



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสีย้อมไวแสงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง  
Study Dye-sensitizer on Photovoltaic Performance of  
Dye-Sensitized Solar Cells



R&H  
ก 496 ก  
2558

สาขา.....  
ลงทะเบียน 140561  
วันเดือนปี 9 ก.พ. 2559

b. 12740585  
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดำเนินงานที่ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาสีย้อมไวแสงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง  
แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ .....2558.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน .....70,000.....บาท

ระยะเวลาทำงานวิจัย ..1.....ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

ชื่อ- สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุหน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ นายภาสภม มโนสุกฤตกุล วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย ดร.พัชรภรณ์ ปานดี วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ศิริขวัญ สุวัตแก้ว วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นกระจกเคลือบขั้วโลหะนำไฟฟ้าจำนวนสองแผ่นประกบกันโดยแผ่นกระจกชั้นที่หนึ่งเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งใช้เป็นขั้วแอโนดและแผ่นกระจกชั้นที่สองเคลือบด้วยผงแกรไฟต์ซึ่งใช้เป็นขั้วแคโทด เมื่อศึกษาผลของสีย้อมไวแสงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยผสมสีย้อมที่สกัดจากพืช (ดอกอัญชัน) กับสีย้อมจุลินทรีย์ ( สารละลายแอมโมเนียมออกซาลेट - คริสตัล ไวโอเล็ต) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันคือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4พบว่าอัตราส่วนของสีย้อมไวแสงของสารสกัดจากดอกอัญชันและสีย้อมจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1:2 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้าและด้านประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งสัดส่วนของการผสมของสีย้อมไวแสงนี้ จะถูกเลือกไปใช้ในการทำวิจัยขั้นต่อไป

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง; สีย้อมไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Study Dye-sensitizer on Photovoltaic Performance of Dye-Sensitized Solar Cells

Researcher: Mr.Phasapon...Manosukritkul...Dr.Patcharaporn Pandee...Miss.Sirikwan Sudwatkeaw

Faculty: Prince of Chumphon Campus Department Engineerin

## ABSTRACT

This research was to study the structure of the dye-sensitized solar cells. The structure was composed of two sheets of Transparent Conducting Oxide glass (TCO). The first sheet coated with titanium dioxide was used as anode and the second one coated with graphite powder was used as cathode. The study analyzed the electrical properties and performance of dye-sensitized solar cells. The results By mixing dye sensitized on these of color extracted from natural plants dyes pea flower mixed with Ammonium Crystal violet was a dye sensitized. By mixing dye sensitized that use of color is extracted from natural plants the pea flowers mixed with Ammonium Crystal violet a dye-sensitized in a ratio of 1:1, 1:2, 1:3 and 1: 4. Using plates coated titanium dioxide is the light And We use iodine as the electrolyte in the experiment. The study analyzed the electrical properties and performance of dye-sensitized solar cells. The results showed that ratio of 1: 2. Has right mixture that use in research.

**Keywords :** Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC), Dye Sensitized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญภาพ .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	3
1.5 กิจกรรมที่ 4: การทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติไฟฟ้า .....	4
1.6 กิจกรรมที่ 5: สรุปและจัดทำรายงาน .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	5
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.2 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC) DSSC.....	7
2.6 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	12
2.7 หลักการทำงานของ DSSC.....	14
2.8 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ .....	15
2.9 ความเข้มของแสง .....	18
2.10 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	18
2.11 ความมวลอากาศ (Air Mass) .....	18
บทที่ 3 การทดลอง .....	20
3.1 โครงสร้างของ DSSC .....	20
3.2 การเตรียมสารสีย้อมจากธรรมชาติ .....	21
3.3 การเตรียมสีย้อมจูลินทรีย์ .....	21
3.4 การเตรียมสารผสมดอกอัญชัน กับ สีย้อมจูลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต.....	21
3.5 การเตรียมกระจก TCO ไขเป็นฐานรอง .....	22
3.6 การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์ .....	22
3.7 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	23
3.8 กระบวนการการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	23
3.9 การทดลอง Dry cell มีขั้นตอนการทดลอง.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	28
4.1 ผลการทดลองเคลือบโททาเนียมไดออกไซด์กับกระจกนำไฟฟ้า .....	28
4.2 ผลการศึกษาการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดสีย้อมไวแสงด้วย สีย้อมจากดอก อัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัลไวโอเล็ต .....	29
4.3 ผลการศึกษาการนำแกรไฟต์เคลือบลงบนแผ่นกระจกแผ่นที่สองเพื่อทำเป็นขั้วบวก .....	30
4.4 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง .....	31
บทที่ 5 สรุปผลทดลองและแนวทางการพัฒนา .....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	33
5.2 แนวทางการพัฒนา .....	33
บทที่ 6 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย .....	34
6.1 ผลที่ได้จากขบวนการทดลอง .....	34
6.2 ผลที่ได้จากงานวิจัย .....	34
เอกสารอ้างอิง .....	35
ภาคผนวก .....	37
ภาคผนวก ก สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	38
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย .....	44
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย .....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้แสงอาทิตย์ (ไม่ควบคุมความเข้มขอแสง).....	31
4.2 ตารางคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้สีย้อมไวแสงอัตราส่วนของสีย้อมไวแสงดอกอัญชัน : สีย้อมจุลินทรีย์ คริสคัล ไวโอเลต .....	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมจากซิลิคอนรูปผลึกต่าง	6
2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน	6
2.3 โครงสร้างของ DSSC	7
2.4 ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สังเคราะห์จากพืช	9
2.5 โครงสร้างพื้นฐานแอนโทไซยานิน	11
2.6 อนุพันธ์ของสารแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ	11
2.7 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง	13
2.8 ส่วนประกอบ และการไหลของอิเล็กตรอนใน DSSC	14
2.9 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1	15
2.10 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์จากการต่อวงจรแบบที่ 1	15
2.11 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบที่ 2	16
2.12 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 2	16
2.13 แสดงการคำนวณความวลาอากาศ	19
3.1 โครงสร้างของ DSSC	20
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ การทดลอง	23
3.3 กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conductive oxide)	24
3.4 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO <sub>2</sub> )	24
3.5 สีย้อมไวแสง	25
3.6 สารไอโอดีน	25
3.7 แกรไฟต์	26
4.1 การเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า	28
4.2 การ Preheat แผ่นก่อนจุ่มสีย้อมสี	29
4.3 การย้อมสีย้อมไวแสงด้วยสีย้อมจากดอกอัญชันกับสีย้อมจุลลินทรีย์ที่อัตราส่วน 1:2	29
4.4 การย้อมสีย้อมไวแสงด้วยสีย้อมจากดอกอัญชันกับสีย้อมจุลลินทรีย์ที่อัตราส่วน 1:1	30
4.5 การเคลือบแกรไฟต์ลงบนแผ่นกระจก TCO	30
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสแสงและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่อัตราส่วน สีย้อมไวแสง ที่ 1:2	32
ก.1 สารเคมีที่ใช้งาน	39
ก.2 การใช้ Heat Spy วัดอุณหภูมิการเตรียมชิ้นงาน	39
ก.3 การเตรียมสารไททาเนียมไดออกไซด์	40
ก.4 การเตรียมชิ้นงานก่อนประกบแผ่น	40
ก.5 การทดสอบการจุ่มสีย้อมก่อนใช้งานจริง	41
ก.6 การทดสอบการย้อมสีกับชิ้นทดสอบในขนาดที่ต่างกัน	41
ก.7 การเตรียมผงแกรไฟต์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก.8 การทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จริง.....	42
ก.9 การทดสอบอุณหภูมิสีย้อมกับชิ้นงานทดสอบ.....	43
ก.10 การทดสอบการจุ่มและการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์และแกรไฟต์กับชิ้นงาน ทดสอบ.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิต เพราะในปัจจุบันไม่ว่าจะทำอะไรเราก็ต้องใช้พลังงานแทบทั้งสิ้น แต่ปัจจุบันนี้เรากำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะต้องอาศัยทรัพยากรจากแหล่งพลังงาน Fossil กำลังจะหมดลง ดังนั้น พลังงานสะอาด และสามารถนำมาใช้ทดแทนได้ดี ได้แก่พลังงานจาก เซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เซลล์แสงอาทิตย์ แบบดั้งเดิมที่ผลิตจากซิลิกอน (Silicon หรือ สัญลักษณ์ทางเคมีคือ Si) มีหลายรูปแบบ เช่น แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) หรือ Monocrystalline แบบผลึกรวม (Polycrystalline) และแบบไม่มีรูผลึก (Amorphous) และยังผลิตจากสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ อีกเช่น GaAs InP GaInP และCu(InGa)Se เป็นต้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20 -25 % [1] แต่มีราคาแพงมากจึงทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีต้นทุนในการผลิตสูง มีความสงสัยในความไม่คุ้มทุน เช่น ข้อกล่าวที่ว่า พลังงานที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สิ้นเปลืองมากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตได้ข้อจำกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแสง เป็นพลังงานไฟฟ้า อีกชนิดหนึ่งคือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized Solar Cells) (DSSC)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถือเป็นแนวความคิดใหม่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง ในการแปลงพลังงานแสง มาเป็นกระแสไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการย้อมสีไวแสงซึ่งเป็นสารชีวภาพ ที่มีหลักการทำงานเริ่มจาก เมื่อแสงส่องผ่านมากระทบสีย้อมไวแสง อิเล็กตรอนในโมเลกุลสีย้อมไวแสงที่ถูกกระตุ้นไป ที่ระดับพลังงานสูงก็จะส่งกระแสไฟฟ้าชั่วลบผ่านผลึก ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีสีย้อมไวแสง นั้นเคลื่อนที่อยู่แล้วเคลื่อนไปสู่ขั้วไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าได้แผ่นกระจกด้านที่รับแสงจึงให้กระแสชั่วลบ เมื่อกระแสผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอก แล้วเคลื่อนผ่านเข้ามาบนกระจกนำไฟฟ้า ด้านล่างก็จะช่วย ส่งอิเล็กตรอนผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และกลับสู่สีย้อมไวแสง

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 10 % โดยใช้สีย้อมไวแสงที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของรูทีเนียม ไบไพร์ดีน (Ruthenium – Bipyridine) [2] แต่สีย้อมไวแสงที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของรูทีเนียม ไบไพร์ดีน มีราคาแพงมาก ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีราคาสูง ไม่คุ้มค่ากับ การใช้งานและไม่สามารถที่จะแข่งขันกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนได้เลย

ดังนั้น หากเราสามารถสังเคราะห์สีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพขึ้นมาใช้เองได้ โดยไม่ต้องสั่งซื้อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ซื้อจากต่างประเทศ ก็จะทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อม ไวแสงมีราคาถูกลง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถนำมาทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอนและยังทำให้เรา มีแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่จะมาทดแทนพลังงานไฟฟ้า ที่มีกระบวนการผลิตที่อาศัย แหล่งพลังงาน Fossil ซึ่งหากเราพิจารณาถึงความหลากหลายทางชีวภาพแล้ว ประเทศไทยถือว่าได้เปรียบในการที่จะศึกษา และค้นหาแหล่งสีย้อมไวแสงจากธรรมชาติ ซึ่งสีย้อมไวแสง จากธรรมชาตินี้ มีข้อดีอยู่มากมายเพราะนอกจากจะดูกลิ่นแสงได้กว้างและมากแล้ว ข้อจำกัดเรื่องทรัพยากรและความยุ่งยากยังน้อยกว่าสารสังเคราะห์ทางเคมีอีกด้วย นอกจากนี้หากพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว สารเคมีสังเคราะห์จำนวนมาก รวมทั้งสีย้อมสังเคราะห์ ล้วนเป็นสารที่ก่ออันตรายต่อชีวิตได้ รวมทั้งกระบวนการผลิตสีย้อมสังเคราะห์และน้ำทิ้งอาจทำให้ดินและน้ำเสีย การกำจัดใช้ค่าใช้จ่ายสูง ในขณะที่การใช้สีย้อมจากพืชมีผลดีคือกระบวนการผลิตมีการพึ่งพาเทคโนโลยีขนาดใหญ่ น้อยลง สังคมก็จะพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น หากโรงงานถูกทำลายแล้วเครื่องมือการผลิตสำเร็จรูปมีน้อยลง เราก็ยังมี ภูมิปัญญาที่จะนำวัตถุดิบในธรรมชาติมาแปรรูปใช้ได้มากขึ้น สีย้อมไวแสงสังเคราะห์หลายชนิด มีสมบัติการถ่ายโอนอิเล็กตรอนดีเพราะเป็นสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะรูทีเนียม สารสกัดจากพืชก็อาจนำมาปรับปรุงได้ด้วยการเกิดสารเชิงซ้อนกับธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นโลหะทรานซิชันเหมือนกับ รูทีเนียมที่มีข้อดีคือ สารประกอบของเหล็กราคาไม่แพง ในวงการย้อมผ้ารู้กันว่า ไอออนเหล็ก  $Fe^{+2}$  เป็นตัวช่วยให้เกิดการย้อมสีที่เข้มขึ้น และพืชเป็นแหล่งสารอินทรีย์ที่หลากหลาย คนไทยก็มีภูมิปัญญาการทำสีผสมอาหาร และสีย้อมผ้าจากพืชมากมาย ตัวอย่างสีผสมอาหารจากพืช เช่น กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบให้สีแดง, ดอกแก่คำฝอยให้สีเหลือง, เมล็ดคำแสดให้สีส้ม, ใบเตยสดให้สีเขียว, แก่นไม้ฝางให้สีชมพูเข้ม และ ดอกอัญชันสดให้สีม่วง เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการสังเคราะห์สีย้อมไวแสงจากพืชมีในท้องถิ่น เพื่อนำไปใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เพื่อหวังว่าจะช่วยทำให้ต้นทุนในการผลิต เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง มีราคาถูกลงและสามารถนำมาใช้กันได้อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังเป็นการนำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน และอาจจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับท้องถิ่นได้อีกทางหนึ่งในอนาคต แต่สีย้อมที่ได้จากพืชนั้นจะมีอายุการใช้งานน้อยเมื่อใช้ไปได้ระยะหนึ่งจะเกิดเชื้อรา ทางผู้วิจัยจึงเพิ่มศักยภาพของสีย้อมให้มีโครงสร้างที่ยึดติดกับไททาเนียมไดออกไซด์ให้ได้ดียิ่งขึ้นโดยนำไปผสมกับสีย้อมจุลินทรีย์ แล้วนำไปทดสอบเป็นสีย้อมที่ใช้กับเวลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยจะใช้ดอกอัญชันผสมกับสารละลายแอมโมเนียมออกซาลेट - คริสตัล ไรโอเลต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dyesensitized solar cells) การเตรียมชั้นโลหะนำไฟฟ้า เตรียมชั้นสารกึ่งตัวนำ การเตรียมสารอิเล็กโทรไลต์ และ เคานเตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode) 1.2.2 ศึกษาการเตรียมสีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงคุณสมบัติเบื้องต้น โมเลกุลการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

12.3 วิเคราะห์ถึงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc) , ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Voc) , ค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) , ค่าฟล แพคเตอร์ (Fill Factor : F.F.) และ ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency)

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เน้นการศึกษากระบวนการเตรียมสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่สามารถเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป สามารถเตรียมสีย้อมไวแสงที่ราคาถูก เพื่อนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ ประกอบด้วยกระจกเคลือบด้วยโลหะโปร่งใส นำไฟฟ้าสองแผ่น ประกบกัน โดยกระจกแผ่นแรกจะนำมาเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ และแผ่นที่สองจะเคลือบด้วยแกรไฟต์ จากนั้นนำตามที่ถูกเคลือบมา ประกบกันโดยให้ตามที่ถูกเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์เป็นด้านที่สัมผัสแสงในการวิจัยนี้จะใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์คือไอโอดีน

### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1.4.1 กิจกรรมที่ 1: การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูล สิ่งตีพิมพ์ เพื่อศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง พร้อมศึกษาถึงขบวนการเตรียมสีย้อมไวแสงและคุณสมบัติต่างๆของสีย้อมไวแสง

#### 1.4.2 กิจกรรมที่ 2: การออกแบบ และวางแผนการดำเนินงานโดยรวม

เพื่อให้การทดลองเป็นไปตามความคาดหวังจึงต้องมีการออกแบบและวางแผนการทดลอง เช่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดผงขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์ที่  $50\mu\text{m}$ ,  $100\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}$  ที่สามารถยึดเกาะแผ่นกระจก เบื้องต้นจากรายงานการวิจัย

การศึกษาเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของอนุภาคโลหะออกไซด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็น  $0.5\text{ mm}$ ,  $2\text{mm}$ ,  $3\text{mm}$  เบื้องต้นจากรายงานการวิจัย

การศึกษาการเตรียมสีย้อมไวแสงหลากชนิดที่ให้สีที่แตกต่างกันตรวจสอบคุณสมบัติของการดูดกลืนแสงในหลายช่วงความยาวคลื่น ตรวจสอบมีความเสถียรและความยึดเกาะบนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ที่อุณหภูมิ  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  เบื้องต้นจากรายงานการวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ เป็น 20%, 30% และ 40% เบื้องต้นจากรายงานการวิจัย

#### 1.4.3 กิจกรรมที่ 3: การพัฒนากระบวนการเตรียมสีย้อมไวแสง

ในการวิจัยจะทำการออกแบบและใช้เครื่องมือในการเตรียมชั้นสารต่างๆให้มีการเตรียมได้ง่าย เก็บง่าย และใช้งานได้ง่าย และออกแบบเป็นชุดอุปกรณ์ทดลองอย่างง่ายให้แก่ผู้สนใจ

a. การศึกษาผลของอัตราส่วนของสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมจุลินทรีย์

b. ศึกษาโครงสร้างจุลภาคหลังขบวนการเคลือบสีย้อมไวแสง

c. ทดสอบสีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในขบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะการแสวงหาผลประโยชน์หรือการนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 1.5 กิจกรรมที่ 4: การทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติไฟฟ้า

นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างได้นำมาทำการวัดและบันทึกค่าของแรงดันที่ตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่าน เพื่อหาคุณสมบัติทาง ไฟฟ้า คือ

- ค่ากระแสไฟฟาลัดวงจร (Isc)
- ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Voc)
- ค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Pmax)
- ค่าฟลแฟคเตอร์ (Fill Factor : F.F.)
- ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency)

#### 1.6 กิจกรรมที่ 5: สรุปและจัดทำรายงาน

เมื่อได้ข้อมูลต่างๆจากการทดลองขั้นตอนนี้เป็นการประมวลข้อมูลและวิเคราะห์ผลเพื่อทำเป็นรูปเล่มรายงานและเตรียมพร้อมนำเสนอต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รัศมีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้า กระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า ในช่วงเวลากลางวัน

### 2.2 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (p-n) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอนจนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอา แผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่ จะมีสีเทาแต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม

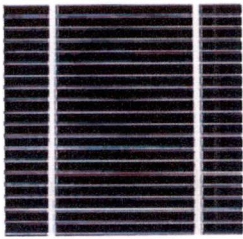
### 2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

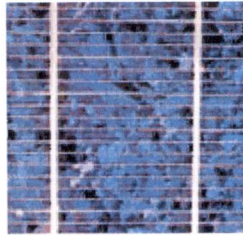
2.3.1 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

2.3.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิกอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้ บนพื้นโลก จึงใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

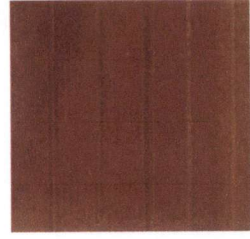
สำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7% ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)



แบบผลึกเดี่ยว  
(Single Crystal)



แบบผลึกรวม  
(Poly Crystal)

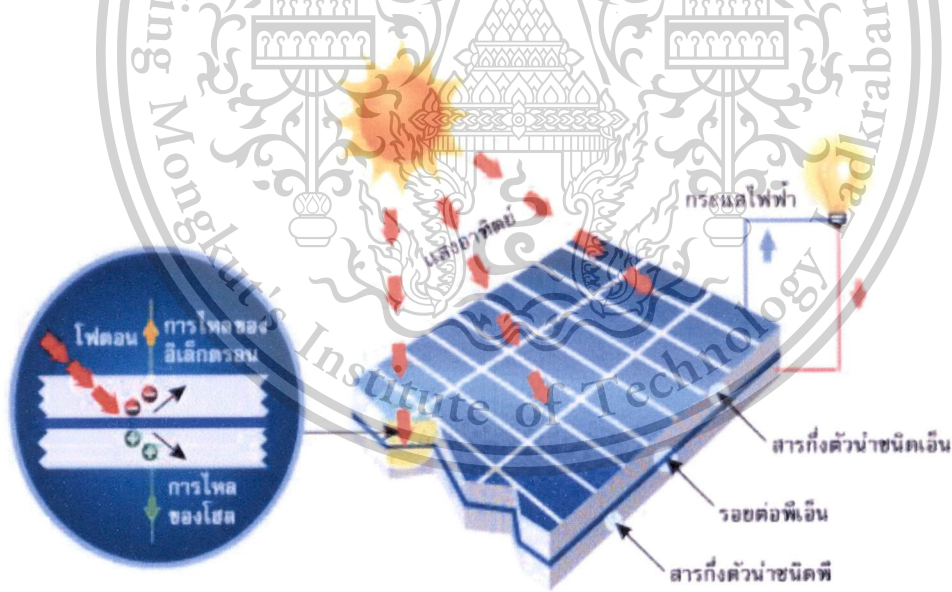


แบบอะมอร์ฟัส  
(Amorphous)

ภาพที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมจากซิลิกอนรูปผลึกต่าง

### 2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบ กับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ (ตามภาพที่ 2.2) และอธิบายการทำงานได้ดังนี้



ภาพที่ 2.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน

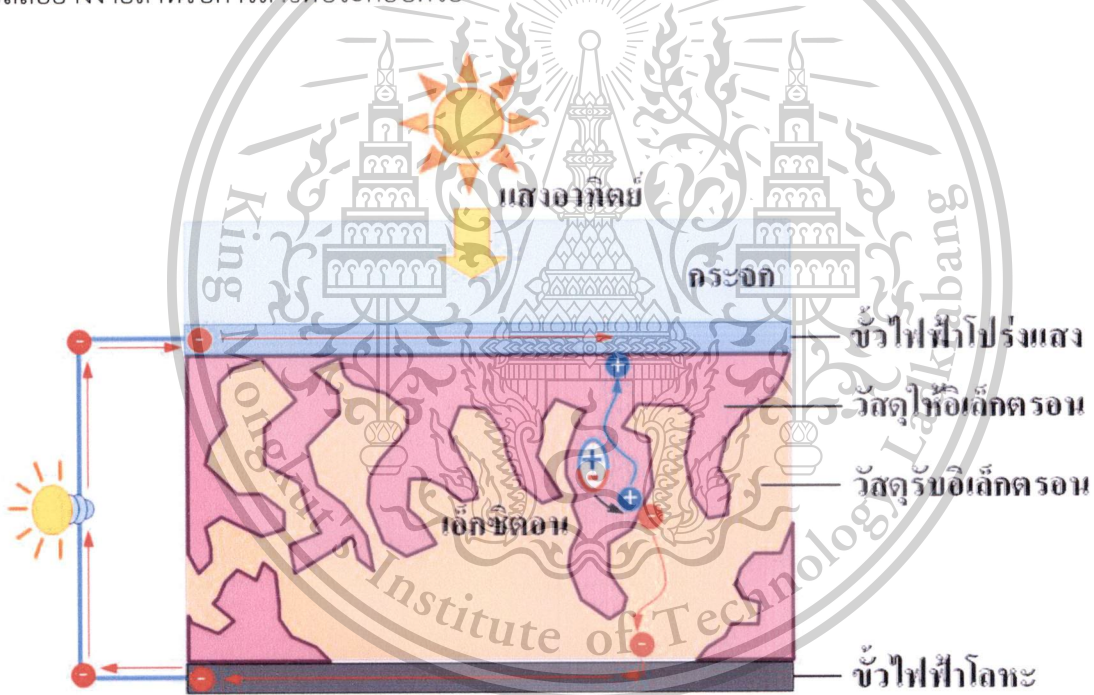
N - type ซิลิกอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้อุปสรรคด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P - typeซิลิกอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้อุปสรรคด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย P - N junction จึงทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์" ในสภาวะที่ังไม่มีแสงแดด N - type ซิลิกอน ซึ่งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม "ลิขสิทธิ์สงวนไว้" ในสภาวะที่ังไม่มีแสงแดด N - type ซิลิกอน ซึ่งอยู่

ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กทรอนิกส์ แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ N - type ซิลิกอน จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กทรอนิกส์ ส่วน P - type ซิลิกอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กทรอนิกส์ปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ P - type ซิลิกอน จะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กทรอนิกส์จะวิ่งไปยังชั้น N - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นของ P - type อิเล็กทรอนิกส์วิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

## 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC) DSSC

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ต่างกันเป็นชั้น ๆ จึงเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้ เซลล์อย่างง่ายสำหรับการสาธิตประกอบด้วย



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ DSSC

2.5.1 กระจกใสที่นำไฟฟ้าได้ มาจากกระจกโปร่งใสที่เคลือบฟิล์มของดีบุกออกไซด์ที่ผ่านการโด๊ป (doped  $\text{SnO}_2$ ) หรือสารในกลุ่มออกไซด์ที่นำไฟฟ้าได้ (transparent-conducting oxide, TCO) เพื่อส่งผ่านอิเล็กทรอนิกส์และยอมให้แสงผ่านเข้าถึงสารกึ่งตัวนำได้

2.5.2 ชั้นอนุภาคสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer) เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง (Wide band-gap) และสามารถสร้างพันธะ

เอกสารถึงเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
เป็นต้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุนในรูปผลึกระดับนาโนแบบอนาเทส (anatase) ซึ่งเป็นวัสดุที่เสถียร ราคาถูก ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้ดีมาก และไม่เป็นพิษ ไททาเนียมไดออกไซด์ ได้รับความยอมรับให้ผสมในยาสีฟัน น้ำตาลไอซิ่ง และลูกกวาด อาจผสมวัสดุอื่น ชั้นนี้ยังมีพื้นที่ผิวมากก็ยิ่งดี เพราะความพรุนทำให้ยึดเกาะสีย้อมไวแสงได้มากฟิล์ม ไททาเนียมไดออกไซด์ นี้ใช้เคลือบได้กระจก นำไฟฟ้าด้านที่สัมผัสแสง

ไททาเนียม (titanium) Ti มีเลขอะตอม 22 มีมวลอะตอม 47.867 amu มีจุดหลอมเหลว 1,600.0 °C มีจำนวนโปรตอนต่ออิเล็กตรอน 22 ตัว และมีจำนวนนิวตรอน 26 ตัว ซึ่งในตารางธาตุจัดอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน (transition metal) มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะกอนอล (hexagonal) นั้นมีความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 ประมาณ 4.54 g/cm<sup>3</sup> ลักษณะทางกายภาพมีสีขาวคล้ายเงิน (silver) มีความแข็งแต่ไม่เปราะเมื่อ เทียบกับโลหะทรานซิชันด้วยกันและจะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดที่อุณหภูมิเดียวกันนั้น ไททาเนียมจะไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิน้อยกว่า 500 แต่ถ้าอุณหภูมิมากกว่านี้จะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับออกซิเจนอันเป็นผลให้เกิดสารประกอบไททาเนียมขึ้น

สมบัติเฉพาะของสารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์ สารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะทรานซิชันกับออกซิเจน โดยสถานะออกซิเดชันของไททาเนียมได้แก่ +2, +3 และ +4 ซึ่งไททาเนียมที่มีสถานะออกซิเดชัน +4 เป็นสถานะเสถียรที่สุดภายใต้สภาวะต่าง ๆ โดยสารประกอบไททาเนียมที่มีสถานะออกซิเดชัน +4 ก็คือไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>)

ปัจจุบันนี้มีวิธีการสังเคราะห์นาโนไททาเนียมไดออกไซด์หลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีสปีดเตอร์ริง เป็นวิธีการที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าทำให้อิออนของแก๊ส Ar<sup>+</sup> วิ่งไปชนกับเป้า (แผ่นไททาเนียม) ทำให้อะตอมของไททาเนียมหลุดออกไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วไปฝังติดบริเวณแผ่นฐานรอง วิธีนี้มักใช้ในการผลิตฟิล์มบางชนิดต่าง ๆ วิธีโกลด์ ดิสชาร์จ เป็นวิธีการ ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าทำให้เกิดพลาสมาของสารไททาเนียมไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบนบริเวณ ที่ต้องการ วิธีการตกเคลือบด้วยไอเคมี เป็นวิธีการทำให้ไอของไททาเนียมทำปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนจนได้สารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์แล้วจับตัวเป็นของแข็งในบริเวณที่กำหนดไว้ วิธีนี้นิยมใช้สำหรับทำแผ่นฟิล์มบาง และวิธีการสังเคราะห์จากสารละลายหรือวิธีโซล-เจล เป็นการใส่สารละลายไททาเนียม ทำปฏิกิริยากับน้ำที่ไม่มีประจุ จะได้สารประกอบไททาเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นแล้วอยู่ในลักษณะของโซล (Sol, คอลลอยด์ของของแข็งในของเหลว) เมื่อโซลเกาะตัวกันเป็นร่างแหอย่างไม่เป็นระเบียบจะทำให้เกิดเป็นเจล (Gel, คอลลอยด์ของของเหลวในของแข็ง) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยปฏิกิริยาปฏิกิริยากับน้ำและปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ (polymerization)

2.5.3 สีย้อมไวแสง (sensitizing dye) ที่จะดูดกลืนแสงที่จะมากระทบประกอบ ด้วยโมเลกุลที่จะปล่อยอิเล็กตรอนพลังงานสูงออกมาเมื่อกระทบพลังงานแสง

สีย้อมไวแสง (Sensitizer) ที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง แบ่งออกได้ 2 ประเภทดังนี้

2.5.3.1 Organic dye : เป็นสีย้อมที่สังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชชนิดต่าง ๆ เช่น คลอโรฟิลล์จากใบไม้ น้ำคั้นจากกระเจี๊ยบ ดอกอัญชัน ทับทิม บลูเบอร์รี่ และส้ม เป็นต้น ข้อดีของ organic dye คือสังเคราะห์ง่ายและราคาถูก เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์มีราคาถูก ซึ่งบางชนิดมีอยู่ในท้องถิ่นและสามารถผลิตเองได้ แต่เป็นสีย้อมที่มีระยะเวลาในการเก็บรักษาได้สั้น และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับ Inorganic dye ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องได้รับการวิจัยเพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับมัธยมศึกษาขึ้นไป ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

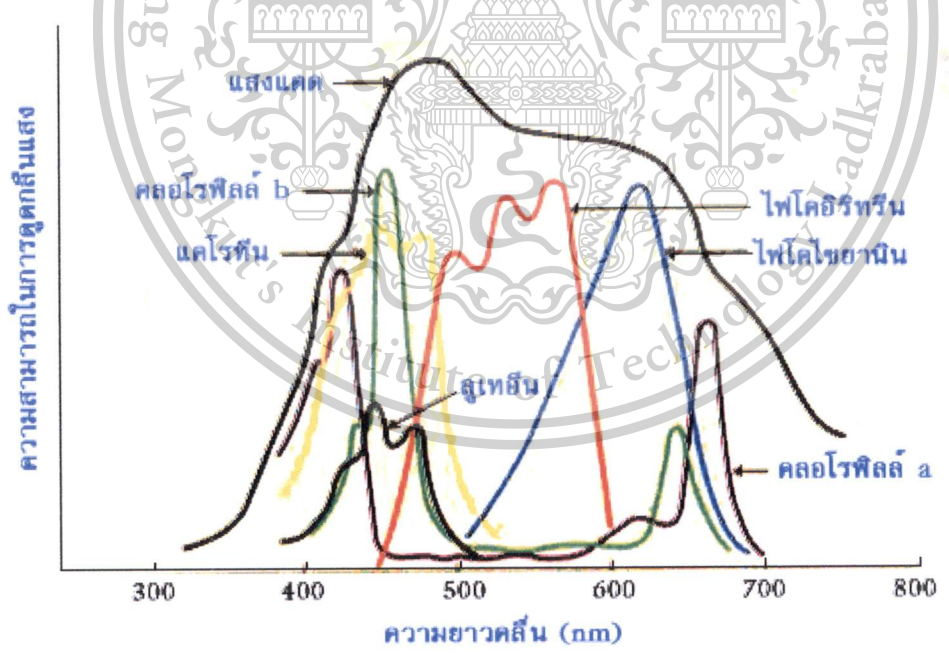
2.5.3.2 Inorganic dye : เป็นสีย้อมมาตรฐานที่สังเคราะห์จากสารเคมีบางชนิด ประสิทธิภาพของสีย้อมขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราส่วนของสารเคมีที่นำมาสังเคราะห์เป็นสีย้อม เช่น N3 dye (ruthenium(II) , cis-di(isothiocyanato) , bis (4,4'-dicarboxy-2,2'-bi-pyridyl) , Ru(4, 4' dicarboxy-2 , 2' -bipyridine) cis (NCS)) , N719 dye (bis(tetrabutylammonium)-cis-di(thiocyanato)-N,N'-bis(4-carboxylato-4'-carboxylicacid-2,2'-ipyridine) ruthenium(II) ,(Ru(dcbpyH)(NCS))(BuN))

สารที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตนี้คือ ความสามารถในการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไปโดยสารสีทุกชนิดจะทำหน้าที่รับพลังงานแสงแล้วส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ เอ ที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงต่อไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic pigment)สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ

Chlorophyll คลอโรฟิลล์เป็นสารสีเขียว อยู่ภายในเม็ด คลอโรพลาสต์ เป็นสารจำพวก โปรตีนชนิดหนึ่งคลอโรฟิลล์มีหลายชนิดคือ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดีทำหน้าที่ดูดพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

Carotenoids แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบประเภทไขมัน ซึ่งประกอบไปด้วยสาร 2 ชนิด คือ แคโรทีน เป็นสารสีแดง หรือสีส้ม และแซนโทฟิลล์ เป็นสารสีเหลืองหรือสีน้ำตาลเป็นสารสีเหลืองหรือสีน้ำตาล

Phycobilins ไฟโคบิลิน ซึ่งประกอบไปด้วยสาร 2 ชนิด คือไฟโคอีริทริน เป็นสารสีแดง และไฟโคไซยานิน เป็นสารสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.4 ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่สังเคราะห์จากพืช

ไฟโคไซยานินซึ่งเป็นสารสีน้ำเงินนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ดี โดยมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 500 – 700 nm

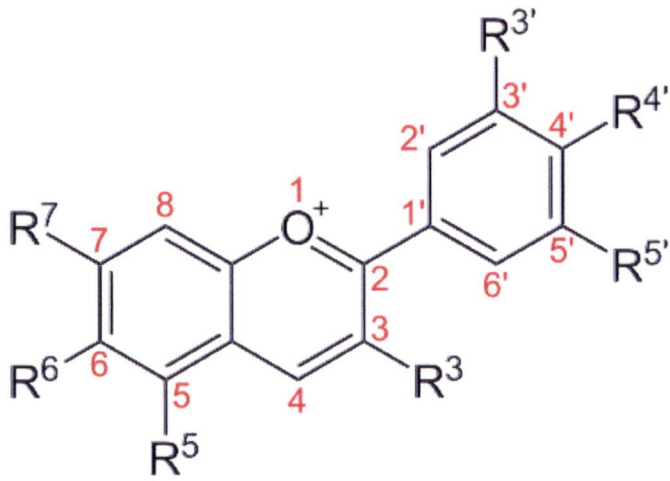
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควรรักษาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สีย้อมไวแสงเป็นองค์ประกอบที่จะดูดกลืนแสงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า มีตัวอย่างในธรรมชาติคือ คลอโรฟิลล์ [3] ซึ่งนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีไปใช้

คุณสมบัติเบื้องต้นคือ เป็นโมเลกุลที่ดูดกลืนแสง ได้มากเป็นช่วงกว้าง ในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมา มาก (เช่น ถ้ามีพันธะคู่สลับเดี่ยวหรือเป็นอะโรมาติก ก็จะได้เพราะสามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วส่ง อิเล็กตรอนผ่านพันธะไพ และยังมี ความเสถียรเมื่อถูกออกซิไดซ์ให้เกิดประจุบวกในกระบวนการ) มี คุณสมบัติในการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ควรจะยึดเกาะบนผลึก  $TiO_2$  ได้ดี (เช่นการมีหมู่กรดอินทรีย์ เป็นต้น) มีความคงทน คือ ไม่สลายตัว เมื่อใช้งานไปนานๆ สีย้อมไวแสงที่มีคุณสมบัติพอมักเป็นสารเชิงซ้อนของรูทีเนียม ซึ่งให้ประสิทธิภาพ สูงแต่ราคาแพง เช่น  $Ru(2,2' -bipyridine-4,4' -dicarboxylic\ acid)_2(NCS)_2$  หรือที่นิยมเรียกว่า N3 [4] สารประกอบของรูทีเนียมถูกใช้เป็นสีย้อมไวแสงอย่างกว้างขวาง ค่าใช้จ่ายในการผลิตสีย้อมไวแสงที่มาจากสารสังเคราะห์ทางเคมี ทำให้นักวิทยาศาสตร์บาง กลุ่มค้นหาสีย้อมไวแสงที่ไม่ ต้องใช้ธาตุที่นิยม และค้นหาแหล่งสีย้อมไวแสงจากธรรมชาติ ซึ่ง นอกจากจะดูดกลืนแสงได้กว้างและมาก แล้ว ข้อจำกัดเรื่องทรัพยากรและความยุ่งยากยังน้อยกว่าสารสังเคราะห์ทางเคมีอีกด้วย นอกจากนี้ ในด้าน สิ่งแวดล้อม สารเคมีสังเคราะห์จำนวนมากรวมทั้งสีย้อม ล้วนเป็นสารที่ก่ออันตรายต่อชีวิตได้ มลพิษจาก กระบวนการผลิตสีย้อมและน้ำทิ้งอาจทำให้ดินและน้ำเสีย การกำจัดใช้ ค่าใช้จ่ายสูงในขณะที่การใช้สีย้อม จากพืชมีผลดีคือ เมื่อการผลิตพึ่งพาเทคโนโลยีขนาดใหญ่ น้อยลง สังคมก็จะพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น หากโรงงานถูกทำลายแล้วเครื่องมือการผลิตสิ่งสำเร็จรูปมี น้อยลง เราก็ยังมีภูมิปัญญาที่นำวัตถุดิบใน ธรรมชาติมาแปรรูปใช้ได้มากขึ้น พืชเป็นแหล่งสารอินทรีย์ที่หลากหลาย คนไทยก็มีภูมิปัญญาการทำสีผสม อาหารและสีย้อมผ้า จากพืชมากมาย ตัวอย่างสีผสมอาหารจากพืช เช่น กลีบเลี้ยงกระเจี๊ยบให้สีแดง ดอก แก้วคำฝอยให้สี เหลือง เมล็ดคำแสดให้สีส้ม ใบเตยสดให้สีเขียว แก่นไม้ฝางให้สีชมพูเข้ม ดอกอัญชันสดให้สี ม่วง ตัวอย่างสีย้อมผ้าจากพืช เช่น แก่นขนุนให้สีเหลือง เปลือกต้นสมอให้สีดำ เปลือกต้นนุ่นให้สีชมพู เป็น ต้น สีจากธรรมชาติหลักๆในประเทศไทยนิยมนำมาใช้เป็นสีย้อมจากธรรมชาติ ได้แก่ ดอกไม้และ ผลไม้ ของพืชบางชนิด ที่มีสี ส้ม, ชมพู, สีม่วงแดงและสีฟ้า เช่น อัญชัน ดอกกุหลาบ กระเจี๊ยบ เป็นต้น ซึ่งในพืช เหล่านี้จะมีเม็ดสีที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน (anthocyanins) โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วย วงแหวนเบนซีนต่อกัน 3 วงและมีหมู่แทนที่ H ในบางตำแหน่งดังรูปที่ 2.5 แอนโทไซ ยานิน (อังกฤษ: Anthocyanin) พบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช ให้สีแดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน โครงสร้างของแอนโทไซยานิน ประกอบด้วยสารประกอบ 2 หรือ 3 ชนิด ได้แก่แอนโทไซยานิดิน หรืออะ โกลโคโคน(Aglycone) มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย คาร์บอนเชื่อมต่อกันในรูป C-6-C-3-C-6 เชื่อมต่อกัน ซึ่งแอนโทไซยานิดินที่พบมากในปัจจุบันจะมีอยู่ 6 ชนิด คือ เพลาโกนินดิไฮยานิดิน, เดลฟินิดิน, ฟิโอนิดิน, เพทุนินดิน และมอลวิดินน้ำตาล ซึ่งจะเกิดพันธะกับคาร์บอน ตำแหน่งที่ 3 หรือตำแหน่งที่ 3 และ 5 โดย น้ำตาลที่เกิดพันธะได้ เช่น กลูโคส กาแลกโตส รูทีโนส แรมโนส เป็นต้นโครงสร้างที่เป็นกรด ซึ่งส่วนนี้อาจมี หรือไม่มีก็ได้ แอนโทไซยานินที่มีกรดเป็นองค์ประกอบเรียกว่า นอนอะซิลเตต แอนโทไซยานิน ถ้าไม่มี กรดเป็นองค์ประกอบเรียกว่า อะซิลเตต แอนโทไซยานิน โดยกรดจะเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน กับน้ำตาล กรด ที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาล เช่น กรดคูมาริก กรดเฟอร์รูริก กรดคาร์เฟอิก เป็นต้น[5] [6] [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

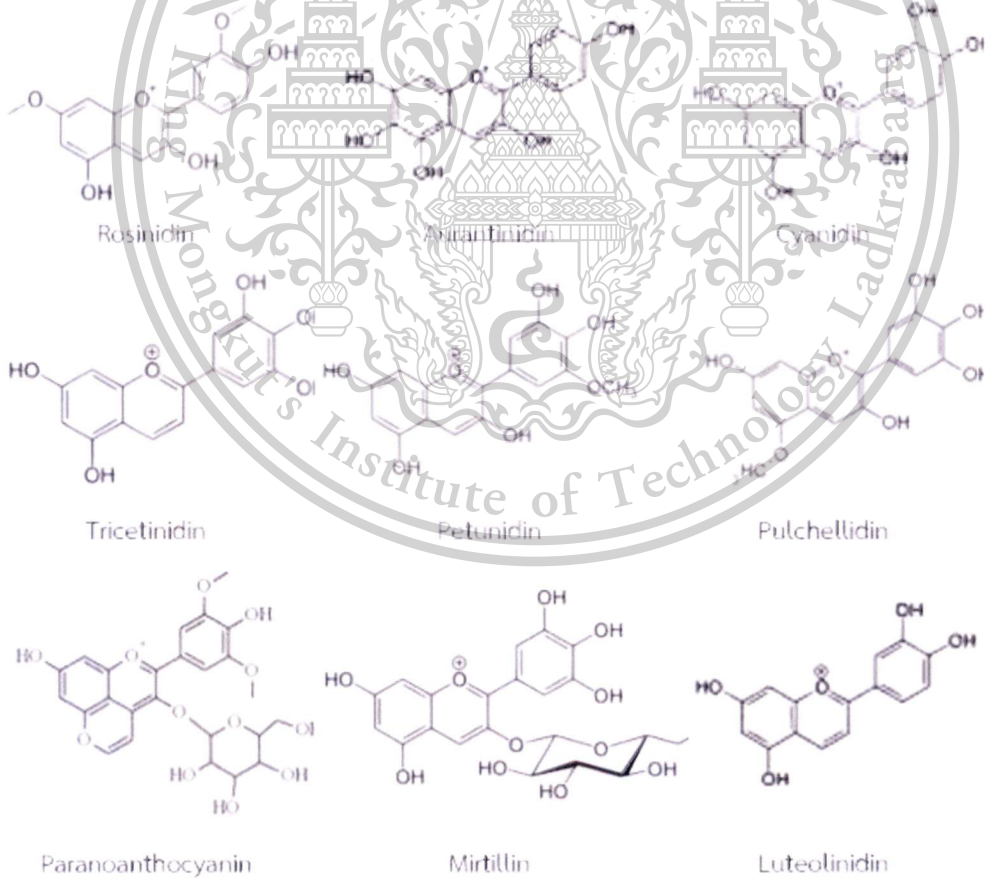
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานแอนโทไซยานิน

โดยเมื่อมีการแทนที่ด้วยหมู่แทนที่ต่าง ๆ เช่น -OH , -H , -OCH<sub>3</sub> จะทำให้มีสีต่างกัน และสามารถจำแนกชนิดของแอนโทไซยานิน ได้หลากหลายชนิด เช่น Rosinidin, Aurantinidin, Cyanidin , Tricetinidin, Petunidin, Pulchellidin, Paranoanthocyanin, Mirtillin และ Luteolinidin



ภาพที่ 2.6 อนุพันธ์ของสารแอนโทไซยานินชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีย้อมจากสารธรรมชาติที่มีสาร แอนโทไซยานิน มีคุณสมบัติเป็นสี สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานคือ แอนโทไซยานินมีโครงสร้าง มีพันธะคู่สลับเดี่ยวหรือเป็นอะโรมาติกะสามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วส่งอิเล็กตรอนผ่านพันธะไพ และยังมีคุณสมบัติเมื่อถูก ออกซิไดซ์ให้เกิดประจุบวก มีคุณสมบัติในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ดีอีกทั้งเป็นโมเลกุลที่ดูดกลืนแสง ได้มากเป็นช่วงกว้าง ในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมามาก ปัจจุบันวัสดุอิเล็กทรอิกส์ที่เป็นสารอินทรีย์กำลังเป็นที่สนใจด้วยซึ่งเป็นวัสดุทางเลือกใหม่ที่มีราคาถูกสำหรับการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต แต่ขณะนี้ประสิทธิภาพของสีย้อมไวแสงยังไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควรเนื่องจากการโมเลกุลสีย้อมยังไม่ยึดติดกับไททาเนียมไดออกไซด์ได้ดีพอและอายุการใช้งานก็ยังน้อย ทำให้ความสามารถในการดูดซับแสงและประจุไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ดีพอจึงผสมสีย้อมที่สังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืช กับสีย้อมจุลินทรีย์ ซึ่งมีข้อดีต่างๆเข้าด้วยกัน ทั้งทางด้านการดูดกลืนแสงและการยึดติดในระดับโมเลกุลที่ดีขึ้น งานวิจัยนี้จึงวิจัยเซลล์อาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้การผสมสีในพีชธรรมชาติกับสีย้อมจุลินทรีย์ เพื่อพัฒนาหาทางเลือกใหม่ที่ทำให้ ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีราคาถูกลง รวมทั้งขั้นตอนการสร้างที่ง่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิต

Crystal violet (สูตรโมเลกุล:  $C_{25}H_{30}ClN_3$ ) มีชื่อเรียกต่าง ๆ กันอีกหลายชื่อ ได้แก่ p-rosoaniline hydrochloride, gentian violet, aniline violet, bismuth violet, hexamethyl violet, methyl violet, methyl violet 10B, paper blue R, oxyozyl, methylrosaniline chloride, adergon, aizen crystal violet, atmonil, avermin, axuris, badil, brilliant violet 5B, calcozine violet C, gentacid, gentioletten ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปผงหรือผลึกสีขาวเข้ม เป็นสีที่ได้จากสาร gentian violet สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายทางด้วยกัน เช่น ใช้ในการย้อมสีแบบแกรม (gram's staining) การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และการกำจัดการติดเชื้อโดยแบคทีเรีย ฟังไจ หนอน (pinworms) และปรสิตต่าง ๆ [8]

2.5.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ทำงานในวงจร ภายนอกกลับคืนสู่สีย้อม ช่วยส่งผ่านอิเล็กตรอน อาจเป็นของเหลว เจล หรืออยู่ในรูปแบบอื่นตามแต่จะพัฒนาขึ้นมา สารละลายอิเล็กโทรไลต์เหลวที่นิยมใช้กันนั้นประกอบด้วยตัว ทำละลายอินทรีย์ กลีโกลีออลและไอโอดีน

2.5.5 ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา บนกระจกนำไฟฟ้าด้านล่าง ที่จะรับอิเล็กตรอนจากวงจรภายนอกมาส่งให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อส่งอิเล็กตรอนคืนให้สีย้อมไวแสง วัสดุที่ใช้อาจเป็นฟิล์มแกรไฟต์หรือแพลทินัม

## 2.6 กลไกการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

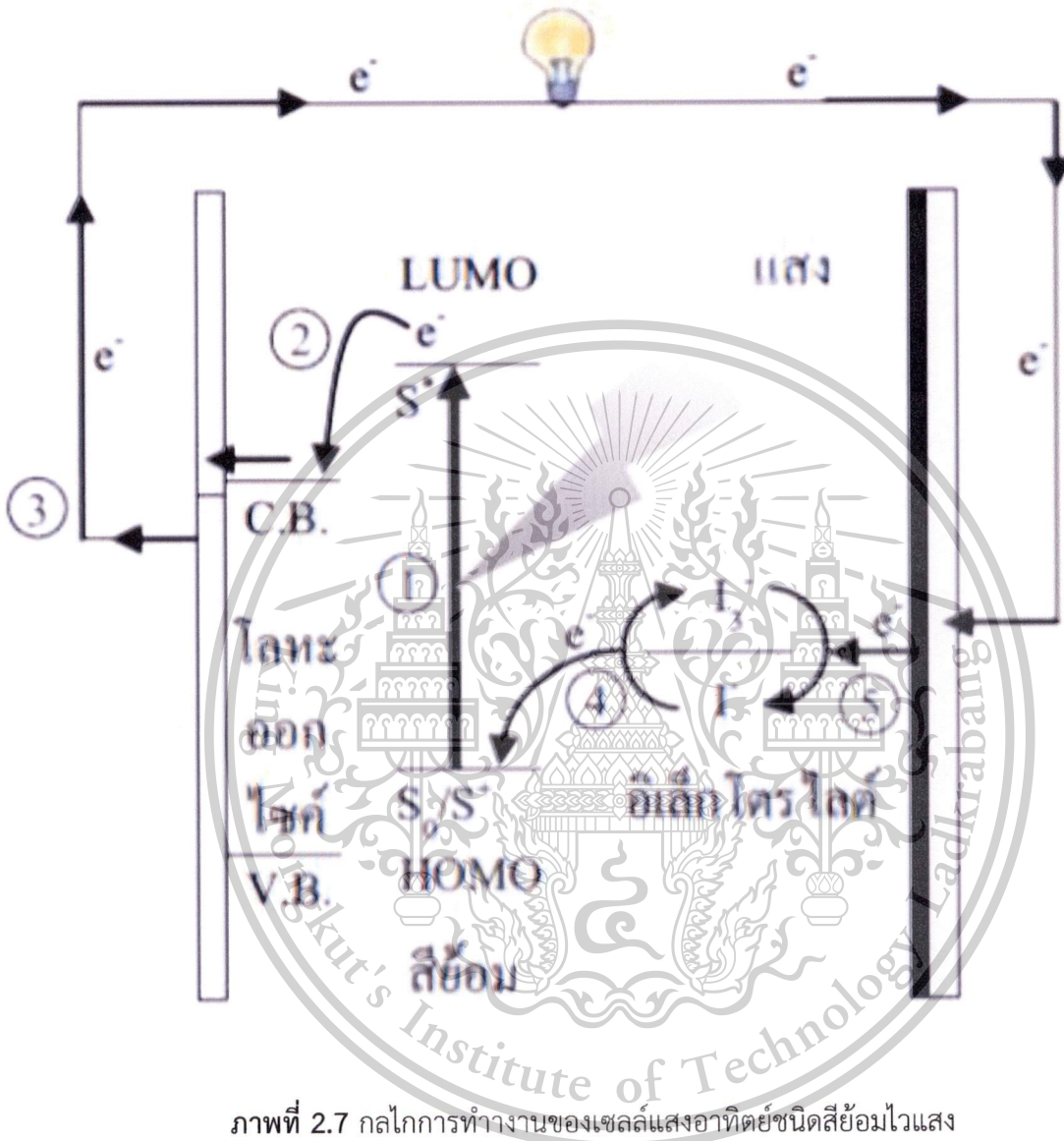
1. แสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เกาะบนผิวของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์จะดูดกลืนแสง แล้วอิเล็กตรอนในสถานะพื้น (SO) กระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในสถานะ รั้า (S\*)
2. อิเล็กตรอนในสถานะรั้า (S\*) ถูกส่งผ่านไปสู่แถบการนำไฟฟ้า (conduction band) ของสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์
3. อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไปยังขั้วแอโนด (TCO) แล้ว ออกสู่วงจรภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. และ 5 ที่ขั้วแคโทดสารอิเล็กโทรไลต์เกิดกระบวนการรีดอกซ์ โดยให้อิเล็กตรอนกับสี ย้อม  
 ไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอน ( $S^+$ ) ทำให้โมเลกุลสีย้อนกลับสู่สถานะพื้น ( $S^0$ ) ใน ขณะเดียวกันสารอิเล็กโทร  
 โลต์จะรับอิเล็กตรอนคืนจากขั้วแคโทดโลหะ(TCO)



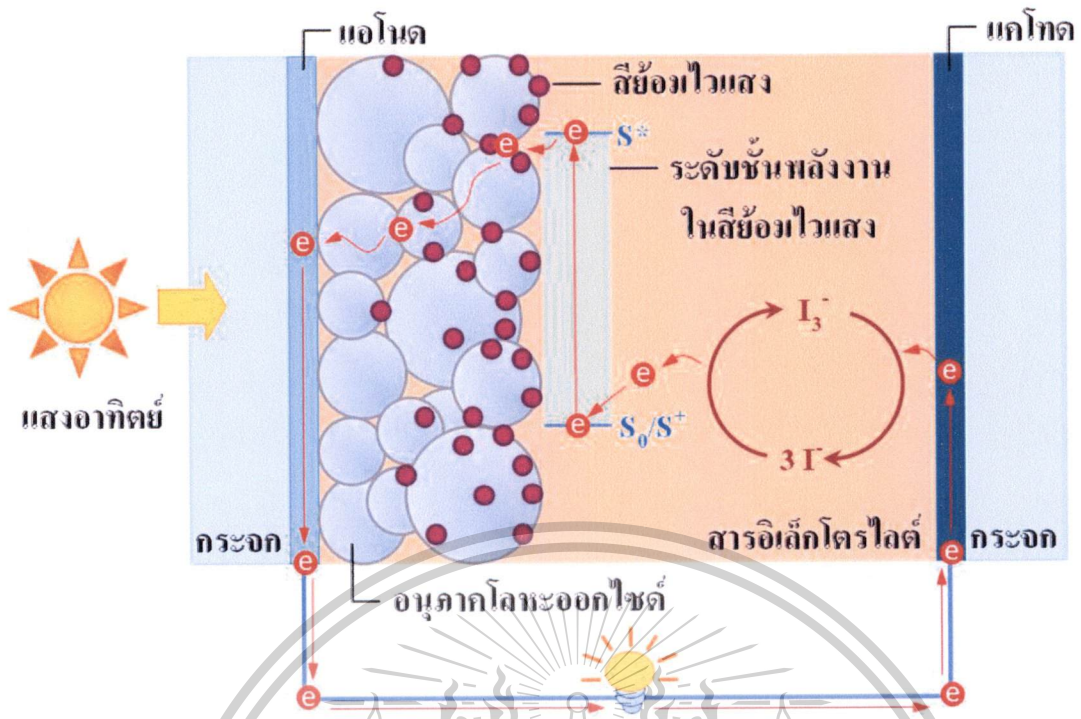
ภาพที่ 2.7 กลไกการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เขียนอธิบายส่วนประกอบ และการไหลของอิเล็กตรอนใน DSSC เป็นรูปได้เมื่อมีแสงมาตก  
 กระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ เม็ดสีที่อยู่ภายในจะทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแล้วอิเล็กตรอนของเม็ดสีเองจะมี  
 ระดับพลังงานที่สูงขึ้น และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปสู่แถบการนำ ของผลึกสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงาน  
 กว้าง ที่มีขนาดผลึกอยู่ในระดับนาโนเมตร จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง  
 (กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง) และไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกและจะเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าอีกข้างหนึ่งซึ่ง  
 มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะแพลทินัม (Pt) หรือสารจำพวกคาร์บอน (C) เคลือบอยู่ แล้วอิเล็กตรอนจะ  
 เคลื่อนที่ผ่าน สารอิเล็กโทรไลต์โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (Redox) ท้ายที่สุดอิเล็กตรอนจะ  
 ไหลกลับมายังเม็ดสีที่อยู่ภายในเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดิมโดยกระบวนการอย่างนี้จะเกิดซ้ำไปเรื่อย ๆ トラ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามาให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ได้ที่ยังมีแสงตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์ ดังภาพที่ 2.7 [9]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

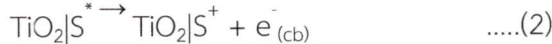
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบ และการไหลของอิเล็กตรอนใน DSSC

2.7 หลักการทำงานของ DSSC

เมื่อแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เกาะบนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ (ตัวอย่างเช่น  $TiO_2$ ) จะดูดกลืนแสง ( $h\nu$ ) แล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state,  $S_0$ ) จะถูกเร่งให้ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state,  $S^*$ ) ดังสมการดูดกลืนแสง (1) จากนั้นอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นจะถูกส่งผ่านไปแถบการนำไฟฟ้า (conduction band, cb) ของอนุภาคโลหะออกไซด์ดังสมการส่งผ่านอิเล็กตรอน (2) แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไปยังขั้วแอโนดแล้วออกสู่วงจรภายนอกเซลล์ กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในวงจรรภายนอกเซลล์ จากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งกลับเข้าสู่เซลล์ที่ขั้วแคโทด ที่ขั้วนี้สารอิเล็กโทรไลต์ (ตัวอย่างเช่นไอโอดีน/ไตรไอโอดีน) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอน ( $S^+$ ) ทำให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น ( $S_0$ ) ดังสมการ (3) ในขณะเดียวกันสารอิเล็กโทรไลต์จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทด (ตัวอย่างเช่นโลหะแพลททินัม Pt) ดังสมการ (4) แต่ในกระบวนการก็อาจมีปฏิกิริยาที่ให้ผลเชิงลบประกอบด้วยการรวมกันใหม่ของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปทำให้สีย้อมไวแสงกลับสู่สถานะพื้นโดยไม่มีอิเล็กตรอนออกไปนอกเซลล์ จึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้า ดังสมการ (5) และการพบกันของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสารอิเล็กโทรไลต์ทำให้สูญเสียอิเล็กตรอนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ดังสมการ (6)

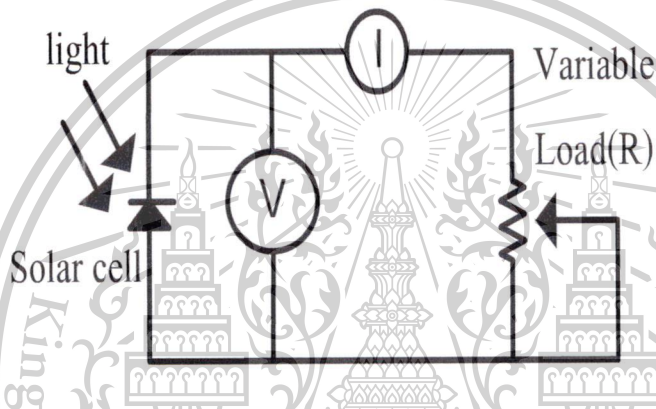


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

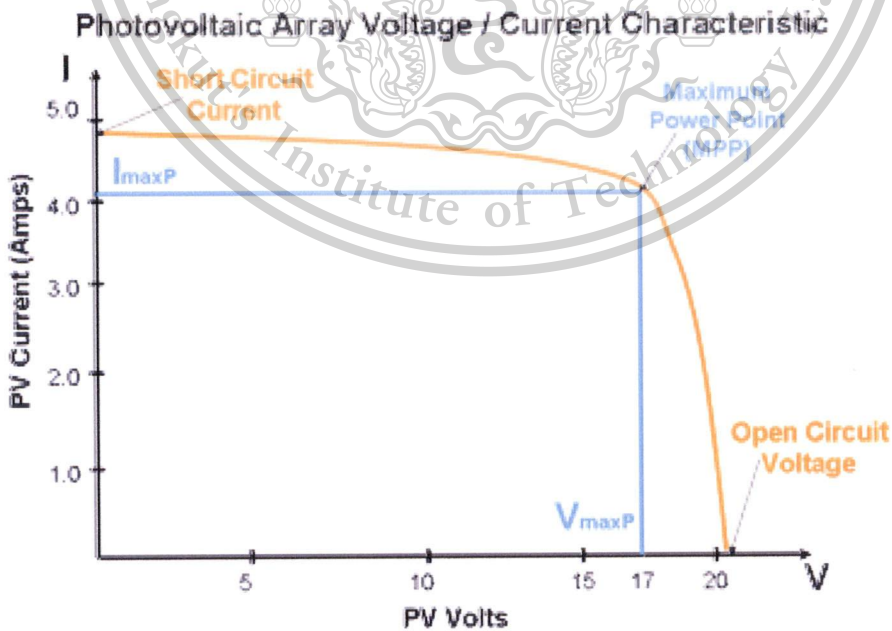


### 2.8 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปนิยม วัด I-V characteristics หรือ I-V curve เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหา พิลล์แฟกเตอร์ และ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลง (energy conversion efficiency,  $\eta$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve มี 2 แบบ ดังนี้ การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve แบบที่ 1 ดังภาพที่ 2.5 อุปกรณ์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการวัด แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และตัวต้านทานปรับค่าได้ เมื่อต่อวงจรให้สมบูรณ์สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้า (current, I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage, V) ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าไปเขียนกราฟจะได้กราฟ I-V curve ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ 1



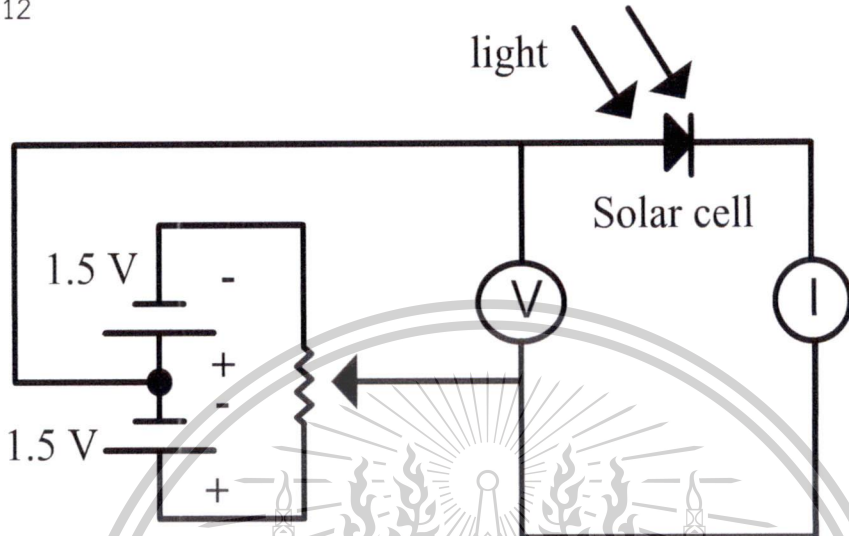
ภาพที่ 2.10 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์จากการต่อวงจรแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

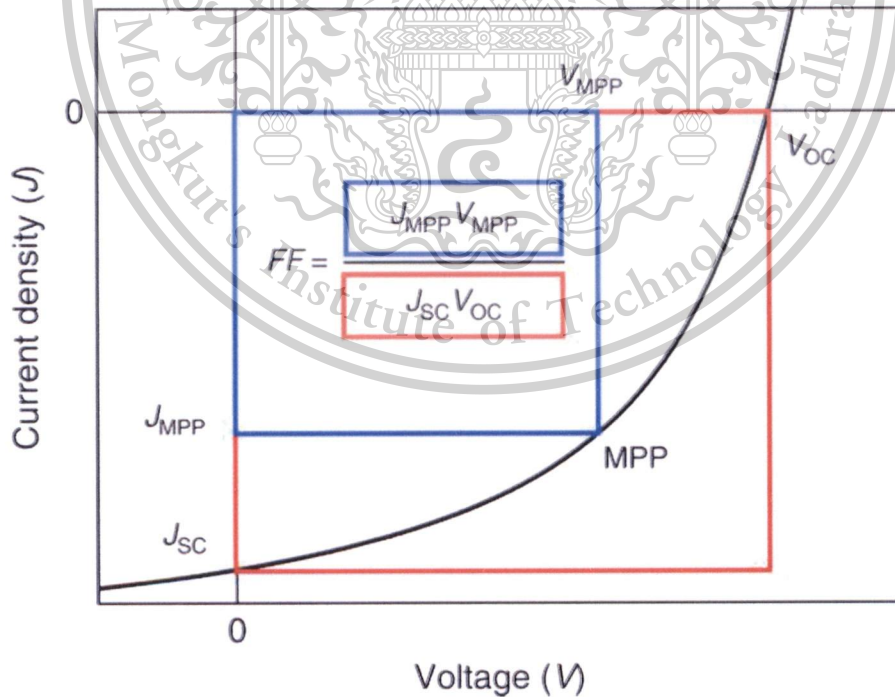
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve แบบที่ 2 ดังภาพที่ 2.11 เป็นวงจรที่ใช้ bias เซลล์เกินกว่ากำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ เป็นวงจรที่มีอยู่ในเครื่องมือที่ใช้ทดสอบและหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาตรฐาน เช่น เครื่อง IV – test sunsimulator ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นต้น เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ไปเขียนกราฟจะได้กราฟ I-V curve ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 การต่อวงจรเพื่อวัด I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบที่ 2



ภาพที่ 2.12 กราฟ I-V curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการต่อวงจรแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงด้วยค่าต่าง ๆ ดังนี้ จากภาพที่ 2.11 และภาพที่ 2.12 จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (open circuit voltage,  $V_{oc}$ ) เป็นแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานของวงจรสูงสุดและกระแสไฟฟ้า มีค่าเท่ากับศูนย์ จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit current,  $I_{sc}$ ) เป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อความต้านทานของวงจรต่ำสุดหรือเท่ากับศูนย์และแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power,  $P_{max}$ ) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดในกราฟนี้ ซึ่งแสดงด้วยเส้นไขปลาดังภาพที่ 2.611 และภาพที่ 2.12 ถ้าให้  $P_{max}$  (maximum voltage) และ  $I_{max}$  (maximum current) คือแรงไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับ ที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{max} = (V \times I)_{max} \quad (2.1)$$

ฟิลล์แฟกเตอร์ ( fill factor ; ) FF

เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ของ  $V_{max} \times I_{max}$  ต่อพื้นที่ของ  $V_{oc} \times I_{sc}$  เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (energy conversion efficiency,  $\eta$ )

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{max}}{P_{light}} \times 100\% \\ &= \frac{(V \times I)_{max}}{P_{light}} \times 100\% \\ &= \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{light}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.3)$$

โดย  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

$P_{in}$  คือ ผลรวมของกำลังที่แผ่รังสีตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$I_{max}$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำไม้กำลังสูงสุด

$V_{max}$  คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำไม้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อทดสอบเซลล์ภายใต้เงื่อนไข Air Mass 1.5 (AM 1.5) - แสงตั้งฉากกับระนาบ - ความเข้มแสง =  $100 \text{ mW/cm}^2$  หรือ  $1000 \text{ W/m}^2$  - อุณหภูมิ =  $25^\circ\text{C}$

## 2.9 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่ แรงดันไฟฟ้าหรือโวลท์ แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ  $100 \text{ mW}$  ต่อ ตร.ซม. หรือ  $1,000 \text{ W}$  ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม  $60$  องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ  $75 \text{ mW}$  ต่อ ตร.ซม. หรือ  $70 \text{ W}$  ต่อ ตร.ซม. เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

## 2.10 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นข้อมูลมาตรฐานสากลที่ใช้กันอยู่ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีข้อมูลต่างๆ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ดังต่อไปนี้

Peak Power (  $P_{max}$  ) คือกำลังสูงสุดของแผงชนิดนั้นๆ ซึ่งจะบอกตัวเลขเป็นวัตต์ (W)

Operating Voltage (  $V_{mp}$  ) คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า บอกตัวเลขเป็นโวลท์

Operating Current (  $I_{mp}$  ) คือกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ที่กำลังสูงสุดเมื่อใช้งานปกติ บอกตัวเลขเป็น แอมป์

Open Circuit Voltage (  $V_{oc}$  ) คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร ซึ่งเป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

Short Circuit Current (  $I_{sc}$  ) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจร (แอมป์)

Dimensions คือขนาดของแผง ซึ่งมี Length ความยาวแผง, Width ความกว้างแผง, Depth ความหนาแผง

Weight คือน้ำหนักแผงเพื่อประโยชน์ในการคำนวณโครงสร้างรองรับแผง

Standard Test Condition คือเงื่อนไขของการทดสอบแผง เช่น Air Mass 1.5 ระดับความเข้มของแสงที่ใช้ในการทดสอบที่  $1,000 \text{ W}$  ต่อ ตารางเมตร

Operating Temperature ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ และใช้งาน

Cell Specifications ข้อมูลจำนวนชิ้นและชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้

## 2.11 ความมวลอากาศ (Air Mass)

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในอากาศมีค่าคงที่เรียกว่า Solar constant มีค่าเท่ากับ  $1,365$

$\text{W/m}^2$  เมื่อแสงแดดผ่านชั้นบรรยากาศโลก  $30\%$  จะสะท้อนกลับ และอีก  $20\%$  จะถูกดูดกลืนด้วย เมฆ ฝุ่น

น้ำ ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนไดออกไซด์ และชั้นโอโซน เมื่อแสงแดดเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศบน

ระยะทางมากขึ้น ความเข้มแสงก็จะลดลงเป็นลำดับ โดยตามทฤษฎีแล้วจะลดลงแบบ เอกซโพเนนเชียล ส่งผลให้ในวันเดียวกัน เราจะสังเกตเห็นความเข้มของแสงเปลี่ยนไป ทั้งนี้ความเข้ม ของแสงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อ ดวงอาทิตย์อยู่ตรงกลางฟ้าพอดี เราสามารถบอกลักษณะความเข้มของ แสงแดดได้ ตามระยะทางที่แสง เดินทางผ่านบรรยากาศ โดยค่าความเข้มแสงที่สูงที่สุดที่สังเกตได้บนผิวโค้งเรียกว่าค่า มวลอากาศ 1 (Air Mass 1 – AM1) ดังนั้นแสงอาทิตย์ที่ไม่ผ่านบรรยากาศโลกจะเรียก ค่า มวลอากาศ 0 (AM0)



ภาพที่ 2.13 แสดงการคำนวณค่ามวลอากาศ

ค่ามวลอากาศมีความสัมพันธ์กับมุมที่แสงอาทิตย์กระทำกับเส้นตั้งฉากที่ผิว ฐานตั้ง กล่าวคือ

$\Phi$  ค่ามวลอากาศจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{1}{\cos \Phi}$$

เนื่องจากกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงสูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรไปตาม ความเข้มของแสงมากนัก แต่จะแปรตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าความเข้มแสง มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์คือ ความเข้มแสงที่วัดได้บนโลกใน สภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉาก กับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงมีค่าเท่ากับ 1,000 W/m<sup>2</sup> หรือ 100 mW/cm<sup>2</sup> ซึ่งเท่ากับ AM 1.5 American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้กำหนดมาตรฐานความ เข้มแสง สเปกตรัมของแสง โดยกำหนดให้ที่ขณะอากาศ ปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความ

เข้มของแสงมีค่าเท่ากับ 1,000 W/m<sup>2</sup> หรือ 100 mW/cm<sup>2</sup> ซึ่งเท่ากับ AM 1.5 และได้กำหนดสเปกตรัม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสงมาตรฐานดังรูปที่ 2.13

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 การทดลอง

#### 3.1 โครงสร้างของ DSSC

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปัญหาของ DSSC ที่ใช้ ย้อมที่สกัดจากพืชจะมีอายุการใช้งานสั้น และยึดติดกับไททาเนียมไดออกไซด์ไม่ดีพอ การทดลองนี้จึงได้นำ สีย้อมจุลินทรีย์ ( สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลต - คริสตัล ไวโอเลต) มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันคือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยสีดอกอัญชันสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงที่กว้างซึ่งเป็นข้อดี เมื่อมาผสมกับสีย้อมจุลินทรีย์คริสตัล ไวโอเลต ที่ย้อมสีในระดับจุลินทรีย์ที่เล็กมากสามารถยึดติดได้ดีขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยจึงมุ่ง สร้าง DSSC ที่มีมุ่งเน้นในส่วนของประสิทธิภาพของสีย้อม โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างได้ง่าย เพื่อที่จะสามารถที่นำมางานวิจัยที่ได้มาเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา และสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพ มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น และมีราคาต้นทุนต่ำ ในงานวิจัยต่อไป



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของ DSSC

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของอัตราส่วนของสีของดอกอัญชันกับคริสตัล ไวโอเลต เบนตัวโมเลกุลสีย้อม (Dry) เบนโมเลกุลที่ ดูดกลืนแสง ใน DSSC โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การเตรียมสารสีย้อมจากธรรมชาติ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเตรียมสีย้อมจุลินทรีย์

การเตรียมสารผสมดอกอัญชัน กับ สีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเลต

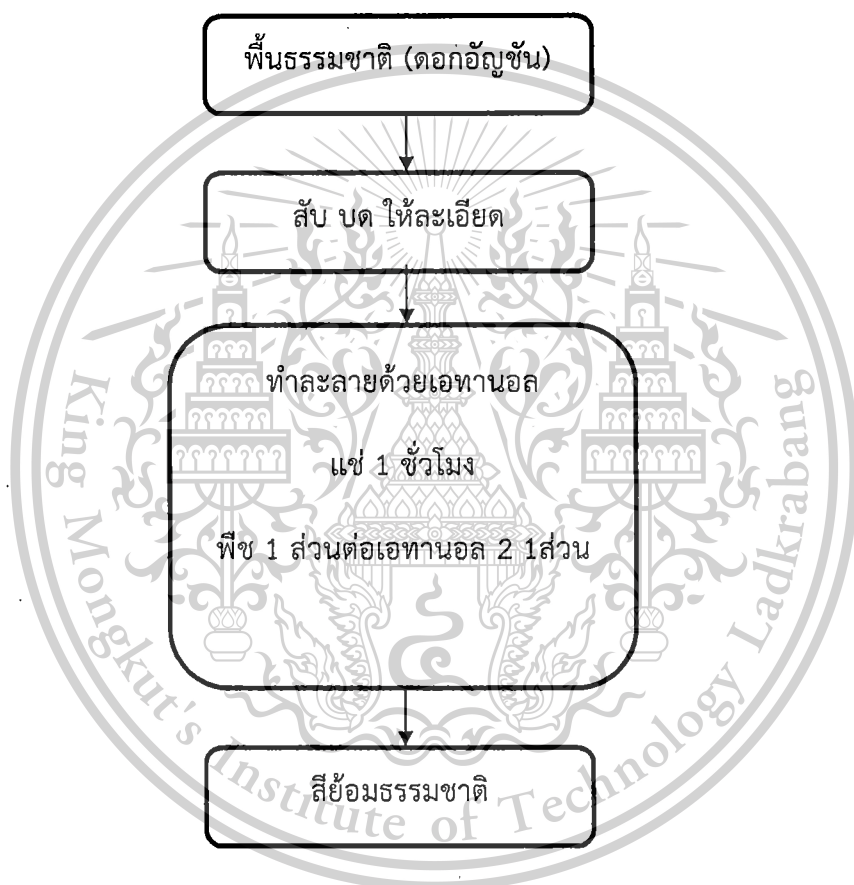
การเตรียมกระจก TCO ไขเป็นฐานรอง

การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์

การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สารผสมสีดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเลต เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นสีย้อมไวแสง

### 3.2 การเตรียมสารสีย้อมจากธรรมชาติ



### 3.3 การเตรียมสีย้อมจุลินทรีย์

Crystal Violet            2.0 กรัม

Ethyl alcohol 95%        20.0 มล.

ละลายจนสีหมด

### 3.4 การเตรียมสารผสมดอกอัญชัน กับ สีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเลต

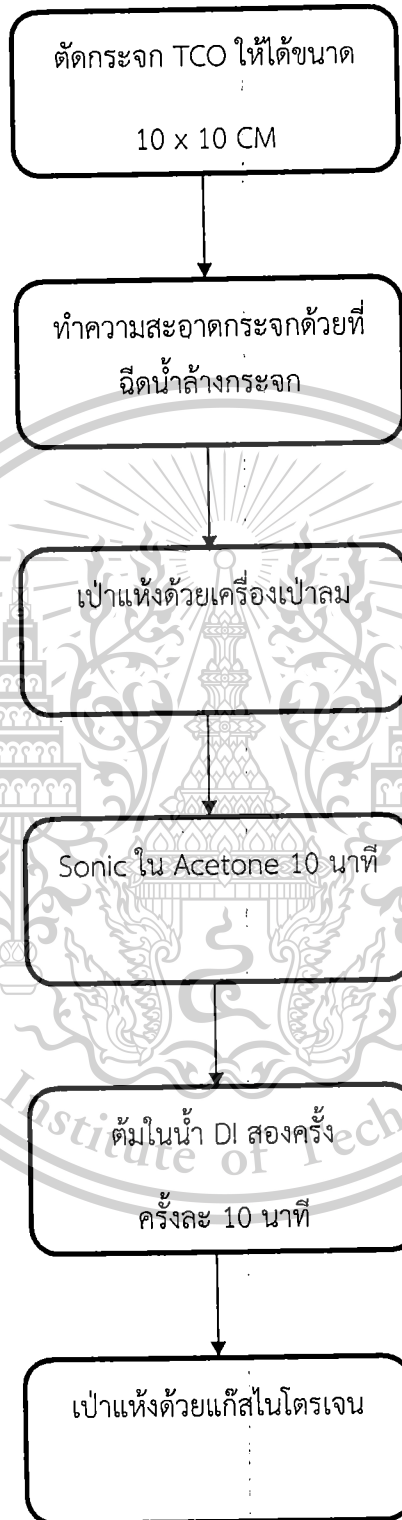
ผสมกันในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 3.5 การเตรียมกระจก TCO ใสเป็นฐานรอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 3.6 การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์  
 ซิงผง  $\text{TiO}_2$  5 g

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ละลายใน acetic น้ำส้มสายชู

คนให้สารละลายเข้ากันด้วยครกบดสาร 1 ชั่วโมง

ได้สารละลายไททาเนียมไดออกไซด์

### 3.7 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

Gram's iodine solution ( mordant )

Iodine (Crystal) 1.0 กรัม

Potassium iodine 2.0 กรัม

น้ำกลั่น 300 มล.

ละลาย iodine และ potassium iodine ในน้ำกลั่นปริมาณเล็กน้อยก่อน แล้วจึงเติมน้ำให้ครบ เก็บไว้ในขวดสีชา

### 3.8 กระบวนการการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การทดลอง Dry cell มีขั้นตอนการทดลองตามขั้นตอนต่างๆดังนี้

#### 3.8.1 วัสดุ อุปกรณ์



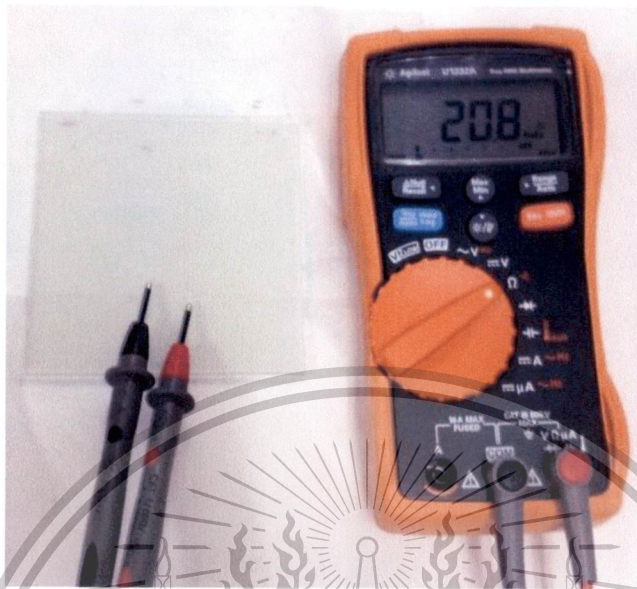
ภาพที่ 3.2 วัสดุ อุปกรณ์ การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.8.2 กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conductive oxide) ทำจากดีบุกออกไซด์ ( $\text{SnO}_2$ )



ภาพที่ 3.3 กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conductive oxide)

3.8.3 ชั้นอนุภาคสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer) เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง (Wide band gap) โดยชั้นสารกึ่งตัวนำที่ใช้นี้คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )



ภาพที่ 3.4 ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.8.4 โมเลกุลสีย้อม (Dry) สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ เปนโมเลกุลที่ ดูดกลืนแสงได้มากเป็นช่วงกว้าง ในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมามาก ซึ่งสีย้อมที่ใช้นี้คือสีย้อมที่สกัดได้ จากพืชคือดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต



ภาพที่ 3.5 สีย้อมไวแสง

3.8.5 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ทำงานในวงจร ภายนอกกลับคืนสู่มอเลกุลสีย้อม โดยในที่นี้ใช้สารไอโอดีน เป็นสาร อิเล็กโทรไลต์



ภาพที่ 3.6 สารไอโอดีน

3.8.6 เคานเตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode) ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยที่เคานเตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติ คือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา และจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วยวัสดุที่นิยมใช้ไม่มากนักคือนิกเกิลไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอนที่เคลือบด้วยแพลทินัม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.7 แกรไฟต์

### 3.9 การทดลอง Dry cell มีขั้นตอนการทดลอง

ตามขั้นตอนต่างๆดังนี้

3.9.1 ตัดแผ่นกระจก TCO ตามขนาด ขนาด 5.5x5.5 cm เมื่อเราอบTiO<sub>2</sub>

3.9.2 กระบวนการทำความสะอาด Cleaning กระจก TCO ได้ตามขนาดที่ต้องการแล้วนำมาทำความสะอาดโดยการใช้เครื่อง Ultra Sonic ในการทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า หรือน้ำกลั่น เพื่อไล่สิ่งสกปรกเป็นเวลา 5 นาที และนำมาล้างด้วยสาร Acetone ต่อเป็นเวลา 5 นาทีจากนั้นทำความสะอาดโดยการใช้เครื่อง Ultra Sonic ในการทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า เสร็จแล้วเป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อน หรือนำไป Heat บน Hotplate เพื่อไล่ความชื้นออก

3.9.3 กำหนดพื้นที่และสกรีน TiO<sub>2</sub> สกรีน ให้ได้ 5x5 cm เว้นพื้นที่สำหรับต่อสาย เพราะว่ากระจกต้องมีการต่อขั้วไฟฟ้า

3.9.4 นำแผ่นที่สกรีนไปอบบน Hot Plate เพื่อทำเป็นขั้วลบ เมื่อสกรีน TiO<sub>2</sub> ลงบนแผ่นที่เตรียมไว้แล้วนำไปอบบน Hotplate โดยควบคุมอุณหภูมิ และเวลา ขั้นตอนการอบคือ

3.9.4.1 อบด้วยอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.9.4.2 อบด้วยอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.9.4.3 อบด้วยอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.9.4.4 อบด้วยอุณหภูมิสูงถึง 400-450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.9.4.5 รอจนกระจกเย็นลงจึงนำกระจกด้านที่เป็นขั้วลบ (ด้านที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์) ไป แช่สียอมไวแสงดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต ที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
3.9.4.6 นำกราฟท์เกลี่ยลงบนแผ่นกระจกแผ่นที่สองเพื่อทำเป็นขั้วบวก  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.9.4.7 เมื่อแช่สีย้อมเสร็จแล้ว นำไปเป่าแห้งแล้วนำกระดาษที่เป่าแห้งแล้ว (กราไฟต์) และด้านที่ เปนขั้วลบ (ไททาเนียมไดออกไซด์) มาประกบกันโดยชั้นกลางด้วยพอลิเมอร์เบนของไวสำหรับเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.9.4.8 ทดสอบ KI แล้วนำไปประกบกันทั้ง 2 แผ่น โดยสาร KI ที่ใช้เป็นสารที่ได้จากห้องทดลอง คือ สาร Gram's iodine ซึ่งสาร KI ตัวนี้มีหน้าที่สำคัญคือการปล่อยประจุ อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสในเซลล์

3.9.4.9 ต่อด้ายจากขั้วทั้ง 2 แล้วนำไปวัดค่าทางไฟฟ้า

3.9.4.10 ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนแรกแต่เปลี่ยนอัตราส่วนของสีย้อมไวแสงดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเลต เป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ของงานวิจัยในกรณีต่างๆตามที่กำหนด ว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่

### 4.1 ผลการทดลองเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์กับกระจกนำไฟฟ้า



ภาพที่ 4.1 การเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า

ผลการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้านั้นพบว่า เมื่อสกรีน  $\text{TiO}_2$  ลงบนแผ่นกระจกนำไฟฟ้าที่เตรียมไว้แล้วต้องนำบน Hotplate โดยควบคุมอุณหภูมิ และเวลา ขั้นตอนการอบ คือ อบด้วยอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 400-450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยต้องเพิ่มอุณหภูมิจาก 120 ไปจน 450 องศาเซลเซียส เมื่ออบได้เวลาจึงปล่อยให้เย็นตัวลง จากนั้นเมื่อจะนำไปย้อมสี ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้แก่แผ่นด้วยเครื่องเป่าลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ก่อนลงจุ่มย้อมสีโดยสีย้อมต้องมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เช่นกัน สีจึงจะไม่หลุดออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.2 การ Preheat แผ่นก่อนจุ่มย้อมสี

4.2 ผลการศึกษาการเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดสีย้อมไวแสงด้วยสีย้อมจากดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัลไวโอเลต



ภาพที่ 4.3 การย้อมสีย้อมไวแสงด้วยสีย้อมจากดอกอัญชันกับสีย้อมจุลินทรีย์ที่อัตราส่วน 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



#### ภาพที่ 4.5 การเกลี่ยแกรไฟต์ลงบนแผ่นกระจกTCO

ผลการเกลี่ยกราไฟต์ลงบนกระจกแผ่นที่สองนั้น ค่าความต้านทานที่ได้จะมีค่าเฉลี่ย 1.5 k $\Omega$  โดยต้องเกลี่ยให้มีค่าเท่ากันทั้งแผ่นก่อนจะประกอบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

#### 4.4 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้แสงอาทิตย์ (ไม่ควบคุมความเข้มของแสง)

อัตราส่วน สีย้อมไวแสงดอกอัญชัน : สีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (mv)	กระแสไฟฟ้า (mA)	หมายเหตุ
1:1	70	0.5	สีย้อมหลุดเป็นจุดๆ
1:2	390	14.43	-
1:3	190	0.4	-
1:4	163	0.3	-

ผลการทดลองพบว่าที่ อัตราส่วนของสีย้อมไวแสงดอกอัญชัน : สีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต ที่ 1:1 สีย้อมมีการหลุดเป็นจุดๆ ทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าอยู่ที่ 70 mv กระแสไฟฟ้า มีค่า 5  $\mu$ A ที่อัตราส่วน 1:2 เป็นค่าที่ดีที่สุดมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 390 mv และมีค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 14.43 mA โดยที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าลดลงมาเป็น 190 mv และ 163 mv ที่กระแสไฟฟ้า 4 mA และ 3 mA

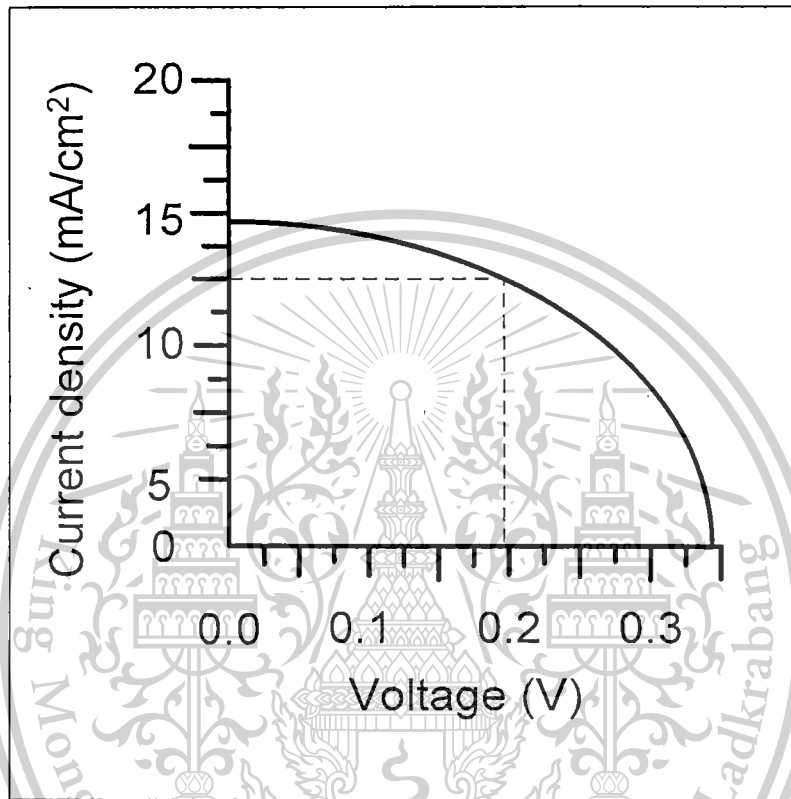
ตารางที่ 4.2 ตารางคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเวลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้สีย้อมไวแสงอัตราส่วนของสีย้อมไวแสงดอกอัญชัน : สีย้อมจุลินทรีย์ คริสตัล ไวโอเล็ต

อัตราส่วน	$J_{sc}$ (mA cm <sup>-2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\eta\%$
1:2	14.43	0.39	0.67	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่อัตราส่วน สีย้อมไวแสง ที่ 1:2

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าในอัตราส่วนที่ 1:2 นั้นจะได้กระแส 0.01443A ซึ่งแสดงผลที่เป็นจุดสำคัญอันดับแรกของค่าตัวแปรของงานวิจัยทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ค่าประสิทธิภาพตรงรอยต่อมีค่า 0.67 และมีประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 0.15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลทดลองและแนวทางการพัฒนา

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง สรุปได้ว่า สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยวิธีที่ง่ายโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด โดยโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนี้จะใช้แผ่นไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นขั้วลบ และแผ่นกราฟไฟต์เป็นขั้วบวก สาร KI ที่ใช้ในการทดลอง มีประสิทธิภาพ สามารถส่งผ่านอิเล็กตรอนและโฮลทำให้กระแสไหลในวงจรได้ ส่วนสีย้อมจุลินทรีย์ที่ใช้จากพืช ผสมกันในอัตราส่วน 1:2 กับสีย้อมจุลินทรีย์สามารถยึดจับกับไททาเนียมไดออกไซด์ได้ดี เป็นขั้นตอนแรกในการวิจัยอายุของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นานขึ้น ไม่มีเชื้อราต่างๆ ซึ่งมีผลต่อกระแสที่ออกมาจากตัวเซลล์แสงอาทิตย์

ในการอบแผ่นกระจก TCO หรือการเลือกขนาดของแผ่นกระจก ต้องเลือกขนาดกระจกให้พอเหมาะกับการให้อุณหภูมิของการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง หากอุณหภูมิไม่ถึงทั่วกันทั้งแผ่นก็ไม่สามารถสร้างให้มีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้เนื่องจาก  $TiO_2$  ไม่สามารถเกาะติดแผ่นกระจกได้เพราะ อุณหภูมิของ Hotplate มีค่าไม่ถึง 450-500 องศาเซลเซียสทั่วกันทั้งแผ่นกระจก  $TiO_2$  จึงไม่สามารถที่จะเกาะติดบนกระจกได้ จึงสร้างได้เพียงแผ่นที่เล็กในการทดลอง

#### 5.2 แนวทางการพัฒนา

5.2.1 สามารถพัฒนาโดยการสร้างเป็นอนุภาคนาโน เพื่อความสามารถในการผลิตไฟฟ้า

5.2.2 สามารถพัฒนาโดยการทดลองกับสารเคมีตัวอื่นๆ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่ต่างกัน

5.2.3 สามารถพัฒนาโดยการสกัดสีจากพืชหลากหลายชนิดเพื่อทดลองประสิทธิภาพและการดูดกลืนแสงในย่านต่างๆ

5.2.4 สามารถพัฒนาอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 6

### สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

#### 6.1 ผลที่ได้จากขบวนการทดลอง

6.1.1 ได้ขบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dyesensitized solar cells)

6.1.2 ได้การเตรียมชั้นโลหะนำไฟฟ้า เตรียมชั้นสารกึ่งตัวนำ ขั้นตอนการทำความสะอาดโดยประยุกต์ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องทดลองต่างๆไป

6.1.3 ได้วิธีการเตรียมสารอิเล็กโทรไลต์ และ เคานเตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode) ที่เหมาะสมต่อการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่สามารถเตรียมได้ง่าย สามารถเตรียมได้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป

6.1.4 ได้ขั้นตอนการเตรียม เตรียมสีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงคุณสมบัติเบื้องต้น โมเลกุลการดูดกลืนแสง

6.1.5 ได้วิเคราะห์ถึงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc), ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Voc), ค่ากำลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Pmax), คาฟล แฟคเตอร์ (Fill Factor : F.F.) และ ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency)

#### 6.2 ผลที่ได้จากงานวิจัย

6.2.1 สามารถนำข้อมูลไปเสนอบทความทางวิชาการได้อย่างน้อย 1 บทความ

6.2.2 สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปต่อยอดได้ในการทดลองต่อไปโดยพัฒนา ให้มีพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตารางเมตร เพื่อการใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

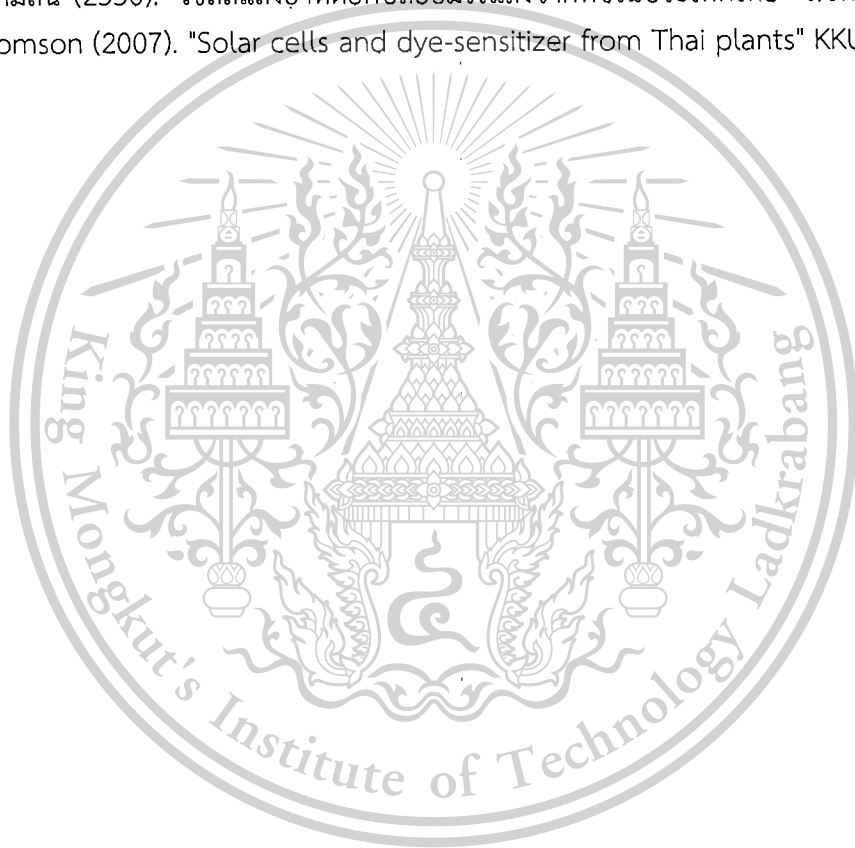
- [1] G.P. Smestad , “Education and solar conversion: Demonstrating electron transfer” the sunlight-energized electrons to produce fuels and electricity. Sunlight on the Earth. 160. Solar Energy Materials and Solar Cells 55 (1998)
- [2] พงศธร อมรพิทักษ์สุข และนรรักษ์ หลีสกุล” การประยุกต์ปรากฏการณ์ electrogenerated chemiluminescence (ECL) ของ Ru(bpy) ในเชิงเคมีวิเคราะห์” Songklanakarin Journal of Science and Technology ปีที่ : 25 ฉบับที่ : 1 เลขหน้า : 159-167 ปี พ.ศ. : 2546
- [3] Tennekone and Divigalpitiya “Chlorophyll Sensitized Solar Photovoltaic Cell with Cuprous Iodide Electrode” The Japan Society of Applied Physics Japanese Journal of Applied Physics, Volume 20, Number 1 (1981)
- [4] M. K. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Humpbry-Baker, E. Müller, P. Liska, N. Vlachopoulos, and M. Grätzel “Conversion of Light to Electricity by cis-XzBis( 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium( II) Charge-Transfer Sensitizers (X = Cl-, Br-, I-, CN-, and SCN-) on Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Electrodes”, Contribution from the Institut de Chimie Physique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH- 101 5 Lausanne, Switzerland :1993
- [5] อรุษา เขาวนลิขิต “การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน”. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 ฉบับที่ 6 กรกฎาคม-ธันวาคม 2554
- [6] Arusa Chaovanalikit, Ph.D “Anthocyanin Stability During Extrusion Cooking” , University of Maine, 1999
- [7] Ronald E. Wrolstad, “The Possible Health Benefits of Anthocyanin Pigments and Polyphenolics”, OREGON STATE UNIVERSITY : (2013).
- [8] นายธนากร เพิ่มพูลสมบัติ “CRYSTAL VIOLET” ศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ สมุทรสาคร :22 มกราคม 2550
- [9] K. Kalyanasundaram & M. Grätzel Coord. “Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices” Laboratory for Photonics and Interfaces, Institute of Physical Chemistry, Swiss Federal Institute of Technology, EPFL-Ecublens, CH- 1015 Lausanne, Switzerland Received 16 March 1998; received in revised form 30 June 1998; accepted 16 July 1998
- [10] M. Grätzel, 2003, “Review Dye-sensitized solar cells”, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol. 4, pp.145-153
- [11] จิราภรณ์ โหมวงศ์, ศุภลักษณ์ ศรีจารนัย, สมเกียรติ ศรีจารนัย และ จินดา เข้มประสิทธิ์, “การสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของไททานเนียมไดออกไซด์”, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [12] H. Kusama, M. Kurashige, K. Sayama, M. Yanagida, H. Sugihara, “Improved performance of Black-dye-sensitized solar cells with nanocrystalline anatase TiO<sub>2</sub> photoelectrodes prepared from TiCl<sub>4</sub> and ammonium carbonate”, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 189, pp.100-104 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ  
ครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [13] Sambandam Anandan, "Viologen impregnated PVDF with TiO<sub>2</sub> nanofiller as a solid polymer electrolyte for dye-sensitized solar cells", *Current Applied Physics* 8 (2008) 99-103
- [14] M.K. Nazeeruddin, F. De Angelis, S. Fantacci, A. Selloni, G. Viscardi, P. Liska, S. Ito, B. Takeru. M. Grätzel, "Combined experimental and DFT-TDDFT computational study of photoelectrochemical cell ruthenium sensitizers", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 127, pp.16835-16847. 2005,
- [15] Y. CHIBA, A. ISLAM, Y. WATANABE, R. KOMIYA, N. KOIDE and L. HAN, "Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, pp. L638-L640, 2006
- [16] พีรภิตต์ คมสัน (2550). "เซลล์แสงอาทิตย์กับสีย้อมไวแสงจากพืชในประเทศไทย" *ว.วิทย์. มข.* 35(4) 205-214. P. Komson (2007). "Solar cells and dye-sensitizer from Thai plants" *KKU Sci. J.* 35(4) 205-214



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



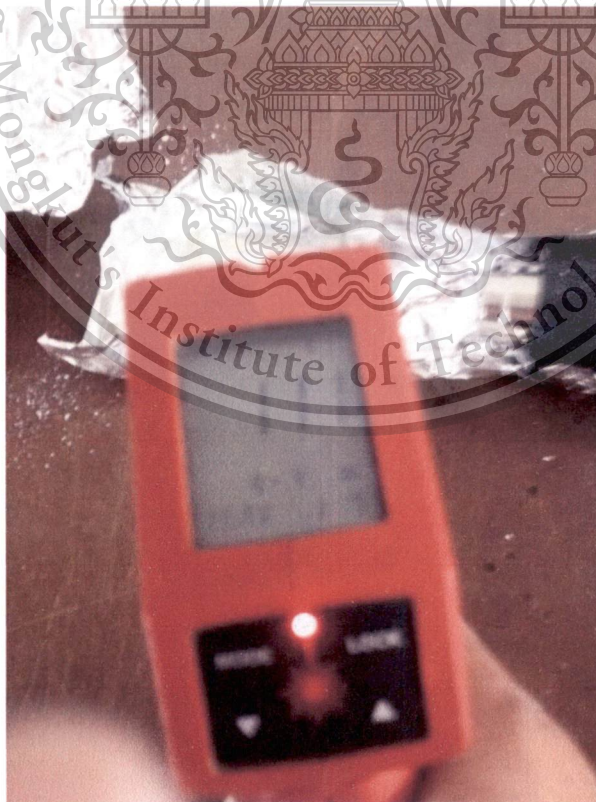
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ก.1 สารเคมีที่ใช้งาน



ภาพที่ ก.2 การใช้ Heat Spy วัดอุณหภูมิการเตรียมชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ก.3 การเตรียมสารไททงเนียมไดออกไซด์

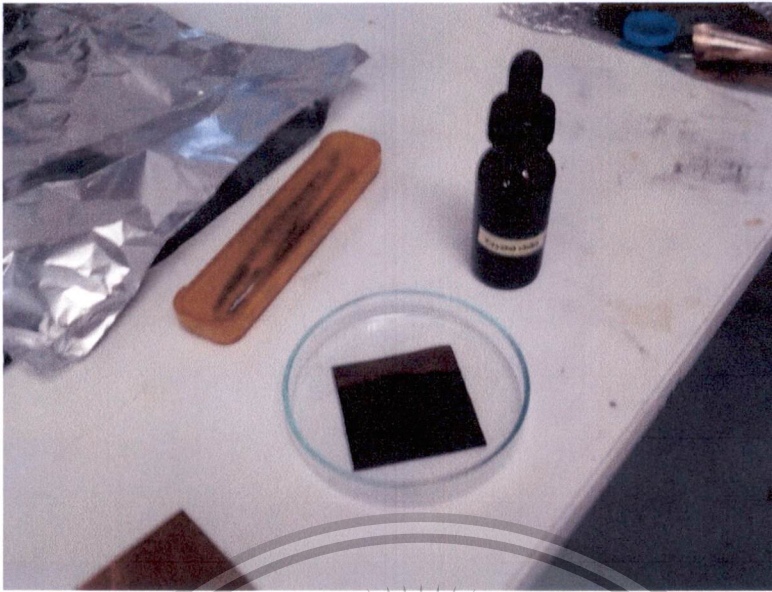


ภาพที่ ก.4 การเตรียมชิ้นงานก่อนประกบแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ก.5 การทดสอบการเชื่อมก่อนใช้งานจริง

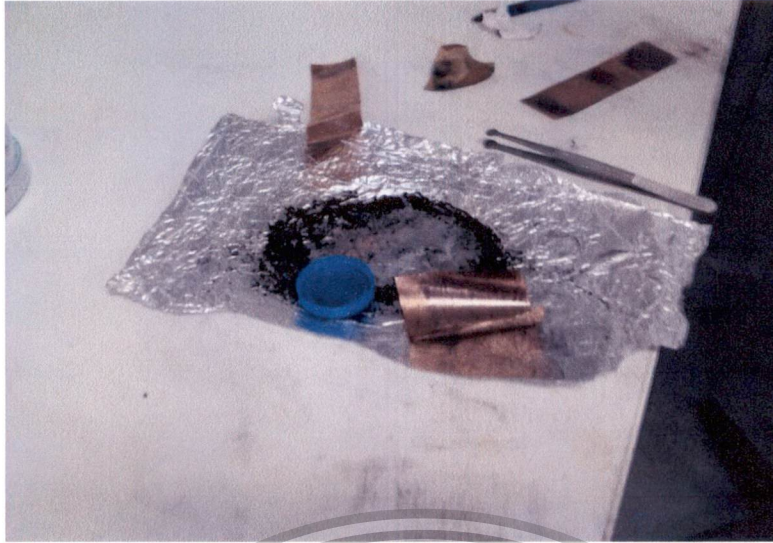


ภาพที่ ก.6 การทดสอบการเชื่อมสีกับชิ้นทดสอบในขนาดที่ต่างกัน

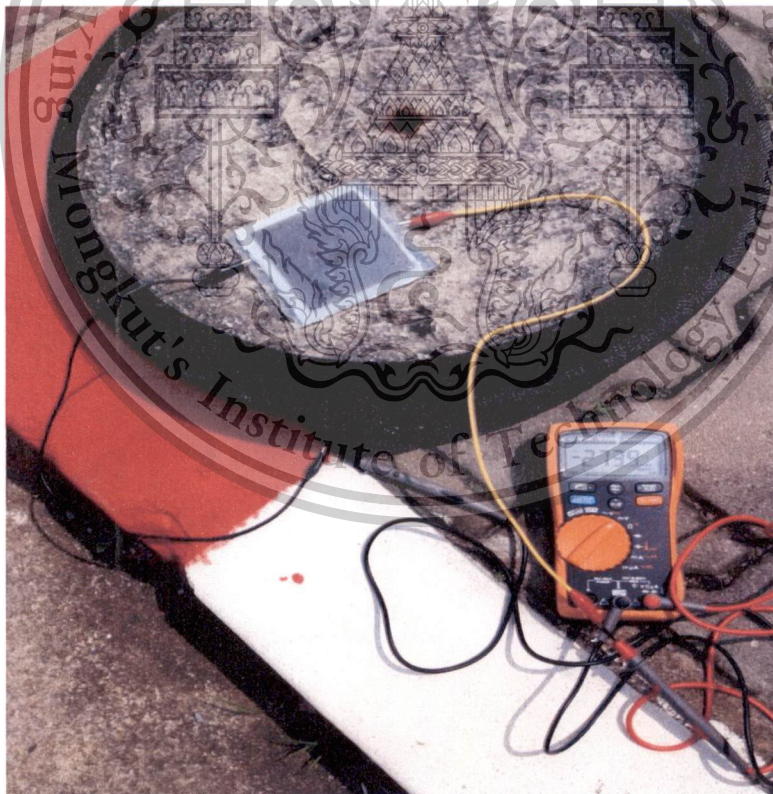
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



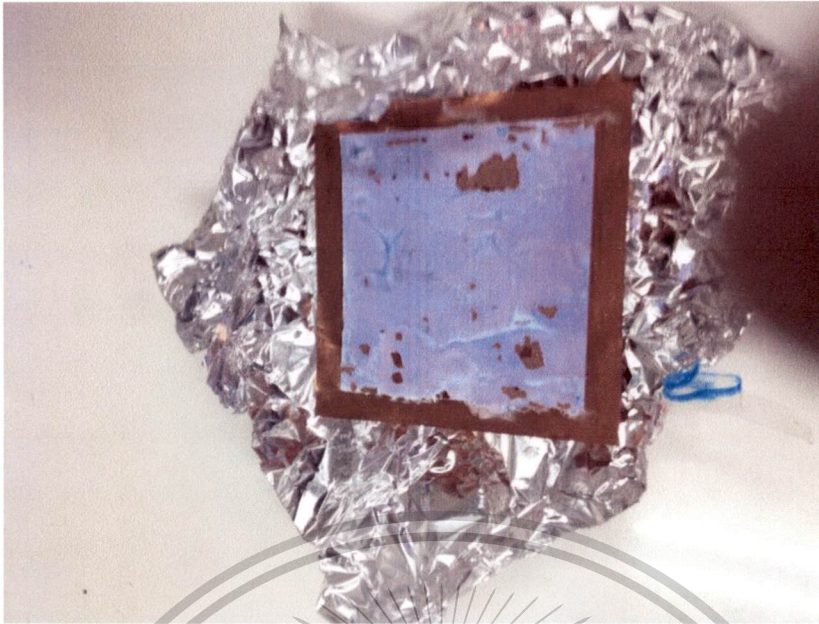
ภาพที่ ก.7 การเตรียมผงแกรไฟต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ภาพที่ ก.8 การทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จริงให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ ก.9 การทดสอบอุณหภูมิสีย้อมกับชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ ก.10 การทดสอบการจุ่มและการเคลือบโพลีเอทิลีนไดออกไซด์และแกรไฟต์กับชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ ..... 2 ..... รอบ ..... 9 ..... เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558 .....

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาสีย้อมไวแสงต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง  
(ภาษาอังกฤษ) Study Dye-sensitizer on Photovoltaic Performance of Dye-Sensitized Solar Cells

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ.) ภาสภณ มโนสุกฤตกุล

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ..... 1 / เมษายน / 2558 ..... ถึงวันที่ ..... 30 / มิถุนายน / 2558 .....

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่วันที่ ..... 1 / ตุลาคม / 2558 ..... ถึงวันที่ ..... 30 / กันยายน / 2558 .....

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

- การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)  
งวดที่ 1 ..... 70,000 ..... บาท 100% วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ต/ว) 3. กันยายน 2557
- สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน	-	-	-
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	22,000	22,000	-
ค่าวัสดุ	48,000	48,000	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	70,000	70,000	-

(..... Phas .....)

( นายภาสภณ มโนสุกฤตกุล )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

( / / )

(นางสาวจิรพรณี นนแก้วบังตู).....)

(เป็นวิชาการเงินและบัญชี)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน / เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

( / / )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นใบแจ้งบัญชีเงินด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### 1. ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) : .....นายภาสภณ มโนสุกฤตกุล

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) : .....MR. PHASAPON MANOSUKRITKUL

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : .....3869900060552.....

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชา .....วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์... คณะ.....วิศวกรรมศาสตร์.....

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

โทรศัพท์ .....094-4984277..... โทรสาร

E-mail .....kmpphasap@kmitl.ac.th

### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2548	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สจล.	ไทย
2540	ตรี	วท.บ.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	อิเล็กทรอนิกส์	ราชภัฏจันทรเกษม	ไทย

### ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องผลงานวิจัย

- ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์, ภาณุพันธ์ โอฟารกิจเพบูลย์, ภควัต สรวัยสุวรรณ, วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง และ Yoichi Yasumura “ไดโอดโครงสร้าง MIS ที่สร้างจากฟิล์มเพชร” เอกสาร รวมเล่มการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า EL 026 วันที่ 2-3 ธันวาคม 2542 . [3] L. S. Pan, D. R. Kania, “Diamond : Electronic

- ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์ , ปิยนุช สมมณี , โยธิน วงประเสริฐ, วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง “การศึกษาและพัฒนาฟิล์มเพชรด้วยวิธี Combustion Activation การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545 หน้า EL-189-EL-192

-ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์, วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง “การสังเคราะห์ Carbon Nanotubes ด้วยวิธี CVD แบบความร้อน”วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ : 12 ฉบับที่ : 3 เลขหน้า : 1-5 ปีพ.ศ. : 2547

-ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์ นิรุช ปิ่นเกตุ พิระวุฒิ ชินวรรังสี ปฏิภาณ กรุดตาด สิทธิชัย ใจมัน เรื่องศักดิ์ ภัทรกิจโสภณ พอพนธ์ สีชมนุกฤษฎ์ “การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โปร่งแสงนำไฟฟ้า Zinc Oxide ด้วยวิธี MOCVD” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 14-16 พฤษภาคม 2551

-สธน ผ่องอำไพ, จิรวัดน์ ปราบเขต, วิวัฒน์ อธิธิกุลสมาลัย, ภาสภณ มโนสุกฤตกุล , อัมพร โพธิ์ไย และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง “ผลกระทบของการฉายรังสีอิเล็กทรอนิกส์ต่อคุณลักษณะไฟตรงของซิลิคอนไดโอดกำลังชนิด PiN”การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35 12-14 พฤศจิกายน 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการใช้งานในเชิงการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เชิงพาณิชย์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-Phasapon Manosukritkul ,Amonrat Kerdpardist , Montree Saenlamool ,Ekalak Chaowicharat ,Amporn Poyai ,Wisut Titiroongruang, "An Improvement of the Breakdown Voltage Characteristics of NPT-TIGBT by Using a P-buried Layer" 2013 2nd International Conference on Key Engineering Materials and Computer Science (KEMCS 2013) will be held in Phuket, Thailand, March 3-4, 2013.

## 2. ผู้ร่วมวิจัย 1

ชื่อ นามสกุล (ภาษาไทย) :นางสาวพัชรภรณ์ ปานดี.....

ชื่อ นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): Miss Patcharaporn Pandee

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 3840100175870.....

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

หมายเลขโทรศัพท์ 0-77506431 โทรสาร 0-77506433 (e-mail): kpapatch@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	ภาควิชา/คณะ	ชื่อสถาบันการศึกษา
2553	เอก	ปร.ด.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหิดล
2545	โท	วท.ม.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2542	ตรี	วท.บ.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของผลงานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

Pandee, P., Dissara, Y. and Kittikun, A. 2002. Optimization of growth and fibrinolytic production from *Schizophyllum commune* BL23. The 14 th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology, 12-15 November 2002, Khon Kaen, Thailand.

Dissara Y. and Pandee, P. 2002. Production of fibrinolytic enzyme by *Xylaria* sp. BL25 in submerged cultures. The 3 rd JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant, Microbial Resources and their Applications, 17-21 November 2002, Chiang Mai, Thailand.

Dissara, Y. and Pandee, P. 2000. Fibrinolytic enzymes from filamentous fungi. British Mycological Society Millennium Meeting: Tropical Mycology, 23 April-1 May 2000, Liverpool, United Kingdom.

Dissara, Y. and Pandee, P. 2000. Fibrinolytic enzymes from mycelium of macro-fungi isolated from nature. The 2 nd JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microbial Resources and their Applications, 21-25 November 2000, Yamaguchi, Japan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.