

การเตรียมและการประยุกต์ใช้ในคอมโพสิตชนิดขี้ผึ้งออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบน
ขี้ผึ้งออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

FABRICATION AND APPLICATION OF ZnO/POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE AS SENSOR FOR DETECTING HYDROGEN PEROXIDE.

นางสาวกนกวรรณ ไตรวิไล
นางสาวพิษชานันท์ กมลทรัพย์นัส
นางสาวนเนปพร จำนงค์นถ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การเตรียมและการประยุกต์นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบน
ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

**FABRICATION AND APPLICATION OF ZnO/POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE AS SENSOR FOR DETECTING HYDROGEN PEROXIDE.**

นางสาวกนกวรรณ	โสธรวิไล
นางสาวพิชานันท์	กมลพรพันธ์
นางสาวมนปพร	จำนงค์ผล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556




**FABRICATION AND APPLICATION OF ZnO/POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE AS SENSOR FOR DETECTING HYDROGEN PEROXIDE.**

Miss KANOKWAN SOTHORNWILAI
Miss PHITCHANAN KAMONPORNPHAN
Miss MANAPAPORN CHAMNONGPOL

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและการประยุกต์นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วทिनออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์		
	Frabrication and application of ZnO/polyaniline nanocomposites modified fluorine doped tin oxide electrode as sensor for detecting hydrogen peroxide.		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ	โสธรวิไล	53050152
	นางสาวพิชชานันท์	กมลพรพันธ์	53050189
	นางสาวมนปพร	จำนงค์ผล	53050310
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี-อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
ดร.เอกรัฐ เคชศรี	
รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการประยุกต์นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนสำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์		
นักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ	โสธรวิไล	53050152
	นางสาวพิชชานันท์	กมลพรพันธ์	53050189
	นางสาวมนปพร	จำนงค์ผล	53050310
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2556		
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

การปรับปรุงขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ด้วยอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ร่วมกับพอลิอะนิลีน โดยกระบวนการเกาะติดทางไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี การเตรียมขั้วประกอบด้วยสารละลายซิงค์ในเตรตที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ผสมกับสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และทำการโด้ปด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ขั้วที่ปรับปรุงสามารถตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นนำขั้วที่ได้จากการปรับปรุงไปทำการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) และเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) ทำการวัดขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) ซึ่งผลที่ได้พบว่าอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์มีการกระจายตัวอยู่กับพอลิอะนิลีนบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ต่อมานำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงได้ไปทำการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี ซึ่งพบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1.59 ถึง 20.79 ไมโครโมลาร์ ($R^2 = 0.9992$) ชีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.15 ไมโครโมลาร์ ให้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.15 ไมโครโมลาร์ ชีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เท่ากับ 0.79 ไมโครโมลาร์ และค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.42 จากนั้นนำขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนไปตรวจวัดตัวอย่างน้ำยาล้างแผลพบว่าค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วง 98.38 – 99.95

คำสำคัญ : ไข้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน, ซิงค์ไนเตรต, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, พอลิอะนิลีน
ไซคลิกโวลแทมเมทรี, แอมเพอโรเมทรี

Thesis Title	Fabrication and application of ZnO/polyaniline nanocomposites modified Fluorine doped tin oxide electrode as sensor for detecting hydrogen peroxide.		
Student	Miss Kanokwan	Sothornwilai	53050152
	Miss Phitchanan	Kamonpornphan	53050189
	Miss Manapaporn	Chamnongpol	53050310
Degree	Bachelor of science		
Program	Industrial Chemistry		
Academic year	2013		
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suwan Chaiyasith		

Abstract

Cyclic voltammetry has been used for modification of fluorine doped tin oxide (FTO) electrode with zinc oxide (ZnO) nanoparticles and polyaniline (PANI). Electrodeposition was carry out in 0.1 M zinc nitrate mixed with 0.1 M aniline and 0.1 M H₂SO₄ solution. The ZnO/PANI/FTO nanocomposite electrode was successfully developed and using for the detection hydrogen peroxide. The physical properties of the nanocomposites were investigated by X-ray Diffractometer (XRD), Fourier Transform Spectrometer (FT-IR) and Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM). The FE-SEM results indicated that ZnO nanoparticles were well distributed on the surface of PANI. The concentration of hydrogen peroxide was determined by amperometry. Under optimized condition of the amperometry method the concentration calibration rang are 1.59 – 20.79 μM ($R^2 = 0.9992$) with the detection limit of 0.15 μM (S/N = 3), quantitation limit of 0.79 μM and %RSD of 0.42. The ZnO/PANI/FTO electrode better than bare FTO was successfully use the for detection of hydrogen peroxide in the samples with recovery 99.38 – 99.95 %.

Keywords: Nanocomposite electrode, fluorine doped tin oxide electrode, zinc nitrate, hydrogen peroxide, polyaniline, cyclic voltammetry, amperometry

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการสอบโครงการพิเศษที่มีความเมตตา เอื้อนดู และให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าอย่างยิ่งในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็น และข้อแนะนำในโครงการพิเศษเล่มนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้มอบความรู้อันมีค่าให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณอภิญา พวงจันทร์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมีวิเคราะห์ ผู้เป็นรุ่นพี่ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาทั้งในเรื่องแนวทางการปฏิบัติ แนวทางการแก้ปัญหา ความรู้ต่างๆ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการหยิบยืมอุปกรณ์เครื่องแก้ว สารเคมีต่างๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ประจำภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมอุปกรณ์เครื่องแก้ว และสารเคมี อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ รวมไปถึงการดำเนินการในด้านเอกสารสำคัญทางสถาบันต่างๆ ให้ดำเนินไปได้ด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทั้งที่เป็นผู้ร่วมทำโครงการพิเศษกลุ่มเดียวกัน และต่างกลุ่มที่ให้ความเกื้อกูลช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ไม่ว่าจะเป็นการให้กำลังใจในยามที่ท้อแท้ผิดหวัง และให้กำลังใจในยามที่งานล้นมืออย่างยินดียิ่ง และเต็มใจโดยไม่เพียงแต่ช่วงทำโครงการพิเศษแต่ตลอดการเป็นเพื่อนร่วมสถาบันการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอีกทั้งยังเป็นแรงบันดาลใจ แรงผลักดันให้กลุ่มทำโครงการพิเศษทุ่มเทอย่างสุดความสามารถที่มีเพื่อให้การทำปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์

นางสาวกนกวรรณ โสธรวิไล

นางสาวพิชชานันท์ กมลพรพันธ์

นางสาวมนปพร จำนงค์ผล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
คำย่อและสัญลักษณ์	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 คำจำกัดความ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	5
2.1.1 ประโยชน์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	5
2.1.2 อันตรายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อเข้าสู่ร่างกาย	6
2.1.3 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อนุญาตให้มีได้	7
2.2 ซิงค์ออกไซด์	7
2.2.1 คำนิยาม	7
2.3 การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์	9
2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 โวลแทมเมทรี	13
2.5.1 หลักการ	13
2.5.2 ไชคลิกโวลแทมเมทรี	14
2.6 แอมเพอโรเมทรี	15
2.7 การพอกพูนด้วยไฟฟ้า	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	26
3.1.1 สารเคมีที่ใช้	26
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด	27
3.2 ศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนทางเคมี	27
3.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีนที่เหมาะสมในการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า	28
3.4 การเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยวิธีไชคลิกโวลแทมเมทรี	28
3.5 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนทางเคมี	29
3.5.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer: XRD)	29
3.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope: FESEM)	29
3.5.3 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Spectrophotometer)	29
3.6 การตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($K_3Fe(CN)_6$) โดยเทคนิคไชคลิกโวลแทมเมทรี	30
3.7 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	30
3.7.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	30
3.6.3 ศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	31
3.8 การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	32
3.9 การศึกษาการทวนสอบวิธี	32
3.9.1 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง	32
3.9.2 ศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ	32
3.9.3 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์	32
3.9.4 ศึกษาความเที่ยงของวิธี	32
3.10 การประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์สารตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	33
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ	34
4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, พอลิอะนิลีน และขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์	34
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	35
4.1.3 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์	37
4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีนที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า ด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($K_3Fe(CN)_6$) โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีด้วยขั้วไฟฟ้าต่างๆ	41
4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	44
4.4.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	44
4.4.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	45
4.3.3 ผลการศึกษาอัตราการสแกน	48
4.5 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเทคนิคแอมเพอโรเมทรีด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	49
4.6 การประยุกต์ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง	53
4.7 ผลการศึกษาการทวนสอบวิธี	65
4.7.1 ผลขีดจำกัดการตรวจวัด	65
4.7.2 ผลการศึกษาความเที่ยงของวิธี	65
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก ก การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์	74
ก.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.00 โมลาร์	75
ก.2 การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.00 โมลาร์	75
ก.3 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1.0 โมลาร์	75
ภาคผนวก ข การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	79
ค.1 ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	80
ภาคผนวก ง แสดงค่าร้อยละคืนกลับตามข้อกำหนด AOAC	83
ภาคผนวก จ แสดงการคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำยาล้างแผล	86
ภาคผนวก ฉ แสดงการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายอะนีนีน	28
3.2 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	30
3.3 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาหาอัตราการสแกน	31
4.1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตรวจวัดได้	64
4.2 แสดงค่าขีดจำกัดการตรวจวัด, ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด	65
4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ต่างๆ ด้วยค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดขีดจำกัดของการวิเคราะห์ และค่าความแม่นยำของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	66
ก.1 แสดงปริมาตรของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการเตรียมพีเอช	76
ง.1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	84
ง.2 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC	85

0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	41
4.5 (ก) แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	42
4.5 (ข) แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์	42
4.5 (ค) แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีน	43
4.5 (ง) แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	43
4.6 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่มีความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีน 0.01 โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ค่าพีเอชต่างๆ	45
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับค่าพีเอช 4.14, 5.28, 5.36, 5.54, 5.74, 6.16, 6.46, 6.60, 6.87, 7.12, 7.48, 7.62, 7.88 และ 9.16 ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์	46
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับค่าพีเอช 4.14, 5.28, 5.36, 5.54, 5.74, 6.16, 6.46, 6.60, 6.87, 7.12, 7.48, 7.62, 7.88 และ 9.16 ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์	47
4.9 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	48
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับรากที่สองของสแกนเรตตั้งแต่ 75-350 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	49
4.11 แอมเพอโรแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร	50
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	50
4.13 แอมเพอโรแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วย	

- นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์
 เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10
 โมลาร์ พีเอช 7.12 โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1.0
 โมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 51
- 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้น ของการตรวจวัดสารละลาย
 มาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12
 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน
 บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน 51
- 4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีน
 เจือทินออกไซด์และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนในการตรวจ
 วัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 52
- 4.16 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์
 ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า
 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 โดยเติมสารละลายมาตรฐาน
 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 54
- 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
 ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนใน
 สารละลายตัวอย่างตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 54
- 4.18 แอมเพอโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทิน
 ออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
 ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้าง
 แผล ตัวอย่างที่ 1 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโคร
 โมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 55
- 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
 ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์
 ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างน้ำยา
 ล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 55
- 4.20 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์
 ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์
 ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 โดยเติมสารละลาย
 มาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 57
- 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

- ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
ในสารละลายตัวอย่างตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 57
- 4.22 แอมเพอโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 58
- 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ในสารละลายตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 58
- 4.24 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 60
- 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 60
- 4.26 แอมเพอโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร 61
- 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 61
- 4.28 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์และขั้วไฟฟ้าซิงค์ออกไซด์/พอลิอะนิลีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยาฆ่าเชื้อ ตัวอย่างที่ 1 62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีน เจือทินออกไซด์และขั้วไฟฟ้าซิงค์ออกไซด์/พอลิอะนิลีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยามาเชื้อ ตัวอย่างที่ 2	63
4.30 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีน เจือทินออกไซด์และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้า ทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยามาเชื้อ ตัวอย่างที่ 3	63
ค.1 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของพอลิอะนิลีน	80
ค.2 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	81
ค.3 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์	82

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าการนำไฟฟ้าของโลหะบางตัวและพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่ผ่านกระบวนการได้ป	10
2.2 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิอะเซทิลีน (PAC) พอลิไพโรล (PPy) พอลิอะนิลีน (PANI) พอลิพาราฟินิลีน (PPp) และพอลิไทออฟิน (PTh)	11
2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาารีดอกซ์	12
2.4 แผนภาพสัญญาณการกระตุ้นในไซคลิกโวลแทมเมทรี	14
2.5 ตัวอย่างลักษณะไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่จับแบบผันกลับได้	14
4.1 สเปกตรัมแสดงลักษณะทางกายภาพของ ก.แผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ข.อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ค.พอลิอะนิลีน ง. นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่มีมุม 2θ	34
4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของที่กำลังขยาย 100,000 เท่า ของ ก.แผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ข.อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ค.พอลิอะนิลีน ง.นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	36
4.3 แสดงสเปกตรัมการสร้างพันธะของพอลิอะนิลีน	37
4.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายอะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	38
4.4 (ก) ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์ในสารละลายอะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	39
4.4 (ข) ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีนในสารละลายอะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที	40
4.4 (ค) ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนในสารละลายอะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก	

คำย่อและสัญลักษณ์

R^2	ค่าความเป็นเส้นตรง (Relative coefficient)
mM	มิลลิโมลาร์
mmol.L ⁻¹	มิลลิโมลาร์
M	โมลาร์
% w/w	หน่วยความเข้มข้นร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก (Wight by Weight)
% v/v	หน่วยความเข้มข้นร้อยละปริมาตรต่อปริมาตร (Volume by Volume)
% w/v	หน่วยความเข้มข้นร้อยละน้ำหนักต่อปริมาตร (Weight by Volume)
μm	ไมโครเมตร
nm	นาโนเมตร
μA	ไมโครแอมแปร์
V	โวลต์
mV/s	มิลลิโวลต์ต่อวินาที
μM	ไมโครโมลาร์
%Recovery	ค่าร้อยละของการคืนกลับ
ppm	หนึ่งในล้านส่วน
ppb	หนึ่งในพันล้านส่วน
°C	องศาเซลเซียส
g/cm^3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
cm^2	ตารางเซนติเมตร
FTO	ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
ZnO/FTO	ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์
PANI/FTO	ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีน
ZnO/PANI/FTO	นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของงานวิจัย

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide:H₂O₂) เป็นสารเคมีที่มีการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆอย่างแพร่หลายทั้งด้านการแพทย์ [1] ด้านอุตสาหกรรม [2] และด้านสิ่งแวดล้อม [3] เป็นต้น ในอุตสาหกรรมที่มีการฟอกสี เช่น การผลิตยาอ้อมผสม [4] อุตสาหกรรมสิ่งทอ [5] อุตสาหกรรมกระดาษ [6] ซึ่งใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอกขาวโดยคุณภาพของการฟอกจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเคมีภัณฑ์ที่มีอันตรายและต้องควบคุมปริมาณไม่ให้เกินตามที่กรมควบคุมพิษกำหนดไว้ [7] การที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำหรือดิน หากมนุษย์ได้สัมผัสหรือสูดดมเข้าไปจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ หากมีการสัมผัสทางการหายใจหรือกลืนกินเข้าไป ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีฤทธิ์กัดกร่อนก่อให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด ปวดท้องและอาเจียน หากสัมผัสทางผิวหนังจะเกิดผื่นแดงและปวดแสบปวดร้อน [8] บริเวณแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้กับอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงต้องมีการตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อควบคุมความเป็นพิษให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเสมอ [9] ในทางการแพทย์มักจะทำ การตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในร่างกายเพื่อบ่งบอกถึงปริมาณอนุมูลอิสระ ซึ่งหากร่างกายมีการผลิตอนุมูลอิสระออกมามากเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายได้ [10] ในปัจจุบันมีเทคนิคที่ใช้สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลายเทคนิคด้วยกัน เช่น โครมาโทกราฟี (Chromatography) [11], เคมีลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence) [12], เทคนิคทางไฟฟ้า (Electrochemical) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดได้ง่าย ให้ผลการตรวจวัดที่รวดเร็วและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดยังมีราคาถูกลง จึงเป็นที่นิยมนำเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าในการตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [13]

นอกจากนี้ยังมีความสนใจเกี่ยวกับการใช้พอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาช่วยในการพัฒนาในการตรวจวัด ซึ่งพอลิเมอร์นำไฟฟ้านั้นมีหลายชนิด เช่น พอลิไพโรล (Polypyrrole)[14], พอลิอะเซทิลีน (Polyacetylene) [15], พอลิธิโอฟิน (Polythiophene) [16] และ พอลิอะนิลีน (Polyaniline)[17] โดยเฉพาะพอลิอะนิลีน (Polyaniline) เมื่อทำการสังเคราะห์อะนิลีน (Aniline) จะเป็นพอลิเมอร์ที่มี

ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้เมื่ออยู่ในสภาวะปกติหรือเป็นกลางจะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่เมื่อถูกกระตุ้นหรือการโด๊ป (Dope) เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่ไม่เป็นกลาง หลังจากได้ทำการสังเคราะห์แล้วจะทำให้ได้โครงสร้างแบบพันธะคู่สลับเดี่ยว ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโมเลกุลได้ พอลิเมอร์นำไฟฟ้าจะช่วยในการยึดติดของอิเล็กโทรไลต์และมีความนำไฟฟ้าได้ดีและยังใช้โลหะออกไซด์นาโนมาช่วยในการพัฒนาตัวนั้นเพราะการใช้โลหะออกไซด์นาโนมาช่วยในการนำไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นและยังช่วยเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการทดลองเพื่อให้การทำตัวนั้นดีขึ้นในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีน (Polyaniline) นั้นมี 2 วิธี คือ กระบวนการเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrodeposition)[18] และกระบวนการทางเคมี (Chemical)[19] กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้าด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electrodeposition) สามารถเคลือบบนขั้วขั้วงาน (Electrode) ได้โดยตรงและสะดวก มีขั้นตอนการทดลองที่ไม่ซับซ้อน การที่ใช้สารในการกระตุ้นหรือการโด๊ป (dope) นั้นมีหลากหลาย เช่น ไฮโดรคลอริก (HCL) [20], โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) [21], โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) [22], ซัลฟูริก (H_2SO_4) [23] เป็นต้น โดยจะนำอะนิลีน (Aniline) [24] มาผสมกับกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อเปลี่ยนมอนอเมอร์ให้กลายเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ซึ่งในการพัฒนาตัวไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสารมากขึ้น จึงได้นำวัสดุออกไซด์เคลือบบนผิวของขั้วไฟฟ้าและวัสดุออกไซด์ที่นำมาเคลือบมีหลากหลาย เช่น เซอร์โคเนียมเปอร์ออกไซด์ (ZrO_2) [25], คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) [26], ทินออกไซด์ (SnO) [27], ไอรอน(III)ออกไซด์ (FeO_3) [28] และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) [29] ซึ่ง ZnO นั้นเป็นโลหะออกไซด์ที่มีความว่องไว, ความเสถียร รวมถึงมีการใช้อย่างแพร่หลาย ราคาถูก ดังนั้นจึงเลือกมาเคลือบบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับขั้วไฟฟ้า

ในโครงการนี้ได้นำวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltametry) [30] มาใช้ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า และตรวจลักษณะทางกายภาพผิวหน้านาโนคอมโพสิตชนิดสังกะสีออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (X-ray Diffractometer : XRD) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscopy : FE-SEM) จากนั้นใช้วิธีทางแอมเพอโรเมทรี (Amperometric) [36] ศึกษาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. สร้างขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าในการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline)
2. เพื่อทำการวิเคราะห์ตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline) โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry)
2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline)
3. ศึกษาการใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี (Amperometry) ในการวิเคราะห์ตรวจหาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยจะรายงานผล ค่าร้อยละของการวิเคราะห์ (%Recovery), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation: %RSD), ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (Limit Of Detection: LOD), ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit Of Quantitation: LOQ), การวิเคราะห์ค่าความไว (Sensitivity)

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถพัฒนาขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline) สำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. สามารถเปรียบเทียบความสามารถการนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (polyaniline) กับขั้วชนิดอื่นได้

1.5 คำจำกัดความ

1. ซิงค์ออกไซด์นาโน มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10 – 9 เมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี Ultraviolet ชนิด A (UV-A) และรังสี Ultraviolet ชนิด B (UV-B) ด้านทานแบคทีเรีย (Anti-bacteria) ระวังกลิ่นอันไม่พึงประสงค์นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) คือ สารประกอบอินทรีย์น้ำหนักอะตอม 34.014 กรัม ต่อ โมล จุดหลอมเหลว -0.43 องศาเซลเซียส จุดเดือด 150.2 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.463 กรัมต่อลูกบาศก์

3. ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) คือ ขั้วไฟฟ้าทำงานที่มีชั้นสเตรท เป็นแก้วที่เคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง ซึ่งก็คือ ดีบุก

4. พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) คือ พอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ โดยทั่วไปพอลิเมอร์จะมีลักษณะเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้า และกึ่งตัวนำ โดยจะนำพอลิเมอร์ที่มีความเป็นกึ่งตัวนำมาทำการสังเคราะห์เพื่อให้เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ โดยการสังเคราะห์นั้นมีหลายวิธีแต่ที่นิยมจะเป็นการกระตุ้นหรือ dope เพื่อให้โครงสร้างที่ไม่เป็นกลางมีความนำไฟฟ้าได้

5. โวลแทมเมทรี (Voltammetry) ในการขึ้นขั้ว ซึ่งวิธีการทางโวลแทมเมทรี (Voltametry) นั้น เป็นวัดศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าพร้อมกัน โดยต้องมีการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่เซลล์ไฟฟ้า (electrolytic cell) ศักย์ที่ให้แก่เซลล์นี้จะทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดโพลาริไดต์มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไปตามความต่างศักย์ภายนอกการที่ขั้วมีการเปลี่ยนแปลงศักย์จะทำให้สารเคมีในสารละลายของเซลล์สามารถมารับหรือให้อิเล็กตรอนที่ขั้วไฟฟ้าแล้วเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ นั่นคือเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Electron transfer reaction) อิเล็กตรอนข้างต้นจะไหลผ่านวงจรไฟฟ้าและไปเกิดคู่ปฏิกิริยาตรงข้ามที่อีกขั้วหนึ่ง

6. แอมเพอโรเมทรี (Amperometry) ซึ่งเป็นเทคนิคในการวัดความเข้มข้นของไอออนที่สัมพันธ์กับปริมาณสารที่ต้องการ โดยการวัดกระแสที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณสารที่เดิมลงไป โดยให้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คงที่ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [31]

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) มีสูตรทางเคมีว่า H_2O_2 เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (สารที่ประกอบด้วยออกซิเจนสองตัวและเชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยว) รูปแบบที่ง่ายที่สุดมีสภาพเป็นของเหลวใสหนืดกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม ไม่อยู่ตัว ซึ่งสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนกับน้ำเมื่อเจือจางจะเป็นสารละลายไม่มีสีเนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวเป็นน้ำได้เมื่อถูกแสงและความร้อน จึงควรเก็บรักษาสารชนิดนี้ไว้ในภาชนะทึบแสง

โดยปกติไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวไปเองอย่างช้าๆ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำและแก๊สออกซิเจนแสงสว่างและความร้อนจะช่วยเร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีปฏิกิริยาการสลายตัวดังนี้



นอกจากนี้หากมีส่วนผสมของโลหะ โดยเฉพาะเหล็ก แมงกานีส ทองแดง จะทำให้เกิดการสลายตัวเร็วยิ่งขึ้นวิธีการเก็บรักษาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เก็บไว้ในที่มืดหรือในภาชนะสีน้ำตาลเข้ม ภาชนะทึบแสงและในที่เย็น นอกจากนี้อาจเติมสารบางชนิดลงไปเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันไม่ให้สลายตัวเร็วเกินไป ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟ ซึ่งภาชนะบรรจุสารอาจจะระเบิดได้เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูง ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้ใช้น้ำฉีดเป็นฝอยหรืออาจใช้ผงเคมีแห้ง โฟม หรือคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.1 ประโยชน์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [32]

โดยทั่วไปไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะอยู่ในรูปสารละลายความเข้มข้นตั้งแต่ 3-90 เปอร์เซ็นต์มักใช้เป็นสารฟอกสีในอาหาร สารทำความสะอาด น้ำยาฆ่าเชื้อ ใช้ฆ่าเชื้อโรคบนผิวหนัง ใช้ล้างภาพสีน้ำมันเก่าๆ ให้สดใสขึ้น ทำน้ำยาบ้วนปากและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนจรวด

การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างแผลจะใช้ในฐานะยาที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้ออ่อนๆเฉพาะที่ เช่น บาดแผลเล็กๆ แต่อาจเกิดผลข้างเคียงจากความเป็นพิษ (Cytotoxic) ซึ่งรบกวนการสมานแผล ทำให้แผลแสบและระคายเคือง ดังนั้นจึงควรใช้สารชนิดนี้ในกรณีจำเป็นเท่านั้น

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถใช้ฟอกเส้นผมโดยการนำสารชนิดนี้ไปผสมกับสารชนิดอื่น จนให้สารละลายผสมมีฤทธิ์เป็นด่าง แล้วนำมาฟอกผมจะทำให้เส้นผมมีสีอ่อนลง ง่ายต่อการเปลี่ยนสีผมและยังทำให้สีที่ต้องการยึดติดกับผมได้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังมีส่วนผสมอยู่ในน้ำยาโกรกผม ซึ่งในยาย้อมผมไม่ควรมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิน 6 เปอร์เซ็นต์แต่ที่พบในท้องตลาดมีตั้งแต่ 3-40 เปอร์เซ็นต์ซึ่งหากใช้โดยไม่มีการเจือจางจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองหนังศีรษะและเส้นผมอาจถูกทำลายได้

นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารฟอกขาวในภาคอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งสามารถใช้ได้ดีกับเส้นใยเกือบทุกชนิดพร้อมทั้งเกิดอันตรายต่อเส้นใยน้อยที่สุด ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า " ตัวฟอก-ขาวสากล " (Universal bleaching agent) การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องใช้โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ควบคุมการสลายตัว นอกจากนี้ใช้ฟอกเส้นใยแล้วยังใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ฟอกงาช้าง และอาจใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารแอนติคลอรั (antichlor) ซึ่งใช้ทำลายคลอรีนที่ตกค้างบนเส้นใยหลังผ่านการใช้คลอรีนฟอกขาว มีสมการดังนี้



การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เพื่อวัตถุประสงค์เป็นสารฆ่าเชื้อ (sanitizer) นิยมใช้เพื่อการฆ่าเชื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารและบรรจุภัณฑ์อาหาร (packaging) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นิยมใช้เพื่อการฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะระบบ aseptic packaging ความเข้มข้นที่ใช้ร้อยละ 30-35 บรรจุภัณฑ์อาจจะถูกจุ่มลงในอ่างสารละลายหรือถูกพ่นละอองฝอยของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60-125 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกินออกไป นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารฟอกสีในอาหาร (bleaching agent) อีกด้วย

2.1.2 อันตรายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อเข้าสู่ร่างกาย [33]

เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์กัดกร่อน การหายใจเอาสารชนิดนี้เข้าไปอาจทำให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด เมื่อสัมผัสผิวหนัง อาจเกิดผื่นแดง รู้สึกปวดแสบปวดร้อน เมื่อรับประทานเข้าไปจะเกิดอาการเจ็บคอ ปวดท้อง และอาเจียนได้ และเมื่อสัมผัสถูกดวงตาจะก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ตาแดง ปวดตา สายตาอาจพร่ามัวได้ ในทางการแพทย์นำมาใช้ในการทำความสะอาดแผลที่ทำความสะอาดได้ยาก เช่น แผลลึก ปากแผลแคบ จากตะปูตำ ถูกแทง เป็นต้น เมื่อถูกบาดแผล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะกลายเป็นฟอง สามารถชำระล้างสกปรก เชื้อโรค เศษดินต่างๆ ที่อยู่ในแผลออกมา โดยในการใช้จะนำมาผสมกับน้ำ ในสัดส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 ส่วนต่อน้ำ 20 หรือ 30 ส่วน

2.1.3 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อนุญาตให้มีได้ [34]

อธิบดีกรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์เปิดเผยว่า ตามที่สหภาพยุโรปได้ประกาศระเบียบ Cosmetic Directive 76/768/EEC เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2519 กำหนดมาตรการและหลักเกณฑ์เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้เครื่องสำอาง โดยการระบุส่วนผสมหรือสารเคมีต้องห้าม การจำกัดปริมาณของส่วนผสมหรือสารเคมีบางประเภท หรือกำหนดเงื่อนไขในการใช้ส่วนผสมหรือสารเคมีบางชนิด รวมถึงการกำหนดหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการระบุข้อมูลและการปิดฉลากสินค้า [35] สารสำคัญ ดังนี้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่ออนามัยของช่องปากหรือฟันอนุญาตให้มีปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นสูงสุดไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ฟอกฟันขาวและฟอกสีฟันอนุญาตให้มีปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้มากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทุกชนิดจัดเป็นเครื่องสำอางควบคุมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องการกำหนดเครื่องสำอางควบคุม ลงวันที่ 8 กรกฎาคม 2551 ดังนั้นผู้ผลิตหรือนำเข้าเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต้องมาขอขึ้นทะเบียนกับสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ก่อนผลิตหรือนำเข้าเครื่องสำอาง โดยอนุญาตให้ผสมในผลิตภัณฑ์สำหรับเส้นผมในอัตราส่วนไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์สำหรับเล็บไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขอนามัยในช่องปากไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ฟอกสีฟันไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ และผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหน้าไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ หากเกินอัตราส่วนที่กำหนดถือว่าเป็นเครื่องสำอางผิดกฎหมาย

2.2 ชิงค์ออกไซด์ [36]

2.2.1 คำนิยาม

ชิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีการนำมาใช้งานในรูปแบบของวัสดุนาโน ตัวอย่างการใช้งานนาโนชิงค์ออกไซด์ ได้แก่ การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ ใช้สำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในทางทันตกรรม ใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสง และสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง นอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับคน โดยตรงคือเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลชั่นกันแดดที่เริ่มนิยมนำชิงค์ออกไซด์ขนาดนาโนมาใช้เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับเดียวกับอนุภาคชิงค์ออกไซด์ขนาดใหญ่กว่านาโน แต่ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของโลชั่นกันแดดที่มีอนุภาคนาโนเป็นองค์ประกอบคือการส่งผ่านแสงได้ดีกว่า ทำให้ไม่ทิ้งร่องรอยให้เห็นเป็นสีขาวอย่างชัดเจนบนผิวเมื่อเทียบกับโลชั่นกันแดดที่ใช้อนุภาคขนาดใหญ่ จากเหตุที่ชิงค์ออกไซด์ได้รับความสนใจในการใช้ประโยชน์มากขึ้น ทำให้เกิดการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผลที่ตามมาคือการศึกษาด้านความเป็นพิษของนาโนชิงค์ออกไซด์ ในแง่มุมต่างๆไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อมหรือด้านความเป็นพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ตัวอย่างการศึกษาด้านความเป็นพิษของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อแบคทีเรียแกรมลบโดยใช้แบคทีเรียอี.โคไล(E.coli) เป็นตัวแทน ต่อแบคทีเรียแกรมบวกโดยใช้แบคทีเรียสตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส(S.aureus) เป็นตัวแทนและต่อเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นภูมิคุ้มกันของมนุษย์ในระดับเบื้องต้น(T cell) ผลการศึกษาโดยใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ขนาดประมาณ 13 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่านาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอี.โคไล (E.coli) ได้ที่ระดับความเข้มข้น (≥ 3.4 มิลลิโมล) ในขณะที่การเจริญเติบโตของแบคทีเรียสตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส(S.aureus) ถูกยับยั้งได้อย่างสมบูรณ์ที่ระดับความเข้มข้น (≥ 1 มิลลิโมล) และโดยการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์แบบเดียวกัน พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อ(T cell)ของมนุษย์เพียงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้นเดียวกับที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ โดยรวมแล้วผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษที่แตกต่างกันระหว่างระบบของแบคทีเรียและ(T cell)ของมนุษย์

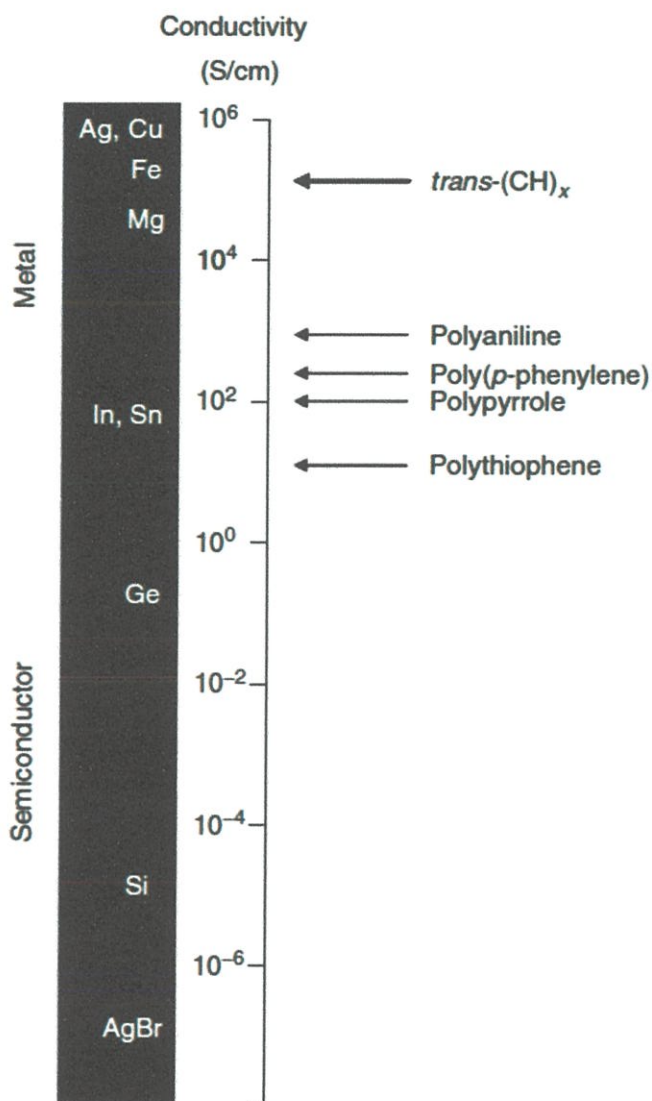
ส่วนการศึกษาถึงระดับความเป็นพิษที่แตกต่างกันระหว่าง ซิงค์ออกไซด์, คอปเปอร์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ (ZnO, CuO, TiO_2) ต่อแบคทีเรียและสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง เช่น กุ้ง หรือปู เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทั้ง 2 ชนิด อยู่ในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศน้ำจืดใช้สิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นตัวแทนสำหรับการศึกษา ซึ่งผลจากการศึกษา พบว่าความเป็นพิษของโลหะออกไซด์ (ทั้งในระดับนาโนและขนาดใหญ่) ต่อแบคทีเรีย วิบริโอ (V.fisheri) และต่อกุ้งจืดลำดับได้ดังต่อไปนี้ ($TiO_2 < CuO < ZnO$) นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นอีกว่า อนุภาคโลหะออกไซด์ไม่จำเป็นต้องเข้าไปในเซลล์จึงจะเป็นสาเหตุของความเสียหาย แต่การสัมผัสกันระหว่างเซลล์กับอนุภาคนาโนก็ทำให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ได้

สำหรับการศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนต่อเซลล์ผิวหนังของคน (human skin fibroblast) พบว่า เซลล์ผิวหนังของคนมีความไวต่อทั้งอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ โดยนาโนซิงค์ออกไซด์มีความเป็นพิษสูงกว่านาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จากข้อมูลแสดงในข้างต้นจะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนมีผลต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ดังนั้นในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์นาโนจึงควรพิจารณาถึงผลกระทบระยะยาวต่อสิ่งต่างๆที่ตัวผู้ใช้เองและสิ่งแวดล้อม

2.3 การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ (Conducting Polymer) [37]

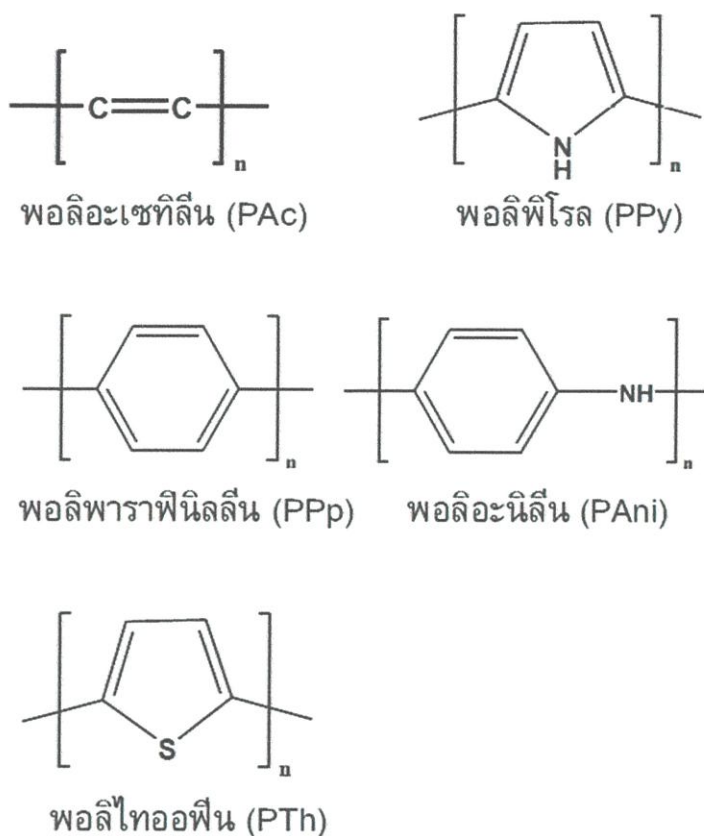
ในปัจจุบันพอลิเมอร์สังเคราะห์กลายเป็นที่นิยมและมีการนำไปประยุกต์ใช้งานมากกว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป็นที่รู้จักกันมากกว่าร้อยปีพอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าแต่มีพอลิเมอร์บางกลุ่มที่แสดงสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำหรือนำไฟฟ้าได้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้ถูกค้นพบเมื่อปีค.ศ. 1976 โดยอลันเจีเกอร์ (Alan J. Heeger) อลันจีแมกไดอาร์มิด (Alan G. MacDiarmid) และฮิเดกิชิรากาวา (Hideki Shirakawa) และต่อมาทั้งสามท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีร่วมกันในปีค.ศ. 2000 ที่ร่วมกันค้นพบและศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะเซทิลีนผลึก (Crystalline polyacetylene) ที่มีค่าการนำไฟฟ้าเทียบเท่าโลหะการค้นพบของทั้งสามท่านทำให้เกิดการตื่นตัวในบรรดานักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมากในการพัฒนาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดใหม่ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการที่จะนำไปใช้งาน

โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของพอลิเมอร์กลุ่มนี้คือมีระบบแบบไพคอนจูเกต (π -conjugated system) ซึ่งเป็นอะตอมของคาร์บอนต่อกันอยู่ด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวหรือมีวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) หรือมีอะตอมของธาตุไนโตรเจนและกำมะถันอยู่ในวงแหวนทำให้พอลิเมอร์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการกระจายอิเล็กตรอนได้ดีนอกจากนั้นแล้วความสามารถในการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์วิธีการสังเคราะห์และการโด๊ป (Doping process) กระบวนการการโด๊ปทำให้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) การโด๊ปทำให้พอลิเมอร์เหล่านี้ซึ่งจากเดิมเป็นฉนวนเปลี่ยนเป็นวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีเสมือนเป็นโลหะดังแสดงในรูปที่ 2.1



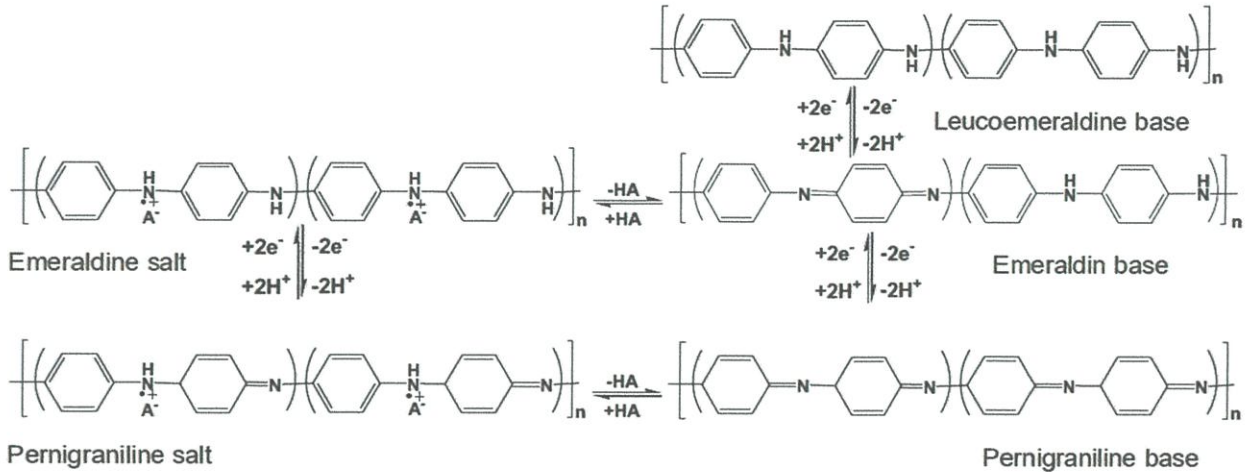
รูปที่ 2.1 ค่าการนำไฟฟ้าของโลหะบางตัวและพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่ผ่านกระบวนการได้ป

พอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่รู้จักกันดีได้แก่พอลิอะเซทิลีน(Polyacetylene, PAc) พอลิไพโรล (Polypyrrole, PPy) พอลิอะนิลีน (Polyaniline, PAni) พอลิพาราฟีนิลีน (Poly (*p*-phenylene), Ppp) และพอลิไทออฟีน (Polythiophene, PTh) เป็นต้นสูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิเมอร์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิอะเซทิลีน (PAC) พอลิไพโรล (PPy) พอลิอะนิลีน (PAni) พอลิพาราฟินิลีน (PPp) และพอลิไทออฟีน (PTh)

ในบรรดาพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้านี้พอลิอะนิลีนมีคุณสมบัติเฉพาะที่พิเศษกว่าตัวอื่นๆคือมีความหลากหลายของโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนไปตามค่าของพีเอชซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์

เนื่องจากมีวิธีการสังเคราะห์ที่ง่ายมีความเสถียรต่อสภาพบรรยากาศและความชื้นสูงและราคาถูกทำให้พอลิอะนิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมาก แต่ข้อจำกัดของการนำพอลิอะนิลีนไปใช้งานซึ่งเหมือนกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าส่วนใหญ่คือความสามารถในการละลายที่ต่ำในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปและการหลอมเหลวที่ทำได้ยากเนื่องมาจากระบบแบบไพคอนจูเกตที่มีแรงยึดเหนี่ยวไพ-ไพ (π - π interactions) ระหว่างโครงสร้างหลักของสายโซ่พอลิอะนิลีนที่แข็งแรงมากทำให้การนำไปขึ้นรูปยากซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับทินออกไซด์ เจือฟลูออรีน

ทินไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูโทนั้ เตตระโกนัล เซลล์หน่วย (unit cell) มีอะตอมของทินอยู่ตรงกลาง และอยู่ที่มุมทั้ง 8 มุม และมีอะตอมของออกซิเจน อยู่ที่ กึ่งกลางด้านทั้งหน่วยที่เล็กที่สุดของผลึกจะเรียกว่าเซลล์ดั้งเดิม (primitive cell) เป็นปริมาตรรูปสี่เหลี่ยมสามารถประกอบขึ้นมาเป็นผลึกได้พอดี ทินออกไซด์ เจือฟลูออรีนเกิดจากการเจือทินออกไซด์ด้วยฟลูออรีน โดยฟลูออรีนจะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของออกซิเจนทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นส่งผลให้การนำไฟฟ้าสูงขึ้นและมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำ เรียกสารประกอบออกไซด์ที่นำไฟฟ้านี้ว่า n-type transparent conducting oxide จากนั้นนำสารประกอบของทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาเคลือบลงบนซับสเตรทที่เป็นกระจกเพื่อนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเทคนิคที่ใช้ในการเคลือบทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีหลายเทคนิคด้วยกัน เช่น วิธีการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยระบบ

โพโรซอล การเคลือบด้วยวิธีการจุ่ม (dip-coating technique) หรือเทคนิคสเปรย์ไพโรไลซิส (Spray pyrolyzed) เป็นต้น คุณสมบัติสำคัญของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีดังนี้

- 1.สามารถส่องผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็น (380-700 nm) ได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์
- 2.มีค่าความต้านทานต่ำที่สุดประมาณ 5×10^{-3} โอห์ม
- 3.มีโครงสร้างเป็นเตตระโกนอล มีระนาบการจัดเรียงตัว (2 1 1)
- 4.สามารถใส่ปริมาณฟลูออรีน:คีนุกมากที่สุดได้ประมาณ 3 % โดยโมล

2.5 โวลแทมเมทรี (Voltammetry)

2.5.1 หลักการ [38]

โวลแทมเมทรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าเทคนิคหนึ่ง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแส ณ จุดต่างๆ เทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับวงจร ภายใต้สภาวะการทดลองที่เกิดปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน (Polarization) ขึ้นที่ขั้วซึ่งบอกหรือขั้วใช้งาน (indicating or working electrode) เพื่อให้เกิดโพลาไรเซชันที่ขั้วไฟฟ้าใช้งานได้ดี ขั้วไฟฟ้าใช้งานต้องมีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวน้อยมากเพียงไม่กี่ตารางมิลลิเมตร (พื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 10^{-6} - 10^{-3} m^2) ดังนั้นขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ใช้ในเทคนิคโวลแทมเมทรีจึงเรียกเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาคหรือไมโครอิเล็กโทรด (microelectrode)

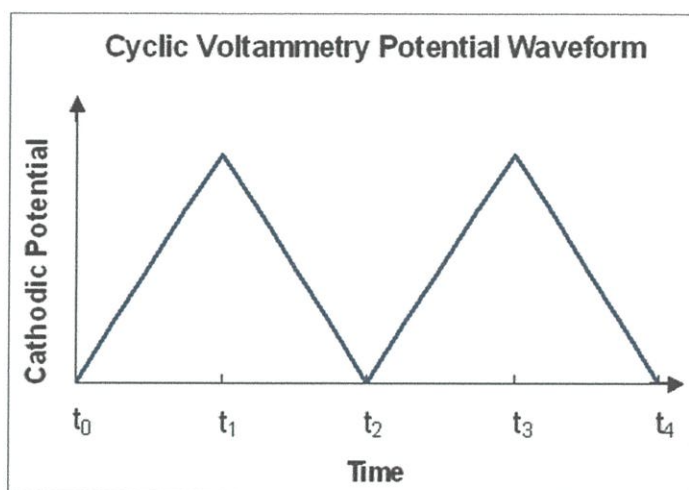
วิธีโวลแทมเมทรีและวิธีทางเคมีไฟฟ้า เป็นเทคนิคที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีภายใต้สภาวะการเกิดโพลาไรเซชันเนื่องจากความเข้มข้นอย่างสมบูรณ์ที่ขั้วไฟฟ้าจุลภาคโดยการให้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แก่วงจร การจัดเซลล์ของวงจรเป็นแบบอิเล็กโทรไลติกเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่าง ในทางกลับกันสำหรับวิธีโพเทนชิโอเมทรี สารตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาได้เองในสารละลายอย่างต่อเนื่อง การจัดเซลล์จึงเป็นแบบกัลวานิก และจะวัดศักย์ไฟฟ้าในสภาวะการทดลองที่กระแสมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และไม่มีโพลาไรเซชันเกิดขึ้น โวลแทมเมทรี (Voltammetry) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าเทคนิคหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้กับเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติก

ในทางปฏิบัติ ทำได้โดยป้อนพลังงานไฟฟ้าในรูปของศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกให้กับขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode, WE) เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode, RE) ที่จุ่มในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งมีสปีชีส์ที่ถูกออกซิไดซ์หรือถูกรีดิวซ์ได้อยู่ และมีเครื่องโพเทนชิออสแตต (potentiostat) หรือเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (voltmeter) ควบคุมและวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และมีเครื่องวัดกระแส (currentmeter) วัดกระแสที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือปฏิกิริยารีดักชันของสปีชีส์ที่ต้องการวิเคราะห์ระหว่างขั้วไฟฟ้าร่วม หรือขั้วไฟฟ้าช่วย (counter electrode or auxiliary electrode, CE or AE) ซึ่งเป็นตัวช่วยนำไฟฟ้า แล้วทำการบันทึกกระแส ณ จุดศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ให้กับเซลล์ โดยให้กระแสที่วัดได้เป็นแกน X และศักย์ไฟฟ้าเป็นแกน Y เรียกว่าการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

กระแสไฟฟ้า (current-voltage curve, I-E curve) นี้ว่าโพลารแกรม (Polarogram) สำหรับเทคนิคโพลารอกราฟี และเรียกว่าโวลแทมโมแกรม (Voltammogram) สำหรับเทคนิคโวลแทมเมตรี

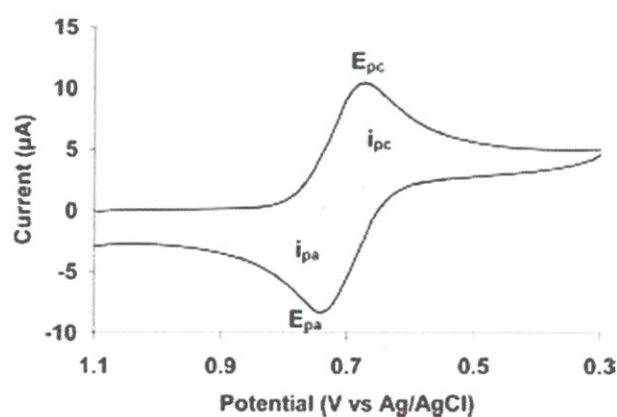
2.5.2 ไชคลิกโวลแทมเมตรี

ไชคลิกโวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง มีการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานเป็นแบบรูปสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพสัญญาณการกระตุ้นในไชคลิกโวลแทมเมตรี [45]

ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเป็นการพลอตระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้การตอบสนองที่อยู่ในรูปกระแสของการสแกน



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะไชคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่ขั้วแบบผันกลับได้ [39]

2.6 แอมเพอโรเมทรี[40]

เทคนิคแอมเพอโรเมทรี เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้หลักการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า หลักการทำงานของเทคนิคแอมเพอโรเมทรี เป็นการป้อนศักย์ไฟฟ้ากับขั้วไฟฟ้าใช้งานเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน และวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์เทคนิคดังกล่าวร่วมกับเทคนิคไบโอเซนเซอร์ โดยทำการตรึงวัสดุชีวภาพบนขั้วไฟฟ้า วัสดุชีวภาพจะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนอิเล็กตรอนในสารละลาย และส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าทำงานดังปฏิกิริยา

2.7 การพอกพูนด้วยไฟฟ้า

การพอกพูนด้วยไฟฟ้า เป็นเทคนิคที่ใช้สารละลายคอลลอยด์ในกระบวนการผลิตเซรามิกมีข้อดีหลากหลายเช่น ใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อยไม่มีข้อจำกัดในด้านรูปร่างของชั้นสเตรท เหมาะสมกับการทำงานในปริมาณมากๆ โดยหลักการทำงานคือ ให้ประจุบนอนุภาคของสารตั้งต้นในคอลลอยด์ เพื่อที่จะให้อนุภาคเดินทางไปเคลือบบนผิวของขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นโลหะหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงที่ให้เข้าไป เนื่องจากในคอลลอยด์จะไม่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์จึงทำให้อนุภาคสามารถเดินทางไปยังขั้วอิเล็กโทรดได้อย่างรวดเร็วในการเกิดฟิล์มมีค่าประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อนาที การเคลือบผิวจะเกิดได้ทุกตำแหน่งของขั้วอิเล็กโทรด สารละลายสามารถใช้ได้หลายชนิดเช่น แอซิทิลแอซีโตน (Acetylacetone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) และแอซีโตน (Acetone) เป็นต้น

การพอกพูนด้วยไฟฟ้าเป็นที่นิยมมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมซึ่งรวมถึง Electrocoating, E-coating, Cathodic electrodeposition และ Electrophoretic coating หรือ Electrophoretic painting โดยคุณสมบัติลักษณะของกระบวนการนี้ก็คือ คอลลอยด์ ซึ่งเป็นอนุภาคแขวนลอยในของเหลว สามารถโยกย้ายภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า (Electrophoresis) และฝากไปยังอนุภาคเพื่อเดินทางไปเคลือบบนผิวของขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นโลหะหรือวัสดุ ซึ่งตัวอย่างของคอลลอยด์ได้แก่ เม็ดเม็ดสีซีเซรามิกและโลหะ เป็นต้น

กระบวนการการพอกพูนด้วยไฟฟ้านี้จะใช้สำหรับการใช้เคลือบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์โลหะ ซึ่งได้รับการใช้อย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการเคลือบหุ้มตัวถังรถยนต์และชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าเครื่องใช้เฟอร์นิเจอร์โลหะภาชนะบรรจุเครื่องดื่มและหลายผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งกระบวนการนี้มีจำนวนของข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่นๆ ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. สามารถควบคุมความหนาของการเคลือบได้
2. สามารถเคลือบวัตถุที่มีรูปร่างที่ซับซ้อน ได้ง่าย
3. มีการเคลือบที่รวดเร็ว
4. ความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง
5. ใช้กับวัสดุอื่นๆ ได้ เช่น โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และอื่น ๆ
6. สามารถควบคุมการเคลือบได้
7. กระบวนการเป็นไปโดยอัตโนมัติและต้องใช้แรงงานคนน้อยกว่ากระบวนการอื่นๆ
8. ประสิทธิภาพสูงในการเคลือบผิววัสดุและใช้ต้นทุนลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yinyin Wei และคณะ[41] ได้ทำการสังเคราะห์ ZnO nanorods/Au (ZnO/Au) ในขนาดอนุภาคนาโน โดย ZnO นั้นทำการสังเคราะห์จาก hydrothermal จากนั้นทำการตรวจสอบอัตรลักษณ์ด้วยการวิเคราะห์ XRD, SEM และ TEM การสังเคราะห์ขึ้นมานี้เป็นการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ดีและสามารถนำมาใช้ในการหาคู่โคส ใช้เป็นไบโอเซนเซอร์ได้อีกด้วย ซึ่งเมื่อทำการตรวจวัดคู่โคสแล้วนั้นจะให้ความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.9956 และยังมีขีดจำกัดของการตรวจวัดที่ค่อนข้างต่ำ นั้นแสดงให้เห็นว่า ไบโอเซนเซอร์นี้มีความจำเพาะและความตอบสนองของการตรวจวัดที่ดีอีกด้วย

Feng Wang และคณะ [42] ได้พัฒนาเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ พัฒนามาจากโพลิโคปามีน (PDA)/อนุภาคนาโนของเงิน (AgNPs) ทำเป็นฟิล์มหลายชั้น (PDA/AgNPs) n นำมาใช้กับขั้วไฟฟ้าพลาสติกคาร์บอน การทำ (PDA/AgNPs) n หลายๆ ชั้นทำได้โดยหยดโคปามีน และตามด้วยสารละลายไอออนเงินลงบนขั้วไฟฟ้าพลาสติกคาร์บอนจะทำให้การยึดติดดีเยี่ยม และมีการลดลงของสมบัติของโพลิโคปามีนด้วย คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ (PDA/AgNPs) n ที่นำไปใช้กับขั้วไฟฟ้าพลาสติกคาร์บอนสามารถตรวจวัดลักษณะได้ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี และเทคนิค electrochemical impedance spectroscopy (EIS) ผลการศึกษาพบว่าเซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้น (PDA/AgNPs) n มีคุณสมบัติตามความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการลดลงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เซ็นเซอร์ได้รับการทดสอบกับตัวอย่างจริง และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้งานได้จริง

Kuei-Sheng Tsenga และคณะ[43] ได้ทำการวิจัยมุ่งเน้นเกี่ยวกับการใช้งานของ Prussian Blue (PB) ทำการปรับเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยนำฟิล์มบางของ Prussian Blue (PB) นำไปทำการ Deposited บน FTO จากนั้นทำการตรวจสอบและทำการทำซ้ำได้ประสบความสำเร็จโดยได้ค่าคงที่อยู่ที่ -0.2V (โดยทำการเปรียบเทียบกับขั้ว Ag/AgCl/KCl

อิมิตัว) โดยทำการแช่และตรวจวัดลงในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายที่มี KCl 0.1 M, $pH = 2$ ในช่วงของการตรวจสอบพบว่าอยู่ระหว่าง 50M-50mMและยังมีความไวสูงอีกด้วยและยังมีข้อสังเกตอีกว่าออกซิเจนที่ละลายและสัมผัสกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าถ้าทำการล้างขั้วด้วย N_2 เพื่อช่วยลดในการเคลือบด้วยทองที่มีราคาแพง

PengWangและคณะ[24] ได้ทำการศึกษาค้นการทำไบโอเซนเซอร์ในการตรวจวัดหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สร้างขึ้นระหว่างhorseradish peroxidase (HRP) และ polyaniline (PANI) โดยใช้ Glutaraldehyde เป็นตัวแทน เคลือบกับขั้วFluorine doped tin oxide (FTO) จากนั้นทำการเตรียมpolyaniline (PANI) ในสารละลายไอออน, 1-ethyl-3-methylimidazolium ethylsulfate (EMIES) ซึ่ง polyaniline (PANI)นั้นเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ปัจจุบันผลการตรวจวัดเป็นเส้นตรงดีขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเราสามารถนำไปตรวจหาอัตลักษณ์ได้โดยการวิเคราะห์ SEMและ CV

Chia-Yu Linaและคณะ[44] ปรับเปลี่ยนอิเล็กโทรดนำไฟฟ้า (FTO) โดยเริ่มแรกดีโพสิทด้วยซิงค์ออกไซด์นาโนรอดด์และตามด้วยการสังเคราะห์แสงของอนุภาคนาโนของเงิน จะเป็นอิเล็กโทรด $AgNPs/ZnONRs/FTO$ ใช้เซ็นเซอร์แบบแอมเพอโรเมตริกในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชั้นแรกของอิเล็กโทรดเป็นชั้นของซิงค์นาโนรอดด์ ที่ได้จากการดีโพสิทในอ่างสารเคมีพร้อมกันนั้นยังนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Photoreduction ของไอออนเงิน ภายใต้การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยเมตริกชั้นนี้ใช้ตรึงอนุภาคนาโนของเงิน อัตราส่วนของซิงค์ออกไซด์นาโนรอดด์ที่ดีโพสิทได้อย่างเหมาะสมขึ้นกับจำนวนครั้งของการดีโพสิทต่อพื้นที่สำหรับอนุภาคเงินที่ใช้ดีโพสิท และจำนวนของอนุภาคนาโนของเงินต่อการเชื่อมติดกันควบคุมโดยการปรับเวลาการฉายรังสี การตรึงอนุภาคนาโนเงินแสดงให้เห็นการตอบสนองที่ดีต่อการลดลงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากผลการทดสอบของเซ็นเซอร์แอมเพอโรเมตริกพบ10จุดที่มีความไวมากขึ้นสำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดที่ไม่ได้ใช้อนุภาคนาโนเงินหรือใช้เพียงซิงค์ออกไซด์นาโนรอดด์เพียงอย่างเดียวการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้วิธีแอมเพอโรเมตริกที่ -0.55 โวลต์ ให้ขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้เท่ากับ 0.9 μM และมีความไวเท่ากับ 152.1 $mAM^{-1}cm^{-2}$ ถึง 0.983 mM เวลาของการตอบสนองอยู่ที่ 30-40 วินาที ความจำเพาะของเซนเซอร์ตรวจสอบได้จากกรดแอสคอบิกและกรดยูริก เทคนิค EDX, TEM, XRD, CV, SEM ข้อมูลที่ได้จะนำมาเอามาปรับปรุงอิเล็กโทรดคุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่ปรับปรุงนี้ใช้ศึกษาร่วมกับวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี และแอมเพอโรเมตริก

Gendi Jin และคณะ[45] ได้พัฒนาวิธี potentiometric ใหม่ที่ใช้ศึกษาการหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกลูโคส วิธีนี้ใช้เทคนิค potentiometric ในการวิเคราะห์หาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกลูโคสในสารละลายบัฟเฟอร์ TISAB (pH 7.5) กับขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนที่เคลือบด้วย calix[4]arene ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนที่เคลือบด้วย calix[4]arene ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วง -3.3 ถึง -1.2 ในสารละลายบัฟเฟอร์ TISAB (pH 7.5) มีค่า slope ประมาณ 65.6 ± 3 mV และขีดจำกัดของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 4.0×10^{-5} mol/L⁻¹ ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนที่เคลือบด้วย calix[4]arene ในการตรวจวัดกลูโคสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกลูโคสในช่วง -0.36 ถึง -2.8 ในสารละลายบัฟเฟอร์ TISAB (pH 7.5) มีค่า slope ประมาณ 50.2 ± 2 mV และขีดจำกัดของการตรวจวัดกลูโคสเท่ากับ 2.0×10^{-5} mol⁻¹ อิเล็กโทรดนี้มีความจำเพาะเจาะจงที่ดี, มีความไวที่ดี, มีความเสถียรที่ดี และมีความสามารถในการวัดซ้ำ

M.R. Guascito และคณะ[46] ได้ทำการนำเสนอวิธีแอมเพอโรเมทรีใหม่นั้น ได้ใช้ nanostructured สำหรับการวิเคราะห์หาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่น เซอร์คูลาร์สกรีนขึ้นด้วยการตรึงอนุภาคนาโนของเงินในโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนขั้วไฟฟ้าแพลทินัม โดยทำการหยดอนุภาคนาโนของเงินลงไปให้เป็นสารแขวนลอยใน PAV และใช้เทคนิคอัลตราไวโอเลต, วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี, เอ็กซ์เรย์ และรูปถ่ายกำลังขยายสูง จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน Transmission Electron Microscopy (TEM) เพื่อตรวจสอบลักษณะอนุภาคนาโนของเงินบนฟิล์ม การทดลองโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี Cyclic Voltammetry (CV) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนของเงินทำให้ง่ายในการลดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แสดงด้วยความไวต่อการเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อนำเซ็นเซอร์นี้ไปปรับใช้กับเทคนิคโครโนแอมเพอโรเมทริก (chronoamperometric) การตอบสนองของเซ็นเซอร์ขึ้นอยู่กับช่วงชีวิตของอนุภาคนาโน การรายงานผลของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะรายงานผลด้วยการทดสอบขีดจำกัดต่ำสุดในการทดสอบ, ความเป็นเส้นตรง, ความจำเพาะเจาะจง และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การใช้ประโยชน์จากช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วงที่แตกต่างกัน ($40 \mu\text{M}$ ถึง 6 mM และ $1.25 \mu\text{M}$ ถึง 1.0 mM) สามารถประเมินผลจากช่วงความเข้มข้นได้ถึง 3 ความเข้มข้น นอกจากนี้ขั้วไฟฟ้าที่ได้รับการพัฒนาแล้วยังแสดงให้เห็นค่า maximal sensitivity เท่ากับ $128 \text{ nA } \mu\text{M}^{-1}$ ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด เท่ากับ $1 \mu\text{M}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.5 nA mM^{-1} จากการวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์เหล่านี้ทำให้เซ็นเซอร์เหมาะสมในการวิเคราะห์หาเปอร์ออกไซด์ในสารละลาย

Kuei-Sheng Tsenga และคณะ[43]งานวิจัยนี้สนใจในการใช้ปร๊อสเซียมบลูมาคัดแปลงเข้ากับอิเล็กโทรดที่โปร่งใสเพื่อใช้ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ฟิล์มปร๊อสเซียมบลูโพลี

ด้วยไฟฟ้าลงบนกระจกFTOการตรวจวัดจะสามารถเชื่อถือและทำสำเนาได้เมื่อเมื่อค่าเอนเอียงคงที่อยู่ที่ -0.2 โวลต์ เมื่อเทียบกับ ขั้วซีลเวอร์ / ซีลเวอร์คลอไรด์ หรือขั้วโพแทสเซียมอิ่มตัว นำขั้ว FTO ที่ดีโพลิตด้วยปรอทเชียนบลู แล้วมาจุ่มลงในสารละลายไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ ที่มีส่วนผสมของ 0.1M ของโพแทสเซียมคลอไรด์ มีpH=2 ช่วงพลังงานของการตรวจวัด อยู่ในระหว่าง 50 μ M และ 50 mM มีความไวเป็น 5831 mA/cm² M แต่จากการสังเกตจะพบว่ามี การละลายของออกซิเจนทำให้รบกวนการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อการตรวจที่ดีขึ้นควรพ่นแก๊สไนโตรเจนไล่แก๊สออกซิเจนออกไป งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถของสัคย์ไฟฟ้าในการขจัดโดยใช้โดยไม่ใช้แพลตตินัมหรือแกรสซีคาร์บอน (glassy carbon) และสามารถเตรียมส่วนประกอบด้วยการตรวจวัดทางสายตาได้

Yang Han และคณะ[47] โครงสร้างแบบประกบติดกันของอนุภาคนาโนเงินและแมงกานีสออกไซด์ที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของคาร์บอนนาโนทิวบ์ ใช้สำหรับการสร้างเซ็นเซอร์ที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดเพื่อใช้ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตรวจสอบลักษณะและรูปร่างของสารประกอบนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM), เอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน(XRD), และเครื่องฟลูออริสเซนซ์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)จากการตรวจสอบพบว่าสารประกอบนาโนช่วยให้ประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์ดีขึ้น ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ไม่มีอากาศผ่านเข้าไป เซ็นเซอร์จะต้องตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 5.0 μ M- 10.4 mM ได้ $r^2 = 0.9993$ ความไวของการตรวจวัด 82.5 μ A mM⁻¹ cm⁻² ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด 1.7 μ M(S/N=3) เวลาตอบสนองอยู่ที่ 2 วินาที เซ็นเซอร์แสดงถึงความเสถียรและไม่มีตัวรบกวน

Zhe Yang และคณะ[48] เซ็นเซอร์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สร้างโดยการดีโพลิตเงินด้วยไฟฟ้าลงบนขั้ว glassy carbon ปรับปรุงด้วย layered double hydroxides (LDHs) การใช้ layered double hydroxides (LDHs) ในการปรับปรุงทำให้ประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ดีขึ้น ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคนาโนเงินเป็นแบบการแตกกิ่งออกไป กลไกการแตกกิ่งของอนุภาคนาโนเงินใช้เทคนิคการกระจายตัวหรือลดการรวมตัวของโครงสร้าง หลังจากการทดลองจะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 10 μ M ถึง 19.33mM มีขีดจำกัดต่ำสุดที่ต่ำมาก 2.2 μ M และมีความไวในการตรวจวัดที่ดี นำไปประยุกต์ใช้ในด้านเคมีไฟฟ้า และนำไปพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้

Hui Ping Bai และคณะ [49] แอมเพอโรเมตริกไบโอเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พัฒนามาจากการดูดซับ horseradish peroxidase ที่ขั้ว glassy carbon ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยการดีโพสิทด้วยไฟฟ้าบนผนังของคาร์บอนนาโนทิวบ์รูปร่างของขั้วที่ปรับปรุงแล้วตรวจโดยใช้เครื่อง SEM และศึกษาประสิทธิภาพด้วยวิธีแอมเพอโรเมตริกสามารถตรวจวัดได้ดีที่ -0.11 โวลต์ในช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 9.9×10^{-7} ถึง 2.9×10^{-3} mol/L ($r^2 = 0.991$) ไบโอเซ็นเซอร์นี้มีการตอบสนองที่รวดเร็วมีความความเสถียรที่ดีเยี่ยม

Li Wang และคณะ [50] ได้พัฒนาเซนเซอร์ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้ไฟฟ้าช่วยในการเกาะติดของอนุภาคนาโนของเงินกับพอลิเอทอพีนิลีนไดอะมีนในลักษณะแผ่นฟิล์มบนขั้วกลาสซีคาร์บอน เริ่มแรกต้องเปลี่ยนเอทอพีนิลีนไดอะมีนให้เป็นพอลิเมอร์ หลังจากนั้นจึงนำไปเกาะติดบนขั้วพร้อมกับอนุภาคนาโนของเงิน เราจะสามารถดูลักษณะของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์และอนุภาคนาโนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ทำให้เห็นว่าบนแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์มีรูพรุนและมีอนุภาคนาโนของเงินกระจายอยู่ทั่วแผ่นฟิล์ม จะใช้เทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมตริกและแอมเพอโรเมตริกในการประเมินคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขั้ว บนผิวหน้าขั้วมีการตอบสนองต่อไฟฟ้าดี เหมาะแก่การนำไปใช้ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตัวเซนเซอร์มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วและมีความเลือกจำเพาะสูง มีความแม่นยำสูง ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 6.0 μ M ถึง 67.3 mM และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด 1.5 μ M

Xiaoyun Qin และคณะ [51] ได้ทำการเปลี่ยนโครงสร้างภายในของเซนเซอร์ได้ภายในขั้นตอนเดียว ภายในประกอบไปด้วยอนุภาคนาโนของเงินและกราฟีนออกไซด์ โดยใช้ความร้อนในการช่วยทำให้ซิลเวอร์ไนเตรตผสมเป็นเนื้อเดียวกับกราฟีนออกไซด์ในรูปสารละลายในสถานะที่เป็นเบสแก่ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเป็นเวลา 30 นาที ปฏิกริยาจะสำเร็จหากไม่มีตัว ริคิวซิงเอเจนต์ และการปรับเปลี่ยนสภาพผิวหน้าขั้ว การสังเคราะห์ประสบความสำเร็จ โดยการประยุกต์ใช้ประสิทธิภาพของตัวเร่งเพื่อนำไปสู่การหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เซนเซอร์ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 0.1-0.6 mM และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดที่ 1.8 μ M

Shanmugasundaram Komathi และคณะ [52] อธิบายการเกาะติดของพอลิอะนิลีนและเอนไซม์ฮอสเรดิสทั้งสองพร้อมกันบนทองคำนาโนโรดด์ สามารถดูรูปร่างลักษณะของขั้วได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดแบบส่องกราดและยูวีวิสิเบิลสเปกโตรสโคปี จากภาพที่มีความ

ละเอียดสูงจะเห็นว่าบนพื้นผิวมีลักษณะเป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งการส่งผ่านอิเล็กตรอนโดยตรงมีค่าคงที่เท่ากับ $3.2 \pm 0.1 \text{ s}^{-1}$ จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงให้เห็นถึงการใช้ไฟฟ้าในช่วยในการปรับปรุงขั้วโดยใช้ไฟฟ้าที่ -0.25 โวลต์ ตอบสนองที่ได้จากแอมเพอโรเมตริกนั้นรวดเร็วใช้เวลาน้อยกว่า 5 วินาทีในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 1×10^{-5} ถึง $1 \times 10^{-3} \text{ M}$ ขั้วที่มีการปรับปรุงมาความเลือกจำเพาะและความไวในการตรวจวัดสูงขึ้น

Yanshu Jiang [53] ในพื้นฐานของวารสารนี้ใช้เทคโนโลยีการใช้ไฟฟ้าในการช่วยยึดเกาะบนขั้ว กล่าวถึงการเตรียมอนุภาคนาโนที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวบ์ สามารถดูรูปร่างลักษณะได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ผลจากการส่องพื้นผิวพบว่ามีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งการควบคุมรูปร่างนั้นใช้วิธีการเกาะติดบนขั้วโดยใช้ไฟฟ้าประสิทธิภาพทางเคมีไฟฟ้าของขั้ว เมื่อทดสอบจะพบว่าสัญญาณที่ได้นั้นผิดปกติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนส่วนประกอบที่เคลือบอยู่บนขั้วให้สามารถตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ สภาวะจากการทดลองที่ให้สัญญาณรวดเร็วที่สุดคือใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.12 โวลต์ เซนเซอร์นี้มีความเสถียรและความเลือกจำเพาะที่ดี ทำให้การปรับปรุงเซนเซอร์ในครั้งนี้นำประสบความสำเร็จในการตรวจวัดตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และยังสามารถนำเซนเซอร์ไปตรวจวัดกลูโคสได้อีกด้วยโดยเปลี่ยนมาใช้กลูโคสออกซิเดสในการเตรียมขั้ว

Wenbo Lu และคณะ [54] ได้อธิบายการรวมกลุ่มของพอลิอิเล็กโทรไลต์และอนุภาคนาโนของเงินเป็นแผ่นฟิล์มซึ่งมีหลายชั้น แผ่นฟิล์มถูกสร้างโดยการดูดซับแบบสลับชั้นโดยขั้วบวกจะดูดซับ [(2-ethyl dimethyl ammonioethyl methacrylate ethyl sulfate)-co-(1-vinylpyrrolidone)] ที่พอลิอิเล็กโทรไลต์ ส่วนขั้วลบจะดูดซับซิติเรตและอนุภาคนาโนของเงินบนขั้วหรือฐานที่ใช้ดูดซับซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นควอตซ์ใช้เครื่องยูวีสเปกโทรสโคปีในการตรวจวัด ผลจากการทดลองการตอบของแอมเพอโรเมตริกรวดเร็วใช้เวลาไม่ถึง 5 วินาที

Zhiping Wu และคณะ [55] พอลิพีนีลีนไดเอมีนมีรูปร่างเว้าสังเคราะห์ได้จากพีนีลีนไดเอมีน โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวออกซิไดซิงในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อนุภาค

นาโนของเงินสังเคราะห์ได้จากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในโซเดียมโบโรไฮไดรด์ อนุภาคนาโนเงินที่ผสมกับพอลิพีไนลีนช่วยทำให้การตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดีขึ้น

Yan Huang และคณะ [56] ได้สังเคราะห์ตัวตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ใช้เอนไซม์ โดยใช้กราฟีนออกไซด์ผสมกับอนุภาคนาโนของซิลิกา ลักษณะรูปร่างของอนุภาคตรวจสอบได้โดยเครื่องฟลูอิดเรย์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งชนิดส่องกราดและชนิดส่องผ่าน และใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์โฟลโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี ในสารผสมนี้ประกอบด้วยกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนของซิลิกาสามารถใช้ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดี

Jisheng Zhou และคณะ [57] ได้สังเคราะห์สารประกอบอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ซอลล์โลว์ขนาดนาโน/แผ่นกราฟีนขนาดนาโน เตรียมได้โดยใช้วิธีที่คล้ายกับ Kirkendal-effect วัสดุประกอบนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มี reversible capacity ถึง 640 มิลลิแอมแปร์ต่อเฮกโตกรัมที่ 50 มิลลิแอมแปร์ต่อกรัม และมีค่า capacity retention เป็นร้อยละ 96 เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไปแล้ว 10 ครั้ง ที่ 1 แอมแปร์ต่อกรัมมีค่า reversible capacity ถึง 485 มิลลิแอมแปร์ต่อเฮกโตกรัม และคงอยู่ที่ 281 มิลลิแอมแปร์ต่อเฮกโตกรัม หลังจากผ่านไป 500 รอบ ผลที่ได้นี้สามารถบ่งบอกได้ว่าค่า capacity fading มีค่าต่ำกว่า 0.4 มิลลิแอมแปร์ต่อเฮกโตกรัมต่อรอบ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมนี้เป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และกราฟีน

Junwu Zhu และคณะ[58] ได้กล่าวถึงวิธีการทางเคมีที่ง่ายและสามารถทำได้ของการจัดวางอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ระดับนาโนบนกราฟีนออกไซด์ ซึ่งทำในระบบน้ำและไอโซโพรพานอลจากการสังเกตโดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM) และ Transmission electron microscopy (TEM) สามารถบ่งบอกได้ว่าการลอกออกเป็นแผ่นของแผ่นกราฟีนออกไซด์จะถูกติดด้วยอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ขนาดนาโนที่มีรูปร่างยาวหรือทรงกลมโดยการติดนั้นจะเป็นไปอย่างไม่มีแบบแผน เกิดเป็นอนุภาคสารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์/กราฟีนออกไซด์ขนาดนาโนกลไกการจัดเรียงตัวของสารประกอบขนาดนาโนเหล่านี้เป็นการแทรก และการดูดซับของคอปเปอร์(II)ไอออน ลงบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ ตามด้วยการเกิดเป็นผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดการลอกชั้นของแผ่นกราฟีนออกไซด์ นอกจากนั้นสารประกอบขนาดนาโนที่ได้ มีความสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ความร้อนของแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันของคอปเปอร์ออกไซด์และกราฟีนออกไซด์

Shihong Chen และคณะ [59] ได้ประยุกต์ใช้งานคาร์บอนนาโนทิวบ์แบบผนังหลายชั้น (MWNT) และ Core-shell organosilica ที่โคโคซานในการสร้างไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบแอมเพอโรเมตริกจะทำการเชื่อมขวางสายโซ่ของอนุภาคทรงกลมขนาดนาโนโดยการตรึงเมทริกซ์ ในการประกอบ organosilica ที่โคโคซาน/MWNT นั้นนำ MWNT และประจุบวกของ organosilica ที่โคโคซานทรงกลมขนาดนาโนมากระจายตัวในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น (0.6%w/w) ซึ่งนำมาเคลือบบนผิวขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน (GCE) โดยตรง จากนั้นนำฮอสเรดิสเปอร์ออกซิเดส (HRP) ซึ่งเป็นแม่แบบเอนไซม์ นำมาตรึงบนขั้วไฟฟ้านั้นผ่านการเกิดไฟฟ้าสถิตของประจุที่แตกต่างกันระหว่าง organosilica ที่โคโคซานกับฮอสเรดิสเปอร์ออกซิเดส โดยขั้วไฟฟ้า HRP/organosilica ที่โคโคซาน/MWNTs/GCE จะได้รับอิเล็กตรอนที่ส่งผ่านโดยตรงของ HRP ซึ่งจะให้ผลที่ดีเยี่ยมจากการใช้เทคนิคการใช้ไฟฟ้าร่วมกับตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยกระแสของตัวเร่งนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วง 7.0×10^{-7} ถึง 2.8×10^{-3} โมลาร์ ความไวเท่ากับ $49.8 \mu\text{A mM}^{-1} \text{cm}^{-2}$ และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ $2.5 \times 10^{-7} \text{M}$ ที่ 3 σ ส่วนค่าคงที่ของ Michaelies-Menten ประมาณได้เท่ากับ 0.32 มิลลิโมลาร์ที่สภาวะการทำงานของ HRP สูงสุด นอกจากนั้นเมื่อเราทำการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากตัวอย่างที่ทำการฆ่าเชื้อ และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจะให้ผลการตอบสนองต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เร็ว มีความเสถียรและค่าการทำซ้ำที่ดีซึ่งก็จะได้ผลที่น่าพอใจ

Junwei Di และคณะ [60] ได้พัฒนาไบโอเซนเซอร์ใช้ฮอสเรดิสเปอร์ออกซิเดส (HRP) แบบชั้นตอนเดียวเกิดขึ้นบนอนุภาคนาโนของโลหะทองคำ และ HRP ทำการตรึงอนุภาคนาโนของโลหะทองคำและ HRP พร้อมๆกันในโครงข่ายโซล-เจลซิลิกาบนผิวขั้วไฟฟ้าโลหะทองคำที่มีซิสเทอีนอยู่ในการตรึง HRP แสดงให้เห็นพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าโดยตรงในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าคงที่อัตราการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ต่างกันประมาณ 7.8 s^{-1} ไบโอเซนเซอร์นี้ให้ผลทางไฟฟ้าร่วมกับตัวเร่งได้อย่างดีเยี่ยมในการตอบสนองปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยที่ไม่ต้องมีตัวกลางใดๆ โดยที่ช่วงการสอบเทียบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ค่าตั้งแต่ $1.6 \mu\text{molL}^{-1}$ ถึง 3.2 mmolL^{-1} ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ $0.5 \mu\text{molL}^{-1}$ ที่ S/N เท่ากับ 3 และค่าคงที่ของ Michaelies-Menten ในการตรึง HRP ลงบนผิวขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 1.1

mmolL⁻¹ ไบโอเซนเซอร์นี้แสดงให้เห็นถึงความไวที่สูง คอบสนองเร็ว และมีความเสถียรเป็นเวลานาน

Hideaki Nakamura และคณะ [61] ได้เตรียมไบโอเซนเซอร์ที่ตรวจวัดโดยการดูดซับที่มีฐานจากเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance, SPR_{Abs}) ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ง่ายและทำซ้ำได้โดยใช้รีเอเจนต์ทรินเดอร์ปรับแต่ง (Trinder's reagent ; chromogenic reagent) เราสามารถใช้รีเอเจนต์ในการตรวจวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยพัฒนาความถี่ของส้อมความยาวคลื่นเท่ากับ 630 นาโนเมตรผ่านปฏิกิริยาเข้าคู่ออกซิเดชันกับ N-rthyl-N-(2-hydroxy-3-sulfopropyl)-3,5-dimethylanilnesodium salt monohydrate (MAOS; C₁₃H₂₀NNaO₄S·H₂O) และ 4-aminoantipyrine(4-AA) ซึ่งมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และฮอสเตรคิซเปอร์ออกซิเดส (HRP) อยู่ด้วย ในการศึกษาล่าสุด ยูเรียเป็นตัวที่ดึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าหากันสำหรับการพัฒนาที่ซึ่งอาจทดแทนในการตรวจวัดสารละลายซึ่งมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 มิลลิโมลาร์เป็นสื่อที่มีความเข้มข้น โดยมีค่าการดูดกลืนเท่ากับ 46.7 cm⁻¹ และนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรงกับการตรวจวัดไบโอเซนเซอร์แบบ SPR_{Abs} โดยไม่ต้องทำการเจือจางในการตรวจวัดนั้นดำเนินการได้ง่ายมากเพียงหยดสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์บนพื้นผิวขั้วเซนเซอร์ ไบโอเซนเซอร์จะตอบสนองต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบประจวบเหมาะกลับในสเปกตรัมหลังจากการวิเคราะห์รายละเอียดค่า pH ใน SPR_{Abs} จะได้กราฟเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่าง 1.0 ถึง 50 มิลลิโมลาร์ (r = 0.991, ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ = 0.152เปอร์เซ็นต์) และขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.5 มิลลิโมลาร์ ในการประยุกต์ใช้ไบโอเซนเซอร์เพื่อการตรวจสอบ ทำการตรวจวัดกลูโคส 20 มิลลิโมลาร์ โดยใช้กลูโคสออกซิเดส ซึ่งรับรองแล้วว่าไม่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีหักเหในการตรวจวัดสารละลายนี้ ดังนั้นไบโอเซนเซอร์นี้สามารถใช้รีเอเจนต์ทรินเดอร์ปรับแต่งเป็นตัวแทนการประยุกต์ใช้กับเครื่องมือไบโอเซนเซอร์ตรวจวัดสารที่จะวิเคราะห์ตัวอื่นๆ

Wenjuan Li และคณะ [62] ได้พัฒนาไบโอเซนเซอร์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ให้มีกระบวนการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพโดยการกักฮอสเตรคิซเปอร์ออกซิเดส (HRP) ไว้ใน เมมเบรนลูกผสม ไคโตซาน/ซิลิกา ซิล-เจล (CSHMs) เจือด้วยโพแทสเซียมเฟอร์ริไซยาไนด์ (Potassium ferricyanide, K₃Fe(CN)₆) และอนุภาคนาโนทองคำ (GNPs) บนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าแพลตตินัมเมมเบรนเตรียมได้โดยการเชื่อมขวางสายโซ่ไคโตซานด้วย 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) ในขณะที่

ที่ GNPs ปรับปรุงค่าการนำไฟฟ้าของ CSHMs เนื่องจาก $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$ มีค่าทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม จึงใช้เป็นตัวกลางในการส่งต่ออิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้ากับฮอสเตรดิส ในการบ่งชี้ลักษณะของสารประกอบที่แตกต่างกันภายใน CSHMs และเกิดอันตรกิริยานั้น โดยใช้ศาสตร์ทางสเปกโตร คือ การดูดกลืนแสงยูวีวิสิเบิล ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพไบโอเซนเซอร์ที่เกิดขึ้นต้องปรับสภาพที่เหมาะสมที่สุด และลักษณะเฉพาะของไบโอเซนเซอร์ที่เกิดขึ้นนั้นระบุได้จากวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรีและวิธีคลอโนแอมเพอโรเมทรี จะได้เส้นตรงการสอบเทียบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 3.5×10^{-6} ถึง 1.4×10^{-3} โมลาร์ภายใต้สภาวะที่ปรับให้เหมาะสมด้วยขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 8.0×10^{-7} โมลาร์ จะเห็นได้ชัดว่าค่าคงที่มิเชลิสแมนเทนของขั้วไฟฟ้าตรวจวัดเอนไซม์เท่ากับ 0.93 มิลลิโมลาร์ ขั้วไฟฟ้าตรวจวัดเอนไซม์ได้ค่าคืนกลับประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการตอบสนองทั้งหมดหลังจาก 30 วัน เมื่อนำรูปแบบนี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดสารตัวอย่างต่างๆซึ่งก็ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

Engin Asav และคณะ [63] ได้เตรียมไบโอเซนเซอร์แบบใหม่ ซึ่งมีพื้นฐานจากการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase) เพื่อตรวจวัดฟลูออไรด์ในการประกอบไทโรซิเนสเข้ากับเซนเซอร์นี้ ใช้ตัวตรึงและตัวเชื่อมขวางสายโซ่เอนไซม์คือ เจลาติน (Gelatine) และกลูตาราลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) อาศัยเครื่องวัดออกซิเจนชนิด Clark Electrode (Clark type dissolved oxygen probe ; DO probe) และคลุมด้วยเยื่อหุ้มเทฟลอนที่มีความไวต่อออกซิเจนโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (50 มิลลิโมลาร์, pH7.0) ในการทำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด การตรวจวัดการละลายของออกซิเจนที่ลดลงบริเวณอันตรภาคของพื้นผิวเป็นผลจากการยับยั้งของฟลูออไรด์ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เติมลงไปในปฏิกิริยาโดยมีคาเทคอล (Catechol) เป็นสารตั้งต้น การตอบสนองของไบโอเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของฟลูออไรด์ตั้งแต่ 1.0 ถึง 20 ไมโครโมลาร์ ภายใน 3 นาที และทำการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของไบโอเซนเซอร์ และตัวแปรบางตัวของสารมาตรฐานฟลูออไรด์ 10 ไมโครโมลาร์ ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวน เท่ากับ 10.5 ไมโครโมลาร์, 0.57 ไมโครโมลาร์, 5.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1. สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4 ; BDH Laboratory Supplies)
2. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4 ; Carlo Erba reagenti, Italy)
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 37% (w/w) (HCl ;Carlo Erba reagenti, Italy)
4. สารละลายมาตรฐานกรดแอสिटิก 99% (w/w) (CH_3COOH ; Carlo Erba reagenti, Italy)
5. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH ;Carlo Erba reagenti, Italy)
6. โซเดียมอะซิเตรต ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$; บริษัท แกมมาโก้, ประเทศไทย)
7. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl ;Carlo Erba reagenti, Italy)
8. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 98% (w/w) (H_2SO_4 ;Carlo Erba reagenti, Italy)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH ; บริษัท แกมมาโก้, ประเทศไทย)
10. สารละลายมาตรฐานอะนิตีน 99% (w/w) ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$; บริษัท เอ็มเอ็มซี เคมีคอล จำกัด)
11. ผงอะลูมินา (Al_2O_3 ; บริษัท เมอร์ค จำกัด)
12. สารละลายซิงค์ไนเตรต 99.9% ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$; บริษัท เอ็มเอ็มซี เคมีคอล จำกัด)
13. สารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% (w/w) (H_2O_2 ; Carlo Erba reagenti, Italy)

3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด

1. ขวดวัดปริมาตร(Volumetric flask)
2. บีกเกอร์(Beaker)
3. หลอดหยด (Dropper)
4. ปิเปต (Pipette)
5. ไมโครปิเปต (Micropipette) ของบริษัท Vipro
6. เครื่องวัดพีเอช รุ่น 716 DMS Titrimo บริษัท Ecochemie ประเทศไทย
7. กระบอกตวง (Cylinder)
8. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมด้วยแท่งกวนแม่เหล็กไฟฟ้ารุ่น 728 Stirrer บริษัท Metrohm ประเทศเนเธอร์แลนด์
9. ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน(Fluorine doped tin oxide)
10. เครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic bath) รุ่น Tramsonic 570/H บริษัท Metler electronics
11. คู่มือสารเคมีบริษัท กรีนเทค พลัส จำกัด
12. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง(Analysis balance: PRECISA Models 404 MSCS) บริษัท Precisa Models 404 MSCS
13. เครื่องทำน้ำปราศไออนรุ่น Milli-Q บริษัท Milford ประเทศสหรัฐอเมริกา
14. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์(X-ray diffractometer: XRD) รุ่น Smartlab บริษัท Rigagu ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer: FT-IR) บริษัท PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope : FE-SEM) รุ่น JSM-7001F บริษัท Agilent technology ประเทศแคนาดา

3.2 ศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนทางเคมี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานอะนิลีนเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 15 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 15 มิลลิลิตร
3. นำสารละลายไปปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 50 นาที
4. จากนั้นทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง ให้สารตกตะกอน
5. นำสารละลายไปกรองแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยสารละลายเอทานอล 20 มิลลิลิตร
6. นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิตินที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ ออกไซด์ร่วมกับโพลีอะนิตินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิติน ในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพลีอะนิตินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้า และลักษณะพิกที่ที่เกิดขึ้น ใช้อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที สภาวะการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายอะนิติน

ความเข้มข้นของสารละลายอะนิติน (โมลาร์)	ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (โมลาร์)
0.01	0.1
0.05	0.1
0.1	0.1
0.5	0.1
1.0	0.1

3.4 การเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพลีอะนิตินด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

- นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน นำไปล้างในสารละลายเอทานอลและน้ำปราศจากไอออนในอัตรา 1:1 โดยปริมาตร ในเครื่องล้างความถี่สูง เป็นเวลา 5 นาทีและวางไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เพื่อกำจัดอนุภาคต่างๆที่เกาะอยู่บริเวณผิวหน้าขั้ว
- นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนจากข้อ 1 มากำหนดขนาดในการเกาะติดทางไฟฟ้า โดยกำหนดพื้นที่หน้าขั้วขนาดกว้าง 3.00 มิลลิเมตร ยาว 3.00 มิลลิเมตร
- นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนไปเกาะติดทางไฟฟ้า ด้วยสารละลายซิงค์ในเดรคที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายอะนิติน ดังแสดงในตารางที่ 3.110 มิลลิลิตร และทำการ โด๊ปด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร ทำการให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ โดยใช้อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ทำการสแกน 20 รอบ

4. นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ผ่านการปรับปรุงมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
5. หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจะได้นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพไลอะนิลีนด้วยวิธีการพอกพูนทางไฟฟ้า บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.5 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพอลิอะนิลีน และขั้วไฟฟ้าต่างๆ

นำพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ และขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีน และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนไปตรวจลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

3.5.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์(X-ray diffractometer: XRD)

การตรวจนำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกับโพไลอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาศึกษาในรูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของผลึกบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพไลอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

การตรวจนำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพไลอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาศึกษารูปร่างลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของผลึกที่บริเวณผิวของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับโพไลอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.5.3 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์(Fourier Transform Infrared Spectrometer)

การตรวจนำพอลิอะนิลีนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีมาตรวจสอบเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของพอลิอะนิลีน ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

3.6 การตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($K_3Fe(CN)_6$) โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ด้วยขั้วไฟฟ้าต่างๆ

นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าเจือซิงค์ไนเตรท ขั้วไฟฟ้าเจือพอลิอะนิลีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ไปตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(III) ที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า

3.7 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่างๆในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ซึ่งจะศึกษาสภาวะต่างๆดังต่อไปนี้

3.7.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การศึกษาสารอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยนำขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์กับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนไปทำการศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สารละลายอิเล็กโทรไลต์	ความเข้มข้น (โมลาร์)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ไมโครโมลาร์)
KCl	0.1	1.0
KOH	0.1	1.0
NaOH	0.1	1.0
HCl	0.1	1.0
PBS	0.1	1.0

3.7.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ศึกษาค่าพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ซึ่งทำการเตรียมพีเอชของ

สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ ตั้งแต่ 4.14-9.16 [ภาคผนวก ก.] โดยใช้ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ ทดสอบกับสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ใช้อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.7.3 ศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

การศึกษ้อัตราการสแกนที่เหมาะสมในพีเอช 7.12 ที่ความแตกต่างของอัตราการสแกน โดยใช้ช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 ถึง +0.9 โวลต์สภาวะในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3 ตารางที่ 3.3แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาหาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

อัตราการสแกน มิลลิโวลต์ต่อวินาที	ความเข้มข้นของสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ไมโครโมลาร์)	พีเอชของสารละลาย ฟอสเฟตบัพเฟอร์	ปริมาณสารละลาย (มิลลิลิตร)
25	1.0	7.12	10
50	1.0	7.12	10
75	1.0	7.12	10
100	1.0	7.12	10
125	1.0	7.12	10
150	1.0	7.12	10
175	1.0	7.12	10
200	1.0	7.12	10
250	1.0	7.12	10
300	1.0	7.12	10
350	1.0	7.12	10
400	1.0	7.12	10

3.8 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี

1. เปิดสารละลายฟอสเฟตเฟอร์ 10 มิลลิลิตรใส่ถ้วยวัด
2. ทำการตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ +0.5 โวลต์
3. ทำการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 40 ไมโครลิตร ทั้งหมด 13 ครั้ง

3.9 การศึกษาการทวนสอบวิธี

3.9.1 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range)

วัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วัดค่ากระแสไฟฟ้า และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละความเข้มข้น

3.9.2 ศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection)

วัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำนวน 6 ครั้ง นำค่ากระแสที่วัดได้คำนวณหาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ

3.9.3 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation)

วัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำนวน 6 ครั้ง นำค่ากระแสที่วัดได้คำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์

3.9.4 ศึกษาความเที่ยงของวิธี (Precision)

ใช้ขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง จำนวน 6 ครั้ง โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละครั้ง และนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) ที่ได้จากการทำซ้ำ

3.10 การประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์สารตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. ปิเปตสารละลายฟอสฟอเฟออร์ 10 มิลลิลิตรใส่ถ้วยวัด
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 ที่เจือจางแล้ว 10 เท่า 10 มิลลิลิตร
3. ทำการตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ +0.5 โวลต์
4. ทำการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 40 ไมโครลิตร ทั้งหมด 13 ครั้ง
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3

บทที่ 4

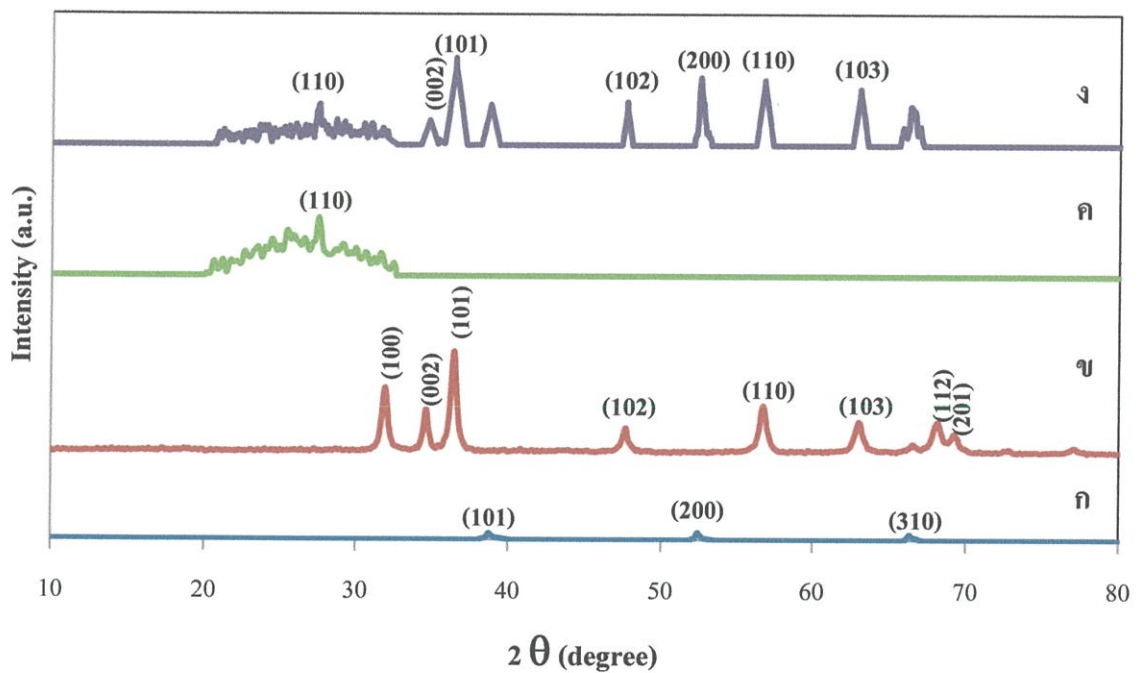
การวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, พอลิอะนิลีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์

(X-ray diffractometer: XRD)

ผลจากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของซิงค์ในเตรตการศึกษาคุณลักษณะของพอลิอะนิลีนที่ได้จากกระบวนการทางเคมีโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวโด๊ป ทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะพบลักษณะทางกายภาพของอนุภาคดังรูปที่ 4.1

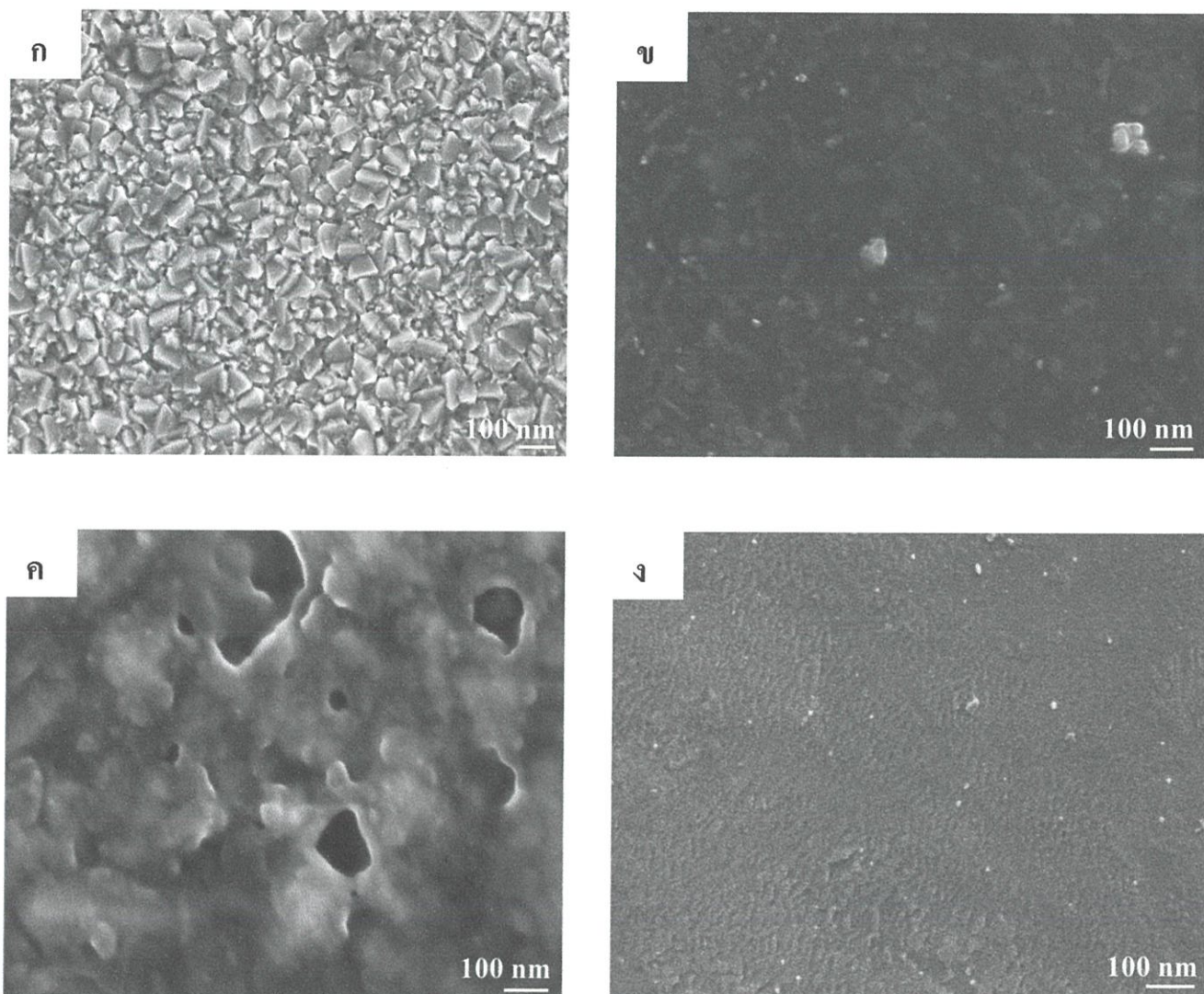


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมแสดงลักษณะทางกายภาพของ ก. แผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ข. อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ค. พอลิอะนิลีน ง. นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่มุม 2θ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 แสดงผลการตรวจวัดแผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ตำแหน่งมุม 2θ พีคที่เห็นเด่นชัดได้แก่ (101), (220) และ (310) แสดงว่าแผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีโครงสร้างเป็นผลึกที่สูง [64] ผลการตรวจวัดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะคล้ายคลึงกับข้อมูลมาตรฐาน (standard data) (JCPDS 36-1451) [65] จากสเปกตรัมจะเห็นว่าพีคซิงค์ออกไซด์ที่ตำแหน่งมุม 2θ มีค่าประมาณ 37.5° (101) ซึ่งเป็นพีคที่สำคัญที่บ่งบอกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) มีความบริสุทธิ์และความเป็นผลึกที่สูง ผลการตรวจวัดของพอลิอะนิลีน พีคพอลิอะนิลีนที่ตำแหน่งมุม 2θ มีค่าประมาณ 27.54° (110) คล้ายคลึงกับข้อมูลมาตรฐาน (Standard Data) (JCPDS No.78-1285 & 86) [66] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกสูง และผลการตรวจวัดของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่ตำแหน่งมุม 2θ มีค่าประมาณ 27.72° (101) จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบคล้ายคลึงกับพอลิอะนิลีน แสดงให้เห็นว่านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกหนา

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)

ผลจากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของซิงค์ในเตรตคุณลักษณะทางกายภาพของพอลิอะนิลีนที่ได้จากกระบวนการทางเคมีโดยใช้กรดซัลฟิวริกในการ โต้ปทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ดังแสดงในรูปที่ 4.2



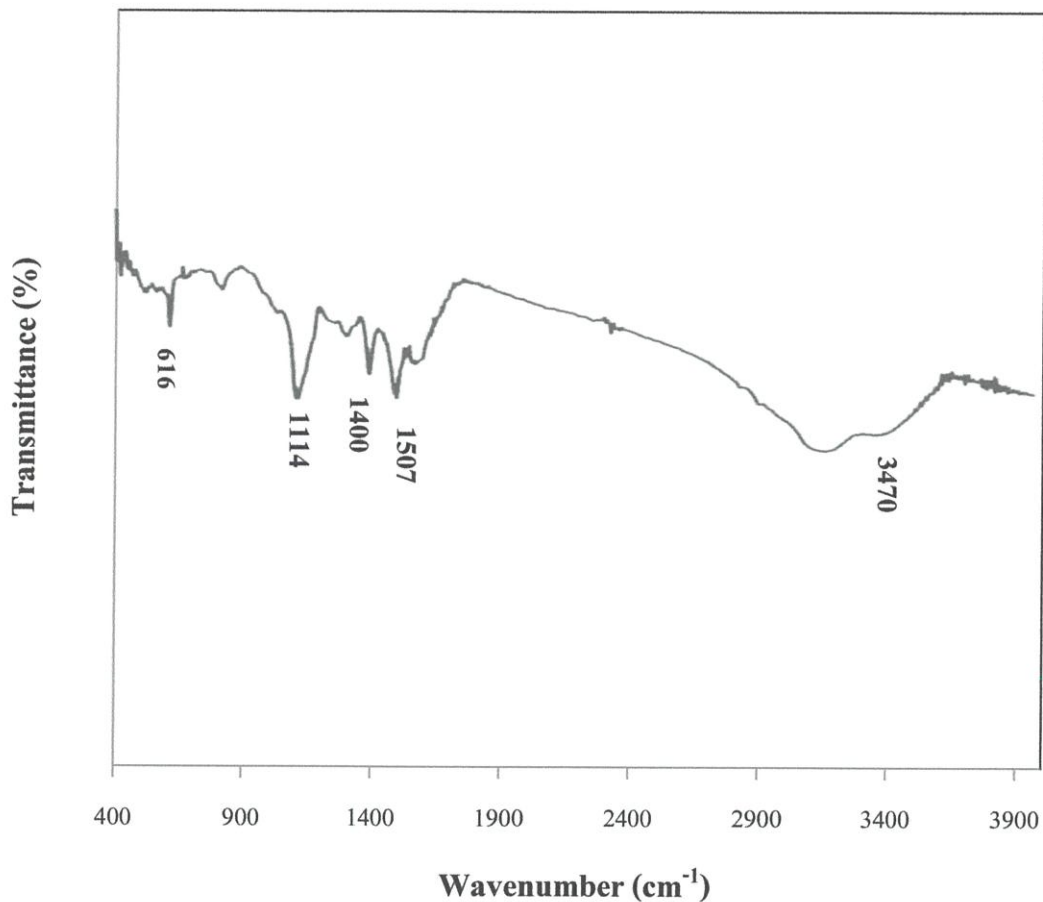
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของที่กำลังขยาย 100,000 เท่า ของ ก.แผ่นกระจกทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ข.ขั้วไฟฟ้าเจือซิงค์ไนเตรท ค.ขั้วไฟฟ้าเจือพอลิอะนิลีน ง.นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรูปที่ 4.2 (ก.) เป็นรูปของพื้นผิวทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ไม่มีการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และพอลิอะนิลีนรูปที่ 4.2 (ข.) เป็นรูปของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่ายที่มีกำลังขยาย 100,000 เท่า จะเห็นว่า มีลักษณะเป็นผลึกทรงกลม ในส่วนของพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 4.2 (ค.) จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100,000 เท่า เห็นได้ชัดว่ามีลักษณะเป็นผลึกที่มีช่องว่างระหว่างผลึก และเมื่อนำพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ไปติดกับอนุภาคนาโนซิงค์

ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในคอนตันบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ได้เป็นลักษณะ ดังรูปที่ 4.2 (ง.) จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100,000 เท่า ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาถ่ายโอนอิเล็กตรอน

4.1.3 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

ผลจากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของพอลิอะนิลีนที่ได้จากกระบวนการทางเคมีโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวได้ป ทำการเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.3



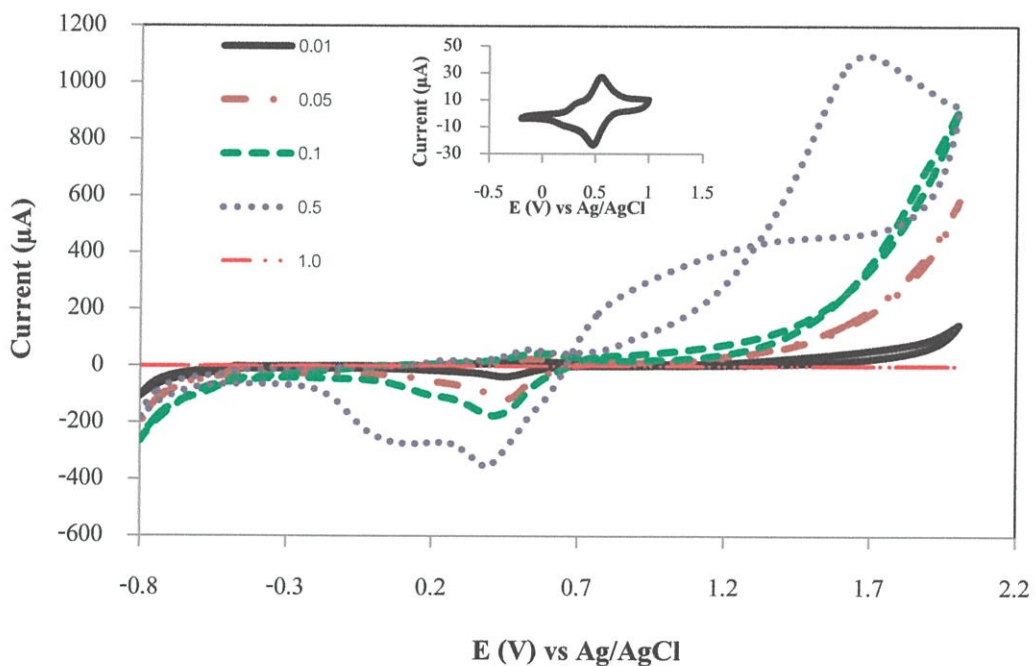
รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมการสร้างพันธะของพอลิอะนิลีน

เมื่อพิจารณารูปภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นการดูดกลืนที่เด่นชัดของการสร้างพันธะของพอลิอะนิลีนที่เลขคลื่น 1400 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (bending) ของ -CH_2 ที่เลขคลื่น 616 cm^{-1}

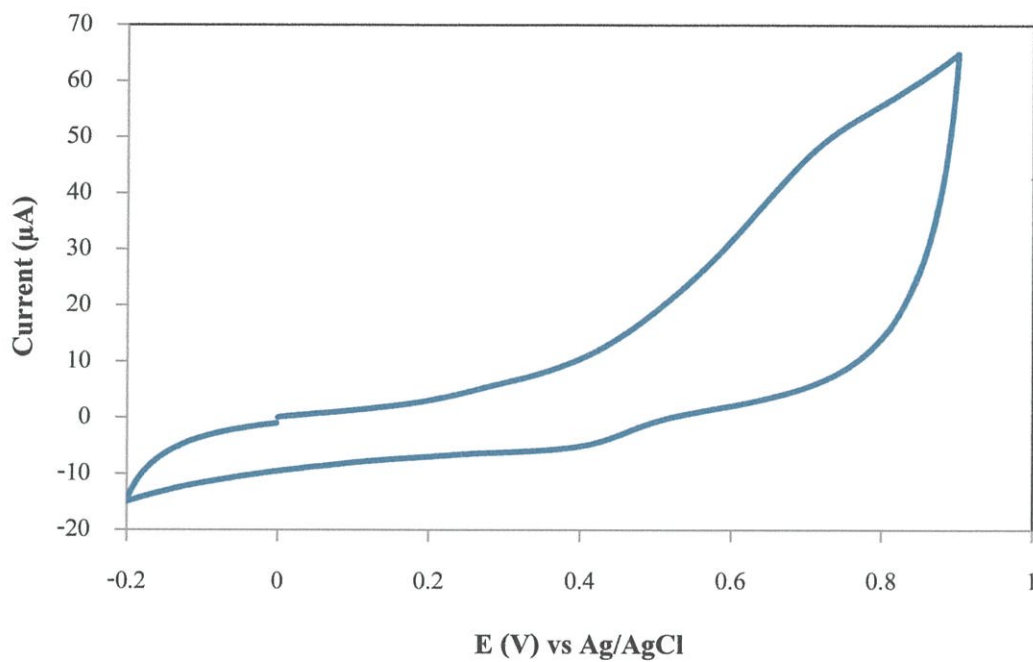
เป็นการสั่นแบบงอ (rocking) ของ $-\text{CH}_2$ ที่เลขคลื่น 3470 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (stretching) ของ H_2O ที่เลขคลื่น 1507 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (bending) ของ H_2O และที่เลขคลื่น 1114 เป็นโมเลกุลของเส้นใยการนำไฟฟ้าของพอลิอะนิลีน [73]

4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีนที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี

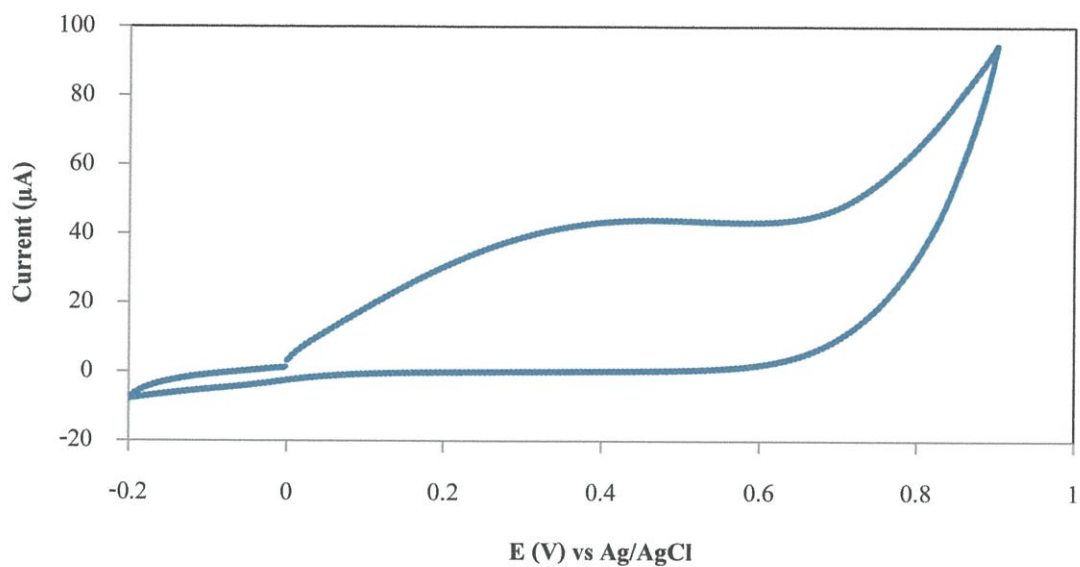
สำหรับการศึกษาความเข้มข้นของอะนิลีนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมฟิล์มบางนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์กับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์โดยใช้อะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ผสมกับกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ความเข้มข้นของอะนิลีนที่เหมาะสมคือ 0.01 โมลาร์ ซึ่งพิกที่ได้จึงมีลักษณะที่สมมาตรกันและเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์พิกที่ได้จึงมีลักษณะเด่นชัดดังแสดงในรูปที่ 4.4



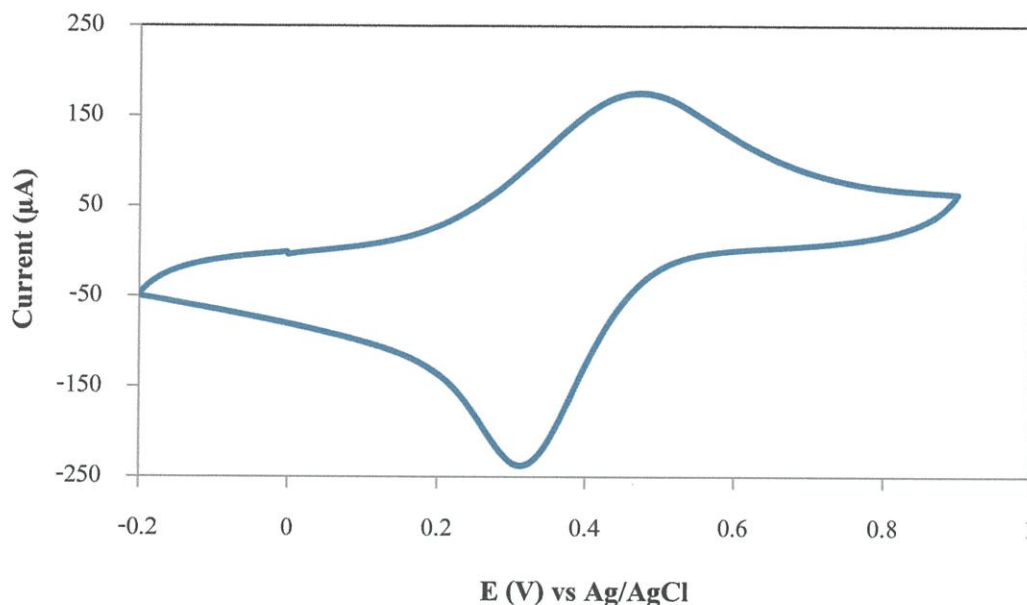
รูปที่ 4.4 ไซคลิก โวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายอะนิลีนที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยความเข้มข้นสารละลายอะนิลีน 0.01 มิลลิโมลาร์, 0.05 มิลลิโมลาร์, 0.1 มิลลิโมลาร์, 0.5 มิลลิโมลาร์ และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ภาพแทรกแสดงไซคลิก โวลแทมโมแกรมที่ความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีน 0.01 โมลาร์



รูปที่ 4.4 (ก) ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์ในสารละลายอะนิตินที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.4 (ข) ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีนในสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

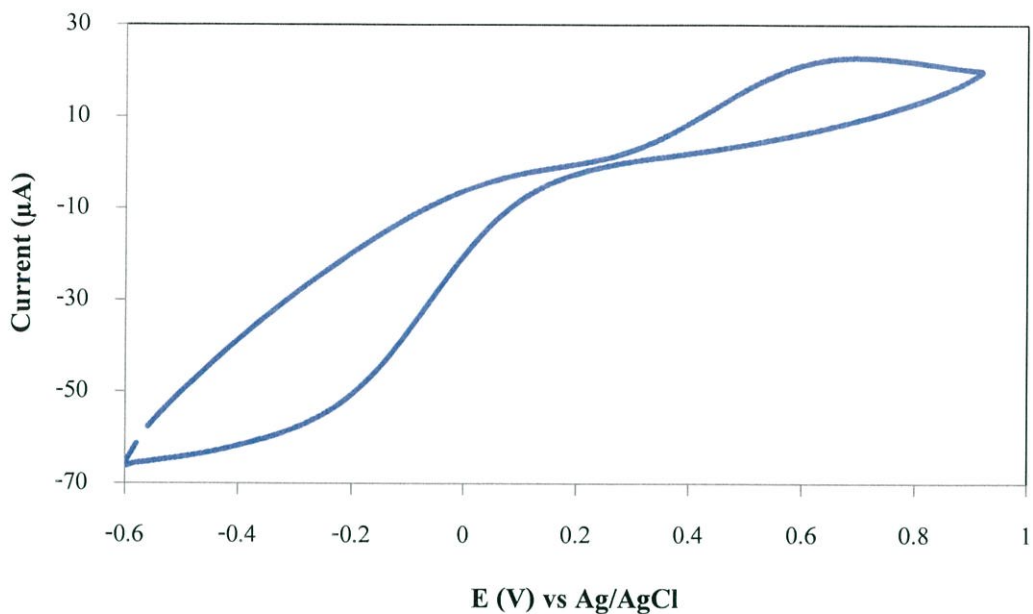


รูปที่ 4.4 (ค) ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนในสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.10 โมลาร์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

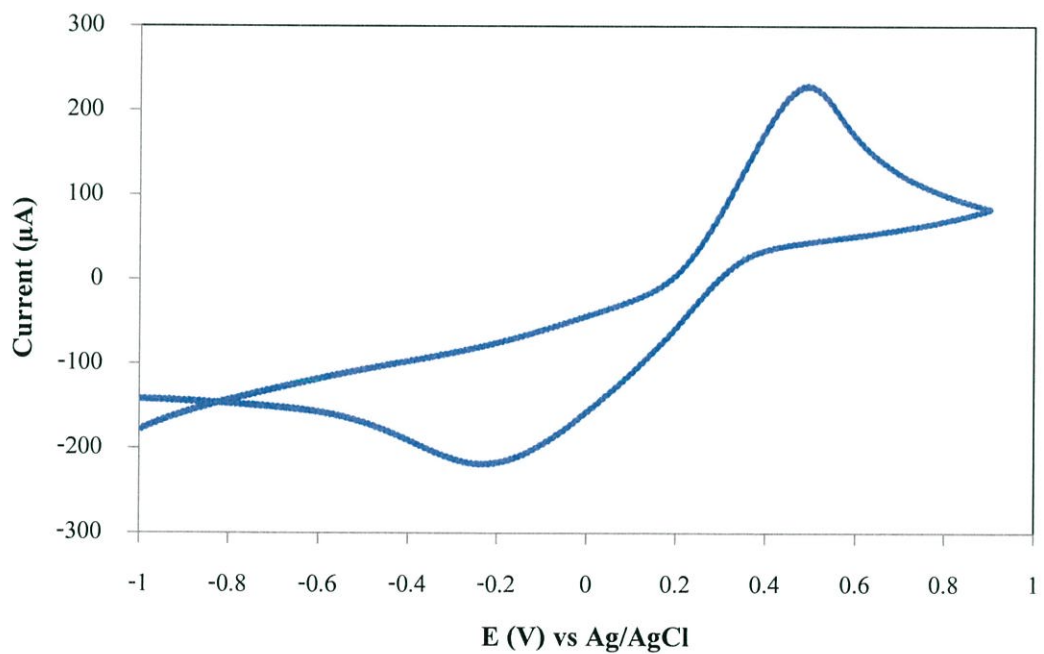
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะนิลีนและกรดซัลฟิวริกที่ได้จากการทดลองครั้งนั้นจึงใช้ความเข้มข้นของอะนิลีนที่ 0.01 โมลาร์ในการเตรียมนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.3 การตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($K_3Fe(CN)_6$) โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยขั้วไฟฟ้าต่างๆ

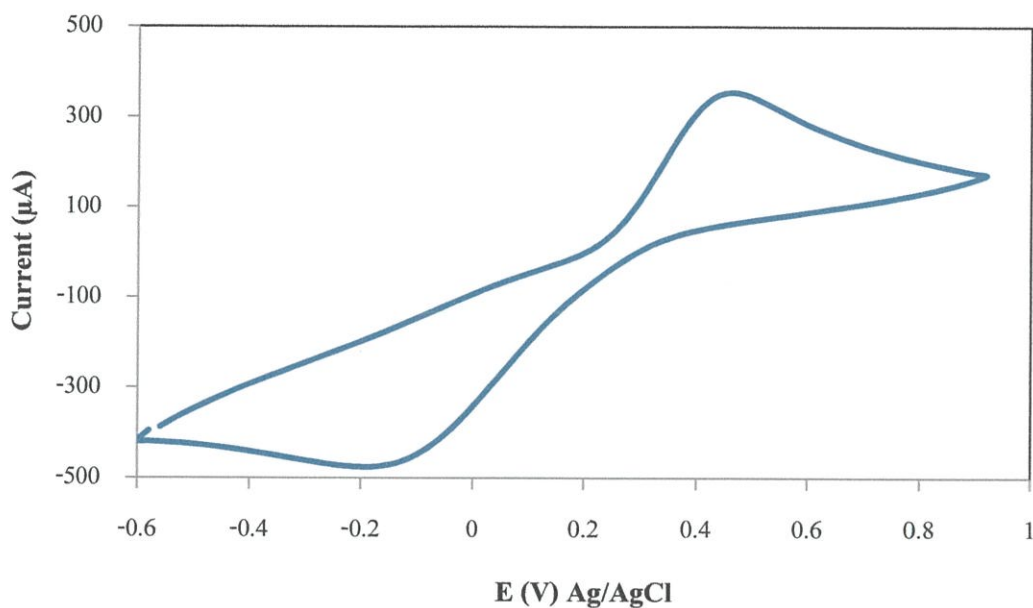
จากการศึกษาขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าเจือซิงค์ไนเตรท ขั้วไฟฟ้าเจือพอลิอะนิลีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนไปตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(III) ที่ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าแสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรม ดังรูปที่ 4.5



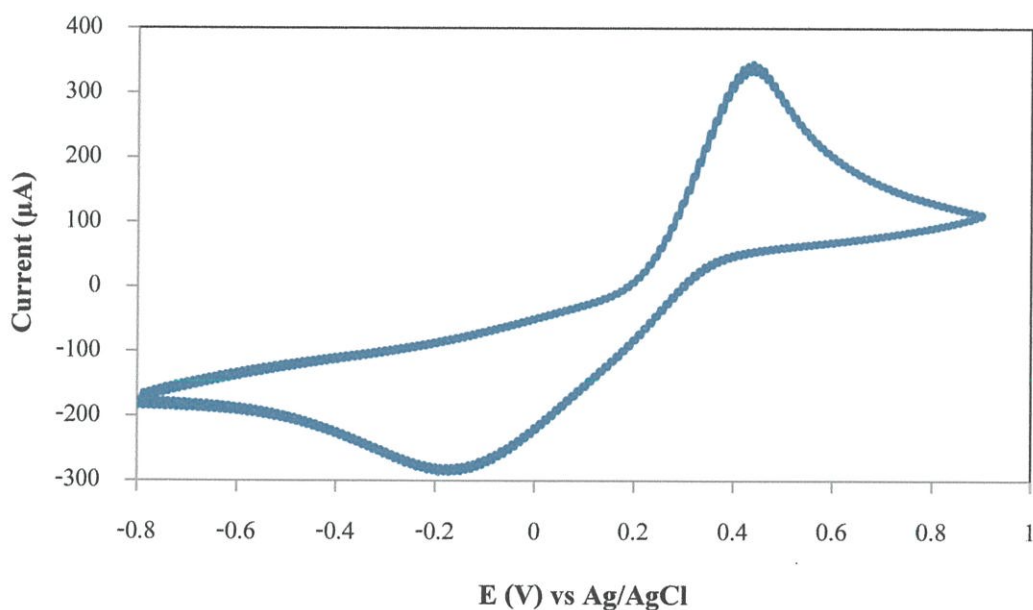
รูปที่ 4.5(ก)แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ 4.5(ข)แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 4.5(ค)แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีน



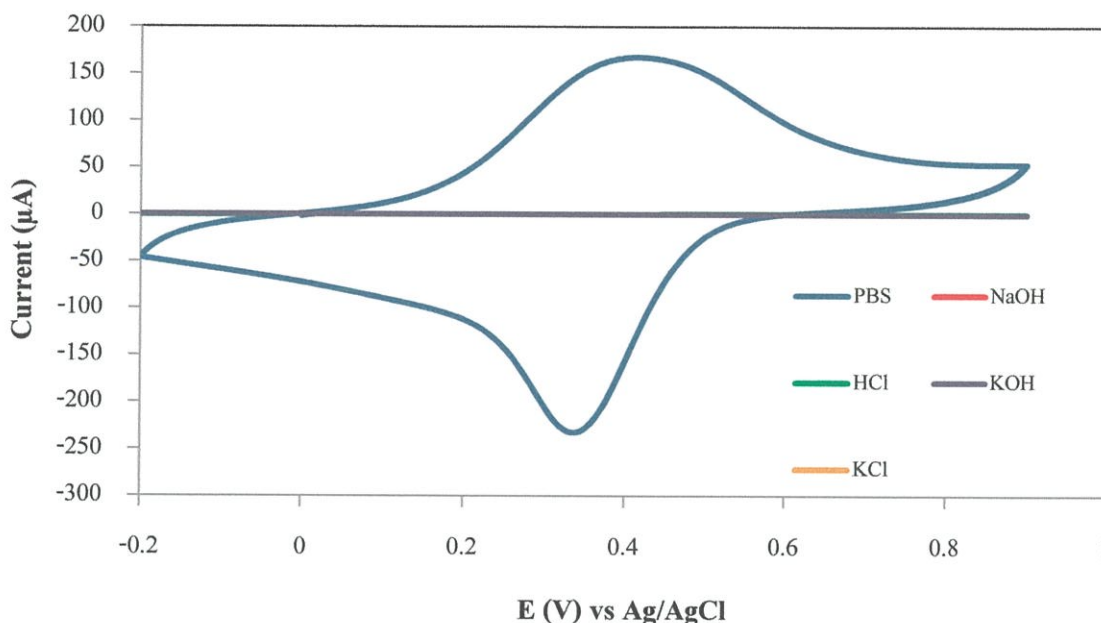
รูปที่ 4.5(ง)แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5(ก) – 4.5 (ง) ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่แอนอดิกได้จากการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ด้วยขั้วไฟฟ้าต่างๆเป็นดังนี้ ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน <ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยซิงค์ออกไซด์>ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเกาะติดด้วยพอลิอะนิลีน<ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเป็นขั้วไฟฟ้าที่ดีที่สุด

4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.4.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ทำไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์, สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ (เทียบกับขั้วอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีจะได้ไชคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงดังรูป 4.6

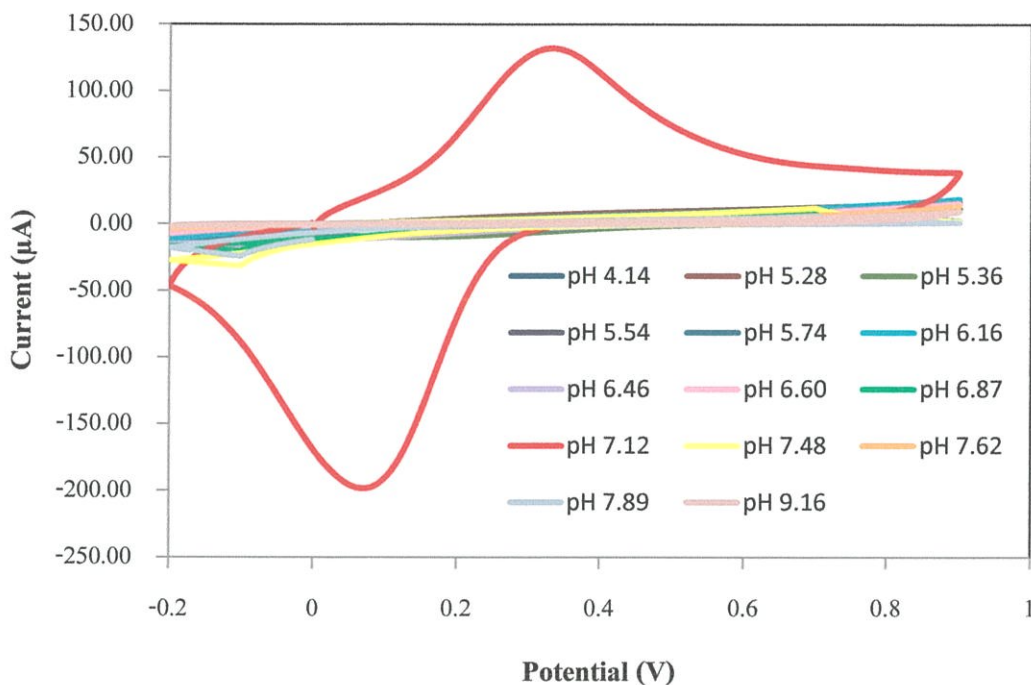


รูปที่ 4.6 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

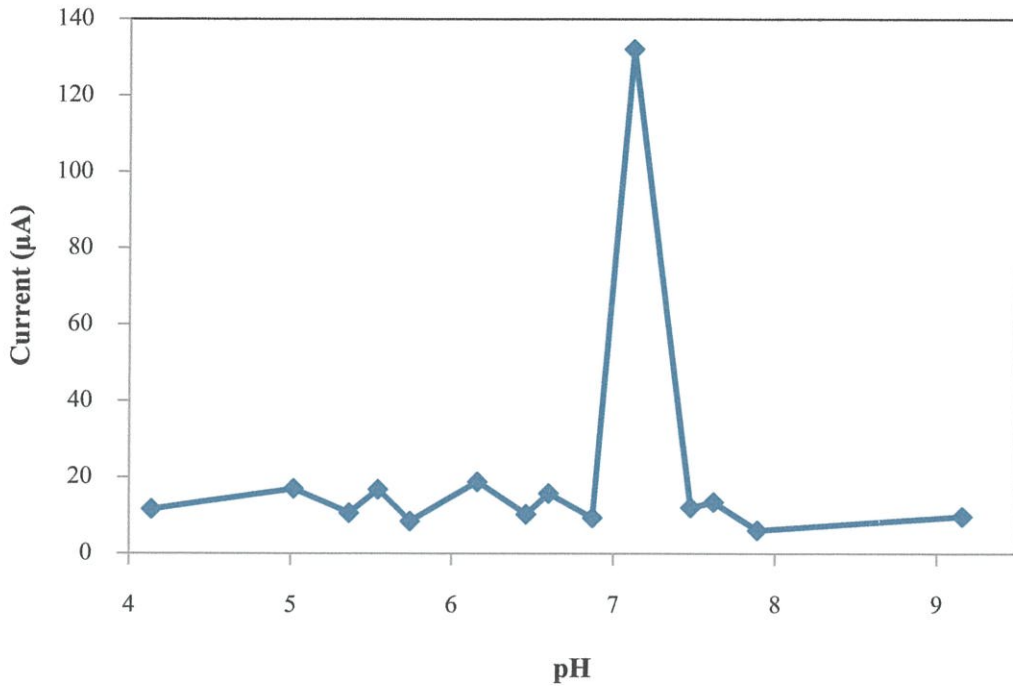
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 พบว่าไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะพบพีคออกซิเดชัน และรีดักชันได้ชัดเจนที่สุด ในการทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.4.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ทำการตรวจวัดด้วยไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่างกัน เข้มข้น 0.1 โมลาร์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ



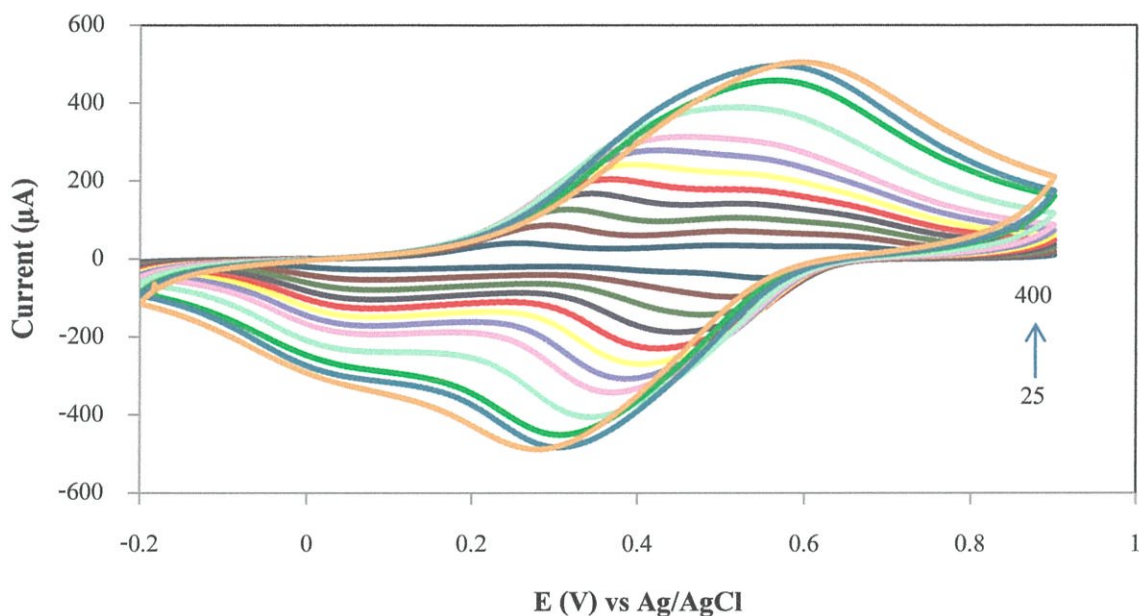
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับค่าพีเอช 4.14, 5.28, 5.36, 5.54, 5.74, 6.16, 6.46, 6.60, 6.87, 7.12, 7.48, 7.62, 7.88 และ 9.16 ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าพีเอช โดยที่พีเอชต่างๆ ค่ากระแสที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้ตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4.14-6.87 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งมีความเป็นกรดอ่อนอยู่แล้วจะแตกตัวให้โปรตอนออกมาหากใช้บัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรดจะทำให้เกิดการต้านของปฏิกิริยาจะเกิดพีคแอโนดิกที่ไม่ชัดเจนแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ และที่พีเอช 7.84-9.16 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีสภาพความเป็นกรดหากบัฟเฟอร์มีความเป็นเบสจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้ตรวจวัดได้ไม่ดี แต่ที่พีเอช 7.12 เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และได้ค่ากระแสที่สูง ดังนั้นสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จะใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.12 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

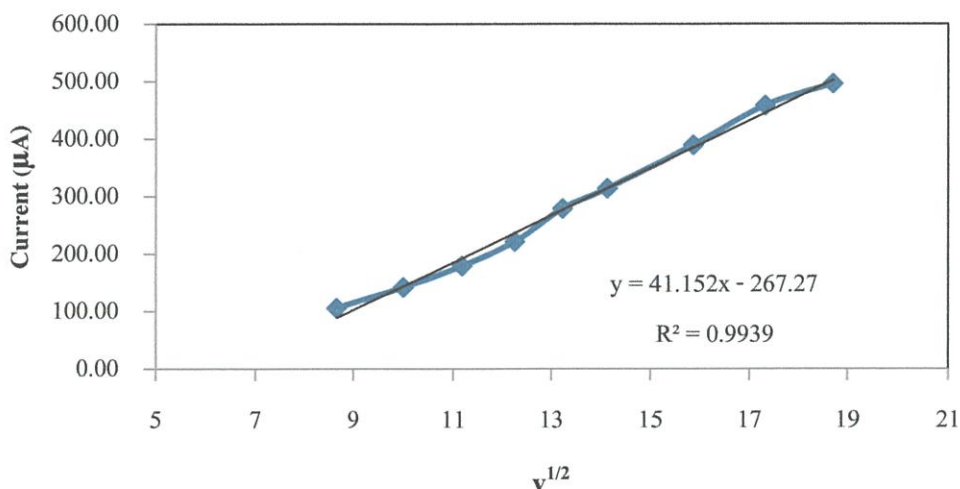


4.4.3 ผลการศึกษาอัตราการสแกน

จากผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้นาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่เตรียมขึ้นเป็นขั้วทำงานขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิงและขั้วแพลตตินัมเป็นขั้วช่วยด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีที่ศักย์ไฟฟ้า -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ด้วยอัตราการสแกน 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยอัตราการสแกนที่เหมาะสมคือ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

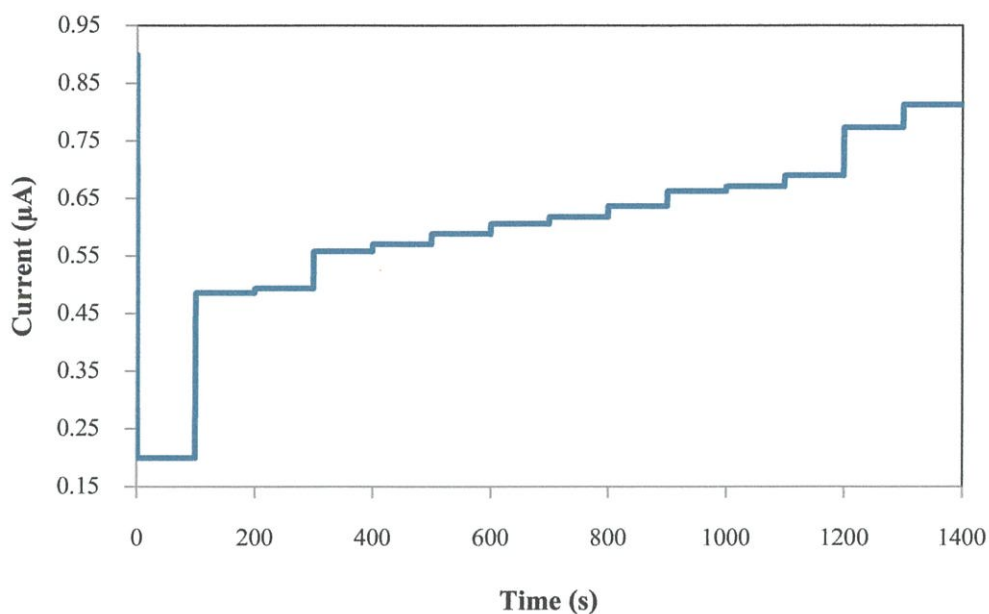


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับรากที่สองของสแกนเรทตั้งแต่ 75-350 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

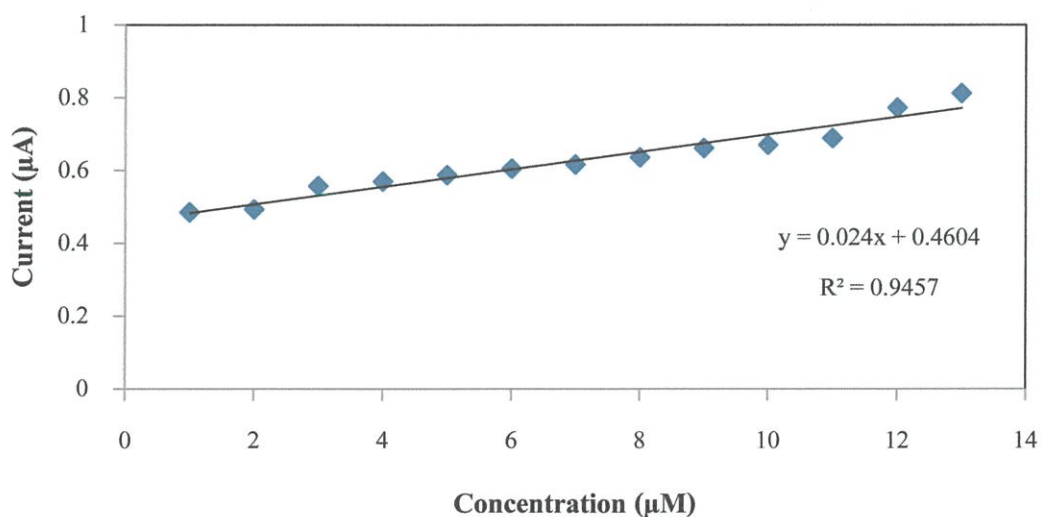
จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับรากที่สองของสแกนเรทตั้งแต่ 75-350 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จากสมการ $i_p = (2.69 \times 10^5) n^{3/2} ACD^{1/2} v^{1/2}$ [74] จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้อัตราเร็วในการสแกนที่สูงขึ้น โดยเมื่อนำค่ากระแสแอมโพลิกมาพลอตกับค่ารากที่สองของสแกนเรทพบว่าได้กราฟที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ($R^2 = 0.9939$) แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบ diffusion control [75]

4.5 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยเทคนิคแอมเพอโรเมทรีด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

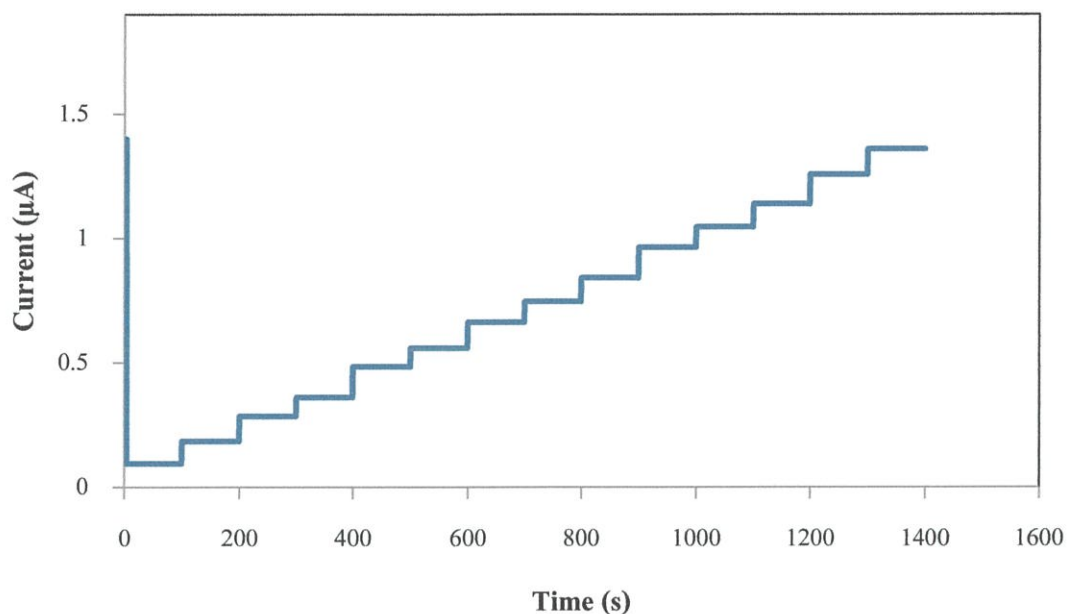
ผลการศึกษาการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 โดยวิธีแอมเพอโรเมทรีที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 0.5 โวลต์ ดังรูปที่ 4.11 - 4.15



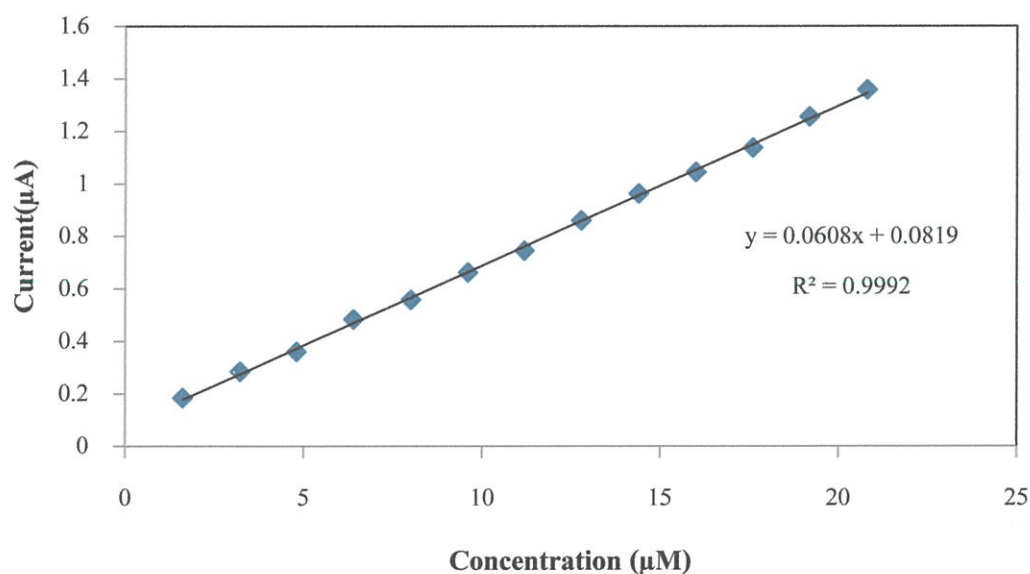
รูปที่ 4.11แอมเพอโรแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วย
ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ ในสารละลายฟอสเฟต
บัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 โดยการเติมสารละลายมาตรฐาน
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร



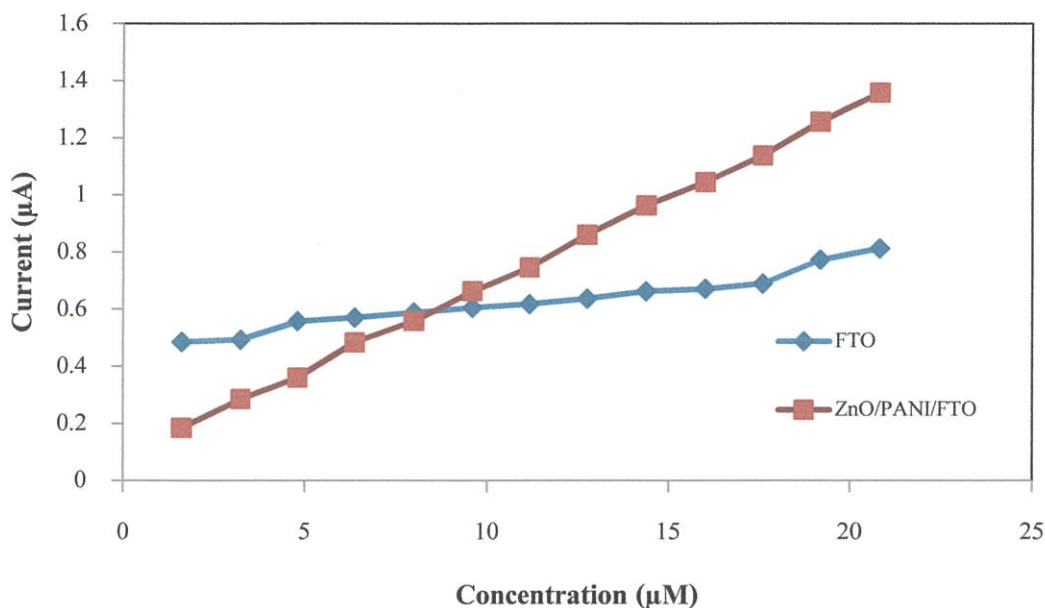
รูปที่ 4.12กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นของการตรวจวัดสารละลาย
มาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ความ
เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ 4.13 แอมเพอโรแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้น ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

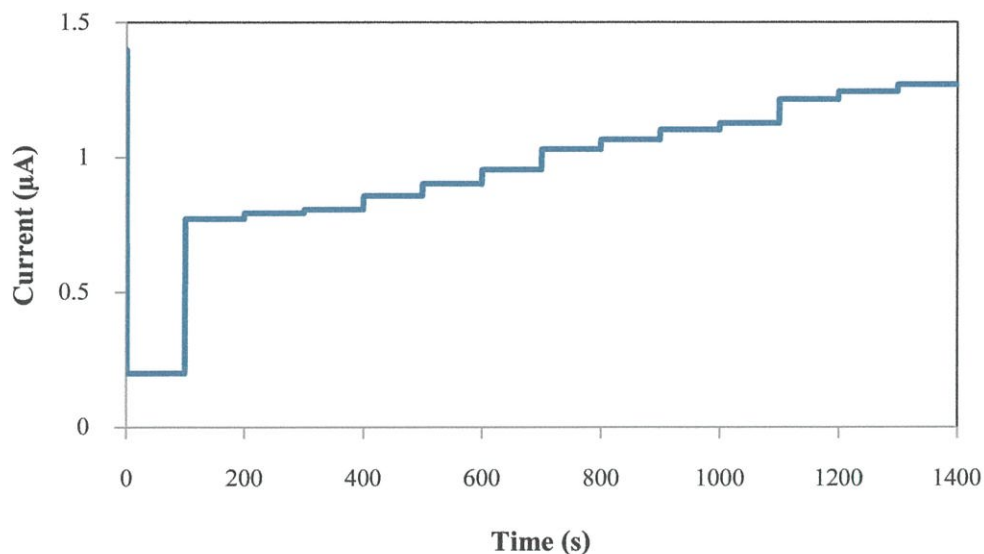


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

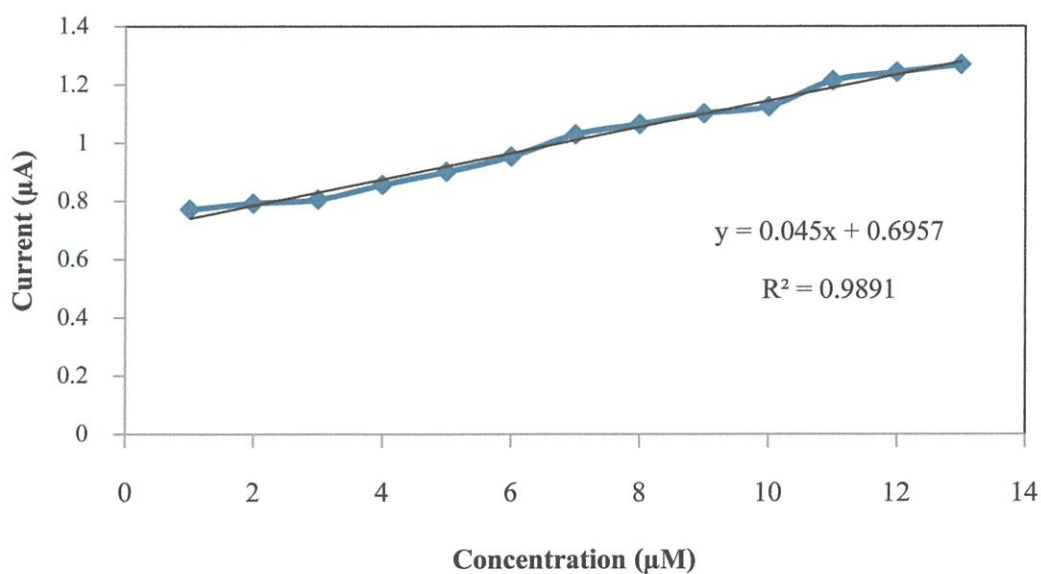
ความเป็นเส้นตรงของขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9992 แสดงดังรูป 4.13 และจากรูปที่ 4.14 เป็นรูปที่แสดงกราฟเปรียบเทียบความเป็นเส้นตรงระหว่างขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีความเป็นเส้นตรงมากกว่าและให้ความชัน (Slope) มากกว่า แสดงให้เห็นว่าขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีความไว (Sensitivity) มากกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน 2.53 เท่า แสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน มีความสามารถในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.6 การประยุกต์ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

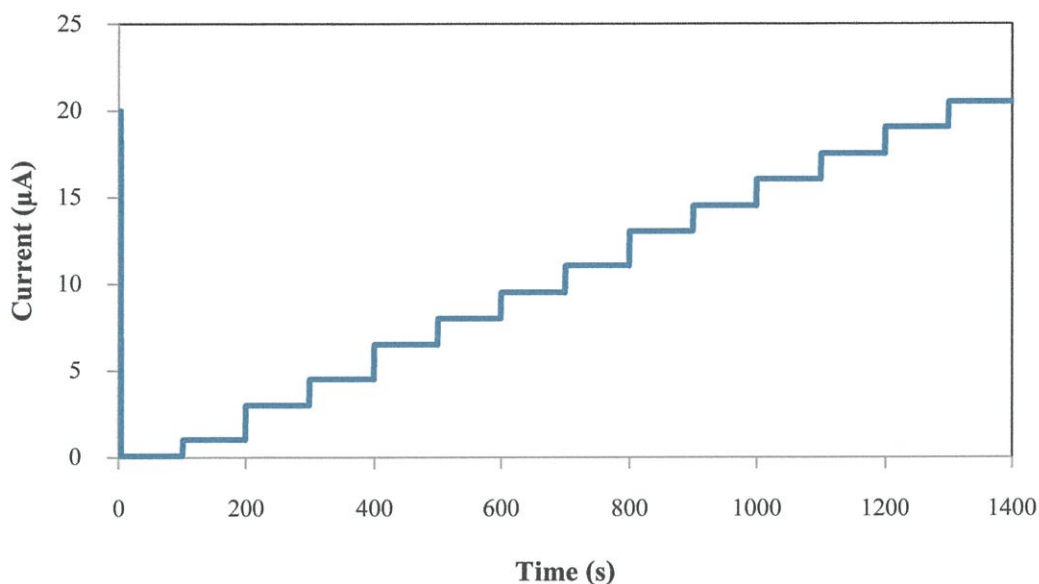
การตรวจวัดปริมาณ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3% w/v น้ำยาล้างแผลตัวอย่างที่ 2 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6% w/v และน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6 % w/v โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 ไมโครโมลาร์ ลงในสารตัวอย่าง (standard addition method) ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 0.5 โวลต์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ด้วยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน แสดงดังรูปที่ 4.16-4.30



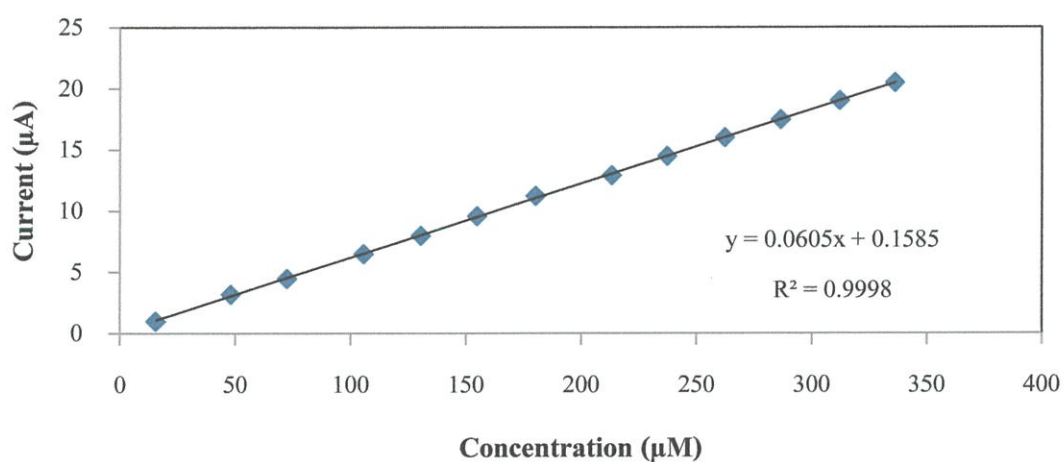
รูปที่ 4.16 แอมเพโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1

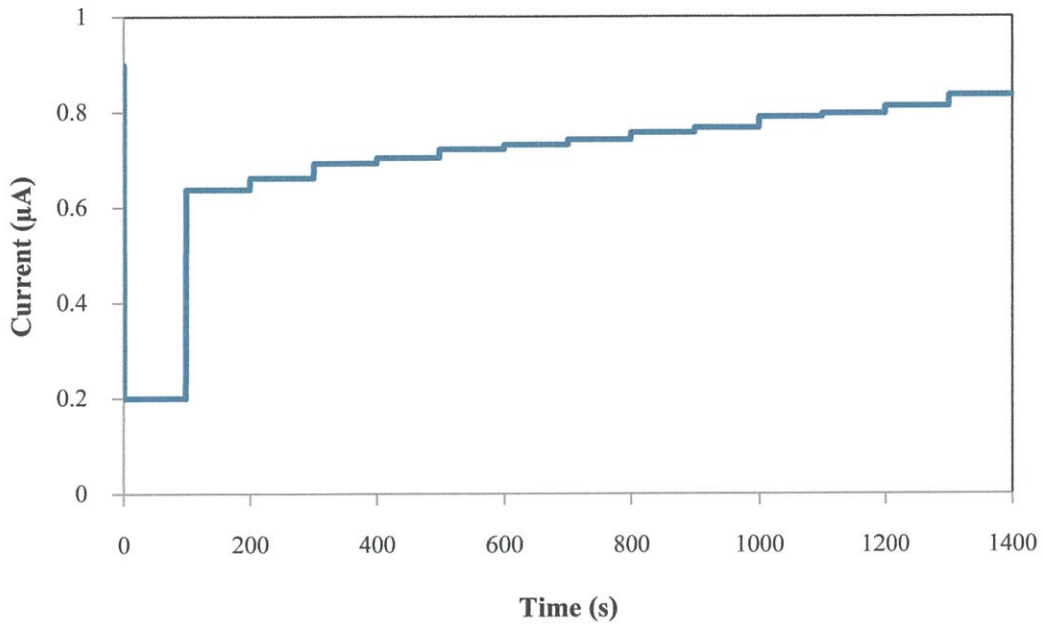


รูปที่ 4.18 แอมเพโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร

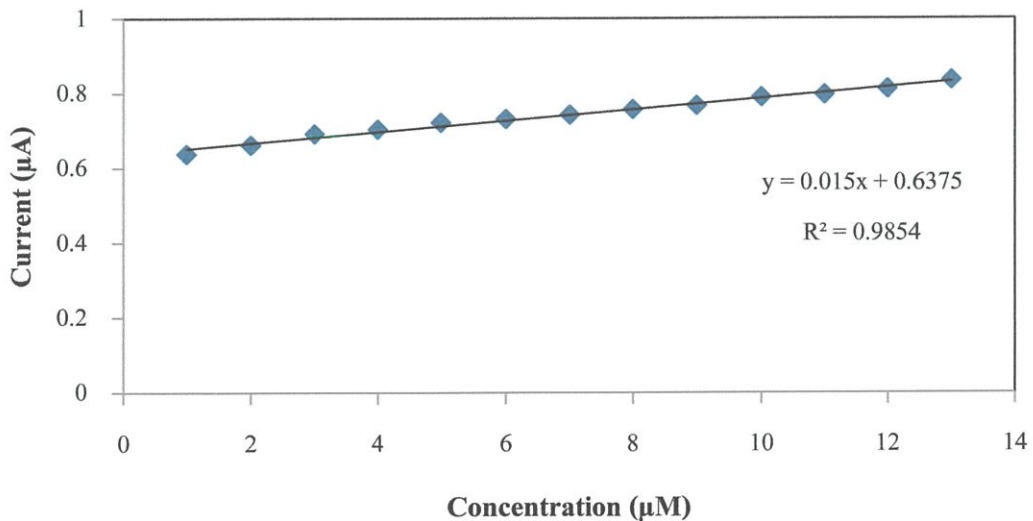


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1

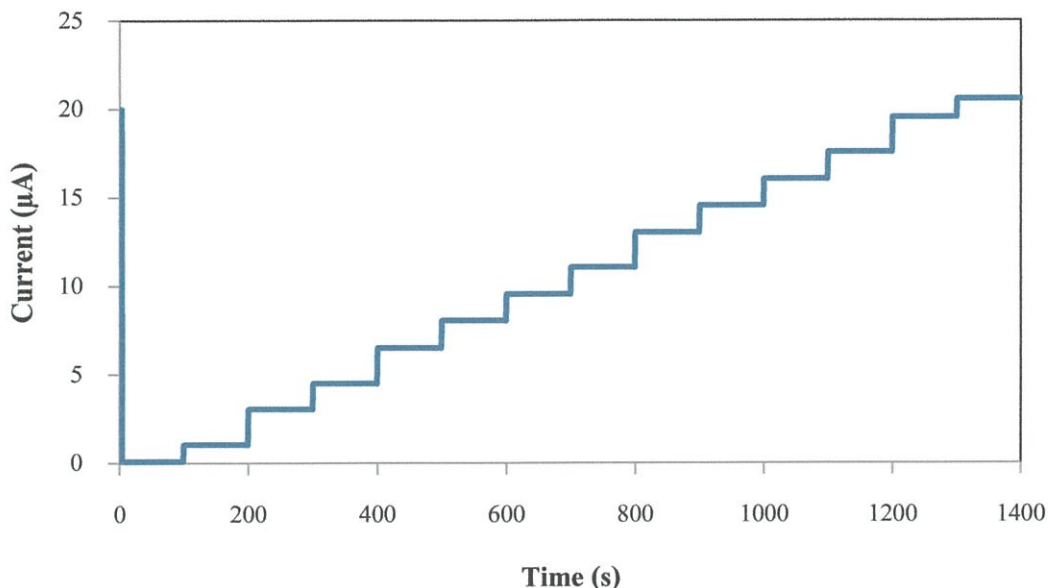
จากรูปที่ 4.19 เป็นรูปแสดงกราฟของวิธีการเติมสารมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอนของน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 พบว่าน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 15.50 ถึง 335.90 ไมโครโมลาร์



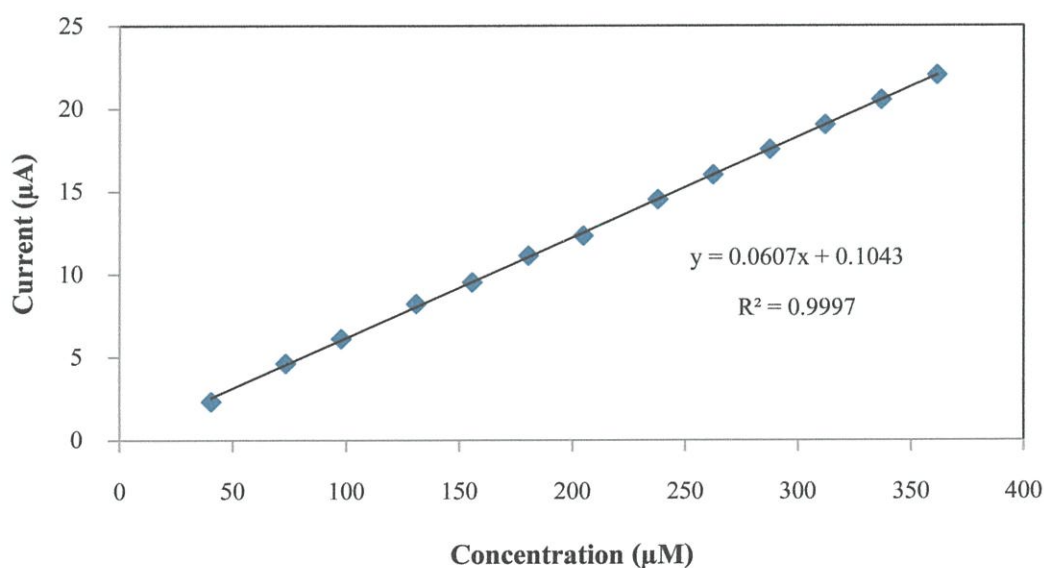
รูปที่ 4.20 แอมเพโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2

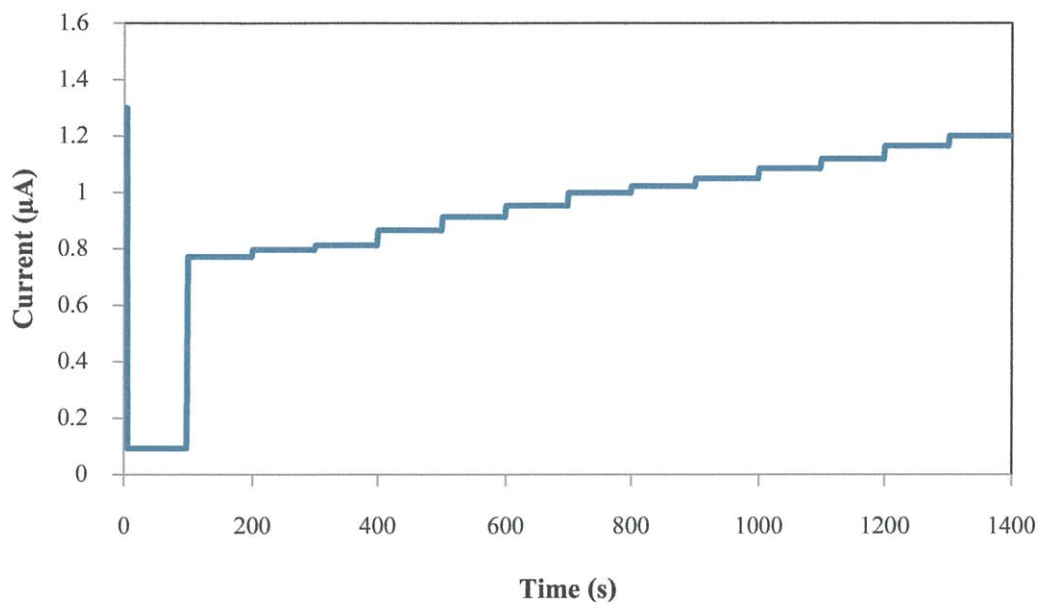


รูปที่ 4.22 แอมเพโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร

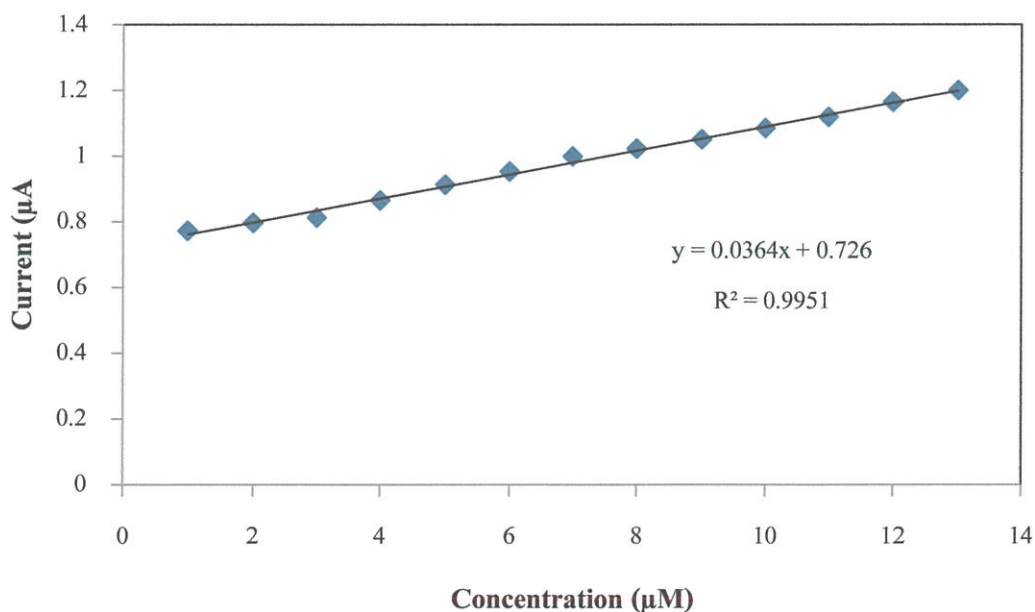


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2

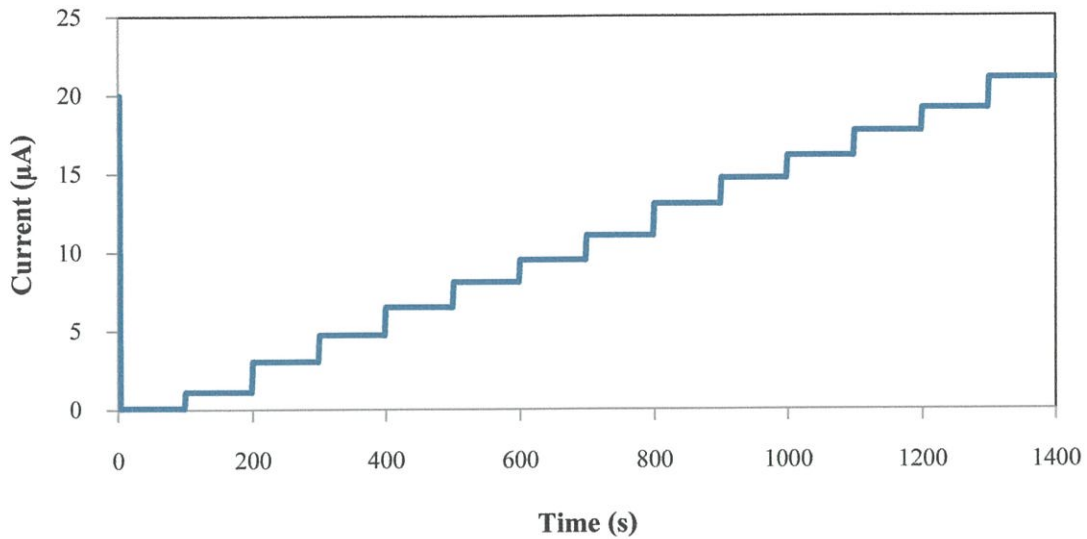
จากรูปที่ 4.23 เป็นรูปแสดงกราฟของวิธีการเติมสารมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอนของน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 พบว่าน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 37.24 ถึง 361.42 ไมโครโมลาร์



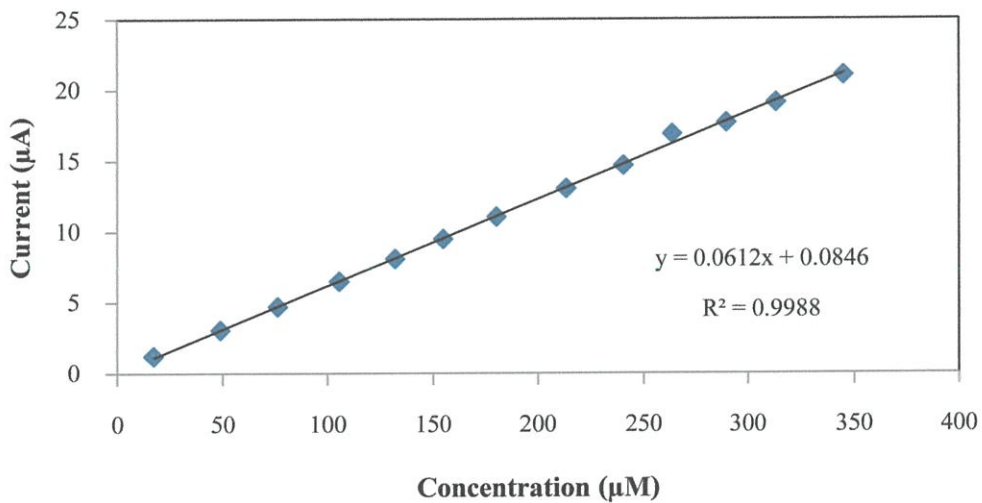
รูปที่ 4.24 แอมเพอโรแกรมของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 โดยเติมสารละลายมาตรฐานไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ครั้งละ 40 ไมโครลิตร



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่างตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3

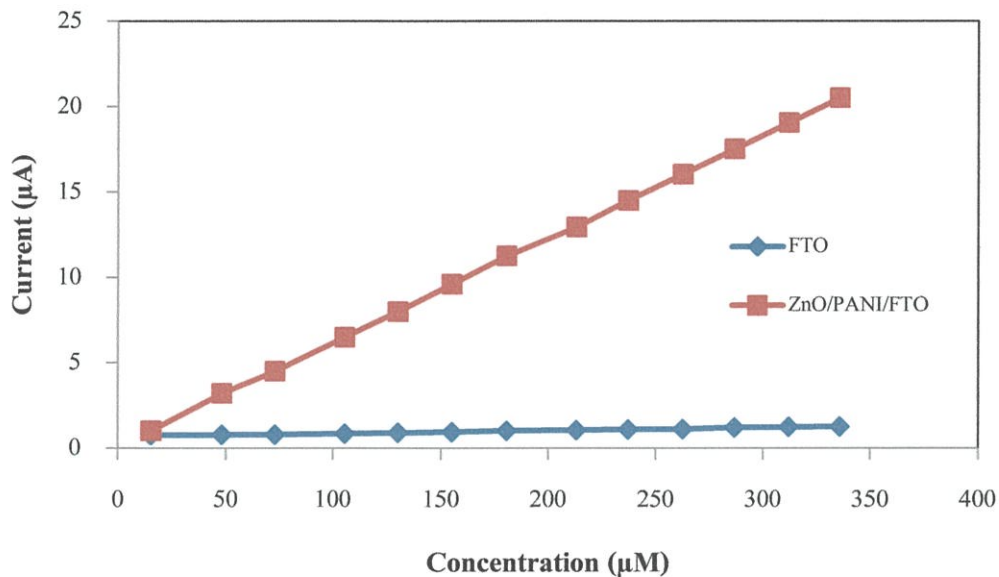


รูปที่ 4.26 แอมเพอโรแกรมของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ พีเอช 7.12 ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 โวลต์ของสารละลายตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 โดยเดิมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ ครั้งละ 40 ไมโครลิตร

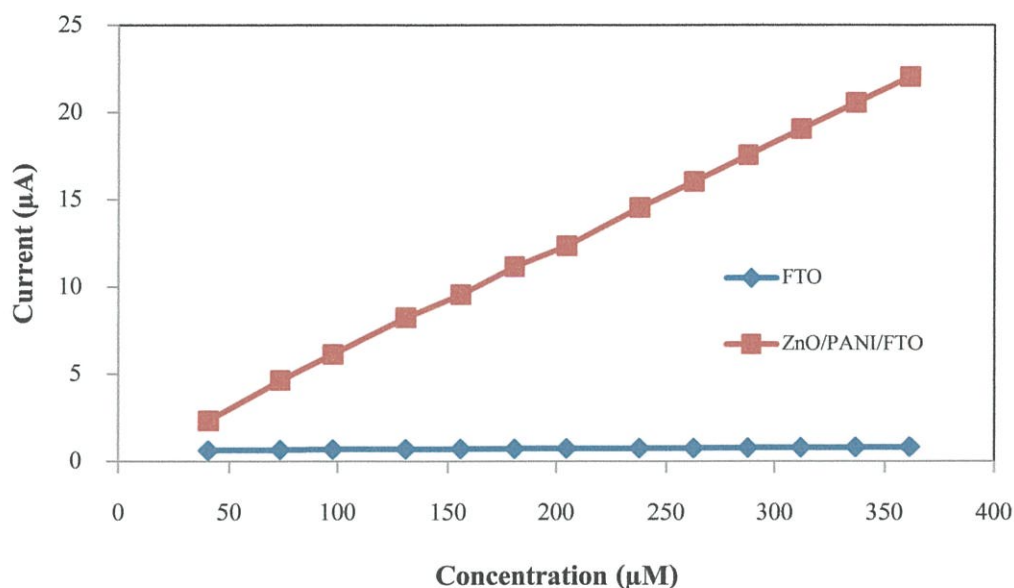


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนในสารละลายตัวอย่าง น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3

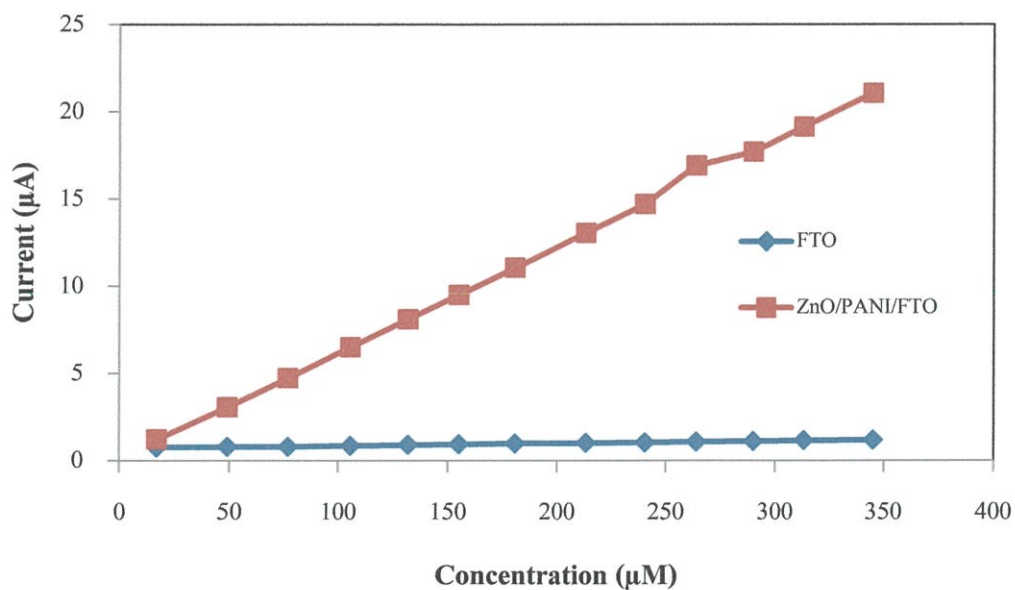
จากรูปที่ 4.27 เป็นรูปแสดงกราฟของวิธีการเติมสารมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอนของน้ำยาล้างแผล ตราเลือดควา พบว่าน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 17.16 ถึง 345.16 ไมโครโมลาร์



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์และขั้วไฟฟ้าซิงค์ออกไซด์/พอลิอะนิลีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยามาเชื้อ ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์และขั้วไฟฟ้าซิงค์ออกไซด์/พอลิอะนิลีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยามาเชื้อ ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์และขั้วนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ของการตรวจวัดตัวอย่างน้ำยามาเชื้อ ตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 4.28 - 4.30 เป็นรูปแสดงกราฟเปรียบเทียบความเป็นเส้นตรงระหว่างขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ และนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีความเป็นเส้นตรงมากกว่าขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ แสดงให้เห็นนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีความสามารถในการตรวจวัดสารตัวอย่างน้ำยามาเชื้อตัวอย่างที่ 1, ตัวอย่างที่ 2 และตัวอย่างที่ 3 มากกว่าขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์

จากการทดลองเมื่อนำขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ไปตรวจวัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำยาล้างแผลทั้ง 3 ชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีปริมาณ 60 มิลลิลิตร พบว่าตัวอย่างน้ำยาล้างแผลมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังตารางที่ 4.1[ภาคผนวก จ]

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตรวจวัดได้

ตัวอย่างน้ำยาล้างแผล	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากผลาก (มิลลิกรัม)	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)	ค่าร้อยละของการคืนกลับ
ตัวอย่างที่ 1	0.18	0.0247	99.38 – 99.95
ตัวอย่างที่ 2	0.36	0.04936	99.86 – 99.90
ตัวอย่างที่ 3	0.18	0.0247	99.75 – 99.90

จากตารางแสดงการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง พบว่าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ผลากมีปริมาณมากกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตรวจพบด้วยขั้วไฟฟ้า ZnO/PANI/FTO เนื่องมาจากปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระงูในตัวอย่างอาจไม่ใช่ปริมาณที่แท้จริงที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เพราะอาจมีความผิดพลาดจากการเจือจางสารละลายตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและการเติมตัวอย่างในขั้นตอนการตรวจวัดรวมถึงการผิดพลาดของเครื่องการบวกรวมของสัญญาณและความผิดพลาดของผู้ทำการทดลอง ในการเตรียมตัวอย่างหรือวัดตัวอย่าง ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตรวจพบมีปริมาณน้อยกว่าที่ระบุ ส่วนปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้า FTO มีความผิดพลาดอย่างมากเนื่องจากประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าร่วมกับความผิดพลาดของการทดลอง

4.7 ผลการศึกษาการทวนสอบวิธี

4.7.1 ขีดจำกัดการตรวจวัด

ผลจากการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5.00 ไมโครโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ของนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จะสามารถหาขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) ได้จากการคำนวณสมการเส้นตรง จะพบว่านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีขีดจำกัดการตรวจวัด เท่ากับ 0.15 ไมโครโมลาร์ และสามารถหาขีดจำกัดค่าสูงสุดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) ได้เท่ากับ 0.79 ไมโครโมลาร์

ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สามารถตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.60 ถึง 20.80 ไมโครโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.12 ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ดังนั้นนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสูง [ภาคผนวก ข]

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าขีดจำกัดการตรวจวัด, ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของสารละลายมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด

ขั้วไฟฟ้า	ขีดจำกัดการตรวจวัด (μM)	ขีดจำกัดการวิเคราะห์ (μM)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RSD)
ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	0.23	0.64	1.98
ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์และพอลิอะนิลีน	0.15	0.79	0.42

4.7.2 ผลการศึกษาความเที่ยงของวิธี

การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับจะพิจารณาจากช่วงการเติมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 ถึง 1000.00 ไมโครโมลาร์ ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ +0.5 โวลต์ ค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทิน

ออกไซด์เจือฟลูออรีน พบว่าค่าร้อยละของการคืนกลับของการตรวจวัดน้ำตาลข้างแผล ตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 99.38 ถึง 99.95 น้ำตาลข้างแผล ตัวอย่างที่ 2 มีค่าเท่ากับ 98.86 ถึง 99.90 และน้ำตาลข้างแผล ตัวอย่างที่ 3 มีค่าเท่ากับ 98.75 ถึง 99.90 แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์หาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรีโดยใช้นาโนคอมโพสิตชนิดเชิงซ้อนออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีความสามารถในการวิเคราะห์ที่ดีและมีความถูกต้องสูง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ต่างๆ ด้วยค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ และค่าความแม่นยำของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Statistic	Linearity (μM)	LOD (μM)	LOQ (μM)	%RSD	Ref.
Urchin-like Ag Nanowires	50 μM – 10.35mM	10	-	-	[67]
TiO ₂ nanotube	4 - 64	4.637	-	-	[68]
Screen-printed electrodes	300	220	-	-	[69]
Pentacyanoferrate-bound polymer for creatinine	1200 - 5000	12	-	-	[70]
Hybrid film of carbon nanotube/iron oxide nanocrystals	99 - 654	53.6	-	-	[71]
Nickel hydroxide modified silicon nanowires electrode	-	3.2	-	-	[72]
FTO	1.60 – 20.8	0.2327	0.6469	0.2963	This work
Nanocomposite ZnO/PANI/FTO	1.60 – 20.8	0.1459	0.7921	0.4165	This work

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (FTO) ที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดพอลิอะนิลีน (Polyaniline) โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltametry) พบว่าความเข้มข้นของอะนิลีน (Aniline) ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นขั้วคือ 0.01 โมลาร์ และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (Sulfuric: H_2SO_4) ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวกระตุ้น คือ 0.1 โมลาร์ น้ำหนักซิงค์ออกไซด์สำหรับการเกาะติดทางไฟฟ้าคือ 50 มิลลิกรัม สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.2 ถึง +0.9 โวลต์ มีอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) ทำการขึ้นขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีซึ่งนำขั้วไฟฟ้าที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากนั้นใช้วิธีทางแอมเพอโรเมทรี (Amperometric) ซึ่งเป็นเทคนิคในการวัดความเข้มข้นของไอออนที่สัมพันธ์กับปริมาณสารที่ต้องการ จากนั้นนำนาโนคอมโพสิตชนิดซิงค์ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3%w/v น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6%w/v และน้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 ที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6 % w/v ได้อย่างถูกต้อง โดยพบว่ามีค่าร้อยละของการคืนกลับ เท่ากับ 99.38 - 99.95, 98.86 - 99.90 และ 98.75 - 99.90 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขณะตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี จะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ ทำให้กราฟที่ออกมาไม่มีความสมบูรณ์ จึงควรตัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ฟาราเดย์คัพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขณะทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Somasundrun, K. Kirtikara, M. Tanticharoen. Amperometric determination of hydrogen peroxide by direct and catalytic reduction at a copper electrode. *Anal.Chim. Acta*, 319 (1996), 59-70.
- [2] [Online].Available : www.ascannotdo.wordpress.com.
- [3] [Online].Available : www.th.swewe.com/word_show.htm.
- [4] [Online].Available : www.oldweb.pharm.su.ac.th/chemistry-in-life/d036.html.
- [5] [Online].Available : www.202.143.148.102/VJ/web/index_hm_files/chem-1.doc.
- [6] [Online].Available : www.adityabirla.com/thai/Businesses/profile/thai_peroxide_thai.
- [7] [Online].Available : www.msds.pcd.go.th/index.asp.
- [8] [Online].Available : www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/addict/precursorHydrogen%20peroxide.html.
- [9] [Online].Available : www.chemtrack.org/Chem-Result.asp.
- [10] [Online]. Available : biomed.eng.cmu.ac.th/?researchdetail.php&id=23.
- [11] Toshimasa Toyo'oka, Tomoaki Kashiwazaki, Masaru Kato. On-line screening methods for antioxidants scavenging superoxide anion radical and hydrogen peroxide by liquid chromatography with indirect chemiluminescence detection. *Talanta* 60 (2003), 467-475.
- [12] Chia-Yu Lin, Yi-Hsuan Lai, A. Balamurugan, R. Vittal. Electrode modified with a composite film of ZnO nanorods and Ag nanoparticles as a sensor for hydrogen peroxide. *Talanta* 82 (2010), 340-347.
- [13] G. Jönsson , L. Gorton. An electrochemical sensor for hydrogen peroxide based on peroxidase adsorbed on a spectrographic graphite electrode. *Electroanalysis* 1 (1989), 465-468.
- [14] A. RamanaviCius, A. RamanaviCiene, A. Malinauskas. Electrochemical sensors based on conducting polymer-polypyrrole. *Electrochimica Acta* 51 (2006), 6025-6037.
- [15] S Etemad, and A J Heeger . Polyacetylene, (CH)_x : the prototype conducting polymer. *Annual review of physical chemistry* 33 (1982), 443-469.
- [16] Hsing Lin Wang , Levent Toppare , Jack E. Fernandez. Conducting polymer blends: polythiophene and polypyrrole blends with polystyrene and poly(bisphenol A carbonate). *Macromolecules* 23 (1990), 1053-1059.

- [17] Wu-Song Huang, Brian D. Humphrey, Alan G. MacDiarmid. Polyaniline, a novel conducting polymer. Morphology and chemistry of its oxidation and reduction in aqueous electrolytes. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* 82 (1986), 2385-2400.
- [18] Milan Paunovic, Mordechai Schlesinger. *Fundamentals of electrochemical deposition.* (2006).
- [19] [Online]. Available : www.snw.ac.th/media/21/web/Enal/anal_intro.htm; Search: Nov,5 2011.
- [20] M.Suárez Barrios, L.V.Flores González, M.A.Vicente Rodríguez, J.M.Martin Pozas. Acid activation of a palygorskite with HCl: Development of physico-chemical, textural and surface properties. *Applied Clay Science* 10 (1995), 247-258.
- [21] Haisong Qi, Jie Cai, Lina Zhang, Yoshiharu Nishiyama, Aurélie Rattaz. Influence of finishing oil on structure and properties of multi-filament fibers from cellulose dope in NaOH/urea aqueous solution. *Cellulose* 15 (2008), 81-89.
- [22] Sung B. Lee, Davorin Babí. Observation and characterization of Aluminum passivation in Silicon-doped KOH solutions. *J. Electrochem. Soc.* 147 (2000), 4512-4518.
- [23] Prasit Pattananuwat, Duangdao Aht-Ong. Electrochemical synthesis of sensitive layer of polyaniline: Effects of acid doping on ethylene gas sensing. *Materials Science Forum* 654 (2010), 2285-2288.
- [24] Peng Wang, Shengqi Li, Jinqing Kan. A hydrogen peroxide biosensor based on polyaniline/FTO. *Sensors and Actuators B* 137 (2009), 662-668.
- [25] [Online]. Available : www.scripts.iucr.org/cgi-bin/paper?S0108768187010279.
- [26] [Online]. Available : www.journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.38.11322.
- [27] Feng Gu, Shu Fen Wang, Chun Feng Song, Meng Kai Lü, Yong Xin Qi, Guang Jun Zhou, Dong Xu, Duo Rong Yuan. Synthesis and luminescence properties of SnO₂ nanoparticles. *Chemical Physics Letters* 372(2003): 451-454.
- [28] [Online]. Available : www.journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.48.14818.
- [29] [Online]. Available : www.iopscience.iop.org/0957-4484/18/50/505706.
- [30] [Online]. Available : www.mail.chiangmai.ac.th/~scijjkmn/principle_of_polarography.htm.
- [31] [Online]. Available : www.th.wikipedia.org/wiki/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์#cite_note-1;
- [32] [Online]. Available : www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1924/hydrogen_peroxid.
- [33] [Online]. Available : www.ryt9.com/s/prg/1287442.
- [34] [Online]. Available : www.203.157.19.14/iprg/include/admin_hotnew.

- [35] [Online]. Available : www.dailynews.co.th/Content/Article/41860/index.html.
- [36] [Online]. Available : www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=6.
- [37] [Online]. Available : www.kmutt.ac.th/jif/public_html.
- [38] [Online]. Available : www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/.
- [39] [Online]. Available : www.en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_voltammetry.
- [40] [Online]. Available : www.repository.rmutt.ac.th/bitstream/.
- [41] Yinyin Wei, Ying Li, Xiaoqian Liu, Yuezhong Xian, Guoyue Shi, Litong Jin . ZnO nanorods/Au hybrid nanocomposites for glucose biosensor. *Biosensors and Bioelectronics* 26 (2010), 275–278.
- [42] Feng Wang, Rui Han, Guiting Liu, Huifen Chen, Tianrui Ren, Haifeng Yang, and Ying Wen. Construction of polydopamine/silver nanoparticles multilayer film for hydrogen peroxide detection. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 706 (2013), 102-107.
- [43] Kuei-Sheng Tseng, Lin-Chi Chena, Kuo-Chuan Hoa. Amperometric detection of hydrogen peroxide at a Prussian Blue-modified FTO electrode. *Sensors and Actuators B* 108 (2005), 738–745.
- [44] Chia-Yu Lin, Yi-Hsuan Lai, A. Balamurugana, R. Vittal , Chii-Wann Lin, Kuo-Chuan Ho. Electrode modified with a composite film of ZnO nanorods and Ag nanoparticles as a sensor for hydrogen peroxide. *Talanta* 82 (2010), 340–347.
- [45] Gendi Jin, Shi Du and Xiaoya Hu. The potentiometric determination of peroxide hydrogen and glucose on the glassy electrode modified by the calix[4]arene. *Talanta* 80 (2009), 858-863.
- [46] M.R. Guascito, E. Filippo, C. Malitesta, D. Manno, A. Serra and A. Turco. A new amperometric nanostructured sensor for the analytical determination of hydrogen peroxide. *Biosensors and Bioelectronics* 24 (2008), 1057-1063.
- [47] Yang Han, Jianbin Zheng, Sheying Dong . A novel nonenzymatic hydrogen peroxide sensor based on Ag–MnO₂–MWCNTs Nanocomposites .*Electrochimica Acta* 90 (2013), 35– 43.
- [48] Zhe Yang, Weng Weei Tjiu , Wei Fan, Tianxi Liu, . Electrodepositing Ag nanodendrites on layered double hydroxides modified glassy carbon electrode : Novel hierarchical structure for hydrogen peroxide detection . *Electrochimica Acta* 90 (2013), 400– 407.
- [49] Hui Ping Bai, Xu Xiao Lu, Guang Ming Yang, Yun Hui Yang. Hydrogen peroxide biosensor based on electrodeposition of zinc oxide nanoflowers on to carbon nanotubes film electrode. *Chinese Chemical Letters* 19 (2008), 314–318.

- [50] Li Wang, Haozhi Zhu, Yonghai Song, Li Liu, Zhifang He, Lingli Wan, Shouhui Chen, Ying Xiang, Shusheng Chen, Jie Chen. Architecture of poly (o-phenylenediamine)-Ag nanoparticle composites for a hydrogen peroxide sensor. *Electrochimica Acta* 60 (2012), 314– 320.
- [51] Xiaoyun Qin, Yonglan Luo, Wenbo Luo, Guohui Chang, Abdullah M. Asiri Abdulrahman Xuping Sun. One-step synthesis of Ag nanoparticles-decorated reduced graphene oxide and their application for H₂O₂ detection. *Electrochimica Acta* 79 (2012), 46– 51.
- [52] Shanmugasundaram Komathi, Anantha Iyengar Gopalana, Soo-Kyung Kima, Gopalan Sai Anandb, Kwang-Pill Leea. Fabrication of horseradish peroxidase immobilized poly(N-[3(trimethoxysilyl) propyl] aniline) gold nanorods film modified electrode and electrochemical hydrogen peroxide sensing. *Electrochimica Acta* 92 (2013), 71– 78.
- [53] Yanshu Jiang, Baozhan Zheng, Juan Du, Guangyue Liu, Yong Guo and Dan Xiao. Electrophoresis deposition of Ag nanoparticles on TiO₂ nanotube arrays electrode for hydrogen peroxide sensing. *Talanta* 112(2013), 129–135.
- [54] Wenbo Lu, Yonglan Luo, Guohui Chang, Fang Liao and Xuping Sun. Layer-by-layer self-assembly of multilayer films of polyelectrolyte/Ag nanoparticles for enzymeless hydrogen peroxide detection. *Thin Solid Films* 520 (2011), 554–557.
- [55] Zhiping Wu, Siwei Yang, Zhi Chenb, Tingting Zhang, Tingting Guo, Zhoufeng Wang and Fang Liao. Synthesis of Ag nanoparticles-decorated poly(m-phenylenediamine) hollow spheres and the application for hydrogen peroxide detection. *Electrochimica Acta* 98 (2013), 104– 108.
- [56] Yan Huang, Sam Fong and Yau Li. Electrocatalytic performance of silica nanoparticles on graphene oxide sheets for hydrogen peroxide sensing. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 690 (2013), 8–12.
- [57] Jisheng Zhou, Lulu Ma, Huaihe Song, Bin Wu and Xiaohong Chen. Durable high-rate performance of CuO hollow nanoparticles / graphene-nanosheet composite anode material for lithium-ion batteries. *Electrochemistry Communications* 13 (2011), 1357-1360.
- [58] Junwu Zhu, Guiyu Zeng, Fude Nie, Xiaoming Xu, Sheng Chen, Qiaofeng Hana and Xing Wang. Decorating graphen oxide with CuO nanoparticles in a water-isopropanol System. *Nanoscale* 2 (2010), 988-994.
- [59] Shihong Chen, Ruo Yuan, Yaqin Chai, Bin Yin, Wenjun Li and Ligen Min. Amperometric hydrogen peroxide biosensor based on the immobilization of horseradish peroxidase on core-

- shell organosilica@chitosan nanospheres and multiwall carbon nanotubes composite. *Electrochimica Acta* 54 (2009), 3039-3046.
- [60] Junwei Di, Chunping Shen, Shaohua Peng, Yifeng Tu and Shujin Li. A one-step method to construct a third-generation biosensor based on horseradish peroxidase and gold nanoparticles embedded in silica sol-gel network on gold modified electrode. *Analytica Chimica Acta* 553 (2005), 196-200.
- [61] Hideaki Nakamura, Yotaro Mogi, Takuo Akimoto, Kiyoshi Naemura, Teru Koto, Kazuyoshi Yano and Isao Karube. An enzyme-chromogenic surface plasmon resonance biosensor probe for hydrogen peroxide determination using a modified Trinder's reagent. *Biosensors and Bioelectronics* 24 (2008), 455-460.
- [62] Wenjuan Li, Ruo Yuan, Yaqin Chai, Lu Zhou, Shihong Chen and Na Li. Immobilization of horseradish peroxidase on chitosan/silica sol-gel hybrid membranes for preparation of hydrogen peroxide biosensor. *Biochemical Biophysical Methods* 70 (2008), 830-837.
- [63] Eugin Asav, Emine Yorganci and Erol Akyilmaz. An inhibition type amperometric biosensor based on tyrosinase enzyme for fluoride determination. *Talanta* 78 (2009), 553-556.
- [64] C.C. Plá Cid, E.R. Spadaa and M.L. Sartorelli. Effect of the cathodic polarization on structural and morphological properties of FTO and ITO thin films. *Applied Surface Science* 273 (2013), 603– 606.
- [65] Volkan Eskizeybek, Fahriye Sari, Handan Gülce, Ahmet Gülce and Ahmet Avci. Preparation of the new polyaniline/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for degradation of methylene blue and malachite green dyes under UV and natural sun lights irradiations. *Applied Catalysis B: Environmental* 199-120 (2012), 197-206.
- [66] S. G. Pawar, S. L. Patil, M. A. Chougule, B. T. Raut, D. M. Jundale and V. B. Patil. Polyaniline:TiO₂ Nanocomposites: Synthesis and Characterization. *Archives of Applied Science Research* 2 (2010), 194-201.
- [67] Wei-Han, Hsin-Yu Chen, Ta-Ming Cheng, Ting-Kai Huang, Yu-Liang Chen, Chi-Young Lee and Hsin-Tien Chiu. Urchin-like Ag Nanowires as Non-enzymatic Hydrogen Peroxide Sensor. *J. Chin. Chem. Soc* 59 (2011), 1-7.
- [68] W. Zheng, Y.F. Zheng, K.W. Jin and N. Wang. Direct electrochemistry and electrocatalysis of hemoglobin immobilized in TiO₂ nanotube films. *Talanta* 74 (2008), 1414-1419.

- [69] Maryann P. O'Halloran, Miloslav Pravda and George G. Guilbault. Prussian Blue bulk modified screen-printed electrode for H₂O₂ detection and for biosensors. *Talanta* 55 (2001), 605-611.
- [70] Chi-Hua Nieh, Seiya Tsujimura, Osamu Shirai and Kenji Kano. Amperometric biosensor based on reductive H₂O₂ detection using pentacyanoferrate-bound polymer for creatinine determination. *Analytica Chimica Acta* 767 (2013), 128-133.
- [71] Yuqing Miao, Hua Wang, Yuyan Shao, Zhiwen Tang, Jun Wang and Yuehe Lin. Layer-by-layer assembled hybrid film of carbon nanotubes/iron oxide nanocrystals for reagentless electrochemical detection of H₂O₂. *Sensor and Actuators B* 138 (2009), 182-188.
- [72] Qiang Yan, Zhiliang Wang, Jian Zhang, Hui Peng, Xuejiao Chen, Huina Hou and Chunran Liu. Nickel hydroxide modified silicon nanowires electrode for hydrogen peroxide sensor applications. *Electrochimica Acta* 61 (2012), 148-153.
- [73] Asif Ali and Mohd Khalid. Preparation, FTIR spectroscopic characterization and isothermal stability of differently doped conductive fibers based on polyaniline and polyacrylonitrile. *Synthetic Metals* 160 (2010), 708-712.
- [74][Online].Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Randles%E2%80%93Sevcik_equation.
- [75][Online].Available : <https://archive.org/details/AnalyticalElectrochemistry>.

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

ก.1 การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.00 โมลาร์

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 228.23 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 1.00 โมลาร์

ก.2 การเตรียมสารละลาย โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.00 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 136.09 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 1.00 โมลาร์

ก. 3 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1.0 โมลาร์

การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1.0 โมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ

ตาราง ก.1 แสดงปริมาณของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการเตรียมพีเอช

สารละลายมาตรฐาน K_2HPO_4 ความเข้มข้น 1.0 M (มิลลิลิตร)	สารละลายมาตรฐาน KH_2PO_4 ความเข้มข้น 1.0 M (มิลลิลิตร)	พีเอช
0	50	4.14
3	47	5.28
5	45	5.36
7	40	5.54
10	35	5.74
15	30	6.16
20	25	6.46
25	20	6.60
30	15	6.87
35	10	7.12
40	7	7.48
45	5	7.62
47	3	7.88
50	0	9.16

ภาคผนวก ข

การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

วิธีการคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of Detection)

$$\begin{aligned}\text{หาค่าเฉลี่ยของ blank } \bar{X} &= \frac{\sum X}{N} \\ &= 0.0954\end{aligned}$$

$$\text{หา Standard Deviation (SD)} = \frac{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}}{N}$$

$$\begin{aligned}\text{SD} &= \sqrt{\frac{(0.0984-0.0954)^2 + \dots + (0.0992-0.0954)^2}{6}} \\ &= 0.0031\end{aligned}$$

จากสูตร $\text{LOD} = 3\text{SD} / \text{Slope}$ ใช้คำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด

$$\begin{aligned}\text{LOD} &= \frac{3 \times 0.0031}{0.0608} \\ &= 0.15\end{aligned}$$

วิธีการคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation)

$$\begin{aligned}\text{หาค่าเฉลี่ยของ blank } \bar{X} &= \frac{\sum X}{N} \\ &= 0.0954\end{aligned}$$

$$\text{หา Standard Deviation (SD)} = \frac{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}}{N}$$

$$\begin{aligned}\text{SD} &= \sqrt{\frac{(0.0984-0.0954)^2 + \dots + (0.0992-0.0954)^2}{6}} \\ &= 0.0031\end{aligned}$$

จากสูตร $\text{LOQ} = 10\text{SD} + \bar{X}$ ใช้คำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์

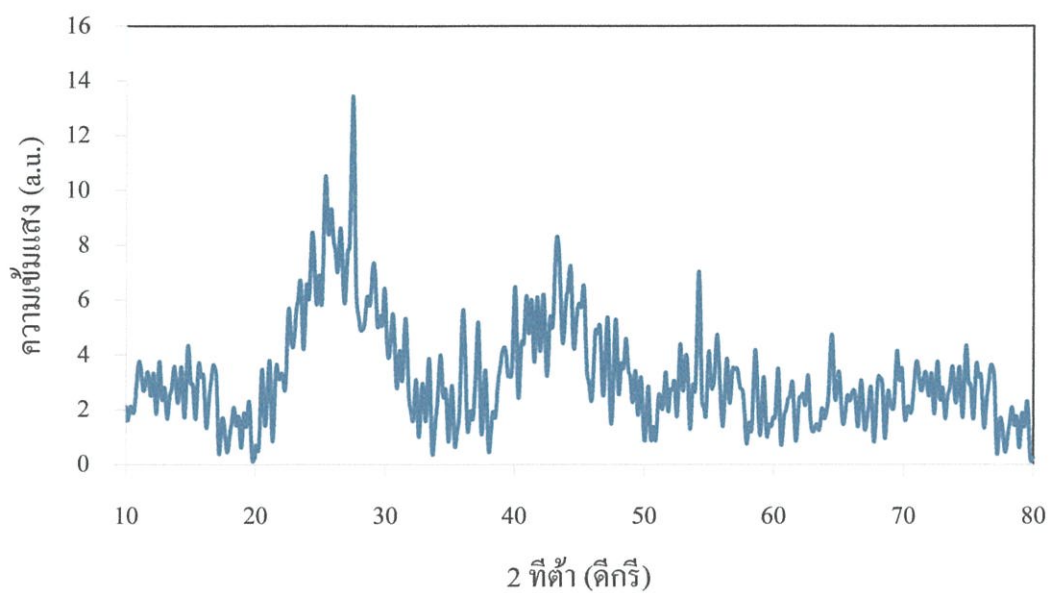
$$\begin{aligned}\text{LOQ} &= (10 \times 0.0031) + 0.7625 \\ &= 0.7935\end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

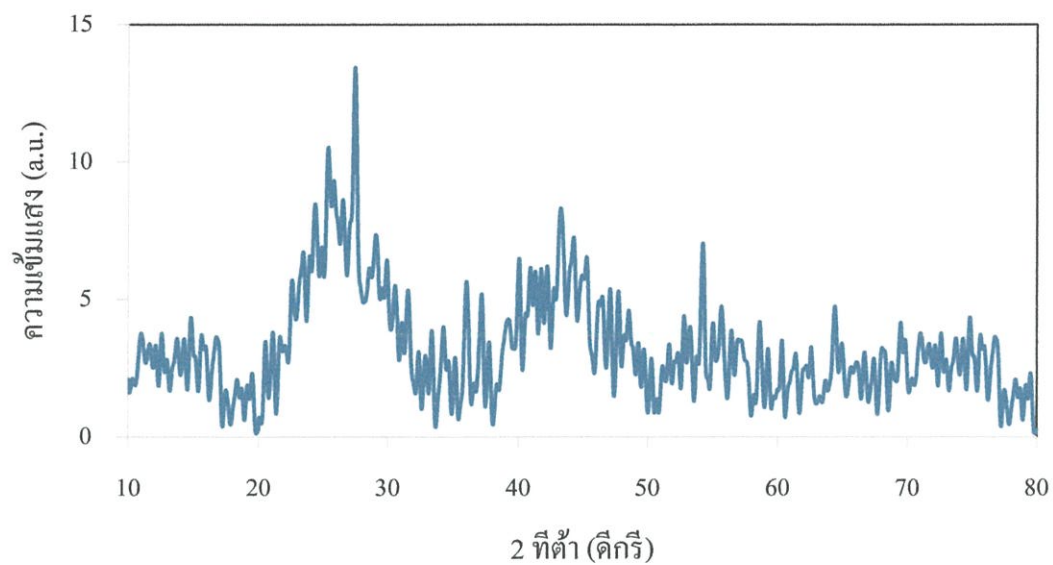
การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ

ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์

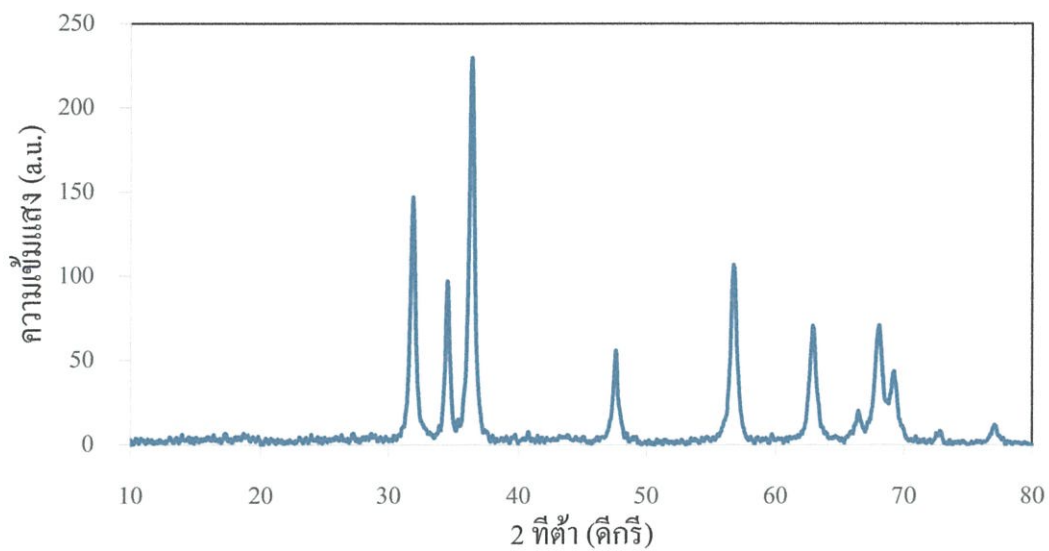
ค.1 ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์



รูปที่ ค.1กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของโพลิอะนิลีน



รูปที่ ค.2 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ ค.3 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์

ภาคผนวก ง

แสดงค่าร้อยละคืนกลับตามข้อกำหนด AOAC

วิธีการคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้จากสมการ

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_{\text{spiked sample}} - C_{\text{sample}}}{C_{\text{standard}}} \times 100$$

$C_{\text{spiked sample}}$ = ความเข้มข้นของspiked sample

C_{sample} = ความเข้มข้นของตัวอย่าง

C_{standard} = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

ตารางที่ ง.1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์

น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1		น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2		น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3	
ความเข้มข้นที่ เติม (ไมโครโมลาร์)	ร้อยละของการ คืนกลับ (% Recovery)	ความเข้มข้นที่ เติม (ไมโครโมลาร์)	ร้อยละของการ คืนกลับ (% Recovery)	ความเข้มข้นที่ เติม (ไมโครโมลาร์)	ร้อยละของการ คืนกลับ (% Recovery)
15.50	99.38	37.24	98.86	17.16	99.38
48.14	99.69	75.10	99.40	49.00	99.69
72.77	99.79	99.56	99.56	76.52	99.79
105.63	99.84	134.22	99.70	105.69	99.84
130.32	99.88	155.80	99.74	132.04	99.88
155.00	99.90	182.13	99.79	154.95	99.90
180.47	99.91	201.74	99.81	180.53	99.91
213.21	99.92	237.99	99.84	213.40	99.92
237.25	99.93	262.43	99.86	240.48	99.93
262.53	99.94	287.54	99.87	263.71	99.34
286.66	99.94	312.06	99.88	289.83	99.94
312.00	99.95	336.88	99.89	313.45	99.95
336.00	99.95	361.42	99.90	345.16	99.95

ตาราง ง.2 ตารางแสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC

ความเข้มข้นของสารที่ทำการวิเคราะห์	ค่าร้อยละของการคืนกลับ
100%	98-102
> 10%	98-102
> 1%	97-103
> 0.1%	95-105
100 ppm	90-107
10 ppm	80-110
1 ppm	80-110
100 ppb	80-110
10 ppb	60-115
1ppb	40-120

ภาคผนวก จ

แสดงการคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง
น้ำยาล้างแผล

น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณไฮโดรเจน 3%

กระแสสุดท้าย เท่ากับ 1.3590 μM

จากสมการ $y = 0.0608x + 0.0819$

$$x = \frac{1.3590 + 0.0819}{0.0608}$$

$$x = 23.699 \mu\text{M}$$

ใน 1000 ml มี $[\text{H}_2\text{O}_2]$ เท่ากับ 23.699 μM

ใน 520 μl มี $[\text{H}_2\text{O}_2]$ เท่ากับ $\frac{23.699 \times 520}{1000} = 12.3235 \mu\text{M}$

ถ้าปีเปตมา 520 μl มี $[\text{H}_2\text{O}_2]$ เท่ากับ 12.3235 μM

ถ้าปีเปตมา 100 ml มี $[\text{H}_2\text{O}_2]$ เท่ากับ $\frac{12.3235 \times 100}{520} = 2.3699 \mu\text{M}$

จากสูตร $n = \frac{g}{Mw}$

จะได้ $0.0000023699 \text{ mol} = \frac{g}{34 \text{ g/mol}}$

$$g = 0.0000805766$$

ทำการเจือจาง 10.21 เท่า

$$g = 0.0000805766 \times 10.21$$

$$= 0.00082269 \text{ g.}$$

ผลตกข้างขวดเขียนมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3%

$$= 0.00082269 \times \frac{3}{100}$$

$$= 0.0000246807 \text{ g.}$$

$$= 0.0247 \text{ mg.}$$

ดังนั้น น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.0247 มิลลิกรัม

น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณไฮโดรเจน 6%

$$= 0.00082269 \times \frac{6}{100}$$

$$= 0.0000493614 \text{ g.}$$

$$= 0.04936 \text{ mg.}$$

ดังนั้น น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.04936 มิลลิกรัม

น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณไฮโดรเจน 3%

ผลากข้างขวดเขียนมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3%

$$= 0.00082269 \times \frac{3}{100}$$

$$= 0.0000246807 \text{ g.}$$

$$= 0.0247 \text{ mg.}$$

ดังนั้น น้ำยาล้างแผล ตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.0247 มิลลิกรัม

ภาคผนวก ฉ

แสดงการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

วิธีการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD)

$$\begin{aligned} \text{หาค่าเฉลี่ยของ blank } \bar{X} &= \frac{\sum X}{N} \\ &= 0.0954 \end{aligned}$$

$$\text{หา Standard Deviation (SD)} = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{N}$$

$$\begin{aligned} \text{SD} &= \sqrt{\frac{(0.0984 - 0.0954)^2 + \dots + (0.0992 - 0.0954)^2}{6}} \\ &= 0.0031 \end{aligned}$$

จากสูตร $\frac{SD}{\bar{X}} \times 100$ ใช้คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

$$\% \text{ RSD} = \frac{0.0031}{0.0954} \times 100$$

$$= 0.4165$$