การพัฒนาประสิทธิภาพและการทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สามารถ มูลน้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2559

การพัฒนาประสิทธิภาพและการทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริง
ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สามารถ มูลน้อย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์)
วันที่ 29 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 29 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(อาจารย์. ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)
วันที่ 29 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2559

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร ....
(อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี)
วันที่ 29 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2559

บัณฑิตวิทยาลัยรับรอง ....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่............เดือน........................พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาประสิทธิภาพและการทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ชื่อผู้เขียน	นายสามารถ มูลน้อย
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการจะเป็นการหาปัจจัย และเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สารกึ่งตัวนำโลหะเป็น ZnO และใช้สารย้อมสีชนิด N719 และ Z907 จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการพบว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการแช่สีย้อมไวแสงคือ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C และใช้ชั้นของ ZnO จำนวน 1 ชั้น โดยในเงื่อนไขนี้จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับเซลล์ที่ใช้สีย้อมชนิด N719 และ Z907 เท่ากับ 2.20% และ 1.03% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิดผสม N719/Z907 พบว่ามีประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 0.89% ซึ่งต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมชนิดเดียว สำหรับการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมจริงจะเป็นการทดสอบการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดตามสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง 3 ลักษณะที่แตกต่างกันคือ ไม่มีเมฆ มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก การทดสอบจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงขนาด 0.5 W ต่ออนุกรมจำนวน 2 แผง จากการทดสอบพบว่าการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะดีที่สุดในวันที่มีความเข้มแสงต่ำ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 5.8% ส่วนวันที่มีเมฆบางส่วนจะเท่ากับ 4% และประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำสุดในวันที่ไม่มีเมฆซึ่งเท่ากับ 2.87% จากการศึกษายังพบอีกว่าระหว่างการใช้งานจะมีอุณหภูมิแผงอยู่ระหว่าง 25-60 $^{\circ}$C อุณหภูมิจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ การดำเนินงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกับอาคารหรือพื้นผิวที่มีลักษณะโค้ง ทำให้เกิดการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำข้อมูลการทดสอบไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

Title	Efficiency Improvement and Peformance Testing Under Actual Operating Environment of Dye-Sensitized Solar Cell
Author	Mr. Samart Monnoi
Degree of	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Akarin Intaniwet

ABSTRACT

This study, was divided into two separate experiments, laboratory and field test. The experiment in the laboratory was related to the optimization of the production process of DSSCs where ZnO was used to form a layer of semiconductor and the devices were fabricated using N719 and Z907 dye solution with various production conditions. It was found that the best performance of the DSSCs was achieved when a single layer of ZnO was employed with the impregnated time and temperature of 2 hr and 25 ^{o}C, respectively. The maximum efficiency of the device was estimated to be 2.2% and 1.03% for N719 and Z907, correspondingly. When the hybrid of N719/Z907 was exploited, the device showed a lower conversion efficiency of 0.89%. In the second part of this study dye sensitized solar panel was tested in a practical environment where three different weather conditions were defined; clear, partly cloudy and overcast. Two panels, each capable of generating the maximum power of 0.5 W, were connected in series. It was observed that the panel performed better when the solar intensity was lower. The maximum efficiency of 5.8% was obtained for overcast condition and the efficiency of 2.87% was acquired for clear sky. The temperature of the panel during the operation was measured to be 25-60 ^{o}C and the efficiency of the panel was temperature dependent. This study would be able to support the production of DSSCs which can be integrated into the building with a curved surface or roof in order to efficiently harvest the solar energy in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นผลงานที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทความตั้งใจ สติปัญญา กำลังกายและกำลังใจจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพ ชูพันธ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ พร้อมกับ อาจารย์ ดร.สราวุธ พลวงษ์ศรี และ อาจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจาก ทุนอุดหนุนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และ ทุนสนับสนุนการวิจัยของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ศูนย์วิจัยพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัย และขอบคุณห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวัดลักษณะกระแสและแรงดัน รวมไปถึง คณาจารย์ บุคลากรและพนักงานสำนักงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จึงขอขอบคุณ มา ณ ที่นี้

สามารถ มูลน้อย

กันยายน 2559

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มา

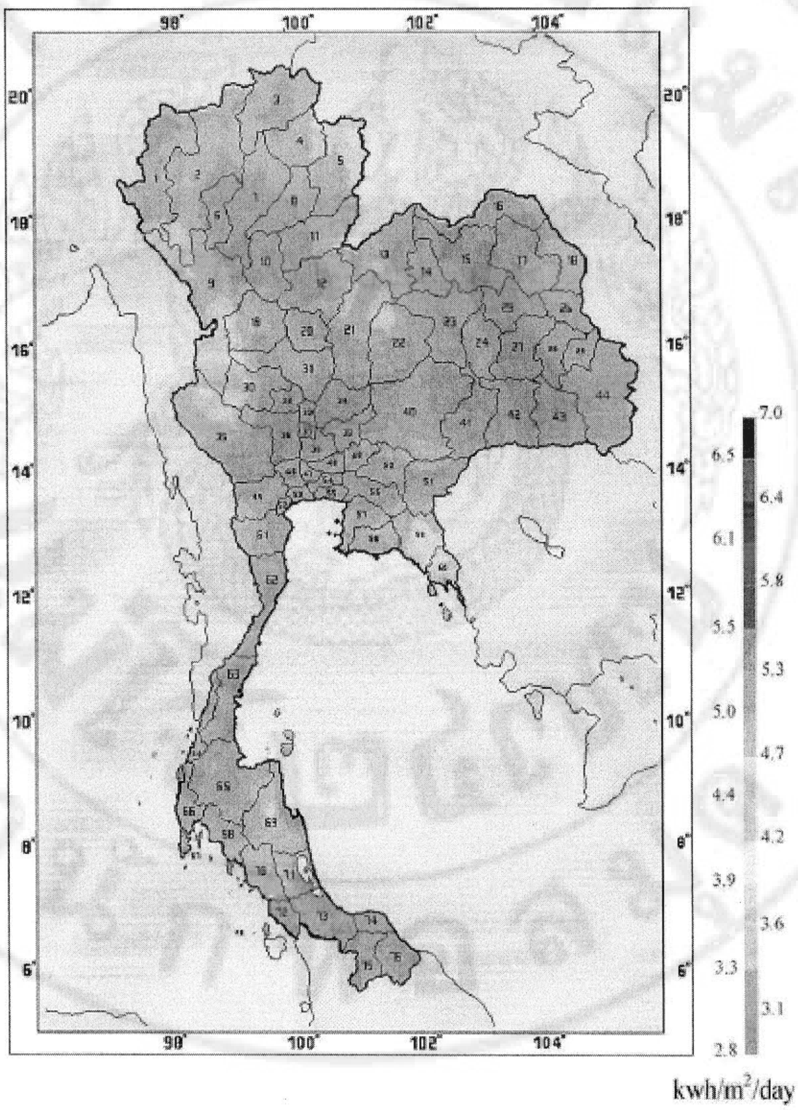
จากปริมาณการใช้พลังงานในประเทศ พบว่าพลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปเพื่อประกอบกิจการอุตสาหกรรมและการขนส่งมากที่สุด (กระทรวงพลังงาน, 2555) ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเดินเครื่องประกอบกิจกรรมภายในโรงงาน หรือแม้แต่เครื่องจักรกลทางการเกษตรก็จำเป็นต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน จากการใช้พลังงานฟอสซิลกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทำให้เกิดการคาดการณ์ว่าในอนาคตอันใกล้นี้แหล่งพลังงานฟอสซิลจะหมดไป ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าในอนาคตจะมีพลังงานใช้กันอย่างพอเพียง ทำให้เกิดการตื่นตัวเป็นอย่างมาก ที่จะวิจัย ค้นคว้า และพัฒนา เพื่อให้ได้มาซึ่งแหล่งพลังงานใหม่ หรือพลังงานทดแทนจากทรัพยากรที่มี และเพียงพอในแต่ละแหล่งพื้นที่ พลังงานทดแทนเหล่านี้ประกอบไปด้วย พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล และพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นต้น

ตารางที่ 1 ปริมาณและเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย

ประเภทของแหล่งพลังงาน	ปริมาณการใช้ในปี 2555 (MW)	ปริมาณการใช้ในปี 2564 (MW)	ปริมาณที่เพิ่มขึ้น (MW)
พลังงานแสงอาทิตย์	316.12	2,000	1,684
พลังงานลม	7.28	1,200	1,193
พลังงานน้ำ	95.7	1,608	1,512
พลังงานชีวมวล	1,828.48	3,630	1,802
พลังงานแก๊สชีวภาพ	172.85	600	427

ที่มา: Thawatch (2013)

พลังงานทดแทนถือเป็นทางเลือกใหม่ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญ ประเทศไทยเป็นหนึ่งในหลายประเทศที่ให้ความสนใจในแหล่งพลังงานนี้ ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้พลังงานทดแทนที่สูงขึ้นในทุกปี ดังตัวอย่างปริมาณการใช้พลังงานทดแทนในปี 2555 มีจำนวน 71,728 ktoe และมีการคาดการณ์ว่าในอีก 10 ปีข้างหน้าหรือในปี 2564 ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนจะเพิ่มสูงถึง 25% ซึ่งคิดเป็นจำนวน 99,838 ktoe (Thawatch, 2013) ปริมาณและเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยสามารถแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554)

ในการศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนนั้น จะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ ถือเป็นหนึ่งในพลังงานที่น่าสนใจที่สุด เนื่องจากว่าทุกพื้นที่สามารถเข้าถึงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด และไม่มีต้นทุนในการผลิตพลังงาน (มณฑาสินี,2555) เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณเขตร้อน ทำให้มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูงจากการพัฒนาวิจัย และค้นคว้าของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ทำการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลทางดาวเทียมของประเทศไทยดังภาพที่ 1 โดยการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมประกอบกับข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดิน พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือน เมษายน – พฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 – 23 MJ/m^2-Day โดยมีพื้นที่ประมาณ 40% ของประเทศได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 17 – 18 MJ/m^2-Day (ตารางที่ 2) เมื่อพิจารณาปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั้งประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18 MJ/m^2-Day (Bouabdallah et al. 2015)

ตารางที่ 2 สัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่างๆ

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี MJ/m^2-day	สัดส่วนของพื้นที่เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (%)
15-16	0.4
16-17	13.2
17-18	39.8
18-19	35.6
19-20	11

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557)

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) (Xing et al. 2015) ในการแปลงรูปพลังงาน โดยอาศัยกระบวนการโฟโตโวลต์เทอิก (Photovoltaic) (Xin et al. 2015) หรือกระบวนการเปลี่ยนแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) (กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง

ประเทศไทย, ม.ป.ป.) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) และชนิดเอ็น (n-type) มาต่อกันเพื่อให้เกิดรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อนุภาคของแสงที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจากชั้นเวเลนซ์ (Valence band) ไปยังชั้นคอนดักชัน (Conduction band) และจะมีโฮลเกิดขึ้นที่ชั้นคอนดักชันคู่อิเล็กตรอน และโฮล (Electron-hole pair) จะถูกทำให้แยกออกจากกันโดยสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อพีเอ็น ส่งผลให้อิเล็กตรอนและโฮลสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่อเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอน เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาก่อน มีความเสถียรในการใช้งาน ราคาถูก จึงมีความนิยมใช้งานกันแพร่หลาย ถึงแม้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำซิลิคอนจะมีข้อดีหลายอย่าง แต่เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ยังมีข้อเสียที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ คือ ในกระบวนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีการใช้พลังงานสูง เกิดการปลดปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แผงมีน้ำหนักมาก มีความยืดหยุ่นต่ำ และแตกหักเสียหายได้ง่าย จากข้อเสียเหล่านี้ทำให้เกิดการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่สอง คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนในการผลิต จากความพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และผลิตได้ง่าย จึงเป็นจุดเริ่มต้นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized Solar Cells, DSSC) ซึ่งอยู่ในกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำ ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดย ไมเคิล เกรสเซล และไบรอัน โอเรแกน ในปี 1991 (Lanlan et al. 2010) เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิคอน เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่าย วัสดุที่ใช้ในการผลิตราคาไม่แพง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่สำคัญคือเซลล์แสงอาทิตย์ถูกผลิตขึ้นด้วยสารตั้งต้นที่เป็นของเหลว ซึ่งสามารถที่จะผลิตด้วยเทคนิคการเคลือบหรือการพิมพ์ได้ โดยใช้แผ่นรองรับ (Substrates) ที่เป็นกระจก กระดาษ แผ่นกระเบื้องเคลือบ หรือแม้แต่พลาสติกเพราะการสกรีนสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถที่จะผลิตเซลล์ที่มีความยืดหยุ่น โค้งงอ และมีน้ำหนักเบา จึงน่าจะเป็นเทคโนโลยีที่จะได้รับความนิยมในเชิงพาณิชย์ และได้มีการวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ด้านประสิทธิภาพและความคงทนเพื่อที่จะสามารถพัฒนาให้แข่งขันกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นได้ เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่ไม่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์กำลังได้รับความสนใจ และมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ถึงแม้จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงก็ยังมีข้อจำกัดอยู่อีกมาก ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ยังอยู่ในระดับต่ำ และปัญหาเรื่องการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่มีการใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากอนุภาค TiO_2 ทำความสะอาดตัวเองได้เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวเลต (UV) สารอินทรีย์ที่ยึดเกาะจึงเสื่อมสลายระหว่างการใช้งาน ทำให้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และข้อมูลการทดสอบหรือการใช้งานจริงในสภาพอากาศรูปแบบต่างๆ ยังมีน้อย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไปใช้งานจริงอย่างเป็นรูปธรรม ในงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยผ่านการออกแบบชั้นของสีย้อมไวแสง ชนิดของสีย้อมไวแสง การใช้งานสีย้อมไวแสง และชั้นของสารกึ่งตัวนำ กับการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สภาวะการทำงานจริง เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการใช้งาน เสถียรภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ และผลของสภาวะอากาศต่างๆ ที่มีต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยจะได้ทำการนำเสนอข้อมูล และผลในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริง

ขอบเขตการศึกษา

1. สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมชนิด N719 และ Z907 ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า FTO
2. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ภายใต้สภาวะการทำงานจริง ณ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่เพื่อประเมินศักยภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
3. เปรียบเทียบศักยภาพ และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงระดับห้องปฏิบัติการ และในระดับพาณิชย์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สารกึ่งตัวนำ ZnO กับสีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907

2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริงและสามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดสีย้อม ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยต่างๆ จะต้องมีการค้นคว้าทฤษฎี หลักการ และทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถในการดำเนินงานวิจัย และเพื่อให้งานวิจัยดำเนินไปในทางที่ถูกต้อง เหมาะสม มีการเลือกใช้วัสดุ การวิเคราะห์ผล และการนำเสนอผลอย่างถูกต้อง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะได้ทำการศึกษาทฤษฎี และการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ดวงอาทิตย์

1.1 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

การคำนวณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบต่างๆ ทั้งที่อยู่นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม ที่เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตเป็นศูนย์กลาง เนื่องจากท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก หรือมีรัศมีเป็นอนันต์ ดังนั้นการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงใช้มุมเพียง 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง ของทรงกลมท้องฟ้า 2 ส่วนโค้ง ก็สามารถระบุตำแหน่งได้ ในงานด้านรังสีอาทิตย์สามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 2 ระบบ ดังนี้

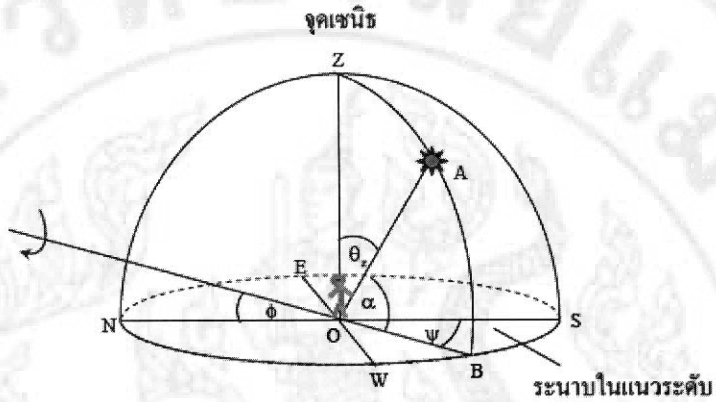
1.1.1 ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (Horizontal system)

ระบบนี้จะอาศัยมุม 2 มุม ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 2 มีรายละเอียดของมุมแต่ละมุมดังนี้

มุมอาซิมุธ (Azimuth, ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ตามเส้นที่ลากจากจุด O ไปถึงจุด S ในภาพที่ 2 ไปยังภาพฉาย ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาดังกล่าวอยู่ซีกตะวันออก และเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของท้องฟ้า หรือ $-180^\circ \le \psi \le 180^\circ$ คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\cos\psi . = \frac{\sin\alpha \times \sin\phi - \sin\delta}{\cos\alpha \times \cos\phi} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

มุมอัลติจูด (Altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ในภาพที่ 2 กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าวบนระนาบในแนวระดับ (OB) ซึ่งจะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ในแนวเส้น (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนิธ (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนิธ (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2



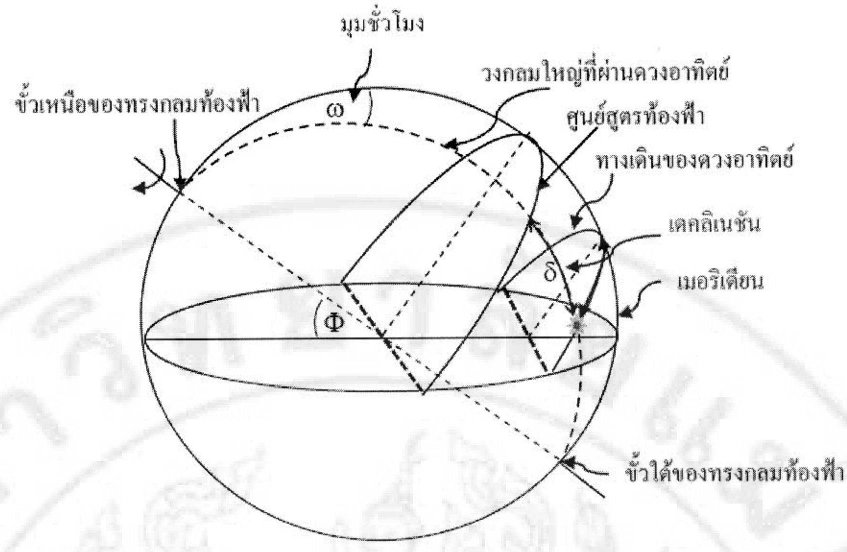
ภาพที่ 2 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง

ที่มา: เสริม (2557)

$$\theta_z = 90 - \alpha \qquad \text{สมการที่ 2}$$

1.1.2 ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (Equatorial system)

เนื่องจากระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าจะขนานกับระนาบของศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยในช่วงเวลา 1 วัน ระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนสามารถถือว่าคงที่ได้ดังนั้นในระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิงจะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยการลากวงกลมใหญ่ (Great circle) จากขั้วหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้าผ่านดวงอาทิตย์ไปยังอีกขั้วหนึ่งดังภาพที่ 3 และใช้ระยะห่างเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ 1 เพื่อบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และเรียกตัวแปรนี้ว่า เดคลิเนชัน (Declination) สำหรับตัวแปรที่ 2 จะใช้มุมบนผิวทรงกลมท้องฟ้าระหว่างวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์ และเส้นเมอริเดียน โดยจะเรียกมุมดังกล่าวว่า มุมชั่วโมง (Hour angle, ω)



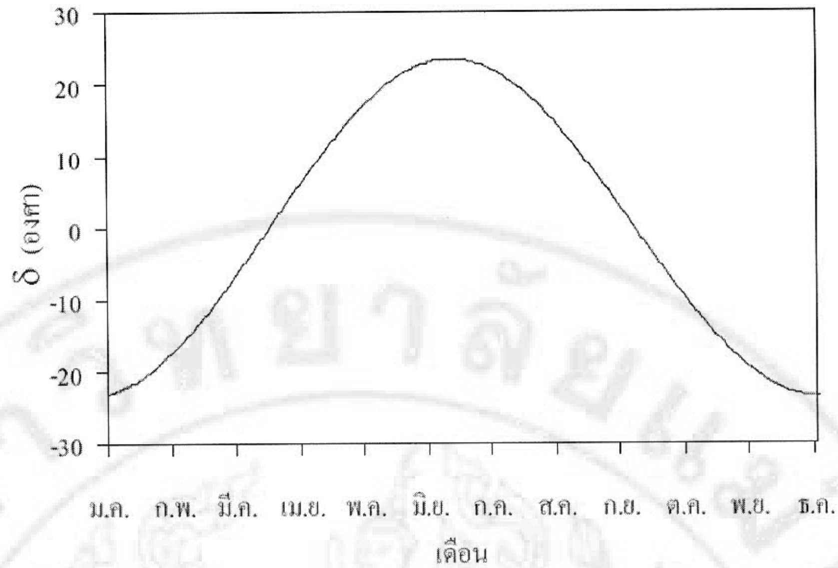
ภาพที่ 3 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง

ที่มา: เสริม (2557)

มุมเดคลิเนชัน (δ) จะแปรค่าอยู่ระหว่าง -23.5 องศา และ 23.5 องศา จากการสังเกตการณ์จะพบว่าค่าเดคลิเนชันจะแปรตามเวลาในรอบปีตามกราฟดังภาพที่ 4 และคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\delta. = 23.45\sin[\frac{360}{365}(d_n + 284)] \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ d_n เป็นลำดับของวันในรอบปี โดย $d_n = 1$ หมายถึงวันที่ 1 ของปี หรือวันที่ 1 มกราคม และ d_n = 365 หมายถึงวันที่ 365 ของปี หรือวันที่ 31ธันวาคม สำหรับปีที่เดือนกุมภาพันธ์ 28 วัน



ภาพที่ 4 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี

ที่มา: เสริม (2557)

$$\text{Sunrise} = 12-\frac{1}{15}\times\omega_S\times\frac{TC}{60} \quad \text{สมการที่ 4}$$

$$\text{Sunset.} = 12+\frac{1}{15}\times\omega_S\times\frac{TC}{60} \quad \text{สมการที่ 5}$$

มุมที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขึ้น (Sunrise angle, ω_S) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 ความยาวนานวัน (Day length) คือระยะเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตกในแต่ละวันของละติจูดใดๆ ค่านี้มีความแปรผันขึ้นอยู่กับมุมชั่วโมงการขึ้นของดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณหาเวลาที่จะมีแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน หรือเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่บนท้องฟ้าในเวลากลางวันได้จากสมการที่ 7

$$\omega_S. = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\phi\times\sin\delta}{\cos\phi\times\cos\delta}\right] \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$\text{DH.} = \frac{2}{15}\omega_S \quad \text{สมการที่ 7}$$

1.2 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ และมวลอากาศ

บรรยากาศของโลกมีอิทธิพลต่อสเปคตรัมแสงอาทิตย์ ถ้าลำแสงผ่านบรรยากาศในทิศทางต่างกันเป็นผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์ทั้งพลังงานรวมและความเข้มต่างกันโดยอิทธิพลของบรรยากาศแสดงด้วยดัชนีที่เรียกว่ามวลอากาศ (Air mass, AM) แสดงสมการดังสมการที่ 8

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_Z} \qquad \text{สมการที่ 8}$$

โดยที่ θ_z เป็นค่ามุมระหว่างแนวดิ่งเหนือศีรษะ และแนวลาแสงอาทิตย์ หรือมุมซีนิช (Zenith angle)

เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะ $\theta_z = 0^\circ$ AM = 1

เมื่อดวงอาทิตย์ทามุม 60o กับแนวดิ่ง $\theta_z = 60^\circ$ AM = 2

นอกบรรยากาศกำหนดให้มวลอากาศมีค่าศูนย์ AM = 0

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกจะมีค่าที่ลดลงตามค่า AM ที่เพิ่มขึ้น ในกรณีของมุมอัลติจูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับความสูงของน้ำทะเลสามารถคำนวลได้จากสมการที่ 9

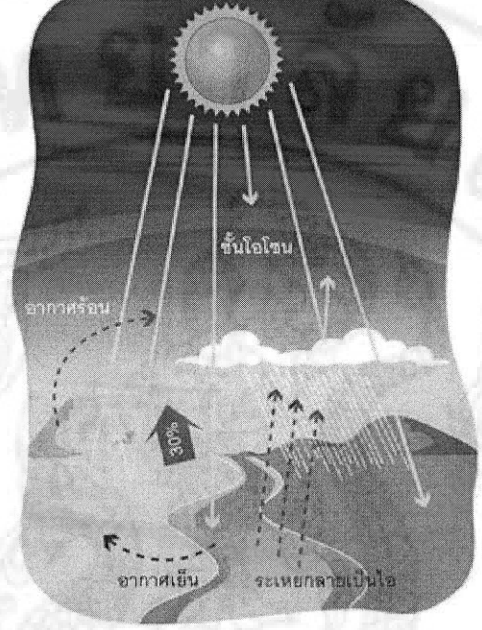
$$I_D = 1{,}353 \times \left[\left(1-\frac{h}{7.1}\right)\times(0.7)^{(AM)^{0.678}} + \frac{h}{7.1}\right] \qquad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ h คือค่าความสูงของระดับน้ำทะเล (km)

2. พลังงานจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ถึง 3.8×10^{23} kW แพร่กระจายออกมายังอวกาศใน ทุกทิศทางในรูปของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ระยะห่างของโลกกับดวงอาทิตย์มากถึง 1.5×10^{8} m แต่พลังงานเดินทางมาด้วยเวลาเพียง 8 นาทีเท่านั้น พลังงานจากดวงอาทิตย์ส่งมายัง โลกประมาณ 1.8×10^{14} kW (1.4 kW/m^2) และดูดซับโดยพื้นผิวโลกประมาณ 0.85×10^{14} kW หรือ 47 % พื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองศาจากเส้นศูนย์สูตร ระดับความสูง และฤดูกาลของพื้นที่นั้นๆ โดย 30% สะท้อนกลับโดยชั้นบรรยากาศ 23% ดูดซับเกิดเป็นวัฏจักรของน้ำ ทะเล และลมดังภาพที่ 5

พลังงานความร้อนและแสงสว่างถูกปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์มายังพื้นผิวโลกในรูปของคลื่นต่างๆ เมื่อโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ จะแผ่รังสีสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศและขณะตกกระทบพื้นผิวโลกที่มีหลายลักษณะจึงมีผลให้ความสามารถในการดูดซับและสะท้อนพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันด้วย

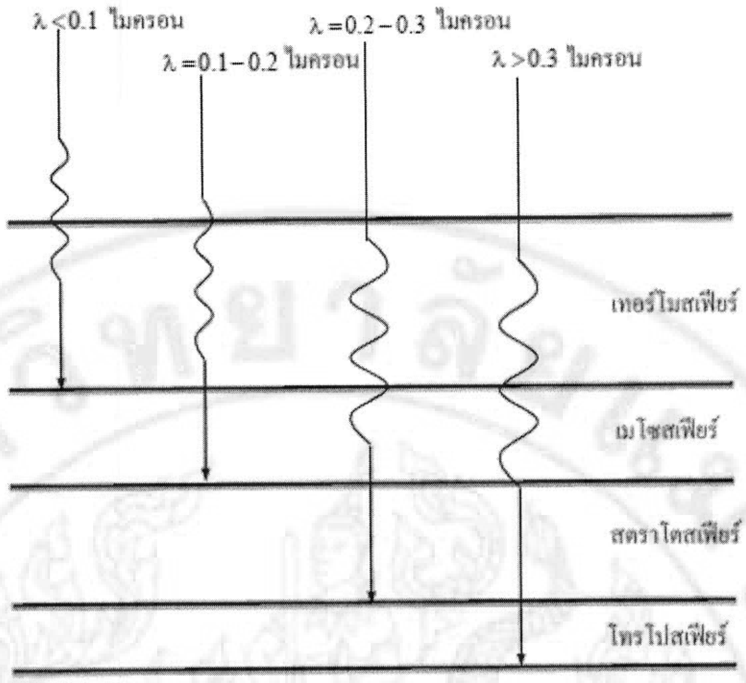


ภาพที่ 5 พลังงานจากดวงอาทิตย์มายังโลก

ที่มา: วรนุช (2551)

2.1 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ระดับความสูงต่างๆ จากพื้นผิวโลก

ขณะที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศชั้นต่างๆ ของโลกมายังพื้นผิวโลก จะถูกองค์ประกอบของบรรยากาศในชั้นต่างๆ ดูดกลืน ทำให้รังสีอาทิตย์เฉพาะบางความยาวคลื่นเท่านั้นที่มาถึงพื้นผิวโลก เราสามารถแบ่งการดูดกลืนได้ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ได้แก่ ที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.1 μm 0.1-0.2 μm 0.2-0.3 μm และที่ความยาวคลื่นมากกว่า 0.3 μm ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงการลดลงของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ขณะที่ผ่านบรรยากาศชั้นต่างๆ

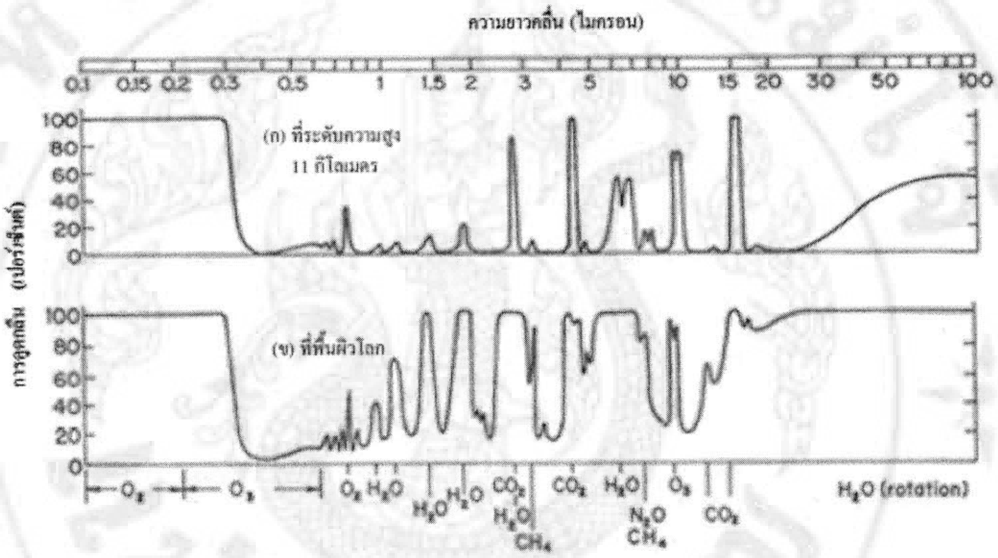
ที่มา: เสริม (2557)

จากภาพที่ 6 รังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.1 μm จะถูกดูดกลืนโดย N_2 O_2 และ O จนหมดที่ความสูง 90-200 km จากพื้นผิวโลก หรือในบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์ ทั้งนี้เพราะรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งมีพลังงานโฟตอนสูง จนสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตไอออไนเซชัน (Photoionization) กล่าวคือรังสีอัลตราไวโอเลตจะทำให้ N_2, O_2 และ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์แตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ

สำหรับรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นในช่วง 0.1-0.2 μm สามารถเดินทางผ่านลงมาจนถึงที่ความสูง 50-110 km ซึ่งเป็นบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์ และถูกดูดกลืนหมดโดยปฏิกิริยาโฟโตดิสโซซิเอชัน (Photo dissociation) ของออกซิเจน กล่าวคือโฟตอนของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นนี้จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจน (O_2) แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน (O) 2 อะตอม และอะตอมที่เกิดขึ้นจะไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน (O_3)

กรณีของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 0.2-0.3 μm จะผ่านลงมาถึงที่ความสูง 30-60 km ซึ่งเป็นบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และถูกโอโซนในบรรยากาศที่ช่วงความสูงนี้ดูดกลืนเกือบทั้งหมด โดยมีเพียงส่วนน้อยซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตบี (0.28-032 μm) ที่ผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลก สำหรับกรณีของรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นมากกว่า 0.3 μm จะเดินทางผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลก โดยบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์

ผลรวมของการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่ระดับความสูง 11 km และที่พื้นผิวโลกสามารถแสดงดังกราฟภาพที่ 7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 7 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ กรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละออง (ก) ที่ระดับความสูง 11 km และ (ข) ที่พื้นผิวโลก (O_2 คือออกซิเจน O_3 คือโอโซน H_2O คือ ไอน้ำ CO_2 คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CH_4 คือ มีเทน และ N_2O คือ ไนตรัสออกไซด์

ที่มา: เสริม (2557)

2.2 ประเภทของรังสีอาทิตย์

ประเภทของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังผิวโลกสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

2.2.1 รังสีตรง (Beam or direction)

รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และตกลงบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศทางของรังสีตรงจะอยู่ในแนวลาแสงอาทิตย์

2.2.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation)

รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง ซึ่งรังสีกระจายนี้จะมาจากทุกทิศทุกทางของท้องฟ้า

2.2.3 รังสีรวม (Total or global radiation)

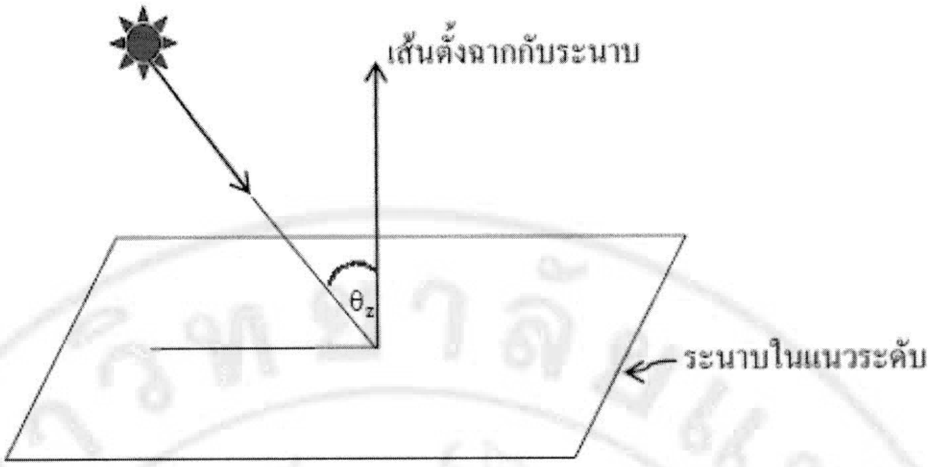
ผลรวมของรังสีตรง และรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียงรังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และผิวโลก โดยเรียกรังสีรวมนี้ว่า Total radiation สาหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งทรงกลมของท้องฟ้าไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก ซึ่งจะเรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global radiation

2.3 มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบต่างๆ

ในการคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนระนาบต่างๆ เราจำเป็นต้องทราบมุมตกกระทบ (θ) ของรังสีอาทิตย์บนระนาบนั้นๆ มุมดังกล่าวเป็นมุมระหว่างเส้นตั้งฉากของระนาบหรือเส้นปกติ (Normal line) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดที่รังสีตกกระทบกับดวงอาทิตย์โดยสามารถแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

2.3.1 กรณีระนาบในแนวระดับ

ในกรณีนี้มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (θ_z) แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 10



ภาพที่ 8 มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ

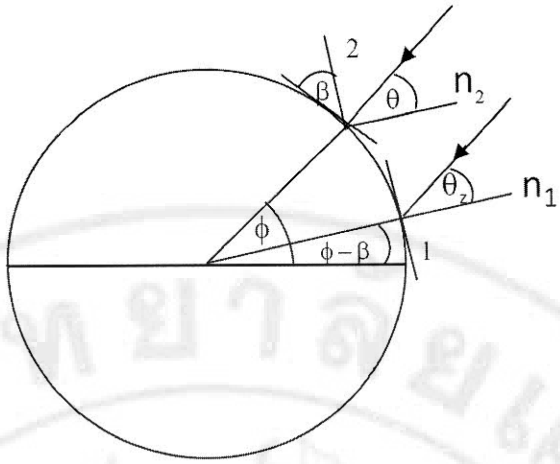
ที่มา: เสริม (2557)

$$\cos\theta_Z. = (\sin\varnothing\times\sin\delta)+(\cos\varnothing\times\cos\delta\times\cos\omega) \qquad \text{สมการที่ 10}$$

2.3.2 กรณีระนาบเอียงที่หันไปทางทิศใต้

อุปกรณ์พลังงานรังสีอาทิตย์ เช่น แผงเซลล์สุริยะส่วนมากจะวางเอียงและหันไปทางทิศใต้ เพื่อให้รับรังสีอาทิตย์รวมทั้งปีสูงสุด ในการคำนวณรังสีอาทิตย์ที่อุปกรณ์ดังกล่าวได้รับจำเป็นต้องรู้มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบของอุปกรณ์นั้นในการหามุมตกกระทบดังกล่าว เราจะพิจารณาระนาบ 2 ระนาบดังภาพที่ 9 โดยระนาบที่ 1 เป็นระนาบในแนวระดับซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด $\phi - \beta$ ส่วนระนาบที่ 2 อยู่ที่ละติจูด ϕ เอียงทำมุม β กับระนาบในแนวระดับ และหันไปทางทิศใต้ จากหลักการทางเรขาคณิต เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบที่ 1 (θ_Z) จะเท่ากับมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบที่ 2 (θ) ดังนั้นถ้าเราแทน θ_Z ด้วย θ แทน ϕ ด้วย ($\phi - \beta$) ในสมการ (2.21) เราจะได้สมการสำหรับคำนวณมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบเอียงที่หันไปทางทิศใต้ดังสมการที่ 11

$$\cos\theta = (\sin\delta\times\sin(\phi - \beta))+(\cos\delta\times\cos(\phi - \beta)\times\cos\omega) \qquad \text{สมการที่ 11}$$

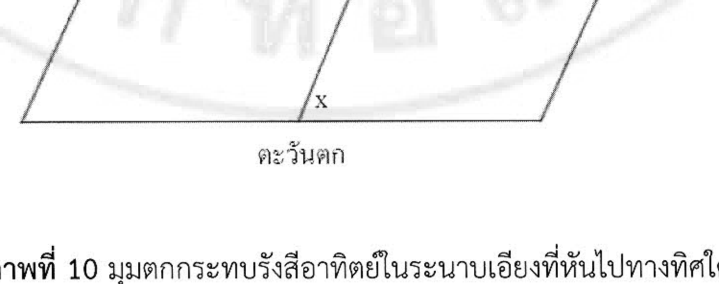


ภาพที่ 9 ระนาบการตกกระทบของรังสีอาทิตย์ที่หันไปทางทิศใต้

ที่มา: เสริม (2557)

2.3.3 กรณีระนาบเอียงที่หันไปทางทิศใดๆ

ในบางครั้งระนาบที่เราต้องการคำนวณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเป็นระนาบเอียงที่ไม่ได้หันไปทางทิศใต้ เช่น หลังคาบ้าน หรือผนังอาคารต่างๆ มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบเอียงที่หันไปทางทิศใดๆ สามารถหาได้โดยพิจารณาจากภาพที่ 10



ภาพที่ 10 มุมตกกระทบรังสีอาทิตย์ในระนาบเอียงที่หันไปทางทิศใดๆ

ที่มา: เสริม (2557)

3. การวัดรังสีอาทิตย์

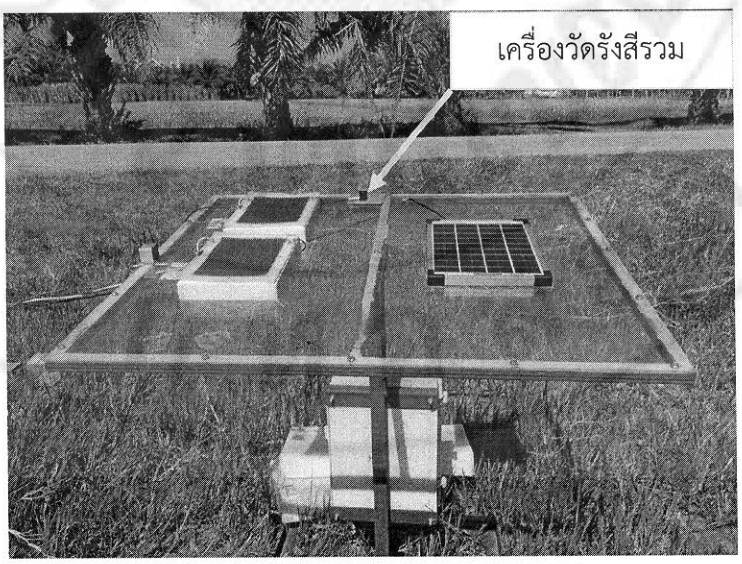
การสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัด นอกจากนี้ข้อมูลจากการวัดยังมีความสำคัญการศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการวัดรังสีอาทิตย์จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการวิจัยและการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดรังสีอาทิตย์และปัจจัยที่มีผลต่อค่ารังสีอาทิตย์

3.1 ประเภทของการวัดรังสีอาทิตย์

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ตามลักษณะของการใช้ข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1.1 การวัดความเข้มรังสีอาทิตย์เฉพาะงาน

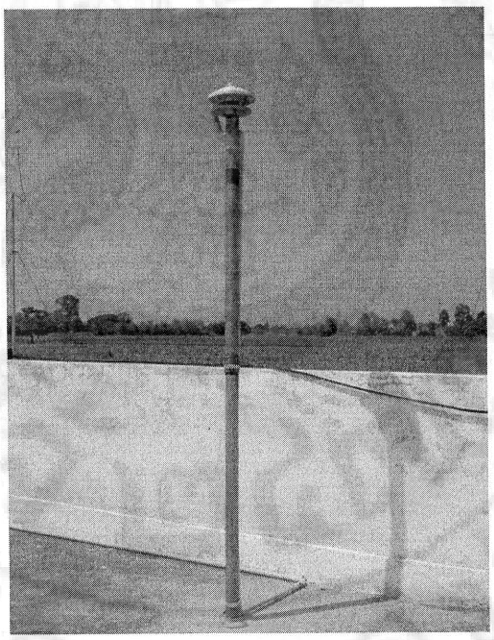
การวัดรังสีอาทิตย์ดังกล่าวจะใช้ประกอบในการศึกษาสมรรถนะของระบบที่ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การศึกษาดังกล่าวจำเป็นต้องรู้ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่อุปกรณ์เหล่านั้นได้รับ โดยจะติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ไว้ในบริเวณที่ตั้งของอุปกรณ์ (ภาพที่ 11)และทำการวัดระยะสั้น เช่น 1-30 วัน ในบางกรณีอาจทำการวัดระยะยาวเป็นปี เพื่อติดตามผลการทำงานของระบบ เช่น การวัดความเข้มแสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น



ภาพที่ 11 การวัดรังสีอาทิตย์ในการทดสอบการทำงานในสภาพการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.2 การวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระยะยาว

โดยทั่วไปการวัดรังสีระยะยาวจะดำเนินการที่สถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยพิจารณาว่ารังสีอาทิตย์เป็นตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาตัวหนึ่ง ซึ่งจะต้องทำการวัดอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ นอกจากการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาแล้ว ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา มีการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์แยกออกมาจากการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำหรับจำนวนและความหนาแน่นของสถานีในแต่ละประเทศจะแตกต่างกัน สำหรับกรณีประเทศไทย เครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เพื่อใช้งานด้านพลังงานทดแทน คือ เครือข่ายของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งจัดตั้งโดยความร่วมมือระหว่าง พพ. กับภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปัจจุบันเครือข่ายดังกล่าวมีสถานีวัดทั้งหมด 38 แห่ง โดยสถานีส่วนใหญ่จะวัดเฉพาะรังสีรวมและติดตั้งเครื่องวัดบนดาดฟ้าของอาคารดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เครื่องวัดรังสีรวมที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด

ที่มา: เสริม (2557)

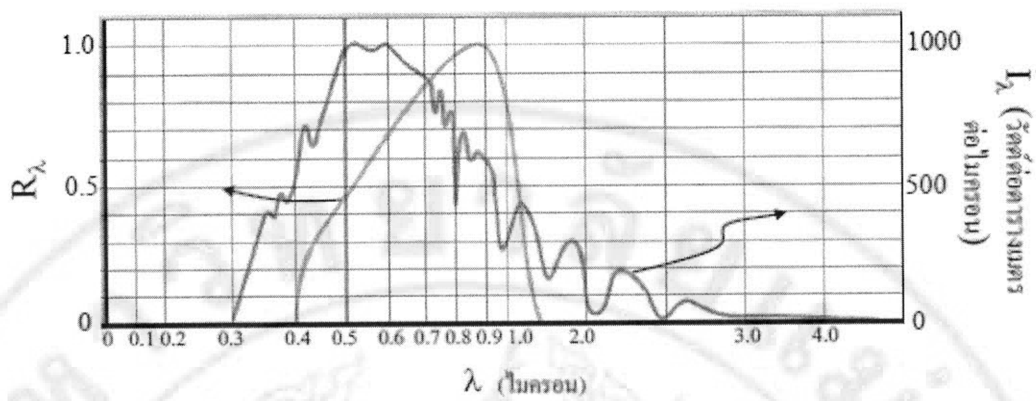
4. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิค (Photovoltaic pyranometer) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อแบบพีเอ็นจะเกิดศักย์ไฟฟ้าเมื่อมีรังสีอาทิตย์ตกกระทบ ดังนั้นจึงได้มีการนำสารดังกล่าวมาใช้เป็นเซนเซอร์ของเครื่องวัดรังสีรวมตามภาพที่ 13 โดยเครื่องวัดจะประกอบด้วยตัวรับรังสีที่เป็นแผ่นกระจายรังสีด้านบนและมีสารกึ่งตัวนำอยู่ด้านล่าง เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นดังกล่าว รังสีอาทิตย์จะถูกกระจายผ่านลงมาตกลงบนสารกึ่งตัวนำและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ค่ากระแสที่ได้นี้สามารถแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยอาศัยการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน

ภาพที่ 13 เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิค ที่ผลิตโดย บริษัท คิปป์แอนด์โซเนนซ์ (Kipp&Zonen)

ที่มา: เสริม และ จรุงแสง (2542)

โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิคจะมีการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วงประมาณ 0.4-1.1 µm ดังภาพที่ 14 ซึ่งแคบกว่าช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมรังสีรวม ทำให้ไม่สามารถวัดรังสีอาทิตย์ได้ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นกว้าง (0.3-3.0 µm) นอกจากนี้การตอบสนองของเครื่องวัดต่อรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด



ภาพที่ 14 กราฟของการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิค ที่ผลิตโดยบริษัท คิปป์แอนด์โซเนนซ์ (R_λ คือการตอบสนอง I_λ คือสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ และ λ เป็นความยาวคลื่น)

ที่มา: เสริม และ จรุงแสง (2542)

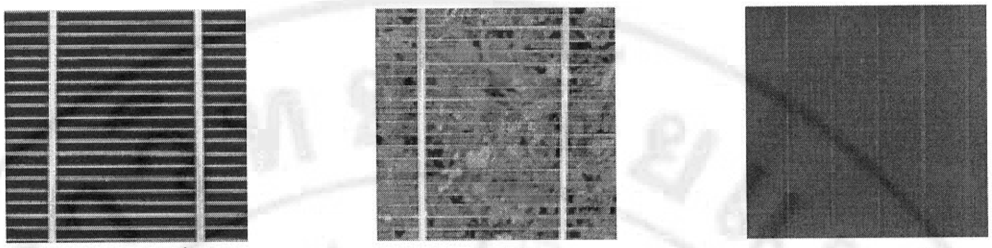
5. เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Zhao et al. 2015) เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี และชนิดเอ็น มาต่อกันเพื่อให้เกิดรอยต่อพีเอ็น และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจากชั้นเวเลนซ์ ไปยังชั้นคอนดักชัน และจะมีโฮลเกิดขึ้นที่ชั้นคอนดักชัน คู่อิเล็กตรอนและโฮล จะถูกทำให้แยกออกจากกันโดยสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อพีเอ็น ส่งผลให้อิเล็กตรอน และโฮลสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่อเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังต่อไปนี้

5.1 กลุ่มที่ผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน

จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Monocrystalline silicon solar cells) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Polycrystalline silicon

solar cells) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) มีรูปร่างดัง
ภาพที่ 15 A - C ตามลำดับ



A แบบผลึกเดี่ยว B แบบผลึกรวม C แบบอะมอร์ฟัส

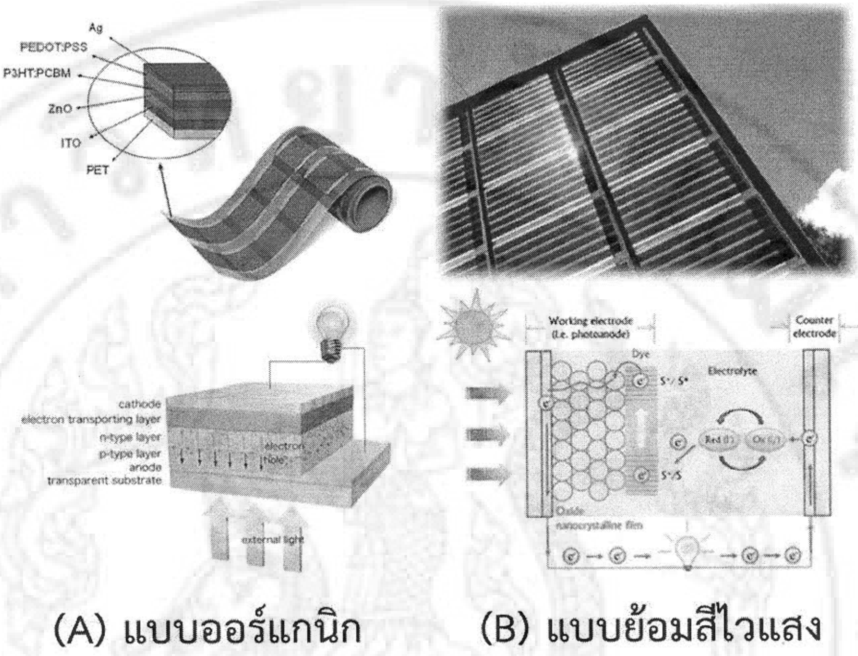
ภาพที่ 15 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ (A) แบบผลึกเดียว
(B) แบบผลึกรวม และ (C) แบบอะมอฟัส

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้ได้รับการพัฒนาจนกระทั่งต้นทุนอยู่ในระดับที่ต่ำพอที่จะทำให้ผู้ใช้เข้าถึงเทคโนโลยีได้ ส่งผลให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งในการใช้งานสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อาคาร และบ้านเรือน ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนจะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ก็มีข้อจำกัดในการพัฒนาอยู่หลายประการ กระบวนการผลิตซิลิกอนเวเฟอร์มีความยุ่งยากและใช้พลังงานในการผลิตสูงทำให้ไม่สามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ได้ แผ่นเวเฟอร์ไม่มีความยืดหยุ่น และแตกหักง่าย น้ำหนักของแผงมากประมาณ 10-15 kg/m^2 เนื่องจากว่าใช้ฐานวาง ที่เป็นกระจก และความสามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ของซิลิกอนยังมีสัดส่วนที่ต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่จำกัดการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับทดแทนการใช้งานจากแหล่งพลังงานฟอสซิล จึงทำให้มีความจำเป็นในการคิดค้นและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มที่สองขึ้น

5.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้เป็นเทคโนโลยีที่คาดว่าจะสามารถนำมาแทนที่การใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนได้ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบออร์แกนิก (Organic solar cells) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitised solar cells) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่สองนี้ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า เซลล์ที่ผลิตได้มีน้ำหนักเบา และสามารถผลิตขนาดเซลล์ที่ใหญ่ได้โดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ (Roll-to-roll printing) มีความยืดหยุ่นสูงกว่าเซลล์แบบซิลิกอน และมีความโปรงแสง ทำให้มีความเหมาะสมที่จะ

นำมาใช้งานโดยติดตั้งให้เป็นส่วนหนึ่งของอาคาร เซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองรูปแบบมีลักษณะดังภาพที่ 16 ในปัจจุบันพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ยังไม่มีการจำหน่ายอย่างแพร่หลายอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการผลิตยังอยู่ในขั้นตอนพัฒนาในห้องปฏิบัติการ

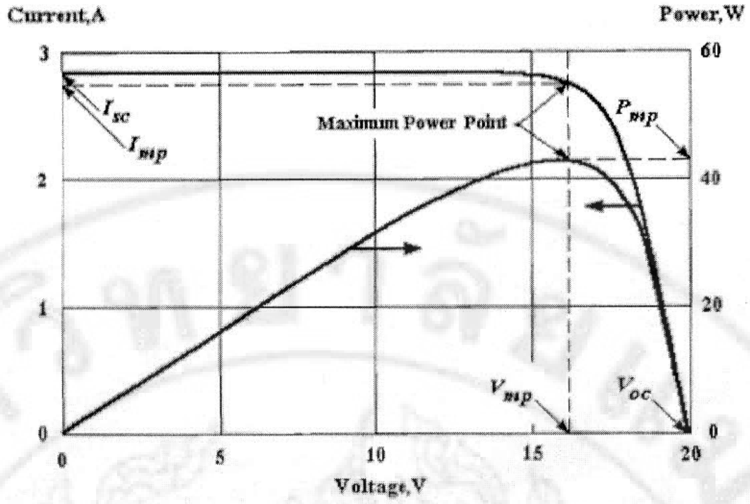


ภาพที่ 16 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (A) แบบออร์แกนิก และ (B) แบบย้อมสีไวแสง

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.)

5.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการพิจารณาคุณลักษณะของกระแส และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญ และเกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้



ภาพที่ 17 คุณลักษณะของกระแส และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.)

กระแสลัดวงจร (I_{SC}) เป็นค่ากระแสที่วัดจากวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือค่ากระแสของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อภาระทางไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ค่า I_{SC} จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดขณะเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อภาระไฟฟ้ามีค่าสูงมาก โดยค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดนี้จะมีสัมพันธ์กับค่ารังสีอาทิตย์ในรูปแบบของลอกาลิทึม (logarithm) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$V_{OC} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s}+1\right) \qquad \text{สมการที่ 12}$$

กระแสสูงสุด (I_m) เป็นค่ากระแสที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระทางไฟฟ้าที่จุดกาลังไฟฟ้าสูงสุดคำนวณได้จากสมการที่ 14 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) คือค่ากาลังไฟฟ้าสูงสุดขณะที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของตัวเซลล์ที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อนำภาระทางไฟฟ้าที่

เหมาะสมต่อเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการที่ 13 และสมการที่ 14 สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จากสมการที่ 15

$$I_m = I_s V_m e^{qV_m/kT} \quad \text{สมการที่ 13}$$

$$V_m = V_{oc} - \frac{kT}{q}\ln\left(1+\frac{qV_m}{kT}\right) \quad \text{สมการที่ 14}$$

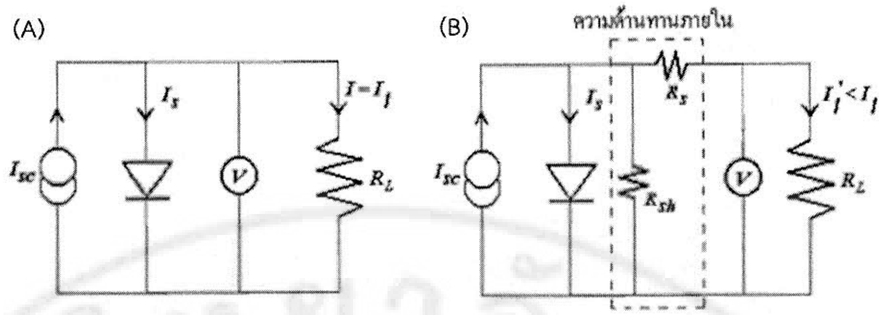
$$P_m = I_m \times V_m \quad \text{สมการที่ 15}$$

ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิดสามารถหาได้จากสมการที่ 16 ซึ่งแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดี ควรจะมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์เข้าใกล้ 1 เพื่อที่จะทำให้จุดทำงาน (Operating point) เข้าใกล้จุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$F.F. = \frac{I_{max}V_{max}}{I_{SC}V_{OC}} \quad \text{สมการที่ 16}$$

ประสิทธิภาพ (η) อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พารามิเตอร์ต่างที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ และอุณหภูมิระหว่างที่เซลล์แสงอาทิตย์มีการทำงานอยู่ สามารถแสดงค่าคุณลักษณะของพารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 17 ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นต้องแทนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า (Equivalent circuit) ดังภาพที่ 18 ค่าประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 17

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{in} A_S} \times 100 \quad \text{สมการที่ 17}$$



ภาพที่ 18 วงจรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (A) ในทางอุดมคติ (B) ในทางปฏิบัติ

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.)

สำหรับวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในทางอุดมคติประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source) ซึ่งให้กระแสลัดวงจร (I_{SC}) ออกมา แหล่งจ่ายกระแสคงที่จะต่อขนานกับไดโอด กระแส (I) ที่ไหลผ่านภาระทางไฟฟ้าซึ่งมีความต้านทาน RL เป็นไปตามสมการที่ 18

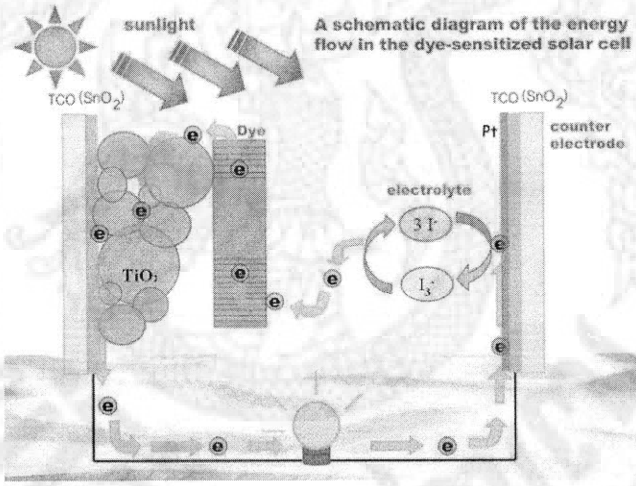
$$I = I_{SC} - I_S(e^{qV/kT} - 1) \qquad \text{สมการที่ 18}$$

เมื่อ I_S คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse saturation current), (A)
V คือ แรงดันที่ตกคร่อมภาระทางไฟฟ้า, (V)
K คือ ค่าคงที่โบลทซ์มาน (Boltzmann constant), (J/K)
T คือ อุณหภูมิ, (K)
q คือ ประจุของอิเล็กตรอน, (C)

6. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงได้ในภาพที่ 19 เมื่อแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เกาะบนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ (ในที่นี้ยกตัวอย่างการใช้ TiO_2) จะดูดกลืนแสง (hv) แล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาวะพื้น จะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในสภาวะกระตุ้น (S*) ดังสมการที่ 19 จากนั้นอิเล็กตรอนในสภาวะกระตุ้นจะถูกส่งผ่านไปที่แถบการนำไฟฟ้าดังสมการที่ 20 แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไป

ยังขั้วแอโนดแล้วออกสู่วงจรภายนอกเซลล์ กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในวงจรภายนอกเซลล์ จากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งกลับเข้าสู่เซลล์ที่ขั้วแคโทด ที่ขั้วนี้สารอิเล็กโตรไลต์ (ตัวอย่างเช่นไอโอไดด์/ไตรโอไดด์) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอน (S^+) ทำให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น (S_0) ดังสมการที่ 21 ในขณะเดียวกันสารอิเล็กโตรไลต์จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทด (ตัวอย่างเช่นโลหะแพลททินัม Pt) ดังสมการที่ 22 แต่ในกระบวนการก็อาจมีปฏิกิริยาที่ให้ผลเชิงลบ ประกอบด้วยการรวมกันใหม่ของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป ทำให้สีย้อมไวแสงกลับสู่สภาวะพื้นโดยไม่มีอิเล็กตรอนออกไปนอกเซลล์ จึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ 23 และการพบกันของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสารอิเล็กโตรไลต์ทำให้สูญเสียอิเล็กตรอนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ดังสมการที่ 24 (Basheer et al. 2014)



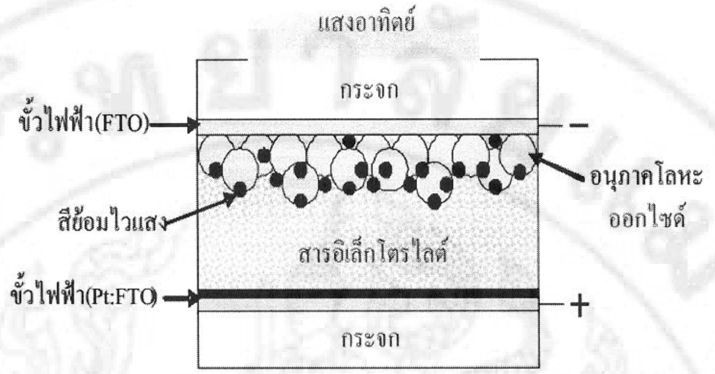
ภาพที่ 19 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง

ที่มา: Basheer et al. (2014)

$TiO_2\|S0 + hv$	$\longrightarrow$	$TiO_2\|S^*$	สมการที่ 19
$TiO_2\|S^*$	$\longrightarrow$	$TiO_2\|S^+ + e^-(cb)$	สมการที่ 20
$TiO_2\|S+ + 3/2I^-$	$\longrightarrow$	$TiO_2\|S0 + 1/2I_3^-$	สมการที่ 21
$I_3^- + 2e\text{-}(Pt)$	$\longrightarrow$	$3\ I^-$	สมการที่ 22
$TiO_2\|S+ + e^-(cb)$	$\longrightarrow$	$TiO_2\|S0$	สมการที่ 23
$I_3^- + 2e^-(cb)$	$\longrightarrow$	$3\ I^-$	สมการที่ 24

6.1 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง มีส่วนประกอบหลักแสดงได้ดังภาพที่ 20 ประกอบด้วย



ภาพที่ 20 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง

ที่มา: นิช และคณะ (ม.ป.ป.)

6.1.1 กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conducive oxide glass : TCO glass)

กระจกนำไฟฟ้า เป็นกระจกที่มีความโปร่งใสเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าไว้ด้านหนึ่ง เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้ สารตัวอย่างที่ใช้ในการเคลือบ เช่น Indium-doped Tin Oxide (ITO) Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) เป็นต้น ส่วนการวิจัยนี้จะใช้กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วย FTO สารนำไฟฟ้าโปร่งแสงจะมีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดี แต่ในขณะเดียวกันก็ยอมให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มักใช้ ITO ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโนเม็ดสีจะต้องมีการให้ความร้อนประมาณ 450 °C ในการเตรียมชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง ซึ่งพบว่าการใช้ ITO นั้นจะไม่มีความเสถียร เมื่อผ่านอุณหภูมิสูงทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้น อันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นจึงมีการใช้สารทินออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออไรด์ (SnO_2 : F) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงเป็นชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง

6.1.2 ชั้นอนุภาคสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor layer)

ชั้นอนุภาคสารกึ่งตัวนำ เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง (Wide band-gap) และสามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลสีย้อมได้ โดยชั้นสารกึ่งตัวนำที่มีการศึกษากันมาก คือ TiO_2 และ ZnO สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มักเป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง และมักถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง และเมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของเม็ดสีย้อมทำให้สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตาเรามองเห็นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้องการให้โมเลกุลของสีย้อมมีการดูดกลืนแสงให้ได้มากที่สุด สารกึ่งตัวนำที่ใช้ควรจะไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น ทำให้ต้องเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 eV และระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับพลังงานที่สถานะถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อม เพื่อทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้ นอกจากนั้นสารกึ่งตัวนำยังต้องมีความเสถียร ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สารกึ่งตัวนำในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์

6.1.3 โมเลกุลสีย้อม (Dye-sensitizer)

โมเลกุลสีย้อม เป็นโครงสร้างสำคัญที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และปลดปล่อยอิเล็กตรอนสถานะกระตุ้น โดยจะยึดเกาะกับอนุภาคสารกึ่งตัวนำ ด้วยพันธะ –OH หรือ =O โมเลกุลของเม็ดสีจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ และทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยเฉพาะช่วงที่ตาเรามองเห็น โดยที่เม็ดสีย้อมจะต้องมีคุณสมบัติ คือ มีความเสถียรภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่ถูกออกซิไดซ์ สภาวะพื้นและสภาวะถูกกระตุ้น มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูง มีราคาถูกและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งปกติแล้วมักใช้โมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียม (Ru) กับลิแกนด์ในกลุ่มของโพลีไพริดีน (Polypyridine) เนื่องจากว่าสารดังกล่าวมีราคาแพงอันเนื่องมาจากการมีอยู่น้อยมากของโลหะ Ru ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมที่สกัดได้จากพืช เช่น สารคลอโรฟิล (Chlorophyll) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) แคโรทีนอย (Carotenoid) หรือสีย้อมชนิดอื่นๆ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีราคาถูกลง

6.1.4 สารละลายอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte solution)

สารละลายอิเล็กโตรไลต์ ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอน จากขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดในฝั่งที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลทินัมไปยังโมเลกุลของเม็ดสีที่เสียอิเล็กตรอนไปในตอนแรกจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ดีมี จะต้องไม่มีการดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็น มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชันได้ง่าย เพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว และจะต้องมีความเสถียร ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการขึ้นภายในเซลล์ สารละลายอิเล็ก

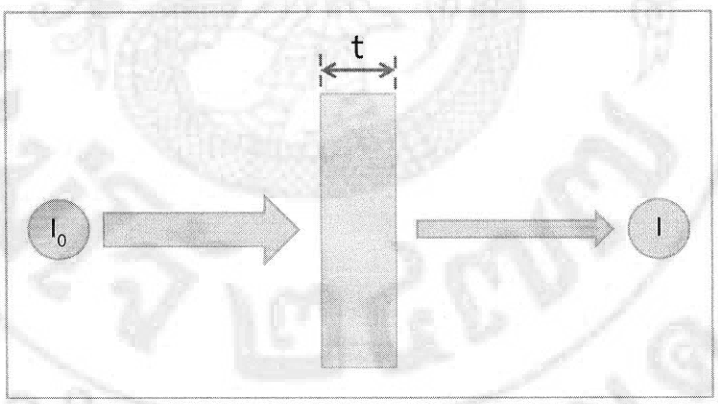
โตรไลต์ที่นิยมใช้ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือ ไอโอดีน (I_2) โดย จะมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี

6.1.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts)

ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ช่วยเร่งให้อิเล็กตรอนไหลคืนสู่ เซลล์แสงอาทิตย์ได้เร็วขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ไหลผ่านกลับสู่เซลล์เคลื่อนที่ได้ช้ากว่าอิเล็กตรอน ที่สีย้อมไวแสงปล่อยสู่สารกึ่งตัวนา ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ แพลทินัม (Pt)

7. อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy)

อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy) (สุรัตน์, 2554) [21] เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดสมบัติเชิงแสงของฟิล์ม และสารละลายผ่านการทะลุผ่านของแสง หรือการสะท้อนของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ค่า Transmittance หรือค่า Reflectance สามารถบ่งบอกความหนาของฟิล์มได้ ความยาวคลื่นจะใช้อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต ถึง ช่วงแสงที่ตามองเห็น (200-800 nm) โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectroscopy เมื่อแสงความเข้ม I_0 ผ่านแผ่นฟิล์มหรือสารละลาย ที่มีความหนา t และความเข้มแสงที่ผ่านออกมาจากแผ่นฟิล์มหรือสารละลายวัดได้ I ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดผ่านวัตถุตัวอย่าง

ที่มา: กฤษฎา (2555)

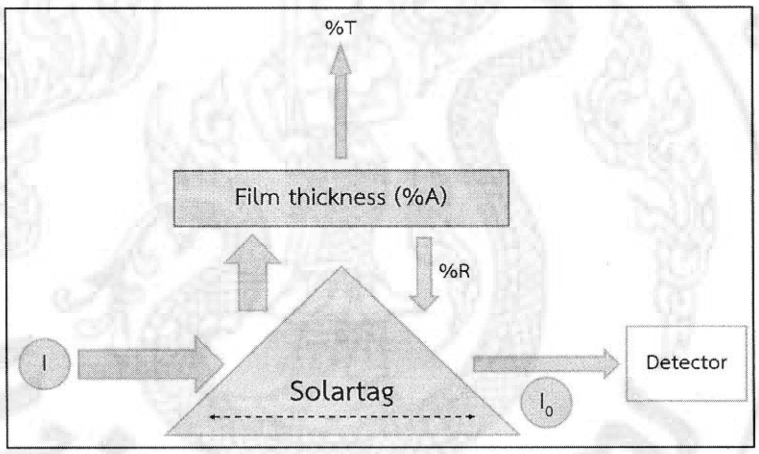
ความยาวคลื่นแสงในช่วง 200 – 800 nm เป็นช่วงอัลตราไวโอเลต และเป็นช่วงแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น (UV-Vis) และแสงอินฟาเรดโมเลกุลสสารที่ดูดกลืนแสงจะทำให้

แสง UV ที่มีพลังงานสูง สามารถทำให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลหลุดออกไปได้

แสง UV ที่พลังงานต่ำลงมา และแสงช่วงที่ตามองเห็น สามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอน ขึ้นสู่ระดับพลังงานที่สูงขึ้นได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสีของสารละลายตัวอย่าง

แสงอินฟราเรด (IR) เป็นต้น สามารถทำให้โมเลกุลสั่นได้

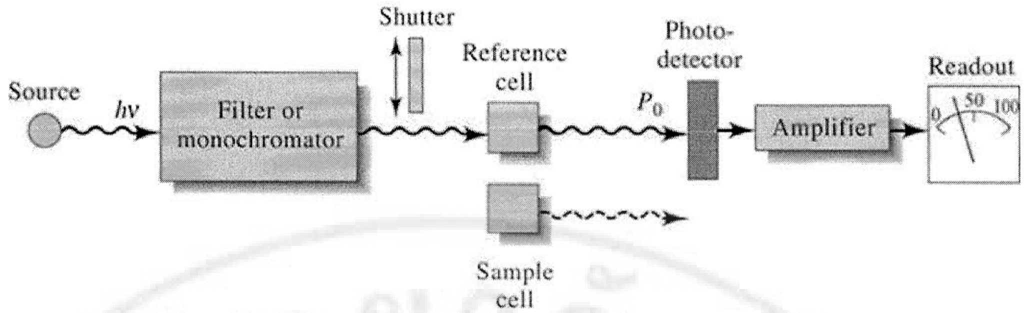
แสงที่สะท้อนออกจากสารตัวอย่างแสดงกระบวนการดังภาพที่ 22 เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบกับกระจกสะท้อนแสง แสงจะสะท้อนไปยังฟิล์มตัวอย่าง แล้วจะสะท้อนกลับสู่กระจกสะท้อนแสงอีกฝั่ง เพื่อสะท้อนแสงที่สะท้อนออกมาจากฟิล์ม ไปยังตัวรับแสง (Detector) เพื่อประมวลผล ซึ่งแสงที่สะท้อนออกจากฟิล์ม หรือที่ตัวรับแสงวัดได้จะเป็นค่า Reflectance ส่วนแสงที่ทะลุฟิล์มออกไปจะเป็นค่า Transmittance และแสงที่ดูดกลืนไปโดยฟิล์มตัวอย่างจะวัดเป็นค่า Absorption ได้



ภาพที่ 22 ส่วนประกอบ และกระบวนการวัดร้อยละการสะท้อนของฟิล์ม

ที่มา: กฤษฎา (2555)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Spectrophotometer แบบลำแสงเดียว โดยการเดินทางของแสงแบบรังสีเดี่ยวในสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถวัดค่าในช่วง UV และ visible ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงจะเป็นหลอดทังสเตนหรือว่าหลอดไฮโดรเจนเส้นทางการเดินของรังสีมีเพียงเส้นเดียว ในการวัดแต่ละครั้งจะต้องทำการวัดเซลล์พื้นฐานก่อนทุกครั้งเพื่อปรับสเปกตรัมให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ก่อนแล้วจึงให้ลำแสงผ่านสารตัวอย่าง ก่อนการใช้เครื่องควรรอให้หลอดแหล่งกำเนิดแสงปรับตัวอย่างน้อย 10-15 นาทีจะทำ ให้รังสีที่ได้มีความเข้มอย่างสม่ำเสมอแสดงกระบวนการดังภาพที่ 23



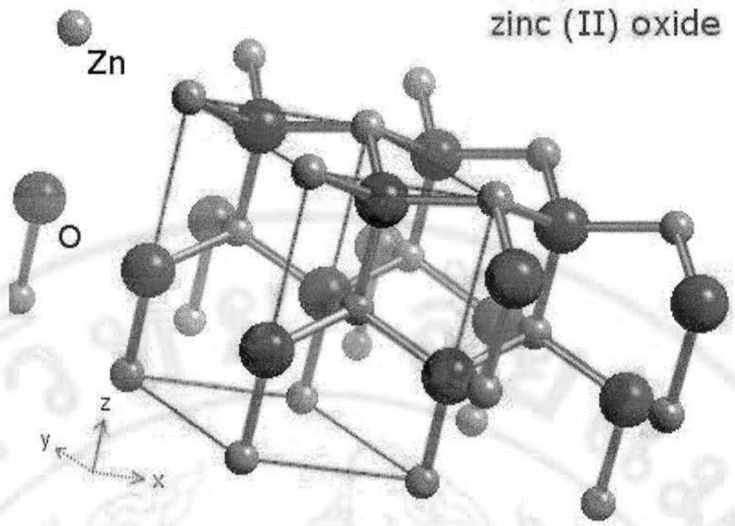
ภาพที่ 23 ส่วนประกอบและกระบวนการของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว

ที่มา: สุรัตน์ (2554)

8. สารกึ่งตัวนำโลหะซิงก์ออกไซด์ (ZnO)

สารซิงก์ออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมผลิตยาง โลชั่นกันแดด ตัวต้านทาน ฟิล์มโปร่งแสงนำไฟฟ้า เซนเซอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เป็นต้น สารซิงก์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลคือ ZnO ละลายในน้ำได้น้อย ละลายในกรดและเบสได้ ZnO เป็นสารกึ่งตัวนาในกลุ่ม II-VI ที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้าง ซึ่งมีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 3.37 eV ณ อุณหภูมิห้อง (300 K) โดยมีโครงสร้างแบบ Wurtzite hexagonal structure ดังภาพที่ 24

โดยมีค่าคงที่ของแลตทิซ a = b = 3.250 และ c = 5.205 มีค่ามวลยังผล สาหรับอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.24 m_0 และสาหรับโฮลเท่ากับ 0.59 m_0 เมื่อ m_0 คือมวลของอิเล็กตรอนอิสระในสูญญากาศ มีค่าสภาพคล่องในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (electron mobility) กรณีเป็นฟิล์ม ZnO เท่ากับ 115-155 $cm^2/V\text{-}s$ และมีค่าสภาพคล่องในการเคลื่อนที่ของโฮล เท่ากับ 12 $cm^2/V\text{-}s$ โดย ZnO มีสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 3



ภาพที่ 24 โครงสร้าง Wurtzite hexagonal ของสารกึ่งตัวนาซิงก์ออกไซด์

ที่มา: โครงการพัฒนาฐานข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (ม.ป.ป.)

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารซิงก์ออกไซด์

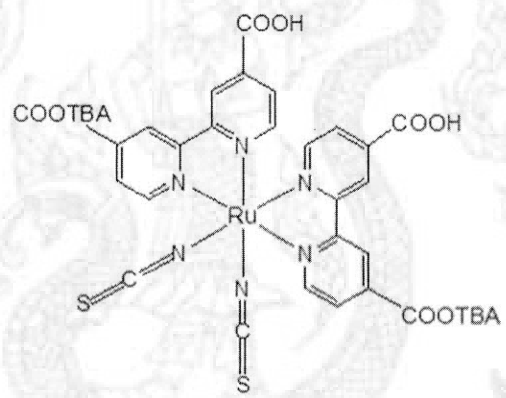
ชื่อตามระบบ IUPAC	Zinc Oxide หรือ Oxozinc
CAS number	1314-13-2
สูตรโมเลกุล	ZnO
น้ำหนักโมเลกุล	81.408 g/mol
ความหนาแน่น	5.606 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	1,975 °C
จุดเดือด	2,360 °C
ลักษณะทั่วไป	ของแข็งสีขาว
	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble)
	ลักษณะโครงสร้าง hexagonalwurtzite และ cubiczincblende

ที่มา: โครงการพัฒนาฐานข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (ม.ป.ป.)

9. สีย้อมไวแสง (Dye)

9.1 N719 Industry Standard Dye

สีย้อมไวแสงชนิด N719 Industry Standard Dye เป็นสีย้อมไวแสงที่พัฒนาให้มีขีดความสามารถที่เหนือกว่าสีย้อมไวแสงชนิด N3 Foundation Dye ทำให้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น และเป็นสีย้อมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในหมู่สีย้อมไวแสงต่างๆ มีชื่อในทางอุตสาหกรรมว่า “สีย้อมเทียม” N719 Industry Standard Dye สามารถละลายในสารละลายได้ดีกว่า N3 มีโครงสร้างโมเลกุลแสดงดังภาพที่ 25 และแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสีย้อมชนิดสีย้อมไวแสงชนิด N719 ดังตารางที่ 4 ใช้ตัวทำละลายชนิด Acetonitrile และ Tert-butanol (1:1, vol:vol).



ภาพที่ 25 โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมไวแสงชนิด N719 Industry Standard Dye

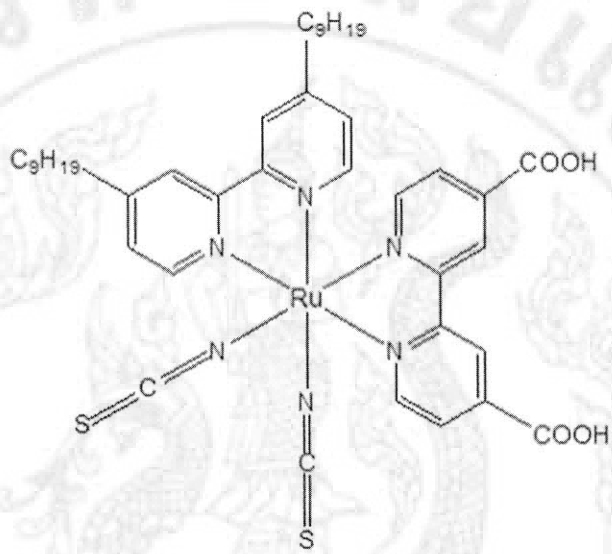
ที่มา: Nosheen et al. (2016)

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของสีย้อมไวแสงชนิด N719

Formula	$[RuL_2(NCS)_2]$: 2 TBA (L=2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid; TBA=tetra-n-butylammonium)
Molecular Weight	1188.55
Chemical Formula	$C_{58}H_{86}N_8O_8RuS_2$
Aspect	Maroon crystalline powder

9.2 Z907 Hydrophobic Dye

สีย้อมไวแสงชนิด Z907 Hydrophobic Dye เป็นสารย้อมสีที่เหมาะสมกับสารกึ่งตัวชนิด TiO_2 ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพดี ใช้ตัวทำละลายชนิด Acetonitrile และ Tert-butanol (1:1, vol:vol). แสดงโครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 26 และคุณสมบัติทางกายภาพจากผู้ผลิตดังตารางที่ 5



ภาพที่ 26 โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมไวแสงชนิด Z907 Hydrophobic Dye

ที่มา: Nosheen et al. (2016)

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพของสีย้อมไวแสงชนิด Z907

Formula	$RuLL'(NCS)_2$ (L=2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid; L'=4,4'-dinonyl-2,2'-bipyridine)
Molecular Weight	870.10
Chemical Formula	$C_{42}H_{52}N_6O_4RuS_2$
Aspect	Black crystalline powder

การตรวจเอกสาร

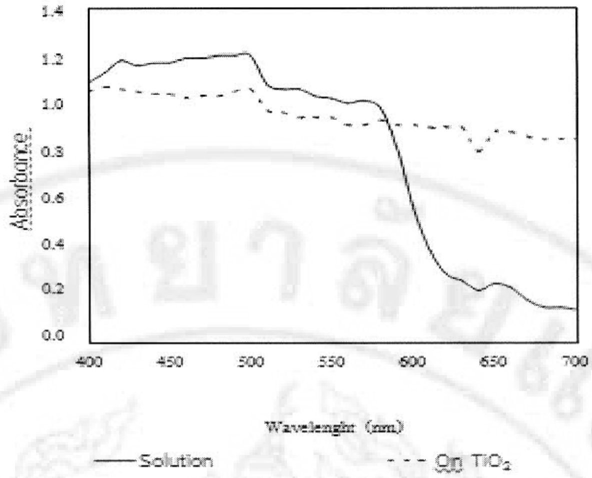
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบใหม่ที่คาดหมายว่าจะนำมาใช้แทนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำซิลิคอน เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีจุดเด่นที่เหนือกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำซิลิคอน คือ ขั้นตอน กระบวนการผลิตเซลล์ไม่ยุ่งยาก ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ แผงเซลล์มีน้ำหนักเบา และมีความยืดหยุ่นสูง ในคณะที่ข้อด้อยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง คือประสิทธิภาพของเซลล์อยู่ในระดับต่ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมผลิตจากธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพประมาณ 0.2% (A. Torchani., 2015) และเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงจากการสังเคราะห์ทางเคมีจะมีประสิทธิประมาณ 9.20% (Jong Tae Kim.,2015) แต่ในการนำไปใช้จริงยังมีปัญหาติดขัดอยู่บางประการ คือข้อมูลในการใช้งานจริงตามสภาวะแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ ยังไม่เคยมีบันทึกหรือทดสอบการทำงานจริงตามสภาพอากาศในการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดการดำเนินงานวิจัยอย่างมีประสิทธิภาพได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีการศึกษาแบ่งงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ และการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถสรุปผลการวิจัยในแนวทางต่างๆได้ดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การเพิ่มประสิทธิภาพ หรือการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนของ สีย้อมไวแสง และสารกึ่งตัวนำโลหะ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

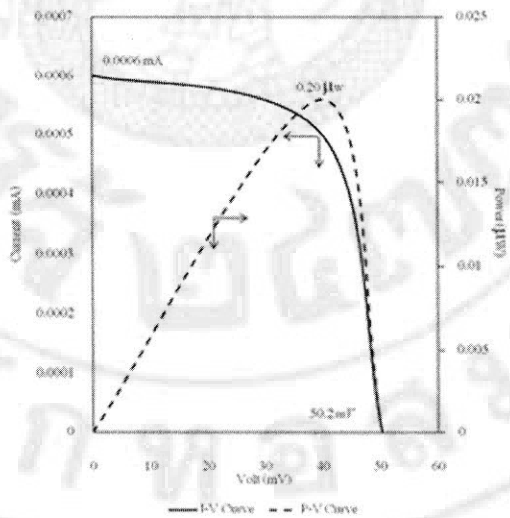
1.1 การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการปรับปรุงสีย้อมไวแสง

วรรณวิมล อารยะปราณี และ ธนบัตร มีศิลป์ (2555) ได้ทำการศึกษาในเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงใช้สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำ และโพแทสเซียมไอโอไดด์ และไอโอดีน เป็นอิเล็กโทรไลต์ และใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดกลืนแสง (ภาพที่ 27) พบว่าสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงในสารละลายเอทานอล จะดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 nm และเมื่อทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อมีการเปลี่ยนปริมาณของกะหล่ำปลีม่วงในการสารสกัดสารย้อมจาก 1-10 g พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณกะหล่ำปี ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าลดลงภาพที่ 28 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) ของแสงอาทิตย์ที่ใช้กะหล่ำปลีม่วง 3 g ในตัวท่าละลายเมทานอล 100 mL ที pH = 5 และอุณหภูมิ 30 $^{\circ}$C จากการทดสอบพบว่าจะได้ค่า V_{oc} = 50.2 mV, I_{sc} = 0.6 μA, และ P_{max} = 0.20 μW ตามลำดับ



ภาพที่ 27 ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงที่ สกัดจากกะหล่ำปลีม่วง และที่ดูดซับบน TiO_2

ที่มา: วรรณวิมล และธนบัตร (2555)



ภาพที่ 28 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีม่วง 3 g ด้วยเมทานอล 100 mL, pH = 5 และอุณหภูมิ 30 °C

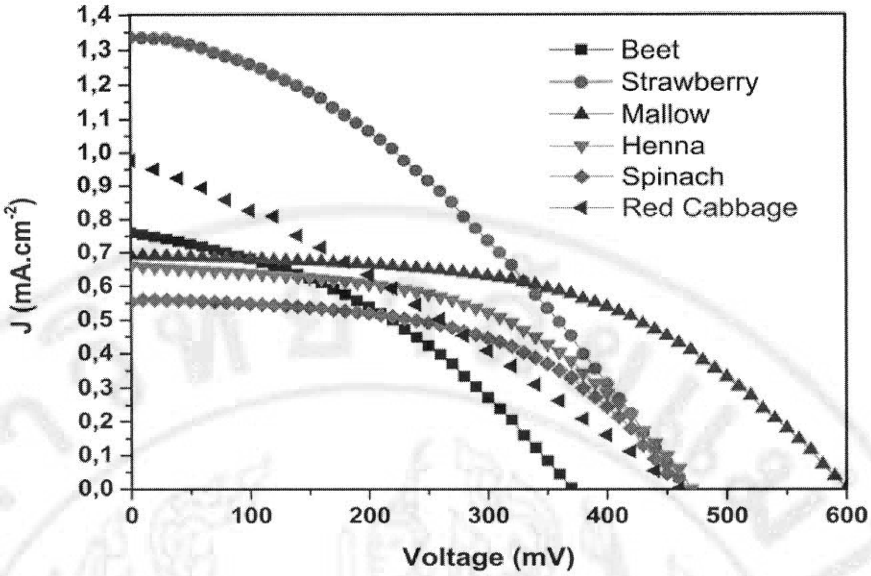
ที่มา: วรรณวิมล และธนบัตร (2555)

Torchani et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดสีย้อมจากธรรมชาติ ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยให้ความสนใจที่สารสกัดสีย้อมจากพืชในตะวันออกกลาง 2 ชนิด คือ เฮนน่า และเมลโล และเปรียบเทียบกับเซลล์ที่สร้างจากสารสกัดจากพืชอื่นๆ ที่มีการใช้งานอยู่แต่เดิมแล้ว ทดสอบเซลล์ภายใต้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากสารสกัดสีย้อมของตัวสารสกัดจากเมลโลมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ในกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้า (ภาพที่ 29) และยังพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์นี้มีค่าการเสื่อมสภาพน้อยลงด้วย เพราะให้เซลล์มีค่าฟิวแฟกเตอร์ เท่ากับ 0.55 และประสิทธิภาพเท่ากับ 0.215% และเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมไวแสงที่ผลิตได้จากพืชชนิดอื่นพบว่าสีย้อมไวแสงที่สกัดได้จากเมลโลมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากสารสกัดสีย้อมธรรมชาติต่างๆ

Natural dye	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{OC} (mV)	FF (%)	η (%)
Beet	0.76	370.00	39.01	0.109
Red Cabbage	0.97	461.00	28.98	0.130
Spinach	0.55	460.00	53.12	0.134
Strawberry	1.33	465.00	37.1	0.229
Mallow	0.69	600.50	55.13	0.215
Henna	0.66	470.00	50.54	0.157

ที่มา: Torchani et al. (2015)

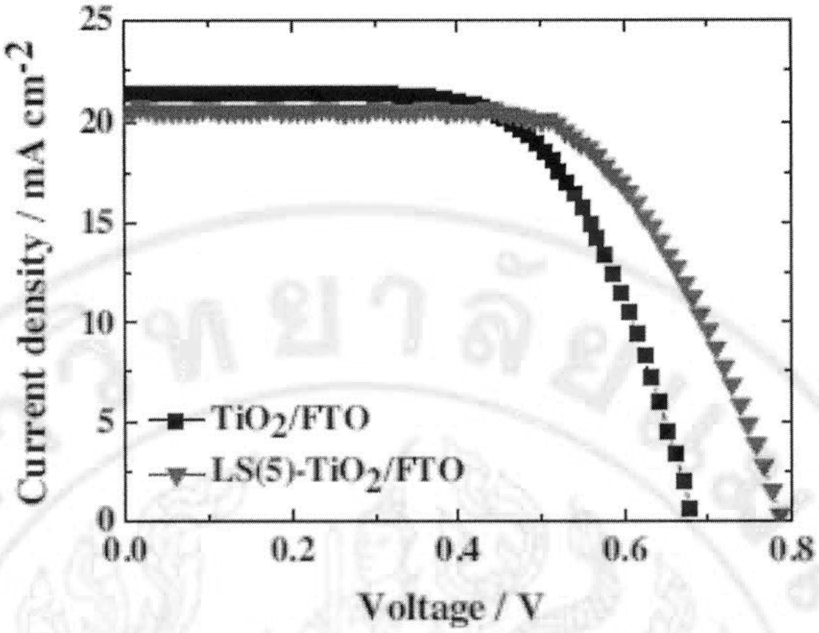


ภาพที่ 29 กราฟของ กระแสไฟฟ้า – แรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสารสกัดสีย้อมธรรมชาติต่างๆ

ที่มา: Torchani et al. (2015)

1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์ด้วยการพัฒนาโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำโละ

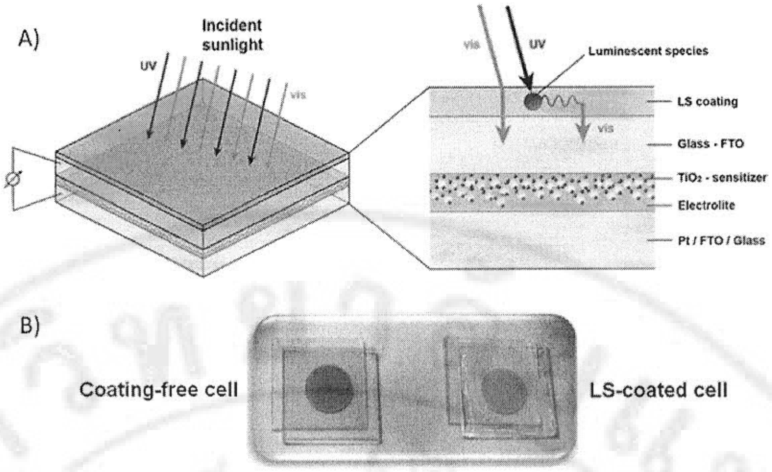
Kim et al. (2015) ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการเพิ่ม Li_2SIO_3 ที่ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง โดยการปรับปรุงผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำ TiO2 ด้วยการเคลือบลิเทียมซิลิเกตไว้กับชั้นสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ที่ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง และใช้กระจกนำไฟฟ้า FTO (LS-TiO_2/FTO) โดยทำการทดสอบเทียบกับเซลล์มาตรฐานที่ไม่มีการปรับปรุงใดๆ พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า แสดงผลดังภาพที่ 30 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ V_{oc} = 0.68 V J_{sc} = 21.40 mA/cm^2 และมีค่าฟิวแฟกเตอร์เท่ากับ 0.63 ซึ่งมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์เท่ากับ 9.20% ในขณะที่เซลล์ที่มีการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าที่ TiO_2 ที่มีการเติม LS-TiO_2/FTO เข้าไปทำให้มีค่าการแปลงพลังงานเป็น 10.58% และมีค่าคุณสมบัติต่างๆ คือ V_{oc} = 0.79 V J_{sc} = 20.22 mA/cm^2 และมีค่าฟิวแฟกเตอร์เท่ากับ 0.66 และจากภาพที่ 30 พบว่า ลิเทียมซิลิเกตที่เคลือบอยู่เป็นผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ให้เกิดการเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนของ TiO_2 จากชั้นเคลือบสีย้อมไวแสงทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจาก V_{oc}, J_{sc}



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

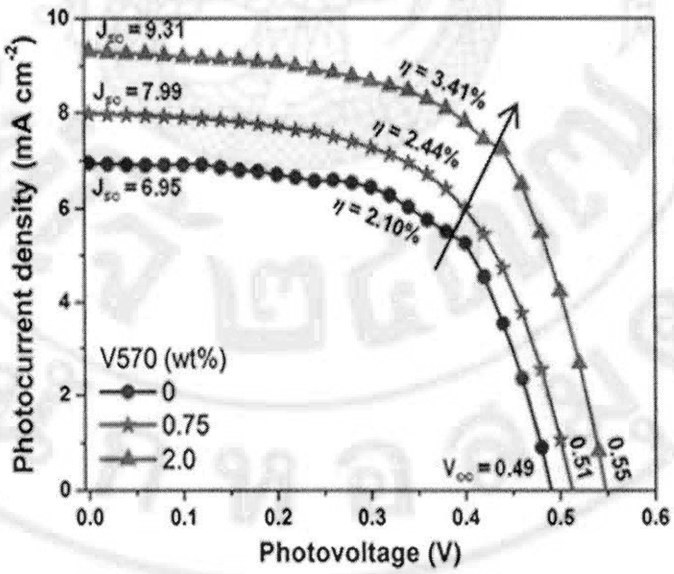
ที่มา: Kim et al. (2015)

Bella et al. (2015) ได้ทำการศึกษาในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพ และความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการเคลือบสารเรืองแสงแสดงดังภาพที่ 31 (A) และ (B) โดยผลการทดสอบพบว่าการเคลือบสารเรืองแสงบนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิมกว่า 60% ดังภาพที่ 32 เนื่องจากปกติแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนั้นจะดูดกลืนแสงได้เฉพาะแสงที่มองเห็นได้ ส่วนแสงชนิดอื่น เช่น อัลตราไวโอเลต จะไม่ถูกดูดกลืนและยังส่งผลเสียต่อเซลล์ในระยะยาวอีกด้วย แต่เมื่อมีการเคลือบชั้นของสารเคลือบเรืองแสงทำให้แสงอัลตราไวโอเลต ถูกแปลงให้กลายเป็นแสงในช่วงที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถดูดกลืนได้ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีความคงทน และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยพบว่าจากการทดสอบภาคสนามมีอายุการใช้งานเป็นเวลากว่า 2,000 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง



ภาพที่ 31 (A) แสดงหลักการทำงานของระบบเคลือบสารเรืองแสงบนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และ (B) เปรียบเทียบเซลล์ที่มีการเคลือบสาร และเซลล์ที่ไม่ได้เคลือบ

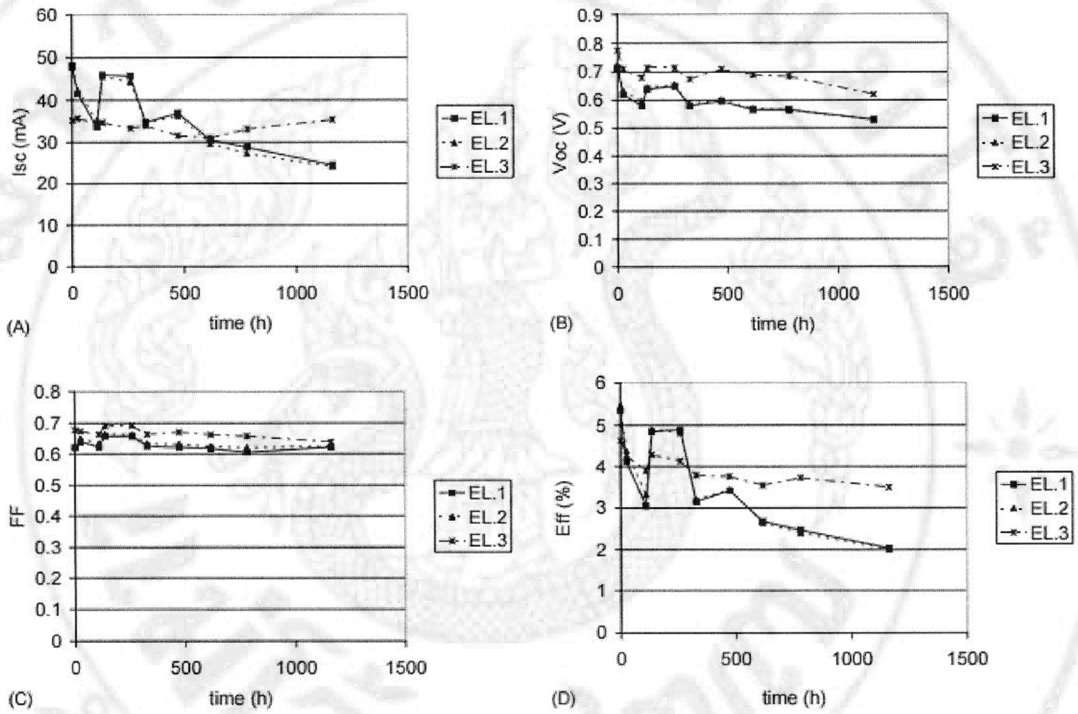
ที่มา: Bella et al. (2015)



ภาพที่ 32 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเคลือบเรืองแสง

ที่มา: Bella et al. (2015)

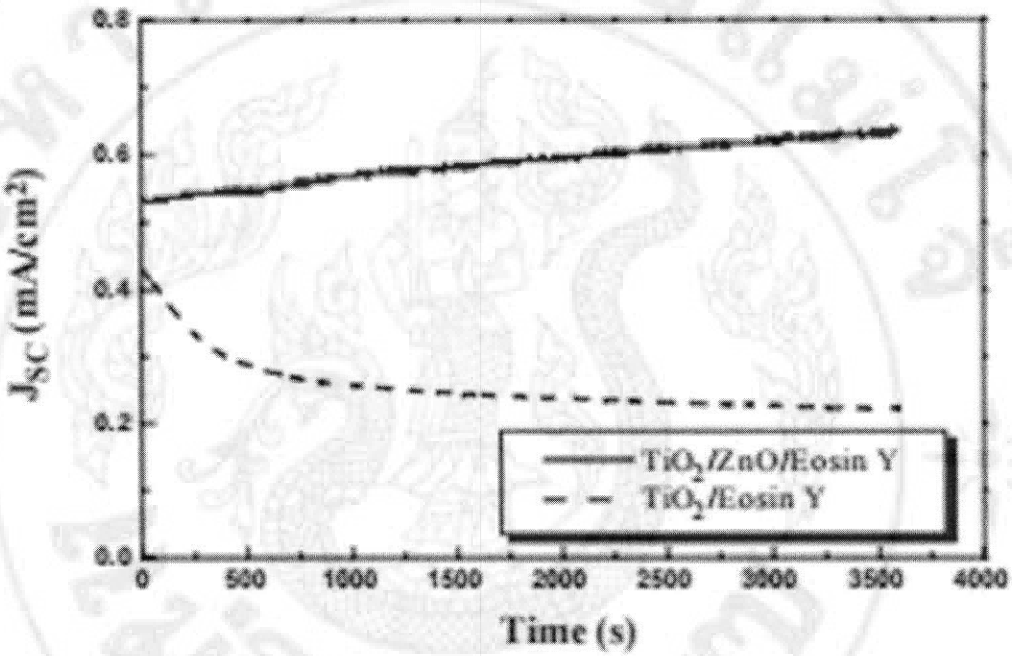
Sommeling et al. (2004) ได้ทำการศึกษาในเรื่องความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง พบว่า ผลึกขนาดเล็กในระดับนาโนของ TiO_2 และอุณหภูมิ มีผลอย่างมากต่อความทนทานของเซลล์ โดยทำการทดสอบเซลล์ที่มีส่วนผสมของสารอิเล็กโทรไลต์ ต่างกัน 3 ส่วนผสมในห้องมืดที่มีอุณหภูมิสูง โดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 85 $^{\circ}$C บวกกับการให้แสงเล็กน้อยเพื่อให้เซลล์มีการทำงาน และได้ฟื้นตัวในสภาพไร้แสง ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 33 โดยพบว่าความคงทนของเซลล์จะค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าลดลงไปด้วย



ภาพที่ 33 ข้อมูลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงที่มีส่วนผสมของสารอิเล็กโทรไลต์ 3 ส่วนผสม (A) ความสัมพันธ์ของกระแสลัดวงจรกับเวลา (B) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับเวลา (C) ค่าฟิลแฟกเตอร์กับเวลา และ (D) ประสิทธิภาพกับเวลา

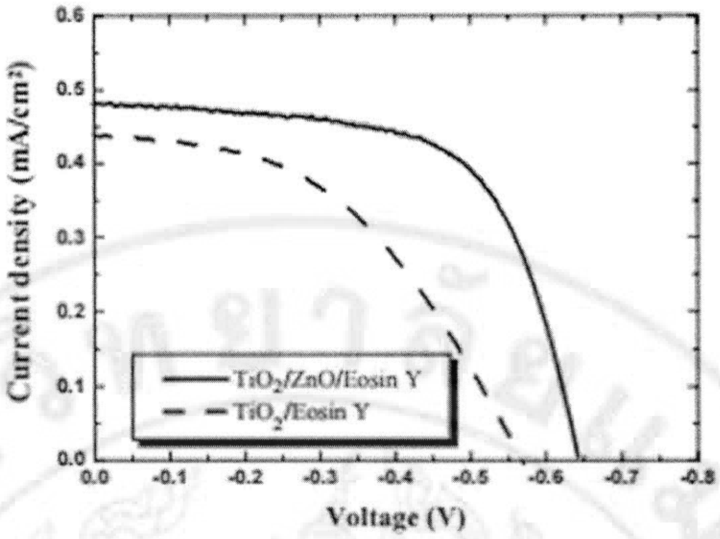
ที่มา: Sommeling et al. (2004)

Kim et al. (2003) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้ TiO_2 ZnO และ Eosin-Y เป็นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ในเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าในการใช้ฟิล์มบางของ ZnO ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ลดการสูญเสียอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาการรวม ซึ่งทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าการเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งานที่ลดลง แสดงดังภาพที่ 34 และทำให้ค่ากระแสลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด และค่าฟิวแฟกเตอร์ เพิ่มขึ้น ดังแสดงได้ในกราฟลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า (ภาพที่ 35)



ภาพที่ 34 กราฟแสดงกระแสต่อเวลา ของเซลล์เปรียบเทียบระหว่างเซลล์ที่มีการใช้ TiO2/ZnO/Eosin-Y กับเซลล์ปกติ

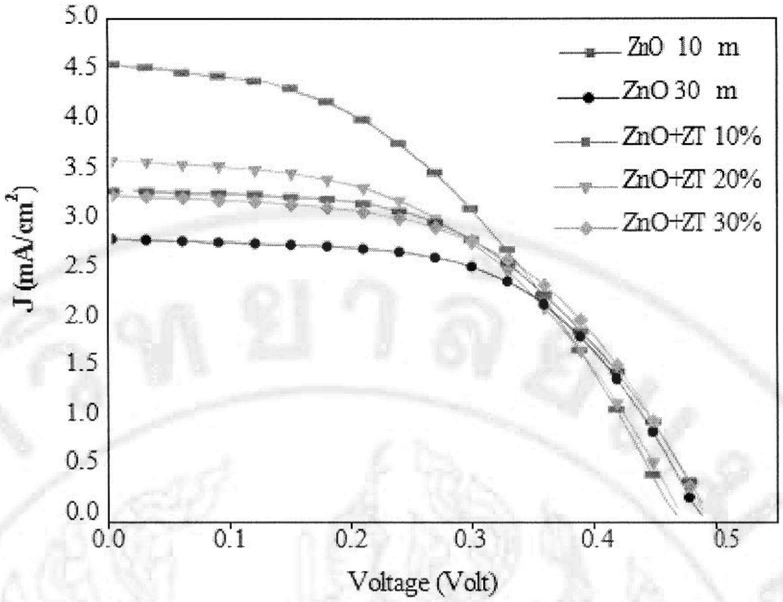
ที่มา: Kim et al. (2003)



ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ของ J-V ที่ใช้ Tio_2 ZnO เป็นสารกึ่งตัวนำ และใช้สีย้อมไวแสงชนิด Eosin-Y ในการเตรียม ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Kim et al. (2003)

วรุตม์ (2553) ได้ศึกษาการเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของโครงสร้างนาโนซิงก์ไทเทเนต สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งทำการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของสารประกอบซิงก์ไทเทเนต โดยวิธีการออกซิเดชั่น และนำไปใช้เป็นขั้วบวกของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในปริมาณ 0 10 20 และ 30 %wt รวมกับ ZnO ภาพที่ 36 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ และเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางที่ 7) จะพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ามาที่สุดเมื่อใช้ซิงค์ไทเทเนต 10 %wt เป็นส่วนประกอบที่ขั้วบวกของเซลล์โดยมีความหนาแน่นของกระแสลัดวงจรเท่ากับ 4.42 mA/cm^2 และ มีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเท่ากับ 0.47 V



ภาพที่ 36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้สารประกอบซิงก์ไทเทเนต รวมกับ ZnO เป็นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงภายใน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

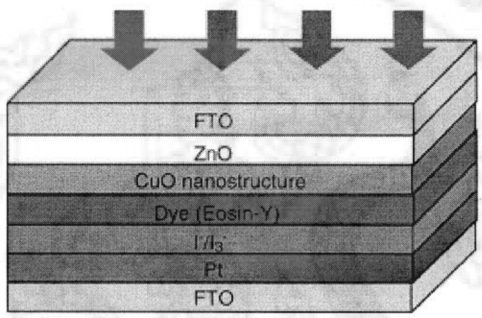
ที่มา: วรุตม์ (2553)

ตารางที่ 7 ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ ZT และ ZnO

Conditions	J_{SC} (mA cm^{-2})	V_{OC} (V)	FF (%)	η (%)
ZnO 10 μm	3.32	1.49	1.52	1.84
ZnO 30 μm	2.79	0.49	0.58	0.79
Zn 90% TiO_2 10%	4.42	0.47	0.46	0.92
Zn 80% TiO_2 20%	3.56	0.47	0.49	0.83
Zn 70% TiO_2 30%	3.37	0.49	0.53	0.87

ที่มา: วรุตม์ (2553)

Raksa et al. (2009) ได้ศึกษาเรื่องผลของ CuO ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อเคลือบชั้นฟิล์มบางของ CuO ลงบน ZnO ที่เป็นขั้วบวก เมื่อนำขั้ว ZnO/CuO ไปใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แสดงโครงสร้างดังภาพที่ 37 พบว่าขั้วที่ประกอบด้วย ZnO/ฟิล์มบางของ CuO ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงที่สุด เมื่อเทียบกับเซลล์มาตราฐาน ZnO แสดงดังภาพที่ 38 โดยค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร จาก 1.4 mA/cm^2 เป็น 5.10 mA/cm^2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มจาก 0.43% เป็น 0.92% ดังตารางที่ 8



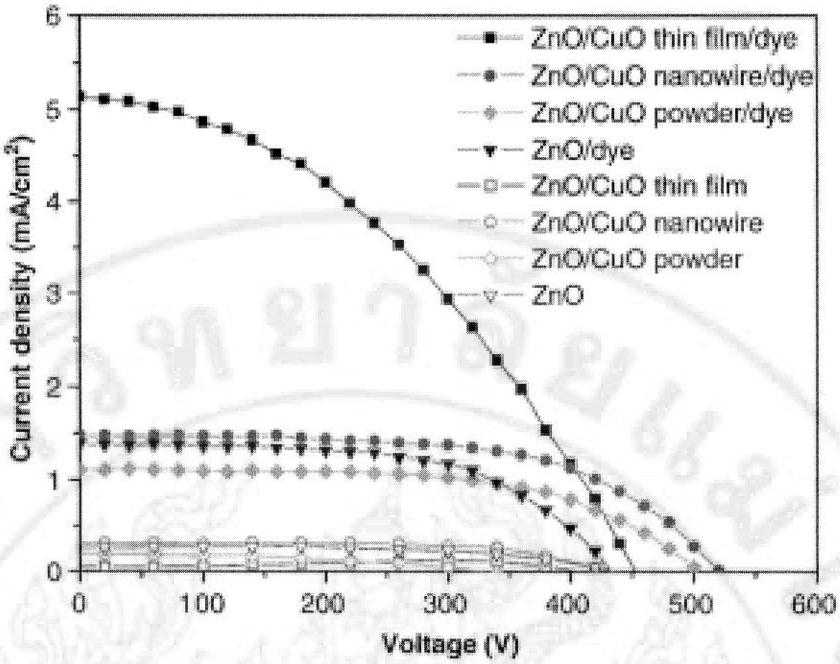
ภาพที่ 37 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เคลือบชั้นของ CuO ที่ขั้วบวกของเซลล์

ที่มา: Raksa et al. (2009)

ตารางที่ 8 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ZnO ที่เคลือบ CuO

Type of photo electrode	V_{OC} (V) (mV)	J_{SC} (mA cm^{-2}) (mA cm^{-2})	FF (%)	η (%) (%)
ZnO/CuO thin film	0.45	5.1	0.4	0.92
ZnO/CuO nanowire	0.52	1.49	0.59	0.46
ZnO/CuO powder	0.5	1.11	0.61	1.33
ZnO	0.43	1.4	0.62	0.43

ที่มา: Raksa et al. (2009)



ภาพที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ZnO ที่เคลือบ CuO

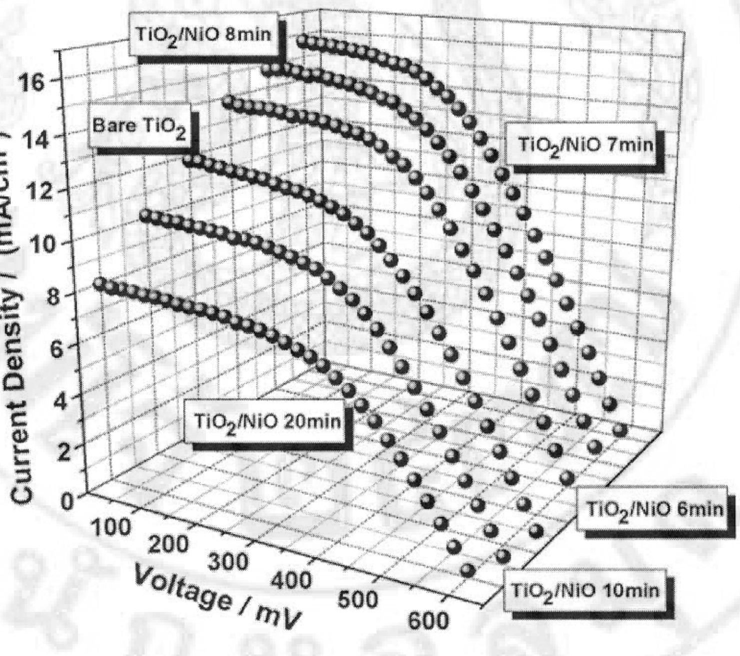
ที่มา: Raksa et al. (2009)

Li et al. (2010) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยการเคลือบชั้นของ NiO ที่ขั้ว TiO_2 เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแสอิเล็กตรอนเข้าไปในเซลล์ โดยทำการเคลือบ NiO ด้วยเวลาที่ต่างกันคือ 6 7 8 9 10 และ 20 นาที ให้มีความหนาของชั้น NiO ที่ต่างกัน และเมื่อนำขั้วที่มีการเคลือบไปใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ และวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์และสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะได้ดังภาพที่ 39 จากกราฟจะพบว่าที่เวลา 7 นาที ในการเคลือบ NiO ที่ขั้ว TiO_2 จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร สูงสุดโดยเพิ่มจาก 11.80 mA/cm^2 เป็น 15.69 mA/cm^2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น โดยเพิ่มจาก 3.21% เป็น 4.16% ตารางที่ 9 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ทุกเซลล์ที่ทดสอบในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 9 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่เคลือบด้วย NiO

Electrode	J_{SC} (mA cm^{-2})	V_{OC} (mV)	FF (%)	η (%)
Bare TiO2	11.8	585	0.47	3.21
TiO_2/NiO 6 min	13.77	606	0.47	3.96
TiO_2/NiO 7 min	15.69	607	0.44	4.16
TiO_2/NiO 8 min	14.77	610	0.45	4.07
TiO_2/NiO 10 min	10.06	589	0.49	2.91
TiO_2/NiO 20 min	7.95	606	0.52	2.49

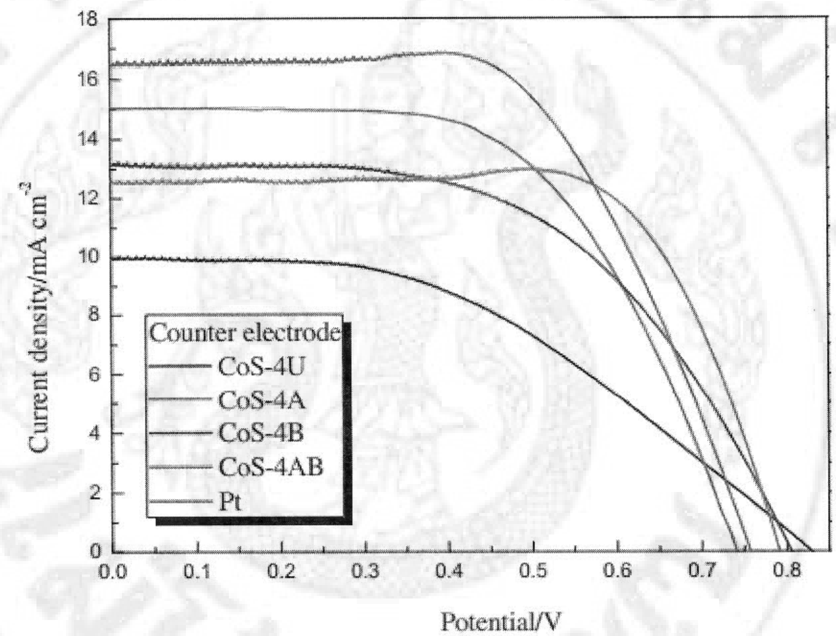
ที่มา: Li et al. (2010)



ภาพที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า
กับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดสีย้อมไวแสง ที่เคลือบด้วย NiO

ที่มา: Li et al. (2010)

Huo et al. (2015) ได้ศึกษาเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้โคบอลต์ซัลไฟด์ที่ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยชั้นฟิล์มของโคบอลต์ซัลไฟด์บนกระจกนำไฟฟ้า FTO แล้วทดสอบเปรียบเทียบกับเซลล์มาตราฐานที่ใช้ Pt และใช้สารอิเล็กโตรไลต์ I_3^- ทำการทดสอบที่ความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 100 mW/cm^2 AM 1.5 พบว่าโครงสร้างขั้วลบ CoS-4AB มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเท่ากับ 7.72 % ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างของขั้วลบอื่นๆ แสดงได้ในตารางที่ 10 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ที่มา: Huo et al. (2015)

ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้ CoS เป็นขั้วลบของเซลล์

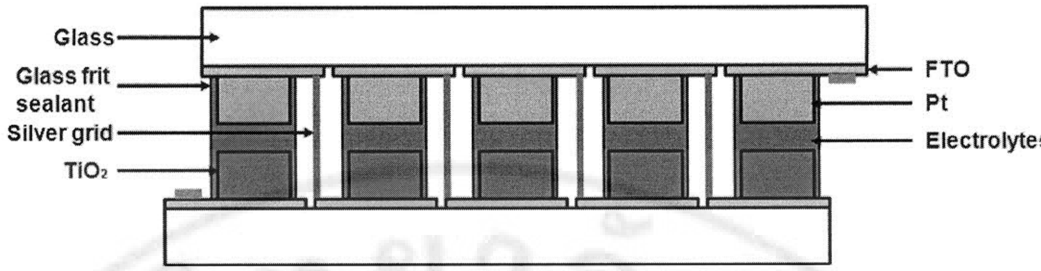
Counter electrode	V_{OC} (mV)	J_{SC} (mA/cm^2)	FF (%)	η (%)
CoS-4U	0.83	9.94	0.445	3.67
CoS-4A	0.741	15.03	0.588	6.55
CoS-4B	0.806	13.16	0.546	5.79
COS-4AB	0.757	16.5	0.618	7.72
Pt	0.792	12.63	0.718	7.18

ที่มา: Huo et al. (2015)

2. การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการทำงานจริง

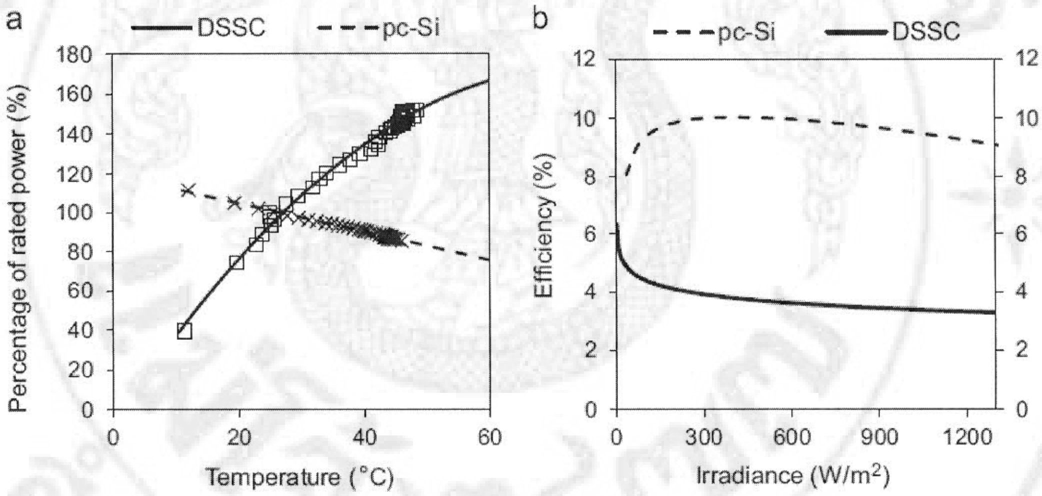
การศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารกึ่งตัวนำซิลิคอนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงยังไม่เป็นที่แพร่หลาย สามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

Asghar et al. (2014) ได้ทำการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาพการทำงานจริง และความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เมืองอาบูดาบี ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ โดยทำการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดผลึกรวม เป็นเวลา 6 เดือน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการทดสอบใช้สารกึ่งตัวนำชนิด TiO_2 เคลือบไว้กับกระจกนำไฟฟ้าชนิด FTO ด้วยเทคนิคการสกรีน ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์เตรียมด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน โดยใช้สารละลาย H_2PtCl_6 ที่ใช้ตัวทำละลายชนิด ไอโซโพพานอล เผาที่อุณหภูมิ 450 $^{\circ}$C เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะอยู่ในรูปของ Z – connected cell ที่เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก แสดงโครงสร้างของเซลล์ดังรูป ใช้ฟิล์มกระจกเป็นกรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในใช้สารประกอบเงิน เป็นกำแพงกันระหว่างเซลล์ด้วยการสกรีนลงบนแผ่นรองรับกระจกนำไฟฟ้าใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ใช้เปรียบเทียบกัน 2 แบบ คือ 3-methoxy propionitrile (MPN) และ Ionic liquid provided by TG energy ดังภาพที่ 41 ผลที่ได้คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า Pc - Si เมื่อค่าความเข้มแสงต่ำ แต่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นดังภาพที่ 42



ภาพที่ 41 โครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ที่ใช้ในการทดสอบ

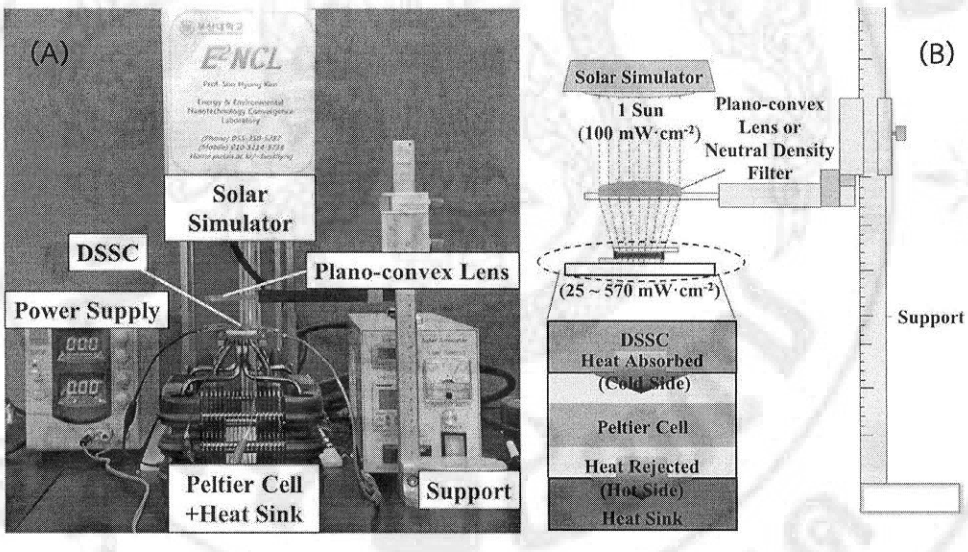
ที่มา: Asghar et al. (2014)



ภาพที่ 42 a) กราฟของปริมาณร้อยละการผลิตพลังงานเมื่ออุณหภูมิ
ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น b) กราฟของค่าประสิทธิภาพ
ต่อการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์
ของ DSSCs และ Pc – Si

ที่มา: Asghar et al. (2014)

Kim et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลต่างๆที่เกิดขึ้นจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สารกึ่งตัวนำชนิด TiO_2 ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 ใช้เวลาในการย้อมสีเซลล์ 24 ชั่วโมง ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ Iodide – based liquid electrolyte ทดสอบด้วยอุณหภูมิการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันจาก -4 $^{\circ}C$ - 60 $^{\circ}C$ ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ที่ 1 Sun ค่า AM 1.5 และความเข้มแสง 100 mW/cm^2 และใช้เลนส์แปลงแสง Plano – convex Lens ควบคุมอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วย Peltier cell ดังภาพที่ 43 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อพื้นที่ และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 11 และภาพที่ 44 แล้วทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยเครื่อง Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)



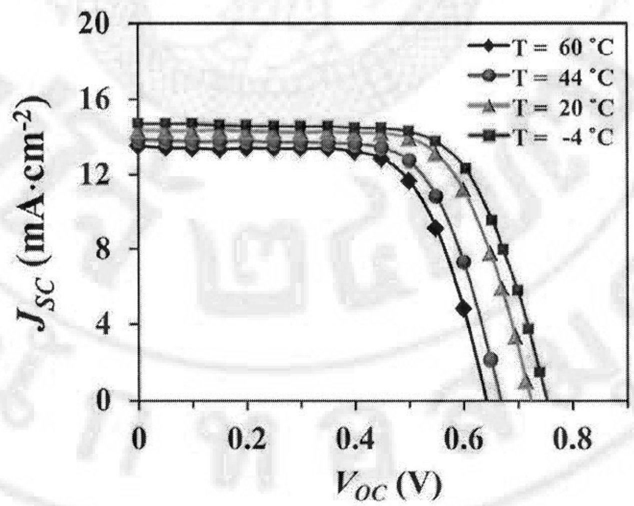
ภาพที่ 43 (A) ภาพถ่าย (B) แผนผังการตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ที่มา: Kim et al. (2015)

ตารางที่ 11 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดสอบ DSSCs ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์และมีเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

Temperature (^{o}C)	J_{SC} (mA cm^{-2})	V_{OC} (V)	FF	PCE (%)
-4	14.78	0.75	0.66	7.25
4	14.72	0.74	0.66	7.21
12	14.67	0.73	0.66	7.07
20	14.47	0.72	0.66	6.91
28	14.36	0.71	0.66	6.71
36	14.17	0.69	0.66	6.48
44	13.92	0.67	0.66	6.09
52	13.69	0.65	0.66	5.87
60	13.56	0.64	0.56	5.67

ที่มา: Kim et al. (2015)



ภาพที่ 44 กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแส และแรงดัน
ที่ทำการทดสอบโดยควบคุมอุณหภูมิ ในการทำงาน
ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ที่มา: Kim et al. (2015)

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

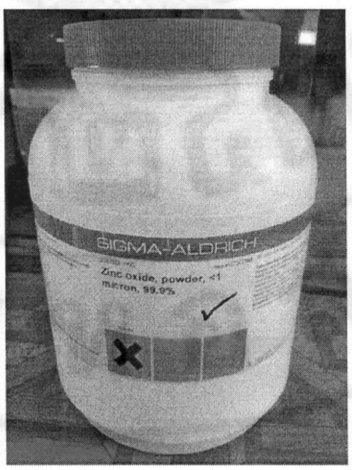
ในการดำเนินงานวิจัย ได้มีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวัดผล และติดตามผลข้อมูลของงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นอุปกรณ์ตามขอบเขตงานวิจัย คือ การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.1 สารเคมี

1.1.1 Zinc oxide powder

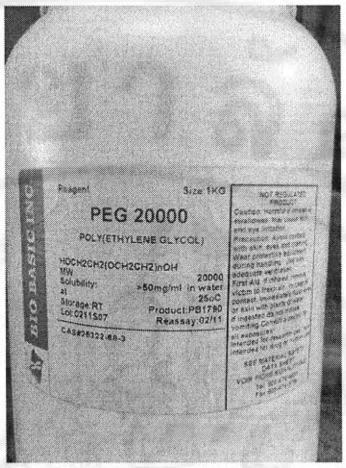
Zinc oxide powder ใช้สารที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% ในการเตรียมสารละลาย ZnO (l) เพื่อใช้เตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว้แสง ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ผง ZnO ซื้อจาก Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company แสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 Zinc oxide powder ความบริสุทธิ์ 99.9%

1.1.2 PEG 20000 (Poly ethylene Glycol 20000)

Poly Ethylene Glycol 20000 ใช้เป็นตัวประสานในการเตรียมสารละลายสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ซื้อจาก Bio Basic Inc. Company แสดงบรรจุภัณฑ์ของสารดัง ภาพที่ 46



ภาพที่ 46 Poly ethylene Glycol 20000

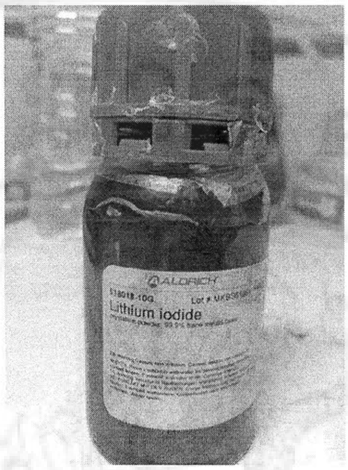
1.1.3 Iodine

สาร Iodine (I_2) ความบริสุทธิ์ 99.8% .ใช้ในการเตรียมสารละลายอิเล็กโตรไลต์ซื้อจาก Asia Pacific Specialty Chemical Limited ดังภาพที่ 47

ภาพที่ 47 Iodine (I_2) ความบริสุทธิ์ 99.8%

1.1.4 Lithium iodide anhydrous (LiI)

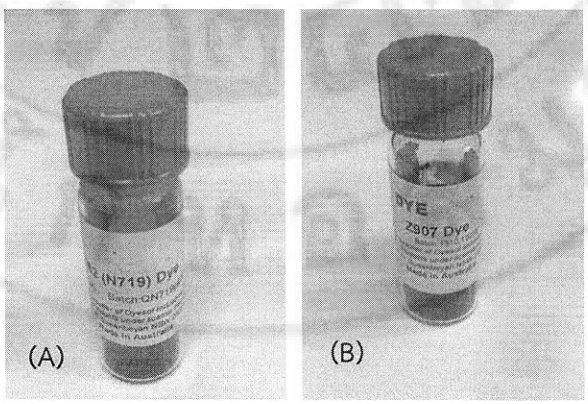
สารลิเธียมไอโอไดด์ (Lithium iodide anhydrous) ใช้ในการเตรียมสารลายลายอิเล็กโตรไลต์ ซื้อจาก Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company ดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 Lithium iodide anhydrous (LiI)

1.1.5 สีย้อมไวแสง (Dye)

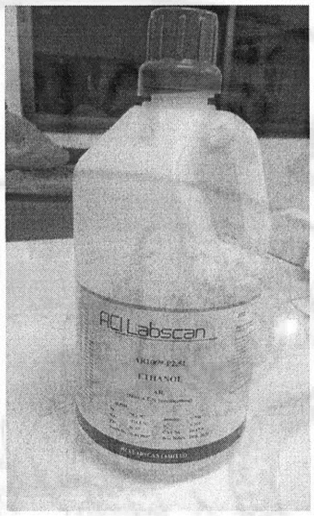
สีย้อมไวแสงที่ใช้งานงานวิจัยครั้งนี้จะใช้สีย้อมไวแสงจำนวน 2 ชนิด คือ สีย้อมไวแสงชนิด N719 (Industry Standard Dye) ดังภาพที่ 49 (ก) และสีย้อมไวแสงชนิด Z907 (Hydrophobic Dye) ดังภาพที่ 49 (ก) ซื้อจาก Dyesol Company limited



ภาพที่ 49 สีย้อมไวแสง (ก) N719 (Industry Standard Dye)
(ข) Z907 (Hydrophobic Dye)

1.1.6 เอทานอล (Ethanol)

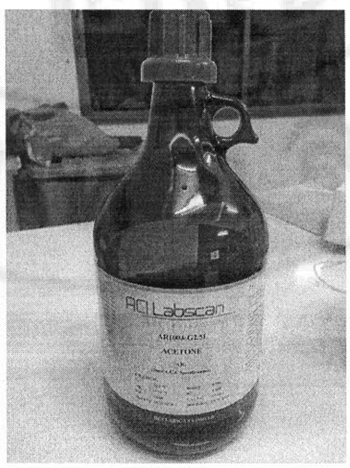
เอทานอลนำมาใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 50 ผลิตโดย RCI Labscan Limited จัดจำหน่ายโดย บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด



ภาพที่ 50 เอทานอล

1.1.7 อะซิโตน (Acetone)

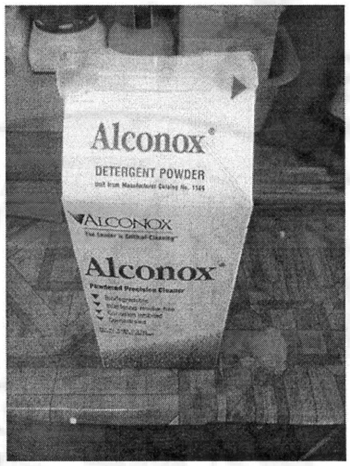
อะซิโตน นำมาใช้ในการทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้าก่อนนำมาเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ผลิตโดย RCI Labscan Limited จัดจำหน่ายโดย บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 อะซิโตน

1.1.8 สารทำความสะอาด Alconox

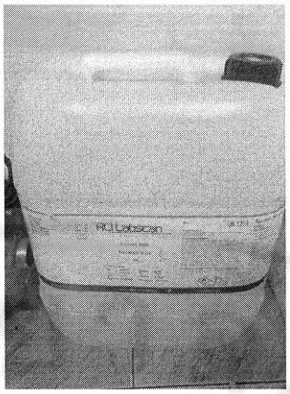
สารทำความสะอาด Alconox เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับทำความสะอาด ซึ่งจะนำใช้ในการล้างทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้าในลำดับแรก สารละลาย Alconox เตรียมขึ้นจาก Alconox ดังภาพที่ 52 ซื้อมาจาก Union Science Co.,Ltd.



ภาพที่ 52 ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด Alconox

1.1.9 ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)

ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) หรือ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) หรือ 2-โพรพานอล (2-Propanol) หรือโพรพาน-2-ออล (Propan-2-ol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในทางการแพทย์ มักใช้ผสมกับอะซีโทนหรือน้ำกลั่นโดยให้แอลกอฮอล์มีปริมาณ 70% โดยปริมาตร เป็นของเหลวใสไม่มีสี กลิ่นรุนแรง และเป็นไอโซเมอร์โครงสร้างกับ1-โพรพานอล จะต่างกันตรงที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ต่อที่คาร์บอนตัวที่สองแทนที่จะเป็นปลาย ในงานวิจัยนี้ใช้ในการทำความสะอาดกระจกนำไฟฟ้าก่อนนำมาเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ผลิตโดย RCI Labscan Limited จัดจำหน่ายโดย บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด แสดงดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 ไอโซโพรพานอล

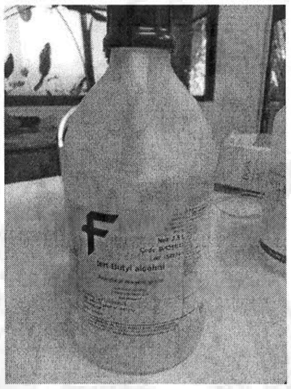
1.1.10 อะซีโตไนไตร (Acetonitrile)

สารอะซีโตไนไตรล์เป็นสารทำละลายอินทรีย์ในกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นเส้นตรง (Straight Chain) อันไดแก่ อะซีโตไนไตรล์ เฮกเซน (hexane) นอร์มอลเฮกเซน (n – Hexane) เป็นต้น อะซีโตไนไตรล์ เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น ผลิตสารไฮโดรคาร์บอน ผลิตยาวิตามินบีเครื่องสำอาง น้ำมันหอมระเหย สารสกัดไขมันจากปลา สารสกัดไขมันจากสัตว์อื่นๆ และธัญพืช จารบี ขี้ผึ้ง นอกจากนั้นยังเป็นสาร แอ็นตีออกซิเดนท์ โดยทั่วไปอะซีโตไนไตรล์มีคุณสมบัติเป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นคลายอีเทอร์ ระเหยง่ายและติดไฟง่าย ผลิตโดย RCI Labscan Limited จัดจำหน่ายโดย บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นตัวทำละลายสีย้อมไวแสงร่วมกับเติร์ดบิวทานอล แสดงดังภาพที่ 54

ภาพที่ 54 อะซีโตไนไตร

1.1.11 เติร์ดบิวทานอล (tert-butanol)

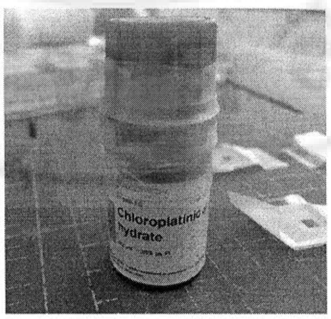
ชื่อเคมีในระบบ IUPAC คือ 2-Methyl-2-propanol ชื่อเคมีทั่วไปคือ Tert-Butyl alcohol (T-Butanol) สูตรโมเลกุล $C_4H_{10}O$ การใช้ประโยชน์ นิยมใช้ในการทำแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง ตัวทำลายในการผลิตยา เป็นสาร dehydration agent ใช้ในการทำน้ำหอม เป็นสารตัวกลางเคมี ทำสี ใช้ในการเตรียมเมทิลเมทาไลเลต ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นตัวทำละลายสีย้อมไวแสงร่วมกับอะซีโตไนไตรล์ ผลิตโดย Fisher Scientific UK นำเข้าและจัดจำหน่ายโดย บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด ดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 เติร์ดบิวทานอล

1.1.12 Chloroplatinic acid hydrate

ใช้ในการเตรียมสารละลายแพลทินัม (Pt) ในการเตรียมฟิล์มสารเร่งปฏิกิริยา หรือตัวนำไฟฟ้าโลหะ ผลิต และจัดจำหน่ายโดย Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company ดังภาพที่ 56

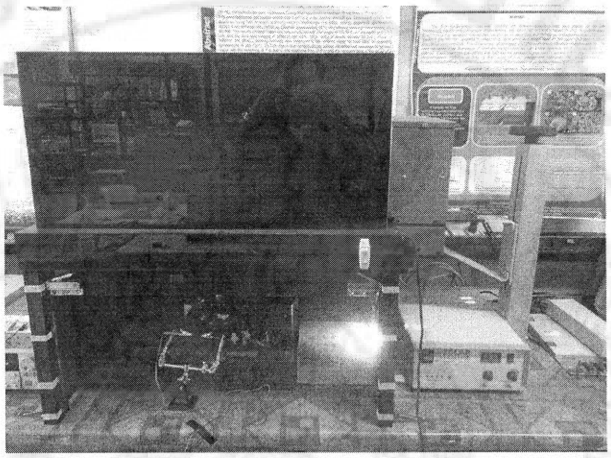


ภาพที่ 56 Chloroplatinic acid hydrate

1.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.2.1 ชุดทดสอบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า

เครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการจำลองแสงที่มีความเข้มแสง 1000 W/m^2 ใช้ Solar light meter รุ่น XPS 400 AM 1.5 Model 16S-300-002 ดังภาพที่ 57 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า ค่ากระแส (I) และแรงดัน (V) ใช้ Keithley 2611 system sourcemeter รุ่น 2611A/2612A ดังภาพที่ 58



ภาพที่ 57 Solar light meter รุ่น XPS 400

ภาพที่ 58 Keithley 2611 system sourcemeter รุ่น 2611A/2612A

1.2.2 อัลตราโซนิก

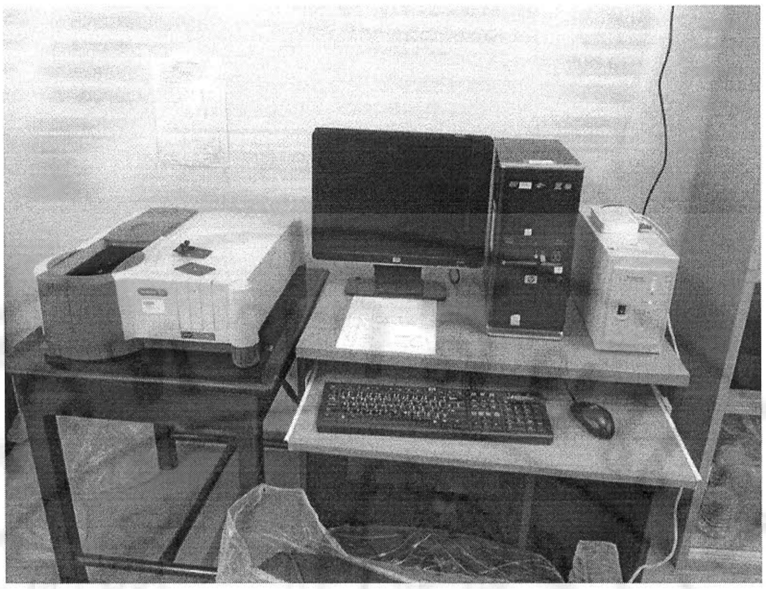
คลื่นเสียงอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงมากกว่า 20 kHz จนถึง 106 kHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หูของคนปกติไม่สามารถได้ยิน เพราะหูของคนปกติได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 16 – 16,000 (Hz) ความถี่ที่สูงนี้ก่อให้เกิดผลทางเคมี ผลทางชีววิทยา และผลทางฟิสิกส์ ในรูปแบบต่างๆ

คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความแรงมากจะทำให้เกิดฟองอากาศ เกิดความดันสูง และเกิดความร้อนเฉพาะที่ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา เช่น เกิดการทำลายเอนไซม์ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น สำหรับผลทางเคมีพบว่าทำให้เกิดการออกซิเดชัน การสลายตัว การเปล่งแสง การเกิดผลึก ส่วนผลทางฟิสิกส์ มักเป็นผลรวมทางตรงหรือทางอ้อมที่เกิดจากผลทางเคมีและผลทางชีววิทยาดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ การเกิดฟองอากาศ เกิดความร้อน เกิดความดันและเกิดหมอก (fog) เป็นต้น ดังนั้นในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ส่วนขั้นตอนของการเตรียมองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จะต้องมีการทำความสะอาดแผ่นรองรับเซลล์ ที่เป็นกระจกเคลือบสาร FTO โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก ดังภาพที่ 59

ภาพที่ 59 เครื่องอัลตราโซนิก

1.2.3 เครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy)

อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี.ใช้สำหรับทดสอบวัดสมบัติการดูดกลืน และการส่องผ่านของแสงสำหรับสีย้อมไวแสงที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ (ส่งทดสอบกับห้องปฏิบัติการ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) แสดงภาพอุปกรณ์ดังภาพที่ 60



ภาพที่ 60 เครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy)

1.2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใช้เป็นเครื่องชั่ง OHAUS รุ่น : PA214 สามารถชั่งด้วยน้ำหนักสูงสุด 210 g ความละเอียด 0.0001 g ใช้จานชั่งเป็นสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 mm หน้าจอแสดงผลเป็นตัวเลข LCD สีดำ สามารถชั่งแบบเทียบเปอร์เซ็นต์ได้ (Percent mode) สามารถอ่านค่าน้ำหนักจากการแขวนได้ (ด้านล่างเครื่องมีตะขอสำหรับเกี่ยว) พร้อมตู้กระจกใบใหญ่ป้องกันลมพัด พร้อมช่องต่อสาย RS232C ใช้หม้อแปลง AC Adapter แสดงดังภาพที่ 61

ภาพที่ 61 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2.5 เครื่องกวนสาร แบบให้ความร้อน (Hot Plate stirrer)

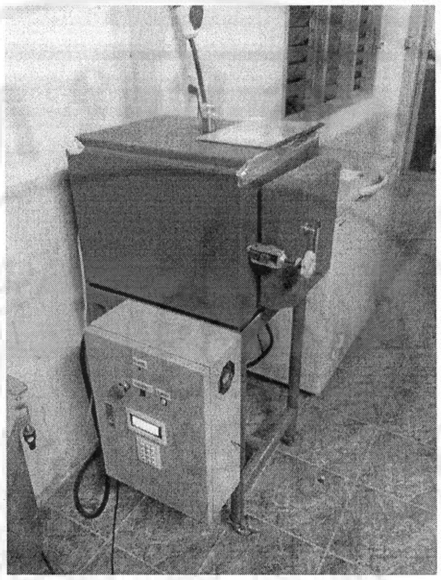
เครื่องกวนสาร แบบให้ความร้อน IKA รุ่น C-MAG HS7 ใช้สำหรับการตรียมสารละลายในการดำเนินงานวิจัย มีคุณสมบัติดังนี้ กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก พร้อมเตาให้ความร้อนควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ มีจอแสดงผลเป็นดิจิตอล ปุ่มปรับอุณหภูมิ และความเร็วรอบแยกกัน กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก ได้ปริมาตรสูงสุด 10 ลิตร ปรับความเร็วรอบด้วยปุ่มหมุน ได้ตั้งแต่ 100-1,500 rpm มีหน้าปัดบอกสเกล 1-6 ปรับอุณหภูมิด้วยปุ่มหมุน ได้ตั้งแต่ 50-500 °C มีหน้าปัดเป็นดิจิตอล (digital) ความแม่นยำของอุณหภูมิในของเหลว ±5 K แผ่นให้ความร้อนทำจากเซรามิกแก้ว ขนาด 180x180 mm^2 ซึ่งป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี สามารถใช้ ETS-D5 หรือ ETS-D6 เพื่อวัดและควบคุมอุณหภูมิในสารละลาย ระบบความปลอดภัย (Safety circuit) ตั้งค่าให้ตัดไฟ เมื่ออุณหภูมิถึง 550°C หลังจากเครื่องปิดไปแล้ว ยังมีระบบเตือนว่าแผ่นให้ความร้อนยังคงร้อน มอเตอร์ขนาด input/output 15/1.5 W เตาให้ความร้อนกินไฟขนาด 1,000 W ผลิตภัณฑ์จาก IKA ประเทศเยอรมัน แสดงดังภาพที่ 62

ภาพที่ 62 เครื่องกวนสาร แบบให้ความร้อน IKA

1.2.6 เตาเผาอุณหภูมิสูง

โครงสร้างเตาทำด้วยเหล็กแผ่น หนา 2 mm พ่นด้วยสีทนความร้อน ประตูเตาเป็นแบบเปิดออกด้านหน้า ลวดฮิทเตอร์ให้ความร้อน ทนอุณหภูมิสูงสุด 1500 °C ขนาดภายใน กว้าง 200 mm ลึก 200 mm สูง 200 mm ระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบ DIGITAL TEMP PROGRAM CONTROLLOR PROGRAM มีหลอดไฟเพื่อแสดงการทางานและสวิทช์ ปิด-เปิด การตรวจสอบอุณหภูมิใช้เทอร์โมคับเปลชนิด K ฮีทเตอร์ให้ความร้อนเป็นแบบขดลวดไฟฟ้า ชนิด super $MoSi_2$ ซึ่ง

ทนอุณหภูมิได้ 1800 $^{\circ}$C มีผนังภายในประกอบด้วยฉนวนความร้อน ชนิด Ceramic fiber board มีฉนวนรวม 3 ชั้น และความหนาของฉนวนรวม 125 mm มีระบบป้องกันไฟรั่วเมื่อไฟรั่วจะตัดไฟอัตโนมัติและมีกริ่งสัญญาณเตือน ดังภาพที่ 63

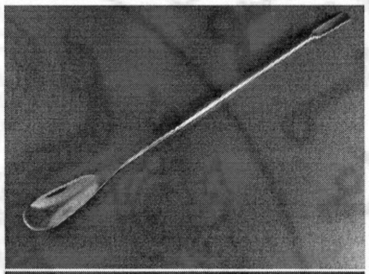
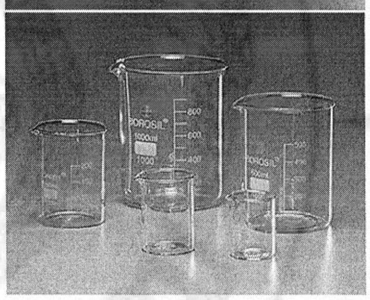
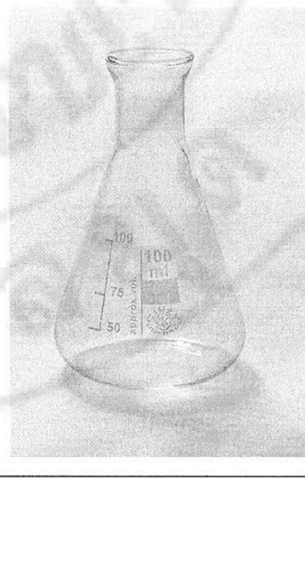


ภาพที่ 63 เตาเผาอุณหภูมิสูง

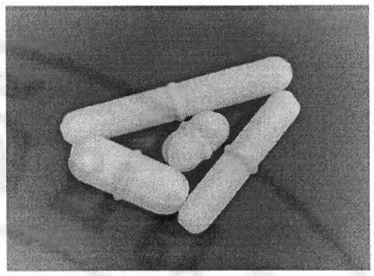
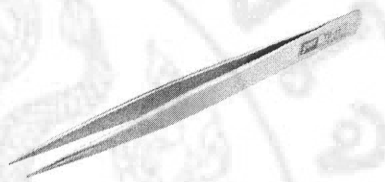
1.2.7 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการเพื่อการเตรียมสาร และสารลายต่างที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ได้มีการใช้งานอุปกรณ์เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 อุปกรณ์ และเครื่องในห้องปฏิบัติการ

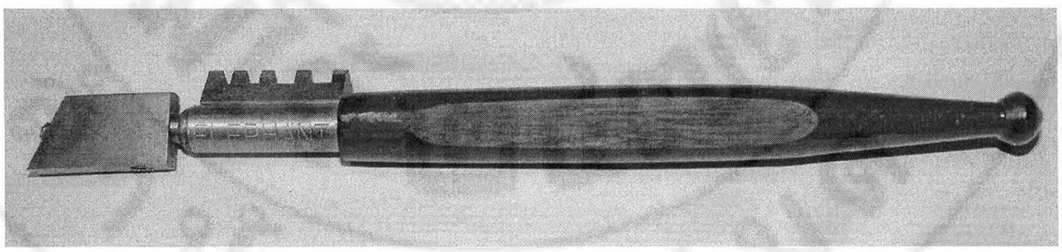
ลำดับที่	ชื่อ	รูปภาพ
1.	ช้อนตักสาร	
2.	บีกเกอร์ - 25 ml - 50 ml - 100 ml - 1000 ml	
3.	ขวดรูปชมพู่	

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ	รูปภาพ
4.	แท่งแม่เหล็กกวนสาร	
5.	ที่คีบชิ้นงาน	

1.2.8 มีดหัวเพชรตัดกระจก

มีดหัวเพชรตัดกระจกใช้ในการตัดกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบสาร FTO ใช้เป็นแผ่นรองรับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 64



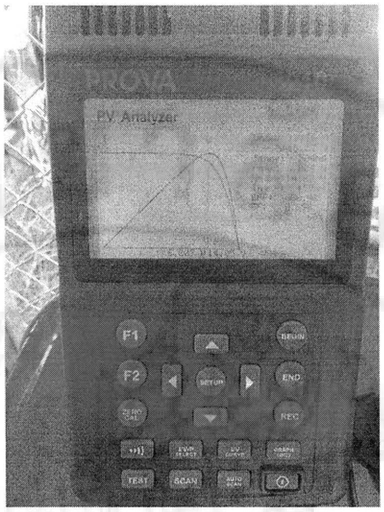
ภาพที่ 64 มีดหัวเพชรตัดกระจก

2. การทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.1 เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) จะทำโดยใช้เครื่องวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โพรวา-210 (Solar Module Analyzer PROVA-210) ซึ่งสามารถวัด

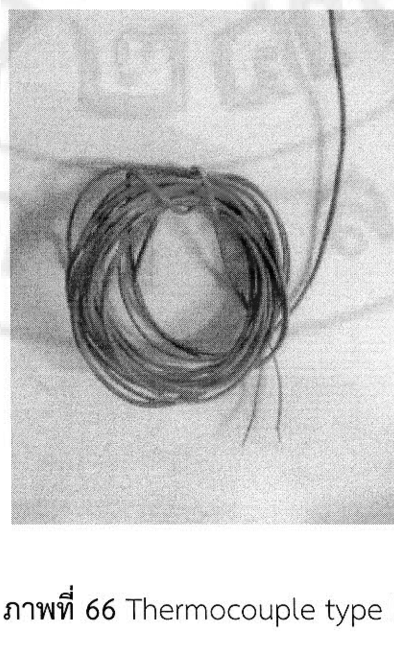
กระแสและแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 12 A และ 60 V ตามลำดับ โดยมีความละเอียดของการวัดสูงสุดเท่ากับ 0.1 mA และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากับ ±0.3 mA ดังภาพที่ 65



ภาพที่ 65 Solar Module Analyzer PROVA-210

2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิสามารถทำได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังภาพที่ 66 ต่อเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) BrainChild รุ่น VR06 PAPERLESS RECORDER แบบบันทึกข้อมูลได้ดัง โดยสามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 100 °C และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดดังภาพที่ 67

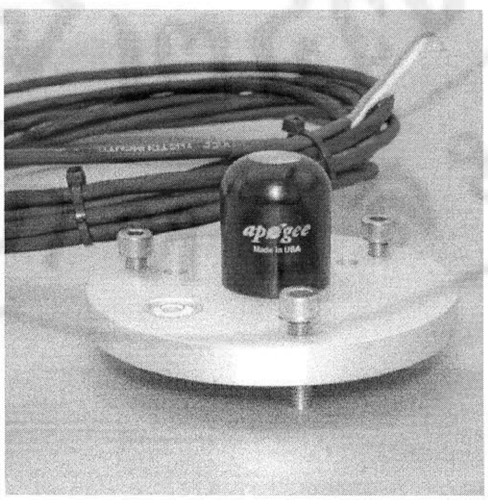


ภาพที่ 66 Thermocouple type K

ภาพที่ 67 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

2.3 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

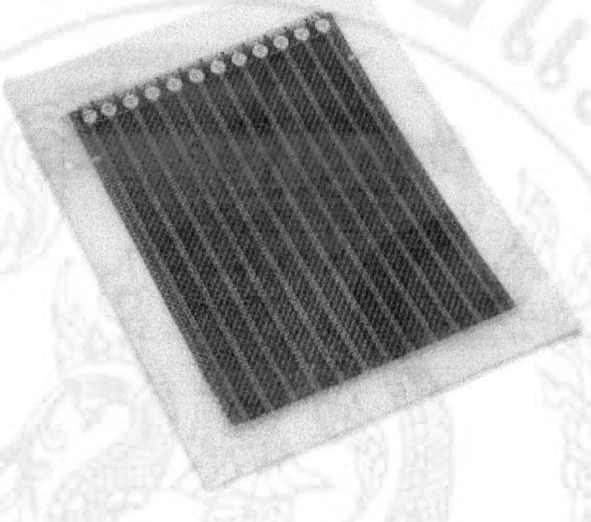
สำหรับการวัดความเข้มแสงอาทิตย์จะวัดผ่านไพรานอมิเตอร์แบบ เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิคผลิตโดย บริษัท Apogee ดังภาพที่ 68



ภาพที่ 68 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงขนาด 0.5 W ของบริษัท G24 Power Limited ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 100 mA แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 5.5 V พื้นที่รับแสง 200 × 150 mm^2 ประสิทธิภาพ 5% ทดสอบที่สภาวะมาตรฐาน 1,000 W/m^2 ดังภาพที่ 69 จำนวน 2 แผงต่ออนุกรมกัน



ภาพที่ 69 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่
จำหน่ายโดย G-Cell Power Limited

เงื่อนไขในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

การวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนา เพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เพื่อหาเงื่อนไขที่มีความเหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และการทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

1. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะทำการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยมีเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสง และการเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ในเงื่อนไขของเวลาในการแช่สีย้อมไวแสง

การแช่สีย้อมเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลาที่แตกต่างกันโดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมที่ 25 $^{\circ}$C (มาตรฐานอุณหภูมิห้อง) และโครงสร้างจำนวนชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO หนา 1 ชั้น แช่สีย้อมไวแสงในเวลาที่ต่างกัน คือ 1 2 4 6 8 10 12 24 และ 48 ชั่วโมง ประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการป้องกันการรั่วของชั้นสารอิเล็กโทรไลต์เป็น พาราฟิล์ม และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยชุดเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

1.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ในเงื่อนไขของอุณหภูมิในการการแช่สีย้อมไวแสง

เงื่อนไขนี้เป็นการทดสอบผลที่เกิดขึ้นกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากอุณหภูมิในการแช่สีย้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยมีอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงคือ 25 30 40 50 และ 60 $^{\circ}$C ใช้โครงสร้างจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ที่มีความหนา 1 ชั้น และเวลาในการแช่สีย้อมที่ดีที่สุดในการทดลอง 1.1 ประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการป้องกันการรั่วชั้นสารอิเล็กโทรไลต์เป็น พาราฟิล์ม และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I2 ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยชุดเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

1.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงในเงื่อนไขของความหนาชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำ

เป็นการทดสอบโครงสร้างของจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO โดยใช้เวลา และอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเงื่อนไขควบคุมการแช่สีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ และเปลี่ยนเงื่อนไขของโครงสร้างชั้นของ ZnO ในการย้อมสีคือ ความหนา 1 2 3 และ 4 ชั้น ตามลำดับ จากนั้นประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการซิลชั้นของสารอิเล็กโทรไลต์เป็น พาราฟิล์ม และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC) หาว่าโครงสร้างของชั้น ZnO ที่

ทำให้กราฟความสัมพันธ์ของกระแส (I) และแรงดัน (V) ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงที่สุด

2. การทดสอบการทำงานภาคสนาม

2.1 ผลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริง โดยทำการทดสอบ และติดตามผลของอุณหภูมิแพงที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการผลิตพลังงานเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 16.00 น.

2.2 ผลของความเข้มแสงอาทิตย์

ความเข้มแสงอาทิตย์ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำงานของพลังงานแสงอาทิตย์ และจะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบผลของความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีต่อการผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 16.00 น. โดยติดตั้งเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในระนาบเดียวกับแนวเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

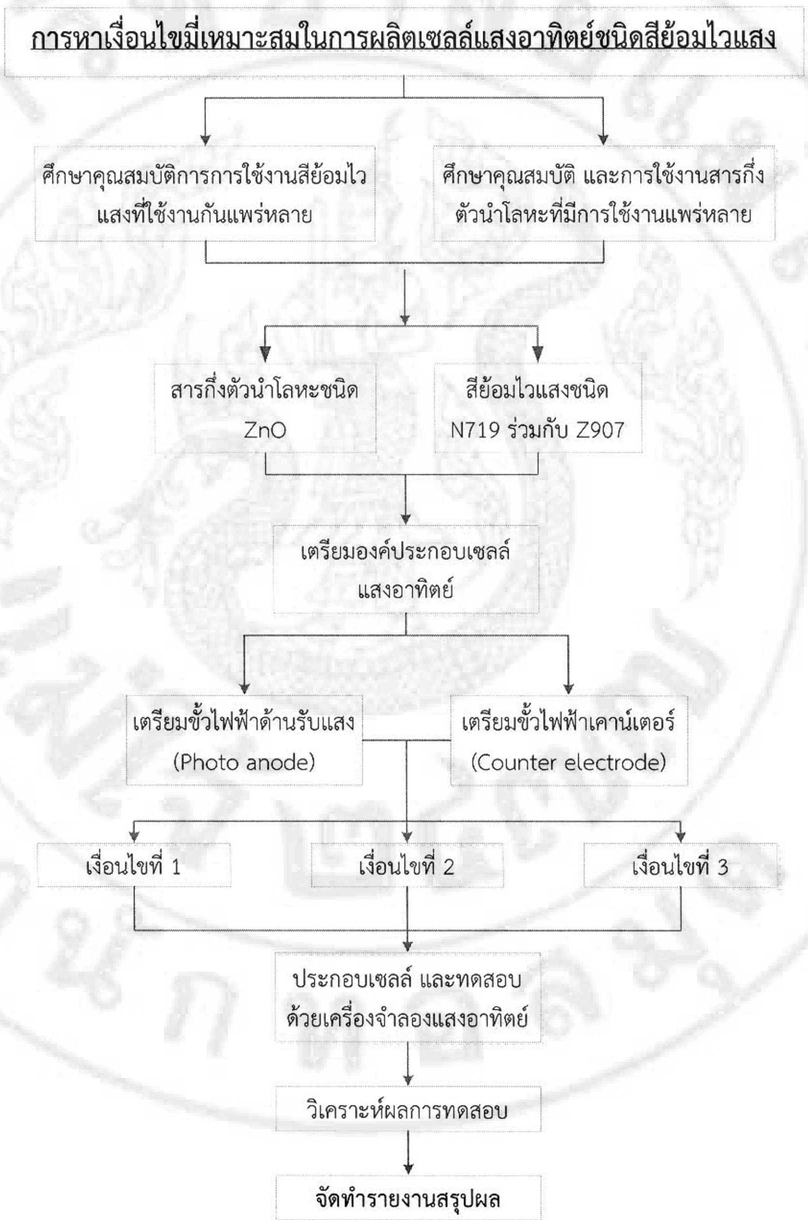
วิธีการทดลอง

การพัฒนาประสิทธิภาพและการทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบ่งช่วงการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ช่วง การดำเนินงาน คือ ช่วงที่ 1 เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ช่วงที่ 2 เป็นการทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยสรุปได้ดังภาพที่ 70 มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

ภาพที่ 70 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นกระบวนการเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ด้วยการใช้งานสีย้อมไวแสง 2 ชนิดร่วมกัน โดยทดสอบด้วยการเตรียมในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน และการเปลี่ยนโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำโลหะ แสดงขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 71 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนแสดงได้ดังนี้



ภาพที่ 71 ขั้นตอนการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพ
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.1 การศึกษาแนวทางการพัฒนา และเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้อนุภาคนาโนของสารกึ่งตัวนำเป็นขั้วรับแสงนั้น เมื่ออิเล็กตรอนได้รับการกระตุ้นจากแสงจะวิ่งไปยังอนุภาคอื่นๆ เพื่อเคลื่อนไปยังขั้วไฟฟ้าของเซลล์ ระหว่างการเคลื่อนที่นั้นจะเกิดการสูญเสียของอิเล็กตรอนขึ้นที่รอยต่อระหว่างผลึกของอนุภาคนาโน การใช้วัสดุนาโนที่เติบโตใน 1 มิติมาแทนอนุภาคนาโนในเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัสดุนาโนได้ดี และง่ายขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนั้นดีขึ้น แนวทางวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความทนทาน และอายุการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในหลายด้านได้แก่

1.1.1 การพัฒนาขั้วไฟฟ้าที่ราคาไม่แพง

1.1.2 การพัฒนาอนุภาคโลหะออกไซด์ที่ส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีและมีพื้นที่ผิวมาก

1.1.3 การพัฒนาสีย้อมไวแสงที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้มากขึ้นในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาสีย้อมจากธรรมชาติที่ราคาถูก

1.1.4 การพัฒนาสารอิเล็กโตรไลต์ที่ไม่ใช่ของเหลวเพื่อให้มีความเสถียรต่อการใช้งาน

1.1.5 การพัฒนาระบบการประกบเซลล์ เพื่อยืดอายุการใช้งานของเซลล์

1.2 การเตรียมโครงสร้างองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ขั้นตอนการเตรียมส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์หรือการเตรียมเซลล์นั้นมีขั้นตอนในการดำเนินการหลายขั้นต่อได้แก่

1.2.1 การเตรียมสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO

สารกึ่งตัวนำโลหะเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยเป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ ที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง และสามารถสร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลสีย้อมได้ ในงานวิจัยนี้ใช้สารกึ่งตัวนำชนิด ZnO และทำการเตรียมสารกึ่งตัวนำโลหะให้อยู่ในรูปของเหลวข้น เพื่อให้สะดวกในการขึ้นรูปหรือการเตรียมให้อยู่ในแบบฟิล์มบาง โดยเตรียมขึ้นจากส่วนผสมของ สารกึ่งตัวนำ ZnO PEG 20000 และน้ำกลั่น มีขั้นตอนในการเตรียมดังนี้

1.2.1.1 ชั่ง PEG 20000 ในปริมาณน้ำหนัก 2 g ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล

1.2.1.2 ตวงน้ำกลั่น 18 ml

1.2.1.3 ผสม PEG 20000 จำนวน 2 g กับน้ำกลั่น 18 ml ตั้งบนเครื่องกวนสาร

1.2.1.4 ชั่งสาร ZnO (s) ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 5 g

1.2.1.5 ผสมสารกึ่งตัวนำ ZnO (s) 5 g เข้ากับสารละลาย PEG 12 ml ตั้งบนเครื่องกวนสาร 30 นาที

1.2.2 การเตรียมสารตัวนำโลหะแพลทินัม (Pt)

สารตัวนำโลหะ ต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี วัสดุมีรูพรุนสูง และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี โดยทั่วไปจะใช้โลหะแพลทินัม ในงานวิจัยนี้สารตัวนำโลหะแพลทินัม เตรียมได้จากสาร Chloroplatinic acid hydrate (s) ใช้ตัวทำละลาย อะซิโตน (Acetone) มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1.2.2.1 ชั่งสาร Chloroplatinic acid hydrate (s) ด้วยเครื่องดิจิตอล ปริมาณ 0.0210 g

1.2.2.2 ตวงตัวทำละลายอะซิโตน 1 ml

1.2.2.3 ผสมสาร Chloroplatinic acid hydrate (s) กับตัวทำละลายอะซิโตน ตั้งกวน 30 นาที

1.2.3 การเตรียมสารละลายอิเล็กโตรไลต์

สารละลายอิเล็กโตรไลต์ ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอน จากขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดในฝั่งที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลทินัม ไปยังโมเลกุลของเม็ดสีที่เสียอิเล็กตรอนไปในตอนแรกจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยา รีดอกซ์ ในงานวิจัยนี้เตรียมสารละลายอิเล็กโตรไลต์ในขั้นการเตรียมดังนี้

1.2.3.1 เตรียมภาชนะที่มีปริมาตร 10 ml วางบนเครื่องชั่งดิจิตอล ปรับค่าน้ำหนักเป็น 0.0000 g

1.2.3.2 ชั่งสาร I_2 (s) (Iodine) 0.0508 g ใส่ลงในภาชนะที่เตรียมไว้บนเครื่องชั่ง เมื่อได้น้ำหนักตามที่กำหนดปรับค่านำหนักของเครื่องชั่งเป็น 0.0000 g

1.2.3.3 ชั่งสาร LiI (s) (Lithium iodide) 0.2677 g ลงในภาชนะเดียวกับที่ชั่งสาร I_2 (s)

1.2.3.4 ตวงตัวทำละลายอะซิโตนไนไตร ปริมาตร 10 ml

1.2.3.5 เติมตัวทำละลายอะซิโตนไนไตร ที่ตวงไว้ลงในภาชนะที่มี LiI (s) และ I_2 (s) ตั้งบนเครื่องกวนสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.2.4 การเตรียมสารละลายสีย้อมไวแสง

ในงานวิจัยนี้จะใช้สีย้อมไวแสงจำนวน 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 ในความเข้มข้น 0.3 mM ใช้ตัวทำละลาย อะซิโตนไนไตร กับ เติร์ดบิวทานอล (1:1, vol:vol) มีขั้นตอนดังนี้

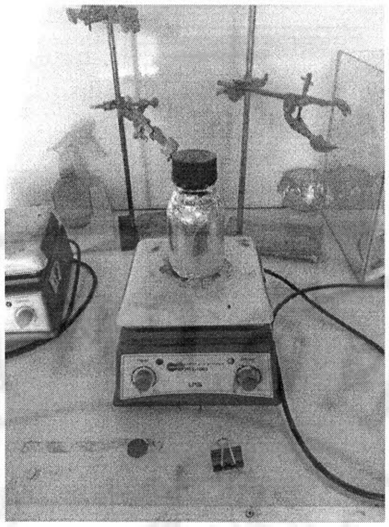
1.2.4.1 เตรียมขวดที่มีขนาด 250 ml สีชาเพื่อปกกันการสัมผัสแสงทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์

1.2.4.2 ชั่งสารสีย้อม (N719 และ Z907) ที่ความเข้มขน 0.3 mM คำนวณเป็นน้ำหนักเท่ากับ 0.0356 g สำหรับสีย้อมชนิด N719 และ 0.0261 g สำหรับสีย้อมชนิด Z907 ด้วยเครื่องดิจิตอลดังภาพที่ 72

ภาพที่ 72 การชั่งสีย้อมไวแสงชนิด Z907

1.2.4.3 เทสารสีย้อมไวแสงลงในภาชนะขนาด 250 ml ที่เตรียมไว้ จากนั้นตวงตัวทำละลายอะซีโตไนไตล์ด้วยกระบอกตวง ในปริมาณ 50 ml แล้วเทลงในภาชนะ

1.2.4.4 ตวงตัวทำละลายเติร์ดบิวทานอล ปริมาณ 50 ml แล้วเทลงในภาชนะขนาด 250 ml ที่เตรียมไว้

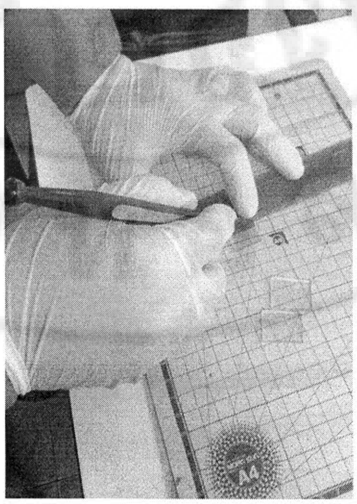


ภาพที่ 73 ตั้งกวนสารละลายสีย้อมไวแสง

1.2.4.5 หย่อนแท่งแม่เหล็กกวนสารของในภาชนะ แล้วตัวกวนบนเครื่องกวนสาร เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพที่ 73

1.2.5 การเตรียมแผ่นรองรับ (Substrates)

แผ่นรองรับ เป็นแผ่นกระจก หรือ แก้ว ที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง เช่น สารกลุ่ม ITO หรือ FTO ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้กระจกที่เคลือบสารนำไฟฟ้าโปรงแสงชนิด FTO ที่มีความหนา 3 mm ตัดให้มีขนาด ความกว้าง 20 mm ยาว 20 mm โดยใช้มีดหัวตัดเพชร ดังภาพที่ 74 แล้วล้างกระจกด้วยสารทำความสะอาดในเครื่องอัลตราโซนิก มีขั้นตอนในการล้างดังนี้

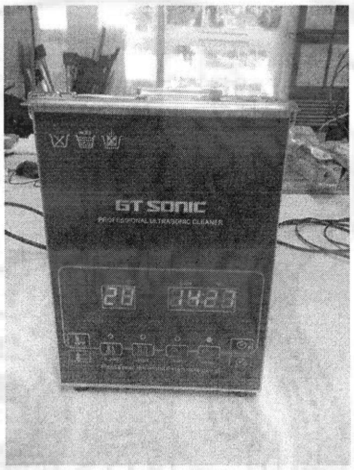


ภาพที่ 74 การตัดกระจกนำไฟฟ้า

1.2.5.1 เรียงกระจกที่ตัดได้ตามขนาดลงในโถแก้วย้อมสไลด์ เติมสารละลาย Alconox ลงในโถแก้วย้อมสไลด์ให้ท่วมแผ่นกระจก

1.2.5.2 เทน้ำสะอาดลงในอ่างล้างของเครื่องอัลตราโซนิกปริมาณ 2 ใน 3 ของปริมาตรอ่าง

1.2.5.3 ว่างโถแก้วย้อมสไลด์ที่บรรจุกระจก และสารละลาย Alconox ในอ่างล้าง ตั้งค่าให้เครื่องทำงาน 30 นาที ดังภาพที่ 75



ภาพที่ 75 การล้างกระจกนำไฟฟ้าด้วยเครื่องอัตราโซนิก

1.2.5.4 หลังจากเวลาครบ 30 นาที เทสารละลาย Alconox ออกใส่ขวด ใช้น้ำกลั่นล้างสังเกตฟองที่เกิดขึ้น ล้างจนกว่าฟองจะหาย เติมน้ำกลั่นให้ท่วมกระจกในโถแก้วย้อมสไลด์ วางในอ่างล้างของเครื่องอัตราโซนิกตั้งค่าให้เครื่องทำงานอีก 30 นาที

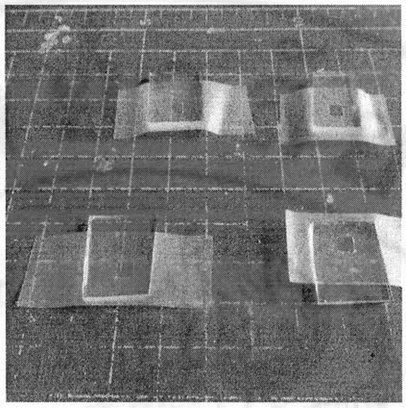
1.2.5.5 เมื่อเครื่องอัลตราโซนิกทำงานครบ 30 นาที เทน้ำกลั่นออกแล้วเติมสารละลายอะซิโตน ให้ท่วมกระจก ตั้งค่าเครื่องอัลตราโซนิกให้ทำงานอีก 30 นาที

1.2.5.6 หลังจากล้างด้วยสารอะซิโตนเป็นเวลา 30 นาที เทสารอะซิโตนออกแล้วเติมสารไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ตั้งค่าเครื่องทำงานอีก 30 นาที จากนั้นเอากระจกออกวางในกล่องเก็บกระจกทิ้งให้แห้ง

1.2.6 การเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง

ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นชั้นทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.2.6.1 สร้างกรอบสกรีนด้วยสก๊อตเทป โดยการตัดสก๊อตเทปเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดความกว้าง 4 mm ยาว 4 mm จากนั้นติดบนกระจกตรงหน้าที่เคลือบสารนำไฟฟ้าโปรงแสง ดังภาพที่ 76

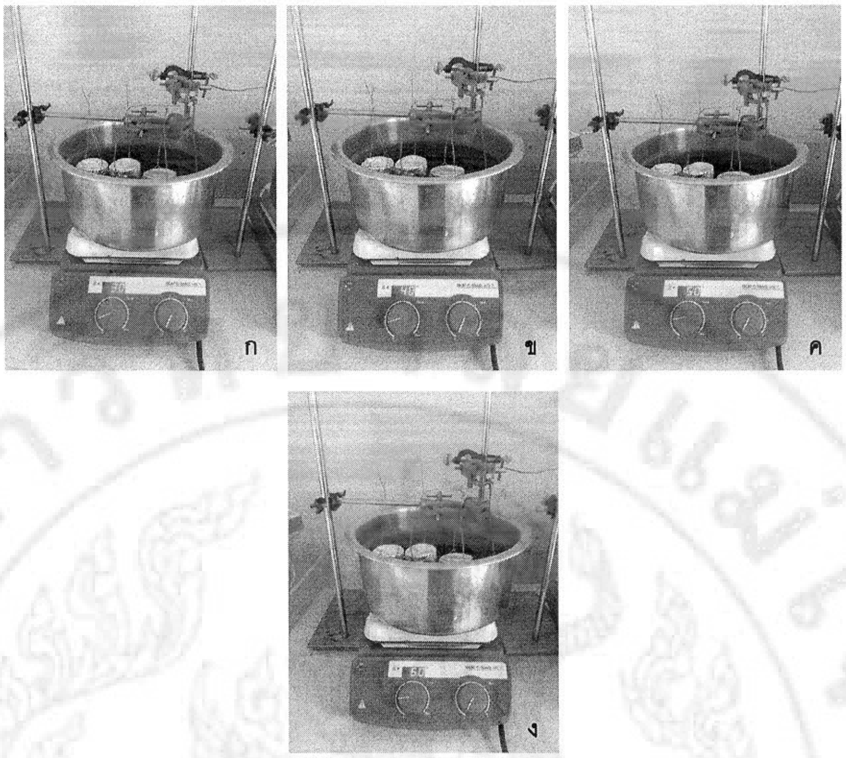


ภาพที่ 76 การสร้างพื้นที่สกรีนสารกึ่งตัวนำ

1.2.6.2 สกรีนสารกึ่งตัวนำ ZnO ในพื้นที่ที่ตัดบนสก๊อตเทป โดยกำหนดจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำให้แตกต่างกัน 4 ระดับ เพื่อหาความหนาที่เหมะสมของขั้นสารกึ่งตัวนำ และเหมาะสมกับการยึดเกาะของสีย้อม

1.2.6.3 เมื่อสกรีนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO เรียบร้อยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 $^{\circ}C$ ใช้เวลาในการเผา 1 ชั่วโมง ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง

1.2.6.4 หลังจากเผาด้วยอุณหภูมิ 400 $^{\circ}C$ ทิ้งให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง นำกระจกที่สกรีนฟิล์มของสารกึ่งตัวนำแล้วไปทำการย้อมสี ด้วยเวลาที่ต่างกัน คือ 1 2 4 6 8 10 12 24 และ 48 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง จากนั้นย้อมในสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 25 30 40 50 และ 60 $^{\circ}C$ ดังภาพที่ 77 โดยทำการย้อมโดยป้องกันแสง



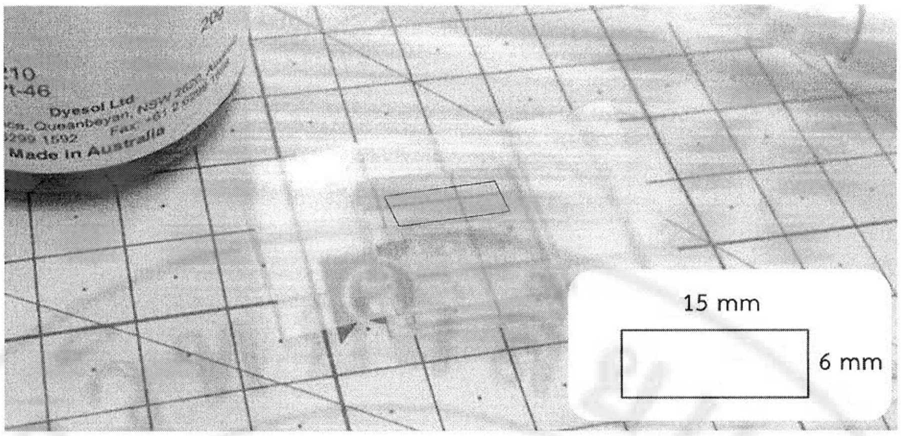
ภาพที่ 77 การย้อมสีเซลล์ในสภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน ก) 30 $^{\circ}$C ข) 40 $^{\circ}$C ค) 50 $^{\circ}$C และ ง) 60 $^{\circ}$C

1.2.6.5 เมื่อทำการย้อมสีขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง เรียบร้อยล้างเซลล์ด้วยสารอะซิโตน แล้วพักเซลล์ไว้ในภาชนะที่ป้องกันแสง

1.2.7 การเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านหลัง (Counter electrode)

ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง เป็นส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีความสำคัญเช่นกัน จะทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโตรไลต์ ใช้โลหะแพลทินัม เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าด้านหลัง มีวิธีการเตรียมดังนี้

1.2.7.1 สร้างพื้นที่ในการสกรีนสารตัวนำไฟฟ้าโลหะ ด้วยการตัดสก๊อตเทปเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขาดความกว้าง 6 mm ยาว 15 mm ติดสก๊อตเทปบนแผ่นกระจกที่เคลือบสารนำไฟฟ้าโปรงแสงดังภาพที่ 78



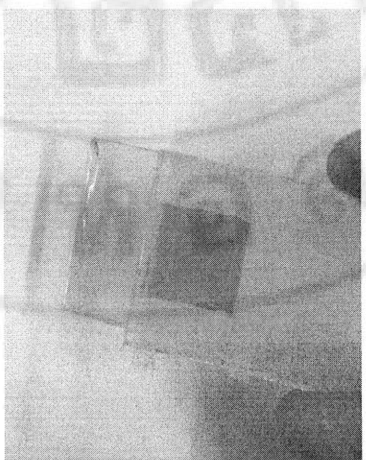
ภาพที่ 78 พื้นที่ในการสกรีนตัวนำโลหะแพลทินัม

1.2.7.2 หยดสารละลายตัวนำโลหะแพลทินัมลงในพื้นที่ที่เตรียมเอาไว้ด้วยสก๊อตเทป จากนั้นทำการสกรีนสารละลายตัวนำโลหะแพลทินัมให้ทั่วพื้นที่ที่สร้างเอาไว้

1.2.7.3 ดึงสก๊อตเทปออกจะเหลือชั้นฟิล์มบางของสารตัวนำโลหะ นำกระจกที่สกรีนสารโลหะไปเผาที่อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$C ในเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง

1.2.8 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงที่ทำการย้อมสีย้อมไวแสงเรียบร้อย และขั้วไฟฟ้าด้านหลังที่เตรียมเรียบร้อย นำขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 มาประกบเข้าด้วยกัน โดยใช้พาราฟิล์มเป็นวัสดุป้องกันการรั่วของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเป็นวัสดุในการยึดขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แสดงดังภาพที่ 79

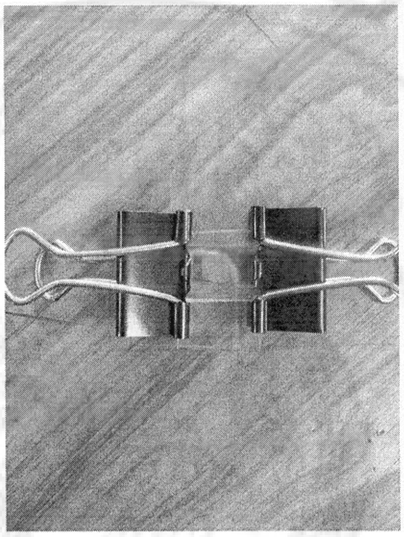


ภาพที่ 79 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบเรียบร้อย

ขั้นตอนในการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีดังต่อไปนี้

1.2.8.1 เตรียมวัสดุป้องกันการรั่วชั้นบรรจุสารละลายอิเล็กโตรไลต์ โดยใช้แผ่นพาราฟิล์ม 2 ชั้น ตัดให้เป็นเส้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 3 mm ยาว 4 cm

1.2.8.2 วางแผ่นพาราฟิล์มขนาบฟิล์มของแพลทินัม แล้วนำขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงมาประกบให้ฟิล์มของสารกึ่งตัวนำอยู่ในกรอบพื้นที่ของฟิล์มแพลทินัม จากนั้นใช้ที่หนีบกระดาษหนีบยึดเซลล์ไว้ด้วยกันดังภาพที่ 80

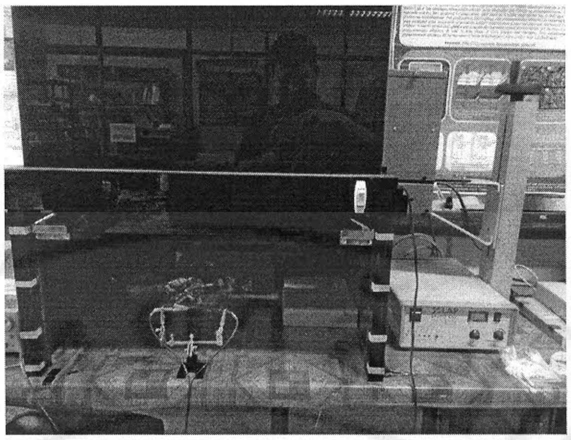


ภาพที่ 80 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ผลิตได้

1.2.8.3 ให้ความร้อนกับเซลล์เพื่อให้แผ่นพาราฟิล์มละลายยึดเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ด้วยกันดังภาพที่ 79

1.2.9 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพ และความถูกต้องแม่นยำ ในพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจึงได้ทำการตรวจสมรรถนะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ความเข้มแสง 100 mW/cm^2 ค่า AM 1.5 ดังภาพที่ 81 ต่อเข้ากับชุดเครื่องจ่ายความต่างศักย์แปรค่าได้ ดังภาพที่ 82 จะทำการจ่ายโหลดที่แตกต่างกัน เพื่อทำการวัดกระแสไฟฟ้า (I) กับแรงดันไฟฟ้า (V)



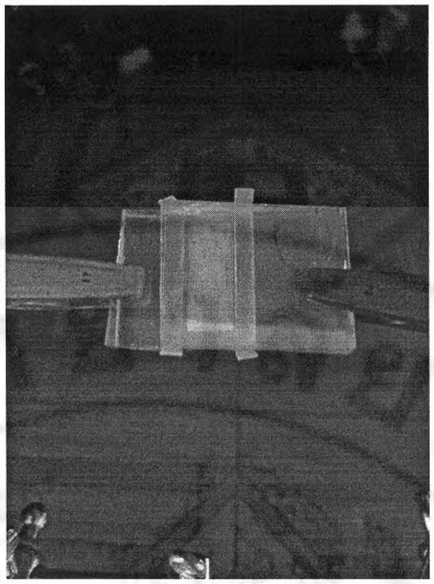
ภาพที่ 81 เครื่องจำลองแสงอาทิตย์

ภาพที่ 82 เครื่องวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้า Keithley รุ่น 2611

ขั้นตอนและวิธีการใช้เครื่องและทดสอบเซลล์ ด้วยระบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.2.9.1 เปิดโปรแกรม VEE Pro – DSSC_edif ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดในคอมพิวเตอร์ ตั้งค่าพื้นที่รับแสงของเซลล์ที่จะทำการทดสอบเท่ากับ 0.16 cm^2 แล้วเลือกพื้นที่ในการจัดเก็บไฟล์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลในการวัด

1.2.9.2 หลังจากตั้งค่าในโปรแกรมเรียบร้อย ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเข้ากับขั้วไฟฟ้าของชุดเครื่องจ่ายความต่างศักย์แปรค่าได้ เพื่อทำการวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้า ดังภาพที่ 83



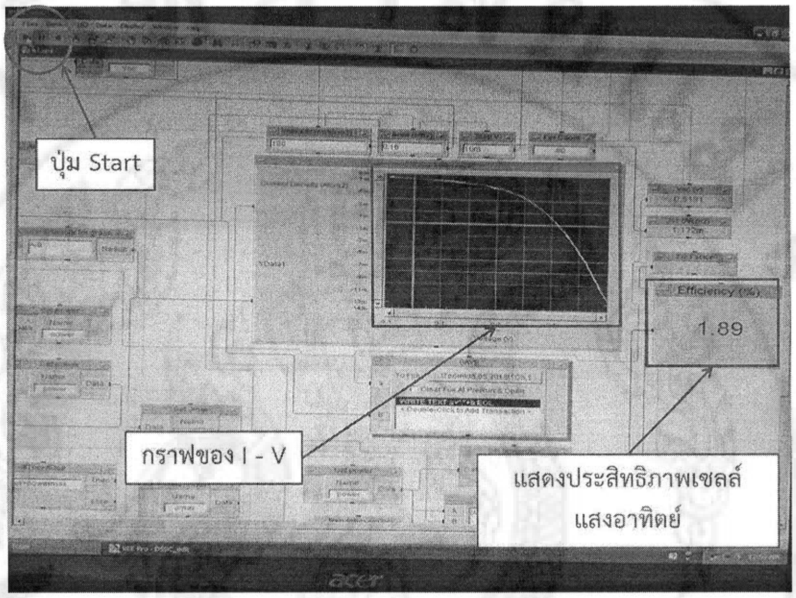
ภาพที่ 83 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าของเครื่องวัด

1.2.9.3 เปิดเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ เติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เลื่อนเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปว่างใต้แสงดังภาพที่ 84

ภาพที่ 84 เซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบด้วยแสงจำลองจากเครื่อง

1.2.9.4 เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงจำลอง เซลล์จะเริ่มผลิตพลังงาน เครื่องจ่ายความต่างศักย์แปรค่าได้ จะทำการส่งค่าความต้านทานในระดับต่างๆ เพื่อวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

1.2.9.5 กดปุ่ม Start ที่โปรแกรม VEE Pro – DSSC_edif ที่คอมพิวเตอร์ ระบบจะทำการประมวลผลแล้วแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ I-V ดังภาพที่ 85



ภาพที่ 85 จอแสดงผลการวัดข้อมูลของโปรแกรม VEE Pro – DSSC_edif

1.2.10 การทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

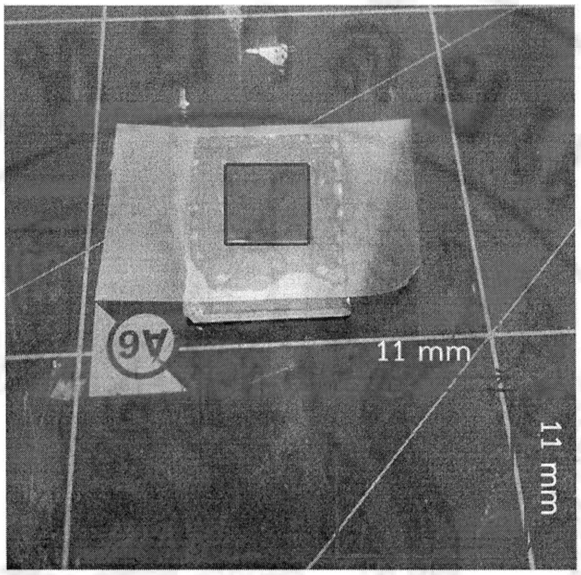
การทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการทดสอบเพื่อหาช่วงแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถดูดกลืนแสงได้ โดยในการทดลองนี้ทำการทดสอบด้วยเครื่อง UV-vis ใช้ช่างความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ 300 - 800 nm โดยมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบดังนี้

1.2.10.1 ใช้แผ่นกระจกนำไฟฟ้าชนิด FTO ที่ล้างทำความสะอาดและผึ่งจนแห้งแล้ว ตัดแผ่นสก๊อตเทปเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 11 x 11 mm^2 เพื่อให้ปิดช่องรับแสงที่แผ่นชัดเตอร์ ติดบนกระจกด้านที่มีการเคลือบสารนำไฟฟ้า 1 ชั้น ดังภาพที่ 86

1.2.10.2 แต้มสารละลายข้นของ ZnO ลงในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสของสก๊อตเทปบนกระจก FTO แล้วสกรีนสารกึ่งตัวนำให้เกิดเป็นฟิล์มบ้างทั่วพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส แล้วนำไปเผาด้วยเตาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.2.10.3 นำกระจกที่เผาที่ 400 $^{\circ}$C แช่ในสีย้อมไวแสงที่เตรียมไว ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C

1.2.10.4 นำแผ่นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมสีย้อมไวแสงเรียบร้อยไปทดสอบด้วยเครื่อง UV-vis เพื่อดูลักษณะการดูดกลืนแสง



ภาพที่ 86 การเตรียมพื้นที่ในการสกรีน ZnO เพื่อทดสอบการดูดกลืนแสง

2. การทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.1 ศึกษาขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

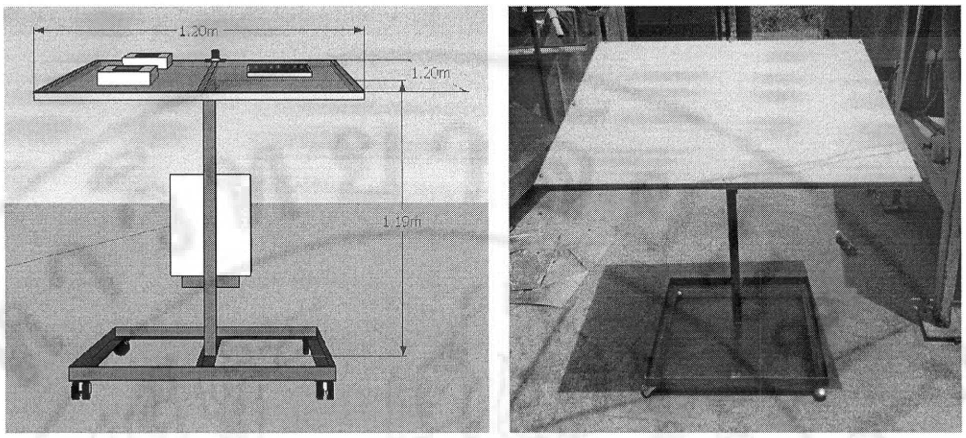
การทำงานของเซลล์ที่ทำการแปลงพลังงานจากแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม และค่ารังสีอาทิตย์ ซึ่งจะแสดงพฤติกรรม หรือผลที่เกิดขึ้นในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพแวดล้อมจริง โดยแบ่งออกเป็น การเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ การเก็บขอมูลอุณหภูมิ และการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้า กระแส แรงดัน

2.2 วิธีการทดสอบการทำงานภาคสนาม

2.2.1 ชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

ชุดแท่นติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นเหล็กประกอบขึ้นเป็นแท่น โดยมีเสาตรงกลางหนึ่งต้นสูง 1.2 m สามารถปรับมุมเอียงจากพื้นราบ และติดตั้งล้อสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก บริเวณฐานติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิคโปรงใสเป็นพื้น เพื่อป้องกัน

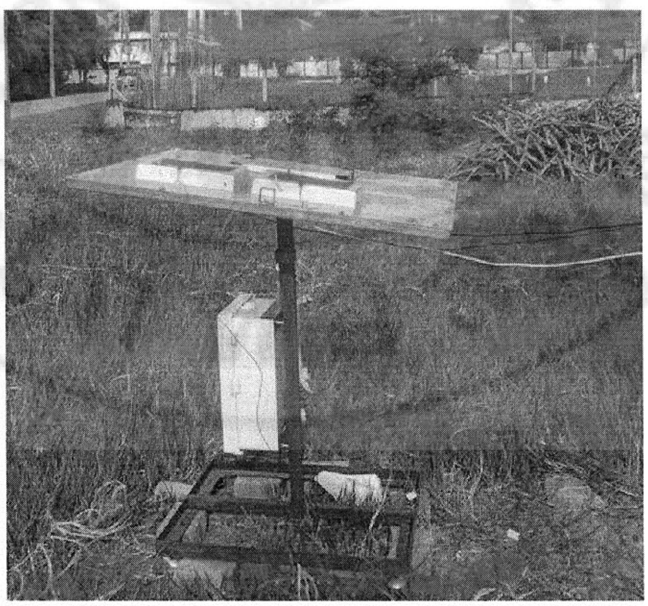
การดูดกลืนรังสีอาทิตย์และไม่ให้เกิดการสะสมความร้อนจนมีผลต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 87 โดยมีขนาดของฐาน กว้าง 1 m ยาว 1.2 m



ภาพที่ 87 แท่นติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.2.2 การติดตั้ง และตำแหน่งในการทดสอบ

ชุดทดสอบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ขนาด 0.5 W จำนวน 2 แผง ที่ต่ออนุกรมกัน ติดตั้งเครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ไว้ตรงของของฐานรองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 88 ปรับตั้งให้พื้นแท่นให้เอียงทำมุมกับพื้นราบ 18° และหันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้



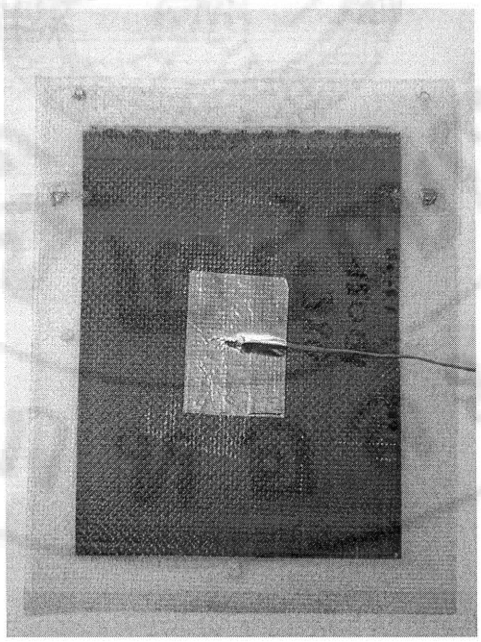
ภาพที่ 88 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์บนแท่นทดสอบ

2.2.3 การเก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์

การเก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ หรือ การเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปจะเป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ ไพราโนมิเตอร์วัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิค ยี่ห้อ Apogee ใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ BrainChild รุ่น VR06 Paperless recorder จัดเก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ด้วยความถี่ทุก 1 นาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมงตั้งแต่ 9.00 - 17.00 น.

2.2.4 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

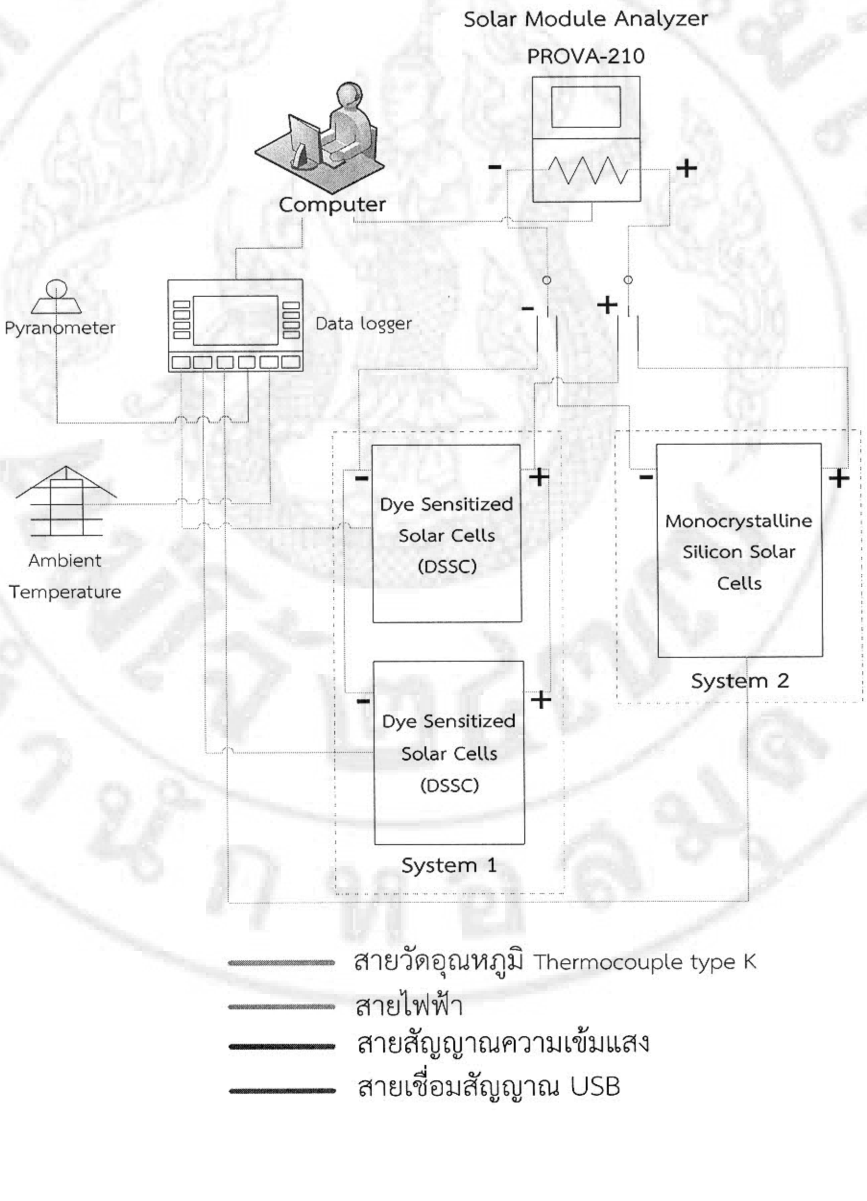
การวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บข้อมูลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานจริง และมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ส่งผลโดยตรงกับการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลตลอดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ โดยใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุก 15 นาที โดยทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมกับจานตรวจอุณหภูมิ และการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านหลังแผงจำนวน 1 จุด ต่อ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 89



ภาพที่ 89 การติดตั้งสายเก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์
บริเวณด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.5 การวัด I-V curve

การทดสอบค่าพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งาน ตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 18 องศา หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ เก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตั้งแต่เวลา 09.00 – 17.00 น. โดยทำการวัดและเก็บข้อมูลซึ่งประกอบด้วย กระแสลัดวงจร แรงดันวงจรเปิด กระแสสูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โพรวา-210 (Solar Module Analyzer PROVA-210) เชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงวงจรการวัดดังดังภาพที่ 90



ภาพที่ 90 ระบบการติดตั้งวงจรการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

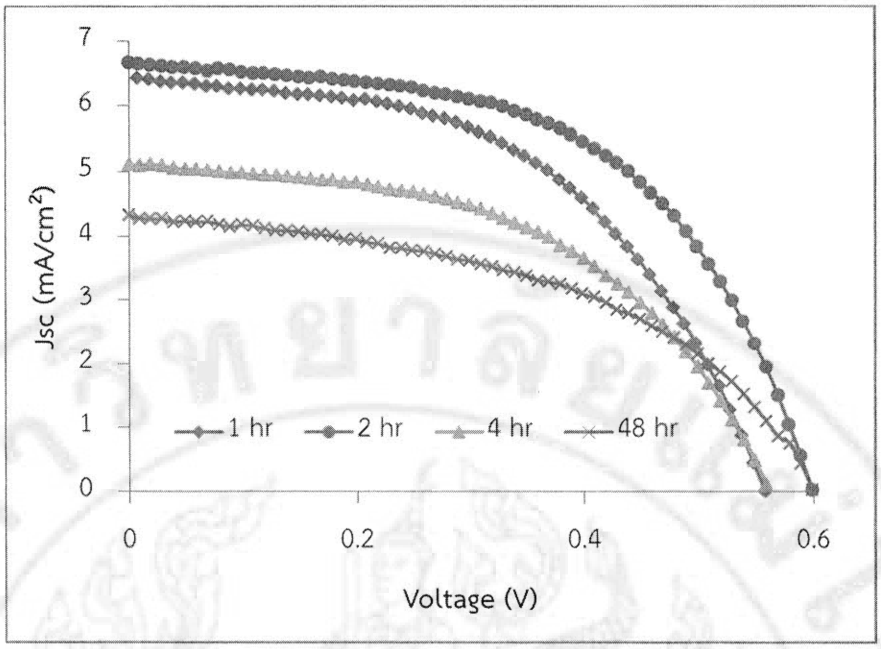
บทที่ 4
ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ในบทนี้จะทำการนำเสนอผลการดำเนินงานวิจัย โดยจะทำการนำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิ และจำนวนชั้นของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO โดยใช้สีย้อมไวแสง 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 และส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยจะแสดงถึงผลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดต่อไปนี้

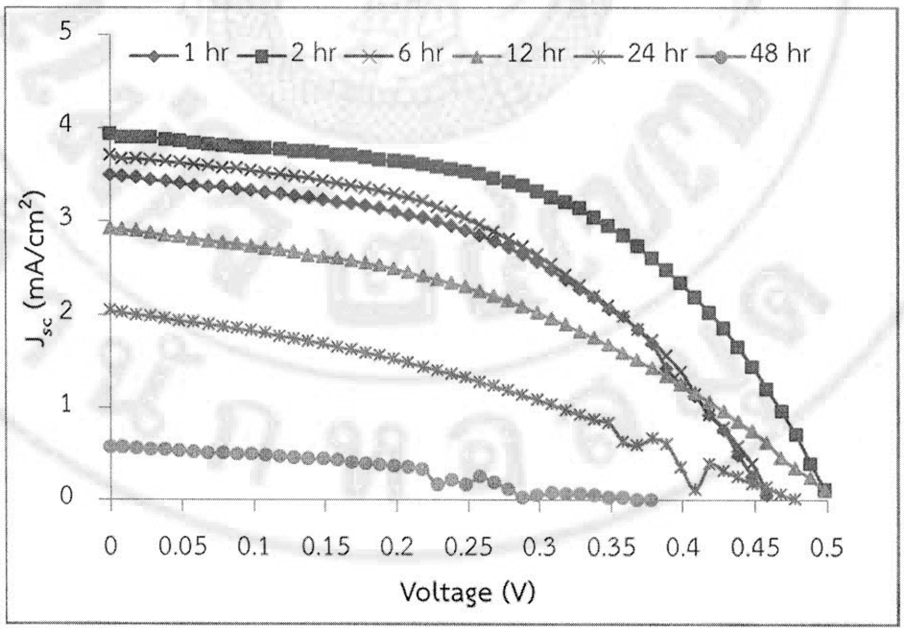
การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1. ผลของเวลาในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์

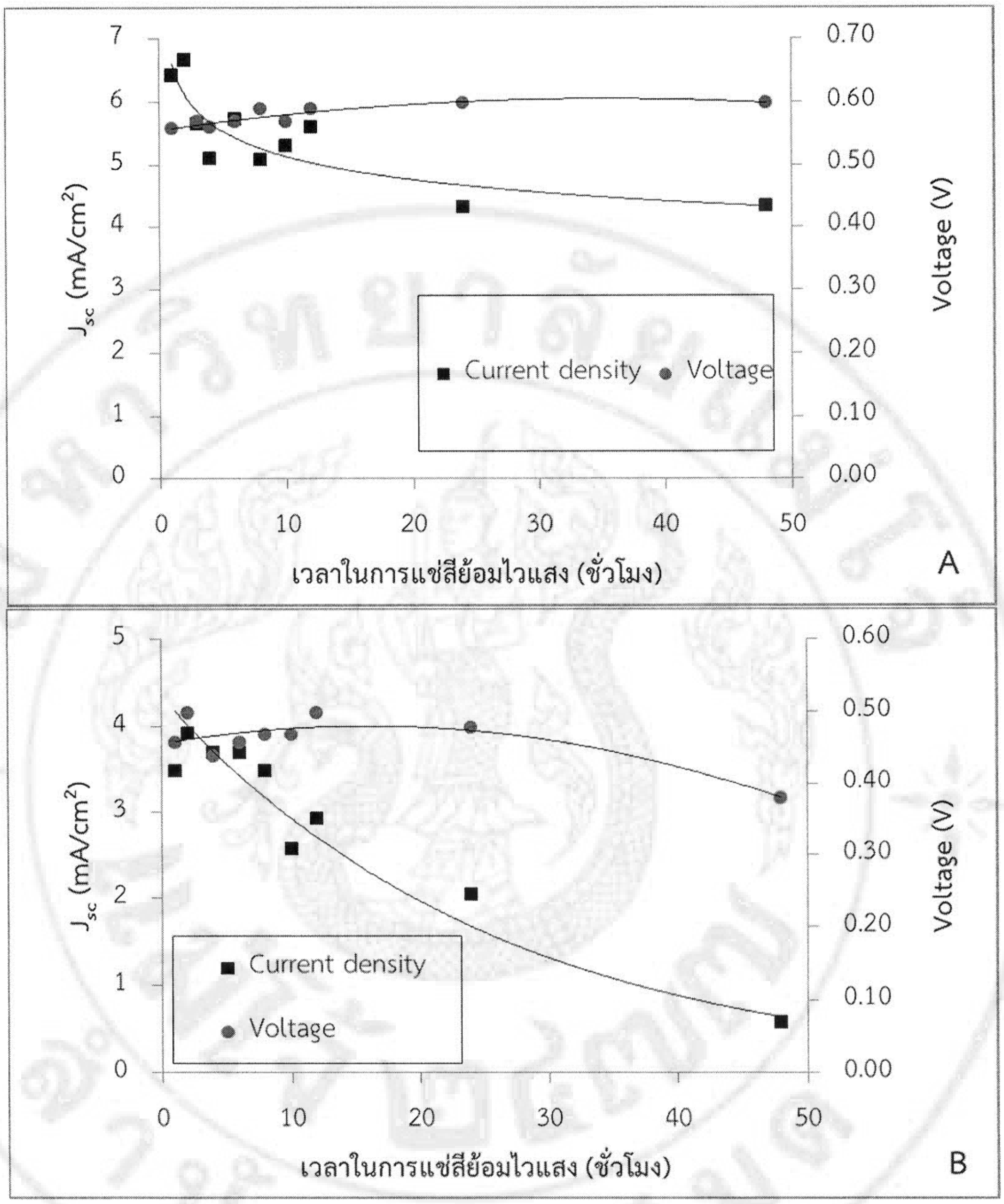
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง สร้างขึ้นโดยใช้ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ที่ใช้สารกึ่งตัวนำ ZnO ย้อมด้วยสีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 โดยทำการย้อมสีย้อมไวแสงในเวลาที่ต่างกัน คือ 1 2 4 6 8 10 12 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสง 25 $^{\circ}$C จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ ภาพที่ 91 และ ภาพที่ 92 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ Z907 โดยมีเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงต่างกัน จากกราฟพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงทั้งสองมีสมรรถนะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาที่ใช้ในการย้อมสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมชนิด N719 จะมีค่า J_{SC} อยู่ในช่วง 4.3 – 6.7 mA/cm^2 และมีค่า V_{OC} ประมาณ 0.56-0.6 V ส่วนที่ใช้สีย้อมชนิด Z907 จะมีค่า J_{SC} และ V_{OC} ที่ลดลงโดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.6 – 3.9 mA/cm^2 และ 0.4 – 0.5 V ตามลำดับ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด N719 จะมีค่า J_{SC} และ V_{OC} สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Z907 เนื่องจาก N719 จะเหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO และสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีกว่า Z907 ทำให้ค่า J_{SC} และ V_{OC} ของ Z907 มีค่าที่ต่ำกว่า N719



ภาพที่ 91 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเตรียมจากสีย้อม N719 ในเวลาที่ต่างกัน



ภาพที่ 92 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเตรียม จากสีย้อม Z907 ในเวลาที่ต่างกัน



ภาพที่ 93 ความหนาแน่นกระแส และแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่แช่สีย้อมในเวลาที่ต่างกัน (A) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อม N719 (B) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อม Z907

เมื่อพิจารณาค่า J_{SC} และ V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด จะพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่แช่สีย้อมไวแสงดังจะสังเกตเห็นในภาพที่ 93 (A) และ ภาพที่ 93 (B) โดยที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า J_{SC} และ V_{OC} ยังมีความแตกต่างระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์สองชนิด เซลล์

แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิด N719 จะพบว่าค่า J_{SC} จะมีแนวโน้มการลดลงจากค่าสูงสุดเท่ากับ 6.7 mA/cm^2 ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไปจนเหลือค่าเท่ากับ 4.2 mA/cm^2 ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 48 ชั่วโมง โดยอัตราการลดลงเท่ากับ 36.36% แต่เมื่อพิจารณาค่า V_{OC} แล้วเมื่อเพิ่มเวลาจาก 2 เป็น 48 ชั่วโมง จะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.56 V เป็น 0.6 V โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า VOC เท่ากับ 7.14% เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นที่น้อยมากจนเกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่แช่สีย้อมไวแสง เมื่อพิจารณาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 จะพบว่าค่า J_{SC} จะมีแนวโน้มในการลดลงคล้ายๆ กับของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 โดยมีค่าลดลงจาก 4 mA/cm^2 ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไปจนเหลือค่าเท่ากับ 0.6 mA/cm^2 ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 48 ชั่วโมง อัตราการลดลงเท่ากับ 17.44% และสำหรับค่า V_{OC} ก็มีแนวโน้มที่ลดลงเช่นเดียวกัน โดยลดจากค่าสูงสุด 0.5 V ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไปจนเหลือค่าเท่ากับ 0.38 V ที่เวลาการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบเวลาในการย้อมสีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมด้วยสีย้อมชนิด N719

Time (hr)	1	2	3	4	6	8	10	12	24	48
J_{SC} (mA/m^2)	6.43	6.66	5.10	5.73	5.09	5.30	5.61	4.31	4.33	6.43
V_{OC} (V)	0.56	0.60	0.57	0.56	0.57	0.59	0.57	0.59	0.60	0.60
I_{max} (mA)	0.80	0.82	0.68	0.64	0.67	0.60	0.65	0.70	0.47	0.49
V_{max} (V)	0.37	0.43	0.39	0.37	0.38	0.40	0.39	0.41	0.42	0.41
P_{max} (mW)	0.29	0.35	0.26	0.23	0.25	0.24	0.25	0.29	0.20	0.20
FF	0.51	0.55	0.51	0.51	0.49	0.50	0.52	0.54	0.47	0.48
Efficiency (%)	1.84	2.20	1.65	1.47	1.59	1.49	1.57	1.78	1.23	1.24

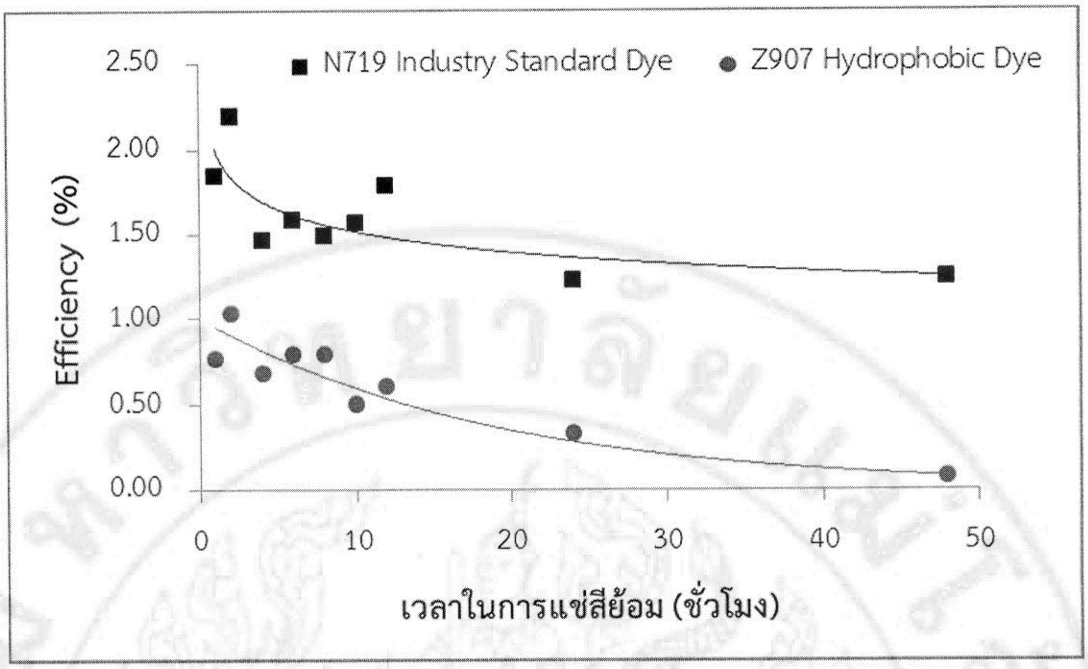
ในการทดสอบเงื่อนไขของเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงนี้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ย้อมสีย้อมไวแสงด้วยเวลาเท่ากับ 2 ชั่วโมง เหมือนกันทั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 2.20% และ 1.03% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงไปถึง 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสอบแบบจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อย้อมสีย้อมไวแสงด้วยเวลา 48 ชั่วโมง เซลล์แสงอาทิตย์จะ

มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 1.24% และ 0.07% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 ตามลำดับ แสดงข้อมูลในงานวิจัยดังตารางที่ 13 และตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบเวลาในการย้อมสีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมด้วยสีย้อมชนิด Z907

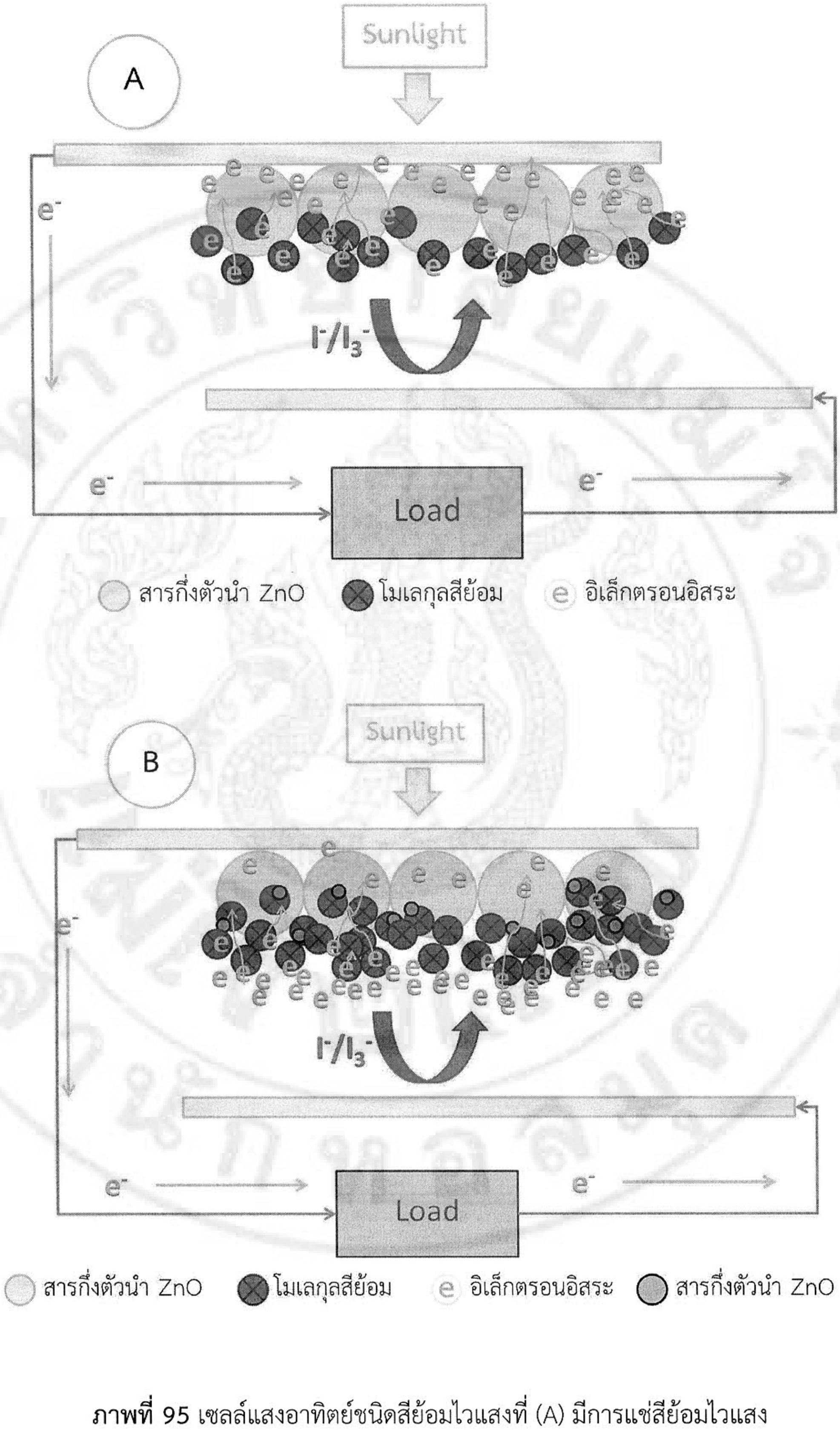
Time (hr)	1	2	4	6	8	10	12	24	48
J_{SC} (mA/m^2)	3.49	3.92	3.69	3.70	3.49	2.56	2.92	2.04	0.57
V_{OC} (V)	0.46	0.50	0.44	0.46	0.47	0.47	0.50	0.48	0.38
I_{max} (mA)	0.41	0.50	0.38	0.42	0.41	0.28	0.31	0.20	0.06
V_{max} (V)	0.30	0.33	0.29	0.30	0.31	0.29	0.31	0.27	0.20
P_{max} (mW)	0.12	0.16	0.11	0.13	0.13	0.08	0.10	0.05	0.01
FF	0.48	0.53	0.42	0.46	0.48	0.42	0.42	0.34	0.34
Efficiency (%)	0.77	1.03	0.68	0.79	0.79	0.50	0.61	0.33	0.07

ผลที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ แล้วทำการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการแช่สีย้อมในเวลาที่ต่างกัน และเมื่อเพิ่มเวลาให้นานขึ้นจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลงดังภาพที่ 94 จากกราฟพบว่า เมื่อย้อมเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดลงตามเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อย้อมสีย้อมไวแสงด้วยเวลานาน



ภาพที่ 94 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ที่ย้อมด้วยเวลาที่ต่างกัน

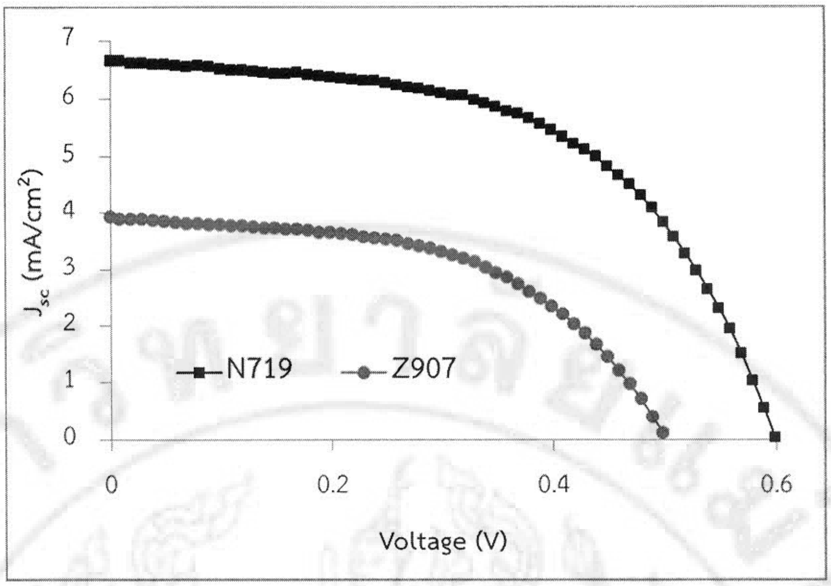
จากประสิทธิภาพที่ลดลงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงตามเงื่อนไขของเวลาในการแช่สีย้อมไวแสงแสดงดังกราฟในภาพที่ 94 เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมที่ยึดเกาะกับโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำ เมื่อเพิ่มเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงให้นานขึ้นจะมีการยึดเกาะที่เพิ่มขึ้น แต่เป็นการยึดเกาะกันเองแล้วเกิดเป็นชั้นฟิล์มของสีย้อมไวแสงเคลือบอยู่บนชั้นสารกึ่งตัวนำ ZnO ทำให้การเคลื่อนที่ผ่านของอิเล็กตรอน เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแล้วอิเล็กตรอนถูกสร้างขึ้นด้วยโมเลกุลของสีย้อมไวแสง แล้วเคลื่อนที่ผ่านชั้นสารกึ่งตัวนำ ZnO ออกสู่วงจรภายนอกเกิดการไหลได้อย่างไม่อิสระ สามารถจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ดังภาพที่ 95



ภาพที่ 95 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ (A) มีการแช่สีย้อมไวแสงด้วยเวลาที่เหมาะสม และ (B) มีการแช่สีย้อมไวแสงเป็นเวลานาน

ภาพที่ 95 ก) เป็นการจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่แช่สีย้อมไวแสงด้วยเวลาที่เหมาะสมทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของสีย้อมไวแสงผ่านสารกึ่งตัวนำ ZnO ได้อย่างอิสระและสามารถที่จะรับอิเล็กตรอนจากการนำส่งของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างเต็มที่ และทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูง ในขณะที่ภาพที่ 95 ข) เป็นการจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่แช่สีย้อมไวแสงเป็นเวลานานทำให้ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีการยึดเกาะกันเองของโมเลกุลสีย้อมไวแสงส่งผลให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังสารกึ่งตัวนำ ZnO ได้อย่างอิสระ และรับอิเล็กตรอนที่ถูกนำส่งด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์จากขั้วไฟฟ้าด้านหลังติดขัดจากการที่อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ออกได้สะดวก เพื่อเกิดเป็นหลุมอิเล็กตรอนเพื่อรับอิเล็กตรอนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมสีย้อมไวแสงด้วยเวลาที่นานขึ้นจึงมีประสิทธิภาพที่ลดลง

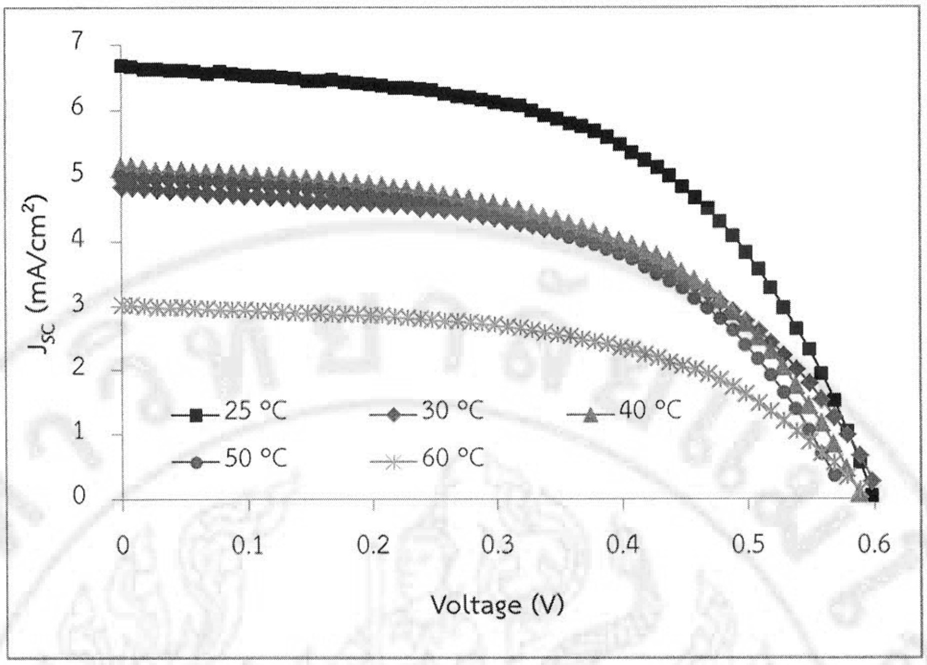
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 และใช้สารกึ่งตัวนำ ZnO ที่ใช้เวลาในการย้อมสีย้อมไวแสง 2 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งคู่จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดสอบเงื่อนไขเวลาย้อมสีย้อมไวแสง เมื่อเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 แสดงดังภาพที่ 96 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ N719 เนื่องจากคุณสมบัติของสีย้อมไวแสงชนิด Z907 ที่เหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำ TiO_2 ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงถึง 6.92% (Ni et al. 2012) ในขณะที่เมื่อใช้กับสารกึ่งตัวนำ ZnO เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.21% (Bosiak et al. 2015) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ก็เลือกใช้สารกึ่งตัวนำ ZnO ในการทดสอบหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907



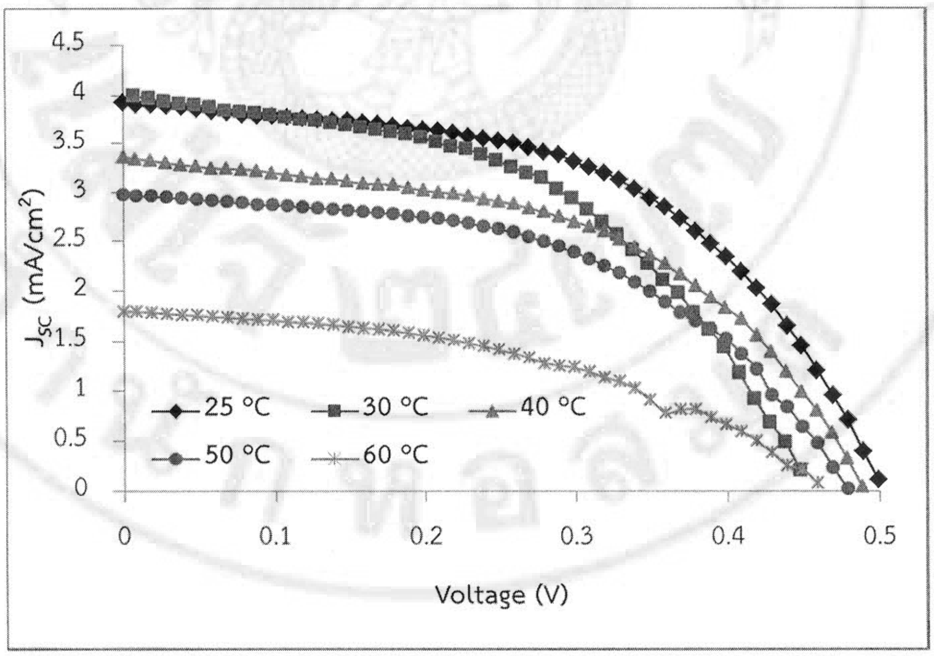
ภาพที่ 96 กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 โดยใช้เวลาในการย้อม 2 ชั่วโมง

2. ผลของอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

จากเวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีย้อมไวแสงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในเงื่อนไขแรก อุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสง เป็นเงื่อนไขที่ 2 ในการทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสง โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงสร้างขึ้นด้วยสารกึ่งตัวนำ ZnO และสีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 ที่ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง ใช้สารตัวนำโลหะแพลทินัม ทดสอบด้วยการแช่สีย้อมไวแสงในอุณหภูมิที่แตกต่างกันดังนี้ 25 30 40 50 และ 60 $^{\circ}$C ใช้เวลาในการแช่สีย้อมไวแสง 2 ชั่วโมง ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์แสดงผลดังภาพที่ 97 และภาพที่ 98 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า จากกราฟพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงทั้งสองมีสมรรถนะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาที่ใช้ในการย้อมสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมชนิด N719 จะมีค่า J_{SC} อยู่ในช่วง 3.03 – 6.66 mA/cm^2 และมีค่า V_{OC} ประมาณ 0.57-0.60 V ส่วนที่ใช้สีย้อมชนิด Z907 จะมีค่า J_{SC} และ V_{OC} ที่ลดลงโดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.79 – 3.99 mA/cm^2 และ 0.45 – 0.5 V ตามลำดับ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด N719 จะมีค่า J_{SC} และ V_{OC} สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Z907 เนื่องจาก N719 จะเหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO และสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีกว่า Z907 ทำให้ค่า J_{SC} และ V_{OC} ของ Z907 มีค่าที่ต่ำกว่า N719

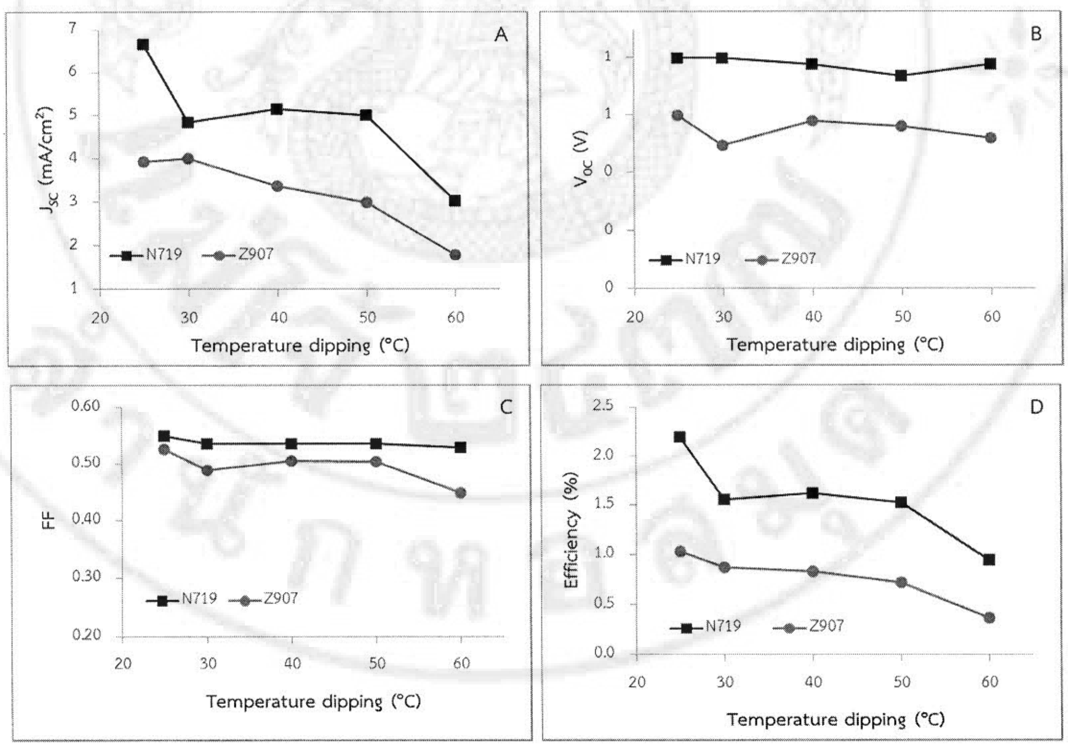


ภาพที่ 97 กราฟ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 แช่สีย้อมไวแสงในอุณหภูมิที่ต่างกัน



ภาพที่ 98 กราฟ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสง Z907 แช่สีย้อมไวแสงในอุณหภูมิที่ต่างกัน

จากกราฟในภาพที่ 99 (A) และภาพที่ 99 (B) แสดงค่าของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้นด้วยเงื่อนไขการแช่สีย้อมไวแสงในอุณหภูมิที่ต่างกัน ตั้งแต่ 25 $^{\circ}$C ถึง 60 $^{\circ}$C พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้น โดยใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และเซลล์ที่ใช้ Z907 ค่า J_{SC} ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสงเพิ่มขึ้น สำหรับเซลล์ที่ใช้ N719 ค่า J_{SC} ลดลงจาก 6.66 mA/cm^2 เหลือ 3.03 mA/cm^2 คิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 54.5% และเซลล์ที่ใช้ Z907 ค่า J_{SC} ลดลงจาก 3.92 mA/cm^2 ที่ 25 $^{\circ}$C เหลือ 1.79 mA/cm^2 ที่ 60 $^{\circ}$C อัตราการลดลงเท่ากับ 54.3% เซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองมีอัตราการลดลงของค่า J_{SC} ในอัตราที่ใกล้เคียงกันแต่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ N719 จะมีค่า J_{SC} และ V_{OC} ที่สูงกว่าเซลล์ที่ใช้ Z907 เมื่อพิจารณาค่า V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดพบว่าอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลเล็กน้อยดังตารางที่ 15 คำนวณอัตราการลดลงของ V_{OC} จากอุณหภูมิ 25 – 60 °Cได้เท่ากับ 1.7% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ N719 และ 8% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ Z907 ด้วยอัตราการลดลงของค่า V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดที่มีค่าไม่ถึง 10% สามารถอธิบายได้ถึงการส่งผลเพียงเล็กน้อยของอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสงต่อค่า V_{OC}

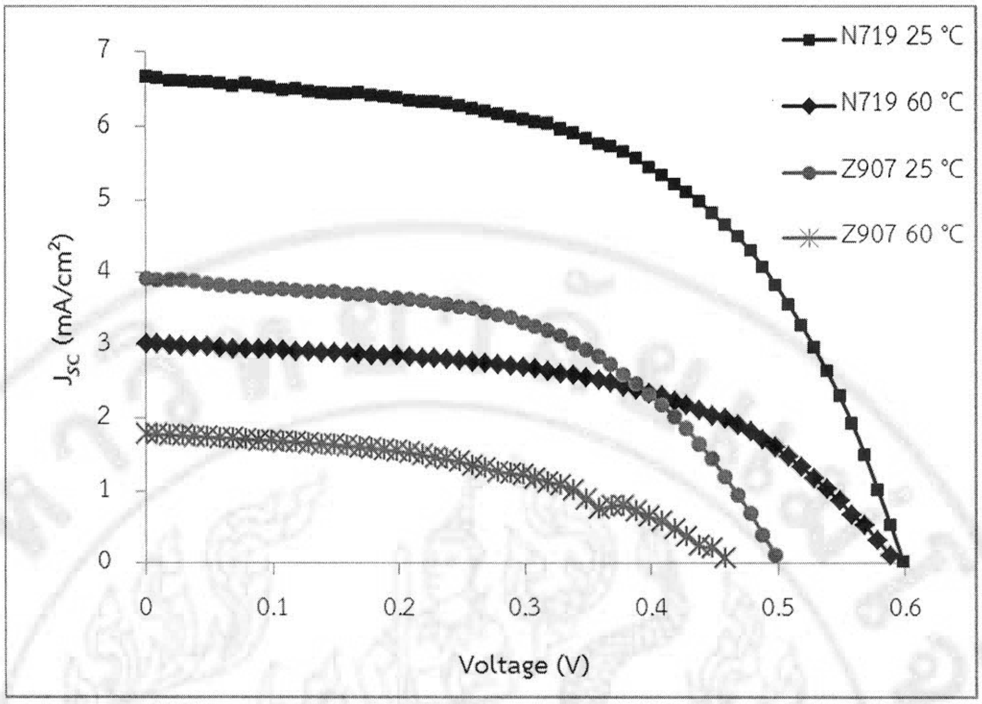


ภาพที่ 99 กราฟแสดงผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่แช่สีย้อมไวแสงในอุณหภูมิที่ต่างกัน (A) J_{SC} (B) V_{OC} (C) FF และ (D) ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการลดลงของค่า J_{SC} ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงในภาพที่ 99 (D) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมาประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสง จากการทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าสูง ซึ่งอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการทดสอบนี้เท่ากับ 25 $^{\circ}$C เช่นเดียวกันทั้งเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 คือ 2.20% และ 1.03% ตามลำดับ และอุณหภูมิที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ 60 $^{\circ}$C เช่นเดียวกัน แสดงผลการทดสอบจากเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมสีในอุณหภูมิเดียวกันของทั้ง N719 และ Z907 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด และต่ำสุดดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบผลการทดสอบอุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907

Temperature (°C)	25		30		40		50		60	
Dye	N719	Z907	N719	Z907	N719	Z907	N719	Z907	N719	Z907
I_{SC} (mA)	1.07	0.63	0.77	0.64	0.82	0.54	0.80	0.48	0.48	0.29
J_{SC} (mA/cm^2)	6.66	3.92	4.83	3.99	5.14	3.36	5.00	2.98	3.03	1.79
V_{OC} (V)	0.60	0.50	0.60	0.45	0.59	0.49	0.57	0.48	0.59	0.46
I_{max} (mA)	0.82	0.50	0.58	0.50	0.61	0.42	0.60	0.37	0.37	0.20
V_{max} (V)	0.43	0.33	0.43	0.28	0.43	0.32	0.41	0.31	0.41	0.30
P_{max} (mW)	0.35	0.16	0.25	0.14	0.26	0.13	0.24	0.11	0.15	0.06
FF	0.55	0.53	0.54	0.49	0.54	0.51	0.54	0.50	0.53	0.45
Efficiency (%)	2.20	1.03	1.55	0.87	1.62	0.83	1.52	0.72	0.94	0.37

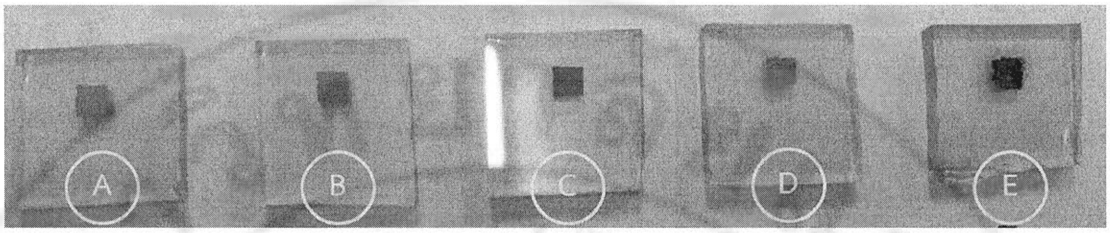


ภาพที่ 100 กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแส และแรงดัน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่แช่สีย้อมไวแสง ด้วยอุณหภูมิ 25 กับ 60 $^{\circ}$C

ภาพที่ 100 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ J-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แช่ในสีย้อมไวแสงด้วยอุณหภูมิต่ำกับสูง ซึ่งในการทดสอบนี้เป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้น โดยใช้สารกึ่งตัวนำ ZnO และสีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 จะเห็นว่าผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากค่า J_{SC} ลดลง แต่ V_{OC} คงที่ ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 ประสิทธิภาพลดลงเช่นกันแต่ทั้ง J_{SC} และ V_{OC} ต่างลดลงพร้อมกัน ซึ่งจากการลดลงของประสิทธิภาพสามารถอธิบายดังนี้

เมื่อแช่สีย้อมไวแสงด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันตั้งแต่ 25 $^{\circ}$C ถึง 60 $^{\circ}$C ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงที่สกรีนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO จะแสดงความเข้มของสีที่ได้จากการย้อมสีที่ต่างกัน คือ สีจะเข้มขึ้นเมื่อแช่ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นดังภาพที่ 101 (A –E) และทำให้เกิดการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมไวแสงที่ดี แต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเพราะในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นสารกึ่งตัวนำได้อย่างอิสระดังที่ได้อธิบายไปในเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลต่อการยึดเกาะของสีย้อมไวแสง ในกรณีเดียวกันเมื่อควบคุมเวลาในการแช่สีย้อมให้เท่ากัน แล้วเพิ่มอุณหภูมิในการแช่สีย้อม ด้วยคุณสมบัติของอุณหภูมิที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีนั้น ส่งผลให้ในเวลาสั้นๆ การยึดเกาะของสีย้อมถูกเร่ง

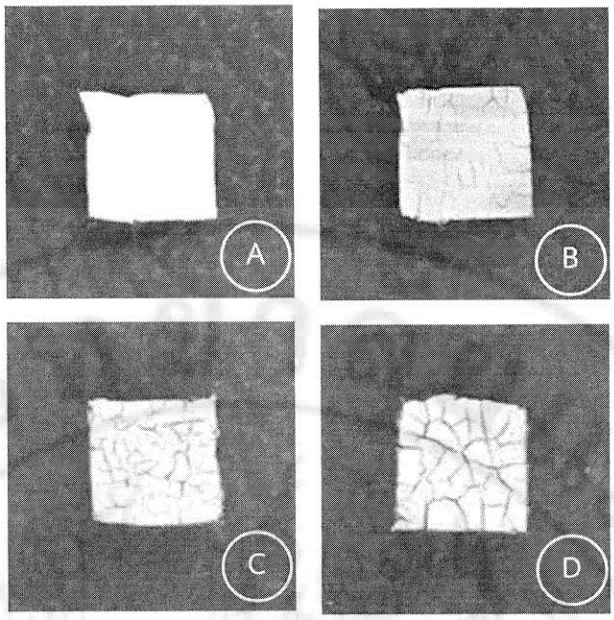
ให้ยึดเกาะเร็วขึ้น ทำให้สีของเซลล์ที่ได้หลังการแช่สีย้อมไวแสงเข้มขึ้น และส่งผลกระทบกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลงตามการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่สีย้อมด้วย



ภาพที่ 101 ความเข้มของสีที่ย้อมด้วยอุณหภูมิต่างกัน (A) 25 °C (B) 30 °C (C) 40 °C (D) 50 °C และ (E) 60 °C สีของเซลล์ที่ย้อมจะเข้มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

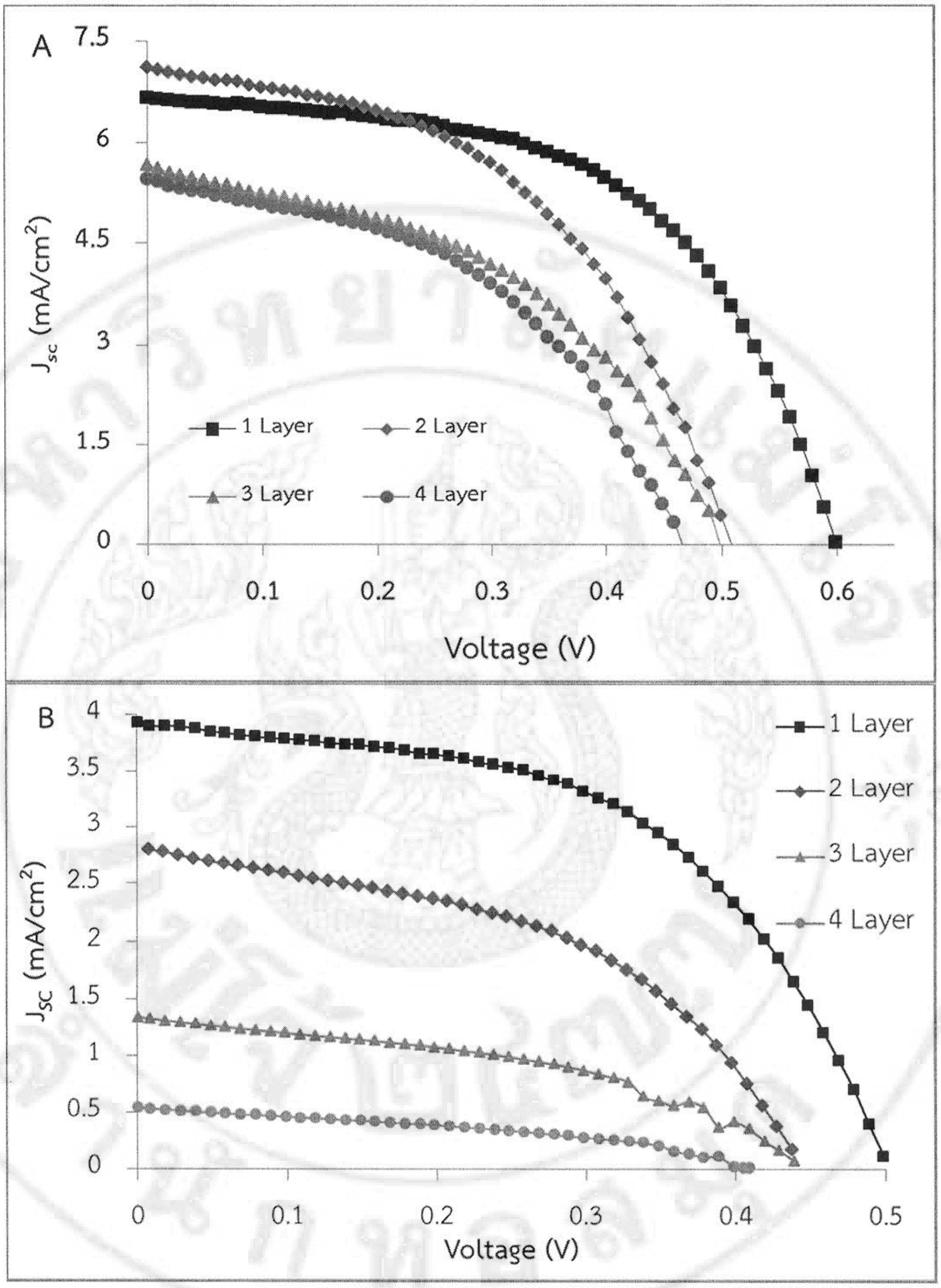
3. ผลของการเพิ่มความหนาของชั้นสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO

เมื่อทราบถึงเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่สีย้อมไวแสงสำหรับการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จาก 2 เงื่อนไขแรกแล้วเพื่อเป็นการตรวจสอบให้ครบทุกปัจจัย จึงนำผลที่ดีที่สุดของเงื่อนไขก่อนหน้ามาเป็นเงื่อนไขควบคุม คือ ใช้เวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิในการแช่สีย้อม 25 และเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO จาก 1 ชั้น ไปจนถึง 4 ชั้น พบว่าขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มจำนวนชั้นจาก 1 ถึง 4 ชั้นหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 400 °C ผิวหน้า (Surface area) มีการเปลี่ยนแปลงการยึดเกาะ และการผสานกันของโมเลกุลสารกึ่งตัวนำ ZnO ต่ำลงแสดงดังภาพที่ 102 (A - D) ชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำ ZnO 1 ชั้นจะมีลักษณะการยึดเกาะและผสานตัวกันเป็นอย่างดีและสมบูรณ์ที่สุด เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นเป็น 2 3 และ 4 ชั้นการผสานตัวของสารกึ่งตัวนำก็เริ่มต่ำลงจนเกิดรอยแตกอย่างชัดเจนสำหรับจำนวนชั้นสารกึ่งตัวนำ ZnO 4 ชั้น ในภาพที่ 102 (D)



ภาพที่ 102 ลักษณะการยึดเกาะของชั้นสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO หลังเผาที่ 400 $^{\circ}C$

เมื่อแช่สีย้อมไวแสงด้วยเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ใช้สีย้อมไวแสง 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 ทดสอบด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ แสดงผลดังภาพที่ 103 (A – B) พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงลดลงตามจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 ในภาพที่ 103 (A) ประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจากค่า V_{OC} ที่ลดลงจาก 0.60 V เหลือ 0.46 V ในขณะที่ค่า J_{SC} จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มชั้นเป็น 2 ชั้น เท่ากับ 7.1 mA/cm^2 แล้วจึงลดลงเหลือ 5.4 mA/cm^2 ที่จำนวนชั้นสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่การลดลงของประสิทธิภาพเกิดขึ้นจากการลดลงของค่า J_{SC} ที่ลดลงจาก 3.92 mA/cm^2 ที่จำนวนชั้น ZnO 2 ชั้น เพิ่มเป็นจำนวนขึ้นจนได้ 4 ชั้นค่า J_{SC} ก็ลดลงเป็น 2.80 1.34 และ 0.54 mA/cm^2 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า V_{OC} จะมีค่าสูงสุดสำหรับเซลล์ที่มี ZnO 1 ชั้น เท่ากับ 0.5 V เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นไปถึง 4 ชั้น ค่า V_{OC} จะมีค่าคงที่เท่ากับ 0.44 V แสดงข้อมูลการทดสอบดังตารางที่ 16

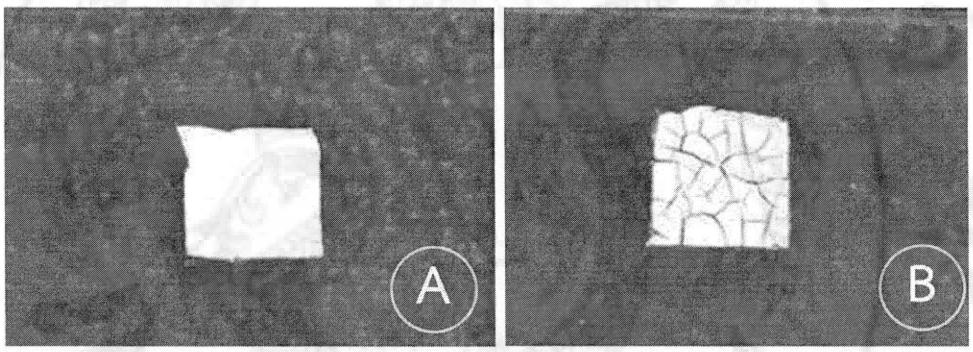


ภาพที่ 103 กราฟความสัมพันธ์ความหนาแน่นกระแส และแรงดัน
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีชั้นของสารกึ่งตัวนำต่างกัน
A) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 และ
B) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง Z907

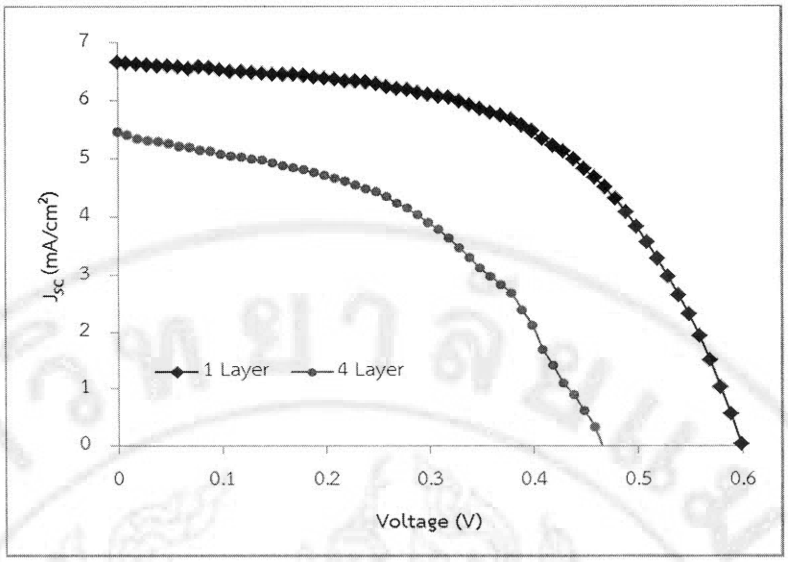
ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบผลการทดสอบจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO ที่ขั้วไฟฟ้าด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907

จำนวนชั้นของ ZnO	1		2		3		4	
Dye	N719	Z907	N719	Z907	N719	Z907	N719	Z907
I_{SC} (mA)	1.07	0.63	1.14	0.45	0.90	0.21	0.87	0.09
J_{sc} (mA/cm^2)	6.66	3.92	7.11	2.80	5.65	1.34	5.44	0.54
V_{OC} (V)	0.60	0.50	0.50	0.44	0.49	0.44	0.46	0.42
I_{max} (mA)	0.82	0.50	0.81	0.31	0.62	0.14	0.64	0.05
V_{max} (V)	0.43	0.33	0.34	0.31	0.33	0.30	0.29	0.27
P_{max} (mW)	0.35	0.16	0.28	0.09	0.20	0.04	0.19	0.01
FF	0.55	0.53	0.49	0.48	0.46	0.44	0.47	0.37
Efficiency (%)	2.20	1.03	1.73	0.59	1.28	0.26	1.17	0.08

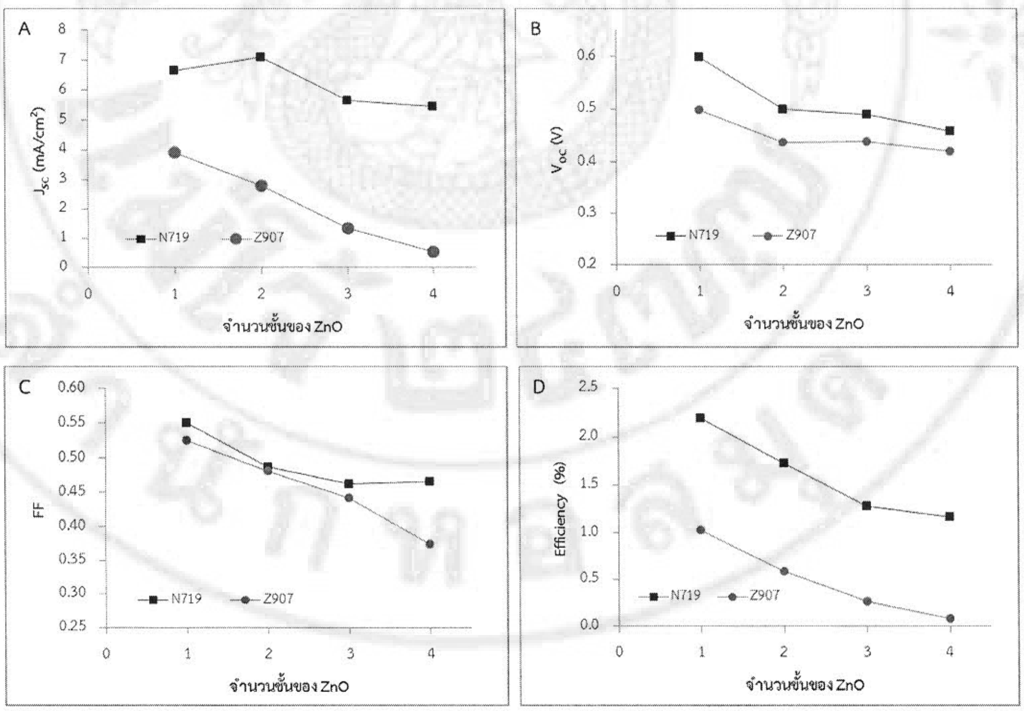
จากผลการทดลองในตารางที่ 16 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 มีประสิทธิภาพลดลงจาก 2.20% เหลือ 1.17% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 และ 1.03% ลดลงเหลือ 0.08% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง Z907 การลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลจากลักษณะการผสานกันของผิวหน้าสารกึ่งตัวนำที่ได้หลังการเผาด้วยอุณหภูมิ 400 °C ที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระยืนยันจากผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างลักษณะผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำ ZnO 1 ชั้น กับ 4 ชั้น ดังภาพที่ 104 จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 ที่มี ZnO 1 ชั้น จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 2.20% ส่วน 4 ชั้น จะมีประสิทธิภาพเพียง 1.17% ที่ใช้เงื่อนไขในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เหมือนกันทั้งเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงและอุณหภูมิในการย้อมดังภาพที่ 105



ภาพที่ 104 ลักษณะผิวหน้าของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำ ZnO 1 ชั้น กับ 4 ชั้น (A) 1 ชั้น และ (B) 4 ชั้น



ภาพที่ 105 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิด N719 ที่มีจำนวนชั้น ZnO 1 ชั้น และ 4 ชั้น



ภาพที่ 106 กราฟแสดงผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่มีจำนวนชั้นสารกึ่งตัวนำต่างกัน (A) J_{SC} (B) V_{OC} (C) FF และ (D) ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

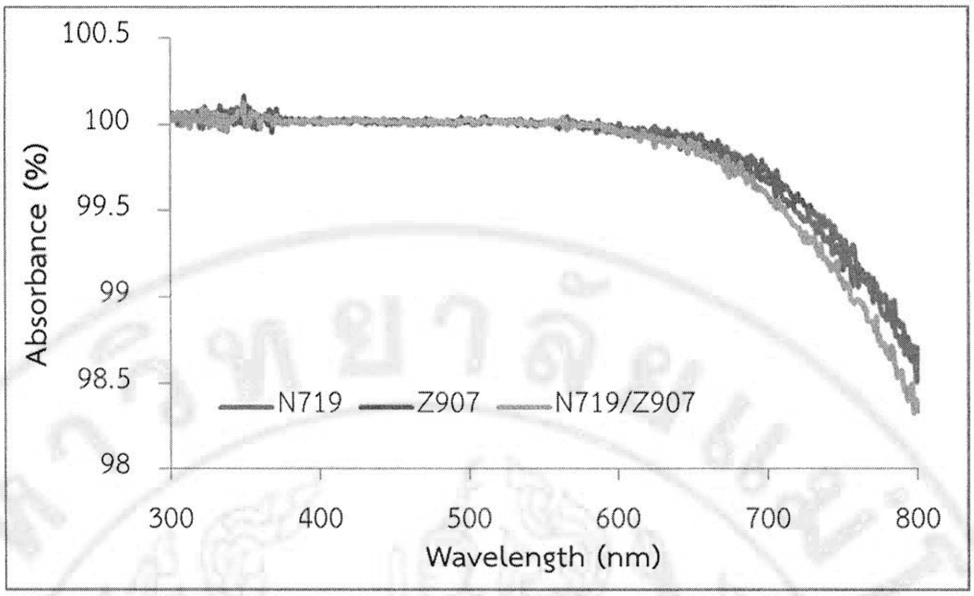
เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีการเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 106 (A - D) โดยพบว่าค่า J_{SC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 มีค่าลดลงมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO ดังภาพที่ 106 (A) ส่วนค่า V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงทั้งสองแบบลดลงในอัตราที่เท่าๆ กัน ซึ่งจากการที่ค่า J_{SC} และ V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้นด้วยการเพิ่มจำนวนชั้นสารกึ่งตัวนำ ZnO มีค่าลดลงตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 106 (D)

4. ผลของการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมชนิดผสม N719/Z907

ผลที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 ที่เตรียมด้วยเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสง และการเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำทำให้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ซึ่งเงื่อนไขในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เหมาะสมคือ ใช้อุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 25 $^{\circ}$C เวลาในการแช่สีย้อมไวแสง 2 ชั่วโมง และความหนาของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำ 1 ชั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดสอบการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสงทั้ง 2 ชนิดผสมกัน โดยใช้แผ่นรองรับ เป็นกระจกนำไฟฟ้าชนิด FTO สารกึ่งตัวนำเป็น ZnO ความหนา 1 ชั้น พื้นที่รับแสง เท่ากับ 0.16 cm^2 แช่สีย้อมไวแสงนาน 2 ชั่วโมง โดยมีการทดสอบการดูดกลืนแสง และทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้นด้วยชุดจำลองแสงอาทิตย์ แสดงผลดังต่อไปนี้

4.1 การดูดกลืนแสง

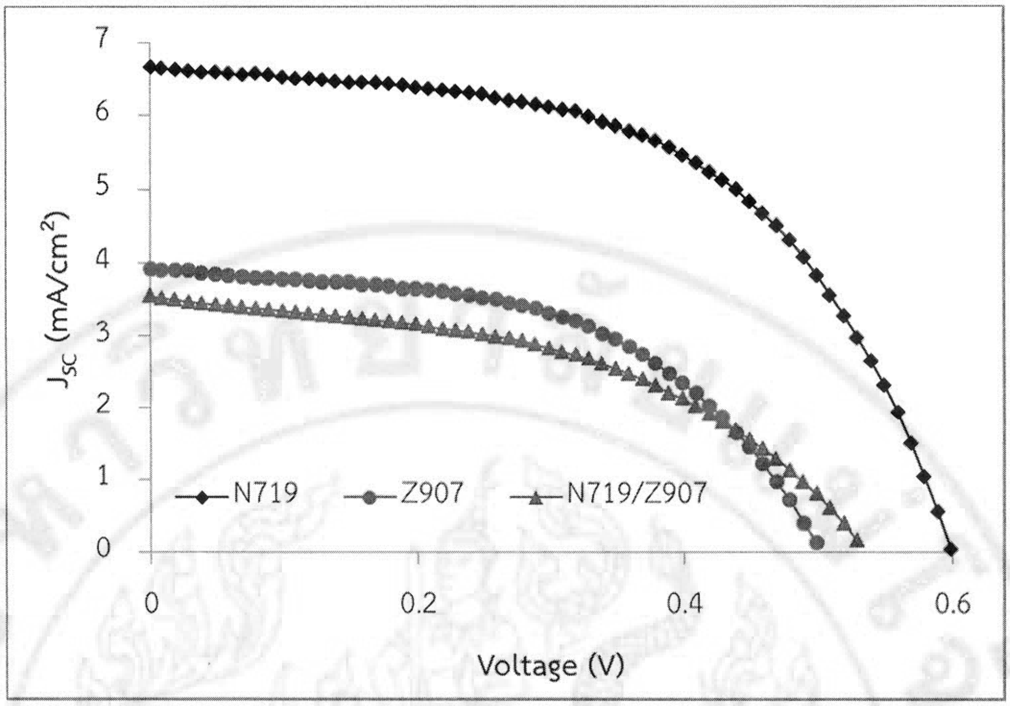
การทดสอบลักษณะการดูดกลืนแสงทดสอบด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (UV-Vis spectroscopy) ทดสอบช่วงการดูดกลืนแสงตั้งแต่ 300 – 800 nm ดังภาพที่ 107 จากกราฟพบว่าสีย้อมไวแสงทั้ง 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 มีความสารถดูดกลืนแสงได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่น 300 – 600 nm



ภาพที่ 107 ลักษณะการดูดกลืนแสงของสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง 3 ชนิด คือN719 Z907 และ สีย้อมผสม N719/Z907

4.2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในการทดสอบเงื่อนไขที่เหมาะสมก่อนหน้า ถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขควบคุมในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สีย้อมไวแสง 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 ผสมกัน โดยใช้พื้นที่รับแสงเท่ากับ 0.4 × 0.4 cm^2 สารกึ่งตัวนำ ZnO ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ แสดงผลดังภาพที่ 108 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงเพียงชนิดเดียวประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 0.89 % ดังตารางที่ 17



ภาพที่ 108 กราฟ J – V ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ที่ใช้สีย้อมชนิดผสม N719/Z907 และเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้สีย้อมชนิดเดียว

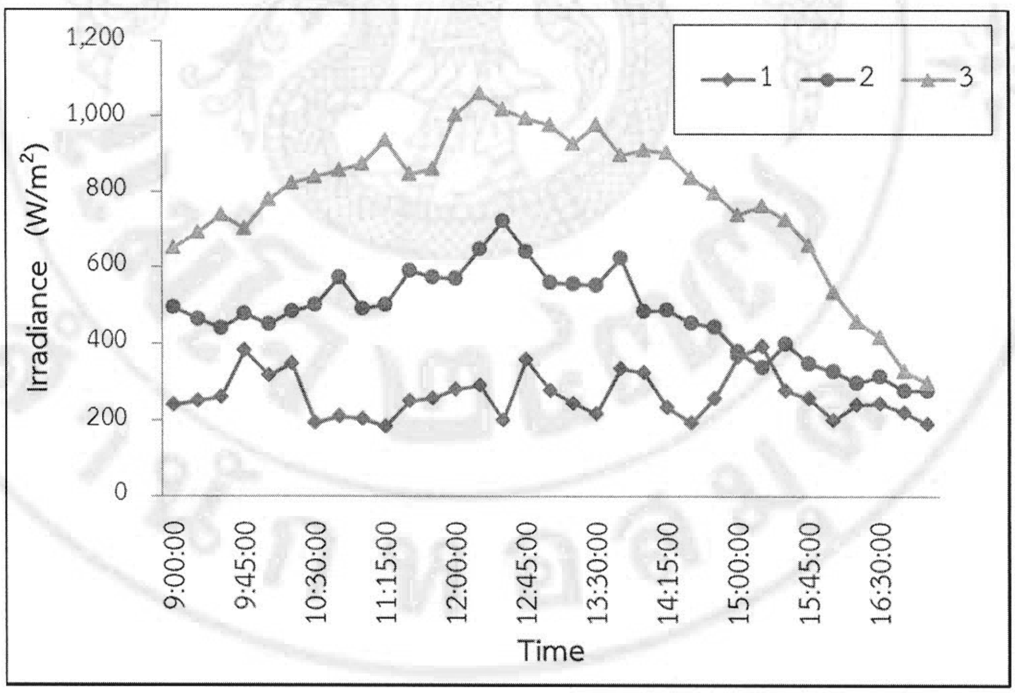
ตารางที่ 17 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมด้วยสีย้อมชนิด N719 Z907 และ N719/Z907

Parameter	N719	Z907	N719/Z907
I_{SC} (mA)	1.07	0.63	0.57
V_{OC} (V)	0.60	0.50	0.53
I_{max} (mA)	0.82	0.50	0.40
V_{max} (V)	0.43	0.33	0.36
P_{max} (mW)	0.35	0.16	0.14
FF	0.55	0.53	0.47
Efficiency (%)	2.20	1.03	0.89

การทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1. ผลของความเข้มแสงอาทิตย์

ความเข้มแสงถือเป็นตัวแปลที่สำคัญ และมีผลกระทบโดยตรงกับเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากที่ความเข้มแสงที่ต่างกัน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการทดสอบการทำงานในสภาพการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนด ความเข้มแสงอาทิตย์ออกตามสภาพอากาศ 3 สภาพอากาศ โดยอ้างอิงตามปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สภาพอากาศที่มีเมฆมาก (1) สภาพอากาศที่มีเมฆบางส่วน (2) และสภาพอากาศที่ไม่มีเมฆ (3) โดยความเข้มแสงอาทิตย์ใน 1 วันสำหรับแต่ละสภาวะอากาศสามารถแสดงได้ในภาพที่ 109 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าความเข้มแสงในแต่ละสภาวะอากาศจะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลงดังตารางที่ 18 แสดงค่าความเข้มแสงในแต่ละสภาพอากาศที่ทำการทดสอบ โดยจะพบว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของวันที่ไม่มีเมฆจะมีค่าประมาณ 780 W/m^2 ซึ่งมากกว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของวันที่มีเมฆมากประมาณ 560 W/m^2

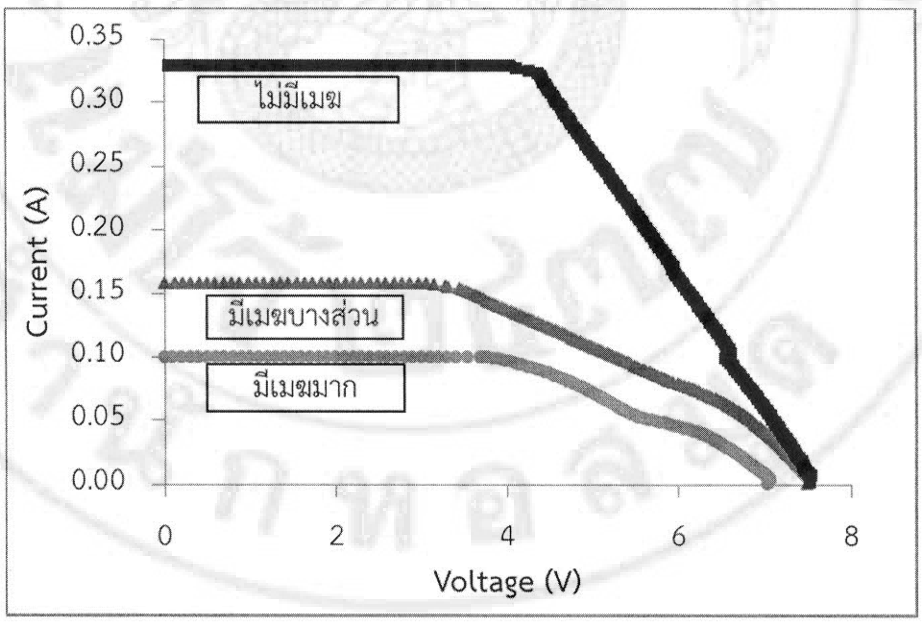


ภาพที่ 109 ลักษณะความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละสภาพอากาศ
(1) มีเมฆมาก (2) มีเมฆบางส่วน (3) ไม่มีเมฆ

ตารางที่ 18 ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สภาวะแวดล้อมต่างๆ

สภาพอากาศ	เมฆมาก	เมฆบางส่วน	ไม่มีเมฆ
ความเข้มแสงน้อยสุด (W/m^2)	183	278	300
ความเข้มแสงมากสุด (W/m^2)	394	722	1063
ความเข้มแสงเฉลี่ย (W/m^2)	264.45	477.44	782.36
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	60	113	195

จากการอ้างอิงค่าความเข้มแสงตามสภาพอากาศในการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า แสดงผลดังภาพที่ 110 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ทดสอบตามค่าความเข้มแสงอ้างอิง 3 สภาพอากาศ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า I_{SC} และ V_{OC} ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะลดลงเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 19

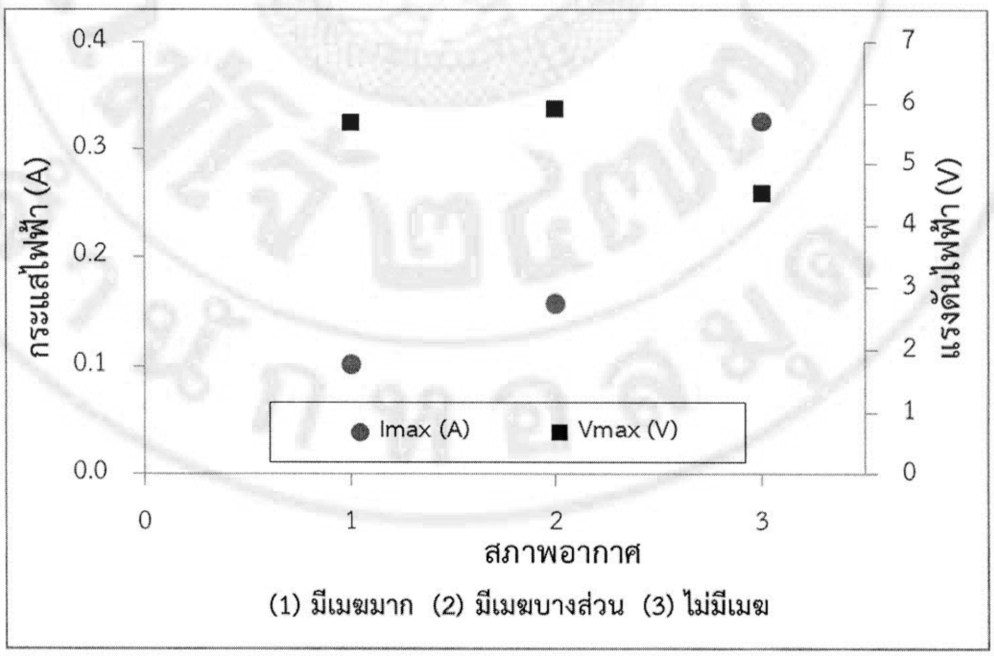


ภาพที่ 110 กราฟความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในแต่ละสภาพอากาศของความเข้มแสงอาทิตย์

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สภาพอากาศต่างๆ

สภาพอากาศ	I_{max} (A)	V_{max} (V)	FF	η (%)
มีเมฆมาก	0.10	5.70	0.80	3.68
มีเมฆบางส่วน	0.16	5.92	0.80	3.47
ไม่มีเมฆ	0.33	4.52	0.60	3.14

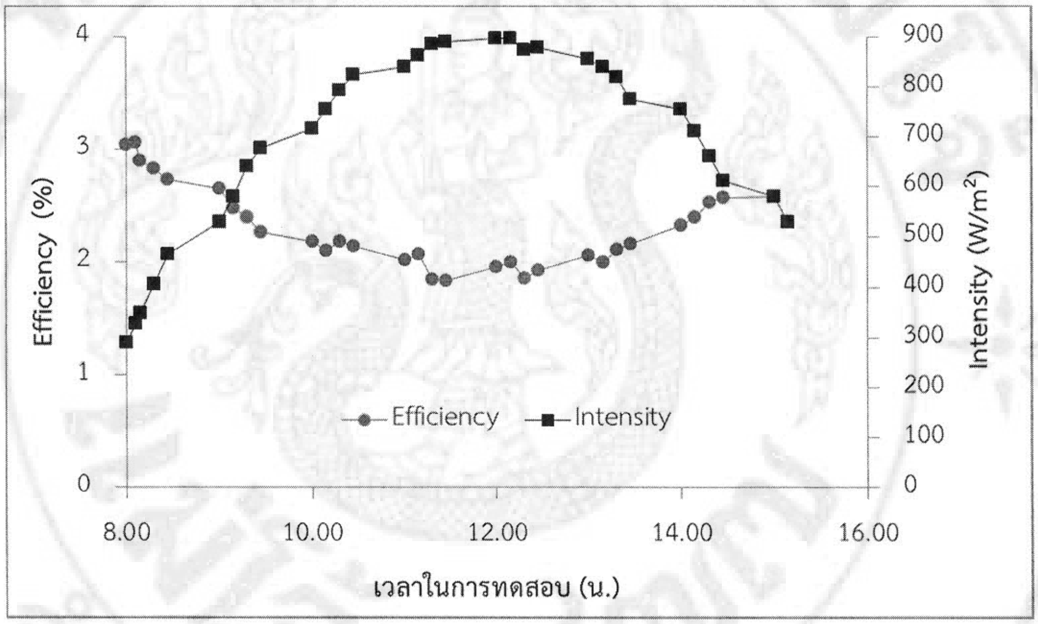
ภาพที่ 111 แสดงผลของสภาพอากาศที่มีต่อค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุด จากผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สภาพอากาศที่ต่างกัน พบว่าที่สภาพอากาศแบบมีเมฆมาก ความเข้มแสงอาทิตย์จะต่ำ ซึ่งจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดต่ำเพียง 0.1 A และเมื่อสภาพอากาศเป็นแบบไม่มีเมฆ ความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.33 A และเมื่อพิจารณาค่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดพบว่าได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศเช่นเดียวกัน จากการทดสอบพบว่า ที่สภาพอากาศมีเมฆมาก แรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.7 V แต่เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนไปเป็นแบบปลอดโปร่ง แรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลงเหลือ 4.5 V แสดงผลทดทดสอบได้ตามกราฟใน



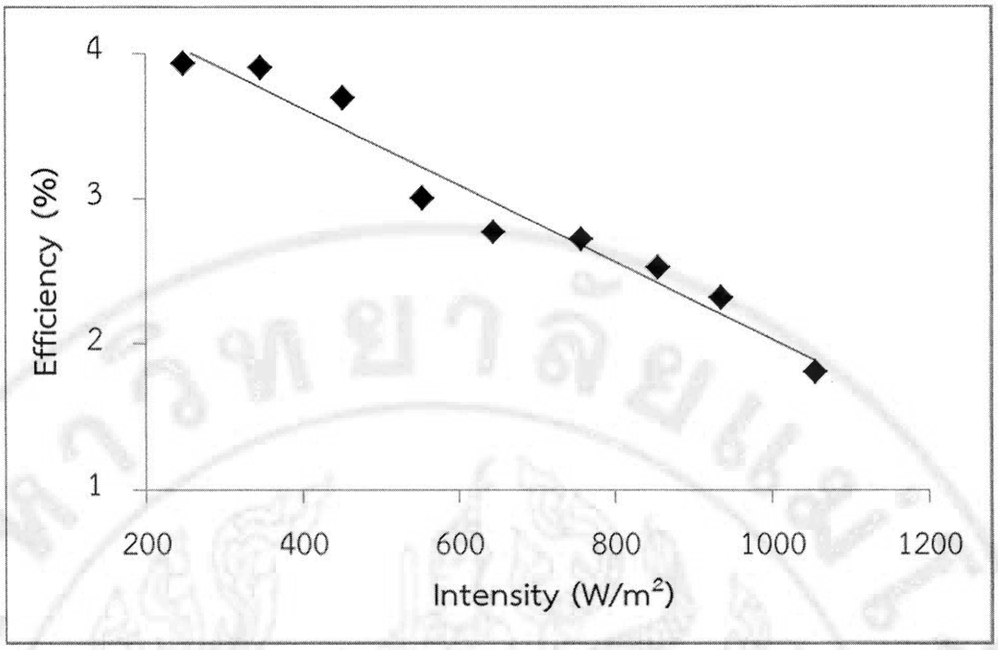
ภาพที่ 111 ค่ากระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละสภาพอากาศ

ของความเข้มแสงอาทิตย์

จากการทดสอบการทำงานในวันที่ท้องฟ้าปรอดโปร่งตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดในวันที่ทดสอบ และเมื่อค่าความเข้มแสงลดลงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่สูงขึ้นดังภาพที่ 112 พบว่าค่าความเข้มแสงสูงสุดของวันประมาณ 800 - 900 W/m^2 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่ำสุดประมาณ 1.8% ในขณะที่ความเข้มแสงประมาณ 300 – 400 W/m^2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 3% ซึ่งเป็นไปตามการพิจารณาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในแต่ละช่วงของความเข้มแสงตั้งแต่ 200 – 1000 W/m^2 เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้นประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าที่ลดลงดังภาพที่ 113



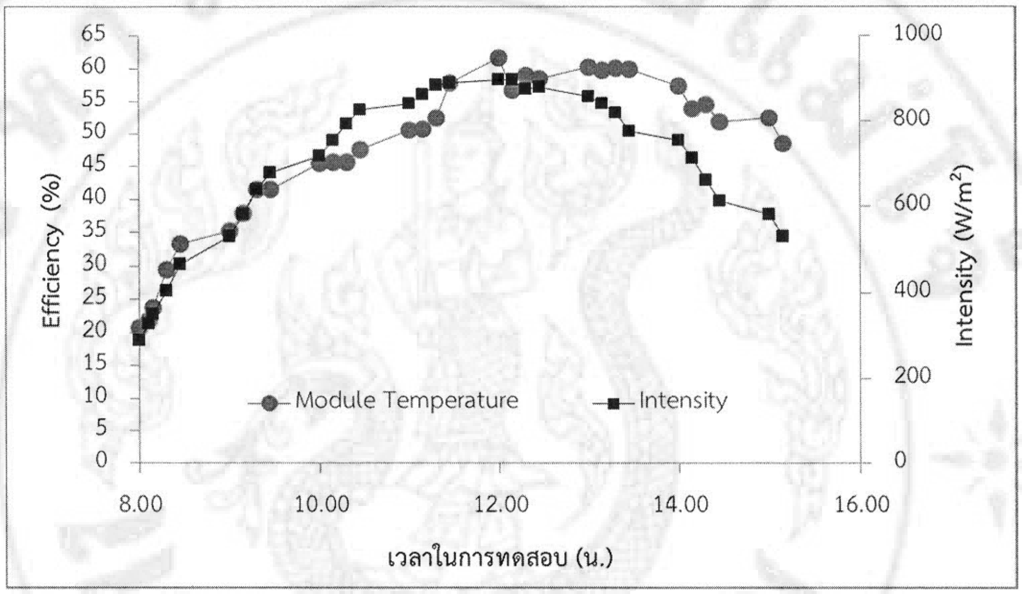
ภาพที่ 112 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นในการทดสอบตามสภาพอากาศจริง



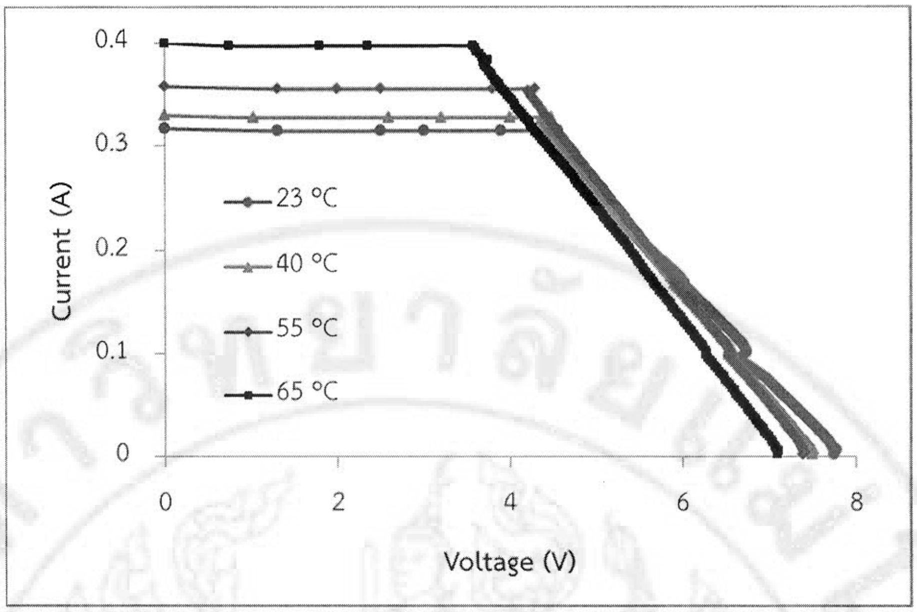
ภาพที่ 113 ประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ในการทดสอบการทำงานในสภาพการทำงานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2. ผลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานจริง อุณหภูมิจะส่งผลถึงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากการที่ได้รับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการสะสมของความร้อนภายในโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ และส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงผลได้ดังภาพที่ 114

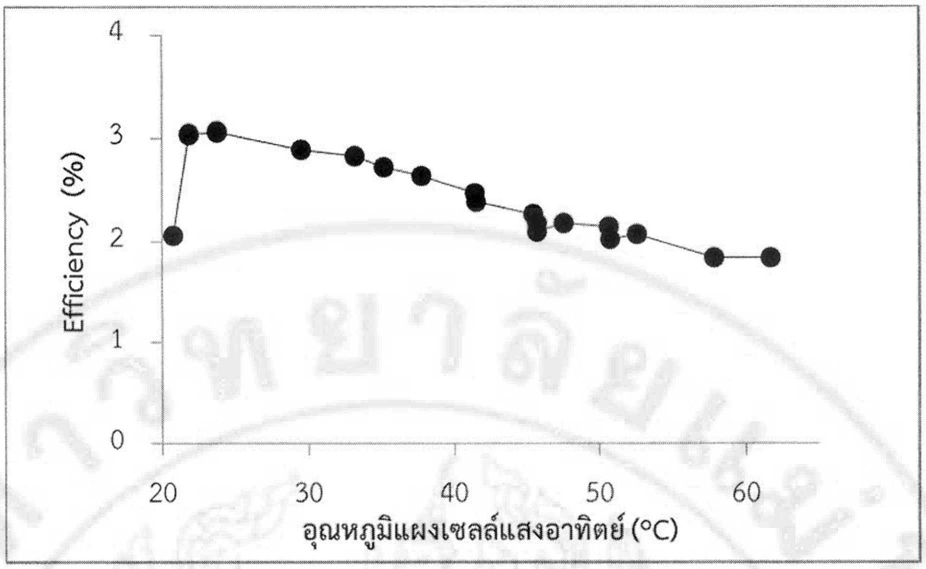


ภาพที่ 114 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อค่าความเข้มแสงสูงขึ้นในการทดสอบภายใต้สภาพการทำงานจริง



ภาพที่ 115 กราฟความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันไฟฟ้า
ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 800 W/m^2

จากภาพที่ 115 แสดงลักษณะของกระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 800 W/m^2 จากกราฟจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงผลิตได้จะมีค่าลดลง แต่ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 23 °C เซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.31 A แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 4.56 V เมื่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นเป็น 65 °C จะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.38 A แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 3.75 V แต่เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าฟิลแฟกเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และค่าประสิทธิภาพดังตารางที่ 20 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แล้วค่อยๆ ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65 °C แสดงข้อมูลดังภาพที่ 116



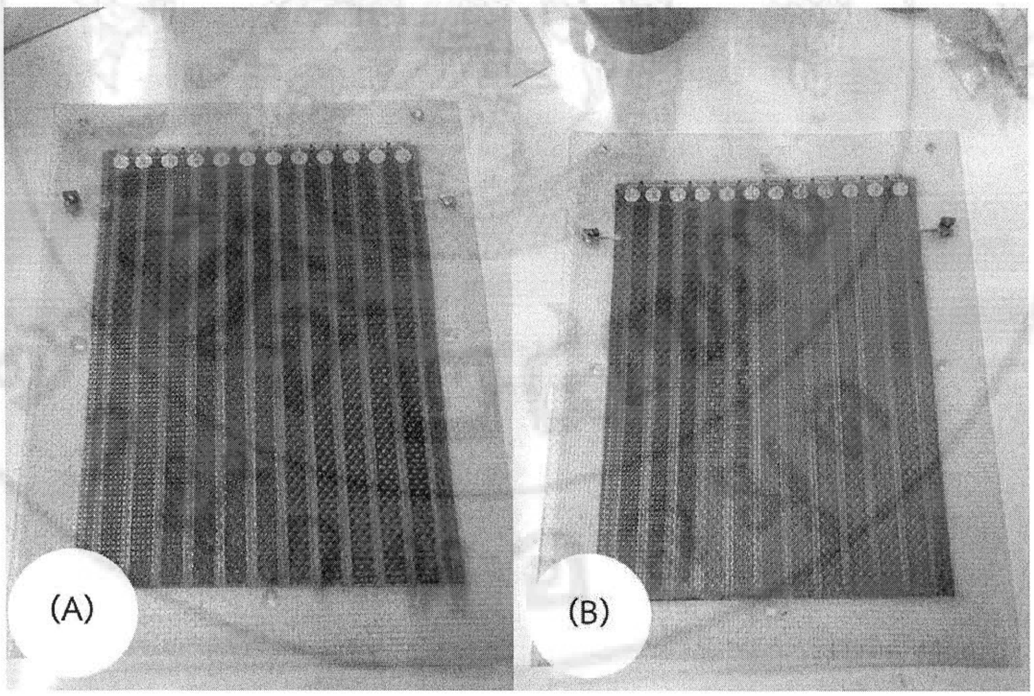
ภาพที่ 116 ความเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ทดสอบในสภาพการทำงานจริง

ตารางที่ 20 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

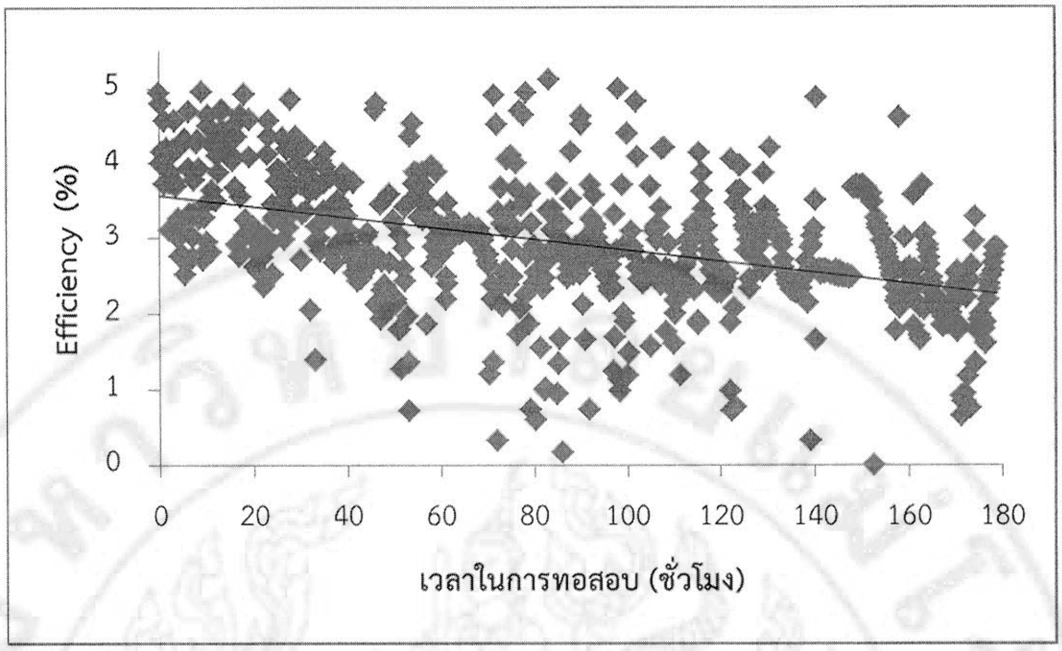
อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (°C)	23	40	55	65
กระแสไฟฟ้า (A)	0.31	0.33	0.36	0.38
แรงดันไฟฟ้า (V)	4.56	4.49	4.30	3.75
กำลังไฟฟ้า (W)	1.43	1.47	1.53	1.44
ฟิลแฟกเตอร์ (FF)	0.58	0.59	0.58	0.51
ประสิทธิภาพ (%)	2.99	3.06	3.12	2.78

3. ความคงทนของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบการทำงานในสภาพการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงใช้เวลาในการประเมินคุภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้านความคงทดด้วยเวลาในการใช้งานมากกว่า 200 ชั่วโมง พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการทดสอบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง G-Cell ที่จำหน่ายโดย บริษัท G24 Power จำกัด ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานคือ น้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสามารถโค้งงอได้ แสดงดังภาพที่ 117 (A) พบว่าหลังจากการใช้งานมากกว่า 200 ชั่วโมง สถานที่ในการทดสอบคือ ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ Latitude ที่ 18.894 องศาเหนือ Longitude ที่ 99.0196 องศาตะวันออก เริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – เดือนธันวาคม แผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มเกิดฟองอากาศขึ้นบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 117 (B) ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ต่ำลงดังภาพที่ 118 โดยเมื่อเริ่มการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีประสิทธิภาพประมาณ 4.93% หลังการทดสอบนาน 200 ชั่วโมงพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลงเหลือประมาณ 2.86% สัดส่วนการลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 41.99%



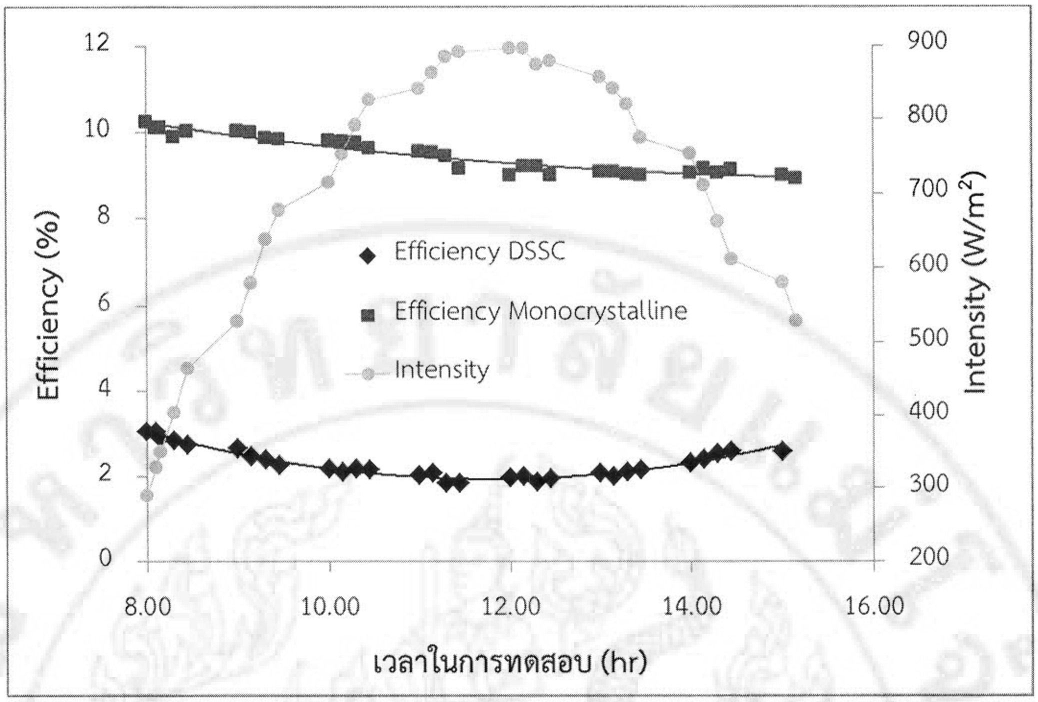
ภาพที่ 117 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง G-Cell ที่ใช้ในการทดสอบ
(A) เซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ก่อนใช้ในการทดสอบ (B) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบนาน 200 ชั่วโมง



ภาพที่ 118 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับเวลาในการทดสอบตามสภาพการทำงานจริง

4. เปรียบเทียบการทำงานระหว่าง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอน

การทดสอบการทำงานในสภาพแวดล้อมการทำงานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานจริง โดยทำการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว พบว่าเมื่อค่าความเข้มแสงสงสูงขึ้นในวันที่ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงสูงขึ้น ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สารกึ่งตัวนำซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว ที่เก็บข้อมูลในเวลาเดียวกันประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงในเวลาที่ทำการทดสอบ ในขณะที่ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในหนึ่งวันดังภาพที่ 119



ภาพที่ 119 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ในการทำสอบตามสภาพการทำงานจริง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบเพื่อหาแนวทางในการเงื่อนไขในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ด้วยการทดสอบสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน คือ เงื่อนไขของเวลาในการแช่สีย้อมไวแสงที่ 2 ถึง 48 ชั่วโมง เงื่อนไขของอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงที่ 25 ถึง 60 $^{\circ}$C และเงื่อนไขการเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO จาก 1 ถึง 4 ชั้น โดยใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 2.20% สร้างขึ้นโดยใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 ในเงื่อนไขเวลาในการแช่สีย้อมไวแสงเท่ากับ 2 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิในการแช่ 25 $^{\circ}$C และจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO 1 ชั้น สามารถสรุปรายละเอียดในแต่ละเงื่อนไขได้ดังนี้

1. เวลาในการแช่สีย้อมไวแสง

จากการทดสอบสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่โดยใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ Z907 ใช้เวลาในการย้อมสีตั้งแต่ 2 4 6 8 10 12 24 และ 48 ชั่วโมงของทั้งสองสีย้อมไวแสง โดยเซลล์ที่สร้างขึ้นจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน แต่เงื่อนไขของเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเหมือนกันคือ เวลาในการแช่สีย้อมที่ให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงสุดเท่ากับ 2 ชั่วโมง และประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 48 ชั่วโมง ทั้งนี้เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 2.20% และต่ำสุดเท่ากับ 1.24% ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อม N719 จากเวลาในการแช่ต่ำแล้วเพิ่มเวลาให้นานขึ้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 43.64% และในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อม Z907 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 1.03% และต่ำสุดเท่ากับ 0.07% ในเวลา 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับอัตราการลดลงเท่ากับ 93.20% ดังนั้นจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการแช่สีย้อมไวแสงในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเท่ากับ 2 ชั่วโมง ทั้งเซลล์ที่ใช้สีย้อมชนิด N719 และ Z907

2. อุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสง

จากการทดสอบผลการทดสอบเปลี่ยนอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจาก 25 30 40 50 และ 60 °C โดยเซลล์ที่ทดสอบใช้สีย้อมไวแสง 2 ชนิด คือ N719 และ Z907 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงสำหรับสีย้อมไวแสง ทั้งสองชนิดเท่ากับ 25 °C ซึ่งทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 2.20% ในเซลล์ที่ใช้สีย้อมชนิด N719 และ1.03% ในเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 เมื่อมีการมีการเมอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงเป็น 60 °C พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพลดลงแหลือ 0.94% และ 0.37% ในเซลล์ที่ใช้สีย้อม N719 และ Z907 ตามลำดับ อัตราการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์ที่ใช้ N719 เท่ากับ 57.27% และเซลล์ที่ใช้ Z907 เท่ากับ 64.1% ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการแช่สีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเท่ากับ 25 °C

3. จำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเงื่อนไขต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเงื่อนไขสุดท้ายที่ทำการทดสอบคือ การเพิ่มชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO จาก 1 ถึง 4 ชั้น โดยใช้เงื่อนไขควบคุมจากเวลา และอุณหภูมิที่ดีที่สุด พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือเซลล์ที่มีจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ 1 ชั้น และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นเป็น 4 ชั้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะลดลงจาก 2.20% 1 ชั้น เหลือ 1.17% 4 ชั้น สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด N719 และ 1.03% 1 ชั้น เหลือ 0.08% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมไวแสงชนิด Z907 อัตราการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์ที่ใช้ N719 เท่ากับ 46.82% และเซลล์ที่ใช้ Z907 เท่ากับ 92.23% ดังนั้นสามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่าจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเท่ากับ 1 ชั้น

4. เงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงทั้ง 3 เงื่อนไข คือ เวลาในการย้อมสีย้อมไวแสง อุณหภูมิในการย้อมสีย้อมไวแสง และจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ ZnO เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 2.2% ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง N719 และ 1.03% ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสง Z907 ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

สีย้อมไวแสง	เวลาในการย้อม (hr)	อุณหภูมิในการย้อม (°C)	จำนวนชั้น ZnO (ชั้น)	ประสิทธิภาพ (%)
N719	2	25	1	2.2
Z907	2	25	1	1.03

5. สีย้อมชนิดผสม N719 และ Z907

จากการทดสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ทำให้ทราบเงื่อนไขที่ดีที่สุดจึงนำเงื่อนไขเหลานั้นมาใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สีย้อมไวแสงชนิดผสมระหว่า N719 และ Z907 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมไวแสงเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง N719/Z907 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.89% ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สีย้อมชนิดเดียวคือ N719 และ Z907 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 2.20% 1.03% ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงว่าการผสมสีย้อมไวแสงร่วมกัน 2 ชนิดแล้วใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจะได้เซลล์ที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร

การทดสอบการทำงานภาคสนามของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

1. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริงได้ทกการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อม 3 แบบ คือ สภาพอากาศที่มีเมฆมาก สภาพอากาศที่มีเมฆบางส่วน และ สภาพอากาศที่ไม่มีเมฆ พบว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจะได้รับผลกระทบจากปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มแสง และอุณหภูมิแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ และหลังจากการทดสอบด้วยเวลานานกว่า 200 ชั่วโมง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการทดสอบ จะเริ่มเสื่อมสภาพ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดฟองอากาศภายในแผงส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำลง จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มแสงต่ำในวันที่มีเมฆมากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.8% เมื่อเทียบกับวันที่มีค่าวามเข้มแสงสูงประสิทธิภาพจะลดลงเหลือเพียง 2.87% อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจากการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพ เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มจาก 20 °C ในช่วงเช้าที่มีความเข็มแสงต่ำ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดในวันที่ทดสอบเท่ากับ 60 °C ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะค่อยปรับลดลงตามค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อค่าความเข้มแสงต่ำ ค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีความเหมาะสมในการใช้กับบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงต่ำเพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้จริง

ด้วยผลของความเข้มแสงที่ต่ำจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพสูงดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงควรใช้งานกับพื้นที่ที่มีค่าความเข้มแสงต่ำ เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสามารถผลิตพลังงานได้สูง และด้วยคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีความยืดหยุ่นสามารถโค้งงอได้ น้ำหนักเบา จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการใช้งานกับหลังคาที่มีส่วนโค้งของกระเบื้องหลังคาได้ ทำให้ใช้พื้นที่หลังคาได้เต็มพื้นทีเนื่องจากสามารถติดแผงตามพื้นที่ส่วนโค้งของกระเบื้องหลังคาได้ และน้ำหนักเบาซ่งจะไม่มีผลต่อโครงสร้างของหลังคา

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. 2555. **สถานการณ์พลังงาน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_dec_55/sit_12Dec55.pdf (20 กุมภาพันธ์2558).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

____________. 2557. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2558).

____________. ม.ป.ป. **ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.chumphon.kmitl.ac.th/me/images /stories/km/km002.pdf (20 กุมภาพันธ์ 2558).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. **เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology.htm (25 กุมภาพันธ์ 2558).

กฤษฎา โฮ่งสิทธิ์. 2555. **การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้ฟิล์มบางซิงก์ออกไซด์สองชั้นที่เตรียมด้วยวิธีการสปาร์คเป็นโฟโตอิเล็กโทรด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิช พรมอารักษ์, ทวีศักดิ์ สุดยอดสุข, สายันต์ แสงสุวรรณ และ ทินกร แก้วอินทร์. ม.ป.ป. **วิธีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.** อุบลราชธานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้าน วิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม โครงการพัฒนาฐานข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน. ม.ป.ป. **ซิงค์ออกไซด์ (ZnO). ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน ข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโน.** [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info_index.php?cac_id=2 (17 พฤษภาคม 2559).

มณฑาสินี หอมหวาน. 2555. พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต. **Executive Journal**, 32 (1), 100-104.

วรนุช แจ้งสว่าง. 2551. **พลังงานหมุนเวียน.** กรุงเทพ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรุตม์ คุณสุทธิ์. 2553. **การเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของโครงสร้างนาโนซิงก์ไทเทเนตสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรรณวิมล อารยะปราณี และ ธนบัตร มีศิลป. 2555. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงใช้สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง. น. 215-221. ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2555.** ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.

สุรัตน์ ฟูเต็มวงค์. 2554. **ผลของฟิล์มบางนิกเกิลออกไซด์ต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงซิงก์ออกไซด์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เสริม จันทร์ฉาย. 2557. **รังสีอาทิตย์.** นครปฐม: เพชรเกษมการพิมพ์.

เสริม จันทร์ฉาย และ จรุงแสง ลักษณบุญส่ง. 2542. **รายงานการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.

Asghar, A., Emziane, M., Pak, H.K. & Oh, S.Y. 2014. Outdoor testing and degradation of dye-sensitized solar cells. **Solar Energy Materrials & Solar Cells,** (128), 335-342.

Basheer, B., Mathew, D., George, B.K. & Nair, C.P.R. 2014. An overview on the spectrum of sensitizers: The heart of Dye Sensitized Solar Cells. **Solar Energy,** (108), 479–507.

Bella, F., Griffini, G., Gerosa, M., Turri, S. & Bongiovanni, R. 2015. Performance and stability improvements for dye-sensitized solar cells in the presence of luminescent coatings. **Journal of Power Sources,** (283), 195-203.

Bosiak, M.J., Rakowiecki, M., Wolan, A., Szlachta, J., Stanek, E., Cycon, D. & Skupien, K. 2015. Highly efficient benzodifuran based ruthenium sensitizers for thin-film dye-sensitized solar cells. **Dyes and Pigments,** (121), 79-87.

Bouabdallah, A., Olivier, J.C., Bourguet, S., Machmoum, M. & Schaeffer, E. 2015. Safe sizing methodology applied to a standalone photovoltaic system. **Renewable Energy,** (80), 266-274.

Huo, J., Zheng, M., Tu, Y., Wu, J., Hu, L. & Dai, S. 2015. A high performance cobalt sulfide counter electrode for dye-sensitized solar cells. **Electrochimica Acta,** (159), 166–173.

Kerdchuen, T. 2013. Renewable Energy in Thailand: Opportunity and Technology Allocation. **Energy Procedia,** 34, 13-16.

Kim, J.H., Moon, K.J., Kim, J.M., Lee, D. & Kim, S.H. 2015. Effects of various light-intensity and temperature environments on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. **Solar Energy,** (113), 251–257.

Kim, J.T., Lee, S.H. & Han, Y.S. 2015. Enhanced power conversion efficiency of dye-sensitized solar cells with Li2SiO3-modified photo electrode. **Applied Surface Science,** (333), 134–140.

Kim, Seok-Soon, Yum, Jun-Ho & Sung, Yung-Eun. 2003. Improved performance of a dye-sensitized solar cell using a TiO2/ZnO/Eosin Y electrode. **Solar Energy Materials & Solar Cells,** (79), 495–505.

Li, L., Chen, R., Jing, G., Zhang, G., Wu, F. & Chen, S. 2010. Improved performance of TiO2 electrodes coated with NiO by magnetron sputtering for dye-sensitized solar cells. **Applied Surface Science,** (256), 4533–4537.

Lu, L., Li, R., Fan, K. & Peng, T. 2010. Effects of annealing conditions on the photoelectron chemical properties of dye-sensitized solar cells made with ZnO nano-particles. **Solar Energy,** 84(18), 844–853.

Ni, Jen-Shyang., Hung, Chun-Yi., Liu, Ken-Yen., Chang, Yu-Hsun., Ho, Kuo-Chuan. & Lin, King-Fu. 2012. Effects of tethering alkyl chains for amphiphilic ruthenium complex dyes on their adsorption to titanium oxide and photovoltaic properties. **Journal of Colloid and Interface Science,** (386), 359–365.

Nosheen, E., Shah, S.M., Hussain, H. & Murtaza, G. 2016. Photo-sensitization of ZnS nanoparticles with renowned rutheniumdyes N3, N719 and Z907 for application in solid state dye sensitized solar cells: A comparative study. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology,** (162), 583–591.

Raksa, P., Nilphai, S., Gardchareon, A. & Choopun, S. 2009. Copper oxide thin film and nanowire as a barrier in ZnO dye-sensitized solar cells. **Thin Solid Films,** (517), 4741–4744.

Sommeling, P.M., Späth, M., Smit, H.J.P., Bakker, N.J. & Kroon, J.M. 2004. Long-term stability testing of dye-sensitized solar cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry,** (164), 137–144.

Torchani, A., Saadaoui, S., Gharbi, R. & Fathallah, M. 2015. Sensitized solar cells based on natural dyes. **Current Applied Physics,** (15), 307-312.

Xing, Y., Han, P., Wang, S., Liang, P., Lou, S., Zhang, Y., Hu, S., Hu, S., Zhao, C. & Mi, Y. 2015. A review of concentrator silicon solar cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** (51), 1697-1708.

Zhao, X., Li, D., Conrad, B., Wang, L., Soeriyadi, A.H., Diaz, M., Lochtefeld, A., Gerger, Andrew., Perez-Wurfl, I. & Barnett, A. 2015. Material and device analysis of SiGe solar cell in a GaAsP–SiGe dual junction solar cell on Si substrate. **Solar Energy Materials & Solar Cells,** (134), 114–121.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณสารเคมี

1. การเตรียมสารกึ่งตัวนำโลหะ

PEG 20000 ใช้ในการเตรียมสารกึ่งตัวนำโลหะในปริมาณ 10% W เตรียมสารละลายในปริมาณ 20 ml ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายสามารถคำนวณปริมาณสารที่ต้องชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลได้ดังนี้

สารละลาย PEG 20000 100% มีปริมาณสาร = 20 ml

ต้องการใช้สาร PEG 20000 10% คิดเป็นปริมาณสาร = $(10 \times 20) \div 100$

= 2 ml ~ 2 g

2. สีย้อมไวแสง

2.1 N719 Industry Standard Dye

สีย้อมไวแสง N719 จะถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายโดยในงานวิจัยนี้จะใช้ความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงเท่ากับ 0.3 mM ในปริมาณสารละลาย 100 ml สามารถคำนวณจำนวนสารที่ต้องชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลได้ดังนี้

สารละลายสีย้อมไวแสง 1000 ml ความเข้มข้น = 0.3 mM

สารละลายสีย้อมไวแสง 100 ml ความเข้มข้น = $(100 \times 0.3) \div 1000$

= 0.03 mM

มวลโมเลกุลของสีย้อมไวแสง N719 = 1188.55 g/M ต้องชั่ง = $(0.03 \times 1188.55) \div 1000$

= 0.0356 g

2.2 Z907 Hydrophobic Dye

สีย้อมไวแสง Z907 จะถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายโดยในงานวิจัยนี้จะใช้ความเข้มข้นของสีย้อมไวแสงเท่ากับ 0.3 mM ในปริมาณสารละลาย 100 ml สามารถคำนวณจำนวนสารที่ต้องชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลได้ดังนี้

สารละลายสีย้อมไวแสง 1000 ml ความเข้มข้น = 0.3 mM

สารละลายสีย้อมไวแสง 100 ml ความเข้มข้น = $(100 \times 0.3) \div 1000$

= 0.03 mM

มวลโมเลกุลของสีย้อมไวแสง N719 = 870.10 g/M ต้องชั่ง = $(0.03 \times 870.10) \div 1000$

= 0.0261 g

2.3 ปริมาณสารโลหะแพลทินัม Pt

เตรียมสารละลาย Cl_6H_2Pt ความเข้มข้น 20 mM โดยได้ปริมาณสาร Cl_6H_2Pt 0.021 g ละลายในอะซีโตนปริมาตร 1 cm^3

2.4 สารละลายอิเล็กโตรไลต์

เตรียมสารละลายอิเล็กโตรไลต์ LiI/I_2 ใช้สาร I_2 0.13 g และ LiI 0.67 g ละลายในตัวทำละลายอะซิโตนไนไตร 10 ml จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของ I_2 0.025M และ LiI 0.25M คำนวณได้จาก

ภาคผนวก ข

ผลงาน และการเผยแพร่งานวิจัย

ENETT12-PV-224

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ผลิตจากสีย้อมไว้แสงชนิด N – 719 ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO

Performance testing of dye sensitized solar cells fabricated using N-719 dye incorporated with ZnO semiconductor

สามารถ มูลน้อย[1] กฤษฎา โฮ่งสิทธิ์[2] พิพัฒน์ เรือนคำ[2] สุภาพ ชูพันธ์[2] และอัครินทร์ อินทนิเวศน์[1*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[2] ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
*E-mail: a.intaniwet@hotmail.co.th โทรศัพท์ 053-875705

บทคัดย่อ

ด้วยข้อจำกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนที่มีความยืดหยุ่นต่ำ ขั้นตอนการผลิตใช้พลังงานสูงและก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการคิดค้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitized solar cells, DSSCs) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่กำลังได้รับการพัฒนา โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถผลิตให้มีความยืดหยุ่นได้ มีน้ำหนักเบา โดยในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบหาปัจจัย เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีสารกึ่งตัวนำโลหะเป็น ZnO และใช้สารย้อมสีชนิด N – 719 มาตรฐานอุตสาหกรรม (Industry Standard Dye) โดยทำการทดสอบ 3 เงื่อนไข คือ เวลาในการแช่สารย้อมสี อุณหภูมิในการแช่สารย้อมสี และโครงสร้างชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ จากการศึกษาพบว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการแช่สารย้อมสีคือ 2 ชั่วโมง แช่สีย้อมที่อุณหภูมิ 25 °C และใช้ชั้นของ ZnO จำนวน 1 ชั้น โดยในเงื่อนไขนี้จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 2.20 % งานวิจัยชิ้นนี้จะสามารถนำไปต่อยอดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกับอาคารหรือพื้นผิวที่มีลักษณะโค้ง ทำให้เกิดการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป
คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง, สีย้อม N-719, ZnO และประสิทธิภาพ

Abstract

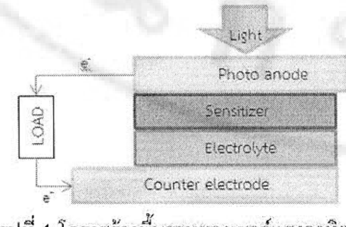
Conventional Si solar cells have encountered several problems including low flexibility, high energy consumption and release the pollution during the production process. A new type of solar cells, such as dye sensitized solar cells (DSSCs), has been continuously developed in order to compete with the Si solar cell where the flexibility, low weight and environmental friendly of the DSSCs have been considered as the key properties. In this wore, DSSCs are fabricated using N-719 industry standard dye and ZnO as the semiconductor layer. Various fabrication conditions including production time, temperature and number of ZnO layers, have been tested to obtain the optimum condition for DSSCs fabrication. It is shown that the best DSSCs is obtained when a single layer of ZnO is used. The production time and temperature of the best cell is 2 hr and 25 °C, respectively, with the maximum conversion efficiency of 2.20%. This work will support the production of environmentally friendly solar cell that can be suitably integrated with the building or a curved surface in order to efficiently utilize the solar energy.
Keywords: DSSCs, N-719, ZnO and efficiency.

1. บทนำ

พลังงานทดแทนที่น่าสนที่สุดคือ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ

ผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ตามรูปแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ 1 จะมีอุปกรณ์หลักในการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน คือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [1] ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตมาจากซิลิกอน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักคือ แบบที่เป็นรูปผลึก และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก [2] แต่ว่าซิลิกอนโซลาร์เซลล์ยังคงมีข้อเสียอยู่หลายด้านในการใช้งานจริง เช่นน้ำหนักแผงมาก ตัวแผงไม่มีความยืดหยุ่น แตกหักง่าย [3] ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของการติดตั้ง รวมทั้งสารตั้งต้นที่เป็นซิลิกอนบริสุทธิ์มีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องลงทุนในตอนเริ่มแรกสูง ดังนั้นในอนาคตข้างหน้ามีความจำเป็นที่จะต้องมีเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่เพื่อมาแทนซิลิกอน

โดยเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มที่สองนี้จะเป็นเทคโนโลยีที่คาดว่าจะสามารถนำมาแทนที่การใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนได้ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitized solar cells, DSSCs) [4] เป็นหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่สองที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากว่าผลิตได้ง่าย มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถผลิตให้แผงมีความยืดหยุ่นได้ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใช้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงเป็นตัวกลางในการดูดกลืนแสงและสร้างประจุอิสระที่สามารถนำไฟฟ้าได้ โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงประกอบไปด้วย ชั้นขั้วไฟฟ้าด้านหน้า (Front electrode) หรือชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) ชั้นสีย้อมไวแสง (Sensitizer) ชั้นสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และชั้นขั้วประจุไฟฟ้าบวก (Counter electrode) [5] ดังแสดงในรูปที่ 1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งยังอยู่ในระดับต่ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมผลิตจากธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพประมาณ 0.2% [6] และเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงจากการสังเคราะห์จะมีประสิทธิอยู่ในช่วง 9.20% [7] ปัญหาหลักอีกด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือเรื่องการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่มีการใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากอนุภาคสารกึ่งตัวนำโลหะ ทำความสะอาดตัวเองได้เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวเลต สารอินทรีย์ที่ยึดเกาะจึงเสื่อมสลายระหว่างการใช้งาน [8]



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) สร้างขึ้นจากแผ่นรองรับที่เป็นกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ฉาบผิวหน้าด้วยชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำโลหะ โดยทั่วไปโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำโลหะ สารมารถแยกออกได้ดังต่อไปนี้ โครงสร้างนาโนแบบแท่ง โครงสร้างนาโนแบบท่อ โครงสร้างนาโนแบบสาย โครงสร้างนาโนแบบเกลียว และโครงสร้างแบบเส้นใย รวมกันกับกระจกนำไฟฟ้าสร้างขึ้นเป็นชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) [9] โดยทั่วไปจะใช้ TiO_2 เคลือบเป็นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะให้โมเลกุลของสีย้อมยึดเกาะ งานวิจัยหลายงานวิจัยหันมาใช้ ZnO เป็นชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะบนชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) แทน TiO_2 เนื่องจาก ZnO มีช่องว่างพลังงาน (Bandgap) ที่คล้ายคลึงกับ TiO_2 ที่สำคัญคือ ZnO สามารถเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนได้ดีกว่า TiO_2 สามารถเตรียมโครงสร้างนาโนของ ZnO ได้ง่ายและสะดวกในการใช้งาน สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามลักษณะที่ต้องการได้ ทำให้สารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO มีความเป็นไปได้ที่จะสร้างอิเล็กตรอนในชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้ ซึ่งขณะนี้เกิดงานวิจัยในการนำเอาโครงสร้างนาโนของ ZnO มาใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างนาโนของ ZnO ผลที่เกิดจากการใช้งานโครงสร้างนาโนของ ZnO ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ลักษณะทางโครงสร้างของ ZnO [10] ที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ส่วนชั้นของสีย้อมไวแสง (Sensitizer) สีย้อมส่วนมากที่มีการใช้ในการเตรียมชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) นั้นประกอบด้วย N719 N3 และ C101 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีการใช้สารกึ่งตัวนำโลหะ TiO_2 และใช้สีย้อมเป็น N719 เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า 10 %[11] ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในงานวิจัยนี้ เลือกใช้สารกึ่งตัวนำโลหะเป็น ZnO และใช้สีย้อมไวแสงเป็น N719 ในการเตรียมชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหาะสมในส่วนของเวลา และในการแช่สีย้อมไวแสง โครงสร้างจำนวนชั้นของฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ สำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในงานวิจัยนี้สร้างจาก เป็นแผ่นรองรับเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) ใช้กระจกนำไฟฟ้า (Transparent conducive oxide glass: TCO glass) เคลือบสารนำไฟฟ้าชนิด FTO ความหนาของกระจก 3 mm ชั้นสารกึ่งตัวนำโลหะใช้สารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ใช้สารย้อมสี N719 Industry Standard Dye จัดจำหน่ายโดย Dyesol LTD. ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิด LiI/I_2 เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ LiI (Litium iodide) จัดจำหน่ายโดย Sigma-Aldrich Co. I2 (Iodine) จัดจำหน่ายโดยบริษัท เมอร์ค จำกัด ประเทศไทย ในขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) ใช้กระจกนำไฟฟ้า FTO ฉาบชั้นฟิล์มแพลทินัมที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ Pt (Chloroplatinic acid hydrate) จำหน่ายโดย Sigma-Aldrich Co. ใช้วัสดุซิล หรือเชื่อมเซลล์เป็น Para film ซื้อจากบริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด ใช้เครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการจำลองแสงที่มีความเข้มแสง 1000 W/m^2 ใช้ Solar light meter รุ่น XPS 400 AM 1.5 Model 16S-300-002 จัดจำหน่ายโดย Solar Light CO. เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า ค่ากระแส (I) และแรงดัน (V) ใช้ Keithley 2611 system sourcemeter รุ่น 2611A/2612A กระจกนำไฟฟ้าทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

2.2 การเตรียมแผ่นรองรับ (Substrates)

แผ่นรองรับใช้กระจกนำไฟฟ้า FTO ตัดกระจกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 2 × 2 cm ทำความสะอาดโดยใช้สารละลาย ตั้งในเครื่องอัลตราโซนิก ดังนี้ สารละลาย Alconox ใช้เวลาในการล้าง 30 นาที น้ำกลั่นใช้เวลาในการล้าง 30 นาที อะซิโตน (Acetone) 30 นาที และไอโซโพรพานอล (Isopropanol) 30 นาที ตามลำดับ นำกระจกนำไฟฟ้าออกมาผึ่งให้แห้ง

2.3 การเตรียมสารเคมี

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีการใช้สารเคมีต่างๆ ที่อยู่ในรูปสารละลาย และของเหลวข้นหลายอย่างดังนี้

สารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO เตรียมจากการผสม PEG 2000 2 g ละลายในน้ำกลั่น 18 ml โดยให้ความร้อน จากนั้นผสม ZnO Nano powder 5 g ตั้งให้ความร้อนต่ออีก 30 นาที

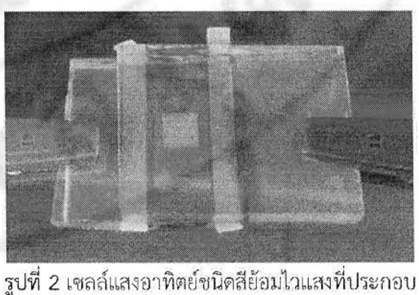
สารละลายแพลทินัม Pt ใช้สารแพลทินัม (Chloroplatinic acid hydrate) 0.021 g ละลายในตัวทำละลาย อะซิโตน 1 ml

สารละลายสีย้อม ในงานวิจัยใช้สีย้อมชนิด N – 719 Industry Standard Dye ที่มีว่าจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดเป็นชนิดผงที่สกัดไว้แล้วก่อนนำมาใช้ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยเตรียมได้ตามปริมาณความเข้มข้นมาตรฐานที่ทางโรงงานระบุในฉลากคือ 0.2 - 0.3 มิลลิโมลา (mM) เลือกใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3 mM ใช้ตัวทำละลายเป็นอะซิโตน ไนไตร (Acetonitrile) กับ เติร์ต บิวทานอล (tert-butanol) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ปริมาตร

สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ ใช้สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 เตรียมโดยใช้ LiI 0.2677 g I_2 0.0508 g ละลายในตัวทำละลายอะซิโตน ไนไตร (Acetonitrile) 10 ml ตั้งกวนผสม 1 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ก่อนหนึ่งคืน (หลีกเลี่ยงแสง) ก่อนนำมาใช้งาน

2.4 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ สามารถแยกส่วนประกอบหลักได้ 2 ส่วนหลัก คือ ชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) และขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) โดยเริ่มต้นการเตรียมชั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) ใช้กระจกนำไฟฟ้าที่ตัดตามขนาด 2 × 2 cm และทำความสะอาดแล้วเรียบร้อย มาสกรีนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ใช้กรอบสกรีนเป็น เมจิก สก๊อตซ์เทป รุ่น 810 มีความหนา 0.0625 mm ตัดเทปเป็นกรอบสกรีนชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ ขนาด 0.4 × 0.4 cm ใช้ใบมีดคัตเตอร์ในการสกรีนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 oC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) แช่ในสารละลายสีย้อม N – 719 ตามเวลา และอุณหภูมิที่กำหนด ในส่วนของขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (Counter electrode) ใช้กระจกนำไฟฟ้า FTO สกรีนชั้นฟิล์มของสารละลายแพลทินัม (Pt) กำหนดความหนาด้วย สก๊อตซ์เทปหนึ่งชั้นแล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วมาประกอบกันโดยใช้ พาราฟิล์มแบบแผ่น (Para film) เป็นชั้นซิลกำหนดความหนา 2 ชั้น แล้วนำไฟอังบน Hot plate สังเกตการณ์เปลี่ยนสีของแผ่นพาราฟิล์ม (Para film) ที่เปลี่ยนจากขาวขุ่นเป็นใสไม่มีสี นำไปทดสอบในเครื่องจำลองแสงที่ 1000 W/m^2 โดยหยอดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเซลล์เรียบร้อยดังError! Reference source not found.



รูปที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบและหยอดสารละลายอิเล็กโทรไลต์เรียบร้อย

2.5 วิธีการทดสอบ

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงตามเงื่อนไขในการทดสอบ 3 เงื่อนไข คือ เวลา อุณหภูมิ และโครงสร้างของ ZnO โดยการทดสอบ ดังนี้

เงื่อนไขแรกทดสอบเวลาในการแช่สีย้อม การแช่สีย้อมเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลาที่แตกต่างกันโดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมที่ 25 °C และโครงสร้างจำนวนชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO หนา 1 ชั้น (0.0625 mm) แช่สีย้อมไวแสงในเวลาที่ต่างกัน คือ 2 6 8 และ 24 ชั่วโมง ประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการซิลชั้นของสารอิเล็กโทรไลต์เป็น พาราฟิล์ม (Para film) และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC) หาเวลาที่ทำให้กราฟความสัมพันธ์ของกระแส (I) และแรงดัน (V) ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงที่สุด เงื่อนไขต่อมาเป็นการทดสอบอุณหภูมิในการแช่สีย้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ทดสอบโดยการควบคุมเวลาที่ใช้ในการแช่สีย้อมที่ดีที่สุดจากเงื่อนไขการทดสอบก่อนหน้า มาทดสอบเพิ่มอุณหภูมิในการแช่สีย้อมไวแสงในแต่ละระดับอุณหภูมิคือ 25 40 และ 60 °C ใช้โครงสร้างจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ที่มีความหนา 1 ชั้น (0.0625 mm) ประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการซิลชั้นของสารอิเล็กโทรไลต์เป็น Para film และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC) หาอุณหภูมิที่ทำให้กราฟความสัมพันธ์ของกระแส (I) และแรงดัน (V) ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงที่สุด เงื่อนไขสุดท้ายในการทดสอบ คือ ทดสอบโครงสร้างจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO นำเอาเวลา และอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ใน 2 เงื่อนไขการทดสอบก่อนหน้ามาใช้ในการควบคุมการแช่สีย้อมไวแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ และเปลี่ยนเงื่อนไขของโครงสร้างชั้นของ ZnO ในการย้อมสีคือ ความหนา 1 2 3 และ 4 ชั้น ตามลำดับ จากนั้นประกอบเซลล์โดยใช้วัสดุในการซิลชั้นของสารอิเล็กโทรไลต์เป็น Para film และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ LiI/I_2 ทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน (STC) หาว่าโครงสร้างของชั้น ZnO ที่ทำให้กราฟความสัมพันธ์ของกระแส (I) และแรงดัน (V) ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงที่สุด

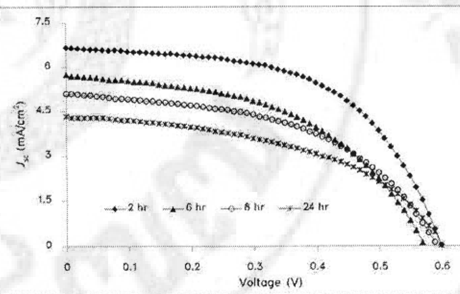
2.6 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เตรียมขึ้นตามเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิ และปริมาณชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO ในระบบทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ตามสภาวะมาตราฐาน (STC) ความเข้มแสง 1000 w/m^2 AM 1.5 โดยนำเซลล์ที่ประกอบเสร็จต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า ค่ากระแส (I) และแรงดัน (V) ปรับให้เซลล์ว่างตัวในแนวราบตั้งฉากกับพื้น จากนั้นเลื่อนเซลล์แสงอาทิตย์เข้าใต้เครื่อง จำลองแสง Solar light meter ทำการกดปุ่มสแกนของโปรแกรมอัตโนมัติในคอมพิวเตอร์ ระบบจะทำการประมวลผลและแสดงค่าออกมาในรูปของ I – V Curves

3. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 การทดสอบเวลาในการแช่สีย้อมของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

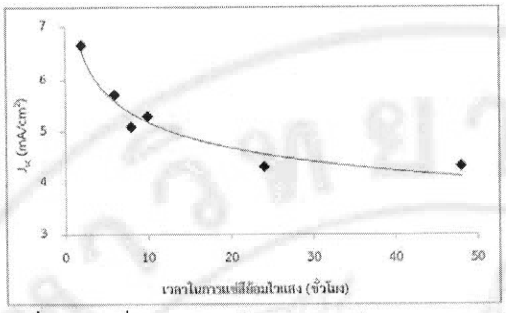
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J, mA/cm^2) และแรงดันไฟฟ้า (V) ภายใต้แสงจำลองที่ความเข้มแสงเท่ากับ 1,000 W/m^2 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เตรียมโดยการแช่ชั้นของสีย้อมชนิด N-719 เป็นเวลา 2 6 8 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ จากกราฟจะพบว่าระยะเวลาในการแช่สีย้อมมีผลโดยตรงต่อปริมาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงสามารถผลิตขึ้นมาได้ โดยค่าของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (J_{sc}) ลดลงจาก 6.66 mA/cm^2 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่แช่ชั้นของสีย้อมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาเป็น 4.31 mA/cm^2 เมื่อแช่ชั้นของสีย้อมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาค่าของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) พบว่าไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการแช่ชั้นของสีย้อมไวแสง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า (J-V curves) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ย้อมสีในเวลาที่ต่างกัน

รูปที่ 4 แสดงการลดลงของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่สีย้อม จากรูปจะพบว่าค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาในการย้อมสีย้อมเพิ่มขึ้นจาก 2 ชั่วโมงเป็น 10 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้เวลาในการย้อมเพิ่มมากขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีอัตราการลดลงที่น้อยกว่าในช่วงแรก และมีแนวโน้มที่จะมีค่าคงที่เมื่อระยะเวลาในการย้อมสีย้อมไวแสงมากกว่า 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาในการแช่สีย้อมไวแสงจะส่งผลโดยตรงกับค่า

กระแสไฟฟ้าโดยจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการแช่สีย้อมไวแสงเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงตามเวลาในการแช่สีย้อม

เมื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-2.2% (ดังตารางที่ 1) โดยค่าจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่สีย้อมไวแสง เวลาที่แช่สีย้อมไวแสง 2 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด และเงื่อนไขนี้ยังคงให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) สูงที่สุดเท่ากับ 0.55 อีกด้วย โดยค่าฟิลแฟกเตอร์จะเป็นค่าที่บ่งบอกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ทำงานได้ใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติมากน้อยเพียงใด

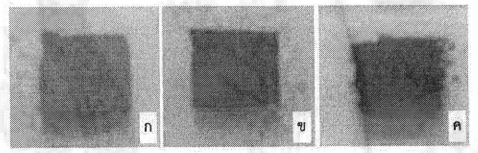
ตารางที่ 1 ผลของเวลาในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์

Time (hr)	2	6	8	24
I_{max} (mA)	0.82	0.67	0.60	0.47
V_{max} (V)	0.43	0.38	0.40	0.42
P_{max} (mW)	0.35	0.25	0.24	0.20
FF	0.55	0.49	0.50	0.47
Efficiency (%)	2.20	1.59	1.49	1.23

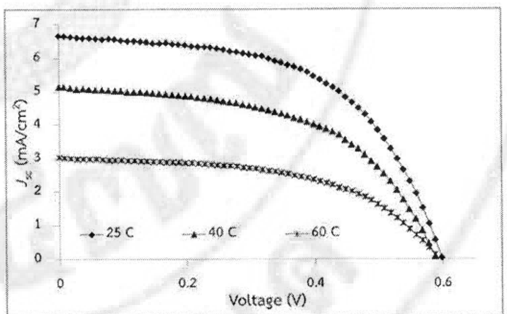
เวลาในการย้อมสีของเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลโดยตรงต่อการยึดเกาะของโมเลกุลของสีย้อมกับสารกึ่งตัวนำโลหะ เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการย้อมสีให้นานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงตามระยะเวลาในการย้อมสีที่นานขึ้น โดยจะส่งผลผ่านการยึดเกาะของเม็ดสีที่สามารถยึดเกาะกับโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO มีได้มากกว่าการแช่สีย้อมที่ใช้เวลาน้อย ในขณะเดียวกันโมเลกุลของสีย้อมเองก็ทำการยึดเกาะกันเองมากเกินไป เมื่อมีแสงมาตกกระทบ อิเล็กตรอนในสีย้อมไวแสงจะถูกกระตุ้นไปยังระดับพลังงานชั้นที่สูงขึ้น และเคลื่อนที่ผ่านชั้นของ ZnO แต่เนื่องจากว่าโมเลกุลของสีย้อมทำการยึดเกาะกันเอง ทำให้การถ่ายเทอิเล็กตรอนจากชั้นสีย้อมไปยังชั้น ZnO เกิดได้ยากขึ้น ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการย้อมสีเป็นเวลานานขึ้นจะมีค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลง เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลงลงด้วย

3.2 การทดสอบผลของอุณหภูมิในกระบวนการย้อมสี

เวลาในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิในขณะที่ทำการย้อมสีก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเช่นกัน รูปที่ 2 แสดงความเข้มของสีย้อมหลังการย้อมสีย้อมที่อุณหภูมิ 25 40 และ 60 °C จากรูปจะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย้อมสีขึ้น สีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้หลังจากการย้อมจะมีสีที่เข้มขึ้นเรื่อยๆ ตามระดับอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาในการยึดเกาะของโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำให้เกิดเร็วและดีขึ้น จากนั้นทำการทดสอบโดยใช้สภาวะจำลองแสงที่มีความเข้มแสง 1000 W/m^2 โดยจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (J, mA/cm^2) และแรงดันไฟฟ้า (V)



รูปที่ 2 ความเข้มของสีหลังจากการย้อมในอุณหภูมิที่ต่างกัน (ก) 25 °C (ข) 40 °C และ (ค) 60 °C



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการย้อมสีในสภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อย้อมสีย้อมในสภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน จากกราฟพบอุณหภูมิในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณกระแสไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ย้อมสีที่อุณหภูมิในการย้อม 25 °C จะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย้อมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จะลดลง

ตารางที่ แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดัน คืออุณหภูมิที่เพิ่มให้ในขั้นตอนการย้อมสี ซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ 2.20 % เมื่อทำการย้อมสีที่อุณหภูมิ 25 °C และประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำสุดเมื่อย้อมสีที่อุณหภูมิ 60 °C โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.94 % และเมื่อพิจารณาค่าฟิลแฟกเตอร์จะพบว่าอุณหภูมิในการย้อมสีไม่ได้มีผลต่อค่าฟิลแฟกเตอร์โดยการย้อมทั้ง 3 อุณหภูมิ ให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.53-0.55

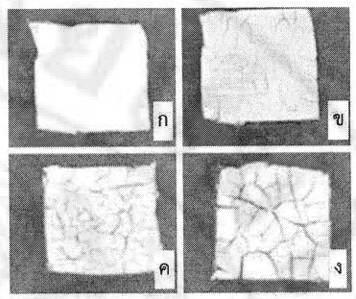
ตารางที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

Temperature (°C)	25	40	60
I_{max} (mA)	0.82	0.61	0.37
V_{max} (V)	0.43	0.43	0.41
P_{max} (mW)	0.35	0.26	0.15
FF	0.55	0.54	0.53
Efficiency (%)	2.20	1.62	0.94

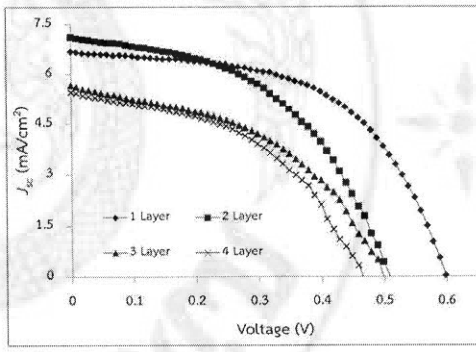
จากผลที่ได้ตามตารางที่ 2 เห็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในขั้นตอนการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่เซลล์ที่ย้อมในอุณหภูมิสูงจะให้สีที่เข้มกว่าและมีอัตราการดูดกลืนแสงได้ดีตามคุณสมบัติของการดูดกลืนที่ดีของสีเข้ม เนื่องจากการกระตุ้นและเร่งปฏิกิริยาในการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อม ทำให้โมเลกุลของสีย้อมยึดเกาะกันเองแทนที่จะสร้างพันธะกับโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำในกระบวนการกระตุ้นของแสงให้สีย้อมสร้างอิเล็กตรอนจึงไม่ได้ถูกส่งไปสู่ชั้นโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำได้ทั้งหมด ในขณะที่เซลล์ที่มีการย้อมในอุณหภูมิต่ำมีการสร้างพันธะยึดเกาะกันของโมเลกุลสีย้อมกับสารกึ่งตัวนำทำได้อย่างสมบูรณ์ในกระบวนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับพลังงานแสงจึงสามารถทำงานได้ดีกว่า จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการย้อมสี

3.3 การทดสอบโครงสร้างชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO

ในการทดสอบโครงสร้างปริมาณชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO มีทำการเตรียมขั้นขั้วไฟฟ้าด้านรับแสง (Photo anode) โดยการเพิ่มปริมาณชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO โดยเตรียมเซลล์ที่มีความหนาของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ 4 แบบ คือ 1 2 3 และ 4 ชั้นตามลำดับ หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 400 °C ลักษณะของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO จะแตกต่างกันออกไปตามจำนวนชั้น และความหนาของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะ แสดงได้ดังรูปที่ แสดงให้เห็นลักษณะที่ชัดเจนของชั้นฟิล์ม ลักษณะของชั้นฟิล์มที่หนา 1 ชั้น จะมีเนื้อละเอียด และเรียบเนียนผสานกันเป็นเนื้อเดียวอย่างดี และจะค่อยๆ แตกออกจากกัน ตามจำนวนชั้นของฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะที่เพิ่มจำนวนชั้นกับความหนาขึ้น จากรูปที่ (ก) ที่มีจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ 1 ชั้น หนา 0.0625 mm ไปเป็นรูปที่ (ง) ที่มีจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น หนา 0.25 mm ลักษณะของผิวหน้าชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะมีลักษณะการผสานของเนื้อสารที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของ ZnO ที่เคลือบให้มีความหนาแตกต่างกัน (ก) 1 ชั้น (ข) 2 ชั้น (ค) 3 ชั้น และ (ง) 4 ชั้น



รูปที่ 8 กราฟของกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเพิ่มจำนวนชั้นของ ZnO ในการเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการเพิ่มจำนวนชั้น และความหนาของชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO จากกราฟพบจำจวนชั้นของสารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO จำนวน 1 ชั้น (0.0625 mm) จะมีแรงดันไฟฟ้า (V) สูงสุด และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะลดลงดังตารางที่ แสดงค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟระหว่างความหนาแน่นกระแสและแรงดัน ซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ 2.20 % เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำ 1 ชั้น และประสิทธิภาพ

จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำเป็น 4 ชั้น โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 1.17 % และเมื่อพิจารณาค่าฟิลแฟกเตอร์จะพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะจะส่งผลต่อค่าฟิลแฟกเตอร์โดยตรง ค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำต่างกันทั้ง 4 เซลล์จะให้ค่าที่ลดลงจาก 0.55 ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนชั้นสารกึ่งตัวนำ 1 ชั้น เหลือ 0.47 ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีชั้นของสารกึ่งตัวนำ 4 ชั้น

ตารางที่ 3 ค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่มชั้นของ ZnO

Layer of ZnO	1	2	3	4
I_{max} (mA)	0.82	0.81	0.62	0.64
V_{max} (V)	0.43	0.34	0.33	0.29
P_{max} (mW)	0.35	0.28	0.20	0.19
FF	0.55	0.49	0.46	0.47
Efficacy (%)	2.20	1.73	1.28	1.17

จากค่าที่แสดงในตารางที่ และลักษณะของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำหลักจากการอบที่แสดงในรูปที่ สามารถอธิบายถึงความเชื่อมโยงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลงตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นของของสารกึ่งตัวนำ ลักษณะโครงสร้างของชั้นฟิล์มสารกึ่งตัวนำโลหะจะสัมพันธ์กับการสร้างพันธะในการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อมกับชั้นของสารกึ่งตัวนำ ในกรณีของการเพิ่มชั้นสารกึ่งตัวนำทำให้ลักษณะการจับตัวกันของโมเลกุลของสารกึ่งตัวนำมีคุณภาพที่ต่ำลง ส่งผลให้เมื่อผ่านกระบวนการย้อมสีแล้วสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การทำงานของโมเลกุลของเม็ดสีเมื่อได้รับพลังงานแสงมีการทำงานที่ติดขัดไม่สามารถส่งผ่านอิเล็กตรอนไปในชั้นของสารกึ่งตัวนำได้คล่องตัวจึงทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลงเมื่อจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงขึ้นเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่กำลังได้รับการพัฒนา โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถผลิตให้มีความยืดหยุ่นได้ มีน้ำหนักเบา โดยในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบหาปัจจัย เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่มีสารกึ่งตัวนำโลหะเป็น ZnO และใช้สารย้อมสีชนิด N – 719 มาตรฐานอุตสาหกรรม (Industry Standard Dye) โดยทำการทดสอบ 3 เงื่อนไข คือ เวลาในการแช่สารย้อมสี อุณหภูมิในการแช่สารย้อมสี และโครงสร้างชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ได้ผลที่ดีที่สุดของแต่ละเงื่อนไขคือ เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิที่เหาะสมที่สุดในขั้นตอนการย้อมสีคือ 25 °C และจำนวนชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะ ZnO คือ 1 ชั้น (0.0625 mm) มีประสิทธิภาพเท่ากับ 2.20 % กระแสไฟฟ้า (I_{max}) เท่ากับ 0.81 mA แรงดันไฟฟ้า (V_{max}) เท่ากับ 0.43 V และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) เท่ากับ 0.55 จากงานวิจัยนี้สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มเวลา และอุณหภูมิในการย้อมสีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง และการเพิ่มพื้นที่ในการยึดเกาะของโมเลกุลสีย้อม หรือการเพิ่มชั้นของสารกึ่งตัวนำโลหะให้หนาขึ้นก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงเช่นกัน จากผลนี้สามารถนำไปประยุคใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานกับอาคารหรือพื้นผิวที่มีลักษณะโค้ง ทำให้เกิดการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจาก ทุนอุดหนุนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และทุนสนัสนุนการวิจัยของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ศูนย์วิจัยพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัย และขอบคุณห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวัดลักษณะกระแสและแรงดัน รวมไปถึง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ วิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จึงขอขอบคุณ มา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhao X., Li D., Conrad B., Wang L., Soeriyadi A. H., Diaz M., Lochtefeld A., Gerger A., Perez-Wurfl I. and Barnett A. *Material and device analysis of SiGe solar cell in a GaAsP–SiGe dual junction solar cell on Si substrate.* Solar Energy Materials & Solar Cells. 134 (2015). 114–121.

[2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. [ม.ป.ป.]. **เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** สืบค้นจาก: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology.htm (25 กุมภาพันธ์ 2558).

[3] Xing Y., Han P., Wang S., Liang P., Lou S., Zhang Y., Hu S., Zhu H., Zhao C. And Mi Y. *A review of concentrator silicon solar cells.* Renewable and Sustainable Energy Reviews. 51 (2015).1697–1708.

[4] Sugathan V., John E. and Sudhakar. (2015). *Recent improvements in dye sensitized solar cells: A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews. 52. pp. 54-64.

[5] Brijesh T., Pankaj Y. and Manoj K.. (2014). *Charge transfer and recombination kinetics in dye-sensitized solarcell using static and dynamic electrical Characterization techniques.* Sol Energy. Vol. 108 107–16.

[6] Torchani A., Saadaoui S., Gharbi R. and Fathallah M. (2015). *Sensitized solar cells based on natural dyes.* Current Applied Physics. Vol. 15. 307-312.

[7] Kim J.T., Lee S.H. and Han Y.S. (2015). *Enhanced power conversion efficiency of dye-sensitized solar cells with Li_2SiO_3-modified photoelectrode.* Applied Surface Science. Vol.333. 134–140.

[8] Sommeling P.M., Späth M., Smit H.J.P., Bakker N.J. and Kroon J.M. (2004). *Long-term stability testing of dye-sensitized solar cells.* Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. Vol. 164(1), 6, 2004, pp. 137–144.

[9] Mir N, Salavati-Niasari M. (2012). *Photovoltaic properties of corresponding dye-sensitized solar cells: effect of active sites of growth controller on TiO_2 nanostructures.* Sol Energy. Vol. 86(11), 10, 2012, pp. 3397–3404.

[10] Lanlan Lu, Li Renjie, FanKe, Peng Tianyou. (2010). *Effects of annealing on the photoelectron chemical properties of dye-sensitized solar cells made with ZnO nano-particles.* Sol Energy. Vol. 84(18), 3, 2010, pp. 844–853

[11] Ito, S., Nazeeruddin, M.K., Liska, P., Comte, P., Charvet, R., Pechy, P., Jirousek, M., Kay, A., Zakeeruddin, S.M., Gratzel, M., (2006). *Photovoltaic characterization of dye-sensitized solar cells: effect of device masking on conversion efficiency.* Prog. Photovolt: Res. Vol. 14, pp. 589–601.

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12

12th Conference on Energy Network of Thailand

วันที่ 8 – 10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก

คณะวิทยาศาสตร์ และวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

สามารถ มูลน้อย กฤษฎา โฮ่งสิทธิ์ พิพัฒน์ เรือนคำ
สุภาพ ชูพันธ์ และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์

เป็นผู้นำเสนอบทความแบบบรรยาย เรื่อง
"การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ผลิตจากสีย้อมไว้แสงชนิด N – 719 ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO"

8 – 10 JUNE 2016
ENERGY NETWORK OF THAILAND 12th
www.e-nett.org

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จินายน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12

12th Conference on Energy Network of Thailand

วันที่ 8 - 10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก

คณะวิทยาศาสตร์ และวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

บทความแบบบรรยาย เรื่อง

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ผลิตจากสีย้อมไว้แสงชนิด N – 719 ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ ZnO

ผู้แต่ง

สามารถ มูลน้อย กฤษฎา โฮ่งสิทธิ์ พิพัฒน์ เรือนคำ สุภาพ ชูพันธ์ และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์

ได้รับรางวัลบทความประเภท ชมเชย

8 - 10 JUNE 2016

ENERGY NETWORK OF THAILAND 12th

www.e-nett.org

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จินายน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8
The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference

IR003

การทดสอบความเหมาะสมของการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริง

The suitability of using dye-sensitized solar cells under the actual operating environment

สามารถ มูลน้อย อัครินทร์ อินทนิเวศน์*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
Email : sm_samart1@hotmail.com, a.lntanlwet@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSCs) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำลังได้รับความสนใจพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงาน 3 ลักษณะคือ ไม่มีเมฆ มีเมฆบางส่วน และมีเมฆมาก การทดสอบจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSCs) ขนาด 0.5 W ต่ออนุกรมจำนวน 2 แผง จากการทดสอบพบว่าการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะดีที่สุดในวันที่มีความเข้มแสงต่ำ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 5.8% ในวันที่มีเมฆมากและมีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 200-300 W/m^2 ส่วนวันที่มีเมฆบางส่วนจะเท่ากับ 4% และประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำสุดในวันที่ไม่มีเมฆซึ่งเท่ากับ 2.87% จากการศึกษายังพบอีกว่าช่วงการทดสอบจะมีอุณหภูมิแผงอยู่ระหว่าง 25-60 °C และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิของแผง การศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานและความเหมาะสมในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริง และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

คำสำคัญ: *เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ และฟิลแฟกเตอร์*

Abstract

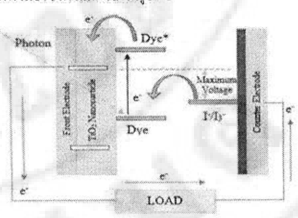
The development of dye sensitized solar cells (DSSCs) in the laboratory scale has been extensively carried out with the main objective which is to increase the efficiency of the cell. However, the performance of the commercial DSSCs under the actual operating environment has not been wildly tested. In this research, therefore, investigates the performance of the DSSCs operated at three different environments, sunny, partly cloudy and overcast. The assessment is performed on two panel of 0.5 W DSSCs wired in series. From the experiment, it is revealed that the DSSC performs better on the low level of sunlight where the maximum conversion efficiency of 5.8% is calculated at the sun intensity of 200-300 W/m^2. While on the partly cloudy and the sunny day, the efficiency of the panel drops to about 4% and 2.87, respectively. It is also shown that during the assessment the temperature of the DSSC panels is measured to be in the range of 25-60 °C and the conversion efficiency of the panel is temperature independent. This study has provided the insight on the use of DSSCs under the actual operating conditions and it will serve as a basis for research and development to promote the use of DSSCs.

Keywords: *Dye sensitized solar cells, Efficiency and Fill factor*

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [1] ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตมาจากซิลิกอน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ แบบที่เป็นรูปผลึก และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก [2] แต่ว่าซิลิกอนโซลาร์เซลล์ยังคงมีข้อเสียอยู่หลายด้านในการใช้งานจริง เช่นน้ำหนักแผงมาก ตัวแผงไม่มีความยืดหยุ่น แตกหักง่าย [3] ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของการติดตั้ง รวมทั้งสารตั้งต้นที่เป็นซิลิกอนบริสุทธิ์มีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องลงทุนในตอนเริ่มแรกสูง ดังนั้นในอนาคตข้างหน้ามีความจำเป็นที่จะต้องมีเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่เพื่อมาแทนซิลิกอน

ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มที่สองนี้จะเป็นเทคโนโลยีที่คาดว่าจะสามารถนำมาแทนที่การใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนได้ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye sensitised solar cells, DSSCs) [4] เป็นหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มที่สองที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากว่าผลิตได้ง่าย มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถผลิตให้แผงมีความยืดหยุ่นได้ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใช้โมเลกุลของสีย้อมไวแสงเป็นตัวกลางในการดูดกลืนแสงและสร้างประจุอิสระที่สามารถนำไฟฟ้าได้ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงประกอบไปด้วยชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ สีย้อมไวแสง และชั้นของอิเล็กโทรไลต์สอดอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วดังแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง [5]

ปัญหา และอุปสรรคที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งยังอยู่ในระดับต่ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้สีย้อมผลิตจากธรรมชาติจะมีประสิทธิภาพประมาณ 0.2% [6] และเซลล์ที่ใช้สีย้อมไวแสงจากการสังเคราะห์จะมีประสิทธิอยู่ในช่วง 9.20% [7] ปัญหาหลักอีกด้านของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือเรื่องการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่มีการใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากอนุภาค TiO_2 ทำความสะอาดตัวเองได้เมื่อได้รับรังสีอัล

ตราไวเลต สารอินทรีย์ที่ยึดเกาะจึงเสื่อมสลายระหว่างการใช้งาน [8] จึงทำให้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะอากาศจริงจะมีผลที่แตกต่างกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงที่สภาวะการใช้งานจริงเพื่อพิจารณาถึงผลของสภาวะอากาศในสภาพต่างๆ ที่มีต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยการศึกษาครั้งนี้จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงตามสภาพการใช้งานจริงเพิ่มมากขึ้น

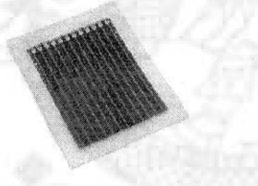
2. วิธีการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในครั้งนี้ มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการเก็บข้อมูล ดังนี้

2.1.1 เครื่องมือสำหรับการวัด

การวัดลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) จะทำโดยใช้เครื่อง โพรวา-210 (Solar Module Analyzer PROVA-210) ซึ่งสามารถวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 12 A และ 60 V ตามลำดับ โดยมีความละเอียดของการวัดสูงสุดเท่ากับ 0.1 mA และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากับ ±0.3 mA การวัดอุณหภูมิสามารถทำได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) BrainChild รุ่น VR06 PAPERLESS RECORDER แบบบันทึกข้อมูลได้ โดยสามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 - 100°C และมีความคลาดเคลื่อนในการวัด สำหรับการวัดความเข้มแสงอาทิตย์จะวัดผ่านไพรานอมิเตอร์แบบโดมแก้วรุ่น CMP 3 Serial ยี่ห้อ KIPP & ZONEN SINCE 1830 ค่าความเข้มแสงที่ได้จะเป็นค่ารังสีรวม



รูปที่ 2 G-Cell Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

2.1.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงขนาด 0.5 W ของบริษัท G24 Power Limited ดังรูปที่ 2 จำนวน 2 แผงต่ออนุกรมกัน

2.2 สมการและพารามิเตอร์

การทดสอบจะวัดค่าความเข้มแสง อุณหภูมิแผง กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) กระแสลัดวงจร (I_{sc}) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) และ ค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) ดังสมการที่ 1 และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (η) แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดย P_{in} คือพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2) และ A_S คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์ (m^2)

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \tag{1}$$

$$\eta_{Cel} = \frac{I_m V_m}{P_{in} A_s} \tag{2}$$

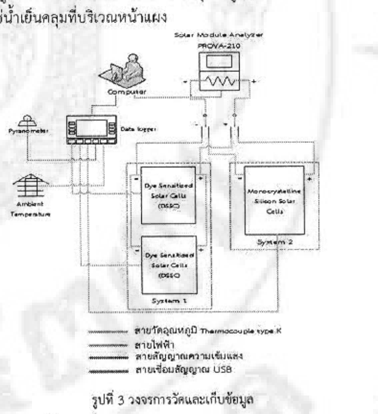
2.3 ขั้นตอนการทดลอง

2.3.1สร้างชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

ชุดแท่นติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นเหล็กประกอบขึ้นเป็นแท่นมีเสาร์ตรงกลางหนึ่งต้นสูง 1.2 m สามารถปรับมุมเอียงจากพื้นราบ และติดตั้งล้อสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก บริเวณฐานติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แผ่นพลาสติกอะคริลิคโปร่งใสเป็นพื้น เพื่อป้องกันการดูดกลืนรังสีอาทิตย์และไม่ให้เกิดการสะสมความร้อนจนมีผลต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยมีขนาดความกว้าง 1 m ยาว 1.2 m ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) ขนาด 0.5 W จำนวน 2 แผง ปรับตั้งให้พื้นแท่นให้เอียงทำมุมกับพื้นราบ 19° และหันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้

2.3.2 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดสอบแบ่งการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 2 ระบบ โดย จะทำการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แบบอนุกรมจำนวน 2 แผง และต่อระบบเข้ากับเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงใน **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** โดยในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงจะทำการวัดและเก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตั้งแต่เวลา 09.00 – 17.00 น. โดยทำการวัดและเก็บข้อมูลซึ่งประกอบด้วย กระแสลัดวงจร แรงดันวงจรเปิด กระแสสูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์ โดยก่อนที่จะมีการเก็บข้อมูลจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 20-25°C โดยใช้ผ้าแช่น้ำเย็นคลุมที่บริเวณหน้าแผง



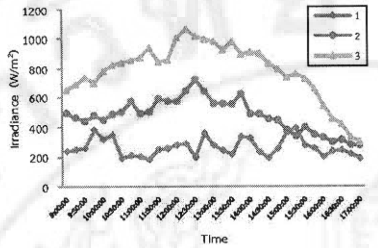
รูปที่ 3 วงจรการวัดและเก็บข้อมูล

3. ผลและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของความเข้มแสง

ความเข้มแสงถือเป็นตัวแปลที่สำคัญ และมีผลกระทบโดยตรงกับเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากที่ความเข้มแสงที่ต่างกัน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการทดสอบในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดความเข้มแสงออกตามสภาพอากาศ 3 สภาพอากาศ ตามปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ คือ สภาพอากาศที่มีเมฆมาก (1) สภาพอากาศที่มี

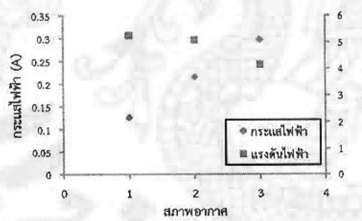
เมฆบางส่วน (2) และ สภาพอากาศที่ไม่มีเมฆ (3) โดยความเข้มแสงอาทิตย์ใน 1 วันสำหรับแต่ละสภาวะอากาศสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าความเข้มแสงในแต่ละสภาวะอากาศจะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 จากนั้นจะมีค่าลดลง ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มแสงในแต่ละสภาพอากาศที่ทำการทดสอบ โดยจะพบว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของวันที่มีเมฆน้อยสุดจะมีค่าประมาณ 780 W/m² ซึ่งมากกว่าค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของวันที่มีเมฆมากเท่ากับ 560 W/m²



รูปที่ 4 ลักษณะความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละสภาพอากาศ
(1) มีเมฆมาก (2) มีเมฆบางส่วน (3) ไม่มีเมฆ

ตารางที่ 1 ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ สภาวะแวดล้อมต่างๆ

สภาพอากาศ	1	2	3
ความเข้มแสงน้อยสุด (W/m²)	183	278	300
ความเข้มแสงมากสุด (W/m²)	394	722	1063
ความเข้มแสงเฉลี่ย (W/m²)	264.45	477.44	782.36
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	60	113	195



รูปที่ 5 ค่ากระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละสภาพอากาศของความเข้มแสงอาทิตย์

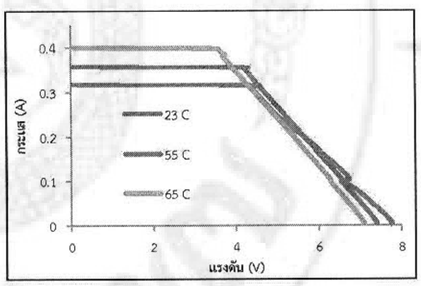
เมื่อพิจารณาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะอากาศ รูปที่ 5 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ขณะทำงานที่ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตามสภาพอากาศที่แตกต่างกัน จากรูปจะพบว่าเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.126 A ไปเป็น 0.266 A แต่แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจาก 5.25 V เป็น 4.31 V ซึ่งจะพบว่าสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าการลดลงของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อพิจาณากำลังไฟฟ้าที่ได้ (**ผิดพลาด! ไม่ใช่การอ้างอิงถึงตัวบุ๊กมาร์กเองที่ถูกต้อง**) พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ แต่เมื่อพิจารณาค่าของฟิลแฟกเตอร์และประสิทธิภาพจะพบว่ามีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแตกต่างไปจากกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในบริเวณที่มีระดับความเข้มแสงต่ำ เนื่องจากว่าจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ทำงานที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในการทดสอบตามสภาพอากาศ

สภาพอากาศ	I_m (A)	V_m (V)	P_m (W)	FF	η (%)
1	0.126	5.246	0.662	0.722	4.17
2	0.215	5.070	1.091	0.692	3.81
3	0.266	4.311	1.477	0.584	2.64

3.2 ผลของอุณหภูมิ

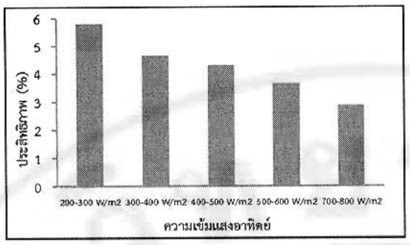
อุณหภูมิก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพการทำงานจริง อุณหภูมิจะส่งผลถึงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นตามเวลาเนื่องจากการที่ได้รับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการสะสมของความร้อนภายในโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ และส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 800 W/m² จากกราฟจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงผลิตได้จะมีค่าลดลง แต่ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 23 °C เซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.314 A แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 4.564 V เมื่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นเป็น 65 °C จะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.383 A แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 3.752 V แต่เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าฟิลแฟกเตอร์และค่าประสิทธิภาพ (ตารางที่ 3) พบว่าทั้งสองค่านี้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยอาจจะถือได้ว่าอุณหภูมิไม่ได้มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง



รูปที่ 6 กราฟ I-V Curves ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 800 W/m²

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 800 W/m²

อุณหภูมิสูงสุด (°C)	23 °C	55 °C	65 °C
กระแสไฟฟ้า (A)	0.314	0.355	0.383
แรงดันไฟฟ้า (V)	4.564	4.303	3.752
กำลังไฟฟ้า (W)	1.43	1.53	1.44
ฟิลแฟกเตอร์ (FF)	0.58	0.57	0.50
ประสิทธิภาพ (η)	2.88	3.07	2.89



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบในวันที่มีสภาพอากาศแบบที่ 1

รูปที่ 7 แสดงค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบในช่วงตั้งแต่ 300-800 W/m^2 และที่อุณหภูมิแผงระหว่าง 25-60 °C จากกราฟพบว่าค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.8% เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 200-300 W/m^2 และค่าประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.87% ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วง 700-800 W/m^2 หรือลดลงประมาณ 50% จากตารางที่ 3 ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าที่ความเข้มแสงคงที่ ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงที่ลดลงเป็นผลโดยตรงจากความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ในห้องปฏิบัติการ โดย Asghar และคณะ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะมีประสิทธิภาพลดจาก 5% เหลือ 3% เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มจาก 200 W/m^2 เป็น 900 W/m^2 [9]

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงในสภาวะการทำงานจริงได้ทกการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อม 3 แบบ คือ สภาพอากาศที่มีเมฆมาก สภาพอากาศที่มีเมฆบางส่วน และ สภาพอากาศที่ไม่มีเมฆ พบว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงจะได้รับผลกระทบจากปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มแสง และอุณหภูมิแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มแสงต่ำในวันที่มีเมฆมาก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.8% เมื่อเทียบกับวันที่มีค่าวามเข้มแสงสูงประสิทธิภาพจะลดลงเหลือเพียง 2.87% ในขณะที่อุณหภูมิแทบจะไม่มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพ แต่จะส่งผลโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้น และแรงดันไฟฟ้าที่จะลดลงเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีความเหมาะสมในการใช้กับบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงต่ำเพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ศูนย์วิจัยพลังงาน ที่ให้คำแนะนำ การสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัย ภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) รวมไปถึง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ วิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhao X., Li D., Conrad B., Wang L., Soeriyadi A. H., Diaz M., Lochtefeld A., Gerger A., Perez-Wurfl I. and Barnett A. **Material and device analysis of SiGe solar cell in a GaAsP–SiGe dual junction solar cell on Si substrate.** Solar Energy Materials & Solar Cells. 134 (2015). 114-121.

[2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. [ม.ป.ป.]. **เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** สืบค้นจาก: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_technology.htm (25 กุมภาพันธ์ 2558).

[3] Xing Y., Han P., Wang S., Liang P., Lou S., Zhang Y., Hu S., Zhu H., Zhao C. And Mi Y. **A review of concentrator silicon solar cells.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 51 (2015).1697–1708.

[4] Sugathan V., John E. and Sudhakar. **Recent improvements in dye sensitized solar cells: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 52 (2015). 54-64.

[5] Brijesh T., Pankaj Y. and Manoj K.**Charge transfer and recombination kinetics in dye-sensitized solarcell using static and dynamic electrical Characterization techniques.** Sol Energy. 108 (2014). 107–16.

[6] Torchani A., Saadaoui S., Gharbi R. and Fathallah M. **Sensitized solar cells based on natural dyes.** Current Applied Physics. 15 (2015). 307-312.

[7] Kim J.T., Lee S.H. and Han Y.S. **Enhanced power conversion efficiency of dye-sensitized solar cells with Li_2SiO_3-modified photoelectrode.** Applied Surface Science. 333(2015). 134–140.

[8] Sommeling P.M., Späth M., Smit H.J.P., Bakker N.J. and Kroon J.M. **Long-term stability testing of dye-sensitized solar cells.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 164 (2004). 137–144.

[9] Asghar A., Emziane M., Pak H.K. and Oh S.Y. **Outdoor testing and degradation of dye-sensitized solar cells.** Solar Energy Materrials & Solar Cells , 128 (2014)., 335-342.

7. ภาคผนวก

ชื่อ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ อินทนิเวศน์ จบการศึกษาระดับ วทบ (เกียรตินิยมอันดับ 1) วทม และ MPhil/PhD สาขาวิชาฟิสิกส์ สาขางานวิจัยที่สนใจพลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานชีวมวล

ชื่อ : สามารถ มูลน้อย
กำลังศึกษา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการศึกษา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8

The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-8)

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

สามารถ มูลน้อย

ได้นำเสนอบทความ "การทดสอบความเหมาะสมของการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริง"

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระหว่างวันที่ 4 – 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์
นายกสมาคม
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ค

ประวัตินักศึกษา

ประวัตินักศึกษา

ชื่อ-สกุล	นายสามารถ มูลน้อย
เกิดเมื่อ	10 ตุลาคม 2533
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 ปริญญาตรี วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
	พ.ศ. 2551 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสบปราบพิทยาคม ลำปาง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2556-2557 เจ้าหน้าที่วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บริษัท เบตเตอร์ เวิลด์ กรีน จำกัด (มหาชน)
อีเมล	sm_samart1@hotmail.com