

โหมยงธรรมเนียมชาดินนำไฟฟาสำหรับโพโตวอลเทอิกเซลล์ลอยน้ำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONDUCTIVE NATURAL RUBBER FOAM FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC CELL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โพลีเมอร์นำไฟฟ้าสำหรับโพโตวอลเทอิกเซลล์ลอยน้ำ
โดย	น.ส.พิมพ์ลอย ประเสริฐวสุ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.พรทิพย์ โค้วณมิตร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.พรทิพย์ โค้วณมิตร)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พุกษาทร)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ประไพณัยนา)	

พิมพ์ลอย ประเสริฐวสุ : โฟมยางธรรมชาตินำไฟฟ้าสำหรับโฟโตวอลเทอิกเซลล์ลอยน้ำ. (CONDUCTIVE NATURAL RUBBER FOAM FOR FLOATING PHOTOVOLTAIC CELL) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.พรทิพย์ ไคว่นฤมิตร

ยางธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้จากต้นยาง (*Hevea brasiliensis*) ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย ในหลายปีมานี้อีลาสโตเมอร์นำไฟฟ้าและพอลิเมอร์ชนิดยืดหยุ่นเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้โฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดลอยน้ำระดับห้องปฏิบัติการได้นำ PEDOT:PSS และพอลิไพโรลที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดนำไฟฟ้ามาประกอบกับฐานที่เป็นโฟมยางธรรมชาติมาใช้เป็นขั้วไฟฟาร่วม โดยการเตรียมคอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติ, PEDOT:PSS และพอลิไพโรล (NR/PEDOT:PSS/PPy) จะใช้กระบวนการเคมีไฟฟ้าในการสังเคราะห์ ทำการเตรียมยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS ในอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร ผ่านศักย์ไฟฟ้าในช่วง 3-7 โวลต์ โดยใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของไพโรลเท่ากับ 0.5 โมลาร์และศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 4 โวลต์ให้ค่าการนำไฟฟ้าของยางคอมพอสิตอยู่ที่ 31.531 S/cm เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์ที่ใช้ขั้วไฟฟาร่วมชนิดแพลททินัมและเซลล์ที่ใช้ขั้วไฟฟาร่วมเป็นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้นให้ประสิทธิภาพอยู่ที่ 2.04% และ 0.93% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพยังน้อยอยู่เนื่องมาจากชนิดของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ทำมาจากยางธรรมชาติอาจส่งผลให้การส่งผ่านอิเล็กตรอนยังไม่ดีเทียบเท่ากับขั้วแพลททินัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6172021823 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: conductive natural rubber dye-sensitized solar cell floating
 photovoltaic cell

Pimploy Prasertvasu : CONDUCTIVE NATURAL RUBBER FOAM FOR
FLOATING PHOTOVOLTAIC CELL. Advisor: Asst. Prof. NUTTAPOL
POOTRAKULCHOTE, Ph.D. Co-advisor: Pomtip Khownarumit, Ph.D.

Natural rubber, a biodegradable polymer obtained from the rubber tree (*Hevea brasiliensis*), is used extensively in many applications, either alone or in combination with other materials. In recent years, electrically conductive elastomeric and flexible polymers have attracted considerable interest due to their flexibility and environmental friendliness. In this work, the lab-scale floating photovoltaic cells, employing PEDOT: PSS and polypyrrole-based conductive natural rubber (NR/PEDOT: PSS/PPy) foam as a counter electrode (CE) is proposed. The NR/PEDOT: PSS/PPy composited was prepared using electrochemical method. To obtain the conductive natural rubber sheet, blended the natural rubber latex with PEDOT: PSS in ratio 1:4 by volume. An external voltage range of 3-7 Volts was applied to the pyrrole solution in a varied reaction time. A suitable condition for best conductive natural rubber sheets was a 0.5 M pyrrole concentration and a voltage applied of 4 volts. The conductivity of conductive natural rubber was 31.531 S/cm. The performance test result of DSSC between Pt counter electrode and conductive natural rubber counter electrode showed photoconversion efficiency of 2.04% and 0.93%, respectively. The lower performance value in conductive natural rubber as a counter electrode in DSSC because of low performance of electron transfer in a natural rubber-based electrode.

Field of Study: Chemical Technology

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จได้หากปราศจากความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุง และแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์และสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.พรทิพย์ โค้วณมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อสารเคมีและอุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำงานวิจัยที่สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (สรบ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางขุนเทียน

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.โศภิตา วัฒนารัตน์ รองศาสตราจารย์.ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย และเพื่อน ๆ พี่ ๆ จากภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยเหลือผู้วิจัยในการวิเคราะห์ข้อมูลและเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์วิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวดี พุกษาทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ประไพยนา กรรมการจากภายนอก ที่กรุณารับเชิญเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และปรับแก้ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ”ทุนวิจัย PETROMAT ” ที่สนับสนุนการทำวิจัย สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ชนิดต่าง ๆ ตลอดจนการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ ให้กำลังใจตลอดจนช่วยเหลือ ให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รวมถึงผู้ที่อยู่เบื้องหลังที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านความรู้ และ ด้านจิตใจ อีกทั้งยังแนะนำ ให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ มาจนสำเร็จการศึกษา

พิมพ์ลอย ประเสริฐวุฒ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor).....	4
2.1.1 สภาพนำภายใน (Intrinsic conductivity).....	4
2.1.2 สภาพนำไฟฟ้าภายนอก (Extrinsic conductivity).....	5
2.1.3 แบบจำลองแถบพลังงาน (Energy band model).....	6
2.1.4 ระดับเฟอร์มี (Fermi level).....	7
2.1.5 รอยต่อพี-เอ็น (P-N junction).....	7
2.1.6 คู่อิเล็กตรอน-หลุม (Electron-hole pair).....	10

2.2 เซลล์สุริยะ (Solar cell).....	11
2.2.1 ชนิดของ	11
2.3 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell).....	13
2.3.1 องค์ประกอบของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง.....	14
2.3.2 หลักการทำงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง [11].....	16
2.4 ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ	17
2.5 วงจรสมมูลของเซลล์สุริยะ	20
2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ.....	21
2.7 เซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating photovoltaic cell)	23
2.8 การพัฒนาขั้วไฟฟ้าร่วมจากพอลิเมอร์ [15, 16].....	26
2.9 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber latex).....	31
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	39
3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	40
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	40
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	41
3.5 วิธีการดำเนินการ	41
3.5.1 เตรียมกระจกนำไฟฟ้าสำหรับขั้วไฟฟ้าโปรงแสง.....	41
3.5.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าร่วมสำหรับนำไปสังเคราะห์พอลิไพโรล	42
3.5.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าร่วมสำหรับนำไปประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง.....	43
3.5.4 การเตรียมยางธรรมชาตินำไฟฟ้าสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าร่วม.....	43
3.5.5 การเตรียมเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (Gel Polymer Electrolyte :GPE)	44
3.5.6 การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้เจลอิเล็กโทรไลต์	45
3.5.7 การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	45

3.5.8 การเตรียมโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติ.....	46
3.5.9 การประกอบเซลล์สุริยะลอยน้ำ	47
3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพของชิ้นงาน	48
3.6.1 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์ (Van der pauw).....	48
3.6.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM).....	50
3.6.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าและเซลล์สุริยะชนิดสีย้อม ไวแสง.....	50
3.6.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีและหมู่ฟังก์ชัน.....	51
3.6.5 การวิเคราะห์ผลต่างของอนุกรมระหว่างเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงลอยน้ำกับเซลล์ สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่อยู่บนพื้น.....	54
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	55
4.1 ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยเทคนิคแวน เดอ พาวน์ (van der pauw) 55	
4.1.1 ผลของความเข้มข้นของโพลีเมอร์ต่อค่าการนำไฟฟ้า	55
4.1.2 ผลของความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา.....	57
4.1.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	59
4.2 ผลเปรียบเทียบสภาพความต้านทานของกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า (FTO), FTO เคลือบ Pt และยางธรรมชาตินำไฟฟ้า.....	61
4.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	62
4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีและหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า.....	63
4.4.1 ผลวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคเรย์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี(Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR).....	63
4.4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย CHNS analyzer.....	64
4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าและเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง	65

4.5.1 การวิเคราะห์การรีดิวซ์และการออกซิไดส์ของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิก โวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry)	65
4.5.1.1 ผลของจำนวนรอบ (cycle)	67
4.5.1.2 ผลของอัตราการจ่ายศักย์ไฟฟ้า (scan rate)	68
4.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงเบื้องต้น	70
4.7 การวิเคราะห์ผลต่างอุณหภูมิของเซลล์สุริยะลอยน้ำ	73
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	85
วิธีการคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าด้วยเทคนิค แวน เดอ พาวน์ (Van der pauw).....	86
ประวัติผู้เขียน	91



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบในน้ำยารวมชาติ	32
ตารางที่ 4.1 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อความเข้มข้นของไฟโรล	55
ตารางที่ 4.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ที่จ่ายเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา	57
ตารางที่ 4.3 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา	60
ตารางที่ 4.4 สภาพความต้านทานของวัสดุต่างๆ	61
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากไซคลิกโวลแทมโมแกรมจากรูปที่ 4.11	66
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่างๆของ DSSC ที่ปรับปรุงขั้วไฟฟาร่วมเทียบกับเซลล์มาตรฐาน โดยมีพื้นที่รับแสง 0.25 cm^2 วัดภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ความเข้มแสง AM 1.5 G	70

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของซิลิคอน (Si) ที่มีสภาพการนำภายใน	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Pure silicon), สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type doping), สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type doping).....	5
รูปที่ 2.3 แถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ของโลหะ, สารกึ่งตัวนำและ ฉนวน	6
รูปที่ 2.4 ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ชนิดเอ็น และชนิดพี	7
รูปที่ 2.5 ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีก่อนและหลังเชื่อมต่อกัน	8
รูปที่ 2.6 บริเวณการพร่อง (depletion zone).....	9
รูปที่ 2.7 บริเวณการพร่อง(depletion zone) แคบลงเมื่อให้ไบอัสตรง	9
รูปที่ 2.8 บริเวณการพร่อง (depletion zone) กว้างขึ้นเมื่อให้ไบอัสกลับ	10
รูปที่ 2.9 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุมของรอยต่อพี-เอ็น ณ บริเวณการพร่อง.....	10
รูปที่ 2.10 เซลล์สุริยะชนิดซิลิคอนเดี่ยว (ขวา) และชนิดหลายผลึก (ซ้าย)	12
รูปที่ 2.11 เซลล์สุริยะชนิดซิลิคอนแบบไม่เป็นผลึก	12
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างของสีย้อมไวแสงกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมและลิแกนด์กลุ่มพิริดีน (Ru-pyridine complex)	14
รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง	14
รูปที่ 2.14 การทำงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง	16
รูปที่ 2.15 สเปกตรัมแสงอาทิตย์ที่ AM 0 และ AM 1.5.....	17
รูปที่ 2.16 กราฟกระแสและความต่างศักย์ (I-V curve).....	19
รูปที่ 2.17 สมมูลของเซลล์สุริยะ	20
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความเข้มแสงต่างกัน.....	21
รูปที่ 2.19 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่อุณหภูมิต่างๆ.....	22

รูปที่ 2.20	กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความต้านทานอนุกรมต่างๆ.....	23
รูปที่ 2.21	กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความต้านทานชั้นต่างๆ.....	23
รูปที่ 2.22	เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดพุน ในประเทศต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.23	เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพแบบแยกส่วนใส่เหล็กชุบสังกะสี	25
รูปที่ 2.24	เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพแยกส่วนที่ใช้วัสดุโพลีเอทิลีนและเหล็กชุบสังกะสีใน ประเทศเกาหลีใต้	25
รูปที่ 2.25	เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพพลาสติก.....	26
รูปที่ 2.26	โครงสร้างของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดต่างๆ	27
รูปที่ 2.27	โครงสร้างของ พอลิ(3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟีน):พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PEDOT:PSS).....	27
รูปที่ 2.28	โครงสร้างของพอลิไพโรล (Polypyrrole).....	28
รูปที่ 2.29	กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไพโรล.....	29
รูปที่ 2.30	การเกิดpolaron และ Bipolaron ของ polypyrrole	31
รูปที่ 2.31	โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	32
รูปที่ 2.32	ผลิตภัณฑ์โหมยงที่ใช้ผลิตที่นอน	35
รูปที่ 3.1	ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (Photo anode)	42
รูปที่ 3.2	ขั้วไฟฟ้าวร่วม (Counter electrode).....	43
รูปที่ 3.3	ขั้วยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS บนกระจกนำไฟฟ้าก่อน (ซ้าย) และหลังเกิด	44
รูปที่ 3.4	อิเล็กโทรไลต์ชนิดเจล.....	44
รูปที่ 3.5	การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้เจลอิเล็กโทรไลต์	45
รูปที่ 3.6	เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าวร่วมเป็นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	45
รูปที่ 3.7	โหมยงธรรมชาติ	46
รูปที่ 3.8	เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าวร่วมเป็นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	47
รูปที่ 3.9	การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์	48
รูปที่ 3.10	แผนภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งตรงข้าม.....	48

รูปที่ 3.11 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานก่อนนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์	49
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope :SEM). 50	
รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า Potentiostatic.....	51
รูปที่ 3.14 เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคATR-FTIR	52
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิคเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR).....	52
รูปที่ 3.16 องค์ประกอบของเครื่อง CHNS/O analyzer.....	53
รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ CHN analyzer.....	53
รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ผลต่างอุณหภูมิของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงแบบลอยน้ำกับบนพื้น	54
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฟโรล	56
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของยางคอมพอสิตที่ความเข้มข้นของไฟโรล 0.05 โมลาร์ (ซ้าย) และ 0.5 โมลาร์ (ขวา).....	57
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่จ่าย	58
รูปที่ 4.4 ลักษณะของยางคอมพอสิตที่ความต่างศักย์ 4 (ซ้าย) และ 7 (ขวา) โวลต์.....	59
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 4 (ซ้าย) และ 7 (ขวา) โวลต์	59
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา .	60
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของยางคอมพอสิตที่ 10 นาที (ซ้าย) และ 40 นาที (ขวา)	61
รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 นาที (ซ้าย)...	Error!
Bookmark not defined.	
รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) ใส่พอลิไฟโรล (PPy) ที่ความเข้มข้น 0.05 M.....	62
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของ (a) PPy, (b) PEDOT:PSS (c) NR/PEDOT:PSS,	63
รูปที่ 4.11 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิค CHNS/O analyzer.....	64
รูปที่ 4.12 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (ซ้าย) เปรียบเทียบกับ	65
รูปที่ 4.13 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่จำนวนรอบต่าง ๆ	67

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบแล้วความหนาแน่นของกระแสสูงสุดของ ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	68
รูปที่ 4.15 โซลลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่อัตราการสแกนต่าง ๆ	68
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับความหนาแน่นกระแส สูงสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	69
รูปที่ 4.17 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงมาตรฐาน (ซ้าย), เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่นำยาง ธรรมชาตินำไฟฟ้ามาเป็นขั้วไฟฟ้าร่วม (ขวา)	70
รูปที่ 4.18 กราฟ J-V ของเซลล์มาตรฐานและNR/PEDOT:PSS/PPy ที่แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆใน ตารางที่ 4.6	72
รูปที่ 4.19 ลักษณะของเซลล์สุริยะชนิดลอยน้ำที่ใช้ขั้วยางธรรมชาติเป็นขั้วร่วมไฟฟ้า.....	73
รูปที่ 4.20 การทดสอบอุณหภูมิน้ำต่ออุณหภูมิเซลล์สุริยะ.....	74
รูปที่ 4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์ สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำ	74
รูปที่ 4.22 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์ สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำระยะเวลา 1 เดือน	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพอากาศถูกทำลาย เกิดฝนกรด อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนอีกด้วย ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งวิธีการหนึ่งก็คือ การใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน แหล่งพลังงานหนึ่งที่ยั่งยืนและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถใช้ได้ตลอดไม่มีที่สิ้นสุดและสะอาดไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม โดยโฟโตวอลเทอิกเซลล์ (photovoltaic cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตมีความซับซ้อนและมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูง นอกจากนี้ปัญหาสำคัญที่พบคือการติดตั้งแผงโฟโตวอลเทอิกเซลล์ต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้างมาก จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโฟโตวอลเทอิกเซลล์แบบลอยน้ำเพื่อประหยัดพื้นที่บนดินและช่วยลดการระเหยของน้ำในฤดูร้อน โดยใช้วัสดุรองรับยางธรรมชาติ (natural rubber foam) ซึ่งมีน้ำหนักเบาแทนที่ลอยน้ำ แต่เนื่องจากยางธรรมชาติดูดซับน้ำได้ดี ความต้านทานรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำและเป็นฉนวนไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงโพลิเมอร์ยางธรรมชาติให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำโดยเคลือบด้วยวัสดุกันน้ำ และเคลือบผิวด้านบนด้วยพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดโพลีไพร์โรล (polypyrrole) ด้วยวิธี Electrochemical deposition เพื่อให้ยางมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ โดยคาดหวังว่าโพลิเมอร์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ผ่านการปรับปรุงนี้จะสามารถนำไปผลิตเป็นขั้วไฟฟ้าวร่วมสำหรับโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงฐานโพลิเมอร์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้า นำไปสู่การผลิตอุปกรณ์เปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถลอยน้ำ และแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. สังเคราะห์โพลิเมอร์ยางธรรมชาติให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า
2. ศึกษาประสิทธิภาพของโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงบนโพลิเมอร์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

1.3 สมมติฐาน

การสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าเพื่อนำมาทดแทนขั้วไฟฟาร่วมที่ทำจากกระจกนำไฟฟ้าเคลือบสารแพลทินัมและนำมาประกอบกับโพลีเมอร์ยางธรรมชาติที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นฐานในการประกอบโพลีโวลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบลอยน้ำได้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 สังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยใช้วิธี Electrochemical deposition จากนั้นนำมาเคลือบด้านบนของโพลีเมอร์ยางธรรมชาติ

1.4.2 นำโพลีเมอร์ยางธรรมชาติที่นำไฟฟ้ามาเคลือบสารกันน้ำ

1.4.3 นำโพลีเมอร์ยางธรรมชาติที่นำไฟฟ้ามาผลิตเป็นขั้วไฟฟาร่วมของโพลีโวลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.4.4 ทดสอบสมบัติเชิงแสงและเชิงโพลีโวลเทอิกส์ของเซลล์ทดสอบ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เตรียมอุปกรณ์ และสารเคมีต่าง ๆ

1.5.2 เตรียมแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า และทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้า

- เตรียมยางธรรมชาติก่อนนำไปเคลือบ Polypyrrole โดยการผสมน้ำยางธรรมชาติกับ PEDOT:PSS แล้ว นำไปเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า

- เตรียมแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยวิธี Electrochemical deposition

- วิเคราะห์แผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

- พิสูจน์ลักษณะสมบัติ ด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy

- วัดค่าการนำไฟฟ้า : เครื่อง Conductivity meter

- วิเคราะห์ความหนาของการเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

1.5.3 เตรียมโพลีเมอร์มาตรฐานสำหรับนำไปประกอบเป็นโพลีโวลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสง

1.5.4 เคลือบโพลีเมอร์มาตรฐานด้วยสารกั้นน้ำ และทดสอบสมบัติกั้นน้ำ

1.5.5 ทดสอบสภาพนำไฟฟ้าของโพลีเมอร์มาตรฐานนำไฟฟ้า

- ค่าการนำไฟฟ้า: Conductivity meter

- ค่าการดูดกลืนแสง: เครื่อง UV-visible spectrophotometer

1.5.6 ประกอบโพลีโวลเทอิกเซลล์

- วัดประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยเครื่อง IV Tester

- ทดสอบการล่อน้ำของโพลีโวลเทอิกเซลล์ล่อน้ำ

1.5.7 รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โพลีเมอร์มาตรฐานที่มีสมบัตินำไฟฟ้าบนพื้นผิวเพื่อใช้สำหรับการประกอบโพลีโวลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงและสามารถล่อน้ำ

บทที่ 2

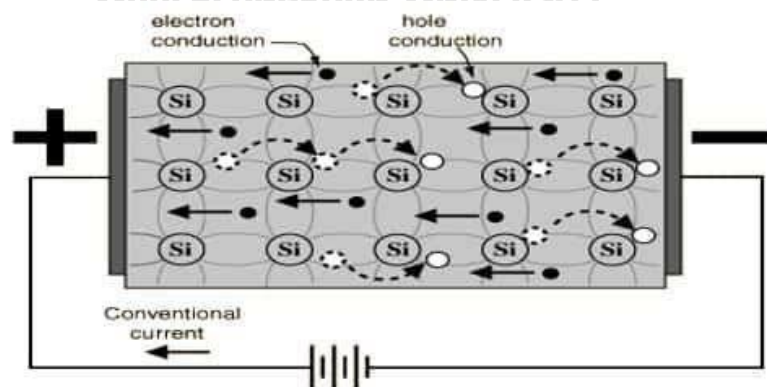
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำ คือ สารที่มีความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Energy gap) อยู่ระหว่างสารนำไฟฟ้า (Conductor) กับฉนวน (Insulator) เนื่องจากอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence electron) ของสารกึ่งตัวนำจะสร้างพันธะกับอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซึ่งทำให้ในสภาวะปกติสารกึ่งตัวนำจะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่ถ้าหากได้รับความร้อน ฉายแสงหรือการให้ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่มากพอมากระตุ้นจะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดสามารถหลุดเป็นอิสระได้ที่อิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) หลุดออกจะทำให้เกิดช่องว่างหรือหลุมอิเล็กตรอน (Hole) จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้าและหลุมอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้า ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ และหลุมอิเล็กตรอนจึงทำให้เกิดการนำไฟฟ้า วัสดุเหล่านี้ได้แก่ ซิลิคอน (Si) และ เจอร์มาเนียม (Ge) เป็นต้น

2.1.1 สภาพนำภายใน (Intrinsic conductivity)

เป็นสมบัติของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ด้วยตัวเอง โดยภายในโครงสร้างจะประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน โดยอิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดจะสร้างพันธะกับอิเล็กตรอนของอะตอมข้างเคียง แต่เมื่อมีการกระตุ้นโดยการให้ความร้อนหรือสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและหลุมอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.1 [1]



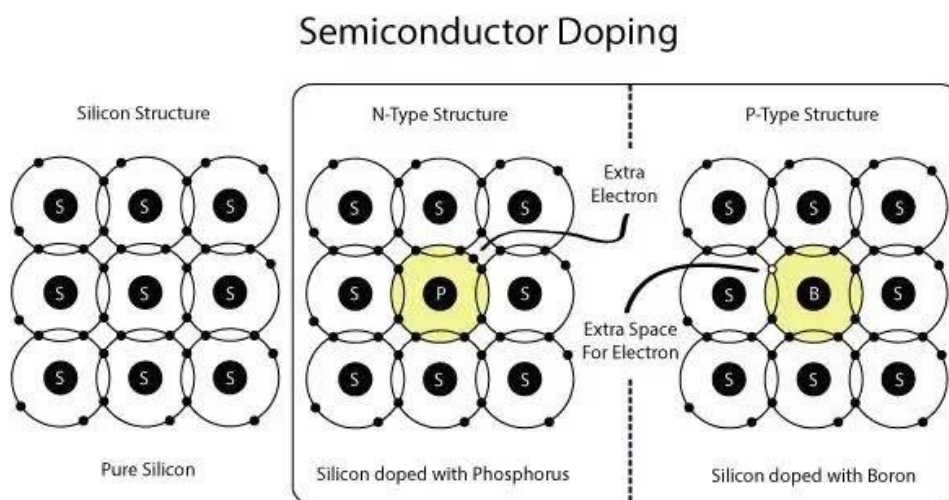
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของซิลิคอน (Si) ที่มีสภาพการนำภายใน

2.1.2 สภาพนำไฟฟ้าภายนอก (Extrinsic conductivity)

เป็นสมบัติการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ที่มีการเจือ (Dope) ด้วยอะตอมของธาตุอื่นที่มีโครงสร้างการจัดเรียงอิเล็กตรอนที่ต่างกัันจะทำให้สมบัตินำไฟฟ้าของสารที่ถูกเจือนั้นเปลี่ยนแปลงไป สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ [2] ได้แก่

สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type semiconductor) หรือ (Negative-type semiconductor) เกิดจากการเจือด้วยธาตุที่มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนของธาตุโครงสร้างหลัก ทำให้ภายในโครงสร้างผลึกมีอิเล็กตรอนอิสระ การเจือในลักษณะส่วนมากจะใช้ธาตุในหมู่ 5A นี้ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P), อาร์เซนิก (As) และแอนติโมนี (Sb) เป็นต้น โดยธาตุเหล่านี้จะถูกเรียกเป็น อะตอมผู้ให้ (Donor)

สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) หรือ (Positive-type semiconductor) เกิดจากการเจือด้วยธาตุที่มีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนอิเล็กตรอนของธาตุโครงสร้างหลัก จะทำให้เกิดหลุมอิเล็กตรอนเกินในโครงสร้าง ซึ่งหลุมอิเล็กตรอนที่เกินสามารถรับอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงได้ จึงดูเหมือนว่าหลุมอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ การเจือในลักษณะนี้ ส่วนมากจะใช้ธาตุจากหมู่ 3A ได้แก่ โบรอน (B), อะลูมิเนียม (Al) และแกลเลียม (Ga) เป็นต้น โดยธาตุเหล่านี้จะถูกเรียกเป็น อะตอมผู้รับ (Acceptor)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Pure silicon), สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type doping), สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type doping)

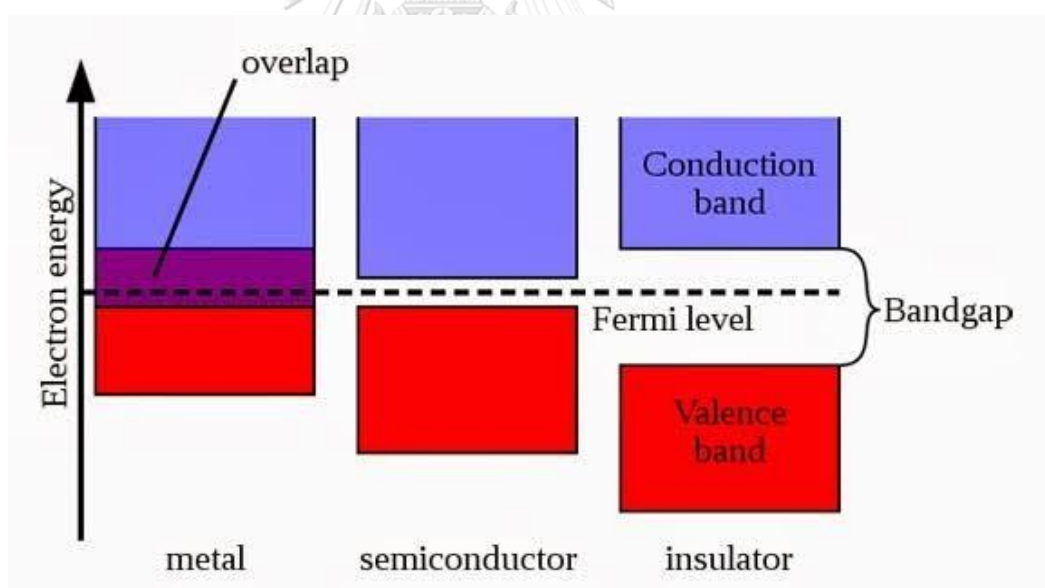
2.1.3 แบบจำลองแถบพลังงาน (Energy band model)

เป็นแบบจำลองอะตอมของธาตุที่รวมกันเป็นโมเลกุลในโครงสร้างของวัสดุเนื้อแข็งจำพวก โลหะ, สารกึ่งตัวนำ และฉนวน ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

2.3.1 แถบพลังงานวาเลนซ์ (Valence band) คือ แถบพลังงานที่เกิดจากการรวมกันของ ระดับพลังงานย่อย ๆ อยู่ใกล้กับนิวเคลียส เนื่องมาจากการที่อะตอมของธาตุสร้างพันธะระหว่างกันจะ เกิดเป็นโครงสร้างที่อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทำให้เกิดเป็นแถบพลังงานที่มีระดับพลังงานต่ำ ที่สุด

2.3.2 แถบนำไฟฟ้า (Conduction band) คือ แถบพลังงานชั้นนอกที่มีระดับพลังงานสูง กว่าและอิเล็กตรอนในแถบพลังงานนี้จะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

2.3.3 ช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) คือ ระยะห่างระหว่างระดับ พลังงานต่ำสุดของแถบนำไฟฟ้ากับระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ใช้ในการแบ่งประเภทและ อธิบายสมบัติการนำไฟฟ้าของของแข็งชนิดต่าง ๆ [3]



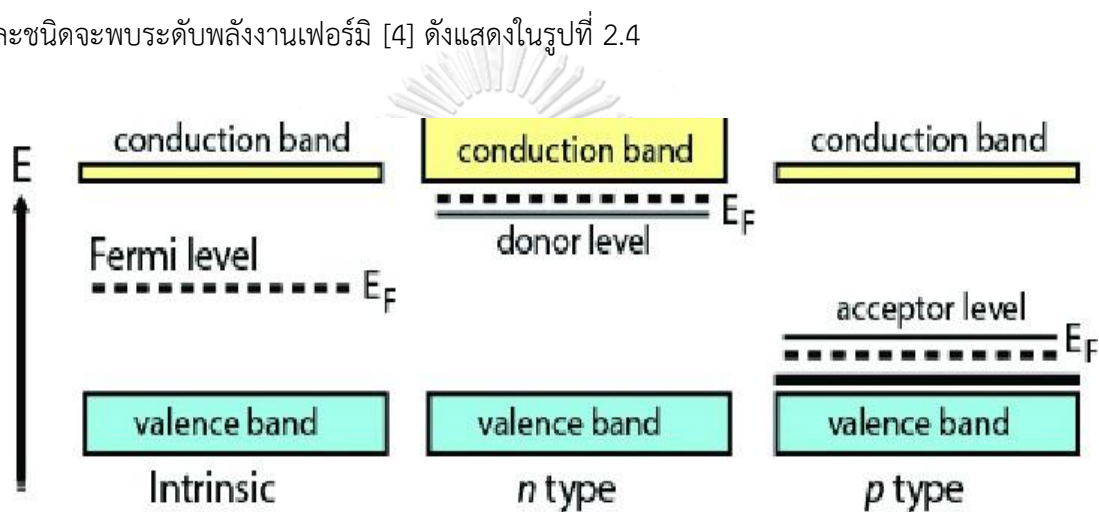
รูปที่ 2.3 แถบวาเลนซ์ (Valence band) และแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ของโลหะ, สารกึ่งตัวนำและ ฉนวน

จากรูปที่ 2.3 แสดงแถบพลังงานของวัสดุทั้งสามชนิด คือ โลหะ, สารกึ่งตัวนำและฉนวน จะ เห็นได้ชัดว่าในวัสดุประเภทโลหะจะมีช่องว่างระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบนำไฟฟ้าที่แคบหรือ

ซ้อนทับกัน ส่วนฉนวนจะมีช่องว่างระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบนำไฟฟ้าที่กว้างมาก และสารกึ่งตัวนำจะมีความกว้างของช่องว่างระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบนำไฟฟ้าแคบกว่าของฉนวนแต่ไม่ใกล้กันเหมือนโลหะ

2.1.4 ระดับเฟอร์มี (Fermi level)

ความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการกระจายของเฟอร์มี-ดิแรก (Fermi-Dirac distribution function) กล่าวว่า ในภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic equilibrium) จะมีระดับพลังงานสมมติที่มีโอกาสพบอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ร้อยละ 50 เวลาใดๆ โดยในสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะพบระดับพลังงานเฟอร์มี [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.4



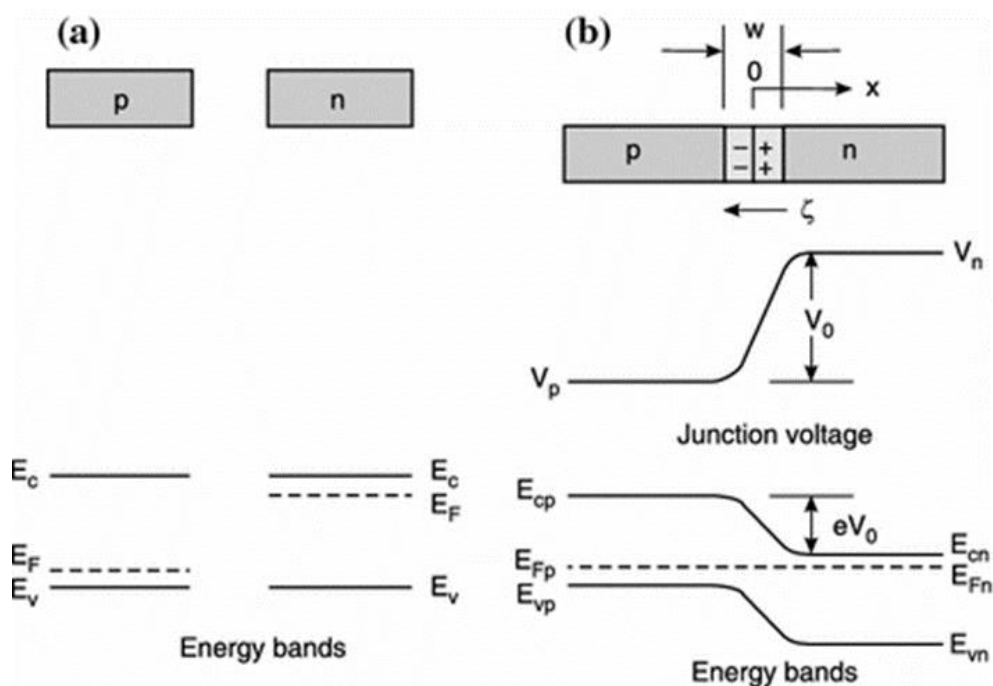
รูปที่ 2.4 ระดับพลังงานเฟอร์มีของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ชนิดเอ็น และชนิดพี

จากรูปที่ 2.4 จะพบว่าระดับพลังงานเฟอร์มีของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์จะอยู่กึ่งกลางของช่องว่างระหว่างแถบนำไฟฟ้าและแถบวาเลนซ์, สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) ระดับพลังงานเฟอร์มีจะอยู่ใกล้กับแถบนำไฟฟ้า ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) ระดับพลังงานเฟอร์มีอยู่ใกล้แถบวาเลนซ์ ซึ่งจะใช้อธิบายในรอยต่อพี-เอ็นต่อไป

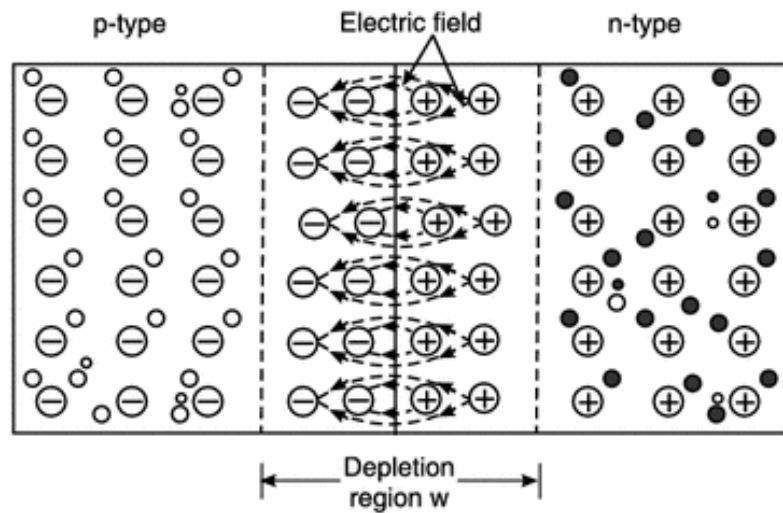
2.1.5 รอยต่อพี-เอ็น (P-N junction)

เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) ที่มีระดับพลังงานเฟอร์มีต่างกันมาเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่งผลให้เกิดการแพร่ของอิเล็กตรอนประจุลบจากฝั่งสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นสามารถเคลื่อนที่โดยแพร่เข้าไปยังฝั่งสารกึ่งตัวนำชนิดพี และใน

ขณะเดียวกันหลุมอิเล็กตรอนที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่เข้าไปยังฝั่งสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ณ บริเวณใกล้กับรอยต่อจะมีแรงเหนี่ยวนำระหว่างประจุที่สะสมในแต่ละฝั่งเกิดเป็นศักย์ภายใน (Built-in potential) ขึ้นมาเพื่อต้านการเคลื่อนที่โดยการแพร่เข้าของประจุทั้งสองฝั่ง การแพร่จะหยุดลงเมื่อระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำของสารทั้งสองชนิดอยู่ในระดับเดียวกันและเข้าสู่สมดุลทางไฟฟ้าโดยจะไม่มีกระแสเกิดขึ้นอีก ในบริเวณใกล้กับรอยต่อพี-เอ็นที่มีการเคลื่อนที่ของประจุจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลนี้เรียกว่าบริเวณการพร่อง (Depletion region) [5] ดังรูปที่ 2.6



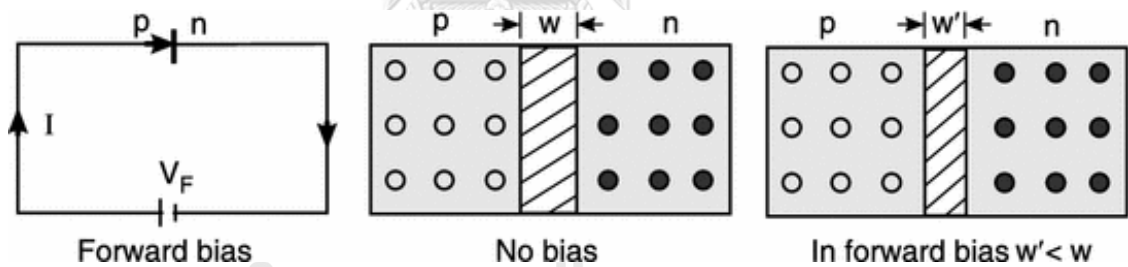
รูปที่ 2.5 ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีก่อนและหลังเชื่อมต่อกัน



รูปที่ 2.6 บริเวณการพร่อง (depletion zone)

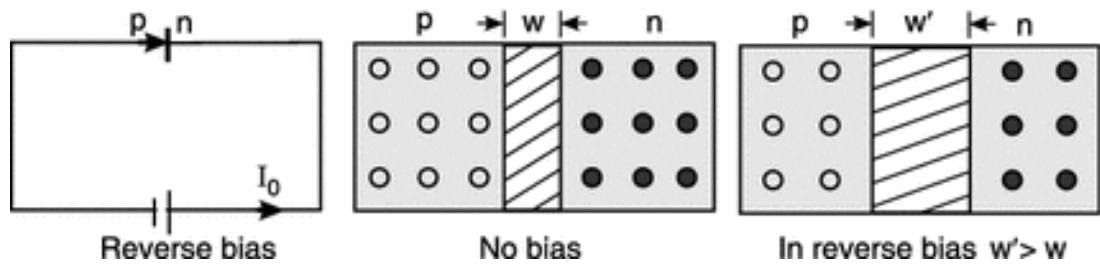
รอยต่อพีเอ็นมีลักษณะการทำงานคล้ายๆ ไดโอด คือให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว โดยจะแบ่งออกได้ 2 แบบตามการใส่แรงดันไฟฟ้า [6] ดังนี้

- การให้ไบอัสตรง (Forward bias) คือ การป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปแล้วทำให้บริเวณการพร่องแคบลงส่งผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บริเวณการพร่อง(depletion zone) แคบลงเมื่อให้ไบอัสตรง

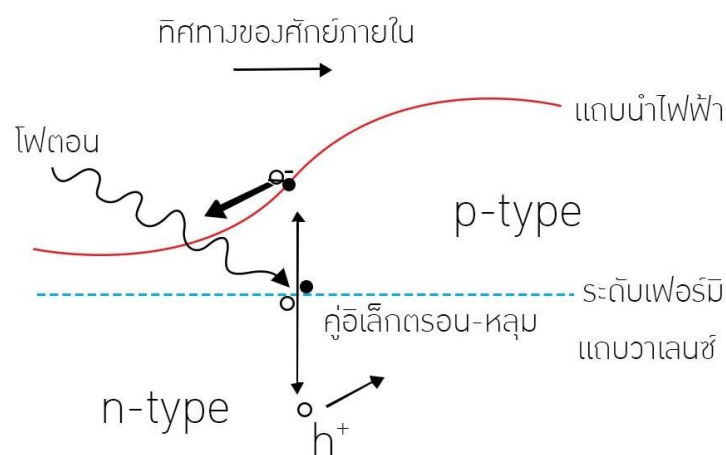
- การให้ไบอัสกลับ (Reverse bias) คือ การป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปโดยต่อขั้วตรงข้ามส่งผลให้บริเวณการพร่องกว้างขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านบริเวณการพร่องแย่ง ทำให้ไม่เกิดการไหลของกระแส ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 บริเวณการพร่อง (depletion zone) กว้างขึ้นเมื่อให้ไบอัสกลับ

2.1.6 คู่อิเล็กตรอน-หลุม (Electron-hole pair)

เมื่ออิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานแสง, ความร้อนหรือกระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ขณะเดียวกันก็เกิดหลุมอิเล็กตรอนอยู่ในแถบวาเลนซ์ที่จะคงสภาพในระยะเวลาอันสั้น หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานและตกกลับลงมายังแถบวาเลนซ์เดิม (Recombination) การเกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุมของรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) จะเกิดในบริเวณการพร่อง (Depletion zone) โดยได้รับการกระตุ้นด้วยศักย์ภายใน (Built-in potential) ทำให้เกิดการแยกกันของอิเล็กตรอนและหลุมและเคลื่อนที่ออกไปยังวงจรรภายนอกได้ ดังรูปที่ 2.9 โดยมีจำนวนของคู่อิเล็กตรอน-หลุม (Electron-hole pair) และช่วงเวลาให้อิเล็กตรอนคงสภาพก่อนตกกลับ (Recombination lifetime) จะเป็นตัวแปรที่กำหนดคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำและ สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์สุริยะชนิดนั้น [7]



รูปที่ 2.9 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-หลุมของรอยต่อพี-เอ็น ณ บริเวณการพร่อง

2.2 เซลล์สุริยะ (Solar cell)

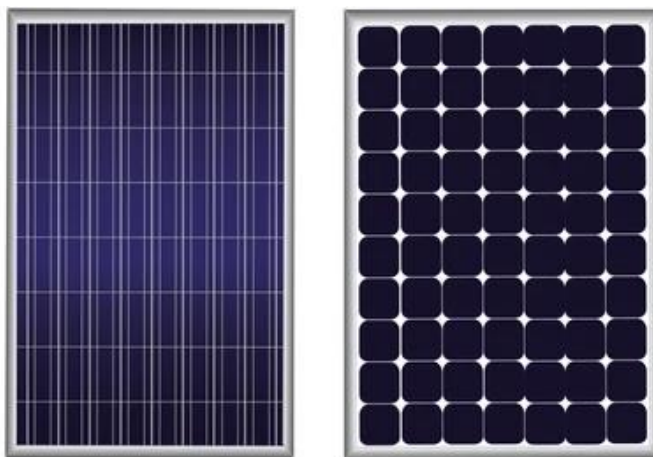
เซลล์สุริยะ (solar cell) หรือ โฟโตวอลเทอิกเซลล์ (Photovoltaic cell) มีที่มาจากคำว่า photo ที่แปลว่า แสง ส่วน volt ที่หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อนำสองคำมารวมกันจะหมายถึง การผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ แอนโทนิโอ-ซีซาร์-แบคเคอแรล (Antoine César Becquerel) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ.1839 แต่เซลล์สุริยะก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1954 แดริล ชาแป็ง (Daryl Chapin), แคลวิน ฟูลเลอร์ (Calvin Fuller) และเจอร์ราร์ด เพียร์สัน (Gerald Pearson) นักวิทยาศาสตร์จากห้องปฏิบัติการเบลล์ สหรัฐอเมริกาประสบผลสำเร็จในการนำปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิกมาประยุกต์ใช้ประดิษฐ์เซลล์โฟโตวอลเทอิกด้วยสารซิลิคอน (Si) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หลักการทำงานของเซลล์สุริยะเกิดขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์สุริยะจะเกิดอิเล็กตรอนและหลุมขึ้นแล้วในโครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเพื่อแยกอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบและหลุมไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น [8]

2.2.1 ชนิดของเซลล์สุริยะ

เซลล์สุริยะได้มีการพัฒนาขึ้นมามากมายหลายรูปแบบโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รุ่น [9] ดังนี้

1. เซลล์สุริยะชนิดสารกึ่งนำซิลิคอนแบบผลึก (Crystalline silicon) สามารถแบ่งออกได้อีก 2 รูปแบบ คือ
 - เซลล์สุริยะซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon) ถือเป็นเซลล์สุริยะในยุคแรกๆ โดยผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอนผลึกเดี่ยว มีความหนาประมาณ 200-300 ไมครอน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 14-18% ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์ชนิดซิลิคอนประเภทอื่นๆ แต่ก็มีราคาสูงกว่าเช่นเดียวกันเนื่องจากต้องใช้กระบวนการผลิตที่ซับซ้อนกว่า
 - เซลล์สุริยะซิลิคอนชนิดหลายผลึก (Polycrystalline silicon) ผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอนชนิดหลายผลึก มีความหนาประมาณ 180-220 ไมครอน มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 12-15% แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตเป็นเซลล์แบบรังผึ้ง ส่งผลให้มี

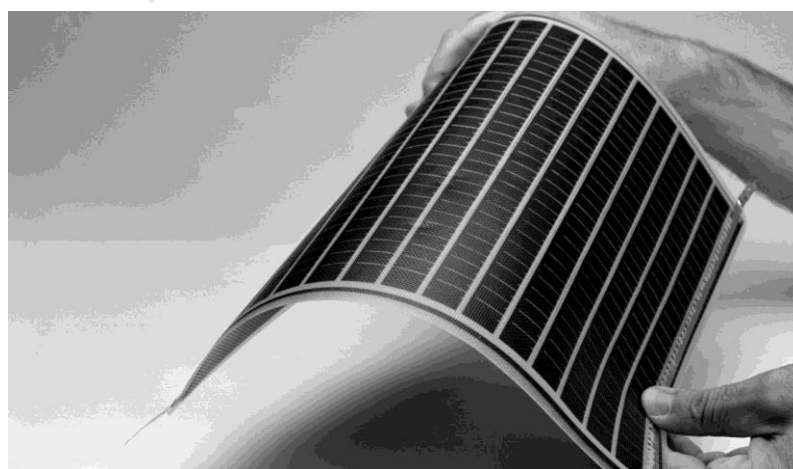
ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 18-19% และยังมีราคาถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยวและมีราคาระดับปานกลาง จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน



รูปที่ 2.10 เซลล์สุริยะชนิดซิลิคอนเดี่ยว (ขวา) และชนิดหลายผลึก (ซ้าย)

2. เซลล์สุริยะชนิดฟิล์มบาง (Thin film)

- เซลล์สุริยะชนิดซิลิคอนแบบไม่เป็นผลึก (Amorphous silicon) มีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ประมาณ 0.5-1.0 ไมครอน มีสีม่วงน้ำตาล มีประสิทธิภาพประมาณ 7-10% ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นรูปแบบที่เรียกว่า Amorphous triple junction เป็นการรวมเอาข้อดีทั้งของแบบผลึก และไม่เป็นผลึกเข้าไว้ด้วยกันจึงไม่จำเป็นต้องใช้กระจกทำให้น้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นสูง



รูปที่ 2.11 เซลล์สุริยะชนิดซิลิคอนแบบไม่เป็นผลึก

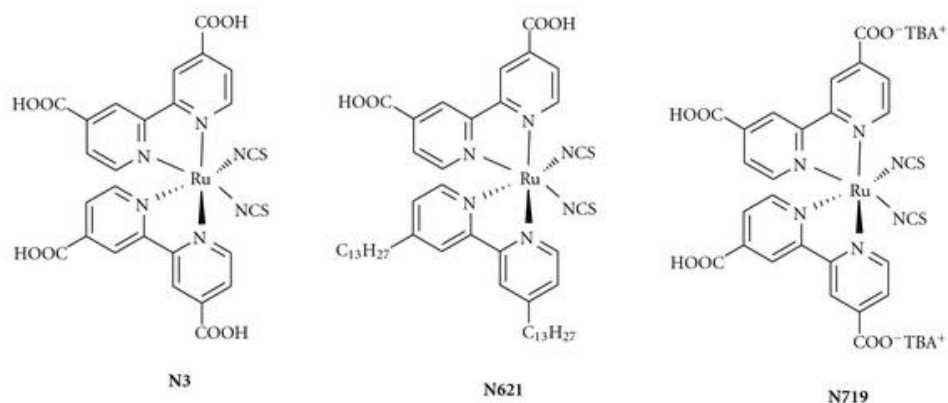
- เซลล์สุริยะชนิดฟิล์มบางของสารประกอบตระกูลคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไคเซเลไนต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า 20% เทคโนโลยีนี้จึงเป็นความหวังในอนาคตเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์สุริยะชนิดอื่นๆ

- เซลล์สุริยะชนิดฟิล์มบางของสารประกอบตระกูลแคดเมียมเทลลูไรด์ มีประสิทธิภาพประมาณ 9-15% แต่เนื่องจากความกังวลในเรื่องของความเป็นพิษของสารประกอบแคดเมียมและการกำจัดที่ทำได้ยาก จึงทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

3. เซลล์สุริยะชนิดอื่นๆเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารอินทรีย์มาใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์สุริยะ เช่น เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง (dye-sensitized solar cell, DSSC) และพอลิเมอร์นำไฟฟ้าในเซลล์สุริยะชนิดสารอินทรีย์ (organic photovoltaic cell, OPV) แต่ยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำจึงน่าสนใจในการศึกษาต่อ

2.3 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)

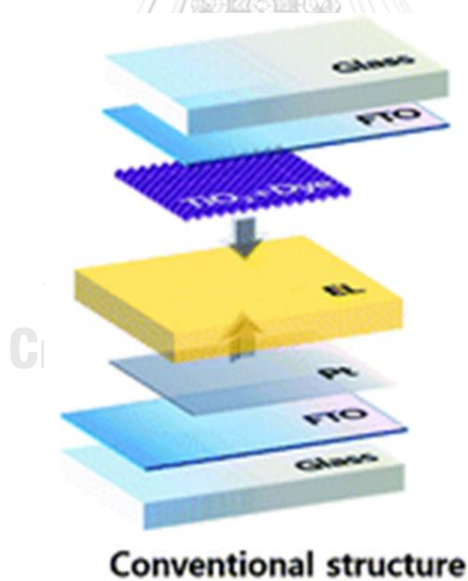
เซลล์สุริยะชนิดไวสีย้อม เป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่เหมาะสม ในการนำมาใช้งานในอนาคต เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง (Dye - Sensitized Solar Cell ชื่อย่อ DSC หรือ DSSC) ซึ่ง DSSC ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Professor Michael Grätzel แห่ง Laboratory for Photonics and Interfaces, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ในช่วงต้นทศวรรษ 1991 โดยเป็นเซลล์ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) ซึ่งอาศัยหลักการทำงานคล้ายกันกับกระบวนการสังเคราะห์แสงในธรรมชาติ มีการใช้สีย้อมไวแสงที่เตรียมได้จากสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมและลิแกนด์กลุ่มไพริดีน (Ru-pyridine complex) ดังรูปที่ 2.12, สารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) หรือรงควัตถุในธรรมชาติ (Natural pigment) ที่มีคุณสมบัติดูดกลืนแสงในย่านความถี่ของแสงอาทิตย์ได้มาเป็นตัวดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และมีสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูง เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นต้น เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงนี้มีอีกชื่อเรียกคือ “เซลล์เกรทเซล” (Grätzel cells) [10]



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างของสีย้อมไวแสงกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมและลิแกนด์กลุ่มไพริดีน (Ru-pyridine complex)

2.3.1 องค์ประกอบของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

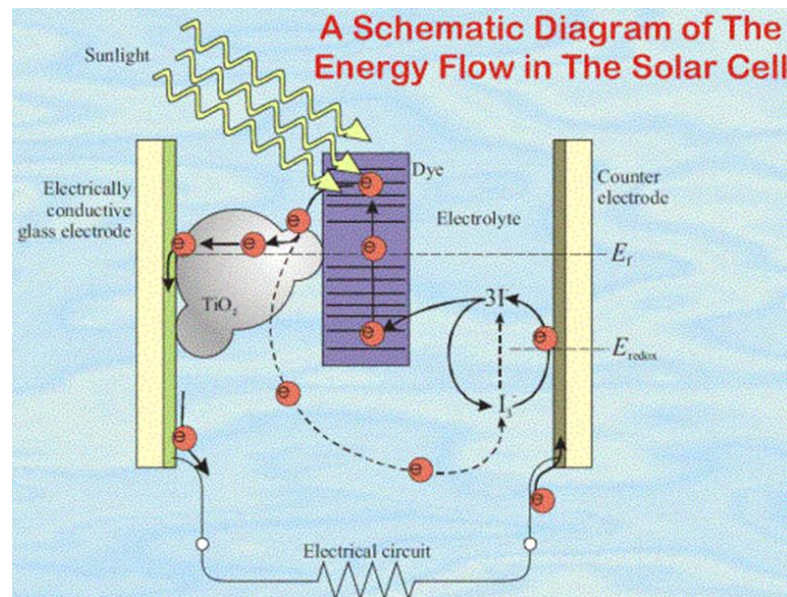
เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง มีองค์ประกอบที่สำคัญ [10] ดังรูปที่ 2.13 นี้



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

- ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ทำหน้าที่ในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปสู่วงจรภายนอก คุณสมบัติที่สำคัญคือต้องยอมให้แสงสามารถผ่านได้ดี โดยทั่วไปมักใช้กระจกที่เคลือบสาร Fluorine doped tin oxide (FTO)

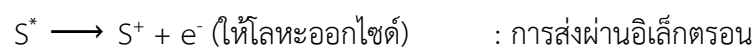
2.3.2 หลักการทำงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง [11]



รูปที่ 2.14 การทำงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

จากรูปที่ 2.14 แสดงกลไกการทำงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงโดยเมื่อมีแสงตกกระทบลงบนเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง โมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่เกาะอยู่บนอนุภาคของโลหะออกไซด์จะดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสภาพจากสถานะพื้น (S^0) ไปเป็นสถานะเร้า (S^*) จากนั้นอิเล็กตรอนพลังงานสูงในสถานะเร้านี้จะเกิดการถ่ายโอนไปยังแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ของอนุภาคโลหะออกไซด์ซึ่งมีระดับพลังงานที่ต่ำกว่าของโมเลกุลสีย้อมไวแสง หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในชั้นของอนุภาคโลหะออกไซด์จะถูกรวบรวมบริเวณหน้าสัมผัส (Front contact) แล้วค่อยเคลื่อนที่ออกสู่วงจรภายนอก จากนั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์บริเวณขั้วไฟฟ้าร่วมจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ เพื่อทำการคืนอิเล็กตรอนให้กับโมเลกุลของสีย้อมนำไฟฟ้าที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป (S^+) จะทำให้โมเลกุลของสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น (S^0) ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็จะได้อิเล็กตรอนคืนจากขั้วไฟฟ้าร่วม โดยปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ ดังนี้

ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้ารับแสง



ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าร่วม

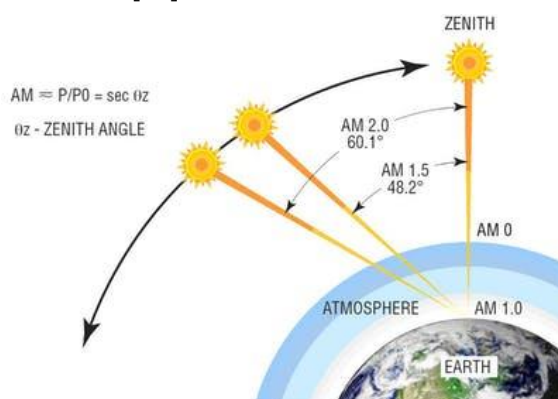


ปฏิกิริยารวม



2.4 ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ

ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงสุริยะ จะถูกกำหนดโดยความเหมาะสมของลักษณะของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ และสมบัติขององค์ประกอบของตัวเซลล์สุริยะสำหรับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่วัดได้บนพื้นโลกเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขต่างๆ เช่น ตำแหน่งบนพื้นโลก เวลา สภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมอื่นๆ และเนื่องจากโลกมีชั้นบรรยากาศห่อหุ้ม จึงส่งผลให้แสงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดกลืนไว้ก่อนจะมาถึงยังผิวโลก โดยความเข้มแสงของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ผิวโลก ณ ตำแหน่งต่างๆ สามารถอธิบายในรูป Air mass (AM) โดยค่า $AM = \sec \theta_2$ เมื่อ θ_2 คือ มุมระหว่างแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับผิวโลก เช่น ในเวลา 12.00 น. ดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดี ทำให้มีค่า $\theta_2 = 90^\circ$ ดังนั้นแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกจะมี AM เท่ากับ 1.0 เป็นต้น สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ AM 0 (แสงอาทิตย์ในอวกาศ) และ AM 1.5 ดังรูป 2.14 เหมาะสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะที่จะศึกษาภายใต้สภาวะมาตรฐาน (Standard testing condition, STC) ที่ AM 1.5 ความเข้มแสงเท่ากับ 100 mW/cm^2 [12]



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมแสงอาทิตย์ที่ AM 0 และ AM 1.5

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบอกประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์สุริยะมี ดังนี้

2.4.1 ค่าสัมประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ (η) โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta(\%) = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\eta(\%) = \frac{I_{\max} \times V_{\max}}{P_{\text{in}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ P_{\max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์สุริยะ (Maximum power output)

I_{\max} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum point current density)

P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์สุริยะ

V_{\max} คือ ค่าความต่างศักย์สูงสุด

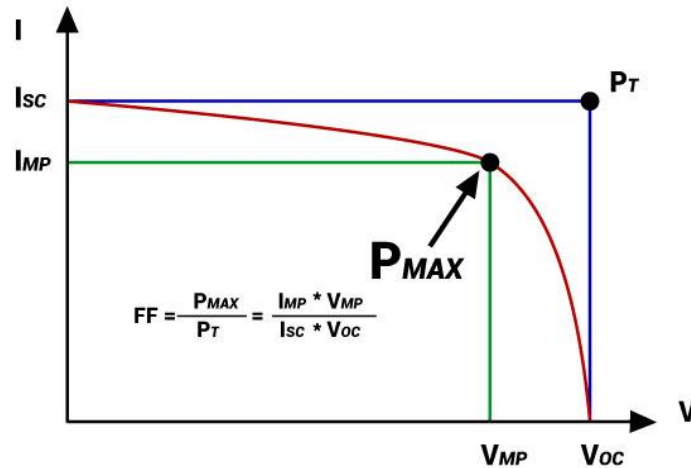
2.4.2 ฟิลแฟกเตอร์ (Fill factor : FF)

คือ พารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะบอกถึงคุณภาพพรอยต่อของเซลล์สุริยะ หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ (I-V curve) โดยจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สร้างจากกราฟ I-V แสดงในรูปที่ 2.16 และคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$FF = \frac{I_{\max} \times V_{\max}}{I_{\text{sc}} \times V_{\text{oc}}} \quad (3)$$

เมื่อ I_{sc} คือ ค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

V_{oc} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรถัด



รูปที่ 2.16 กราฟกระแสและความต่างศักย์ (I-V curve)

ดังนั้นจากสมการที่ 2 และ 3 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\eta (\%) = \frac{I_{max} \times V_{max} \times FF}{P_{in}} \times 100 \quad (4)$$

เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก จะไม่เท่ากันตลอดทุกความยาวคลื่นแสง ทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์สุริยะจึงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงด้วย ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Incident Photon to current conversion efficiency, IPCE) หรือบางครั้งเรียกว่าประสิทธิภาพควอนตัมภายนอก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$IPCE = \frac{1240 \times J_{sc}(A)}{\lambda(nm) \times I_{inc}(W/cm^2)} \quad (5)$$

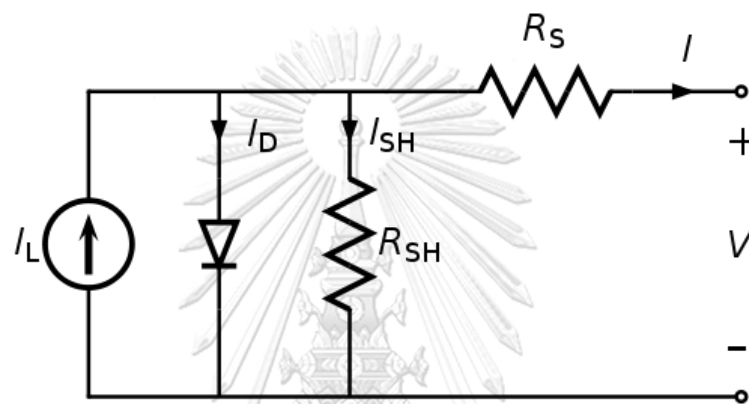
เมื่อ J_{sc} คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่โฟโตอิเล็กโทรด (Short circuit current density)

λ คือ ความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ

I_{inc} คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่โฟโตอิเล็กโทรดที่สภาวะมาตรฐาน

2.5 วงจรสมมูลของเซลล์สุริยะ

วงจรสมมูลของเซลล์สุริยะ [13] ดังรูปที่ 2.17 ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (I_L) ต่อขนานกับไดโอดและความต้านทานขนาน (Shunt resistance : R_{sh}) และต่ออนุกรมอยู่กับความต้านทานขาออก (R_s) ของเซลล์สุริยะ จะเห็นว่าขณะที่ทำการลัดวงจรกระแสที่ได้จากเซลล์สุริยะจะผ่านวงจรภายนอก แต่ในขณะที่ทำการเปิดวงจรกระแสที่ได้จากเซลล์สุริยะจะไหลผ่านไดโอดที่ต่อขนานภายในเซลล์แทน โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการของกระแสและความต่างศักย์ได้ตามสมการที่ 5 และ 6



รูปที่ 2.17 สมมูลของเซลล์สุริยะ

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad (5)$$

โดยที่ I คือ กระแสไฟฟ้าขาออกมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

I_L กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

I_D กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

I_{SH} กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานขนาน มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

$$V_i = V + IR_S \quad (6)$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

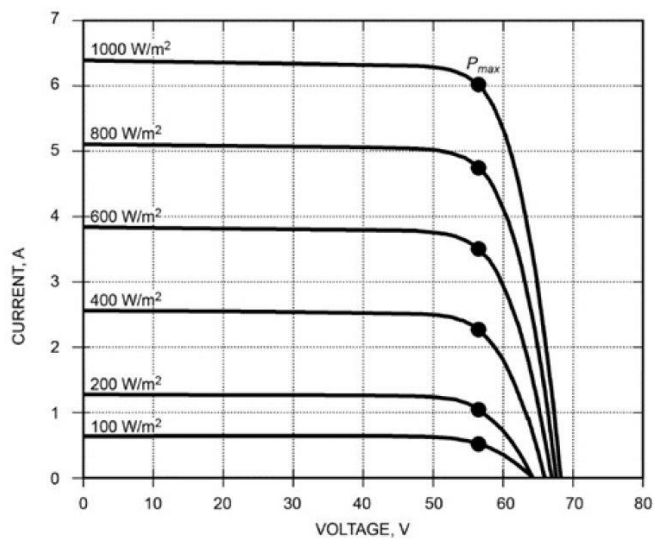
R_S คือ ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะมี ดังนี้

2.6.1 ผลของความเข้มแสงอาทิตย์

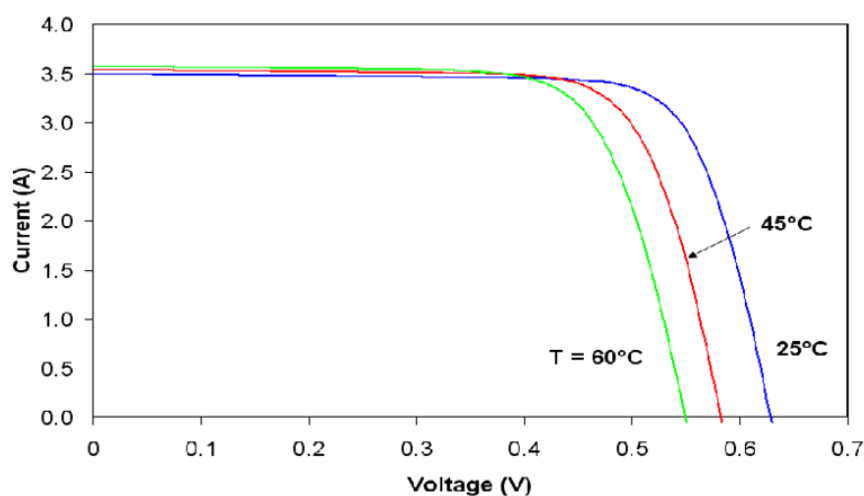
เมื่อความเข้มแสงสูง กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้นตาม เมื่อความเข้มแสงลดลง กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะต่ำลง กำลังไฟฟ้าที่ได้จะต่ำลงตาม โดยมักเกิดในกรณีที่ท้องฟ้ามีดริม มีเมฆบดบัง หรือการบดบังของเงาต้นไม้ เป็นต้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะลดลงได้



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความเข้มแสงต่างกัน

2.6.2 ผลของอุณหภูมิ

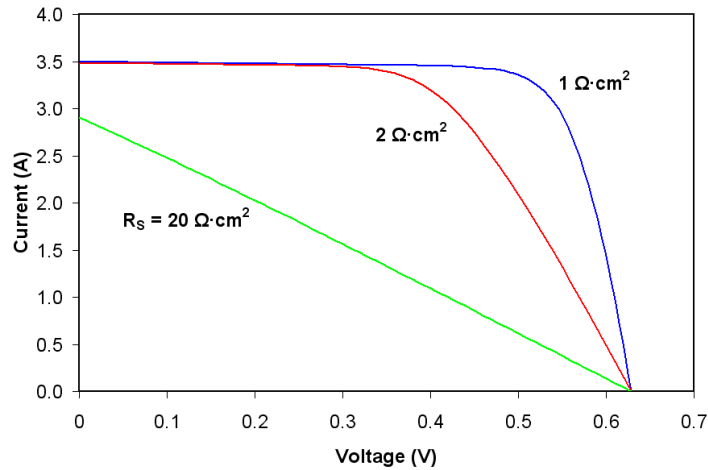
ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากกระแสดำของแถบพลังงานลดลง เป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์สุริยะมีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก แต่จะส่งผลให้ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำลง กำลังไฟฟ้าที่ได้จะต่ำลงตาม เมื่ออุณหภูมิลดลง แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้นตาม โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงประมาณ ร้อยละ 0.5 ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่อุณหภูมิต่างๆ

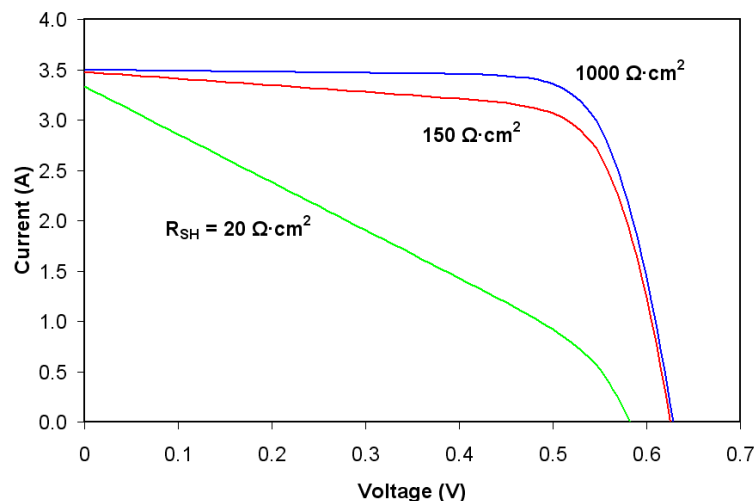
2.6.3 ผลของความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนาน

ความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีผลต่อค่าแรงดันวงจรเปิด กล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ IV-curve เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความต้านทานอนุกรมต่างๆ

ความต้านทานชั้นที่ลดลง ส่งผลให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลง ส่วนค่าฟิลแฟกเตอร์จะลดลงเช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ความต้านทานชั้นที่ต่างๆ

2.7 เซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating photovoltaic cell)

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะแบบลอยน้ำ (Floating Photovoltaic cell : FPV) หรือ โซลาร์เซลล์ลอยน้ำ ถือเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบเดิม คือการติดตั้งบนพื้นดิน โดยนวัตกรรมนี้ในหลายประเทศทั้งในยุโรปและภูมิภาคเอเชียนำมาใช้เพื่อตอบโจทย์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด ทำให้ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ประมาณ 47,000 ตันต่อปี หรือเทียบเท่ากับการปลูกป่าประมาณ 37,600 ไร่ อีกทั้งการติดตั้ง

แผงโซลาร์เซลล์ปกคลุมผิวน้ำยังช่วยลดการระเหยของน้ำได้ประมาณ 460,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และช่วยลดการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศได้ถึง 730.62 พันล้านบาทปีที่ยูเออี โดยพบว่ามีการติดตั้งเซลล์สุริยะแบบลอยน้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008-2013 [14] สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. การติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำ
2. การติดตั้งบนแพพลาสติกกับโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี
3. การติดตั้งบนแพพลาสติก

2.7.1 ทุ่น (Pontoons)

การใช้ทุ่นในการติดตั้งแผงเซลล์สุริยะแบบลอยน้ำโดยส่วนใหญ่จะใช้ในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง แต่อย่างไรก็ตามเป้าหมายของการผลิตไฟฟ้า คือผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดโดยมีต้นทุนที่ต่ำ แม้ว่าการใช้ทุ่นลอยน้ำในการติดตั้งเป็นสิ่งที่ดีแต่ก็มีราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาหลายๆ ทาง โดยการใช้แพซึ่งเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์สุริยะแบบลอยน้ำ



รูปที่ 2.22 เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดทุ่น ในประเทศต่างๆ

2.7.2 แพแบบแยกส่วนใส่เหล็กชุบสังกะสี (Modular Raft in Galvanized Steel)

ในปี ค.ศ.2010 บริษัท Terra Moretti ได้เสนอวิธีการติดตั้งโดยใช้วัสดุโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) และฐานรองรับโครงสร้างขนาดใหญ่ในเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized Steel) ดังรูปที่ 2.23 โดยได้เชื่อมต่อเข้ากับกริดตั้งแต่ช่วงซัมเมอร์ ปี ค.ศ.2011 โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 200 kWp ต่อมาในปี ค.ศ.2011-2012 ได้มีการติดตั้งบนแพแยกส่วนที่ใช้วัสดุโพลีเอทิลีนและเหล็กชุบสังกะสีสามารถรองรับได้ 3-6 โมดูล และได้มีการติดตั้งเป็นโครงการนำร่องที่ประเทศเกาหลีใต้ ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพแบบแยกส่วนใส่เหล็กชุบสังกะสี



รูปที่ 2.24 เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพแยกส่วนที่ใช้วัสดุโพลีเอทิลีนและเหล็กชุบสังกะสีในประเทศเกาหลีใต้

2.7.3 แพพลาสติค (Plastic Rafts)

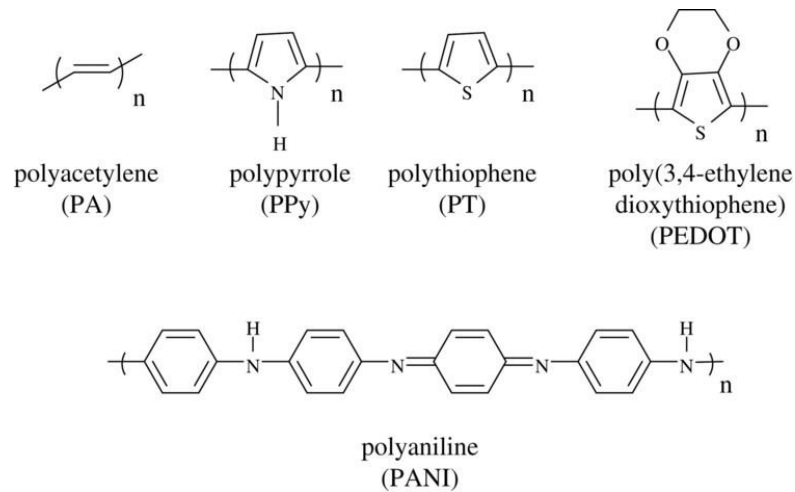
นักพัฒนาชาวฝรั่งเศสได้แนะนำการแก้ปัญหาที่แตกต่าง โดยที่ข้อเสนอของเขาคือ การสร้างแพขนาดเล็กโดยใช้วัสดุพีวีซี (PVC) โดยบริษัทของเขาได้ประสบความสำเร็จในการผลิตแพทฟอร์มชนิดพีวีซีที่สามารถรองรับโมดูลได้ 2 โมดูล ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 เซลล์สุริยะแบบลอยน้ำชนิดแพพลาสติค

2.8 การพัฒนาขั้วไฟฟ้าร่วมจากพอลิเมอร์ [15, 16]

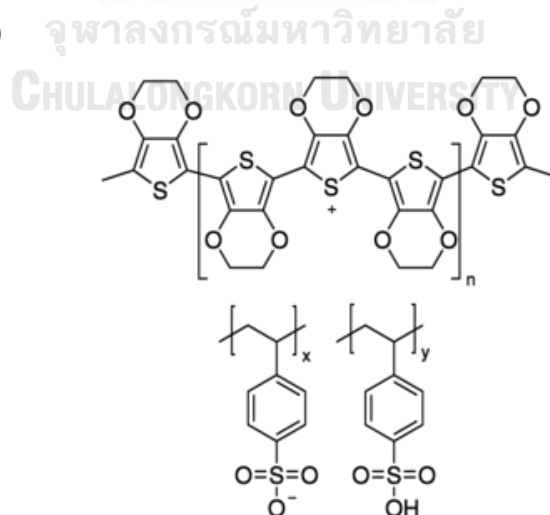
ขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ระบบครบวงจร โดยต้องมีคุณสมบัติ คือ ต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี ค่าการนำไฟฟ้าสูง มีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยา โดยขั้วไฟฟ้าร่วมที่นิยมใช้กันคือ โลหะแพลทินัม(Pt) แต่เนื่องจากราคาที่สูงมาก จึงทำให้เกิดการศึกษาและวิจัยเพื่อหาวัสดุที่จะนำมาทดแทนโลหะแพลทินัม โดยพบว่าวัสดุเช่น ผงคาร์บอน คาร์บอนแบล็ค คาร์บอนนาโน และพวกพอลิเมอร์นำไฟฟ้า (conducting polymer) เช่น พอลิอะนิลีน(Polyaniline: PANI), พอลิ (3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟิน):พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PEDOT:PSS), พอลิไพโรล (Polypyrrole : PPy) (ดังรูปที่ 2.26) และวัสดุเซเลไนต์ เป็นต้น โดยพบว่าวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาทดแทนโลหะแพลทินัมได้เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าที่กว้าง วิธีการสังเคราะห์ง่าย เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้สนใจพอลิ (3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟิน):พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PEDOT:PSS) และพอลิไพโรล (Polypyrrole: PPy) เป็นหลักเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย, มีการสังเคราะห์ที่หลากหลายและง่าย มีค่าการนำไฟฟ้าสูง ทนต่อความร้อนได้ดี และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย



รูปที่ 2.26 โครงสร้างของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดต่างๆ

2.8.1 พอลิ(3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟีน):พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PEDOT:PSS)

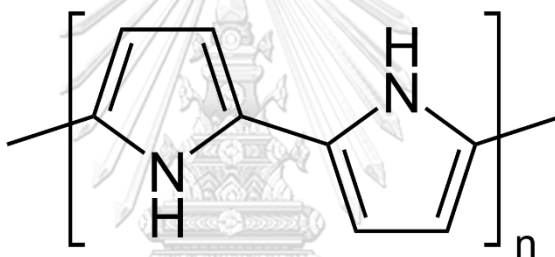
เป็นสารผสมระหว่างพอลิเมอร์สองชนิด คือ พอลิ(3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟีน) (PEDOT) และพอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) ลักษณะสารเป็นของเหลวสีน้ำเงินเข้ม นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในงานที่ต้องการความยืดหยุ่นหรืองานด้านอิเล็กทรอนิกส์แบบปรินต์ เนื่องจากมีค่านำการไฟฟ้าที่สูง มีความโปร่งใสมาก ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ต่ำและขึ้นรูปง่าย [17] นอกจากนี้ยังใช้ในการขึ้นรูปและการนำไฟฟ้าของสารเทอร์โมอิเล็กทริก หรือนำไปผสมกับพอลิเมอร์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าให้พอลิเมอร์นั้นได้ โครงสร้างของ PEDOT:PSS ดังแสดงในรูปที่ 2.27 PEDOT: PSS สามารถเตรียมได้โดยการผสมสารละลายของ PSS กับมอนอเมอร์ EDOT หรือการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrodeposition)



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของ พอลิ(3,4-เอทิลีนไดออกซีไทโอฟีน):พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PEDOT:PSS)

2.8.2 พอลิไพโรล (Polypyrrole: PPy)

พอลิไพโรลถูกจัดอยู่ในหมวดของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าในปี 1968 ลักษณะเป็นผงสีดำ โครงสร้างของพอลิไพโรลมีลักษณะที่แข็งและมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลที่น้อย การสังเคราะห์สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical polymerization) เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพโรลในกรดซัลโฟนิก [18] หรือการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical polymerization) [19] พอลิไพโรลเสถียรมากต่ออุณหภูมิและสภาพแวดล้อม โครงสร้างของพอลิไพโรลประกอบไปด้วยวง 5 เหลี่ยมที่มีอะตอมต่างชนิดกัน (Heterocycle ring) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 โดยจะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่ตำแหน่ง คู่แอลฟา และแอลฟาไพรม์ (ตำแหน่งที่ 2 และ 5) คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของพอลิไพโรลขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ การเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) สารกระตุ้นที่เติมลงไป และอะตอมของสารชนิดอื่นที่ต่ออยู่กับระบบ π -conjugation ของคาร์บอนอะตอม ระดับพลังงานของพอลิไพโรลมีค่า 3.2 eV

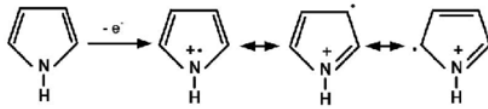


รูปที่ 2.28 โครงสร้างของพอลิไพโรล (Polypyrrole)

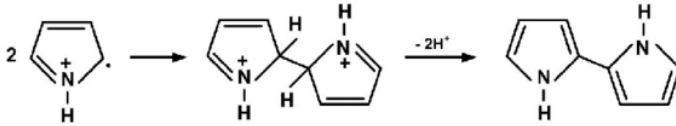
2.8.3 การสังเคราะห์พอลิไพโรลโดยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical polymerization) [20]

เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าลงไปยังสารละลาย ทำให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน และเกิดสารประกอบขึ้นที่ขั้วแอโนด ในขณะที่ขั้วแคโทดก็จะมีอิเล็กตรอนที่มากเกินไปทำให้สารประกอบเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วได้ หากมีพอลิเมอร์เกิดจะเรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันโดยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical polymerization) ดังรูปที่ 2.29 เป็นรูปกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไพโรล ตัวทำละลายที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น อะซิโตน ไตรรัล, เตตระไฮโดรฟูแรน, โพรพิลีนคาร์บอนเนต หรือ เมทานอล เป็นต้น ส่วนอิเล็กโทรไลต์สามารถใช้ เตตระฟลูออโรโบเรต หรือ ลิเทียมเปอร์คลอเรต ในการสังเคราะห์สามารถทำปฏิกิริยาที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่หรือกระแสไฟฟ้าคงที่ได้

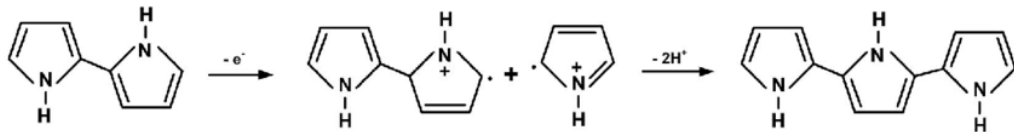
Pyrrrole oxidation



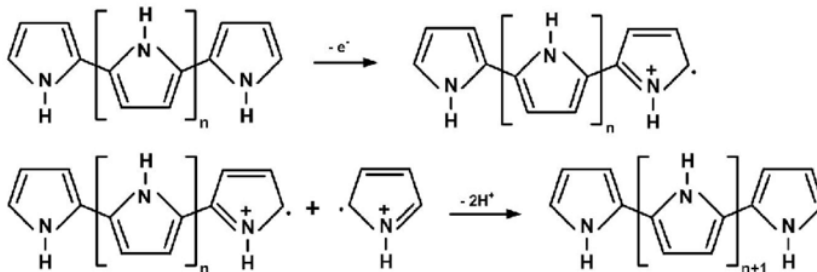
Formation of dimer



Oxidation, coupling and rearomatization



Chain propagation



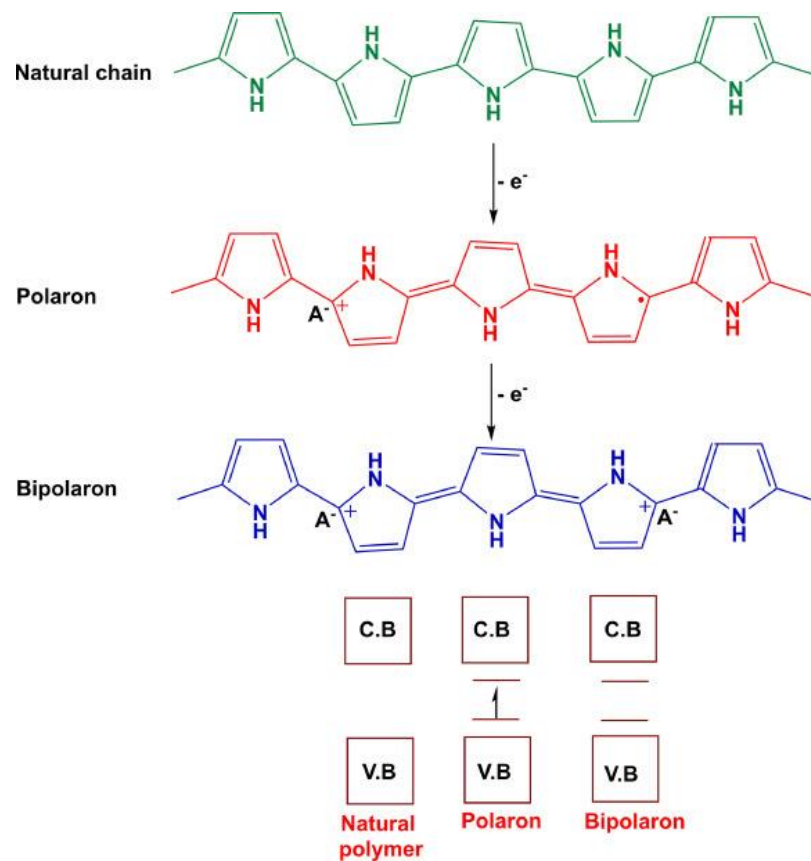
รูปที่ 2.29 กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไพโรล

2.8.4 กลไกการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า

พอลิเมอร์นำไฟฟ้าทั่วไปจะมีโครงสร้างแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว หรือเรียกว่า โครงสร้างแบบ π -conjugation ซึ่งจะมีการซ้อนเหลื่อมกันของ p-orbital ของแต่ละอะตอม ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโมเลกุลได้ (Delocalized) โดยสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีแถบพลังงาน (Band theory) ซึ่งกล่าวไว้ว่า การสร้างพันธะเคมีของสารออร์แกนิก เมื่อออร์บิทัลอะตอมมารวมกันจะได้ออร์บิทัลโมเลกุล 2 ชนิด คือ ออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้างพันธะ (Bonding molecular orbital: BMO) และออร์บิทัลโมเลกุลแบบต้านพันธะ (Anti-bonding molecular orbital: AMO) ในวัสดุจำพวก sp^2 ไฮบริดเดชัน π -electron จะสามารถสร้างออร์บิทัลโมเลกุลได้ทั้งสองแบบ และสร้างแถบพลังงานคือ ระดับชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ (Occupied band) และระดับชั้นพลังงานที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ (Unoccupied band) โดยแถบพลังงานทั้งสองนี้จะมีพลังงานที่แบ่งแยกกัน ถ้าหากในระดับชั้นพลังงานสูงสุดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ (Highest occupied molecular orbital: HOMO) เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (Valence

band) ส่วนระดับชั้นพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ (Lowest unoccupied molecular orbital: LUMO) เรียกว่า แถบการนำ (Conduction band) ช่องว่างระหว่างระดับพลังงานของแถบวาเลนซ์และแถบการนำ เรียกว่า Band gap ซึ่งมีผลต่อการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Band gap จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ เช่น ความเป็นระเบียบ, ความยาวสายโซ่ และการมีหมู่แทนที่มีสมบัติเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน (Electron donor) หรือหมู่รับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) เป็นต้น

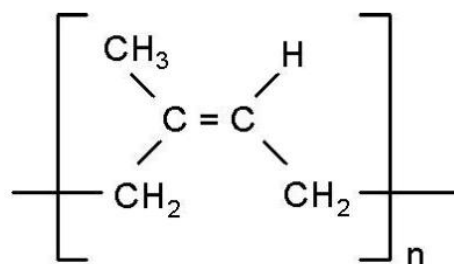
ในสภาวะปกติทั่วไปพอลิเมอร์นำไฟฟ้าจะยังไม่ดีหรือไม่นำไฟฟ้าเนื่องจากพลังงานภายนอกยังมีไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างพลังงาน (band gap) ไปได้ แต่เมื่อพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นให้เกิดพาหะประจุ (Doping) ซึ่งในทางเคมีหมายถึงการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยอาจจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันก็ได้ ซึ่งหลังจากกระตุ้นจะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์มีประจุบวกหรือประจุลบเกิดขึ้น (ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่เติมลงไปกระตุ้น (Dopant) พร้อมกับอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่เรียกว่า Polaron โดย Polaron จะเป็นประจุบวกถ้าใช้สารกระตุ้นพาหะประจุที่รับอิเล็กตรอน (P-dopant) และจะเป็นประจุลบเมื่อใช้กระตุ้นพาหะประจุให้อิเล็กตรอน (N-dopant) หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จนพอลิเมอร์กลายเป็น Polaron แล้ว ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์มีการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นอีกจะทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์มีจำนวนประจุเพิ่มขึ้น เรียกสายโซ่แบบนี้ว่า Bipolaron โดยทั้ง Polaron และ Bipolaron จะมีลักษณะเป็นโฮล (Hole) ที่จะเคลื่อนที่พาประจุไปตามสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งการเกิดเป็น Bipolaron จะทำให้มีการนำไฟฟ้าที่ดีกว่า Polaron เนื่องจาก Bipolaron มี Band gap ที่แคบกว่า โดยการเกิดเป็น Polaron หรือ Bipolaron นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารกระตุ้นพาหะประจุ ถ้ามีปริมาณน้อยจะทำให้เกิดเป็น Polaron แต่ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิด Bipolaron เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การเกิด polaron และ Bipolaron ของ polypyrrole

2.9 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber latex)

ยางธรรมชาติ หรือ ยางพารา (Natural rubber; NR) เป็นน้ำยางที่ได้จากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอน ในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางจะมีลักษณะสีขาว ในน้ำยางธรรมชาติจะประกอบไปด้วยน้ำประมาณ 50-80 % และเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 20-45 % ดังตารางที่ 2.1 ยางธรรมชาติจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง โดยชื่อทางเคมีของยางธรรมชาติมีชื่อว่า พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) โดยหน่วยย่อยของพอลิไอโซพรีนหรือมอนอเมอร์ (monomer) คือไอโซพรีน (C_5H_8) ซึ่งต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรง ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง ยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน, เฮกเซน เป็นต้น ยางธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบเมื่อถูกยืดหรือที่อุณหภูมิต่ำยางสามารถเกิดเป็นผลึก (crystallize) ได้ ทำให้มีคุณสมบัติแข็ง, เปราะ เรียกลักษณะนี้ว่า การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) [21]



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 2.31 จะเห็นได้ว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถัน นอกจากนี้ยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้อีกเช่น แสงแดด ออกซิเจน (Oxygen) หรือโอโซน (Ozone) ส่งผลให้ยางธรรมชาติเกิดการเสื่อมสภาพ ดังนั้นในการใช้งานส่วนใหญ่แล้วจะมีการนำน้ำยางสดไปผ่านกระบวนการเพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางให้มีประมาณ 60 % ก่อนนำไปใช้ในการผลิตหรือขนส่ง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบในน้ำยางธรรมชาติ

องค์ประกอบในน้ำยางธรรมชาติ	ปริมาณ(% โดยน้ำหนัก)
น้ำ	50-80
เนื้อยาง	20-45
โปรตีน	1.0-2.5
เรซิน	1.0-2.5
น้ำตาล	1.0
สารอินทรีย์	0.5

2.9.1 คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

1. ความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำกับยางจะหดไปส่วนยางจะคืนรูปร่างและขนาดเดิมได้อย่างรวดเร็วเป็นคุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ

2. ฉนวนทางไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมากโดยมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจำเพาะสูงถึง 10^{15} ถึง 10^{16} ohm.cm

3. ความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) การเกิดผลึกของยางธรรมชาติเมื่อถูกยืดทำให้ยางมรรถความสามารถในการทนต่อการฉีกขาดได้

4. ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เมื่อยางธรรมชาติถูกยืดออกจะทำให้โมเลกุลของยางจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบด้วยความสามารถนี้จึงทำให้ยางสามารถทนผลึกได้ ซึ่งพอยางเกิดผลึกขึ้นจะช่วยเสริมในด้านความแข็งแรง ส่งผลให้ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อแรงดึงที่สูง

5. ความเหนียวติดกัน (Tack) ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆจะนิยมใช้คุณสมบัตินี้

6. ความทนต่อสารเคมี (Chemical resistance) โครงสร้างของยางธรรมชาตินั้นประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลักซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีขั้ว ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการละลายของยางดิบ ทำให้สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน, โทลูอินหรือเฮกเซน เป็นต้น แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือ แอลกอฮอล์ นอกจากนี้สภาวะความเป็นกรดต่างก็ยังมีส่งผลต่อยางธรรมชาติเช่นกัน โดยยางจะไม่สามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดและด่างเข้มข้นแต่สามารถทนในสภาวะที่กรดและด่างเจือจางได้

7. ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการขัดถูที่ดี

8. สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน และยังมีมีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) สูงทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี

2.9.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางธรรมชาติ

ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ สามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากยางน้ำข้น ได้แก่

- ผลิตภัณฑ์จุ่ม (Dipping) เช่น ถุงมือ, ถุงมือผ่าตัด, ถุงมือยางตรวจโรค, ถุงมือแม่บ้าน, ถุงมืออุตสาหกรรม, ถุงยางอนามัย, ลูกโป่ง, จุกนมยาง เป็นต้น

- ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำหรือโฟมยาง (Latex foam) เช่น เบาะรองนั่ง, ที่นอน, หมอน, เป็นต้น

- สายยางยืด เช่น ยางยืดขอบกางเกงใน, ถุงเท้า, เสื้อชั้นใน, ยางรัดขาไก่ เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากยางแห้ง ได้แก่

- ยางล้อรถยนต์, ยางล้อเครื่องบิน, ยางล้อรถจักรยานยนต์, ยางล้อรถจักรยาน เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นทนต่อแรงกระแทกและแรงดึงได้ดี

- ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างและวิศวกรรม เช่น แผ่นยางปูพื้น, บล็อกยางปูพื้น, ยางคั่นรอยต่อคอนกรีต, ยางรองคอสสะพาน เป็นต้น

- รองเท้าและพื้นรองเท้า โดยรองเท้าและพื้นรองเท้าที่ผลิตจากยางธรรมชาติ มีความยืดหยุ่นสูง นุ่มสบายเท้า น้ำหนักเบา และป้องกันการลื่นได้ดี

- ยางรัดของ

จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติจะเห็นว่ายางธรรมชาติถูกนำมาผลิตในงานหลากหลายส่วน โดยล้วนแต่เป็นงานที่ต้องการความยืดหยุ่นและน้ำหนักเบา ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำยางธรรมชาติมาใช้งานเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับยางธรรมชาติ โดยสนใจในส่วนของยางฟองน้ำ (Latex foam)

2.9.3 ยางฟองน้ำ หรือ โฟมยาง (Latex foam)

ผลิตภัณฑ์โฟมยางหรือยางฟองน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นรูพรุนเหมาะที่ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกเบาะนั่ง ที่นอน หมอน เสื้อการนอน ตุ๊กตา และของชำร่วยต่างๆ เช่น พวงกุญแจ หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำคือการทำให้น้ำยางเกิดฟองของอากาศหรือของแก๊สต่างๆ แล้วทำให้โฟมยางคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ด้วยสารเคมีและความร้อน ดังรูปที่ 2.32

ในปัจจุบันเทคนิคการผลิตยางฟองน้ำแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

1. เทคนิคแบบดันลอป (Dunlop process) [22] หรือกระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ คิดค้นเมื่อประมาณปีค.ศ. 1929 เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตยางฟองน้ำ ประกอบด้วยการทำให้อย่างเป็นฟองด้วยการใช้เครื่องกลตีหรือปั่นอากาศเข้าไปในน้ำยางที่มีส่วนผสมของสารเคมีต่างๆ อย่างเหมาะสม เมื่อได้ฟองแล้วจึงค่อยเติมสารเคมีที่เกิดเจลอย่างช้าๆ เพื่อให้ฟองเหลวได้มีเวลาฟอร์มรูปร่างตามเบ้าหล่อ แล้วจึงค่อยเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ฟองเจลที่เปียกจากนั้นนำฟองยางที่ได้ไปล้างอบแห้งและตัดแต่ง

2. เทคนิคแบบทาลาเลย์ (Talalay process) [23] เป็นเทคนิคที่ถูกคิดค้นเมื่อราวๆ ค.ศ. 1936 เริ่มต้นโดยการทำให้ยางเป็นฟองโดยทางกล ทำให้ฟองโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วใช้ความเย็นที่มีส่วนผสมจากเอทิลีนไกลคอล-น้ำที่อุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียสเข้ามาช่วยในการเกิดเจล จากนั้นนำเข้าเข้าหล่อฟองน้ำยางที่ฟุ้งตัวที่มีอุณหภูมิต่ำ แล้วผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์-อากาศ จากนั้นอุ่นเข้าหล่อให้มีอุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 2, 4, 38 และ 110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3. เทคนิครีเวอเท็กซ์ (Revertex process) โดยเทคนิคนี้ใช้น้ำยางชั้น 75 % จากวิธีการระเหยน้ำและรักษาไว้ด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้น้ำยางฟูโดยใช้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งได้มาจากการแตกตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่ถูกเร่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทำให้เกิดเจลโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ ฟลูออไรด์ร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟต แล้ววัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนานอย่างน้อย 20 นาที

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทำยางฟองน้ำหรือโฟมยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิคแบบดันล๊อปโดยใช้เครื่องตีผสมสำหรับทำขนมมาใช้ในการตียางให้เกิดฟอง



รูปที่ 2.32 ผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ใช้ผลิตที่นอน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Porntip Tasakorn, (1996) [24] ได้ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยใช้พอลิไพโรล ด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ทำการแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางด้วยปฏิกิริยาทางไฟฟ้า โดยจ่ายศักย์ไฟฟ้า 4 โวลต์เป็นเวลา 4 นาทีในการแยก หลังจากนั้นนำยางที่เกาะบนขั้วไปใช้เป็นที่ยึดเกาะ

ของพอลิไพโรล โดยใช้ความเข้มข้นของไพโรลโมโนเมอร์ที่ 0.05 โมลาร์ ในสารละลายของลิเทียมเปอร์คลอเรต 2.00 โมลาร์ที่ละลายด้วยตัวทำละลายเมทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 4 โวลต์ ชั่วโมงพลาเดียมพบว่าสภาพนำไฟฟ้าของพอลิไพโรลบนแผ่นยางธรรมชาติเป็น 7.9×10^{-3} S/cm โดยพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับปัจจัยของการแผ่ขยายของไพโรลเข้าไปในรูพรุนของยางธรรมชาติ สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าต่อการเกิดกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของพอลิไพโรลบนแผ่นยางธรรมชาติและปัจจัยอื่นๆ อาทิเช่น ค่าการนำไฟฟ้าของแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อระยะเวลาที่ผ่านไป สภาวะการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างในกรด, ด่างและความชื้น

Gentian Yue และคณะ (2012) [25] ได้ทำการศึกษาศักยภาพของคอมโพสิทฟิล์มระหว่าง PEDOT:PSS กับ พอลิไพโรล (PPy) ลงบนกระจกนำไฟฟ้า (FTO) เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าร่วมในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) โดยอาศัยกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันเชิงเคมีไฟฟ้า (electrochemical polymerization) ในงานนี้ได้สนใจระหว่างคอมโพสิทระหว่าง PEDOT:PSS/PPy เนื่องจากตัว PPy เป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีค่าการนำไฟฟ้าและเป็นวัสดุสำหรับขั้วไฟฟ้าร่วมที่ดี เหมาะสำหรับนำไปใช้แทนที่ขั้วไฟฟ้าร่วมชนิด Pt ในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง ในการเตรียมขั้ว PEDOT:PSS/PPy จะสังเคราะห์ PEDOT:PSS ขึ้นก่อนโดยเริ่มเตรียมจากสารตั้งต้นคือ EDOT และ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ หลังจากเกิดปฏิกิริยาจะได้ของแข็งสีน้ำเงินจากนั้นนำไปกรองและอบแห้งที่ตู้อบแบบลดความดันข้ามคืน จากนั้นนำมาเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่าง PEDOT:PSS/PPy โดยใช้ 0.1 M pyrrole, 0.1 M LiClO_4 , 0.1 M Oxalic acid และผง PEDOT:PSS ทำปฏิกิริยาโดยใช้เคมีไฟฟ้าระบบ 3 ขั้ว โดยประกอบไปด้วยขั้วทำงาน (Working electrode) ใช้เป็นกระจก FTO ขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ ขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นแผ่นแพลทินัมขนาด $1 \times 2 \text{ cm}^2$ และขั้วอ้างอิงใช้เป็น Ag/AgCl โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) จากผลการทดลองพบว่าฟิล์ม PEDOT:PSS ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการพอลิเมอร์ไรเซชันเชิงเคมีไฟฟ้า มีความต้านทานผิวที่ต่ำและค่าการนำไฟฟ้าสูง ผลของการนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าร่วมในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงให้ผลการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ของ I^-/I_3^- ที่ดีและให้ค่า J_{sc} , V_{oc} และ FF ที่ดี นั้นหมายถึง PEDOT:PSS/PPy สามารถนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงได้ แต่การถ่านไอออนประจุบริเวณหน้าผิวสัมผัสของ PEDOT:PSS/PPy ยังมีค่าที่สูงกว่า Pt และให้ค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานอยู่ที่ 7.60%

Xu และคณะ (2015) [26] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งทอที่นำมาทำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดสวมใส่ โดยมีข้อดีในเรื่องของความยืดหยุ่นยืดและน้ำหนักเบา ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาประกอบกับพลังงานไฟฟ้าโฟโตวอลเทอิกเซลล์โดยเคลือบพอลิไพโรล (PPy) ลงบนผ้าฝ้ายที่เคลือบนิเกิล (PPy/Ni-coated-fabrics) เพื่อทดแทนการใช้กระจก FTO ในขั้วไฟฟาร่วม (counter electrode, CE) ในโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) ในการสังเคราะห์พอลิไพโรล (PPy) จะใช้ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมี โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเคลือบ Ni ลงบนผ้าฝ้ายก่อนจากนั้นนำมาจุ่มในสารละลายที่ประกอบด้วย 0.1 M ไพโรล และ 0.1 M sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) แล้วผ่านกระแสไฟฟ้า 8 mA ลงไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโดยทำปฏิกิริยาที่เวลาแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าขั้วไฟฟ้า PPy/Ni-coated fabrics ที่เวลา 1.5 ชั่วโมงให้ค่าความต้านทานพื้นผิว (surface resistance) เท่ากับ $5.0 \Omega \text{ sq}^{-1}$ ซึ่งดีที่สุดและเซลล์ทดสอบแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงสุด 3.83 % ภายใต้สภาวะแสง 1.5 AM

Sahito และคณะ (2016) [27] ได้ศึกษาการนำผ้าฝ้ายเคลือบด้วยแผ่นแกรฟีน (HC-GCF) ในฝั่งขั้วไฟฟาร่วม (Counter electrode) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่โฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประกอบโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้อิเล็กโทรไลต์ชนิดเจลทดแทนการใช้อิเล็กโทรไลต์เหลวเนื่องจากตัวผ้าฝ้ายมีความสามารถในการดูดซับของเหลวและตัวอิเล็กโทรไลต์เหลวระเหยได้รวดเร็วกว่าชนิดเจลมาก ผลของการสังเคราะห์ขั้วไฟฟาร่วมโดยใช้ผ้าฝ้ายเคลือบแกรฟีนพบว่าขั้วไฟฟาร่วมที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีค่าความต้านทานพื้นผิว (surface resistance) เท่ากับ $7 \Omega \text{ sq}^{-1}$ ซึ่งน้อยกว่าของ Pt นอกจากนี้ยังแสดงถึงความสามารถในการทนต่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์, น้ำและการบิดงอได้ดีมาก โดยไม่มีการเปลี่ยนค่าความต้านทานและการนำไฟฟ้าที่กระแสเท่ากันจากจำนวนรอบในการบิดงอ การศึกษาด้านไฟฟ้าเคมี อาทิเช่น cyclic voltammogram (CV), Nyquist plot และ Tafel plot บอถึงความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electro catalytic activity: ECA) ของปฏิกิริยาไตรโอไอโอดีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ นอกจากนี้ยังมีค่าความต้านทานการถ่ายโอนประจุ (charge transfer resistance: R_{CT}) เท่ากับ 1.24Ω ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 6.93 % ในพอลิเมอริ์อิเล็กโทรไลต์ ทั้งนี้ยังมีการเตรียมที่อุณหภูมิต่ำ, ราคาถูก, ใช้งานง่าย, มีความยืดหยุ่นและย่อยสลายได้ในธรรมชาติ โดยเชื่อว่าอิเล็กโทรดชนิดผ้าสามารถเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่ดีและเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ น่าสนใจสำหรับโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดสีย้อมไวแสงในอนาคต

Miguel H. Boratto และคณะ (2019) [28] ได้ทำการศึกษาการทำวัสดุนำไฟฟ้าที่มีความยืดหยุ่นจากยางธรรมชาติและ PEDOT: PSS โดยพบว่าตัว PEDOT: PSS นั้นมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงแต่มีความยืดหยุ่นต่ำ จึงได้นำมาผสมเข้ากับยางธรรมชาติโดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำยากับ PEDOT: PSS และอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าและความยืดหยุ่น โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำยากับ PEDOT: PSS ที่ 1/4 (v: v) และระยะเหยงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าการนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเชิงกลของสารที่ดี โดยพบว่าพอลิเมอร์ผสมนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชีวภาพ โดยสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มี ความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญของค่าการนำไฟฟ้า เช่น นำไปประยุกต์ใช้ในงานผิวหนังอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ตัวนำยืดหยุ่น เป็นต้น

Krittaya panploo และคณะ (2019) [29] ได้ทำการศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้โฟมยางธรรมชาติที่เติมสารเติมแต่ง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทำโฟมยางธรรมชาติด้วยการใช้เครื่องกวนผสมสำหรับทำขนม (cake mixer with egg-beating type, CM foam) ในการทำโฟมยาง เทียบกับเครื่องปั่นใบกวน (Overhead stirrer, OS foam) จากนั้นทำการเติมสารเติมแต่งโดยใช้ซิลิกาที่ยังไม่ได้ปรับปรุง (Unmodified silica, USi) และ (3-aminopropyl)triethoxysilane(APTES)-modified silica (CM-MSi) จากนั้นนำไปศึกษาการดูดซับก๊าซผสม(12.88 (v/v) CO₂/nitrogen(N₂)) จากการศึกษาพบว่าโฟมยางที่ทำด้วยเครื่องกวนผสมสำหรับทำขนมให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่าโฟมยางที่ทำด้วยเครื่องปั่นใบกวน สภาวะเหมาะสมที่สุดของ CM foam ที่ให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด (1.42 mg g⁻¹) จากก๊าซผสม (12.88 : 87.12 (v/v) CO₂: N₂) ที่อัตราการไหล 100 mL min⁻¹ ที่อุณหภูมิและความดันปกติ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการดูดซับ CO₂ ของ CM foam ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากการเติมสารเติมแต่ง USi และ MSi ทำให้ค่าการดูดซับเพิ่ม 2.6 และ 2.87 เท่า ตามลำดับเทียบกับ CM foam ที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- เกล็ดไอโอดีน (Iodine Resublimed), AR grad, KEMAUS
- ไพโรล (Pyrrole), reagent grade, 98%, Sigma-aldrich, Germany
- ลิเทียมเปอร์คลอเรต (Lithium perchlorate), 95%, Reagent grade, Sigma-aldrich
- เมทานอล (Methanol), HPLC grade, Honeywell, Thailand
- โพลี (3,4 เอทิลีนไดออกซีไทโรฟีน) โพลีสไตรีนซัลโฟเนต (Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate; PEDOT:PSS), Neutral pH, High conductive grade, Sigma-aldrich
- พอลิเอทิลีน ออกไซด์ (Polyethylene oxide), Mw ~100,000 Powder, Sigma-aldrich
- โพรพิลีนคาร์บอเนต (Propylene carbonate), Anhydrous 99.7%, Sigma-aldrich
- โซเดียมไอโอดัด (Sodium iodide)
- อะซิโตไนล์ (Acetonitrile), A.R. Grade, Lab scan, Thailand
- อะเซตามิด (Acetamide), Hi-AR, India
- เอทิล แอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol), 99.9%, Grad AR, QRec
- เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene glycol), Sigma-aldrich,
- สีพ่นเงิน (Silver paste)
- น้ำยางธรรมชาติ (60% Natural rubber latex)
- โพรตัสเซียมโอเลต (K-oleate) 10%
- กำมะถัน (Sulphur) 50%

- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) 50%
- แซตดีอีซี (ZDEC) 50%
- วิงสเตย์แอล (Wingstay-L) 50%
- แซตเอ็มบีที (ZMBT) 50%
- ไดฟีนิลกัวดินีน (Diphenyl guanidine, DG) 33%
- โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) 12.5% 1kg

3.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

- กระดาษเคลือบสารนำไฟฟ้า (TEC15 Conductive glass plate), Dyesol
- เทปกาวสองหน้า (Adhesive tape)

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องเป่าลมร้อน (Heat gun) GHG630DCE, Bosch, Germany
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง AB204-S, Mettler Tolloed, USA
- เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
- อุปกรณ์ในการ Reflux
- อุปกรณ์ตัดกระจก
- ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ (Digital multimeter)
- เครื่องระเหยสารแบบลดความดัน
- เครื่องหมุนเคลือบ (Spin coating)
- เตาให้ความร้อน (Hot plate) OkWell, ประเทศไทย
- เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrer),

- เครื่องกวนผสม (Cake mixer)
- เครื่องวัดความหนาแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic thickness gauge)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6610LV ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction spectrometer) ยี่ห้อ BRUKER D8 DISCOVER
- เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร (Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy: ATR-FTIR), Thermo Fisher รุ่น Nicolet iS5
- เครื่องทดสอบสมบัติไฟฟ้าเคมี (Autolab Potentiostat/Galvanostat) ยี่ห้อ Gamry Instruments รุ่น Interface 1010E ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิค แวน เดอ พาวน์ (Van der pauw)
- เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ (CHNS/O analyzer) ยี่ห้อ PerkinElmer 2400
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V characteristic, SMU, Keithley, USA)

3.5 วิธีการดำเนินการ

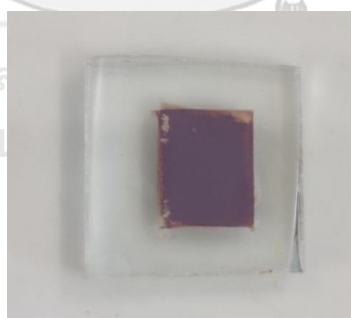
3.5.1 เตรียมกระจกนำไฟฟ้าสำหรับขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง

ตัดกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า (Fluorine doped tin-oxide : FTO) ให้มีขนาด 1.5 x 1.5 ตารางเซนติเมตรด้วยอุปกรณ์ตัดกระจก จากนั้นนำไปทำความสะอาดโดยใช้น้ำยาเช็ดกระจก แล้วนำไปโซนิเคชันด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดฝุ่นและเศษกระจก จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วตากให้แห้ง จากนั้นนำไปแช่ลงในสารละลายไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมด้วยน้ำปราศจากไอออนที่เย็น แล้วนำไปอบที่

อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและตากให้แห้ง เป็นการปรับสภาพผิวของกระจก (pretreat) ก่อนนำไปเคลือบชั้นไทเทเนียม

จากนั้นนำกระจกที่ผ่านการปรับสภาพผิวของกระจก (pretreat) แล้วมาเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์โดยใช้เครื่องหมุนเคลือบ (Spin coating) ทำการแปะเทปเพื่อป้องกันให้ไทเทเนียมกระจายเกินพื้นที่ที่ต้องการ โดยแปะเทปให้มีพื้นที่ประมาณ 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร นำกระจกไปวางบนแท่นหมุน เปิดเตาไทเทเนียมไดออกไซด์ 400 ไมโครลิตร หยดลงบนกระจกแล้วเปิดเครื่องหมุนเคลือบ ใช้ความเร็วรอบอยู่ที่ 2,000 รอบต่อวินาที ทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที จากนั้นนำไปให้ความร้อน 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการหมุนเคลือบซ้ำ 2-3 รอบ แล้วนำไปเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำกระจกที่ผ่านการเผาแล้วไปแช่ในไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและทิ้งไว้ให้แห้ง

นำกระจกที่แห้งแล้วมาให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 นาที แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปแช่ในสีย้อมไวแสง Z907 Hydrophobic dye ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนไไตรลกับเตตระฮิดรอลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร แช่ไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมงในสภาพที่มีด เมื่อครบเวลาให้นำออกมาแล้วล้างด้วยอะซิโตนไไตรล เพื่อกำจัดสีย้อมที่ไม่ได้ดูดซับออกก่อนนำไปประกอบเซลล์

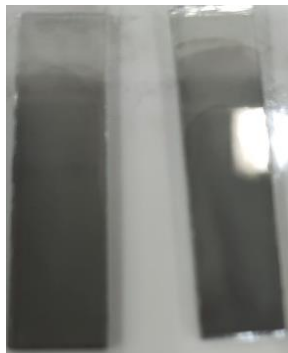


รูปที่ 3.1 ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (Photo anode)

3.5.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าวร่วมสำหรับนำไปสังเคราะห์พอลิไพโรล

ตัดกระจก FTO ให้ได้ขนาดที่ต้องการ (2×3 cm) นำไปทำความสะอาดด้วยเอทานอล จากนั้นนำไปโซนิเคชันเป็นเวลา 15 นาที เพื่อขจัดฝุ่นและเศษกระจกออก จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วนำไปตากแห้ง นำกระจกที่ทำความสะอาดแล้วมาหยดสารละลายแพลทินัมลงไป

จากนั้นนำไปเป่าด้วยเครื่องเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นจากนั้นทำซ้ำ 2-3 ครั้ง



รูปที่ 3.2 ขั้วไฟฟ้าร่วม (Counter electrode)

3.5.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าร่วมสำหรับนำไปประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

ตัดกระจก FTO ให้ได้ขนาดที่ต้องการ (1.5×1.5 cm) นำไปทำความสะอาดด้วยเอทานอล จากนั้นนำไปโซนิเคชันเป็นเวลา 15 นาที เพื่อขจัดฝุ่นและเศษกระจกออก จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วนำไปตากแห้ง นำกระจกที่ทำความสะอาดแล้วมาหยดสารละลายแพลทินัมลงไป จากนั้นนำไปเป่าด้วยเครื่องเป่าลมร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นจากนั้นทำซ้ำ 2-3 ครั้ง ใช้สำหรับการประกอบเซลล์สุริยะมาตรฐานและใช้สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าในการทดสอบขั้วไฟฟ้าร่วมที่เตรียมจากยางธรรมชาติ

3.5.4 การเตรียมยางธรรมชาตินำไฟฟ้าสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าร่วม

ผสมน้ำยางธรรมชาติกับ PEDOT:PSS ในอัตราส่วน 1:4 (v/v) จากนั้นนำไปกวนให้เข้ากันด้วย Hotplate stirrer เป็นเวลาประมาณ 5 นาที ต่อมาปิเปตสารผสมมา 400 ไมโครลิตรแล้วหยด (drop cast) ลงกระจกนำไฟฟ้าที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 3.5.2 ปาดสารละลายให้ได้ขนาดที่ต้องการ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารผสมน้ำยางธรรมชาติกับ PEDOT:PSS ขึ้นรูปอยู่บนกระจก จากนั้นทิ้งให้เย็นประมาณ 10 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบไปด้วย 2.00 โมลาร์ลิเทียมเปอร์คลอเรต (LiClO_4) ในตัวทำละลายเมทานอลที่ใส่สารละลายไพโรลแล้ว นำไปผ่านศักย์ไฟฟ้า โดยให้ขั้วยางธรรมชาติผสม

PEODT:PSS เป็นขั้วทำงาน (working electrode) และขั้วแพลทินัมเป็น counter electrode จนครบเวลาแล้วนำมาล้างด้วยอะซิโตนเพื่อหยุดปฏิกิริยาและล้างเอาไฟโรลที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก ล้างจนกว่าสีสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี จากนั้นนำไปเก็บในที่เก็บสารดูดความชื้น (desiccator)



รูปที่ 3.3 ขั้วยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS บนกระจกนำไฟฟ้าก่อน (ซ้าย) และหลังเกิดพอลิไฟโรลพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไฟโรล (ขวา)

3.5.5 การเตรียมเจลพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (Gel Polymer Electrolyte :GPE)

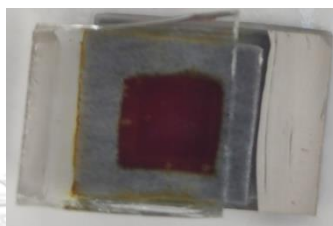
ซึ่งพอลิเอทิลีนออกไซด์ (Polyethylene oxide :PEO) 0.53 กรัมแล้วเติมสารผสมระหว่างอะซิโตนไตริลและพอพิลีนคาร์บอเนต (Propylene carbonate :PC) 40 และ 2 มิลลิลิตร (20:1 v/v) ตามลำดับลงไป ใน PEO จากนั้นนำไปกวนผสมด้วยเครื่อง Hotplate stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อมาซังโซเดียมไอโอดด์ 0.224 กรัม กับ ไอโอดีน 0.04 กรัม ซึ่งเป็นสารคูรีดอกซ์ไอโอดด์/ไตรไอโอดด์ และอะเซตาไมด์ 8% โดยซัง 0.0424 กรัม ใส่สารทั้ง 3 ลงไปในบีกเกอร์ที่มี PEO นำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเมื่อครบเวลาให้กวนผสมทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกโดยเครื่องระเหยสารแบบลดความดันที่ความดัน 27 barr อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 อิเล็กโทรไลต์ชนิดเจล

3.5.6 การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้เจลอิเล็กโทรไลต์

นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมในขั้นที่ 3.5.1 ออกมาล้างด้วยอะซิโตนไตรรัล เพื่อล้างเอาสารละลายสีย้อมส่วนเกินที่ไม่ได้เกาะอยู่บนไทเทเนียมไดออกไซด์ออก จากนั้นทิ้งให้แห้ง แล้วนำมาประกอบโดยใช้เทปสองหน้าในการยึดแล้วเติมเจลอิเล็กโทรไลต์ลงไปจากนั้นนำขั้วไฟฟ้าพร้อมเตรียมในขั้นตอนที่ 3.5.3 มาประกบปิดจากนั้นนำไปทาสีเพ้นท์เงิน (Silver paint) ทั้งฝั่งขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงและขั้วไฟฟ้าพร้อมก่อนนำไปวัดประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.5 การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้เจลอิเล็กโทรไลต์

3.5.7 การประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมในขั้นที่ 3.5.1 ออกมาล้างด้วยอะซิโตนไตรรัล เพื่อล้างเอาสารละลายสีย้อมส่วนเกินที่ไม่ได้เกาะอยู่บนไทเทเนียมไดออกไซด์ออก จากนั้นทิ้งให้แห้ง จากนั้นนำขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่เตรียมจากในขั้นตอนที่ 3.5.4 ออกมาจากที่เก็บสารดูดความชื้นแล้วทำการลอกเอาแผ่นยางธรรมชาติออกมาประกอบโดยใช้เทปสองหน้าในการยึดแล้วเติมเจลอิเล็กโทรไลต์ลงไปจากนั้นนำขั้วไฟฟ้าพร้อมมาประกบปิดจากนั้นนำไปทาสีเพ้นท์เงิน (Silver paint) ทั้งฝั่งขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงและขั้วไฟฟ้าพร้อมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าก่อนนำไปวัดประสิทธิภาพ



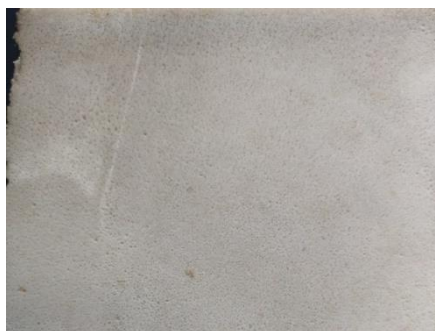
รูปที่ 3.6 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าพร้อมเป็นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

3.5.8 การเตรียมโคมยางธรรมชาติ

ทำการชั่งปริมาณสารและแบ่งสารเคมีในการทำโคมยางออกเป็น 4 ชุด ดังนี้

ชุดที่	สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)
1	60% น้ำยางธรรมชาติ	167
	โปแตสเซียมโอเลอเตต (K-Oleate)	15
2	กำมะถัน (Sulphur)	4
	แซดดีอีซี (ZDEC)	2
	วิงสเตย์แอล (Wingstay-L)	2
	แซดเอ็มบีที (ZMBT)	2
3	ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	10
	ไดฟีนิลกัวดิซีน (Diphenyl guanidine, DPG)	2
4	โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF)	8

หลังจากชั่งสารเคมีในการทำโคมยางเสร็จแล้วให้นำมาสารมาใส่ในเครื่องผสมสำหรับทำขนมตามชุดสารเคมีที่แบ่งไว้โดยในตอนแรกใส่สารเคมีชุดที่ 1 ลงไปแล้วเปิดเครื่องกวนผสมแรงตีโดยใช้ความเร็วประมาณเบอร์ 2-3 (ของเครื่อง) เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เมื่อครบเวลาให้ใส่สารเคมีชุดที่ 2 ลงไปแล้วลดแรงตีเหลือเบอร์ 1 (ของเครื่อง) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใส่สารเคมีชุดที่ 3 ลงไป จับเวลา 1 นาที แล้วใส่สารเคมีชุดสุดท้ายลงไปจับเวลา 15 วินาที จากนั้นเทโคมยางลงบนถาดพิมพ์สี่เหลี่ยมแล้วนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้นำออกจากตู้อบตรวจสอบโดยการกดลงบนโคมยางหากเซ็ทตัวเรียบร้อยแล้วไม่ต้องรอกดไว้ หากรอกดไม่หายให้นำไปอบต่อ ดังรูปที่ 3.7 เป็นรูปโคมยางธรรมชาติหลังจากลอกออกจากถาดพิมพ์



รูปที่ 3.7 โคมยางธรรมชาติ

3.5.9 การประกอบเซลล์สุริยะลอยน้ำ

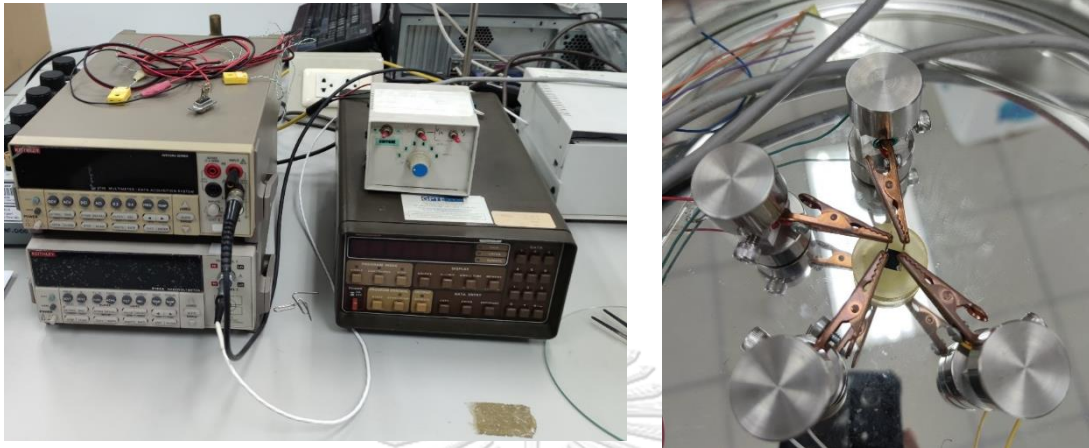
นำแผ่นโพลียเอทิลีนที่เตรียมในขั้นตอนที่ 3.5.9 มาตัดโดยให้มีขนาดประมาณ 4 x 6 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำมาเคลือบสารกันน้ำแล้วนำเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่เตรียมโดยใช้อย่างนำไฟฟ้าเป็นขั้วไฟฟ้าวัดมาประกอบ จากนั้นนำไปทดสอบการลอยน้ำแล้วเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงลอยน้ำกับเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่วางไว้บนพื้น



รูปที่ 3.8 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าวัดเป็นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

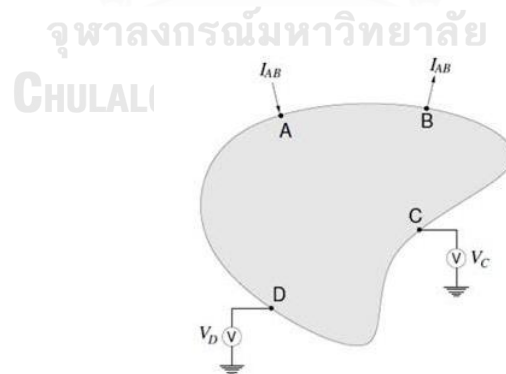
3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพของชิ้นงาน

3.6.1 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์ (Van der pauw)



รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์

เทคนิคแวน เดอ พาวน์ เป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity : σ) โดยเริ่มจากความต้านทานที่หน้าสัมผัส (contact) 4 ค่าโดยเป็นที่มุมของตัวอย่าง จากนั้นจ่ายกระแสคงที่ผ่านหน้าสัมผัสตำแหน่งที่ A และ B (I_{AB}) แล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมระหว่างหน้าสัมผัสที่ตำแหน่ง C และ D (V_{CD}) ดังรูปที่ 3.10 แล้วหาอัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ที่ตกคร่อมกับกระแสที่ไหลผ่านก็จะได้ค่าความต้านทานของตัวอย่าง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.9 ในการวิเคราะห์ จากนั้นนำมาคำนวณตามสมการที่ 1



รูปที่ 3.10 แผนภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากฝั่งตรงข้าม

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \bar{R} F(Q) \quad (1)$$

โดยที่ ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า (Sheet resistivity หน่วยคือ $\Omega \text{ cm}$)

d = ความหนา (mm)

$$\bar{R} = \frac{(R_{AB,CD} + R_{BC,DA})}{2}$$

F = แฟคเตอร์แก้ค่า (Correction factor) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Q

Q = อัตราส่วนระหว่างความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งให้มามีค่ามากกว่า 1 หากจาก

$$\frac{(R_{AB,CD})}{R_{BC,DA}} \text{ น้าค่ามากกว่าหรือน้อยเสมอ}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าสามารถนำมาคำนวณได้ ดังสมการที่ 2

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

โดยที่ σ = สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) $\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$



รูปที่ 3.11 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานก่อนนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวน เดอ พาวน์

ในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคแวน เดอ พาวน์ (Van der pauw method) เตรียมตัวอย่างโดยการตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ในงานนี้ตัดตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ

0.75 x 0.75 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำมาแต้ม silver paste เพื่อให้หน้าสัมผัสคงที่ ก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.11

3.6.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่างตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope :SEM)

3.6.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าและเซลล์สุริยะชนิดสี ย้อมไวแสง

3.6.3.1 การวิเคราะห์การรีดิวซ์และการออกซิไดส์ของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry) เป็นการศึกษาโดยการป้อนความต่างศักย์ในลักษณะเป็นรอบ ซึ่งการป้อนความต่างศักย์ครึ่งรอบแรกในทิศตรงกันข้ามกับครึ่งรอบหลัง เป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์ในด้านคุณภาพ โดยจากการวิเคราะห์จะได้ข้อมูล เช่น ค่าความต่างศักย์ของการ

เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ค่าความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จำนวนของอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องมือดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า Potentiostatic

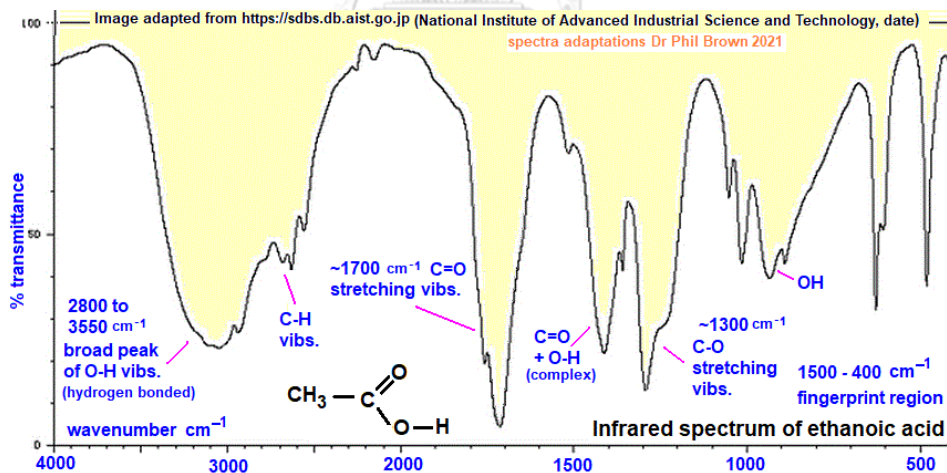
3.6.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีและหมู่ฟังก์ชัน

3.6.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วงเลขคลื่น $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเมื่อแสงอินฟราเรดตกกระทบโมเลกุลสารจะเกิดแรงกระทำ (interaction) ระหว่างแสงกับโมเลกุลสาร โดยที่แสงอินฟราเรดในบางช่วงที่ซึ่งมีความถี่ตรงกันกับความถี่ของการสั่นของพันธะในโมเลกุลพอลิเมอร์จะถูกดูดกลืนไป (เรียกว่าเกิดเรโซแนนซ์ resonance) ดังนั้นความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง (transmitted Infrared) จึงมีความเข้มแสงลดลงในบางช่วงของความถี่ทั้งหมดของอินฟราเรด เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านสารตัวอย่างกับ ความถี่หรือเลขคลื่น (ซึ่งเลขคลื่นหรือ wave number จะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของความถี่แสง) จะได้สเปกตรัมอินฟราเรด เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการวัดสั้น และมีความปลอดภัยสูงสามารถวัดตัวอย่างได้ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว นอกจากนี้ยังถูกดัดแปลงให้สามารถนำมาใช้กับตัวอย่างได้สะดวกขึ้นโดยทำให้รังสีอินฟราเรดหักเหไปในคริสตัลที่มีดัชนีหักเหแสงด้วยหลักการ Attenuated Total Reflectance (ATR) ดังรูปที่ 3.14 หรือที่เรียกว่า ATR-FTIR โดยเมื่อ

แสงถูกหักเหไปตามพื้นผิวของคริสตัล รังสีจะถูกดูดกลืนได้โดยตัวอย่างที่วางอยู่บนพื้นผิวคริสตัล และสะท้อนกลับเข้ามายังคริสตัลโดยเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ไปจนสิ้นสุดความยาวของพื้นผิว รังสีที่เหลือจะถูกสะท้อนกลับไปยังตัวรับสัญญาณ (detector) และประมวลผลออกมาในรูปของสเปกตรัม (ดังรูปที่ 3.15)

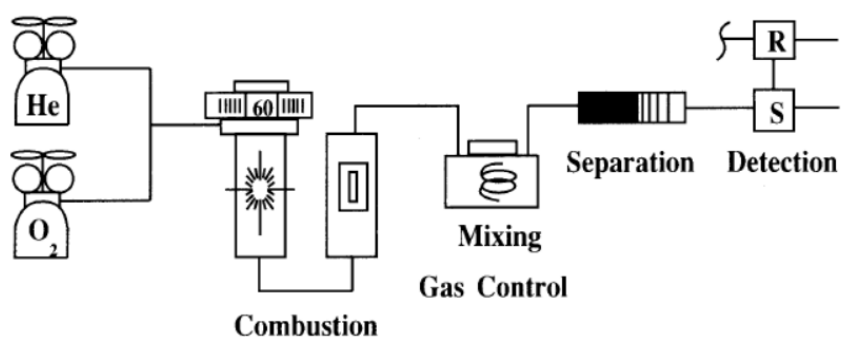


รูปที่ 3.14 เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคATR-FTIR



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิคเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

3.6.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (CHNS/O analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์และออกซิเจน ซึ่งองค์ประกอบของเครื่อง CHNS/O analyzer จะแสดงดังรูปที่ 3.16 เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างโดยตัวอย่างสามารถเป็นของแข็งหรือของเหลว โดยสารจะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่ทำด้วยดีบุก (Tin) แล้วผ่านกระบวนการเผาและจะถูกรายงานออกมาเป็นร้อยละของคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์และออกซิเจนตามโหมดที่วิเคราะห์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่อง CHNS/O analyzer ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 องค์ประกอบของเครื่อง CHNS/O analyzer



รูปที่ 3.17 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ CHN analyzer

3.6.5 การวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงลอยน้ำกับเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่อยู่บนพื้น

นำยางธรรมชาตินำไฟฟ้ามาประกอบกับตัวโหมยงหลังจากนั้นประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงแล้วนำไปลอยในอ่างที่ใส่น้ำไว้ จากนั้นนำเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบโดยใช้ขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าทั้งบนโหมยงและไม่ได้ประกอบกับโหมยงไปวางไว้ในบริเวณที่โดนแสงแล้วทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบลำแสง (Infrared thermometer) ในการวัด ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ผลต่างอุณหภูมิของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงแบบลอยน้ำกับบนพื้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยเทคนิคแวน เดอ พาวน์ (van der pauw)

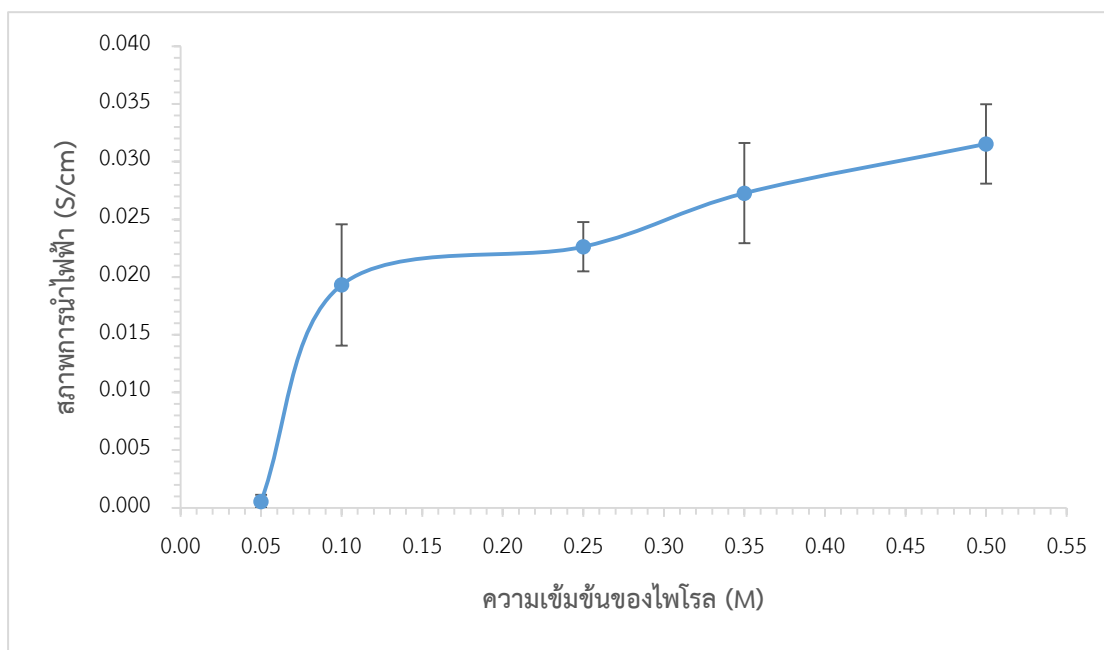
จากการสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าเพื่อใช้ทดแทนขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมเนื่องจากขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมมีราคาที่สูง โดยทำการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ดังนี้

4.1.1 ผลของความเข้มข้นของไฟโรลต่อค่าการนำไฟฟ้า

ความเข้มข้นของไฟโรลเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์ม โดยในศึกษาสภาวะนี้จะศึกษาความเข้มข้นของไฟโรลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0.05, 0.10, 0.25, 0.35 และ 0.50 โมลาร์ ในสารละลาย 2.00 โมลาร์ LiClO_4 ในตัวทำละลายเมทานอล ในการทดลองได้ทำการจ่ายความต่างศักย์คงที่ที่ 4 โวลต์ เพื่อให้สารเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้า (Electrochemical polymerization) เป็นเวลา 10 นาที นำไปวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิค Van der pauw โดยค่าที่ได้จากเทคนิคนี้จะถูกวัดออกมาในรูปของ สภาพต้านทาน (Sheet resistivity: ρ) และจากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้า สามารถแปลงออกมาให้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อความเข้มข้นของไฟโรล

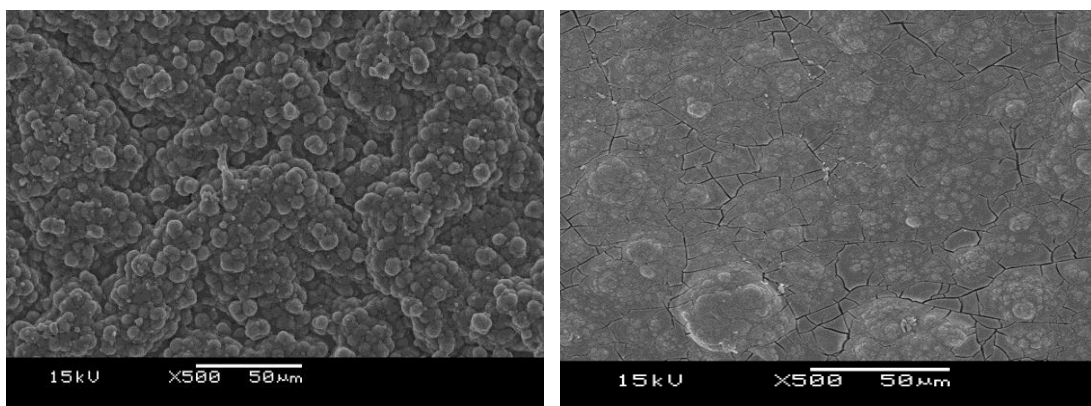
ความเข้มข้นของไฟโรลมอนอเมอร์ (โมลาร์, M)	ความหนาของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (cm)	สภาพการนำไฟฟ้า (S/cm)
0.05	0.0100	0.556 ± 0.576
0.10	0.0113	19.09 ± 5.25
0.25	0.0139	22.47 ± 1.74
0.35	0.0140	27.47 ± 4.37
0.50	0.0152	31.53 ± 3.44



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับความเข้มข้นของโพลีเมอร์

จากการศึกษาความเข้มข้นของโพลีเมอร์ต่อค่าการนำไฟฟ้าโดยเริ่มศึกษาที่ความเข้มข้น 0.05 ถึง 0.5 โมลาร์ พบว่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ส่งผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 0.000 ถึง 0.032 S/cm ตามลำดับ โดยจากรูปที่ 4.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความเข้มข้นของโพลีเมอร์ โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของมอนอเมอร์ที่มากขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงความหนาที่เพิ่มขึ้นของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้มีปริมาณอิเล็กตรอนอิสระที่มากขึ้น ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น จากรูปที่ 4.2 เป็นรูปถ่ายลักษณะพื้นผิวของยางคอมพอสิต พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.05 โมลาร์ (ซ้าย) มีพอลิโพลีเมอร์เกิดขึ้นแต่ไม่ได้เชื่อมติดกันหนาแน่นเมื่อเทียบกับรูปขวาที่มีความเข้มข้นของโพลีเมอร์เท่ากับ 0.5 โมลาร์ จึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านแผ่นยางที่น้อยกว่า

ดังนั้นที่ความเข้มข้นของโพลีเมอร์เท่ากับ 0.5 โมลาร์ จะใช้เป็นสถานะที่ใช้ในการสังเคราะห์ต่อไป เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่สูงสุดโดยมีค่าอยู่ที่ 0.032 S/cm



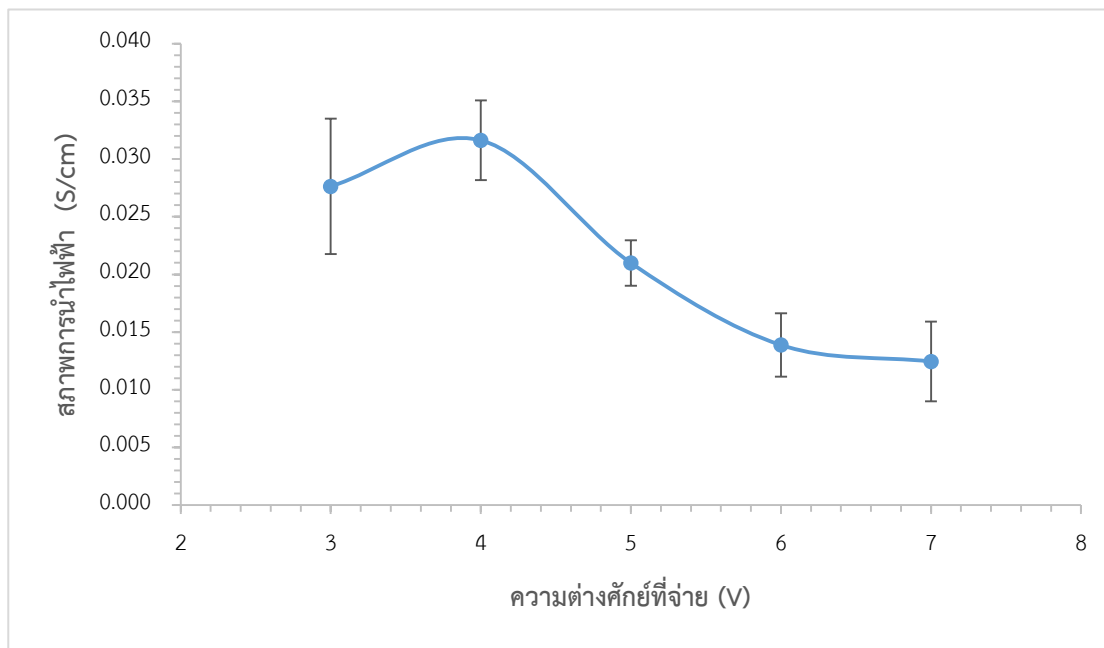
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของยางคอมพอสิตที่ความเข้มข้นของไฟโรล 0.05 โมลาร์ (ซ้าย) และ 0.5 โมลาร์ (ขวา)

4.1.2 ผลของความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

ปัจจัยต่อมาที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าถัดมาคือความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ในสภาวะนี้ทำการศึกษาความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาโดยศึกษาที่ 3, 4, 5, 6, 7 โวลต์ โดยควบคุมสภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคือความเข้มข้นของไฟโรลอยู่ที่ 0.5 โมลาร์ ใน 2.00 โมลาร์ LiClO_4 ในตัวทำละลายเมทานอล และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา คือ 10 นาที แล้วศึกษาความต่างศักย์ที่จ่ายช่วงที่ต้องการ ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ที่จ่ายเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

ความต่างศักย์ที่จ่าย (โวลต์, V)	ความหนาของยาง ธรรมชาตินำไฟฟ้า (cm)	สภาพการนำไฟฟ้า (S/cm)
3.00	0.0103	27.63 ± 5.89
4.00	0.0152	31.53 ± 3.44
5.00	0.0196	19.46 ± 1.95
6.00	0.0358	13.89 ± 2.75
7.00	0.0276	12.44 ± 3.45



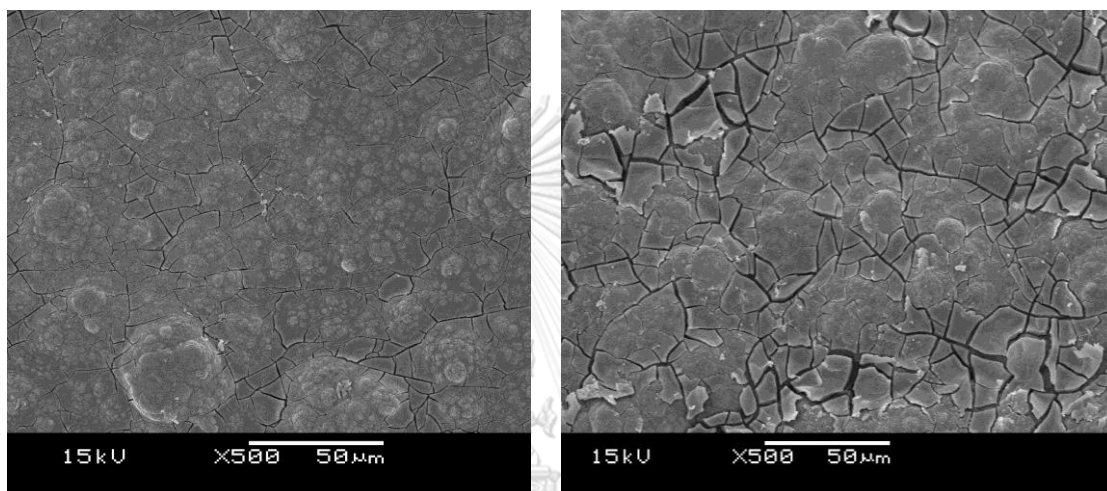
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่จ่าย

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความต่างศักย์ โดยพบว่าที่ค่าความต่างศักย์เท่ากับ 3 โวลต์ ค่าการนำไฟฟ้าของยางคอมพอสิตนั้นต่ำเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่ำ ในขณะที่เดียวกันเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นพบว่าที่ความต่างศักย์เท่ากับ 4 โวลต์ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเมื่อความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากฟิล์มพอลิไพโรลนั้นถูกทำลาย [30] จากการเกิด over oxidation จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะของแผ่นยางธรรมชาติที่ใช้ความต่างศักย์เท่ากับ 7 โวลต์ มีลักษณะผิวที่แข็งและนูนออกเมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติเท่ากับ 4 โวลต์ พบว่าแผ่นยางมีความแข็งขึ้นแต่ผิวหน้าของขั้วไม่นูนผิดปกติ เป็นสาเหตุให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง จากรูปที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิค SEM แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของยางคอมพอสิตนั้นแตกต่างจากกันมากกว่ายางคอมพอสิตที่ใช้ความต่างศักย์เท่ากับ 4 โวลต์ ทำให้การส่งผ่านของกระแสไฟฟ้าไม่ดีเมื่อเทียบกับที่ความต่างศักย์ต่ำ

ดังนั้นความต่างศักย์ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้า คือ 4 โวลต์ ให้ค่าความต่างศักย์สูงที่สุดอยู่ที่ 31.531 S/cm



รูปที่ 4.4 ลักษณะของยางคอมพอสิตที่ความต่างศักย์ 4 (ซ้าย) และ 7 (ขวา) โวลต์



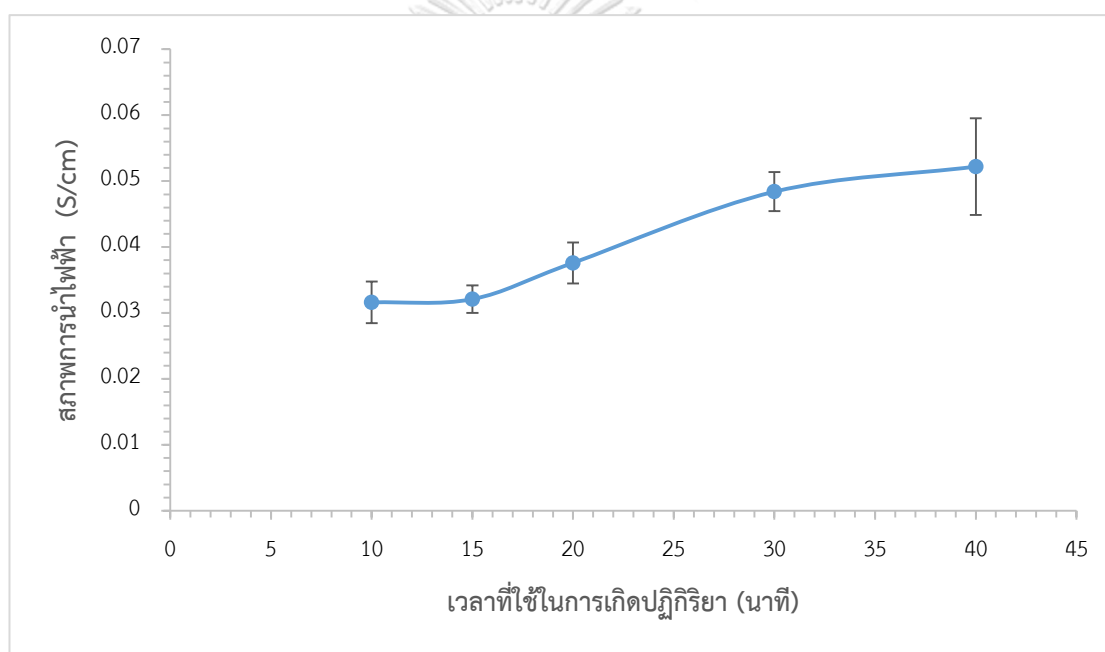
รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 4 (ซ้าย) และ 7 (ขวา) โวลต์

4.1.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาอีกหนึ่งปัจจัยคือ เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติ นำไฟฟ้าโดยใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า โดยในขั้นตอนนี้จะศึกษาโดยควบคุมตัวแปรดังนี้ ความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 4 โวลต์ ความเข้มข้นของโพโรมอนอเมอร์ เท่ากับ 0.5 M ในสารละลาย 2.00 M LiClO_4 ในตัวทำละลายเมทานอล โดยผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าต่อเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

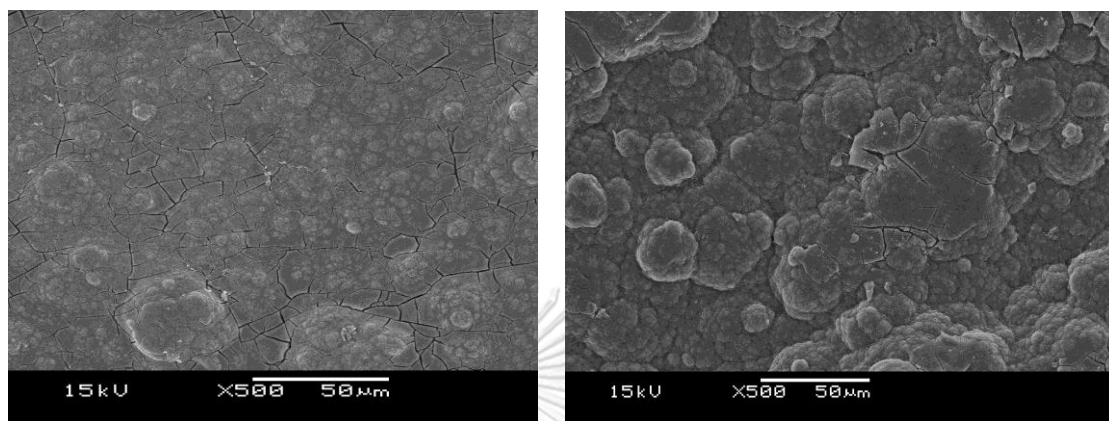
เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (นาท)	ความหนาของยางธรรมชาติ นำไฟฟ้า (cm)	สภาพนำไฟฟ้า (S/cm)
10	0.0152	31.53 ± 3.44
15	0.0159	32.13 ± 2.08
20	0.0165	37.64 ± 3.12
30	0.0314	48.39 ± 2.96
40	0.0452	52.21 ± 7.33



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการนำไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (รูปที่ 4.6) พบว่าเมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าที่มากขึ้น [31] ที่ 40 นาทีพบว่ามีความสภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงที่ทำการศึกษา จากรูปที่ 4.7 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ 10 และ 40 นาที จะเห็นว่าที่เวลามากขึ้นเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้นทำให้พอลิไฟโรลบนแผ่นยางธรรมชาตินั้นหนาแน่นขึ้นกว่าที่เวลา 10 นาที จากการเพิ่มขึ้นของพอลิไฟโรลส่งผลให้ยางธรรมชาติมีความแข็งเพิ่มขึ้นนั่นคือความยืดหยุ่นลดลง

ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่าที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 นาที และ 20 เป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากยังคงความยืดหยุ่นซึ่งเป็นคุณสมบัติของยางธรรมชาติไว้อยู่ในช่วงยอมรับได้ จึงนำไปศึกษาในส่วนของประสิทธิภาพในการประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงต่อไป



รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของยางคอมพอสิตที่ 10 นาที (ซ้าย) และ 40 นาที (ขวา)

4.2 ผลเปรียบเทียบสภาพความต้านทานของกระจกเคลือบสารถนำไฟฟ้า (FTO), FTO เคลือบ Pt และยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 สภาพความต้านทานของวัสดุต่างๆ

ขั้วไฟฟ้า	สภาพความต้านทาน (Ω/\square)
กระจก FTO	14.347
กระจกFTOเคลือบแพลทินัม (Pt/FTO)	14.777
ยางธรรมชาตินำไฟฟ้า	0.0316

จากตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบสภาพความต้านทานของกระจก FTO, กระจก FTOเคลือบ Pt และยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่สังเคราะห์ได้ จะเห็นได้ว่าสภาพความต้านทานของตัวอย่างนั้นลดลงตามลำดับ โดยพบว่าการเคลือบแพลทินัมลงบนกระจก FTO ไม่ได้มีส่วนช่วยในการลดสภาพความต้านทานเพียงแต่ใช้เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงเท่านั้น จากความสัมพันธ์ของสภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าดังสมการที่ 1 ได้ว่าสภาพนำไฟฟ้าสามารถหาได้จากส่วนกลับของสภาพต้านทานซึ่งหากเราทราบความหนาของชั้นนำไฟฟ้าของทั้งสองตัวอย่างจะ

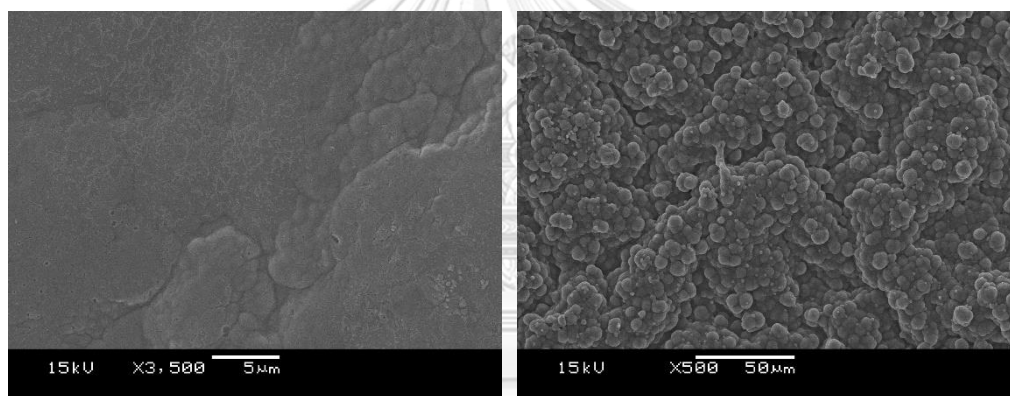
สามารถหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าได้ แต่จากแนวโน้มของค่าสภาพความต้านทานทำให้สามารถพอสรุปได้ว่า ยางธรรมชาตินำไฟฟ้านั้นสามารถนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแทนกระจก FTO เพื่อลดวัสดุที่ใช้ในการประกอบเซลล์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความยืดหยุ่นอีกด้วย

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

โดยที่ σ = สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) $S \cdot cm^{-1}$

ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า (Sheet resistivity: $\Omega \cdot cm$)

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด



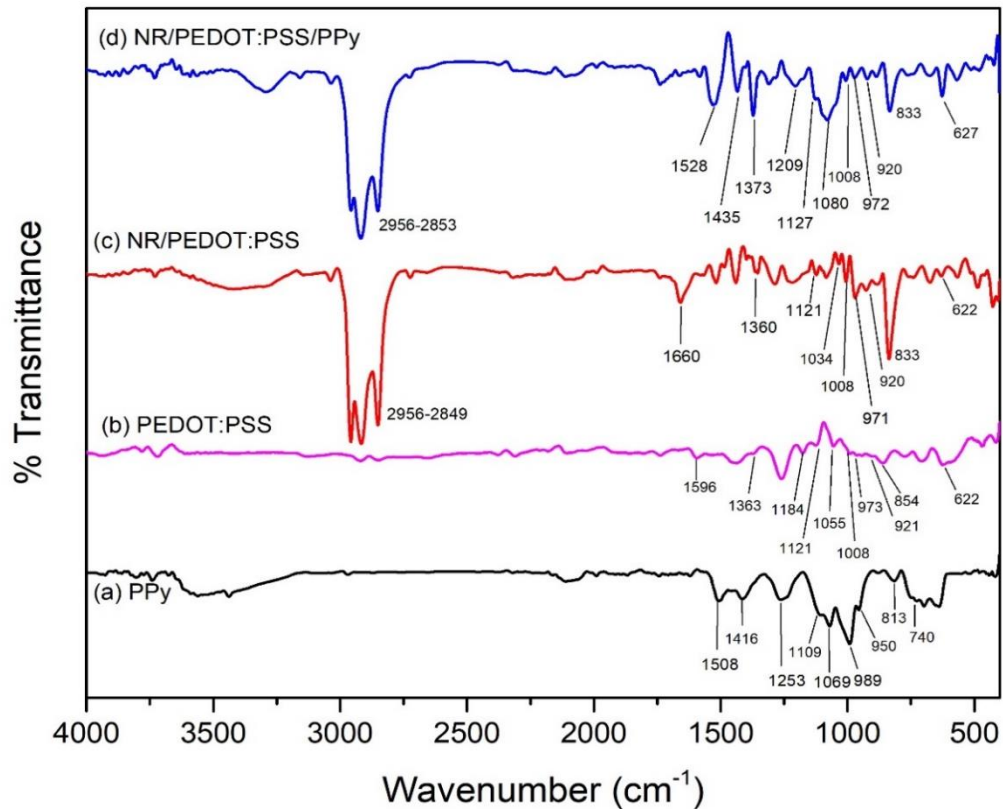
รูปที่ 4.8 ลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) ใส่พอลิไพโรล (PPy) ที่ความเข้มข้น 0.05 M

จากรูปที่ 4.9 เป็นลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยภาพด้านซ้ายจะเป็นแผ่นยางธรรมชาติที่ผสม PEDOT:PSS เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าพื้นผิวมีความขรุขระน้อยกว่า หลังใส่พอลิไพโรล (รูปด้านขวา) จากความขรุขระที่เพิ่มขึ้นนี้พบว่าเป็นคุณสมบัติหนึ่งในการใช้เป็นขั้วไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดีขึ้น [25]

4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีและหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

4.4.1 ผลวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

(Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

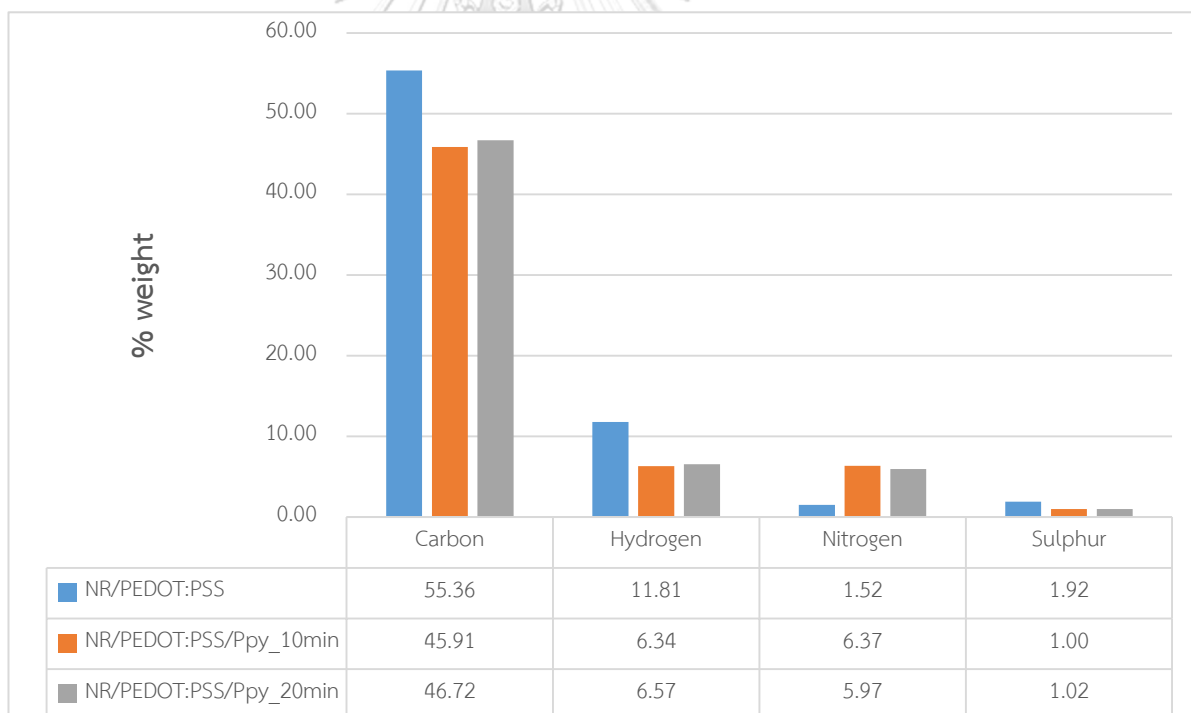


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของ (a) PPy, (b) PEDOT:PSS (c) NR/PEDOT:PSS, (d) NR/PEDOT:PSS/PPy

จากรูปที่ 4.10 เป็นสเปกตรัม FTIR ของสารตัวอย่างชนิดต่างๆประกอบไปด้วย pyrrole (PPy), NR/PEODT:PSS, NR/PEDOT:PSS/PPy โดย (a) เป็นสเปกตรัมของพอลิไพโรล (PPy) โดยยอดกราฟที่บ่งบอกถึง PPy ได้แก่ยอดกราฟที่ 1508-1416 และ 1109 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของวงไพโรล (C=C), ที่ช่วง 1069 cm^{-1} เป็นยอดกราฟของ N-H in plane deformation [32], 950 – 740 cm^{-1} เป็น C-H out of plane deformations, ที่ 989 cm^{-1} เป็นลักษณะของ C-C out of plane deformations จาก FTIR สเปกตรัมพบว่ามียอดกราฟปรากฏในช่วงของ 3500 cm^{-1} ซึ่งเป็นยอดกราฟของ $-\text{NH}_2$ แต่ไม่แน่ชัดจึงจะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่นเพื่อยืนยัน ต่อมา (b) เป็นสเปกตรัมของ PEDOT:PSS โดยมียอดกราฟเอกลักษณ์ในช่วง 1363, 1055, 973 และ 854 cm^{-1}

เป็นของ PEDOT ส่วนในช่วงที่ 1184 cm^{-1} เป็นของ $-\text{SO}_3$ และสุดท้ายที่ 1008 cm^{-1} เป็นการงอของ C-H บนวงอะโรมาติกของ PSS [25] (c) เป็นสเปกตรัมของคอมพอลิเมอร์ระหว่าง NR/PEDOT:PSS โดยยอดกราฟเอกลักษณ์ของยางจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ $2956\text{-}2849\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นยอดกราฟที่เกิดจากการสั่นแบบไม่สมมาตรของ $-\text{CH}_3$ stretching [33] นอกจากนี้ยังพบยอดกราฟการสั่นของ PEDOT:PSS อยู่ในช่วง 600 ถึง 1500 นั้นจึงยืนยันได้ว่ามีการกระจายตัวของ PEDOT:PSS อยู่ในยางธรรมชาตินี้ ต่อมาเมื่อทำการใส่พอลิไพโรลด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้าเข้าไปในแผ่นยางธรรมชาติผสม PESOT:PSS นี้แล้วนำมาตรวจวัดพบว่าในช่วง $2956\text{-}2863\text{ cm}^{-1}$ เป็นยอดกราฟเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติ ส่วนของ PEDOT:PSS และ พอลิไพโรล พบอยู่ใน 600 ถึง 1500 cm^{-1} ซึ่งพบยอดกราฟเอกลักษณ์ของทั้ง PEDOT:PSS และ พอลิไพโรลอยู่ในแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้า นั้นหมายถึงมีการกระจายอยู่ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดอยู่ ซึ่งจาก FTIR สเปกตรัมอาจไม่ชัดเจนจึงทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CHNS

4.4.2 ผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วย CHNS analyzer



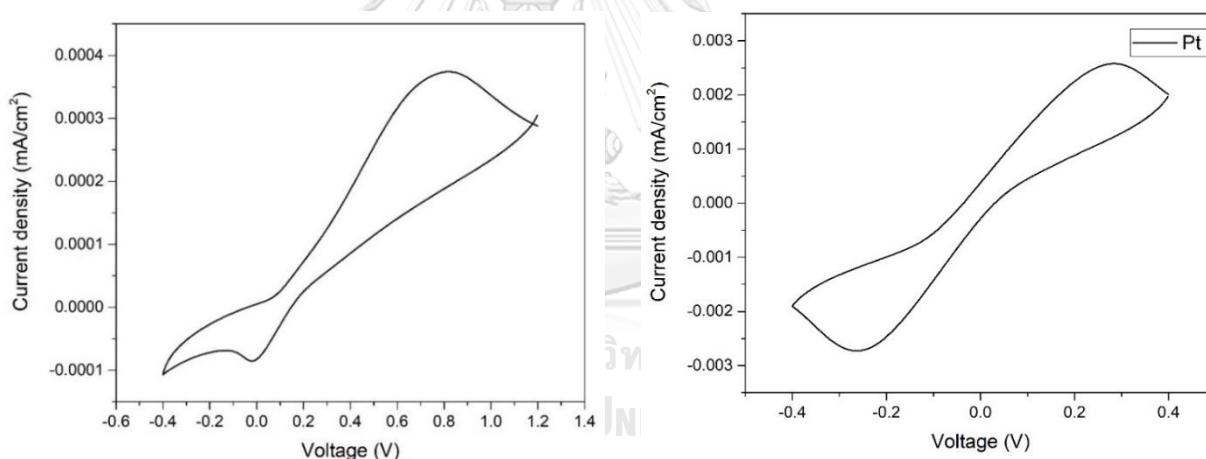
รูปที่ 4.10 ผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิค CHNS/O analyzer

จากรูปที่ 4.11 เป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค CHNS [34] โดยในงานวิจัยนี้นำมาใช้ยืนยันการมีอยู่ของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าทั้งสองชนิด (PEDOT:PSS และ พอลิไพโรล (PPy)) ที่ผสมอยู่ในยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยจากโครงสร้างของ PEDOT:PSS และ พอลิไพโรล

(PPy) จะมีธาตุที่บ่งบอกเอกลักษณ์นั้นคือ S และ N ตามลำดับ โดยจากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าที่ขั้วผสม PEDOT:PSS พบปริมาณของ S อยู่ซึ่งยืนยันได้ว่ามี PEDOT:PSS ผสมอยู่ในน้ำยางธรรมชาติจริง นอกจากนี้ยังพบว่าในยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS ปรากฏปริมาณของ N ด้วยอาจเนื่องมาจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ต่อมาเมื่อนำยางธรรมชาติผสม PEDOT:PSS มาเคลือบด้วยพอลิไพโรล เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของธาตุ N ที่เพิ่มขึ้นจากขั้วที่ไม่ได้เคลือบด้วยพอลิไพโรล ซึ่งเมื่อนำผลจาก FTIR มาประกอบกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุสามารถยืนยันได้ว่าในยางธรรมชาตินี้มี PEDOT:PSS และพอลิไพโรลอยู่

4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าและเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

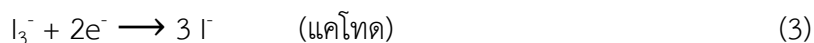
4.5.1 การวิเคราะห์การรีดิวซ์และการออกซิไดส์ของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry)



รูปที่ 4.11 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (ขั้ว) เปรียบเทียบกับ

ขั้วแพลทินัม (ขวา)

จากค่าการนำไฟฟ้าและการยืนยันด้วย SEM เทคนิคที่จะใช้วิเคราะห์ต่อมาคือเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงอิเล็กตรอนจะถูกคืนให้กับสีย้อมไวแสงด้วยไอออนของ Γ ในอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการที่ 2 และไอออน I_3^- จะเกิดขึ้นจากนั้นจะถูกออกซิไดส์บนขั้วไฟฟาร่วม ดังสมการที่ 3



ในการทดสอบด้วยเทคนิคนี้ใช้ระบบ 2 ขั้ว โดยประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าก่อนนำไปวัด โดยเซลล์ไฟฟ้าทดสอบประกอบด้วยขั้วจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นขั้วทำงานและแพลทินัมทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าร่วม เปรียบเทียบกับเซลล์ไฟฟ้ามาตรฐานประกอบด้วยขั้วทำงานและขั้วไฟฟ้าร่วมเตรียมจากแพลทินัมทั้งคู่ ใช้อัตรากระแสแกนที่ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ใช้เจลอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 3.5.5 มาเป็นสารคู่รีดอกซ์ในการศึกษา โดยจะทำการศึกษาในช่วงความต่างศักย์เท่ากับ -0.4 ถึง 1.2 โวลต์

จากรูปที่ 4.12 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของแพลทินัม (ขวา) และยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (ซ้าย) แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับขั้วไฟฟ้า โดยยอดกราฟทางด้านซ้ายเป็นยอดกราฟที่บ่งบอกถึงปฏิกิริยารีดักชันของ I_3^- ตามสมการที่ 3 และยอดกราฟด้านขวาเป็นยอดกราฟที่บ่งบอกถึงปฏิกิริยาออกซิเดชันตามสมการที่ 2 โดยปฏิกิริยารีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าร่วมในเซลล์สุริยะชนิดสีอ้อมไวแสง (DSSC) เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญที่ต้องทำการศึกษา จากรูปพบว่าขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าปรากฏยอดกราฟของปฏิกิริยารีดอกซ์ตามสมการที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นการยืนยันได้เบื้องต้นในการนำไปใช้งาน ต่อมาตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความหนาแน่นประจุ (J_{rxn}) และความห่างของยอดกราฟ (E_{pp}) โดยสามารถคำนวณตามสมการที่ 4 [35] ให้ผลดังตารางที่ 4.5

$$E_{\text{pp}} = |E_{\text{p}}(\text{anodic}) - E_{\text{p}}(\text{cathodic})| \quad (4)$$

โดยที่ $E_{\text{p}}(\text{anodic})$ คือ ยอดกราฟของแอโนดิก

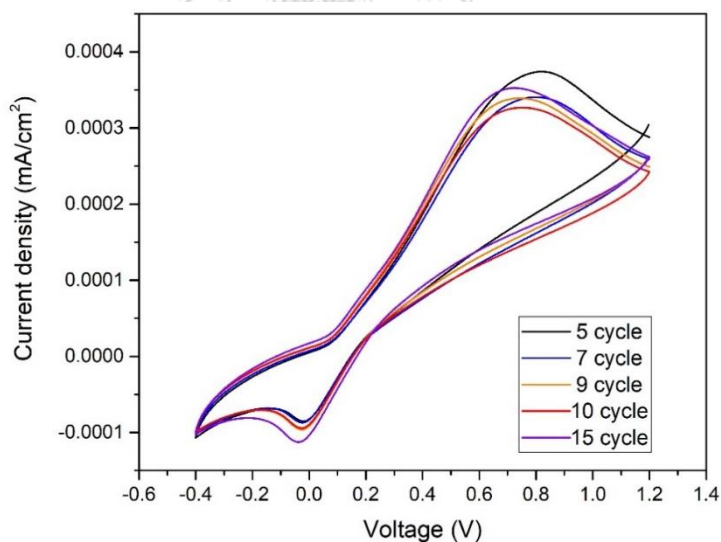
$E_{\text{p}}(\text{cathodic})$ คือ ยอดกราฟของแคโทดิก

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากไซคลิกโวลแทมโมแกรมจากรูปที่ 4.11

Counter electrode	E_{pp} (mV)	$ J_{\text{red}} $ (mA/cm ²)	$ J_{\text{ox}} / J_{\text{red}} $
Pt/FTO	548	2.730	0.945
NR/PEDOT:PSS/PPy	786	0.085	3.991

ตารางที่ 4.5 อธิบายความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าทดสอบ โดยพบว่าความห่างของยอดกราฟ (E_{pp}) [36, 37] ของขั้วแพลทินัมเท่ากับ 548 mV ส่วนของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (NR/PEDOT:PSS/PPy) อยู่ที่ 786 mV จะได้ว่าที่ค่า E_{pp} ต่ำบ่งบอกถึงมีความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูง โดยเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมมีค่าความห่างของยอดกราฟที่ต่ำกว่าของขั้วที่ทำจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้า (NR/PEDOT:PSS/PPy) ต่อมาที่ค่าความหนาแน่นกระแสของปฏิกิริยารีดักชันบ่งบอกความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจากตารางพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสของขั้วแพลทินัมมีค่าสูงกว่าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า จึงทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดแพลทินัมมีการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่า และตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการบ่งบอกความสามารถในการผันกลับในปฏิกิริยา I_3/I^- คืออัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน โดยควรมีค่าใกล้เคียง 1 จากตารางพบว่าอัตราส่วนของความหนาแน่นกระแสของแพลทินัมมีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า ซึ่งหมายถึงว่าขั้วไฟฟ้าจากแพลทินัมนั้นมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ดีกว่าขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

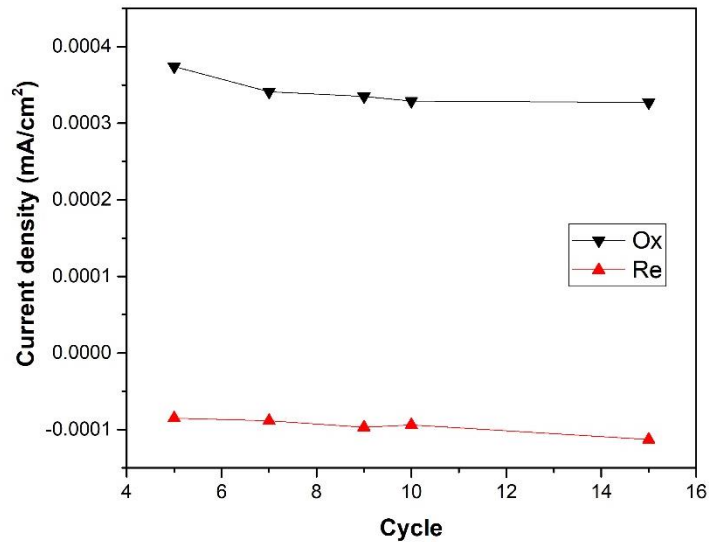
4.5.1.1 ผลของจำนวนรอบ (cycle)



รูปที่ 4.12 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่จำนวนรอบต่าง ๆ

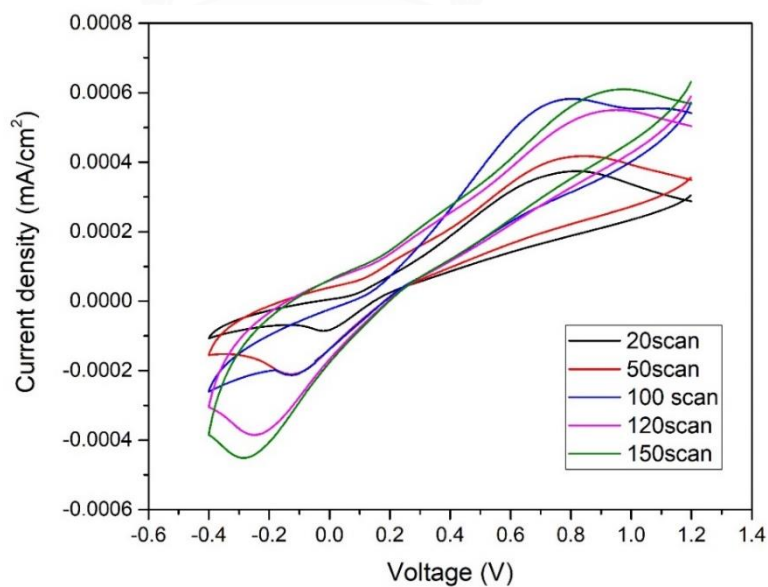
ต่อมาทำการศึกษาความเสถียรของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยา โดยจากรูปที่ 4.13 แสดงถึงไชคลิกโวลแทมเมทรีของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่จำนวนรอบ (cycle) ต่าง ๆ ที่อัตราการสแกนเท่ากับ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าความ

หนาแน่นของกระแสสูงสุด พบว่าทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงชัดเจนเมื่อเทียบกับจำนวนรอบ แสดงให้เห็นถึงความเสถียรของขั้วไฟฟ้าและความเป็นเนื้อเดียวกันของขั้วไฟฟ้า



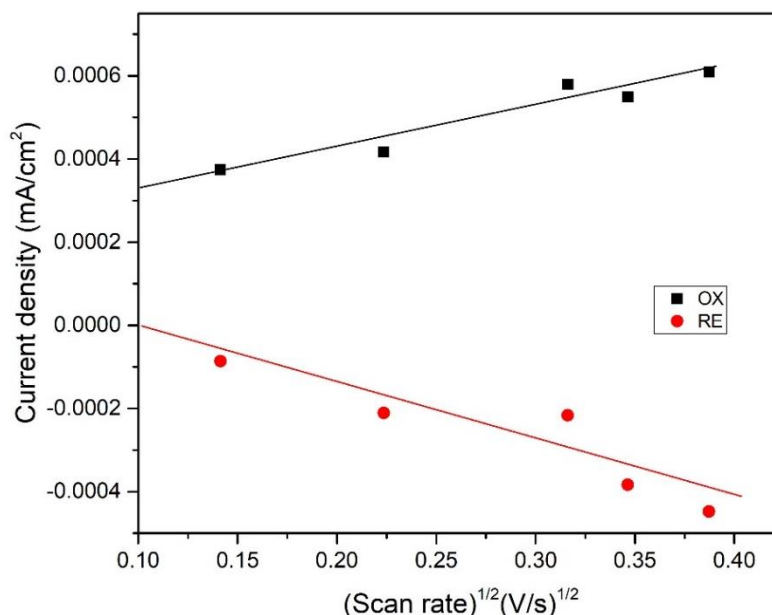
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบแล้วความหนาแน่นของกระแสสูงสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

4.5.1.2 ผลของอัตราการจ่ายศักย์ไฟฟ้า (scan rate)



รูปที่ 4.14 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่อัตราการสแกนต่าง ๆ

ต่อมาเป็นผลการศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรีของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าเทียบกับที่อัตราการสแกนต่างๆ จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาทั้งฝั่งแอโนดิกและแคโทดิก โดยจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนค่าความหนาแน่นกระแสของทั้งฝั่งแคโทดิกและแอโนดิกเพิ่มขึ้นในทิศทางที่เป็นบวกและลบมากขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาตามสมการที่ 2 และ 3 ที่เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าที่อัตราการสแกนที่เพิ่มขึ้นลักษณะของโวลแทมโมแกรมของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าจะมีลักษณะคล้ายกับของโวลแทมโมแกรมของแพลทินัม (Pt/FTO) [35] และจากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างรากที่สองของอัตราสแกนกับค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแพร่ผ่านของปฏิกิริยารีดอกซ์บนขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยไม่มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันของ I_3^-/I^- กับขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า [38, 39]



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับค่าความหนาแน่นกระแสสูงสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจากขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้าพบว่าขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าสามารถนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าร่วมในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่สังเคราะห์ด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือที่ ความเข้มข้นของโพโรลที่ 0.5 โมลาร์ ความต่างศักย์ที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ 4 โวลต์และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 กับ 20 นาที เนื่องจากที่ทั้งสองเวลานี้ให้ค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกัน

4.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้เซลล์สุริยะที่นำขั้วสายธรรมชาติมาไฟฟ้าที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 และ 20 นาที มาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าร่วมทดแทนขั้วกระจกไฟฟ้าเคลือบแพลทินัม โดยจะทำการประกอบเซลล์สุริยะขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของเซลล์ที่ประกอบแล้วดังรูปที่ 4.17 จากนั้นนำไปวัดภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ที่ความเข้มแสง AM 1.5 G ($\sim 100 \text{ mW/cm}^2$) ให้ผลเบื้องต้นดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.16 เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงมาตรฐาน (ซ้าย), เซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่นำสายธรรมชาติมาไฟฟ้ามาเป็นขั้วไฟฟ้าร่วม (ขวา)

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพและพารามิเตอร์ต่างๆของ DSSC ที่ปรับปรุงขั้วไฟฟ้าร่วมเทียบกับเซลล์มาตรฐาน โดยมีพื้นที่รับแสง 0.25 cm^2 วัดภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง ความเข้มแสง AM 1.5 G ($\sim 100 \text{ mW/cm}^2$)

DSSCs 0.25 cm^3	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	%PCE	R_{series} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	R_{shunt} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
Pt/FTO	0.80	5.68	0.449	2.04 %	47.49	856.5
Range of cells	0.71-0.80	3.32-5.68	0.441-0.449	1.04-2.04 %	47.49-59.95	734.1-856.5
NR/PEDOT:PSS/ PPy 20min	0.90	3.08	0.336	0.933 %	83.02	101.9
Range of cells	0.84-0.93	1.52-3.08	0.304-0.4474	0.389-0.933 %	83.02-88.23	101.9-289.1
NR/PEDOT:PSS/ PPy 10min	0.79	2.04	0.369	0.595	85.37	203.7
Range of cells	0.79-1.05	1.24-2.04	0.359-0.369	0.465-0.595 %	85.37-211.2	203.7-235.0

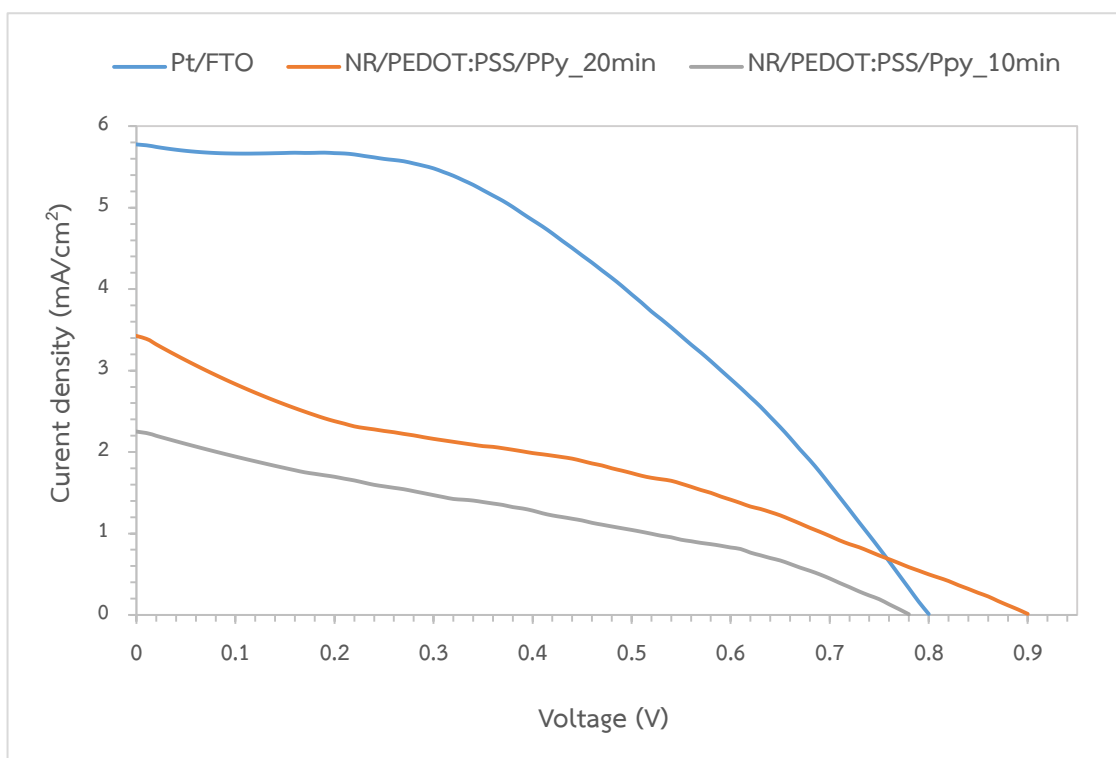
จากตารางที่ 4.6 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์สุริยะประกอบไปด้วย ความต่างศักย์วงจรเปิด (V_{oc}), ความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (J_{sc}), ฟิลแฟกเตอร์ (FF), ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ (% PCE), ความต้านทานอนุกรม (R_{series}) และความต้านทานชัณฑ์ (R_{shunt}) เมื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางแสงพบว่า เซลล์สุริยะทดสอบทุกแบบให้ค่าความต่างศักย์วงจรเปิดในช่วง 0.80-

1.05 โวลต์ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแยกอิเล็กตรอนและหลุมออกจากกันเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง และความสามารถสะสมประจุที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้าน โดยพบว่าที่ ขั้วไฟฟ้าร่วมที่ทำจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่เวลา 20 นาที ให้ค่าความต่างศักย์วงจรเปิดสูงที่เท่ากับ 0.90 โวลต์เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมที่ให้ค่าเท่ากับ 0.80 โวลต์

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นกระแสเสถียร (J_{sc}) กลับพบว่าขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมให้ค่าความหนาแน่นกระแสอยู่ที่ 5.68 mA/cm² ส่วนขั้วไฟฟ้าร่วมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ 20 นาที และ 10 นาทีให้ค่าความหนาแน่นกระแสอยู่ที่ 3.08 และ 2.04 mA/cm² ตามลำดับ ความหนาแน่นกระแสเสถียรของเซลล์ทดสอบที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าร่วมยางธรรมชาติที่ต่ำกว่าขั้วแพลทินัมแสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนในสภาวะถูกกระตุ้นที่สะสมบนขั้วไฟฟ้ารับแสงสามารถเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าในกรณีขั้วแพลทินัม สอดคล้องกับค่าความต้านทานอนุกรมที่มากกว่าและความต้านทานชันท์ที่ต่ำกว่าในกรณีขั้วยางธรรมชาติเทียบกับขั้วแพลทินัม ความต้านทานที่เกิดขึ้นในระบบมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง สะท้อนให้เห็นในค่าฟิลแฟกเตอร์ จากตารางที่ 4.6 ผลทดสอบเบื้องต้นพบว่าเซลล์สุริยะทดสอบที่ประกอบจากขั้วไฟฟ้าร่วมแพลทินัมให้ค่าฟิลแฟกเตอร์ที่ใกล้เคียงค่าอุดมคติกว่าเซลล์สุริยะทดสอบฐานยางธรรมชาติ อนึ่งความต้านทานที่เกิดขึ้นเซลล์ทดสอบฐานยางธรรมชาติอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ ควรวิเคราะห์เชิงลึกหาสาเหตุ เพื่อลดความต้านทานที่เกิดขึ้น และปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์สุริยะทดสอบฐานยางธรรมชาติต่อไป

จากการพิจารณาค่าฟิลแฟกเตอร์ของขั้วไฟฟ้าร่วมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ เมื่อเทียบจากค่าความต้านทานอนุกรม (R_{series}) พบว่ามีค่าความต้านทานค่อนข้างสูง ซึ่งโดยปกติแล้วควรจะต้องมีความต้านทานที่ต่ำ โดยสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์สุริยะเช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานชันท์ควรจะมีค่าที่สูง แต่จากผลที่ได้พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการรวมกันของคู่อิเล็กตรอนที่สูงขึ้น จากค่าความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชันท์ยังส่งผลถึงลักษณะของกราฟ J-V ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งลักษณะของกราฟจะเหมือนเป็นเส้นตรง

ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะขึ้นกับปัจจัยและตัวแปรที่ได้กล่าวมาทั้งหมด โดยพบว่าเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัม ชนิดยางธรรมชาติที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 10 นาที และชนิดยางธรรมชาติที่ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20 นาที ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ ร้อยละ 2.04, 0.595 และ 0.933 ตามลำดับ

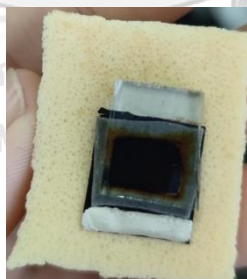


รูปที่ 4.17 กราฟ J-V ของเซลล์มาตรฐานและNR/PEDOT:PSS/PPy ที่แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในตารางที่ 4.6

จากผลการทดลองทางไฟฟ้าเบื้องต้นได้ข้อสรุปเบื้องต้นว่ายางธรรมชาตินำไฟฟ้าสามารถนำมาผลิตเป็นขั้วไฟฟ้าร่วมสำหรับเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุจากธรรมชาตินำมาเพิ่มมูลค่า โดยมีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานและเสถียรภาพให้สูงขึ้น เพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

4.7 การวิเคราะห์ผลต่างอุณหภูมิของเซลล์สุริยะลอยน้ำ

ในงานวิจัยนี้ได้สนใจเรื่องโฟโตโวลเทอิกเซลล์แบบลอยน้ำ โดยปัจจัยสำคัญของการทำโฟโตโวลเทอิกเซลล์แบบลอยน้ำนั้น คือเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ด้วยการลดอุณหภูมิทำงานของเซลล์ขณะลอยบนผิวน้ำ เนื่องจากเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนพื้นนั้นจะได้รับความร้อนจากวัสดุที่สร้างและจากแสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.19 โดยในเซลล์สุริยะชนิดซิลิคอน (Si) พบว่าทุกอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะจะลดลงร้อยละ 0.5 [40] ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นวิธีการนำวัสดุรีไซเคิลมาทำเป็นทุ่นลอย จึงเป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ที่ต้องการนำวัสดุจากธรรมชาติมาเพื่อเพิ่มมูลค่าและพัฒนาปรับปรุงให้นำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายยิ่งขึ้น โดยวัสดุที่ใช้ทำมาจากวัสดุธรรมชาตินั้นคือ ยางธรรมชาติผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้โฟมยางธรรมชาติที่มีลักษณะเบา สามารถลอยน้ำได้ จากนั้นปรับปรุงผิวยางธรรมชาติบริเวณที่ลอยเหนือน้ำเป็นขั้วไฟฟ้าร่วมของเซลล์สุริยะ ดังรูปที่ 4.19 แสดงต้นแบบของเซลล์สุริยะทดสอบชนิดลอยน้ำที่ใช้ขั้วยางธรรมชาติเป็นขั้วร่วมไฟฟ้า เพื่อศึกษาตัวแปรอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิด้านที่รับแสงของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าร่วมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้าติดตั้งบนพื้นดิน กับอุณหภูมิด้านที่รับแสงของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมบนโฟมยางธรรมชาติลอยน้ำ โดยนำไปวางไว้ในบริเวณโล่งที่มีแสงแดดส่อง ดังรูปที่ 4.20 เก็บข้อมูลเปรียบเทียบ 3 เวลา คือ เช้า, กลางวัน, เย็น เก็บข้อมูลในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน

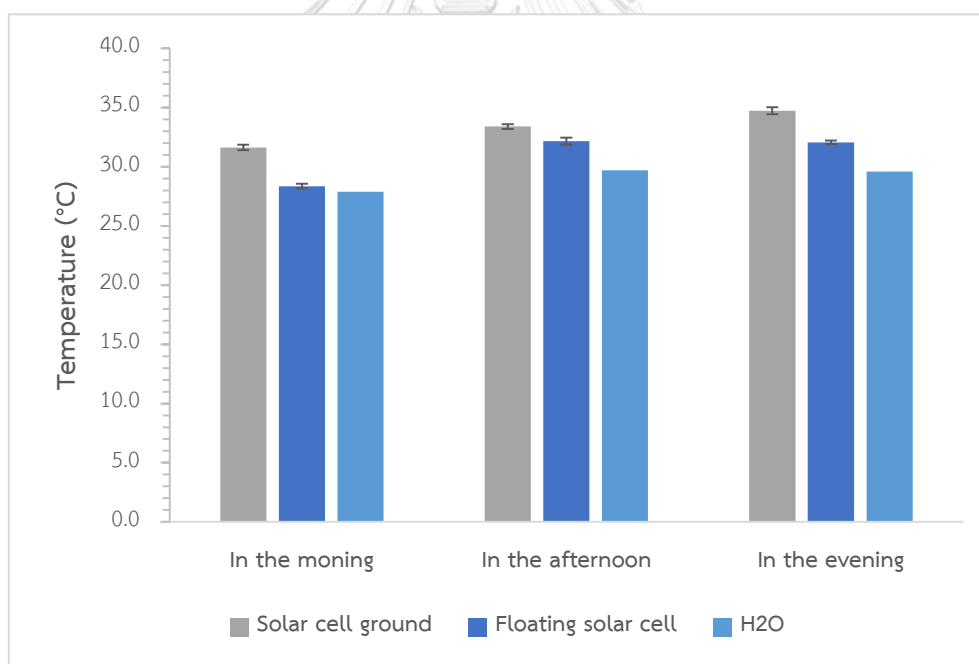


รูปที่ 4.18 ลักษณะของเซลล์สุริยะชนิดลอยน้ำที่ใช้ขั้วยางธรรมชาติเป็นขั้วร่วมไฟฟ้า

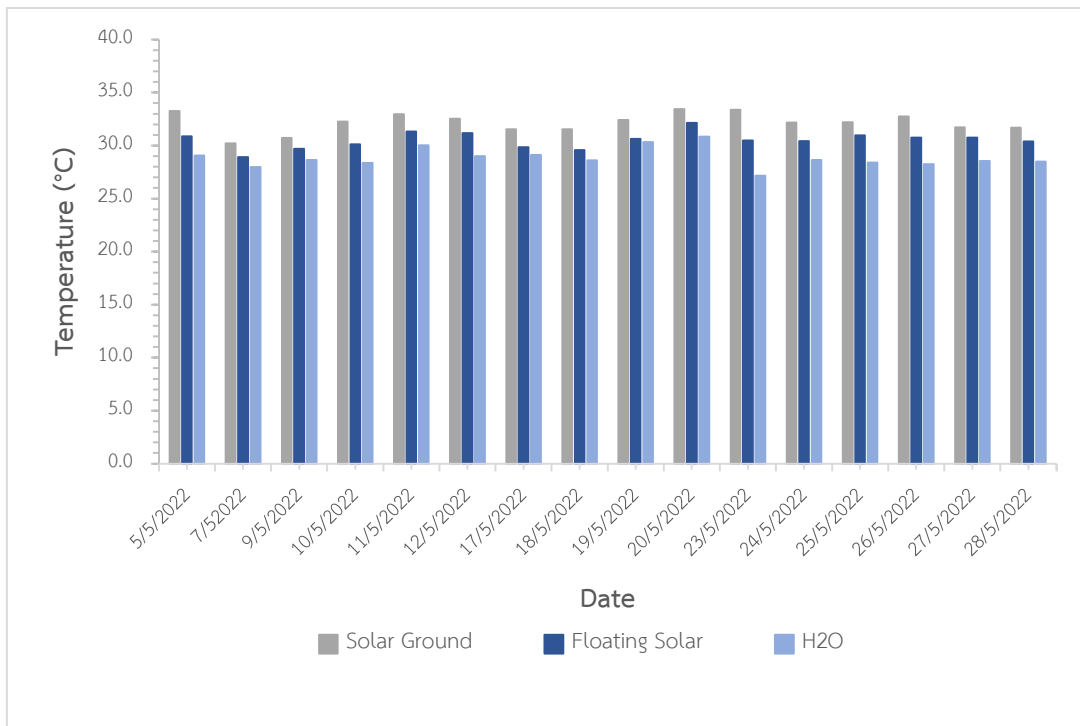


รูปที่ 4.19 การทดสอบอุณหภูมิน้ำต่ออุณหภูมิเซลล์สุริยะ

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาเป็นระยะเวลา 1 เดือน ให้ผลดังรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 แสดงถึงแผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำ พบว่าโพลีเมอร์สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ตลอดระยะเวลาทดสอบ และช่วยลดอุณหภูมิของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงได้จริง ทั้งนี้ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ในแต่ละช่วงเวลารับกับสภาพอากาศและบริเวณที่โดนแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.20 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4.21 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำระยะเวลา 1 เดือน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาและพัฒนาต้นแบบของโพโตวเทอิกเซลล์ชนิดลอยน้ำ ที่ทำจากโพลีเมอร์ธรรมชาตินำไฟฟ้าและการสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์สุริยะ โดยเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุทดแทนกระจกและแผ่นทินัมที่มีราคาสูงและการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติ

การสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าเตรียมโดยการผสมพอลิเมอร์นำไฟฟ้าเข้ากับยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้จะใช้พอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย PEDOT:PSS และ พอลิไพโรล (PPy) โดยการเตรียมพอลิไพโรลจะเตรียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วย ความเข้มข้นของไพโรลมอนอเมอร์ , ความต่างศักย์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

แรกเริ่มทำการผสมน้ำยางธรรมชาติกับ PEDOT:PSS ในอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร เนื่องจากยางธรรมชาติมีค่าความต้านที่สูงจึงต้องการลดความต้านทานลงก่อนนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไพโรล จากนั้นนำน้ำยางผสม PEDOT:PSS นี้มาเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นสื่อสำหรับการเกิดปฏิกิริยา นำขั้วยางธรรมชาตินี้ไปจุ่มลงสารละลายที่มีไพโรลมอนอเมอร์ โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็น 2.00 โมลาร์ LiClO_4 ในตัวทำละลายเมทานอล จากผลการทดลองยืนยันการมีอยู่ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดได้ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งปรากฏยอดกราฟเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติ, PEDOT:PSS และ พอลิไพโรล (PPy) แต่การบดบังของโครงสร้างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดทำให้ยอดกราฟเอกลักษณ์บางยอดกราฟหายไป ซึ่งได้ทำการยืนยันด้วยเทคนิค CHNS ที่บ่งบอกถึงธาตุสำคัญในองค์ประกอบได้ จากข้อมูลพบร้อยละของ N ที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของไพโรล ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคแวนเดอเพาว์ (Van der pauw) โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ความเข้มข้นของไพโรลมอนอเมอร์มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยจากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของไพโรลเท่ากับ 0.05 โมลาร์ให้ค่าการนำ

ไฟฟ้าที่ต่ำกว่าที่ 0.5 โวลต์ โดยค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 31.621 S/cm จากผลการศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้นของพอลิไพโรลในยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 โวลต์ พบว่ามีความหนาแน่นเชื่อมติดกันมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.05 โวลต์ ซึ่งเป็นผลให้การส่งผ่านของอิเล็กตรอนได้ดีกว่า นอกจากนี้พบว่ายิ่งความเข้มข้นของไพโรลมากขึ้นความหนาแน่นของยางธรรมชาติจะเพิ่มมากขึ้น จากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นเช่นกัน

- 2) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิไพโรล จากผลการทดลองพบว่ายิ่งใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นค่าการนำไฟฟ้ากลับลดลง โดยการเกิดออกซิเดชันที่มากเกินไปส่งผลให้ผิวหน้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้ามีลักษณะที่ไม่เรียบ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่าแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่ความต่างศักย์เท่ากับ 7 โวลต์ มีผิวหน้าที่แตกเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาที่มากเกินไป ส่งผลให้ฟิล์มถูกทำลายมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติเท่ากับ 4 โวลต์ เป็นผลให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 4 โวลต์ให้ค่าการนำไฟฟ้าดีที่สุดเท่ากับ 31.621 S/cm
- 3) ผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยที่ 40 นาทีให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 52.208 S/cm แต่เช่นเดียวกับที่ความต่างศักย์เท่ากับ 7 โวลต์คือผิวหน้าของยางธรรมชาติไม่เรียบ ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปใช้ในการประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง

จากการสังเคราะห์ยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของไพโรลมอนอเมอร์อยู่ที่ 0.5 โวลต์ ใน 2.00 โวลต์ LiClO_4 ในตัวทำละลายเมทานอล โดยใช้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาที่ 4 โวลต์เป็นเวลา 10 และ 20 นาที ให้ผลค่าการนำไฟฟ้าที่ดีในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ต่อมาได้ทำการเปรียบเทียบสภาพความต้านทานระหว่างกระจกFTO, กระจกFTO เคลือบแพลทินัม(Pt/FTO), และยางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพบว่าสภาพความต้านทานของกระจกทั้งสองชนิดนั้นมีค่ามากกว่าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้า นั้นหมายถึงกระจกFTO มีสภาพนำ

ไฟฟ้าที่น้อยกว่าอย่างธรรมชาติ จากคุณสมบัตินี้ทำให้ยางธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งในงานวิจัยจะนำมาทดแทนการใช้กระจกFTO

จากสภาพนำไฟฟ้าที่ดีของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าได้นำมาทำการศึกษาความสามารถในการเป็นขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยได้ทำการการวิเคราะห์โดยใช้ระบบ 2 ขั้ว ซึ่งประกอบไปด้วยขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้าและขั้วกระจกFTOเคลือบPt ใช้เจลอิเล็กโทรไลต์ในการศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ของ I_3^-/I^- ใช้อัตราการสแกนที่ 20 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ในช่วงความต่างศักย์ -0.4 ถึง 1.2 ซึ่งพบว่ายางธรรมชาตินำไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าปรากฏยอดกราฟทั้งฝั่งแคโทดิกและแอโนดิกของไอโอดีนไอออน แต่มีการเลื่อนของยอดกราฟออกจากช่วงไปเมื่อเทียบกับของขั้วไฟฟ้าชนิดแพลทินัม ซึ่งอาจจะเกิดจากชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เป็นอย่างไรทำให้เกิดปฏิกิริยานั้นเกิดในช่วงที่ความต่างศักย์ขึ้น ต่อมาได้ศึกษาตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านจากตัวแปรสามตัวคือ ความหนาแน่นประจุฝั่งแคโทดิก (J_{red}), ความห่างของยอดกราฟ (E_{pp}) และอัตราส่วนความหนาแน่นของประจุระหว่างแอโนดิกและแคโทดิก ($|J_{ox}|/|J_{red}|$) จากผลการวิเคราะห์พบว่าคุณสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของยางธรรมชาตินำไฟฟ้านั้นน้อยกว่าของแพลทินัมอยู่มากและความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาผันกลับยังคงช้าอยู่มาก อาจเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำและชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เป็นพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นขั้วไฟฟ้าที่ทำจากยางธรรมชาติได้ แต่อาจต้องอาศัยการพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพต่อไป

จากผลการวิเคราะห์ความเสถียรของขั้วไฟฟ้าที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยการเพิ่มจำนวนรอบ (cycle) มากขึ้นแสดงให้เห็นว่าขั้วยางธรรมชาติมีความเสถียรและความเป็นเนื้อเดียวกันของขั้วไฟฟ้า ต่อมาศึกษาที่อัตราการสแกนต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาฝั่งแอโนดิกและแคโทดิกในทางบวกและลบที่มากขึ้น บ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่ผ่านของปฏิกิริยารีดอกซ์บนขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า โดยไม่มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันของ I_3^-/I^- กับขั้วยางธรรมชาตินำไฟฟ้า

ต่อมาได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าวร่วมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้า เทียบกับขั้วไฟฟ้าวร่วมชนิดแพลทินัมบนกระจกนำไฟฟ้า โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่สำคัญประกอบไปด้วย ความต่างศักย์วงจรเปิด (V_{oc}), ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจร (J_{sc}), ฟิลแฟกเตอร์ (FF), ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะ (% PCE), ความต้านทานอนุกรม (R_{series}) และความต้านทานขนาน (R_{shunt}) โดยจากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า

ค่าความต่างศักย์วงจรเปิดของขั้วไฟฟ้าร่วมจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้ามีค่าที่ใกล้เคียงกับแพลทินัมซึ่งมีค่าที่สูง เท่ากับ 0.90, 0.79 และ 0.8 โวลต์ ตามลำดับแต่ค่าความหนาแน่นกระแสลัดวงจรยังคงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าร่วมชนิดแพลทินัมตัวแปรถัดมาคือฟิลแพกเตอร์ในยางธรรมชาตินำไฟฟ้ายังมีค่าที่น้อยอยู่ ส่วนของแพลทินัมนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งหากพิจารณาถึงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชั้นของขั้วไฟฟ้าร่วมทั้งสามชนิดนั้นพบว่า มีค่าความต้านทานอนุกรมที่สูง และมีค่าความต้านทานชั้นที่ต่ำซึ่งส่งผลกระทบต่อฟิลแพกเตอร์ที่น้อยนั่นเอง ในส่วนของประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นแพลทินัมเคลือบกระจกFTO นั้นให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 2.04 ส่วนขั้วไฟฟ้าร่วมที่ทำจากยางธรรมชาติที่สภาวะ 10 และ 20 นาทีให้ค่าประสิทธิภาพร้อยละ 0.595 และ 0.933 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพจากการใช้ขั้วไฟฟ้าร่วมจากยางธรรมชาติในเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงนั้นยังให้ค่าประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานยังคงต่ำอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปรข้างต้นที่ได้กล่าวมา

ต่อมาเป็นการศึกษาในเรื่องของโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดลอยน้ำในงานวิจัยนี้ นำโพลียเอทิลีนออกไซด์มาใช้เป็นแพลลอยน้ำ โดยพบว่าโพลียเอทิลีนออกไซด์มีน้ำหนักที่เบาและสามารถลอยอยู่บนน้ำได้ ต่อมาได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของโฟโตวอลเทอิกเซลล์ชนิดลอยน้ำ ในการทดสอบจะนำเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นขั้วจากยางธรรมชาตินำไฟฟ้ามาใช้เป็นตัวทดสอบอุณหภูมิโดยประกอบยึดกับโพลียเอทิลีนออกไซด์ จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาเช้า, กลางวัน, เย็น แล้วทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์สุริยะที่วางบนพื้น (Solar cell ground) และเซลล์สุริยะลอยน้ำ (Floating solar cell) และอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงบนโพลียเอทิลีนออกไซด์นั้นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงที่ติดตั้งบนพื้น เนื่องจากน้ำมีความทนต่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงจึงทำให้อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงเท่ากับพื้นที่รับความร้อนอยู่ ทั้งนี้ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาขึ้นกับสภาพอากาศและบริเวณที่โดนแสงอาทิตย์

ข้อเสนอแนะ

การนำวัสดุจากธรรมชาติมาปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อเพิ่มการใช้งานที่หลากหลายต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการใช้งาน จากการศึกษาพบว่ายางธรรมชาตินำไฟฟ้าเมื่อนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าร่วมในการประกอบเซลล์สุริยะชนิดสีย้อมไวแสงยังให้ประสิทธิภาพที่ต่ำอยู่มากเนื่องจากขาดคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาและความว่องไว แต่มีข้อดีคือมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี และมีความยืดหยุ่นสามารถ

นำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆได้ จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ พบว่าค่าความต้านทานอนุกรมมีค่าสูงทั้งในเซลล์ที่ใช้ขั้วไฟฟาร่วมเป็นแพลทินัมและในยางธรรมชาตินำไฟฟ้า อาจเนื่องมาจากความต้านทานที่หน้าสัมผัสที่มาก ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าทั้งสองที่มากจากการใช้วัสดุยึดขั้วไฟฟ้าที่หนาขึ้น และขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดต่างๆ อาจทำการแก้ไขด้วยการสร้างหน้าสัมผัสด้วยสีฟุ้งเงินหรือ ultrasonic soldering ให้ใกล้เคียงบริเวณเกิดปฏิกิริยาเพื่อลดความต้านทานอนุกรม ส่วนความต้านทานชั้นที่ต่ำนั้นอาจแก้ไขด้วยการปรับปรุงขั้วไฟฟ้ารับแสงในขั้นตอน Post-treatment และปรับปรุงความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าชนิดยางธรรมชาติ โดยศึกษาวิธีการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาลงในแผ่นยางธรรมชาตินำไฟฟ้าก่อนนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟาร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเซลล์สุริยะชนิดสีอ้อมไวแสงที่ใช้ขั้วไฟฟาร่วมที่ทำจากยาง



บรรณานุกรม

- [1] iEnergyGuru, ทำความรู้จักสารกึ่งตัวนำ:ผู้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า, 2015.
<https://ienergyguru.com/2015/06/สารกึ่งตัวนำ>.
- [2] ว. วรรณเลิศลักษณ์, สารกึ่งตัวนำ, 2560. <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7237-2017-06-11-14-15-33>.
- [3] K.S. Jordan Hanania, Jason Donev, Band gap, 2015.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Band_gap.
- [4] HyperPhysics, Fermi Level. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/Fermi.html>.
- [5] HyperPhysics, P-N Junction. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/pnjun.html>.
- [6] K.M.G.N. Gupta, P-N Junctions and Their Breakdown Mechanisms, Scrivener Wiley Publishing, USA, 2015.
- [7] T.Takahashi, Semiconductor Devices, (2005).
- [8] ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์.
https://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php.
- [9] ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์, 2017.
<http://www.jmtpneumatic.com/article/4/%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%87%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B9%8C>.
- [10] DSSC: Dye Sensitized Solar Cells. <https://www.gamry.com/application-notes/physechem/dssc-dye-sensitized-solar-cells/>.
- [11] M. Grätzel, Photoelectrochemical cells, (2001).
- [12] C.H.a.S. Bowden. <http://www.pveducation.org/pvcdrom/instructions>.
- [13] ก. กระทรวงพลังงาน, โครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์, 2554.
- [14] M.C. R.Cazzaniga, M.Rosa-Clot,P.Rosa-Clot,G.M.Tina,C.Ventura, Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions, (2018).
- [15] Q.L. Jihuai Wu, Leqing Fan, ZhangLan, Pinjiang Li, Jianming Lin, Sanchun Hao, High-

performance polypyrrole nanoparticles counter electrode for dye-sensitized solar cells, (2008).

[16] Z.L. Jihuai Wu, Jianming Lin, Miaoliang Huang, Yunfang Huang, Leqing Fan, Genggeng Luo, Yu Lin, Yimin Xie and Yuelin Wei, Counter electrodes in dye-sensitized solar cells, (2017).

[17] F.J. CONGCONG LIU, MINGYU HUANG, RUIRUI YUE, BAOYANG LU, JINGKUN XU, and GUODONG LIU, Thermoelectric Performance of Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)/Poly(Styrenesulfonate) Pellets and Films, ELECTRONIC MATERIALS 40 (2011).

[18] M.W. Youqing Shen, In situ doping polymerization of pyrrole with sulfonic acid as a dopant, Synthetic Metals 96(2) (1998) 127-132.

[19] A.A. Mostafizur Rahaman, Mohammed Almoigli, and Shaykha Alzahly, Chemical and Electrochemical Synthesis of Polypyrrole Using Carrageenan as a Dopant: Polypyrrole/Multi-Walled Carbon Nanotube Nanocomposites, Polymers (Basel) (2018).

[20] K.K. Yuta Ohtani, Mami Saneshige, Kei Takami & Hajime Hoshi, Effect of electropolymerization duration on the structure and performance of polypyrrole/graphene nanoplatelet counter electrode for dye-sensitized solar cells, (2017).

[21] พรพรรณ นิธิอุทัย, เทคนิคการออกสูตรยาง, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 2540.

[22] M. Morton, Rubber technology Van Nostrand Reinhold, New York, 1995.

[23] D.C. Blackley, Polymer Latices: Science and Technology, London, Chapman & Hall, 1997.

[24] Porntip tasakorn, Preparation of conductive natural rubber using polypyrrole, Polymer science Chulalongkorn University, Bangkok, 1996.

[25] J.W. Gentian Yue, Yaoming Xiao, Jianming Lin, Miaoliang Huang, and Zhang Lan, Application of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):Polystyrenesulfonate/Polypyrrole Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells, (2012).

[26] Q. Xu, M. Li, P. Yan, C. Wei, L. Fang, W. Wei, H. Bao, J. Xu, W. Xu, Polypyrrole-coated cotton fabrics prepared by electrochemical polymerization as textile counter electrode for dye-sensitized solar cells, Organic Electronics 29 (2016) 107-113.

- [27] I.A. Sahito, K.C. Sun, A.A. Arbab, M.B. Qadir, Y.S. Choi, S.H. Jeong, Flexible and conductive cotton fabric counter electrode coated with graphene nanosheets for high efficiency dye sensitized solar cell, *Journal of Power Sources* 319 (2016) 90-98.
- [28] N.L.N. Miguel H. Boratto, Roberto A. Ramos, Jr., Rafael Aparecido da Silva and Carlos F. O. Graeff, Flexible conductive blend of natural rubber latex with PEDOT:PSS, *APL Materials*.
- [29] B.C.a.S.P. Kittaya Panploo, Natural rubber latex foam with particulate fillers for carbon dioxide adsorption and regeneration, (2019).
- [30] Y.L. Jianyong Ouyang, Enhancement of the electrical conductivity of polypyrrole films on applying higher voltage, *Synthetic Metals* (1995).
- [31] T.L. Hui Song, Yongqin Han, Yanmin Wang, Chengxiang Zhang, Qing Wang, Optimizing the polymerization conditions of conductive Polypyrrole, (2016).
- [32] S.W. Jihuai Wu, Weihai Sun, Electropolymerization and application of polyoxometalate-doped polypyrrole film electrodes in dye-sensitized solar cells, (2020).
- [33] บ.ช.ว.แ.ม. มะแซ, การเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงกิ่งโครงสร้างตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
- Preparations of Semi-interpenetrating polymer network from natural rubber latex and polyvinyl alcohol, *Science and Technology* 7 (2017) 78-87.
- [34] M.M.P.-B. uan J. Villora-Pico', and Antonio Sepu'lveda-Escribano, N-Doped Activated Carbons from Polypyrrole –Effect of Steam Activation Conditions, (2021).
- [35] P.K. Subashini Gnanasekar, Soon Kwan Jeong & Andrews Nirmala Grace, Pt-free, low-cost and efficient counter electrode with carbon wrapped VO₂(M) nanofiber for dyesensitized solar cells, (2019).
- [36] C.-C.W. Wei-Yun, Shih-Yuan Lu, Graphene aerogels as a highly efficient counter electrode material for dye sensitized solar cells, (2012).
- [37] Q.T. Benlin He, Tianlun Liang and Qinghua Li, Efficient dye-sensitized solar cells from polyaniline–single wall carbon nanotube complex counter electrodes, (2013).
- [38] Y.X. Wenjing Hou, Gaoyi Han, Haihan Zhou, Electro-polymerization of polypyrrole/multi-wall carbon nanotube counter electrodes for use in platinum-free

dye-sensitized solar cells, (2016).

[39] G.Y. Xingping Ma, Jihuai Wu and Zhang Lan, Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Made from High Catalytic Ability of Polypyrrole@Platinum Counter Electrode, (2015).

[40] Solar Cells, 2010. <http://sunpowercell.blogspot.com/2010/09/cell-temperature-solar-cell.html>.



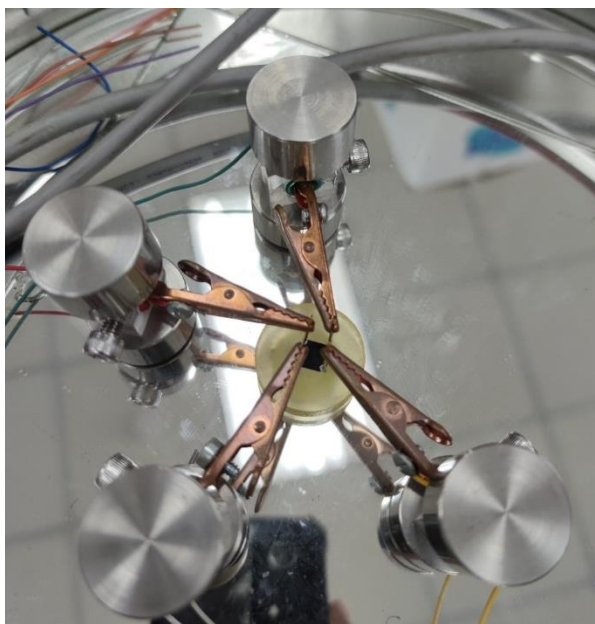


ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าด้วยเทคนิค แวน เดอ พาวน์ (Van der Pauw)

การหาค่าสภาพความต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าของยางธรรมชาตินำไฟฟ้าโดยเทคนิค แวน เดอ พาวน์ โดยเริ่มจากการตัดตัวอย่างแผ่นยางธรรมชาติจากนั้นทำการสร้างผิวหน้าสัมผัสโดยการใช้สีฟันท์เงินป้ายไปที่มุมของตัวอย่างทั้ง 4 มุม จากนั้นนำไปวางบนแท่นวางตัวอย่าง แล้วนำเข็มวัดจุ่มที่มุมดังรูป



โดยจะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง (configuration) I_{34} (แทนด้วย 3) และ I_{41} (แทนด้วย 4) แล้วทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่ V_{12} และ V_{23} ทำการจ่ายกระแส 4 ค่า ทำการวัดที่กระแส เป็นบวกและลบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางตัวแปรในการคำนวณ

กระแส ที่จ่าย (mA)	V (mV)			Vtotal	R=(V/I)	\bar{R}	d (cm)
	config	+	-				
1	3	0.2385	-0.2455	0.2420	0.2420	0.5853	0.0131
	4	0.9168	-0.9403	0.9286	0.9286		
2	3	0.4821	-0.4931	0.4876	0.2438	0.5856	
	4	1.8514	-1.8581	1.8548	0.9274		
3	3	0.7235	-0.7321	0.7278	0.2426	0.5877	
	4	2.7953	-2.8015	2.7984	0.9328		
4	3	0.9431	-0.9327	0.9379	0.2345	0.5844	
	4	3.7309	-3.7443	3.7376	0.2420		

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \bar{R} F(Q) \quad (1)$$

โดยที่ ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า (Sheet resistivity: $\Omega \cdot \text{cm}$)

d = ความหนา (mm)

$$\bar{R} = \frac{(R_{AB,CD} + R_{BC,DA})}{2} \text{ ความต้านทานเฉลี่ย}$$

F = แฟคเตอร์แก้ค่า (Correction factor) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Q

Q = อัตราส่วนระหว่างความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งให้ค่ามากกว่า 1

จากสมการที่ 1 ยังติดตัวแปร F(Q) อยู่ ซึ่งเราสามารถแก้ค่า Q เพื่อหาค่า F ได้ โดยการนำเอาอัตราส่วนระหว่างสอง configuration

$$Q = \frac{R_3}{R_4} \quad ** \text{ นำค่ามาหารเสมอ}$$

ตารางที่ 2 ตารางตัวแปรในการคำนวณค่า Q

กระแส ที่จ่าย (mA)	V (mV)			V_{total}	$R = \frac{V}{I}$	R_{av}	$Q = \frac{R_4}{R_3}$
	config	+	-				
1	3	0.2385	-0.2455	0.2420	0.2420	0.5853	3.837
	4	0.9168	-0.9403	0.9286	0.9286		
2	3	0.4821	-0.4931	0.4876	0.2438	0.5856	3.804
	4	1.8514	-1.8581	1.8548	0.9274		
3	3	0.7235	-0.7321	0.7278	0.2426	0.5877	3.845
	4	2.7953	-2.8015	2.7984	0.9328		
4	3	0.9431	-0.9327	0.9379	0.2345	0.5844	3.985
	4	3.7309	-3.7443	3.7376	0.2420		

ต่อมาทำการหาค่า F = แฟคเตอร์แก้ค่า (Correction factor) ให้เทียบกับค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเทียบค่า F(Q)

A(X)	Data 1 f(Y) (interpolation of data1_f)
3.68687	0.8739
3.87879	0.86546
4.07071	0.87531

จากตารางที่ 1 ได้ว่า

Q = 3.837 จากตารางพบว่าเป็นค่าอยู่ระหว่าง 3.68687 กับ 3.87879 ให้ทำการ interpolate โดย
จากสมการ

$$\frac{y-y_1}{x-x_1} = \frac{y_2-y_1}{y_2-x_1}$$

ในงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณค่า interpolate โดยใช้โปรแกรมExcel โดยใช้สูตรการคำนวณดังรูปที่

1

3.68687	0.8739	=FORECAST(3.837,U39:U40,T39:T40) FORECAST(x, known_y's, known_x's)
3.87879	0.86546	
4.07071	0.85731	

รูปที่ 1 แสดงสูตรinterpolate ในโปรแกรมexcel

เมื่อทำการกด enter จะได้ ค่าออกมาดังรูปที่ 2

3.68687	0.8739	0.86729778
3.87879	0.86546	
4.07071	0.85731	

รูปที่ 2 แสดงค่าจากการคำนวณหลังกดenter

โดยค่าทั้งหมดที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรในการคำนวณสภาพความต้านทาน

กระแสที่ จ่าย (mA)	config	V_{total}	$R = \frac{V}{I}$	R_{av}	d (cm)	$Q = \frac{R_4}{R_3}$	F(Q)
1	3	0.2420	0.2420	0.5853	0.0131	3.837	0.8673
	4	0.9286	0.9286				
2	3	0.4876	0.2438	0.5856		3.804	0.8687
	4	1.8548	0.9274				
3	3	0.7278	0.2426	0.5877		3.845	0.8841
	4	2.7984	0.9328				
4	3	0.9379	0.2345	0.5844		3.985	0.8669
	4	3.7376	0.9344				

ดังนั้นจากสมการที่ 1

$$\text{จะได้ว่า } \rho = \frac{\pi(0.0131)}{\ln 2}(0.5853)(0.8673)$$

$$\rho = 0.03014 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าสามารถนำมาคำนวณได้ ดังสมการที่ 2

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

โดยที่ σ = สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) $\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

$$\text{จะได้ว่า } \sigma = \frac{1}{0.03014}$$

$$\sigma = 33.178 \text{ S/cm}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พิมพลอย ประเสริฐวสุ
วัน เดือน ปี เกิด	29 กรกฎาคม 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาจบจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เข้าร่วมการประชุมวิชาการ PPC&PETROMAT symposium 2021 เมื่อ วันที่ 1 กรกฎาคม 2564 นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่อง "Conductive natural rubber foam for floating photovoltaic cell"
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 61 หมู่บ้านอยู่เจริญ ซอยลาดพร้าว 101 ถนนลาดพร้าว แขวง คลองเจ้าคุณสิงห์ เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310