

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทองคำขาว บนตัวรองรับท่อนาโนคาร์บอน เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ*

Preparation of carbon nanotubes supported platinum catalyst as a cathode for microbial fuel cells

ปณณพร พุสมจิตต์ (Pannaporn Pusomjit)^{**}

นกรินทร์ แสงคำ (Nakarin Sangkum)^{***}

ประภาพร จันทร์วาวาม (Prapaporn Junwaowam)^{***}

ณิชนันท์ เทพสุรางค์กุล (Nichanan Thepsurangikul)^{****}

บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cell; MFC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนความสกปรกในน้ำเสีย และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในเวลาเดียวกัน โดยใช้แบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน สำหรับส่วนประกอบต่างๆในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนั้น วัสดุที่ใช้ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทด และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าแคโทด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในการเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน ในงานวิจัย นี้ ได้ทำการศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทองคำขาว (Pt catalysts) บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิล (SWCNTs-COOH) เป็นตัวรองรับ โดยเตรียมขึ้นด้วยวิธีการตกผลึกควบคู่กับการยัดเกาะ (Deposition precipitation; DP) โดยมีผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) เป็นวัสดุขั้วไฟฟ้าแคโทด ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt/SWCNTs-COOH ได้แก่ สภาวะที่สารแขวนลอยมี pH เท่ากับ 7 และ Reaction temperature เท่ากับ 80 °C และจากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านโครงสร้าง และด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน

* เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

** นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร
e-mail: psj.pannaporn@gmail.com

Student of Master of Science (Analytical Chemistry), Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University

*** นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail:
nakarin_sk@hotmail.com, junwaowam.pr@gmail.com

Student of Bachelor of Science (Chemistry), Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University

**** อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail: tepsurangikul_n@su.ac.th

Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University

ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์แบบพลังงานกระจายพบว่า วิธี DP ให้ Pt catalysts ที่มีขนาดเล็ก และสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: ขั้วไฟฟ้าแคโทด, เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ, ตัวเร่งปฏิกิริยาทองคำขาว

Abstract

Microbial fuel cell (MFC) is a technology for renewable energy recovery from wastewater by biologically treating wastewater and generating electricity at the same time. MFCs use bacteria present in the wastewater as biocatalysts to directly convert organic matter to carbon dioxide, water and energy. Cathode material and catalyst used in MFC play important roles in electricity generation and in improvement of oxygen reduction reaction (ORR). In this study, Pt catalysts on single-walled carbon nanotubes with carboxyl group (Pt/SWCNTs-COOH) were prepared by deposition precipitation (DP) method and used carbon cloth as cathode material. The results showed that the optimum condition for DP were at pH 7 and reaction temperature 80 °C. In addition, the structure and morphology of Pt/SWCNTs-COOH were characterized by transmission electron microscope (TEM) and field emission scanning electron microscope coupled with energy dispersive x-ray (FESEM-EDX). As results, Pt catalysts prepared on SWCNTs-COOH by DP method exhibited small size and highly uniform. Moreover, this method is simple, cost-effective and high efficiency.

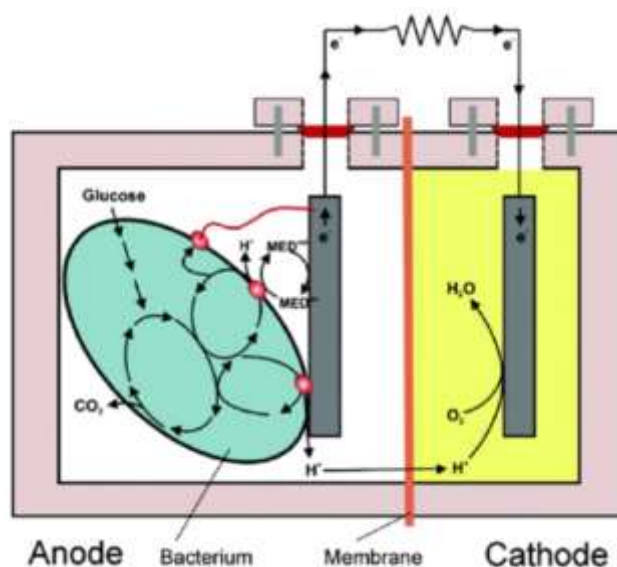
Keywords: Cathode, microbial fuel cell, Pt catalyst

บทนำ

ชีวมวล (Biomass) เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสำหรับอนาคต เนื่องจากมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในปริมาณมาก เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น แหล่งที่มาของพลังงานชีวมวลที่มากที่สุดอย่างหนึ่งนั่นก็คือ น้ำเสีย (Wastewater) โดยน้ำเสียประกอบด้วยพลังงาน ที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable organic matter) ได้ ซึ่งโดยทั่วไปมีความจำเป็นที่จะต้องนำพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการบำบัด เพื่อกำจัดสารอินทรีย์เหล่านี้ มากกว่าที่จะนำพลังงานที่มีอยู่กลับคืนมาใช้ประโยชน์ (Logan, 2008)

สำหรับเทคโนโลยีใหม่ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cell; MFC) หลักการโดยทั่วไปของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพคือ แบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียจะเจริญเติบโต รวมตัวกันเป็นลักษณะของ Biofilm เกาะอยู่ที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้าแอโนด (Anode) แบคทีเรียที่ขั้วแอโนดจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กลูโคส, อะซิเตท และสารอื่นๆที่พบอยู่ในน้ำเสีย ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), โปรตรอน (H⁺) และอิเล็กตรอน (e⁻) โดย

โปรตรอน และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังส่วนของขั้วไฟฟ้าแคโทด (Cathode) โดยโปรตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านโปรตรอน (Proton exchange membrane; PEM) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าแอโนดผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทด โดยจะมีตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) คือ ออกซิเจน (O_2) เกิดปฏิกิริยารีดักชันขึ้น โดยต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Oxygen reduction reaction; ORR) นั้น เกิดได้ช้า เมื่อโปรตรอนเคลื่อนที่มาพบกับอิเล็กตรอน และออกซิเจนที่ขั้วไฟฟ้าแคโทดจะเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ (Logan *et al.*, 2006) ดังรูปที่ 1 โดยความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าแอโนด และขั้วไฟฟ้าแคโทด รวมทั้งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะส่งผลให้เกิดการผลิตกระแสไฟฟ้า (Logan *et al.*, 2008; Rinaldi *et al.*, 2008)



รูปที่ 1 แผนภาพส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบช่องคู่ (Logan *et al.*, 2006)

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งเชื้อเพลิงตั้งต้น (Substrate) เช่น กลูโคส (Catal *et al.*, 2008), อะซิเตต (Logan *et al.*, 2007), ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทั้งขั้วไฟฟ้าแอโนด (Anode) และขั้วไฟฟ้าแคโทด (Cathode) เช่น Carbon cloth, Graphite fiber brush (Logan *et al.*, 2007), ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น Platinum, Pt (Choi *et al.*, 2011), Iron phthalocyanine (Yu *et al.*, 2007), เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) เช่น Nafion (Liu and Logan, 2004), Hyflon (Ieropoulos *et al.*, 2010), รูปแบบของรีแอกเตอร์ (Reactor design) เช่น Dual-chamber MFC (Kim *et al.*, 2007), Single-chamber MFC (Catal *et al.*, 2008), ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode spacing) เช่น 20 cm (Ghangrekar *et al.*, 2006), 2 cm (Cheng *et al.*, 2006) และสารสื่อกลาง (Mediator) เช่น Neutral red (McKinlay and Zeikus, 2004), Pyocyanin (Rebaey *et al.*, 2005) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากขั้วไฟฟ้าแอโนด ไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทด การยึด

เกาะของแบคทีเรีย ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Logan *et al.*, 2006)

ปัจจุบันการนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาประยุกต์ใช้งาน ยังคงมีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการ เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมีราคาสูง ยากต่อการพัฒนาเพื่อให้เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวเร่งปฏิกิริยา (Logan *et al.*, 2006) ซึ่งมีบทบาทในการเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า โดยค่าใช้จ่ายประมาณ 50% ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาจากตัวเร่งปฏิกิริยา (Quan *et al.*, 2015) จากข้อจำกัดดังกล่าวพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งโดยทั่วไปมักใช้ Pt ซึ่งมีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาได้ดี แต่มีราคาสูง โดยข้อไฟฟ้าแคโทดที่ขายตามท้องตลาดมักเป็น Pt catalysts ที่ Coat อยู่บน Carbon cloth ที่ประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และขึ้นอยู่กับการค่า pH (He and Angenent, 2006; Logan *et al.*, 2006) ในปัจจุบันมีรายงานการศึกษาวិธีการเตรียม Pt catalysts แล้วนำมา Coat บน Cathode material ชนิดต่างๆ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณ Pt ลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่าย แต่ยังคงให้ความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนที่สูง โดยวิธีในการเตรียม Catalyst และชนิดของ Catalyst support เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของ Catalyst

Catalyst support ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของข้อไฟฟ้าแคโทด มีผลต่ออายุการใช้งาน และประสิทธิภาพของ Catalyst (Shen *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2011) ในปัจจุบัน Carbon nanotube (CNT) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาใช้เป็น Electrode และ Catalyst support เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เป็นเอกลักษณ์ นั่นคือ ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง, ความเป็นรูพรุน (Porosity) สูง, การนำไฟฟ้าสูง, ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) สูง, มีโครงสร้างเฉพาะ, ทนต่ออุณหภูมิ และสารเคมี, ทนต่อการกัดกร่อน, ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสามารถสร้างหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เพื่อให้ Catalyst สามารถยึดเกาะบนพื้นผิวได้ (Timur *et al.*, 2007)

ในปัจจุบันมีการรายงานวิธีในการเตรียม Pt catalysts บน Catalyst support หลายวิธี ได้แก่ Co-precipitation (Reddy *et al.*, 2009), Electrodeposition (Quan *et al.*, 2015), Impregnation (Jafri *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2006; Rabbani *et al.*, 2009), Sonochemical technique (Xing, 2004, Yang *et al.*, 2006) และ Sputtering (Alexeyeva *et al.*, 2010; Tang *et al.*, 2011) อย่างไรก็ตามวิธีเตรียมบางวิธีนั้นต้องอาศัยเครื่องมือที่เฉพาะเจาะจง และมีราคาแพง มีขั้นตอนในการเตรียมที่ซับซ้อน และใช้เวลานาน อีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจคือ วิธี Deposition precipitation (DP) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยการตกตะกอนของ Active phase precursor บนพื้นผิวของ Catalyst support ก่อน จึงตามด้วยการเกิด Crystallographic deposition (Haruta and Date, 2001) เป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปนิยมใช้ในการเตรียม Au catalysts บน SiO₂ support (Phonthammachai and White, 2007; Phonthammachai *et al.*, 2008) แต่ยังไม่มีการรายงานการนำวิธีนี้มาใช้ในการเตรียม Pt catalysts บน Catalyst support ชนิดต่างๆรวมทั้ง Carbon nanotube (CNT) ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเตรียม Pt catalysts บน CNT support ด้วยวิธี DP เพื่อให้ได้ Pt catalysts ที่มีขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อช่วยในการปรับปรุง Catalytic activity ของ Pt catalysts ในข้อไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำ Single-walled carbon nanotubes ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิล (SWCNTs-COOH) ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า และการเป็น Catalyst support ที่ดี มาใช้เป็น Supporting material สำหรับ Platinum (Pt) catalysts เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดย Pt/SWCNTs-COOH cathode สามารถเตรียมขึ้นจากวิธีการตกผลึกควบคู่กับการยัดเกาะ (Deposition precipitation; DP) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของ Pt nanocatalysts พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางด้านโครงสร้าง (Structure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM) และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลดอิมิสชัน ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์แบบพลังงานกระจาย (Field emission scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy; FESEM-EDX)

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt/SWCNTs-COOH โดยใช้วิธี DP

นำ SWCNTs-COOH (Carbon Solutions, สหรัฐอเมริกา) มากระจายในน้ำปราศจากไอออน (Deionization water, DI water) ด้วยอ่างสั่นคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonicator) เป็นเวลา 60 นาที สารแขวนลอยที่ได้นำมาเติมสารละลาย Chloroplatinic acid hexahydrate ($\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich Pte. Ltd.) ความเข้มข้น 1.5 mM ปริมาตร 25 mL ลงไป จากนั้นปรับ pH ให้เหมาะสม โดยศึกษาที่ pH 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ด้วย Sodium hydroxide (NaOH) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (ศึกษาที่ 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C และ 100 °C) พร้อมกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 60 นาที จะได้สารแขวนลอยของ Pt/SWCNTs-COOH

2. การทดสอบคุณสมบัติด้านโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM

การศึกษาคูณสมบัติด้านโครงสร้าง ของ Pt/SWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้นนี้ ใช้เครื่อง TEM (JEOL รุ่น JEM-2100, ญี่ปุ่น) โดยศึกษาการกระจายตัว รวมทั้งขนาดอนุภาคของ Pt บน SWCNTs-COOH นำสารแขวนลอย Pt/SWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้น มาทำให้กระจายตัวอีกครั้ง ด้วยเครื่อง Sonicator เป็นเวลา 60 นาที ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์

3. การทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการมีอยู่ของตัวเร่งปฏิกิริยาของค่าขาว (Pt availability) ด้วยเครื่อง FESEM-EDX

การศึกษาคูณสมบัติด้านสัณฐานวิทยาจะใช้เครื่อง FESEM-EDX (JEOL รุ่น JSM 7610F, ญี่ปุ่น) โดยนำสารแขวนลอย Pt/SWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้น มากรองแบบลดความดันผ่าน Polycarbonate membrane (Millipore, 40 μm , ไอร์แลนด์) ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FESEM ร่วมกับการใช้โหมดถ่ายภาพ EDX และ Mapping เพื่อยืนยันการมีอยู่ของ Pt และสังเกตการกระจายตัวของ Pt บนพื้นผิวของ SWCNTs-COOH

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

1. คุณสมบัติด้านโครงสร้างของ Pt/SWCNTs-COOH

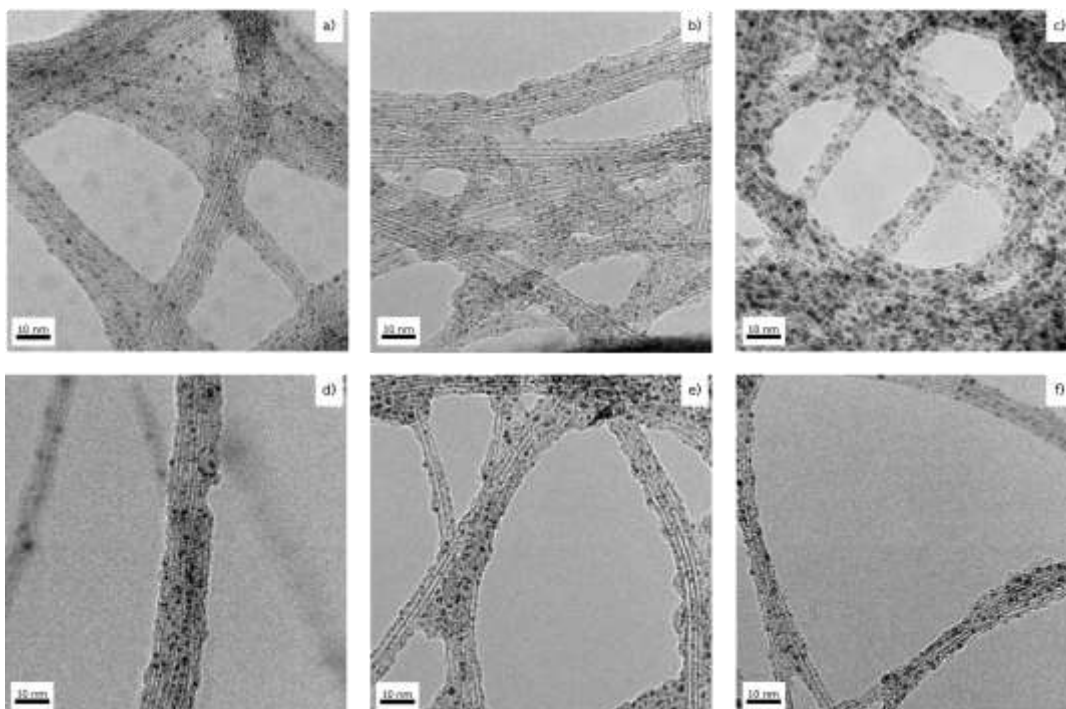
จากผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่า Pt catalysts ที่เตรียมขึ้นจากวิธี DP ดังกล่าว จะได้ Pt catalysts รูปทรงกลม กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยตาข่ายของ SWCNTs-COOH (รูปที่ 2 และ 3)

1.1 ผลของ pH ต่อการเตรียม Pt/SWCNTs-COOH

ขนาดอนุภาคของ Pt catalysts บน SWCNTs-COOH จากสภาวะที่ pH เท่ากับ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 อยู่ในช่วงเท่ากับ 1.2-2.8, 0.7-1.7, 1.0-3.2, 0.9-3.7, 1.2-3.5 และ 1.2-3.1 nm ตามลำดับ จาก TEM images พบว่าที่ pH เท่ากับ 5, 6, 8 และ 10 การกระจายตัวของ Pt catalysts ไม่สม่ำเสมอ และพบปริมาณ Pt catalysts น้อย ส่วนที่ pH เท่ากับ 9 พบ Pt catalysts ขนาดใหญ่ และมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่ pH เท่ากับ 7 อนุภาค Pt catalysts ที่ได้ มีขนาดเล็ก และกระจายอย่างสม่ำเสมอบน SWCNTs-COOH (รูปที่ 2) จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt catalysts ด้วยวิธี DP

1.2 ผลของ Reaction temperature ต่อการเตรียม Pt/SWCNTs-COOH

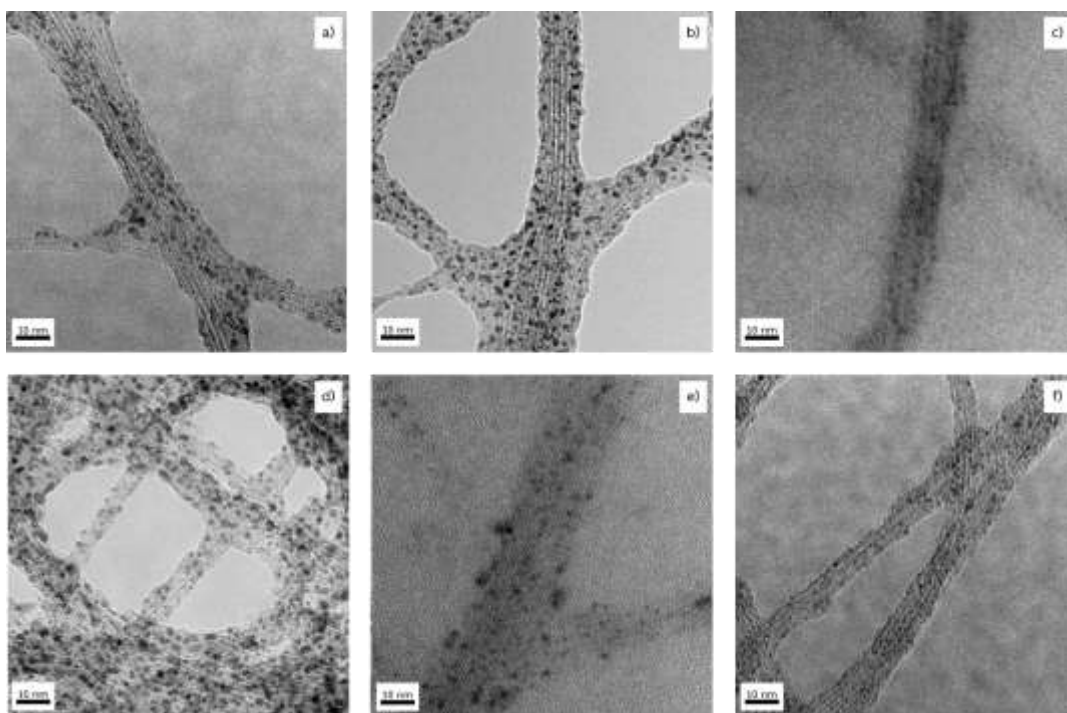
ขนาดอนุภาคของ Pt catalysts บน SWCNTs-COOH จากสภาวะที่ Reaction temperature เท่ากับ 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C และ 100 °C อยู่ในช่วงเท่ากับ 0.9-2.8, 1.2-2.5, 1.2-2.8, 1.0-3.2, 1.5-3.7 และ 1.2-1.5 nm ตามลำดับ จาก TEM images พบว่าที่ Reaction temperature เท่ากับ 50 °C และ 60 °C การกระจายตัวของ Pt catalysts ไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดของอนุภาคใหญ่ ส่วนที่ Reaction temperature เท่ากับ 70 °C, 90 °C และ 100 °C การกระจายตัวของ Pt catalyst ไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณน้อย ในขณะที่ Reaction temperature เท่ากับ 80 °C มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของ Pt catalysts ทั้งทั้งผิว SWCNTs-COOH (รูปที่ 3) จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt catalysts ด้วยวิธี DP



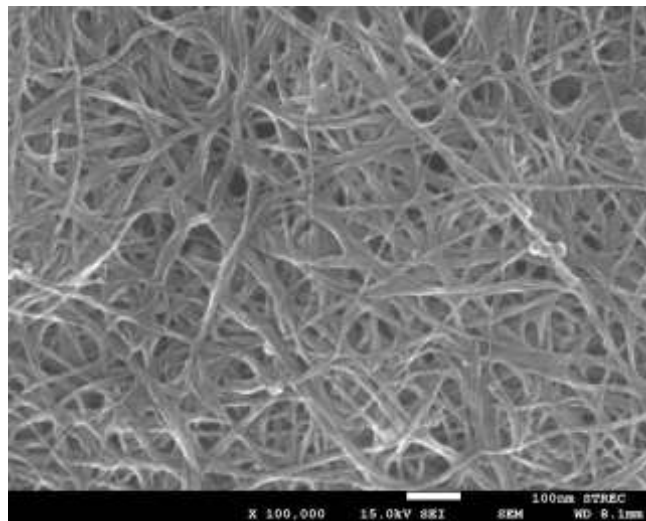
รูปที่ 2 TEM images ของ Pt/SWCNTs-COOH ที่ Pt load 1.5 mM, reaction temperature 80 °C, reaction time 60 นาที ที่ pH ต่างกัน: (a) 5, (b) 6, (c) 7, (d) 8, (e) 9 และ (f) 10

2. คุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา และ Pt availability ของ Pt/SWCNTs-COOH

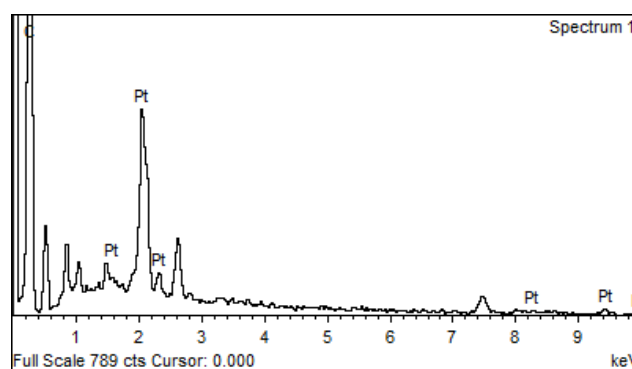
การทดสอบคุณสมบัติด้าน Morphology และ Pt availability ใน Pt/SWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้นจากวิธี DP โดยใช้เครื่อง FESEM-EDX ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ขรุขระสานกันเป็นตาข่ายอย่างต่อเนื่องของ SWCNTs (รูปที่ 4) ที่มี Pt catalyst อยู่บนพื้นผิว (รูปที่ 5) แสดงถึงความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนได้อย่างต่อเนื่อง และการมีพื้นที่ผิวมากสำหรับการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน จึงเหมาะสมในการนำ Pt/SWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้น มาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ นอกจากนี้ในการศึกษาการกระจายตัวของ Pt catalyst จากผลของ EDX element mapping (รูปที่ 6) พบว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของ Pt catalyst บน SWCNTs-COOH ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติ Catalytic activity ของ Pt บน SWCNTs-COOH support ซึ่งช่วยยืนยันสถานะที่เหมาะสมสำหรับวิธี DP คือ pH เท่ากับ 7 และ Reaction temperature เท่ากับ 80 °C



รูปที่ 3 TEM images ของ Pt/SWCNTs-COOH ที่ Pt load 1.5 mM, pH 7, reaction time 60 นาที ที่ reaction temperature ต่างกัน: (a) 50 °C, (b) 60 °C, (c) 70 °C, (d) 80 °C, (e) 90 °C และ (f) 100 °C



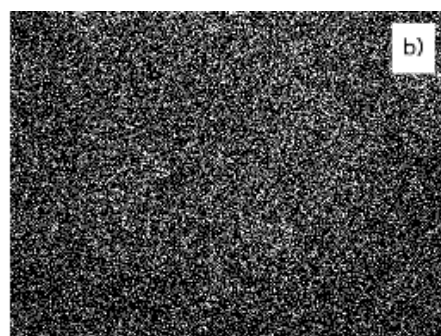
รูปที่ 4 FESEM image ของ Pt/SWCNTs-COOH เตรียมที่ Pt load 1.5 mM, pH 7, reaction temperature 80 °C และ reaction time 60 นาที



รูปที่ 5 FESEM-EDX spectrum ของ Pt/SWCNTs-COOH เตรียมที่ Pt load 1.5 mM, pH 7, reaction temperature 80 °C และ reaction time 60 นาที



Pt Lα1



C Ka1_2

รูปที่ 6 EDX element mapping ของ (a) Pt และ (b) C จาก Pt/SWCNTs-COOH ซึ่งเตรียมที่ Pt load 1.5 mM, pH 7, reaction temperature 80 °C และ reaction time 60 นาที

สรุปผล

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการเตรียม Pt/SWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเป็นครั้งแรก โดย Pt catalysts ถูก deposit บน SWCNTs-COOH ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ pH เท่ากับ 7 และ Reaction temperature เท่ากับ 80 °C โดยการกระจายตัวของ Pt catalysts อยู่ในช่วง 1.0-3.2 nm บนเส้นใย SWCNTs-COOH ซึ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติ Catalytic activity ที่ขั้วไฟฟ้าแคโทด โดยคาดว่าจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ นอกจากนี้วิธี DP จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการสังเคราะห์ Catalysts ให้มีขนาดเล็กในระดับนาโน ยังเป็นวิธีที่เตรียมได้ง่าย และราคาถูก จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเตรียม Pt catalysts บน SWCNTs-COOH เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

เอกสารอ้างอิง

ภาษาต่างประเทศ

- Alexeyeva N., Kozlova J., Sammelsetg V., Ristslaid P., Mandar H. and Tammeveski K. (2553). "Electrochemical and surface characterization of gold nanoparticle decorated multi-walled carbon nanotubes." **Applied Surface Science**, 256: 3040-3046.
- Catal T., Li K., Bermek H. and Liu H. (2551). "Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cell." **Journal of Power Sources**, 157: 196-200.
- Cheng S., Liu H. and Logan B.E. (2549). "Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing." **Environmental Science & Technology**, 40: 2426-2432.
- Choi J., Chang H.N. and Han J.I. (2544). "Performance of microbial fuel cell with volatile fatty acids from food wastes." **Journal of Biotechnology Letters**, 33: 705-714.
- Ghangrekar M.M. and Shinde V.B. (2549). "Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production." **Bioresource Technology**, 98: 2879-2885.
- Haruta M. and Date M. (2544). "Advances in the catalysis of Au nanoparticles." **Applied Catalysis**, 222: 427-437.
- He Z. and Angenent L. (2549). "Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells." **Electroanalysis**, 18: 2009-2015.
- Ieropoulos I., Greenman J. and Melhuish C. (2553). "Improved energy output levels from small-scale microbial fuel cells." **Bioelectrochemistry**, 78: 44-50.
- Jafri R., Sujatha N., Rajalakshmi N. and Ramaprebhu S. (2552). "AuMnO₂/MWNT and AuZnO/MWNT as oxygen reduction reaction electrocatalyst for polymer electrolyte membrane fuel cell." **International Journal of Hydrogen Energy**, 34: 6371-6376.

- Kim J.R., Jung S.H., Regan J.M. and Logan B.E. (2550). “Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells.” **Bioresource Technology**, 98: 2568-2577.
- Li W., Wang X., Chen Z., Waje M. and Yan Y. (2549). “Pt-Ru Supported on double-walled carbon nanotubes as high-performance anode catalysts for direct methanol fuel cells.” **The Journal of Physical Chemistry B**, 110: 15353-15358.
- Liu H. and Logan B.E. (2547). “Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane.” **Environmental Science & Technology**, 38: 4040-4046.
- Logan B.E. (2551). **Microbial fuel cells**. New York: John Wiley & Sons.
- Logan B.E., Cheng S., Watson V. and Estadt G. (2550). “Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells.” **Environmental Science & Technology**, 41: 3341-3346.
- Logan B.E., Hamelers B., Rozendal R., Schröder U., Keller J., Freguia S., Aelterman P., Verstraete W. and Rabaey K. (2549). “Microbial fuel cells: Methodology and technology.” **Environmental Science & Technology**, 40: 5181-5192.
- Mckinlay J.B. and Zeikus J.G. (2547). “Extracellular iron reduction is mediated in part by neutral red and hydrogenase in *Escherichia coli*.” **Applied and Environmental Microbiology**, 70: 3467-3474.
- Phonthammachai N., Kah J.C.Y., Jun G., Sheppard C.J.R., Olivo M.C., Mhaisalker S.G. and White T.J. (2551). “Synthesis of contiguous silica-gold core-shell structures: critical parameters and processes.” **Langmuir**, 24: 5109-5112.
- Phonthammachai N. and White T.J. (2550). “One-step synthesis of highly dispersed gold nanocrystals on silica spheres.” **Langmuir**, 23: 11421-11424.
- Quan X., Mei Y., Xu H., Sun B. and Zhang X. (2558). “Optimization of Pt-Pd alloy catalyst and supporting materials for oxygen reduction in air-cathode Microbial Fuel Cells.” **Electrochimica Acta**, 165: 72-77.
- Rabaey K., Boon N., Höfte M. and Verstraete W. (2548). “Microbial phenazine production enhances electron transfer in biofuel cells.” **Environmental Science & Technology**, 39: 3401-3408.

- Rabbani M.M., Ko C.H., Bae J.S., Yeum J.H., Kim I.S. and Oh W. (2552). "Comparison of some gold/carbon nanotube composites prepared by controlled electrostatic interaction." **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 336: 183-186.
- Reddy K.R., Sin B.C., Ryu K.S. and Kim J.C. (2552). "Conducting polymer functionalized multi-walled carbon nanotubes with noble metal nanoparticles; synthesis, morphological characteristics and electrical properties." **Synthetic Metals**, 159: 595-603.
- Rinaldi A., Mecheri B., Garavaglia V., Licoccia S., Nardo P.D. and Traversa E. (2551). "Engineering materials and biology to boost performance of microbial fuel cells: a critical review." **Energy and Environmental Science**, 1: 417-429.
- Shen J., Hu Y., Li C., Qin C. and Ye M. (2551). "Pt-Co supported on single-walled carbon nanotubes as an anode catalyst for direct methanol fuel cells." **Electrochimica Acta**, 53: 7276-7280.
- Tang Z., Poh C.K., Tian Z., Lin J., Ng H.Y. and Chua D.H.C. (2554). "In situ grown carbon nanotubes on carbon paper as integrated gas diffusion and catalyst layer for proton exchange membrane fuel cells." **Electrochimica Acta**, 56: 4327-4334.
- Timur S., Anik U., Odaci D. and Gorton L. (2550). "Development of a microbial biosensor based on carbon nanotube (CNT) modified electrodes." **Electrochemistry Communications**, 9: 1810-1815.
- Yang C., Hu X., Wang D., Dai C., Zhang L., Jin H. and Agathopoulos S. (2549). "Ultrasonically treated multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) as PtRu catalyst support for methanol electrooxidation." **Journal of Power Sources**, 160: 187-193.
- Yu E.H., Cheng S., Scott K. and Logan B. (2550). "Microbial fuel cell performance with non-Pt cathode catalysts." **Journal of Power Sources**, 171: 275-281.
- Zhang Y., Hu Y., Li S., Sun J. and Hou B. (2554). "Manganese dioxide-coated carbon nanotubes as an improved cathodic catalyst for oxygen reduction in a microbial fuel cell." **Journal of Power Sources**, 196: 9284-9289.