

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลว

นางสาวกษมา วัฒนาเนตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

IMPROVEMENT OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS EFFICIENCY USING MULTI-
WALLED CARBON NANOTUBES COMPOSITED WITH GOLD LEAF

Miss Kasama Watananet

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสี
ย้อมไวแสงโดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่น
ทองคำเปลว

โดย

นางสาวกษมา วัฒนานนตร

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศวีรญวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์)

กษมา วัฒนาเนตร : การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลว (IMPROVEMENT OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS EFFICIENCY USING MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES COMPOSITED WITH GOLD LEAF)
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. ณัฐพร โทณานนท์, 85 หน้า.

ปัจจุบันเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cells: DSSCs) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในด้านของพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากการประกอบที่ง่าย ค่าประสิทธิภาพที่ดีพอสมควร และต้นทุนในการผลิตต่ำ ในงานวิจัยนี้วัสดุซั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกผสมด้วยท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotubes: MWCNTs) และแผ่นทองคำเปลว โดยทั่วไปเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุซั้วอิเล็กโทรด และเมื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V tester) ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 5.43% เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จึงถูกนำมาใช้ในการเตรียมวัสดุซั้วอิเล็กโทรด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งการเตรียมวัสดุซั้วอิเล็กโทรดจะถูกศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จากการศึกษาพบว่าท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ โดยค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) เท่ากับ 13.98 mA/cm^2 และ 12.82 mA/cm^2 ตามลำดับ และให้ค่าประสิทธิภาพ (η) เท่ากับ 7.01% และ 6.48% ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5370397321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS / MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES / GOLD LEAF

KASAMA WATANANET: IMPROVEMENT OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS EFFICIENCY USING MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES COMPOSITED WITH GOLD LEAF. ADVISOR: ASST. PROF. NATTAPORN TONANON, D.Eng, 85 pp.

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) have gained considerable attention in the field of solar energy due to their simple fabrication, good efficiency, and low production cost. In the study, the photoelectrodes of DSSCs were fabricated from a mixture of titanium dioxide (TiO₂) and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) (or gold leaf). In general, commercial grade titanium dioxide was used as a photoelectrode, the efficiency measured by using the I-V characterization technique is 5.43%. Since MWCNTs and gold leaf have been known as good electrical conductivity materials, they were used for the photoelectrode preparation in order to enhance their electronic conductivity. Therefore, the electrical conductivity of photoelectrodes was improved by the addition of MWCNTs or gold leaf to titanium dioxide. The fabrication parameters were systematically studied to find an optimum condition for high efficiency of DSSCs. The efficiencies of MWCNTs and gold leaf added DSSCs are 7.01% and 6.48%, respectively.

Department :Chemical Engineering..... Student's Signature

Field of Study :Chemical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2012..... Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากหลายๆฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์ เป็นอย่างสูงที่ให้ทั้งคำแนะนำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกด้าน จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จและเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สิริรุ่ง ปรีชานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และ ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ด้านวัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) ภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.)

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เลขที่ 530 ภายใต้หัวข้อโครงการ “การพัฒนาประสิทธิภาพของ Semiconductor electrode และ Dye สำหรับ Dye-sensitized solar cell (DSSC)”

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือในทุกด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย สำหรับคุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ไฟโตโวลตาอิกเซลล์หรือเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์.....	5
2.2 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	5
2.2.1 ขั้วอิเล็กโทรด.....	6
2.2.2 สีย้อมไวแสง.....	6
2.2.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	8
2.2.4 เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด.....	8

2.2.5	หลักการดำเนินงานที่เกิดขึ้นในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	8
2.2.6	ค่าประสิทธิภาพ	9
2.3	ไททาเนียมไดออกไซด์.....	11
2.3.1	โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์.....	12
2.3.2	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์.....	13
2.4	ท่อนาโนคาร์บอน.....	14
2.5	ทองคำ	16
2.6	สีย้อมธรรมชาติ	18
2.7	ทบทวนวรรณกรรม	20
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1	รายชื่อวัสดุและสารเคมี.....	28
3.2	รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์.....	29
3.3	วิธีการทดลอง.....	33
3.3.1	การเตรียมกระจกนำไฟฟ้า	33
3.3.2	การเตรียมวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด	34
3.3.2.1	วัสดุขั้วอิเล็กโทรด	34
3.3.2.2	วัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น	35
3.3.2.3	วัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมแผ่นทองคำเปลว.....	36
3.3.2.4	วัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมทั้งท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น และแผ่นทองคำเปลวในอัตราส่วนต่างๆ	37

3.3.3 การประกอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	38
3.3.3.1 การเตรียมขั้วอิเล็กโทรด.....	38
3.3.3.2 การเตรียมแคโทดอิเล็กโทรด.....	39
3.3.4 การวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	41
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุดิบ	41
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)	41
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)	42
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความโปร่งใสของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด.....	43
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	44
4.3.1 ผลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	45
4.3.2 ผลของการใช้อัลตราโซนิก	45
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแผ่นทองคำเปลว	49
4.4.1 ผลของปริมาณแผ่นทองคำเปลว	50
4.4.2 ผลของการใช้อัลตราโซนิก	50
4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว .	55
4.6 ผลการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67

รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข.....	73
ภาคผนวก ค	75
ภาคผนวก ง.....	77
ภาคผนวก จ	79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไททานเนียมไดออกไซด์	13
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของทองคำ	17
ตารางที่ 2.3	แสดงรายงานที่กล่าวถึงการปรับปรุงขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง.....	20
ตารางที่ 2.4	แสดงรายงานที่กล่าวถึงการใช้สียอมธรรมชาติแทนสียอมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง.....	24
ตารางที่ 4.1	แสดงองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วอิเล็กโทรดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์	41
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าความโปร่งใสของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด.....	43
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงเมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 0.75-2.50 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว.....	44
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงเมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว	46

- ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
ที่ปริมาณ 1.0-7.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียม
ไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว 49
- ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
ที่ปริมาณ 1.0, 1.9, 2.8 และ 3.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการ
เตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์
เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว 51
- ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
ที่ปริมาณ 4.8, 5.7 และ 6.7 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรด ด้วยวิธีการเตรียม
โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์
(P25) เพียงอย่างเดียว 53
- ตารางที่ 4.8 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน
1:1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
เป็นขั้วอิเล็กโทรด เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
เพียงอย่างเดียว..... 55

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรด เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว.....	57
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน 1.25:1 มิลลิกรัม) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรด เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว	58
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อทดสอบกับสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับการใช้สีย้อม สังเคราะห์ (N719)	61
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อทดสอบกับสีย้อมธรรมชาติที่ผสมสารละลายนาโนทอง	64
ตารางที่ ข1 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์ เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 0.75, 1.25 และ 1.75 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรด เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว	73

- ตารางที่ ข2 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์
เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.25, 2.50 และ 3.75 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรด
ด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์
เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว 74
- ตารางที่ ข3 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)
ที่ปริมาณ 1.0, 1.9, 2.8 และ 3.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการ
เตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์
เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว 74
- ตารางที่ ง1 ผลการวัดค่า ORAC ของสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ
ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์..... 78

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (N719)	7
รูปที่ 2.2	กลไกการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	9
รูปที่ 2.3	ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 2.4	แผนภาพแสดงตำแหน่งแถบพลังงานของสารประกอบชนิดต่างๆ	12
รูปที่ 2.5	แสดงโครงร่างผลึกแบบ (a) รูไทล์, (b) อะนาเทส และ (c) บรูไคต์ ของไททานเนียมไดออกไซด์.....	13
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของ (a) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว และ (b) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	15
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างองค์ประกอบของสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมธรรมชาติ.....	18
รูปที่ 3.1	เตาเผา.....	30
รูปที่ 3.2	เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปี (UV-1700, SHIMADZU)	30
รูปที่ 3.3	เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)	31
รูปที่ 3.4	เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์	31
รูปที่ 3.5	แบบพิมพ์ซิลค์สกรีน.....	32
รูปที่ 3.6	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรด.....	34
รูปที่ 3.8	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลายชั้น	35
รูปที่ 3.9	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมแผ่นทองคำเปลว	36

รูปที่ 3.10	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวในอัตราส่วนต่างๆ.....	37
รูปที่ 3.11	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมขั้วอิเล็กโทรด.....	38
รูปที่ 3.12	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมแคโทดอิเล็กโทรด.....	39
รูปที่ 4.1	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (a) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (b) แผ่นทองคำเปลว.....	42
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	46
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	48
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณแผ่นทองคำเปลว.....	51
รูปที่ 4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมแผ่นทองคำเปลว.....	52
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณแผ่นทองคำเปลว (เพิ่มปริมาณ).....	54
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1:1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	56
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	57

รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1.25:1.00 มิลลิกรัม.....	59
รูปที่ 4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลว 1.00 มิลลิกรัม	59
รูปที่ 4.11	แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสีย้อมธรรมชาติแต่ละชนิด	62
รูปที่ 4.12	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปีของสารละลาย ระหว่างน้ำอุ่นและสารละลายนาโนทอง.....	63
รูปที่ 4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ของ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติที่ผสมสารละลายนาโนทอง.....	64
รูปที่ ก1	การกระจายของขนาดอนุภาคของแผ่นทองคำเปลว.....	72
รูปที่ ก2	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความโปร่งแสงของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์โลก แต่จากการเจริญเติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็วของประชากรโลก จึงทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานด้านต่างๆสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในความเป็นจริงนั้นพลังงานที่มีอยู่บนโลกมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรโลก และแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่นำมาใช้มาจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งในวงจรรวมชาติเองนั้นต้องใช้ระยะเวลาในการฟื้นฟู ทำให้มีนักวิชาการและนักวิจัยจำนวนมากมีความกังวลต่อสมดุลธรรมชาติที่วุ่นวาย และเกิดความคิดที่จะนำแหล่งพลังงานที่มีมากและไม่วันหมดอย่างพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน

ในปัจจุบันจะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกที่มีการนำมาใช้กันอย่างจริงจังและเป็นรูปธรรมมากที่สุด โดยเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic or PV) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานดังกล่าวคือสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) และเมื่อนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) หรือเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั่นเอง

โดยที่เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแรกจะเคลือบด้วยสารประกอบซิลิกอน ซึ่งประสิทธิภาพในการสร้างพลังงานไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จากซิลิกอนจะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของซิลิกอนที่นำมาเคลือบบนผิวกระจก เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่สูงมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตเซลล์พลังงาน

แสงอาทิตย์ชนิดนี้สูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะคิดค้นแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ต้องใช้ซิลิกอน เพื่อให้มีต้นทุนที่ต่ำลง

เมื่อปี ค.ศ. 1991, B. O'Regan และ M. Grätzel ได้คิดค้นและประดิษฐ์เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่ขึ้น นั่นก็คือเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell: DSSCs) [1], ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากผลของประสิทธิภาพที่ดีพอสมควร, ต้นทุนในการผลิตต่ำ และยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย โดยเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีหลักการทำงานที่อาศัยกลไกทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่จะคล้ายคลึงกับการสังเคราะห์แสงของพืช เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ (1) กระจกใสที่เคลือบสารในกลุ่มออกไซด์ที่นำไฟฟ้าได้เป็นฟิล์มบาง (Conductive glass) ทำหน้าที่รวบรวมประจุและส่งผ่านอิเล็กตรอน, (2) สีย้อมไวแสง (Sensitizing dye) ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงและเป็นแหล่งกำเนิดของอิเล็กตรอน, (3) สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) เป็นตัวกลางในการหมุนเวียนอิเล็กตรอน, (4) สารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด โดยใช้เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มักเป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (Wide band gap semiconductor) เมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของเม็ดสีย้อมทำให้สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตาเรามองเห็นได้เป็นอย่างดี โดยมากมักเป็นโลหะออกไซด์ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ดังนั้นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจึงมีต้นทุนที่ถูกกว่าเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จากซิลิกอน [1, 2]

สีย้อมไวแสงเป็นหนึ่งในตัวกำหนดประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยสีย้อมในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่เป็นการสังเคราะห์จากสารเคมี เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียม (N719) ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพที่น่าพอใจ แต่ในสีย้อมสังเคราะห์มักจะมีส่วนผสมของโลหะหนักบางชนิดผสมอยู่ ซึ่งมีราคาสูงและสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงกระบวนการสังเคราะห์ที่ซับซ้อน เป็นเหตุผลให้สีย้อมจากธรรมชาติได้รับความสนใจและมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสีย้อมธรรมชาติจะให้การตอบสนองต่อค่าประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความสามารถในการยึดเกาะกับโมเลกุลของไททาเนียมไดออกไซด์และการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ต่ำกว่าสีย้อมสังเคราะห์ แต่สีย้อมธรรมชาติมีราคาถูกมากและสามารถเตรียม

ได้ง่ายเมื่อเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์ ดังนั้นสีย้อมธรรมชาติจึงได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ในการเตรียมเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [3]

โดยงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาสารที่ใช้ทำอิเล็กโทรด ซึ่งเคลือบอยู่บนผิวกระจกนำไฟฟ้า ซึ่งมีการผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotubes: MWCNTs) และอนุภาคทองคำที่ได้จากแผ่นทองคำเปลวเพิ่มเข้าไปในสารที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรดเดิม เพื่อศึกษาถึงผลของการผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและอนุภาคทองคำที่ได้จากแผ่นทองคำเปลวที่เพิ่มเข้าไปต่อคุณสมบัติของการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง รวมถึงการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลของการผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและอนุภาคทองคำที่ได้จากแผ่นทองคำเปลวที่เพิ่มเข้าไปในสารที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของการผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและอนุภาคทองคำที่ได้จากแผ่นทองคำเปลวที่เพิ่มเข้าไปในสารที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด

1.3.2 ศึกษาผลของการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ โดยการผสมที่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและอนุภาคทองคำที่ได้จากแผ่นทองคำเปลวเข้ากับสารที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด

1.4.2 สามารถใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โฟโวลตาอิกเซลล์หรือเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [4]

โฟโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าที่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแสงมาตกกระทบกับวัสดุไวแสง โดยไม่จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกมาต่อร่วมอยู่ด้วย ดังนั้นโฟโวลตาอิกเซลล์จึงจัดเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดจ่ายพลังงานออกมา ถ้านำโฟโวลตาอิกเซลล์มาเรียงต่อกันก็จะได้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) ขึ้นมา เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ปัจจุบันถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงอื่นๆ เนื่องจากใช้แสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่โดยปกติทั่วไปทุกพื้นที่และไม่มีวันเสื่อมสลายหมดลง โดยหลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ คือ การเปลี่ยนคลื่นพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ในช่วงแรกของการค้นพบนั้นจะเป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนซึ่งมีขนาดใหญ่ และขณะทำงานยังก่อให้เกิดมลภาวะตามมา ซึ่งต่อมาได้มีการวิจัยและพัฒนาเรื่อยมา เกิดจนเป็นเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ เช่น

1. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน
2. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารประกอบหมู่ 3-5
3. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ฟิล์มบางผลึกรวม (โพลีคริสตัลไลน์) เป็นสารกึ่งตัวนำ
4. เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.2 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [1, 5-8]

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้เป็นกระแสไฟฟ้า ผ่านการถ่ายเทพลังงานของอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของสีย้อมไวแสง ซึ่งถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นไปที่สถานะกระตุ้นโดยแสงที่มากกระทบแล้วเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำที่มีชั้นระดับพลังงานที่สามารถรับอิเล็กตรอนได้ ซึ่งนิยมใช้

ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุนเป็นทั้งตัวส่งผ่านอิเล็กตรอนและตัวยึดเกาะโมเลกุลของสีย้อมไวแสง อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่เบา ประกอบขึ้นได้โดยง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ.1991 โดยศาสตราจารย์ ดร. ไมเคิล แกรทเซล (Prof. Dr. Michael Grätzel) และทีมงาน โดยเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมี ส่วนประกอบหลัก ดังนี้

2.2.1 ขั้วอิเล็กโทรด (Working electrode)

ประกอบด้วยกระจกใสที่เคลือบสารในกลุ่มออกไซด์ที่นำไฟฟ้าได้เป็นฟิล์มบาง เช่น กระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์ (Fluorine doped Tin Oxide: FTO) และสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2), ทินออกไซด์ (SnO_2), นิกเกิลออกไซด์ (NiO) เป็นต้น โดยสารกึ่งตัวนำมักจะเป็นกลุ่มของสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (wide band gap) มีความเป็นรูพรุนสูง (high porous) สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตาเรามองเห็นได้เป็นอย่างดี มีค่าคงที่ของการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเสถียร ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไททาเนียมไดออกไซด์และกระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด

2.2.2 สีย้อมไวแสง (Dye sensitizer)

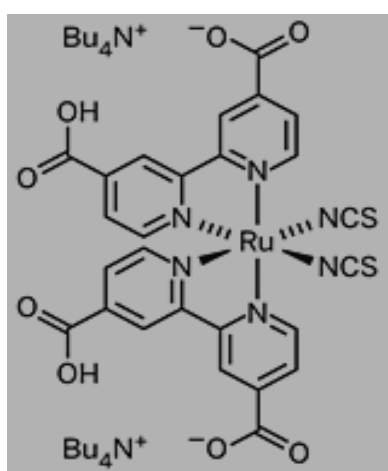
ปัจจัยที่ส่งผลให้สีย้อมเป็นสีย้อมที่เหมาะสมที่จะเลือกใช้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง หรือคุณลักษณะของสีย้อมที่ทำให้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพที่ดี ได้แก่

1. การยึดเกาะบนพื้นผิวของวัสดุขั้วอิเล็กโทรดที่ดี
2. ระดับ HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) และ LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) ของสีย้อม
3. ประสิทธิภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสีย้อมไปยังวัสดุขั้วอิเล็กโทรด

การยึดเกาะที่ดีนั้นไม่เพียงแต่การยึดติดของสีย้อมบนผิวของวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเท่านั้น ยังหมายความรวมไปถึงการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมกับวัสดุขั้วอิเล็กโทรดในลักษณะที่โมเลกุล

ของสีย้อมอยู่ใกล้กับพื้นผิววัสดุขั้วอิเล็กโทรดพอลิเมอร์ที่เกิดการกระโดดของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นของสีย้อมไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) ของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด นอกจากนั้นระดับ HOMO และ LUMO ของสีย้อมจะต้องมีความสัมพันธ์กับระดับพลังงานของวัสดุขั้วอิเล็กโทรดและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยระดับ LUMO ของสีย้อมจะต้องมีศักย์สูงกว่าแถบการนำไฟฟ้าของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด และระดับ HOMO ของสีย้อมจะต้องต่ำกว่าระดับพลังงานศักย์ของ I^{3-} ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้เกิดความต่างศักย์ที่จะทำให้อิเล็กตรอนถ่ายเทตามกลไกของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อมไวแสงทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงในช่วงที่ตาเรามองเห็น ซึ่งสีย้อมจะต้องมีความเสถียรเมื่ออยู่ในสถานะที่ถูกออกซิไดซ์ สถานะพื้นและสถานะกระตุ้น อีกทั้งต้องมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูง โดยส่วนมากแล้วนิยมใช้โมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (Ru) และในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (N719)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม (N719)

เหตุที่สีย้อมชนิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมเป็นที่นิยม เนื่องจากมีพันธะคาร์บอนซิกมาที่ช่วยยึดเกาะกับพื้นผิวของวัสดุขั้วอิเล็กโทรด และมีระดับ HOMO และ LUMO ที่พอดีกับวัสดุขั้วอิเล็กโทรดและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอนโดยรวมของสีย้อมชนิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมสูงกว่าสีย้อมธรรมชาติมาก

2.2.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution)

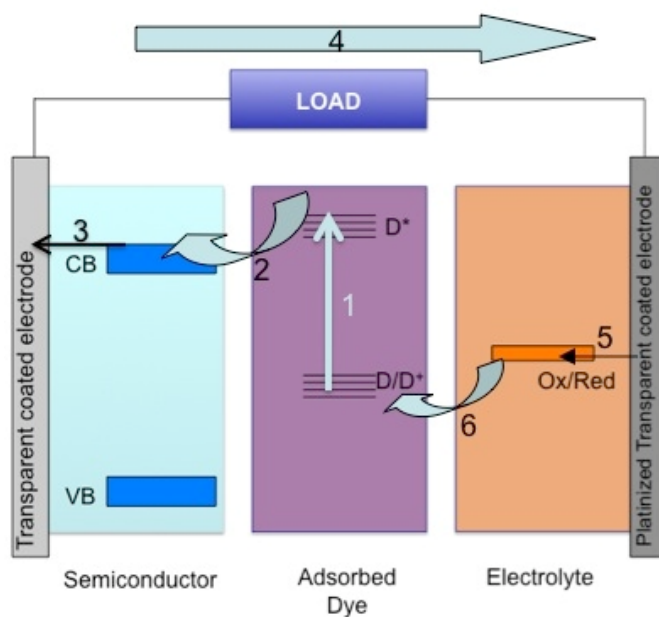
มีความสำคัญในกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากฝั่งแคโทดอิเล็กโทรด (Counter electrode) ไปยังโมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนไปเมื่อมีแสงมาตกกระทบ โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ที่มีโลหะแพลทินัมเป็นตัวช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะต้องไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตาเรามองเห็นได้ และในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในระบบ ไอโอไดด์-ไตรไอโอไดด์ ไอออน (I^-/I_3^-)

2.2.4 แคโทดอิเล็กโทรด (Counter electrode)

ทำหน้าที่ในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งแคโทดอิเล็กโทรดควรจะต้องมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูง เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มพื้นผิวในการเกิดปฏิกิริยา อีกทั้งยังจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีอีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โลหะแพลทินัม (Platinum: Pt) เป็นแคโทดอิเล็กโทรด

2.2.5 หลักการทำงานที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

หลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (รูปที่ 2.2) เป็นหลักการง่ายๆ คล้ายกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช กล่าวคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่กระจกนำไฟฟ้าฝั่งรับแสงหรือฝั่งขั้วอิเล็กโทรด ทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสีย้อมไวแสงที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุสารกึ่งตัวนำถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น (ground state: S_0) ให้ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state: S^+) จากนั้นอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นจะตกมายังแถบนำไฟฟ้า (conduction band) ของวัสดุสารกึ่งตัวนำ จากนั้นจึงมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังฝั่งแคโทดอิเล็กโทรดที่มีการเคลือบโลหะแพลทินัม ซึ่งเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยารีดอกซ์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่กั้นอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองฝั่ง เพื่อทดแทนอิเล็กตรอนอิสระที่หลุดหายไปจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เสียไปให้สีย้อมในช่วงที่ถูกกระตุ้นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดเป็นวงจรทางไฟฟ้าขึ้นมา



รูปที่ 2.2 กลไกการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.2.6 ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวม (Overall conversion efficiency) เป็นค่าไร้หน่วยที่แสดงถึงสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) เทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เซลล์ได้รับ (P_{in}) ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์ได้รับจะสามารถคำนวณได้จากแหล่งกำเนิด และค่าประสิทธิภาพโดยรวมสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.1)

$$\text{Eff. (\%)} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (2.1)$$

โดยความหมายของตัวแปรแต่ละตัวแสดงดังนี้

P_{max} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

P_{in} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์ได้รับ

V_{oc} คือ ค่าความต่างศักย์วงจรมืด

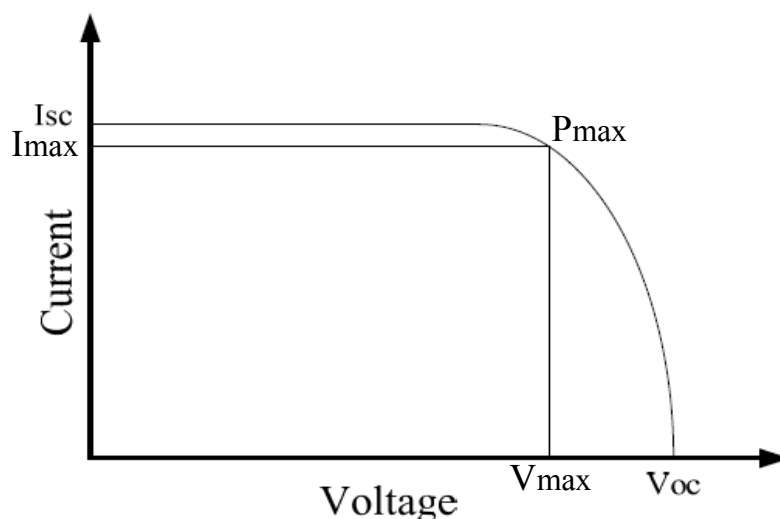
I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าวงจรมืด

FF คือ ฟิลล์แฟคเตอร์

FF คือ ค่าไรหน่วยที่เป็นค่าอัตราส่วนที่เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์
นี้ๆ กับเซลล์ไฟฟ้าอุดมคติ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.2)

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (2.2)$$

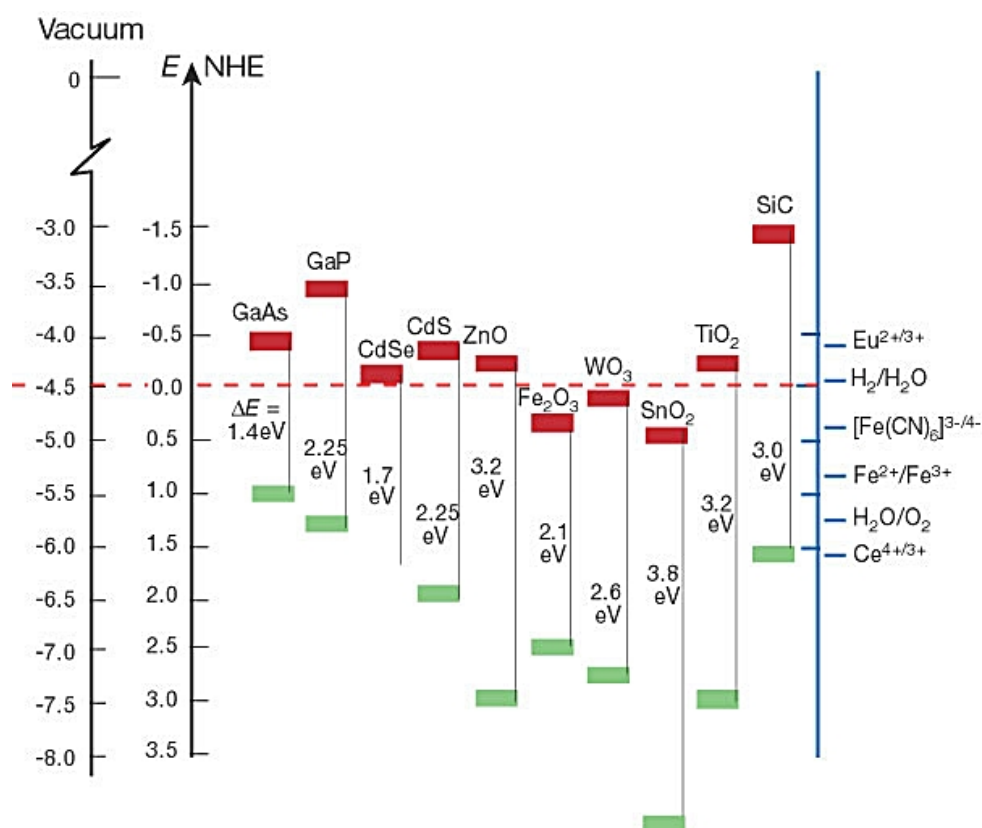
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อต่อเข้ากับ
โหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะลัดวงจร (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยจุดตัด
แกนที่แรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะลัดวงจร (Short circuit current: I_{sc}) และ
จุดตัดแกนที่กระแสมีค่าเท่ากับศูนย์ คือ ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit voltage: V_{oc})
โดยเมื่อนำค่า I_{sc} คูณกับค่า V_{oc} ก็จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในกราฟจะมี
เพียงจุดเดียวที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point:
 P_{max}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at
maximum power point: I_m) และแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power
point: V_m) ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ [5, 8-12]

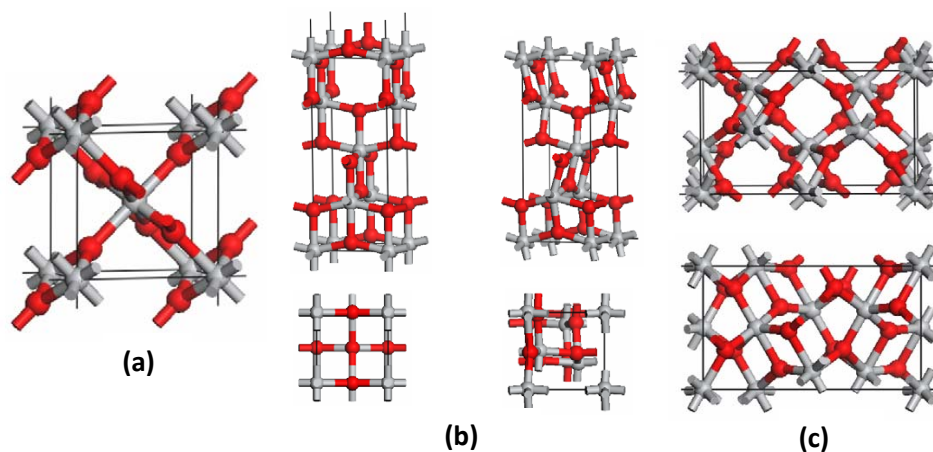
ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงกึ่งตัวนำ ซึ่งมีแถบช่องว่างระหว่างพลังงาน (band gap energy) อยู่ที่ประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โดยแถบช่องว่างนี้จะขยายกว้างมากขึ้นเมื่อมีอนุภาคแสง (photons) ตกกระทบ ซึ่งจะส่งผลให้อิเล็กตรอนย้ายตำแหน่งจากแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) ไททาเนียมไดออกไซด์จึงถือเป็นหนึ่งในสารประกอบโลหะออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานที่กว้างพอเมื่อเทียบกับสารประกอบโลหะออกไซด์ตัวอื่น ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงานของไททาเนียมไดออกไซด์นั้นกว้างและครอบคลุมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ และจะสังเกตได้ว่ามีอีกสารประกอบโลหะออกไซด์ชนิดหนึ่งที่มีแถบพลังงานใกล้เคียงกับไททาเนียมไดออกไซด์ นั่นคือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จึงทำให้ซิงค์ออกไซด์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นำมาเป็นส่วนประกอบของเซลล์ชนิดนี้ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงตำแหน่งแถบพลังงานของสารประกอบชนิดต่างๆ [5]

2.3.1 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีโครงสร้างผลึกอยู่ 3 แบบ คือ รูไทล์ (rutile) อะนาเทส (anatase) และบรูไคต์ (brookite) แต่รูปแบบของโครงสร้างผลึกที่พบส่วนมากเป็นแบบรูไทล์กับอะนาเทส ซึ่งจะมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบเตตระโกนอล (Tetragonal) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดเรียงผลึกแบบอะนาเทสนั้นจะส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีกว่า จึงเป็นเหตุผลที่มาว่าทำไมจึงต้องมีสัดส่วนโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสมากกว่ารูไทล์ในการนำมาประยุกต์ใช้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งมีงานวิจัยรายงานเอาไว้ว่าโครงสร้างผลึกแบบอะนาเทสให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์เนื่องจากการส่งผ่านอิเล็กตรอนดังกล่าว



รูปที่ 2.5 แสดงโครงร่างผลึกแบบ (a) รูไทล์, (b) อะนาเทส และ (c) บรูไคต์
ของไททานเนียมไดออกไซด์ [11]

2.3.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของไททานเนียมไดออกไซด์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไททานเนียมไดออกไซด์

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี	
ลักษณะ	ของแข็งสีขาว
น้ำหนักโมเลกุล	79.87 g/mol
ความหนาแน่น	4.23 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	1870 °C
จุดเดือด	2972 °C
การละลาย	ไม่ละลายน้ำ
ความเป็นพิษ	ไม่เป็นพิษ

2.4 ท่อนานาโนคาร์บอน [13-16]

ท่อนานาโนคาร์บอน (carbon nanotubes) เป็นโครงสร้างในระดับนาโนที่เป็นวัสดุสังเคราะห์ ที่ได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากว่าท่อนานาโนคาร์บอนเป็น วัสดุสังเคราะห์ที่มีลักษณะโครงสร้างพิเศษที่แตกต่างไปจากอัญรูปทั้ง 3 แบบ ของธาตุคาร์บอน คือ เพชร กราไฟต์ และบัคมิเนสเทอร์ฟลูเลอรีน โดยท่อนานาโนคาร์บอนนี้เกิดขึ้นจากอะตอมคาร์บอน ที่จัดเรียงตัวกันเป็นแผ่นซึ่งมีความลื่นไหลสูง เหมือนกับโครงสร้างของกราไฟต์ อะตอมคาร์บอน เหล่านี้เชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายที่มีรูรูปหกเหลี่ยม แต่มีลักษณะที่ม้วนตัวเข้าหากันเป็นท่อหรือเป็น หลอด ผนังท่ออาจมีเพียงผนังชั้นเดียวหรือผนังเดี่ยว (single-walled carbon nanotubes: SWCNTs) หรือผนังหลายชั้น (multi-walled carbon nanotubes: MWCNTs) ทำให้โครงสร้าง ระดับนาโนนี้มีคุณสมบัติที่พิเศษหลายประการ และโครงสร้างในระดับนาโนของท่อนานาโนคาร์บอน นี้ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1991 โดยศาสตราจารย์ชาวญี่ปุ่นชื่อ ซุมิโอะ ลิจิม่า (Sumio Iijima)

คุณสมบัติเชิงกลที่พิเศษของท่อนานาโนคาร์บอน คือ เป็นโครงสร้างระดับนาโนที่มีความ แข็งแรง น้ำหนักเบา และมีความยืดหยุ่นมาก ซึ่งพอจะสรุปคุณสมบัติที่สำคัญได้ดังนี้

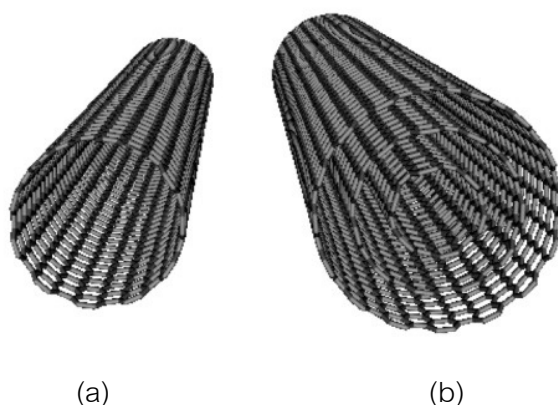
- คุณสมบัติความแข็งแรง

ท่อนานาโนคาร์บอนถือเป็นหนึ่งวัสดุที่มีความแข็งแรงและแข็งแรง สามารถต้านทานแรงดึง ซึ่ง ความแข็งแรงนั้นเป็นผลที่เกิดจากพันธะโควาเลนต์ (Covalent bonds) ที่เกิดระหว่างอะตอมของ คาร์บอนแต่ละอะตอม โดยท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ได้รับการทดสอบมีค่าความ ต้านทานแรงดึง (Tensile strength) เท่ากับ 63 GPa และมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Elastic modulus) มากกว่า 1 TPa

- คุณสมบัติทางไฟฟ้า

ถือเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจสำหรับท่อนานาโนคาร์บอน เพราะนอกจากจะสามารถเก็บ อิเล็กตรอนได้มากแล้ว ท่อนานาโนคาร์บอนยังมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าคล้ายกันกับโลหะ คือ สามารถเป็นได้ทั้งสารกึ่งตัวนำและตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (Superconductor) และเนื่องด้วยเป็น โครงสร้างที่เล็กมากในระดับนาโน ท่อนานาโนคาร์บอนจึงมีคุณสมบัติควอนตัม คือ สามารถควบคุม

การไหลของอิเล็กตรอนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยอาจจะสามารถควบคุมการไหลที่ละกลุ่มของอิเล็กตรอน หรือควบคุมการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ละตัวได้ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนภายในไททาเนียมไดออกไซด์และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงอีกด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ (a) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว และ (b) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

(http://www-ibmc.u-strasbg.fr/ict/vectorisation/nanotubes_eng.shtml)

2.5 ทองคำ [17]

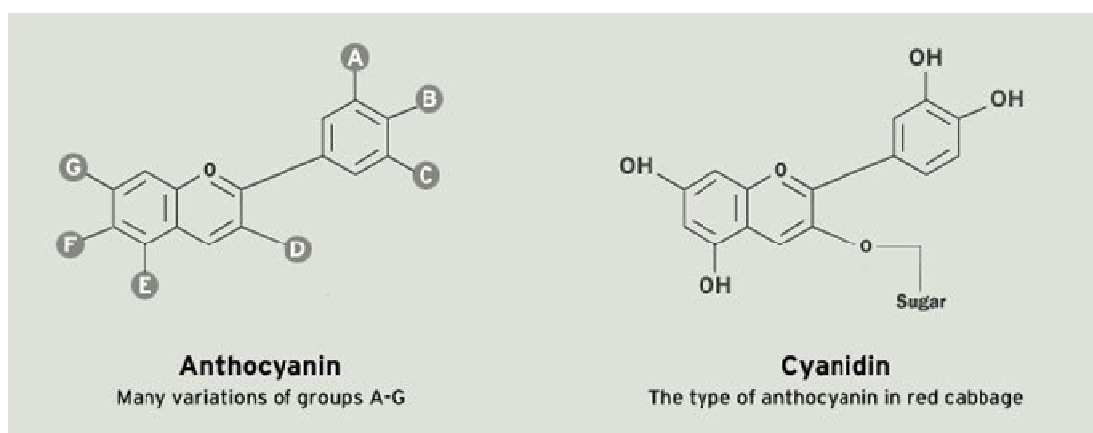
ทองคำเป็นธาตุโลหะทรานซิชันสีเหลืองทอง มันวาว ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศสีของทองจะไม่หมองและไม่เกิดสนิม ทองคำมีเนื้อที่อ่อนตัว สามารถยืดและตีเป็นแผ่นได้ (malleability) มีความเหนียวสูง (ductility) ทนการกัดกร่อน (resistance to corrosion) เนื่องจากทองคำบริสุทธิ์จะไม่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย แต่จะมีปฏิกิริยากับคลอรีน ฟลูออรีน ทองคำเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่สามารถนำความร้อนและไฟฟ้า (thermal and electrical conductivity) และสะท้อนความร้อนได้ดี จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ทองคำได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย เช่น ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากทองคำมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงและทนต่อการกัดกร่อน ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้นจึงมีการนำอนุภาคทองคำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการผสมอนุภาคทองคำเข้ากับสารที่ใช้ทำอิเล็กโทรด เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทำงานได้ดีขึ้น เนื่องจากการผสมอนุภาคทองคำจะทำให้เกิดกำแพงศักย์ชอตต์กี (Schottky barrier) ขึ้น ซึ่งจะช่วยลดโอกาสความเป็นไปได้ที่อิเล็กตรอนจะถูกส่งผ่านจากสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำอิเล็กโทรด กลับไปยังโมเลกุลของสีย้อมหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ด้วยเหตุผลนี้อนุภาคทองคำจึงถูกเลือกมาใช้เป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของทองคำ

คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้อุณหภูมิห้อง)	19.3 g/cm ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่จุดหลอมเหลว	17.31 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	1337.33 K
จุดเดือด	3129 K
ความร้อนของการหลอมเหลว	12.55 kJ/mol
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	324 kJ/mol
ความร้อนจำเพาะ	25.418 J/(mol·K)
คุณสมบัติของอะตอม	
โครงสร้างผลึก	FCC
สถานะออกซิเดชัน	3, 1
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	2.54 (พอลิงสเกล)
รัศมีอะตอม	135 pm
รัศมีโควาเลนต์	144 pm
รัศมีแวนเดอร์วาลส์	166 pm
อื่นๆ	
ความต้านทานไฟฟ้า	(20 °C) 22.14 nΩ·m
การนำความร้อน	(300 K) 318 W/(m·K)
การขยายตัวจากความร้อน	(25 °C) 14.2 μm/(m·K)
โมดูลัสของยังก์	78 GPa
โมดูลัสของแรงเฉือน	27 GPa
โมดูลัสของแรงบีบอัด	220 GPa

2.6 สีย้อมธรรมชาติ [3, 18]

ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีสีย้อมไวแสงหลายกลุ่มที่ถูกเลือกนำมาใช้ เช่น สีย้อมไวแสงจำพวกสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียมกับลิแกนด์โพลีไพริดีน สีย้อมไวแสงพอร์ไฟริน (Porphyrin) เป็นต้น แต่เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการสังเคราะห์ มีราคาแพง และยังเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำสีย้อมจากธรรมชาติมาใช้ ซึ่งสีย้อมธรรมชาติสามารถสกัดได้จากผลไม้ ดอกไม้หรือใบไม้ สีย้อมธรรมชาติประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นสารที่เกิดสี ซึ่งก็มีหลายชนิดและแต่ละชนิดก็ประกอบไปด้วยหลายโครงสร้าง หรือองค์ประกอบอื่นๆ เช่น แป้ง โปรตีน น้ำตาล หรือสภาพความเป็นกรดต่างที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของพืชชนิดนั้นๆ โดยสีย้อมธรรมชาติมีข้อดี คือ หาได้ง่าย ราคาถูก และไม่ เป็นพิษต่อธรรมชาติ



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างองค์ประกอบของสารที่ทำให้เกิดสีในสีย้อมธรรมชาติ

(<http://www.webexhibits.org/causesofcolor/>)

ส่วนกลไกในการเกิดสีของธรรมชาตินั้นเกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) อยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร ในสีของธรรมชาติจะมีหมู่ที่ให้สี (chromophore) อย่างน้อย 1 หมู่ และมีระบบของพันธะคู่และพันธะเดี่ยวสลับกัน องค์ประกอบที่ทำให้เกิดสีและทำหน้าที่เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ในเวลาเดียวกัน อาทิเช่น แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) บีตาลเลน (Betalain) และแทนนิน (Tannin) เป็นต้น โดยเมื่อกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการใช้สีของธรรมชาติแทนสีสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีไวแสงนั้น การจะหาสีที่มีความสามารถในการยึดเกาะและมีระดับของ LUMO ที่เหมาะสมนั้นเป็นไปได้ไม่ยากนัก เพราะ LUMO ของสารอินทรีย์ที่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็นนั้น ส่วนมากจะต้องสูงกว่าแถบการนำไฟฟ้าของวัสดุซิลิกอนทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ระดับพลังงานของ I^3 มักจะใกล้เคียงกับระดับของ HOMO ของสารอินทรีย์ จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการเลือกสีของธรรมชาติที่จะนำมาใช้ และในงานวิจัยนี้ได้มีการนำสีจากธรรมชาติมาทดสอบกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีไวแสง

2.7 ทบทวนวรรณกรรม

มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการปรับปรุงที่ขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และรวมไปถึงงานวิจัยที่ทดลองใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วย ซึ่งพอจะสรุปได้ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการปรับปรุงขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
T. Sawatsuk และคณะ/ 2009 [13]	ศึกษาผลของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์ในขั้วอิเล็กโทรด	- ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น - ใช้วิธีพิมพ์สกรีน โดยมีขนาดพื้นที่ของเซลล์ 0.36 cm^2	ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นมีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์ โดยสถานะที่ดีที่สุด คือ 0.025% โดยน้ำหนัก ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 10.29%
J. Yu และคณะ/ 2011 [16]	ศึกษาผลของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ผสมกับเฟสอะนาเทสของทรวงกลมกลวงไททาเนียมไดออกไซด์	- ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น - ใช้วิธีดีคเตอร์เบลต โดยมีขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.16 cm^2	ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นมีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์ โดยสถานะที่ดีที่สุด คือ 0.1% โดยน้ำหนัก ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 4.71%

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการปรับปรุงขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
C.-S. Chou และคณะ/ 2009 [17]	ศึกษาผลของการผสมผงทอง (<100 นาโนเมตร) กับผงไททาเนียมไดออกไซด์	- ปริมาณของผงทองที่ผสมลงไป - ใช้วิธีดีคอกเตอร์เบลค โดยมีขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 1 cm ²	ค่าประสิทธิภาพที่มากที่สุด คือ ผสมผงทองกับผงไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราส่วนผงไททาเนียมไดออกไซด์ 10 กรัม ต่อผงทอง 0.8 กรัม โดยได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1.57 %
H. Chang และคณะ/ 2011 [19]	ศึกษาการประยุกต์ใช้ขอตึกแบเรียร์ (Schottky barrier) โดยการเพิ่มอนุภาคนาโนทองเข้าไปในขั้วอิเล็กโทรด	- เปลี่ยนไททาเนียมไดออกไซด์ให้เป็นท่อนาโนไททาเนตด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล - นำขั้วอิเล็กโทรดไปแช่ในสารละลายที่มีอนุภาคนาโนทอง (ความเข้มข้น 0.127 มิลลิโมลาร์) ก่อนย้อมด้วยสีย้อมสังเคราะห์ - ใช้วิธีดีคอกเตอร์เบลค โดยมีขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.25 cm ²	อนุภาคนาโนทองที่เพิ่มเข้าไปทำให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นเป็น 7.65 %

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการปรับปรุงข้อจำกัดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
S. Sun และคณะ/ 2011 [20]	ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น - ระยะเวลาในการตัดท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น - ใช้วิธีดีออกเตอ์เบลคในการเตรียมเซลล์ 	ท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้เวลาในการตัด 2 ชั่วโมงและผสมในปริมาณ 0.075 % โดยน้ำหนัก ให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 4.35 %
J. Yu และคณะ/ 2011 [21]	ศึกษาการใช้ข้อจำกัดสองชั้นจากสองวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และอนุภาคทรงกลมกลวงไททาเนียมไดออกไซด์ - ใช้วิธีดีออกเตอ์เบลค โดยมีขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.16 cm^2 	พบว่าการใช้อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชั้นแรก และอนุภาคทรงกลมกลวงไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชั้นที่สองให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 5.28 %

ตารางที่ 2.3 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการปรับปรุงข้อจำกัดของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
J. Chen และคณะ/ 2008 [22]	ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยอนุภาคนาโนทอง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลแล้วนำไปแช่ในสารละลายทอง (ความเข้มข้น 1×10^{-4} มิลลิโมลาร์) จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโพลีไทโอฟีน (Polythiophene) - ใช้วิธีด็อกเตอร์เบลคในการเตรียมเซลล์ 	ค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นเป็น 1.30 %

ตารางที่ 2.4 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
N.M. Gomez-Ortiz และคณะ/2010 [18]	ศึกษาการใช้สารสกัดจากเมล็ดต้นชาเป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำละลาย - ใช้วิธีดีคอกเตอร์เบลดในการเตรียมเซลล์ โดยขนาดพื้นที่ของเซลล์อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.5 cm² 	ค่าประสิทธิภาพที่มากที่สุดเท่ากับ 0.37 % โดยเป็นเซลล์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด
H. Chang และคณะ/ 2010 [3]	ศึกษาการสกัดจากผักปวยเล้งและสารสกัดจากผักนึ่งเป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย - ขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.25 cm² 	สารสกัดจากผักนึ่งให้ค่าประสิทธิภาพมากกว่าสารสกัดจากผักปวยเล้ง และเมื่อนำสารสกัดจากผักนึ่งมาเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากับ 0.278 % จากนั้นเมื่อนำสารสกัดจากผักนึ่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มาปรับค่าพีเอช ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.318 % ซึ่งมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 2.4 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
H. Zhou และคณะ/ 2011 [23]	ศึกษาการใช้สีย้อมธรรมชาติ (20 ชนิด) แทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย - ใช้วิธีด็อกเตอร์เบลดในการเตรียมเซลล์ โดยขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.2 cm^2 	สีย้อมที่สกัดจากเปลือกมังคุดให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากับ 1.17 %
S. Hao และคณะ/ 2006 [24]	ศึกษาการใช้สารสกัดข้าวเหนียวดำ, ดอกปาริฉัตร, Rosa xanthina, พริก และสาหร่ายทะเล เป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย - ใช้วิธีด็อกเตอร์เบลดในการเตรียมเซลล์ โดยขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 1 cm^2 	สีย้อมที่สกัดจากข้าวเหนียวดำให้ค่าทางไฟฟ้ามากที่สุด โดยมีค่า I_{sc} , V_{oc} และฟิลล์แฟคเตอร์ เท่ากับ 1.142 mA, 0.551 V และ 0.52 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
K. Wongcharee และคณะ/ 2007 [25]	ศึกษาการใช้สารสกัดจากกระเจี๊ยบและดอก อัญชันเป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้ว อิเล็กโทรด - ใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำ ละลาย - ปรับอุณหภูมิของสีย้อม - ปรับค่าพีเอชของสีย้อม 	<ul style="list-style-type: none"> - สีย้อมที่สกัดจากกระเจี๊ยบให้ค่า ประสิทธิภาพดีกว่าสีย้อมที่สกัดจากดอก อัญชัน โดยมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.37% - นำไปทดสอบด้วยการปรับอุณหภูมิของสี ย้อม พบว่าที่ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่า ประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 0.52% - ผลของตัวทำละลาย พบว่าการใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่า การใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย - ผลของการปรับค่าพีเอช พบว่าที่ค่าพีเอช เท่ากับ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.70%

ตารางที่ 2.4 แสดงรายงานที่กล่าวถึงการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (ต่อ)

คณะวิจัย/ปี	วัตถุประสงค์	ตัวแปร/วิธีการและอุปกรณ์	ผลการทดลอง
T.S. Senthil และคณะ/ 2011 [26]	ศึกษาการใช้สารสกัดดอกหางนกยูงและหว่า เป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	- ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย - พื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.25 cm ²	สีย้อมที่สกัดจากหว่าให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากับ 0.51%
G. Calogero และคณะ/ 2012 [27]	ศึกษาการใช้สารสกัดจากองุ่น, mulberry, blackberry, red Sicilian orange, Sicilian prickly pear, มะเขือม่วง และ radicchio เป็นสีย้อมในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	- ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด - ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย - ปรับค่าพีเอชของสีย้อม - ใช้วิธีพิมพ์สกรีนในการเตรียมเซลล์ โดยขนาดพื้นที่ของเซลล์เท่ากับ 0.2 cm ²	ค่าประสิทธิภาพที่ได้เท่ากับ - องุ่น : 0.57% - Mulberry : 0.99% - Blackberry : 1.07% - Red Sicilian orange : 0.78% - Sicilian prickly pear : 1.87% - มะเขือม่วง : 0.64% - Radicchio : 0.90%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ท่อนานาคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว ผสมเข้าไปในสารที่ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง นอกจากนี้ยังมีการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 รายชื่อวัสดุและสารเคมี

- 3.1.1 เอทานอล (Ethanol) จากบริษัท Labscan
- 3.1.2 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- 3.1.3 สีย้อมไวแสง N719 จากบริษัท Dyesol
- 3.1.4 เอทิลเซลลูโลส (Ethyl Cellulose) จากบริษัท Fluka
- 3.1.5 เทอร์พีนอล (Terpineol) จากบริษัท Fluka
- 3.1.6 อะซีติลอะซิโตน (Acetylacetone) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.7 ไทรันทัน เอ็กซ์-100 (Triton X-100) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.8 อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) จากบริษัท Merck
- 3.1.9 แพลทินัม จากบริษัท Dyesol
- 3.1.10 วาเลโรไนไตรล์ (Valeronitrile) จากบริษัท Fluka
- 3.1.11 เทอร์เทียรี-บิวทานอล (tert-Butanol) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.12 ไอโอดีน 99.999% จากบริษัท Merck
- 3.1.13 กัวนิดีนเนียม ไทโอไซยาเนต (Guanidinium Thiocyanate) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.14 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียม ไอโอดด์ (1-Butyl-3-methylimidazolium iodide (BMII)) จากบริษัท Sigma-Aldrich

- 3.1.15 4-เทอร์เชียรี-บิวทิลไพริดีน (4-*tert*-butylpyridine) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- 3.1.16 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) จากบริษัท Labscan
- 3.1.17 อะซิโตน (Acetone) จากบริษัท Labscan
- 3.1.18 ผงไททานเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) จากบริษัท Degussa
- 3.1.19 กระจกนำไฟฟ้า FTO (TEC7) จากบริษัท Pilkington
- 3.1.20 แผ่นพลาสติกเซอร์ลินและบายเนล (Surlyn and Bynel film) จากบริษัท ดูปองต์ ประเทศไทย จำกัด
- 3.1.21 ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (MWCNTs) จากบริษัท Bayer
- 3.1.22 แผ่นทองคำเปลว

3.2 รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 เต้าเผา (DMF-12, HumanLab Instrument Co.)
- 3.2.2 เครื่องปั่น (Stirrer)
- 3.2.3 เครื่องอัลตราโซนิก
- 3.2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (JEM-2100, JEOL)
- 3.2.4 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปี (UV-1700, SHIMADZU)
- 3.2.5 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (ED-2000, Oxford)
- 3.2.6 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
 1. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) (Keithley model 236, MVSystems Inc.)
 2. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (Solar simulator by Dyesol)
 3. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Keithley model 236, MVSystems Inc.)
- 3.2.7 ชุดแบบพิมพ์ซิลิโคน



รูปที่ 3.1 เต้าเผา



รูปที่ 3.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปี (UV-1700, SHIMADZU)



รูปที่ 3.3 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF)



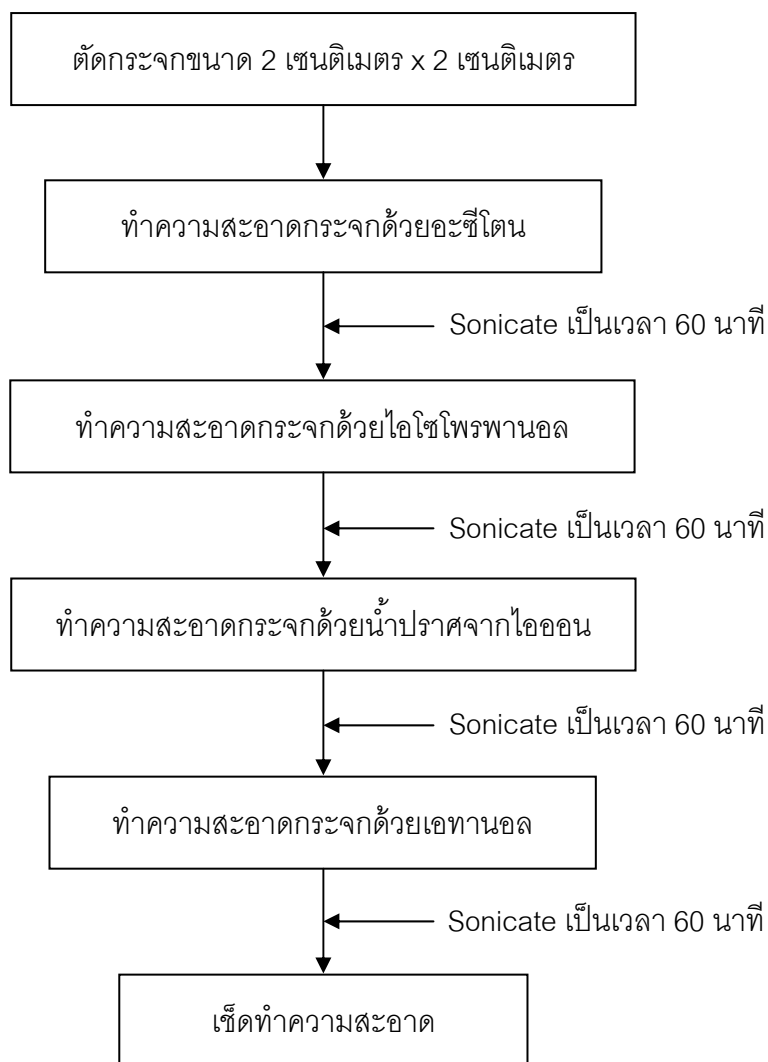
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.5 แบบพิมพ์ซิลค์สกรีน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมกระจกนำไฟฟ้า (FTO glass)

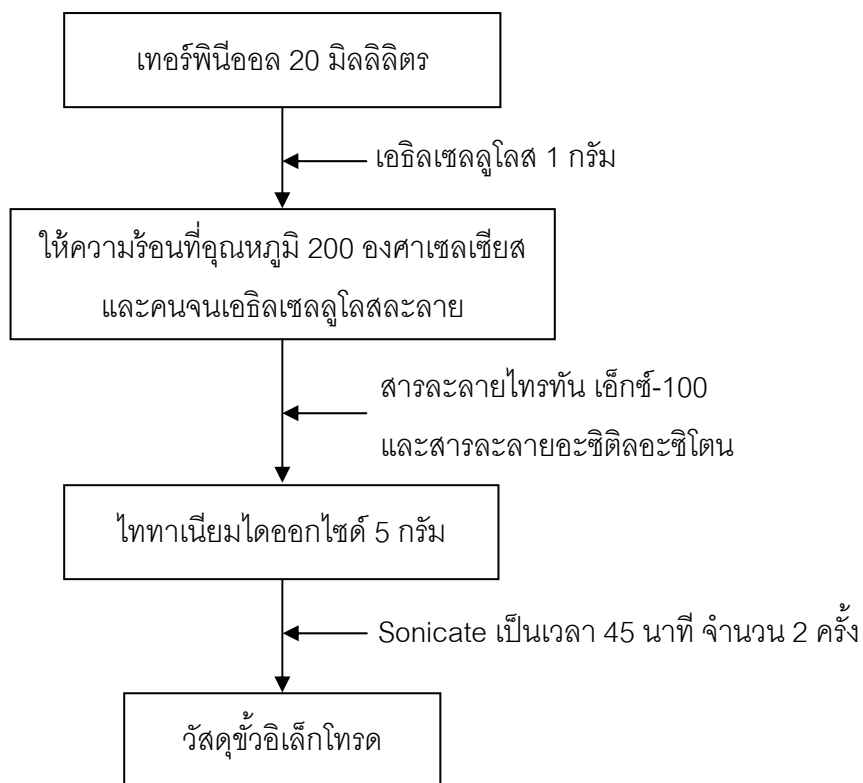


รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้า

นำกระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์ (FTO glass) มาตัดให้ได้ขนาด 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร ตามที่ต้องการ จากนั้นนำกระจกที่ได้ไปทำความสะอาดโดยใช้อะซีโตน (Acetone), ไอโซโพรพานอล (Isopropanol), น้ำ และเอทานอล (Ethanol) ตามลำดับ โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นเวลา 60 นาที จำนวน 4 ครั้ง แล้วเช็ดทำความสะอาด

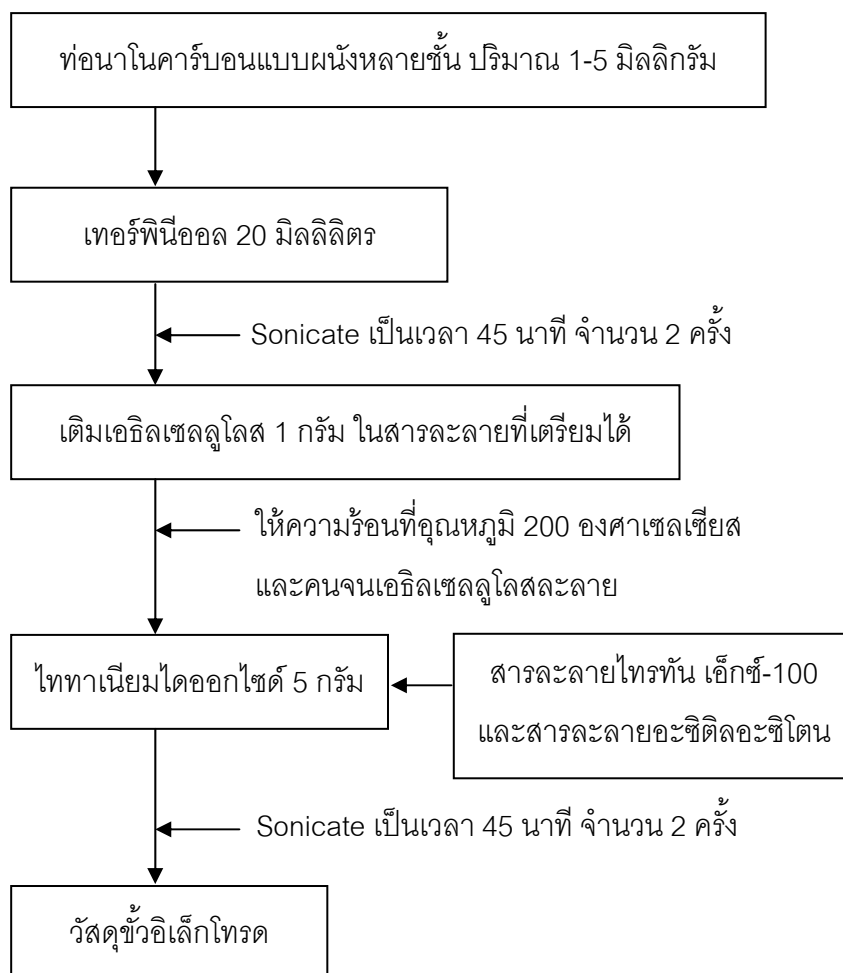
3.3.2 การเตรียมวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด

3.3.2.1 วัสดุขั้วอิเล็กโทรด



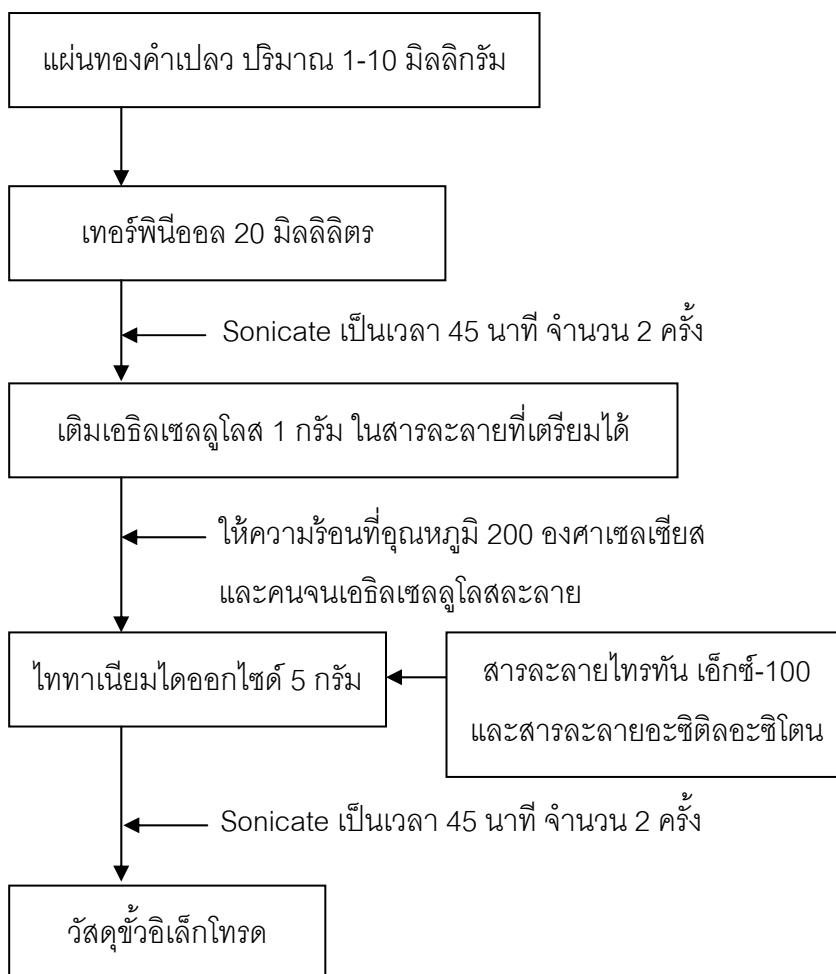
รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรด

3.3.2.2 วัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น



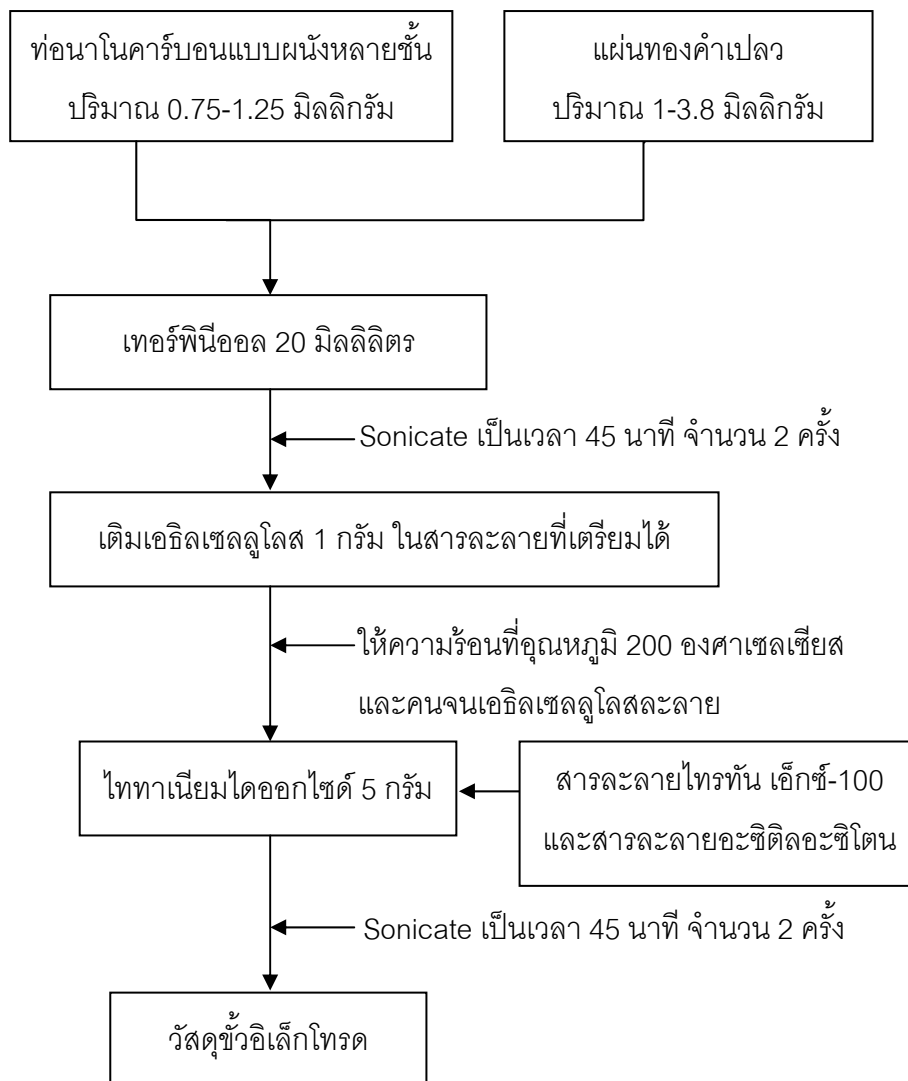
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

3.3.2.3 วัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมแผ่นทองคำเปลว



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมแผ่นทองคำเปลว

3.3.2.4 วัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมทั้งท่อคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมท่อคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวในอัตราส่วนต่างๆ

3.3.3 การประกอบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

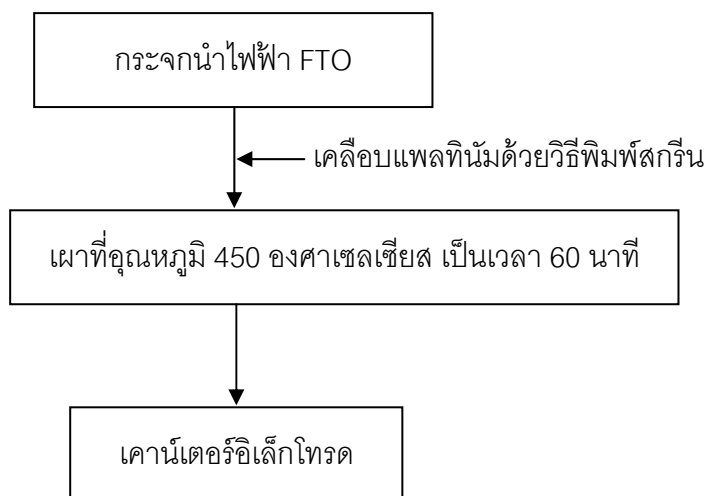
3.3.3.1 การเตรียมขั้วอิเล็กโทรด



รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมขั้วอิเล็กโทรด

จากรูปที่ 3.11 กระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์ (FTO) ที่ทำความสะอาดแล้ว ถูกนำมาเคลือบสารที่ใช้ทำอิเล็กโทรดลงบนกระจกด้วยวิธีการพิมพ์สกรีน (screen-printing) หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และนำไปแช่ในสีย้อม N719 เข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.3.2 การเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด

รูปที่ 3.12 แสดงการเตรียมฝั่งเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) จะใช้แพลทินัม (Platinum: Pt) เป็นชั้นฟิล์มเคลือบบนกระแสไฟฟ้าและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นจึงนำอิเล็กโทรดทั้งสองฝั่งมาประกอบโดยใช้แผ่นพลาสติก (Surlyn) ในการยึดติดกระแสทั้งสองฝั่งเข้าด้วยกัน ก่อนการวัดประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์จะทำการหยอดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (0.6 โมลาร์ของ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียม ไอโอไดด์, 0.03 โมลาร์ของไอโอไดน์, 0.1 โมลาร์ของกัวนินิเนียม ไทโอไซยาเนต และ 0.5 โมลาร์ของ 4-เทอร์เทียร์-บิวทิลไพรีดีน ในสารละลายผสมระหว่างอะซิโตนไนโตรลกับวาเลโรไนโตรล (สัดส่วน 85:15 โดยปริมาตร)) ลงไปในช่องว่างระหว่างฝั่งโพสิทีฟอิเล็กโทรดและเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด หลังจากนั้นจึงนำเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ได้ไปวัดประสิทธิภาพทางไฟฟ้าต่อไป

3.3.4 การวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ วัดโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพที่ประกอบด้วยหลอดไฟซีนอน กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ (Xe Short Arc Lamp XBO) ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงร่วมกับอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพ I-V Tester (Keithley 2400 digital multimeter) โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 0.9 โวลต์ ทำการวัดตัวอย่างละ 2 ครั้ง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงผลของการวิเคราะห์ผลของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น และแผ่นทองคำเปลวที่ส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง รวมถึงผลของการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วย

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัสดุ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

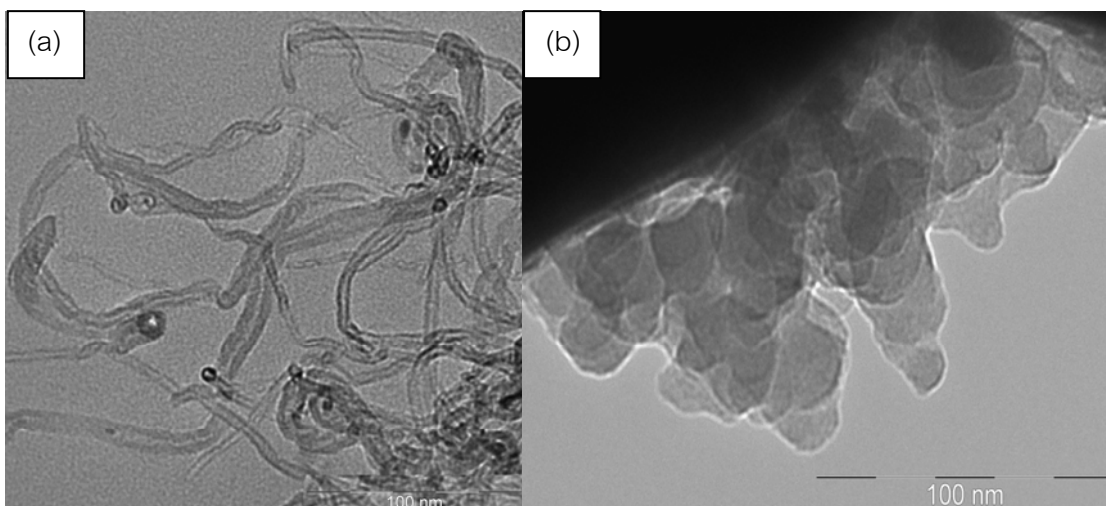
ในงานวิจัยนี้ได้นำวัสดุที่ใช้ในการทำวัสดุขั้วอิเล็กโทรดมาวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยพบว่าไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) มีปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ 99.85% และในแผ่นทองคำเปลวมีปริมาณของธาตุทองคำเป็นองค์ประกอบอยู่ 98.05% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วอิเล็กโทรดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

วัสดุตัวอย่าง	ปริมาณสาร (%)
ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25)	99.85
แผ่นทองคำเปลว	98.05

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ในงานวิจัยนี้ได้นำวัสดุที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเพื่อหาขนาดและรูปร่าง โดยท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) (a) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (b) แผ่นทองคำเปลว

จากรูปที่ 4.1 พบว่าขนาดของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณเท่ากับ 7.5-8 นาโนเมตร และขนาดอนุภาคจากแผ่นทองคำเปลวมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณเท่ากับ 22-23 นาโนเมตร

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความโปร่งใสของวัสดุชั้นอิเล็กโทรด

จากการเตรียมวัสดุชั้นอิเล็กโทรดแต่ละชนิด ได้มีการนำมาวิเคราะห์หาค่าความโปร่งใสของวัสดุชั้นอิเล็กโทรด โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความโปร่งใสของวัสดุชั้นอิเล็กโทรด

สารตัวอย่าง	ค่าความโปร่งใส (T%)
P25	7.727
1.25MWCNTs	18.347
5.00MWCNTs	12.292
1.0GL	5.359
3.8GL	4.602
1.25MWCNTs:1.00GL	5.566

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความโปร่งใสขึ้นอยู่กับปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว โดยเมื่อเพิ่มปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นให้มากขึ้น จะทำให้แสงส่องผ่านวัสดุชั้นอิเล็กโทรดได้น้อยลง และผลของแผ่นทองคำเปลวก็เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกัน

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นมาใช้ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์ ในการทำวัสดุขั้วอิเล็กโทรด โดยมีการปรับปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้ ซึ่งผลการทดลองใน ขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 0.75-2.50 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)	
การทดลองที่ 1						
P25		0.66	8.73	0.68	3.88	
0.75MWCNTs		0.67	6.94	0.49	2.25	
1.25MWCNTs		0.68	9.57	0.62	4.00	3.09%
1.75MWCNTs		0.64	8.34	0.63	3.39	
การทดลองที่ 2						
P25	✓	0.70	9.30	0.62	3.95	
1.25MWCNTs	✓	0.70	11.92	0.69	5.70	44.30%
1.75MWCNTs	✓	0.71	11.53	0.69	5.55	40.51%
2.50MWCNTs	✓	0.70	11.79	0.66	5.47	38.48%

4.3.1 ผลของปริมาณท่อนานโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ปริมาณท่อนานโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม ให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ดีที่สุด โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

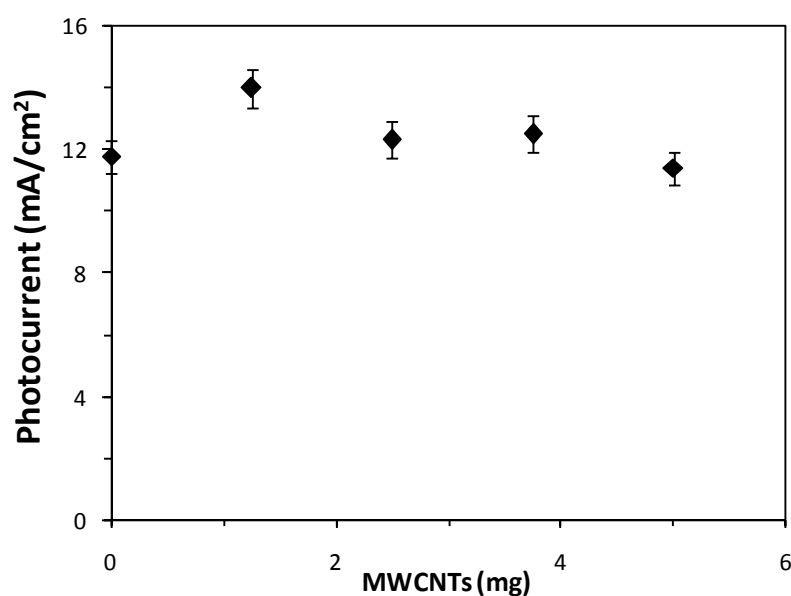
4.3.2 ผลของการใช้อัลตราโซนิก

จากการทดลองที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องอัลตราโซนิกในการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการใช้เครื่องอัลตราโซนิกสามารถทำให้ท่อนานโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นกระจายตัวได้ดีในวัสดุขั้วอิเล็กโทรด ไม่เกิดการรวมกลุ่มกันจนทำให้วัสดุขั้วอิเล็กโทรดสูญเสียความโปร่งแสงไป [13]

ด้วยข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นและเพื่อยืนยันผลการทดลอง ได้ทำการทดลองโดยมีการปรับปริมาณในการใช้อ้อยู่ในช่วง 1.25-5.00 มิลลิกรัม จากนั้นทำการเตรียมและประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 แล้วจึงนำไปวัดค่าประสิทธิภาพด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

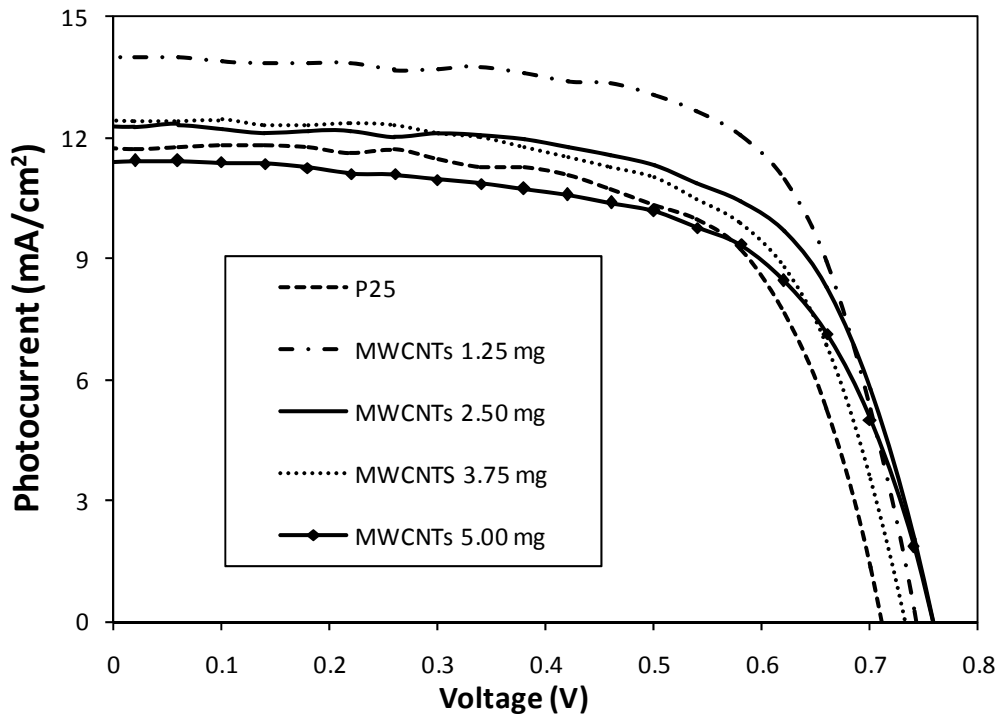
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.25, 2.50, 3.75 และ 5.00 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตราโซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)	
P25	✓	0.70	11.77	0.67	5.43	
1.25MWCNTs	✓	0.73	13.98	0.69	7.01	29.10%
2.50MWCNTs	✓	0.74	12.30	0.67	6.06	11.60%
3.75MWCNTs	✓	0.72	12.49	0.65	5.75	5.89%
5.00MWCNTs	✓	0.74	11.38	0.65	5.43	



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณของท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ผสมลงในวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง นอกจากนี้ปริมาณท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ผสมในวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์นั้นยังมีผลกับค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) (รูปที่ 4.2) และความสามารถในการรับแสงของวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การผสมท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นปริมาณ 1.25 มิลลิกรัม ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับ 13.98 mA/cm^2 และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 7.01% ซึ่งค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 29.10% เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุอิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว โดยน่าจะเป็นผลมาจากการทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีของท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นในวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ ช่วยลดความต้านทาน รวมถึงลดอัตราการกลับป้อนรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นให้มากขึ้นกลับทำให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้ต่ำลง (รูปที่ 4.3) โดยน่าจะเป็นผลจากการสูญเสียความสามารถในการรับแสงของวัสดุชีวอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากการแข่งขันในการรับแสงของท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและสีย้อมไวแสง ซึ่งเมื่อมีท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ของสีย้อมไวแสงลดลง เป็นผลให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้ลดลง [13, 16, 20]



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแผ่นทองคำเปลว

เช่นเดียวกันกับทองคำในคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำแผ่นทองคำเปลวมาใช้ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์ในการเตรียมวัสดุขั้วอิเล็กโทรด โดยมีการปรับปริมาณของแผ่นทองคำเปลวที่ใช้ ซึ่งผลการทดลองในขั้นต้นแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.0-7.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)	
การทดลองที่ 1						
P25		0.66	9.96	0.62	4.09	
1.0GL		0.67	8.22	0.60	3.32	
1.9GL		0.71	7.41	0.65	3.42	
2.8GL		0.70	8.58	0.63	3.78	
5.7GL		0.74	8.66	0.66	4.14	1.22%
7.8GL		0.71	8.11	0.71	4.04	
การทดลองที่ 2						
P25	✓	0.72	9.15	0.64	4.20	
1.0GL	✓	0.69	9.91	0.62	4.24	0.95%
1.9GL	✓	0.75	8.83	0.66	4.30	2.38%

4.4.1 ผลของปริมาณแผ่นทองคำเปลว

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแผ่นทองคำเปลว ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณจนถึงค่าๆหนึ่ง ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง โดยที่ปริมาณแผ่นทองคำเปลว 5.7 มิลลิกรัม ให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ดีที่สุด โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

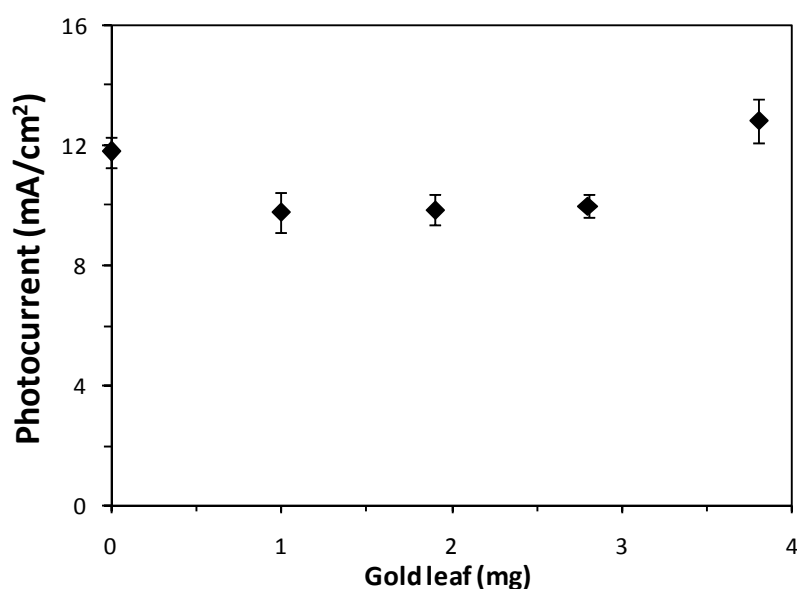
4.4.2 ผลของการใช้อัลตราโซนิก

จากการทดลองที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องอัลตราโซนิกในการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการใช้เครื่องอัลตราโซนิกสามารถทำให้แผ่นทองคำเปลวที่ผสมเข้าไปกระจายตัวได้ดีในวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเช่นเดียวกันกับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

ด้วยข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นและเพื่อยืนยันผลการทดลอง ได้ทำการทดลองโดยมีการปรับปริมาณในการแผ่นทองคำเปลวให้อยู่ในช่วง 1.0-3.8 มิลลิกรัม จากนั้นทำการเตรียมและประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงตามขั้นตอน แล้วจึงนำไปวัดค่าประสิทธิภาพด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.6

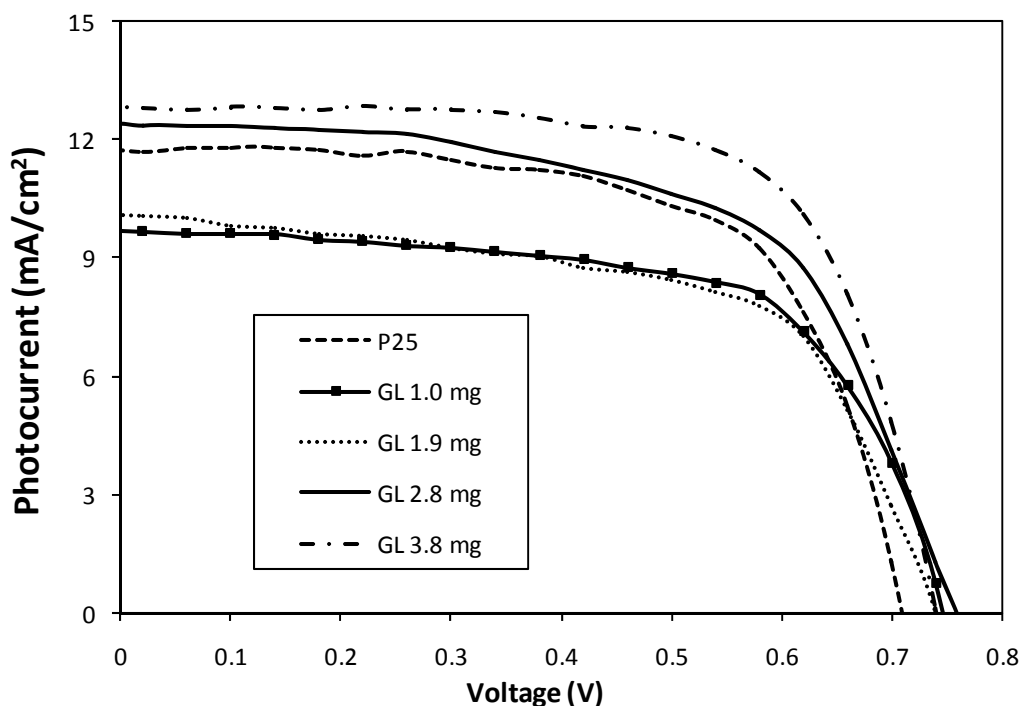
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.0, 1.9, 2.8 และ 3.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา โซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Eff (%)	
P25	✓	0.70	11.77	0.67	5.43	
1.0GL	✓	0.72	9.77	0.68	4.84	
1.9GL	✓	0.72	9.85	0.71	5.00	
2.8GL	✓	0.74	9.98	0.80	5.83	7.36%
3.8GL	✓	0.72	12.82	0.70	6.48	19.34%



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณแผ่นทองคำเปลว

จากตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณของแผ่นทองคำเปลวที่ผสมลงในวัสดุขั้วอิเล็กโทรดมีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยปริมาณของแผ่นทองคำเปลวที่ผสมในวัสดุขั้วอิเล็กโทรดนั้นมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) จากรูปที่ 4.4 เมื่อเพิ่มปริมาณของแผ่นทองคำเปลวมากขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มจาก 11.77 mA/cm^2 เป็น 12.82 mA/cm^2 ที่ปริมาณของแผ่นทองคำเปลวเท่ากับ 3.8 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว



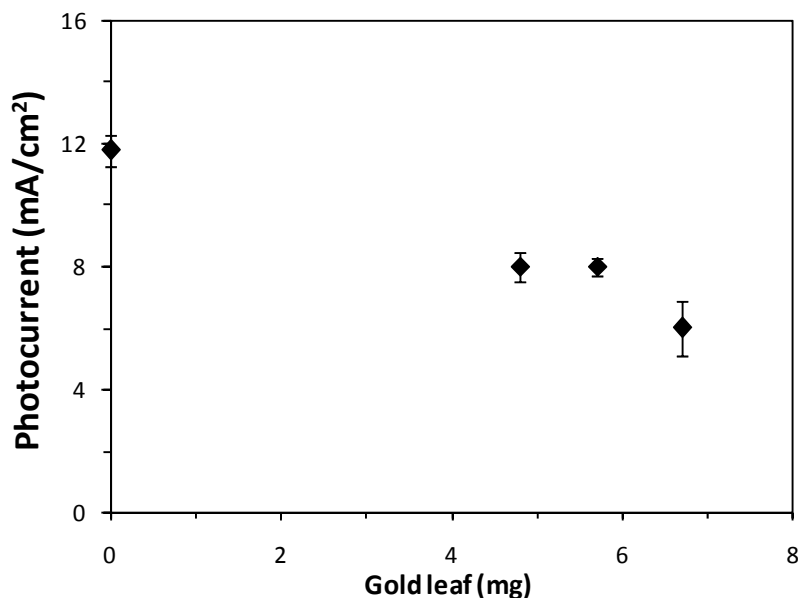
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมแผ่นทองคำเปลว

และจากรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าที่ปริมาณของแผ่นทองคำเปลว 3.8 มิลลิกรัม ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 6.48% โดยค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประมาณ 19.34% เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเพียงอย่างเดียว โดยน่าจะเป็นผลจากการมีอนุภาคทองคำอยู่ในวัสดุขั้วอิเล็กโทรด เกิดเป็นกำแพงศักย์ชอตต์กี (Schottky barrier) ที่เกิดบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำกับโลหะ ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดหรือขัดขวางการเคลื่อนที่กลับไปยังสีย้อมหรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของอิเล็กตรอน ทำให้อนุภาคทองคำมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [17, 19, 22]

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 เมื่อเพิ่มปริมาณแผ่นทองคำเปลวมากขึ้น พบว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว จึงเป็นสมมติฐานว่าหากเพิ่มปริมาณแผ่นทองคำเปลวให้มากขึ้นอีก ค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 4.8, 5.7 และ 6.7 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา โซนิก	ค่าทางไฟฟ้า			
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
P25	✓	0.69	11.78	0.67	5.44
4.8GL	✓	0.61	8.00	0.95	4.67
5.7GL	✓	0.62	8.00	0.70	3.42
6.7GL	✓	0.61	6.00	0.88	3.23



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณแผ่นทองคำเปลว (เพิ่มปริมาณ)

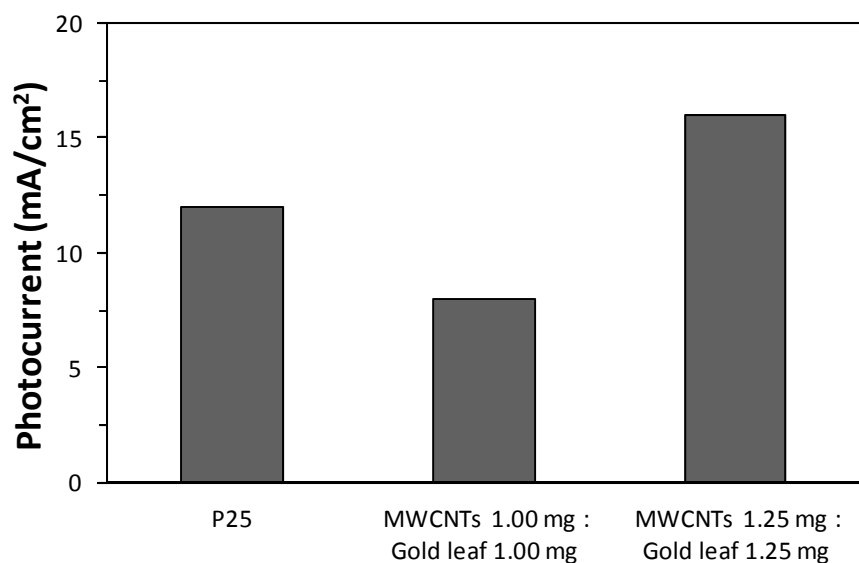
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณแผ่นทองคำเปลวให้มากขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) ที่ได้มีค่าลดลงจาก 11.78 mA/cm^2 เป็น 6.00 mA/cm^2 ทำให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงลดลงจาก 5.44% เหลือเพียง 3.23% โดยน่าจะเป็นผลจากการที่มีอนุภาคทองคำในวัสดุขั้วอิเล็กโทรดมากเกินไป ทำให้เกิดการแข่งขันการรับแสงระหว่างอนุภาคทองคำและอนุภาคของสีย้อมไวแสง โดยอนุภาคสีย้อมไวแสงอาจจะทำหน้าที่ได้ไม่เต็มที่ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.2 ที่เมื่อเพิ่มปริมาณแผ่นทองคำเปลวให้มากขึ้น ค่าความโปร่งแสงของวัสดุขั้วอิเล็กโทรดมีค่าลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เป็นเหตุผลในลักษณะเดียวกันกับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว

จากหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4 ทำให้ทราบถึงปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนและแผ่นทองคำเปลวที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดี จึงเป็นสมมติฐานที่จะนำทั้งท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวมาใช้เป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเดียวกัน ด้วยการปรับอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไป โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นอยู่ในช่วง 0.75-1.25 มิลลิกรัม และใช้แผ่นทองคำเปลวอยู่ในช่วง 1.0-3.8 มิลลิกรัม แล้วจึงนำไปวัดค่าประสิทธิภาพด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน 1:1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า			
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
P25	✓	0.62	12.00	0.72	5.33
1.00MWCNTs:1.00GL	✓	0.61	8.00	0.89	4.36
1.25MWCNTs:1.25GL	✓	0.62	16.00	0.51	4.96



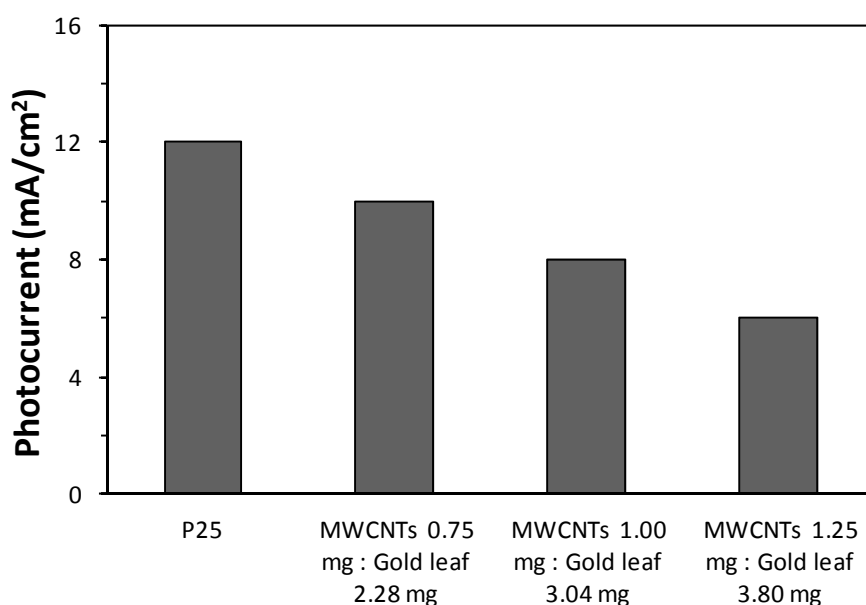
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1:1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวเป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดร่วมกัน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวเท่ากับ 1 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลว 1.25 มิลลิกรัม ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) และค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.00 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลว 1.00 มิลลิกรัม แต่อย่างไรก็ตามก็ยังให้ค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

จากนั้นจึงทำการปรับอัตราส่วนระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวอีกครั้ง โดยคำนวณอัตราส่วนจากค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว ซึ่งใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นปริมาณ 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลวปริมาณ 1.00 มิลลิกรัม เปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วปรับลดปริมาณลง ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า			
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
P25	✓	0.62	12.00	0.72	5.33
0.75MWCNTs:2.28GL	✓	0.61	10.00	0.70	4.16
1.00MWCNTs:3.04GL	✓	0.61	8.00	0.81	3.98
1.25MWCNTs:3.80GL	✓	0.61	6.00	0.74	2.71



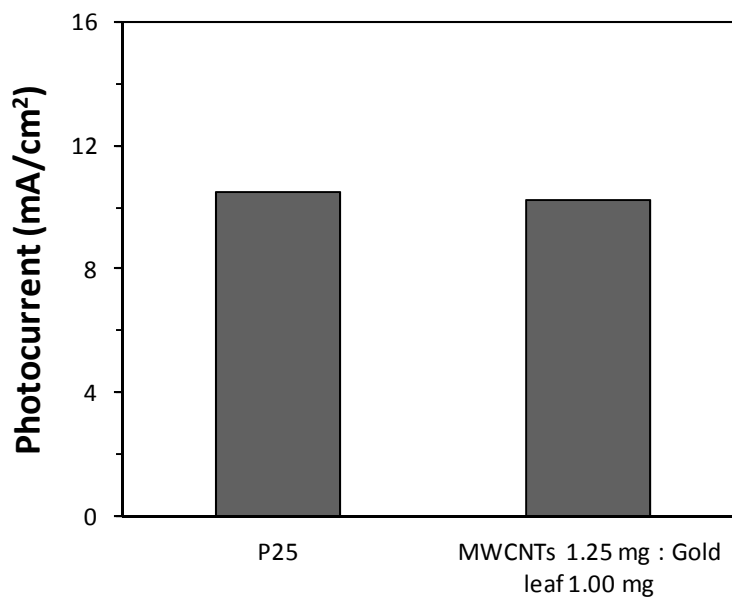
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1:3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.8 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) และค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงยังมีค่าน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเพียงอย่างเดียว โดยน่าจะเป็นสาเหตุจากการที่มีท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวในวัสดุขั้วอิเล็กโทรดมากเกินไป ทำให้สีย้อมไวแสงทำหน้าที่ในการดูดซับแสงได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

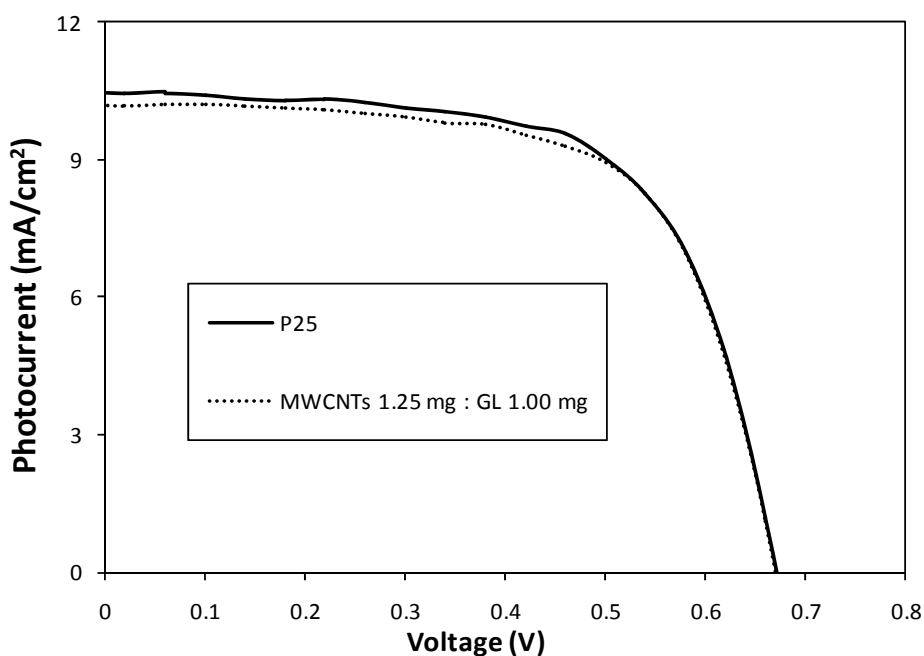
และจากทั้งตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวที่ให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด คือ อัตราส่วน 1:1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลวปริมาณ 1.25 มิลลิกรัม แต่ก็ยังถือว่าประสิทธิภาพที่ได้ต่ำกว่าไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว จึงได้ทำการปรับลดปริมาณของแผ่นทองคำเปลวลง โดยใช้อัตราส่วนของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม ต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว 1 มิลลิกรัม ซึ่งผลการวัดประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว (อัตราส่วน 1.25:1 มิลลิกรัม) ร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า			
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
P25	✓	0.67	10.47	0.65	4.51
1.25MWCNTs:1.00GL	✓	0.66	10.21	0.66	4.47



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว ในอัตราส่วน 1.25:1.00 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลว 1.00 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) และค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นปริมาณ 1.25 มิลลิกรัม และแผ่นทองคำเปลวปริมาณ 1.00 มิลลิกรัม ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดเพียงอย่างเดียว ซึ่งเมื่อสังเกตจากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าลักษณะกราฟใกล้เคียงกันจนเกือบจะเป็นเส้นกราฟที่ซ้อนทับกัน

4.6 ผลการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

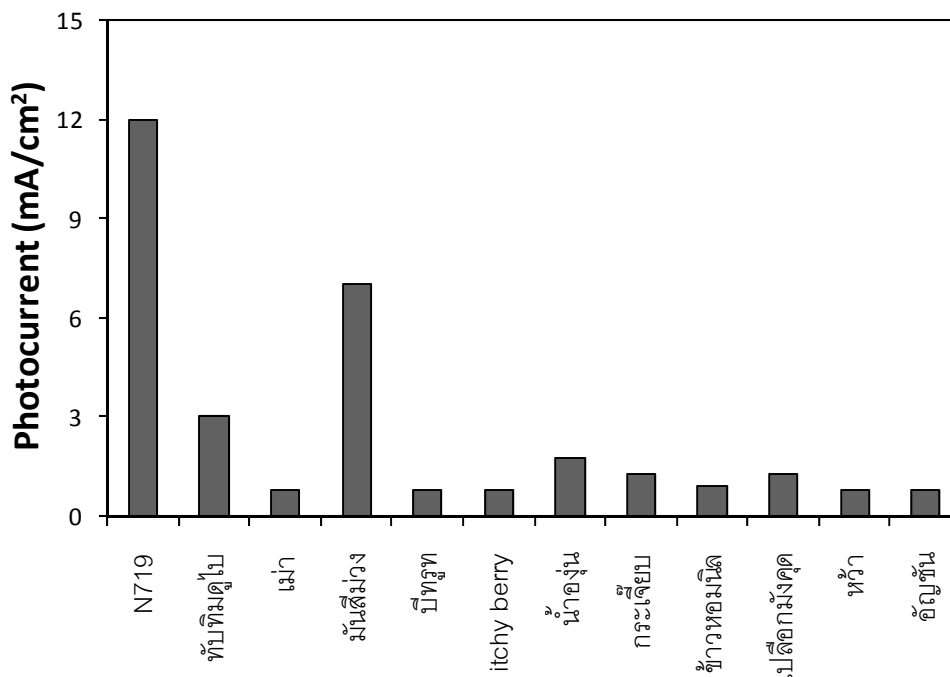
สีย้อมธรรมชาติประกอบด้วยองค์ประกอบหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นสารที่เกิดสี ซึ่งก็มีหลายชนิดและแต่ละชนิดก็ประกอบไปด้วยหลายโครงสร้าง หรือองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน แป้ง น้ำตาล หรือสภาพความเป็นกรดต่างที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของพืชชนิดนั้นๆ โดยวิธีการสกัดและเตรียมสีย้อมธรรมชาติสามารถเตรียมได้ดังนี้

- บดหรือตำ แล้วนำไปแช่หรือต้มในตัวทำละลาย
- สารละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลาย อาจจะใช้ น้ำหรือเอทานอล
- ในบางงานวิจัยได้มีการปรับค่าพีเอชของสีย้อมด้วยกรด [26]

ในงานวิจัยนี้การสกัดสีย้อมจากธรรมชาติทำโดยนำวัตถุดิบมาคั้นสด ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และใช้การต้มเคี่ยวเพื่อให้ได้สีย้อมธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง รวมทั้งไม่มีการปรับค่าพีเอช การปรับสภาพเพิ่มเติม หรือแยกสารมีสีใดๆออกมา ซึ่งผลการวัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อทดสอบกับสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับการใช้สีย้อมสังเคราะห์ (N719)

สารตัวอย่าง	ค่าทางไฟฟ้า			
	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
N719	0.62	12.00	0.72	5.33
ทับทิมดูไบ	0.61	3.00	0.74	1.35
เม่า	0.60	0.75	0.57	0.26
มันสีม่วง	0.63	7.00	0.48	2.05
ปีทูลท	0.60	0.75	0.53	0.27
Itchy berry	0.60	0.75	0.57	0.31
น้ำองุ่น	0.62	1.75	0.77	0.82
กระเจี๊ยบ	0.61	1.25	0.60	0.45
ข้าวหอมชนิด	0.60	0.88	0.67	
เปลือกมังคุด	0.61	1.25	0.63	0.48
หว่า	0.61	0.75	0.77	0.36
อัญชัน	0.60	0.75	0.63	0.27

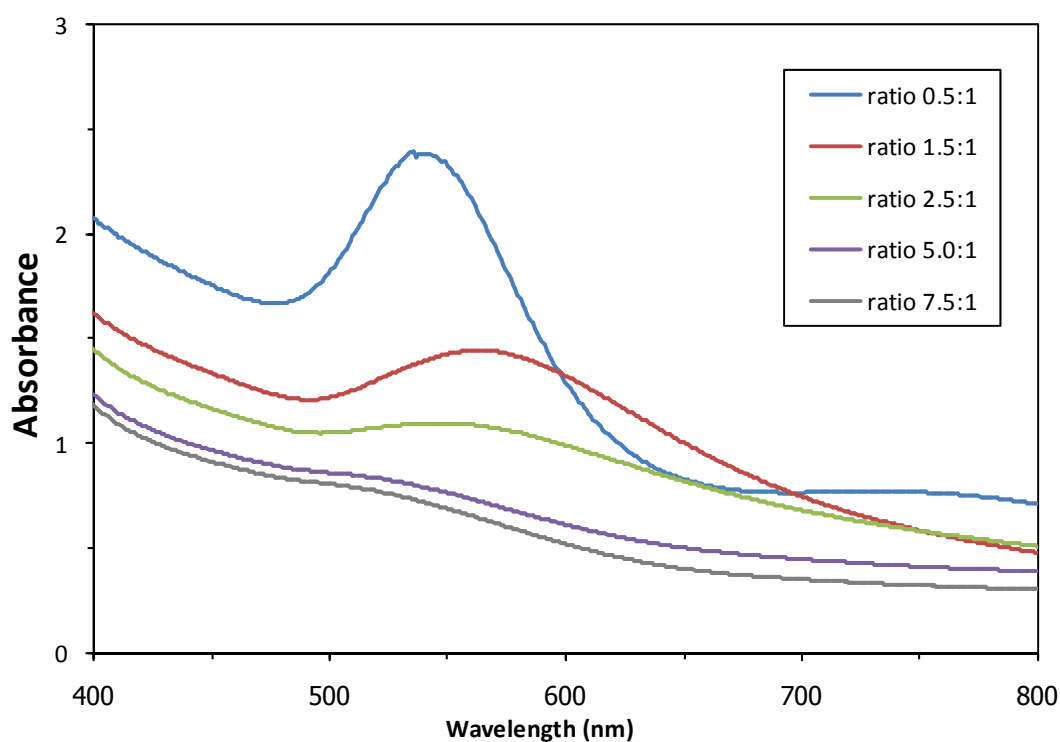


รูปที่ 4.11 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของสีย้อมธรรมชาติแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) และค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ทดสอบโดยใช้สีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ แทนสีย้อมสังเคราะห์ (N719) พบว่าสีย้อมธรรมชาติที่ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและค่าประสิทธิภาพที่ดีเป็นลำดับต้นๆ คือ สารสกัดจากมันสีม่วง น้ำทับทิมดูไบ และน้ำองุ่น โดยมีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับ 7.00, 3.00 และ 1.75 mA/cm² ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 2.05, 1.35 และ 0.82% ตามลำดับ เนื่องจากในสารสกัดจากพืชและผลไม้ที่มีสีเข้มจะมีแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) อยู่มาก โดยแอนโทไซยานินมีความคงทนในสภาพกรด รวมถึงคุณสมบัติในการยึดเกาะกับอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลในแอนโทไซยานิน [24]

และจากสีย้อมธรรมชาติทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ สารสกัดจากมันสีม่วง น้ำทับทิมดูไบ และน้ำองุ่น ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าสีย้อมชนิดอื่น จากนั้นทำการทดสอบด้วยการผสมสารละลายนาโนทองเข้ากับสีย้อม เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเลือกน้ำองุ่น (Welch grape) เป็นสีย้อม เนื่องจากมีปริมาณมาก

พอที่จะใช้ในการทดสอบ อีกทั้งน้ำองุ่นสามารถเป็น reducing agent และ stabilizing agent ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ reducing agent จากพืชแทนการใช้สารเคมี และทำการปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำองุ่นและสารละลายนาโนทองความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปี ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.12



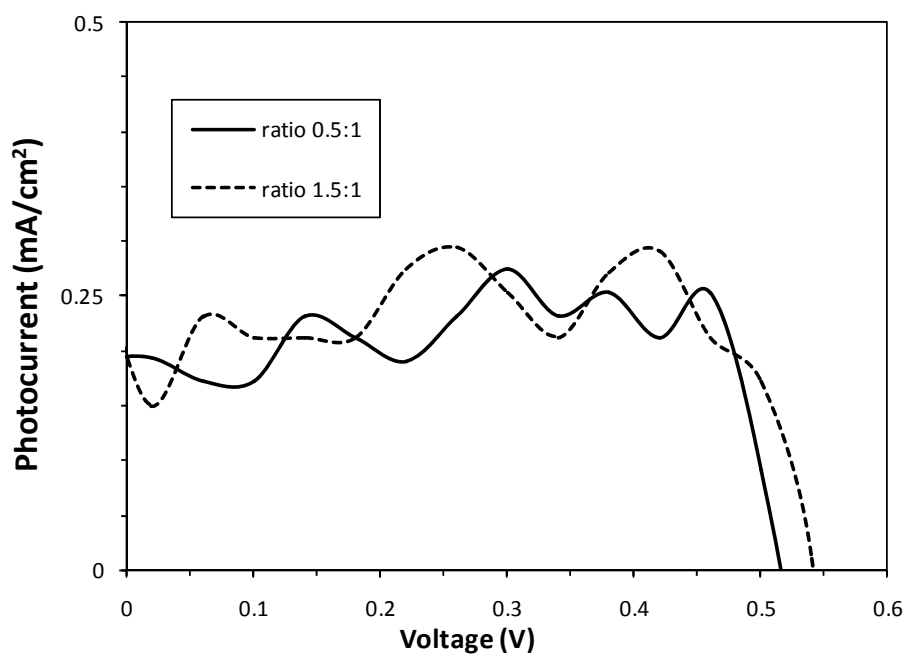
รูปที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปีของสารละลายระหว่างน้ำองุ่นและสารละลายนาโนทอง

จากรูปที่ 4.12 ที่อัตราส่วนของน้ำองุ่น 0.5 มิลลิลิตร ต่อสารละลายนาโนทองความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร และอัตราส่วนของน้ำองุ่น 1.5 มิลลิลิตร และสารละลายนาโนทองความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นพีคในช่วงของการเกิดอนุภาคนาโนทอง (500-550 นาโนเมตร) จึงได้เลือกสารละลายที่สองอัตราส่วนนี้มาทดสอบในการ

ย้อมเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าทางไฟฟ้าต่างๆและค่าประสิทธิภาพจะแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อทดสอบกับสีย้อมธรรมชาติที่ผสมสารละลายนาโนทอง

สารตัวอย่าง	ค่าทางไฟฟ้า			
	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
น้ำอุน	0.62	1.75	0.77	0.82
Ratio 0.5:1	0.39	0.19	1.65	0.12
Ratio 1.5:1	0.43	0.22	1.49	0.14



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติที่ผสมสารละลายนาโนทอง

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติที่ผสมสารละลายนาโนทอง ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short-circuit current) และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมเป็นน้ำองุ่นเพียงอย่างเดียว โดยน่าจะเป็นผลจากการมีอนุภาคนาโนทองในสีย้อมที่มากเกินไป จนอาจจะทำให้วัสดุขั้วอิเล็กโทรดสูญเสียความโปร่งแสงและความสามารถในการรับแสงไป ทำให้ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ และค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นลักษณะของเส้นกราฟที่ค่าแกว่งไปมา เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมาก และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (FF) มีผลทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (FF) มีค่าเกินหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เป็นวัสดุขั้วอิเล็กโทรด รวมทั้งทดสอบการใช้สีย้อมธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งจากผลการวิจัยนั้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น ($\eta=7.01\%$) กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว ($\eta=5.43\%$) พบว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประมาณ 29%
2. แผ่นทองคำเปลวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้เช่นเดียวกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผสมแผ่นทองคำเปลว ($\eta=6.48\%$) กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว ($\eta=5.43\%$) พบว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประมาณ 19.34%
3. ผลของการใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลว พบว่าอัตราส่วนของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม ต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว 1.00 มิลลิกรัม ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แต่ค่าประสิทธิภาพที่ได้ค่อนข้างจะไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

4. ผลของการทดสอบสีย้อมธรรมชาติกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงพบว่าสีย้อมที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด 3 อันดับแรก คือ สารสกัดจากมันสำปะหลัง ทับทิม ดูไบ และน้ำองุ่น โดยให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 2.05%, 1.35% และ 0.82% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลวนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาในอนาคตได้ดังนี้

1. จากผลของการใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลวที่อัตราส่วนของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น 1.25 มิลลิกรัม ต่อปริมาณแผ่นทองคำเปลว 1.00 มิลลิกรัม พบว่าค่าที่ได้แทบจะไม่แตกต่างกัน โดยอาจจะต้องมีการปรับลดปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นหรือแผ่นทองคำเปลวลง
2. จากผลการทดลองในส่วนของการใช้สีย้อมธรรมชาติร่วมกับสารละลายนาโนทองคำ อาจจะต้องมีการปรับลดความเข้มข้นของสารละลายนาโนทองคำ เพื่อไม่ให้เกิดอนุภาคนาโนทองคำในสีย้อมมากเกินไป จนทำให้วัสดุขั้วอิเล็กโทรดสูญเสียความโปร่งแสง

รายการอ้างอิง

- [1] Brian O'Regan and M. Grätzel, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. Nature 353 (1991) : 737-740.
- [2] Grätzel, M., Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 4(2) (2003) : 145-153.
- [3] Chang, H., et al., Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea. Journal of Alloys and Compounds 495(2) (2010) : 606-610.
- [4] Miles R. W., Hynes K. M., and F. I., Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues. Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials 51(1-3) (2005) : 1-42.
- [5] Grätzel, M., Photoelectrochemical cells. Nature 414 (2001) : 338-344.
- [6] Poulomi Roy, et al., TiO₂ nanotubes and their application in dye-sensitized solar cells. Nanoscale 2 (2010) : 45-59.
- [7] Narayan, M.R., Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) : 208-215.
- [8] Satyanarayana V. N. T. Kuchibhatla, et al., One dimensional nanostructured materials. Progress in Materials Science 52(5) (2007) : 699-913.
- [9] Gaya, U.I. and A.H. Abdullah, Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 9(1) (2008) : 1-12.
- [10] Diebold, U., The surface science of titanium dioxide. Surface Science Reports 48(5-8) (2003) : 53-229.

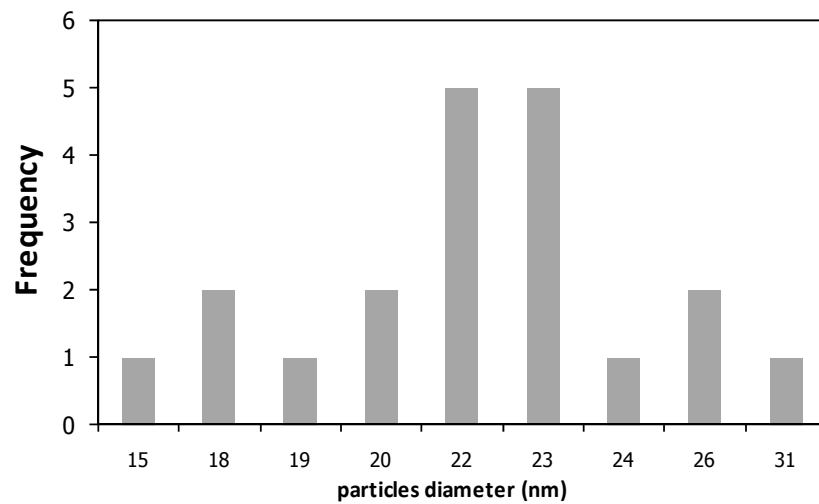
- [11] S. M. Woodley and C.R.A. Catlow, Structure prediction of titania phases: Implementation of Darwinian versus Lamarckian concepts in an Evolutionary Algorithm. Computational Materials Science 45(1) (2009) : 84-95.
- [12] O. Carp, C. L. Huisman, and A. Reller, Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry 32(1-2) (2004) : 33-177.
- [13] Thanyarat Sawatsuk, et al., Dye-sensitized solar cells based on TiO₂-MWCNTs composite electrodes: Performance improvement and their mechanisms. Diamond and Related Materials 18(2-3) (2009) : 524-527.
- [14] Hongwei Zhu, et al., Applications of carbon materials in photovoltaic solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells 93(9) (2009) : 1461-1470.
- [15] Iijima, S., Helical microtubules of graphitic carbon. Nature 354 (1991) : 56-68.
- [16] Jianguo Yu, Jiajie Fan, and B. Cheng, Dye-sensitized solar cells based on anatase TiO₂ hollow spheres/carbon nanotube composite films. Journal of Power Sources 196(18) (2011) : 7891-7898.
- [17] Chuen-Shii Chou, et al., Preparation of TiO₂/Nano-metal composite particles and their applications in dye-sensitized solar cells. Powder Technology 194(1-2) (2009) : 95-105.
- [18] Gómez-Ortíz, N.M., et al., Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds. Solar Energy Materials and Solar Cells 94(1) (2010) : 40-44.
- [19] Chang, H., et al., Application of a Schottky barrier to dye-sensitized solar cells (DSSCs) with multilayer thin films of photoelectrodes. Journal of Alloys and Compounds 509,Supplement 1(0) (2011) : S486-S489.

- [20] Sun, S., L. Gao, and Y. Liu, Optimization of the cutting process of multi-wall carbon nanotubes for enhanced dye-sensitized solar cells. Thin Solid Films 519(7) (2011) : 2273-2279.
- [21] Yu, J., Q. Li, and Z. Shu, Dye-sensitized solar cells based on double-layered TiO₂ composite films and enhanced photovoltaic performance. Electrochimica Acta 56(18) (2011) : 6293-6298.
- [22] Chen, J., et al., Improving the photoelectrochemical performance of polythiophene sensitized TiO₂ electrode by modification with gold nanoparticles. Chemical Physics Letters 460(1-3) (2008) : 168-172.
- [23] Zhou, H., et al., Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 219(2-3) (2011) : 188-194.
- [24] Hao, S., et al., Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell. Solar Energy 80(2) (2006) : 209-214.
- [25] Wongcharee, K., 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 91(7) (2007) : 566-571.
- [26] Senthil, T.S., et al., Natural dye (cyanidin 3-O-glucoside) sensitized nanocrystalline TiO₂ solar cell fabricated using liquid electrolyte/quasi-solid-state polymer electrolyte. Renewable Energy 36(9) (2011) : 2484-2488.
- [27] Calogero, G., et al., Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells. Solar Energy 86(5) (2012) : 1563-1575.

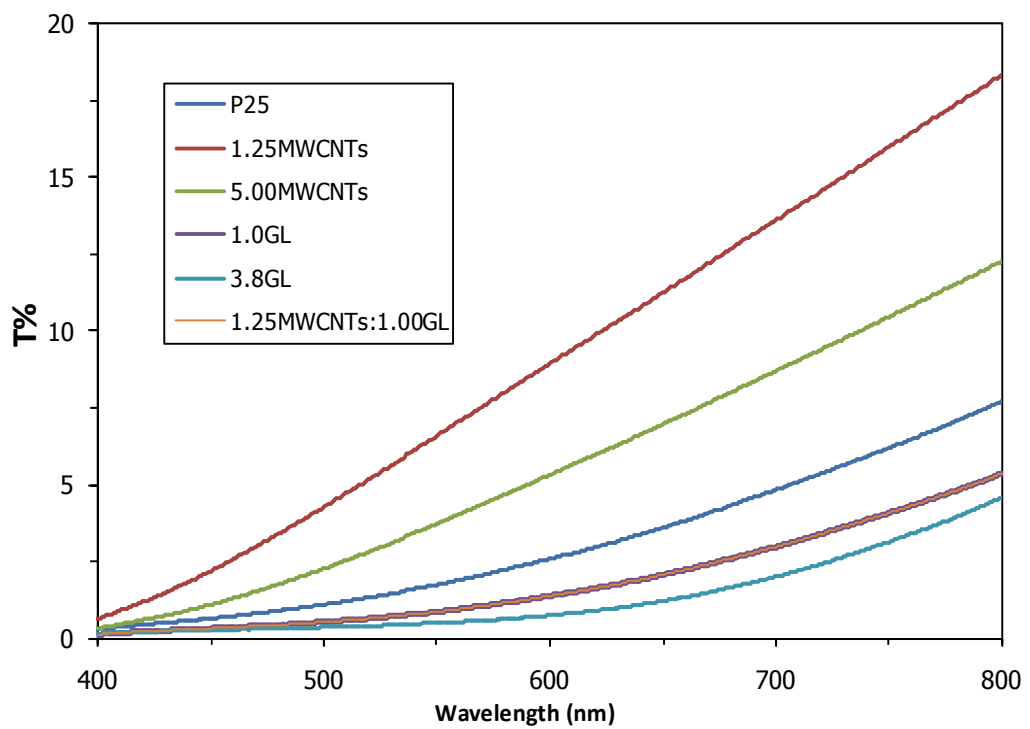
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและค่าความโปร่งแสง



รูปที่ ก1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของแผ่นทองคำเปลว



รูปที่ ก2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความโปร่งแสงของวัสดุคาร์บอนนาโนทิว

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ตารางที่ ข1 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 0.75, 1.25 และ 1.75 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัตรา ไซนิก	ค่าทางไฟฟ้า			
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)
P25		0.66	9.96	0.62	4.09
0.75MWCNTs		0.66	8.38	0.64	3.55
1.25MWCNTs		0.65	8.96	0.64	3.74
1.75MWCNTs		0.65	8.85	0.63	3.63

ตารางที่ ข2 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.25, 2.50 และ 3.75 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา โซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)	
P25	✓	0.68	6.49	0.49	2.10	
1.25MWCNTs	✓	0.69	9.77	0.56	3.70	76.19%
2.50MWCNTs	✓	0.69	8.33	0.56	3.17	50.95%
3.75MWCNTs	✓	0.69	7.10	0.62	3.00	42.86%

หมายเหตุ : ขนาดกระจก 2 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร

ตารางที่ ข3 แสดงค่าทางไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อใช้แผ่นทองคำเปลวร่วมกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) ที่ปริมาณ 1.0, 1.9, 2.8 และ 3.8 มิลลิกรัม เป็นขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการเตรียมโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เปรียบเทียบกับไททาเนียมไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ (P25) เพียงอย่างเดียว

สารตัวอย่าง	อัลตรา โซนิก	ค่าทางไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับ P25
		V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Eff (%)	
P25	✓	0.68	6.49	0.49	2.10	
1.0GL	✓	0.72	8.01	0.59	3.38	60.95%
1.9GL	✓	0.73	9.45	0.56	3.86	83.81%
2.8GL	✓	0.72	9.52	0.63	4.29	104.29%
3.8GL	✓	0.73	10.46	0.60	4.55	116.67%

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลว

จากปริมาณท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 1.25 มิลลิกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไททาเนียมไดออกไซด์เท่ากับ

$$(A / 100) \times 5 \text{ กรัม} = 0.00125 \text{ กรัม}$$

$$A = 0.025 \text{ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก}$$

จากปริมาณแผ่นทองคำเปลวที่ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 3.8 มิลลิกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไททาเนียมไดออกไซด์เท่ากับ

$$(B / 100) \times 5 \text{ กรัม} = 0.0038 \text{ กรัม}$$

$$A = 0.076 \text{ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก}$$

ดังนั้น จึงเตรียมอัตราส่วนโดยประมาณระหว่างท่อนานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นและแผ่นทองคำเปลวในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. การเตรียมสารละลายนาโนทองเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

จาก สารละลายนาโนทองเข้มข้น 100,000 ppm = 100,000 มิลลิกรัม/ลิตร

มวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 196.97 กรัม/โมล = 196,970 มิลลิกรัม/โมล

$$\begin{aligned}
 \text{ความเข้มข้น (โมล/ลิตร)} &= (100,000 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}) / (196,970 \text{ มิลลิกรัม/โมล}) \\
 &= 0.51 \text{ โมล/ลิตร} \\
 &= 0.51 \text{ โมลาร์}
 \end{aligned}$$

$$\text{และจาก } (\text{ความเข้มข้น})_1 (\text{ปริมาตร})_1 = (\text{ความเข้มข้น})_2 (\text{ปริมาตร})_2$$

$$(510)(V_1) = (0.25)(500)$$

$$V_1 = 0.25 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น ต้องเตรียมสารละลายนาโนทองเข้มข้น 100,000 ppm ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร จึงจะได้สารละลายนาโนทองเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ค่า ORAC (Oxygen radical absorbance capacity หรือ Total antioxidant activity)

การวัดค่า ORAC

เป็นการวัดการสลายตัวของโมเลกุลฟลูออเรสเซนต์ ไม่ว่าจะเป็น beta-phycoerythrin หรือ fluorescein หลังจากที่ผสมกับตัวสร้างอนุมูลอิสระซึ่งจะทำลายโมเลกุลฟลูออเรสเซนต์ ทำให้เกิดการลดลงของฟลูออเรสเซนต์ สารแอนติออกซิแดนท์เป็นตัวช่วยป้องกันโมเลกุลฟลูออเรสเซนต์จากการสลายตัวของอนุมูลอิสระ การสลายตัวของ fluorescein สามารถวัดได้จากการเกิดแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งชะลอการสลายตัวของฟลูออเรสเซนต์ ในการวิเคราะห์จะใช้ตัวป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ คือ สารแอนติออกซิแดนท์ trolox (คล้ายกับวิตามินอี) เป็นมาตรฐาน ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ trolox จะถูกนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานเพื่อเทียบกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ผลที่ได้จากตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกแสดงผลเป็น “trolox equivalents” หรือ TE

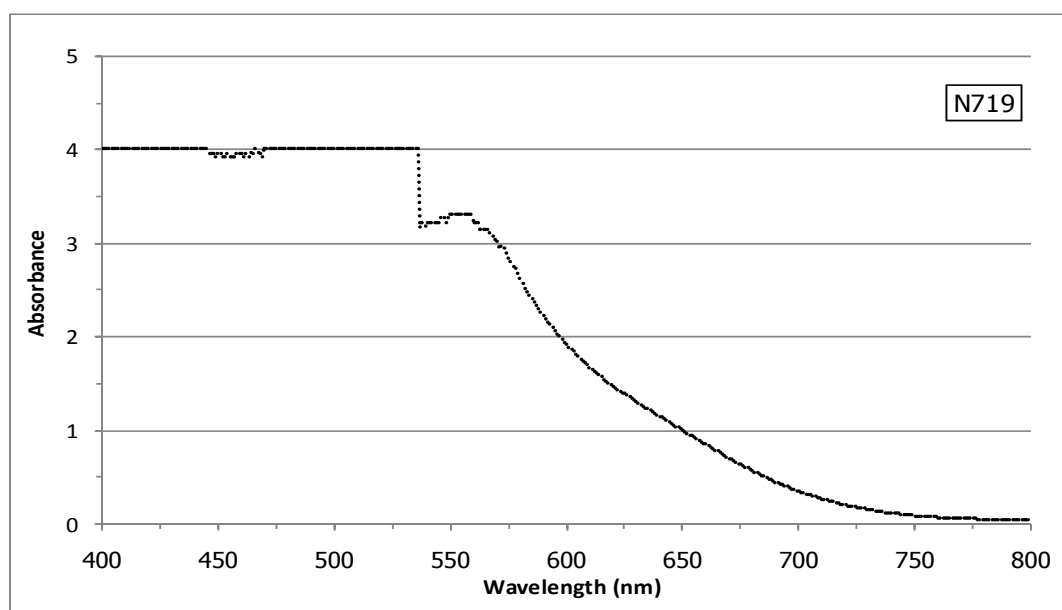
ตารางที่ ง1 ผลการวัดค่า ORAC ของสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

Sample	ORAC (micromoles TE)	Eff (%)
ทับทิมดูไบ	12,462	1.35
มันสีม่วง	8,748	2.05
น้ำอุน	6,814	0.82
กระเจี๊ยบ	4,820	0.45
เม่า	4,793	0.26
ข้าวหอมนิล	3,952	0.35
บีทรูท	2,200	0.27
หว่า	1,783	0.36
Itchy berry	1,534	0.31
อัญชัน	479	0.27
เปลือกมังคุด	-	0.48

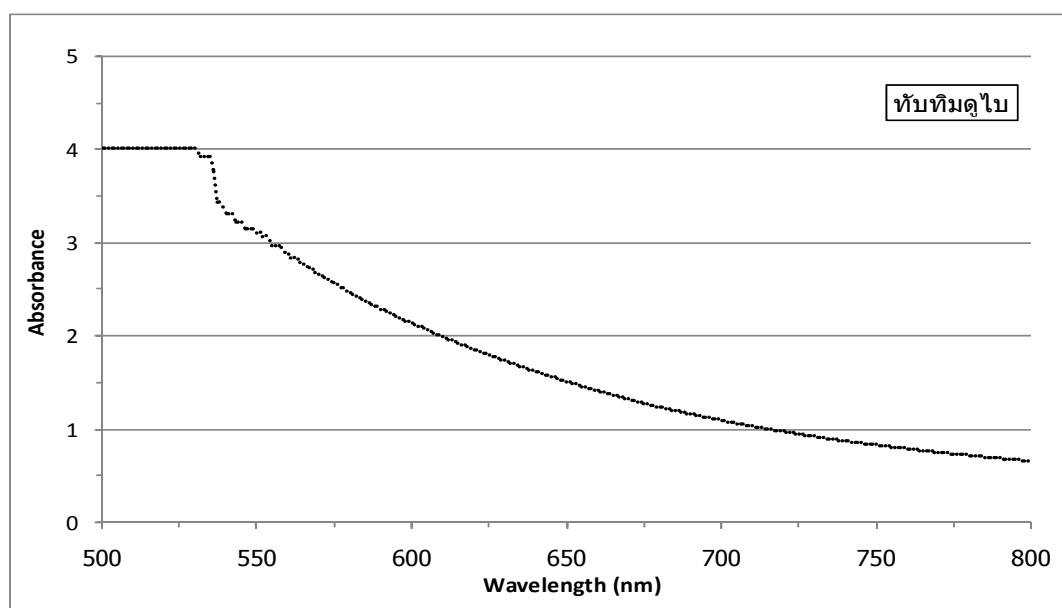
ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์สีของธรรมชาติด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรสโคปี

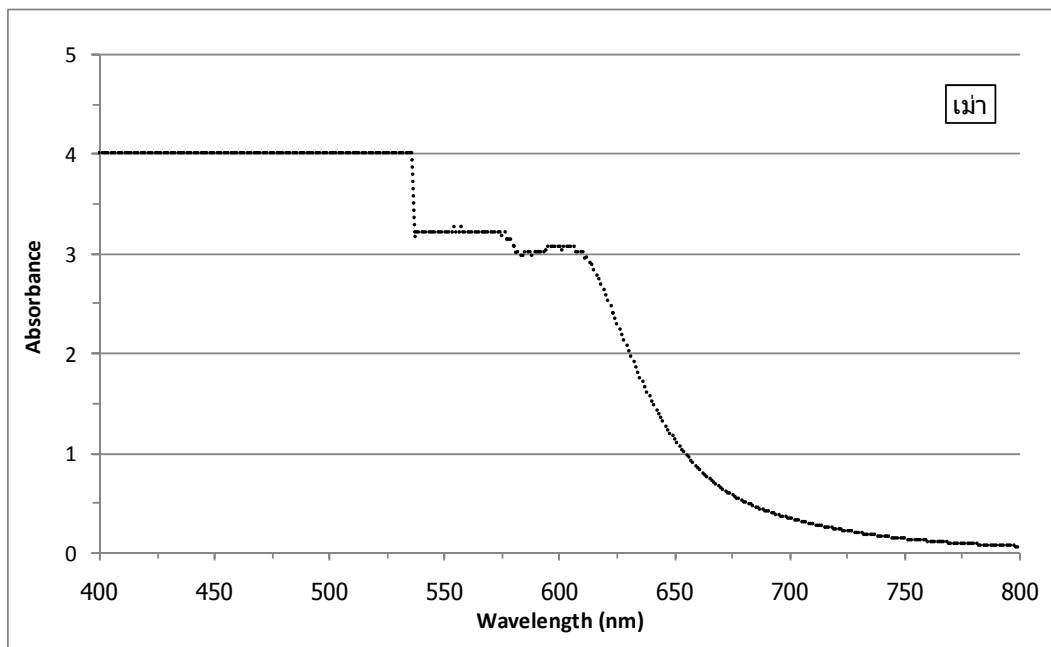
1. สีข้อมสังเคราะห์ (N719)



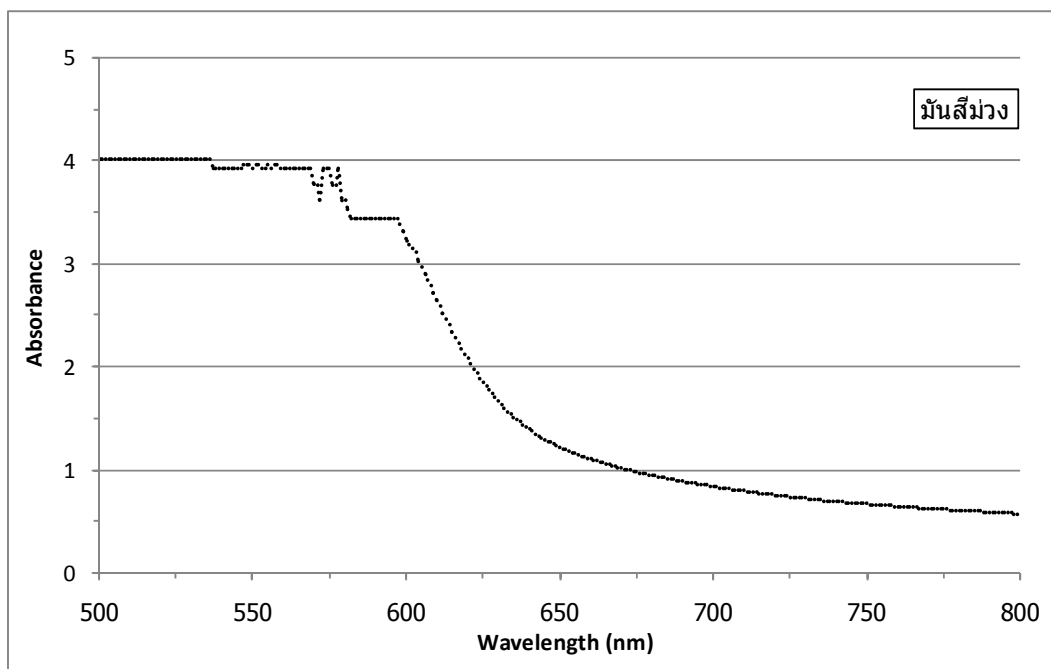
2. ทับทิมดูไบ



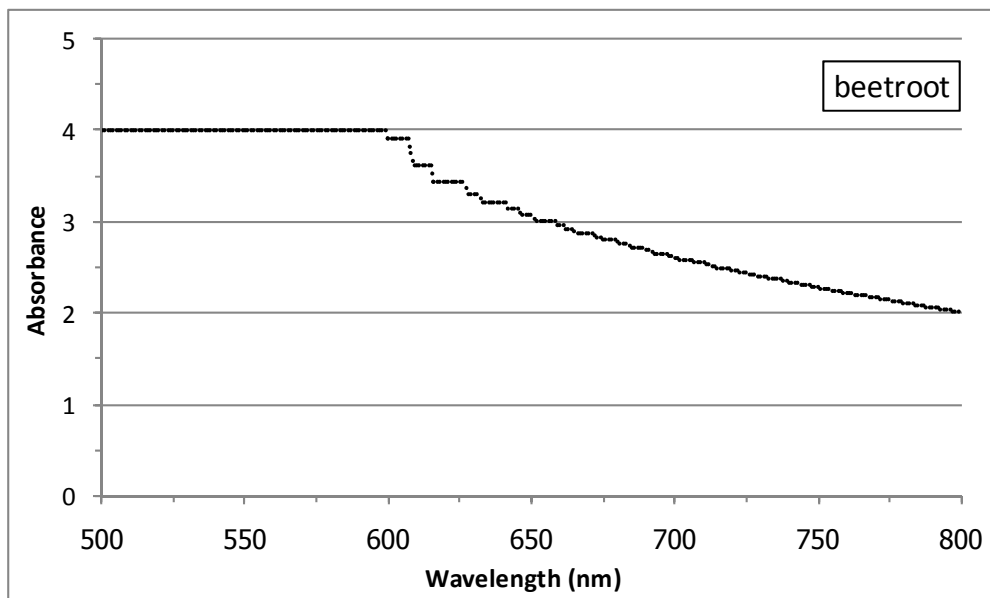
3. เม่า



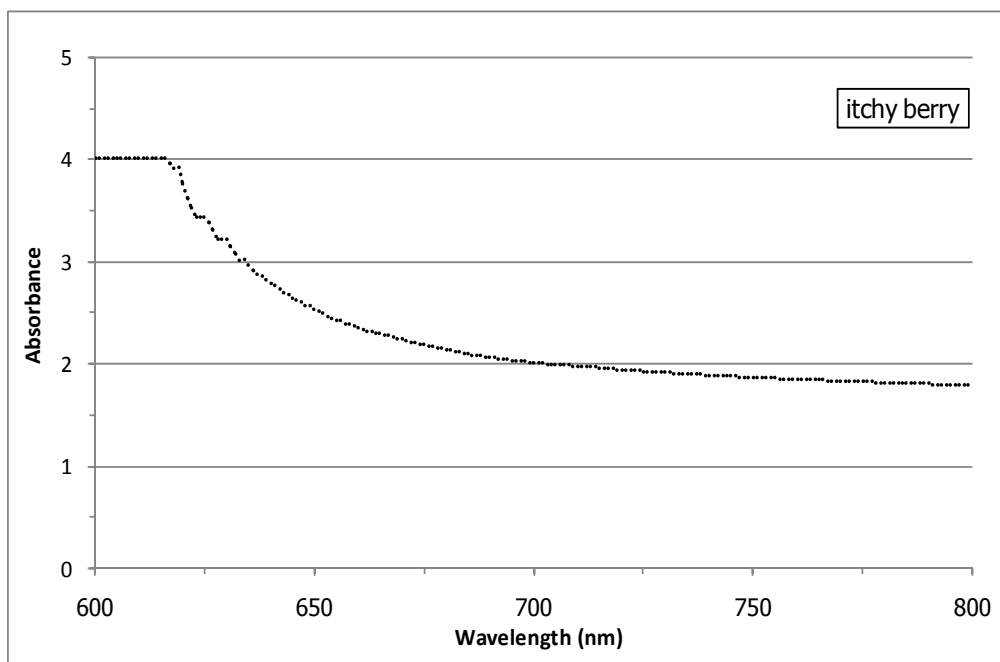
4. มันสีม่วง



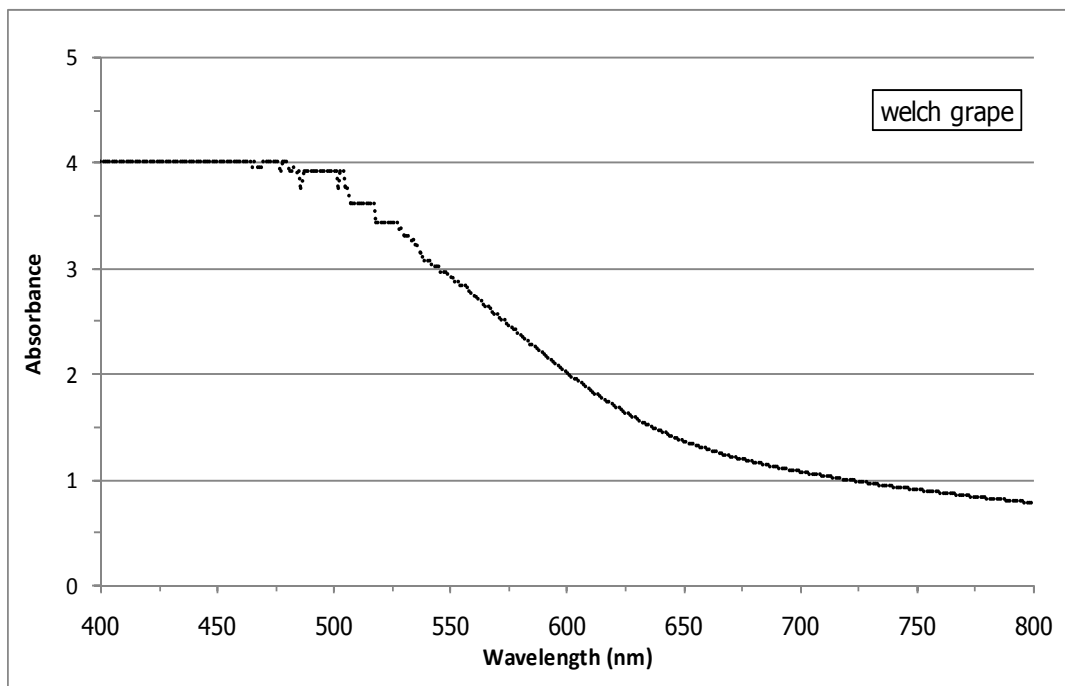
5. บีทรูท



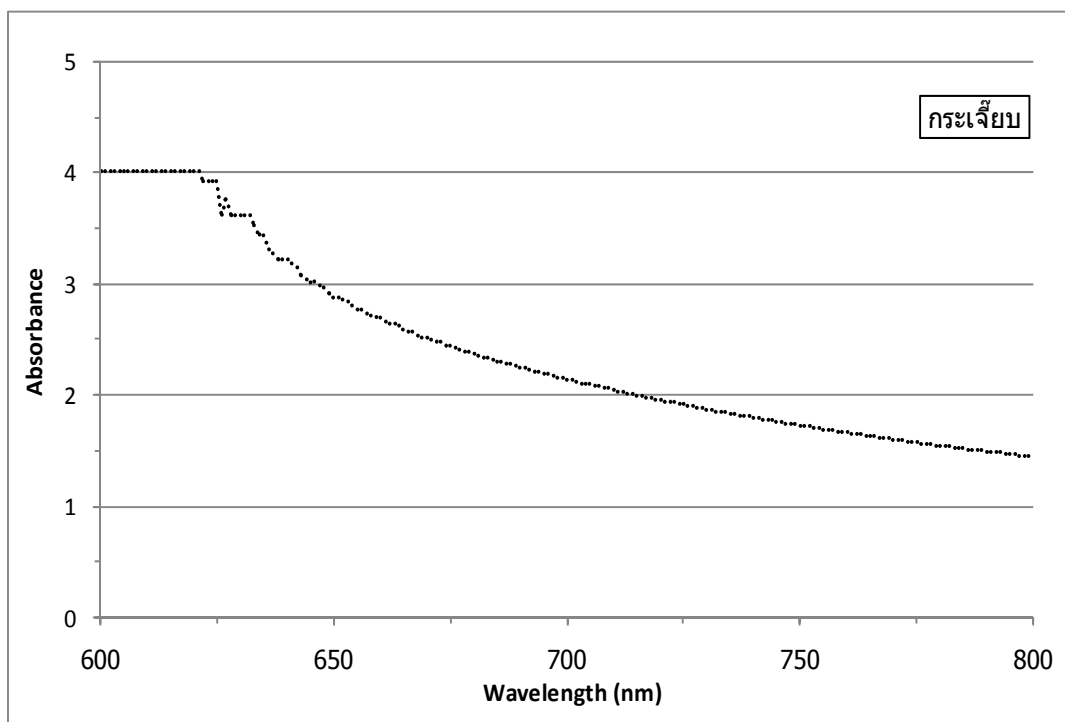
6. Itchy berry



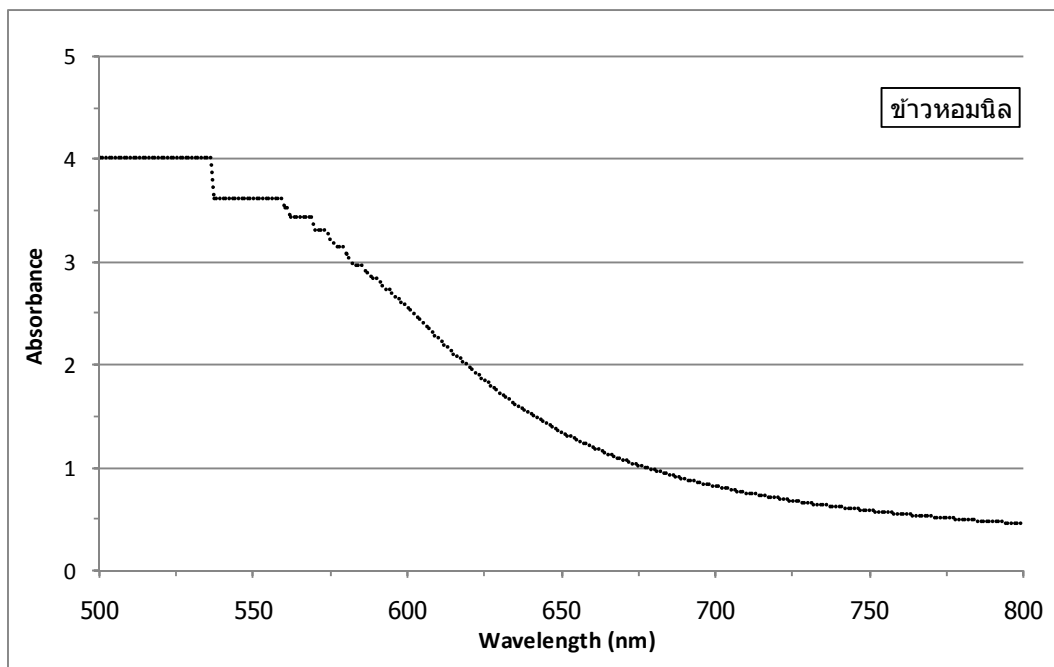
7. น้ำองุ่น



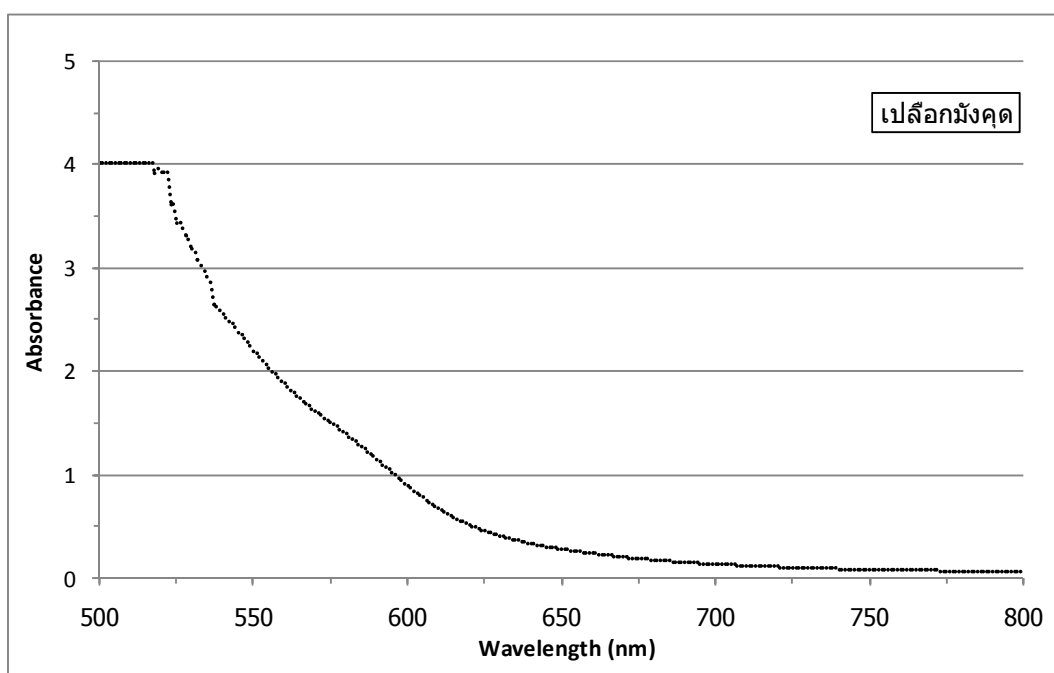
8. กล้วย



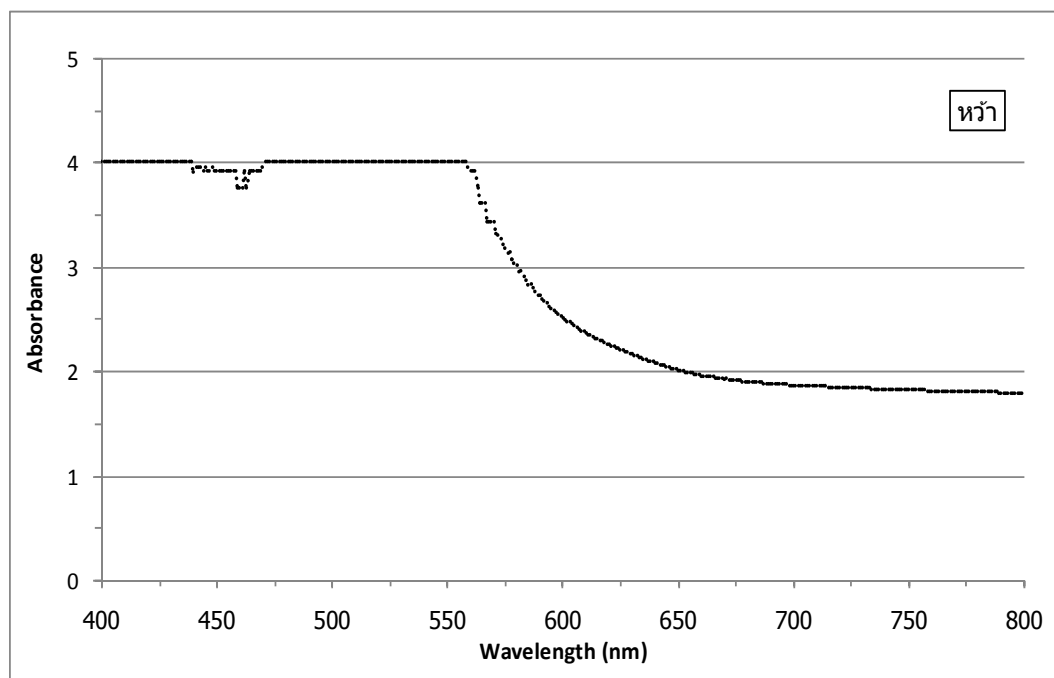
9. ข้าวหอมนิล



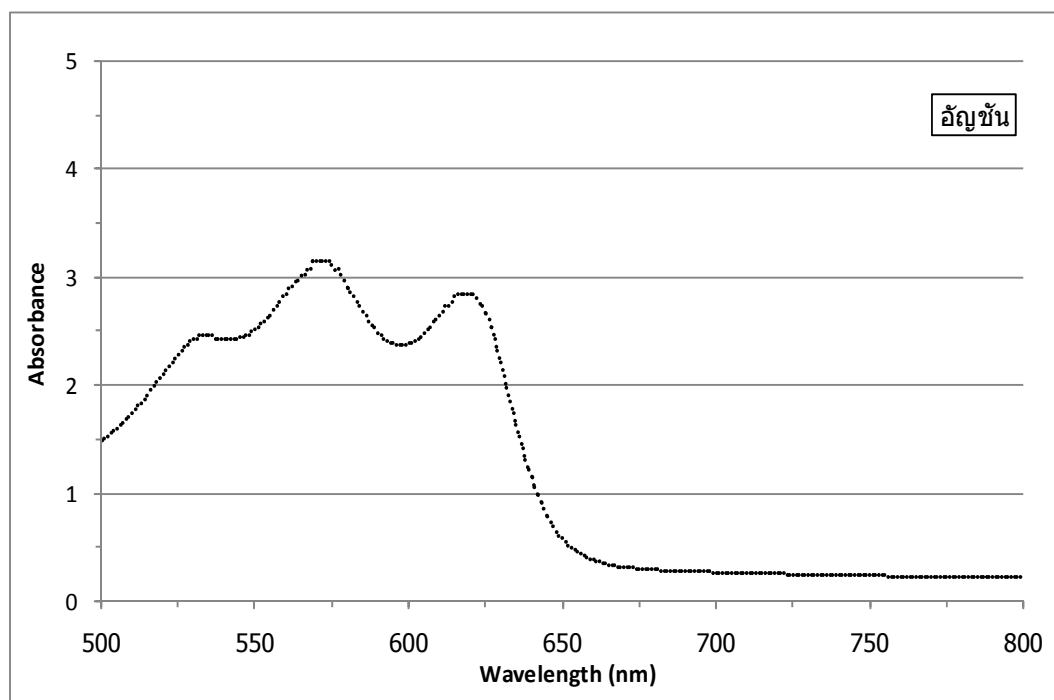
10. เปลือกมังคุด



11. หว่า



12. อัญชัน



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกษมา วัฒนาเนตร เกิดเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ.2530 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล จากนั้นศึกษาต่อในระดับปริญญาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทำโครงการเรื่อง “การควบคุมการผลิตเส้นใยนาโนที่ผสมวิตามินบี 2 ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง” ในปี 2552 และได้ทำการศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2553 และสำเร็จการศึกษาในปี 2555 ในหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง “การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นร่วมกับแผ่นทองคำเปลว”