สีเขียวอมขาว เมื่อแก่จะเริ่มมีลายสีแดงๆ หรือม่วงแดง ชาวสวนเรียกलयนี้ว่า “สายเลือด” จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำภายใน ๒-๕ วัน เปลือกผลหนาค่อนข้างแข็ง ผลเกลี้ยงกลม มีสีม่วงหนาประมาณ ๐.๘-๑ เซนติเมตร เมล็ดมีรสขื่นขม สีขาวนี้คือส่วนเนื้อที่ใช้กิน มีรสหวานอมเปรี้ยว

ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์

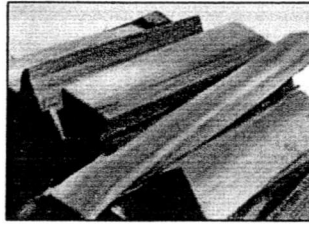
ผลใช้เป็นอาหาร ผลสุกมีรสหวานอมเปรี้ยวหอมอรร่ กินเป็นผลไม้ ในประเทศกานา มีการใช้ กิ่งเล็กของมังคุดเคี้ยวเล่นดับกลิ่นปาก เหมือนเคี้ยวหมากฝรั่ง ในประเทศจีนใช้เปลือกมังคุดไปย้อม หนังให้เป็นสีดำจากการที่เปลือกมังคุดมีสารแทนนิน(tannin) คาเทชิน (catechin) และโรซิน (rosin) อยู่ถึงร้อยละ ๗-๑๔ ในประเทศไทยใช้เนื้อไม้ของมังคุดซึ่งมีสีน้ำตาลแก่ หนัก จมน้ำ มีความทนทาน ปานกลาง นำเผาเป็นถ่านไว้ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในงานฝีมือ ใช้เป็นที่นวดข้าว หรือในงานก่อสร้าง

การใช้ประโยชน์ทางยาและวิธีใช้พื้นบ้าน

ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เปลือกผลที่สุกแล้วของมังคุดเป็นยา นิยมตากแห้งเก็บไว้ใช้ แต่ส่วนอื่นๆ ของ มังคุดก็สามารถนำมาใช้เป็นยาได้เช่นเดียวกัน ประเทศไทย ยาไทยส่วนใหญ่ใช้เปลือกผลมังคุดแก้ ท้องเสีย แก้บิด และรักษาแผล ประเทศจีน ได้นำเข้าเปลือกมังคุดแห้งแล้วนำไปบดเป็นผงใช้เป็นยา แก้บิด นำไปสกัดใส่ยาขี้ผึ้ง (ointment) ใช้ทาแก้ผื่นแพ้ (eczema) และปัญหาทางผิวหนังอื่นๆ เปลือกผลใช้ต้มกินเพื่อรักษาอาการท้องร่วงและทางเดินปัสสาวะอักเสบ โรคโกโนเรีย นอกจากนี้มังคุด มีฤทธิ์ต้านโรคและอาการทางหัวใจและหลอดเลือด อาการอักเสบของกระดูกและกล้ามเนื้อ และ โรคมะเร็ง

ที่มา : ภกญ.ดร.สุภาภรณ์ ปิติพร. มีนาคม 2006. นิตยสารหมอชาวบ้าน. เล่มที่ 323. 323-006.

10. ฝาง



รูปที่ 9 ไม้ฝาง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Caesalpinia sappan* L.

ชื่อสามัญ : Sappan Tree

วงศ์ : LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE

ชื่ออื่น : ง้าย (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี); ฝาง (ทั่วไป); ฝางส้ม (กาญจนบุรี)

ฝางไม้พุ่มแตกกิ่งที่โคน สูง 5-8 เมตร ลำต้นมีหนามโค้งสั้นๆ และแข็งทั่วทุกส่วน ใบ เป็นใบประกอบแบบขนนกสองชั้น เรียงสลับกัน ใบย่อยรูปไข่หรือรูปขอบขนานกว้าง 0.6-0.8 ซม. ยาว 1.5-1.8 ซม. โคนใบเฉียง ดอก ช่อ ออกที่ซอกใบตอนปลายกิ่งและที่ปลายกิ่ง กลีบรองดอกมี 5 กลีบ ขอบกลีบเกยซ้อนกัน กลีบล่างสุดโค้งงอและใหญ่กว่ากลีบอื่น กลีบดอกสีเหลือง มี 5 กลีบ เกสรตัวผู้มี 10 อัน แยกเป็นอิสระ ผล เป็นฝักแบนแข็งเป็นจอยแหลม เปลือกเป็นสันมน ปลายแหลม มีเมล็ดเป็นรูปรี 2-4 เมล็ด แก่นของไม้มีสีแดง มีสารไม่มีสี ชื่อ Haematoxylin อยู่ สารนี้เมื่อถูกอากาศ อาจจะกลายเป็นสีแดง มีแทนนิน เรซิน และน้ำมันระเหยชนิดน้อย

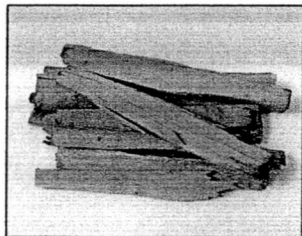
ฝาง มี 2 ชนิด ชนิดหนึ่งแก่นสีแดงเข้ม เรียกว่า ฝางเสน อีกชนิดหนึ่งแก่นสีเหลือง เรียกว่าฝางส้ม ใช้ทำเป็นยาต้ม 1 ใน 20 หรือยาสกัดสำหรับ Haematoxylin ใช้เป็นสีสำหรับย้อม Nuclei ของเซลล์ ใช้แก่นฝางต้มเคี่ยว จะได้น้ำสีแดงเข้มคล้ายด่างทับทิมใช้ย้อมผ้าไหม ใช้แต่งสีอาหาร ทำยาอายุวัฒนะ

แก่นฝาง รสขื่นขมหวาน ฝาด รับประทานเป็นยาบำรุงโลหิตสตรี ขับประจำเดือน แก้ปวดพิการ ขับหนอง ทำโลหิตให้เย็น รับประทานแก้ท้องร่วง แก้ธาตุพิการ แก้ก้อน แก่โลหิตออกทางทวารหนัก และเบา รักษา น้ำกัดเท้า แก้คุดทะราด แก้เสมหะ แก้โลหิต แก้เลือดกำเดา

ที่มา : 2555. สมุนไพรให้สีแต่งสีอาหาร.ฝาง. [Online].Available : http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ไม้ขนุน



รูปที่ 11 แก่นขนุน

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Artocarpus heterophyllus* Lam.

วงศ์ MORACEAE

ชื่อสามัญ Jackfruit Tree

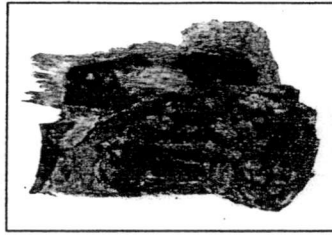
ชื่ออื่น ๆ มะหนูน หมักหมี หมากกลาง

ขนุนเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ สูง 15 - 30 เมตร ลำต้นและกิ่งเมื่อมีบาดแผลจะมีน้ำยางสีขาวข้น คล้ายน้ำมันไหล เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ แผ่นใบรูปรี ขนาดกว้าง 5-8 เซนติเมตร ยาว 10 - 15 เซนติเมตร ปลายใบหู่ ถึงแหลม โคนใบมน ผิวใบด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมัน เนื้อใบหนาผิวใบด้านล่างจะสาบมือ ออกดอกเป็นช่อแบบช่อเชิงสดแยกเพศอยู่รวมกัน ดอกเพศผู้เรียกว่า "สำ" มักออกตามปลายกิ่ง ดอกเพศเมียจะออกตามกิ่งใหญ่และตามลำต้นยอดเกสรเพศเมีย เป็นหนามแหลม ส่วนของเนื้อที่รับประทานเจริญมาจากกลีบดอก ส่วนซึ่งคือกลีบเลี้ยง มีผลรวมขนาดใหญ่ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดียเป็นพืชเศรษฐกิจเมืองร้อนที่ให้ผลมีขนาดใหญ่ที่สุดสามารถ บริโภคทั้งผลดิบและผลสุก นอกจากนี้ยังนำไปแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ มีปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย

ผลอ่อนของขนุนใช้ปรุงอาหารผลสุกเยื่อหุ้มเมล็ดมีรสหวาน เมล็ดปรุงอาหาร เนื้อไม้ใช้ทำพื้นเรือนและสิ่งก่อสร้าง ครก สากกระต๋อง หวี โทษ รำมะนา ระนาด รากและแก่นให้สีเหลือง ถึงเหลืองอมน้ำตาล ใช้ย้อมผ้าและแพรไหม รากนำมาปรุงเป็นยาแก้ท้องร่วง แก้ไข้ ใบเผาไฟกับขี้ข้าวโพดให้ดำเป็นถ่าน แล้วใส่รวมกับก้นกะลามะพร้าวขูด โยรรักษาบาดแผล

ที่มา : 2555. พืชไม้ผล.ขนุน [Online].Available : http://www.rspg.or.th/plants_data/use/fruit_1.htm

12. เปลือกต้นมะม่วง



รูปที่ 12 เปลือกต้นมะม่วง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Mangifera indica* L.

วงศ์ : Anacardiaceae

ชื่อสามัญ : Mango

ชื่ออื่น : ทั่วไป เรียก มะม่วงบ้าน, มะม่วงสวน

มะม่วงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 10–30 เมตร ใบ ใบเดี่ยวสีเขียว ขอบใบเรียบ ฐานใบมน ปลายใบแหลม ดอก เป็นช่อ กลีบดอกมี 5 กลีบ เกสรสีแดงเรื่อๆ ดอกออก ช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงฤดูร้อนจะติดผล ผล ยาวประมาณ 5–20 ซม. กว้าง 4–8 ซม. ลูกดิบสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือเหลืองส้ม มีเมล็ดภายใน 1 เมล็ด ผลสดแก่รับประทานแก้คลื่นไส้อาเจียน วิงเวียน ระบายน้ำ ผลสุก หลังรับประทานแล้วล้างเมล็ดตากแห้ง ต้มเอาน้ำดื่ม หรืออบเป็นผง รับประทานแก้ท้องอืดแน่น ขับพยาธิ ใบสด 15–30 กรัม ต้มเอาน้ำดื่ม แก้ลำไส้อักเสบเรื้อรัง ท้องอืดแน่น เอาน้ำต้มล้างบาดแผลภายนอกได้ เปลือกต้น ต้มเอาน้ำดื่ม แก้ไข้ตัวร้อน เปลือกผลดิบ คั่วรับประทานร่วมกับน้ำตาล แก้อาการปวดเมื่อยเมื่อมีประจำเดือน แก้ปวดประจำเดือน

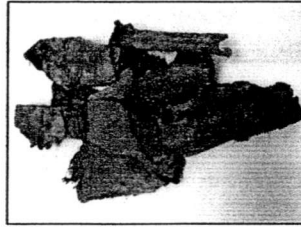
ที่มา : 2555. พืชไม้ผล.มะม่วง.

[Online].Available : [http://www.rspg.or.th/plants](http://www.rspg.or.th/plants_data/use/fruit_11.htm)

_data/use/fruit_11.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ไม้แดง



รูปที่ 13 ไม้แดง

ชื่อท้องถิ่น : ไม้แดง

ชื่อสามัญ : TEAK

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tectona grandis* Linn.f.

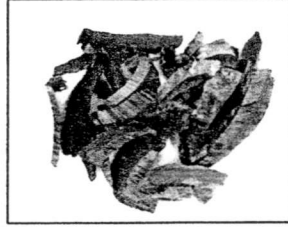
ชื่อวงศ์ : VERBENACEAE

ไม้แดงเป็นไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงจนถึง 25 เมตร แต่บางครั้งอาจสูงถึง 30 - 37 เมตร ลำต้นค่อนข้างเปลาตรง หรือเป็นปุ่มปม เรือนยอดรูปทรงกลม หรือแก่งก้าง ไม้ค่อนข้างแน่นอน สีเขียวอมแดง เปลือกเรียบสีเทาอมแดง ตกสะเก็ดออกเป็นแผ่นกลมบาง ๆ รอบลำต้น เมื่อสับเปลือกทิ้งไว้จะได้ชั้นสีแดง ยอดอ่อนมีขนสีเหลืองปกคลุม ใบเป็นช่อแบบขนนกสองชั้น ก้านใบยาว 2 - 7 ซม. ช่อใบยาว 10 - 22 ซม. แต่ละช่อมีใบย่อย 4 - 5 คู่ ใบย่อยรูปไข่หรือรูปไข่แกมรูปขอบขนาน แผ่นใบมักจะเบี้ยว มีขนาดไม่เท่ากัน กว้าง 3 - 7 ซม. ยาว 7 - 20 ซม. ปลายใบแหลมมนฐานใบมักจะเบี้ยว ใบแก่ไม่มีขนปกคลุม หรืออาจจะมีขนประปรายด้านท้องใบเล็กน้อย ก้านใบย่อยยาว 2 - 4 มม. ดอกสีเหลือง ขนาดเล็ก ขึ้นอัดกันแน่นบนช่อกลมเดี่ยว ๆ หรือแตกกิ่งก้าน หรือขึ้นเป็นกลุ่ม ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แต่ละช่อประมาณ 1.4 ซม. ก้านช่อดอกยาว 2 - 5 ซม. มีขนปกคลุมประปราย กลีบรองกลีบดอกเชื่อมติดกันคล้ายรูปประฆัง ตรงปลายแยกออกเป็น 5 กลีบ มีขนสีเหลืองปกคลุม กลีบดอก 5 กลีบติดกันเล็กน้อยที่บริเวณฐาน เกสรตัวผู้มี 10 อัน แยกจากกันเป็นอิสระยื่นออกมานอกดอก ดอกจะออกมาพร้อมกับใบอ่อนระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ อาจถึงมีนาคม ฝักจะแก่ประมาณเดือนตุลาคมถึงธันวาคม ผลเป็นฝักแบน รูปขอบขนานเรียวและโค้งงอที่ส่วนปลาย ฝักแข็ง ยาวประมาณ 7 - 10 ซม. สีน้ำตาลอมเทา ผิวเรียบ ไม่มีขนปกคลุม ไม่มีก้าน เมื่อฝักแก่จะแตกออกเป็น 2 ซีก ผนังของฝักที่แตกมักจะม้วนบิดงอ เมล็ดแบนเรียวแหลม ยาวรีหรือเกือบกลม ยาว 0.4 - 0.7 นิ้ว กว้าง 0.35 - 0.5 นิ้ว สีน้ำตาลเป็นมัน เปลือกหุ้มเมล็ดแข็งขอประมาณ เมล็ดถ้าสมบูรณ์ดีจะงอกทันที ถ้าเก็บไว้ในระยะ 1 ปี ก็ยังคงงอกได้ดี ฝักหนึ่งจะมีเมล็ดจำนวนหลายเมล็ด เนื้อไม้สีแดงเรื่อ ๆ หรือสีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนเป็นลูกคลื่น หรือมักสน เนื้อละเอียดพอประมาณ แข็งแรง เหนียวและทนทานมาก

ที่มา : สุทธิชัย ทาสัก. 2555. ทรัพยากรชีวภาพพืช. [Online]. Available : <http://www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ประดงเลือด



รูปที่ 14 ประดงเลือด

ชนิดไม้ : ประดงเลือด, มะพอก

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Parinari anamense* Hance

ชื่อวงศ์ : CHRYSOBALANACEAE

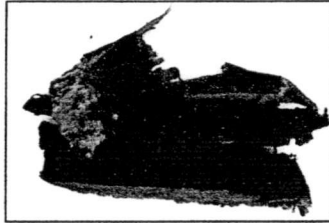
ประดงเลือดพบในภาคอินโดจีน ขึ้นตามป่าดิบ ป่าเบญจพรรณทั่วไปทุกภาค ไม้ยืนต้น ขนาดกลาง ไม้ผลัดใบ สูงถึง 30 เมตร เปลือกต้นหนา สีน้ำตาลเทา แตกเป็นร่องลึก ลอกหลุดได้ ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปไข่ หรือรูปวงรี กว้าง 4-6 เซนติเมตร ยาว 6-15 เซนติเมตร ฐานมน หน้าใบเขียว ท้องใบ เหลือบขาวเด่นชัด และมีขนละเอียด มีขนละเอียดด้านล่างสีเขียวแกมน้ำตาล ขอบใบเรียบ ปลายใบ มนหยักคอดและมีติ่งแหลม เส้นใบข้างตรงและขนานกัน 12-15 คู่ เส้นใบขนานด้านบน ก้านใบยาว 0.7-1 เซนติเมตร มักจะมีต่อมเล็กๆ 2 ต่อม ดอกสีขาว ออกเป็นช่อ ที่ปลายกิ่ง ยาว 20 เซนติเมตร ก้านช่อมีขนสีน้ำตาลอมส้มหนาแน่น กลีบดอกมี 5 กลีบ ยาวเท่ากับกลีบเลี้ยง เกสรตัวผู้ 5-12 อัน มีขนาดไม่เท่ากัน ก้านเกสรตัวเมียติดที่ฐานของรังไข่ ยาวเท่ากับเกสรตัวผู้ รังไข่มีขนหนาแน่น เชื่อมกับชั้นกลีบเลี้ยงด้านหนึ่ง ชั้นกลีบเลี้ยง มี 5 กลีบ ไม่เท่ากัน ขนาดประมาณ 0.3-0.4 เซนติเมตร สีขาวปนเหลือง ผลสด กลมรีเหมือนไข่ หรือรูปกระสวย ขนาดประมาณ 3-4 เซนติเมตร มีสีน้ำตาล มีเกล็ดสีเทาปกคลุม ผิวฉ่ำน้ำ เนื้อนุ่มบาง ชั้นในมีขนหนาแน่น เมล็ดเดี่ยวโต แข็ง ผลจะแก่ประมาณเดือนมกราคม ถึงกุมภาพันธ์ เนื้อของผลสุกรอบๆเมล็ด มีรสหวานหอม รับประทานได้ เนื้อข้างในเมล็ด รับประทานได้มีรสมันคล้ายถั่ว เมื่อกะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ดจะพบเมล็ดข้างในมีปุยสีน้ำตาลคล้ายปุยฝ้ายหุ้มเมล็ดอยู่ กระจาย กระจาย ขอบกินเมล็ดใน ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด พบทั่วไปในป่าดิบ ป่าผลัดใบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ออกดอกช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน

ประโยชน์ตำรายาไทย ใช้แก่น ต้มน้ำดื่ม และอาบแก้ประดง (อาการโรคผิวหนัง เป็นเม็ดขึ้นคล้ายผด คันมากมักมีไข้ร่วมด้วย) แก่ฝืนคันแดงทั่วตัว ปวดแสบร้อน มีน้ำเหลืองไหลซึม ยาพื้นบ้าน ใช้ แก่น ผสมกับสมุนไพรอื่น ต้มน้ำดื่มแก้หิด เปลือกต้น ประคบแก้ ข้ำโน แก่ปวดบวม เปลือกต้น อุ่นไอน้ำร้อนประคบแก้ฟกช้ำ แก่น ต้มน้ำอาบ รักษาโรคประดง ผดผื่นคัน เมล็ด สกัดน้ำมันใช้เป็น น้ำมันหมึกพิมพ์และน้ำมันหล่อลื่น

ที่มา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดารัตน์ หอมหวล. 2555. ฐานข้อมูลสมุนไพร. คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. [Online]. Available : <http://www.phargarden.com>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ประดู่



รูปที่ 15 เปลือกประดู่

ชื่อสามัญ : Padauk

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Pterocarpus Indicus

ชื่อวงศ์ : FABACEAE

ประดู่เป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีลำต้นสูงประมาณ 25 เมตร ใบจะออกรวมกันเป็นช่อ ลักษณะของใบเป็นรูปมนรี ปลายใบแหลม ถ้าขึ้นในที่แล้งจะผลัดใบก่อนออกดอก ดอกออกเป็นช่อมีสีเหลืองสดลักษณะคล้ายดอกถั่ว โคนกลีบเลี้ยงกลีบดอกติดกันเป็นกรวยโค้งเล็กน้อย กลีบดอกมี 5 กลีบ มีขนาดดอกเล็ก ขณะดอกย่อยบานมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5- 1 ซม. ดอกบานไม่พร้อมกัน มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ดอกที่ใกล้โรยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล ฤดูดอกบานอยู่ในช่วง เดือน พฤษภาคมถึงสิงหาคม

การใช้ประโยชน์ : ตามสรรพคุณยาไทย ใช้ใบหรือดอก แก้ผดผื่นคัน พอกแผล ทำให้ฝีสุกเร็ว เปลือกแก้ปากเปื่อย แก้ท้องเสีย แก้โรคมืด รากแก้ไข้ เป็นต้น แต่สำหรับการวิจัยยังไม่พบการวิจัยในคน มีแต่ในหลอดทดลองและสัตว์ทดลอง ซึ่งฤทธิ์ที่ทดสอบ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ต้านมาลาเรีย และต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีการนำสารสกัดเมทานอลมาใช้เป็นสีย้อมในเครื่องสำอาง สำหรับสารเคมีมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา จะเป็นสารกลุ่ม terpenoids ส่วนสารที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อมาลาเรีย และต้านอนุมูลอิสระ จะเป็นพวก stigmasterol และ long chain fatty esters และ aromatics ส่วนการใช้เป็นสีย้อม ไม่ได้ระบุชนิดของสาร

ที่มา : สาวิตรี คະชา. 2555. ทรัพยากรชีวภาพพืช. [Online].Available : <http://www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity>.

ผลงานที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

1. Nissorn Pavarinpong, Wirat Jarernboon, Sirapat Pratontep, Darinee Sae-tang Phromyothin, "THEORETIAL INVESTIGATION ON ACHIOTE DYES STRUCTURE FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS, GEOMETRIES AND ELECTRONIC PROPERTIES, BASED ON DFT CALCULATIONS", Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference 2012 (PACCON 2012), January 11-13, 2012, ChiangMai, Thailand.
2. N. Pavarinpong, S. Saekow, W. Maiakgree, S. Pimanpang, S. Pratontep, D. Sae-tang Phromyothin, W. Jarernboon, V. Amornkitbamrung, "Polymer Electrolyte Based on Polyethylene Oxide for Dye-Sensitized Solar Cells Application", Proceeding of Siam Physics Congress (SPC 2012), The 7th Annual Conference of the Thai Physics Society, May 9-12, 2012, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand.
3. Nissorn Pavarinpong, Wirat Jarernboon, Sirapat Pratontep, Darinee S. Phromyothin, "EFFECT OF SOLVENTS EXTRACTION OF A CHIOTE SEEDS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS, STRUCTURAL AND ELECTRONIC PROPERTIES, BASED ON DFT CALCULATIONS", Proceeding of 14th Asian Chemical Congress 2011, September 5-8, 2011, Bangkok, Thailand
4. N. Pavarinpong, W. Jarernboon, S. Pratontep, D. Sae-Tang, "Effect of Solvents in Pigment Extraction of Achiote Seeds for Dye-sensitized Solar Cells", Proceedings of the 28th MST Annual Conference, 5-7 January 2011, Chiang Rai, Thailand

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - ชื่อสกุล

นิสสรณ์ ปวรินทร์พงษ์

Nissorn Pavarinpong

วัน เดือน ปี เกิด

31 กรกฎาคม 2527 ที่จังหวัดชลบุรี

ที่อยู่ปัจจุบัน

203/29 ม. 3 ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545

จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนชลกันยานุกูล จังหวัดชลบุรี

พ.ศ. 2549

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ที่คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

จบการศึกษาระดับปริญญาโท ที่วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สาขานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทุนการศึกษา

ทุนศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านฟิสิกส์ ปีการศึกษา 2553-2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้