

สื่อย้อมธรรมชาติจากใบไม้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

นางสาวณิชาภา เจนกลีกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NATURAL DYES FROM LEAVES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS

Ms. Nichapa Jankasikit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering Chulalongkorn University
Academic year 2008 Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สีย้อมธรรมชาติจากใบไม้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
โดย	นางสาว ณิชากา เจนกลีกิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์)

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. อติศักดิ์ ไสยสุข)

นางสาวนิชาภา เจนกลกิจ : สีย้อมธรรมชาติจากใบไม้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.
(NATURAL DYES FROM LEAVES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS) อ. ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพร โทณานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. ชัญชนา
ธนชยานนท์ , 105 หน้า.

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเตรียมขึ้นโดยใช้สารสกัดจากใบไม้เป็นสีย้อมไวแสง ใบไม้ที่นำมา
สกัดสีย้อม คือ มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* Linn.) คริสตินา (*Syzygium campanulatum*
Korth.) หว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) ชมพู่มะเหมี่ยว (*Syzygium malaccense* (L.) Merrill & Perry.)
และเทียนกิ่ง (*Lawsonia inermis* Linn) สกัดโดยใช้สารละลาย 2 ชนิด คือ น้ำ และ เอทานอล สีย้อมที่สกัดได้มี
การดูดกลืนแสงของสีย้อม การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ในช่วงความยาวคลื่นสั้น เซลล์
แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบไม้มีกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) 0.08-0.78 มิลลิแอมแปร์ ความต่างศักย์เปิด
วงจร (V_{oc}) 0.23-0.64 โวลต์ ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) 0.30-0.ค8 และประสิทธิภาพรวม 0.013-0.3 % ภายใต้สภาวะ
แสงจำลอง AM 1.5 เมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมไวแสงจากใบไม้ทั้ง 6 ชนิด เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารสกัดจากใบ
มะม่วงหิมพานต์เป็นสีย้อมไวแสงให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยสีย้อมไวแสงที่สกัดโดยใช้น้ำให้ประสิทธิภาพสูง
กว่าเอทานอล เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
0.78 มิลลิแอมแปร์ ความต่างศักย์เปิดวงจร 0.63 โวลต์ ฟิลล์แฟกเตอร์ 0.60 และประสิทธิภาพรวม 0.3 %
นอกจากนี้มีการใช้สารส้ม (อะลูมิเนียมซัลเฟต) เป็นสารเติมเพื่อช่วยในการย้อมสี พบว่าเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้สีย้อมที่
สกัดจากใบไม้ 3 ชนิดคือ คริสตินา หว้า และชมพู่มะเหมี่ยว เมื่อมีการใช้สารเติมมีฟิลล์แฟกเตอร์ และ
ประสิทธิภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

5170566921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: natural dye /dye sensitized solar cell / leaves / flavonoid

NICHAPA JANKASIKIT :. NATURAL DYES FROM LEAVES FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS THESIS ADVISOR : ASST.PROF. NATTAPORN TONANON D.Eng., THESIS COADVISOR : CHANCHANA TANACHAYANON, Ph.D., 105 pp.

Dye sensitized solar cells (DSSCs) were assembled using natural dyes extracted from leaves as sensitizers. Cashew (*Anacardium occidentale Linn.*), Christina (*Syzygium campanulatum Korth.*), Jambolan Plum(*Syzygium cumini (L.) Skeels*), Pomerac (*Syzygium malaccense (L.) Merrill & Perry.*) and Henna (*Lawsonia inermis Linn*) leaves are extracted by 2 kinds of solvent; water and ethanol. The short circuit current (I_{sc}) from 0.08 mA/cm^2 to 0.78 mA/cm^2 , the open circuit voltage (V_{oc}) from 0.23 V to 0.64 V, the fill factor (ff) from 0.30 to 0.88, and conversion efficiency from 0.013 to 0.3 % were obtained from the DSSCs sensitized with natural dye extracted from leaves. It was found that dyes extracted by using water were more efficient than ethanol. The best solar energy conversion efficiency (0.30%) was obtained by cashew leaf dye that, under AM 1.5 illumination, achieved up to $I_{sc} 0.78 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc} 0.68 \text{ V}$ and fill factor 0.60. Moreover, Alum (Aluminum sulfate) were added as additive. It was found that fill factor and the overall efficiency of DSSCs using dye extracted from 3 kind of leaves; Christina ,Jambolan Plum and Pomerac , were enhanced by Alum.

Department Chemical Engineering
 Field of study Chemical Engineering
 Academic year 2008

Student's signature.....
 Advisor's signature.....
 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากหลายๆฝ่ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ณัฐพร โทณานนท์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกสิ่ง จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และอาจารย์ ดร. อติศักดิ์ ไสยสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTEC) และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) ภายใต้สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.)

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อภินันท์ สุทธิธารวัช ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ.ที่นี้ด้วย สำหรับคุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีควอนตัมและการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า.....	4
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	5
2.2.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	5
2.2.2 กระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อม.....	6
2.3 สีย้อมไวแสง.....	7
2.3.1 รายงานการใช้สีย้อมไวแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	7
2.3.2 สีย้อมจากธรรมชาติและแทนนิน.....	12
2.3.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง.....	16
3. วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	19
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.3 ขั้นตอนและการวิจัย.....	21
3.4 วิธีการทดลอง.....	22
3.4.1 วิธีการเตรียมอิเล็กโทรด และการเตรียมเซลล์ไฟฟ้า.....	22
3.4.2 วิธีการเตรียมสีย้อม.....	22

บทที่	หน้า
3.4.3 วิธีการย้อมสี.....	23
3.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางแสง.....	24
3.4.5 การวัดประสิทธิภาพเซลล์.....	24
3.4.6 การวัดเสถียรภาพสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์.....	25
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
4.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์.....	26
4.1.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อม.....	26
4.1.2 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์.....	28
4.1.3 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย.....	30
4.1.4 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	33
4.1.5 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	36
4.1.6 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสี.....	39
4.1.7 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	42
4.2 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	53
4.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำ และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	53
4.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และมีการใช้สารเติมขณะย้อมสี.....	55
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	63

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2. 1 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากผลและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด สีย้อมไวแสง	9
ตารางที่ 2. 2 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากดอกและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง.....	10
ตารางที่ 2. 3 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากพืช และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง.....	11
ตารางที่ 2. 4 การดุดกคลื่นแสงของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 3.1 ชนิดใบไม้ ตัวทำละลาย และการใช้สารเติมของตัวอย่างในการทดลอง.....	23
ตารางที่ 4. 1 ตารางเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ความต่างศักย์เปิดวงจร และ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดย ใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	54
ตารางที่ 4. 2 ตารางเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ความต่างศักย์เปิดวงจร และ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้ สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารขณะย้อมสี.....	56
ตารางที่ ข 1 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	65
ตารางที่ ข 2 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย	67
ตารางที่ ข 3 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี.....	69
ตารางที่ ข 4 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี	71
ตารางที่ ข 5 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย.....	73
ตารางที่ ข 6 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบคริสตินาโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	75
ตารางที่ ข 7 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี	77

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ข 8 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบคริสตินาใช้สารเติมขณะย้อมสี.....	79
ตารางที่ ข 9 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ชมพู่มะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	81
ตารางที่ ข 10 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบชมพู่มะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย	83
ตารางที่ ข 11 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบชมพู่มะเหมี่ยวที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี	85
ตารางที่ ข 12 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบชมพู่มะเหมี่ยวที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี.....	87
ตารางที่ ข 13 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	89
ตารางที่ ข 14 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	91
ตารางที่ ข 15 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี.....	93
ตารางที่ ข 16 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี	95
ตารางที่ ข 17 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบหว่าโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	97
ตารางที่ ข 18 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบหว่าโดยใช้เอทานอลละลาย.....	99
ตารางที่ ข 19 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบหว่าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี	101
ตารางที่ ข 20 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจาก ใบหว่าที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี.....	103

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ 2. 1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ ไปสู่ แถบการนำเมื่อได้รับพลังงาน	5
รูปที่ 2. 2 ส่วนประกอบและกระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	7
รูปที่ 2. 3 กลไกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวSnO ₂ และการสร้างพันธะของสีย้อม Rose Bengal กับ อลูมิเนียม.....	11
รูปที่ 2. 4 โครงสร้างโมเลกุลและการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์	12
รูปที่ 2. 5 โครงสร้างโมเลกุลของบิซิน (bixin)	12
รูปที่ 2. 6 โครงสร้างโมเลกุลของคีโนน.....	13
รูปที่ 2. 7 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์	13
รูปที่ 2. 8 โครงสร้างฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ.....	14
รูปที่ 2. 9 โครงสร้างแทนนิน.....	15
รูปที่ 2. 10 ฟลาโวนอยด์(Flavonoid) และ แทนนินที่จับตัวแน่น(Condense tannin)บางชนิดที่ พบในใบมะม่วงหิมพานต์.....	16
รูปที่ 2. 11 โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมลอโซน.....	17
รูปที่ 3. 1 เต้าเผา MODUTEMP	20
รูปที่ 3. 2 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer V-530 Jasco	20
รูปที่ 3. 3 ขั้นตอนในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	21
รูปที่ 4. 1 การดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย.....	27
รูปที่ 4. 2 การดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	27
รูปที่ 4. 3 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำ ละลาย.....	28
รูปที่ 4. 4 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็น ตัวทำละลาย.....	29
รูปที่ 4.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่ สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย	30
รูปที่ 4. 6 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่ สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย.....	31
รูปที่ 4. 7 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่ สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย.....	31

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ 4. 22 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อน ย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยว.....	40
รูปที่ 4. 23 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อน ย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบเทียนกิ่ง.....	41
รูปที่ 4. 24 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อน ย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบหว่า.....	41
รูปที่ 4. 25 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้น้ำก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	42
รูปที่ 4. 26 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดย ใช้เอทานอลก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	43
รูปที่ 4. 27 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ สารเติมก่อนย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	43
รูปที่ 4. 28 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดย ใช้สารเติมขณะย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	44
รูปที่ 4. 29 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้น้ำ ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	44
รูปที่ 4. 30 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้เอทานอล ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	45
รูปที่ 4. 31 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาที่ใช้สารเติม ก่อนย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	45
รูปที่ 4. 32 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้ สารเติมขณะย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	46
รูปที่ 4. 33 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้ น้ำก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	46
รูปที่ 4. 34 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้ เอทานอลก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	47
รูปที่ 4. 35 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวที่ใช้ สารเติมก่อนย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง.....	47

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ 4. 36 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้ สารเติมขณะย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	48
รูปที่ 4. 37 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำ ก่อนและหลังผ่านแสงจำลองก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	48
รูปที่ 4. 38 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอล ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	49
รูปที่ 4. 39 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้ สารเติมก่อนย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	49
รูปที่ 4. 40 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้ สารเติมขณะย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	50
รูปที่ 4. 41 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้น้ำก่อน และหลังผ่านแสงจำลอง	50
รูปที่ 4. 42 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้เอทานอล ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	51
รูปที่ 4. 43 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าที่ใช้สารเติมก่อน ย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	51
รูปที่ 4. 44 การดูคลื่นแสงของสีย้อมบนไททานีียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้สารเติม ขณะย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง	52
รูปที่ ข 1 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็น ตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1	66
รูปที่ ข 2 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็น ตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2	66
รูปที่ ข 3 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1	68
รูปที่ ข 4 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2	68
รูปที่ ข 5 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้ สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1	70

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ ข 6 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 2.....	70
รูปที่ ข 7 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 1.....	72
รูปที่ ข 8 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 2.....	72
รูปที่ ข 9 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1.....	74
รูปที่ ข 10 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2.....	74
รูปที่ ข 11 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1.....	76
รูปที่ ข 12 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2.....	76
รูปที่ ข 13 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1.....	78
รูปที่ ข 14 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 2.....	78
รูปที่ ข 15 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 1.....	80
รูปที่ ข 16 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 2.....	80
รูปที่ ข 17 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1.....	82
รูปที่ ข 18 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1.....	82
รูปที่ ข 19 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1.....	84

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ ข 20 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอล เป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2	84
รูปที่ ข 21 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติม ก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1	86
รูปที่ ข 22 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติม ก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 2	86
รูปที่ ข 23 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติม ก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1	88
รูปที่ ข 24 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติม ก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 2	88
รูปที่ ข 25 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 1	90
รูปที่ ข 26 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 2	90
รูปที่ ข 27 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็น ตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1	92
รูปที่ ข 28 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็น ตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2	92
รูปที่ ข 29 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 1	94
รูปที่ ข 30 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 2	94
รูปที่ ข 31 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติม ขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 1	96
รูปที่ ข 32 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติม ขณะย้อมสีตัวอย่างที่ 2	96
รูปที่ ข 33 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหว่าโดยใช้น้ำเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 1	98

ภาพประกอบ.....	หน้า
รูปที่ ข 34 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้น้ำเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 2	98
รูปที่ ข 35 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 1	100
รูปที่ ข 36 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำ ละลายตัวอย่างที่ 2	100
รูปที่ ข 37 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 1	102
รูปที่ ข 38 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 2	102
รูปที่ ข 39 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 1	104
รูปที่ ข 40 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อน ย้อมสีตัวอย่างที่ 1	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และเป็นปัจจัยสำคัญพื้นฐานในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากปิโตรเลียมซึ่งมีปริมาณสำรองลดลงเรื่อยๆ อีกทั้งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานดังกล่าวไม่มากนัก ในขณะที่อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมและปริมาณความต้องการใช้พลังงานมีมากขึ้น ประเทศไทยจึงต้องมีการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิงและเพื่อความมั่นคงทางพลังงาน ประเทศไทยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ไม่เพียงเท่านั้นปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อทั่วโลก คือ วิกฤตการณ์โลกร้อน ก็เป็นผลพวงหลักจากการใช้พลังงานปิโตรเลียมเช่นกัน ด้วยเหตุนี้พลังงานหมุนเวียนที่เป็นพลังงานสะอาดจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานหมุนเวียนธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีปริมาณมากมายมหาศาล(พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกเพียง 1 ชั่วโมงจะมีพลังงานประมาณ 4.3×10^{20} J มากกว่าพลังงานที่ทั้งโลกใช้ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งมีค่าประมาณ 4.1×10^{20} J) [1] การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นชนิดรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิตเพื่อให้ได้ซิลิกอนบริสุทธิ์ เป็นเหตุให้เซลล์ชนิดนี้มีราคาสูงเกินไปที่จะใช้ในบ้านเรือนทั่วไป ทำให้วัสดุอิลิคทรอนิกส์จำพวกสารอินทรีย์อย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกำลังเป็นที่สนใจ เนื่องจากเป็นวัสดุทางเลือกใหม่ที่มีราคาถูก และสามารถผลิตได้ง่าย เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีหลักการทำงานโดยอาศัยกลไกทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง คล้ายกับการสังเคราะห์แสงของพืช มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 11% โดยใช้สีย้อมไวแสงในกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของรูทีเนียม เป็นตัวดูดซับแสง และใช้แพลตทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ I^-/I_3^- [2]

สีย้อมไวแสงในกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของรูทีเนียมแม้จะให้ประสิทธิภาพสูง แต่สังเคราะห์ได้ยาก วัสดุดิบไม่สามารถหาได้ทั่วไป และมีราคาแพง ในขณะที่สีย้อมจากธรรมชาติมีกรรมวิธีในการนำมาใช้ไม่ยุ่งยาก ราคาถูก ไม่เป็นพิษ และย่อยสลายได้ง่ายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ สีย้อมจากพืชจึงสามารถหาได้ทั่วประเทศ

ในท้องถิ่น เนื่องจากพืชส่วนใหญ่ทั้งในใบ ดอก ผล และส่วนอื่นๆ มักมีสารที่ให้สีอยู่ คนไทยจึงรู้จักใช้สีย้อมจากธรรมชาติเหล่านี้ในการย้อมสีอาหาร ผ้า และกระดาษมานาน มีการพัฒนากระบวนการและกรรมวิธีในการย้อม เพื่อให้มีประสิทธิภาพทั้งในด้านความสดใสของสีส้น และการติดสีที่คงทน เช่น การเติมสารช่วยย้อม ซึ่งภูมิปัญญาไทยเหล่านี้มีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ที่ผ่านมาสารสีในพืชจำพวกแอนโทไซยานิน ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสงมากที่สุด โดยสีเหล่านี้ได้จากการสกัดดอก และผล [3-10] อย่างไรก็ตามการติดสีของพืชหลายชนิดออกตามฤดูกาลเท่านั้น ทั้งยังมีปริมาณไม่มาก ต่างจากใบซึ่งมีปริมาณมากกว่าดอกและผลหลายเท่า เก็บเกี่ยวได้ง่าย และผลิใบสดเขียวได้รวดเร็ว อีกทั้งมักไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาสีย้อมไวแสงที่ได้จากใบไม้ซึ่งเป็นยอดอ่อน เนื่องจากมีสารประกอบจำพวกฟีนอลิก แทนนิน และแอนโทไซยานิน [11] นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติมสารช่วยย้อม ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และเสถียรภาพของสีย้อมด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสีย้อมจากใบไม้มาใช้เป็นสีย้อมไวแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบผลของการสกัดสีย้อมจากใบไม้โดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
- 1.2.3 ศึกษาผลของการใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต(สารส้ม)เป็นสารเติมในการย้อมสีในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สกัดสารละลายสีย้อมจากใบไม้โดยดังต่อไปนี้โดยใช้สาร 2 ชนิด คือ น้ำ และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

- ใบมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.)
- ใบคริสตินา (*Syzygium campanulatum* Korth)
- ใบหว่า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels)
- ใบเทียนกิ่ง (*Lawsonia intermis* L.)
- ใบชมพูมะเหมี่ยว (*Syzygium malacceense* (L.) Merr.&Perry)

1.3.3 เตรียมสารละลายสีย้อมจากใบไม้

1.3.4 ทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อม

1.3.5 ทดสอบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์

1.3.7 ทดสอบเสถียรภาพของสีย้อม

1.3.6 ทดสอบประสิทธิภาพรวม (overall efficiency) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สร้างทางเลือกในการนำวัสดุดิบจากธรรมชาติในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้เป็นสีย้อมไวแสงเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

บทที่ 2

ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีควอนตัมและการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้า[1]

สมบัติของแสงในทฤษฎีควอนตัมมีพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ก่อนอนุภาคของแสง เรียกว่า โฟตอน พลังงานของโฟตอนในแสงอาทิตย์นี้ขึ้นกับความถี่ของคลื่นโดยที่

$$E = h\nu \quad (1)$$

เมื่อ h คือ ค่าคงที่ของพลังค์มีค่าเท่ากับ 6.626068×10^{-34} J-s

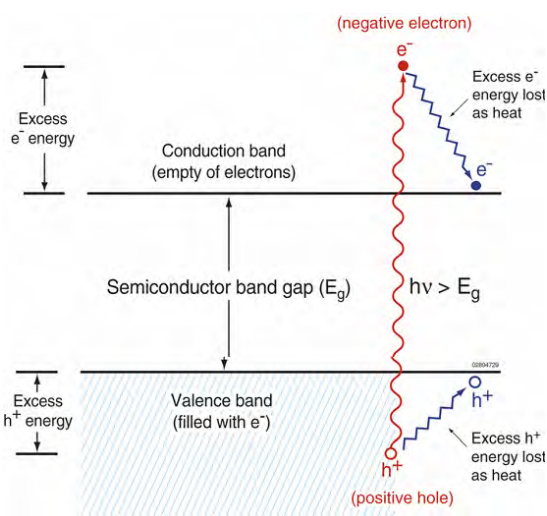
ν คือ ความถี่แสง(Hz)

วัสดุมีความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอนแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากชั้นระดับพลังงานที่มีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องของโมเลกุล ซึ่งประกอบด้วย แถบวาเลนซ์ (valence band ,VB) และ แถบการนำ (conduction band ,CB) โดยช่องว่างระหว่างระดับพลังงานทั้งสองนี้เรียกว่า “energy gap” หรือ “band gap” (E_g)

เมื่อแบ่งตามความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอนนี้จะสามารถแบ่งวัสดุออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ตัวนำ (conductor) ซึ่งมีแถบวาเลนซ์ และ แถบการนำ จะอยู่ใกล้ชิดกัน อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ระหว่าง แถบวาเลนซ์ และ แถบการนำได้อย่างอิสระ
2. ฉนวน (insulator) มักมีค่า E_g มากกว่า 4 อิเล็กตรอนโวลต์
3. สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) มักมีค่า E_g น้อยกว่า 4 อิเล็กตรอนโวลต์

รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าในสภาวะทั่วไปอิเล็กตรอนจะอยู่ในแถบวาเลนซ์ ในขณะที่แถบการนำว่างเปล่า ซึ่งในสภาวะนี้สารกึ่งตัวนำจะไม่นำไฟฟ้า แต่หากอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ ถูกกระตุ้นจากตัวกระตุ้น เช่น แสง จะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปอยู่ในแถบการนำได้ ปฏิกิริยาการนี้เกิดจากโฟตอนของแสงที่ตกกระทบวัตถุถูกดูดซับโดยอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปสู่แถบการนำด้วยพลังงานดังกล่าว แต่โฟตอนที่ถูกดูดซับจะต้องมีพลังงานสูงกว่า E_g เท่านั้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล (ที่ว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอน) นี้จะส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2. 1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ ไปสู่ แถบการนำเมื่อได้รับพลังงาน [1]

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง(dye sensitized solar cell,DSSC) [2, 12-16]

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกพัฒนาขึ้นโดยมีหลักการพื้นฐานคล้ายการสังเคราะห์แสงของพืช นับตั้งแต่ปี 1991 ที่ทีมวิจัยของ M.Grätzel ประสบความสำเร็จในการใช้ไททาเนียมออกไซด์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous TiO_2) ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ประสิทธิภาพที่ได้ประมาณ 7% ในสภาวะแสงอาทิตย์จำลอง [13] เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ก็ได้รับความสนใจในการพัฒนาเรื่อยมาในทุกส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงสีย้อมไวแสงทั้ง สีย้อมที่สกัดได้จากธรรมชาติ และสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้น

2.2.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงดังนี้

ก. โฟโตอิเล็กโทรด(Photoelectrode)

ประกอบด้วยชั้นโลหะออกไซด์ที่ทำหน้าที่รับและส่งผ่านอิเล็กตรอน รวมถึงเป็นพื้นผิวที่ยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อม

ข. สีย้อมไวแสง(dye)

สีย้อมไวแสง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์และส่งผ่านอิเล็กตรอนให้กับโลหะออกไซด์ในโฟโตอิเล็กโทรด

ค. อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution)

ทำหน้าที่ชดเชยอิเล็กตรอนให้กับสีย้อม หรือรับประจุบวกจากขั้วไฟฟ้าแคโทด

ง. เคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (counter electrode)

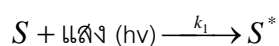
มักใช้แพลตตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันให้อิเล็กตรอนกลับสู่สารอิเล็กโทรไลต์

2.2.2 กระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

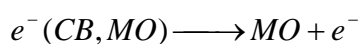
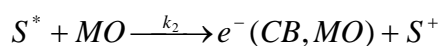
สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีดังนี้ (ดูรูปที่ 2.2) คือ

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนในสถานะพื้นของโมเลกุลสีย้อม

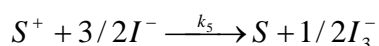
(S) เกิดการดูดกลืนแสง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปยังสถานะกระตุ้น (S^*)



สถานะกระตุ้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าแถบการนำของโลหะออกไซด์นี้จะทำให้เกิด electron injection ไปสู่โลหะออกไซด์ และออกสู่วงจรภายนอก

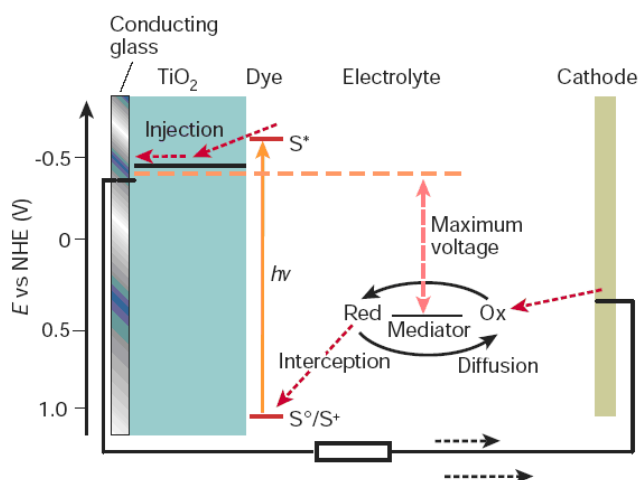


สำหรับอิเล็กตรอนในโมเลกุลของสีย้อมจะถูกชดเชยด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของ I^- ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์



I_3^- ที่เกิดขึ้นข้างต้นจะถูกรีดิวซ์ที่เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดให้กลายเป็น I^- อีกครั้งหนึ่ง





รูปที่ 2. 2 ส่วนประกอบและกระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง [12]

2.3 สีย้อมไวแสง

2.3.1 รายงานการใช้สีย้อมไวแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อมไวแสงเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกได้เป็น

1 กลุ่มสีย้อมไวแสงจากสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ

สีย้อมกลุ่มนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อมไวแสงจากสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม เป็นสีย้อมได้รับความสนใจและพัฒนาอย่างกว้างขวาง Grätzel และคณะประสบความสำเร็จในการพัฒนาสีย้อมในกลุ่มนี้อย่างมาก เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมในกลุ่มนี้ เช่น N-3(red dye), N-749 (Black dye) และ Z-709 ให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 10% [2] อย่างไรก็ตามสีย้อมในกลุ่มนี้เกิดจากการสังเคราะห์ ทำให้บริสุทธิ์ยาก ทั้งยังมีราคาแพง

2 กลุ่มสีย้อมไวแสงจากสารอินทรีย์

สีย้อมกลุ่มนี้มีทั้งสีย้อมที่สังเคราะห์ขึ้น และสีย้อมที่สกัดได้โดยตรงจากธรรมชาติ โดยนำเอาสารให้สี หรือรงควัตถุในพืชมาใช้ สำหรับสีย้อมที่สกัดได้จากธรรมชาติ นั้น สารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานินเป็นกลุ่มที่ได้รับความสนใจอย่างมาก โดย N. J. Cherepy [3] ได้ทดลองใช้สีย้อมที่สกัดจาก แบล็กเบอร์รี่ (blackberry) ซึ่งมีแอนโทไซยานินมาใช้เป็นสีย้อมไวแสง เซลล์แสงอาทิตย์นี้ให้ประสิทธิภาพ 0.56% จากนั้น

C.G. Garcia และคณะ [9] ใช้น้ำจากผล chaste tree fruit (“maria-preta”, *Solanum americanum*, Mill.), และผลหม่อน (mulberry, “amora”, *Morus alba*, L.) นอกจากนี้ยังสกัดเยื่อ

cabbage-palm fruit (“aça’i”, *Euterpeoleracea*, Mart) โดยใช้เอทานอล มาใช้เป็นสีย้อมไวแสง ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ได้ประสิทธิภาพประมาณ 0.09-0.2 %

J. M. R. C. Fernando และ G. K. R. Senadeera [4] ศึกษาสีย้อมจากธรรมชาติที่มี แอนโทไซยานินซึ่งสกัดจากดอกไม้ในศรีลังกา ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพรวมของเซลล์มี ค่า 0.2 ถึง 1.1 % โดยสีจากดอก *Hibiscus surattensis*-HST (สีแดงม่วง) ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด

G. Calogero และ G.D. Marco [5] ใช้น้ำส้มชิลิเลียนแดง(*Citrus Sinensis*) และ เปลือก มะเขือม่วง(*Solanum melongena*, L.) สกัดเป็นสีย้อมไวแสง พบว่าน้ำส้มชิลิเลียนแดงซึ่งมี Cyanidine-3-glucoside (cyanine) และ delphinidin 3-[4-(p-coumaroyl)-L-rhamnosyl(1-6)-glucopyranoside]-5-glucopyranoside (nasunin) เป็นส่วนประกอบหลักให้ประสิทธิภาพสูง ที่สุด 0.66%

สำหรับประเทศไทย ขวัญจิต วงศ์ชาติ และคณะ [10] ได้ทดลองวิจัยสีย้อมธรรมชาติที่สกัด ได้จากดอกอัญชัญ กระเจี๊ยบ และสีผสมของดอกไม้ทั้งสอง โดยใช้น้ำ และ แอลกอฮอล์ในการ สกัด ที่อุณหภูมิ และ pH 50-100 องศาเซลเซียส และ 1.0-3.2 ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพ ของเซลล์ไฟฟ้ามีค่า 0.37 ถึง 0.70% โดยสีที่ได้จากกระเจี๊ยบเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีอนุพันธ์ของ แอนโทไซยานิน cyanidin-3-sambubioside ,dephinidin-3-sambubioside และ cyanidin-3- glucoside เป็นองค์ประกอบหลักให้ผลดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าสีที่ใช้แอลกอฮอล์ในการสกัดจะ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำ แต่เกิดการซีดจางอย่างรวดเร็ว

Hao และคณะ [17] สกัดสีย้อมจากพืชทั้งที่ให้สารแอนโทไซยานิน และรงควัตถุอื่นจากพืช หลายชนิด คือ ข้าวเหนียวดำ พริก ดอกปาริฉัตร *Rosa xanthina* และสาหร่ายทะเล พบว่าสีย้อม จากข้าวเหนียวดำที่มีสารแอนโทไซยานินสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไททาเนียมออกไซด์ ยึดเกาะ กันได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด 0.33%

สำหรับสารสีในกลุ่มอื่นๆ เช่น เบตาเลน D. Zhang และคณะ [6] ได้นำเป็นสารสีม่วงแดง โครงสร้างโมเลกุลมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก(-COOH) ซึ่งสามารถช่วยในการยึดเกาะกับไททาเนียม ออกไซด์นี้ ที่พบได้ในปืทุทมาใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เช่นกัน เซลล์ที่ได้มีประสิทธิภาพ 0.22%

นอกจากนี้ยังมีในสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก และแทนนิน Tannakone และคณะ [18] สกัดสารประกอบฟีนอลิก และแทนนิน จากชาดำ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 7-9 mA/cm³ และมีการสกัดซานทาลิน (santalin) จากไม้จันทน์แดง (*Pterocarpus santalinus*) [19] ใช้เป็นสีย้อมไวแสง ซึ่งได้รับการรายงานว่าสามารถยึดติดกับ TiO₂ ได้ดีเนื่องจากเกิดสารเชิงซ้อนกับ TiO₂ และ G.R.A. Kumara [20] สกัดสารซิไซนิน และคลอโรฟิลล์จากใบชิวมาใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบของแข็ง ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวข้างต้นแสดงในตารางที่ 2.1 2.2 และ 2.3 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากผล ดอก และส่วนอื่นๆของพืช

ตารางที่ 2. 1 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากผลและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อม	I _{sc}	V _{oc}	FF	%eff.	อ้างอิง
แบล็กเบอรี่ (blackberry)	1.5- 2.2	0.4-0.45	-	0.56	[3]
น้ำส้มสีซีลีเยนแดง (<i>Citrus Sinensis</i>)	3.84	0.34	0.5	0.66	[5]
มะเขือม่วง (<i>Solanum melongena, L.</i>)	3.4	0.350	0.40	0.48	[5]
chaste tree fruit (<i>Solanum americanum, Mill.</i>)	1.06	0.39	0.48	-	[9]
หม่อน (mulberry; amora; <i>Morus alba, L.</i>)	0.86	0.422	0.43	-	[8]
cabbage-palm fruit (<i>Euterpe oleracea, Mart</i>)	0.37	0.422	0.61	-	[8]
องุ่นต้น (Jaboticaba ; <i>Myrtus cauliflora Mart</i>)	9.0	0.59	0.54	1.9	[7]
ลูกหว่า (<i>Eugenia jambolana Lam</i>)	2.3	0.711	-	-	[8]
พริก (capsicum)	0.225	0.412	0.63	0.06	[17]

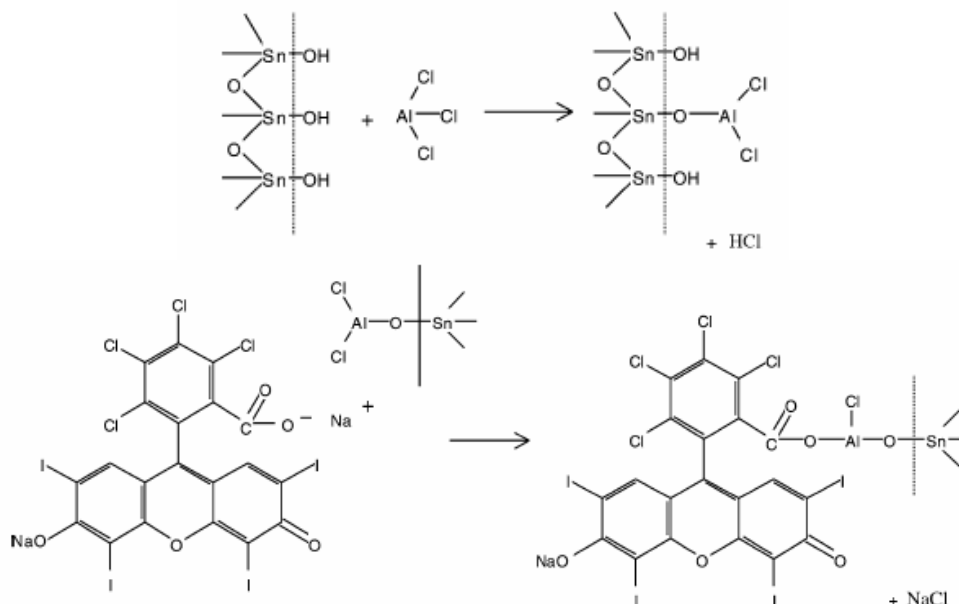
ตารางที่ 2. 2 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากดอกและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อม	I_{sc}	V_{oc}	FF	%eff.	อ้างอิง
Calafate (<i>Berberiesbuxifolia Lam</i>)	6.2	0.47	0.36	1.1	[7]
ดอกถั่วฝักยาว (blue pea)	0.37	0.372	0.33	0.05	[10]
ดอกกระเจี๊ยบ (rosella)	1.63	0.404	0.57	0.37	[10]
ดอกถั่วฝักยาวผสมกระเจี๊ยบ (Mixed blue pea + rosella)	0.82	0.382	0.47	0.15	[10]
ดอกปาริฉัตร (<i>Erythrina</i>)	0.07	0.484	0.55	0.02	[17]
<i>Rosa xanthina</i>	0.637	0.492	0.52	0.16	[17]
ดอกชะมด (<i>Hibiscus surattensis</i>)	5.45	0.392	0.54	1.14	[4]
ดอกแคบ้าน (<i>Sesbania grandiflora</i>)	4.4	0.407	0.57	1.02	[4]
ดอกชบา (<i>Hibiscus rosasinensis</i>)	4.04	0.4	0.63	1.02	[4]
ดอกยี่โถ (<i>Nerium oleander</i>)	2.46	0.408	0.59	0.59	[4]
ดอกเข็มแดง (<i>Ixora macrothyrsa</i>)	1.31	0.403	0.57	0.3	[4]
<i>Rhododendron arboretum</i> <i>Zeylanicum.</i>	1.15	0.402	0.64	0.29	[4]

ตารางที่ 2. 3 รายงานการใช้สีย้อมธรรมชาติจากพืช และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อม	I_{sc}	V_{oc}	FF	%eff.	อ้างอิง
ข้าวเหนียวดำ (Black rice)	1.142	0.551	0.52	0.33	[17]
สาหร่ายทะเล (Kelp)	0.433	0.441	0.62	0.12	[17]
ใบชิโซ (shiso leaf)	4.8	0.534	0.51	1.31	[20]
บีทรูท (beet roots)	2	0.22	0.51	-	[6]

ด้านการยึดเกาะของสีย้อมนั้น V.P.S. Perera และคณะ [21] ได้ทดลองนำฟิล์ม SnO_2 แห่ในสารละลาย $AlCl_3$ ในเอทานอล แล้วจึงนำไปย้อมสี เปรียบเทียบกับการย้อมสีบนฟิล์ม SnO_2 โดยตรงพบว่าเซลล์ไฟฟ้าที่ได้มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{sc}) ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (V_{oc}) ประสิทธิภาพ (efficiency) และ ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor) สูงขึ้น และมีการอธิบายกลไกดังแสดงในรูปที่ 2.3

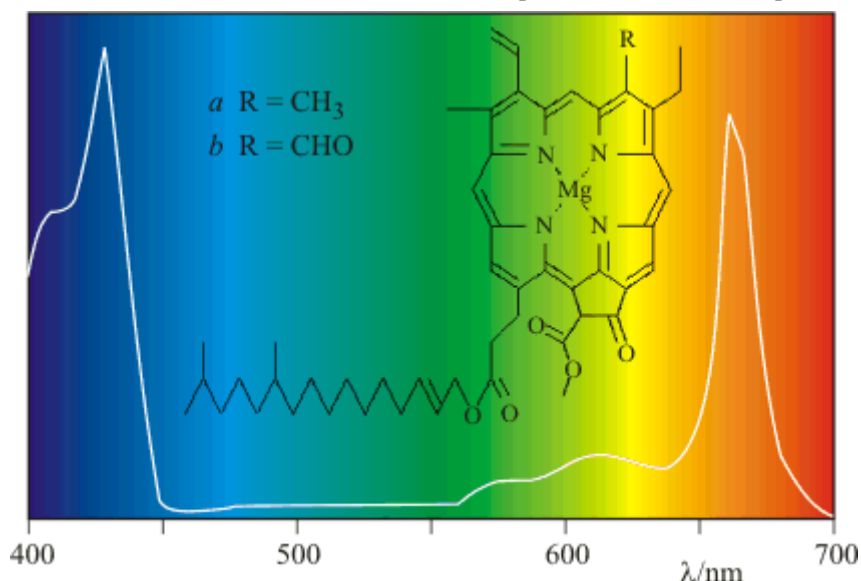


รูปที่ 2. 3 กลไกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว SnO_2 และการสร้างพันธะของสีย้อม Rose Bengal กับอะลูมิเนียม

2.3.2 สีจากธรรมชาติและแทนนิน[22- 23]

สารสีในพืชสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ คือ คลอโรฟิลล์(chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และควิโนนส์ (quinones)

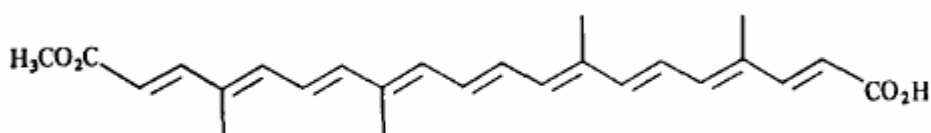
คลอโรฟิลล์ เป็นสารสีเขียวที่พบในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณใบ มีหน้าที่และบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช มีโครงสร้างและการดูดกลืนแสงดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2. 4 โครงสร้างโมเลกุลและการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์

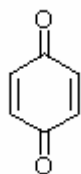
(ที่มา 125www.ktf-split.hr/.../no_en_o.php?def=chlorophyll)

แคโรทีนอยด์ มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็น aliphatic polyene chain ยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีลักษณะโครงสร้างและให้สีหลากหลาย เช่น บิซิน (สีส้ม-สีม่วง) จากคำแสด (Bixa orellana) และ ไครซิน (สีเหลือง-สีแดง) ในกรรณิการ์ (Nyctanthes arbor-tristis L)

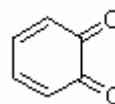


รูปที่ 2. 5 โครงสร้างโมเลกุลของบิซิน (bixin)

คีโนนส์ เป็นกลุ่มโครงสร้างสารประกอบหลายชนิดที่มีสูตรโครงสร้างของคีโนน (รูปที่ 2.6) มักให้สีเหลืองจนถึงแดง ตัวอย่างของสารสีแนบเทาคีโนน ได้แก่ ลอไซน จากเทียนกิ่ง (Lawsonia inermis L.)



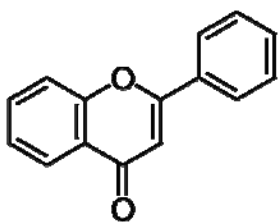
Para isomer



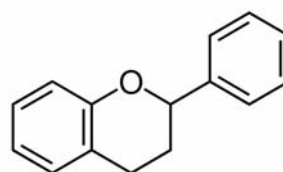
ortho isomer

รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของคีโนน

ฟลาโวนอยด์ สารประกอบทั้งหมดที่มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานเป็นฟลาโวน (flavone) และฟลาเวน (flavane) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



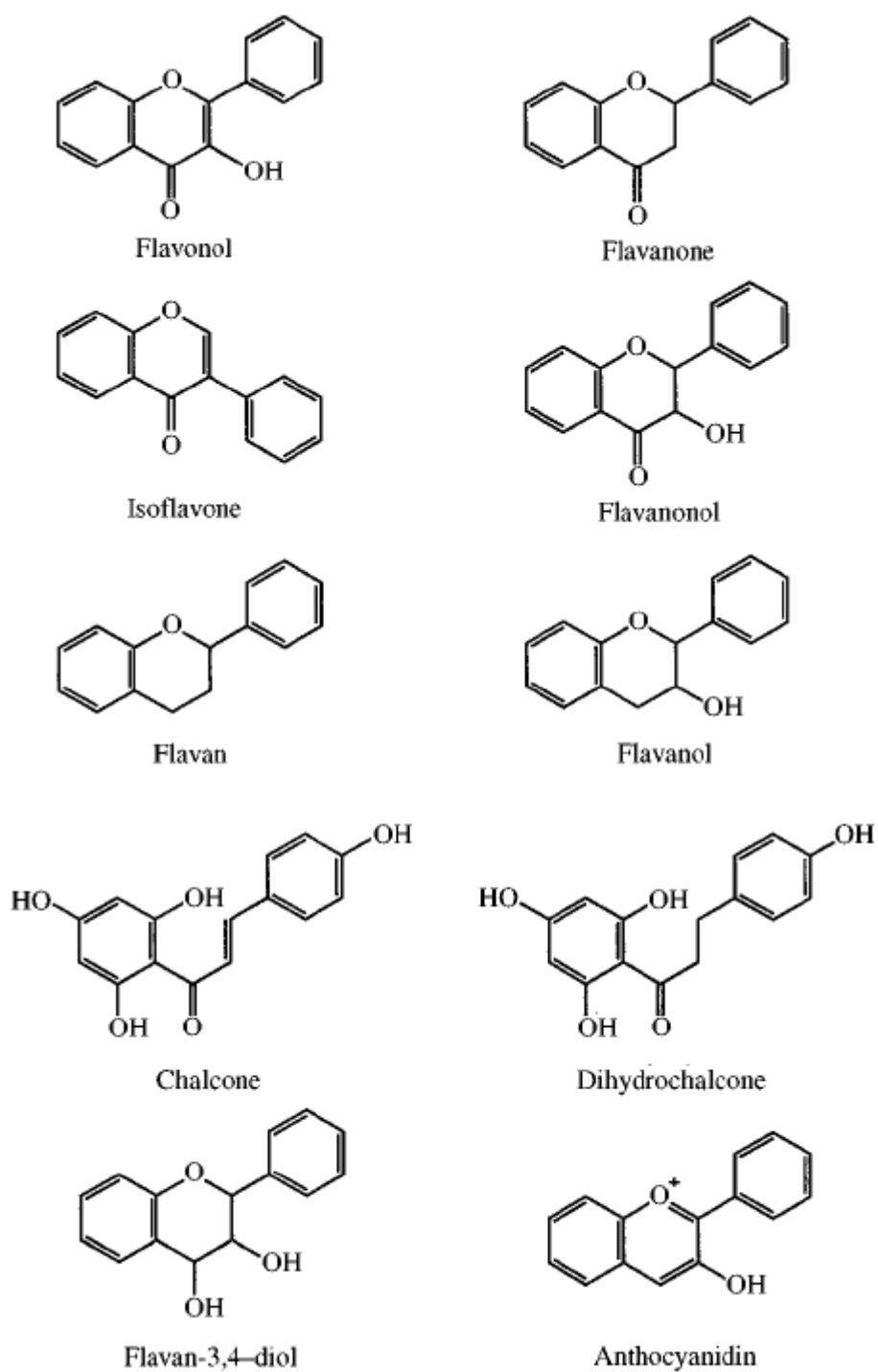
ฟลาโวน(flavone)



ฟลาเวน(flavane)

รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ ชาลโคนส์ (chalcones), ฟลาวาโนนส์ (flavanones), ฟลาโวนส์ (flavones), แอนโทไซยานิน (anthocyanins), ฟลาโวนอลส์ (flavonols) และไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoids) รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ และตารางที่ 2.4 แสดงการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ



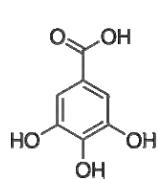
รูปที่ 2. 8 โครงสร้างฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2. 4 การดูดกลืนแสงของสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยชนิดต่างๆ [24]

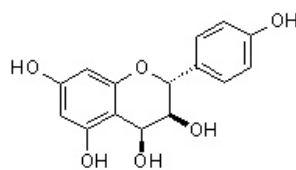
สาร	การดูดกลืนสูงสุด(nm)	
	Band II	Band I
Simple phenols	266-295	
Phenolic acids	235-305	
Hydroxycinnamic acids	227-245,310-332	
Hydroxycoumarins	Ca.210,250-260,280-303	312-351
<i>Flavonoids-</i>		
Flavones,biflavones	250-280	310-350
Isoflavones	245-275	310-330
Flavonones	250-280	350-385
Flavanones	275-295	310-330
Chalcones	240-260	365-390
Aurones	240-270	390-430
Anthocyanins	265-275	465-560

แทนนิน [22-23, 25] เป็นสารที่มีรสขมและฝาดในพืช มักจะเป็นของเหลวที่ขับออกมาจากเปลือกลำต้น ใบ ผล และปมปม เป็นต้น มีประโยชน์ในการยับยั้งเห อวน เชื้อกและใบเรื้อ ทำให้ทนทานต่อการใช้งานที่สัมผัสกับน้ำเค็ม นอกจากนี้ยังใช้ผลิตกาวย้อมช่วยให้สีติดแน่นทนนาน และในทางเภสัชกรรมยังสามารถนำไปใช้เป็นตัวยารักษาโรคเบาหวานด้วย

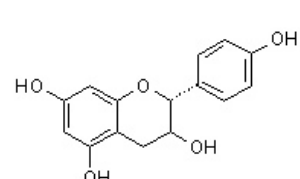
แทนนิน เป็น127สารที่มี128โมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน องค์ประกอบพื้นฐานที่พบในแทนนินนอกเหนือจากน้ำตาลได้แก่ กรดแกลลิก และกรด เอลลาจิก เป็นต้น ทั้งนี้สารที่มีความสัมพันธ์กับฟลาเวน (flavane) และสารองค์ประกอบของแกลลิก (gallic acid) จัดเป็นองค์ประกอบสำคัญของแทนนิน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



กรดแกลลิก



Flavandiol(Leukoanthocyanidin)



Flavanol (Catechin)

รูปที่ 2. 9 โครงสร้างแทนนิน

2.3.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง[22- 23]

มะม่วงหิมพานต์

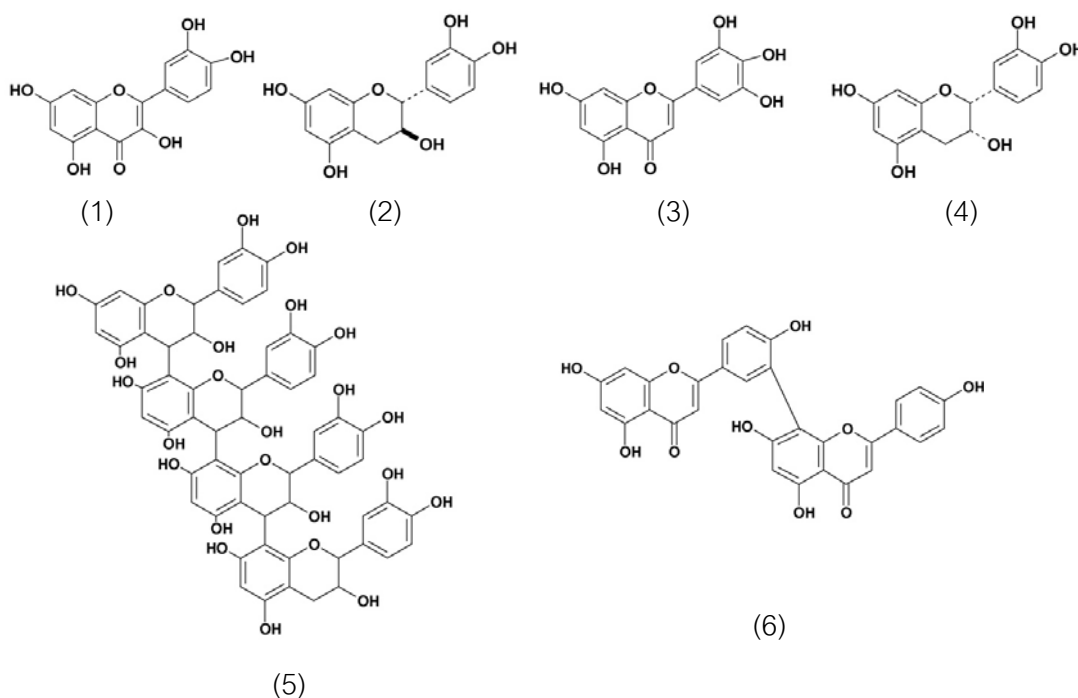
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Anacardium occidentale* L.

ชื่อพื้นเมือง

อังกฤษ : cashew

ไทย : กากหยู กากหียี่ ม่วงเม็ดล่อ ม่วงเล็ดล่อ หัวครก ยาร่วง

มะม่วงหิมพานต์เติบโตแพร่หลายทั่วไปในภูมิภาคเขตร้อน เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ลำต้นมีความสูง 10-12 เมตร ต้นเดี่ยว สยายกิ่งก้านไม่สม่ำเสมอ ใบจัดเรียงเป็นแบบเกลียว ผิวมันลื่น รูปโค้งจนถึงรูปไข่ ความยาว 4-22 เซนติเมตร และกว้าง 2-15 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ สสารที่พบได้ในใบมะม่วงหิมพานต์ที่สำคัญคือ ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ดูโครงสร้างโมเลกุลในรูปที่ 2.10 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น ไกลโคไซด์ คาร์โบไฮเดรต สaponin สเตอรอยด์ เรซิน และแอลคาลอยด์



รูปที่ 2. 10 ฟลาโวนอยด์(Flavonoid) และ แทนนินที่จับตัวแน่น(Condense tannin)บางชนิดที่พบในใบมะม่วงหิมพานต์ (1) Quercetin (2) Myricetin (3) Catechin (4) Epicatechin (5) Tetramer of proanthocyanidin (6) Amentoflanone[26]

เทียนกิ่ง

ชื่อวิทยาศาสตร์ Lawsonia intermis L.

ชื่อพื้นเมือง

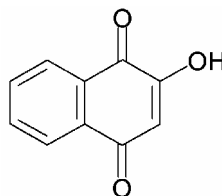
อังกฤษ : Henna, Egyptian privet, campahire.

ไทย : เทียนกิ่ง เทียนขาว เทียนแดง

เทียนกิ่ง เป็นไม้พุ่มขนาดใหญ่ที่เติบโตได้ดีในสภาพอากาศร้อนและแห้งแล้ง มีการค้นพบหลักฐานในอียิปต์ว่าเทียนกิ่งเป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเวลานับพันปีมาแล้ว และแม้ว่าเทียนกิ่งมีการเพาะปลูกและนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศเอเชียเช่น อินเดีย พม่า อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มายาวนานหลายพันปี แต่ไม่พบประวัติการใช้พืชชนิดนี้ในยุโรปและอเมริกา

เทียนกิ่งเป็นเครื่องสำอางเก่าแก่

ใบเทียนกิ่งประกอบด้วยโมเลกุลสีย้อมที่มีสีส้มแดง เรียกว่า ลอโซน (lawsone) หรือ *hennotannic acid 2-hydroxy-1,4-naphthoquinone* ซึ่งเห็นได้ในใบอ่อน บริเวณกลางเส้นใบ ปริมาณลอโซนนี้มีประมาณ 1-4% แตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศ และสภาพดิน ลอโซนนี้อาจเป็นสารสีในกลุ่มคีโนนส์มีขบวนการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 270-280 นาโนเมตร [27]



รูปที่ 2. 11 โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมลอโซน

คริสตินา

ชื่อวิทยาศาสตร์ Syzygium campanulatum Korth

ชื่อพื้นเมือง

อังกฤษ : Christina

ไทย : แดง

คริสตินามีการกระจายพันธุ์ในแถบมลายู มักใช้เป็นไม้ประดับ เนื่องจากใบอ่อนมีสีแดง ใบคริสตินาประกอบด้วยแทนนินและฟลาโวนอยด์ เช่น อีลلاجิแทนนิน (ellagitannin) เจลาโตแทนนิน (gallotannin) เป็นต้น [28]

ชมพู่มะเหมี่ยว

ชื่อวิทยาศาสตร์ Syzygium malacceense (L.) Merr.&Perry

ชื่อพื้นเมือง

อังกฤษ : Malay apple, pomerac.

ไทย : ชมพู่มะเหมี่ยว ชมพู่สาแหรก

มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ชมพู่มะเหมี่ยวมีการกระจายพันธุ์จำกัด เฉพาะในชวา สุมาตรา และ แหลมมาลาญ ลักษณะเป็นไม้ต้นสูง 5-20 เมตร ลำต้นตรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 20-45 ซม. พุ่มต้นรูปไข่กว้าง ใบเกิดตรงข้าม ใบหนาและเหนียว ก้านใบยาว 0.5-1.5 ซม. มีขนาดใหญ่ มีสีแดงในระยะแรกๆ

หว่า

ชื่อวิทยาศาสตร์ Syzygium cumini (L.) Skeels

ชื่อพื้นเมือง

อังกฤษ : Jambolan

ไทย : หว่า

หว่าเป็นไม้พื้นเมืองในแถบกึ่งร้อน ในแถบเทือกเขาหิมาลัย อินเดีย ศรีลังกา ตอนใต้ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และออสเตรเลีย ลักษณะเป็นไม้ต้น ไม้ผลัดใบ ใบเกิดตรงข้าม รูปรีแกมรูปไข่กลับไปถึงรูปขอบขนานแกมรูปรีขนาด 5-25 ซม. x 2-10 ซม. ใบหนาเหนียวคล้ายหนัง ใบอ่อนออกสีชมพู

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

- 3.1.1 ไบโม่ฆ่วงหิมพานต์ได้รับความอนุเคราะห์จากไร่อุดมสุข จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- 3.1.2 เอทานอล(Ethyl-alcohol) จากบริษัท Merck
- 3.1.3 น้ำ DI
- 3.1.4 กระจกนำไฟฟ้าเคลือบทินออกไซด์โดยฟลูออไรด์(FTO) ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.1.5 ไททานเนียมออกไซด์ ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.1.6 แพลตทินัม ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.1.7 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.1.8 แผ่นพลาสติก ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.1.9 สารส้ม

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 แบบพิมพ์ซิลค์สกรีน ขนาด 0.5x1 เซนติเมตร ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สวทช.
- 3.2.2 เต้าเผาMODUTEMP
- 3.2.3 เครื่องทดสอบการดูดกลืนแสง(UV-VIS spectrophotometer)
- 3.2.4 เครื่องทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ IV-characterization

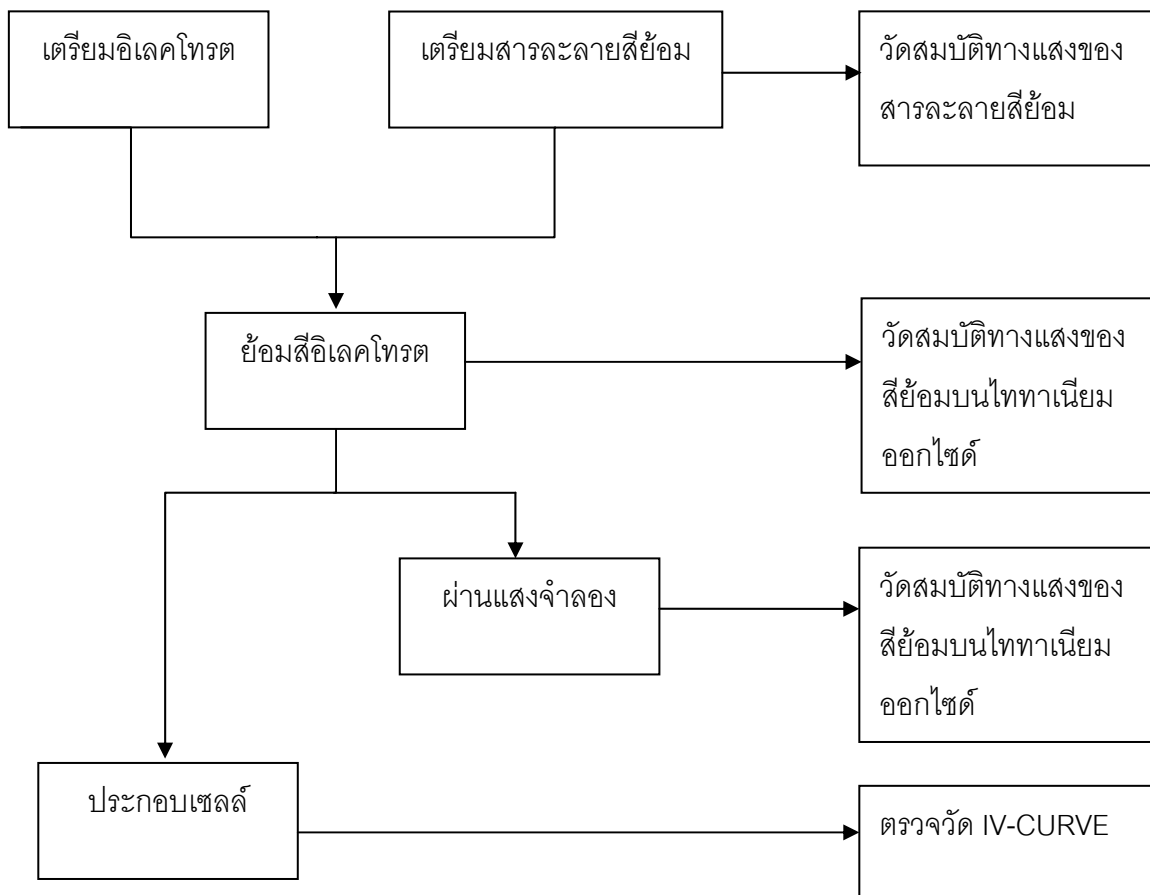


รูปที่ 3. 1 เตาเผา MODUTEMP



รูปที่ 3. 2 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer V-530 Jasco

3.3 ขั้นตอนและการวิจัย



รูปที่ 3. 3ขั้นตอนในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วิธีการเตรียมอิเล็กโทรด และการเตรียมเซลล์ไฟฟ้า

อิเล็กโทรดเตรียมขึ้นโดยใช้วิธีการทดลองของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ดังนี้

- เตรียมแคโทดเทอร์อิเลคโทรดโดยนำกระจกนำไฟฟ้าเคลือบทินออกไซด์โดปฟลูออไรด์ (FTO) ไปเคลือบแพลตทินัมด้วยวิธีซิลค์สกรีน จากนั้นให้ความร้อนที่เตาเผาโดยใช้ อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 45 นาที
- เตรียมโฟโตอิเล็กโทรด โดยนำกระจกนำไฟฟ้าเคลือบทินออกไซด์โดปฟลูออไรด์(FTO) ไปเคลือบไทเทเนียมออกไซด์ด้วยวิธีซิลค์สกรีน จากนั้นให้ความร้อนที่เตาเผาโดยใช้ อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- เตรียมเซลล์ไฟฟ้า โดยประกบอิเล็กโทรดที่ย้อมสีแล้วเข้ากับแคโทดเทอร์อิเลคโทรด ใช้ แผ่นพลาสติกกันขอบโดยเว้นรูไว้เติมสารละลายอิเล็กโตรไลต์ I_3^- ตรงกลาง เติมสี ละลายอิเล็กโตรไลต์จากนั้นปิดรูให้สนิท

3.4.2 วิธีการเตรียมสีย้อม

เตรียมใบไม้ที่จะนำมาสกัดสารละลายสีย้อม โดยนำไปตากแห้ง บดใบไม้ให้ละเอียด

การสกัดสีย้อมสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอล อัตราส่วนน้ำหนัก ใบไม้แห้งต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นกรอง เอากากออก

3.4.3 วิธีการย้อมสี

ตารางที่ 3.1 ชนิดใบไม้ ตัวทำละลาย และการใช้สารเติมของตัวอย่างในการทดลอง

ตัวอย่าง	ใบไม้ที่ใช้ในการสกัด	ตัวทำละลาย	การใช้สารเติม*
1	มะม่วงหิมพานต์	น้ำ	ไม่มีการใช้สารเติม
2	มะม่วงหิมพานต์	น้ำ	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี
3	มะม่วงหิมพานต์	น้ำ	ใช้สารเติมขณะย้อมสี
4	มะม่วงหิมพานต์	เอทานอล	ไม่มีการใช้สารเติม
5	คริสตินา	น้ำ	ไม่มีการใช้สารเติม
6	คริสตินา	น้ำ	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี
7	คริสตินา	น้ำ	ใช้สารเติมขณะย้อมสี
8	คริสตินา	เอทานอล	ไม่มีการใช้สารเติม
9	หว่า	น้ำ	ไม่มีการใช้สารเติม
10	หว่า	น้ำ	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี
11	หว่า	น้ำ	ใช้สารเติมขณะย้อมสี
12	หว่า	เอทานอล	ไม่มีการใช้สารเติม
13	เทียนกิ่ง	น้ำ	ไม่มีการใช้สารเติม
14	เทียนกิ่ง	น้ำ	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี
15	เทียนกิ่ง	น้ำ	ใช้สารเติมขณะย้อมสี
16	เทียนกิ่ง	เอทานอล	ไม่มีการใช้สารเติม
17	ชมพู่มะเหมี่ยว	น้ำ	ไม่มีการใช้สารเติม
18	ชมพู่มะเหมี่ยว	น้ำ	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี
19	ชมพู่มะเหมี่ยว	น้ำ	ใช้สารเติมขณะย้อมสี
20	ชมพู่มะเหมี่ยว	เอทานอล	ไม่มีการใช้สารเติม

*อะลูมิเนียมซัลเฟต

สีย้อมที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายแต่ละชนิดนำไปใช้ย้อมสีใน 3 รูปแบบ

1. ไม่มีการใช้สารเติม โดยนำไฟโตอิเล็กโทรไลต์ไปแช่สารละลายสีย้อมที่เตรียมได้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาทำความสะอาด แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
2. ใช้สารเติมก่อนย้อมสี โดยนำไฟโตอิเล็กโทรไลต์ไปแช่สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่สารละลายสีย้อมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำขึ้นมาทำความสะอาด แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
3. ใช้สารเติมขณะย้อมสี โดยนำไฟโตอิเล็กโทรไลต์ไปแช่สารละลายสีย้อมเติมอะลูมิเนียมซัลเฟต 20 กรัมต่อสารละลายสีย้อมลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาทำความสะอาด แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

สีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายนำไปใช้ย้อมสีโดยไม่มีการใช้สารเติม ตัวอย่างทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางแสง

การตรวจสอบสมบัติทางแสงของสารละลายสีย้อม และตรวจสอบสมบัติทางแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ คือ ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) การส่องผ่าน (transmittance) และการสะท้อน (Reflectance) ด้วย UV-spectrophotometer

3.4.5 การวัดประสิทธิภาพเซลล์

การวัดประสิทธิภาพวัดโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยหลอดไฟซีนอน กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ (Xe Short Arc Lamp XBO) เป็นแหล่งกำเนิดแสง และอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพด้วย Keithley 2400 digital multimeter โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 0.9 โวลต์ ทำการวัดตัวอย่างละ 2 ครั้ง

3.4.6 การวัดเสถียรภาพสีของไวแสงและเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดเสถียรภาพสีของไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์โดยพิจารณาการซีดจางของสีของไวแสงบนฟิล์มไททาเนียมออกไซด์หลังให้แสงจำลองกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้หลอดไฟฟ้กำลังไฟ 100 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มไททาเนียมออกไซด์เปรียบเทียบกับฟิล์มไททาเนียมออกไซด์ก่อนได้รับแสง

บทที่ 4

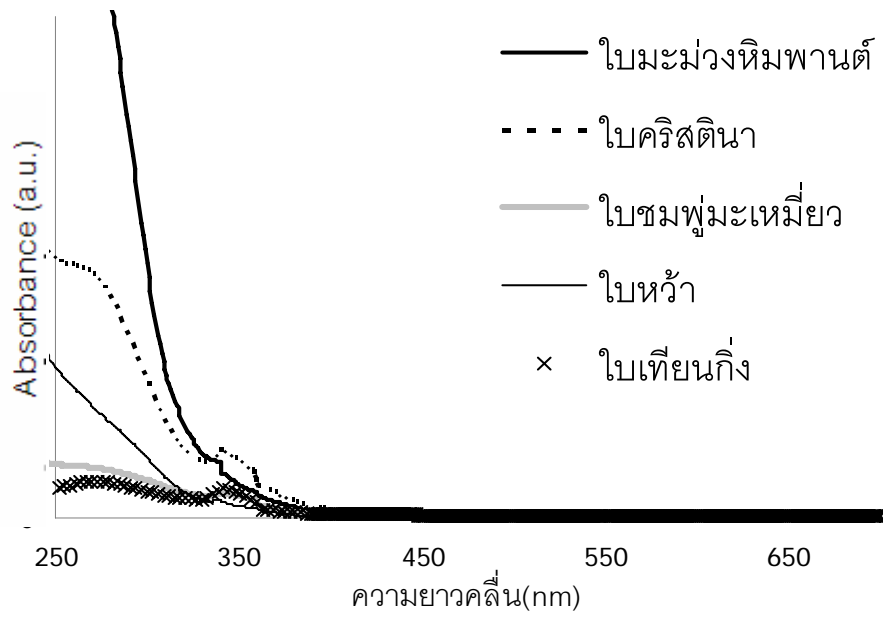
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์

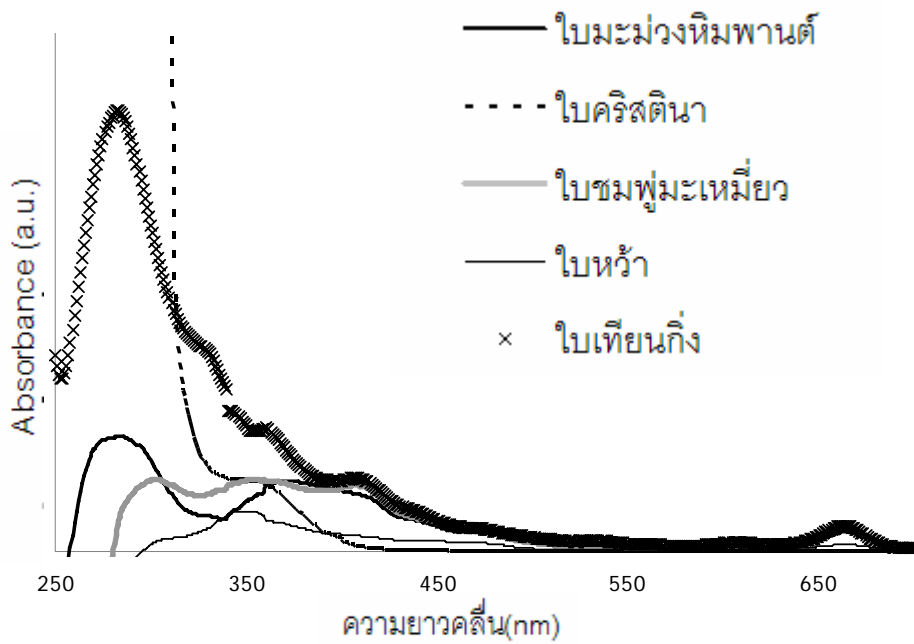
4.1.1 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อม

รูปที่ 4.1 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่สกัดจากใบไม้ที่เป็นยอดอ่อนโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะเห็นได้ว่าสารละลายสามารถดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้น และสารสกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายทุกชนิดมียอดคลื่นที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร เนื่องจากใบอ่อนมีสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อปกป้องใบอ่อนจากการถูกทำลาย เช่น แอนโทไซยานิน และสารจำพวกฟลาโวนอยด์อื่นๆ ที่สามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต และสามารถแสดงยอดการดูดกลืนที่ 310-385 นาโนเมตร [29- 31] นอกจากนี้ใบไม้บางชนิด เช่น ใบมะม่วงหิมพานต์ ยังมีสารประกอบจำพวกฟีนอลิกที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้นเช่นกัน [32-33] และใบเทียนกิ่งพบว่ามียอดการดูดกลืนที่ 270 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับยอดการดูดกลืนแสงของลอไซน ซึ่งเป็นสารสีที่พบในใบเทียนกิ่ง[34]

รูปที่ 4.2 สำหรับสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายนอกจากจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้นเช่นเดียวกับสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำแล้ว ยังพบว่ามียอดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 และ 665 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ ยกเว้นสีย้อมที่สกัดจากใบคริสตินาไม่แสดงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังพบการดูดกลืนแสงที่ตรงกันแอนโทไซยานินอีกด้วย สำหรับสารสกัดจากใบเทียนกิ่งพบยอดการดูดกลืนที่ 270 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับการดูดกลืนแสงของลอไซนเช่นกัน และใบมะม่วงหิมพานต์พบยอดการดูดกลืนของสารประกอบฟีนอลิกที่ 280 และ 370 นาโนเมตร



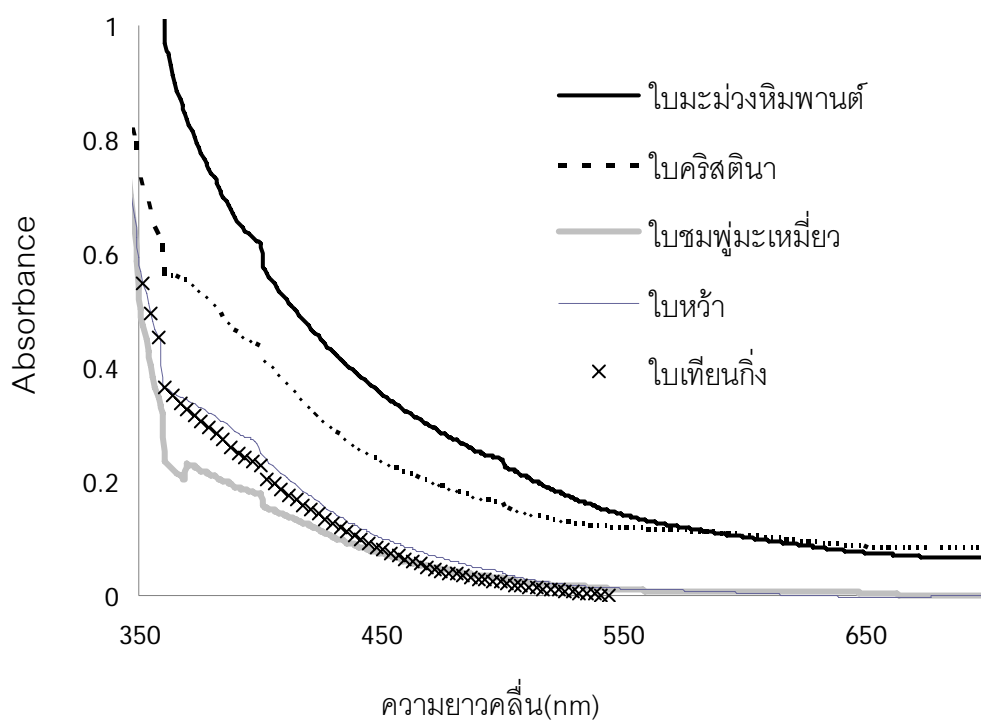
รูปที่ 4. 1 การดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4. 2 การดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

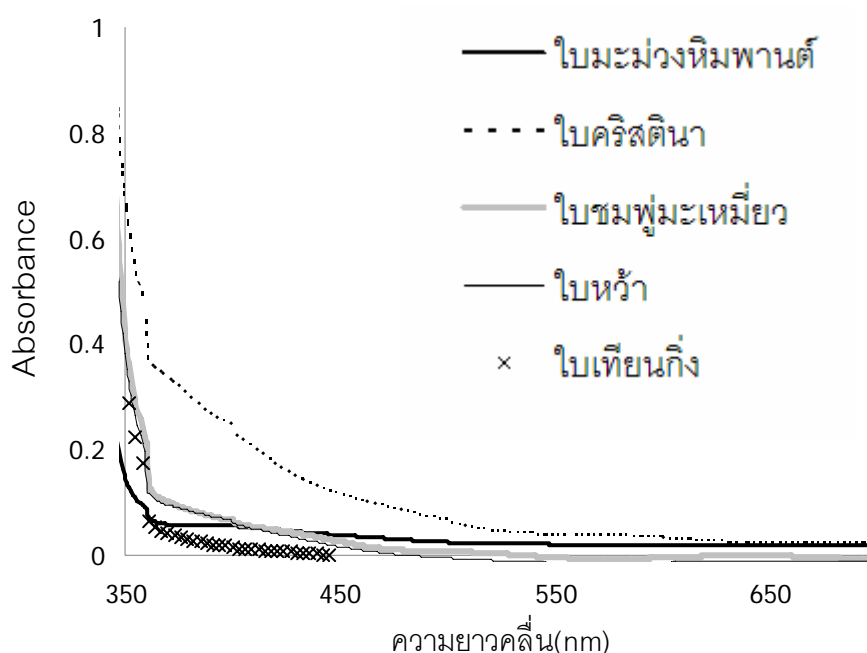
4.1.2 การดูดกลืนแสงของสี้อมบนไททาเนียมออกไซด์

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสี้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสารละลายสี้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายของใบไม้ทั้ง 5 ชนิดพบว่า สี้อมจากใบมะม่วงหิมพานต์สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด รองลงมาคือ ใบคริสตินา สำหรับใบหว่า ใบเทียนกิ่ง และใบชมพูมะเหมี่ยวสามารถดูดกลืนแสงได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การดูดกลืนแสงของสี้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตรอาจมีความคลาดเคลื่อนได้สูง และไม่สามารถทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำกว่า 350 นาโนเมตร เนื่องจากไททาเนียมออกไซด์สามารถดูดกลืนแสงได้ทั้งหมดจากการวัดด้วยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว



รูปที่ 4. 3 การดูดกลืนแสงของสี้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

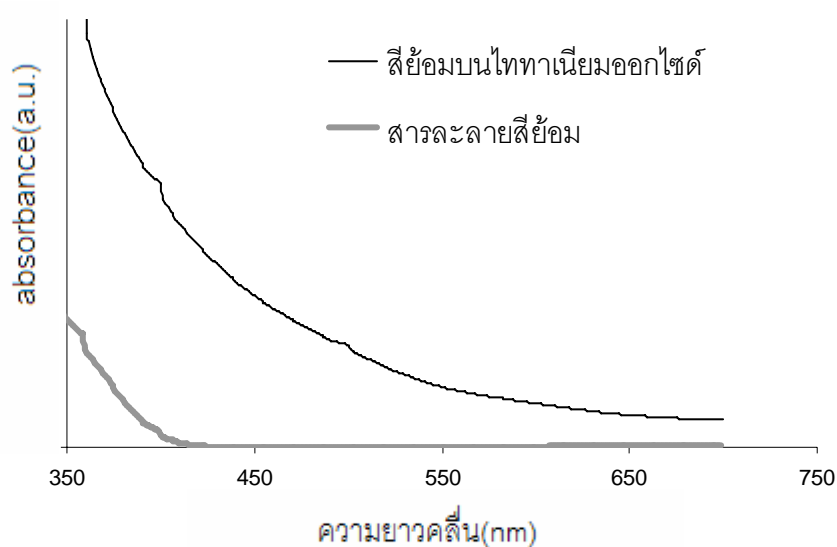
สำหรับการดูดกลืนแสงบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่ามีเพียงสารประกอบจำพวกฟลาโวนอยด์และแทนนินที่ยึดเกาะบนไททาเนียมออกไซด์ แม้ว่าในสารละลายสีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายจะพบคลอโรฟิลล์ด้วยก็ตาม เนื่องจากสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์มีหมู่ฟังก์ชัน $-OH$ ที่ช่วยในการยึดเกาะบนไททาเนียมออกไซด์ได้ดี รูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์สามารถดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้นเท่านั้น และไม่พบลักษณะการดูดกลืนแสงที่ตรงกับคลอโรฟิลล์ ซึ่งการดูดกลืนแสงนี้มีลักษณะกราฟเช่นเดียวกับสีย้อมที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย โดยสีย้อมที่สกัดจากใบคริสตินาสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด รองลงมาคือ ใบชมพูมะเหมี่ยว และใบหว่าที่มีการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ใบมะม่วงหิมพานต์และใบเทียนกิ่งดูดกลืนแสงได้น้อยที่สุดตามลำดับ



รูปที่ 4.4 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

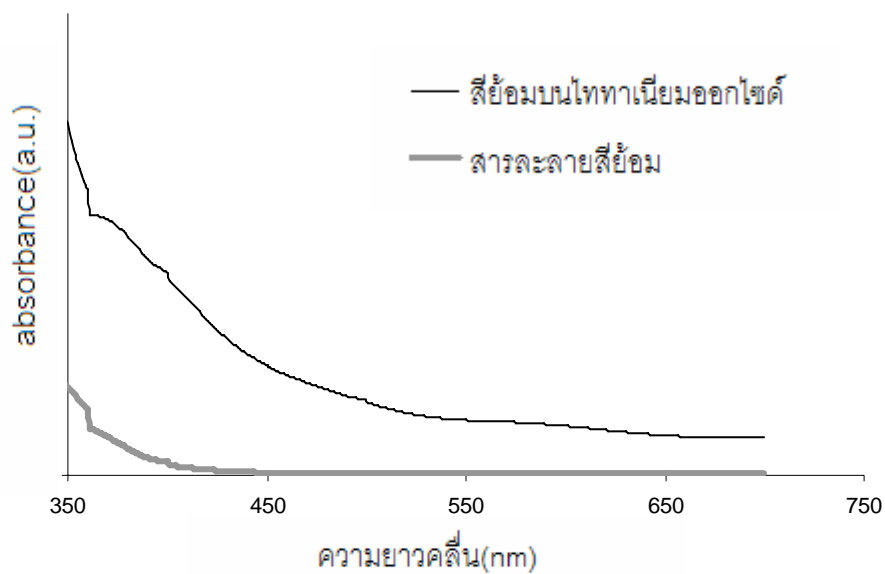
4.1.3 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้มและสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย

รูปที่ 4.5-4.9 แสดงการดูดกลืนแสงของสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มจากใบไม้ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟการดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้ม พบว่ารูปกราฟมีลักษณะที่เหมือนกัน แต่กราฟการดูดกลืนแสงสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์เลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว (red-shift) อันเนื่องจากการยึดเกาะระหว่างสีส้มและไททาเนียมออกไซด์



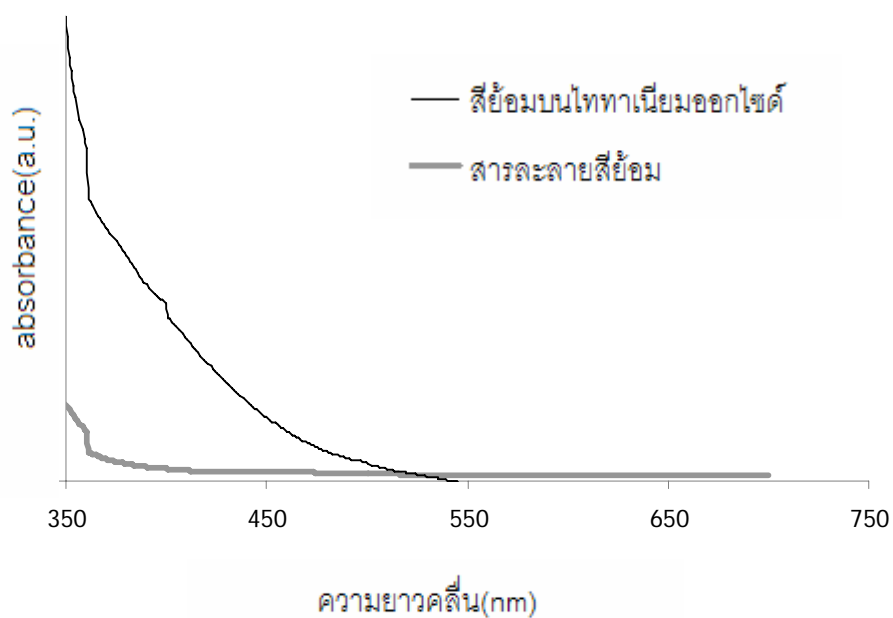
รูปที่ 4.5 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้มและสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มที่สกัดจาก

ใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย



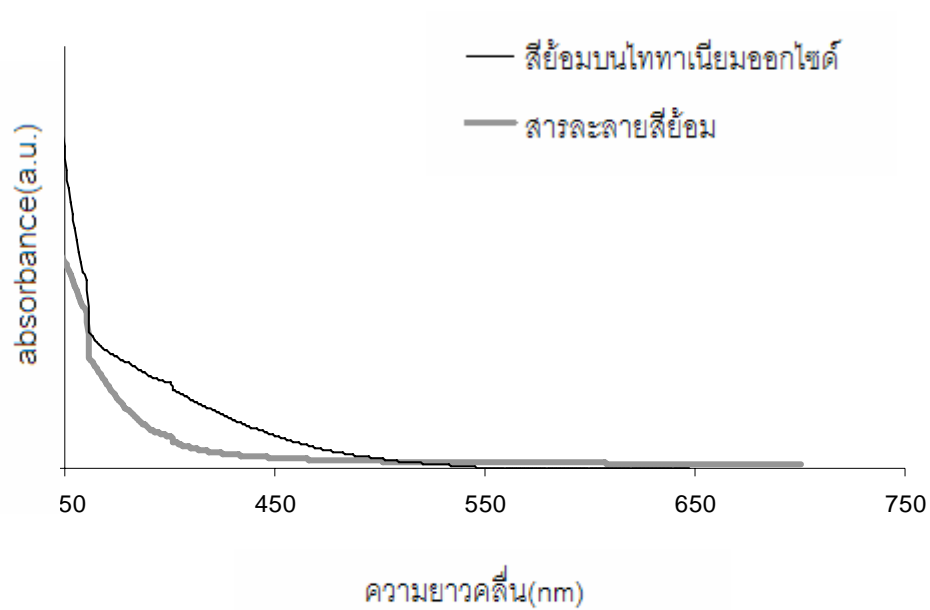
รูปที่ 4. 6 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจาก

ใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย



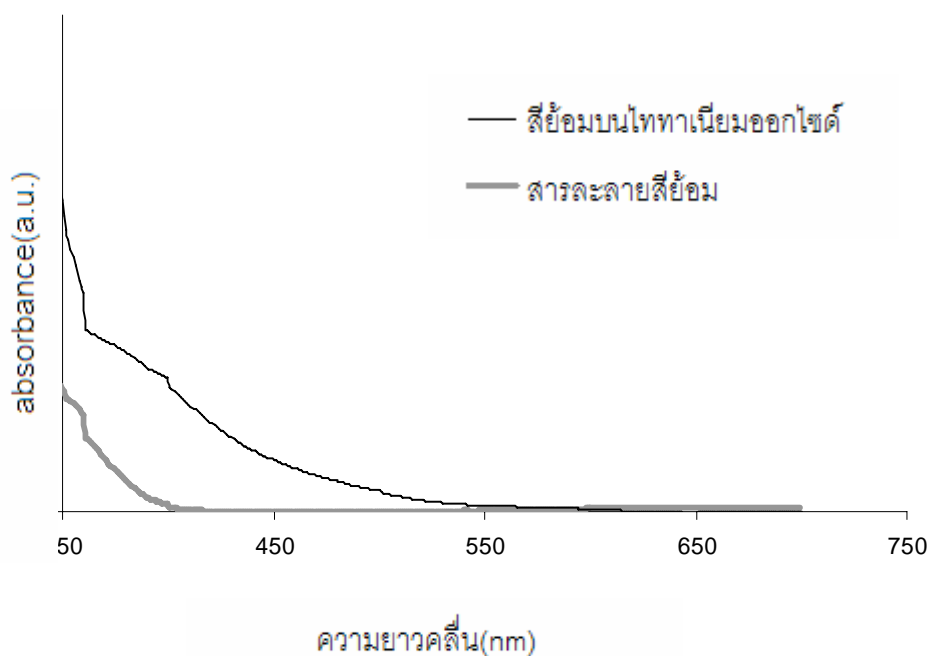
รูปที่ 4. 7 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจาก

ใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4. 8 การดูดกลืนแสงของสารละลายคีโตมและคีโตมบนไททาเนียมออกไซด์ของคีโตมที่สกัดจาก

ใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

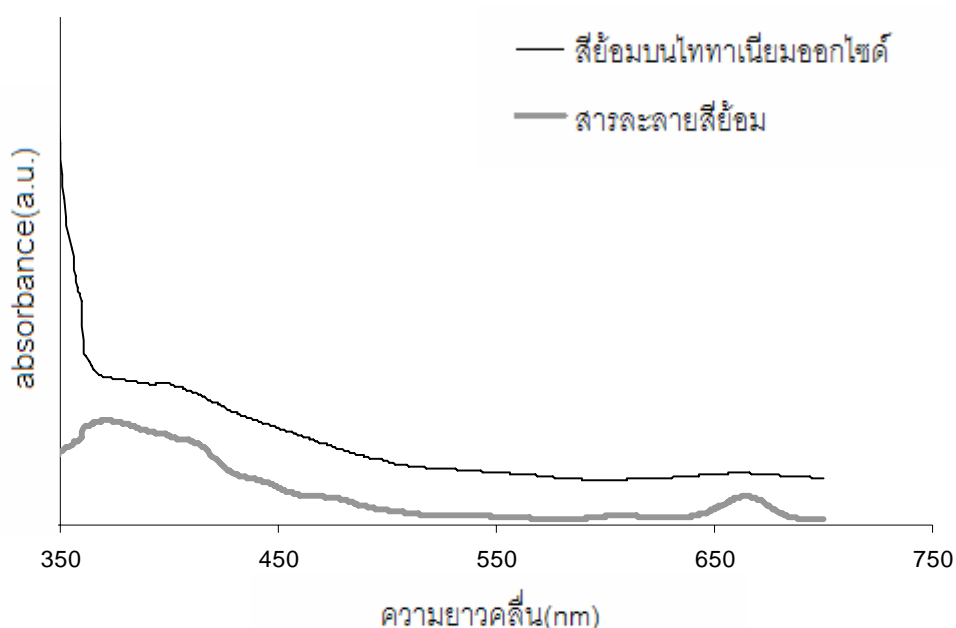


รูปที่ 4. 9 การดูดกลืนแสงของสารละลายคีโตมและคีโตมบนไททาเนียมออกไซด์ของคีโตมที่สกัดจากใบหว่า

โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

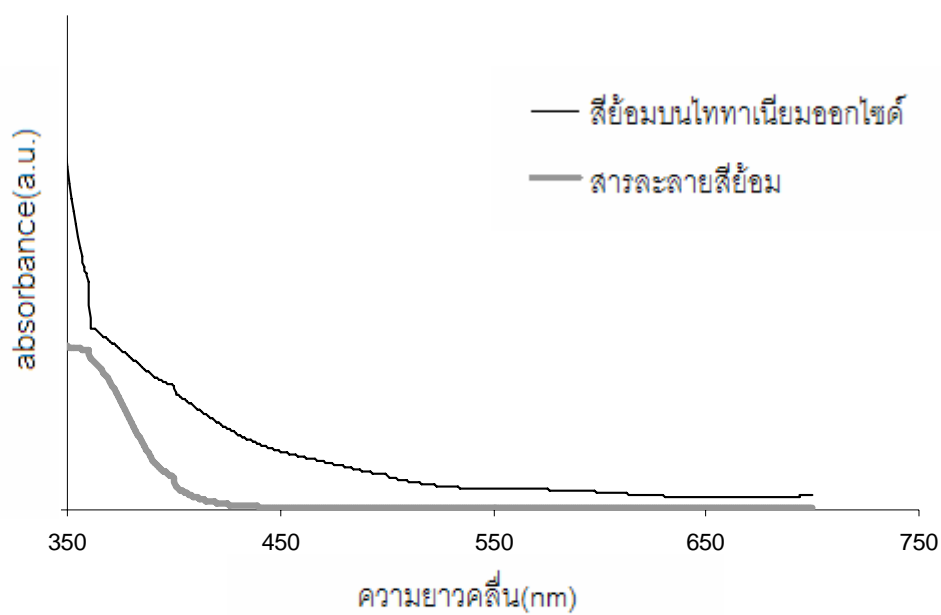
4.1.4 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้มและสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มที่สกัดจากใบไม้โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

รูปที่ 4.10-4.14 แสดงการดูดกลืนแสงของสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มจากใบไม้ที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้ม พบว่ารูปกราฟมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยแม้ว่าสารละลายสีส้มแสดงยอดกราฟการดูดกลืนแสงที่ 430 และ 665 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับคลอโรฟิลล์ และแสดงการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น แต่สีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ไม่พบการดูดกลืนแสงที่ตรงกับคลอโรฟิลล์ ดังนั้นสีส้มที่ยึดเกาะบนไททาเนียมออกไซด์จึงมีเพียงฟลาโวนอยด์ และแทนนินที่เท่านั้น นอกจากนี้การดูดกลืนแสงบนไททาเนียมออกไซด์ พบว่ามีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว(red-shift) เล็กน้อย ผลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างพันธะระหว่างสีส้มและไททาเนียมออกไซด์เมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีน้อย



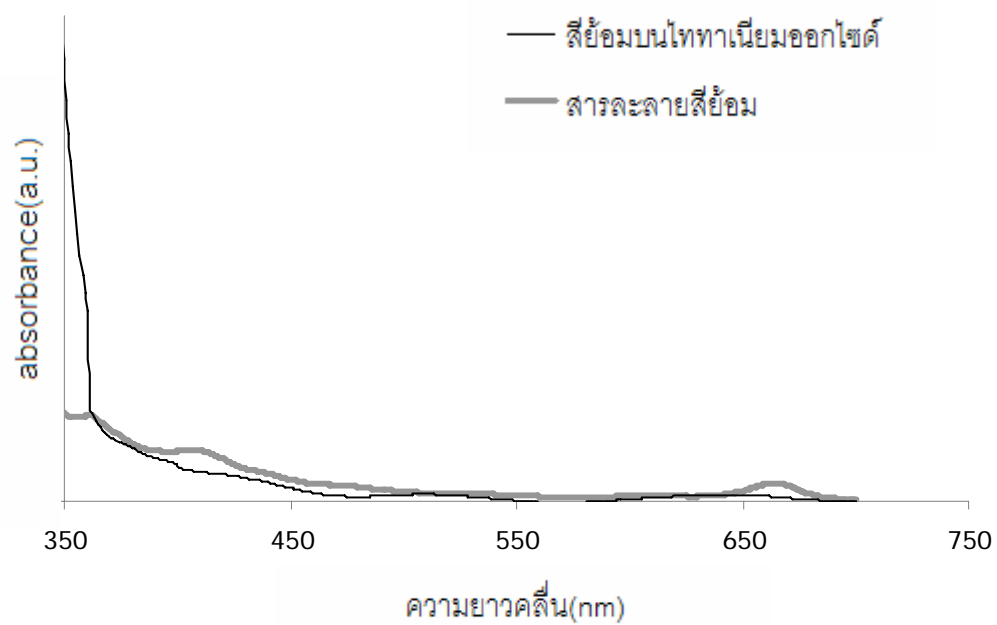
รูปที่ 4. 10 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีส้มและสีส้มบนไททาเนียมออกไซด์ของสีส้มที่สกัดจาก

ใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



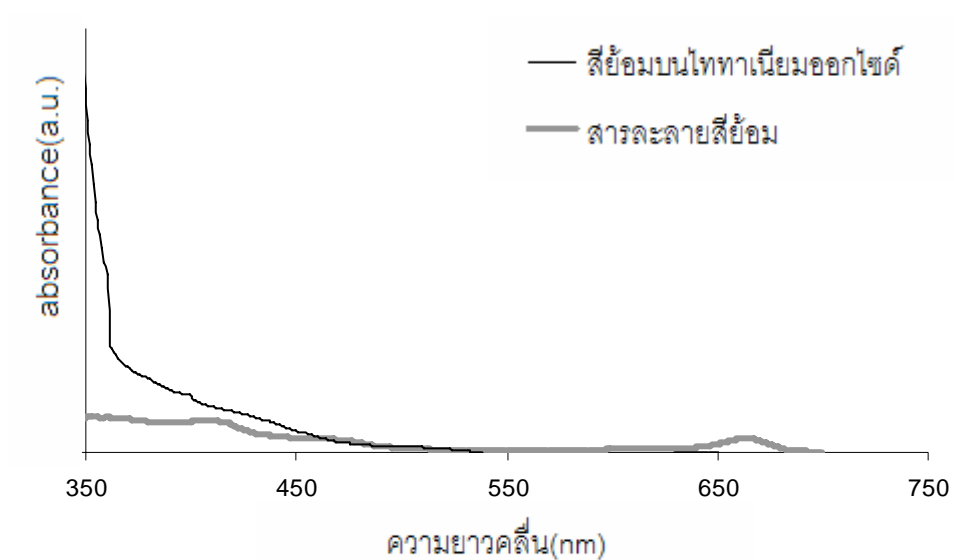
รูปที่ 4. 11 การดูดกลืนแสงของสารละลายสี้อยอมและสี้อยอมบนไททานเนียมออกไซด์ของสี้อยอมที่สกัดจาก

โบคริสตินาโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



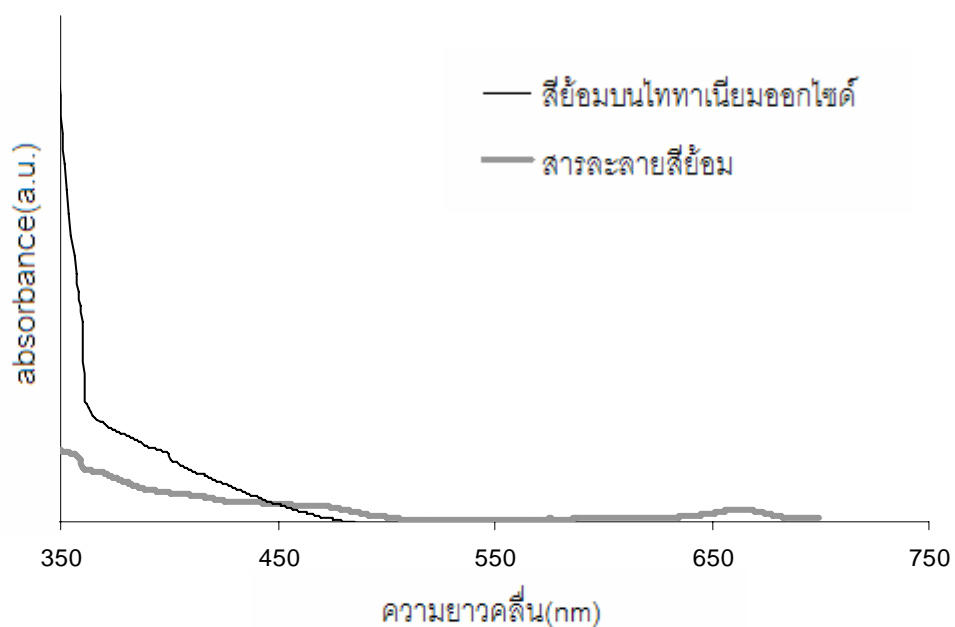
รูปที่ 4. 12 การดูดกลืนแสงของสารละลายสี้อยอมและสี้อยอมบนไททานเนียมออกไซด์ของสี้อยอมที่สกัดจาก

โบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4. 13 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจาก

ใบชมพู่มะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

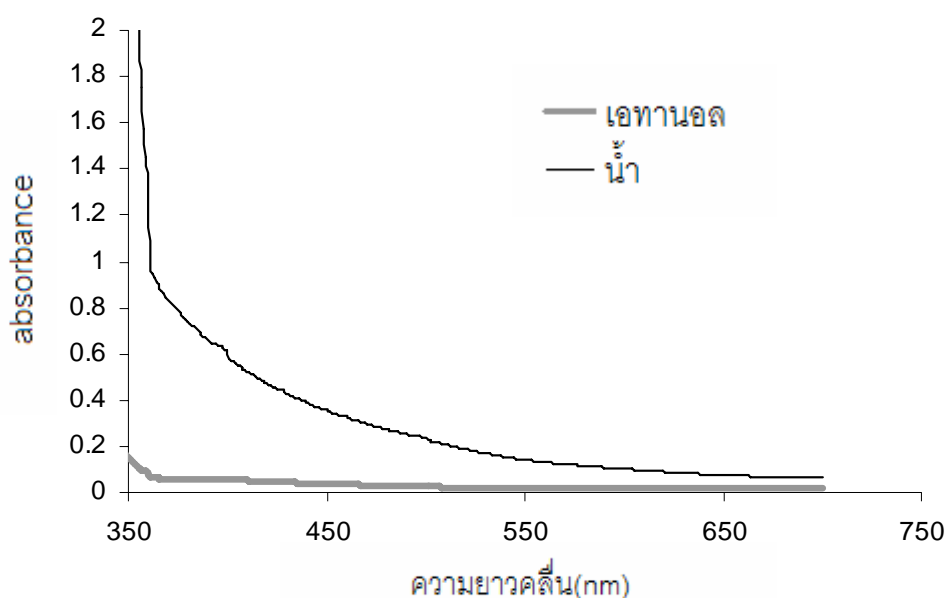


รูปที่ 4. 14 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบหว่า

โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

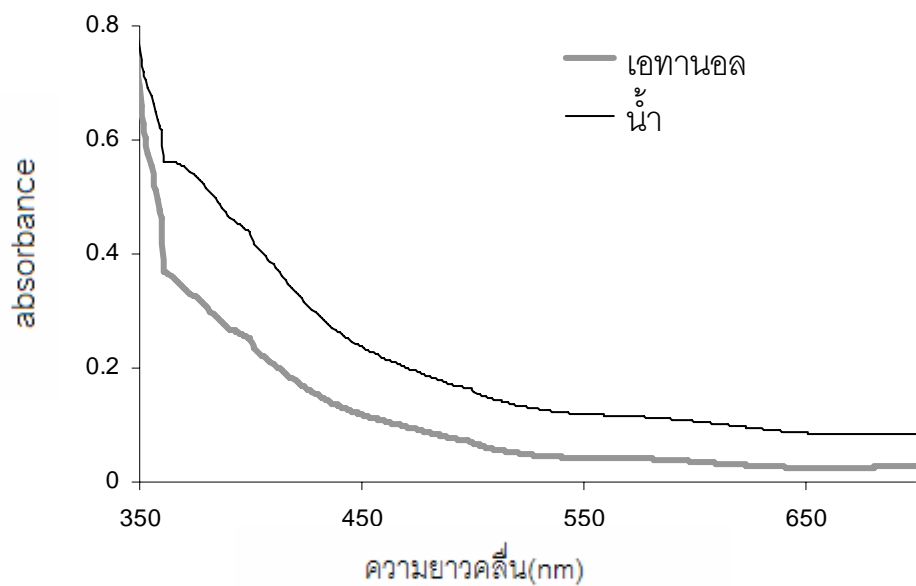
4.1.5 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

รูปที่ 4.15-4.19 แสดงการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์เปรียบเทียบระหว่างสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำ และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสีย้อมจากใบไม้ทั้ง 5 ชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าสีย้อมสีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย และยังเกิดการยืดเกาะบนไททาเนียมออกไซด์ได้ดีกว่าเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.15-4.19 สีย้อมที่สกัดโดยใช้สารละลายทั้งสองมีรูปกราฟที่มีลักษณะเดียวกัน แสดงการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้นเช่นกัน แต่การดูดกลืนแสงสีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายเกิดการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว (red-shift) มากกว่าสีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งการดูดกลืนแสงที่เลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาวนี้สัมพันธ์กับการเกิดการยืดเกาะของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ นอกจากนี้จากกราฟจะเห็นได้ว่าสีย้อมที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายยังไม่ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำกว่าสีย้อมที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเมื่อสีย้อมที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีการสร้างพันธะยืดเกาะกับไททาเนียมออกไซด์เกิดขึ้นน้อยจึงส่งผลให้เกิดการดูดกลืนแสงบนไททาเนียมออกไซด์น้อยเช่นกัน

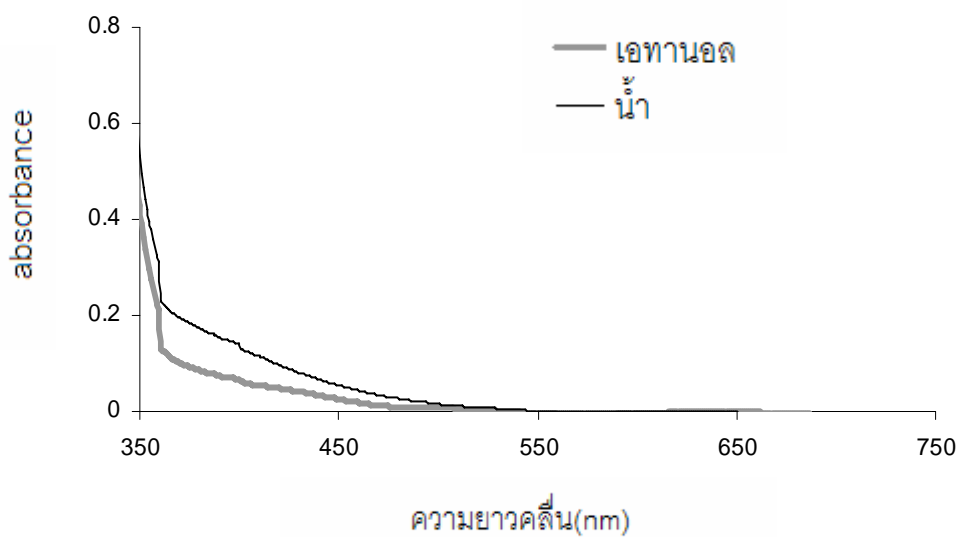


รูปที่ 4. 15 การดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมและสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมที่สกัดจาก

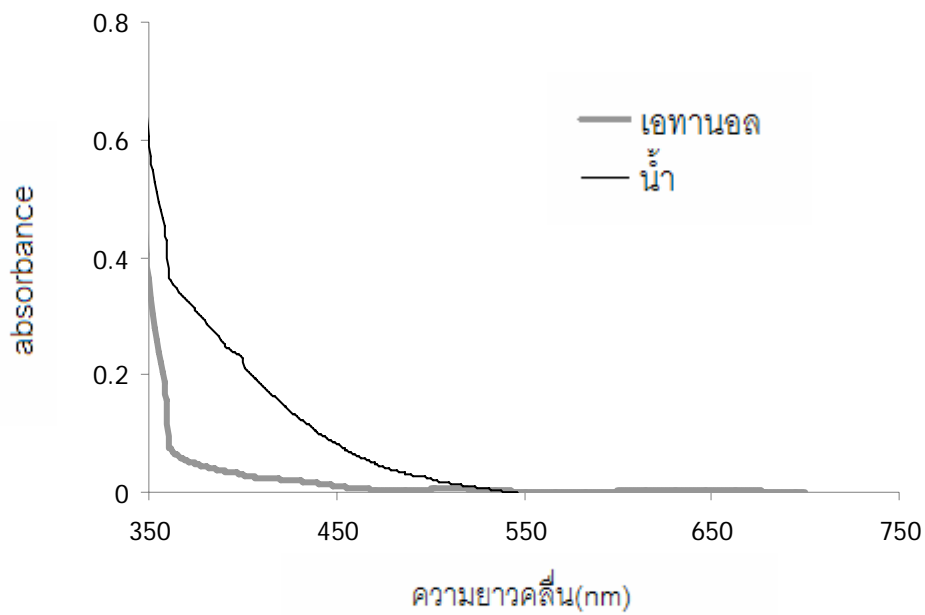
ใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย



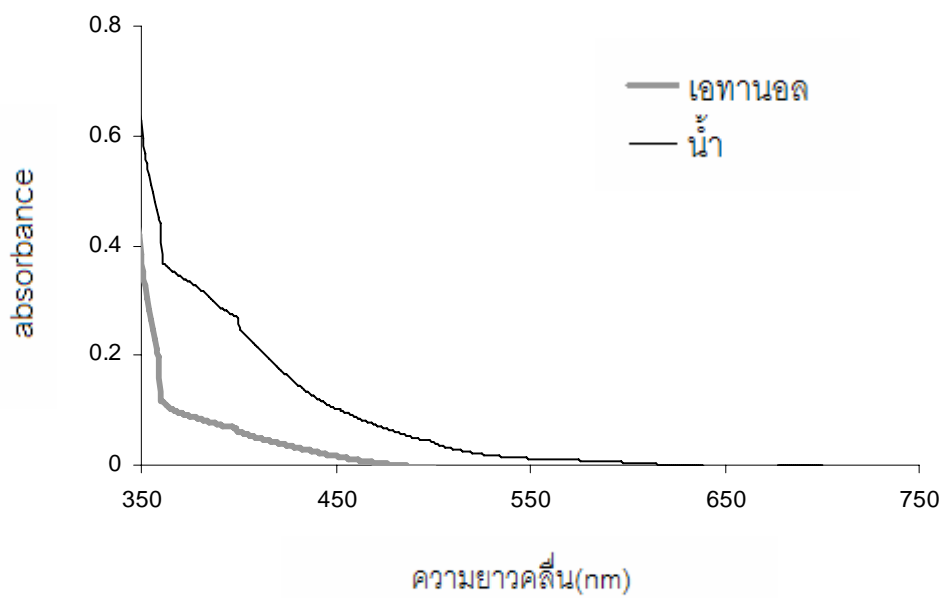
รูปที่ 4. 16 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากโพลีไครสตีลีนโดยใช้ น้ำและเอทานอล
เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4. 17 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากโพลีไครสตีลีนโดยใช้ น้ำและเอทานอล
เป็นตัวทำละลาย



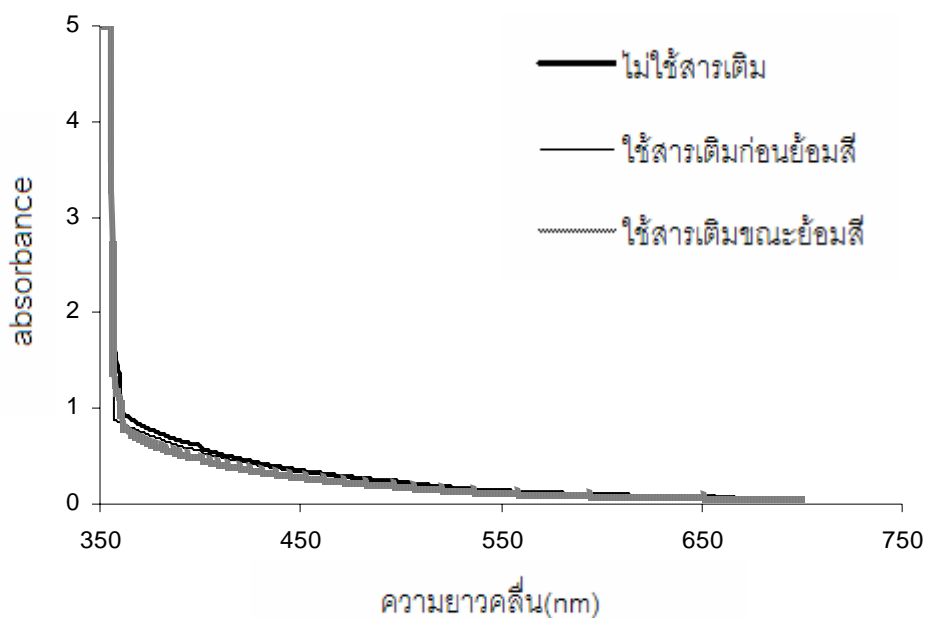
รูปที่ 4. 18 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบรันทาเทาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำและเอทานอล
เป็นตัวทำละลาย



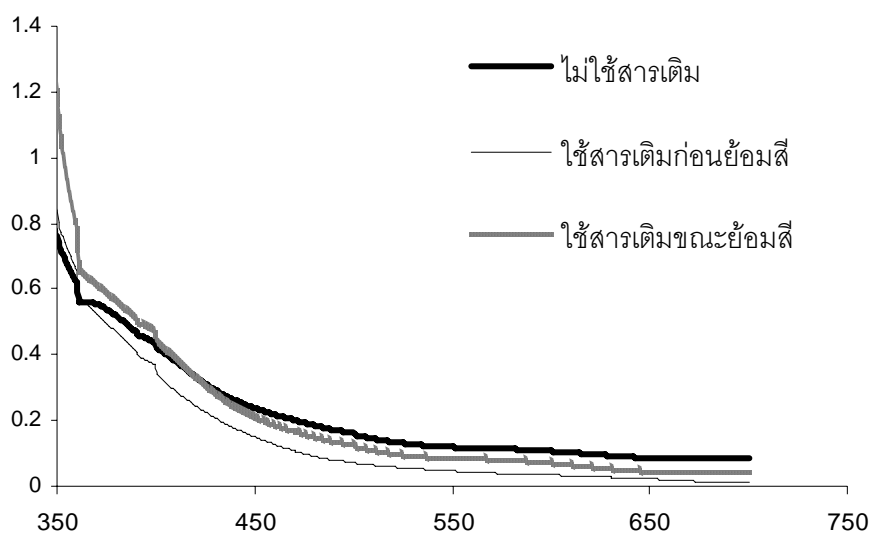
รูปที่ 4. 19 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบรันทาเทาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้น้ำและเอทานอล
เป็นตัวทำละลาย

4.1.6 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสี

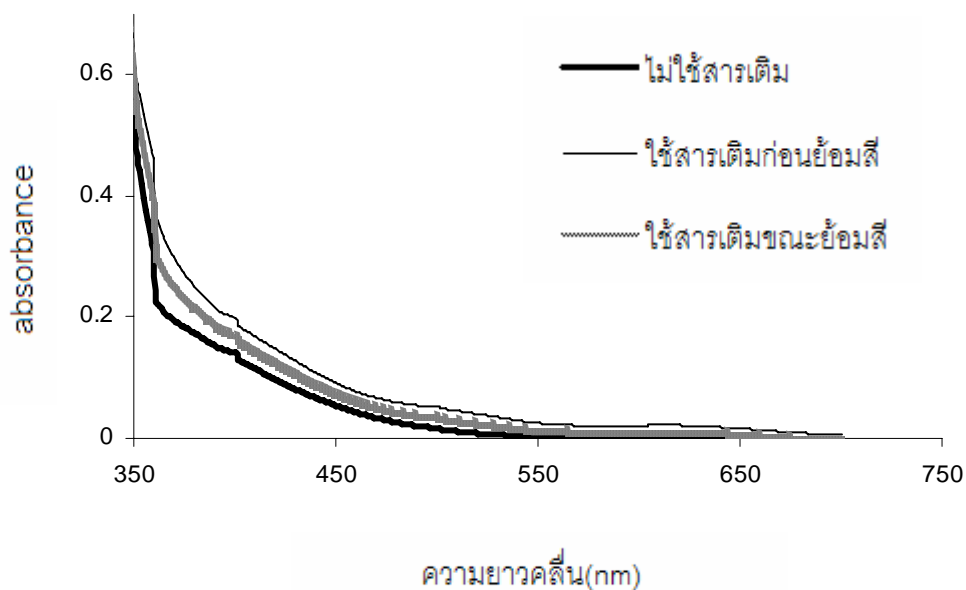
การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของใบไม้ทั้ง 5 ชนิด พบว่าการใช้สารเติมทั้งก่อนย้อมสีและขณะย้อมสีไม่มีส่วนช่วยเพิ่มการดูดกลืนแสงของสีย้อม ดังรูปที่ 4.20-4.24 แสดงการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสี จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณีไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจน



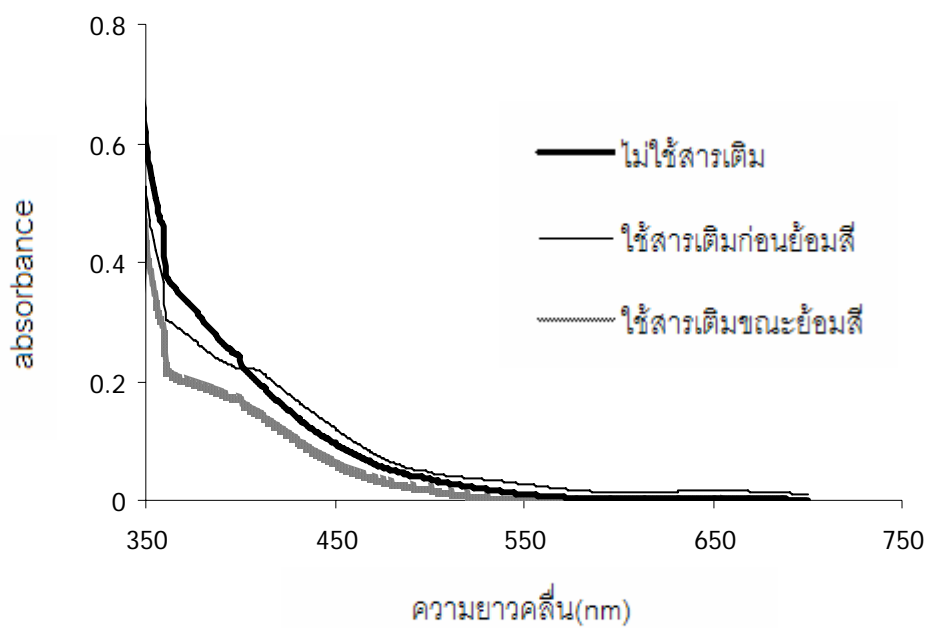
รูปที่ 4. 20 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์



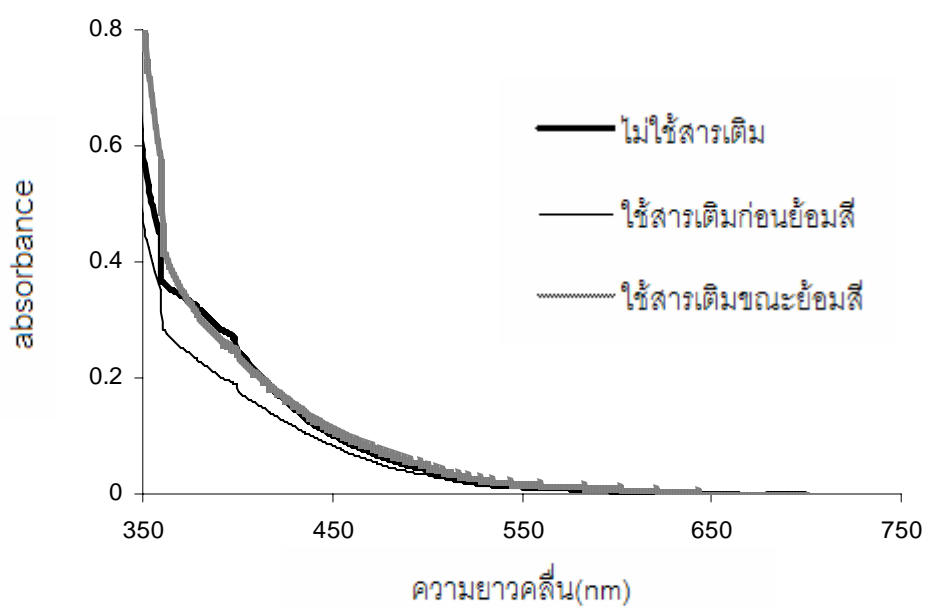
รูปที่ 4. 21 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบคริสตินา



รูปที่ 4. 22 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยว



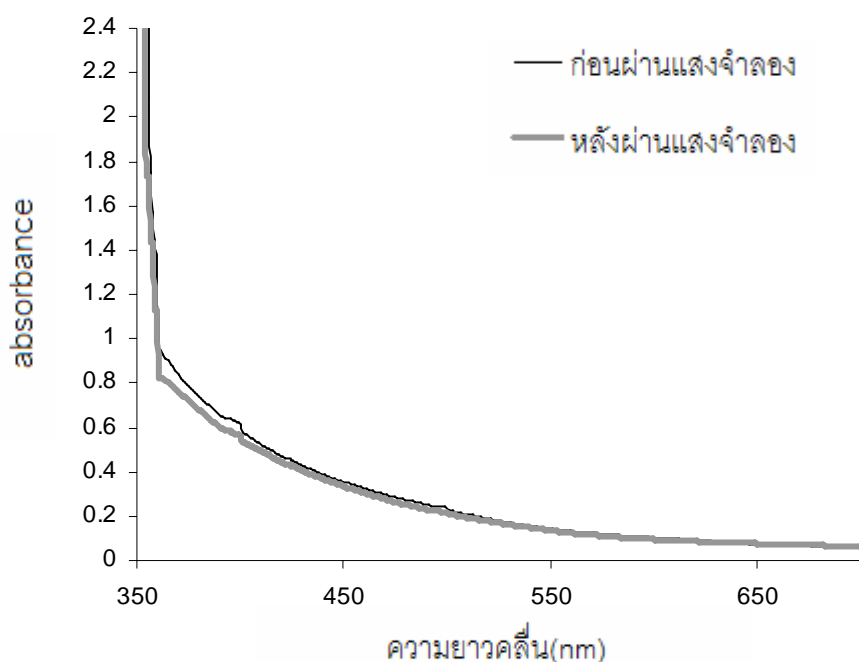
รูปที่ 4. 23 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบเทียนกิ่ง



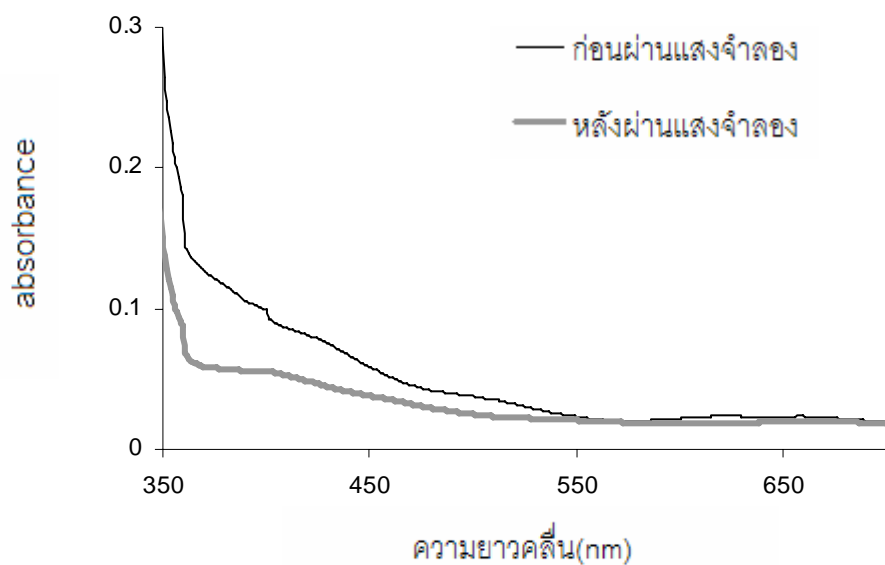
รูปที่ 4. 24 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์เมื่อไม่ใช้สารเติม ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสีของสีย้อมที่สกัดจากใบหว่า

4.1.7 การเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ของสีย้อมก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

เมื่อเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของไททาเนียมออกไซด์ด้วยสีย้อมจากใบไม้หลังจากย้อมสีทันทีและไททาเนียมออกไซด์ที่ย้อมด้วยสีย้อมจากใบไม้หลังให้แสงจำลองเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากรูปที่ 4.25-4.41 พบว่าสีย้อมที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีเสถียรภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากพบการดูดกลืนแสงที่ลดลงเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ สำหรับสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่ใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารเติมขณะย้อมสี พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสงเล็กน้อยเช่นเดียวกับสีย้อมที่สกัดโดยใช้น้ำบนไททาเนียมออกไซด์โดยไม่มีการใช้สารเติม ยกเว้นสีย้อมที่สกัดจากใบเทียนกิ่งพบว่ามีเสถียรภาพลดลง

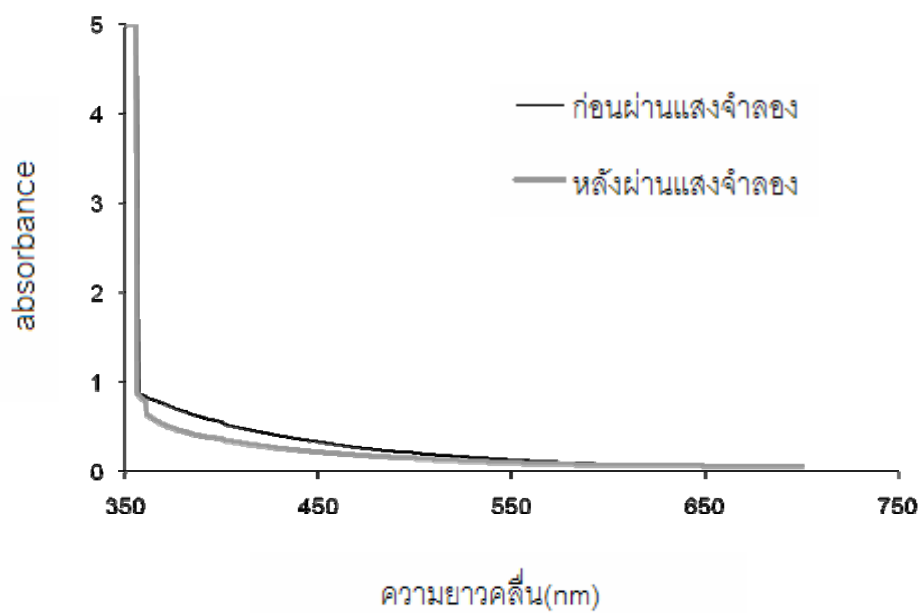


รูปที่ 4. 25 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



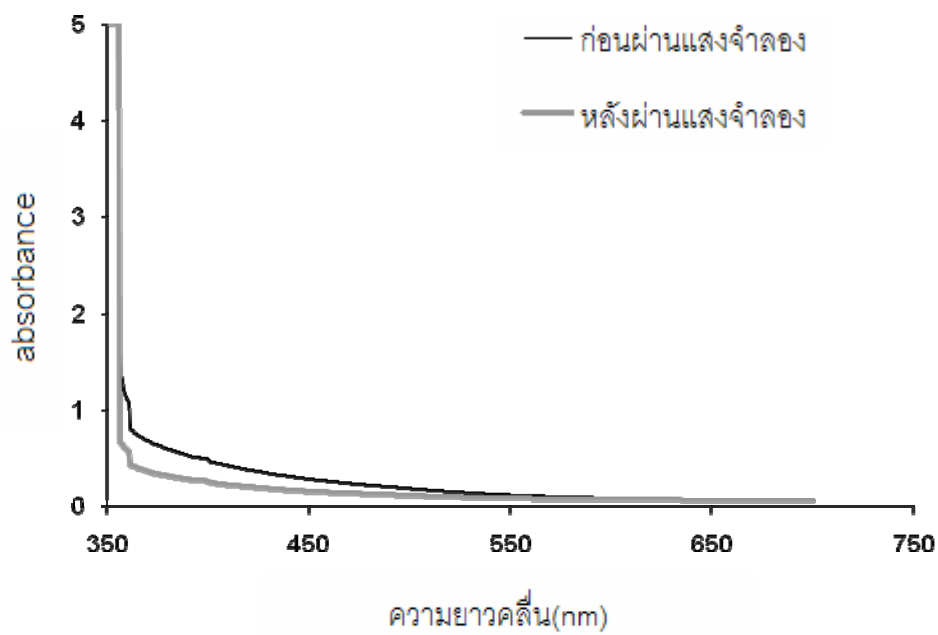
รูปที่ 4. 26 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททานเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอล

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

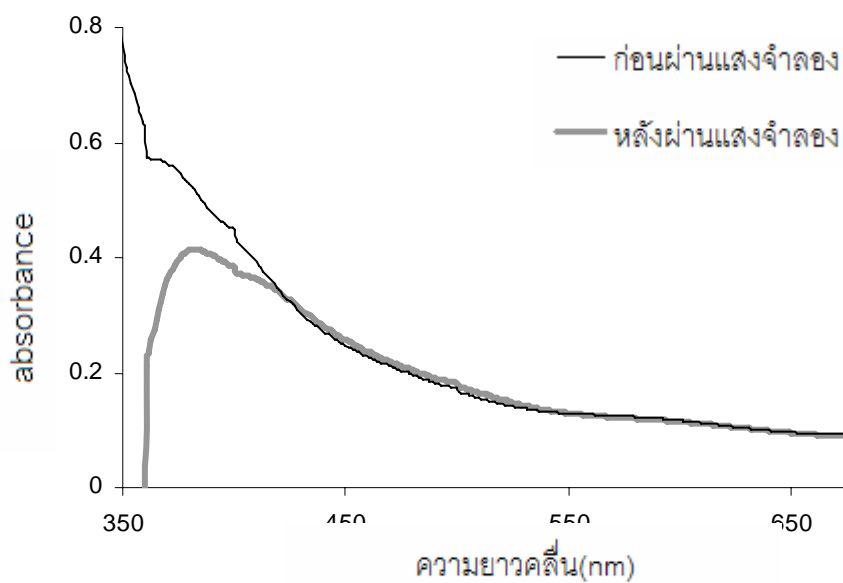


รูปที่ 4. 27 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททานเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้สารเติมก่อนข้อม

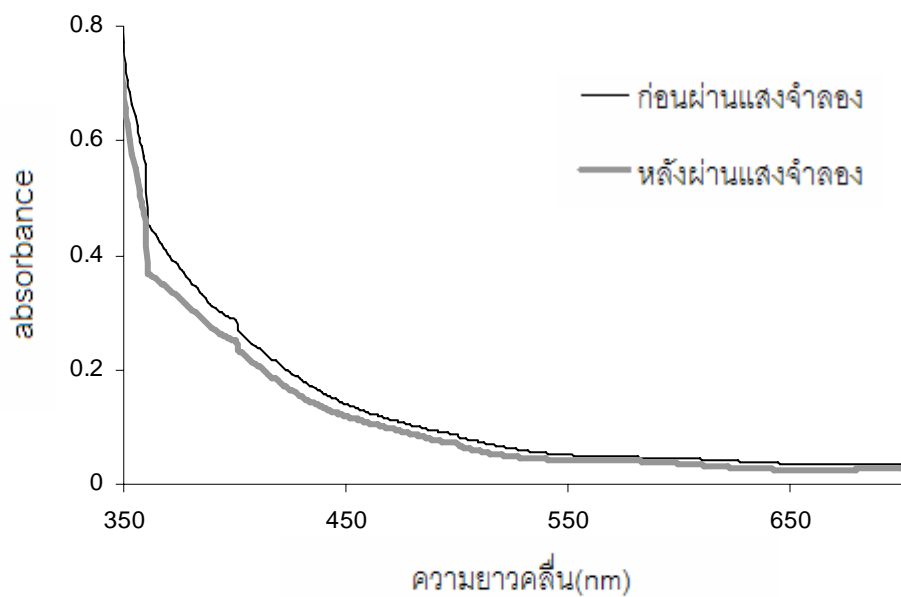
สีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



รูปที่ 4. 28 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้สารเติมขณะ
ย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

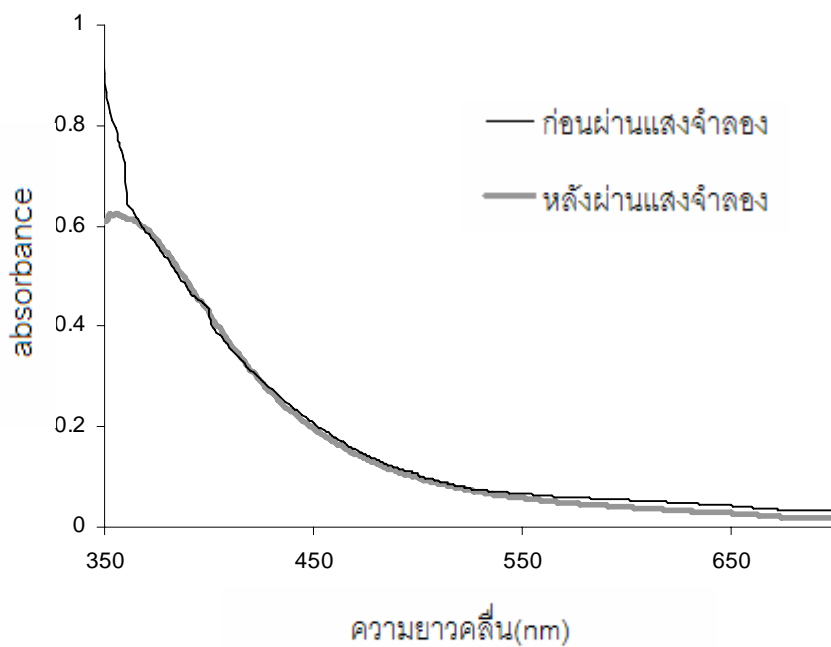


รูปที่ 4. 29 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้น้ำก่อนและหลังผ่าน
แสงจำลอง



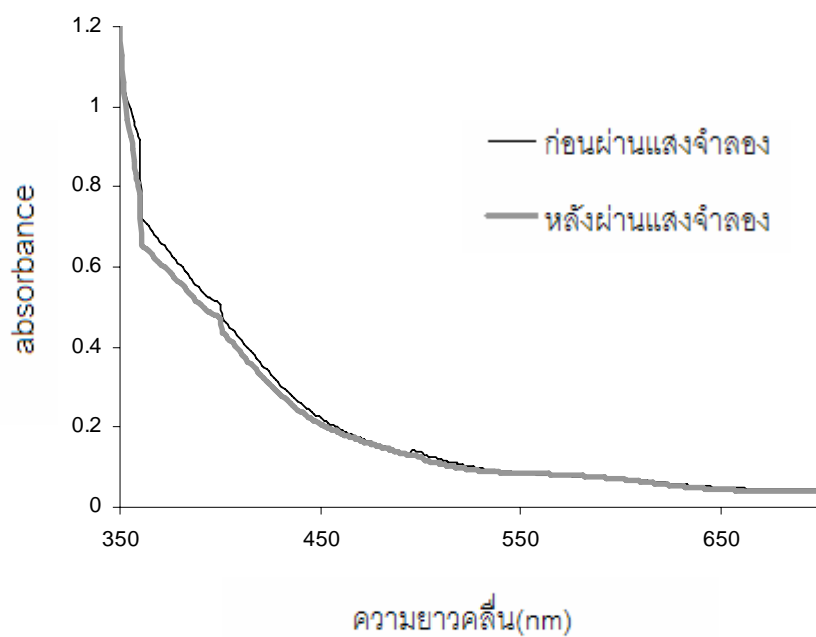
รูปที่ 4. 30 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้เอทานอล

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



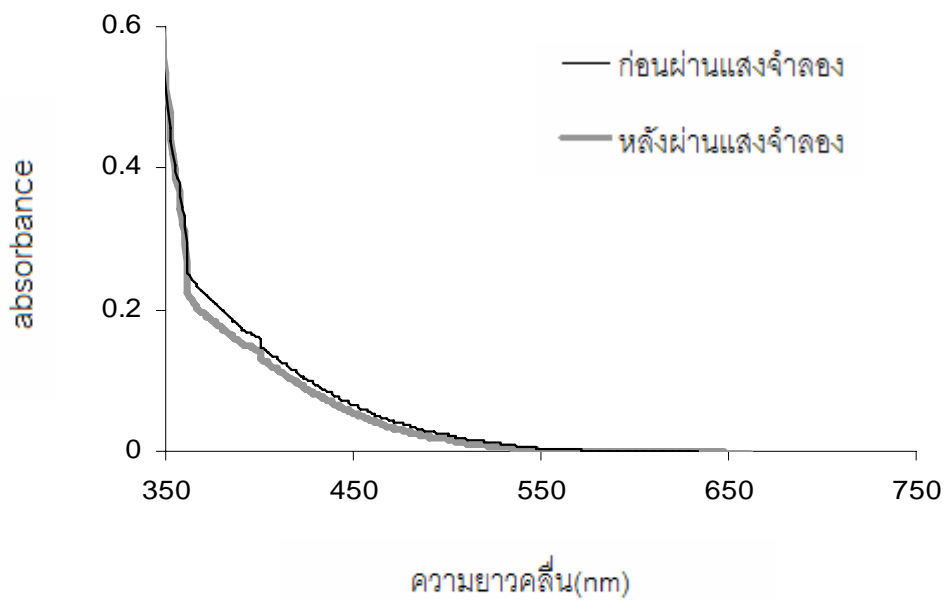
รูปที่ 4. 31 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาที่ใช้สารเติมก่อนย้อมสี

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



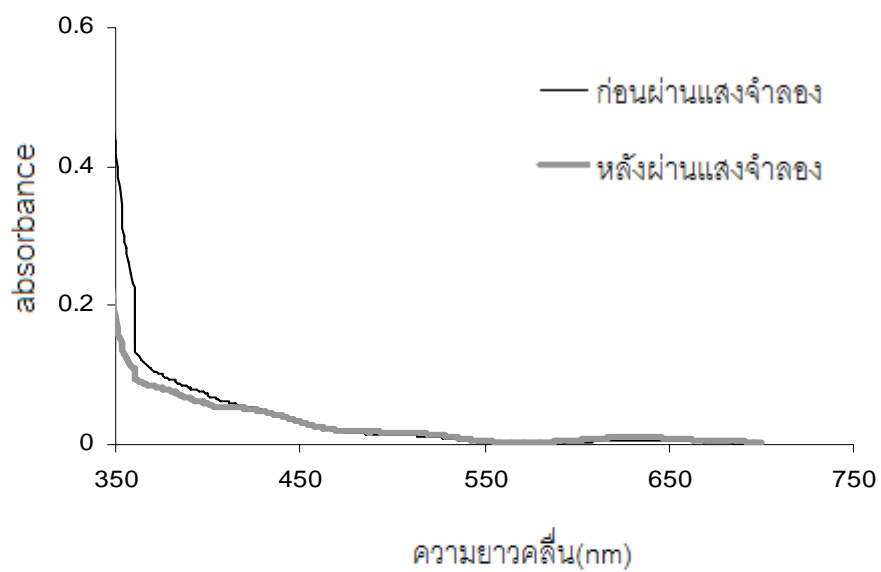
รูปที่ 4. 32 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบคริสตินาโดยใช้สารเติมขณะข้อมสี

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



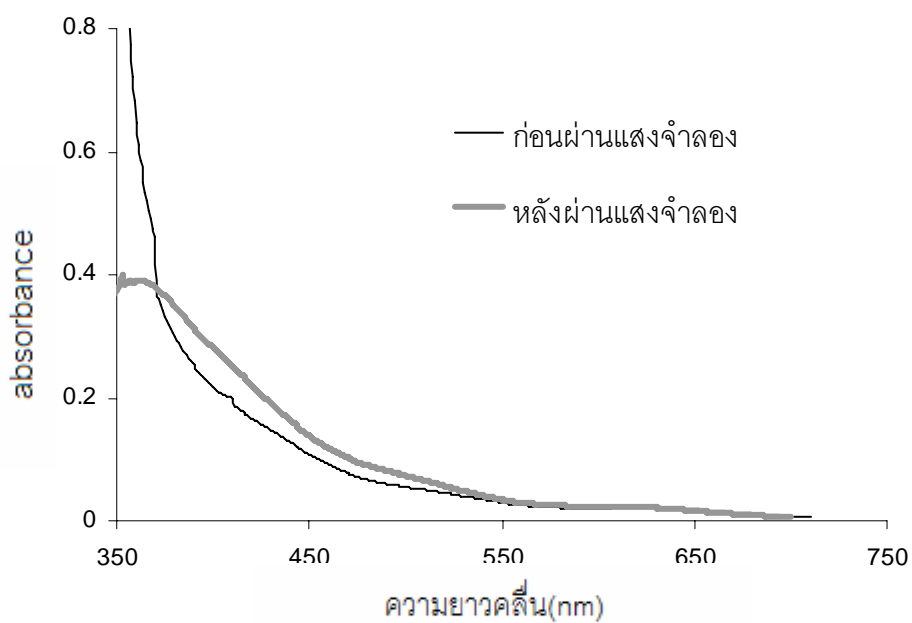
รูปที่ 4. 33 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำ

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



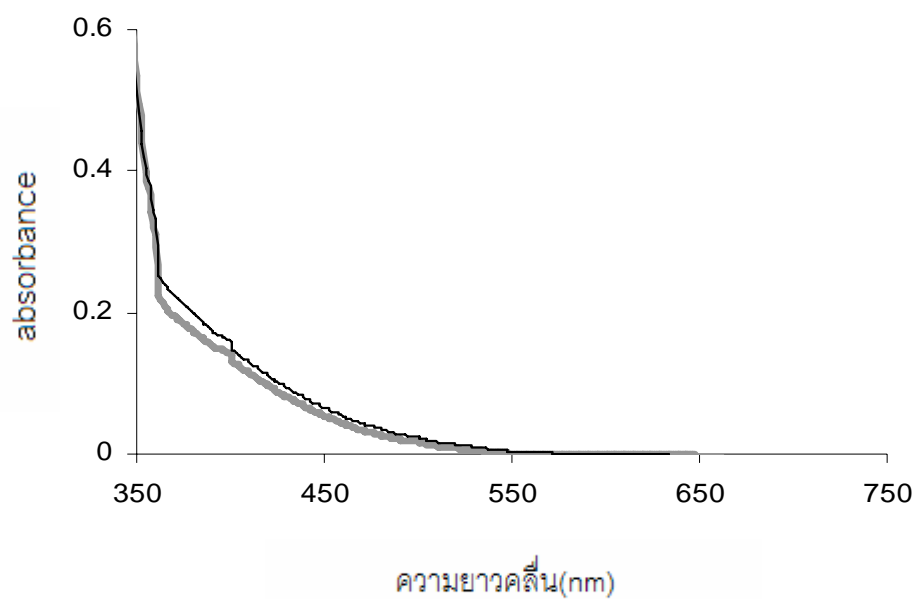
รูปที่ 4. 34 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอล

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

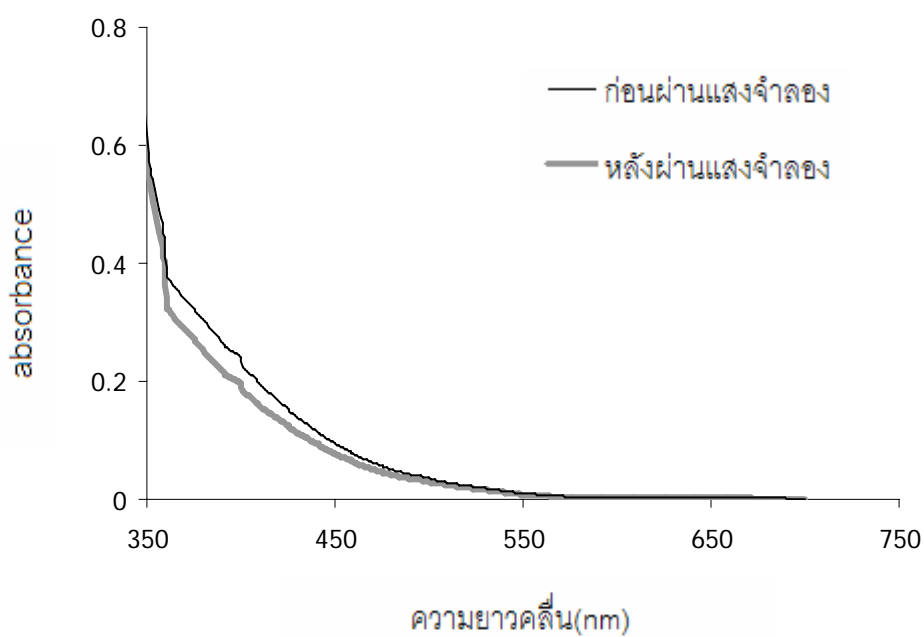


รูปที่ 4. 35 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวที่ใช้สารเติมก่อนย้อมสี

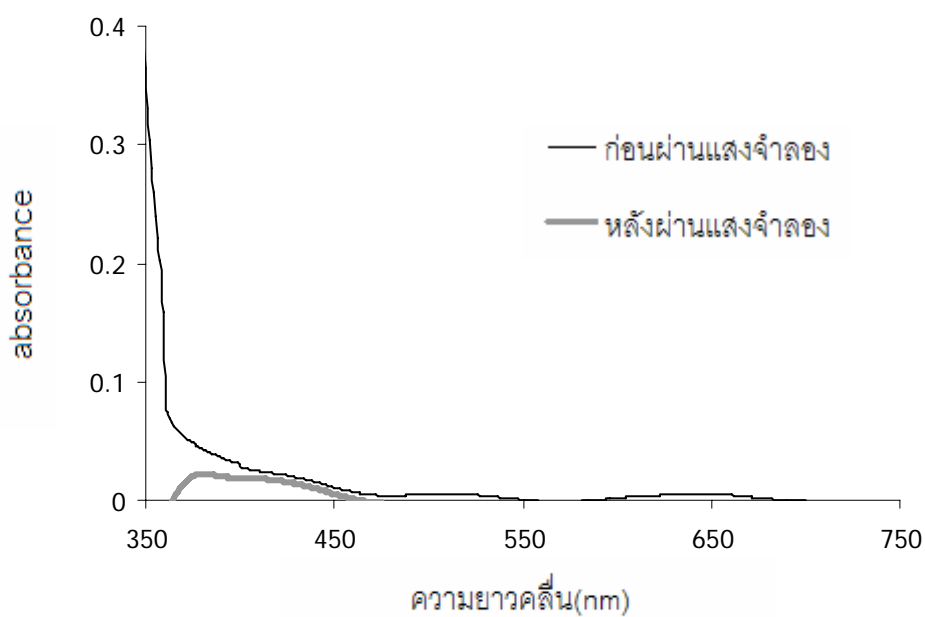
ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



รูปที่ 4. 36 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเดิมขณะ
ข้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

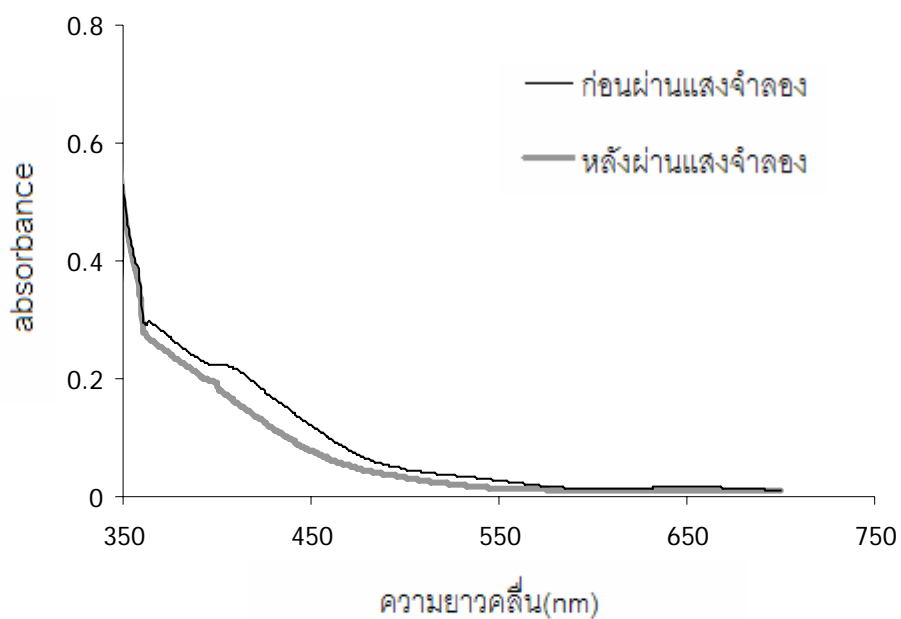


รูปที่ 4. 37 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำก่อนและหลังผ่าน
แสงจำลอง



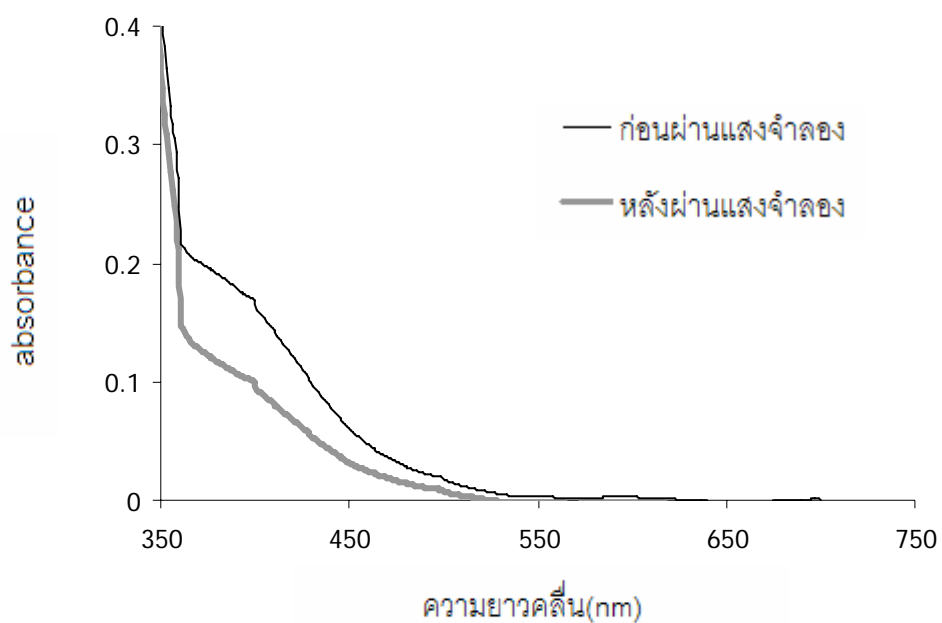
รูปที่ 4. 38 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอล

ก่อนและหลังผ่านแสงจําลอง



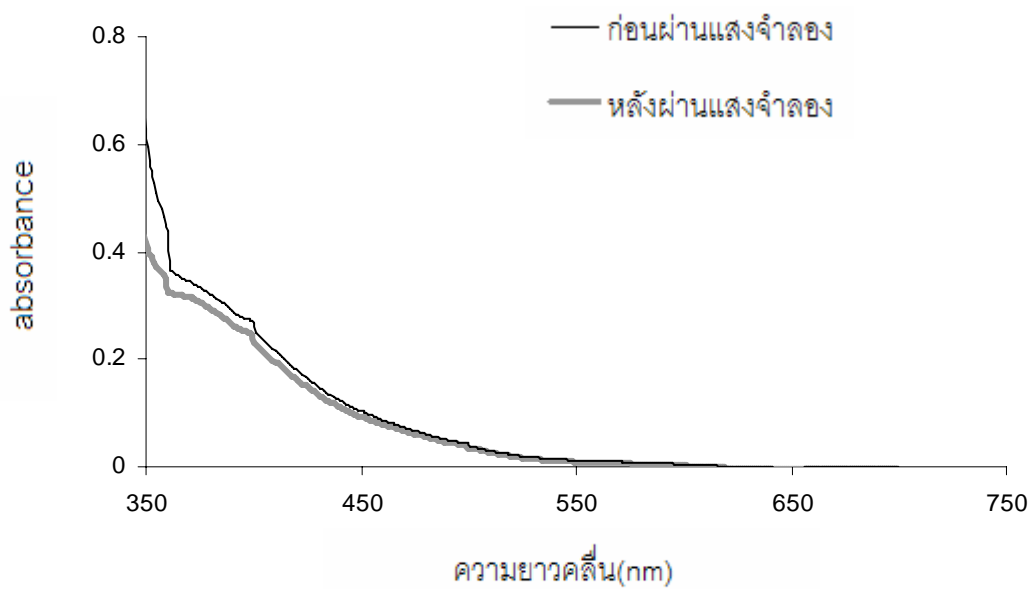
รูปที่ 4. 39 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้สารเติมก่อนย้อมสีก่อน

และหลังผ่านแสงจําลอง



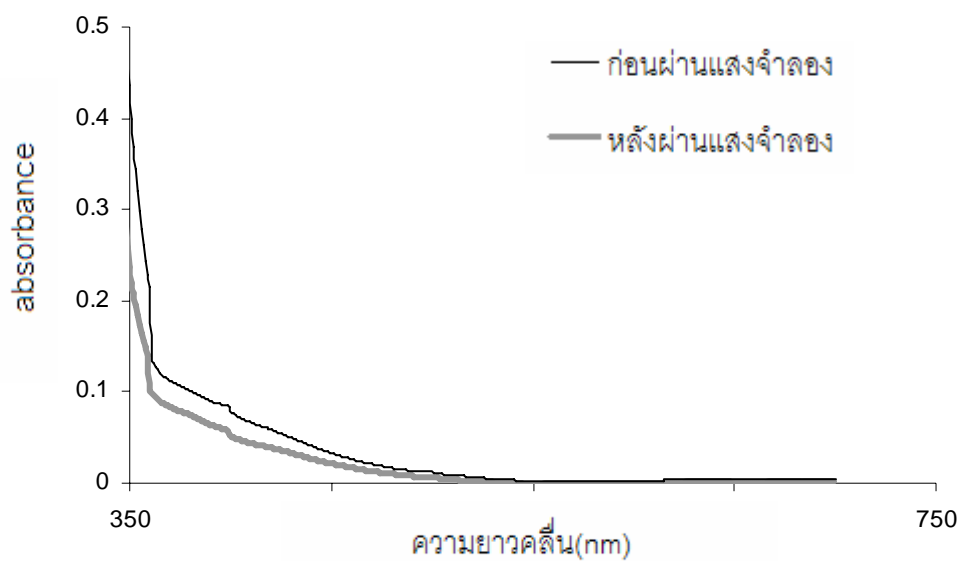
รูปที่ 4. 40 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไต้หวันมออกไซด์ที่สกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้สารเดิมขณะข้อมสี

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

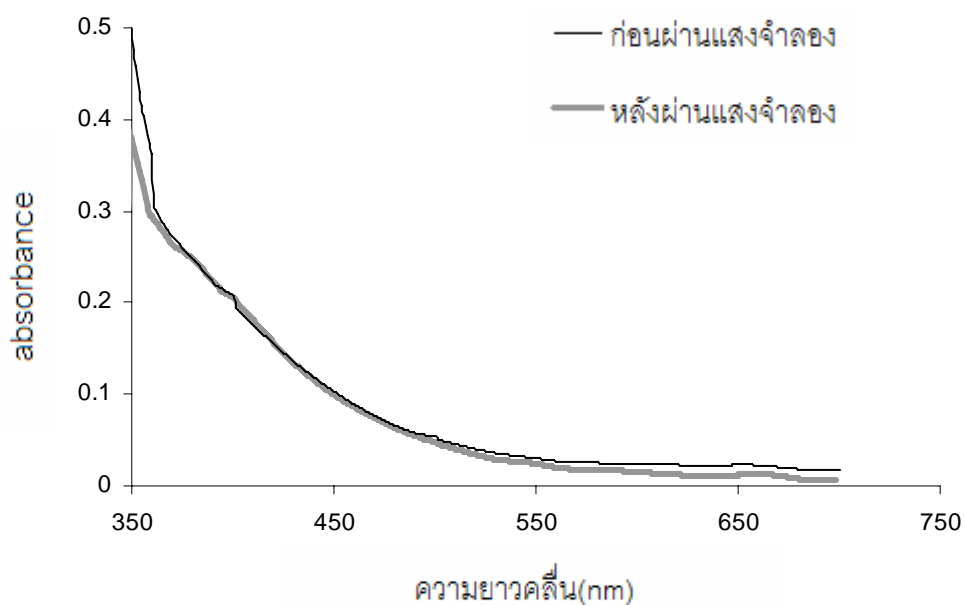


รูปที่ 4. 41 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไต้หวันมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าใช้น้ำก่อนและหลังผ่านแสง

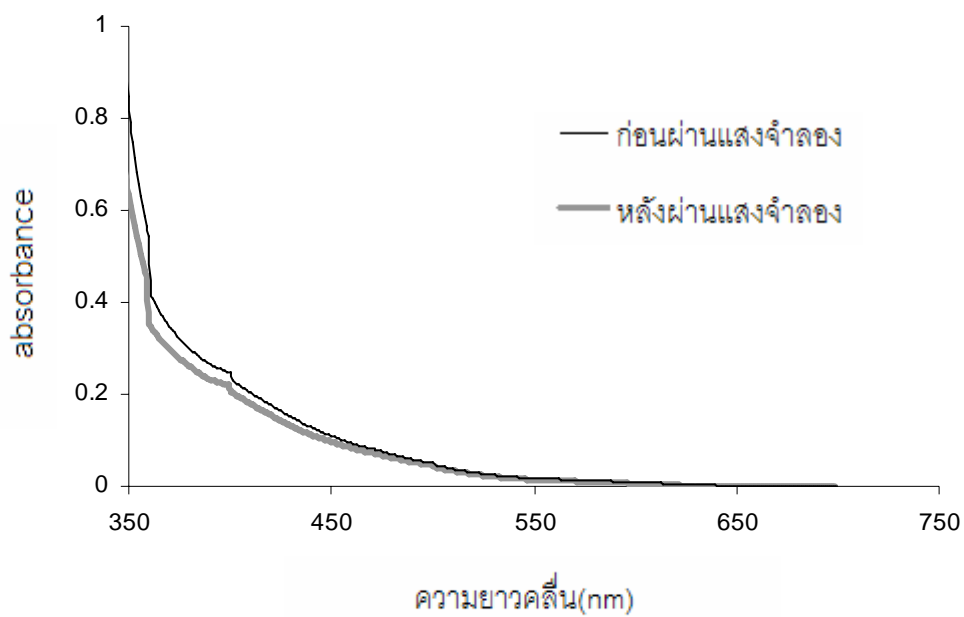
จำลอง



รูปที่ 4. 42 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททานเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้เอทานอลก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



รูปที่ 4. 43 การดูดกลืนแสงของสีข้อมบนไททานเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าที่ใช้สารเดิมก่อนย้อมสีก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง



รูปที่ 4. 44 การดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททานเนียมออกไซด์ที่สกัดจากใบหว่าโดยใช้สารเติมขณะย้อมสี

ก่อนและหลังผ่านแสงจำลอง

4.2 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

4.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์มีประสิทธิภาพสูงสุดสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของสีย้อมบนไททาเนียมออกไซด์ รองลงมาคือ ใบคริสตินา ใบชมพูมะเหมี่ยว ใบหว่า และใบเทียนกิ่ง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้น้ำกับเอทานอลเป็นตัวทำละลายพบว่า สีย้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์และใบคริสตินาที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีประสิทธิภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าสีย้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยว ใบเทียนกิ่ง และใบหว่า เมื่อใช้เอทานอลและน้ำเป็นตัวทำละลายมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

สำหรับสีย้อมจากใบเทียนกิ่งทั้งสีย้อมที่ใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายซึ่งมีลอคโซนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยนั้นส่งผลในทางลบให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากลอคโซนดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันกับไททาเนียมออกไซด์(ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 350 นาโนเมตร)

ตารางที่ 4. 1 ตารางเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ความต่างศักย์เปิดวงจร และประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

แหล่งที่มาของสีย้อม	สารละลาย	ผลการทดสอบ			
		I_{sc} (mA)	V_{oc} (V)	FF	%eff.
ใบมะม่วงหิมพานต์	น้ำ	0.78	0.63	0.60	0.3
	เอทานอล	0.22	0.57	0.82	0.103
ใบคริสตินา	น้ำ	0.36	0.64	0.88	0.203
	เอทานอล	0.18	0.23	0.30	0.013
ใบชมพูมะเหมี่ยว	น้ำ	0.25	0.55	0.67	0.093
	เอทานอล	0.24	0.59	0.76	0.107
ใบเทียนกิ่ง	น้ำ	0.24	0.48	0.54	0.064
	เอทานอล	0.16	0.49	0.83	0.066
ใบหว่า	น้ำ	0.20	0.55	0.67	0.077
	เอทานอล	0.22	0.56	0.75	0.093

4.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้ที่ไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และมีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมที่สกัดจากใบไม้ในวงค์ชมพู 3 ชนิด คือ ใบคริสตินา ใบหว่า และใบชมพูมะเหมี่ยว เมื่อมีการใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มเป็นสารเติมเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่ไม่มีการใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารเติม พบว่าเซลล์ไฟฟ้ามีฟิลล์แพกเตอร์ (FF) เพิ่มขึ้น โดยที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) และความต่างศักย์เปิดวงจร (V_{oc}) ค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยการใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตขณะย้อมสีจะทำให้เซลล์มีฟิลล์แพกเตอร์ (FF) และประสิทธิภาพรวมสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตก่อนย้อมสี ในขณะที่เซลล์ไฟฟ้าที่ใช้สารสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ และใบเทียนกิ่ง ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิด และลอไซนเป็นสารองค์ประกอบตามลำดับ เมื่อมีการเติมอะลูมิเนียมซัลเฟตแม้ว่าฟิลล์แพกเตอร์ (FF) มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ลดลง ในขณะที่ความต่างศักย์เปิดวงจร (V_{oc}) มีค่าค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพรวมของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเมื่อมีการใช้สารเติมทั้งการใช้สารเติมก่อน และขณะย้อมสี ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของดูดกลืนแสงของสีย้อม เนื่องจากสีย้อมทั้งหมดยังคงดูดกลืนแสงเช่นเดิม แต่การเติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตนี้จะทำให้เกิดไอออนของอะลูมิเนียมขึ้น จากนั้นไอออนดังกล่าวจะยึดเกาะระหว่างสีย้อมและไททาเนียมออกไซด์ [21] ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4. 2 ตารางเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ความต่างศักย์เปิดวงจร และประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อไม่มีการใช้สารเติม มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี และใช้สารขณะย้อมสี

แหล่งที่มาของสีย้อม	สารเติม	ผลการทดสอบ			
		I_{sc} (mA)	V_{oc} (V)	FF	%eff.
โบมะม่วงหิมพานต์	ไม่มีการใช้สารเติม	0.78	0.63	0.60	0.3
	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี	0.37	0.64	0.80	0.187
	ใช้สารเติมขณะย้อมสี	0.11	0.46	0.72	0.036
โบคริสตินา	ไม่มีการใช้สารเติม	0.36	0.64	0.88	0.203
	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี	0.38	0.65	0.98	0.245
	ใช้สารเติมขณะย้อมสี	0.36	0.65	0.98	0.229
โบชมพูมะเหมี่ยว	ไม่มีการใช้สารเติม	0.25	0.55	0.67	0.093
	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี	0.22	0.59	0.72	0.093
	ใช้สารเติมขณะย้อมสี	0.28	0.60	0.98	0.166
โบเทียนกิ่ง	ไม่มีการใช้สารเติม	0.24	0.48	0.54	0.064
	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี	0.08	0.46	0.89	0.033
	ใช้สารเติมขณะย้อมสี	0.09	0.46	0.77	0.031
โบหว่า	ไม่มีการใช้สารเติม	0.20	0.55	0.67	0.077
	ใช้สารเติมก่อนย้อมสี	0.24	0.55	0.72	0.928
	ใช้สารเติมขณะย้อมสี	0.35	0.65	0.97	0.247

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัดสีข้อมจากใบไม้เพื่อนำมาใช้เป็นสีข้อมในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสง พบว่า

1. สารละลายสีข้อมที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีเพียงฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ในขณะที่สารละลายสีข้อมที่สกัดโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายพบฟลาโวนอยด์ แทนนิน และ คลอโรฟิลล์ สำหรับใบเทียนกิ่งพบสีข้อมลอไซนในสารละลายสีข้อมทั้งกรณีที่ใช้ น้ำ และเอทานอลเป็นตัวทำละลายเพิ่มเติมอีกด้วย
2. สีข้อมที่ยึดเกาะบนไททาเนียมออกไซด์ทั้งในกรณีที่ใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายมีเพียงฟลาโวนอยด์และแทนนินเท่านั้น โดยสีข้อมที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสามารถยึดเกาะและดูดกลืนแสงได้ดีกว่าสีข้อมที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อีกทั้งยังมีเสถียรภาพที่ดีกว่าสีข้อมที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีข้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ และใบคริสตินาโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเอทานอล ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีข้อมที่สกัดจากใบชมพูมะเหมี่ยว ใบเทียนกิ่ง และใบหว่าโดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังได้มีศึกษาผลของการใช้สารส้มเป็นสารเติมในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีข้อมไวแสงใน 2 รูปแบบ คือ การใช้สารเติมก่อนย้อมสี และการใช้สารเติมขณะย้อมสี พบว่าสีข้อมที่สกัดจากใบไม้ในวงศ์ชมพู 3 ชนิด คือ ใบคริสตินา ใบหว่า และใบชมพูมะเหมี่ยว เมื่อมีการใช้สารเติมขณะย้อมสีจะสามารถทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) ที่สูงขึ้น ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพรวมสูงขึ้นเช่นกัน สำหรับสีข้อมที่สกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์และใบเทียนกิ่ง การใช้สารเติมไม่ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพรวมสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาและวิเคราะห์ชนิดสารองค์ประกอบในใบไม้ที่ยึดเกาะบนโททาเนียมออกไซด์ รวมถึงโครงสร้างสาร จะสามารถช่วยในการค้นหา และประยุกต์ใช้สีย้อมชนิดอื่นๆ ทั้งจากการนำสี ย้อมธรรมชาติมาใช้ หรือการสังเคราะห์สีย้อมชนิดใหม่ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ใน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้

รายการอ้างอิง

- [1] U.S.D.o. Energy, BASIC RESEARCH NEEDS FOR SOLAR ENERGY UTILIZATION.
Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization (2005).
- [2] M. Grätzel, Review Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 4 (2003) 145-153.
- [3] N.J. Cherepy, G.P. Smestad, M. Gra1tzel, and J.Z. Zhang, Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode. J. Phys. Chem. B 101 (1997) 9342-9351.
- [4] J.M.R.C. Fernando, and G.K.R. Senadeera, Natural anthocyanins as photosensitizers for dye-sensitized solar devices. CURRENT SCIENCE 95 (2008) 663-666.
- [5] G. Calogero, and G.D. Marco, Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. Solar Energy Materials & Solar Cells 92 (2008) 1341-1346.
- [6] D. Zhang, S.M. Lanier, J.A. Downing, J.L. Avent, J. Lumc, and J.L. McHale, Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 195 (2008) 72-80.
- [7] A.S. Polo, and N.Y.M. Iha, Blue sensitizers for solar cells: Natural dyes from Calafate and Jaboticaba. Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 1936-1944.
- [8] C.G. GARCIA, A.S. POLO, and N.Y.M. IHA, Photoelectrochemical solar cell using extract of Eugenia jambolana Lam as a natural sensitizer. Anais da Academia Brasileira de Ciências 75 (2003) 163-165.
- [9] C.G. Garcia, A.S. Polo, and N.Y.M. Iha, Fruit extracts and ruthenium polypyridinic dyes for sensitization of TiO₂ in photoelectrochemical solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 160 (2003) 87-91.
- [10] K. Wongcharee, V. Meeyoo, and S. Chavadej, Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. Solar Energy Materials & Solar Cells 91 (2007) 566-571.

- [11] A. Castañeda-Ovando, M.d.L. Pacheco-Hernández, M.E. Páez-Hernández, J.A. Rodríguez, and C.A. Galán-Vidal, Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chemistry 113 (2009) 859–871.
- [12] M. Gaetzel, and A.J. McEvoy, Principles and Applications of Dye Sensitized Nanocrystalline Solar Cells (DSC). Asian J. Energy Environ 5 (2004) 197-210.
- [13] B. O'Regan, and M. Gratzel, nature 353 (1991) 737.
- [14] G.P. Kalaigan, and Y.S. Kang, A review on mass transport in dye-sensitized nanocrystalline solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Review 7 (2006) 17-22.
- [15] K. Kalyanasundaram, and M. Gratzel, Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices. Coordination Chemistry Reviews 77 (1998) 347–414.
- [16] A.S. Polo, M.K. Itokazu, and N.Y.M. Iha, Metal complex sensitizers in dye-sensitized solar cells. Coordination Chemistry Reviews 248 (2004) 1343–1361.
- [17] S. Hao, J. Wu, Y. Huang, and J. Lin, Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell. Solar Energy 80 (2006) 209-214.
- [18] K. Tennakone, G.R.R.A. Kumara, A.R. Kumarasinghe, P.M. Sirimanne, and K.G.U. Wijayantha, Efficient photosensitization of nanocrystalline TiO₂ films by tannins and related phenolic substances. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 94 (1996) 217-220.
- [19] K. Tennakone, G.R.R.A. Kumara, I.R.M. Kottegoda, V.P.S. Perera, and P.S.R.S. Weerasundara, Sensitization of nano-porous films of TiO₂ with santalin (red sandalwood pigment) and construction of dye-sensitized solid-state photovoltaic cells. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 117 (1998) 137-142.
- [20] G.R.A. Kumara, S. Kaneko, M. Okuya, B. Onwona-Agyeman, A. Konno, and K. Tanakone, Shiso leaf pigments for dye-sensitized solid-state solar cell. Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 1220-1226.

- [21] V.P.S. Perera, G.K.R. Senadeera, and K. Tennakone, Sensitization of aluminum chloride adsorbed tin(IV) oxide nanocrystalline films with Rose Bengal. Journal of Colloid and Interface Science 265 (2003) 428–431.
- [22] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วท.), ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 2. (2001).
- [23] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วท.), ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 3. (2001).
- [24] J.B. Harborne, Phytochemical Methods. (1984).
- [25] A.E. Hangerman, Tannin Handbook. (2002).
- [26] N.A.E. Konan, and E.M. Bacchi, Antiulcerogenic effect and acute toxicity of a hydroethanolic extract. journal of Ethnopharmacology 112 (2007) 237-242.
- [27] C. Cartwright-Jones, Henna for Hair “How-To” Henna. (2006).
- [28] F.A. Brito, L.A. Lima, M.F.S. Ramos, M.J. Nakamura, S.C. Cavalher-Machado, A.C. Siani, M.G.M.O. Henriques, and A.L.F. Sampaio, Pharmacological study of anti-allergic activity of Syzygium cumini (L.) Skeels. Bazilian Journal of Medical and Biological Research 40 (2007) 105-115.
- [29] K. Robards, and M. Antolovich, Analytical Chemistry of Fruit Bioflavonoids A Review. Analyst 112 (1997) 11R-34R.
- [30] G.S. Woodall, and G.R. Stewart, Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of Syzygium? Journal of Experimental Botany 49 (1998) 1447-1450.
- [31] W.J. Steyn, S.J.E. Wand, D.M. Holcroft, and G. Jacobs, Research review Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. New Phytologist 155 (2002) 349-361.
- [32] C.J. Aguilar-Ortigoza, V. Sosa, and M. Aguilar-Ortigoza, Toxic Phenols in various ANACARDIACEAE species. Economic Botany 57 (2003) 354-364.
- [33] I. KGGEL, and W. ZECH, THE PHENOLIC ACID CONTENT OF CASHEW LEAVES (ANACARDIUM OCCIDENTALE L.) AND OF THE ASSOCIATED HUMUS LAYER,SENEGAL. Geoderma 35 (1985) 119-125.

[34] Y. Qiao, C.M. Li, S.-J. Bao, Z. Lu, and Y. Hong, Direct electrochemistry and electrocatalytic mechanism of evolved Escherichia coli cells in microbial fuel cells. Chem. Commun. (2008) 1290-1292.

ภาคผนวก ก

การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

ก. สภาพะในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงกับแสงอาทิตย์จะมีปัญหาในเรื่องการควบคุมทิศทางและความเข้มแสงที่ตกกระทบ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดสภาวะทดสอบมาตรฐาน(Standard Testing Condition,STC) ความเข้มแสง 1000 W/m^2 โดยความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบถึงผิวโลก สามารถอธิบายได้ในรูปของมวลอากาศ (Air Mass, AM) โดย

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (\text{ก-1})$$

เมื่อ θ_z คือ มุมที่เบี่ยงเบนออกจากแนวตั้งฉากกับพื้นโลก

สำหรับความเข้มแสง 1000 W/m^2 เทียบเท่ากับ Air Mass (AM) 1.5

ข. ผลการทดสอบ

1) กระแส และแรงดันไฟฟ้า

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานจ่ายจะกระแสไฟฟ้า(I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ในกรณีที่ต่อวงจรแบบ (short-circuit ;SC) หรือให้ความต้านทานในวงจรเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีค่าสูงสุด (I_{SC}) ในขณะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ และในกรณีที่ต่อวงจรแบบเปิดวงจร(open-circuit; OC) หรือให้ความต้านทานมีค่าอนันต์ แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุด(V_{OC}) ในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้า(P_{out}) มีค่าขึ้นกับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้างดสมการ ก-2

$$P_{out} = JV \quad (\text{ก-2})$$

อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นตัวแปรที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน เนื่องจากกระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของเซลล์ อีกทั้งค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มของแสงในขณะนั้น จึงกำหนดค่าที่ไร่น้อยใช้ในการเปรียบเทียบแทน

2) ประสิทธิภาพรวม, Overall conversion Efficiency (η)

ค่าไร่น้อยที่แสดงสัดส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) กับกำลังไฟฟ้าที่ได้เซลล์รับ (P_{in})

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (\text{ก-3})$$

โดยที่กำลังไฟฟ้าที่เซลล์ได้รับ (P_{in}) สามารถคำนวณได้จากสเปคตรัมของแหล่งกำเนิดแสง

3) Fill Factor (FF)

ฟิลล์แฟกเตอร์ คือ ค่าไร่น้อยที่เป็นค่าอัตราส่วนที่เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์นั้นกับเซลล์ไฟฟ้าอุดมคติที่มีสูตรดังนี้

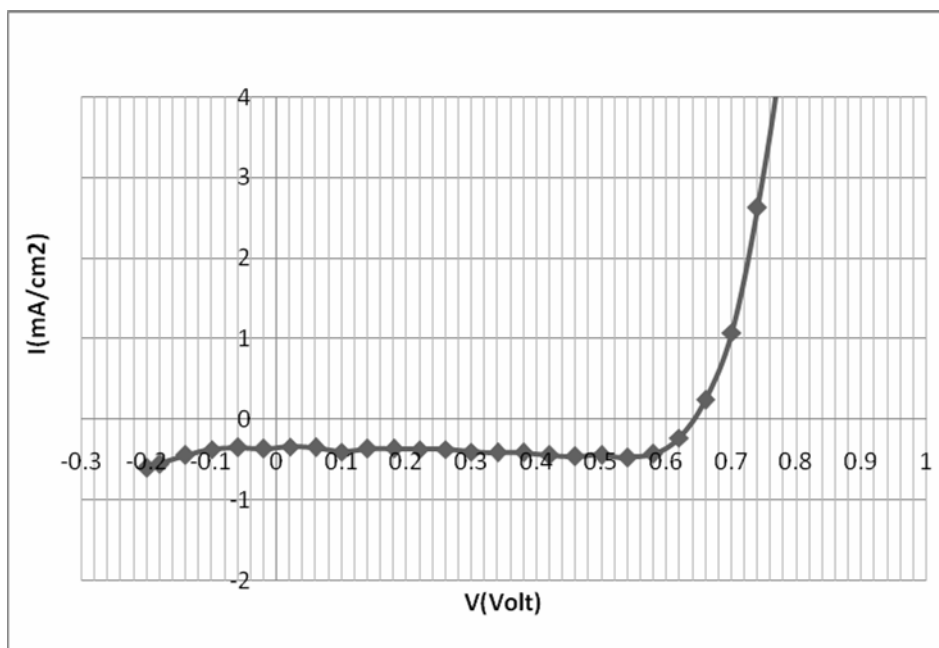
$$FF = \frac{P_{max}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (\text{ก-4})$$

ภาคผนวก ข.

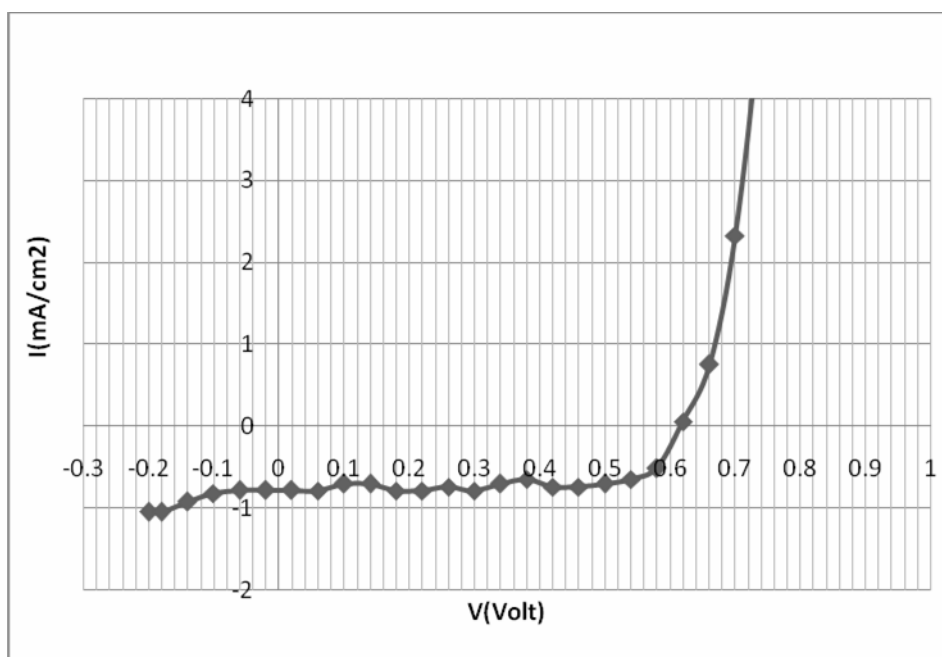
ผลการทดลอง

ตารางที่ ข 1 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.60	-1.05
-0.18	-0.55	-1.05
-0.14	-0.44	-0.92
-0.10	-0.37	-0.82
-0.06	-0.35	-0.78
-0.02	-0.36	-0.78
0.02	-0.34	-0.78
0.06	-0.35	-0.64
0.10	-0.40	-0.55
0.14	-0.36	-0.55
0.18	-0.36	-0.64
0.22	-0.37	-0.64
0.26	-0.37	-0.59
0.30	-0.40	-0.64
0.34	-0.41	-0.55
0.38	-0.41	-0.50
0.42	-0.44	-0.59
0.46	-0.46	-0.59
0.50	-0.44	-0.55
0.54	-0.47	-0.50
0.58	-0.43	-0.36
0.62	-0.23	0.06
0.66	0.24	0.75
0.70	1.08	2.33
0.74	2.63	5.16
0.78	4.74	9.44
0.82	8.05	16.35
0.86	12.90	26.62
0.90	19.80	43.06



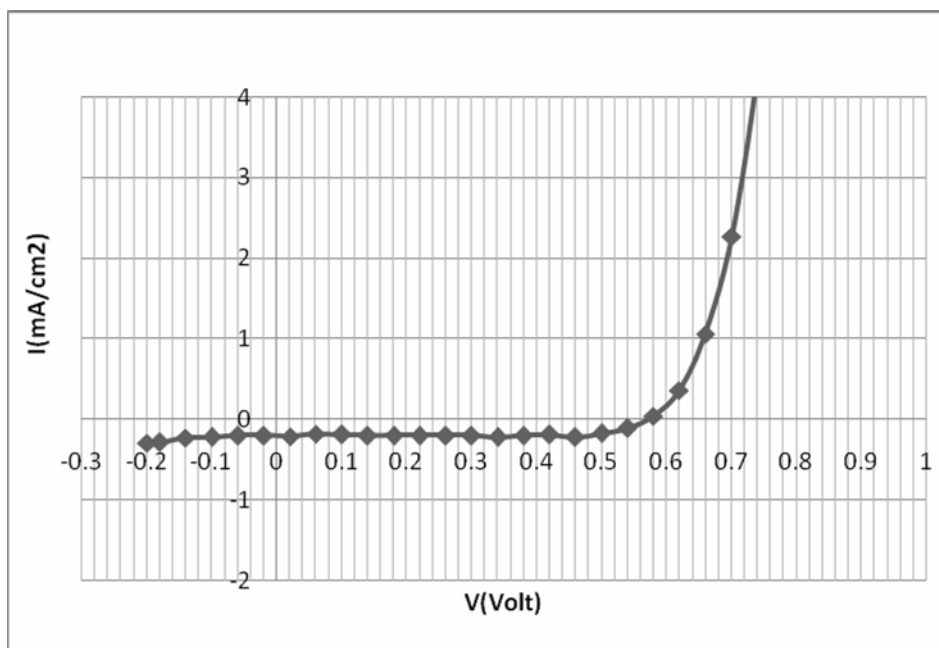
รูปที่ ข 1 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย
ตัวอย่างที่ 1



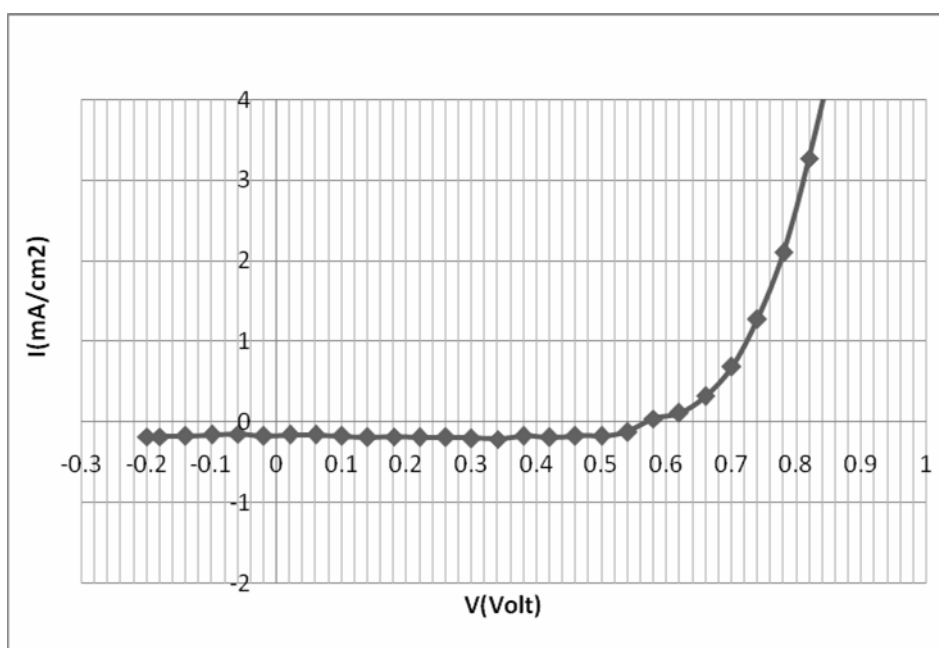
รูปที่ ข 2 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ๒ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.29	-0.18
-0.18	-0.28	-0.18
-0.14	-0.23	-0.17
-0.10	-0.22	-0.16
-0.06	-0.20	-0.15
-0.02	-0.20	-0.17
0.02	-0.21	-0.16
0.06	-0.18	-0.16
0.10	-0.19	-0.17
0.14	-0.20	-0.19
0.18	-0.20	-0.18
0.22	-0.20	-0.19
0.26	-0.20	-0.19
0.30	-0.20	-0.20
0.34	-0.22	-0.21
0.38	-0.20	-0.17
0.42	-0.19	-0.19
0.46	-0.22	-0.17
0.50	-0.17	-0.17
0.54	-0.11	-0.12
0.58	0.04	0.04
0.62	0.36	0.11
0.66	1.06	0.32
0.70	2.27	0.69
0.74	4.31	1.28
0.78	7.04	2.10
0.82	10.41	3.27
0.86	14.90	4.77
0.90	20.00	6.87



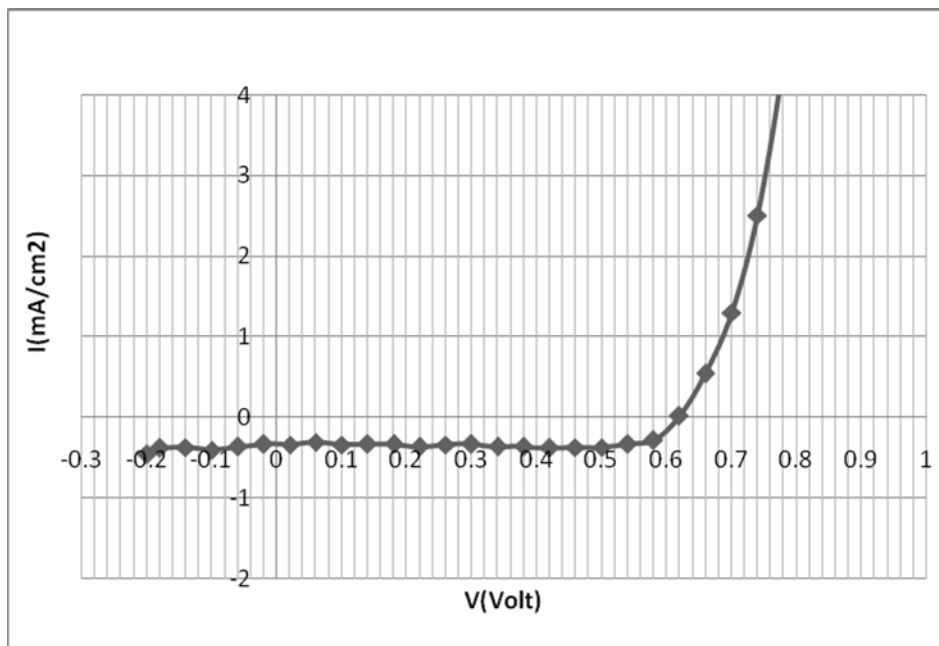
รูปที่ ๓ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ๔ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 2

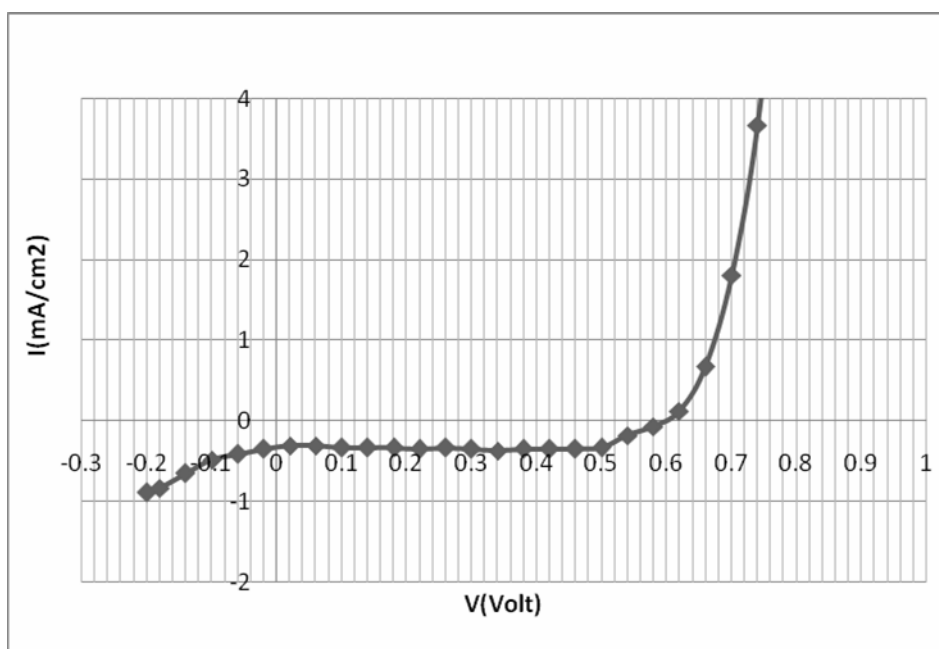
ตารางที่ ๓ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.46	-0.89
-0.18	-0.38	-0.83
-0.14	-0.37	-0.65
-0.10	-0.40	-0.48
-0.06	-0.36	-0.41
-0.02	-0.33	-0.35
0.02	-0.34	-0.31
0.06	-0.31	-0.31
0.10	-0.34	-0.33
0.14	-0.33	-0.33
0.18	-0.33	-0.33
0.22	-0.36	-0.35
0.26	-0.34	-0.33
0.30	-0.33	-0.35
0.34	-0.36	-0.37
0.38	-0.36	-0.35
0.42	-0.38	-0.35
0.46	-0.37	-0.35
0.50	-0.37	-0.33
0.54	-0.33	-0.18
0.58	-0.28	-0.07
0.62	0.02	0.12
0.66	0.54	0.67
0.70	1.30	1.81
0.74	2.51	3.67
0.78	4.39	6.74
0.82	6.92	11.62
0.86	10.40	18.92
0.90	15.30	31.54



รูปที่ ข 5I-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

ตัวอย่างที่ 1

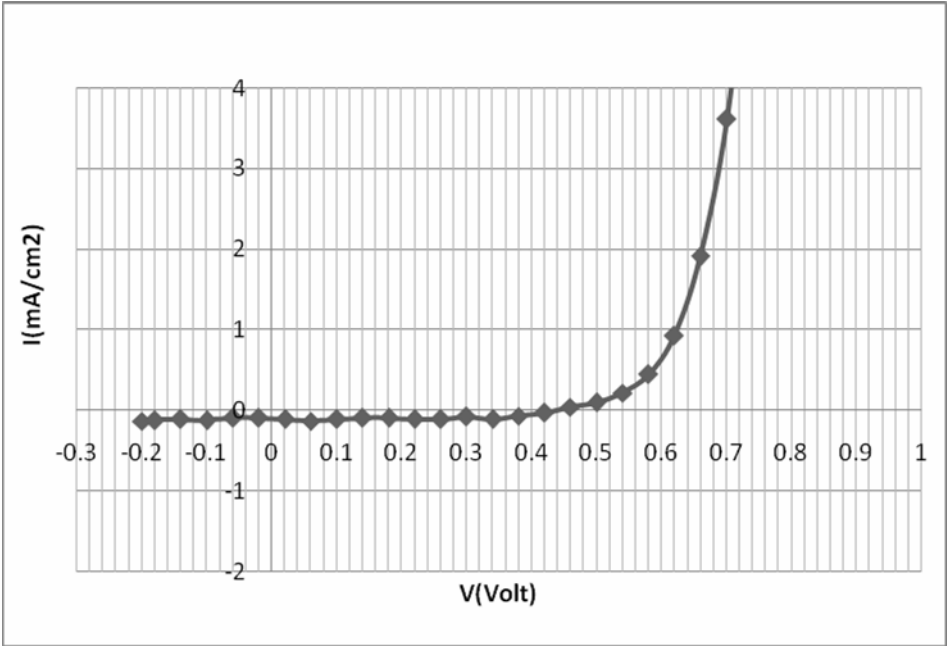


รูปที่ ข 6I-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

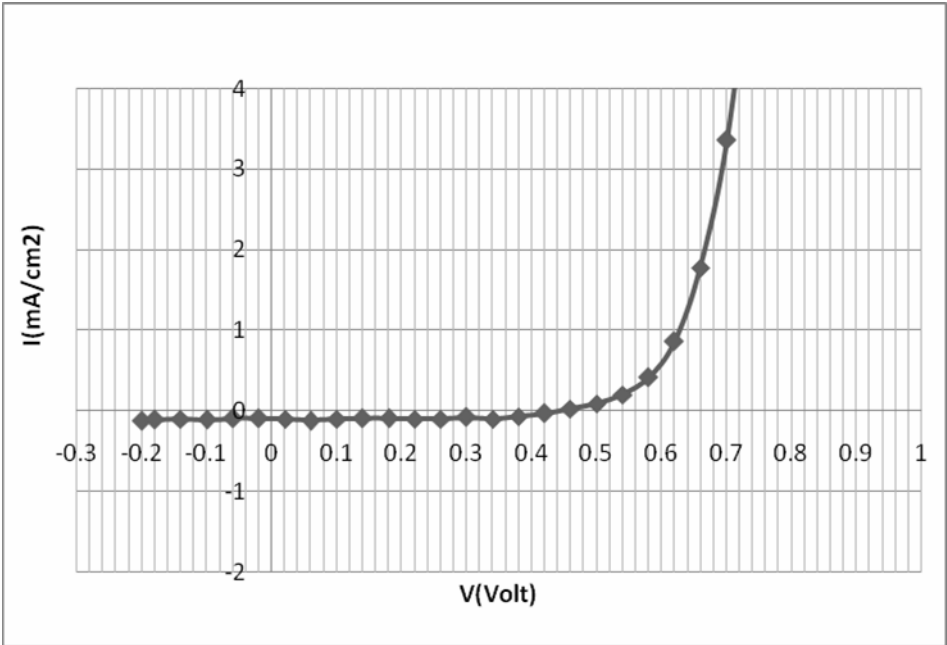
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 4 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.13	-0.12
-0.18	-0.12	-0.11
-0.14	-0.11	-0.10
-0.10	-0.12	-0.11
-0.06	-0.09	-0.09
-0.02	-0.09	-0.09
0.02	-0.11	-0.10
0.06	-0.13	-0.12
0.10	-0.11	-0.10
0.14	-0.09	-0.09
0.18	-0.09	-0.09
0.22	-0.11	-0.10
0.26	-0.11	-0.10
0.30	-0.08	-0.08
0.34	-0.11	-0.10
0.38	-0.07	-0.07
0.42	-0.03	-0.03
0.46	0.04	0.03
0.50	0.10	0.09
0.54	0.22	0.20
0.58	0.45	0.42
0.62	0.93	0.86
0.66	1.91	1.78
0.70	3.61	3.36
0.74	6.43	5.99
0.78	10.37	9.68
0.82	14.95	13.95
0.86	20.70	19.31
0.90	27.30	25.47



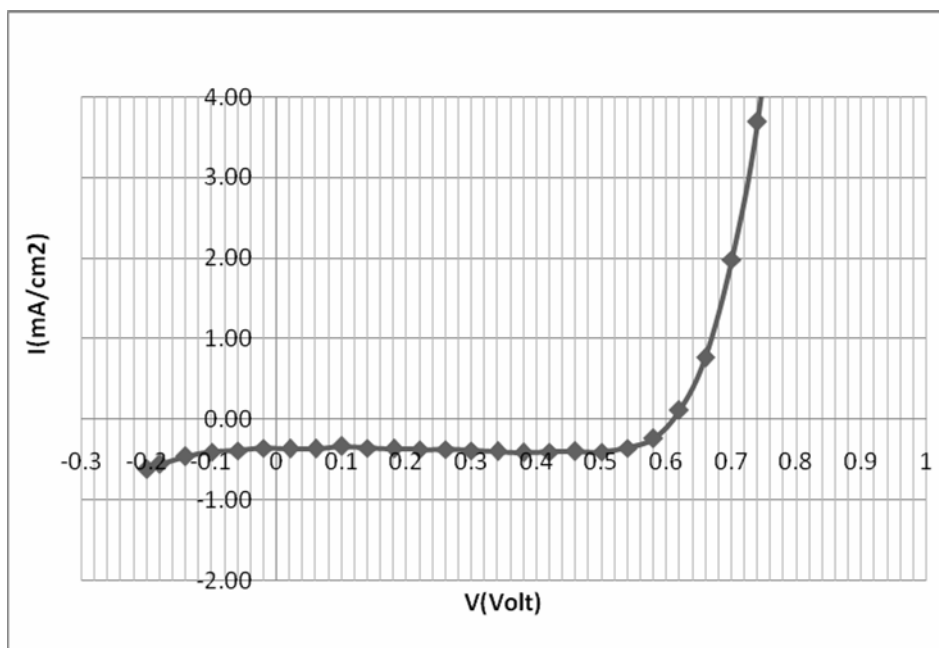
รูปที่ ข 7 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี ตัวอย่างที่ 1



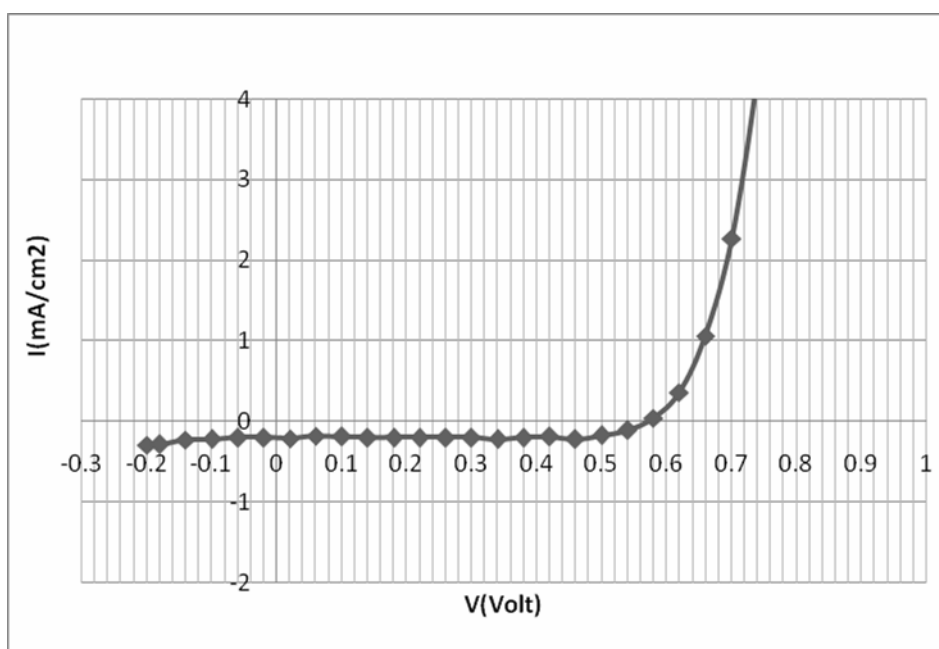
รูปที่ ข 8 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์ที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ๕ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้
น้ำเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.2	-0.62	-0.62
-0.18	-0.56	-0.56
-0.14	-0.46	-0.46
-0.10	-0.41	-0.41
-0.06	-0.38	-0.38
-0.02	-0.35	-0.35
0.02	-0.36	-0.36
0.06	-0.36	-0.36
0.10	-0.33	-0.33
0.14	-0.35	-0.35
0.18	-0.36	-0.36
0.22	-0.37	-0.37
0.26	-0.37	-0.37
0.30	-0.38	-0.38
0.34	-0.40	-0.40
0.38	-0.42	-0.42
0.42	-0.41	-0.41
0.46	-0.40	-0.40
0.50	-0.41	-0.41
0.54	-0.35	-0.35
0.58	-0.23	-0.23
0.62	0.11	0.11
0.66	0.76	0.76
0.70	1.99	1.99
0.74	3.69	3.69
0.78	6.51	6.51
0.82	10.31	10.31
0.86	15.24	15.24
0.90	22.04	22.04



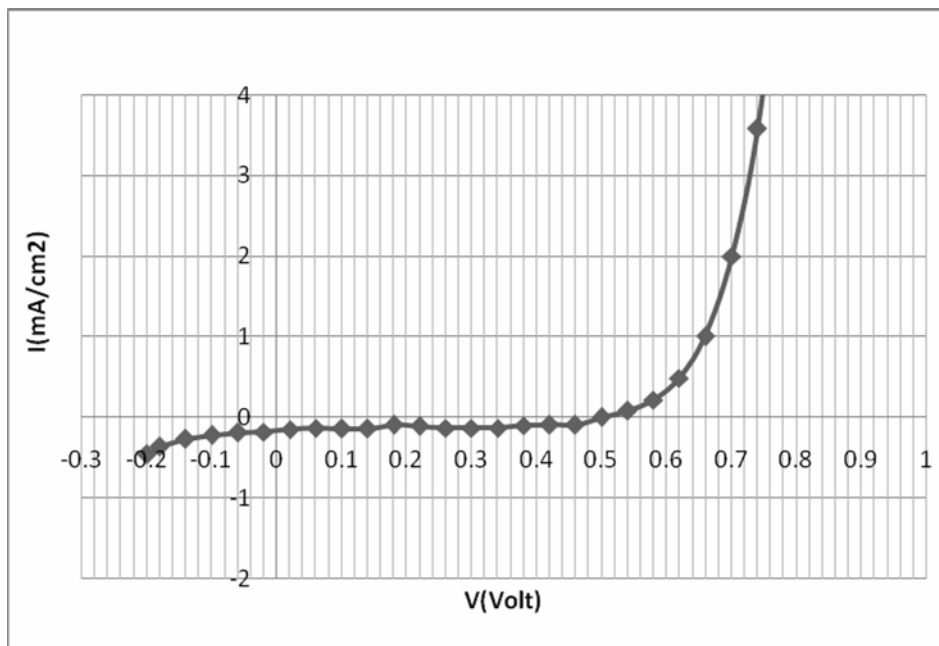
รูปที่ ๙ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินา โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 1



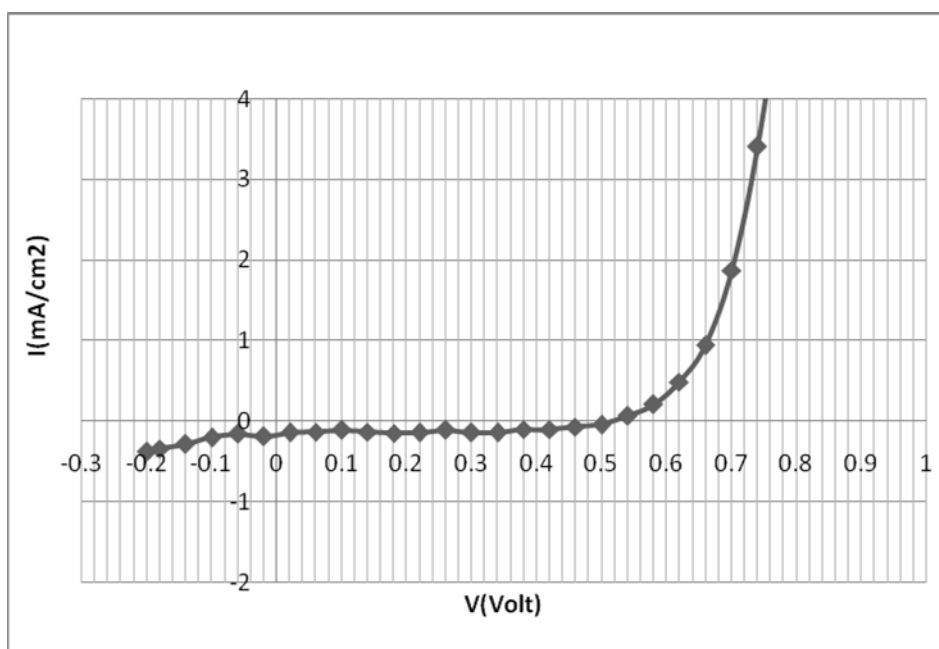
รูปที่ ๑๐ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินา โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ๖ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบคริสตินาโดยใช้
เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.46	-0.38
-0.18	-0.36	-0.34
-0.14	-0.27	-0.28
-0.10	-0.22	-0.20
-0.06	-0.19	-0.16
-0.02	-0.18	-0.19
0.02	-0.15	-0.14
0.06	-0.13	-0.13
0.10	-0.14	-0.11
0.14	-0.14	-0.13
0.18	-0.09	-0.15
0.22	-0.11	-0.14
0.26	-0.13	-0.11
0.30	-0.13	-0.14
0.34	-0.13	-0.14
0.38	-0.10	-0.10
0.42	-0.09	-0.10
0.46	-0.09	-0.07
0.50	0.00	-0.04
0.54	0.08	0.07
0.58	0.22	0.21
0.62	0.49	0.49
0.66	1.01	0.94
0.70	2.00	1.87
0.74	3.58	3.41
0.78	6.25	5.62
0.82	9.81	8.69
0.86	15.00	12.50
0.90	21.50	17.40



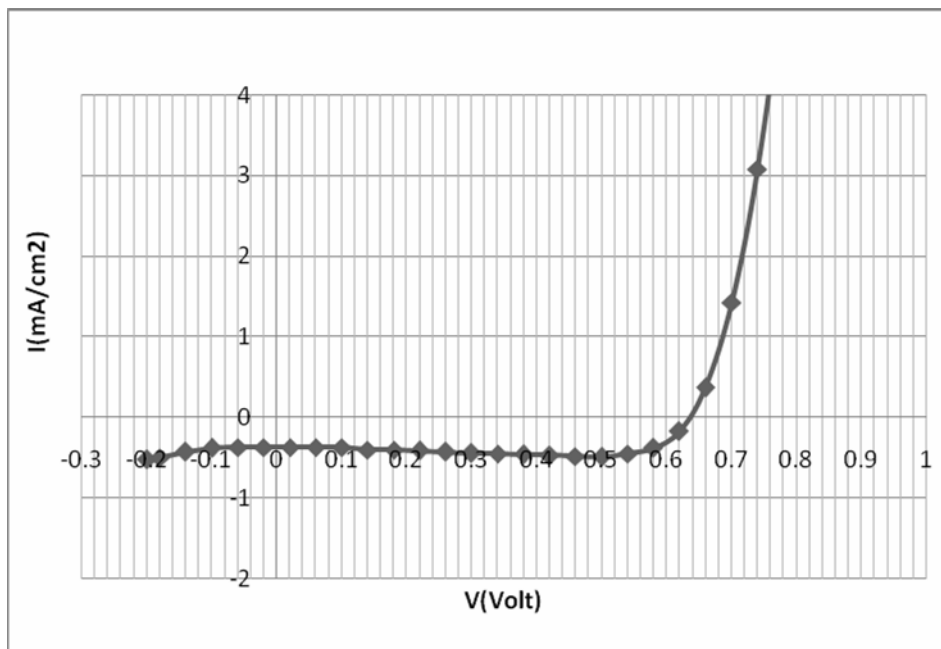
รูปที่ ๑๑ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินา โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย
ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ๑๒ IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินา โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย
ตัวอย่างที่ 2

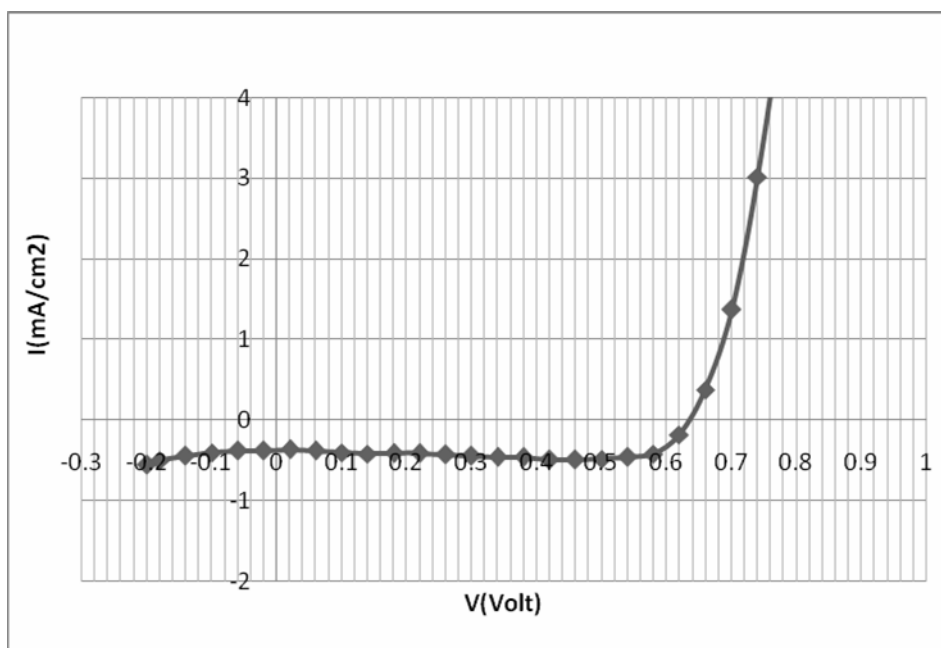
ตารางที่ ๗ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มี
การใช้สารเติมก่อนย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.52	-0.55
-0.18	-0.50	-0.50
-0.14	-0.43	-0.44
-0.10	-0.38	-0.40
-0.06	-0.37	-0.38
-0.02	-0.37	-0.38
0.02	-0.37	-0.36
0.06	-0.37	-0.38
0.10	-0.37	-0.40
0.14	-0.40	-0.42
0.18	-0.40	-0.41
0.22	-0.41	-0.41
0.26	-0.43	-0.43
0.30	-0.44	-0.44
0.34	-0.45	-0.46
0.38	-0.46	-0.46
0.42	-0.47	-0.49
0.46	-0.48	-0.49
0.50	-0.49	-0.48
0.54	-0.45	-0.46
0.58	-0.38	-0.42
0.62	-0.17	-0.18
0.66	0.37	0.38
0.70	1.43	1.37
0.74	3.08	3.02
0.78	5.51	5.29
0.82	9.05	8.83
0.86	13.90	13.80
0.90	20.90	20.60



รูปที่ ข 13 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

ตัวอย่างที่ 1

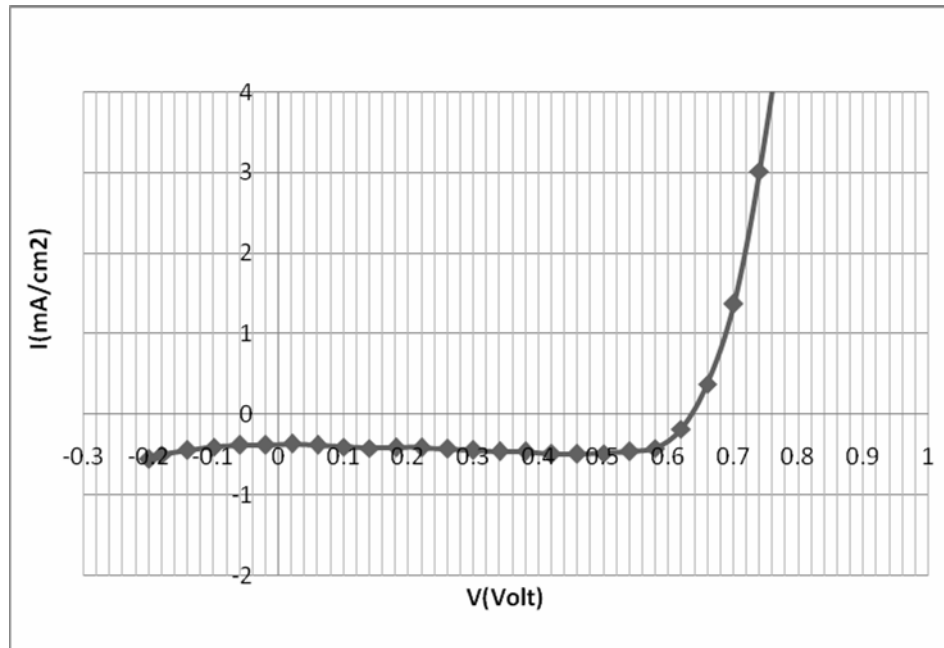


รูปที่ ข 14 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

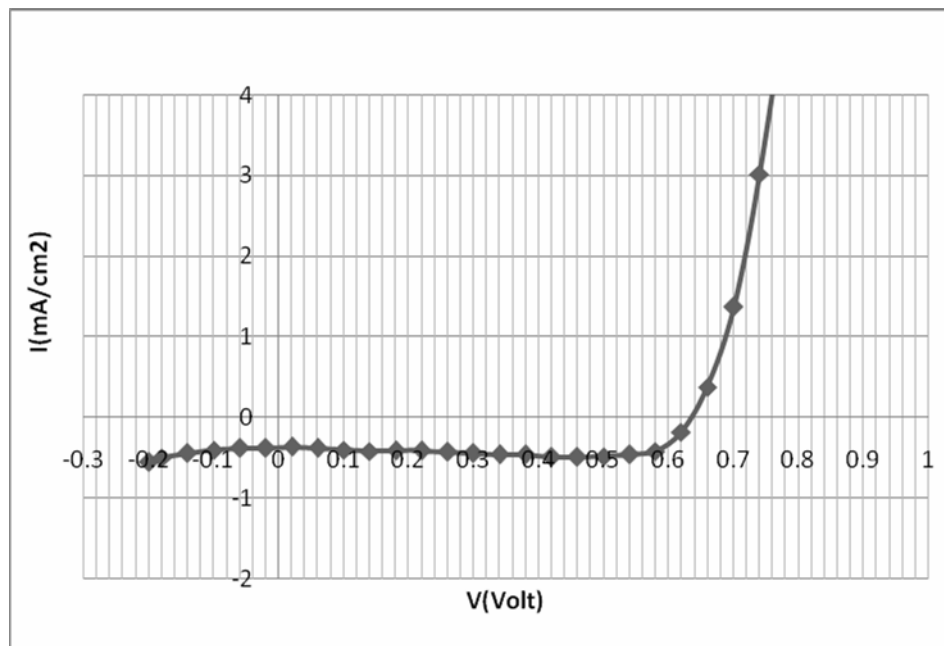
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ๘ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบคริสตินาใช้สารเติมขณะย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.55	-0.52
-0.18	-0.50	-0.50
-0.14	-0.44	-0.43
-0.10	-0.40	-0.38
-0.06	-0.38	-0.37
-0.02	-0.38	-0.37
0.02	-0.36	-0.37
0.06	-0.38	-0.37
0.10	-0.40	-0.37
0.14	-0.42	-0.40
0.18	-0.41	-0.40
0.22	-0.41	-0.41
0.26	-0.43	-0.43
0.30	-0.44	-0.44
0.34	-0.46	-0.45
0.38	-0.46	-0.46
0.42	-0.49	-0.47
0.46	-0.49	-0.48
0.50	-0.48	-0.49
0.54	-0.46	-0.45
0.58	-0.42	-0.38
0.62	-0.18	-0.17
0.66	0.38	0.37
0.70	1.37	1.43
0.74	3.02	3.08
0.78	5.29	5.51
0.82	8.83	9.05
0.86	13.80	13.90
0.90	20.60	20.90



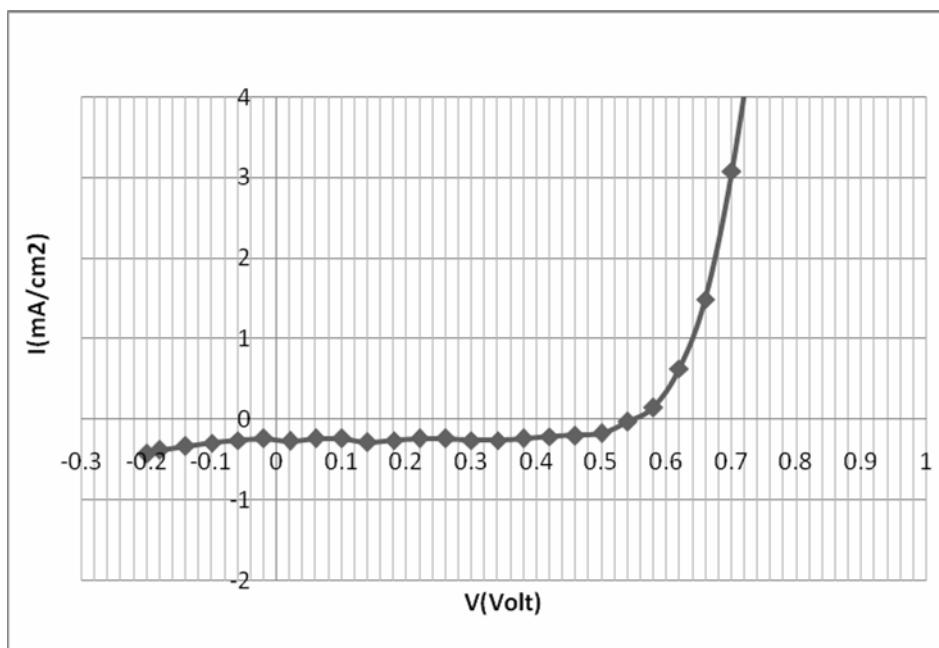
รูปที่ ข 15 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี
ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 16 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบคริสตินาที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี
ตัวอย่างที่ 2

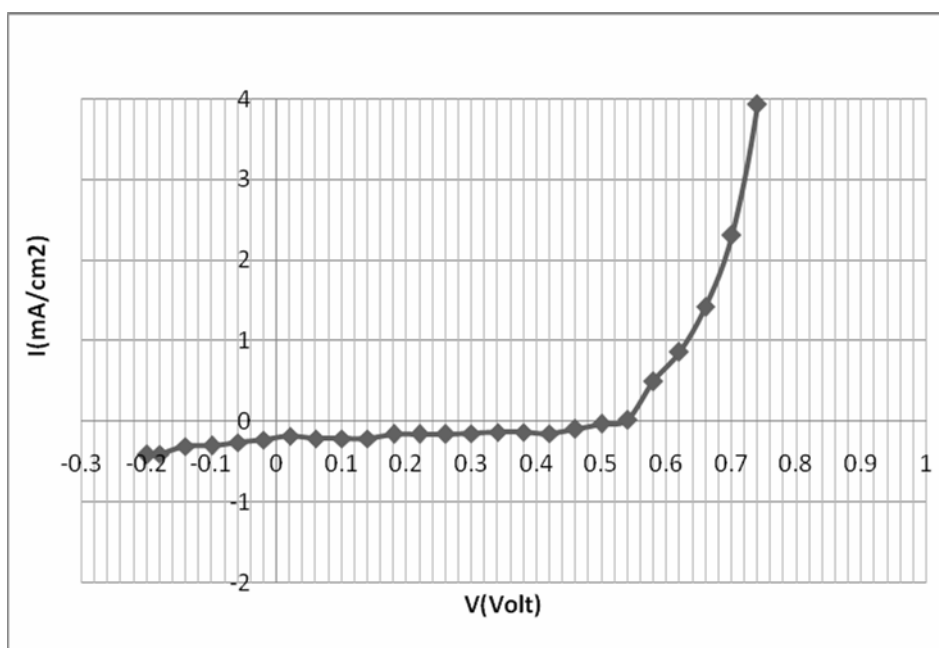
ตารางที่ ๗ ๙ แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยว
โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.43	-0.41
-0.18	-0.38	-0.40
-0.14	-0.33	-0.31
-0.10	-0.29	-0.30
-0.06	-0.26	-0.26
-0.02	-0.24	-0.23
0.02	-0.27	-0.18
0.06	-0.24	-0.21
0.10	-0.24	-0.21
0.14	-0.28	-0.21
0.18	-0.26	-0.16
0.22	-0.24	-0.16
0.26	-0.24	-0.16
0.30	-0.26	-0.15
0.34	-0.26	-0.13
0.38	-0.24	-0.13
0.42	-0.21	-0.15
0.46	-0.20	-0.09
0.50	-0.17	-0.03
0.54	-0.03	0.02
0.58	0.15	0.50
0.62	0.63	0.86
0.66	1.49	1.42
0.70	3.08	2.31
0.74	5.33	3.93
0.78	8.68	6.49
0.82	12.57	10.76
0.86	17.50	16.77
0.90	23.80	24.70



รูปที่ ๑๗ 17 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่างที่ 1

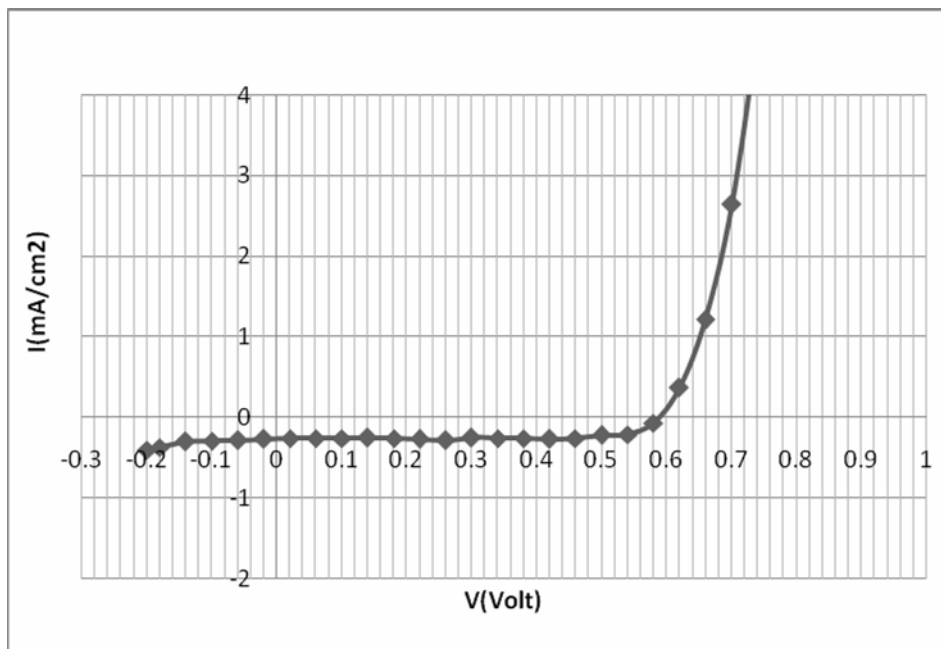


รูปที่ ๑๘ 18 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

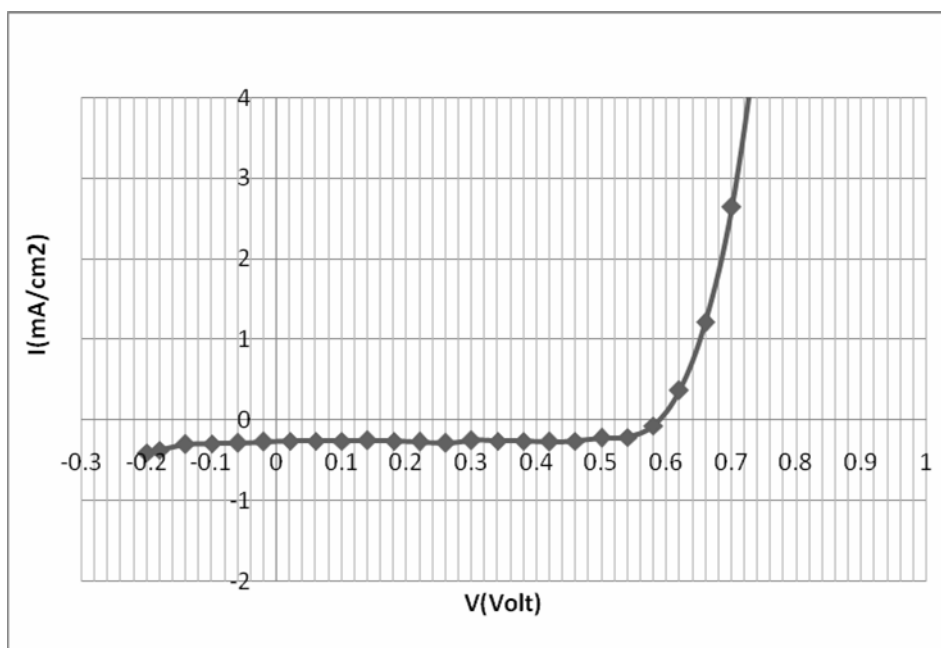
ตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ ข 10 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบชมพู่
มะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.40	-0.40
-0.18	-0.37	-0.36
-0.14	-0.30	-0.31
-0.10	-0.29	-0.26
-0.06	-0.28	-0.23
-0.02	-0.27	-0.19
0.02	-0.26	-0.16
0.06	-0.26	-0.14
0.10	-0.26	-0.16
0.14	-0.25	-0.15
0.18	-0.26	-0.13
0.22	-0.27	-0.15
0.26	-0.28	-0.14
0.30	-0.25	-0.13
0.34	-0.26	-0.11
0.38	-0.26	-0.12
0.42	-0.27	-0.12
0.46	-0.26	-0.11
0.50	-0.22	-0.08
0.54	-0.21	-0.07
0.58	-0.07	-0.03
0.62	0.37	0.09
0.66	1.21	0.25
0.70	2.64	0.51
0.74	4.92	1.04
0.78	8.37	1.90
0.82	12.90	3.30
0.86	19.03	5.40
0.90	26.95	8.76



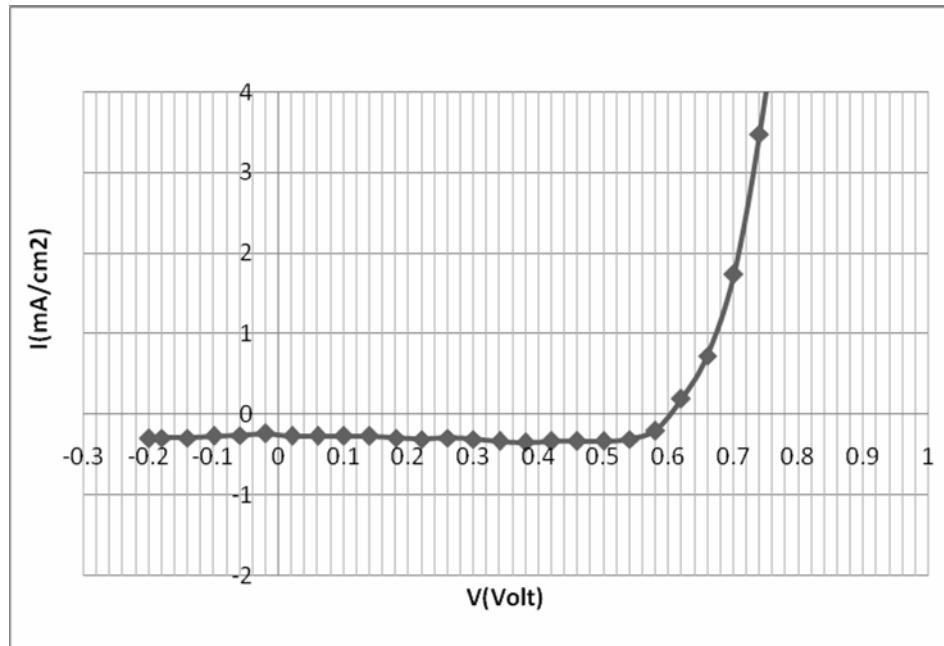
รูปที่ ข 19 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 20 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวอย่างที่ 2

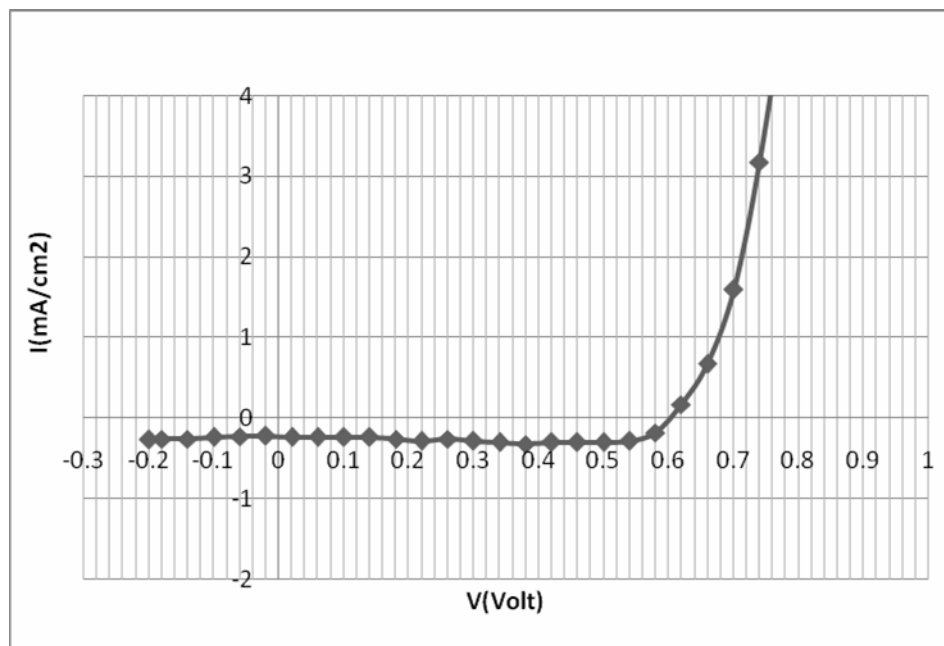
ตารางที่ ข 11 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบชมพู
มะเหมี่ยวที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.30	-0.27
-0.18	-0.29	-0.26
-0.14	-0.29	-0.26
-0.10	-0.27	-0.24
-0.06	-0.26	-0.23
-0.02	-0.24	-0.22
0.02	-0.27	-0.24
0.06	-0.27	-0.24
0.10	-0.27	-0.24
0.14	-0.27	-0.24
0.18	-0.29	-0.26
0.22	-0.31	-0.28
0.26	-0.29	-0.26
0.30	-0.31	-0.28
0.34	-0.33	-0.30
0.38	-0.35	-0.32
0.42	-0.33	-0.30
0.46	-0.33	-0.30
0.50	-0.33	-0.30
0.54	-0.31	-0.28
0.58	-0.20	-0.18
0.62	0.19	0.17
0.66	0.73	0.67
0.70	1.74	1.59
0.74	3.48	3.18
0.78	5.81	5.32
0.82	8.93	8.17
0.86	12.90	11.80
0.90	18.60	17.02



รูปที่ ข 21 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่

1

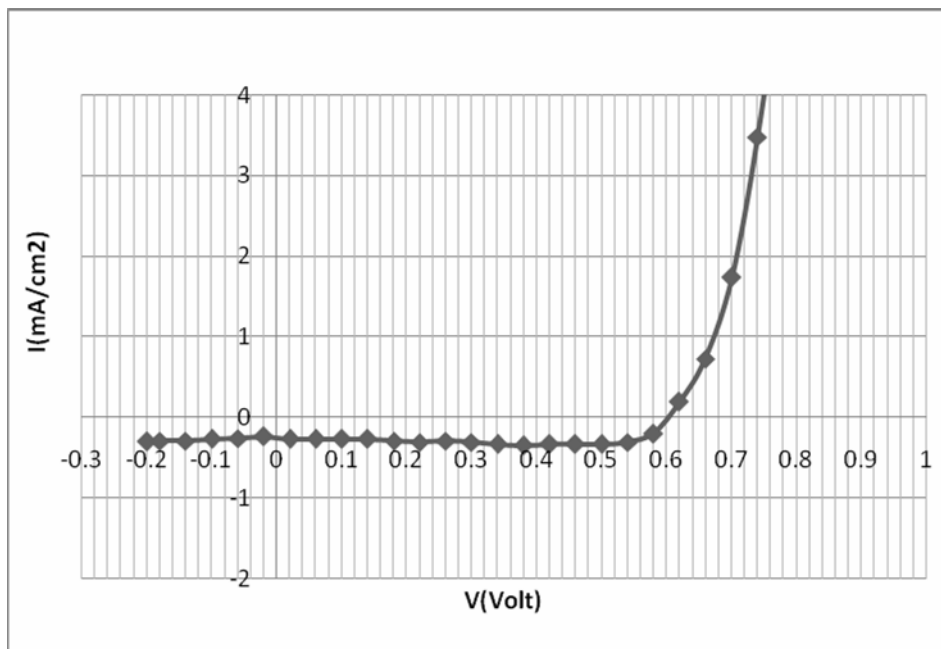


รูปที่ ข 22 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติมก่อนย้อมสี

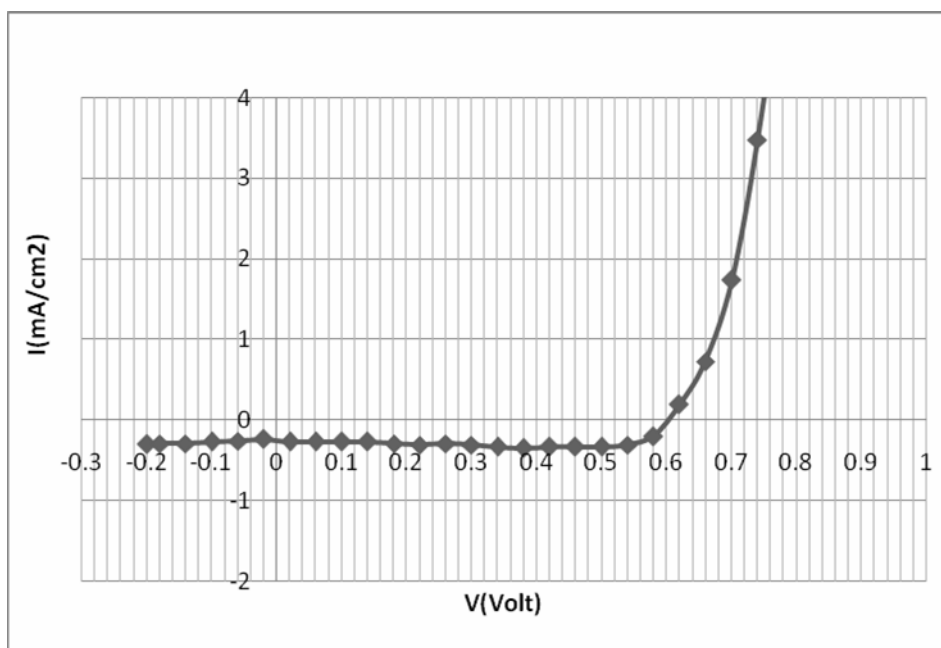
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 12 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบชมพู
มะเหมี่ยวที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.30	-0.26
-0.18	-0.29	-0.25
-0.14	-0.29	-0.25
-0.10	-0.27	-0.23
-0.06	-0.26	-0.22
-0.02	-0.24	-0.21
0.02	-0.27	-0.23
0.06	-0.27	-0.23
0.10	-0.27	-0.23
0.14	-0.27	-0.23
0.18	-0.29	-0.25
0.22	-0.31	-0.27
0.26	-0.29	-0.25
0.30	-0.31	-0.27
0.34	-0.33	-0.29
0.38	-0.35	-0.31
0.42	-0.33	-0.29
0.46	-0.33	-0.29
0.50	-0.33	-0.29
0.54	-0.31	-0.27
0.58	-0.20	-0.18
0.62	0.19	0.16
0.66	0.73	0.64
0.70	1.74	1.53
0.74	3.48	3.06
0.78	5.81	5.12
0.82	8.93	7.86
0.86	12.90	11.35
0.90	18.60	16.37



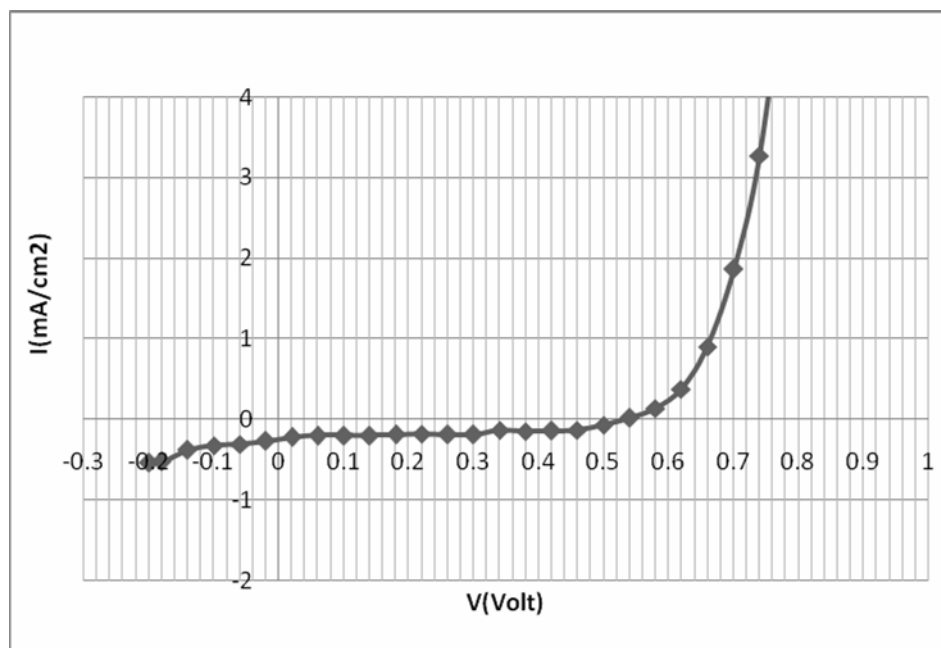
รูปที่ ข 23 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติมก่อนย้อมสี
ตัวอย่างที่ 1



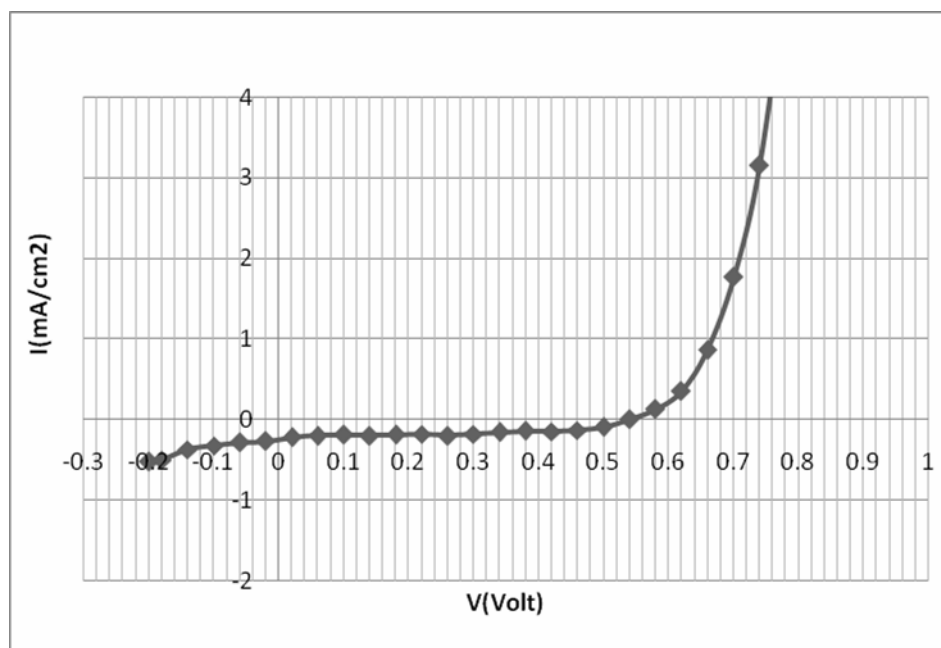
รูปที่ ข 24 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากชมพูมะเหมี่ยวโดยใช้สารเติมก่อนย้อมสี
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 13 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.54	-0.52
-0.18	-0.52	-0.50
-0.14	-0.38	-0.37
-0.10	-0.32	-0.32
-0.06	-0.31	-0.28
-0.02	-0.27	-0.27
0.02	-0.22	-0.22
0.06	-0.20	-0.20
0.10	-0.20	-0.19
0.14	-0.20	-0.20
0.18	-0.19	-0.19
0.22	-0.18	-0.18
0.26	-0.19	-0.20
0.30	-0.19	-0.18
0.34	-0.13	-0.16
0.38	-0.15	-0.14
0.42	-0.14	-0.15
0.46	-0.13	-0.13
0.50	-0.07	-0.09
0.54	0.02	0.00
0.58	0.14	0.13
0.62	0.38	0.35
0.66	0.90	0.86
0.70	1.86	1.77
0.74	3.27	3.15
0.78	5.79	5.56
0.82	9.32	9.01
0.86	14.30	13.90
0.90	20.70	20.10



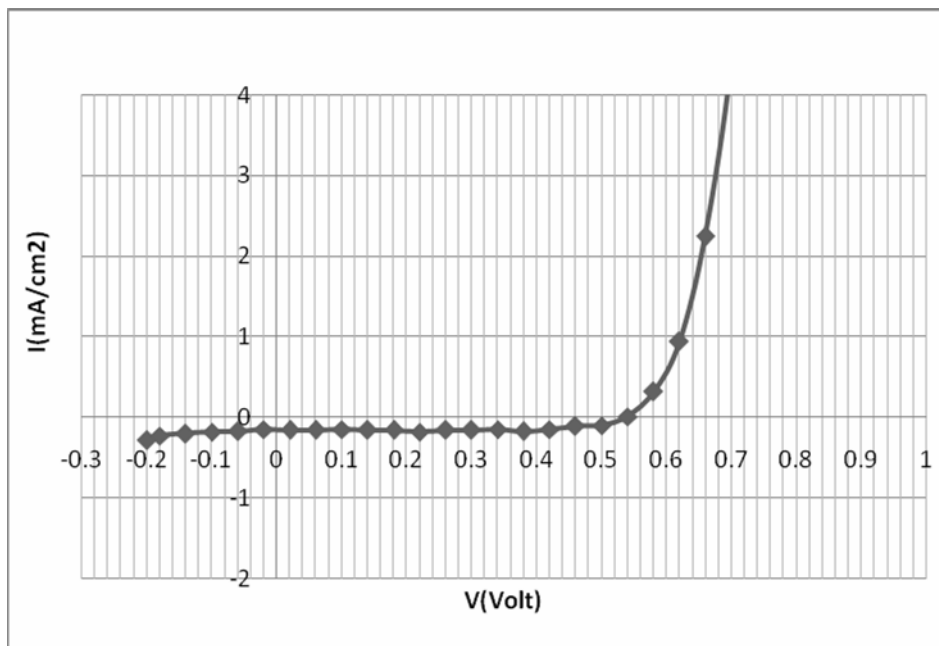
รูปที่ ข 25 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 26 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2

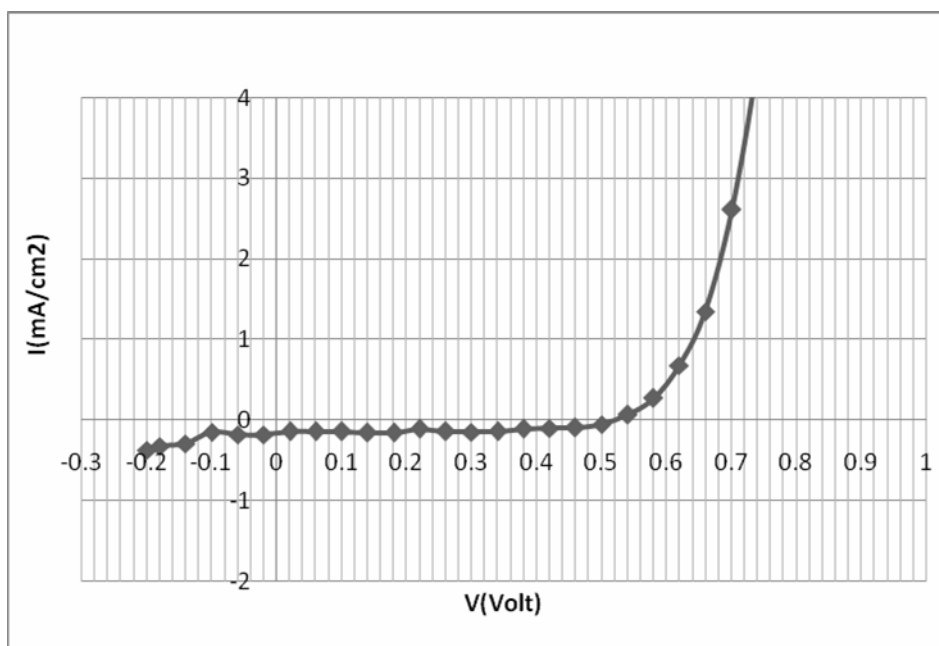
ตารางที่ ข 14 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้ไอทานอลเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.28	-0.37
-0.18	-0.23	-0.32
-0.14	-0.20	-0.29
-0.10	-0.18	-0.15
-0.06	-0.17	-0.18
-0.02	-0.15	-0.18
0.02	-0.16	-0.14
0.06	-0.16	-0.14
0.10	-0.15	-0.14
0.14	-0.16	-0.16
0.18	-0.16	-0.16
0.22	-0.18	-0.11
0.26	-0.16	-0.14
0.30	-0.16	-0.15
0.34	-0.15	-0.14
0.38	-0.17	-0.11
0.42	-0.15	-0.10
0.46	-0.11	-0.09
0.50	-0.10	-0.05
0.54	0.01	0.07
0.58	0.32	0.27
0.62	0.94	0.68
0.66	2.25	1.35
0.70	4.46	2.61
0.74	7.74	4.45
0.78	12.02	6.86
0.82	17.54	10.18
0.86	23.70	14.30
0.90	31.50	19.50



รูปที่ ๒๗ 27 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่างที่ 1

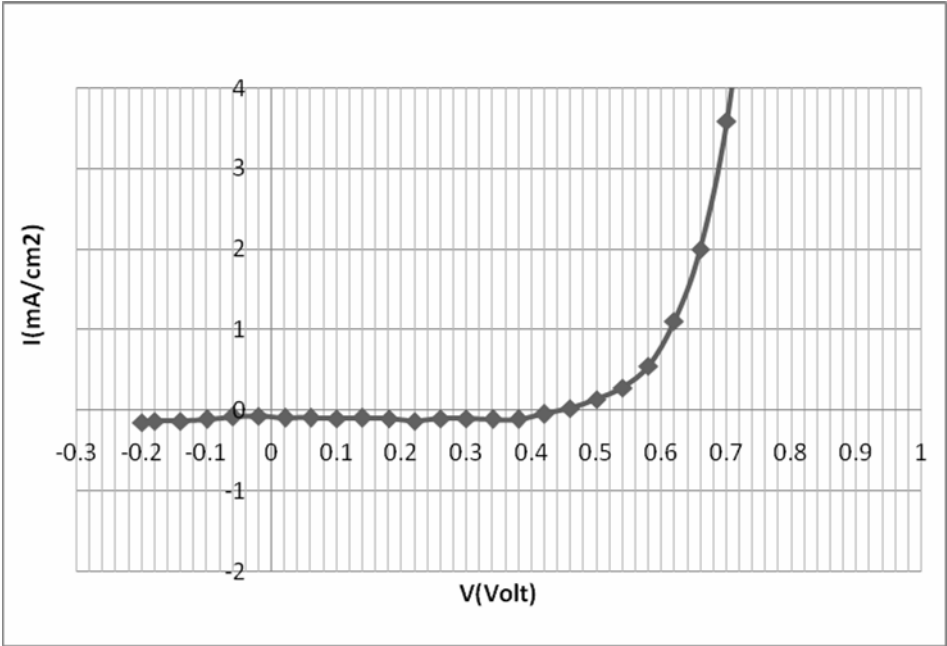


รูปที่ ๒๘ 28 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

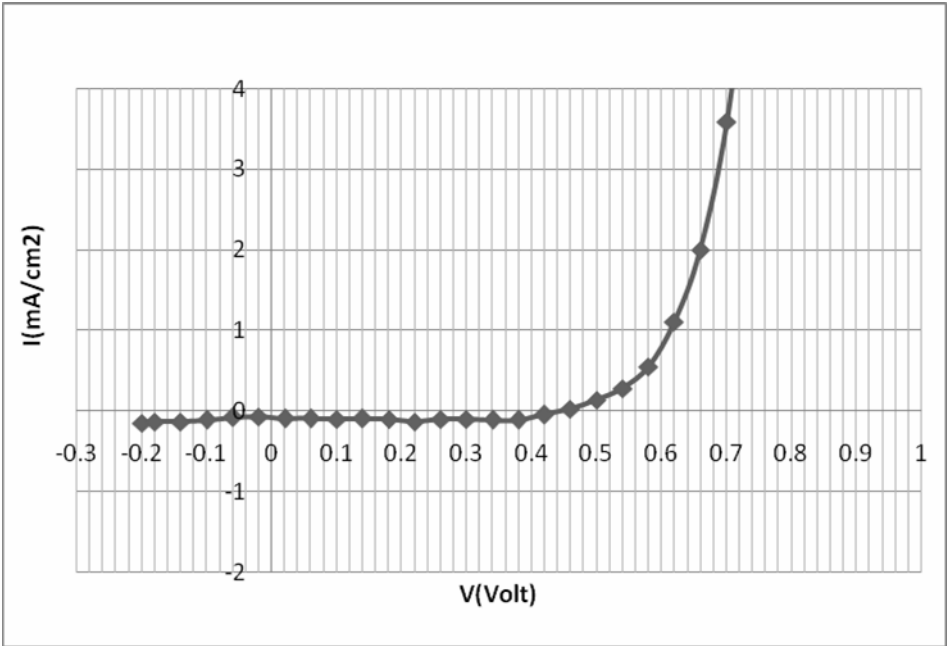
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 15 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มี
การใช้สารเติมก่อนย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.15	-0.14
-0.18	-0.13	-0.11
-0.14	-0.13	-0.11
-0.10	-0.11	-0.10
-0.06	-0.08	-0.07
-0.02	-0.07	-0.06
0.02	-0.09	-0.08
0.06	-0.09	-0.08
0.10	-0.10	-0.09
0.14	-0.09	-0.08
0.18	-0.10	-0.09
0.22	-0.13	-0.11
0.26	-0.10	-0.09
0.30	-0.10	-0.09
0.34	-0.11	-0.10
0.38	-0.11	-0.10
0.42	-0.04	-0.04
0.46	0.03	0.02
0.50	0.14	0.13
0.54	0.28	0.26
0.58	0.55	0.50
0.62	1.11	1.01
0.66	2.00	1.82
0.70	3.59	3.27
0.74	6.19	5.63
0.78	9.52	8.66
0.82	13.73	12.50
0.86	18.50	16.84
0.90	24.10	21.93



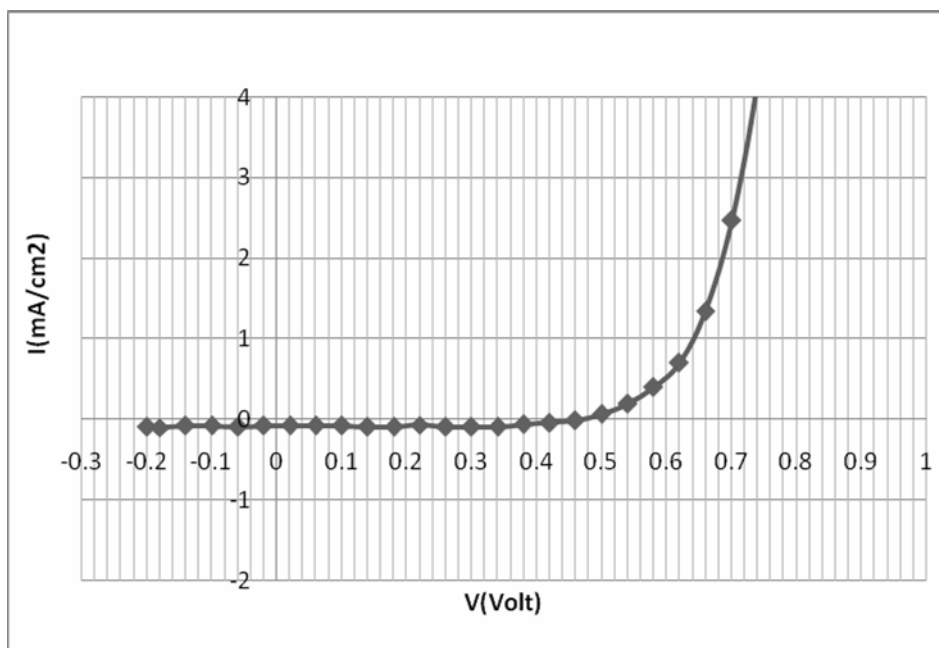
รูปที่ ข 29 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 30 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี ตัวอย่างที่ 2

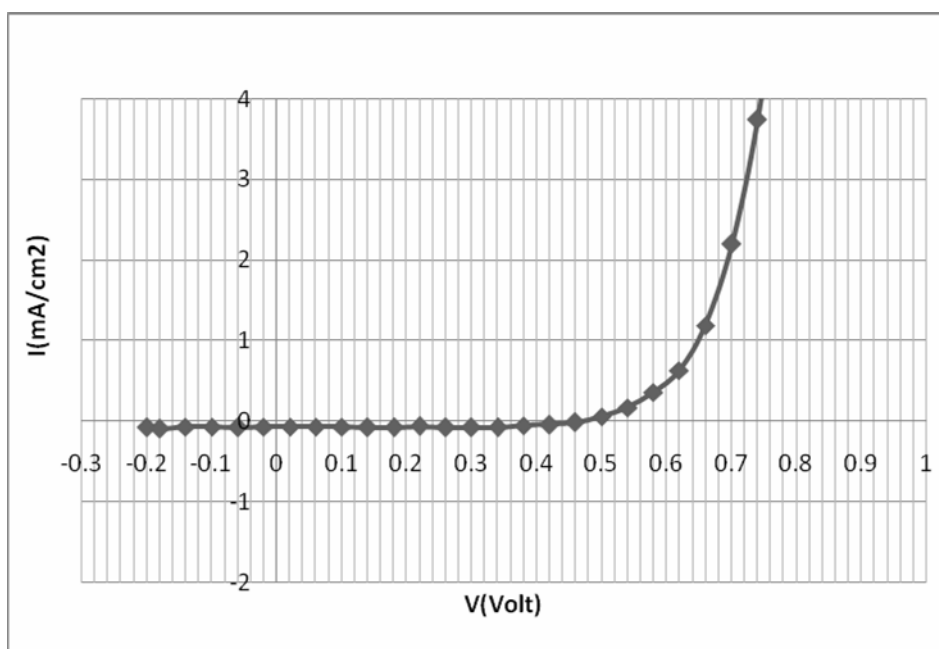
ตารางที่ ข 16 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มี
การใช้สารเติมขณะย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.09	-0.08
-0.18	-0.10	-0.09
-0.14	-0.08	-0.07
-0.10	-0.08	-0.07
-0.06	-0.09	-0.08
-0.02	-0.08	-0.07
0.02	-0.08	-0.07
0.06	-0.08	-0.07
0.10	-0.08	-0.07
0.14	-0.09	-0.08
0.18	-0.09	-0.08
0.22	-0.07	-0.06
0.26	-0.09	-0.08
0.30	-0.09	-0.08
0.34	-0.09	-0.08
0.38	-0.06	-0.05
0.42	-0.04	-0.04
0.46	-0.01	-0.01
0.50	0.07	0.06
0.54	0.19	0.17
0.58	0.40	0.36
0.62	0.70	0.63
0.66	1.34	1.19
0.70	2.47	2.20
0.74	4.20	3.74
0.78	6.73	5.99
0.82	10.01	8.91
0.86	14.30	12.73
0.90	19.20	17.09



รูปที่ ข 31 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

ตัวอย่างที่ 1

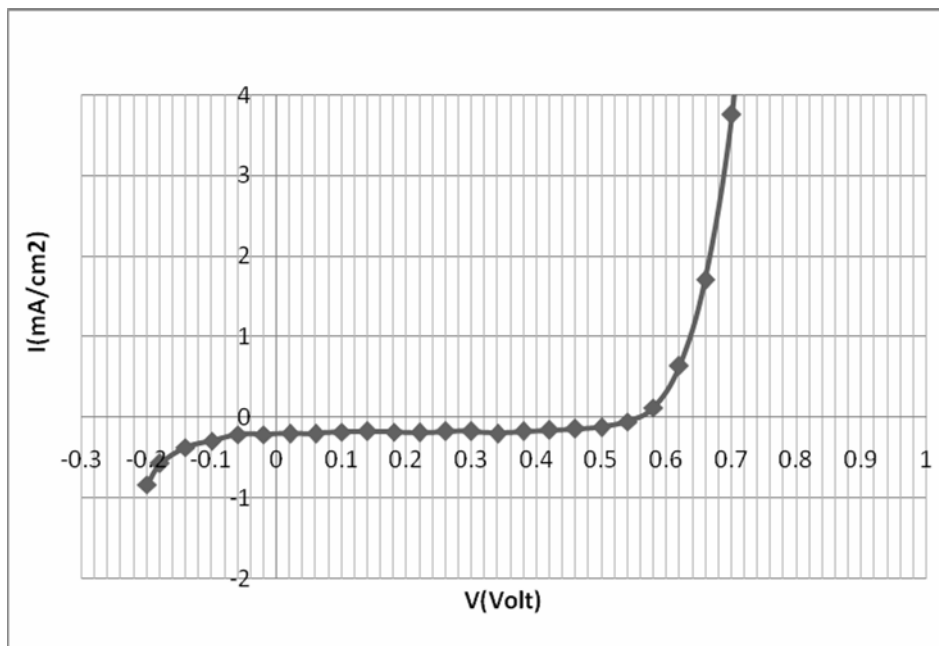


รูปที่ ข 32 IV-CURVEของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบเทียนกิ่งที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

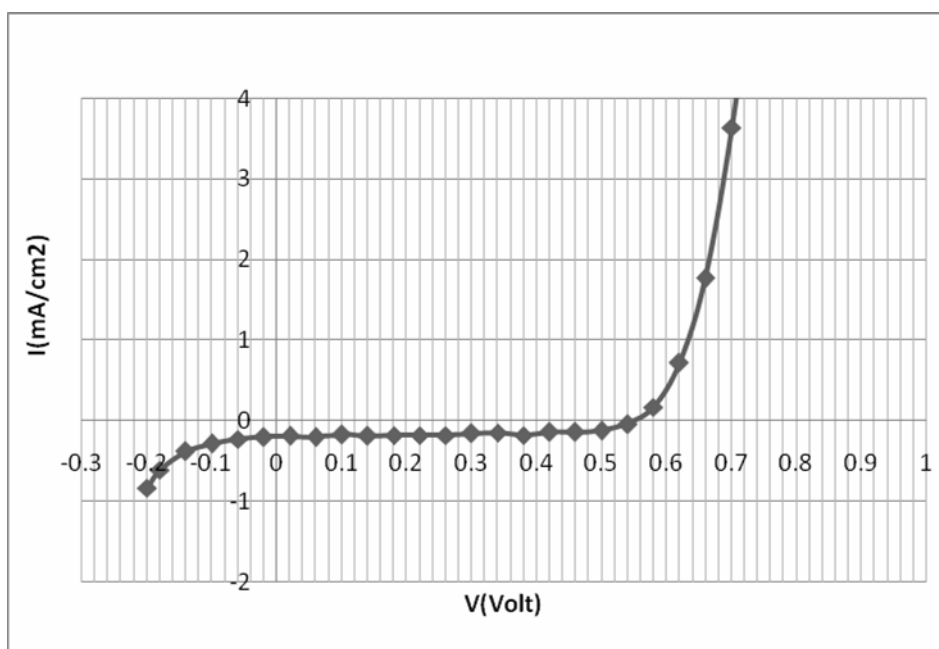
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 17 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.83	-0.83
-0.18	-0.57	-0.61
-0.14	-0.37	-0.38
-0.10	-0.29	-0.28
-0.06	-0.21	-0.23
-0.02	-0.21	-0.20
0.02	-0.20	-0.19
0.06	-0.20	-0.20
0.10	-0.18	-0.17
0.14	-0.17	-0.19
0.18	-0.18	-0.18
0.22	-0.19	-0.18
0.26	-0.17	-0.18
0.30	-0.17	-0.16
0.34	-0.20	-0.15
0.38	-0.17	-0.18
0.42	-0.16	-0.14
0.46	-0.14	-0.14
0.50	-0.12	-0.12
0.54	-0.05	-0.04
0.58	0.12	0.17
0.62	0.64	0.72
0.66	1.71	1.77
0.70	3.76	3.64
0.74	7.14	6.09
0.78	11.65	9.40
0.82	17.26	12.97
0.86	23.70	16.90
0.90	31.50	21.60



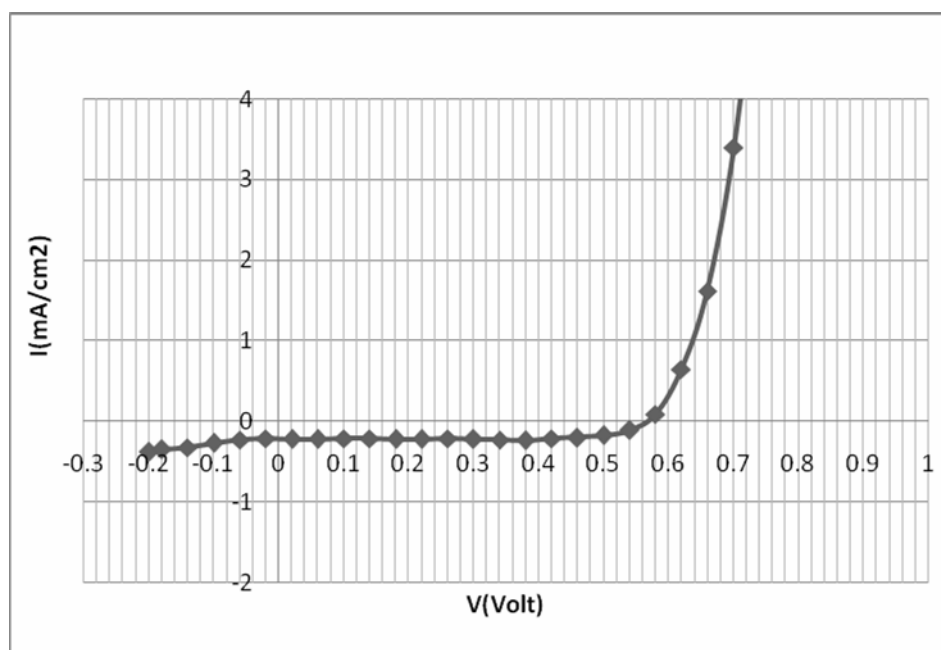
รูปที่ ข 33 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหว่าโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 34 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหว่าโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายตัวอย่างที่ 2

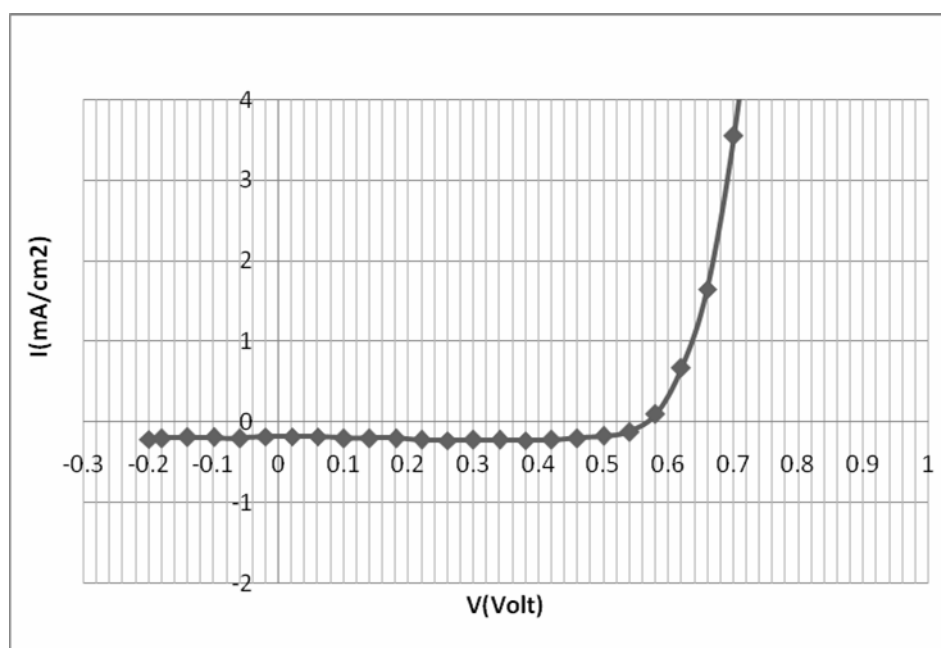
ตารางที่ ข 18 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้เอทานอลละลาย

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.38	-0.21
-0.18	-0.35	-0.20
-0.14	-0.32	-0.19
-0.10	-0.27	-0.19
-0.06	-0.23	-0.20
-0.02	-0.21	-0.18
0.02	-0.22	-0.18
0.06	-0.22	-0.18
0.10	-0.21	-0.20
0.14	-0.21	-0.20
0.18	-0.22	-0.20
0.22	-0.22	-0.22
0.26	-0.21	-0.23
0.30	-0.22	-0.22
0.34	-0.23	-0.22
0.38	-0.24	-0.23
0.42	-0.21	-0.22
0.46	-0.20	-0.20
0.50	-0.17	-0.17
0.54	-0.11	-0.12
0.58	0.09	0.10
0.62	0.65	0.67
0.66	1.62	1.65
0.70	3.40	3.55
0.74	6.19	6.20
0.78	9.79	9.66
0.82	14.22	13.91
0.86	19.50	18.70
0.90	26.30	28.15



รูปที่ ๓ 35 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่างที่ 1

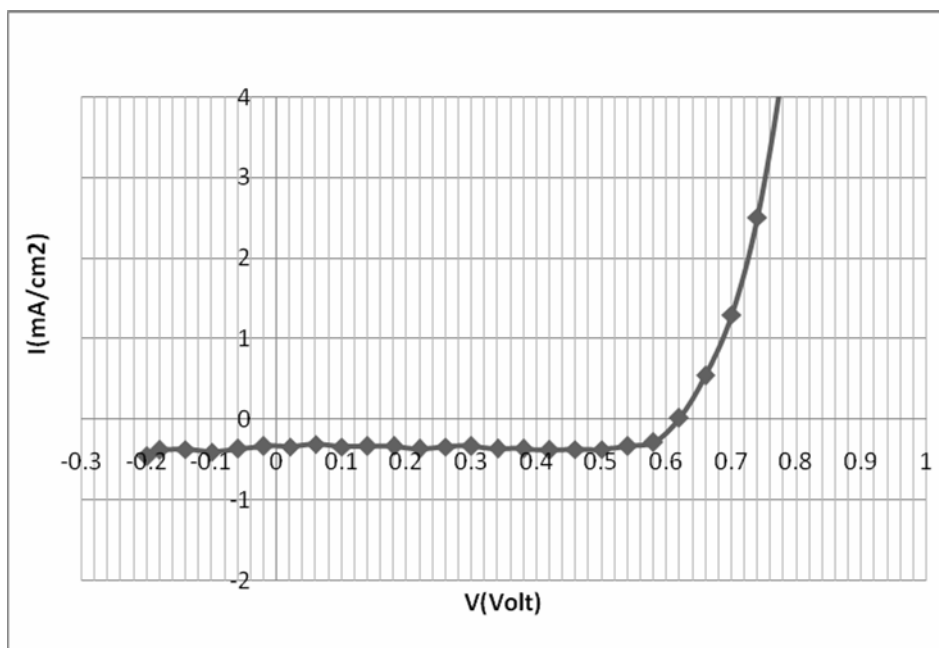


รูปที่ ๓ 36 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

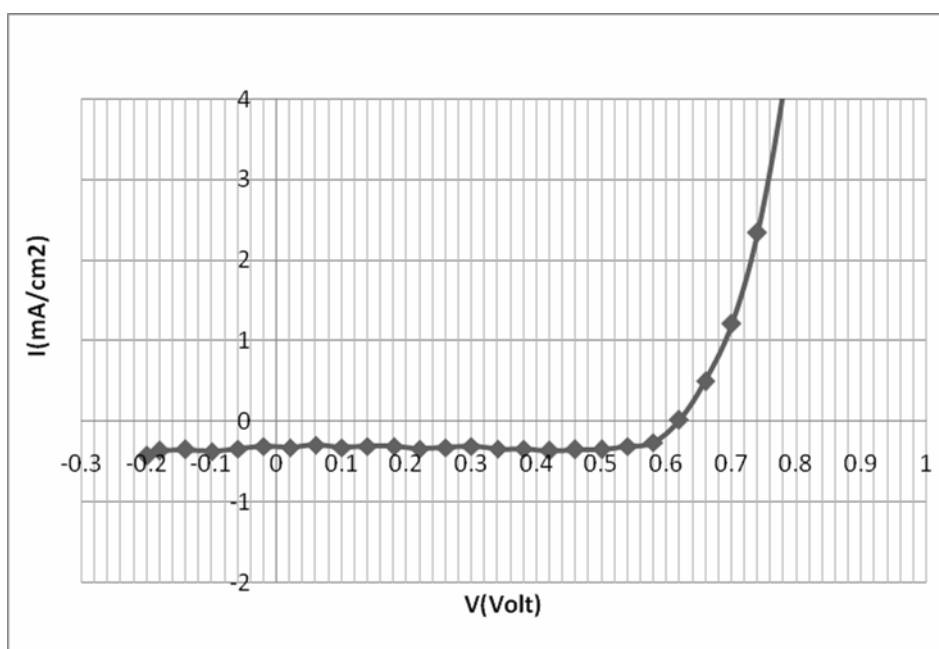
ตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 19 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.46	-0.43
-0.18	-0.38	-0.36
-0.14	-0.37	-0.35
-0.10	-0.40	-0.37
-0.06	-0.36	-0.34
-0.02	-0.33	-0.31
0.02	-0.34	-0.32
0.06	-0.31	-0.29
0.10	-0.34	-0.32
0.14	-0.33	-0.31
0.18	-0.33	-0.31
0.22	-0.36	-0.34
0.26	-0.34	-0.32
0.30	-0.33	-0.31
0.34	-0.36	-0.34
0.38	-0.36	-0.34
0.42	-0.38	-0.36
0.46	-0.37	-0.35
0.50	-0.37	-0.35
0.54	-0.33	-0.31
0.58	-0.28	-0.26
0.62	0.02	0.02
0.66	0.54	0.50
0.70	1.30	1.21
0.74	2.51	2.34
0.78	4.39	4.08
0.82	6.92	6.43
0.86	10.40	9.67
0.90	15.30	14.23



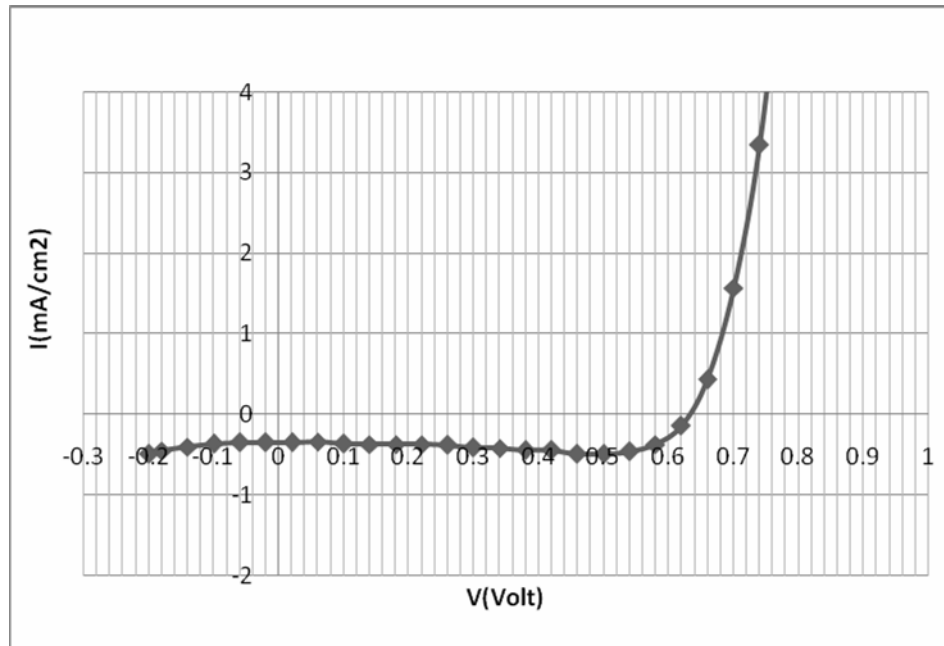
รูปที่ ข 37 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1



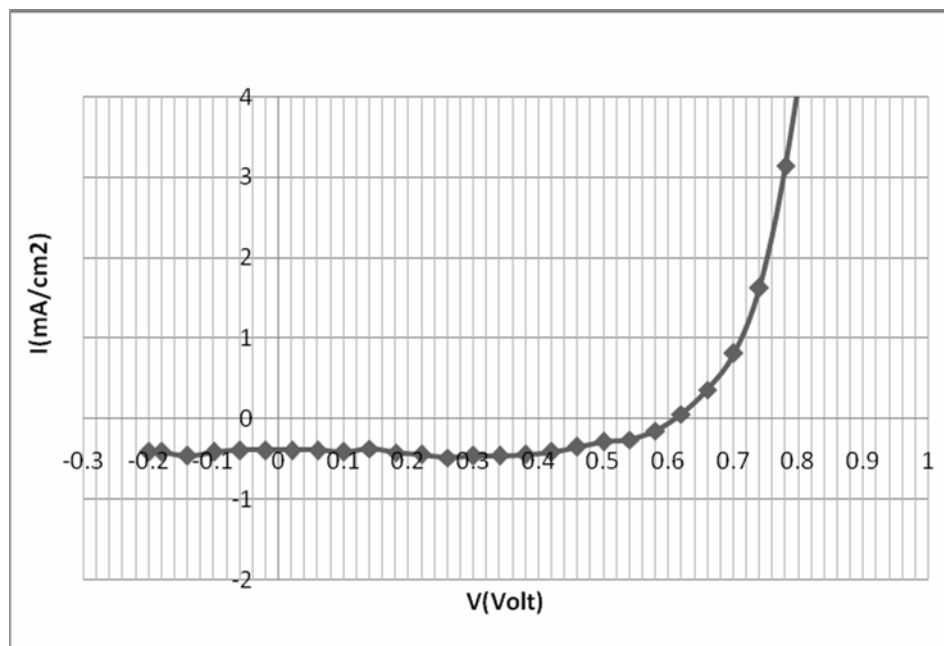
รูปที่ ข 38 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ ข 20 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่างๆของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมขณะย้อมสี

V(Volt)	I(mA/cm ²)	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
-0.20	-0.49	-0.41
-0.18	-0.45	-0.41
-0.14	-0.40	-0.46
-0.10	-0.36	-0.41
-0.06	-0.35	-0.39
-0.02	-0.35	-0.39
0.02	-0.35	-0.39
0.06	-0.34	-0.39
0.10	-0.36	-0.41
0.14	-0.37	-0.37
0.18	-0.37	-0.42
0.22	-0.37	-0.44
0.26	-0.38	-0.48
0.30	-0.41	-0.46
0.34	-0.42	-0.46
0.38	-0.44	-0.44
0.42	-0.44	-0.41
0.46	-0.49	-0.35
0.50	-0.49	-0.28
0.54	-0.46	-0.26
0.58	-0.37	-0.15
0.62	-0.14	0.06
0.66	0.43	0.36
0.70	1.57	0.81
0.74	3.34	1.63
0.78	6.14	3.14
0.82	9.74	5.41
0.86	15.20	9.05
0.90	22.60	14.22



รูปที่ ข 39 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ข 40 IV-CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมสกัดจากใบหญ้าที่มีการใช้สารเติมก่อนย้อมสีตัวอย่างที่ 1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ณิชภา เจนกลกิจ เกิดเมื่อวันที่ 11 เมษายน พ.ศ.2529 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสตรีวิทยา ๒ ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระศรีนครินทร์ราชชนนี จากนั้นศึกษาต่อระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำโครงการเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คาร์บอนรูพุนขนาดมีโซและทองคำเปลวเป็นแคานท์เตอร์อิเล็กโทรดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในปี 2550 และได้ทำการศึกษาต่อในระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2551 และสำเร็จการศึกษาในปี 2551 ในหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง สีย้อมธรรมชาติจากใบไม้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง