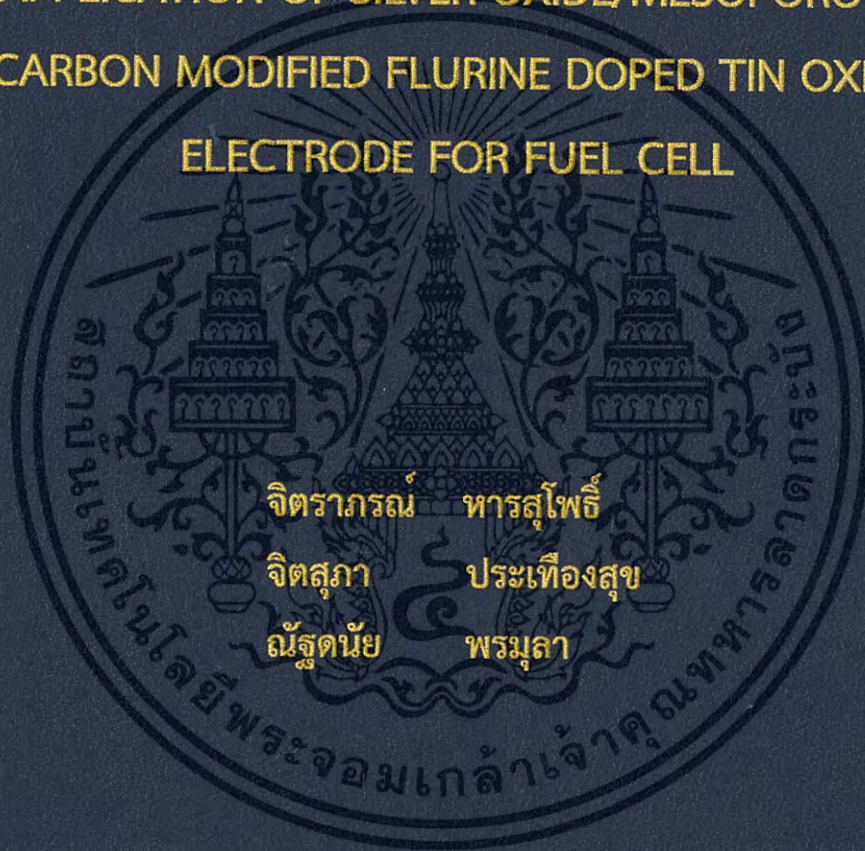


การประยุกต์ใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุง
ด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เพื่อใช้ในเซลล์
เชื้อเพลิง

APPLICATION OF SILVER OXIDE/MESOPOROUS
CARBON MODIFIED FLURINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR FUEL CELL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การประยุกต์ใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุง
ด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เพื่อใช้ในเซลล์
เชื้อเพลิง

APPLICATION OF SILVER OXIDE/MESOPOROUS
CARBON MODIFIED FLURINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR FUEL CELL



จิตรารักษ์ หารสุโพธิ์
จิตสุภา ประเทืองสุข
ณัฐฉานย์ พรหมลา

6.002658 58
i.....

TB00200

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF SILVER OXIDE/MESOPOROUS
CARBON MODIFIED FLURINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR FUEL CELL



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

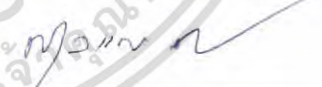
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์ใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วย
 เมโซพอร์รัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง
 Application of Silver Oxide/Mesoporous Carbon Modified
 Fluorine Doped Tin Oxide Electrode for Fuel Cell

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตราภรณ์ หารสุโพธิ์ รหัสนักศึกษา 55050600
 นางสาวจิตสุภา ประเทืองสุข รหัสนักศึกษา 55050601
 นายณัฐดนัย พรมลา รหัสนักศึกษา 55050646

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
 (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เจริญ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วย เมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตราภรณ์ หารสุโพธิ์ รหัสนักศึกษา 55050600 นางสาวจิตสุภา ประเทืองสุข รหัสนักศึกษา 55050601 นายณัฐดนัย พรมุลลา รหัสนักศึกษา 55050646
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเทคนิคการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ (Ag oxide/mesoporous carbon/FTO) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol oxidation) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง โดยเตรียมเมโซพอร์สคาร์บอนด้วยซูโครส กรดซัลฟิวริกเข้มข้น น้ำกลั่น และพลูโรนิก พี123 (Pluronic P123) ซึ่งจะได้เมโซพอร์สคาร์บอน แล้วนำไปปรับปรุงบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จากนั้นทำการเกาะติดเงินออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลติกโวลแทมเมทรี โดยให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.6 ถึง $+1.0$ โวลต์ จากนั้นนำเมโซพอร์สคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงแล้วไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (BET) และเครื่องวิเคราะห์ธาตุโดยอาศัยการกระจายของรังสีเอ็กซ์ (EDX) นำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงมาทำการตรวจวัดสารละลายเอทิลีนไกลคอล โดยใช้เทคนิคโซลติกโวลแทมเมทรี พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดสารละลายเอทิลีนไกลคอลในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ซึ่งให้ค่ากระแสในการตรวจวัดสูงสุด ชิดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 2.258 มิลลิโมลต่อลิตร ชิดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เท่ากับ 9.829 มิลลิโมลต่อลิตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.5999 ดังนั้น ขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพมากพอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเอทิลีนไกลคอลได้ เพื่อนำไปพัฒนาในกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงต่อไป

คำสำคัญ : พลูโรนิก พี123 เซลล์เชื้อเพลิง เมโซพอร์สคาร์บอน เอทิลีนไกลคอล โวลแทมเมทรี

Title	Application of Silver Oxide/Mesoporous Carbon Modified Fluorine Doped Tin Oxide Electrode for Fuel Cell		
Students	Miss. Jitraporn Hansupo	Student ID	55050600
	Miss. Jitsupa Pratuangsuk	Student ID	55050601
	Mr. Natdanai Pornmula	Student ID	55050646
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
Academic Year	2015		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith		

Abstract

In the thesis study, Electrodeposition technique on silver oxide/mesoporous carbon modified fluorine doped tin oxide electrode (Ag oxide/MSC/FTO) and ethylene glycol oxidation (EGO) to apply in fuel cell. In the first step, prepared mesoporous carbon by combining sucrose, sulfuric acid, distilled water and pluronic P123. Next, the mesoporous carbon was modified on FTO. MSC/FTO, doped with Ag oxide, was electrodeposited by cyclic voltammetry supplied at -0.6 to +1.0 V. Then, the resulting MSC and Ag oxide/MSC/FTO was characterized by X-ray diffraction (XRD), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), field electron scanning microscopy (FE-SEM), Surface area and porosity analyzer (BET) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The next step, the improved Ag oxide/MSC/FTO was used to measure ethylene glycol (EG) by cyclic voltammetry. Ag oxide/MSC/FTO exhibits a synergistic catalytic effect toward EGO. The oxidation peak currents of EG was linear with concentration in potassium hydroxide 0.1 mol L^{-1} , limit of detection was 2.258, limit of quantitation was 9.829 and relative standard deviation (%RSD) of 0.5999. This modified electrode was successfully tested for measurement of EG and application in fuel cell.

Keywords: Pluronic P123, Fuel cell, Mesoporous carbon, Ethylene Glycol, Voltammetry

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีความรู้และแนวทางการแก้ปัญหาตลอดการดำเนินงานวิจัย ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และผศ.ดร.ณัฐภูมิ เชิงชั้น อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าอย่างยิ่งในการเป็นในการเป็นอาจารย์คณะกรรมการ ตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์การสังเคราะห์สารที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณสมทบ สันติเบ็ญกุล ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีความรู้ แนวทางการดำเนินงานอย่างมีระบบ ตลอดจนให้ความรู้ในเรื่องกระบวนการแก้ปัญหา ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน วิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทดลองและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี ที่ให้คำปรึกษา ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการเบิกจ่ายสารเคมีทั้งภายในและภายนอกภาควิชา

ขอขอบพระคุณ คุณวิรพงษ์ ครพนม เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์(X-ray diffraction, XRD)

ขอขอบพระคุณ บิศา มารดา และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้ประโยชน์และความรู้อันพึงมีจากโครงการพิเศษเล่มนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอนอรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ ด้วย

จิตรารภรณ์	हारसुपोठी
จิตสุภา	ประเทืองสุข
ณัฐดนัย	พรมุลา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell).....	4
2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline fuel cell, AFC).....	4
2.1.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane, PEM).....	5
2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลกอฮอล์โดยตรง (Direct alcohol fuel cell).....	6
2.1.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid fuel cell)	7
2.1.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอนเนตหลอมเหลว (Molten carbonate fuel Cell, MCFCs).....	8
2.1.6 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid oxide fuel cell, SOFC)	9
2.2 คาร์บอน	9
2.2.1 คาร์บอนแบล็ค (Carbon black).....	9
2.2.2 กราฟีน(Graphene).....	10
2.2.3 คาร์บอนนาโนทิวบ์.....	11
2.2.4 เส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon nanofibers, CNF).....	12
2.2.5 เมโซพอร์ัสคาร์บอน (Mesoporous carbon).....	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.1.1 สารเคมี.....	19
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	20
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	21
3.2.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน	22
3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเมโซพอร์สคาร์บอน และเงินออกไซด์/เมโซพอร์สคาร์บอน/ขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน....	22
3.2.3 การเตรียมขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วย เมโซพอร์สคาร์บอน	23
3.2.4 วิธีการเตรียมขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วย เมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการเกาะ ติดทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	23
3.2.5 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านความต้านทานของขี้ไฟฟ้าขี้ไฟฟ้าที่ พัฒนาขึ้น	24
3.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพของขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วย เมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยวิธีการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า ในการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ด้วยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมทรี	24
3.2.7 การศึกษาเปรียบเทียบขั้นความหนาของเมโซพอร์สคาร์บอนที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยขี้ไฟฟ้าฟลูออรีน เจือทินออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนในการตรวจวัดด้วยสาร ละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$) ด้วยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมทรี	25
3.2.8 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ เอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ด้วยขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการ เกาะติดทางเคมีไฟฟ้า ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	25
3.2.9 การศึกษาการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและ เอทานอล ด้วยขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ส คาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า ด้วย เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry).....	27
3.2.10 ศึกษาคุณลักษณะของขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเม- โซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.11 ศึกษาความเสถียรภาพ(Stability)และการทำซ้ำ(Reproducibility)ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์.....	28
3.2.12 การศึกษาการทำงานและความเสถียรของขั้วไฟฟ้าในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ ที่ +0.39V โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry.....	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	29
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมโซพอร์สคาร์บอน.....	29
4.1.1 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR).....	29
4.1.2 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (XRD).....	30
4.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	31
4.1.4 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (BET).....	32
4.1.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมี (EDX).....	33
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน.....	34
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	35
4.4 การวัดค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).....	36
4.5 ผลการศึกษาการเตรียมขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	37
4.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล.....	37
4.6.1 การศึกษาผลของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม.....	39
4.6.2 ผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม.....	37
4.7 ผลการศึกษาการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและ เอทานอลด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	42
4.7.1 การเกิดออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลที่ 0.39 โวลต์.....	42
4.7.2 การเกิดออกซิเดชันของเอทานอลที่ 0.39 โวลต์.....	42
4.8 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์และความเที่ยง.....	44
4.8.1 ช่วงเป็นเส้นตรง (Linearity range).....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8.2 ขีดจำกัดของการตรวจวัด(Limit of detection, LOD).....	47
4.8.3 ขีดต่ำสุดในการวิเคราะห์(Limit of quantitation, LOQ)	48
4.8.4 ความเที่ยง (precision).....	48
4.9 ผลการศึกษาการทำงานและความเสถียรของขั้วไฟฟ้าในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอก- ไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry.....	49
4.10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุง ด้วยเมโซพอร์ซิลคาร์บอนต่างชนิด.....	51
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	20
3.3 แสดงอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมในการศึกษาอิเล็กทรอนิกส์	26
3.4 แสดงสภาวะในการศึกษาหาอัตราสแกนที่เหมาะสม	26
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน	33
4.2 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าและกระแสออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทิน ออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO)	39
4.3 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์.....	5
2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	6
2.3 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลกอฮอล์โดยตรง.....	6
2.4 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก.....	7
2.5 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอนเนตหลอมเหลว.....	8
2.6 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง	9
2.7 คาร์บอนแบล็ค.....	10
2.8 โครงสร้างกราฟีนในแนวระนาบ 2 มิติ (2 dimension; 2-D).....	11
2.9 ลักษณะท่อนาโนคาร์บอน	12
2.10 ลักษณะเส้นใยนาโนคาร์บอน	13
3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	21
4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (A). Sucrose และ (B). Mesoporous carbon (MSC)	29
4.2 XRD pattern สเปกตรัม (A). เมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon; MSC) (B). เมโซพอร์สคาร์บอน/ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (MSC/FTO) (C) ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO).....	30
4.3 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (A). ภาพตัดขวางชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (B). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (1) (C). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (2) (D). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (3)	32
4.4 รูปแบบ EDX ของชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO).....	33
4.5 โซคลิกโวลแทมโมแกรมของการวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (K ₃ [Fe(CN) ₆]) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ชั้นไฟฟ้า (A) MSC (1) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 (B) MSC(2) สังเคราะห์ได้จาก กลูโคส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 (C) MSC(3) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครสและกรดซัลฟิวริก	34
4.6 รูปที่ 4.6 โซคลิกโวลแทมโมแกรมของการวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (K ₃ [Fe(CN) ₆]) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ชั้นไฟฟ้า (A) ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์(Ag ₂ O) (B) ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน(MSC/FTO) (C) ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO).....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟ Nyquist ของ (A) FTO bare, (B) MSC/FTO, (C) Ag ₂ O/MSC/FTO ในสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตร และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร	36
4.8 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทีลินไกลคอลลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (A) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (B) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (C) กรดซัลฟิวริก ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง 0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที.....	38
4.9 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (A) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (B) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (C) กรดซัลฟิวริก ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO) สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง 0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที.....	38
4.10 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทีลินไกลคอลลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรที่อัตราการสแกนต่างๆ	40
4.11 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรสแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ	40
4.12 การศึกษาอัตราการสแกนช่วง 5 ถึง 400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ในการตรวจวัดเอทีลินไกลคอลลและเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรจากการศึกษาจึงได้เลือกอัตราการสแกนที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีเนื่องจากให้กระแสที่เหมาะสมไม่เกิดสัญญาณการรบกวนจากสภาวะการตรวจวัดโดยสังเกตจากความเรียบของสัญญาณของแบ็คกราวนด์ สำหรับอัตราการสแกนในช่วงที่ต่ำกว่า 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีพบว่าการสแกนในแต่รอบมีความละเอียดมากกว่า ใช้เวลานานและได้กระแสการตรวจวัดต่ำ ส่วนอัตราการสแกนในช่วงที่สูงกว่า 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที การสแกนในแต่รอบไม่ละเอียดส่งผลทำให้ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดสารทั้งสามชนิดไม่คงที่และได้ลักษณะพีกกว้าง ทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าของสารทั้งสามชนิดได้อย่างชัดเจนการเลื่อนของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าไปทางด้านลบและบวกทำให้ไม่สามารถหาการตรวจวัดสารทั้งสามชนิดที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ได้ และเกิดสัญญาณการรบกวนจากสภาวะภายนอกแบ็คกราวนด์สูงทำให้กระแสที่ได้จากการตรวจวัดต่ำกว่าความเป็นจริง	41
4.13 สมการการแตกตัวของเอทีลินไกลคอลล.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.14		
ไซคลิกโวลแทมโม่แกรมของการตรวจวัดเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอน(Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที4.13 สมการการแตกตัวของเอทิลีนไกลคอล.....		43
4.15		
ไซคลิกโวลแทมโม่แกรมของการตรวจวัดเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือ.....		43
4.16		
ไซคลิกโวลแทมโม่แกรมของสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9,12,15,20 และ 25 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์.....		45
4.17		
ไซคลิกโวลแทมโม่แกรมของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9 และ 12 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/sโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์.....		46
4.18		
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้กับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9,12,15,20 และ 25 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/sโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์.....		46
4.19		
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้กับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9 และ 12 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์.....		47
4.20		
ผลการวัดความเสถียรของ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ในสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry.....		49
4.21		
ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนในสารละลายเอทิลีนไกลคอล ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry.....		49
4.22		
ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry		50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพลแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry.....	50
4.24 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง (A) เมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากซูโครส กรดซัลฟิวริกและ Pluronic p123 (B) เมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากเรโซซินอลและฟอร์มามีไฮด์ โดยใช้ตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1 ถึง +1 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อ.....	51



คำย่อ/สัญลักษณ์

MSC	เมโซพอร์สคาร์บอน
FTO electrode	ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
Ag oxide	เงินออกไซด์
EGO	Ethylene glycol oxidation
FT-IR	เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์
XRD	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์
EDX	การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
BET	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน
2θ	มุม 2 ที่ด้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนมาเป็นกระแสไฟฟ้า (electrochemical energy conversion device) โดยจะทำการเปลี่ยน Hydrogen (H_2) หรือ โปรตอน และ Oxygen (O_2) ให้กลายเป็นน้ำ (H_2O) ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการผลิตไฟฟ้าเกิดขึ้น โดยเซลล์เชื้อเพลิงทั่ว ๆ ไปนั้น ปฏิกริยาเคมีจะผลิตไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าสองขั้วคือด้านของเชื้อเพลิง (Anode) และ oxidant (Cathode) โดยมีเยื่อแผ่นชนิด proton exchange membrane เพื่อทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนโปรตอนจากด้านขั้วแอโนดไปยังด้านขั้วแคโทด และอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องเป็นตัวนำไอออนที่ดีแต่นำอิเล็กตรอน เนื่องจากจะทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร เซลล์เชื้อเพลิงให้กำเนิดไฟฟ้าโดยใช้หลักการของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งเหมือนกับการทำงานของแบตเตอรี่แต่เซลล์เชื้อเพลิงต่างจากแบตเตอรี่คือ แบตเตอรี่ใช้สารเคมีที่มีอยู่ในตัวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีเชื้อเพลิงเก็บไว้ภายในตัวเอง เชื้อเพลิงและตัวออกซิแดนต์ต้องถูกส่งจากภายนอกเข้าไป ในกรณีที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศเป็นตัวออกซิแดนต์จะได้ผลิตผลเป็นน้ำและกระแสไฟฟ้า ไม่มีการผลิตก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้น ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นพลังงานสะอาด และช่วยลดโลกร้อน แม้ว่าในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน ซึ่งมีการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง แต่การที่จะได้มาซึ่งก๊าซไฮโดรเจนนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้ต้นทุนสูงในการผลิต อีกทั้งยังจำเป็นต้องหาถังจัดเก็บที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซอันตราย สามารถติดไฟได้ดี[1, 2] และในปัจจุบันแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือเมทานอล แต่อย่างไรก็ตามเมทานอลเป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม ซึ่งคาดว่าจะมีความผันผวนเป็นอย่างมากในอนาคตและจะได้รับความนิยมลดลงไปในที่สุด ทำให้ขณะนี้ได้มีการให้ความสนใจกับแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่งคือเอทิลีนไกลคอล ซึ่งเป็นสารที่ได้มีการทำวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนกันอย่างกว้างขวางเพราะไม่เกิดการระเหยได้ง่าย โดยเฉพาะการใช้สารตั้งต้นจากการเกษตรนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น การผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง ปัญหาที่พบมากในปัจจุบัน ได้แก่ ปัญหามลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงาน เช่น การขาดแคลนน้ำมัน และถ่านหิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณการใช้มากขึ้นทุกวันภายในประเทศ และปัญหามลพิษในอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกที่มีผลทำให้โลกร้อนเร็วขึ้นกว่าที่คาดคิด นักวิจัยจึงพยายามหาแนวทางการแก้ไข เพื่อลดปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหเหล่านี้ อาทิเช่น การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงทดแทน หรือใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตจากวัตถุดิบภายในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน เช่น น้ำตาล, แอ้ม และแอ้มกลบ เป็นต้น กระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนี้มีปัจจัยควบคุมหลักอยู่ที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ จึงเห็นได้ชัดเจนว่าวัสดุนาโนที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Supports) จึงมีความสำคัญมากในกระบวนการนี้ จากประเด็นดังกล่าวจึงมีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญและทำการค้นคว้า วิจัยตัวเร่งปฏิกิริยาและ

ตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และปัญหามลพิษในขณะเดียวกัน วัสดุนาโนในกลุ่มเมโซพอร์สคาร์บอน (mesoporous carbon) ที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาและเทคนิคการสังเคราะห์แบบต่างๆ เพื่อให้ได้โครงสร้างทั้งแบบรูพรุนขนาดเดี่ยว หรือรูพรุนหลายขนาดผสมกันในรูปแบบต่างๆ โดยทั่วไปวัสดุรูพรุนสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามขนาดของรูพรุน ได้แก่ รูพรุนขนาดไมโครพอร์ (Micropore), เมโซพอร์ (Mesopore) และมาโครพอร์ (Macropore) ซึ่งเมโซพอร์สคาร์บอนจะมีขนาดรูพรุนในช่วง 2 ถึง 50 นาโนเมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็ก (ขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง 2 ถึง 10 นาโนเมตร) จะมีประโยชน์คล้ายกับรูพรุนแบบไมโครพอร์ในด้านความสามารถในการกักเก็บโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกสารชีวโมเลกุล เช่น เอนไซม์ หรือดีเอ็นเอ เป็นต้น เนื่องจากสารชีวโมเลกุลโดยมากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ในระดับนาโนเมตร จึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์จากผนังของเมโซพอร์ยังคงมีอิทธิพลต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้ ผลที่ตามมาทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็กยังคงมีศักยภาพในการกักเก็บสารชีวโมเลกุลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์นั้นมักถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์ และการนำวัสดุทางการแพทย์ เช่น น้ำตาล, แกลบ และถั่วเหลือง ซึ่งมีราคาถูก หาได้ง่ายภายในประเทศ มาใช้ทดแทนสารตั้งต้นที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเป็นกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานด้านการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาต่อไปเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาต่อไป [3, 4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มุ่งเน้นในการพัฒนาประยุกต์ใช้สารชีวภาพที่สามารถทำการผลิตขึ้นได้ง่ายในธรรมชาติ ไม่มีปัญหาในการกักเก็บ ให้พลังงานสูง (มีปริมาณของไฮโดรเจนอะตอมในสารชีวภาพสูง) และสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายจากขั้วไฟฟ้า สารดังกล่าวก็คือสารเคมีในกลุ่มแอลกอฮอล์นั่นเอง ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง และไม่ต้องใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสภาพเชื้อเพลิงเป็นแก๊สไฮโดรเจน ทำให้สามารถลดขนาดเซลล์ให้เล็กลง จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก เครื่องเสียงแบบพกพา และโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น และได้เพิ่มกลุ่มเมโซพอร์สคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาร่วมด้วยในกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพของเซลล์เชื้อเพลิงให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ และศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ และศึกษาคุณลักษณะทางเคมีไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ โดยการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี และดิฟเฟอเรนเชียลสแควลโวลแทมเมตรี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สืบค้นข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนและการเตรียมขั้วไฟฟ้า

1.3.1.1 การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน

1.3.1.2 การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์

1.3.1.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน และศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของขั้วไฟฟ้าที่เตรียมขึ้น

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ ในการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

1.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารเอทิลีนไกลคอล ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

1.3.3.1 ศึกษาผลของอิเล็กโทรไลต์

1.3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้น

1.3.3.3 ศึกษาผลของอัตราการสแกน

1.3.4 ศึกษาการตรวจวัดสารเอทิลีนไกลคอลโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

1.3.4.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity range)

1.3.4.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

1.3.4.3 ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

1.3.4.4 ความเที่ยง (Precision)

1.3.5 ศึกษาความเสถียรภาพและการทำซ้ำ (Reproducibility) ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 พัฒนาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง

1.4.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาขั้วไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเอทิลีนไกลคอลได้

1.4.3 นำผลผลิตทางการเกษตรที่หาได้ง่ายมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลอง

1.5.3 ดำเนินการทดลอง

1.5.4 วิเคราะห์ตัวอย่าง

1.5.5 สรุป และรายงานผลการทดลอง

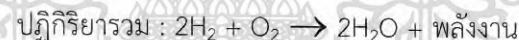
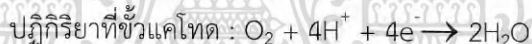
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

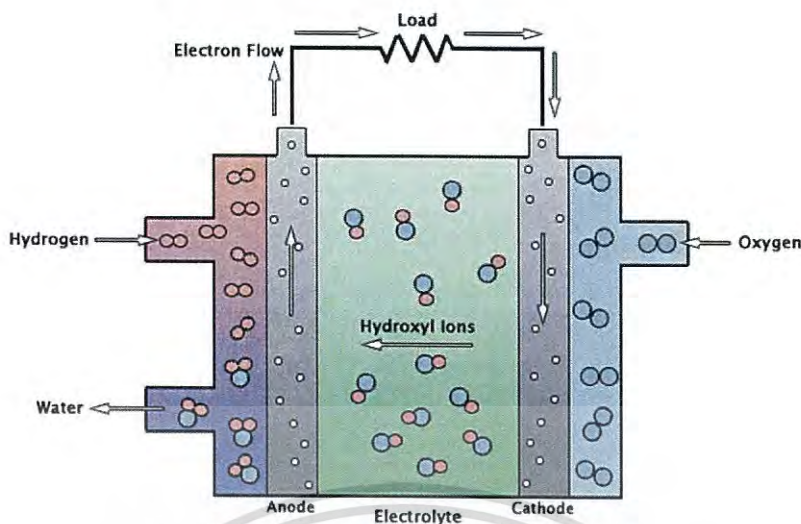
2.1 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิง [1, 2] คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีของไฮโดรเจนกับออกซิเจน ถือเป็นพลังงานสะอาดเพราะไม่ต้องใช้การเผาไหม้ที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่จะเป็นการเปลี่ยนสารไฮโดรคาร์บอนให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงถูกพัฒนาให้เป็นพลังงานทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงนอกจากนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงได้ตามต้องการ แต่หลักการทำงานจะมีลักษณะคล้ายกันคือ เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนดซึ่งเป็นด้านเชื้อเพลิงและขั้วไฟฟ้าแคโทดซึ่งจะมีออกซิเจนหรืออากาศอยู่ โดยทั้งสองขั้วจะสัมผัสกับสารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว โดยหลักการทำงานของเซลล์นั้นเริ่มจากขั้วแอโนดได้รับ ก๊าซไฮโดรเจน(เชื้อเพลิง) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งโมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนแตกตัวให้อิเล็กตรอน (e^-) กับ โปรตอน (H^+) โดยโปรตอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วแคโทดได้ เนื่องจากสารอิเล็กโทรไลต์มีคุณสมบัติเป็นตัวนำโปรตอน อิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเพื่อไปยังขั้วแคโทด เมื่อขั้วแคโทดได้รับก๊าซออกซิเจน รวมตัวกับอิเล็กตรอนและโปรตอนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ที่ขั้วแคโทด ซึ่งผลจากปฏิกิริยาจะได้โมเลกุลของน้ำและพลังงาน

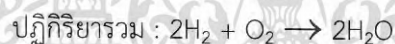
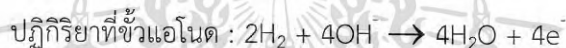


2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC)

เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้งานได้จริงชนิดแรก โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ และใช้แพลทินัมหรือพาลาเดียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า อุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานอยู่ที่ประมาณ $50-200^\circ C$ ให้กำลังไฟฟ้าได้ถึง 100 กิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 60 เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในด้านยานอวกาศ เรือดำน้ำ นอกจากนี้ในอดีต องค์การนาซาได้พัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ขึ้นเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและผลิตน้ำดื่มสำหรับใช้ในยานอวกาศ ประยุกต์สำหรับงานภาคพื้นดินนั้น ยังมีปัญหาจากการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออน (hydroxyl ion) ในสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออนในสารอิเล็กโทรไลต์ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงตามไปด้วย เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์จึงจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ภายในไม่ได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถทำงานต่อไปได้ [1, 2]

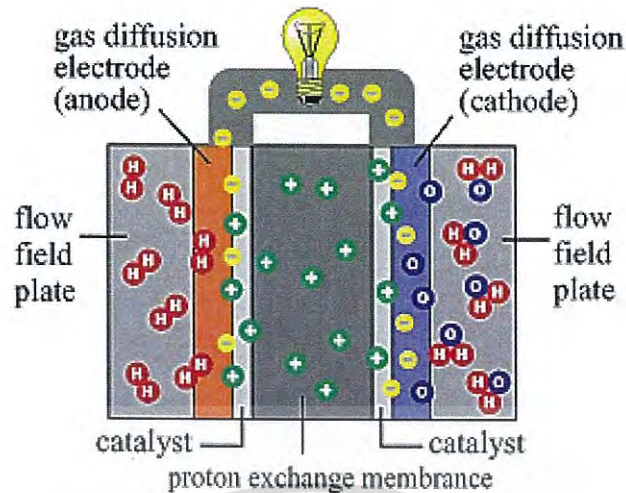


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ [5]



2.1.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane, PEM)

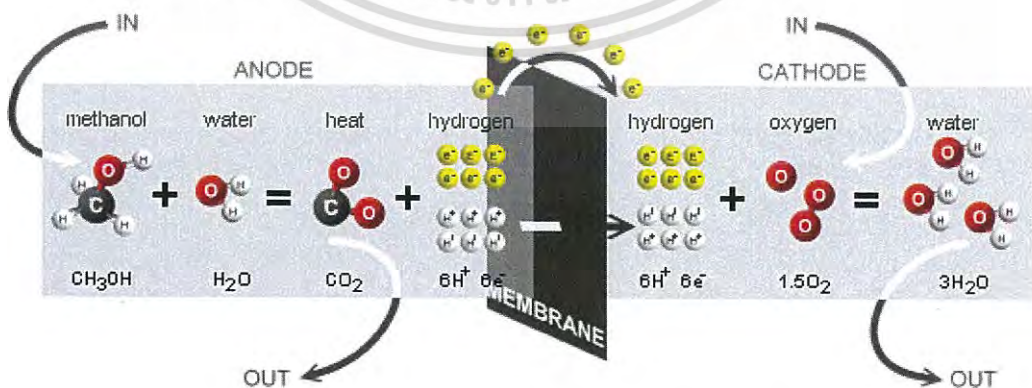
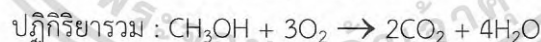
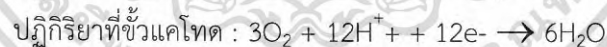
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่ออิเล็กโทรไลต์พอลิเมอร์ (PEFC) ใช้พอลิเมอร์ ชนิดของแข็งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะอยู่ในรูปของแผ่นเยื่อบางๆ ที่ไอออนสามารถซึมผ่านได้ ทำจากพอลิเมอร์ชนิดฟลูออโรซัลโฟเนต (fluoro-sulfonate polymers) ใช้แท่งคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าแอโนดซึ่งนิยมบรรจุแพลทินัมหรือแพลทินัมผสมโลหะอื่นๆเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการแยกอิเล็กตรอนกับโปรตอน หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนี้คือ ไฮโดรเจนไหลเข้าสู่เซลล์ทางขั้วแอโนด จึงทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน โปรตอนซึมผ่านอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วแคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนไหลผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกให้กำลังไฟกับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยออกซิเจนในรูปแบบของอากาศจะเข้าทางด้านขั้วแคโทดรวมเข้ากับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำ การใช้แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งที่ไม่แตกหรือรั่วไหล ทำให้สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 80°C ได้ดี ส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความทนทาน มีขนาดกะทัดรัด และมีน้ำหนักเบาว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในบ้านเรือน ใช้กับรถยนต์หรือยานพาหนะต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 40-50 และให้กำลังไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 50-250 กิโลวัตต์ [1, 2]



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน [6]

2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลกอฮอล์โดยตรง (Direct alcohol fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดใช้อัลกอฮอล์โดยตรงมีลักษณะคล้ายเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน กล่าวคือเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์เช่นกัน แต่จะมีด้วยชั้นไฟฟ้า 3 ชั้น ได้แก่ 1.ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา(catalytic layer)จะใช้ตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา(carbon supported) ที่ซัพพอร์ต 2.ชั้นการแพร่(diffusion layer)ซึ่งส่วนมากจะเป็นสารผสมระหว่างคาร์บอนกับโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน(polytetrafluoroethylene) และ 3.ชั้นสนับสนุน (backing layer) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะใช้สารละลายอัลกอฮอล์เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ เอทิลีนไกลคอลและกลีเซอรอลเป็นเชื้อเพลิงในด้านขั้วไฟฟ้าแอโนด ดังสมการ

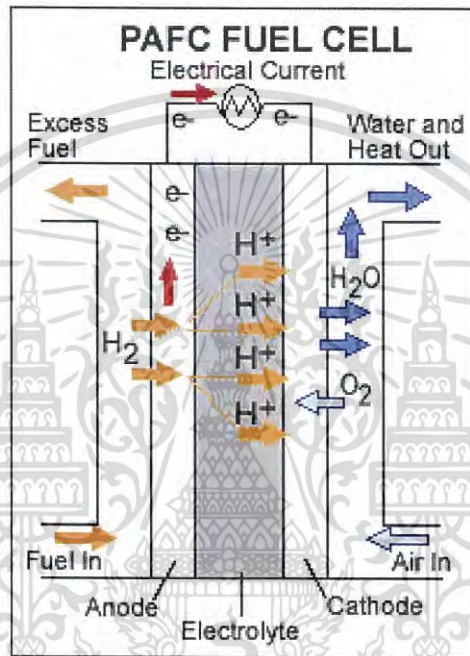


รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลกอฮอล์โดยตรง [7]

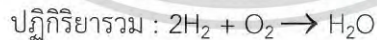
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก ใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ในเมตริกซ์ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ที่ประมาณ 200°C สามารถทำงานได้แม้มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1.5 นอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนแล้ว ยังสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงอื่นได้อีกหลายชนิด เช่น แก๊สมีเทน หรือเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอื่นที่แยกก่้ามะถันออกแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงนี้มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 85 เมื่อใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วมกัน แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว (มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 37 ถึง 42) [2, 8]



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก [9]

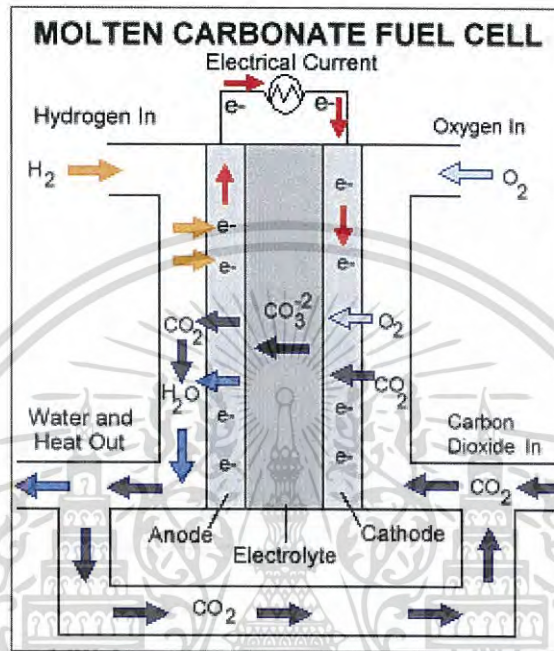


2.1.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว (Molten carbonate fuel Cell, MCFCs)

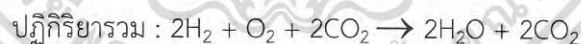
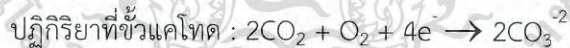
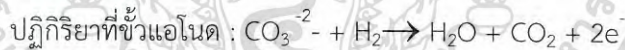
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลวเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อุณหภูมิสูง แก๊สคาร์บอเนตที่นิยมใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนต นิยมใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าแทนแพลทินัม อุณหภูมิขณะทำงานของเซลล์จะสูงเหนือจุดหลอมเหลวของสารอิเล็กโทรไลต์ คือ ประมาณ 650°C เซลล์มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 60-80 เนื่องจากเซลล์ทำงานที่อุณหภูมิสูงและอิเล็กโทรไลต์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนทำให้ส่วนประกอบอุปกรณ์และเสียหาย เซลล์เชื้อเพลิงแบบแก๊สคาร์บอเนตหลอมเหลวที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลือลิเทียมโพแทสเซียมคาร์บอเนต หรือลิเทียมโซเดียมคาร์บอเนตหลอมละลายเป็นอิเล็กโทรไลต์ เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิประมาณ 650°C เกลือเหล่านี้จะหลอมละลายและผลิตไอออนคาร์บอเนตซึ่งไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนจะได้โมเลกุลของน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ผ่านไปตามวงจรไฟฟ้าภายนอก และกลับไปขั้วลบเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไหลผ่าน [2, 10]



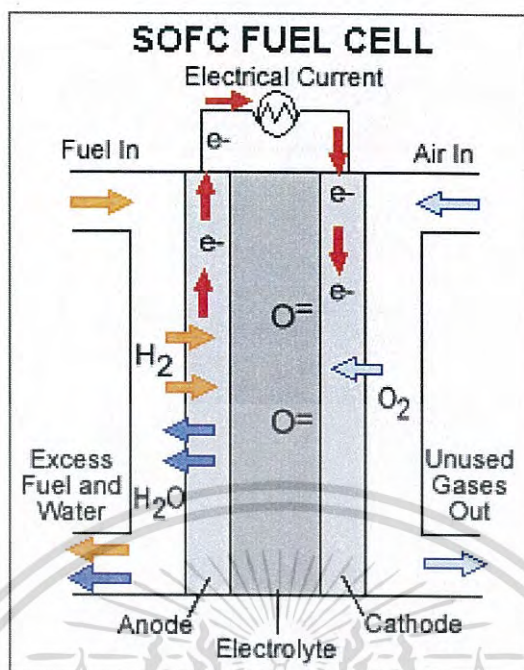
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอมเหลว [11]



2.1.6 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid oxide fuel cell, SOFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งใช้สารอิเล็กโทรไลต์แข็งเป็นเซรามิกทนความร้อนสูงที่ทำจากสารประกอบโลหะออกไซด์ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) หรือเซอร์โคเนียออกไซด์ (zirconium oxide) สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงถึง $600-1000^{\circ}\text{C}$ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าประมาณร้อยละ 60 เนื่องจากเซลล์ทำงานที่อุณหภูมิทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้โลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ SOFC ยังเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทนต่อกำมะถันมากที่สุดและไม่ถูกทำลายด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ดังนั้นก๊าซจากถ่านหินสามารถใช้ได้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้อุณหภูมิสูงมากทำให้ประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้น้อย [12-14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง [15]

2.2 คาร์บอน (Carbon)

2.2.1 คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) [16-18]

คาร์บอนแบล็ค [16-18] เป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของก๊าซไฮโดรคาร์บอนหรือของเหลวภายใต้สภาวะควบคุม ลักษณะทางกายภาพจะมีสีดำเป็นผงละเอียด ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง คาร์บอนแบล็ค(Carbon black) จะประกอบด้วย channel black, impingement black, furnace black และ thermal black โดยจากชนิดของคาร์บอนแบล็คทั้งหมดนั้น thermal black เป็นอนุภาคที่มีขนาดค่อนข้างหยาบมากที่สุด ในขณะที่ channel black มีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุด ขนาดของอนุภาคคาร์บอนแบล็คโดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-400 นาโนเมตร โดยมีวิธีการในการผลิตที่หลากหลายซึ่งได้แบ่งตามนี้

- Lamp black เป็นกระบวนการผลิตโดยเผา น้ำมันหนัก วิธีการนี้จะได้อนุภาคของคาร์บอนแบล็คที่ใหญ่ที่สุด

- Furnace black เป็นกระบวนการผลิตโดยเผา น้ำมัน วิธีนี้จะได้อนุภาคที่ละเอียดขึ้นเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด

- Gas black เป็นกระบวนการผลิตโดยเผา แก๊สธรรมชาติ วิธีนี้จะได้อนุภาคที่ละเอียดที่สุดเบาที่สุด

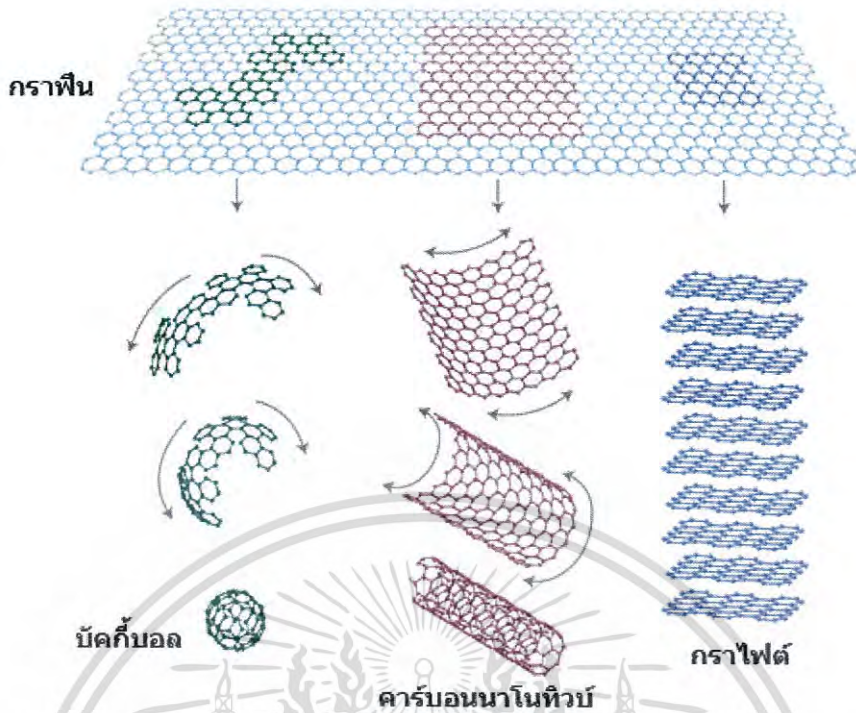
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 คาร์บอนแบล็ค [16]

2.2.2 กราฟีน (Graphene)

กราฟีน [19] คือ วัสดุที่มีโครงสร้างการจัดเรียงกันของคาร์บอนอะตอมแบบวงแหวนหกเหลี่ยม (Hexagonal configuration) ในระนาบ 2 มิติ (Two dimension : 2-D) หลายๆ วงต่อกัน คล้ายกับ ตาข่ายเกิดเป็นแผ่นกราฟีนขนาดนาโน ปัจจุบันได้มีการศึกษาและนำกราฟีนมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางด้วยเนื่องจากกราฟีนนำไฟฟ้าได้ดีและมีความหนาแน่นต่อพื้นที่ถึง $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งการจัดเรียงอะตอมเป็นแนวโครงสร้างอย่างสมบูรณ์แบบ (Graphene-The perfect atomic lattice) ด้วยสมบัติทางกลและไฟฟ้าที่โดดเด่นจากความสามารถในการคงตัวอยู่ได้ของโครงสร้างที่เกิดจากคาร์บอนเรียงตัวหนาเพียงอะตอม 1 ชั้น (Single layer of carbon) แบบสองมิติโดยไม่รวมตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นโครงสร้างใหม่ เช่น ไม่หดตัวเป็นฟูลเลอร์รินหรือบัคกี้บอล (Fullerene/Buckminsterfullerene C₆₀: Bucky Ball) ไม่ม้วนตัวกลายเป็นท่อนาโนคาร์บอน(Carbon Nanotubes: CNTs)[26,28] ไม่ซ้อนกันกลายเป็นกราไฟต์ (Graphite) นอกจากนี้ กราฟีนยังมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าสูง มีพื้นที่ผิวมากกว่าท่อนาโนคาร์บอน 2 เท่า แข็งแรงกว่าเหล็ก 200 เท่าและแกร่งกว่าเพชร ยืดหยุ่นได้ดี และโปร่งแสงในระดับที่ยอมให้แสงผ่านได้ถึงร้อยละ 97 ซึ่งน่าสนใจสำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐานและการใช้งานในอนาคต ถ้านำกราไฟต์ (Graphite) มาลอกออกเป็นชั้นๆ จนเหลือความหนาเพียง 1 อะตอมเราจะได้กราฟีน นอกนั้นจะค้นพบว่า โครงสร้างทางคาร์บอนที่ได้มีการค้นพบก่อนหน้านี้ล้วนมีพื้นฐานมาจากกราฟีนไม่ว่าจะเป็นท่อนาโนคาร์บอน หรือบัคกี้บอล ถ้านำกราฟีนมาทำให้เป็นทรงกลมเราจะได้บัคกี้บอล หรือกราฟีนที่มีลักษณะม้วนกันเป็นแท่งกลมๆ เรียกว่า ท่อนาโนคาร์บอน และกราฟีนที่มีลักษณะซ้อนกันเป็นชั้นๆ จะเรียกว่า กราไฟต์ (Graphite)



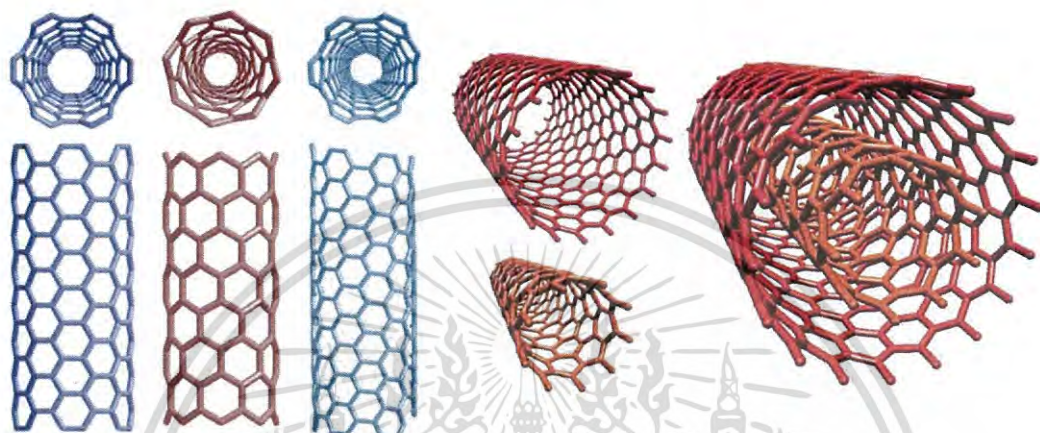
รูปที่ 2.8 โครงสร้างกราฟีนในแนวระนาบ 2 มิติ (2 dimension; 2-D) [19]

2.2.3 คาร์บอนนาโนทิวบ์

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นท่อทรงกระบอกที่มีขนาดในระดับนาโน ลักษณะการจัดเรียงอะตอมเป็นแบบแผ่นเชื่อมโยงเป็นตาข่ายเตตระฮีดรอน (Tetrahedral) ซึ่งมีแผ่นของกราฟีน (graphene) ม้วนกันอยู่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของรูปร่าง ขนาด ลักษณะสมบัติทางเคมี และส่วนประกอบ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (SWCNT) เป็นแผ่นของ กราฟีนม้วนรอบเดี่ยวโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1 นาโนเมตร ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWCNT) ประกอบด้วยท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวม้วนเป็นชั้นๆ ด้านใน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตั้งแต่ 2 - 100 นาโนเมตร ทั้งท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวและท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นมีความยาวที่แตกต่างกัน และอาจยาวได้ถึงหลายสิบล้านไมโครเมตร ยังสามารถแบ่งย่อยตามลักษณะการม้วนของแผ่นตาข่ายได้อีก 3 ประเภท คือ amchair, zig sag และchiral ตามรูปที่ 2.9

ลักษณะทางเคมีของผนังนาโนคาร์บอนจัดได้ว่าเป็นสารเฉื่อย แต่ปลายของท่อนาโนคาร์บอนซึ่งมีลักษณะเหมือนฟูลเลอรีนจะไวต่อการทำปฏิกิริยามาก และจากความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนของคาร์บอนในรูปแบบของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยวมีลักษณะสมบัติที่สามารถเป็นได้ทั้งสารกึ่งตัวนำและโลหะ วิธีการสังเคราะห์มีผลต่อลักษณะกับสมบัติของท่อนาโนคาร์บอน ประกอบด้วย 3 วิธี คือ arc discharge, chemical vapor deposition (CVD) และ laser ablation การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธี arc discharge และ CVD จะทำให้ได้โครงสร้างท่อนาโนที่มีการเรียงตัวเกือบสมบูรณ์ ทำให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้สูง ปัจจุบันวิธีที่นิยมกันมากในการผลิตท่อนาโนคาร์บอนในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ CVD ในขณะที่วิธี arc discharge มีการใช้งานในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับวิธี CVD ส่วน

วิธี laser ablation นั้น ในปัจจุบันไม่มีการนำมาใช้งานในระดับการผลิตอุตสาหกรรมแล้ว นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนยังมีคุณสมบัติรับแรงสูง แม้ว่าจะมีขนาดที่บางเบาแต่สามารถรับแรงได้ดีเทียบเท่าหรือมากกว่าเหล็ก มีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้ท่อนาโนคาร์บอนใช้งานอย่างแพร่หลายในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และวัสดุเสริมความแข็งแรง ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปจึงมักพบว่าท่อนาโนคาร์บอนได้ถูกนำไปใช้เป็นวัสดุหลายชนิด ตั้งแต่อุปกรณ์กีฬาเช่น ไม้ตีเทนนิส และไม้ฮอกกี้ เป็นต้น ไปจนถึงชิ้นส่วนของเครื่องบิน [20, 21]



รูปที่ 2.9 ลักษณะท่อนาโนคาร์บอน[22]

2.2.4 เส้นใยนาโนคาร์บอน (Carbon nanofibers, CNF)

เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofiber) [24] มีโครงสร้างคล้ายกับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น กล่าวคือเป็น รูปทรงกระบอกหรือทรงกรวย โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2 - 100 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ในช่วงน้อยกว่าไมโครเมตรถึงหลายมิลลิเมตร โครงสร้างภายในประกอบด้วย ชั้นแกรไฟต์หลายชั้นซ้อนกันหรือแผ่นกราฟีนหลายแผ่นซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปกรวย (โครงสร้าง รูปแฉกเป็นรูปตัววี) รูปถ้วย (โครงสร้างแบบไม้ไผ่) รูปแท่ง (โครงสร้าง ของแข็ง) หรือรูปท่อ (โครงสร้างเป็นโพรง) ลักษณะเฉพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของเส้นใยนาโนคาร์บอนที่แตกต่างจากท่อนาโนคาร์บอน คือ การซ้อนกันของแผ่นกราฟีนโดยทำมุมกับแกนของเส้นใยนาโนคาร์บอนซึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0° แต่เมื่อแผ่นกราฟีนวางตัวเป็นแนวขนานกับแกนเส้นใยจะมีรูปร่างเป็นท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากการมีองค์ประกอบที่จัดเรียงตัวทั้งในระนาบและระหว่างระนาบของการขนส่งและสมบัติเชิงกลตามแกนเส้นใยตลอดจนการมีพันธะที่ไม่อิ่มตัวที่คล้ายกับแกรไฟต์ ทำให้ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโนคาร์บอนแตกต่างจากท่อนาโนคาร์บอน เส้นใยนาโนคาร์บอนเกิดขึ้นในช่วงที่มีการสะสมไอระเหยของแก๊สที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก เช่น ไฮโดรคาร์บอน กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะ การควบคุมเพื่อให้เกิดโครงสร้างและองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยนาโนคาร์บอนสามารถทำได้ด้วยการใช้พลาสมา เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากระตุ้นให้เกิดไอระเหยของสารเส้นใยนาโน คาร์บอนที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมนั้นนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ วัสดุสำหรับกักเก็บแก๊ส และวัสดุสำหรับการยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะเส้นใยนาโนคาร์บอน [23]

2.2.5 เมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon)

เมโซพอร์สคาร์บอน คือวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวมากและมีคุณสมบัติทางเคมีที่ดี สามารถสังเคราะห์ได้จากสารหลายชนิด หลากหลายวิธีการทำให้ได้ขนาดของรูพรุนและคุณสมบัติของเมโซพอร์สที่แตกต่างกัน ถ้าจำแนกขนาดของรูพรุนตามมาตรฐาน IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) สามารถจำแนกตามขนาดของรูพรุนได้ 3 ประเภท ประเภทแรกคือ ไมโครพอร์ (Micropore) เป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร โครงสร้างรูพรุนแบบไมโครพอร์นี้ถ้ามี อยู่จำนวนมากจะส่งผลให้วัสดุตั้งกล่าวมีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก และเนื่องจากความกว้างของรูพรุนแบบไมโครพอร์มีขนาดที่โตกว่าขนาดของโมเลกุลทั่วไปไม่มากนักผลที่ตามมาคือ เมื่อมีโมเลกุลใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในรูพรุนแล้วโมเลกุลเหล่านั้นจะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอันตรกิริยาจากผนังของรูพรุน เราเรียกแรงอันตรกิริยานี้ว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals interaction) และแรงแวนเดอร์วาลส์นี้เองที่ทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบไมโครพอร์สามารถกักเก็บโมเลกุลบางชนิดเอาไว้ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อนำวัสดุที่มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption) หรือวัสดุสำหรับตรึงรูปตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ในงานวิจัยด้านวัสดุนักวิจัยมักจะมุ่งเน้นความสำคัญไปที่การสังเคราะห์รูพรุนขนาดไมโครพอร์เป็นหลักเพราะต้องการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุเท่านั้น สำหรับรูพรุนประเภทที่สอง ซึ่งจะมีขนาดรูพรุนกว้างกว่าคือ มีขนาดในช่วง 2–50 นาโนเมตรและมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงถึง 700–1,500 ตารางเมตรต่อกรัม เรียกว่า เมโซพอร์ (Mesopore) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็ก (ขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง 2–10 นาโนเมตร) จะมีประโยชน์คล้ายกับรูพรุนแบบไมโครพอร์ในด้านความสามารถในการกักเก็บโมเลกุลโดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกสารชีวโมเลกุลเช่น เอนไซม์ หรือ ดีเอ็นเอ เป็นต้น เนื่องจาก สารชีวโมเลกุลโดยมากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ในระดับนาโนเมตรจึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์จากผนังของเมโซพอร์ยังคงมีอิทธิพลต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้ ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็กยังคงมีศักยภาพในการกักเก็บสารชีวโมเลกุลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี เพราะเหตุนี้จึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์เป็นที่นิยมในการถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์ และลักษณะรูพรุนประเภทสุดท้ายคือแมโครพอร์ (Macropore) หมายถึงรูพรุนที่มีขนาดกว้างตั้งแต่ 50 นาโนเมตรขึ้นไป สามารถพบได้ตามธรรมชาติเช่น ดินเบา (Diatoms) ฟองน้ำ (Sponges) ไม้คอร์ก (Cork) และเนื้อไม้ (Wood) รวมทั้งสารอนินทรีย์อื่นๆ สารในกลุ่มนี้ยมนำไปใช้เป็น Liquid metal filtersเดิมทีโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่เหล่านี้ไม่ได้รับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนใจมากนัก เนื่องจากไม่ได้มีส่วนช่วยโดยตรงต่อการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุพอร์วมถึงการมีขนาดความกว้างของรูพรุนที่ใหญ่กว่าโมเลกุลทั่วไปมากจึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์ไม่มีอิทธิพลภายในรูพรุนเหล่านั้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนักวิจัยด้านวัสดุที่มีรูพรุนได้มุ่งความสำคัญไปยังการมีอยู่ของโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่เหล่านี้ในวัสดุ เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนดังกล่าวมีประโยชน์เป็นอย่างมากในด้านการเป็นช่องทางลำเลียงขนาดใหญ่สำหรับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลต่างๆ ไปยังรูพรุนแบบไมโครพอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น เนื่องจากช่วยลดความต้านทานที่เกิดจากการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลของของไหลที่เคลื่อนที่เข้ามาได้นั่นเอง นอกจากนี้ 3 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้นแล้วหากสังเคราะห์วัสดุรูพรุนให้มีโครงสร้างรูพรุนแบบแมคโครพอร์รวมอยู่กับโครงสร้างรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า (ไมโครพอร์หรือเมโซพอร์) เรียกว่าวัสดุที่มีลักษณะ รูพรุนแบบนี้ว่า “วัสดุที่มีรูพรุนแบบลำดับชั้น” (Hierarchical porous material) จะเห็นได้ว่าวัสดุรูพรุนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ เป็นตัวคัดขนาดระดับโมเลกุล (Molecular sieves) และตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น โดยวัสดุรูพรุนที่มีขนาดต่างกันนั้นก็จะมีความสมบัติและถูกนำไปใช้ในงานที่แตกต่างกัน [25-28]

สำหรับเมโซพอร์สคาร์บอนจะเป็นคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่มีการกระจายตัวของรูพรุนแคบ ซึ่งจะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอิเล็กทรอนิกส์และตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง เป็นพลังงานทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกลดมลพิษในอากาศ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Zesheng Li และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาเมโซพอร์สคาร์บอนในระดับไมโครร่วมกับการแสดงประสิทธิภาพในการเก็บประจุสำหรับตัวเก็บประจุอย่างยิ่งยวด (supercapacitors) โดยสังเคราะห์เมโซพอร์สจากกลูโคส นำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ภายใต้บรรยากาศอาร์กอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์คือเมโซพอร์สคาร์บอนในระดับไมโคร ต่อมาได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) เครื่องฟูเรียร์ทรานซฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) วิเคราะห์การนำไฟฟ้าด้วยเครื่องไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry, CV) และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer, BET) พบว่ารูพรุนของคาร์บอนมีพื้นที่ผิวเฉพาะเจาะจงสูงถึง 1163 m²/g และเมโซพอร์สมีผิวสัมผัสขนาดเล็กโดยมีรูพรุนขนาด 3.24 nm และมีอัตราส่วนปริมาตรของรูพรุน 92 %

งานวิจัยของ André L. Cazetta และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้เมโซพอร์สคาร์บอนที่เจือไนโตรเจนและซัลเฟอร์ (NSMC) โดยใช้ถ่านกระดูก (bone char, BC) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นและแม่แบบในการสังเคราะห์ โดยสังเคราะห์ได้จาก ซูโครสละลายในน้ำกลั่นแล้วเติม BC กับกรดซัลฟิวริกจากนั้นใส่ในเตาปฏิกรณ์เทฟลอนเพื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อมาเพิ่มอุณหภูมิเป็น 160 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการเติมซูโครส, กรดซัลฟิวริกและน้ำกลั่น อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อมาเพิ่มอุณหภูมิเป็น 160 °C อีก 6 ชั่วโมง จึงจะนำไปทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน(N_2) แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น $750^\circ C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เมโซพอร์สคาร์บอนที่เจือไนโตรเจนและซัลเฟอร์ต่อมาทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์(X-ray diffraction, XRD) เทกกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) เครื่องวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) เครื่องฟูเรียร์ทรานซฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer, BET) พบว่าเมื่อเติมเอากะดุกกลงไปทำให้พื้นที่ผิวและปริมาณของ NSMC เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับซิลิกาเมโซพอร์ส และเมื่อไปทำการทดสอบการดูดซับสารไอบูโพรเฟน (IBF) พบว่า NSMC สามารถดูดซับ IBF ที่ pH 4 ได้ดีกว่าที่ pH อื่นๆ

งานวิจัยของ Yongqi Hua และคณะ [31] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าแพลทินัมอิสระสำหรับปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนโดยใช้เมโซพอร์สที่เจือไนโตรเจนและซัลเฟอร์ร่วมกับคาร์บอนซึ่งใช้น้ำตาลเทียมโมเลกุลเดียวเป็นสารตั้งต้น โดยสังเคราะห์จากเมโซพอร์สซิลิกา (SBA-15) และเฮกซะไฮเดรตเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนในเซชัน สังเคราะห์ได้เป็น SN-OMC ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์มุมต่ำ (Small angle X-ray diffractometer, SXRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer, BET) เครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์ทางแสง (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) และ วิเคราะห์การนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry, CV) พบว่าโครงสร้างของ SN-OMC เป็นเฮกซะโกนอลเหมือนโครงสร้างทั่วไปของ SAB-15 โดยมีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร จากการวัดขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนทำให้ทราบพื้นที่ผิวของทั้งสองตัวอย่างคือ $743 \text{ m}^2/\text{g}$ (SN-OMC) และ $120 \text{ m}^2/\text{g}$ (SN-C) ในกล่าวคือถึงแม้ว่า SN-OMC แสดงให้เห็นโครงสร้างเมโซพอร์สกับพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น

งานวิจัยของ Moitrayee Chatterjee และคณะ [32] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าโดยใช้แพลทินัมและตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคระดับนาโนของแพลทินัมรูทีเดียมหลายองค์ประกอบที่อุณหภูมิ 298-318 K เพื่อใช้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลกับเอทิลีนไกลคอล โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี และเทคนิคแอมเพอโรเมทริก พบว่าเอทานอลกับเอทิลีนไกลคอลให้พลังงานขั้นต่ำ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของรูทีเดียมในตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสม PtRu ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำงานไม่ได้หากอุณหภูมิสูงกว่า 318 K

งานวิจัยของ Cuijie Chen และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าของโลหะผสมไททานเนียมคอปเปอร์ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลโดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคแอมเพอโรเมตริกและไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าถ้าใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นกรดจะขึ้นฟิสิกออกซิเดชันที่ 0.40กับ0.65v แต่ในอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์จะขึ้นฟิสิกออกซิเดชันเป็นลบที่ -0.17กับ 0.04v ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทลิทินไกลคอลแทนเมทานอลเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่า ความเป็นพิษต่ำกว่า , การแพร่กระจายเข้าไปในเมมเบรนได้น้อยกว่า เมื่อเทียบกับเมทานอล โดยใช้ $Ti_{30}Cu_{70}$ amorphous ribbon เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน, ใช้ Pt net เป็นขั้วไฟฟ้าช่วย และใช้ saturated calomel electrode (SCE) เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

งานวิจัยของ Dao-Jun Guo และคณะ [34] ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมแอนติโมนีดีบุกออกไซด์(Pt-ATO) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลโดยตรงซึ่งมีท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นเป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วย เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (angle X-ray diffractometer, XRD)กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี, เทคนิคโครโนแอมเพอโรเมตริก จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลทำให้ทราบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมแอนติโมนีดีบุกออกไซด์ (Pt-ATO) มีความทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์สูงและมีเสถียรภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมดีบุกออกไซด์กับแพลทินัมคาร์บอน

งานวิจัยของTingting Jiang และคณะ [35] ทำการพัฒนาขั้วไฟฟ้าให้ดีขึ้น มีความว่องไวสูงกับกลูโคส อิเล็กโทรออกซิเดชัน เพื่อใช้เป็นตัวสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการทำเซลล์เชื้อเพลิงกลูโคส และทำให้มีความทนทานต่อตัวรบกวนในเลือดของคนเพื่อนำมาพัฒนาเป็นตัวจับสัญญาณกลูโคสสำหรับตรวจวัดปริมาณกลูโคสในเลือดของมนุษย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงใช้การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา PdAu/C โดยใช้ NH_3 เข้ามาช่วยไม่ให้เกิดตะกอน Pd hydroxide จากการย่อยสลาย Pd ใน polyol method สำหรับ Pd ion ด้วยการทำให้ขั้วไฟฟ้าทำงาน เริ่มจากการสังเคราะห์ตัวสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา PdAu/C- NH_3 โดยทำการผสม Pd/ Cl_2 , $HAuCl_4$ กับethylene glycol (EG) จากนั้นหยด NH_3 ลงไปจนได้สารละลายใสไม่มีสี หลังจากนั้นเติมผง carbon black ลงไปใน NH_3 modified metal-containing solution นำมาปั่นกวนและปรับ pH ของสารละลายด้วย NaOH/EG ให้ได้ pH มากกว่า 12 หลังจากปั่นกวนอีก 2ชม. แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสอง PdAu/C- NH_3 นำตัวเร่งปฏิกิริยาไปละลายบนเอทานอลและทำให้กระจายตัวในนาฟิออนแล้วจึงเทลงบนแก๊สคาร์บอนอิเล็กโทรดได้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานใช้ขั้ว Hg/HgO เป็นขั้วอ้างอิงและแพลทินัมพอลายเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย ต่อมนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD และ TEM แสดงให้เห็นว่าการใช้ NH_3 ทำสามารถลดขนาดอนุภาคนาโนของ Pd Au และ PdAu ได้อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวได้ดีขึ้นโดยที่ $Pd_{30}Au_{70}/C-NH_3$ มีขนาด 5.4nm ในขณะที่ $Pd_{30}Au_{70}/C$ มีขนาด 7.1nm ยังแสดงให้เห็นว่า PdAu/C- NH_3 เป็นการเร่งปฏิกิริยา ที่ดีและมีความว่องไวสูงต่อ กลูโคส อิเล็กโทรออกซิเดชัน, กราฟไซคลิกโวลแทมเมตรี ของPdAu/C- NH_3 มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่า PdAu/C 2 เท่า ถือได้ว่าการพัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซลล์เชื้อเพลิงกลูโคสและตัวจับสัญญาณกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Cheng-Chuan Chen และคณะ [36] ได้ทำการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาโดยพยามใช้สารตัวอื่นนอกจาก Pt เนื่องจากตัวกลางของมันที่ได้มาจาก GOR มีความเป็นพิษมาก จึงใช้พลาเตียม (Pd) ที่หาได้ง่ายในธรรมชาติ มีความเป็นพิษน้อยกว่า ทั้งยังต้องการพัฒนาให้ทนทานต่อความเป็นพิษของสารอินทรีย์จึงทดลองใช้ Pd ร่วมกับบิสมัท (Bi) ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเป็นผลมาจากการดัดแปลงพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ เพื่อให้มันลดการดูดซับของตัวกลางและเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยใช้ carbon nanosupport เป็น carboxylated multi-walled carbon nanotubes (cMWCNT) เนื่องจากการนำไฟฟ้าสูง, พื้นผิวเฉพาะสูง และมีความเสถียรสูง การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Bi/C ขนาดระดับนาโนจะใช้วิธี one-pot polyol method สังเคราะห์ Pd/C โดยเริ่มจากเอา cMWCNT ไปผสมกับสารละลาย $\text{PdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{EG}$ ผสมให้เข้ากันด้วย ultrasonic bath เติมสารละลาย BiCl_3/EG ลงไปในของผสมได้เป็น Pd-Bi/C จากนั้นหยด NaOH ลงไปจนได้ $\text{pH} > 11$ ผสมให้เข้ากัน string 2 ซม. ที่อุณหภูมิ 140°C ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยเอทานอล นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C ทำการเตรียมขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยทำให้ Pd-Bi/C กระจายตัวในนาฟิออนด้วย ultrasonic bath แล้วจะใช้ไมโครปิเปตหยด ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองลงบนแก๊สซีคาร์บอนอิเล็กโทรด ทำให้แห้งด้วยหลอดฮาโลเจนจึงจะได้ Pd-Bi/C thin film electrodes (ขั้วไฟฟ้าทำงาน), ใช้ Hg/HgO electrode เป็นขั้วอ้างอิง, ลวดแพลทินัมเป็นขั้วช่วย จากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนน้ำหนักที่เหมาะสมของ Pd:Bi เท่ากับ 1:0.14 Pd-Bi/C มีค่า electrocatalytic activity สูงกว่า Pd/C ประมาณ 40% มีค่าความเป็นพิษต่ำกว่า 3.7 เท่า ความหนาแน่นของกระแสที่วัดได้สูงสุดคือ $29.5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ แสดงว่าการใช้ cMWCNT เป็น carbon nanosupport ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Bi ทำให้ Glucose oxidation reaction มีประสิทธิภาพดีขึ้น

งานวิจัยของ Elizabeth G. และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าของโลหะผสมแพลทินัมทองเพื่อใช้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลกับกลูโคสในอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ โดยทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทองลงบนดิสก์ทองและอนุภาคทองคาร์บอนที่เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลขั้วไฟฟ้าแพลทินัมทองและขั้วไฟฟ้าแพลทินัมทองคาร์บอนให้ศักย์ไฟฟ้าคล้ายกับขั้วไฟฟ้าแพลทินัมแต่ให้ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าขั้วไฟฟ้าทอง ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมมีความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าการใช้แต่แพลทินัมและทอง จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าขั้วไฟฟ้าแพลทินัมทองไม่ได้ทำลายพันธะ C-C ในเอทิลีนไกลคอล สำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสที่พื้นผิวของแพลทินัมทองแสดงให้เห็นพฤติกรรมคล้ายกับทองและให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าแพลทินัม จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าทั้งแพลทินัมและแพลทินัมทองสามารถทำลายพันธะ C-C ของกลูโคสเนื่องจากพบพีกคาร์บอนไดออกไซด์ในกราฟ FT-IR สเปกตรัม

งานวิจัยของ Tsai Garcia-Pereza และคณะ [38] ได้ทำการพัฒนาวิธีการใหม่สำหรับการผลิตเอนไซม์กลูโคสผสมกราไฟต์เมโซพอร์สคาร์บอน ในระดับนาโนเพื่อใช้เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยวิธีการห่อหุ้มกลูโคสแบบไขว้ภายในโครงข่ายมวลรวมของกราไฟต์เมโซพอร์สคาร์บอน ซึ่งสามารถห่อหุ้มได้โดยอาศัยการรวมตัวของกราไฟต์เมโซพอร์สคาร์บอนในสารละลายบัฟเฟอร์ที่อยู่ในรูปโครงข่ายคาร์บอน โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเอนไซม์กลูโคสผสมกราไฟต์เมโซพอร์สคาร์บอนในระดับนาโน จากการใช้กล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอลและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี, เทคนิคแอมเพอโรเมตริกและโพเทนชิออสแตติก พบว่าเอนไซม์กลูโคสผสมกราฟต์เมโซพอร์คาร์บอนในระดับนาโนมีการนำไฟฟ้าสูงโดยมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนในอัตราสูงสุดประมาณ $5.16 \pm 0.61 \text{ s}^{-1}$ นอกจากนี้ยังสามารถรักษาความร้อนไว้ที่ 60°C ได้นาน 4 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างนาโนคอมโพสิตนี้มีความเสถียรและมีสภาพการนำไฟฟ้าสูงมาก เมื่อนำไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสโดยใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่ามีความหนาแน่นของพลังงานสูงถึง $22.4 \mu\text{W cm}^{-2}$ ที่ 0.24 โวลต์

งานวิจัยของ S. Yongprapat และคณะ [39] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานกับเสถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลในสารละลายอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ โดยการใช้ทองคำคาร์บอนควบคู่กับโลหะออกไซด์มี 3 ชนิด คือ CeO_2 , Fe_2O_3 and RuO_2 ที่อัตราส่วนของน้ำหนัก $\text{Au}:\text{Me}_x\text{O}_y$ เท่ากับ 1:0.25, 1:0.5 1:1 ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี, เทคนิคแอมเพอโรเมตริกพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Fe_2O_3 และ RuO_2 มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทองคำคาร์บอนที่ไม่ได้ใช้โลหะออกไซด์

งานวิจัยของ Shuqin Song และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาซึ่งเรียกสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C สำหรับกลูโคสอิเล็กโทออกซิเดชันในสารละลายอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์ โดยสังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/ CeO_2 -C เติมคาร์บอนแบ็คไปผสมกับ CeO_2 แล้วนำไปตกตะกอนแล้วนำให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ แล้วเอา $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ไปละลายในน้ำกลั่นและเติม isopropanol หลังจาก carbon black กระจายตัวได้ดีในสารละลายแล้ว ให้หยด $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ หยดลงไป จนกระทั่ง pH มากกว่า 9.0 แล้วจะเกิดการตกตะกอนและถูกกักความร้อนด้วยสารละลายหลักเป็นเวลา 3 ชม. แล้วนำการกรองและล้าง นำไปอบที่ 80°C ในเตาอบสูญญากาศเป็นเวลา 12 ชม. แล้วจะได้ผง นำไปให้ความร้อนใน ไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที ติดต่อกันจนได้ CeO_2 -C ที่มีปริมาณ CeO_2 ที่ต่างกัน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/ CeO_2 -C เตรียมโดย pulse microwave assisted polyol method จากนั้นไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD SEM-EDX TGA และวัดการนำไฟฟ้าเทคนิค CV และ CA พบว่า Pd/ CeO_2 -C-3 ยังมีความไวในการตอบสนอง amperometric สำหรับโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสและความทนทานที่ดีที่ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ร่วมในเลือดของมนุษย์ที่มีน้ำตาลกลูโคส

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน ด้วยการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า การศึกษาลักษณะของอนุภาคที่สังเคราะห์ การเตรียมตัวตรวจวัดที่ได้จากอนุภาคที่ทำการสังเคราะห์ และการวัดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล(Ethylene Glycol Oxidation) โดยมีการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	บริสุทธิ์ (%)	ผู้ผลิต
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver Nitrate)	AgNO_3	99.995%	Sigma-Aldrich, USA
เอทิลีนไกลคอล(ethylene glycol)	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	97	Sigma-Aldrich, USA
โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์ (Potassium Hexacyanoferrate)	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	≥ 99.9	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	NaOH	≥ 98	Sigma-Aldrich, USA
กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)	H_2SO_4	98	Merck, USA
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)	KOH	≥ 85	Sigma-Aldrich, USA
โพแทสเซียม คลอไรด์ (Potassium chloride)	KCl	99.50	Sigma-Aldrich, USA
เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	99.8	Merck, USA
ซูโครส (sucrose)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	AR grade	Sisco Research, India
Pluronic P123	PEG-PPG-PEG	AR grade	Sigma-Aldrich, USA
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol)	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	AR grade	RCL Labscan Limited

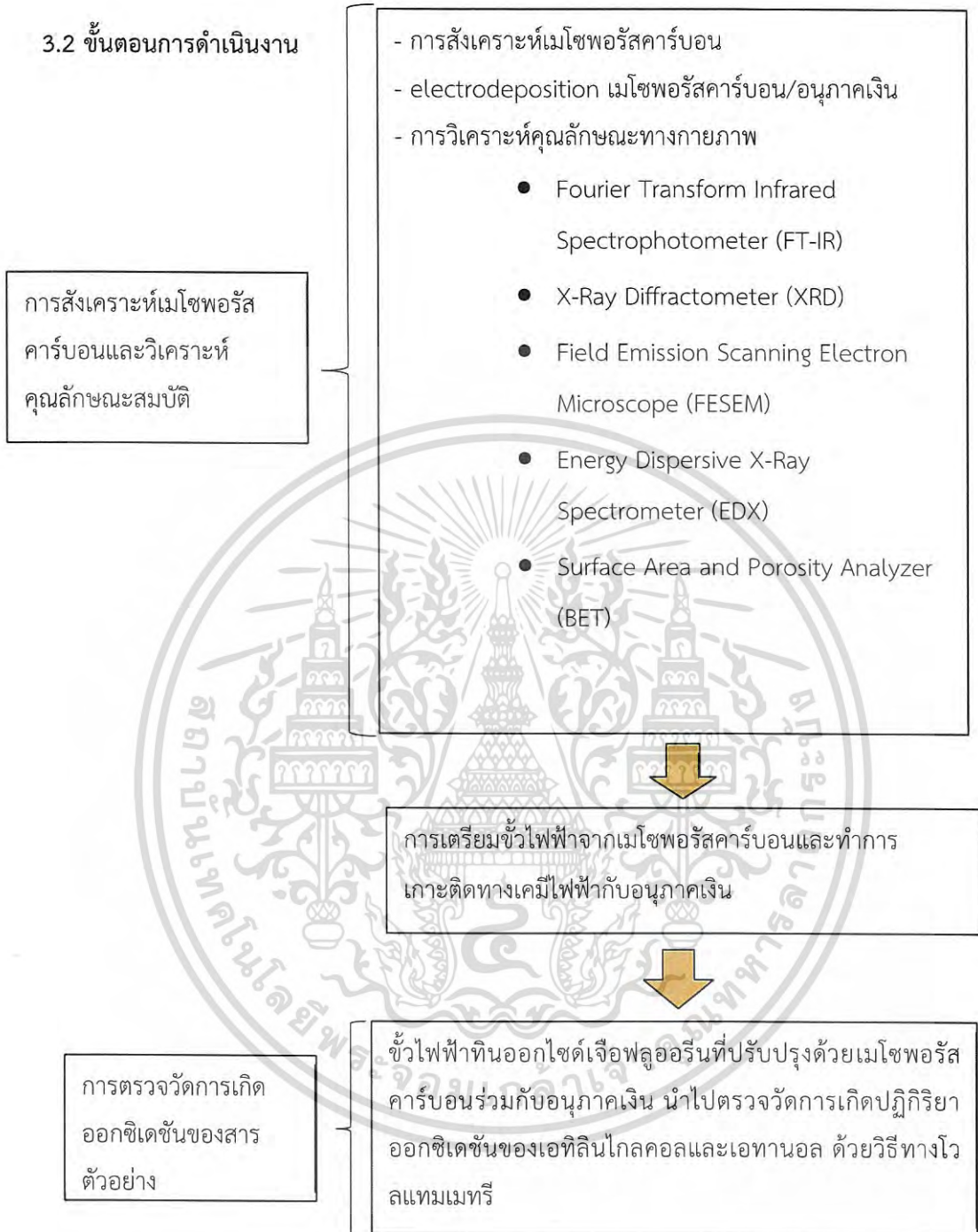
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์/เครื่องมือ	ผู้ผลิต	แบบ/รุ่น
Fourier transform Infrared Spectrophotometer	Perkin Elmer, Italy	FT-IR SPECTRUM GX
X-Ray Diffractometer (Field Emission Scanning Electron Microscope : FE-SEM)	Bruker AXS HITACHI	Germany D8 Advance S4700
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)	HITACHI	550i Analyzer
Surface Area and Porosity Analyzer (BET)	QUANTA CHROME	AUTOSORB-
Potentiostat/Galvanostat Furnace (1500°C)	Metrohm, Netherlands Nabertherm	AOVA 1.10 GMbH
Ultrasonic cleaner	Metler electronics	ME 4.6
Fluorine doped tin oxide	Sigma-Aldrich, USA	~10 Ω /sq
Digital Multimeter	ShanDong Biforst Group, China	UT61 series
Laboratory glassware	Duran, Germany	
Oven	Lab companion , USA	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน [29, 30, 41, 42]

3.2.1.1 ผสม sucrose 1.25 กรัม, 17M H₂SO₄ 0.1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เข้าด้วยกัน

3.2.1.2 เตรียมสารละลาย Pluronic P123 โดยใช้สาร Pluronic P123 1 กรัมละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

3.2.1.3 เติมสารละลาย Pluronic P123 ลงในสารละลายผสมในข้อ 3.2.1.2

3.2.1.4 นำสารละลายผสมไปให้ความร้อน และปั่นกวนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.2.1.5 เทสารละลายลงในชามโลหะ และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

3.2.1.6 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.2.1.7 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบด เติมสารละลายผสม (sucrose 0.8 กรัม, 17M H₂SO₄ 0.05 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และ Pluronic p123 0.5 กรัมละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร) ลงไป แล้วคนให้เข้ากัน และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

3.2.1.8 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.2.1.9 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบดให้ละเอียด จะได้เป็นผงสีดำแล้วเทผงที่ได้ใส่ถ้วยครุชีเบิลเซรามิกที่มีฝาปิด

3.2.1.10 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ heating rate ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.2.1.11 นำผงผลึกที่ได้จากการเผามาล้างด้วยเอทานอลปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเมโซพอร์สคาร์บอน และเงินออกไซด์/เมโซพอร์สคาร์บอน/ชีวไฟฟ้าหินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.2.1 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transfer infrared spectrophotometer) นำอนุภาคเมโซพอร์สคาร์บอน มาตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 400-4000 ต่อเซนติเมตร เพื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันของเมโซพอร์สคาร์บอน

3.2.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer) นำอนุภาคเมโซพอร์สคาร์บอน ไปวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ด้วยเครื่อง XRD โดยทำการวัดมุม 2θ ในช่วง 10 ถึง 80 องศา ความละเอียดในการวัดรังสีเอกซ์ของการหมุนวัสดุตัวอย่าง คือ θ เท่ากับ 0.02 องศา ว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นแบบใด โดยนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวัสดุภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

3.2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM))

นำอนุภาคเมโซพอร์สคาร์บอนไปตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ไปวัดดูพื้นผิวโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าแรงอิเล็กตรอนสูงสุดเท่ากับ 150 กิโลโวลต์ สามารถเอียงชิ้นงาน 45 องศา ทั้งในแนวแกน x และ y มุมวัดที่ 37 องศา ขนาดของลำอิเล็กตรอนเปลี่ยนได้ในช่วง 1.5 ถึง 2.1 นาโนเมตร

3.2.2.4 การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer) นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ไปตรวจวัดเพื่อทำการศึกษาวเคราะห์ว่าชิ้นงานประกอบด้วยธาตุชนิดใด โดยกำหนดจุดบริเวณที่จะวิเคราะห์บนชิ้นงานแล้วทำการวิเคราะห์ว่าจุดนั้นๆประกอบไปด้วยธาตุใดบ้างโดยผลที่ได้จะแสดงเป็นสเปกตรัมพลังงานของธาตุต่างๆ พร้อมระบุปริมาณของแต่ละส่วนประกอบ

3.2.2.5 การวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer, BET) นำผงอนุภาคเมโซพอร์สคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว (Surface area) โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวหรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน

3.2.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน

3.2.3.1 นำแผ่นขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาตัดให้ได้ขนาด 1x1 เซนติเมตร จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำยาล้างจานที่ไม่มีสารตกค้าง แล้วใช้น้ำปราศจากไอออนล้างให้สะอาด นำแผ่นขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ล้างแล้วนำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิกที่มีน้ำปราศจากไอออน เอทานอล อะซิโตน และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) อย่างละ 15 นาที จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน และหลังจากนั้นได้กำหนดพื้นที่บนแผ่นขั้วไฟฟ้าให้มีขนาด 3x3 มิลลิเมตร

3.2.3.2 ชั่งเมโซพอร์สคาร์บอน จากข้อ 3.2.1 มา 3.0 มิลลิกรัม เติมนีออนอล 5.0 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายไปกระจายอนุภาคด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 1 ชั่วโมง

3.2.3.3 หยดสารละลายที่ได้เตรียมไว้จากข้อ 3.2.3.2 ลงในพื้นที่ที่กำหนด 3x3 มิลลิเมตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน นำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาที

3.2.4 วิธีการเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

เตรียมสารละลาย 10 มิลลิโมลต่อลิตร ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 4 มิลลิลิตร 1 มิลลิโมลต่อลิตร โพแทสเซียมคลอไรด์ 4 มิลลิลิตร และโพรวานอล (>99%) 4 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนจนถึง 20 มิลลิลิตร นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมจากข้อ 3.2.3.3 เป็นขั้วทำงาน (working electrode) มาให้ศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่อง Autolab พร้อมโปรแกรม ANOVA1.10 ใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วคือ ขั้วไฟฟ้าทำงานที่เตรียมจากข้อ 3.2.3.3 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Platinum electrode) ดังรูปที่ 3.2

3.2.4.1 กำหนดพารามิเตอร์ของเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ดังต่อไปนี้

Start potential:	-0.6 โวลต์
Upper vertex potential:	1.0 โวลต์
Low vertex potential:	-0.6 โวลต์
Number of stop crossing:	16 (8 Cycles)
Scan rate:	0.050 โวลต์ต่อวินาที
Step potential:	0.02440 โวลต์

3.2.5 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านความต้านทานของขั้วไฟฟ้าขั้วไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของขั้วไฟฟ้าโดยใช้การวัดค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าซึ่งจะใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ Amplitude 5 มิลลิโวลต์ในช่วงความถี่ที่ 0.1Hz ถึง 105Hz กับสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตรละลายในโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ขั้วไฟฟ้าที่จะทำการทำการตรวจวัดคือขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/mesoporous carbon/FTO) เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ใช้แพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย และขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง โดยใช้เทคนิค Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

3.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยวิธีการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าในการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.2.6.1 การศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ด้วยการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า (Ag oxide /mesoporous carbon /FTO) จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมไว้จุ่มลงในสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตร ที่ละลายด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 โมลต่อลิตร ฟันแก๊สไนโตรเจนลงในสารละลาย 1 นาที เพื่อไล่แก๊สออกซิเจน จากนั้นทำการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยเครื่อง Autolab พร้อมโปรแกรม ANOVA1.10 ใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วคือขั้วไฟฟ้าทำงานที่เตรียมจากข้อ 3.2.3หรือ3.2.4 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Platinum electrode)

3.2.6.2 กำหนดพารามิเตอร์ของเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ดังต่อไปนี้

Start potential:	-0.6 โวลต์
Upper vertex potential:	0.8 โวลต์
Low vertex potential:	-0.8 โวลต์
Scan rate:	0.1 โวลต์ต่อวินาที
Step potential:	0.02440 โวลต์

3.2.7 การศึกษาเปรียบเทียบขั้นความหนาของเมโซพอร์สคาร์บอนที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนในการตรวจวัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.2.7.1 การศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ในสภาวะจำนวนชั้นความหนาของเมโซพอร์สคาร์บอนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ต่างกัน จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมไว้จุ่มลงในสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (Potassium Hexacyanoferrate) $K_3Fe(CN)_6$ ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตร ที่ละลายด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 โมลต่อลิตร ฟันแก๊สไนโตรเจนลงในสารละลาย 1 นาที เพื่อไล่แก๊สออกซิเจน จากนั้นทำการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยเครื่อง Autolab พร้อมโปรแกรม ANOVA1.10 ใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วคือ ขั้วไฟฟ้าทำงานที่เตรียมไว้ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ ($Ag/AgCl$) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Platinum electrode)

3.2.7.2 กำหนดพารามิเตอร์ของเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ดังต่อไปนี้

Start potential:	-0.6 โวลต์
Upper vertex potential:	0.8 โวลต์
Low vertex potential:	-0.8 โวลต์
Scan rate:	0.1 โวลต์ต่อวินาที
Step potential:	0.02440 โวลต์

3.2.8 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.2.8.1 การศึกษาผลของอิเล็กโทรไลต์

3.2.8.1.1 เตรียมขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ตามข้อ 3.2.4

3.2.8.1.2 นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ และขั้วไฟฟ้าแพลทินัม จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จากนั้นเติมเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอล 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร

3.2.8.1.3 โดยกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ และบันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรม

Start potential:	0.00 โวลต์
Upper vertex potential:	0.6 โวลต์
Low vertex potential:	0.00 โวลต์
Scan rate:	0.05 โวลต์ต่อวินาที
Step potential:	0.02440 โวลต์

3.2.8.1.4 ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการละลายอิเล็กโทรไลต์ดังต่อไปนี้

ตาราง 3.3 แสดงอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมในการศึกษาอิเล็กทรอนิกส์

สารละลายอิเล็กทรอนิกส์	ความเข้มข้นสารละลายอิเล็กทรอนิกส์ (โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ เอทิลีนไกลคอลและเอทานอล (โมลต่อลิตร)
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.1	0.1
โพแทสเซียมคลอไรด์	0.1	0.1
กรดซัลฟิวริก	0.1	0.1

3.2.8.2 การศึกษาผลของอัตราการสแกน (scan rate)

3.2.8.2.1 เตรียมขั้วไฟฟ้าใช้งานฟลูออรีนเจือทินออกไซด์/เมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์

3.2.8.2.2 จุ่มขั้วไฟฟ้าใช้งานทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ และขั้วไฟฟ้าช่วยแพลทินัม ลงในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ที่มีเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรหรือเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 12 มิลลิลิตร และผ่านแก๊สไนโตรเจน เพื่อไล่แก๊สออกซิเจนเป็นเวลา 1 นาที

3.2.8.2.3 บันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรม โดยกำหนดพารามิเตอร์เหมือนกับข้อ 3.2.8.1.3 โดยให้อัตราการสแกน 5 ถึง 450 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

ตารางที่ 3.4 แสดงสถานะในการศึกษาหาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

อัตราการสแกน(มิลลิโวลต์ต่อวินาที)	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของสารที่จะศึกษา (โมลต่อลิตร)		ปริมาณของความเข้มข้นของสารที่จะศึกษา (มิลลิลิตร)	ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
		เอทิลีนไกลคอล	เอทานอล		
5	0.1	0.1	0.1	6	6
10	0.1	0.1	0.1	6	6
50	0.1	0.1	0.1	6	6
100	0.1	0.1	0.1	6	6
150	0.1	0.1	0.1	6	6
200	0.1	0.1	0.1	6	6
250	0.1	0.1	0.1	6	6
300	0.1	0.1	0.1	6	6
350	0.1	0.1	0.1	6	6
400	0.1	0.1	0.1	6	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 การศึกษาการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ด้วยไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยกระบวนการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry)

การศึกษาการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล(Ethylene Glycol) และเอทานอล(ethanol) ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ทำการตรวจวัดโดยด้วยไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน(Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์(Ag oxide /Mesoporous carbon /FTO) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง + 0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์กับขั้วอื่นๆ

3.2.10 ศึกษาคุณลักษณะของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

ศึกษาความใช้ได้ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโวลแทมเมทรี ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

Start potential:	0.00 โวลต์
Upper vertex potential:	0.6 โวลต์
Low vertex potential:	0.00 โวลต์
Scan rate:	0.100 โวลต์ต่อวินาที
Step potential:	0.02440 โวลต์

3.2.10.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity range)

3.2.10.1.1 ปิเปตสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 1 ถึง 25 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร

3.2.10.1.2 ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน

3.2.10.1.3 กราฟมาตรฐานซึ่งแสดงผลต่างระหว่างความเข้มข้นกับค่ากระแสที่วัดได้

3.2.10.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

วัดสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 5mM ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1M จำนวน11ครั้ง นำกระแสที่ได้คำนวณหาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ

$$LOD = \frac{3SD \text{ of Blank}}{\text{slop}}$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Slope คือ ความชันของกราฟเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10.3 ขีดต่ำสุดในการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

วัดสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 5mM ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1M จำนวน 11 ครั้ง นำกระแสที่ได้คำนวณหาค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์

$$LOQ = \frac{10SD \text{ of Blank}}{\text{slop}}$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Slope คือ ความชันของกราฟเส้นตรง

3.2.10.4 ความเที่ยง(Precision) ใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์สำหรับตรวจวัดสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอล ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตรและสารละลายแบบลงค์ จำนวน 11 ครั้ง โดยวัดกระแสที่ได้แล้วนำกระแสที่ได้แต่ละครั้งไปหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(Relative Standard Deviation; RSD)ที่ได้จากการทำซ้ำ

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

3.2.11 ศึกษาความเสถียรภาพ(Stability)และการทำซ้ำ(Reproducibility)ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

3.2.11.1 ศึกษาความเสถียร (Stability)

3.2.11.2 ศึกษาการทำซ้ำ (Reproducibility)

3.2.12 การศึกษาการทำงานและความเสถียรของขั้วไฟฟ้าในขณะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ +0.39V โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry

3.2.12.1 เตรียมขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน คือ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์, ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย

3.2.12.2 จุ่มขั้วไฟฟ้าลงในสารละลายโดยขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วยและใช้ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

3.2.12.3 ตรวจวัดและบันทึกค่าต่าง โดยใช้พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

Set potential	0.39	โวลต์
Duration	3000	วินาที
Intervaltime	0.5	วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นผลการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมโซพอร์ัสคาร์บอน ผลการทดลองส่วนที่สองการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอน และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอน/เงินออกไซด์ และผลการทดลองส่วนที่สามเป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัดสารเอทิลีนไกลคอล

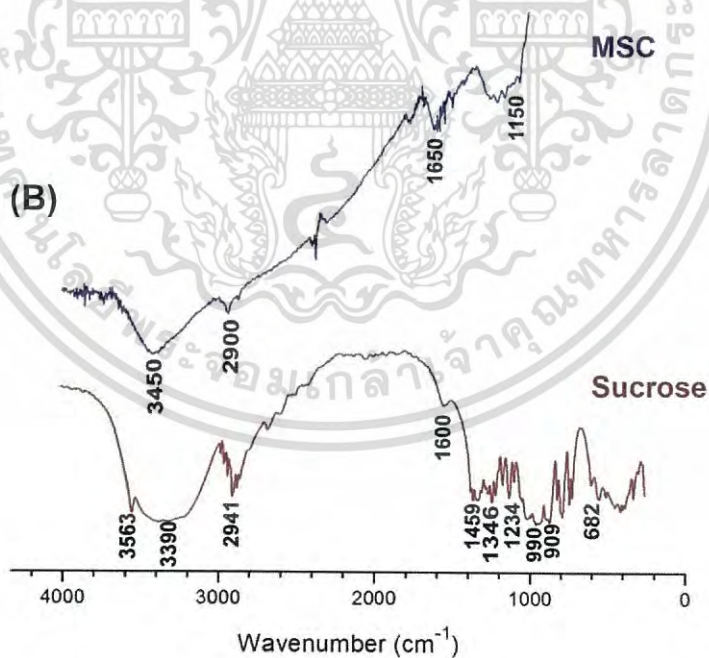
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเมโซพอร์ัสคาร์บอน

4.1.1 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)

การวิเคราะห์เมโซพอร์ัสคาร์บอน ดังรูปที่ 4.1

A. FTIR สเปกตรัมของซูโครส พบว่าปรากฏพีกของ -OH stretching ที่ 3390cm^{-1} ปรากฏพีกของ C-H stretching ที่ 2941cm^{-1} และปรากฏพีกของ $\text{CH}_2\text{-CH}_3$ banding ที่ 1450cm^{-1}

B. FTIR สเปกตรัมของเมโซพอร์ัสคาร์บอน ปรากฏพีกของ -OH stretching ที่ 3450cm^{-1} ปรากฏพีกของ C-H stretching ที่ 2900cm^{-1} ปรากฏพีกของ C=O stretching ที่ 1650cm^{-1} และปรากฏพีกของ C-O stretching ที่ 1150cm^{-1} [29, 30, 42]

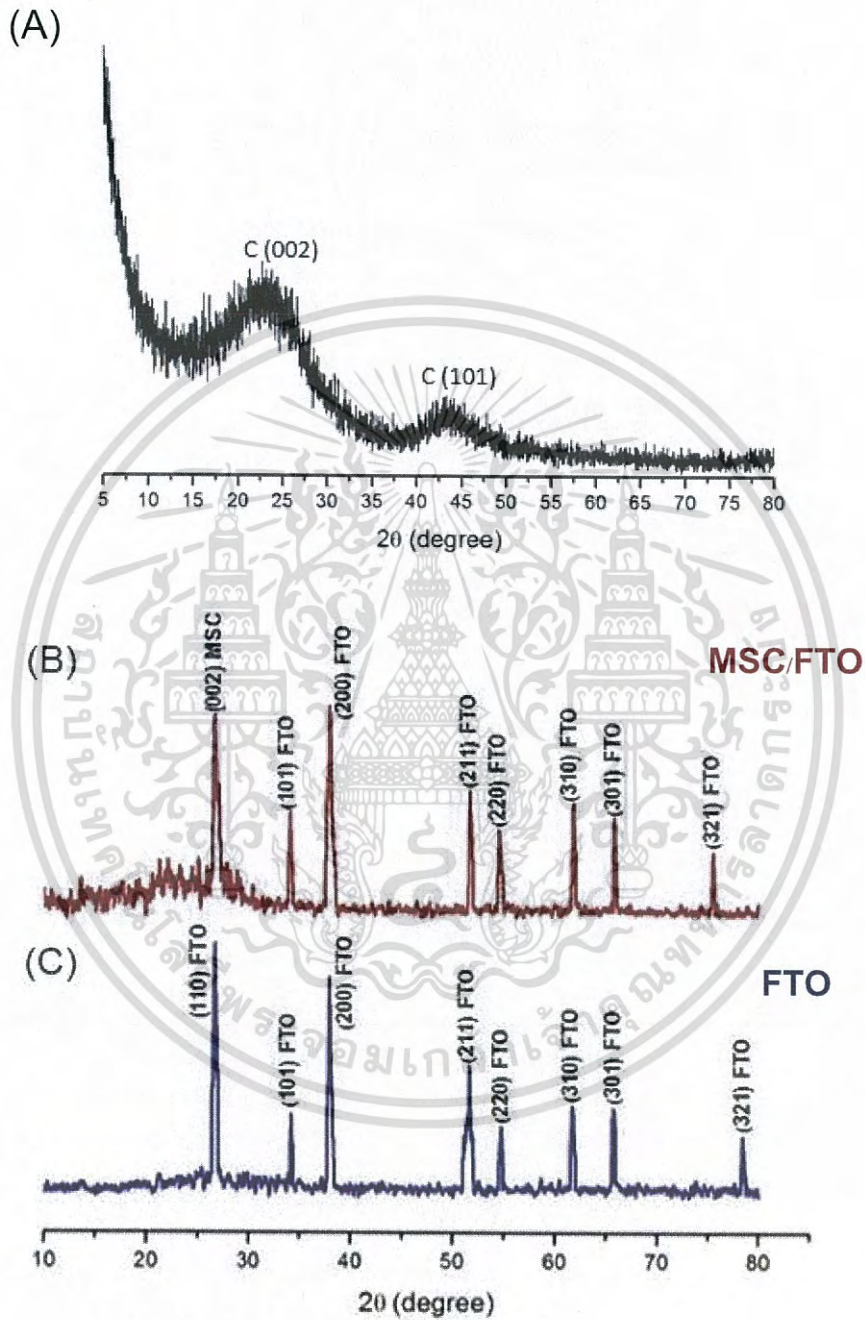


รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (A). Sucrose และ (B). Mesoporous carbon (MSC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (XRD)

การวิเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน



รูปที่ 4.2 XRD pattern สเปกตรัม

- (A). เมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon; MSC)
- (B). เมโซพอร์สคาร์บอน/ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (MSC/FTO)
- (C). ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบ XRD สเปกตรัมแสดงดังรูปที่ 4.2 A และ 4.2 B

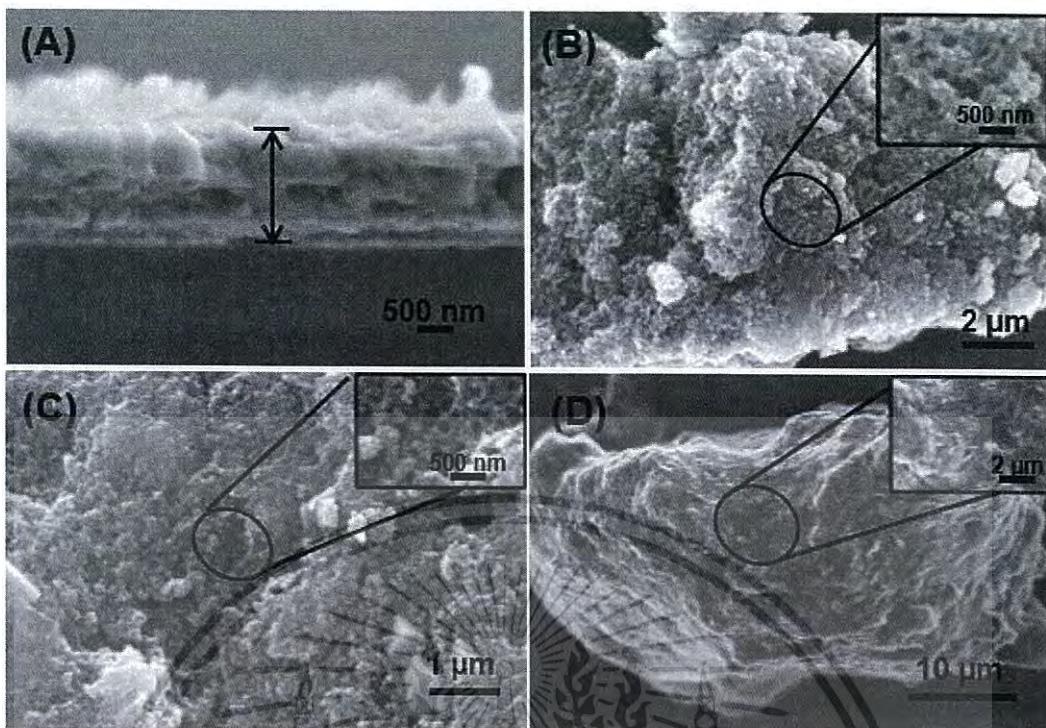
A. XRD pattern ของ MSC ที่เป็นอสังฐานแสดงระนาบตรงตำแหน่ง C(002) และ C(100) ปรากฏมุม 2θ เท่ากับ 24.29° และ 43.31° ตามลำดับ [24, 25, 36, 38, 39]

B. XRD pattern ของ MSC/FTO ซึ่ง MSC ที่เป็นอสังฐานปรากฏมุม 2θ ที่ 24° ถึง 33° แสดงระนาบตรงตำแหน่ง (110) บนผิวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

C. XRD pattern ของ FTO ที่บ่งบอกถึงโครงสร้างของทินออกไซด์ (SnO_2) ได้อย่างชัดเจนที่สุด (JCPDS 41-1445) แสดงระนาบตรงตำแหน่ง (110) และ (200) โดยปรากฏมุม 2θ เท่ากับ 26.78° และ 37.84° ตามลำดับ [45]

4.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของเมโซพอร์สคาร์บอน ในรูปแบบสามมิติด้วยเทคนิค SEM แสดงในรูป 4.3 A ภาพตัดขวางของผิวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน พบว่ามีความหนาของเมโซพอร์สคาร์บอนที่เคลือบอยู่บนผิวของผิวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน เท่ากับ 391 นาโนเมตร รูป B ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (1) การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนโดยใช้ซูโครส กรดซัลฟิวริก และสารลดแรงตึงผิว Pluronic P123 พบว่าที่กำลังขยาย 2 ไมโครเมตร เมโซพอร์สคาร์บอนมีลักษณะคล้ายกลุ่มอนุภาคคาร์บอนที่อัดแน่นเรียงชิดติดกัน ที่กำลังขยาย 500 นาโนเมตร พบว่ารูพรุนมีลักษณะคล้ายปะการัง รูป C ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (3) การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนโดยใช้กลูโคส กรดซัลฟิวริก และสารลดแรงตึงผิว Pluronic P123 พบว่าที่กำลังขยาย 1 ไมโครเมตร เมโซพอร์สคาร์บอนมีลักษณะเป็นแผ่นที่เห็นสามารถมองเห็นรูพรุนขนาดเล็กได้อย่างชัดเจน ที่กำลังขยาย 500 นาโนเมตร พบว่ารูพรุนมีลักษณะคล้ายปะการัง รูป D ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (2) การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนโดยใช้ซูโครสและกรดซัลฟิวริก พบว่าที่กำลังขยาย 10 ไมโครเมตร เมโซพอร์สคาร์บอนมีลักษณะคล้ายอนุภาคคาร์บอนขนาดใหญ่ ที่กำลังขยาย 2 ไมโครเมตรมีลักษณะคล้ายแผ่นเยื่อที่มองเห็นรูพรุนขนาดใหญ่



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบสองกราด

- (A). ภาพตัดขวางขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน
 (B). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (1)
 (C). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (2)
 (D). ภาพอนุภาคของเมโซพอร์สคาร์บอน (3)

4.1.4 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน(BET)

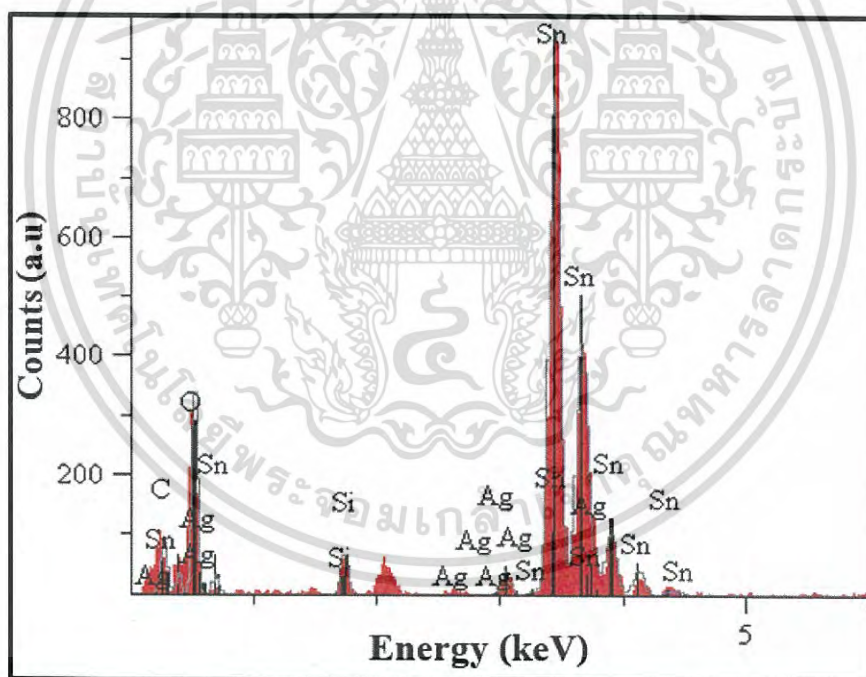
การวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของการสังเคราะห์เมโซพอร์สทั้งสามชนิด(แสดงวิธีสังเคราะห์สารในภาคผนวก ก) พบว่า MSC(1) ที่สังเคราะห์จาก Sucrose + Sulfuric acid + Pluronic P123 มี surface area และ pore size น้อยที่สุด เนื่องจากการขณะทำการวัด BET ไม่ได้ซังสารตัวอย่างในน้ำหนักที่เท่ากันโดยที่เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์นี้เป็นการวัดโดยน้ำหนัก (m^2/g) กล่าวคือเมื่อสารที่มีรูพรุนใหญ่ทำให้มีน้ำหนักเบาทำให้ซังสารตัวอย่างมาในปริมาณที่มากกว่าสารตัวอย่างที่มีขนาดรูพรุนเล็กส่งผลให้มี surface area และ pore size สูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน

ชนิด	Surface area (m ² /g)	Pore size (nm)
MSC(1) (Sucrose + Sulfuric acid + Pluronic P123)	1786	24.49
MSC(2) (Glucose + Sulfuric acid + Pluronic P123)	1965	31.21
MSC(3) (Sucrose + Sulfuric acid)	2095	30.76

4.1.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมี (EDX)

จากการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ที่เตรียมได้ โดยใช้เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDX) พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ คือธาตุคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ซิลิคอน (Si) ซิลเวอร์ (Ag) และทิน (Sn) ปริมาณธาตุของเมโซพอร์สคาร์บอนแสดงดังรูปที่ 4.4

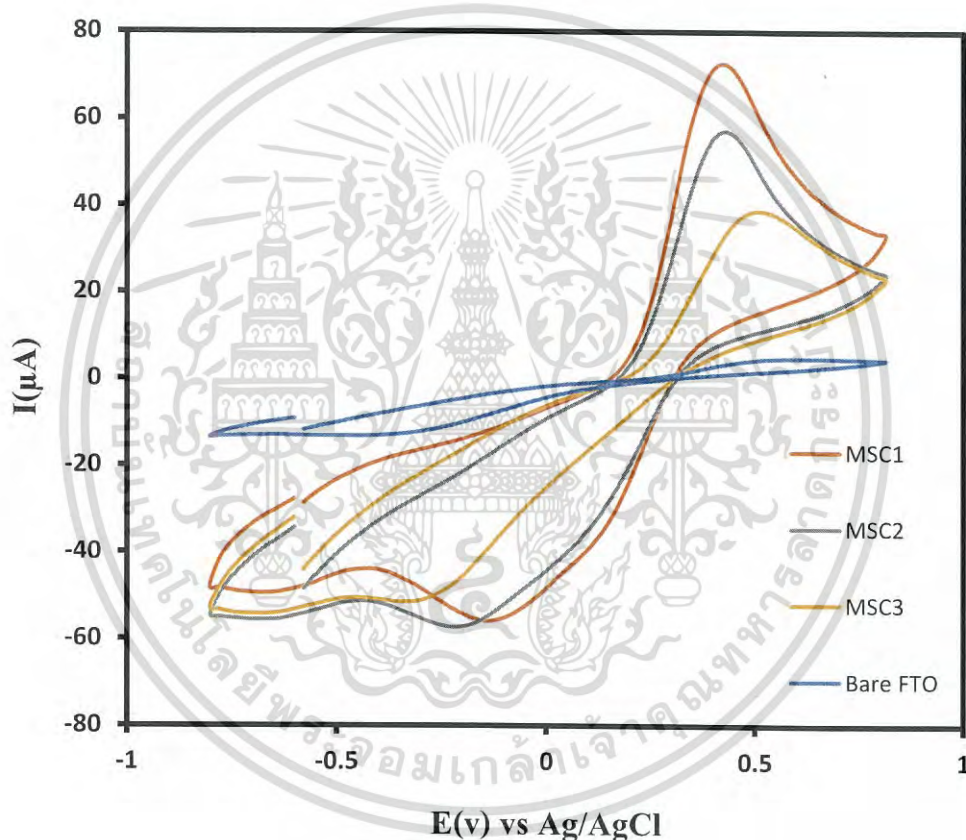


รูปที่ 4.4 รูปแบบ EDX ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้แต่ละชนิด

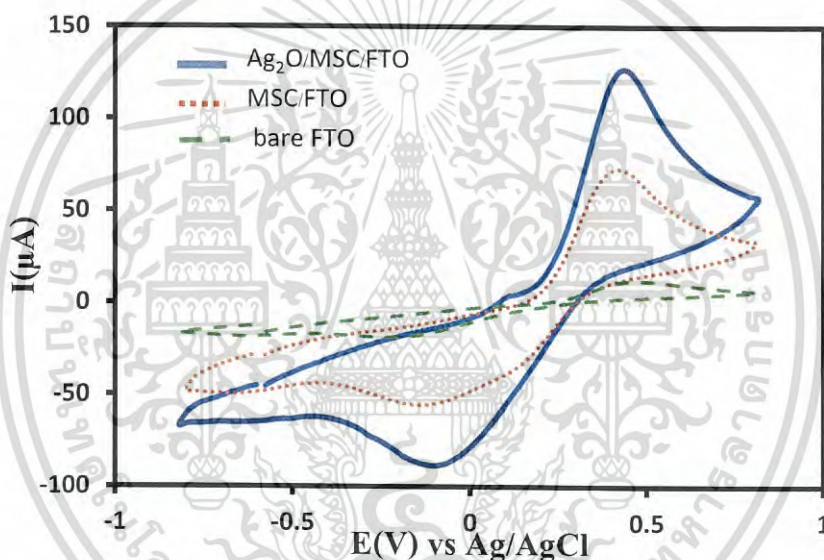
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเมโซพอร์สทั้ง 3 ชนิด คือ MSC(1) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 MSC(2) สังเคราะห์ได้จาก กลูโคส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 MSC(3) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครสกับกรดซัลฟิวริก แสดงดังรูปที่ 4.5 ใช้ตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.8 ถึง 0.8 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที (แสดงวิธีสังเคราะห์สารในภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.5 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้า (A) MSC(1) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 (B) MSC(2) สังเคราะห์ได้จาก กลูโคส กรดซัลฟิวริก และ Pluornic p123 (C) MSC(3) สังเคราะห์ได้จาก ซูโครสและกรดซัลฟิวริก

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด คือ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon/FTO) และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide /mesoporous carbon /FTO) แสดงดังรูปที่ 4.6 ใช้ตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.8 ถึง 0.8 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

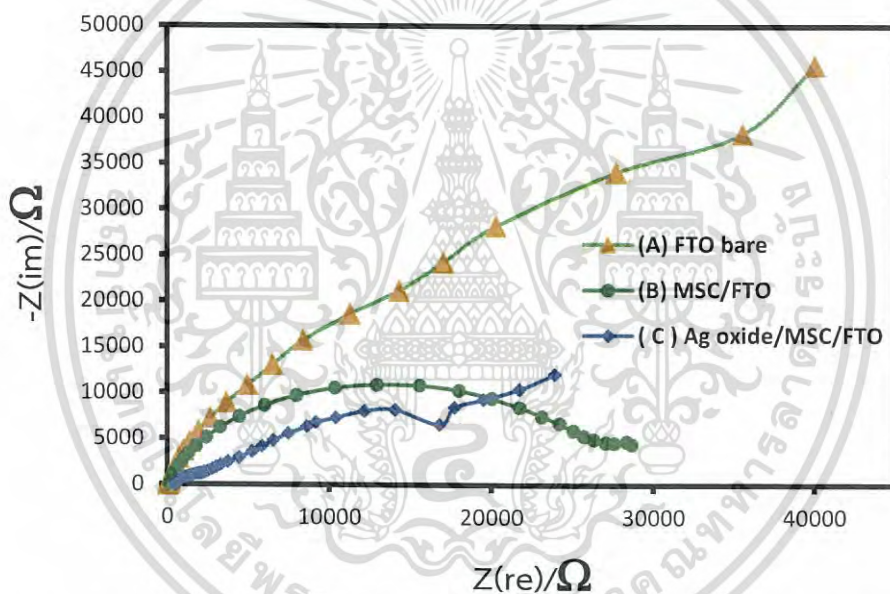


รูปที่ 4.6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้า (A) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag_2O) (B) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (MSC/FTO) (C) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO)

เมื่อพิจารณาถึงค่ากระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมจากรูป 4.5 ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยกระบวนการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า 1 ชั้น ให้กระแสที่สูงกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการนำเมโซพอร์สคาร์บอนเงินออกไซด์ สามารถนำมาปรับปรุงขั้วไฟฟ้า และมีคุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี มีความเสถียรภาพสูง เมโซพอร์สคาร์บอนมีพื้นที่ผิวมาก และช่วยทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีที่หน้าขั้วไฟฟ้า การเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าขั้วจึงทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดีขึ้น

4.4 การวัดค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของขั้วไฟฟ้าโดยใช้โดยการวัดค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ Amplitude 5 มิลลิโวลต์ในช่วงความถี่ที่ 0.1Hz ถึง 105 Hz กับสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตรละลายในโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ขั้วไฟฟ้าที่จะทำการทำการตรวจวัดคือขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย(bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน(Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์(Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) โดยค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าที่วัดได้จะอยู่ที่ 35596Ω 26342.4Ω 26342.4Ω ตามลำดับ ค่าความต้านทานที่ลดลงเกิดจาก MSC, Ag_2O/MSO ที่อยู่บนพื้นผิวหน้าขั้วไฟฟ้าเพราะมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ดีตามไปด้วย ดังรูปที่ 4.7

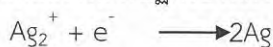


รูปที่ 4.7 กราฟ Nyquist ของ (A) FTO bare, (B) MSC/FTO, (C) $Ag_2O/MSO/FTO$ ในสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตความเข้มข้น 5 มิลลิโมลต่อลิตร และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร

4.5 ผลการศึกษาการเตรียมขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

การเตรียมซิลเวอร์ไนเตรทลงบนขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ใช้ซิลเวอร์ไนเตรทที่มีความเข้มข้น 10×10^{-3} โมลต่อลิตร โดยทำการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิง และแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย โดยให้ศักย์ไฟฟ้าช่วยที่ -3.0 โวลต์

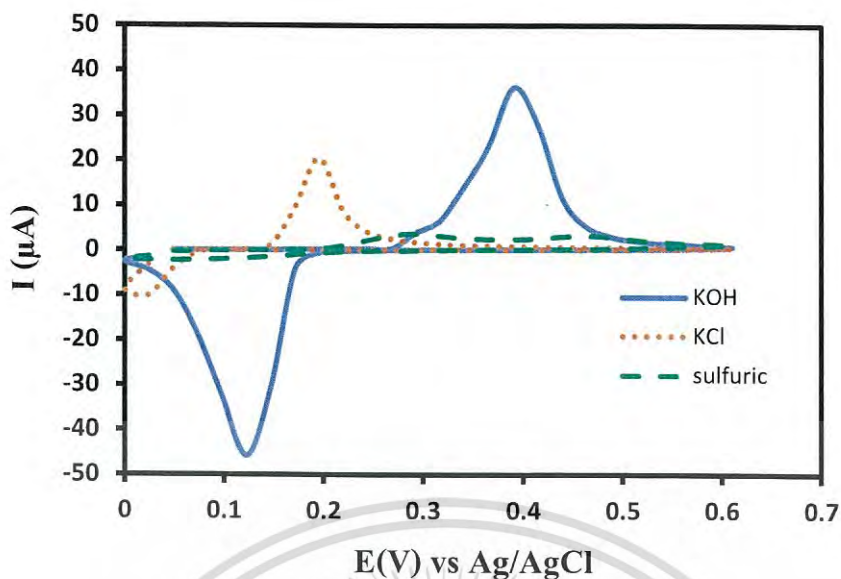
กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้ว



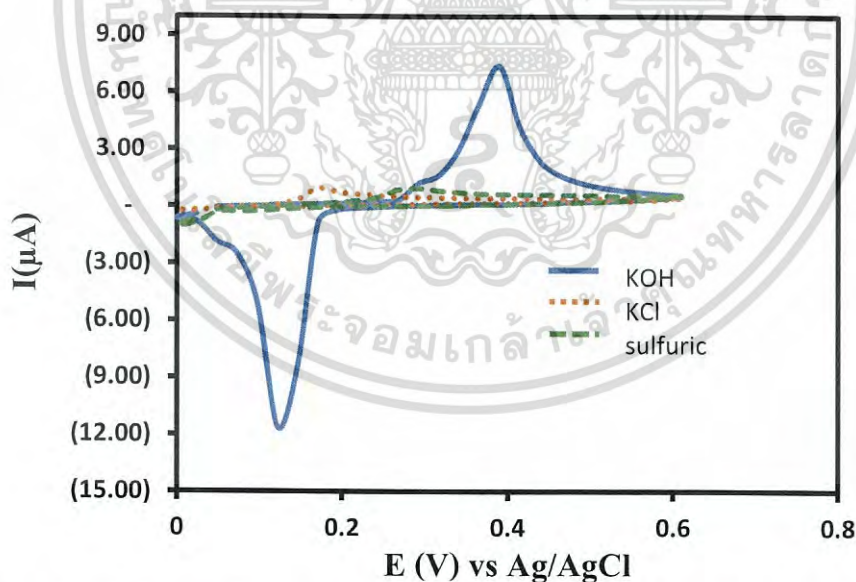
4.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล และเอทานอล

4.6.1 การศึกษาผลของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

การศึกษานิตของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นเดียวกัน คือ 0.1 โมลต่อลิตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก โพแทสเซียมคลอไรด์ ตรวจวัดสารเอทิลีนไกลคอลและเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน/เงินออกไซด์ โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง $+0.6$ โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ผลของไซคลิกโวลแทมโมแกรมของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 ซิกนัลโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทีลินไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (A) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (B) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (C) กรดซัลฟิวริก ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง 0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.9 ซิกนัลโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (A) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (B) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (C) กรดซัลฟิวริก ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO) สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง 0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

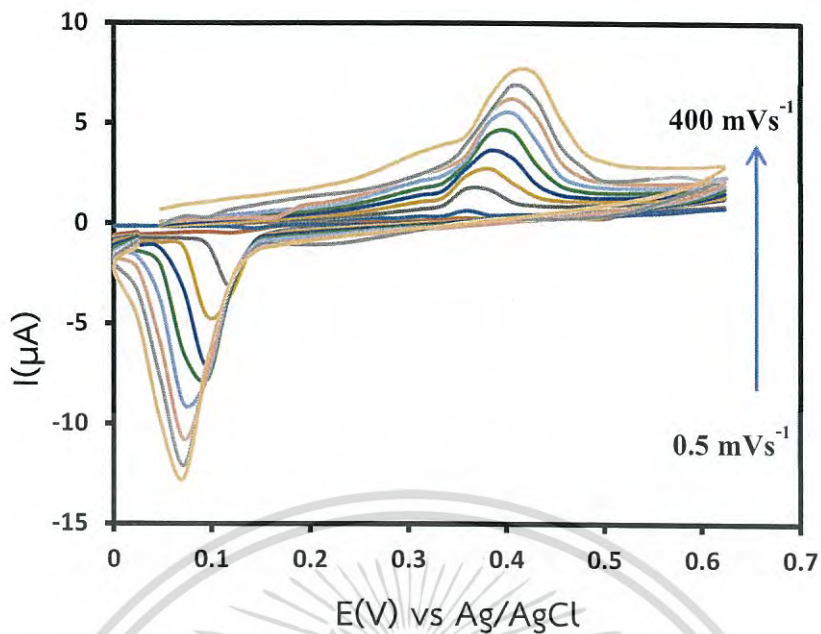
ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าและกระแสออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/MSC/FTO)

ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (ความเข้มข้น 0.1 M)	เอทิลีนไกลคอล		เอทานอล	
	ศักย์ไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	ศักย์ไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า
	ออกซิเดชัน (V)	ออกซิเดชัน (μ A)	ออกซิเดชัน (V)	ออกซิเดชัน (μ A)
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.390	36.218	0.390	7.379
โพแทสเซียมคลอไรด์	0.195	20.404	0.170	0.940
กรดซัลฟิวริก	0.292	3.628	0.292	0.936

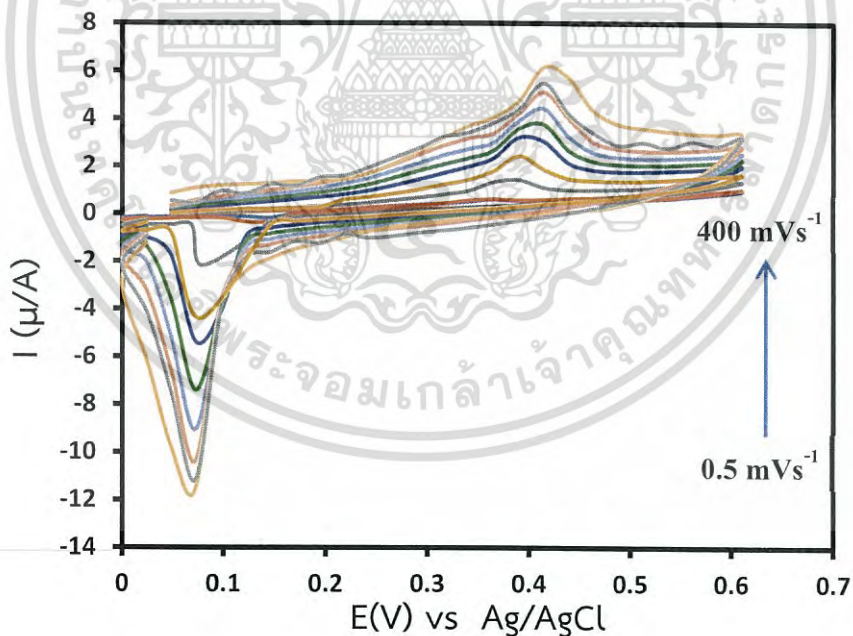
เนื่องจากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ให้พิกอกซิเดชันและรีดักชันที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 กล่าวถึงเฉพาะตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งพิกอกซิเดชันมีค่าสูงกว่ากระแสรีดักชัน และพบว่ากระแสออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอลในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ให้ค่ากระแสสูงกว่ากรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมคลอไรด์ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของไซคลิกโวลแทมโมแกรมจะให้ออกพิกที่คมชัดกว่ากรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมคลอไรด์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เป็นอิเล็กโทรไลต์ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล

4.6.2 ผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

อัตราการสแกนที่มีผลต่อไซคลิกโวลแทมโมแกรม เมื่อเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันมีการเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 เอทิลีนไกลคอลค่าศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดที่ประมาณ +0.39 V และเอทานอลค่าศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดที่ประมาณ +0.4 V การเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์เป็นปฏิกิริยาแบบ Quasireversible เมื่อนำค่ากระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอลมาพล็อตกับอัตราการสแกน ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับอัตราการสแกนเป็นเส้นตรงแสดงว่ากระบวนการนี้เป็นแบบ absorption-control แต่ถ้าพล็อตระหว่างค่ากระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมกับรากที่สองของอัตราการสแกนดังนั้นจึงเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าแบบ Diffusion-control

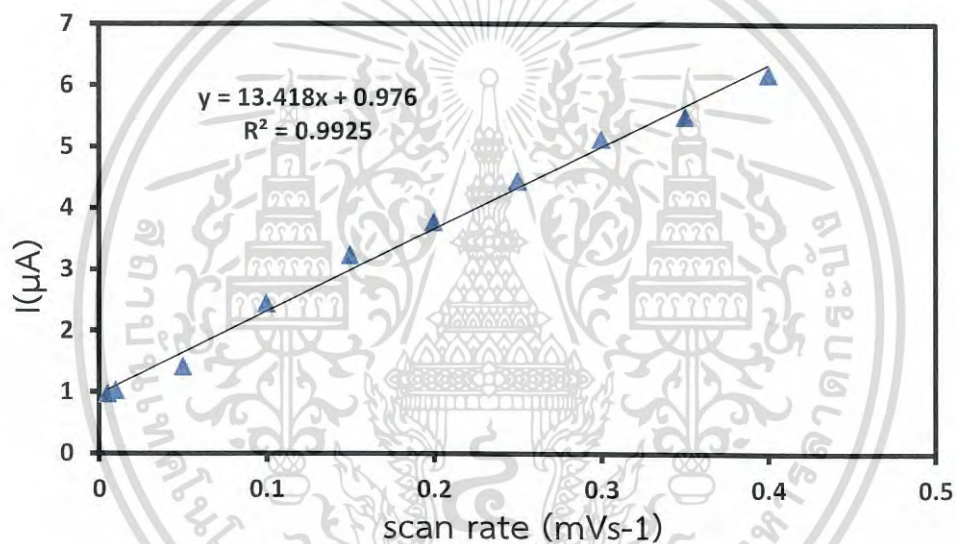
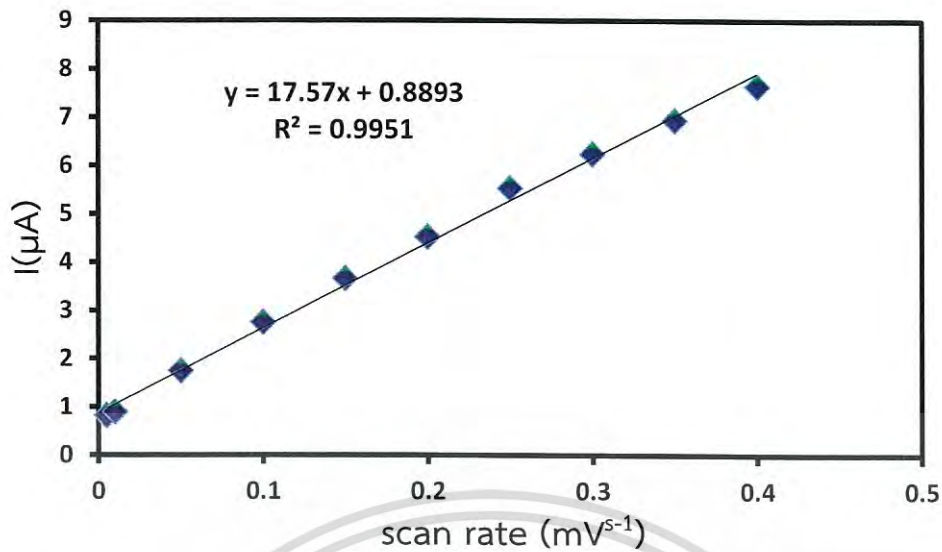


รูปที่ 4.10 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ที่อัตราการสแกนต่างๆ



รูปที่ 4.11 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การศึกษาอัตราการสแกนช่วง 5 ถึง 400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ในการตรวจวัดเอทิลีน-ไกลคอลและเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรจากการศึกษาจึงได้เลือกอัตราการสแกนที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีเนื่องจากให้กระแสที่เหมาะสมไม่เกิดสัญญาณการรบกวนจากสภาวะการตรวจวัดโดยสังเกตจากความเรียบของสัญญาณของแบ็คกราวนด์ สำหรับอัตราการสแกนในช่วงที่ต่ำกว่า 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที พบว่าการสแกนในแต่รอบมีความละเอียดมากกว่า ใช้เวลานานและได้กระแสการตรวจวัดต่ำส่วนอัตราการสแกนในช่วงที่สูงกว่า 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที การสแกนในแต่รอบไม่ละเอียดส่งผลทำให้ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดสารทั้งสามชนิดไม่คงที่และได้ลักษณะพีกกว้าง ทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าของสารทั้งสามชนิดได้อย่างชัดเจน การเลื่อนของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าไปทางด้านลบและบวกทำให้ไม่สามารถทำการตรวจวัดสารทั้งสามชนิดที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ได้ และเกิดสัญญาณการรบกวนจากสภาวะภายนอก แบ็คกราวนด์จึงสูงทำให้กระแสที่ได้จากการตรวจวัดต่ำกว่าความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการศึกษาการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลและเอทานอลด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

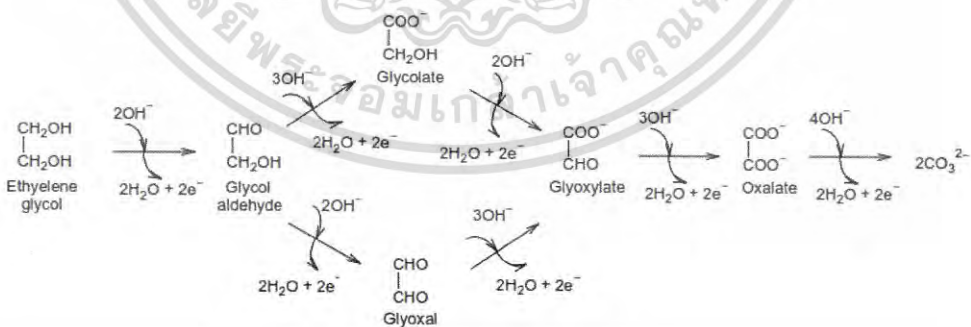
ผลการศึกษาการเกิดออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอล ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เอทานอล ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 4.14

4.7.1 การเกิดออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลที่ 0.39 โวลต์

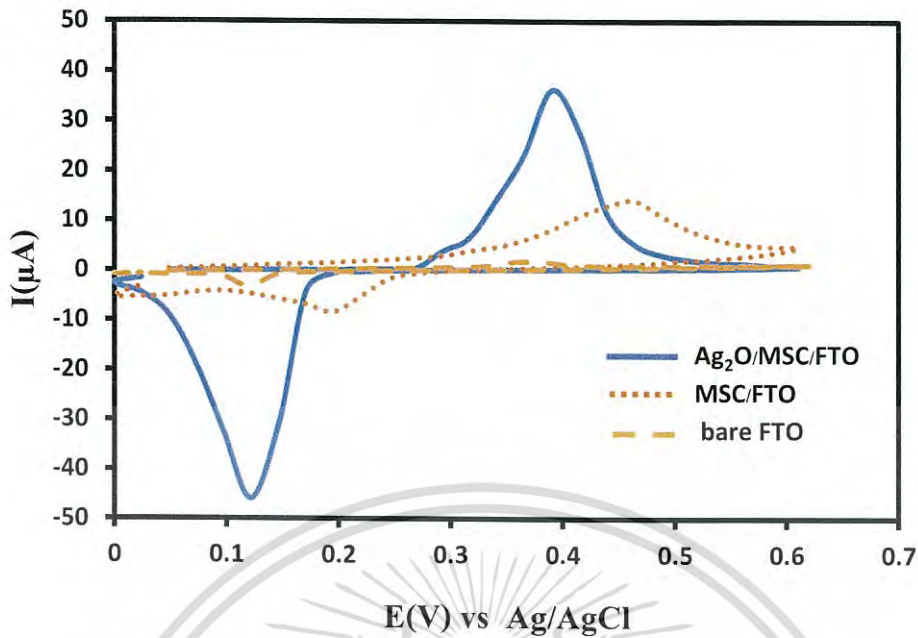
จากภาพแสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์(Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) กระแสไฟฟ้าที่ได้คือ 36.2183 ไมโครแอมป์สูงเป็น 3 เท่าของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) กระแสที่ได้คือ 1.74622 ไมโครแอมป์ และสูงเป็น 1 เท่าของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน(Mesoporous carbon/FTO) กระแสที่ได้คือ 14.63867 ไมโครแอมป์

4.7.2 การเกิดออกซิเดชันของเอทานอลที่ 0.39 โวลต์

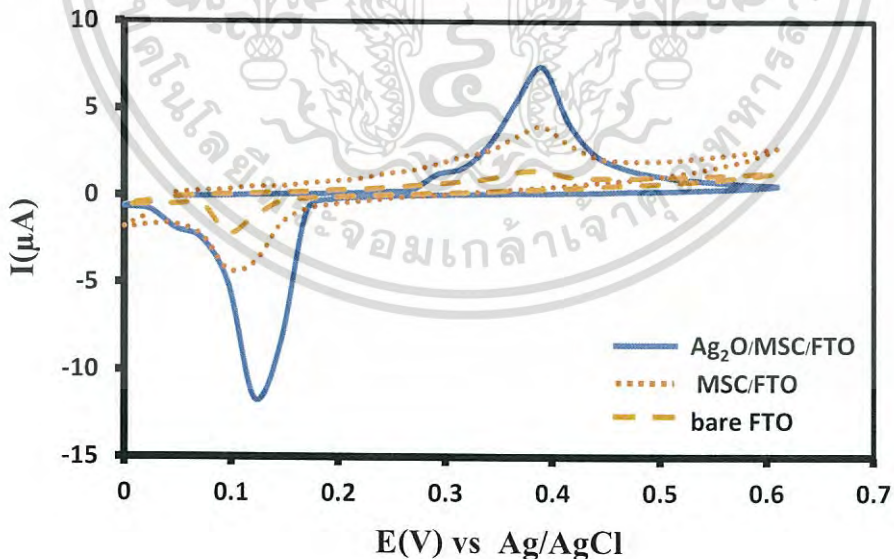
จากภาพแสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) กระแสที่ได้คือ 7.37915 ไมโครแอมป์ สูงเป็น 3 เท่า ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) กระแสที่ได้ 1.4163 ไมโครแอมป์ และสูงเป็น 2 เท่าของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon/FTO) กระแสที่ได้ 3.96118 ไมโครแอมป์



รูปที่ 4.13 สมการการแตกตัวของเอทิลีนไกลคอล [46]



รูปที่ 4.14 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอน (Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยด้วยเมโซพอร์ัสคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) โดยใช้เทคนิคไชคคลิกโวลแทมเมตรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.15 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือ

ฟลูออรีนเปลือย (bare FTO) ขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน (Mesoporous carbon/FTO) ขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ (Ag oxide/Mesoporous carbon/FTO) โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.00 ถึง +0.6 โวลต์ อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.8 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์และความเที่ยง

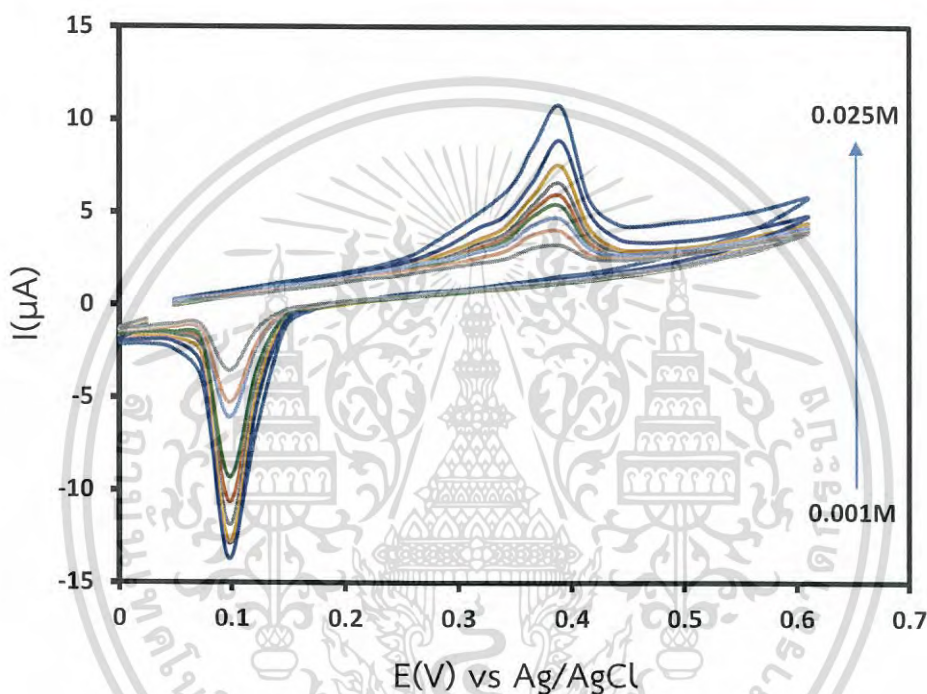
ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล

ครั้งที่	ค่ากระแส(μA)		
	แปลงค์	เอทิลีนไกลคอล	เอทานอล
1	10.6425	4.66309	3.49426
2	10.5906	4.63192	3.5442
3	10.8093	4.6122	3.47461
4	10.2417	4.6154	3.44216
5	10.2875	4.60982	3.41427
6	10.4187	4.62153	3.49415
7	10.3333	4.61103	3.47126
8	10.2905	4.61285	3.49666
9	10.6141	4.57291	3.47426
10	10.8744	4.66172	3.45423
11	10.7211	4.66102	3.48346
ค่าเฉลี่ย	10.34456	4.624863	3.476693
SD	0.225144	0.027747	0.033541
%RSD		0.5999	0.9647

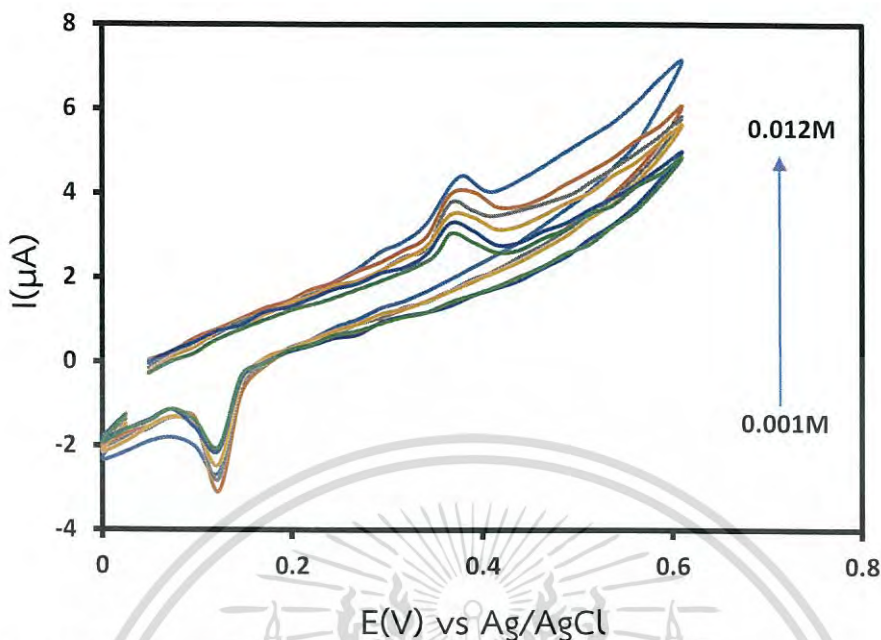
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 ช่วงเป็นเส้นตรง (Linearity range)

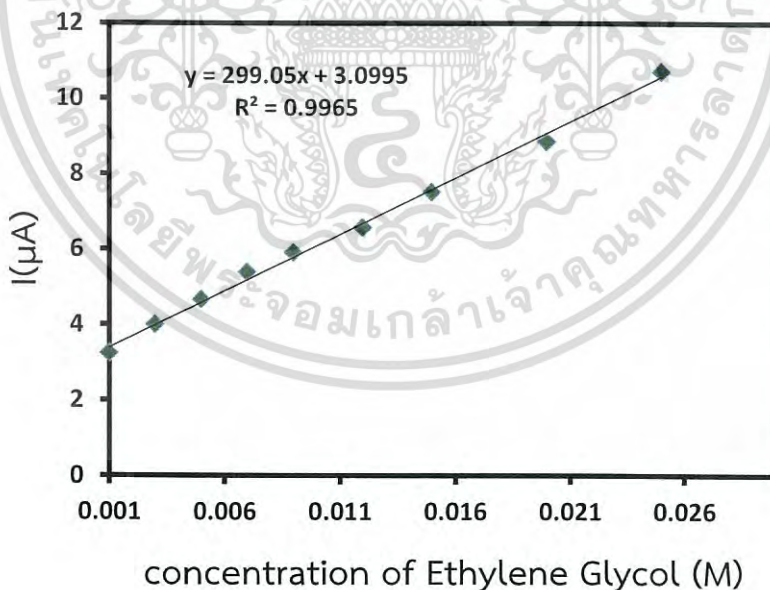
จากการตรวจวัดสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอลความเข้มข้น 1 ถึง 25 มิลลิโมลต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 6 มิลลิลิตร ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ จะได้ไซคลิกโวลแทมโมแกรม ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 พบว่ากระแสจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอล และเมื่อนำผลค่ากระแสไปพล็อตกราฟมาตรฐาน(Calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไกลคอลหรือเอทานอล กับค่ากระแสที่ตรวจวัดได้ ดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.16 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9,12,15,20 และ 25 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

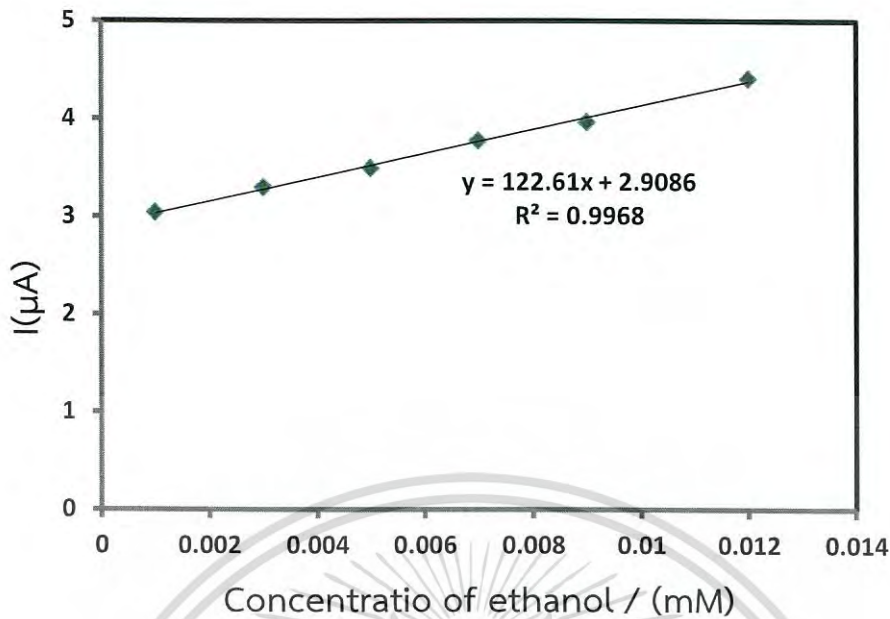


รูปที่ 4.17 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9 และ 12 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้กับความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1,3,5,7,9,12,15,20 และ 25 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้กับความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 1,3,5,7,9 และ 12 มิลลิโมลต่อลิตร ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร อัตราการสแกน 100mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์

4.8.2 ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

4.8.2.1 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเอทิลีนไกลคอล

$$LOD = \frac{3SD \text{ of Blank}}{slop}$$

$$LOD = \frac{(3)(0.225144)}{299.05}$$

$$LOD = 2.258 \text{ mM}$$

4.8.2.2 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเอทานอล

$$LOD = \frac{3SD \text{ of Blank}}{slop}$$

$$LOD = \frac{(3)(0.225144)}{122.61}$$

$$LOD = 18.42 \mu\text{M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 ขีดต่ำสุดในการวิเคราะห์(Limit of quantitation, LOQ)

4.8.3.1 ขีดต่ำสุดในการวิเคราะห์เอทิลีนไกลคอล

$$LOQ = \frac{10SD \text{ of Blank}}{\text{slop}}$$

$$LOQ = \frac{(10)(0.225144)}{299.05}$$

$$LOQ = 9.829 \text{ mM}$$

4.8.3.2 ขีดต่ำสุดในการวิเคราะห์เอทานอล

$$LOQ = \frac{10 SD \text{ of Blank}}{\text{slop}}$$

$$LOQ = \frac{(10)(0.225144)}{0.1126}$$

$$LOQ = 18.326 \text{ mM}$$

4.8.4 ความเที่ยง (precision)

4.8.4.1 เอทิลีนไกลคอล

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100$$

$$\%RSD = \frac{0.027747}{4.624863} \times 100$$

$$\%RSD = 0.5999$$

4.8.4.2 เอทานอล

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100$$

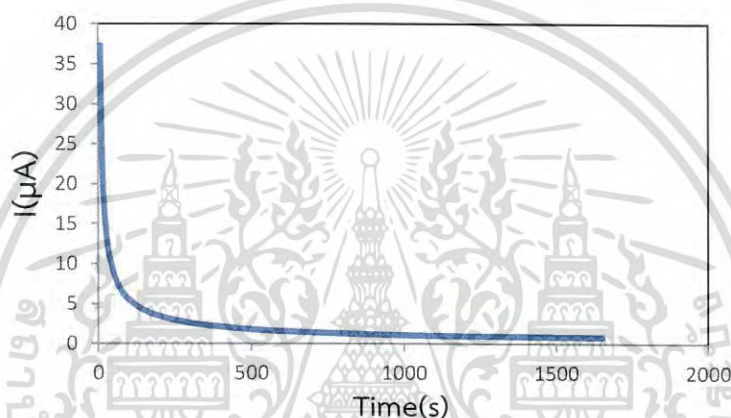
$$\%RSD = \frac{0.033541}{3.476693} \times 100$$

$$\%RSD = 0.9647$$

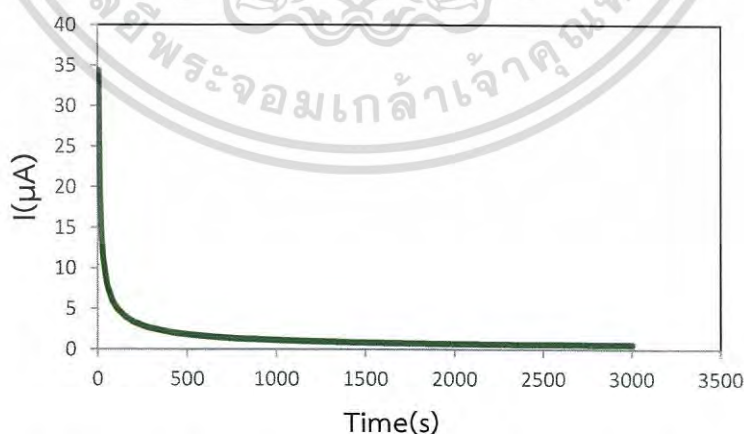
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลการศึกษาการทำงานและความเสถียรของขั้วไฟฟ้าในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry

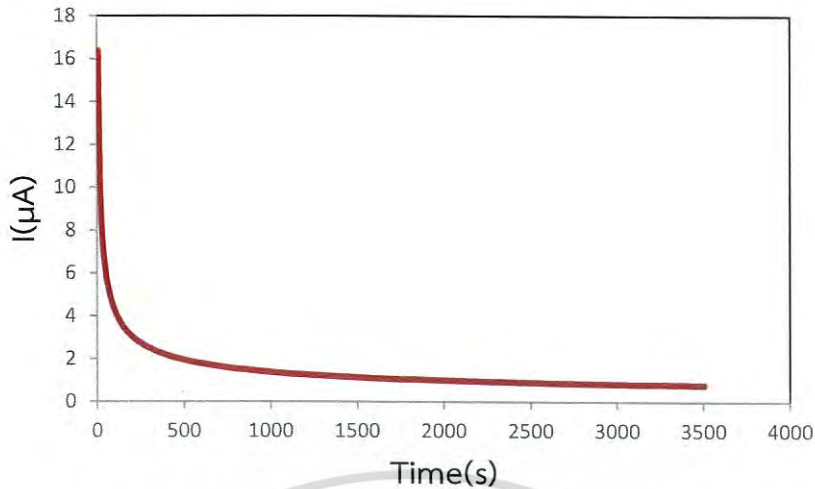
โดยขั้วไฟฟ้า Ag oxide/MSC/FTO ค่ากระแสเริ่มจากประมาณ 37.6 μA จากนั้นลดลงและคงที่ ที่กระแสประมาณ 3 μA ขั้วไฟฟ้า MSC/FTO ค่ากระแสเริ่มจากประมาณ 34 μA จากนั้นลดลงและคงที่ ที่กระแสประมาณ 3 μA ส่วนในของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรโดยขั้วไฟฟ้า Ag oxide/MSC/FTO ค่ากระแสเริ่มจากประมาณ 16 μA จากนั้นลดลงและคงที่ ที่กระแสประมาณ 1.02 μA ขั้วไฟฟ้า MSC/FTO ค่ากระแสเริ่มจากประมาณ 2.50 μA จากนั้นลดลงและคงที่ ที่กระแสประมาณ 0.57 μA ดังรูปที่ 4.20 - 4.23



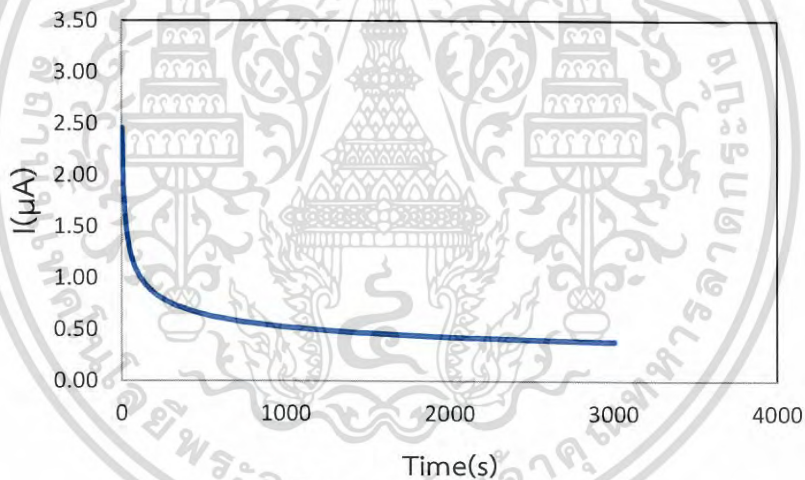
รูปที่ 4.20 ผลการวัดความเสถียรของ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ในสารละลายเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry



รูปที่ 4.21 ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ในสารละลายเอทิลีนไกลคอล ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry



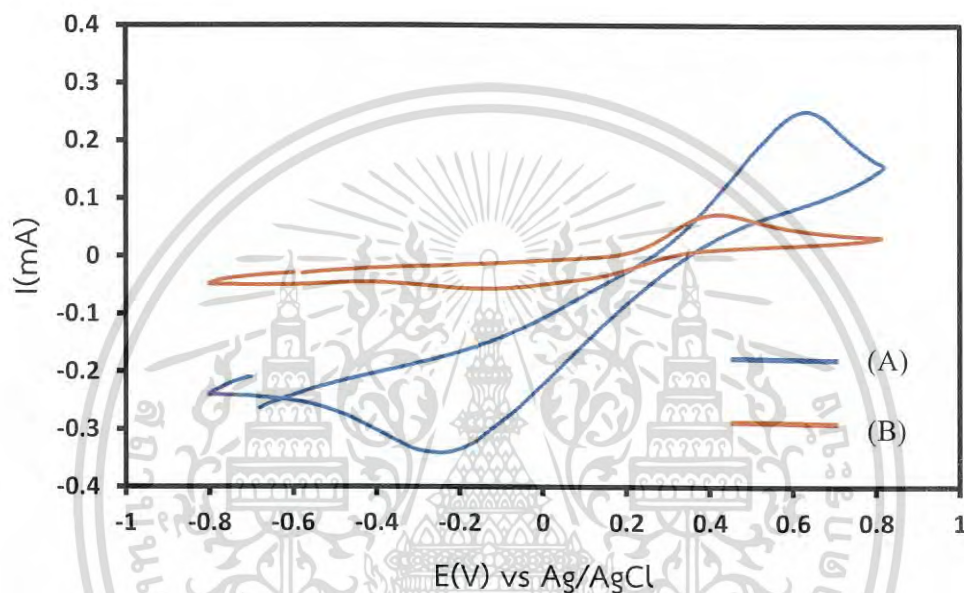
รูปที่ 4.22 ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry



รูปที่ 4.23 ผลการวัดความเสถียรของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอน ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยใช้เทคนิค Chronoamperometry

4.10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนต่างชนิด

ทำการเปรียบเทียบระหว่างเมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากซูโครส กรดซัลฟิวริกและ Pluronic p123 กับเมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากเรโซซินอลและฟอร์มมาดีไฮด์ โดยใช้ตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1 ถึง +1 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.24 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง (A) เมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากซูโครส กรดซัลฟิวริกและ Pluronic p123 (B) เมโซพอร์สคาร์บอนที่ทำมาจากเรโซซินอลและฟอร์มมาดีไฮด์ โดยใช้ตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลต่อลิตรในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1 ถึง +1 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมโซพอร์สคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาในเชื้อเพลิงทดแทน ส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์มาจากสารประเภทที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีราคาสูง และการเก็บรักษาก็ทำได้ยาก งานวิจัยนี้จึงได้นำวัตถุดิบทางการเกษตรหรือสารชีวภาพมาใช้ทดแทนสารตั้งต้นที่ใช้ในปัจจุบันที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน (น้ำตาล) เพื่อลดต้นทุนการผลิต ลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ลดปัญหามลพิษในขณะเดียวกันและไม่มีปัญหาในการกักเก็บ ให้พลังงานสูง จึงได้นำน้ำตาลมาใช้ในการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน ซึ่งเมโซพอร์สคาร์บอนจะมีขนาดรูพรุนในช่วง 2 ถึง 50 นาโนเมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็ก (ขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง 2 ถึง 10 นาโนเมตร) จะมีประโยชน์คล้ายกับรูพรุนแบบไมโครพอร์ในด้านความสามารถในการกักเก็บโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกสารชีวโมเลกุล เช่น เอนไซม์ หรือดีเอ็นเอ เป็นต้น เนื่องจากสารชีวโมเลกุลโดยมากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ในระดับนาโนเมตร จึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์จากผนังของเมโซพอร์ยังคงมีอิทธิพลต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้ ผลที่ตามมาทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์ขนาดเล็กยังคงมีศักยภาพในการกักเก็บสารชีวโมเลกุลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบเมโซพอร์นั้นมีถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์ จึงได้นำเมโซพอร์สคาร์บอนมาประยุกต์ใช้งานด้านการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยา

จากการเตรียมชีวไฟฟ้าที่นอกไฮด์รเจนฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนร่วมกับเงินออกไซด์ พบว่าการนำเมโซพอร์สคาร์บอนมาทำการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับกับเงินออกไซด์มาใช้ในการพัฒนาชีวไฟฟ้า สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลีนไกลคอลได้ดีและให้ค่ากระแสที่สูง การเพิ่มเมโซพอร์สคาร์บอนลงบนชีวไฟฟ้านั้น ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง, การดูดซับอิเล็กตรอน และสมบัติทางไฟฟ้าดีขึ้น อีกทั้งยังทนต่อกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมโดยทั่วไป ในกรณีที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst supports) พบว่ามีการนำเมโซพอร์สคาร์บอนไปใช้สำหรับกระจายตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาสูง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาและปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของตัวเร่งปฏิกิริยา เมโซพอร์สคาร์บอนที่นำมาทำการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับเงินออกไซด์ ยิ่งทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นไปอีก โดยชีวไฟฟ้าที่เตรียมขึ้นได้นำไปศึกษาในการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเอทิลีนไกลคอล พบว่า ชีวไฟฟ้าที่นอกไฮด์รเจนฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนให้ค่ากระแสเท่ากับ 14.0442 ไมโครแอมแปร์ แต่เมื่อนำชีวไฟฟ้าที่นอกไฮด์รเจนฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยเมโซพอร์สคาร์บอนมาทำการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับเงินออกไซด์จะให้กระแสเพิ่มขึ้นจาก 14.0442 ไมโครแอมแปร์ เป็น 36.2183 ไมโครแอมแปร์ แสดงว่า เอทิลีนไกลคอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี จึงสามารถนำไปใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงาน (Quantum devices) ได้ในกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงได้ และยังช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและการขาดแคลนพลังงานในชีวิตประจำวันได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ในขั้นตอนการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน ถ้าหากใช้ Teflon Autoclave ในการให้ความร้อน จะทำให้เมโซพอร์สคาร์บอนที่ได้มีเถ้าปนอยู่ด้วย แต่ถ้าใช้ขามระเหยแล้วนำไปให้ความร้อนโดยเอาเข้าเตบอบ จะไม่ทำให้เกิดเถ้า

5.2.2. ขณะตรวจวัดสารด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีและดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี จะเกิดการรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม ทำให้ข้อมูลที่วิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย เราจึงควรทำการตัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ฟาราเดย์คัพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขณะทำการตรวจวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hansan Liu and Jiujun Zhang. **Electrocatalysis of Direct Methanol Fuel Cells.**
- [2] **World Fuel Cells.** 2002. 81–96.
- [3] S. Mitchell and J. Pérez-Ramírez, “**Mesoporous zeolites as enzyme carriers: Synthesis, characterization, and application in biocatalysis**”, *Catalysis Today.* 168 (2011) 28-37
- [4] Jifei Jia, Ye Wang, Eishi Tanabe, Tetsuya Shishido and Katsuomi Takehira, “**Carbon fibers prepared by pyrolysis of methane over Ni/MCM-41 catalyst**”, *Microporous and Mesoporous Materials.* 57 (2003) 283–289
- [5] Daniel Blaustein-Rejto [online] เข้าถึงได้จาก: <http://inhabitat.com/nyc/massive-fuel-cell-could-put-nycs-city-hall-off-the-grid/>
- [6] CUHK Physics World Working Group [online] เข้าถึงได้จาก: http://www.hkphy.org/energy/commercial/print/cell_phy_print_e.html
- [7] Antig Technology Co. Ltd [online] เข้าถึงได้จาก : http://www.antig.com/technology/technology_fuel_cells.htm
- [8] Hiroko Sotouchi and Akiffusa Hagiwara. “**Phosphoric Acid Fuel Cells.**” *Energy Carriers and Conversion Systems Vol.II*
- [9] เข้าถึงได้จาก: <http://www.phosphoricacidfuelcell.com/>
- [10] Kouichi Takizawa. “**Molten Carbonate Fuel Cells.**” *Energy Carriers and Conversion Systems Vol.II*
- [11] เข้าถึงได้จาก: http://www.fuelcellmarkets.com/fuel_cell_markets/molten_carbonate_fuel_cells_mcfc/4,1,1,2505.html
- [12] Osamu Yamamoto. “**Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects.**” *Electrochimica Acta.* 45 (2000) 2423–2435.
- [13] A. Boudghene Stambouli, E. Traversa. “**Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy.**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 6 (2002) 433–455.
- [14] Subhash C. Singhal. *The Electrochemical Society Interface.* เข้าถึงได้จาก: https://www.electrochem.org/dl/interface/wtr/wtr07/wtr07_p41-44.pdf
- [15] เข้าถึงได้จาก: http://www.fuelcellmarkets.com/fuel_cell_markets/solid_oxide_fuel_cells_sofc/4,1,1,2503.html
- [16] ASTM International (2005b). “**Standard Classification System for Carbon Blacks.**” *Evaluation in Natural Rubber (Standard No. D3192–05),* Philadelphia, PA, American Society for Testing and Materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] S traif K, Keil U, Taeger D et al. (2000). "Exposure to nitrosamines, carbon black, asbestos, and talc and mortality from stomach, lung, and laryngeal cancer in a cohort of rubber workers." *Am J Epidemiol*, 152:297–306 doi:10.1093/aje/152.4.297. PMID:10968374.
- [18] Puntoni R, Ceppi M, Gennaro V et al. (2004). "Occupational exposure to carbon black and risk of cancer. *Cancer Causes Control*." 15:511–516 doi:10.1023/B:CACO.0000036446.29787.94. PMID:15286471.
- [19] R.A.Hamid, E. F.ewair, 2013. "Adsorptive stripping voltammetric determination of gallic acid using an electrochemical sensor based on polyepinephrine/glassy carbon electrode and its determination in black tea sample". *Journal of Electroanalytical Chemistry* 704, 32-37.
- [20] Prabhakar R. Bandaru. "Electrical Properties and Applications of Carbon Nanotube Structures." *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol.7, 1–29, 2007.
- [21] Hongjie Dai. "Carbon Nanotubes: Synthesis, Integration, and Properties." *Accounts of Chemical Research*. 35 (2002) 1035-1044.
- [22] Phlebas [online] เข้าถึงได้จาก: <https://phlebas.co/2015/06/17/a-primer-on-carbon-nanotubes-part-1/>
- [23] Lichao Feng, Ning Xie, Jing Zhong. "Carbon Nanofibers and Their Composites: A Review of Synthesizing, Properties and Applications." *Materials* 2014, 7, 3919-3945
- [24] Lin Shi, XianglongLi, YuyingJia, DebinKong, HaiyongHe, ManfredWagner, Klaus Müllen, LinjieZhi. "Continuous carbon nanofiber bundles with tunable pore structuresand functions for weavable fibrous supercapacitors." *Energy StorageMaterials*. 5 (2016) 43–49.
- [25] R.C. Bansal, M. Goyal. *Activated carbon adsorption* 2005, Taylor & Francis, NW.
- [26] B. Zoua, Y. Hua, F. Cui, L. Jiang, D. Yu, H. Huang. "Effect of surface modification of low cost mesoporousSiO₂ carriers on the properties of immobilized lipase". *J. Coll. Inter. Sci.* 2014; 417: 210-216.
- [27] S. Mitchell, J. Pérez-Ramírez. "Mesoporous zeolites as enzyme carriers: Synthesis, characterization, and application in biocatalysis". *Cat. Today* 2011; 168: 28-37.
- [28] Dhar, G.M., Srinivas, B. N., Rana, M. S., Kumar, M. and Maity, S. K., (2003). "Mixed oxide supported hydrodesulfurization catalysts" - a review, *Catalysis Today*. 86 (1-4): 45-60.
- [29] Zesheng Li, Dehao Li, Zhenghui Liu, Bolin Li, Chunyu Ge and Yueping Fang, "Mesoporous carbon microsphere with high capacitive performances for supercapacitors", *Electrochimica Acta*. 158 (2015) 237-245

- [30] Andre L. Cazetta, Alessandro C. Martins, Osvaldo Pezoti, Karen C. Bedin, Karla K. Beltrame, Tewodros Asefa and Vitor C. Almeida, “Synthesis and application of N–S-doped mesoporous carbon obtained from nanocasting method using bone char as heteroatom precursor and template”, *Chemical Engineering Journal*. 300 (2016) 54–63
- [31] Yongqi Hua, Tingting Jianga, Kun Wang, Mingmei Wu, Shuqin Song, Yi Wang, Panagiotis Tsiakaras. “Efficient Pt-free electrocatalyst for oxygen reduction reaction: Highly ordered mesoporous N and S co-doped carbon with saccharin as single-source molecular precursor.” *Applied Catalysis B: Environmental*. 194 (2016) 202–208.
- [32] Moitrayee Chatterjee, Abhik Chatterjee, Susanta Ghosh, I. Basumallick. “Electro-oxidation of ethanol and ethylene glycol on carbon-supported nano-Pt and PtRu catalyst in acid solution.” *Electrochimica Acta* 54 (2009) 7299–7304.
- [33] Cuijie Chen, Shengli Zhu, Xianjin Yang, Lele Pi, Zhenduo Cui. “Electro-oxidation of ethylene glycol on nanoporous, Ti–Cu amorphous alloy.” *Electrochimica Acta*. 56 (2011) 10253–10258.
- [34] Dao-Jun Guo. “Electrooxidation of ethanol on novel multi-walled carbon nanotube supported platinum–antimony tin oxide nanoparticle catalysts.” *Journal of Power Sources*. 196 (2011) 679–682.
- [35] Tingting Jianga, Longlong Yana, Yuezhong Meng, Min Xiaoa, Zeru Wu, Panagiotis Tsiakaras, Shuqin Song. “Glucose electrooxidation in alkaline medium: Performance enhancement of PdAu/C synthesized by NH₃ modified pulse microwave assisted polyol method.” *Applied Catalysis B: Environmental*. 162 (2015) 275–281.
- [36] Cheng-Chuan Chen, Cheng-Lan Lin, Lin-Chi Chen. “A binary palladium–bismuth nanocatalyst with high activity and stability for alkaline glucose electrooxidation.” *Journal of Power Sources*. 287 (2015) 323–333.
- [37] Elizabeth G. Mahoney, Wenchao Sheng, Mei Cheng, Kevin X. Lee, Yushan Yan, Jingguang G. Chen. “Analyzing the electrooxidation of ethylene glycol and glucose over platinum-modified gold electrocatalysts in alkaline electrolyte using in-situ infrared spectroscopy.” *Journal of Power Sources*. 305 (2016) 89–96.
- [38] Tsai Garcia-Perez, Sung-Gil Hong, Jungbae Kim, Su Ha. “Entrapping cross-linked glucose oxidase aggregates within a graphitized mesoporous carbon network for enzymatic biofuel cells.” *Enzyme and Microbial Technology*. 90 (2016) 26–34.

- [39] S. Yongprapat, A. Therdthianwong, S. Therdthianwong. "Au/C catalysts promoted with metal oxides for ethylene glycol electro-oxidation in alkaline solution." *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 697 (2013) 46–52.
- [40] Shuqin Song, Kun Wang, Longlong Yan, Angeliki Brouzgou, Yueli Zhang, Yi Wang, Panagiotis Tsiakaras. "Ceria promoted Pd/C catalysts for glucose electrooxidation in alkaline media." *Applied Catalysis B: Environmental*. 176–177 (2015) 233–239.
- [41] Shinae Jun, Sang Hoon Joo, Ryong Ryoo, Michal Kruk, Mietek Jaroniec, Zheng Liu, Tetsu Ohsuna and Osamu Terasaki, "Synthesis of New Nanoporous Carbon with Hexagonally Order Mesostructure", *Journal of the American Chemical Society*. 122 (2000) 10712-10713
- [42] Liqiang Luo, Fang Li, Limei Zhu, Yaping Ding and Dongmei Deng, "Electrochemical sensing platform of natural estrogen based on the poly(L-proline)-ordered mesoporous carbon composite modified glassy carbon electrode", *Sensors and Actuators B: Chemical*. 187 (2013) 78-83
- [43] Guiju Tao, Lingxia Zhang, Lisong Chen, Xiangzhi Cui, Zile Hua, Min Wang, Jiacheng Wang, Yu Chen and Jianlin Shi, "N-doped hierarchically macro/mesoporous carbon with excellent electrocatalytic activity and durability for oxygen reduction reaction", *Carbon*. 86 (2015) 108-117
- [44] Yan Sun, Jiao Wu, Jinghua Tian, Chao Jin and Ruizhi Yang, "Sulfur-doped carbon sphere as efficient metal-free electrocatalysts for oxygen reduction reaction", *Electrochimica Acta*. 178 (2015) 806-812
- [45] Bao-jia Li, Li-jing Huang, Nai-fei Ren, Xia Kong, Yun-long Cai and Jie-lu Zhang, "Superhydrophobic and anti-reflective ZnO nanorod-coated FTO Transparent conductive thin films prepared by a three-step method", *Journal of Alloys and Compounds*. 674 (2016) 368-375
- [46] Kohei Miyazaki, Tomoki Matsumiya, Takeshi Abe, Hiroki Kurata, Tomokazu Fukutsuka, Kazuo Kojima and Zempachi Ogumi, "Electrochemical oxidation of ethylene glycol on Pt-based catalysts in alkaline solutions and quantitative analysis of intermediate products", *Electrochimica Acta*. 56 (2011) 7610–7614



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การสังเคราะห์เมโซพอร์สและขั้นตอนการเตรียมสาร

ก.1 การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน

1. ขั้นตอนการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน (2) (Glucose+sulfuric acid+Pluronic P123)

1.1 ผสม Glucose 1.25 กรัม, 17M H₂SO₄ 0.1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรเข้าด้วยกัน

1.2 เตรียมสารละลาย Pluronic P123 โดยใช้สาร Pluronic P123 1 กรัมละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

1.3 เติมสารละลาย Pluronic P123 ลงในสารละลายผสมในข้อ 2

1.4 นำสารละลายผสมไปให้ความร้อน และปั่นกวนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.5 เทสารละลายลงในชามโลหะ และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

1.6 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.7 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบด เติมสารละลายผสม (glucose 0.8 กรัม, 17M H₂SO₄ 0.05 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และ Pluronic p123 0.5 กรัมละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร) ลงไป แล้วคนให้เข้ากัน และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

1.8 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.9 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบดให้ละเอียด จะได้เป็นผงสีดำแล้วเทลงที่ได้ใส่ถ้วยครุชีเบิลเซรามิกที่มีฝาปิด

1.10 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ heating rate ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

1.11 นำผงผลึกที่ได้จากการเผามาล้างด้วยเอทานอลปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2. ขั้นตอนการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอน (3) (Sucrose+sulfuric acid)

2.1 ผสม sucrose 1.25 กรัม, 17M H₂SO₄ 0.1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรเข้าด้วยกัน

2.2 นำสารละลายผสมเทสารละลายลงในชามโลหะ และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

2.3 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.4 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบด เติมสารละลายผสม (sucrose 0.8 กรัม , 17M H₂SO₄ 0.05 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร) ลงไป แล้วคนให้เข้ากัน และนำเข้าเตาอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการ Hydrothermal

2.5 เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100 องศาเซลเซียสเป็น 160 องศาเซลเซียส และอบต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.6 นำผลึกแผ่นสีดำที่ได้จากการอบมาทำการบดให้ละเอียด จะได้เป็นผงสีดำแล้วเทงที่ ได้ใส่ถ้วยครุชเชิลเซรามิกที่มีฝาปิด

2.7 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ heating rate ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.8 นำผงผลึกที่ได้จากการเผามาล้างด้วยเอทานอลปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำมา กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ด้วยกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel) นำไป อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ก.2 ขั้นตอนการเตรียมสารที่ใช้ทดสอบด้วยเครื่อง FT-IR

1. นำผงเมโซพอร์สคาร์บอนมาบดและร่อนให้ละเอียด
2. ตักผงเมโซพอร์สคาร์บอนประมาณปลาย spatula ใส่ในโถรงบดสาร
3. ตักโพแทสเซียมโบมายประมาณ 1 ซ้อนขนาดเล็กของ spatula ใส่ลงในโถรงบดสาร บดผสมผงเมโซพอร์สคาร์บอนและโพแทสเซียมโบมายให้เข้ากัน
4. นำสารไปใส่ในบ้ำเพื่อที่จะนำไปอัดให้เป็นแผ่น ทำการอัดด้วย hydrolic ทิ้งไว้ 2 นาที เมื่อได้ตัวอย่างที่เป็นแผ่นให้นำไปใส่ในเซลล์ใส่สารตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์ต่อไป

ก.3 ขั้นตอนการเตรียมสารที่ใช้วิเคราะห์ FE-SEM

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแบบผงสำหรับการวัด surface area
 - 1.1 นำผงเมโซพอร์สคาร์บอนมาบดและร่อนให้ละเอียด จากนั้นนำไปกระจายตัวในเอทานอลด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 1.2 ใช้ไมโครปิเปตขนาด 20 μ l หยดเมโซพอร์สคาร์บอนลงบนจานเพาะเชื้อ
 - 1.3 ทิ้งไว้ให้แห้งในเดซิเคเตอร์
 - 1.4 ใช้เทปคาร์บอนลอกเมโซพอร์สคาร์บอนที่ติดอยู่บนจานเพาะเชื้อ จากนั้นทำการแกะลงบนสตัปสำหรับเตรียมวัด FE-SEM
 - 1.5 ทำการเคลือบด้วยแพลทินัมเพื่อให้เมโซพอร์สนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น
 - 1.6 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM
2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแบบกระจกสำหรับการวัด surface area
 - 2.1 นำผงเมโซพอร์สคาร์บอนมาบดและร่อนให้ละเอียด จากนั้นนำไปกระจายตัวในเอทานอลด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 2.2 นำกระจก FTO ขนาด 1x1 เซนติเมตรมาถักด้วยเทปกาวให้มีขนาด 3x3 มิลลิเมตร ใช้ไมโครปิเปตขนาด 20 μ l หยดเมโซพอร์สคาร์บอนลงในแผ่นกระจก
 - 2.3 ทิ้งไว้ให้แห้งในเดซิเคเตอร์ 24 ชั่วโมง จะได้เป็น MSC/FTO
 - 2.4 นำกระจก MSC/FTO ไปวางไว้บนสตัปสำหรับเตรียมวัด FE-SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.5 ทำการเคลือบด้วยแพลทินัมเพื่อให้ MSC/FTO นำไฟฟ้า
- 2.6 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FE-SEM
3. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแบบกระจกสำหรับการวัดภาพตัดขวาง
 - 3.1 นำผงเมโซพอร์สคาร์บอนมาบดและร่อนให้ละเอียด จากนั้นนำไปกระจายตัวในเอทานอลด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 3.2 นำเศษกระจก FTO ขนาดประมาณ 1x3 เซนติเมตรมาล้างด้วยเทปกาวยให้มีขนาด 5x5 มิลลิเมตร หยดเมโซพอร์สคาร์บอน 33 μl ลงบนแผ่นกระจก
 - 3.3 ทิ้งไว้ให้แห้งในเดซิเคเตอร์ 24 ชั่วโมง จะได้เป็น MSC/FTO
 - 3.4 ทำการกรีดกระจกด้วยเครื่องตัดกระจกหัวเพชร จากนั้นหักครึ่งบริเวณที่กินเป็น 5x5 มิลลิเมตร
 - 3.5 นำเศษกระจกที่หักไปวางไว้บนสตั๊ปที่เอียง 45 องศาเพื่อนำไปเคลือบแพลทินัม
 - 3.6 ทำการวัดภาพตัดขวางเพื่อดูชั้นความหนาของเมโซพอร์สคาร์บอนที่เคลือบอยู่บนกระจกด้วยเทคนิค FE-SEM

ก.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ XRD

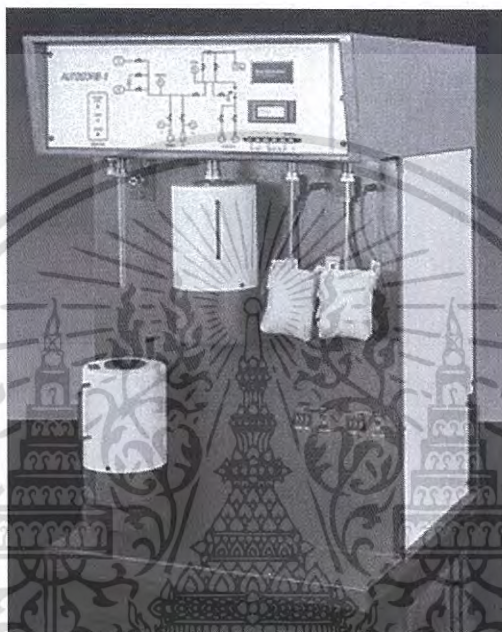
1. เปิดเครื่อง XRD พร้อมเปิด high voltage ตามเข็มนาฬิกา
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วทำการเชื่อมต่อสัญญาณไปที่เครื่อง XRD
3. รอประมาณ 15 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่อง ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ ขณะที่รอสามารถเตรียมสารตัวอย่างได้ เตรียมสารประมาณ 1 กรัม ใส่ลงไปที่ตลับใส่สารตัวอย่างโดยใส่ให้กลางที่สุดของตลับจากนั้นใช้กลาสสไลด์กดลงไปตัวอย่างบนตลับให้เรียบโดยให้สารตัวอย่างยุบตัวลงไม่ให้สูงกว่าหลุมของตลับให้สูงเท่ากัน เมื่อเตรียมเสร็จแล้ว นำไปเข้าเครื่อง XRD
4. การตั้งค่า Parameter โดยจะต้องทราบช่วงมุม 2θ ของสารว่าเกิดในช่วงที่เท่าไรกำหนดค่าของ Step size , Scan speed ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เมื่อกำหนดเสร็จก็กดรันเครื่อง รอจนเสร็จ แล้วเลือกไฟล์มาวิเคราะห์ โดยเลือกโปรแกรมช่วย คือ EVA program เพื่อที่จะแมทพิก เมื่อเลือกพิกเสร็จแล้วก็ใช้โปรแกรม CXH เพื่อเปลี่ยนไฟล์ไปเป็น .UXD เพื่อนำไปเปิดที่ excel หรือโปรแกรม Origin หรืออื่นๆ

ก.5 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (BET)

1. ใช้เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่าง (sample cell) จำนวน 2 เซลล์ เซลล์หนึ่งบรรจุวัสดุ ตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ส่วนอีกเซลล์ไม่มีใส่ วัสดุตัวอย่างแต่ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิง
2. ก่อนการทดสอบ ต้องให้ความร้อนแก่เซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นและโมเลกุลของสารดูดซับชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของวัสดุตัวอย่าง จากนั้นทำให้เซลล์ทั้งสองเป็นสุญญากาศเพื่อให้ภายในเซลล์ไม่มีโมเลกุลของแก๊สชนิดอื่น
3. รวบรวมเซลล์ทั้ง 2 ลงในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อให้เซลล์อยู่ในภาวะอุณหภูมิต่ำ
4. ผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ ทั้ง 2 โดยแก๊สไนโตรเจนที่เข้ามาในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่าง ซึ่งจะถูกลดซับบนผิวของวัสดุทำให้ความดัน(P) ภายในเซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างลดลงจนกระทั่งคงที่ ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มีวัสดุตัวอย่างความดันของแก๊สไนโตรเจนจะคงที่ (P_0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผลคือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) และปริมาณของ แก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (W) โดยวัสดุตัวอย่าง จากนั้นเครื่อง จะปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้ามาอีกเช่นเดียวกับครั้งแรก และ แก๊สไนโตรเจนถูกดูดซับจนความดันคงที่อีกเป็นเช่นนี้จนกระทั่ง ความดันภายในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างไม่ลดลง ($P/P_0 \cong 1$) แสดงว่า ไม่เกิดการดูดซับแก๊สไนโตรเจนอีกแล้ว จากข้อมูลค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้เครื่อง ทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมตามสมการของ BET แสดงผล ออกมาเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุน



รูปที่ ก.1 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณสารและอื่นๆ

ข.1 การเตรียมสารละลายเอทิลีนไกลคอลและเอทานอล

1. เตรียมสารละลายเอทิลีนไกลคอลที่มีมวลโมเลกุล 62 กรัม/โมล ที่ความเข้มข้น 1.00 โมล/ลิตร

จากสูตร

$$M = \frac{\% \times 10 \times d}{M_w}$$

$$= \frac{99.5 \times 10 \times 1.097}{62}$$

$$M = 17.60 \text{ M}$$

จากนั้นนำมาเจือจาง

จากสูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$17.60 \times V_1 = 1 \times 50$$

$$V_1 = 2.8409 \text{ ml}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายเอทิลีนไกลคอล ที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ต้องปิเปตสารมา 2.8409 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนถึงขีดบอกปริมาตร

2. เตรียมสารละลายเอทานอลที่มีมวลโมเลกุล 46 กรัม/โมล ที่ความเข้มข้น 1.00 โมล/ลิตร

จากสูตร

$$M = \frac{\% \times 10 \times d}{M_w}$$

$$= \frac{99.9 \times 10 \times 0.793}{46}$$

$$M = 17.15 \text{ M}$$

จากนั้นนำมาเจือจาง

จากสูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$17.15 \times V_1 = 1 \times 50$$

$$V_1 = 2.9154 \text{ ml}$$

ดังนั้นการเตรียมสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ต้องปิเปตสารมา 2.9154 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI จนถึงขีดบอกปริมาตร

ข.2 เตรียมสารละลายเฟอร์โรไซยาไนด์ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$

เตรียมจากสารละลายเฟอร์โรไซยาไนด์ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ ที่มีมวลโมเลกุล 329.26 กรัมต่อโมล ที่ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลต่อลิตร

จากสูตร

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{329.26 \text{ g/mol}} = \frac{5\text{mM} \times 50\text{ml}}{1000}$$

$$g = \frac{5\text{mM} \times 50\text{ml}}{1000} 329.26$$

$$g = 0.0823 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายเฟอร์โรไซยาไนด์ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ ที่ความเข้มข้น 5×10^{-3} โมลต่อลิตร ต้อง ชั่งสารมา 0.0823 กรัม ที่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ข.3 เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีมวลโมเลกุล 74.555 กรัม/โมล ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร
จากสูตร

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$= \frac{0.1 \times 100 \times 74.555}{1000}$$

$$g = 0.7450 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ต้องชั่งสารมา 0.7450 กรัม ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีมวลโมเลกุล 56.109 กรัม/โมล ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$= \frac{0.1 \times 100 \times 56.109}{1000}$$

$$g = 0.56109 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ต้องชั่งสารมา 0.56109 กรัม ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีมวลโมเลกุล 98.08 กรัม/โมล ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร

$$M = \frac{\% \times 10 \times d}{M_w}$$

$$= \frac{97 \times 10 \times 1.84}{98.08}$$

$$M = 18.1973 \text{ M}$$

จากนั้นนำมาเจือจาง

$$\text{จากสูตร } N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$18.197 \times V_1 = 0.1 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$= 0.5495 \text{ ml}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ต้องปิเปตมา 0.5495 ml แล้วปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข.4 ขั้นตอนการเกาะติดทางไฟฟ้าโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทรมเมทรี (Electrodeposition)

1. การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่มีมวลโมเลกุล 169.87 กรัมต่อโมล ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล/ลิตร

จาก

$$\frac{g}{M_w} = \frac{CV}{1000}$$

$$= \frac{10 \text{ mM} \times 10 \text{ ml}}{1000}$$

$$g = 0.0169 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตรต้องชั่งสารมา 0.0169 กรัม ที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่มีมวลโมเลกุล 74.555 กรัมต่อโมล ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลต่อลิตร

จากสูตร

$$\frac{g}{M_w} = \frac{CV}{1000}$$

$$= \frac{1 \text{ mM} \times 100 \times 74.555}{1000}$$

$$g = 0.0074 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลต่อลิตร ชั่งสารมา 0.0074 กรัม ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข.5 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการเบื้องต้นของ BET

บรูเนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ ดังแสดงในภาพที่ 1 พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือจะแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุล หลายชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น เป็นสมการที่ เรียกว่า “สมการของ BET” ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W \left[\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C - 1}{W_m C} \frac{P}{P_0}$$

โดย W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ ความดันสัมพัทธ์ P/P_0

W_m = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ เคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็น โมเลกุลชั้นเดียว

P = ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในขณะ ทำการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

P_0 = ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน (หน่วย เป็นมิลลิเมตรปรอท)

C = ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ

รูปที่ ข.1 แสดงการดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ



รูปที่ ข.2 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

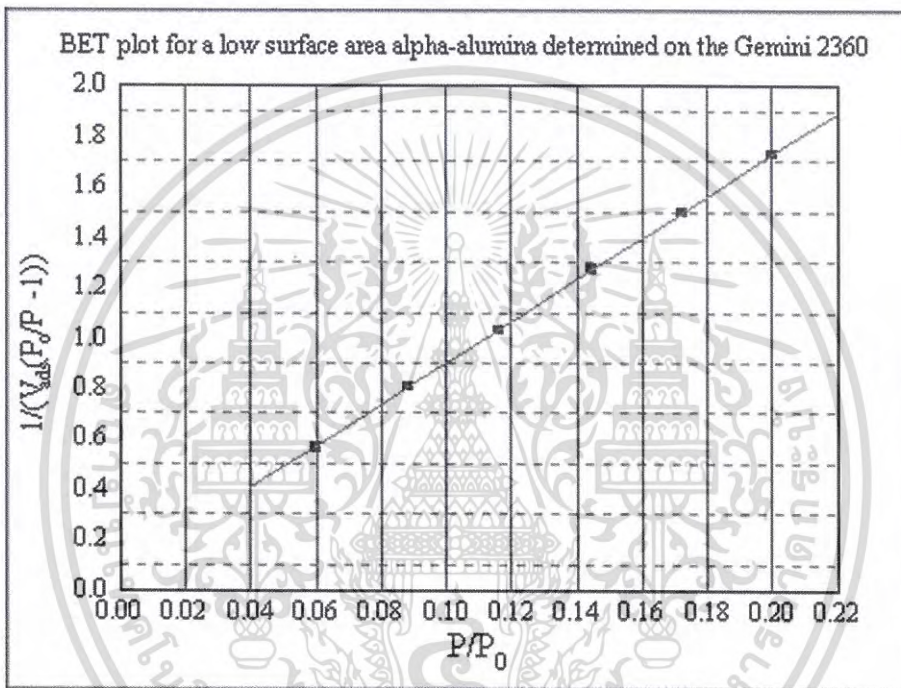
จากความสัมพันธ์สมการ BET เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $1/W[(P_0/P) - 1]$ กับ P/P_0 จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงใน ภาพที่ 3

มีความชัน (slope, s) ดังสมการ

$$S = \frac{C - 1}{W_m C}$$

และจุดตัดแกน y (y-intercept, i) ดังสมการ

$$i = \frac{1}{W_M C}$$



รูปที่ ข.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊ส ที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว (W_m)
คำนวณโดยนำ s และ i แทนค่าในสมการ

$$W_m = \frac{1}{s + i}$$

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ

คำนวณโดยนำ W_m แทนค่าในสมการ

$$S_t = \frac{W_m N A_{cs}}{M}$$

โดย S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุ (หน่วยเป็นตารางเมตร)

N = เลขอาโวกาโดร (6.023×10^{23}) (หน่วยเป็นโมเลกุลต่อโมล)

M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28 กรัมต่อโมล)

A_{cs} = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23}) (หน่วย m^2)

ค่า S_t ที่ได้เมื่อหารด้วยปริมาณของตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบ (W) จะได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม

$$S = \frac{S_t}{W}$$

ปริมาตรรูพรุนรวม (V_p) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (\bar{r}_p) ของวัสดุ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$V_p = \frac{W_s}{p}$$

$$\bar{r}_p = \frac{2V_p}{S_t}$$

โดย W_s = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ≈ 1

r = ความหนาแน่นของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบน ผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ≈ 1

S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุที่ทดสอบได้

\bar{r}_p = ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย

ข.6 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

1.ล้างขจัดคราบไขมันด้วยด่างน้ำยาทำความสะอาดที่ไม่มีสารตกค้าง

2.จากนั้นนำไปทำความสะอาดในน้ำ DI เอทานอล อะซิโตน ไอโซโพรพานอลแอลกอฮอล์

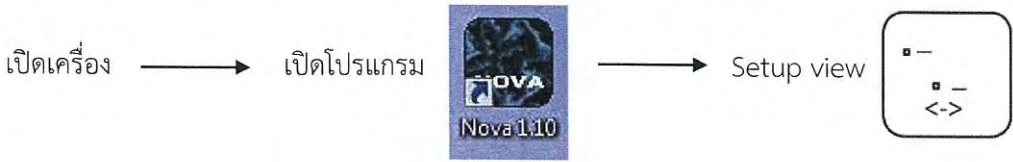
อย่างละ 15 นาทีโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก

3.จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ

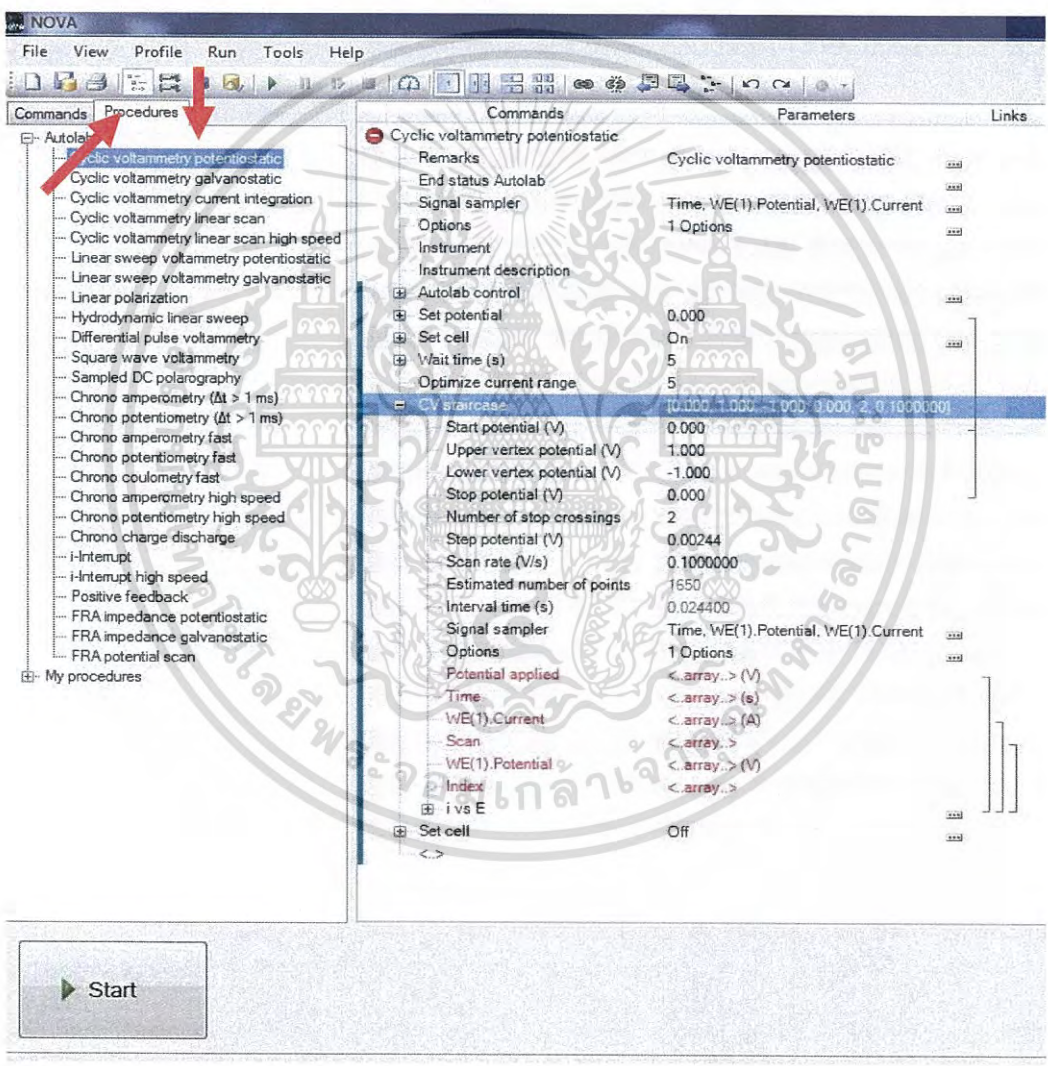
ภาคผนวก ค

การใช้เครื่องอัตโนมัติแลบ

ค.1 การตั้งค่าการใช้งานวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry)



เลือก Procedures → Cyclic Voltammetry Potentiostatic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิก Remarks →

คลิก



เพื่อตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก

คลิก Options →

คลิก



เพื่อเลือกช่วงของสัญญาณ

NOVA

File View Profile Run Tools Help

Commands Procedures

Autolab

- Cyclic voltammetry potentiostatic
- Cyclic voltammetry galvanostatic
- Cyclic voltammetry current integration
- Cyclic voltammetry linear scan
- Cyclic voltammetry linear scan high speed
- Linear sweep voltammetry potentiostatic
- Linear sweep voltammetry galvanostatic
- Linear polarization
- Hydrodynamic linear sweep
- Differential pulse voltammetry
- Square wave voltammetry
- Sampled DC polarography
- Chrono amperometry ($\Delta t > 1$ ms)
- Chrono potentiometry ($\Delta t > 1$ ms)
- Chrono amperometry fast
- Chrono potentiometry fast
- Chrono coulometry fast
- Chrono amperometry high speed
- Chrono potentiometry high speed
- Chrono charge discharge
- i-Interrupt
- i-Interrupt high speed
- Positive feedback
- FRA impedance potentiostatic
- FRA impedance galvanostatic
- FRA potential scan
- My procedures

Commands

Parameters

Links

Cyclic voltammetry potentiostatic

Remarks Cyclic voltammetry potentiostatic

End status Autolab

Signal sampler Time, WE(1), Potential, WE(1), Current

Options 1 Options

Instrument

Instrument description

Autolab control

Set potential 0.000

Set cell On

Wait time (s) 5

Optimize current range 5

CV staircase (0.000, 1.000, -1.000, 0.000, 2.0, 0.1000000)

Start potential (V) 0.000

Upper vertex potential (V) 1.000

Lower vertex potential (V) -1.000

Stop potential (V) 0.000

Number of stop crossings 2

Step potential (V) 0.00244

Scan rate (V/s) 0.1000000

Estimated number of points 1650

Interval time (s) 0.024400

Signal sampler Time, WE(1), Potential, WE(1), Current

Options 1 Options

Potential applied <.array.> (V)

Time <.array.> (s)

WE(1), Current <.array.> (A)

Scan <.array.>

WE(1), Potential <.array.> (V)

Index <.array.>

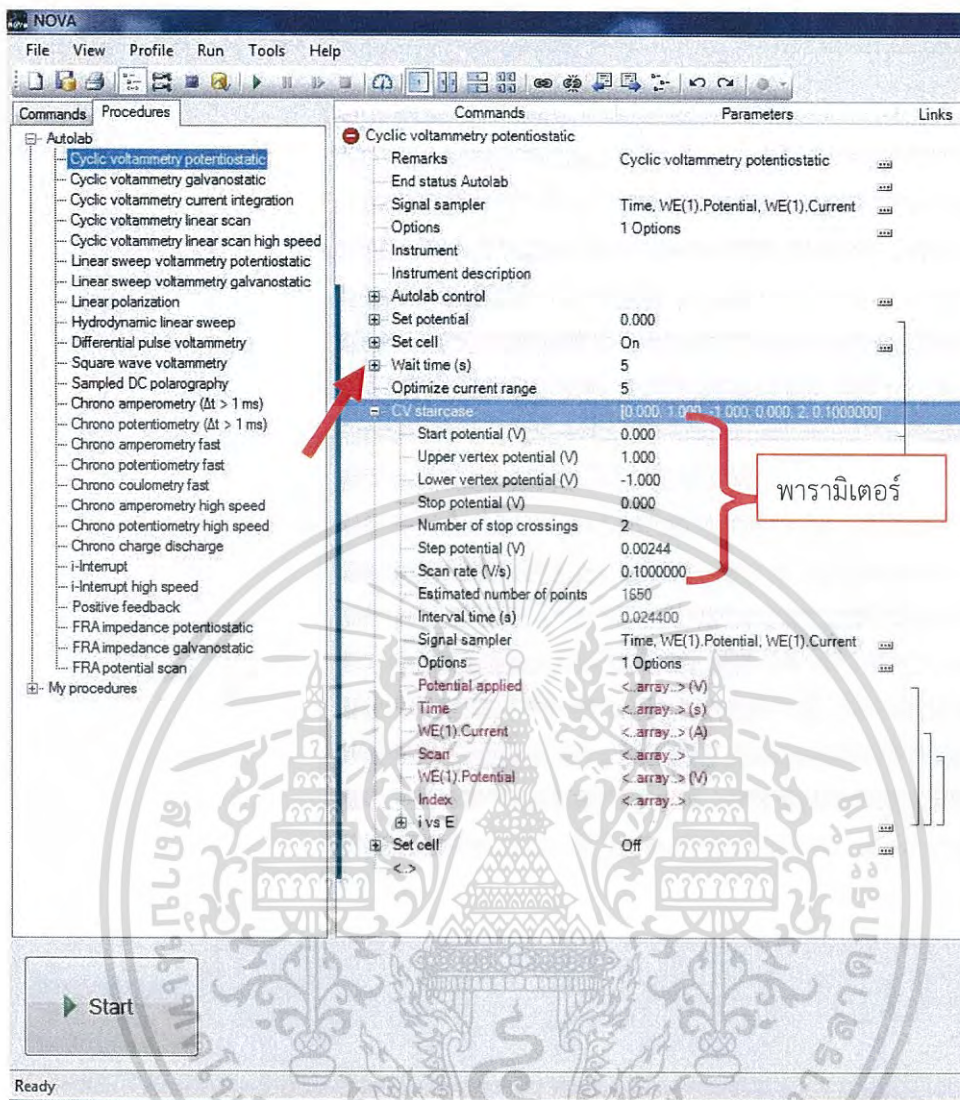
i vs E

Set cell Off

<. >

Start

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตั้งค่าพารามิเตอร์

คลิก CV staircase

→ Start potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสเริ่มต้น

→ Upper vertex potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสสูงสุด

→ Lower vertex potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสต่ำสุด

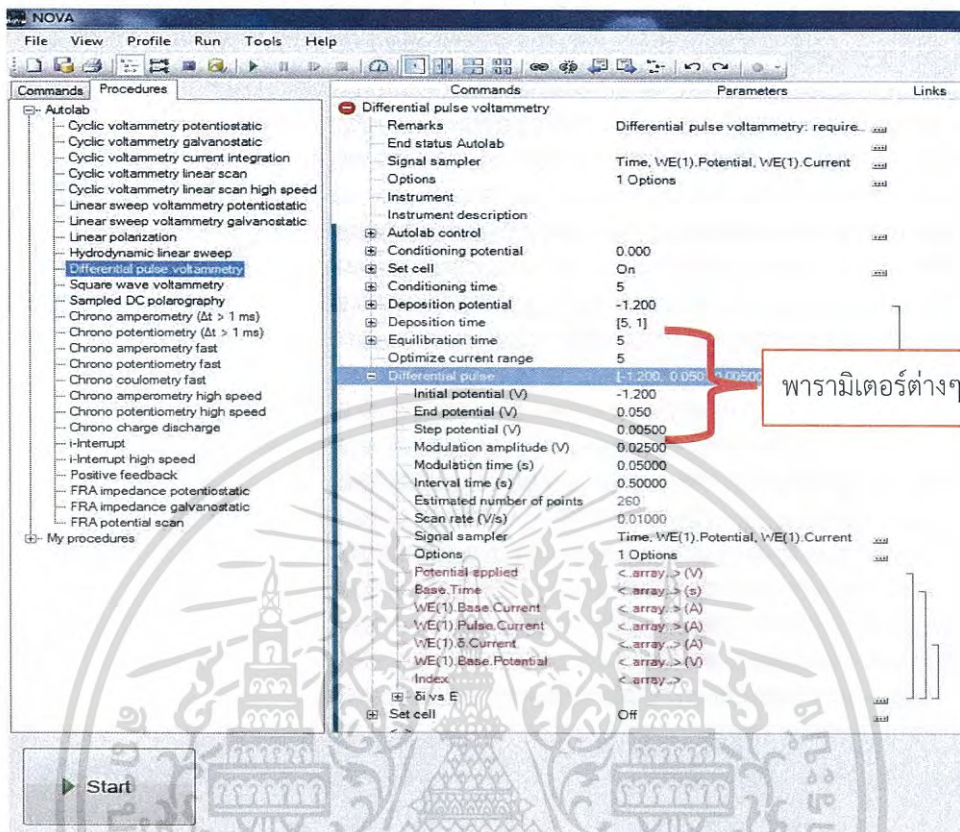
→ Scan rate (V/s) เพื่อตั้งค่าอัตราการสแกน

กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การใช้โนโหมด Differential pulse voltammetry

เลือก Procedures → Differential pulse voltammetry

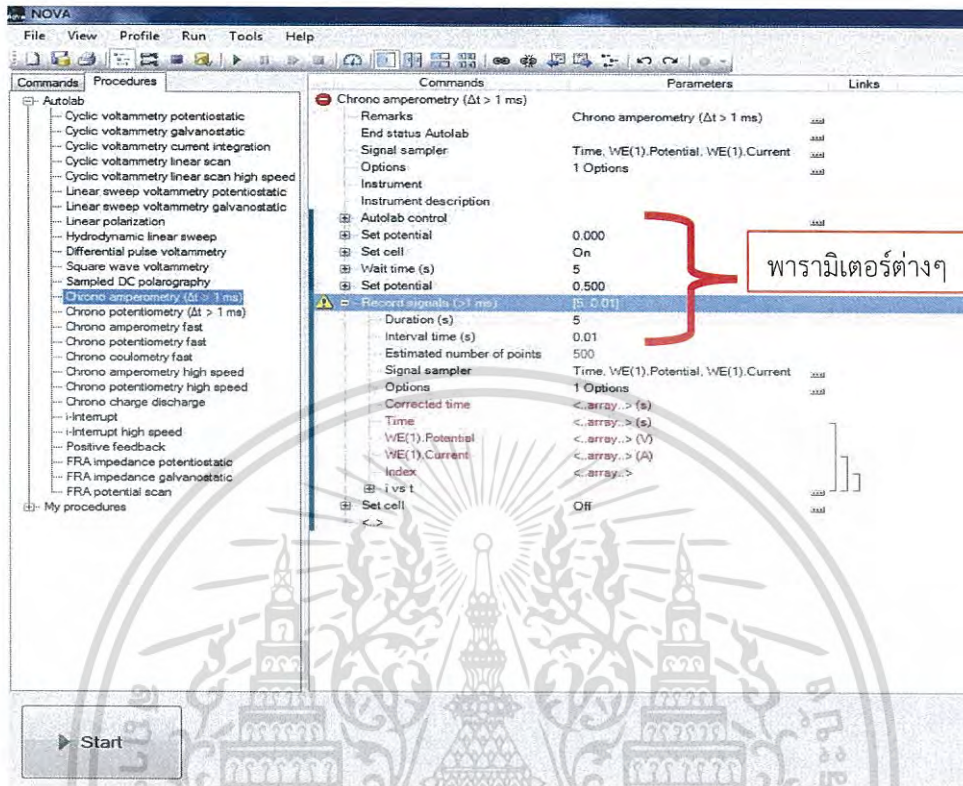


เลือก differential pulse → Initial potential (V) ใส่ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น
 → End potential (V) ใส่ค่าศักย์ไฟฟ้าสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 การใช้โหมด Chrono amperometry

เลือก Procedures → Chrono amperometry



เลือก Record signals

Set potential

ใส่ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น

Duration (s)

ใส่เวลาทั้งหมดที่จะวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้