

ผลของระยะเวลาในการแช่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดจาก
ใบมะละกอ

EFFECT OF IMMERSION TIME TO DSSC EXTRACTED FORM PAPAYA-LEAF



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF IMMERSION TIME TO DSSC EXTRACTED FROM PAPAYA-LEAF



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ ผลของระยะเวลาในการแช่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่
สกัดจากใบมะละกอ


Special Project Title EFFECT OF IMMERSION TIME TO DSSC EXTRACTED FORM
PAPAYA-LEAF

นักศึกษา นาย ณัฐกร มั่นจิตต์
รหัสประจำตัว 55110018
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อติเรก แรงกสิกรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ดร. กรกช	อ่อนละออ	
ดร. อติเรก	แรงกสิกรณ	
ดร. กิตติพงศ์	อำนวยการสวัสดิ์	 กิตติพงศ์ อำนวยการสวัสดิ์

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพจิตร)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่.....17.....เดือน.....พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	ผลของระยะเวลาในการแช่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดจากใบมะละกอ
นักศึกษา	นายณัฐกร มั่นจิตต์
รหัสประจำตัว	55110018
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อดิเรก แรงกสิกรณ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งใช้ขั้วเวิร์คกิงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ PST-18NR โดยวิธีการปาดเคลือบเป็นจำนวน 3 ชั้นก่อนจะใช้ PST-400C เป็นชั้นสุดท้าย แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C ส่วนของขั้วเคาน์เตอร์นั้นจะใช้เป็นท่อนาโนคาร์บอน (CNT) ซึ่งใช้วิธีเดียวกันแล้วนำไปให้ความร้อนที่ 80°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในด้านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นระบบคูรีดอกซ์ของไอโอดีด-ไตรไอโอดีด (I^3/I^{2-}) และ ส่วนสุดท้ายสีย้อมซึ่งเป็นเรื่องที่จะศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยจะให้ความสำคัญกับเวลาในการแช่สีย้อมซึ่งสกัดมาจากใบมะละกอด้วยการต้มกับเอทานอลด้วยอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นนำขั้วเวิร์คกิงมาแช่โดยมีเงื่อนไขเป็นเวลาในการแช่ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 วันตามลำดับ จากนั้นนำไปทดสอบด้วยการดูกลืนแสง และ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งนำไปเทียบกับสีย้อม N719 จากการทดสอบการดูกลืนแสงของสีย้อมจากใบมะละกอ จะมีช่วงการดูดกลืนค่อนข้างกว้างที่ 200-500 นาโนเมตร ส่วนด้านประสิทธิภาพในเงื่อนไขที่ 9 วันนั้นให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงที่สุด 0.167% และสีย้อมจาก N719 ได้ 1.379% พบว่าประสิทธิภาพนั้นต่างจากสีย้อม N719 อยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งคาดว่าเกิดจากความเข้มของสีย้อมซึ่งทราบได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสง แต่จากการสังเกตแนวโน้มของประสิทธิภาพในแต่ละเงื่อนไขนั้น สอดคล้องกับค่า J_{sc} ซึ่งเกิดจากความสามารถการดูดซับสีย้อม ทำให้ทราบว่ายิ่งเวลาในการแช่สีย้อมเพิ่มมากขึ้นการดูดซับสีย้อมยิ่งมากขึ้นตาม

Special Project Title	Effect of immersion time to DSSC extracted from Papaya-leaf.
Student	Mr. Nattakorn Manjit
Student ID	55110018
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2015
Special Project Advisor	Dr. Adirek Rangkasikorn

ABSTRACT

The purpose of this research was to study development of dye-sensitized solar cell. In this research , Using Nano Titanium-Dioxide PST-18NR to prepare the working electrodes for 3 layers. Covered with PST-400C on the final layer and heated at 80°C for 5 hours. Both electrodes were prepared by Doctor-blade technique. The electrolyte of DSSC was redox couple of Iodide/Triiodide (I^-/I_3^-). Finally, This research was focused on the immersion time of dye solution that extracted form the Papaya leaves in the process of boiling with Ethanol at 70°C in 20 hours and cooling it. Afterward, the working electrodes were immersed in the dye solution for 1 2 3 4 5 6 7 8 9 and 10 days. The light absorption 200-500 nm and highest efficiency at condition 9 days (1.379%). The findings indicated that N719 was more efficiency than the Papaya-leaf dye quiet a lot. It was expected the intensity of dye, Which determined by measuring the light absorption. Form the observation, the tendency of each condition corresponded to J_{sc} value which coming form ability to absorb the dye solution. It was found that the more time to immerse up dye color, The more J_{sc} value.

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จไปด้วยดี ด้วยความเอาใจใส่ ความกรุณา คอยแนะนำ และให้คำปรึกษาในทุกๆด้านของงานวิจัย และคอยให้ความช่วยเหลือจาก ดร.อดิเรก แรงกสิกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และนาย ณัฐเกียรติ เกตมะมะ เป็นผู้ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่ให้ความรู้ใน สถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเพื่อน พี่ และน้องที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่ได้ให้การช่วยเหลือ และให้โอกาสที่ได้รับการศึกษาในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และ ยังคอยให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งกำลังใจ จึงขอกราบขอบคุณ ณ ที่นี้

ณัฐกร มั่นจิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและไม่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	8
2.1.2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	8
2.2 แสงแดดหรือแสงอาทิตย์.....	14
2.2.1 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในช่วงต่างๆ.....	16
2.3 สีย้อม.....	17
2.3.1 สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง.....	17
2.3.2 สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน.....	18
2.3.3 สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน.....	20
2.3.3.1 ฟลาโวนอยด์.....	20
2.3.3.2 กลุ่มสารประกอบฟีนอลอื่นๆ.....	22
2.3.4 บีตาเลน.....	23
2.4 ท่อนาโนคาร์บอน.....	24
2.4.1 โครงสร้างท่อนาโนคาร์บอน.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.2 การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน.....	27
2.4.2.1 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง.....	28
2.4.2.1.1 เทคนิคการยิงด้วยอิเล็กตรอน.....	28
2.4.2.1.2 เทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์.....	29
2.4.2.2 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง.....	30
2.4.2.2.1 วิธีดีโพลีชั้นทางเคมี.....	30
2.5 เทคนิคการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการพาดเคลือบ.....	32
2.6 Spectrophotometer.....	33
2.7 ทบทวนวรรณกรรม.....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	41
3.1 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	42
3.1.1 การเตรียมกระจกนำไฟฟ้า.....	42
3.1.2 การเตรียมขั้วแคโทดอิเล็กโทรด.....	42
3.1.3 การเตรียมขั้วแอโนดอิเล็กโทรด.....	42
3.1.4 การเตรียมสีย้อม.....	44
3.1.5 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	44
3.1.6 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	44
3.2 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	45
3.3 การวัดค่าดูดกลืนแสงของสีย้อม.....	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	47
4.1 การดูดกลืนแสงของสีย้อม.....	47
4.2 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	55
5.1 ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่า Solar light reference cells.....	45
4.1 แสดงตำแหน่งพีคของสีย้อมจากใบมะละกอ.....	48
4.2 แสดงตำแหน่งพีคของสีย้อม N719.....	48
4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพแต่ละเวลาการแช่.....	51
4.4 แสดงค่าประสิทธิภาพของสีย้อม N719 เทียบกับสีย้อมจากใบมะละกอ.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	7
2.2 โครงสร้างของ TiO_2	9
2.3 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำ TiO_2 เมื่อถูกกระตุ้น.....	10
2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	13
2.5 แสดงช่วงแสงในย่านคลื่นต่างๆ.....	14
2.6 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในความยาวคลื่นต่างๆ.....	15
2.7 โครงสร้างพื้นฐานของเม็ดสีที่มีลักษณะเป็นวงพอร์ไพเริน.....	17
2.8 แสดงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์.....	18
2.9 ตัวอย่างโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ.....	19
2.10 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์.....	20
2.11 โครงสร้างของฟลาโวลีอิมแคทไอออน.....	21
2.12 โครงสร้างโมเลกุลของควิโนโนนบางชนิด.....	22
2.13 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจีเฟอร์ริน.....	23
2.14 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของบีตาเลน; (ก) บีตาเลน (ข) กรดบีตาเลน.....	23
2.15 แสดงโครงสร้างของเพชร แกรไฟต์ และฟูลเลอร์รีน.....	25
2.16 แสดงโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว.....	26
2.17 แสดงโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน.....	27
2.18 ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น.....	27
2.19 แสดงอุปกรณ์การยิงด้วยอิเล็กตรอน.....	29
2.20 แสดงท่อนาโนคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยการยิง.....	29
2.21 เทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์.....	30
2.22 อุปกรณ์ในการสังเคราะห์ท่อคาบอนนาโนด้วยวิธีดีโพสิชันทางเคมี.....	31
2.23 วิธีการปาดเคลือบแบบไม้มัดเคลื่อนที่และยึดติดอยู่กับที่.....	32
2.24 ตัวอย่างการดูดกลืนแสง.....	34
2.25 Single-Beam Spectroscopy.....	35
2.26 Double-Beam Spectroscopy.....	36
2.27 แสดงการดูดกลืนแสงเมื่อเปรียบเทียบกับ N719.....	37
2.28 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน และ เอทานอล.....	37

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.29 การดูตกสีแสงของบลูเบอร์รี่.....	38
2.30 แสดงกระแส-ความต่างศักย์ที่ pH ต่างกัน.....	38
2.31 แสดงค่าการดูตกสีแสงของสีย้อมในรูปแบบต่างๆของมะเขือเทศ.....	39
2.32 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีการใส่ท่อนาโนคาร์บอนลงใน ชั้นแคโทดอีเล็กโทรดและสารละลายอีเล็กโทรไลต์.....	40
2.33 (a) กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า (b) กราฟค่าประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวอย่าง.....	40
3.1 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย.....	41
3.2 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชั้นฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์.....	43
3.3 อุปกรณ์ในการใช้วัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	45
3.4 อุปกรณ์ในการใช้วัดการดูตกสีแสง.....	46
4.1 แสดงข้อวั้รคั้งหลังจากผ่านการแช่สีย้อม.....	47
4.2 กราฟแสดงการดูตกสีแสงของสีย้อมจากใบมะละกอและ N719.....	48
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่และแรงดันไฟฟ้าของ แสงอาทิตย์ ในเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน.....	50
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลาในการแช่สีย้อม.....	51
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรกับเวลาในการแช่สีย้อม.....	52
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่กับเวลาในการแช่สีย้อม.....	53
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่และแรงดันไฟฟ้าของสีย้อม N719 และ เงื่อนไขในการแช่ 9 วัน.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในโลกยุคปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้นทุกวัน จนเทคโนโลยีแทบจะเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ขาดไม่ได้ในสมัยนี้ ตัวอย่าง การใช้โทรศัพท์มือถือถือในโลกสมัยนี้ มนุษย์ทุกคนบนโลกนี้มีการติดต่อ สื่อสารกันตลอดเวลา โทรศัพท์กลายเป็นมากกว่าการนำไว้ใช้แค่โทรหรือคุยกัน มีการติดต่อกันในหลายๆทาง หรือที่เรียกกันว่า ระบบอินเทอร์เน็ต เป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ ดังนั้น การที่จะมีการใช้เทคโนโลยีได้นั้น ก็ต้องมีปัจจัยพื้นฐานสำคัญ คือ พลังงาน เป็นส่วนประกอบในการตั้งต้นของทุกสิ่ง เมื่อยังมีการพัฒนามากยิ่งขึ้นๆไป การใช้พลังงานยิ่งมากขึ้นทุกที พลังงานส่วนใหญ่ผลิตจากการใช้น้ำมัน แต่ก็ยังคงมีข้อเสียและผลที่ตามมา น้ำมันเป็นสิ่งที่ใช้แล้วหมดไป ยิงนานเข้าไปทุกทีน้ำมันก็ยิ่งลดลงเหลือน้อย แต่ประชาชนนั้นมิได้เพิ่มขึ้น เทคโนโลยีก็พัฒนาสูงขึ้นไปในทุกๆวัน ในการสร้างพลังงาน ก็ยังมีส่วนอื่นที่เป็นผลมาด้วย อย่างเช่น การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เป็นผลเสียกระทบต่อระบบนิเวศของโลก ปัญหาสำคัญของโลกในยุคปัจจุบันที่ทุกคนรู้จักดี ปัญหาของสภาวะโลกร้อน เป็นปัญหาระดับโลกที่ทุกคนต่างสนใจ จึงเริ่มมีการหาพลังงานทดแทน ที่มีความสะอาด และยังเป็นพลังงานที่ไม่หมดไป อย่างเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น เชื้อเพลิงชีวภาพ และ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น จะสังเกตเห็นว่า แสงอาทิตย์จะเป็นสิ่งที่เราพบได้ในทุกๆวัน และ ไม่มีวันหมดไป การค้นคว้านำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้จึงเป็นที่นิยมอย่างสูงในยุคปัจจุบัน ใน 1 ชั่วโมงโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์เฉลี่ย 174×10^5 วัตต์ เป็นพลังงานที่ทั้งโลกจะใช้ได้ในเวลาทั้งปี [1] ผู้ที่คิดค้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้เป็นคนแรกเป็นนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีในปี ค.ศ. 1839 โดยอเล็กซานเดร เอ็ดมันด์ เบคเคอเรล (Alexandre-Edmon Becquerel) ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นบิดาของเซลล์รับแสงอาทิตย์ [2] ในปี ค.ศ. 1883 นักประดิษฐ์ชาวอเมริกันชื่อ ชาร์ล ฟริตส์ (Charles Fritts) ได้นำแนวคิดนี้มาปรับใช้จนได้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์อันแรกของโลก โดยการใช้สารกึ่งตัวนำที่ชื่อ เซเรเนียมเคลือบลงบนแผ่นทองคำ แต่ประสิทธิภาพที่ได้เพียงแค่ 1% การพัฒนาก็คงยังมีต่อมาเรื่อยๆ เพราะการทำเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมียุคที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้รับ จึงมีการนำวัสดุอินทรีย์มาใช้ทำซึ่งผลิตได้ง่าย และราคาถูกกว่า เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitized solar cell ; DSSC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน DSSC ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ 1. ขั้วไฟฟ้าใน DSSC มี 2 ขั้ว ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด ขั้วไฟฟ้าแอโนดเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง เป็นส่วนประกอบไว้ให้แสงผ่านและทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนออกนอกเซลล์ ซึ่งนิยมใช้ Fluorine doped tin oxide (FTO) ที่เคลือบอยู่บนกระจกเป็นขั้วไฟฟ้านี้ ส่วนขั้วไฟฟ้าแคโทดหรือเรียกว่า ขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนกลับคืนเข้ามายังเซลล์ ซึ่งนิยมใช้โลหะทองคำขาว (Platinum) หรือแกรไฟต์ที่เคลือบอยู่บนกระจกเป็นขั้วไฟฟ้านี้

2. อนุภาคโลหะออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นชั้นให้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงยึดเกาะ รวมทั้งรับอิเล็กตรอนจากสีย้อมและส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนด จึงควรเป็นอนุภาคที่มีพื้นที่ผิวมากและนำอิเล็กตรอนได้ดี นิยมใช้อนุภาคของโลหะออกไซด์ที่มีแถบพลังงานกว้าง (มากกว่า 3 eV) เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และทินออกไซด์ (SnO_2) เป็นต้น ในส่วนประกอบนี้

3. สีย้อมไวแสง เป็นส่วนประกอบที่เป็นที่มาของชื่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ โดยยึดเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้น แล้วส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังอนุภาคโลหะออกไซด์ สีย้อมไวแสงนี้ควรมีคุณสมบัติดูดกลืนแสงได้มากในหลายช่วงความยาวคลื่น มีความเสถียร และยึดเกาะบนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ได้ดี

4. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นชั้นส่งผ่านประจุที่มักอยู่ในรูปของเหลว ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดเพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้กับโมเลกุลสีย้อมไวแสงโดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox)

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อผ่านไปในช่วงเวลา โดยการใช้สีย้อมที่สกัดมาจากใบมะละกอ นำมาเทียบกับสีย้อม N719 ซึ่งมีราคาที่สูงและเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งประสิทธิภาพจะมีการลดลง โดยในขั้วเคาน์เตอร์จะใช้ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube ; CNT) แทนทองคำขาว (Platinum) ซึ่งมีราคาที่ถูกกว่า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยการสกัด สีย้อมจากใบมะละกอ

1.2.2 ลดต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการนำท่อคาร์บอนนาโนมาใช้ในขั้วแคโทด

1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบจากเวลาในการแช่สีย้อม

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิธีการสกัดสีย้อมจากใบมะละกอเพื่อนำมาชุบ DSSC

1.3.3 ทดลองแช่ขั้วเวิร์คกิงกับสีย้อมด้วยเวลาที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาหาผลที่เกิดขึ้น

1.3.4 ศึกษาการเตรียมชั้นฟิล์มจากท่อนาโนคาร์บอนเพื่อนำมาใช้ในขั้วแคโทด

1.3.5 นำเวลาในการแช่ที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับ สีย้อม N719

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในส่วนของสีย้อมมีผลต่อการดูดกลืนย่านความเข้มข้นของแสง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุด ในส่วนของใบมะละกอที่นำมาสกัดนั้นจะได้สีเขียว เนื่องจากเป็นการนำสีของคลอโรฟิลล์ มาใช้เพื่อเป็นสีย้อม ดังนั้นการดูดกลืนแสงจะเกิดในช่วง 380-420 นาโนเมตร เป็นการดูดกลืนแสงสีม่วง ส่วนในด้านของการนำสีย้อมมาปรับเปลี่ยนเวลาแช่ ประสิทธิภาพจะมีเพียงตำแหน่งที่มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากไทเทเนียมซึ่งนำมาทำขั้วเวิร์คกิง อาจเกิดการโดนทำลายเมื่อใช้เวลานานเกินไป หรือ เกิดการเสื่อมสภาพของไทเทเนียม

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาเวลาในการแช่ขั้วเวิร์คกิงกับสีย้อม เพื่อหาเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สีย้อม ที่มีผลต่อประสิทธิภาพที่มากที่สุด

1.5.2 ศึกษาเทคนิคการปลูกฟิล์มด้วยท่อนาโนคาร์บอนในเทคนิคการปาดเคลือบใช้ในการเป็นขั้วแคโทด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.5.3 เปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากสีย้อมใบมะละกอกับสีย้อม N719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ เซลล์สุริยะ (Solar cell) และ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก [3] นั่นก็คือ คุณสมบัติของสารจะเปลี่ยนไปเมื่อมีแสงตกกระทบโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และเมื่อต่อโหลดให้ จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านโหลดนั้นได้

ปรากฏการณ์ของโฟโตโวลตาอิกถูกแสดงให้เห็นถึงการทดลองเป็นครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ A.E. Becquerel ในปี 1839 ตอนอายุ 19 เขาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของพ่อของเขา เขาได้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์เป็นครั้งแรกของโลก ต่อมา Willoughby Smith ได้ อธิบาย "ผลของแสงบนซิลิเนียมระหว่างเดินทางของกระแสไฟฟ้า" เป็นครั้งแรกในบทความชิ้นหนึ่งที่ได้รับการตีพิมพ์ในฉบับ 20 กุมภาพันธ์ 1873 Nature อย่างไรก็ตามมันไม่มีอะไรเกิดขึ้นจนกระทั่งปี 1883 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำด้วย Solid state ได้ถูกสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Charles Fritts ผู้เคลือบสารกึ่งตัวนำซิลิเนียมด้วยชั้นที่บางมากๆของทองเพื่อทำให้เป็นทางเชื่อม (Junction) อุปกรณ์นี้มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น ในปี 1888 นักฟิสิกส์ชาวรัสเซียชื่อ Aleksandr Stoletov สร้างเซลล์แรกที่อยู่บนพื้นฐานของปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกด้านนอกที่ถูกค้นพบโดย Heinrich Hertz ก่อนหน้านั้นในปี 1887 [4]

Albert Einstein ได้อธิบายกลไกพื้นฐานของตัวกระตุ้นผู้ขนส่งที่ส่งเสริมด้วยแสง หรือผลของโฟโตโวลตาอิก ในปี 1905 ที่ทำให้เขาได้รับรางวัลโนเบลในสาขาฟิสิกส์ในปี 1921 [5] ต่อมา Russell Ohl จดสิทธิบัตรเซลล์แสงอาทิตย์ทำด้วยสารกึ่งตัวนำทางเชื่อมในปี 1946 [6] ซึ่งถูกค้นพบในขณะที่เขากำลังทำงานในหลายชุดของความก้าวหน้าที่จะนำไปสู่ทรานซิสเตอร์

เซลล์แสงอาทิตย์ในทางปฏิบัติตัวแรกได้รับการพัฒนาในปี 1954 ที่ Bell Laboratories [7] โดย Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller และ Gerald Pearson พวกเขาใช้ซิลิคอนจุดเชื่อม p-n แบบกระจัดกระจาย ที่ทำประสิทธิภาพได้ถึงร้อยละ 6 เมื่อเทียบกับเซลล์ซิลิเนียมที่พบว่ามีมากที่จะไปถึงร้อยละ 0.5 [8] นาย Les Hoffman ซึ่งเป็นซีอีโอ ของบริษัท ฮอฟแมน อิเล็กทรอนิกส์ได้ให้แผนกเคมีคอนดักเตอร์ของเขาบุกเบิกการผลิตและการผลิตแบบจำนวนมากของเซลล์แสงอาทิตย์ จาก

1954 ถึง 1960 ฮอฟแมนได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากร้อยละ 2 ให้เป็นร้อยละ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ไม่ควรตีพิมพ์ซ้ำ อีกรหัสห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14 ในตอนแรกเซลล์พวกนั้นถูกพัฒนา สำหรับของเล่นและการใช้งานเล็กๆน้อยๆอื่นๆ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีต้นทุนที่สูงมาก ในแง่การเปรียบเทียบ เซลล์ที่ผลิต 1 วัตต์ของพลังงานไฟฟ้า ด้วยแสงแดดที่สดใสเสียค่าใช้จ่าย ประมาณ 250 เหรียญสหรัฐ เปรียบเทียบกับ 2 ถึง 3 เหรียญสหรัฐ ต่อวัตต์ไฟฟ้าจากโรงงานถ่านหิน

อาจจะเป็นเพราะความสำเร็จที่ทำโดยฮอฟแมนอิเล็กทรอนิกส์ เซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำออกจากความสับสนโดยข้อเสนอแนะให้นำพวกมันไปใช้กับดาวเทียม Vanguard I ที่เปิดตัวใน ปี 1958 ในแผนเดิม ดาวเทียมจะได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่เท่านั้น และเป็นไปตามแผนในช่วงเวลาสั้นๆก่อนที่แผนนี้จะถูกพับลงไป โดยการเพิ่มเซลล์ที่ด้านนอกของตัวยาน เวลาสำหรับภารกิจอาจจะถูกขยายออกไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญกับตัวยานอวกาศหรือระบบพลังงานของมัน ในปี 1959 ประเทศสหรัฐอเมริกาส่งยาน Explorer 6 มันใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่คล้ายกับปีก ซึ่งกลายเป็นคุณสมบัติทั่วไปในดาวเทียมในอนาคต อาร์เรย์เหล่านี้ประกอบด้วย 9600 ชุดของเซลล์แสงอาทิตย์ของฮอฟแมน มีความสงสัยในทางลบบางอย่างในตอนแรก แต่ในทางปฏิบัติ เซลล์พิสูจน์แล้วว่าประสบความสำเร็จอย่างมาก และเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบ อย่างรวดเร็วในดาวเทียมใหม่ๆ ที่โดดเด่นก็คือที่เทลสตาร์ของเบลล์

การปรับปรุงเป็นไปอย่างเชื่องช้าในอีกสองทศวรรษต่อมา และการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นการใช้ในการใช้งานอวกาศเท่านั้น ในที่ซึ่งอัตราส่วนระหว่างพลังงานกับน้ำหนักของเซลล์เหล่านี้จะสูงกว่าเทคโนโลยีที่แข่งขันกันอยู่ใดๆ อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จนี้ยังเป็นเหตุผลสำหรับความคับหน้าทีซ้ำอีกด้วยเนื่องจากผู้ใช้ในอวกาศก็เต็มใจที่จะจ่ายเท่าไรก็ได้สำหรับเซลล์ที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ไม่มีเหตุผลที่จะลงทุนในการแก้ปัญหาให้ต้นทุนต่ำลงถ้าจะเป็นการลดประสิทธิภาพ แทนที่จะทำอย่างนั้นราคาของเซลล์จะถูกกำหนดอย่างมากโดยอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากพวกเขาย้ายไปทำวงจรรวมในปี 1960 ได้นำไปสู่ความพร้อมของผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ในราคาที่ต่ำกว่า ในขณะที่ราคาของวงจรรวมลดลง ราคาของเซลล์ที่เกิดขึ้นก็ลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลกระทบเหล่านี้ถูกจำกัดลงและในปี 1971 ต้นทุนของเซลล์ประมาณว่าได้ลดลงเหลือ 100 เหรียญสหรัฐต่อวัตต์ [9]

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา การปรับปรุงเพิ่มเติมได้ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงต่ำกว่า 1 เหรียญสหรัฐต่อวัตต์ และมีราคาขายส่งอยู่ที่ต่ำกว่า 2 เหรียญสหรัฐ ค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำ "สมดุลงระบบ" ตอนนี้สูงกว่าค่าแผงเซลล์เสียอีก ในปี 2010 อาร์เรย์เชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่สามารถถูกสร้างได้ต่ำกว่า 3.40 เหรียญสหรัฐต่อวัตต์หลังการทำ Commissioning ระบบอย่างเต็มที่

ขณะที่อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำถูกเคลื่อนไปสู่เซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม อุปกรณ์เก่าจึงถูกขายออกไปในราคาที่ถูกลงมาก ๆ เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นในขณะที่อุปกรณ์เก่าที่ยังมีอยู่ในตลาดกลายเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเกินเช่นแผงเดิมของ ARCO Solar ที่ใช้เซลล์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ถึง 4 นิ้ว (50 ถึง 100 มิลลิเมตร) แผงในปี 1990 และ ต้น 2000 โดยทั่วไปใช้เวเฟอร์ขนาด 5 นิ้ว (125 มิลลิเมตร) และ ตั้งแต่ ปี 2008 เกือบทุกแผงใหม่ใช้เซลล์ขนาด 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) การเข้าตลาดอย่างแพร่หลายของโทรทัศน์จอแบนในปลายปี 1990 และ ต้นยุค 2000 นำไปสู่การมีจำหน่ายอย่างกว้างขวางของแก้วคุณภาพสูงแผ่นใหญ่ที่ใช้บนด้านหน้าของแผงเซลล์

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 เซลล์แบบโพลีซิลิคอนได้รับความนิยมมากขึ้น เซลล์เหล่านี้ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าโมโนซิลิคอน (Monosilicon) ที่เป็นเพื่อนของมัน แต่พวกมันจะถูกสร้างในถังขนาดใหญ่ที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยช่วงกลางยุคศตวรรษ 21 โพลีซิลิคอนเป็นที่โดดเด่นในตลาดแผงต้นทุนต่ำ แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้ ความหลากหลายของปัจจัยได้ผลักดันให้โมโนซิลิคอนที่มีประสิทธิภาพสูงได้กลับเข้ามาใช้งานอย่างแพร่หลาย

หลายผู้ผลิตของเซลล์แบบเวเฟอร์ได้ตอบสนองกับราคาซิลิคอนสูง ด้วยการลดอย่างรวดเร็วในการบริโภคซิลิคอน ในปี 2008 ตามที่ Jef Poortmans ผู้อำนวยการฝ่าย อินทรีย์และพลังงานแสงอาทิตย์ของ IMEC เซลล์ปัจจุบันจะใช้ระหว่าง 8 – 9 กรัม ของซิลิคอนในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อวัตต์ ด้วยเวเฟอร์ที่มีความหนาในราว 0.2 มิลลิเมตร

2.1.1 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตหรือสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมานั้น จะต้องมีค่าหรือตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อจะได้นำไปคำนวณหรือเปรียบเทียบผลที่ได้ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมานั้น สิ่งที่เราต้องการคือการทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำ คุ่มค่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาที่สุด การตรวจสอบจึงทำได้โดยการนำไปวัดกระแส หรือ ความต่างศักย์ที่ออกมาคำนวณกลายเป็นประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์นั้น มีองค์ประกอบที่ส่งผลมากมาย ทั้งแสงไฟที่ใช้ หรือ แม้กระทั่งอุณหภูมิควรรู้ใช้ที่ 25 องศาเซลเซียส หรือ เรียกว่าอุณหภูมิห้อง และ ความคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้ได้มากที่สุดที่เป็นไปได้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ก่อนข้างมีความไหวต่อปัจจัยต่างๆเราจึงควรรู่มให้ได้มากที่สุด จึงมีการกำหนดปัจจัยซึ่งเป็นมาตรฐานขึ้นมา

การปล่อยกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับความเข้มของแสง โดยเมื่อความเข้มแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงเลย แต่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแทน ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าความเข้มแสงมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์คือ ความเข้มแสงที่วัดได้บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลก ในสภาพอากาศปราศจากเมฆ และมีสภาพอากาศปลอดโปร่ง ที่ระดับในทะเล ที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นผิวโลก ทำให้ความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งกำหนดว่าที่ค่ามวลอากาศ AM 1.5 โดยเป็นค่ามาตรฐานความเข้มของแสง

โดยถ้าขึ้นกับอุณหภูมิ กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และ ในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 2.5 (ร้อยละ 0.5×5 องศาเซลเซียส) นั่น คือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21 \text{ V} \times$ ร้อยละ 2.5) เหลือเพียง 20.475 V ($21 \text{ V} - 0.525 \text{ V}$) ทำให้บอกได้ว่าเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะให้พลังงานของไฟฟ้ามีค่าลดลงแล้วค่ากระแสไฟฟ้าก็จะลดลงตามอีกด้วย [10]

สูตรคำนวณประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

โดย P_{max} เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

V_{oc} เป็นความต่างศักย์วงจรเปิด

I_{sc} เป็นกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร

FF เป็นค่าความต้านทานการรั่วไหลของกระแสที่รอยต่อ

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}}$$

โดย η เป็นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

V_{oc} เป็นความต่างศักย์วงจรเปิด

I_{sc} เป็นกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

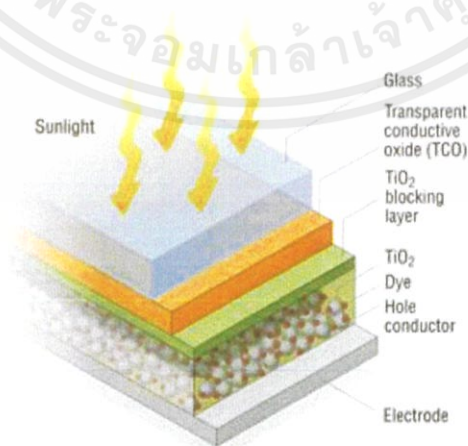
FF เป็นค่าความต้านทานการรั่วไหลของกระแสที่รอยต่อ

P_{in} เป็นผลรวมของกำลังแสงที่แผ่รังสีกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ในปัจจุบันมีการศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างแพร่หลาย ในรูปแบบส่วนใหญ่ที่เราได้พบเห็นนั้นจะผลิตมาจากซิลิคอนซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงอยู่มาก ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 120 วัตต์ จะนำไปใช้กับหลอดไฟฟ้ามี่ขนาด 10 วัตต์ 2 หลอด และ ที่วี่ขนาด 14 นิ้ว 1 เครื่อง ในระยะเวลาไม่เกิน 4-5 ชั่วโมง แต่ค่าใช้จ่ายขั้นต่ำในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นอยู่ที่ 25,000 บาท ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ต้นทุนต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับนั้นไม่คุ้มค่างัน เพราะตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทำมาจากซิลิคอนบริสุทธิ์ ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมซิลิคอนให้มีความบริสุทธิ์ และอยู่ในรูปที่พร้อมจะนำไปใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยังมีราคาแพงพร้อมทั้งเกิดการแตกหักได้ง่ายในกระบวนการสุดท้าย [11] ดังนั้นในปี 1991 คณะนักวิจัยนำโดย ไมเคิล เกรสเซล และ ไบรอัน โอเรแกน (Michael Grätzel and Brian O'Regon) เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะใช้แทนเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนได้ เนื่องจากการผลิตทำได้ง่าย ใช้วัสดุราคาไม่แพง และมีต้นทุนที่ต่ำ จึงมีประโยชน์ในการใช้ในรูปแบบเชิงพาณิชย์

2.1.2.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ดังภาพที่ 2.1 ได้แก่ กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Fluorine doped Tin Oxide glass substrate ; FTO) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือ ขั้วเวิร์กคิงอิเล็กโทรด (working electrode) ทำหน้าที่ให้สีย้อมยัดเกาะ และเป็นขั้วลบ สีย้อมไวแสง (Dye-sensitized) ทำหน้าที่กำเนิดอิเล็กตรอน สารละลายรีดอกซ์อิเล็กโทรไลต์ (I^-/I_3^- redox electrolyte) ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมและรับอิเล็กตรอนจากแคโทดอิเล็กโทรด และ ชั้นฟิล์มทองคำขาว (Platinum) หรือ แคโทดอิเล็กโทรด(counter electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ ขั้วบวกเป็นต้น

กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Fluorine doped Tin Oxide glass substrate) เป็นกระจกที่ถูกเคลือบด้วย Fluorine doped Tin Oxide เป็นกระจกที่ค่อนข้างมีการใช้งานได้ในหลากหลายวิธี และนำไปใช้ได้หลากหลายอุปกรณ์ เช่น ออปโตอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการตรวจจับและควบคุมแสง หน้าจอสัมผัสที่ใช้ในมือถือสมัยใหม่ นำไปปลูกฟิล์มบางเพื่อใช้กับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ กระจกประหยัดพลังงาน และ อื่น ๆ กระจก FTO นั้นยังมีคุณสมบัติที่มีความทนทานต่อการขีดข่วน ทนอุณหภูมิได้สูง หรือ แม้แต่ทนการเกิดปฏิกิริยาเคมี และยังมีราคาที่ถูกกว่า กระจก Indium Tin Oxide(ITO)

ชั้นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ ชั้นอนุภาคของโลหะออกไซด์ชั้นอนุภาคของโลหะออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal-Oxide Semiconductor) ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง(Wide Band-Gap) ซึ่งสารกึ่งตัวนำที่นำมาศึกษากันอย่างแพร่หลาย คือ TiO_2 , ZnO และ Nb_2O_5 ทำหน้าที่รับและส่งผ่านอิเล็กตรอน และเป็นพื้นผิวสำหรับการยัดเกาะ ของโมเลกุลสีย้อมไวแสง ต้องมีแถบช่องว่างพลังงานกว้าง (มากกว่า 3 eV) มีพื้นที่ผิวมาก เหตุผลที่นิยมใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าแอโนด คือโครงสร้างวัสดุนาโนที่เตรียมจากอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-20 นาโนเมตร ความหนาประมาณ 5-20 ไมครอน และมวลของไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าประมาณ 1-4 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีโครงสร้าง แบบอนาเทส ซึ่งจะให้พื้นที่ผิวมากกว่าโครงสร้าง แบบรูไทล์

ไทเทเนี่ยมที่พบตามธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างผลึก 4 ชนิดหลักคือ อนาเทส (Anatase) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) บรูคไคท์ (Brookite) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) รูไทล์ (Rutile) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนอล (Tetragonal) ไทเทเนี่ยม (TiO₂ (B)) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบโมนอคลินิก (Monoclinic) โครงสร้างผลึกอนาเทส รูไทล์ และ บรูคไคท์ สามารถแสดงได้ในภาพของ TiO₂ ที่เป็นปริมาตรคู่ฐานสี่เหลี่ยมหรือออกตะฮีดรอล (Octahedral) โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากการบิดตัวของแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกันและจากรูปแบบการเรียงตัวของออกตะฮีดรอล โดยโครงสร้างผลึกอนาเทส เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนยอดของแต่ละออกตะฮีดรอล ในขณะที่โครงสร้างผลึกรูไทล์ เกิดมาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอล และโครงสร้างผลึกบรูคไคท์เกิด มาจากการเรียงตัวต่อกันโดยใช้ทั้งส่วนยอดและส่วนขอบของแต่ละออกตะฮีดรอลดังภาพที่ 2.2

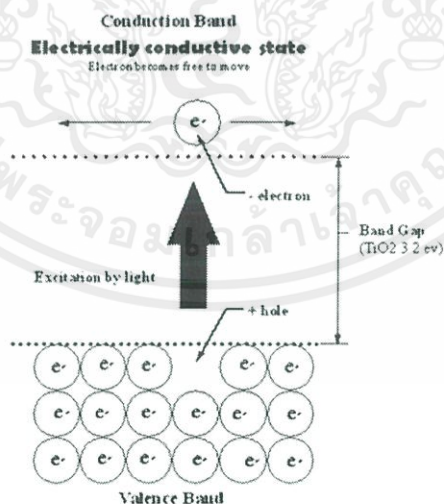


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของ TiO_2

ถึงแม้ว่าโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมมีอยู่หลายชนิด แต่อนาเทสและรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึก ที่พบเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติแล้วโครงสร้างผลึกอนาเทสสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นโครงสร้างผลึก รูไทล์ได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส นับจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยน โครงสร้างผลึกจากอนาเทสเป็นรูไทล์เป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมเป็นตัวแปร ที่สำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่จะกำหนดประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง ร่วม ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่แสงร่วม) หรือเซรามิกที่ใช้ทำเยื่อเลือกผ่าน (Membrane) โดย นอกจากอุณหภูมิแล้ว ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกดังกล่าว ได้แก่ ความดัน ปริมาณของผลึก ความไม่สมบูรณ์ของผลึก และ ขนาดของผลึก เป็นต้น ในการประยุกต์ใช้ ไทเทเนียมในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม โครงสร้างผลึกทั้งอนาเทสและรูไทล์เป็นที่นิยม นำมาศึกษา กันโดยทั่วไป สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมโดยปกติ นั้น โครงสร้างผลึกอนาเทสให้ ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์ แต่ โครงสร้างผลึกรูไทล์หรือโครงสร้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกผสมระหว่างอนาเทส และ รูไทล์ (เช่น อนาเทสร้อยละ 70-75 และรูไทล์ร้อยละ 30-25) ถูกรายงานว่าให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอนาเทส โดยทั้งนี้ทั้งนั้นมีตัวแปรหลายอย่างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมได้แก่ พื้นที่ผิว การกระจายตัวของรูพรุน ขนาดของอนุภาคผลึก และ ที่สำคัญมากคือวิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกไทเทเนียม

เนื่องจากไทเทเนียมมีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึก ไทเทเนียมจึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อม ๆ กันซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ รีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าแถบพลังงาน (Band gap energy) ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับ โดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุด (Conduction band) จะเป็นระดับของพลังงานศักย์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทางกลับกัน ระดับของพลังงานที่สูงที่สุด (Valence band) จะเป็นระดับพลังงานศักย์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโฮล (Hole) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปแล้ว ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารกึ่งตัวนำ TiO_2 เมื่อถูกกระตุ้น

ซึ่งทำหน้าที่ ดูดกลืนแสงหรือรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ และ ทำหน้าที่ส่งผ่านอิเล็กตรอน

หรือ ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกไปให้กับอนุภาคระดับนาโนเมตรของโลหะออกไซด์ ดังนั้นจะต้องมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่สำคัญ เช่น มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงกว้างในช่วงตาเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด เพื่อดูดกลืนแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการจับแสงโฟตอนที่ตกกระทบ มีคุณสมบัติของสภาวะพื้น และ สภาวะกระตุ้นที่เหมาะสม มีเสถียรภาพสูงในสภาวะถูกออกซิไดซ์ สามารถยึดเกาะบนผิวอนุภาคระดับนาโนเมตรของโลหะออกไซด์ได้ดี

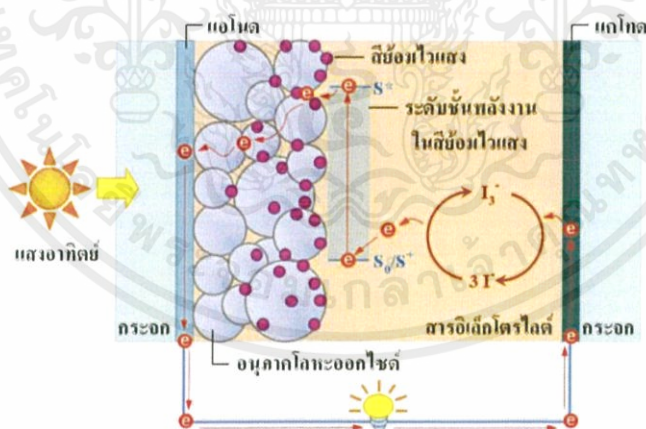
สีย้อมไวแสงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากสีย้อม มีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดนี้ ซึ่งเมื่อสีย้อมไวแสงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ โมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่อยู่ในชั้น HOMO จะถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ที่ชั้น LUMO หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นในชั้น LUMO จะถูกส่งผ่านเข้าไปในชั้นแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ดังนั้นในการเลือกสีย้อมไวแสง จึงจำเป็นต้องเลือกสีย้อมที่เหมาะสม กับสารกึ่งตัวนำที่ใช้ซึ่งสีย้อมไวแสงต้องมีระดับพลังงาน LUMO สูงกว่าระดับแถบนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ

สารละลายอิเล็กโทรไลต์สารละลายอิเล็กโทรไลต์ [12] ทำหน้าที่ในการส่งอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดอิเล็กโทรไลต์ไปยัง โมเลกุลของเม็ดสีย้อมที่ให้อิเล็กตรอนออกมาตอนที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะ อาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดี จะต้องไม่ดูดกลืน แสงอาทิตย์ในย่านตามองเห็น มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เพื่อให้อิเล็กตรอนกลับสู่สีย้อมไวแสงได้อย่างรวดเร็ว มีความคงทนสูงต่อขั้วแคโทดและขั้วเวิร์คกิง โดยการเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในช่วงแรกจะเป็นระบบที่เตรียมได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก จะใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มี ส่วนประกอบของคู่ปฏิกิริยารีดอกซ์ของไอโอดีน/ไตรไอโอดีน ที่มีตัวทำละลายเป็นสารอินทรีย์ เช่น อะซีโตรไนไตรล์ โพรพิลไอโอดีน เมทริกซ์อะซีโตรไนไตรล์ โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้สามารถให้ ประสิทธิภาพได้มาก เนื่องจากมีการขนส่งของอิเล็กตรอนได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อเสียของ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือมักจะระเหยง่าย ไม่เกิดความคงทนของสารละลายขึ้น จึงส่งผลต่ออายุ การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง จึงมีการใช้ของเหลวไอออนิกที่นิยมก็คือ สารประกอบ ของ Imidazolium ซึ่งมีคุณสมบัติมีจุดเดือดที่สูงขึ้น มีการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเสถียรต่อสารเคมี และ ความร้อนที่ดี จึงสามารถแก้ไขปัญหการระเหยของสารได้ แต่ยังมีปัญหการรั่วของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และ เพราะความหนืดของสารละลายทำให้ไอออนไอโอดีนแพร่ตัวได้ช้า ส่งผลทำให้ ประสิทธิภาพของเซลล์ยังไม่สูงมากนัก ต่อมา มีการนำ 1-methyl-3-propylimidazolium iodide 1methyl-3-ethylimidazolium dicyanamide และ lithium iodide มาใช้ในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ การเติม lithium iodide ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้ เนื่องจากเพิ่มค่า electron injection yield และ dye regeneration rate ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ โดยที่เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติดังนี้คือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา และจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วย วัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดคือ ทองคำขาว (Pt) แต่เนื่องจากทองคำขาวมีราคาแพงอาจใช้วัสดุอื่นแทนได้เช่น ผงคาร์บอน ท่อคาร์บอนนาโน หรือโพลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) เช่น PEDOT หรือ Polypyrrole เป็นต้น

หลักการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์เม็ดสีที่อยู่ภายในจะทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแล้วอิเล็กตรอนของเม็ดสีเองจะมีระดับพลังงานที่สูงขึ้น และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปสู่แถบการนำของผลึกสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง ที่มีขนาดผลึกอยู่ในระดับนาโนเมตร จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง (กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง) และ ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก และ จะเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าอีกข้างหนึ่งซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองคำขาว (Pt) หรือสารจำพวกคาร์บอน (C) เคลือบอยู่ แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (Redox) ทำยที่สุดอิเล็กตรอนจะไหลกลับมายังเม็ดสีที่อยู่ภายในเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดิม โดยกระบวนการอย่างนี้จะเกิดซ้ำไปเรื่อยๆ トラบใดที่ยังมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

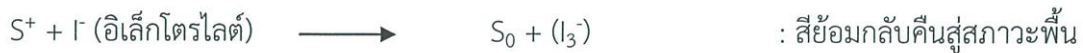
ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม

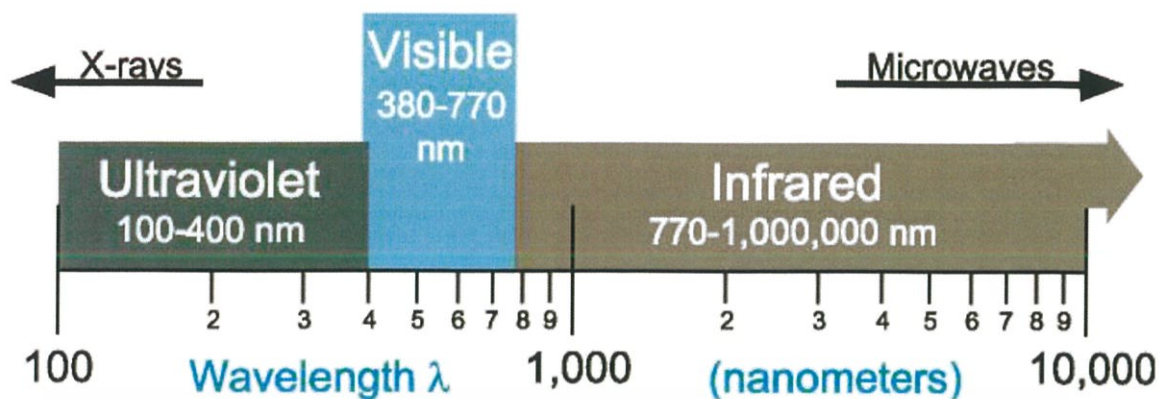


2.2 แสงแดดหรือแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด พลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์เอื้อประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5,800 องศาเซลเซียส จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของสีและอุณหภูมิของดาวฤกษ์พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวดาวจะแผ่พลังงานออกมาโดยมีค่าความยาวคลื่นเข้มสุด ที่ตามนุษย์สามารถรับรู้ได้อยู่ที่สีเหลือง ดังนั้นเราจึงเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีเหลืองทั้งๆ ที่ในความเป็นจริงนั้นค่าพลังงานที่ถูกแผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์นั้นมีหลายค่าความยาวคลื่น [14]

พลังงานที่ถูกกล่าวถึงในที่นี้เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของ “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” ซึ่งดวงอาทิตย์และ ดาวฤกษ์ทุกดวงหรือสสารทุกชนิดบนโลกต่างก็แผ่พลังงานออกมา ในรูปแบบเดียวกันนี้ เพียงแต่พลังงานที่มนุษย์สามารถสัมผัสและรับรู้ได้ชัดเจนที่สุดนั้นคือ “คลื่นแสง” คลื่นแสงในที่นี้เราเรียกว่าแสงขาว หากเรานำแท่งแก้วปริซึม (Prism) มารับแสงขาวดังกล่าวแสงจะเกิดการหักเหออกจากแท่งปริซึมเกิดเป็นสีรุ้ง เรียงลำดับคือสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และ แดง สีแต่ละสีนั้นจะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ค่าพลังงานหรือช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์สามารถมองเห็น ได้เราเรียกว่า “แสงในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นได้ (Visible light)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงช่วงแสงในย่านคลื่นต่างๆ

ในภาพที่ 2.5 นั้นเราพบว่าความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าพลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ นับเป็นเรื่องที่ยากมากหากจะทำการศึกษาดวงอาทิตย์อย่างเช่นในอดีต ที่ทำได้เพียงสังเกตเห็นวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนตำแหน่งบนทรงกลมท้องฟ้าและปรากฏการณ์บางปรากฏการณ์เท่านั้น องค์ความรู้เกี่ยวกับดวงอาทิตย์จึงมีน้อยมาก ด้วยเหตุนี้เองนักวิทยาศาสตร์จึงทำการศึกษาและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่าง ๆ ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายหลัก คือการสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจธรรมชาติของดวงอาทิตย์อย่างแท้จริง

จากองค์ความรู้เกี่ยวกับการการศึกษาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เรารู้ว่าที่ระดับค่าความยาวคลื่นที่แตกต่างกันนั้นเราจะสามารถมองเห็น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ หรือที่เรียกว่า กัมมันตภาพสุริยะ (Solar activity) ที่แตกต่างกันออกไปจึงจำเป็นต้องทำการสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ ในหลายช่วงความยาวคลื่น ปัจจุบันจึงมีกล้องโทรทรรศน์ที่ทำการสังเกตการณ์และบันทึกภาพดวงอาทิตย์ใน หลายช่วงความยาวคลื่น รวมทั้งกล้องโทรทรรศน์อวกาศที่มีความสามารถในการสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นเรื่อยๆ อย่างเช่นกล้องโทรทรรศน์อวกาศเอสดีโอ (Solar Dynamics Observatory ;SDO) ที่มีความทันสมัยและเทคโนโลยีล้ำหน้ามากที่สุดในประวัติศาสตร์การสำรวจดวง อาทิตย์ขององค์การนาซ่า สามารถบันทึกข้อมูลภาพได้ปริมาณมหาศาลและสามารถบันทึกข้อมูลได้ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในความยาวคลื่นต่างๆ

2.2.1 ภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในช่วงต่างๆ

จากภาพที่ 2.6 สามารถอธิบายภาพถ่ายดวงอาทิตย์ในช่วงความร้อนที่ต่างกันได้ดังนี้

4500 อังสตรอม แสดงให้เห็นพื้นผิวของดวงอาทิตย์ หรือชั้นโฟโตสเฟียร์ (Photosphere)

1700 อังสตรอม แสดงให้เห็นพื้นผิวของดวงอาทิตย์ หรือ ที่เรียกว่าชั้น โครโมสเฟียร์ (Chromosphere) เป็นชั้นที่อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น

1600 อังสตรอม เป็นชั้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง โฟโตสเฟียร์ (Photosphere) และ โครโมสเฟียร์ (Chromosphere) เรียกว่าชั้น โคโรนา (Corona) เป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วของอุณหภูมิ

304 อังสตรอม ชั้นนี้จะมีแสงถูกปล่อยออกมาจาก โครโมสเฟียร์ (Chromosphere)

171 อังสตรอม ที่ชั้นนี้จะแสดงให้เห็นโคโรนา (Corona) เป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นแม่เหล็ก หรือที่รู้จักกันในชื่อ โคโรนาลูป (Corona loop)

19 อังสตรอม ที่ช่วงความยาวคลื่นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า เปลวสุริยะ (Solar Flare)

211 อังสตรอม จะมีความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น และแสดงให้เห็นการทำงานของแม่เหล็ก ในชั้นโคโรนา (Corona)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

335 อังสตรอม จะมีความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นอีกเช่นกันกับ 211 อังสตรอม และแสดงให้เห็นการทำงานของแม่เหล็ก ในชั้นโคโรนา (Corona)

94 อังสตรอม สามารถมองเห็นเปลวสุริยะ (Solar Flare) ได้จากความยาวคลื่นนี้

131 อังสตรอม เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดซึ่งมีค่ามากกว่า 1,000,000 เคลวิน

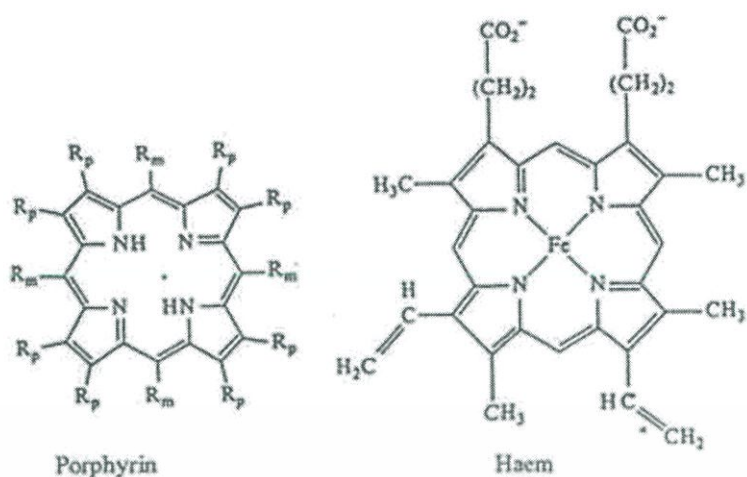
2.3 สีย้อม (Dye)

สารสีที่สามารถพบได้ในธรรมชาตินั้นมีมากมายหลายแบบ ทั้งจากพืช สัตว์ หิน และแร่ธาตุพืชเป็นแหล่งสารอินทรีย์ที่หลากหลาย ในประเทศไทยก็มีภูมิปัญญาการทำสีผสมอาหาร และ สีย้อมผ้าจากพืชมากมาย ตัวอย่างสีผสมอาหารจากพืช เช่น กลีบดอกกระเจียวให้สีแดง ดอกแก่คำฝอยให้สีเหลือง เมล็ดคำแสดให้สีส้ม ใบเตยสดให้สีเขียว แก่นไม้ฝางให้สีชมพูเข้ม ดอกอัญชันสดให้สีม่วง ตัวอย่างสีย้อมผ้าจากพืช เช่น แก่นขนุนให้สีเหลือง เปลือกต้นสมอให้สีดำ เปลือกต้นนุ่นให้สีชมพู ต้นครามให้สีน้ำเงิน และ ใบหูกวางให้สีน้ำตาลแก่ เป็นต้น [15]

สารสีธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารสีเหล่านั้น คือ สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน และสารสีกลุ่มปีตาไซยานินหรือปีตาเลน

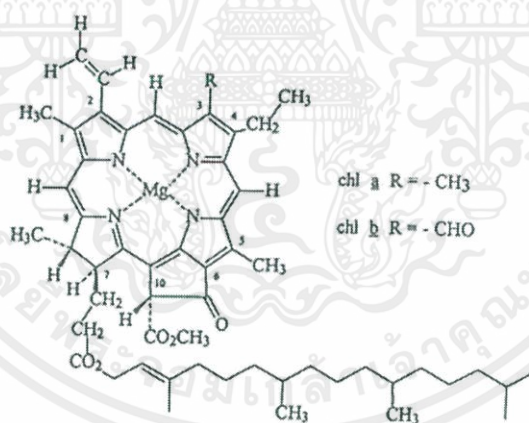
2.3.1 สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง

สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง หรือเรียกรวมกันว่า วงพอร์ไฟริน (Porphyrin) ดังภาพที่ 2.7 พบในสัตว์เรียกว่า ฮีม ซึ่งมีเหล็กอยู่ตรงกลางสร้างพันธะกับไนโตรเจนของวงไพโรล พบในพืช เรียกว่า คลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง ฮีมในกล้ามเนื้อสัตว์เรียกว่า ไมโอโกลบิน และ ในเลือดเรียกว่า ฮีโมโกลบิน



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของเม็ดสีที่มีลักษณะเป็นวงพอร์ไฟริน

คลอโรฟิลล์ เป็นรงควัตถุสีเขียวมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.8 ที่สำคัญที่สุดในพืชชั้นสูงอยู่ในคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ใกล้กับ ผนังเซลล์พบในทุกส่วนของพืชที่มีสีเขียว เช่น ใบ ก้าน และ ในผลไม้ดิบ เป็นต้น ใบเป็นส่วนที่มีคลอโรฟิลล์มากกว่าส่วนอื่น



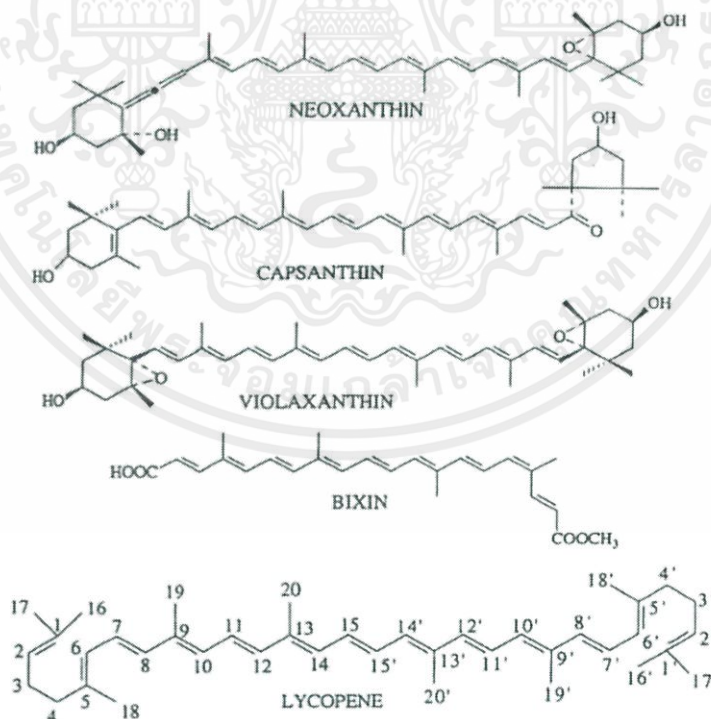
ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์

2.3.2 สารที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีน

ไอโซพรีนเป็นหน่วยย่อยของแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 5 ตัวดังภาพที่ 2.9 สารสีใน กลุ่มนี้คือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารสีหลักในแคโรทีน สารแคโรทีนอยด์เป็นจำนวนมาก ประกอบด้วยคาร์บอนถึง 40 อะตอม โครงสร้างจะเป็นแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวจำนวนมาก ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีมากสีก็จะเข้มขึ้น รูปร่างของโครงสร้างส่วนมากจะเป็นแบบทรานส์ ถ้าเป็นแบบซิสจะมีน้อยและจะทำให้สีจางลง สีของแคโรทีนอยด์จะเป็นสีเหลืองและแดง แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ชนิดแรกเป็นไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ไม่มีวงแหวน และชนิดที่มีวงแหวนที่ปลายด้านหนึ่ง และทั้งสองด้าน ส่วนชนิดที่สองโครงสร้างโมเลกุลมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล เช่น หมู่ของไฮดรอกซิล อีพอกซี แอลดีไฮด์ หรือ หมู่คีโตน รวมเรียกว่า แซนโทฟิลล์แคโรทีนอยด์ อย่างเช่น บีตา-แคโรทีน ที่เป็นสีผสมอาหารที่สกัดจากธรรมชาติหรือการสังเคราะห์โคโนฟิล์มมีสีแดงพบในมะเขือเทศ บีตา-แคโรทีนและแอลฟา-แคโรทีน มีสีเหลืองพบในแครอท บีตา-คริปโทแซนทินมีสีเหลืองพบในข้าวโพด มะละกอ และส้มแมนดาริน นีโอแซนทินมีสีเหลือง พบในใบผักที่มีสีเขียว แคปแซนทินมีสีแดงพบในพริก ไวโอลาแซนทินมีสีเหลืองพบในผักใบเขียว ใบชินพบในเมล็ดของคำแสด ผักใบเขียวทั้งหมดจะมีแคโรทีนอยด์รวมอยู่กับคลอโรฟิลล์แต่ไม่ปรากฏสีเพราะมีอยู่น้อย จะเห็นเมื่อผักเริ่มแก่มาซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในผลไม้บางชนิด นอกจากนี้ยังมีแคโรทีนอยด์บางชนิดอยู่รวมกับกรดไขมันในรูปเอสเทอร์ เช่น ลูทีนในใบไม้ของไม้ ยืนต้นที่เปลี่ยนสีได้ในฤดูหนาว บางชนิดอยู่รวมกับโปรตีน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนพบใน เปลือกกุ้ง และปู ให้สีฟ้าเทา หรือสีน้ำเงิน จะสลายไปเมื่อโดนความร้อนทำให้เปลี่ยนเป็นสีแดง



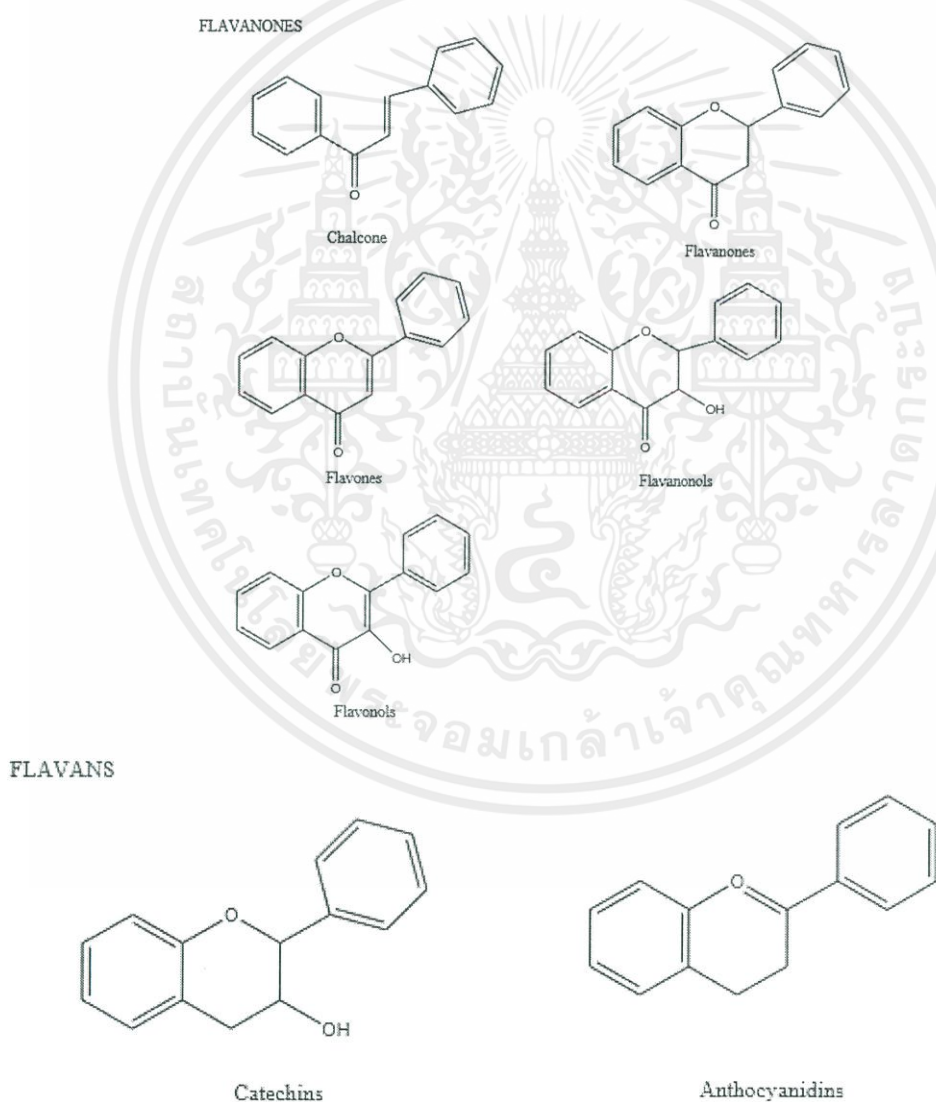
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไพแรน

2.3.3.1 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 2 วงเชื่อมกัน ด้วยคาร์บอน 3 อะตอม ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ฟลาวาโนน (Flavanones) ซึ่งมีโครงสร้างแบบคีโตนอยู่ในโมเลกุล และ ฟลาวัน (Flavans) ซึ่งมีโครงสร้างแบบแอลดีไฮด์ หรือแอลกอฮอล์ เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นฟลาโวนอยด์ หลักที่พบทั่วไป จึงจะกล่าวแอนโทไซยานินเป็นหลักส่วนฟลาโวนอยด์ อื่น ๆ มีข้อมูลน้อยกว่าแอนโทไซยานิน สำหรับสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างจากนี้จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลอื่นๆ

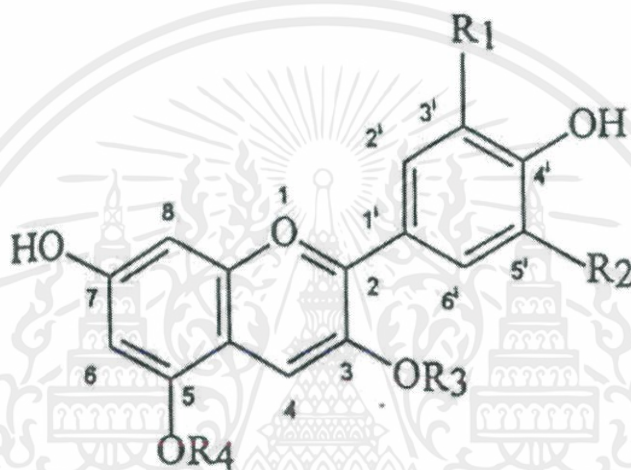


ภาพที่ 2.10 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนโทไซยานิน

เป็นสารสีที่มีหลายสีตั้งแต่สีน้ำเงิน ม่วง จนถึงสีแดง พบในผัก ผลไม้และดอกไม้ละลายน้ำได้ดี โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยฟลาวิเลียม แคทไอออน (Flavylium cation) โดยมีโมเลกุลของน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 แต่ก็พบน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 7 3' 4' หรือ 5' ในภาพที่ 2.11 เล็กน้อย น้ำตาลส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป มอโน ไค หรือ ไตรแซ็กคาไรด์ของ น้ำตาลกลูโคส กาแลกโทส อะราบิโนส และ ซาโลส เมื่อน้ำตาลถูกไฮโดรไลซ์จะเหลืออะไกลโคน (Aglycone) หรือที่เรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidines)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของฟลาวิเลียมแคทไอออน

ฟลาโวนอยด์อื่นๆ

ฟลาโวนอยด์อื่นๆ หรือ ที่เรียกว่า แอนโทแซนทิน (Anthoxanthins) เป็นกลุ่มสารสีที่ไม่มีสีไปจนถึงมีสีเหลือง กลุ่มฟลาโวนอน (Flavanones) เช่น เฮสเพอริดิน (Hesperidin) ในผลไม้จำพวกส้ม นาริน-จิน (Naringin) เป็นสารที่ให้รสขมในส้มโอและมะนาว เทนเจอร์นิน (Tengerin) ในส้มจีน กลุ่มฟลาโวน เช่น อะพิจินิน (Apiginin) ในผักชีฝรั่ง กลุ่มฟลาโวนมีโครงสร้างเช่นเดียวกับไอโซฟลาโวน (Isoflavane) ยกเว้นวงแหวนฟีนิลที่อยู่ตำแหน่งที่ 2 ขณะที่ในกลุ่มไอโซฟลาโวนจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ของฟลาวิเลียมแคทไอออน ไอโซฟลาโวนมีตัวอย่างเช่น เจนิสทิน (Genistein) ในพวกลั่ว เช่น ถั่วเหลือง กลุ่มฟลาโวนอล (Flavanol) ในพืชทั่วไปและหัวหอม สตรอเบอร์รี่ และน้ำผึ้ง และไมริซิทิน (Myricetin) ในองุ่น ส่วนคาเทชิน (Catechin) เช่น อีพิกาทะชิน (Epicatechin) แกลโลคาเทชิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

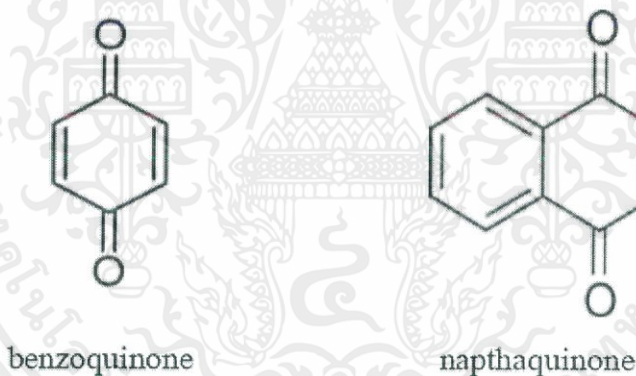
(Gallocatechin) และแกลโลอิพิคาเทชิน (Gallepicatechin) ในชาเขียว แอปเปิล ลูกพรุนและองุ่น ฟลาโวนอยด์เหล่านี้เป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน

2.3.3.2 กลุ่มสารประกอบฟีนอลอื่นๆ

สารสีกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่ไม่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ จะมีสารประกอบกลุ่มควิโนน (Quinones) และสารประกอบกลุ่มแซนโทน (Xanthones) ซึ่งเป็นสารสีที่ให้สีเหลือง

ควิโนน

เป็นสารที่มีโครงสร้างวงแหวนเบนซีนซึ่งอาจเป็นวงแหวนเดี่ยว (Monomer) สองวง (Dimer) หรือหลายๆวง (Polymer) ดังภาพที่ 2.12 พบในพืชหลากหลายที่ให้ รสขม ให้สีเหลือง สีส้ม และ ในเชื้อราบางชนิดให้สีน้ำตาล สารประกอบแนฟทาควิโนน (Naphthaquinone) และแอนโทรควิโนน (Anthraquinone) พบในพืชให้เฉดสี ในช่วงสีม่วงจนถึงสีดำ มีการนำไปใช้เป็นส่วนย้อมผ้า

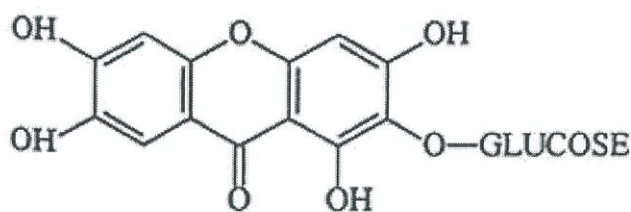


ภาพที่ 2.12 โครงสร้างโมเลกุลของควิโนนบางชนิด

แซนโทน

เป็นสารสีเหลืองมีโครงสร้างไม่เหมือนกับสารฟลาโวน เป็นสารสีที่มีสีเหลือง ตัวอย่าง เช่น แมง จีเพอรินดังภาพที่ 2.13 ซึ่งจะพบในมะม่วง

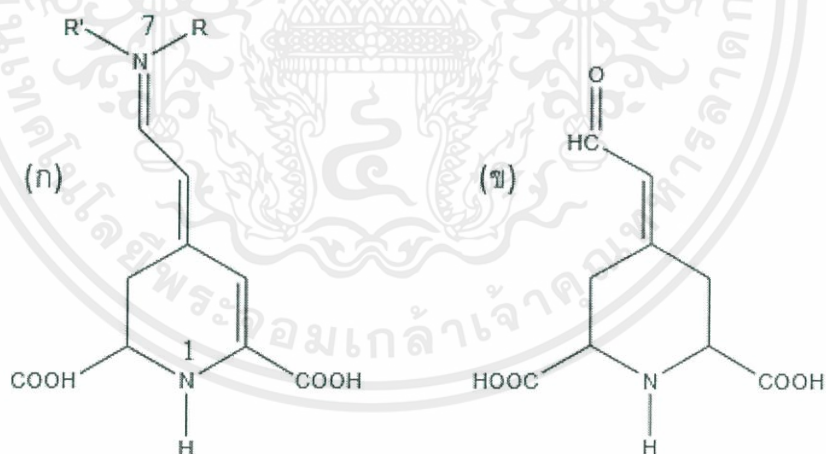
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจิเฟอริน

2.3.4 ปีตาเลน

ปีตาเลนประกอบด้วยสารสี 2 กลุ่มคือ ปีตาไซยานินมีสีแดงและปีตาแซนทินให้สีเหลือง พบในผักโขม (Amaranth) pH ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสารที่ละลายน้ำได้ พืชที่มีสารสีชนิดนี้เป็นพืชในตระกูล Centrosperme เท่านั้น โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุล ถ้าหมู่ R' ไม่ทำให้เกิดพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugation) ในตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 7 จะให้สีเหลืองดังรูปที่ 2.14 ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร แต่ถ้าหมู่ R' ทำให้เกิดคอนจูเกชันจะให้สีแดง ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ซึ่งเป็นลักษณะของปีตาไซยานิน



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างโมเลกุลพื้นฐานของปีตาเลน; (ก) ปีตาเลน (ข) กรดปีตาเลน

ปีตาไซยานินเป็นอนุพันธ์ของปีตานิดิน (Betanidin) และไอโซปีตานิดิน (Isobetanidine) และเมื่อเกาะกับน้ำตาลที่แตกต่างกันไปจะได้ปีตาไซยานินแตกต่างกันไป ปีตาไซยานินหลักที่พบในหัวบีตคือ ปีตานินและไอโซปีตานิน และปีตาไซยานินหลักที่พบในผักโขม คือ อะมารานทินและไอโซอะมารานทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากสีที่พบในธรรมชาติแล้ว ยังมีสีสังเคราะห์ที่นำมาใช้ได้อีก อย่างเช่น สีเอโซ (Azo dye) เป็นสีที่มีหมู่เอโซ (-N=N-) ภายในโมเลกุล สีไตรเฟนนิลมีเทนเป็นสีที่มีหมู่เฟนิล 3 หมู่เกาะอยู่กับหมู่เมทิล สีแซนทีนที่มีโครงสร้างคล้ายสารหมู่แซนทีน และ สีอินดิโกที่ให้น้ำเงินคล้ายสีจากต้นคราม

2.4 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube ; CNT)

การค้นพบท่อนาโนคาร์บอนครั้งแรกนั้นเกิดขึ้นด้วยความบังเอิญในปี 1991 ภายหลังจากการค้นพบฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) 6 ปี โดยนักวิจัยของบริษัท เอ็นอีซี (NEC) ในห้องทดลองที่เมืองสึคุบา (Tsukuba) ประเทศญี่ปุ่น ชื่อ ซุมิโอะ อิจิมา (Sumio Iijima) ขณะที่เขาใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงมากตรวจสอบเขม่าสีดำที่ได้จากการเตรียมฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) จากกระบวนการยิงด้วยอิเล็กตรอน (electron arc discharge) แล้วสังเกตเห็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายกับรากไม้ เป็นเส้นยาว บาง และจับกันอยู่เป็นกลุ่ม แต่ที่น่าสนใจคือ วัสดุนี้มีโครงสร้างของอะตอมที่เป็นระเบียบและสมมาตร ซึ่งท่อนาโนคาร์บอนที่ค้นพบครั้งแรกนั้นคือท่อชนิดผนังหลายชั้น จากนั้นในปี 1993 อิจิมา และ นักวิจัยของบริษัทไอบีเอ็ม (IBM) ชื่อ ดอน เบทูน (Don Bethune) ได้นำเสนอรายงานวิจัยว่าสามารถสร้างท่อนาโนผนังชั้นเดียวได้ โดยการเติมโลหะเร่งปฏิกิริยาปริมาณเล็กน้อยในระหว่างการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนเพื่อป้องกันการม้วนตัวด้วยตัวเองของแผ่นแกรไฟต์ และป้องกันการเกิดเป็นฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) ขนาดเล็ก จากนั้นท่อนาโนของคาร์บอนก็ได้รับความสนใจศึกษามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างท่อนาโนคาร์บอนให้มีขนาดและคุณสมบัติตามที่ต้องการ รวมทั้งการนำท่อนาโนไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ อีกด้วย [16]

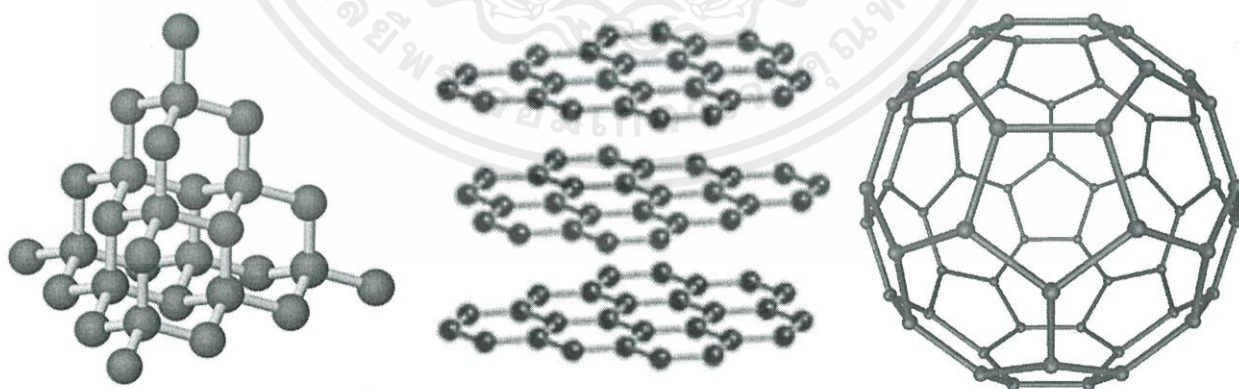
นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติของฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) โมเลกุลที่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอน ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบและมีโครงสร้างอยู่ระหว่างโครงสร้างของเพชรและแกรไฟต์ในตระกูลของคาร์บอนและเมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบโครงสร้างใหม่ของฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) ที่มีลักษณะเป็นลูกบอลที่มีโครงสร้างเหมือนกรงปิดที่เป็นรูปทรงกลมซึ่งประกอบไปด้วย 60 อะตอมของคาร์บอนที่มีลักษณะสมมาตร (C60) ซึ่งเป็นการค้นพบการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมแบบใหม่ที่ไม่เคยพบมาก่อน นอกจากนั้นนักวิจัยได้ทำการดัดแปลงโมเลกุลที่ค้นพบนั้นให้ขยายยาวออกไปเป็นโครงสร้างที่เป็นท่อเรียวยาวเล็กได้สำเร็จและเรียกโครงสร้างนั้นว่า ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotubes ; C1,000,000)

ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) มีรูปร่างเป็นโครงตาข่ายของคาร์บอน ม้วนเชื่อมติดกันเป็นรูปทรงกระบอก และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงไม่กี่นาโนเมตร ท่อนาโนคาร์บอน มีคุณสมบัติเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แข็งแรงและเหนียวกว่า เหล็กกล้า สามารถนำไฟฟ้า หรือ กลายเป็นฉนวน (ไม่นำไฟฟ้า) ขึ้นอยู่กับทิศทางของแนวการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนบนผนังท่อนาโนคาร์บอน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสายไฟลิวในเครื่องใช้ไฟฟ้า (Nanoelectronics) ใช้ทอเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงและทนทานกว่าไหมเทียม หรือ ผลิตเป็นแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานนานนับสิบปี นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา เป็นต้น

2.4.1 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน

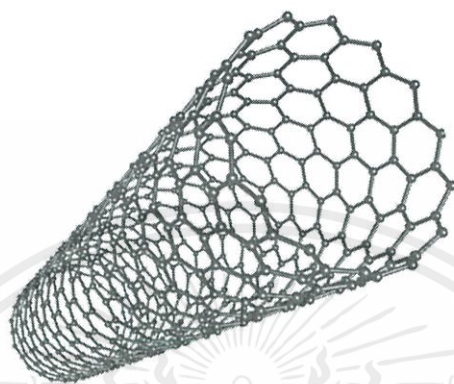
โมเลกุลของท่อนาโนคาร์บอนประกอบขึ้นจากธาตุคาร์บอนเช่นเดียวกับเพชร แกรไฟต์ (graphite) ถ้ำถ่าน และบอลนาโนคาร์บอนหรือฟูลเลอร์รีน (Fullerene, C₆₀ หรือ C₇₀) แต่มีโครงสร้างการจัดเรียงอะตอมที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เพชรมีโครงสร้างของอะตอมคาร์บอนล้อมรอบอะตอมอื่นอยู่ 4 ตัว ดั้ง เกิดเป็นโครงสร้างโครงตาข่ายสามมิติจากการเชื่อมต่อของพันธะโควาเลนต์ของคาร์บอนจึงทำให้เพชรมีความแข็งแรงและคงทนมาก ขณะที่แกรไฟต์มีอะตอมคาร์บอนล้อมรอบอะตอมอื่นอยู่เพียง 3 ตัว พันธะโควาเลนต์ของคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นภาพหกเหลี่ยมคล้ายกับรังผึ้งหรือตาข่าย เรียงกันเป็นแผ่นในระนาบเดียวกันเรียกว่าแผ่นกราฟีน(graphene) และมีพันธะเชื่อมต่อกันระหว่างระนาบเป็นชั้นๆ ดังภาพที่ 2.15 พันธะของคาร์บอนในระนาบเดียวกันของแผ่นแกรไฟต์นั้นแข็งแรงมากแต่พันธะระหว่างระนาบไม่แข็งแรงมากนักและเลื่อนไหลได้ ส่วนถ้ำถ่านจากการเผาไหม้จะมีโครงสร้างคล้ายแกรไฟต์แต่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรือที่เรียกว่า ออสถูไรต์ของคาร์บอน และ ฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) มีโครงสร้างของคาร์บอนที่จัดเรียงตัวเป็นทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอล



ภาพที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของเพชร แกรไฟต์ และฟูลเลอร์รีน

โครงสร้างของวัสดุที่กล่าวข้างต้นต่างจากโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนที่คล้ายกับแผ่นแกรไฟต์ที่มีผนังตัวเกิดเป็นท่อทรงกระบอกกลวง ท่อนาโนคาร์บอนจึงมีผนังของอะตอมคาร์บอนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

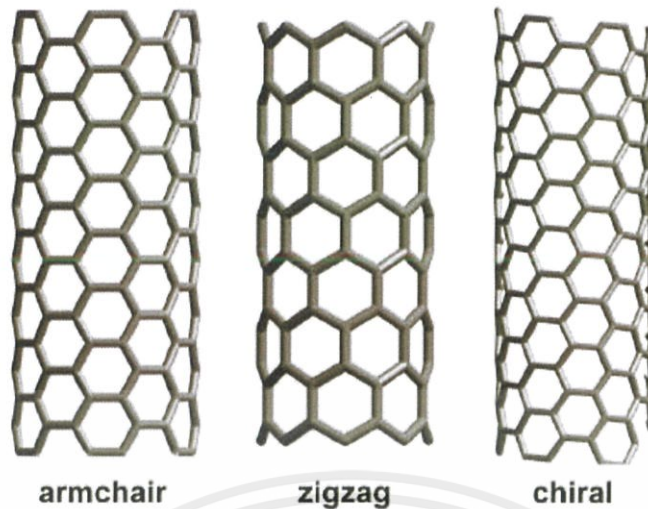
จัดเรียงพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมเป็นวงแหวนหกเหลี่ยม และ อาจมีบริเวณปลายของท่อปิด ด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยมของคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายครึ่งหนึ่งของฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) ท่อนาโนคาร์บอนประเภทนี้เรียกว่า ท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว (Single wall nanotube, SWNT) ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียว (Single wall nanotube ; SWNT)

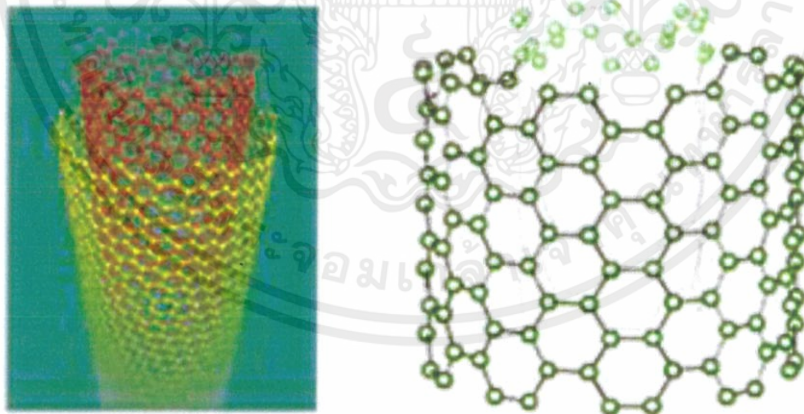
ลวดลายตามผนังของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวนั้นอาจมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันได้ 3 แบบตามการม้วนแผ่นแกรไฟต์ดังภาพที่ 2.17 ด้วยวิธีม้วนบิดที่ต่างกัน คือ โครงสร้างท่อแบบ Armchair ที่เกิดจากการม้วนแผ่นแกรไฟต์ตามแนวสมมาตรแกนตั้ง โครงสร้างท่อแบบ Zigzag ที่เกิดจากการม้วนแผ่นแกรไฟต์ตามแนวสมมาตรแกนนอน และโครงสร้างท่อแบบ Chiral ที่เกิดจากการม้วนแผ่นแกรไฟต์ด้วยมุมบิดอื่น ๆ ต่างจากสองแบบแรก ซึ่งโครงสร้างท่อนาโนทั้งสามแบบนี้ และโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อคุณสมบัติหลาย ๆ อย่างของท่อนาโนคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) แบบ Armchair, Zigzag และ Chiral

นอกจากท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียวที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีท่อที่มีผนังหลายชั้น (Multi-wall nanotube ; MWNT) ดังภาพที่ 2.18 ซึ่งผนังท่อมีลักษณะซ้อนกันคล้ายกับการซ้อนท่อเล็กในท่อใหญ่โดยมีจุดศูนย์กลางภาคตัดขวางของท่อเป็นจุดเดียวกัน



ภาพที่ 2.18 ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multi-wall nanotube ; MWNT)

2.4.2 การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน(Carbon nanotube, CNT)

จากการศึกษารายงานวิจัยพบว่า เทคนิคการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมบัติของท่อนาโนที่ต้องการ ซึ่งถ้าพิจารณาตามอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ สามารถแบ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนต่างๆ ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้อุณหภูมิสูง และ กลุ่มที่ใช้ อุณหภูมิปานกลาง

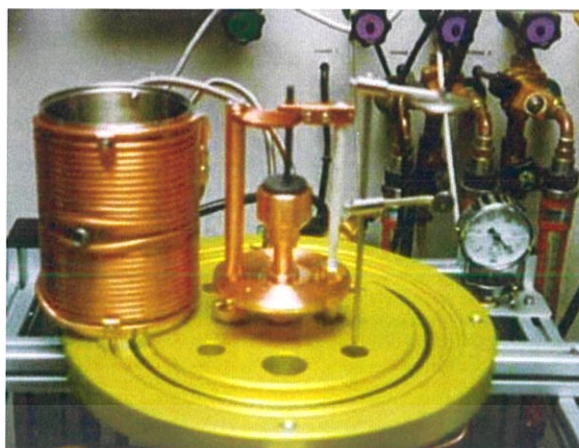
2.4.2.1 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง

กระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนที่ใช้อุณหภูมิสูงประกอบด้วยเทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) เทคนิคการใช้แสง (Solar method) และเทคนิคการยิงด้วยอิเล็กตรอน(Electron arc discharge) กระบวนการเหล่านี้ใช้การยิงแผ่นแกรไฟต์ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1500 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการแตกตัวของอะตอมคาร์บอน และ ตัวเร่งปฏิกิริยา ความหนาแน่นของอะตอมทั้งสองชนิดที่เกิดขึ้นนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวแปรหนึ่งของการสร้างพันธะของคาร์บอน จนได้เป็นท่อนาโน ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้อุณหภูมิสูงสองวิธีหลักที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

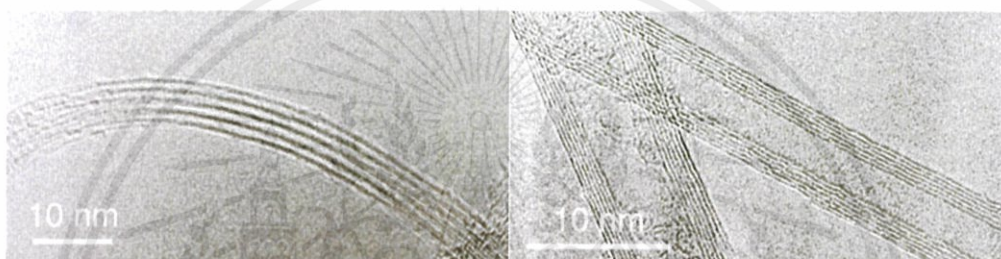
2.4.2.1.1 เทคนิคการยิงด้วยอิเล็กตรอน (Electron arc discharge)

เทคนิคนี้เป็นวิธีเริ่มแรกที่ใช้สังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งแต่เดิมนั้นใช้ในการสังเคราะห์ฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) โดยเป็นการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 100 แอมแปร์ และศักย์ไฟฟ้าประมาณ 20 กิโลโวลต์ที่ระหว่างขั้วคาร์บอน และ ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 2000 ถึง 3000 องศาเซลเซียส ทำให้คาร์บอนเกิดการแตกตัวกลายเป็นพลาสมาร้อน จากนั้นคาร์บอนที่แตกตัวจะเกิดการควบแน่นและก่อตัวใหม่เป็นท่อนาโนที่ขั้วแคโทด ท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้อาจเป็นท่อชนิดผนังหลายชั้นหรือผนังชั้นเดียวก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าใช้โลหะเร่งปฏิกิริยาหรือไม่ (ถ้าใช้โลหะเร่งปฏิกิริยาจะได้ท่อชนิดผนังชั้นเดียว) วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และ ค่าใช้จ่ายถูก แต่ท่อนาโนที่ได้จะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีสิ่งเจือปน เช่น อนุภาคของคาร์บอน และ ชี้ถ้า ค่อนข้างมาก เป็นต้น [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์การยิงด้วยอิเล็กตรอน (Electron arc discharge)

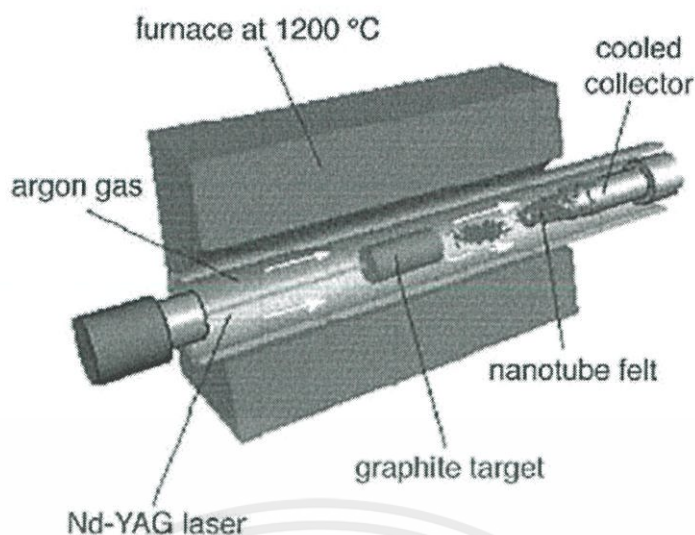


ภาพที่ 2.20 แสดงท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยการยิงอิเล็กตรอน (Electron arc discharge) ในแบบ ผนังเดี่ยว(SWNT) และ แบบผนังหลายชั้น (MWNT)

2.4.2.1.2 เทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์ (laser ablation)

เทคนิคนี้คิดค้นขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ในกลุ่มของ สมอลล์ (Smalley) โดยใช้เลเซอร์ที่มีพลังงานสูงยิงกระทบแท่งคาร์บอนผสมโลหะในเตาเผาที่มีอุณหภูมิประมาณ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอน และ อะตอมคาร์บอนที่ร้อนขึ้น และใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น อาร์กอนหรือไนโตรเจนไปกวาดเอาท่อนาโนที่เกิด ขึ้นออกจากเตาเผาแล้วนำไปหล่อเย็นที่ตัวกักเก็บที่ทำจากทองแดงด้านนอกเตาเผา การสังเคราะห์วิธีนี้ดีกว่าการยิงด้วยอิเล็กตรอนตรงที่ให้ท่อนาโนที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า แต่มีค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ค่อนข้างสูง [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 เทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation)

2.4.2.2 กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง

กระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนกลุ่มนี้ประกอบด้วยกระบวนการสร้างวัสดุบางจับบนผิววัสดุอื่นทางเคมี หรืออาจเรียกว่าดีโพสิชันทางเคมี (chemical vapor deposition ; CVD) แบบต่างๆ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ ใช้การแยกก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแหล่งให้อะตอมคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทน หรืออะเซทิลีน หรือใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แทนก๊าซไฮโดรคาร์บอน บนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น นิกเกิล เหล็ก หรือโคบอลต์ โดยใช้ความร้อนหรือพลาสมาเข้าช่วย ซึ่งการสลายตัวของก๊าซไฮโดรคาร์บอนนี้ใช้อุณหภูมิสูงไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าอุณหภูมิไม่สูงนักจึงเรียกระบวนการเหล่านี้ว่ากระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง

ข้อดีของกระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง คือ สามารถควบคุมขนาดและความยาวของท่อได้ง่าย สามารถสังเคราะห์ท่อนาโนให้เกิดตรงตำแหน่งที่ต้องการได้ และที่สำคัญที่สุดคือ สามารถพัฒนากระบวนการนี้ให้ผลิตท่อนาโนเชิงพาณิชย์ได้

2.4.2.2.1 วิธีดีโพสิชันทางเคมี (Chemical vapor deposition,CVD)

เทคนิคนี้สามารถแบ่งตามวิธีการแยกก๊าซไฮโดรคาร์บอนและวิธีการเตรียมโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา ออกเป็น 5 วิธี คือ ดีโพสิชันทางเคมีด้วยความร้อน (Thermal CVD) ดีโพสิชันทางเคมีของพลาสมา (plasma enhanced CVD ; PECVD) ดีโพสิชันทางเคมีบนเส้นใยร้อน (hot filament CVD) ดีโพสิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นทางเคมีของเฟสไอ (Vapor phase growth CVD) และดีโพลีชันทางเคมีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง (High pressure carbon oxide CVD ; HiPCo) ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันคือ ดีโพลีชันทางเคมีด้วยความร้อน เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้ทั้งท่อนาโนชนิดผนังชั้นเดียวและผนังหลายชั้น ส่วนวิธีดีโพลีชันทางเคมีของพลาสมานั้นสามารถสังเคราะห์ท่อนาโนได้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุด (ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส) แต่ท่อนาโนที่ได้ส่วนมากจะเป็นชนิดผนังหลายชั้นเท่านั้น ต่อมาวิธีดีโพลีชันทางเคมีบนเส้นใยร้อนมีหลักการเช่นเดียวกันกับดีโพลีชันทางเคมีด้วยความร้อนต่างกันที่วิธีนี้ใช้เส้นใยยาวที่มีอุณหภูมิสูงในการแยกก๊าซออกเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ แต่คุณภาพของท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้ยังมีคุณภาพที่ต่ำอยู่ สุดท้ายวิธีดีโพลีชันทางเคมีของเฟสไอและดีโพลีชันทางเคมีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง ใช้ก๊าซของโลหะ เช่น เพอร์ซีน ($\text{Fe}[\text{CO}]_5$) แทนอนุภาคของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสองวิธีนี้สามารถสังเคราะห์ท่อนาโนที่ละจำนวนมากได้ แต่มีข้อเสียคือควบคุมทิศทางและตำแหน่งของท่อได้ไม่ถนัด และ ใช้ก๊าซที่มีพิษ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นสารตั้งต้น เป็นต้น [19]



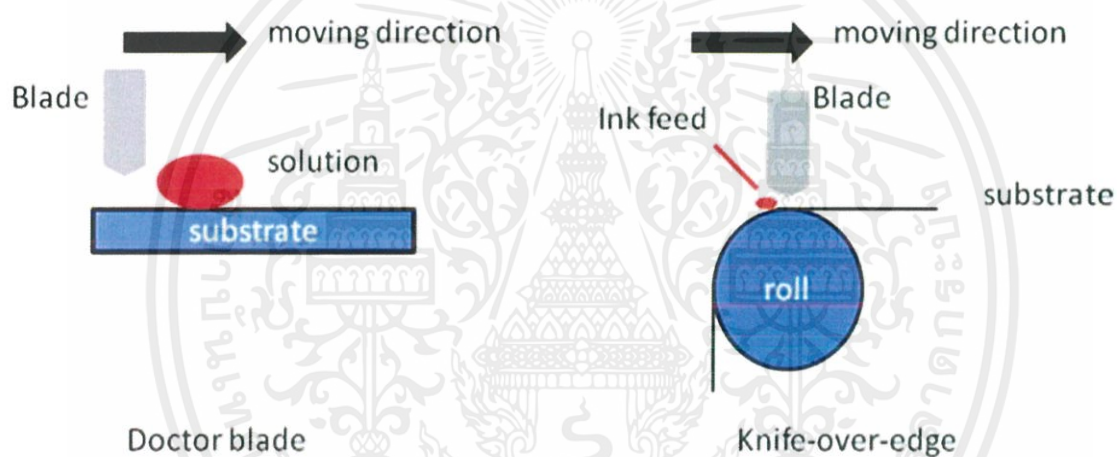
ภาพที่ 2.22 อุปกรณ์ในการสังเคราะห์ท่อคาบอนนาโนด้วยวิธีดีโพลีชันทางเคมี (Chemical vapor deposition ; CVD)

ถ้าเปรียบเทียบกระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนที่ใช้อุณหภูมิสูง กับกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำปานกลาง จะเห็นว่าทั้งสองวิธีต่างก็ให้ท่อนาโนที่มีสิ่งเจือปนด้วยกันทั้งคู่ ซึ่งสิ่งเจือปนที่มักพบในท่อนาโนที่สังเคราะห์ได้ คือ โครงสร้างอสัณฐานของคาร์บอน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลงเหลือ และ อนุภาคระดับนาโนของแกรไฟต์ เป็นต้น แต่กระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนที่ใช้อุณหภูมิต่ำมีข้อดีกว่าตรงที่เป็นวิธีนี้ให้โครงสร้างที่มีคุณภาพสูงกว่ากล่าวคือ ให้ท่อนาโนเพียงประเภทเดียว (เป็นท่อนาโนผนังชั้นเดียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ ท่อนาโนผนังหลายชั้นทั้งหมด) และสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนได้ แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถสังเคราะห์ปริมาณมากได้

2.5 เทคนิคการปลูกฟิล์มด้วยวิธีการปาดเคลือบ (Doctor Blade)

Doctor Blade เป็นเทคนิคการปลูกฟิล์มที่ต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ ลงบนฐานรองรับที่แข็งหรือ อ่อนตัวได้ ความหนาของฟิล์มควบคุมโดยระยะห่างระหว่างใบมีด กับ ฐานรองรับสำหรับห้องทดลองใบมีดจะเคลื่อนที่อยู่ในฐานรองรับที่ราบเรียบ แต่สำหรับการทำในโรงงาน เนื่องจากต้องการขนาดใหญ่ และ จำนวนมาก ใบมีดจึงจะถูกยึดติดไว้แล้ว เกิดการเคลื่อนที่ของฐานรองรับแทน แล้วมีการหยุดสารที่ต้องการเคลือบลงบริเวณผิวหน้าของใบมีดดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 วิธีการปาดเคลือบแบบใบมีดเคลื่อนที่และยึดติดอยู่กับที่

ในเทคนิคการปาดเคลือบนี้องค์ประกอบกว่าครึ่งของการความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับ ความเร็วของการเคลื่อนที่ของใบมีด หรือความเร็วของการปาด [20] แต่นอกจากนี้ก็มีปัจจัยอื่นที่ยังเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน คือ พลังงานพื้นผิวของฐานรองรับ, ความหนืดของพื้นผิวฐานรองรับ, ความหนืดของสารที่ต้องการเคลือบ และ อุณหภูมิของพื้นผิว ความหนาของชั้นฟิล์ม (d) ที่แห้งแล้วสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \frac{1}{2} \times g \times \frac{c}{\rho}$$

เมื่อ g คือ ความกว้างระหว่างใบมีดและฐานรองรับ

c คือ ความเข้มข้นของน้ำหมึกในหน่วย g/cm^3

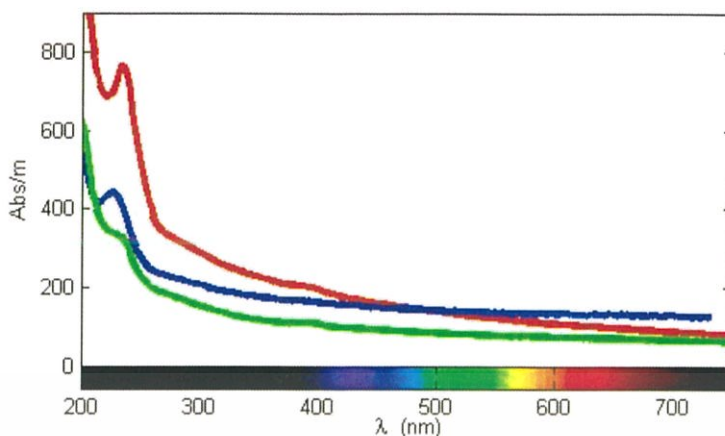
ρ คือ ความเข้มข้นของวัสดุในช่วงสุดท้ายของฟิล์ม g/cm^3 [21]

สำหรับห้องทดลองเทคนิคนี้ดึงดูดความสนใจเพิ่มมากขึ้น เพื่อการสร้างอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ต้องมีชิ้นการทำงานเหมือนขั้วไฟฟ้า บางการทดลองนำวิธีการปาดเคลือบ (Doctor Blade) มาใช้เคลือบเพียงชั้นเดียว แต่ก็ยังมีการนำวิธีนี้มาใช้โดยการปาดซ้ำหลายๆ ชั้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุดของอุปกรณ์ มีการนำวิธีการปาดเคลือบ (Doctor Blade) มาเปรียบเทียบกับวิธีการปั่นเหวี่ยง (Spin Coating) [21] พบว่าให้ประสิทธิภาพของช่างที่จะใกล้เคียงกันมาก แต่เนื่องจากวิธีการปาดเคลือบ (Doctor Blade) ทำได้ง่ายกว่าและต้นทุนต่ำกว่าการทำ วิธีการปั่นเหวี่ยง (Spin Coating) จึงทำให้เกิดความสนใจในวิธีนี้เพิ่มมากขึ้น

2.6 Spectroscopy (UV-Vis)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสี และ ไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพ และ ปริมาณเป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.24 ตัวอย่างการดูดกลืนแสง

2.6.1 ส่วนประกอบที่สำคัญ

Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่อง และ คงที่รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอตลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H2 and D2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตร และ ช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร เป็นต้น

Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือ Grating

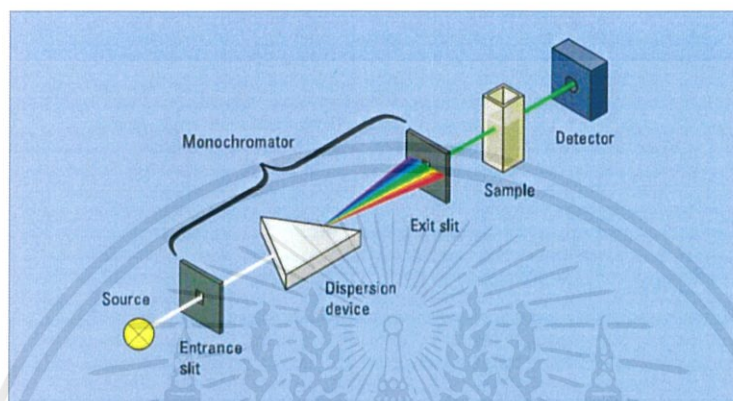
Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างบางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วง Visible เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และ ควอตซ์ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวี และ Visible

Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube, Silicon diode detector เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

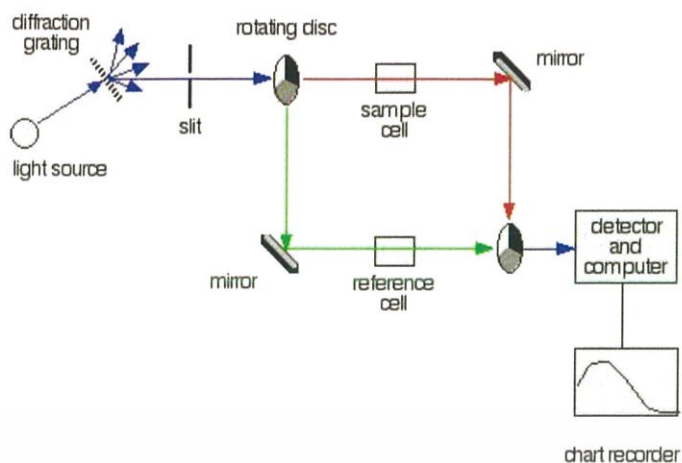
2.6.2 เครื่อง UV-Vis Spectroscopyที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

Single-Beam Spectroscopy เมื่อรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เนื่องจาก ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกันดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 Single-Beam Spectroscopy

Double-Beam Spectroscopy ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้แบบลำรังสีคู่ดังภาพที่ 2.26

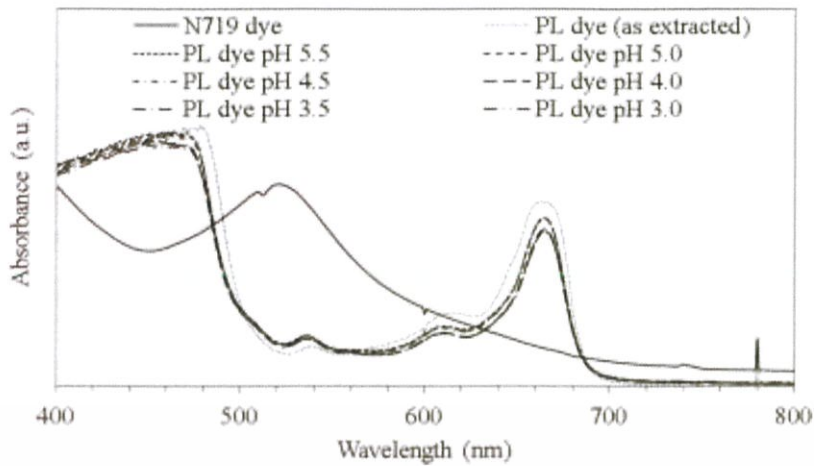


ภาพที่ 2.26 Double-Beam Spectroscopy

2.7 ทบทวนวรรณกรรม

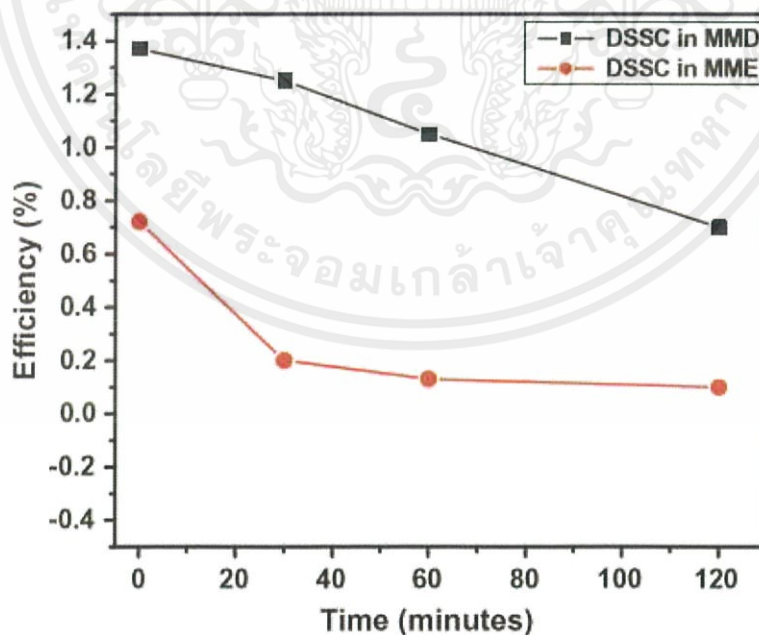
Trisma Jaya Saputra และ คณะ เริ่มเตรียมสีย้อมจากใบมะละกอนั้นทำได้โดย นำไปให้ความร้อนกับเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสโดยอัตราส่วนที่ ใบมะละกอต่อกับเอทานอล เป็น 1 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร เพื่อมาทำเป็นสีย้อมโดยมีการทดสอบปรับค่า pH โดยส่งผลต่อประสิทธิภาพ พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.5-4.0 โดยมีการทดสอบผลที่กระทบทำให้ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไป เริ่มจากการดูคลื่นแสงในค่า pH แต่ละตัวแปรดังภาพที่ 2.29 หลังจากนั้นนำไปทดสอบหาผลของประสิทธิภาพเทียบกับค่าของ N719 ซึ่งเป็นสีย้อมที่มีขายและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย หลังจากทดสอบรอบแรกแล้วจึงนำไปวางในที่ส่องสว่าง 1000 w/m^2 และควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมมีค่าประสิทธิภาพตกลงไปร้อยละ 35.6 แต่ สีย้อมที่ทำจากใบมะละกอกพบว่าตกลงไปเพียงร้อยละ 17.9 ในตอนแรกประสิทธิภาพของ N719 เริ่มที่ร้อยละ 0.87 แต่ ใบมะละกอกเริ่มที่ร้อยละ 0.28 แต่พบว่ามีการคงตัวของประสิทธิภาพที่มากกว่า [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.27 แสดงการดูดกลืนแสงเมื่อเปรียบเทียบกับ N719

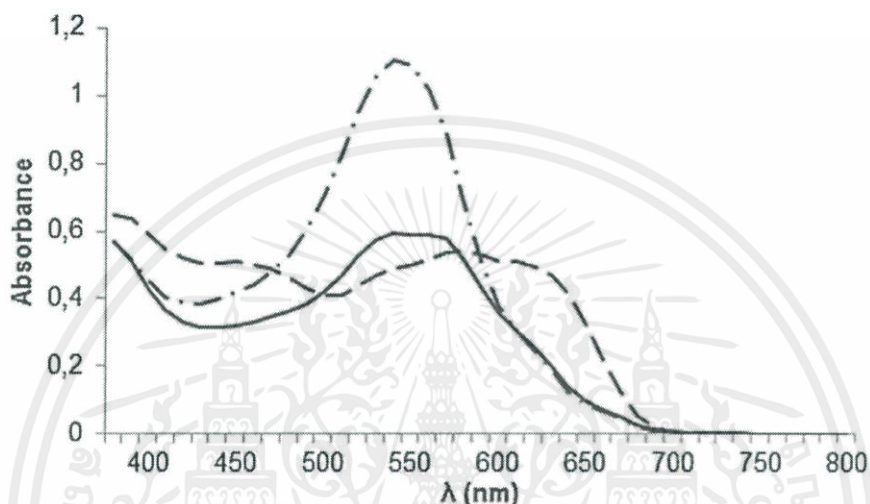
Lakshmi K. Sign, T. Karlo, และ A. Pandey ได้ศึกษาผลกระทบการสกัดสีเขียวจากผลของต้นโคลงเคลง หรือ อิกชื่อ สำเหร่ (*Melastoma malabathricum*) โดยการสกัดจะทำโดยเครื่อง Automatic Solvent extractor ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสทั้งจากน้ำปราศจากไอออน (D.I.) และ เมทานอลเพื่อสังเกตประสิทธิภาพที่ได้และผลของการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปด้วยวิธีการสกัดเดียวกัน ผลของค่าประสิทธิภาพดู [23] ได้จากภาพที่ 2.30



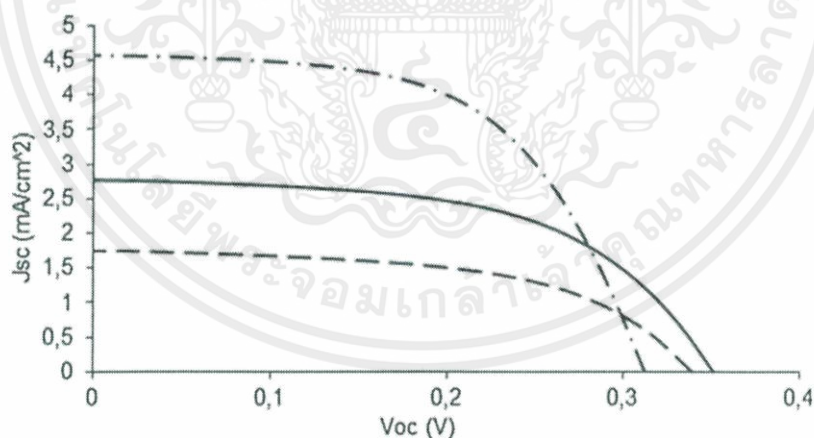
ภาพที่ 2.28 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน (MMD) และ เมทานอล (MME)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F.Teoli และ คณะ ได้ทำการทดสอบสีกัด เซอร์รี่, บลูเบอร์รี่, ราสเบอร์รี่ และ สตรอเบอร์รี่ จากนั้นหาประสิทธิภาพที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นบลูเบอร์รี่ที่สกัดจากเอทานอลร้อยละ 70 ได้ประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 1.13 หลังจากนั้นทางคณะทดลองได้ลองปรับเปลี่ยนค่า pH เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสงและค่า J_{sc} ตามภาพที่ 2.31 และ 2.32 ตามลำดับ ในการปรับค่า pH จะมีการนำกรดไฮดรอกลอลิก (HCl) เข้ามาช่วยปรับ จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมนั้นจะให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม [24]



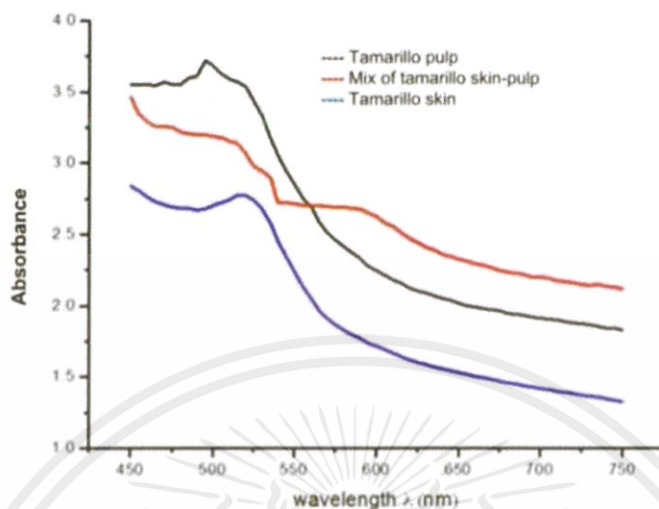
ภาพที่ 2.29 การดูดกลืนแสงของบลูเบอร์รี่ที่ค่า pH4(-.-), pH6(-), pH8(- -)



ภาพที่ 2.30 แสดงกระแส-ความต่างศักย์ pH4(-.-), pH6(-), pH8(- -)

Diah Susanti และคณะได้ทำการศึกษาวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม โดยใช้ขั้วเวิร์คกิง อิเล็กโทรดเป็น TiO_2 ซึ่งใช้การปั่นเหวี่ยง (Spin Coated) ลงบนกระจกนำไฟฟ้า (FTO) จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 650 และ 750 องศาเซลเซียสตามลำดับด้วยเวลาในแต่ละตัวอย่าง 60 นาที และ 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ที่ 650 องศาเซลเซียส 60 นาทีให้ค่าอยู่ที่ 542.5 mV และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

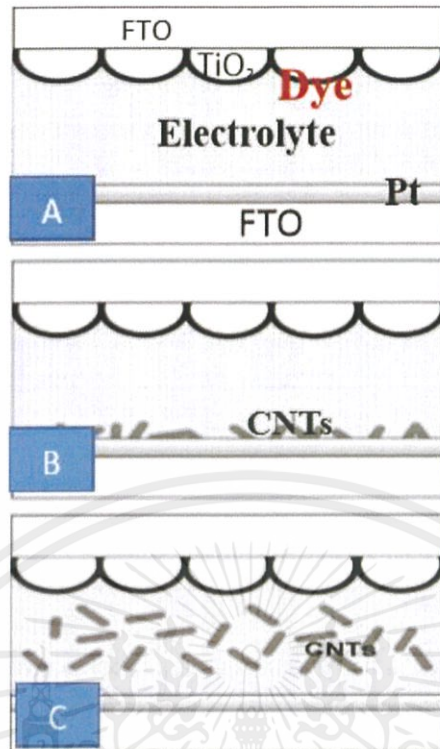
0.356 mAcM^{-2} และให้ประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 0.043 ทางผู้ทดลองได้ทดลองในการนำมะเขือเทศหลายๆส่วนมาผสมกันเพื่อหา ช่วงที่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [25] ดังภาพ 2.33



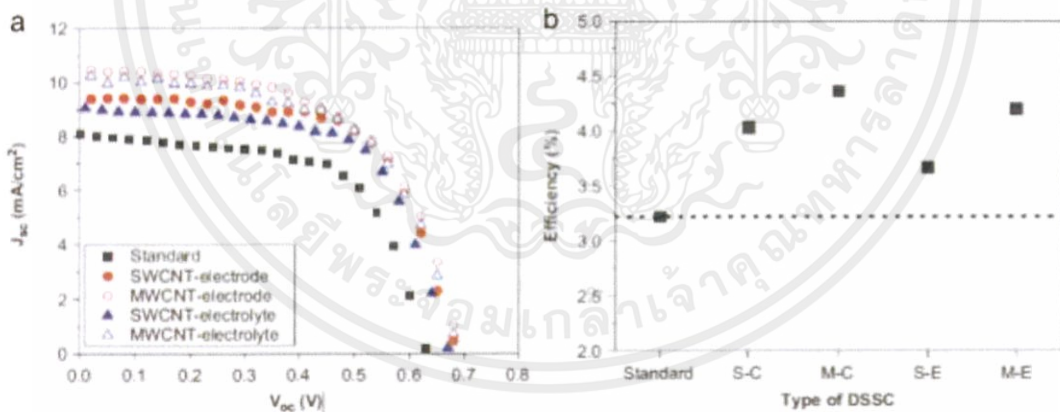
ภาพที่ 2.31 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสีส้มในภาพแบบต่างๆของมะเขือเทศ

Sung Uk Lee และคณะ [26] ได้ศึกษาการนำท่อนาโนคาร์บอนมาใส่ในชั้นแคโทด อิเล็กโทรดและสารอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยวที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 30 โดย น้ำหนัก และท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ชั้นแคโทด อิเล็กโทรดจะใช้เป็นกระจกนำไฟฟ้า (FTO) ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะใช้เป็น 50 มิลลิโมลาร์ (mM) ของไตรไอโอดายในอะซิโตนไทร (Tri-iodide in acetonitrile) โดยในภาพที่ 2.34 แสดง โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีส้มไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.32 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีการใส่ท่อคาร์บอนลงในขั้วแคโทดอิเล็กโทรดและสารละลายอิเล็กโทรไลต์



ภาพที่ 2.33 (a) กราฟความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า (b) กราฟค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวอย่าง

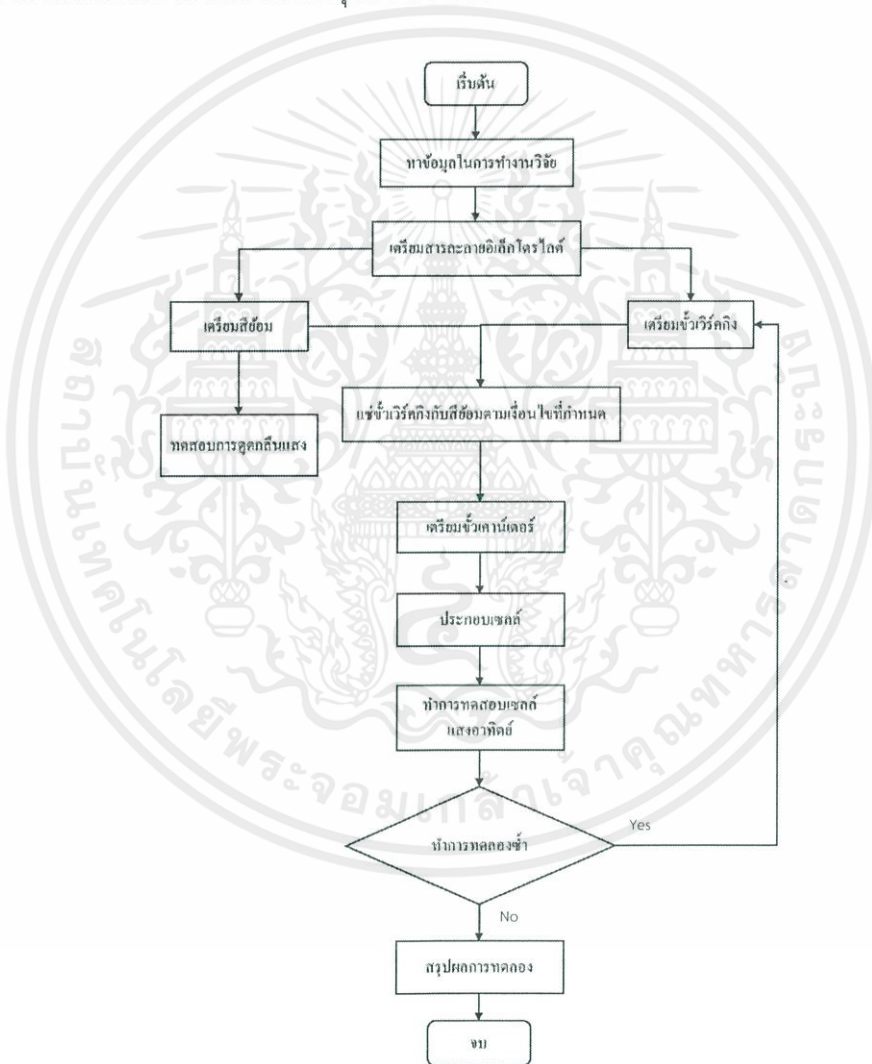
จากภาพที่ 2.35 แสดงให้เห็นว่าท่อคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่เคลือบอยู่บนขั้วอิเล็กโทรดให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงที่สุด โดยพบว่าค่ากระแสลัดวงจร (J_{sc}) มีค่าเท่ากับ $0.69 \text{ mA}/\text{cm}^2$ แรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) มีค่าเท่ากับ 10.55 V ฟิลด์แฟกเตอร์ (Fill factor) มีค่าเท่ากับ 0.60 และมีค่าประสิทธิภาพร้อยละ 4.36 โดยท่อคาร์บอนเป็นตัวเพิ่มปฏิกิริยาทางไฟฟ้า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบบของคลอโรฟิลล์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพที่สูงที่สุด ในปัจจัยที่แตกต่างกัน โดยมีการนำไปวัด Uv - Vis Spectrophotometer, Atomic Force Microscope (AFM), รวมถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำมาเทียบการสีชุบแบบ N719



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

3.1.1 การเตรียมกระจกนำไฟฟ้า

ในการทำงานวิจัยนี้ได้ใช้กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยทินออกไซด์ที่เจือด้วยฟลูออไรด์ (FTO) โดยจะนำมาตัดให้มีขนาดที่ 2×2 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปทำความสะอาดด้วย น้ำปราศจากประจุ (DI) อะซิโตน เมทานอล และ ไอโซโพรพานอล ด้วยวิธีอัลตราโซนิกอย่างละ 10 นาที จากนั้นนำไปเป่าแห้งด้วยความร้อนก่อนนำไปใช้

3.1.2 การเตรียมขั้วแคโทดอีเล็กโทรด

ในการทำงานวิจัยนี้ขั้วแคโทดอีเล็กโทรดจะใช้ในรูปแบบของ Carbon nanotube (CNT) เพื่อนำมาทำขั้ว

ขั้นตอนการทำขั้ว Carbon nanotube

- I. นำกระจก FTO ที่ผ่านการล้างมาติดเทปให้เหลือพื้นที่ 1×2 ตารางเซนติเมตร ในด้านที่นำไฟฟ้า
- II. จากนั้นนำ CNT ที่เตรียมไว้มาใช้ด้วยวิธีปาดเคลือบ ในช่วงพื้นที่ไม่ติดเทป โดยจะปาดให้ CNT เสมอโดยทั่วกัน
- III. นำกระจกที่ผ่านการปาดเคลือบแล้ว ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- IV. ในขั้นตอนสุดท้ายเราจะเลือก CNT ช่วงที่มีความเนียนและสม่ำเสมอที่สุดเพียงแค่ 1×1 ตารางเซนติเมตร ในส่วนที่เหลือเราจะนำกระจก FTO อีกชิ้นหนึ่งมาขูดออก

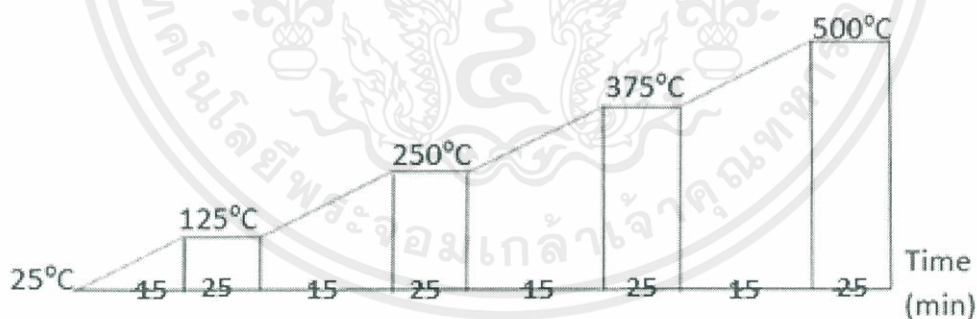
3.1.3 การเตรียมขั้วเวิร์คกิงอีเล็กโทรด

ในขั้วด้านเวิร์คกิงนั้นจะเป็นขั้วที่นำมาใช้กับสีย้อม โดยการเตรียมฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์เรา จะยังคงใช้วิธีการปาดเคลือบเช่นกันกับด้านขั้วแคโทดอีเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำซ้ำ

- I. นำกระจก FTO ขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร ที่ผ่านการล้างแล้วมาติดเทปให้เหลือพื้นที่เพียง 1×2 ตารางเซนติเมตร ในด้านที่นำไฟฟ้า
- II. นำไทเทเนียมออกไซด์ PST – 18NR มาปาดเคลือบลงบนพื้นที่ไม่ติดเทป
- III. นำไปให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสจนฟิล์มแห้งเกาะติดกระจก
- IV. ปาดไทเทเนียมออกไซด์ PST – 18NR และให้ความร้อนอีกครั้งจนฟิล์มครบทั้ง 3 ชั้น
- V. ในขั้นสุดท้ายเราจะนำไทเทเนียมออกไซด์แบบกระเจิงแสงชนิด PST – 400C ให้เป็นชั้นฟิล์มกระเจิงแสง
- VI. แล้วนำไปให้ความร้อน 70 องศาเซลเซียสเพื่อให้ฟิล์มเซทตัวก่อนจะนำไปเข้าเตาอบ
- VII. นำฟิล์มที่ปาดครบแล้วไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยจะมีการเพิ่มอุณหภูมิ 8 ขั้นตอนดังภาพที่ 29 เพื่อป้องกันการแตกของชั้นฟิล์ม แล้วปล่อยให้เย็นตัวจึงนำออกจากเตา
- VIII. จากนั้นนำซ้ำที่เผาเสร็จแล้วไปแช่ในสีย้อม โดยการแช่ต้องเก็บไว้ไม่ให้มีโดนแสง
- IX. เวลาในการแช่จะแบ่งเป็นช่วงเวลา เพื่อทดสอบเวลาต่อประสิทธิภาพโดยมี 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 วันตามลำดับ



ภาพที่ 3.2 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชั้นฟิล์มไทเทเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การเตรียมสีย้อม

สีย้อมเป็นส่วนที่ผลส่งประสิทธิภาพของ เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมค่อนข้างมากเนื่องจากสีเป็นส่วนที่ดูดกลืนแสง ในการเลือกสีเราควรเลือกสีที่สามารถดูดกลืนได้หลายช่วงจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงได้มากขึ้น

ขั้นตอนการเตรียมสีย้อมจากไบมะละกอ

- I. นำไบมะละกอที่เตรียมไว้มาล้างให้สะอาด
- II. ดึงส่วนที่เป็นก้านแข็งของไบออกแล้วสับให้ละเอียด
- III. นำไบมะละกอดมกับเอทานอลร้อยละ 96 ในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร
- IV. ให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง
- V. ในขั้นตอนสุดท้ายนำสีย้อมที่ต้มไว้ทิ้งรอให้เย็นตัว หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง

ขั้นตอนการเตรียมสีย้อมจาก N719

- I. นำสีย้อม N719 ขนด้วยแท่งชนกับเอทานอลด้วยอัตราส่วน 0.2 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร

3.1.5 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นระบบไอโอดีน/ไตรไอโอดีน (I^-/I_3^-) ให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นเพื่อให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากสีย้อมไวแสง เมื่อตอนได้รับแสงได้รับอิเล็กตรอน กับสีย้อมไวแสง โดยเตรียมได้จากสารละลายจากไอโอดีน 0.05 โมลต่อลิตร ลิเทียมไอโอดีน (LiI) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร สารละลายเตตระบิวทิลไพริดีน (4-tertbutylpyridine, TBP) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร และ อิมิดาโซเลียมไอโอดีน (Imidazolium iodide) เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ในตัวทำละลายคือสารละลาย 3-เมทอกซีโพรพิโอนิไตรล์ (3-methoxypropionitrile) ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายสีน้ำตาลเข้ม

3.1.6 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม

- I. นำแผ่นพาราฟิล์มมาตัดออกขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร
- II. นำแผ่นพาราฟิล์มที่ตัดแล้วไปวางลงบนขั้วเวิร์คกิ้งที่ผ่านการชุบสี และ ทำความสะอาดรอบไทเทเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- III. หยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้ทั่วขั้วเวิร์คกิง
- IV. นำขั้วแคโทดอิเล็กโทรดมาประกอบ แล้วหนีบด้วยคลิป

3.2 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม

- I. เปิดแสงไฟก่อนใช้งานจริง 30 นาทีเพื่อให้ไฟนิ่ง
- II. จากนั้นนำ Solar light reference cells มาเพื่อตั้งระยะของไฟให้ได้ตามค่าที่กำหนด
- III. เปิดโปรแกรมในคอมแล้วตั้งค่าการวัด



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ในการใช้วัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Solar light reference cells

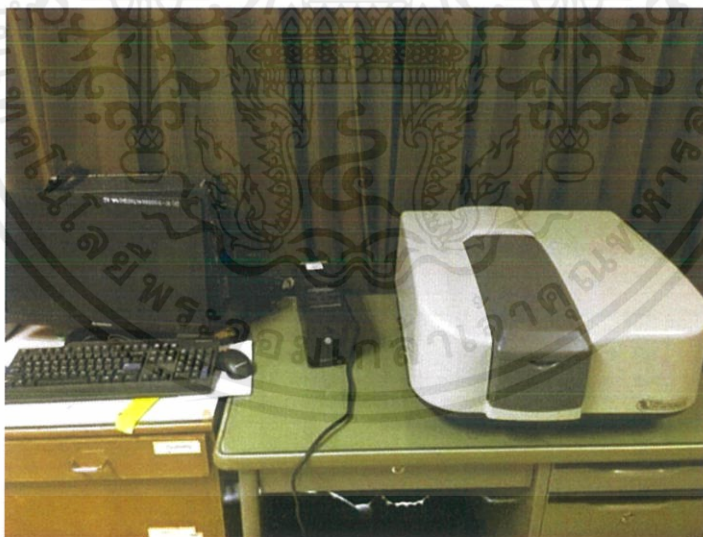
V_{oc}	0.5931 V
I_{sc}	0.1152 A
J_{sc}	29.333 mA/cm ²
Fill Factor	74.68%
IMAX	0.1051 A
Vmax	0.4854 V
Pmax	51.000 mW
Efficiency	12.99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- IV. ก่อนจะนำชิ้นบนฐานรับแสงเพื่อวัดให้หนีบด้วยขั้วบวกรัดด้านเคาน์เตอร์ และ ขั้วลบจับด้านเวิร์คคิง ระวังไม่ให้ขั้วไปโดนเพื่อป้องกันการลัดวงจร และควรจะต้องขั้วก่อนขึ้นเครื่องวัด เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพลดถ้อยอยู่ในแสงนานเกินไป
- V. วัด 3 รอบ ต่อ 1 ตัวอย่าง

3.3 การวัดค่าดูดกลืนแสงของสีย้อม

- I. เตรียมสีย้อมที่จะทำการวัดนำมาเจือจางกับเอทานอลร้อยละ 96
- II. จากนั้นเปิดเครื่อง Uv – Vis Spectroscopy พร้อมทั้งเปิดโปรแกรม
- III. เลือกการใช้งานในรูปแบบการดูดกลืนแสง
- IV. ทำ Base-line Air ก่อนนำสารเข้าวัด
- V. เตรียมสารในด้านของตัวอย่างใส่เอทานอลร้อยละ 96 แล้วนำสารที่ผ่านการเจือจางแล้วมาใส่ด้านที่วัด
- VI. การวัดจะวัดในช่วงคลื่นแสงตั้งแต่ 200 - 800 นาโนเมตร
- VII. เก็บข้อมูลของพีคมาเพื่อทำการตรวจสอบ



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ในการใช้วัดการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองจากการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยจะให้ความสำคัญที่เวลาในการแช่ขั้วเวิร์คกิ้งกับสีย้อม ซึ่งสกัดมาจากใบมะละกอ โดยจะใช้เวลาในการแช่ที่แตกต่างกันคือ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 วันตามลำดับที่โดยการวัดผล จะมีการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม และ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อดูผลที่เปลี่ยนแปลงไป และนำไปพัฒนาคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต่อไป



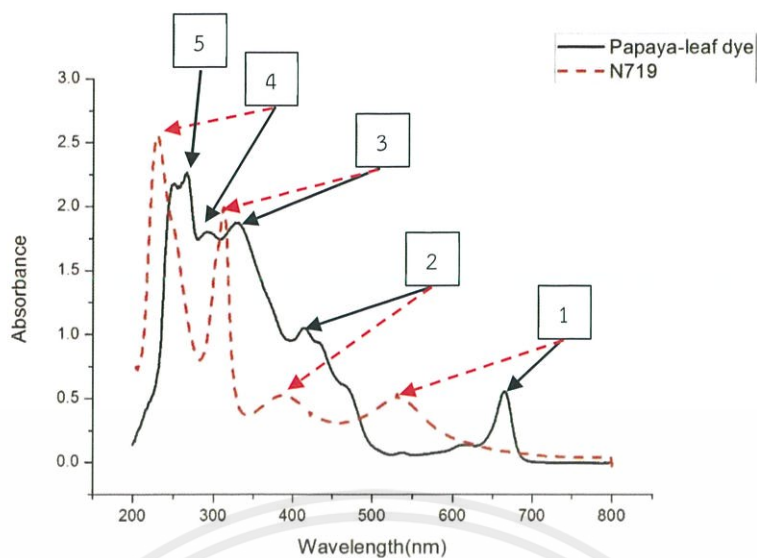
ภาพที่ 4.1 แสดงขั้วเวิร์คกิ้งหลังจากผ่านการแช่สีย้อม ; (ก) สีย้อมจากใบมะละกอ

(ข) สีย้อมจาก N719

4.1 การดูดกลืนแสงของสีย้อม

การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนั้น ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งเลยนั้นคือ สีย้อมการจะสกัดสารชนิดต่างๆมาทำสีย้อมนั้นควรคำนึงถึงเรื่องการดูดกลืนแสง เป็นส่วนประกอบสำคัญ ค่าของการดูดกลืนแสงควรมีจำนวนพีคที่มาก และมีช่วงที่ค่อนข้างจะกว้าง เพื่อที่จะได้มีการดูดกลืนแสงได้หลากหลายความยาวคลื่น ในการทดลองนี้จะใช้เครื่อง Uv – Vis Spectroscopy ในการทำการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการดูดกลืนแสงของสีย้อมจากใบมะละกอและ N719

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งพีคของสีย้อมจากใบมะละกอ

Peak	Wavelength(nm)	Absorbance
1	665	0.554
2	414	1.049
3	327	1.873
4	291	1.801
5	266	2.268

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งพีคของสีย้อม N719

Peak	Wavelength(nm)	Absorbance
1	531	0.532
2	388	0.521
3	312	1.993
4	230	2.562

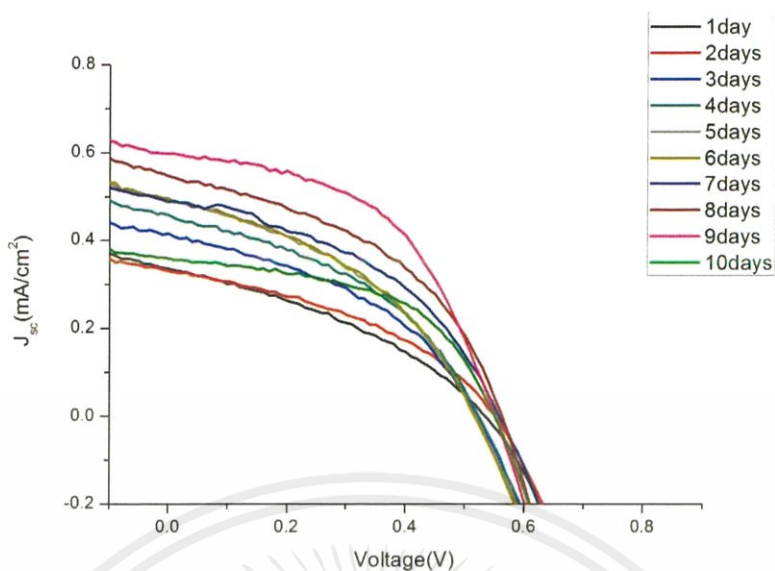
จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นการดูดกลืนแสงในช่วงของอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet; Uv)

200-400 นาโนเมตร ของใบมะละกอจะดูดกลืนทั้งช่วงแสง แต่ของสีย้อม N719 จะดูดกลืนเพียงสอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชที่เห็นได้ชัด ทำให้ช่วงการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตโบมะละกอสามารถดูดกลืนได้ค่อนข้างดีกว่า แต่ในช่วงต่อมาซึ่งเป็นแสงช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) ในด้านโบมะละกอนั้นจะดูดกลืนได้ดีในช่วงต้นคือ 400-500 และ 600-700 นาโนเมตร ส่วนสีย้อม N719 จะดูดกลืนได้ดีในช่วง 400-600 นาโนเมตร ทำสีย้อมทั้งสองรูปแบบการดูดกลืนแสงช่วง Visible เกิดขึ้นเกือบตลอดช่วง แต่ในการทดสอบด้วยเครื่อง Uv-Vis Spectroscopy การเจือจางสีย้อมจากโบมะละกอ และ N719 ด้วยอัตราส่วนต่อเอทานอลเป็น 0.2:3 และ 0.01:3 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบพืชที่สูงที่สุดของทั้งสองตัวค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในส่วนการทดสอบด้วยเครื่องดังกล่าวสามารถพิจารณาความเข้มข้นได้จากการดูดกลืนเช่นกัน ความเข้มของสีจะแปรผันตามการดูดกลืนแสง ยิ่งค่าการดูดกลืนแสงยิ่งมากแสดงให้เห็นความเข้มของสี และ ในการเจือจางของสีย้อมต่างกันอยู่ประมาณ 20 เท่า แสดงให้เห็นความเข้มของสีย้อมแบบ N719 มากกว่าของสีย้อมจากโบมะละกอ [27]

4.2 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

หัวข้อของประสิทธิภาพนั้นเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของการทำเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะชนิดสีย้อมไวแสงนั้น ยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างที่จะละเอียดอ่อน การเพิ่มหรือลดนั้นมีสาเหตุเกิดจากหลายอย่างเช่น โครงสร้าง ขนาด ชนิด ของทั้งขั้วเวิร์คกิง และ ขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด เวลาในการแช่ความเป็นกรดเบสของสีย้อม และ อื่นๆ ในหลายส่วนส่งผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบเวลาในการแช่สีย้อมจากโบมะละกอซึ่งสกัดด้วยเอทานอล และ ตรวจสอบประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลง

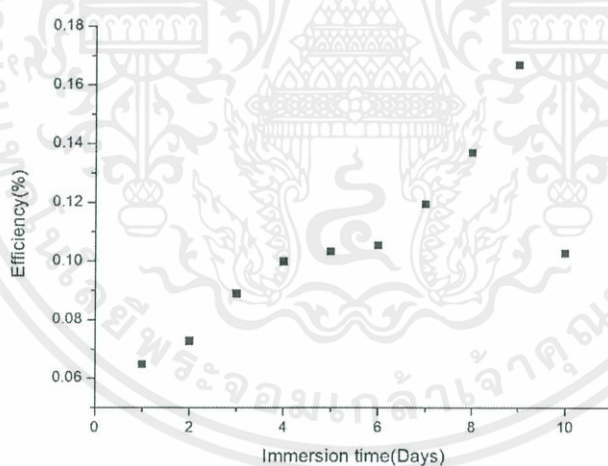


ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.3 จะพบว่าค่าของความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่ (short circuit current density; J_{sc}) เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มในการแช่ขั้วเวิร์คคิงในสีย้อม แต่จากกราฟที่ค่า J_{sc} ที่มากที่สุดอยู่ที่ 9 วัน และเมื่อถึงวันที่ 10 ได้ตกลงมาตามตารางที่ 4.3 ในการเพิ่มขึ้นเกิดได้จากปัจจัยหลายอย่างที่แตกต่างกันออกไป ทุกส่วนล้วนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้วยกันซึ่งความหนาของชั้นฟิล์มและอายุการใช้งานไทเทเนียม มีผลต่อ เวลาในการแช่ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพแต่ละเวลาการแช่

immersion time(day)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	Fill Factor	Efficiency(%)
1	0.335	0.335	536	0.360	0.065
2	0.330	0.330	552	0.398	0.073
3	0.415	0.415	518	0.413	0.089
4	0.458	0.458	524	0.416	0.100
5	0.489	0.489	519	0.407	0.103
6	0.496	0.496	517	0.411	0.105
7	0.488	0.488	557	0.439	0.119
8	0.547	0.547	563	0.445	0.137
9	0.598	0.598	553	0.505	0.167
10	0.359	0.359	551	0.519	0.103

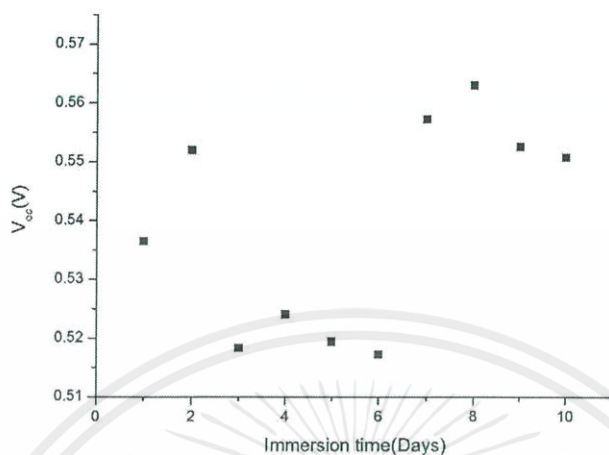


ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลาในการแช่สีย้อม

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่ และมีประสิทธิภาพที่มากที่สุดอยู่ที่ 9 วัน ก่อนจะเริ่มลดลงในเงื่อนไขสุดท้าย ทำให้สอดคล้องกับภาพที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าของ J_{sc} สัมพันธ์กับค่าของประสิทธิภาพ และ เวลาในการแช่อีกเช่นกัน ในส่วนของเงื่อนไขสุดท้าย

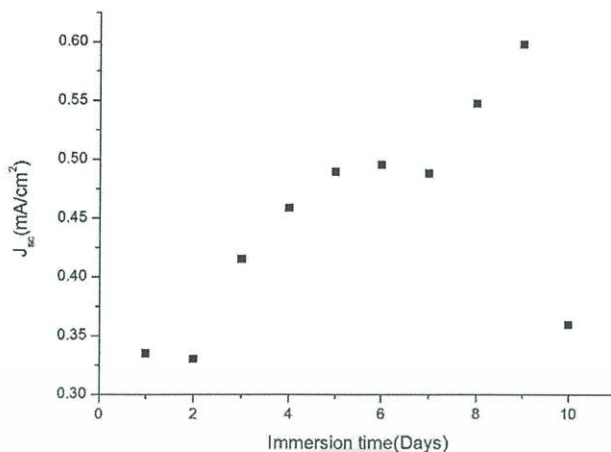
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แสดงถึงการลดลงนั้น มาจากอายุของไทเทเนียม และ เมื่อการแช่ยาวนานขึ้นส่งผลกับสีที่เข้มขึ้น จึงทำให้การผ่านของแสงลดน้อยลงแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกัน [28]



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Voltage open circuit; V_{oc}) กับเวลาในการแช่สีย้อม

ค่าของ V_{oc} ที่เปลี่ยนแปลงไปตามในแต่ละเงื่อนไขแสดงอยู่ในภาพที่ 4.5 ซึ่งค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุด คือ 563 mV ในเงื่อนไข 8 วัน และ 517 mV ที่ 6 วัน ตามลำดับ เมื่อนำกราฟของ V_{oc} มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.4 จะทราบว่ากราฟทั้งสองไม่สัมพันธ์กัน แต่ในกราฟนี้ทำให้สามารถทราบได้ว่าเวลาในการแช่ในแต่ละเงื่อนไขมีส่วนส่งผลต่อค่า V_{oc} ด้วยเช่นกัน และ ยังแสดงให้เห็นทราบว่าเวลาในการแช่ส่งผลต่อระดับ HOMO – LUMO เนื่องจาก V_{oc} แปรผันโดยตรงกับค่าของช่องว่างระดับพลังงาน (Energy gap) [29]

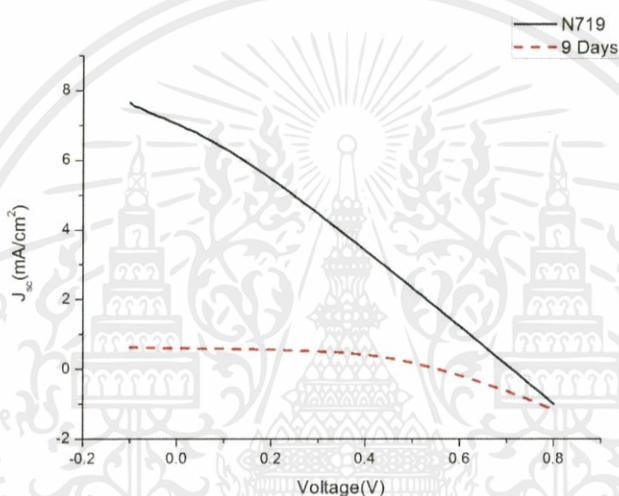


ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่ (short circuit current density; J_{sc}) กับ เวลาในการแช่สีย้อม

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่าของ J_{sc} ซึ่งจะพบค่าที่มากที่สุด 0.598 mA ในเงื่อนไขการแช่ที่ 9 วัน และ ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ในเงื่อนไข 2 วัน คือ 0.330 mA เมื่อนำภาพที่ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟของประสิทธิภาพมาเปรียบเทียบ จะพบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน เงื่อนไขที่มีค่ามากที่สุดของทั้งสองกราฟ เป็นตำแหน่งเดียวกันที่ 9 วัน เพราะฉะนั้นทำให้ทราบได้ว่า เวลาในการแช่สีย้อมส่งผลต่อค่า J_{sc} ซึ่งแปรผันตรงกันประสิทธิภาพ ในหลายการศึกษาเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมแสดงให้เห็นว่าค่าของ J_{sc} มาจากความสามารถการดูดซึมสีย้อม ซึ่งมีอิทธิพลมาจากหลากหลายเรื่อง ไม่ว่าจะเป็นชนิดหรือโครงสร้างของขั้วเวิร์คคิง ค่าความเป็นกรด-เบสของสีย้อม ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม และอื่นๆ [30-33] จากการศึกษาในหลากหลายงานวิจัยทำให้ทราบว่าในเงื่อนไขของเวลาในการแช่สีย้อมจากใบมะละกอในงานวิจัยนี้ ส่งผลต่อค่า J_{sc} ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังมีการแช่ในเงื่อนไขของเวลาที่มากขึ้นนั้นทำให้ขั้วเวิร์คคิงสามารถดูดซับสีย้อมได้ดีมากขึ้น แต่ในเงื่อนไขเวลาสุดท้ายหรือ วันที่ 10 นั้น ค่าประสิทธิภาพลดลง เนื่องจาก เมื่อมีการดูดซึมสีย้อมมากขึ้นทำให้การผ่านของแสงลดน้อยลง จึงทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นกัน [28]

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าประสิทธิภาพของสีย้อม N719 เทียบกับสีย้อมจากใบมะละกอ

	N719	Papaya-leaf 9 days
I_{sc} (mA)	7.038	0.598
J_{sc} (mA)	7.038	0.598
V_{oc} (mV)	711	553
Fill Factor	0.276	0.505
Efficiency(%)	1.379	0.167



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่และแรงดันไฟฟ้าของสีย้อม N719 และ เงื่อนไขการแช่ที่ 9 วัน

จากภาพที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบเงื่อนไขของสีย้อมใบมะละกอที่ดีที่สุด กับ N719 สีย้อมที่มีการใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งทำในรูปแบบที่เหมือนกันเพื่อนำมาตรวจสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้สีย้อมจากธรรมชาติ เห็นได้ชัดว่าประสิทธิภาพของสีย้อมจากใบมะละกอจะค่อนข้างต่างกับ N719 อยู่ค่อนข้างมากจากตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพที่น้อยกว่าคาดว่าจะเกิดจากความเข้มข้นของสีย้อม จากผลของ Uv-Vis Spectroscopy สีย้อมจาก N719 ต้องเจือจางมากกว่าสีย้อมจากใบมะละกอ และจากที่กล่าวมาข้างต้นว่าค่า J_{sc} เป็นผลมาจากการดูดกลืนสีของขั้วเวิร์คกิง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าประสิทธิภาพ จากความเข้มข้นที่ต่างกันมากทำให้ในเงื่อนไขของ N719 สามารถดูดซับสีย้อมได้มากกว่า แต่ยังมีข้อเสียอยู่ที่เมื่อการดูดซับสีเกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพเนื่องจากการผ่านของแสงได้น้อยลงเช่นกัน [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนองานวิจัยการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งศึกษาผลกระทบของเวลาในการแช่ขั้วเวิร์คกิงที่เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง และใช้ขั้วเคาน์เตอร์เป็นท่อนาโนคาร์บอนโดยวิธีการปาดเคลือบเช่นเดียวกับขั้วเวิร์คกิง พร้อมทั้งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบสารละลายครุฑดอกซ์ของ ไอโอดี-ไตรไอโอดี (I^- / I_3^-) โดยจะแบ่งเวลาการแช่สีย้อมเป็น 10 เงื่อนไข ก่อนจะนำเงื่อนไขที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ไปเปรียบเทียบกับสีย้อม N719 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

- I. สีย้อมที่สกัดจากใบมะละกอซึ่งเป็นคลอโรฟิลล์ จะดูดกลืนแสงได้ดีในช่วง 200-500 นาโนเมตร
- II. ความเข้มข้นของสีย้อมจากใบมะละกอที่สกัดอัตราส่วนเอทานอล 1 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร ยังคงมีความเข้มข้นน้อยกว่าของสีย้อม N719 ซึ่งใช้อัตราส่วน 0.2 กรัม ต่อ 10 มิลลิลิตร อยู่ค่อนข้างมาก
- III. เงื่อนไขของเวลาการแช่สีย้อมที่ดีที่สุดอยู่ที่ 9 วัน ซึ่งให้ประสิทธิภาพอยู่ที่ 0.167% และยังมีค่า J_{sc} มากที่สุดอยู่ที่ 0.598 mA
- IV. ผลกระทบที่เกิดจากเวลาการแช่ มีการเปลี่ยนตำแหน่งของ HOMO-LUMO เนื่องจากค่า V_{oc} ซึ่งเป็นผลมาจากแถบพลังงาน (Band gap) เปลี่ยนแปลงไป
- V. ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามค่าของ J_{sc} ซึ่งเกิดจากการดูดซับสีของชั้นขั้วเวิร์คกิงกับสีย้อมที่เพิ่มมากขึ้นตามเงื่อนไข
- VI. ประสิทธิภาพที่ได้จากสีย้อม N719 อยู่ที่ 1.379% ซึ่งยังคงมากกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากสีย้อมจากใบมะละกออยู่ค่อนข้างมาก

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสีย้อมจากธรรมชาตินั้นสามารถนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ แต่ในด้านประสิทธิภาพของสีย้อมจากธรรมชาติยังคงน้อยกว่าจากการสังเคราะห์ซึ่งมีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ แต่ในความสำเร็จในการเลือกพัฒนาสีย้อมจากธรรมชาติ คือราคาที่ถูกกว่ามากพร้อมทั้งยังมีความสะดวกในการสกัด การพัฒนาประสิทธิภาพจากงานวิจัยด้วยเงื่อนไขเวลาในการแช่สีย้อมนั้นก็ยังคงทำให้เพิ่มขึ้น ทำให้รู้ว่าการพัฒนาสีย้อมจากธรรมชาติยังคงทำได้อีก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายวิธีเพื่อพัฒนาให้สามารถนำมาใช้แทนสีย้อมสังเคราะห์ และลดต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

5.2 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนั้นควรคำนึงถึงทุกส่วน การพัฒนาประสิทธิภาพแม้จะเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะสีย้อมจากธรรมชาติซึ่งมีความสนใจกันเป็นจำนวนมาก การทดลองนั้นสำคัญที่สุดในด้านของสีย้อม ตัวอย่างเช่น ความเป็นกรด-เบสของสีย้อม ซึ่งการใช้กรดเบนโซอิกมา (Benzoic acid) ปรับค่า pH นั้น ส่งผลต่อพันธะและโครงสร้างต่าง จึงควรศึกษาพัฒนาต่อไปเพื่อนำมาใช้แทนสีย้อมซึ่งสังเคราะห์จากโลหะหนักที่มีราคาค่อนข้างสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] "Bell Labs Demonstrates the First Practical Silicon Solar Cell", APS News (American Physical Society), vol. 18, pp. 4-8, 2009.
- [2] according to Marius Paulescu and others Weather Modeling and Forecasting of PV System Operations, Springer Verlag 2013, S.1.
- [3] ปรากฏการณ์ที่รอยต่อพี-เอ็น เมื่อได้รับแสงจะเกิด อิเล็กตรอนและโฮลอิสระขึ้น ซึ่งแรงดันภายในพี-เอ็นจะทำให้ประจุอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากกัน ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตขึ้นที่ปลายทั้ง 2 ของรอยต่อพี-เอ็น, [วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี]
- [4] Peter Gevorkian, Sustainable energy systems engineering: the complete green building design resource, McGraw-Hill Professional. pp. 498-. ISBN 978-0-07-147359-0. Retrieved 29 February 2012.
- [5] "The Nobel Prize in Physics 1921: Albert Einstein", Nobel Prize official page
- [6] "Light sensitive device" U.S. Patent 2,402,662 Issue date: June 1946.
- [7] K. A. Tsokos, "Physics for the IB Diploma", Fifth edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2008, ISBN 0-521-70820-6.
- [8] Perlin, John (2004). "The Silicon Solar Cell Turns 50". National Renewable Energy Laboratory. Retrieved 5 October 2010.
- [9] Perlin, (1999), p. 50
- [10] C. Hu and R.M. White, "Solar Cell: From Basic to Advanced Systems", McGraw-Hill, New York, vol. 5, pp. 53-59, 1983
- [11] Professor Grätzel, millennium technology grand prize for dye-sensitized solar cells, Technology Academy Finland, 14 June 2010
- [12] 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. 583-588, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] J. B. Baxter, and E. S. Aydil, "Dye-sensitized solar cells based on semiconductor morphologies with ZnO nanowires", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 90, pp. 36-44, 2006.
- [14] J. H. V. Elbe and S. J. Schwartz, *Colorants*. In *Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.
- [15] J. H. V. Elbe and S. J. Schwartz, *Colorants*. In *Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.
- [16] Iijima, Sumio, "Helical microtubules of graphitic carbon", *Nature* 354 (6348): 56–58.
- [17] *J Nanosci Nanotechnol.* 2005 May;5(5):747-52, Synthesis of carbon nanotubes by arc discharge in open air.
- [18] T. Guo, P. Nikolaev, A. Thess, D.T. Colbert and R.E. Smalley, Catalytic growth of single-walled nanotubes by laser vaporization, *Chem. Phys. Lett.*, 1995, 243, 49-54.
- [19] A. Magrez, J.W. Seo, V.L. Kuznetsov and L. Forró, *Angew, Chem. Int. Ed.* 46, 441 (2007).
- [20] Krebs et. al, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2009.
- [21] Schmidt-Hansberg et. al, *ACS Nano* 2011.
- [22] Suyitno.S, (2015), stability and efficiency of dye-sensitized solar cells based on papaya-leaf dye, *Maret University*.
- [23] Lakshmi k. singh, (2014) performance of fruit extract of *Melastoma malabathricum L.* as sensitizer in DSSCs, Department of Physics, North Eastern Regional Institute of Science and Technology.
- [24] F. Teoli, (2015), Role of pH and pigment concentration for natural dye-sensitized solar cells treated with anthocyanin extracts of common fruits, *University di Roma Tor Vergata*.
- [25] Diah Susanti, (2014), The Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) from TiO₂ and Tamarillo Extract, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*.

- [26] U.L. Sung, and S.C. Won, “A comparative study of dye-sensitized solar cells added carbon nanotubes to electrolyte and counter electrodes”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, pp. 680-685, 2010.
- [27] S. Shalinia, R. Balasundara prabhua,n, S. Prasannaa, Tapas K. Mallickb, S. Senthilarasub, Review on natural dye sensitized solar cells: Operation, materials and methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 51, November 2015, Pages 1306–1325
- [28] Roberto Tagliaferro, Daniele Colonna, Thomas M. Brown, Andrea Reale, and Aldo Di Carlo, Interplay between transparency and efficiency in dye sensitized solar cells. *Via del Politecnico 1, 00133, Rome Italy*
- [29] WCH Choy, *Organic Solar Cells: Material and Device Physics*, Springer, London, 2013.
- [30] H. Chang, Y.J. Lo, Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells, *Sol. Energy* 84 (2010) 1833-1837.
- [31] K. Wongcharee, V. Meeyoo, S. Chavadej, Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 91 (2007) 566-571.
- [32] H. Chang H.M. Wu, T.L. Chen, K.D. Huang, C.S. Jwo, Y.J. Lo, Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomea, *J. Alloys Compd.* 495 (2010) 606-610.
- [33] K.V. Hemalatha, S.N. Karthick, C.J. Raj, N.y. Hong, S.K. Kim, H.J. Kim, Performance of *Kerria japonica* and *Rosa chinensis* flower dyes as sensitizers for dye-sensitized solar cells, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 92 (2008) 1341-1346.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายณัฐกร มั่นจิตต์
วัน-เดือน-ปีเกิด	1 พฤศจิกายน 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 191/15 หมู่1 หมู่บ้านข.รุ่งเรือง6 ถนนบาง กรวย-ไทรน้อย ตำบลบางรักพัฒนา อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2554 จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษา ที่โรงเรียน อัสสัมชัญธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2555 เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน วิทยาลัยนาโน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้