

การเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนกับ
ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วย
พอลิไทโอนีนสำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ
กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีน
ได้อย่างพร้อมกันในปัสสาวะมนุษย์

A COMPARISON OF GNPs SCREEN PRINTED
ELECTRODE AND POLY (THIONINE)-MODIFIED SCREEN
PRINTED GNPs ELECTRODE FOR THE SIMULTANEOUS
DETERMINATION OF ASCORBIC ACID DOPAMINE
URIC ACID AND TYROSINE IN HUMAN URINE

ปิญาราชย์ ศรีมาลา
สุภามาศ สิทธินวน
เสาวลักษณ์ สุนทรารักษ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนกับ
ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วย
พอลิไทโอนีนสำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ
กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีน
ได้อย่างพร้อมกันในปัสสาวะมนุษย์

A COMPARISON OF GNPs SCREEN PRINTED
ELECTRODE AND POLY (THIONINE)-MODIFIED SCREEN
PRINTED GNPs ELECTRODE FOR THE SIMULTANEOUS
DETERMINATION OF ASCORBIC ACID DOPAMINE
URIC ACID AND TYROSINE IN HUMAN URINE



T149505

ปัญาราชย์ ศรีมาลา
สุภามาศ สิทธินวน
เสาวลักษณ์ สุนทรารักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....149505
วัน เดือน ปี..... 8 ส.ค. 2561

b. 12884364
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

A COMPARISON OF GNPs SCREEN PRINTED ELECTRODE
AND POLY (THIONINE)-MODIFIED SCREEN PRINTED
GNPs ELECTRODE FOR THE SIMULTANEOUS
DETERMINATION OF ASCORBIC ACID DOPAMINE
URIC ACID AND TYROSINE IN HUMAN URINE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



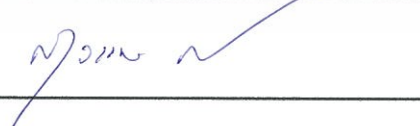
หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนกับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน สำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีนได้อย่างพร้อมกันในปัสสาวะมนุษย์

A Comparison of GNPs Screen Printed Electrode and Poly(Thionine)-Modified Screen Printed GNPs Electrode for the Simultaneous Determination of Ascorbic Acid, Dopamine, Uric Acid and Tyrosine in Human Urine.

ชื่อนักศึกษา นางสาว ปิฎวาราชย์ ศรีมาลา รหัสนักศึกษา 56050534
นางสาว สุภามาศ สิทธินวน รหัสนักศึกษา 56050636
นางสาว เสาวลักษณ์ สุนทรารักษ์ รหัสนักศึกษา 56050642

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|--|
| ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ |  |
| ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ |  |
| รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรศึกษเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---------------------------|---|-----------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การเปรียบเทียบชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนกับชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนสำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และ ไทโรซีนได้อย่างพร้อมกันในปัสสาวะมนุษย์ | |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาว ปิญาราชย์ ศรีมาลา | รหัสนักศึกษา 56050534 |
| | นางสาว สุภามาศ สิทธินวน | รหัสนักศึกษา 56050636 |
| | นางสาว เสาวลักษณ์ สุนทรารักษ์ | รหัสนักศึกษา 56050642 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) | |
| ภาควิชา | เคมี | |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ | |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | |
| ปีการศึกษา | 2559 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงพอลิไทโอนีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าลงบนชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนเพื่อใช้ในการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี มีสภาวะการทดลองดังนี้ ศักย์ไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง -0.4 ถึง +1.0 โวลต์ โดยมีอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ในการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนโดยจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และ กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic-Force Microscopy, AFM) และนำชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนมาตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีเทียบกับชีวไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ ใช้เป็นชีวไฟฟ้าอ้างอิง และคาร์บอนเป็นชีวไฟฟ้าช่วย โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากการทดลองได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดตั้งแต่ 2.5 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500, 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ สมการเชิงเส้นเป็น $y = 0.0426x+1.0802$ $R^2 = 0.9925$, $y = 0.0615x+0.6738$ $R^2 = 0.9936$, $y = 0.0467x+0.8455$ $R^2 = 0.9902$, $y = 0.0767x+0.6152$ $R^2 = 0.9909$ ตามลำดับ ขีดจำกัดของการตรวจวัด 0.2786, 0.9412, 0.8316 และ 0.0506 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ขีดจำกัดการวิเคราะห์เท่ากับ 6.1612, 10.0446, 7.2730 และ 7.6881 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับเท่ากับ 0.12, 0.73 1.59 และ 1.47 ตามลำดับ เมื่อนำไปตรวจตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง พบว่าได้ค่าร้อยละของการคืนกลับในเพศชาย

เท่ากับ 105.76, 105.30, 100.41 และ 106.51 ตามลำดับ ในเพศหญิง 106.92, 105.52, 102.56 และ 106.64 ตามลำดับ

คำสำคัญ : กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก ไทโรซีน พอลิโทอินีน ข้าวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน ข้าวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------------------|--|---------------------|
| Title | A Comparison of GNPs Screen Printed Electrode and Poly (Thionine)-Modified Screen Printed GNPs Electrode for The Simultaneous Determination of Ascorbic Acid, Dopamine, Uric Acid and Tyrosine in Human Urine. | |
| Students | Miss Piyarach Srimara | Student ID 56050534 |
| | Miss Supamas Sittinaun | Student ID 56050636 |
| | Miss Saovarak Suntharak | Student ID 56050642 |
| Degree | Bachelor of Science (Industrial Chemistry) | |
| Department | Chemistry | |
| Faculty | Science | |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) | |
| Academic Year | 2016 | |
| Adviser | Assoc.Prof.Dr. Suwan Chaiyasith | |

Abstract

In this work, a gold nanoparticles screen printed electrode modified with thionine acetate (SPCEGNPs/PTH) used for determination of ascorbic acid, dopamine, uric acid and tyrosine. The SPCEGNPs/PTH was prepared by Differential pulse voltammetry at potential range -0.4 to +1.0 V scan rate 50 mV/s. The results, characterized of SPCEGNPs/PTH were analyzed by Scanning Electron Microscope (SEM) and Atomic-Force Microscopy (AFM). The modified electrodes, Ag/AgCl reference electrode and carbon auxiliary electrode were used to detect ascorbic acid, dopamine, uric acid, and tyrosine in 0.1 M phosphate buffer solution by differential pulse voltammetry. The result show the linear response exists from 2.5 to 500, 10 to 300, 2 to 500, 1 to 260 μM respectively ($y = 0.0426x + 1.0802$ $R^2 = 0.9925$, $y = 0.0615x + 0.6738$ $R^2 = 0.9936$, $y = 0.0467x + 0.8455$ $R^2 = 0.9902$, $y = 0.0767x + 0.6152$ $R^2 = 0.9909$ respectively) The detection limit was 0.2786, 0.9412, 0.8316 and 0.0506 μM . The quantitation limit was 6.1612, 10.0446, 7.2730 and 7.6881 μM respectively. The percent relative standard deviation was 0.12, 0.73 1.59 and 1.47 respectively. The sensitivity of SPCEGNPs/PTH is higher than screen printed carbon electrode (SPCE). The percent recovery of ascorbic acid dopamine uric acid and tyrosine in male and female by electrode were, 105.76, 105.30, 100.41 and 106.51 respectively. 106.92, 105.52, 102.56 and 106.64 respectively.

Keywords : Ascorbic Acid, Dopamine, Uric Acid, Screen printed carbon, Tyrosine, Thionine acetate, Gold nanoparticles modified screen printed electrode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้เกิดขึ้น และสำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ.ดร.ณัฐภูมิ เชิงชัน กรรมการสอบที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในโครงการฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และคำแนะนำต่าง ๆ

ขอบคุณพี่ๆนักศึกษาปริญญาโทสาขาเคมีวิเคราะห์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำทั้งในขั้นตอนการทดลอง ตลอดจนช่วยตรวจสอบเล่มในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้และขอบคุณเพื่อน ๆทุกคนที่เป็นกำลังใจที่ติดตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนในทุกๆด้าน คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาว ปิญาราชย์ ศรีมาลา

นางสาว สุภามาศ สิทธินวน

นางสาว เสาวลักษณ์ สุนทรารักษ์

สารบัญ

| | หน้า |
|---|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ฎ |
| สารบัญรูป..... | จ |
| คำย่อและสัญลักษณ์..... | ด |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... | 3 |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน..... | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ขี้ไฟฟ้าพิมพ์สกรีน (Screen printed electrode)..... | 4 |
| 2.2 ไทโรซีน(Tyrosine)..... | 6 |
| 2.3 ไทโอนีน(Thionine)..... | 10 |
| 2.4 อิเล็กโทรพอลิเมอไรเซชัน(Electropolymerization)..... | 10 |
| 2.5 การตรวจปัสสาวะ (Urinalysis)..... | 11 |
| 2.5.1 การตรวจคุณสมบัติทางกายภาพ..... | 16 |
| 2.5.2 การตรวจคุณสมบัติทางเคมี..... | 17 |
| 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์..... | 20 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 21 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 28 |
| 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ | 28 |
| 3.1.1 สารเคมี | 28 |
| 3.1.2 อุปกรณ์ | 28 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.2 การเตรียมสารละลาย | 29 |
| 3.2.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 7..... | 29 |
| 3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไทโรซีน 1 มิลลิโมลาร์ | 29 |
| 3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดยูริก 1 มิลลิโมลาร์ | 30 |
| 3.2.4 เตรียมสารละลายมาตรฐานโดปามีน 1 มิลลิโมลาร์ | 30 |
| 3.2.5 เตรียมสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก 1 มิลลิโมลาร์ | 31 |
| 3.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนด้วยวิธีเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าที่ ปรับปรุงด้วยไทโอนีน..... | 31 |
| 3.3.1 เตรียมสารละลายไทโอนีน 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 31 |
| 3.3.2 การเตรียมพอลิไทโอนีนบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน..... | 32 |
| 3.3.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน ที่ปรับปรุงด้วยสารละลายไทโอนีน..... | 32 |
| 3.3.4 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ ปรับปรุงด้วยไทโอนีน..... | 33 |
| 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 33 |
| 3.4.1 ศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัดสารละลาย มาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต(III)ด้วยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมตรี..... | 33 |
| 3.4.2 ศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับ การเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนบนขั้วพิมพ์สกรีน คาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน..... | 34 |
| 3.4.3 ศึกษาอัตราการสแกนของสารละลายไทโอนีนที่เหมาะสมสำหรับ การเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนบนขั้วพิมพ์สกรีน คาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน..... | 34 |
| 3.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี..... | 35 |
| 3.5.1 ศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม..... | 35 |
| 3.5.2 ศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม..... | 37 |
| 3.6 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก, และ ไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี..... | 37 |
| 3.6.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1 มิลลิโมลาร์..... | 37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.7 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีนและไทโรซีน ในคราวเดียวกันด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี..... | 38 |
| 3.7.1 เตรียมสารละลายผสม..... | 38 |
| 3.7.2 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linear range)..... | 38 |
| 3.7.3 ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection limit)..... | 39 |
| 3.8 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ..... | 40 |
| 3.8.1 ศึกษาตัวอย่างปัสสาวะ..... | 40 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | 41 |
| 4.1 ผลการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนและพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทอง ในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนิน..... | 41 |
| 4.1.1 ผลการเตรียมพอลิไทโอเนินบนขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน..... | 41 |
| 4.1.2 ผลการเตรียมพอลิไทโอเนินบนขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทอง ในระดับนาโน..... | 42 |
| 4.1.3 ผลการศึกษาอัตราการสแกนของสารละลายไทโอเนินที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนินบนขั้วพิมพ์ สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน..... | 44 |
| 4.1.4 ผลการศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนินบนขั้วพิมพ์ สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน..... | 46 |
| 4.1.5 ผลการศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนในการตรวจวัด สารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III)..... | 48 |
| 4.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ปรับปรุง ด้วยสารละลายไทโอเนิน | 49 |
| 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope)..... | 49 |
| 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม (Atomic Force Microscope)..... | 50 |
| 4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน..... | 51 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.3.1 การศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์..... | 51 |
| 4.3.1.1 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก..... | 51 |
| 4.3.1.2 สารละลายมาตรฐานโดปามีน..... | 52 |
| 4.3.1.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริก..... | 52 |
| 4.3.1.4 สารละลายมาตรฐานไทโรซีน..... | 53 |
| 4.3.2 การศึกษาอัตราการสแกน..... | 55 |
| 4.3.2.1 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก..... | 55 |
| 4.3.2.2 สารละลายมาตรฐานโดปามีน..... | 56 |
| 4.3.2.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริก..... | 57 |
| 4.3.2.4 สารละลายมาตรฐานไทโรซีน..... | 58 |
| 4.4 ผลการศึกษาปฏิกิริยา กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน และกรดยูริก และไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี..... | 60 |
| 4.4.1 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดแอสคอร์บิกโดยใช้ขั้ว SPCE, SPCEGNPs, SPCE/PTH และ SPCEGNPs/PTH..... | 60 |
| 4.4.2 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดโดปามีนโดยใช้ขั้ว SPCE , SPCEGNPs , SPCE/PTH และSPCEGNPs/PTH..... | 62 |
| 4.4.3 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดยูริกโดยใช้ขั้ว SPCE , SPCEGNPs , SPCE/PTH และ SPCEGNPs/PTH..... | 64 |
| 4.4.4 ผลการศึกษาปฏิกิริยาไทโรซีนโดยใช้ขั้ว SPCE , SPCEGNPs , SPCE/PTH และ SPCEGNPs/PTH..... | 66 |
| 4.5 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดแอสคอร์บิก, โดปามีน ,กรดยูริก และไทโรซีนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี..... | 68 |
| 4.5.1 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริกและ ไทโรซีน ในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCE , SPCEGNPs, SPCE/PTH และSPCEGNPs/PTH..... | 68 |
| 4.5.2 การศึกษาไทโอนีนมีผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในคราวเดียวกัน โดยใช้ขั้วSPCEGNPs/PTH..... | 69 |
| 4.5.3 ผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH..... | 70 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.6 ผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ | 72 |
| 4.6.1 ผลการตรวจตัวอย่างปัสสาวะในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... | 72 |
| 4.6.2 ผลการตรวจตัวอย่างปัสสาวะในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... | 73 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 75 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 76 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 77 |
| ภาคผนวก..... | 80 |
| ภาพผนวก ก..... | 81 |
| ภาพผนวก ข..... | 85 |
| ภาพผนวก ค..... | 87 |
| ภาพผนวก ง..... | 89 |
| ภาพผนวก จ..... | 100 |
| ภาพผนวก ฉ..... | 102 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 2.1 | แสดงข้อดีและข้อเสียของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน..... | 5 |
| 2.2 | แสดงส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะใน 100 ซีซี..... | 13 |
| 2.3 | ตารางอ้างอิงช่วงไทโรซีนในปัสสาวะ..... | 13 |
| 2.4 | ตารางอ้างอิงช่วงโดปามีนในปัสสาวะ..... | 14 |
| 2.5 | ตารางอ้างอิงช่วงกรดยูริกในปัสสาวะ..... | 14 |
| 3.1 | รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... | 28 |
| 3.2 | แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาหาอัตราสแกนที่เหมาะสม..... | 35 |
| 3.3 | แสดงปริมาณสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(KH_2PO_4) ในการเตรียมพีเอชต่างๆ..... | 36 |
| 3.4 | แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาหาความเข้มข้น..... | 39 |
| 4.1 | แสดงผลการศึกษาคุณลักษณะช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection) และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation) ของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทอง ในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน..... | 71 |
| 4.2 | แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับในการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน..... | 74 |
| 4.3 | แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิงโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับด้วยพอลิไทโอนีน..... | 74 |
| ก1 | ตารางปริมาณการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์..... | 81 |
| ข1 | แสดงค่าที่นำมาใช้คำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและ ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ของกรดแอสคอร์บิก..... | 85 |
| ข2 | แสดงขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ของ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน..... | 86 |
| ค1 | แสดงค่าที่นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน..... | 87 |
| ค2 | แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมประสิทธิ์ ของสารละลาย กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน..... | 88 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ง1 แสดงสมการเส้นตรงของการหาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนของ เพศชาย..... | 90 |
| ง2 แสดงสมการเส้นตรงของการหาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนของเพศหญิง..... | 95 |
| จ1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิกใน ตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย..... | 100 |
| จ2 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิกใน ตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิง..... | 101 |
| จ3 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC (2002)..... | 101 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 องค์ประกอบของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน..... | 4 |
| 2.2 แสดงต่อมไทรอยด์..... | 6 |
| 2.3 แสดงต่อมไทรอยด์ที่จับกับไอโอดีนและนำไปรวมกับกรดอะมิโนไทโรซีน..... | 6 |
| 2.4 แสดงสูตรโครงสร้างแอลไทโรซีน..... | 7 |
| 2.5 แสดงการผลิตไทโรซีนจากฟีนอลอะลาซีน..... | 7 |
| 2.6 แสดงการผลิตสารสื่อประสาท..... | 8 |
| 2.7 แสดงสูตรโครงสร้างโดปามีน..... | 9 |
| 2.8 แสดงสูตรโครงสร้างไทโอนีนอะซิเตต..... | 10 |
| 2.9 ตัวอย่างปัสสาวะ..... | 11 |
| 2.10 อวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะ..... | 12 |
| 2.11 แสดงระบบทางเดินปัสสาวะของเพศหญิง..... | 14 |
| 2.12 แสดงระบบทางเดินปัสสาวะของเพศชาย..... | 15 |
| 2.13 เครื่องโพเทนชิโอสแตท..... | 20 |
| 2.14 แสดงการเชื่อมต่อที่พร้อมใช้งานบนสายไฟสำหรับแบตเตอรี่..... | 20 |
| 2.15 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบสามขั้ว (three electrode electrochemical cell)..... | 21 |
| 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์..... | 29 |
| 3.2 สารละลายมาตรฐานไทโรซีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... | 30 |
| 3.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... | 30 |
| 3.4 สารละลายมาตรฐานโดปามีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... | 30 |
| 3.5 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... | 31 |
| 3.6 สารละลายไทโอนีนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 31 |
| 3.7 แสดงลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน เมื่อปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน เป็นระยะเวลา 0, 10, 20 และ 25 นาทีตามลำดับ..... | 32 |
| 3.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ตรวจวัด โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(III)..... | 33 |
| 3.9 สารละลายไทโอนีนในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 4 ถึง 10..... | 34 |
| 3.10 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น 40, 1000, 80 และ 75 ไมโครโมลาร์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 4 ถึง 10..... | 36 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.11 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช7..... | 37 |
| 3.12 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... | 38 |
| 3.13 ตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง..... | 40 |
| 4.1 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน (SPCE/PTH)..... | 41 |
| 4.2 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH)..... | 42 |
| 4.3 แสดงแผนภาพกระบวนการเกาะติดPTHที่บริเวณผิวหน้าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH)..... | 43 |
| 4.4 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอัตราการสแกนในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน คาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCE/PTH)..... | 44 |
| 4.5 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมอัตราการสแกนในการเตรียมขั้วไฟฟ้า พิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH)..... | 45 |
| 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกน ที่ 2.5 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีในการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีน ที่มีความเข้มข้นไทโอนีน 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 45 |
| 4.7 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมพีเอช 4 ถึง 7 ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน คาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCE/PTH)..... | 46 |
| 4.8 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมพีเอช 4 ถึง 7 ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน คาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH)..... | 47 |
| 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 4 ถึง 10..... | 47 |
| 4.10 แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(III) ($K_3(Fe(CN)_6)$) ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้า A.) SPCEGnp/PTH, B.) SPCE/PTH, C.) SPCEGnp และ D.) SCPE..... | 48 |
| 4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า สำหรับ (ก) และ (ข) 5,000 เท่า สำหรับ (ค) และ (ง) ตามลำดับ..... | 49 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม A.) SPCE, B.) SPCE/PTH, C.) SPCEGNPs และ D.) SPCEGNPs/PTH ที่กำลังขยาย 1000 เท่า..... | 50 |
| 4.13 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 51 |
| 4.14 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน โดปามีน 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 52 |
| 4.15 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดยูริก 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 52 |
| 4.16 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน ไทโรซีน 0.1 มิลลิโมลาร์..... | 53 |
| 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและพีเอช จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์..... | 53 |
| 4.18 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน แอสคอร์บิก 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที..... | 55 |
| 4.19 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน โดปามีน 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที..... | 56 |
| 4.20 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดยูริก 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที..... | 57 |
| 4.21 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน ไทโรซีน 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที..... | 58 |
| 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกน จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 500, 80, 200 และ 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที..... | 59 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4.23 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนชนิดต่างๆ..... | 60 |
| 4.24 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้ว SPCEGNPs/PTH กับกรดแอสคอร์บิก..... | 61 |
| 4.25 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน โดปามีนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนชนิดต่างๆ..... | 62 |
| 4.26 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้ว SPCEGNPs/PTH กับโดปามีน..... | 63 |
| 4.27 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดยูริกที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนชนิดต่างๆ..... | 64 |
| 4.28 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้ว SPCEGNPs/PTH กับกรดยูริก..... | 65 |
| 4.29 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน ไทโรซีนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนชนิดต่างๆ..... | 66 |
| 4.30 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้ว SPCEGNPs/PTH กับกรดไทโรซีน..... | 67 |
| 4.31 แสดงดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนที่มีความเข้มข้น 300, 200, 300 และ 200 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCE, SPCE/PTH, SPCEGNP และ SPCEGNPs/PTH..... | 68 |
| 4.32 แสดงดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่มีความเข้มข้น 300, 200, 300 และ 200 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ที่ทำการตรวจวัดในคราวเดียวกัน โดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH ในการวัดครั้งที่หนึ่ง สอง และ สาม ตามลำดับ..... | 69 |
| 4.33 แสดงดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 2.5 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500, 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ AA, DA, UA และ Tyr ตามลำดับทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH..... | 70 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนคร่าวเดียวกัน โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน..... | 71 |
| 4.35 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมการตรวจวัดตัวอย่าง ปัสสาวะเพศชายทำการตรวจวัดในคร่าวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH..... | 72 |
| 4.36 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมการตรวจวัดตัวอย่าง ปัสสาวะเพศหญิงทำการตรวจวัดในคร่าวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH..... | 73 |
| ง.1 กราฟการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานที่ 0, 130 และ 250 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วย พอลิไทโอนีน..... | 89 |
| ง.2 แสดงภาพวาดที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยวิธี เติมสารมาตรฐาน..... | 90 |
| ง.3 กราฟการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานที่ 0, 150 และ 200 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วย พอลิไทโอนีน..... | 95 |

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|-----------------|---|
| SPCE | ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน |
| SPCEGNPs | ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโน |
| SPCE/PTH | ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่บริเวณผิวหน้าถูกปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน |
| SPCEGNPs/PTH | ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่บริเวณผิวหน้าถูกปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน |
| PBS | ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ |
| PTH | พอลิไทโอนีน (Poly-Thionine) |
| AA | กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) |
| DA | โดปามีน (Dopamine) |
| UA | กรดยูริก (Uric acid) |
| Tyr | ไทโรซีน (Tyrosine) |
| R ² | ค่าความเป็นเส้นตรง (Relative coefficient) |
| M | โมลาร์ |
| mM | มิลลิโมลาร์ |
| μM | ไมโครโมลาร์ |
| nm | นาโนเมตร |
| μA | ไมโครแอมแปร์ |
| V | โวลต์ |
| mV/s | มิลลิโวลต์ต่อวินาที |
| %Recovery | ค่าร้อยละของการคืนกลับ |
| %RSD | ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในงานวิเคราะห์ทางเคมีเชิงไฟฟ้านั้นในอดีตนิยมใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน, แผ่นคาร์บอน และ โบรอนดรอปรอโตมอนด์เนื่องจากข้อจำกัดบางประการเช่น มีมูลค่าที่สูง ไม่สะดวกต่อการตรวจวัด เนื่องจากมีขนาดใหญ่ และ วิเคราะห์สารในปริมาณที่มาก ดังนั้นในปัจจุบันขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นตัวตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า เป็นขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นราบมีการสกรีนหมึกลงบนแผ่นพลาสติก แผ่นกระดาษ หรือเซรามิก โดยหมึกที่นิยมใช้ได้แก่หมึกคาร์บอน, ทอง, แพลตทินัม, เงิน หรือท่อคาร์บอนนาโน เป็นต้น และยังเป็นขั้วไฟฟ้าที่สะดวกต่อการตรวจวัด เนื่องจากมีขั้วใช้งาน ขั้วอ้างอิงและขั้วช่วยรวมไว้อยู่ในแผ่นเดียวกัน แถมยังมีราคาที่ถูกเคยมีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์โรเซชันที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของสีย้อมบนแผ่นขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น โดยสีย้อมที่ถูกใช้เป็นส่วนมาก เช่น เมทิลไทโอนีน ซึ่งเป็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการปรับปรุงผิวหน้าขั้วไฟฟ้าที่เป็นตัวตรวจวัดทางชีวภาพ

ไทโอนีนเป็นสีย้อมที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง และถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนีนที่ถูกเคลือบเป็นชั้นอยู่บนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าจะกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าซึ่งใช้เป็นสารตัวกลางในการส่งผ่านอิเล็กตรอนของโมเลกุลทางชีวภาพขนาดใหญ่ซึ่งสารดังกล่าวนี้ส่วนมากแทบจะไม่ทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้าแบบเปลือย การเกาะติดของแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนีนที่เสถียรในแต่ละชั้นนั้นขึ้นกับปฏิกิริยารีดอกซ์ในการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์โรเซชัน

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี ในอาหารมี 2 รูปแบบ ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้มี 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิก และ กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก แหล่งของ วิตามินซี อยู่ในพืช ผัก ผลไม้ ที่มี รสเปรี้ยว วิตามินซี หากขาดวิตามินซีผู้ป่วยจะมีอาการแสดงของการมีเลือดออกตามไรฟัน อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร เหงือกบวม ฟันหลุดง่าย และแสดงอาการของโรคลักกะปิดลักกะเปิด โดปามีน อีกหนึ่งฮอร์โมนที่สำคัญมาก ผลิตจากกรดอะมิโนไทโรซินทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทไปกระตุ้นโดปามีนรีเซพเตอร์ ในระบบประสาทซิมพาเทติก ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิตเพิ่มขึ้น กรดยูริก เป็นผลจากขบวนการสลายสารพิวรีนในร่างกายซึ่งสารพิวรีนเกิดจากการสลายโปรตีนของร่างกาย ผู้ที่มีกรดยูริกสูงเกิดมักเกิดจากความผิดปกติของยีนในการสลายสารพิวรีน และไทโรซินหรือ 4-hydroxyphenylalanine เป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์เองได้ และเป็นสารสื่อประสาทที่มีความสำคัญอันดับต้นๆได้แก่ โดปามีน และนอร์เอพิเนฟริน (นอร์อะดรีนาลีน)รวมถึงเอพิเนฟริน (อะดรีนาลีน) ซึ่งระดับไทโรซินในร่างกายยังเป็นตัวบ่งบอกของสาเหตุการเกิดโรคเช่น โรคพาร์กินสัน ฟิซิลลิโตนูเรีย ไทรอยด์รวมถึงโรคที่เกี่ยวข้องอื่นๆอีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นที่ยอมรับกันว่า กรดแอสคอร์บิก ,โดปามีน และกรดยูริก นั้นมักจะอยู่ร่วมกันกับไทโรซีนในเลือด และปัสสาวะซึ่งกรดทั้งสามชนิดนั้นมีการออกซิเดชันที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับไทโรซีน

ในการตรวจวัดหาปริมาณของกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนนั้นมีวิธีที่หลากหลายในการตรวจวัดทั้ง Spectrophotometry, Spectrofluorimetry และ Chromatography ที่กล่าวมาเป็นการตรวจวัดแบบเก่าที่มีขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก จึงจำเป็นต้องลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ มีราคาแพง และใช้เวลาในการตรวจวัดที่นาน และในทางตรงกันข้ามนั้นวิธีการตรวจวัดด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้านั้นมีความสะดวก รวดเร็ว อีกทั้งยังมีข้อที่ใช้ตรวจวัดในทางเคมีไฟฟ้านั้นมีหลากหลายชนิด อาทิเช่น ขั้วกลาสสิคาร์บอน, แผ่นคาร์บอน และโบรอน ดรอป ไดม่อน [1-3] ซึ่งแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันไป ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการวิเคราะห์ปริมาณไทโรซีน ด้วยขั้วกลาสสิคาร์บอน ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น poly(aniline), poly(pyrrole), poly(3,4-ethylene-dioxythiophene), poly(evans blue), poly(5-amino-1,3,4-thiadiazole-2-thiol), poly(acid chrome blue K), และ poly(thionine) (PTH) [4] ในงานวิจัยได้เลือกใช้พอลิไทโอนีน (PTH) ซึ่งพบว่า PTH เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ซึ่งช่วยในการนำไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอและทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่บริเวณผิวหน้าถูกปรับปรุงด้วยไทโอนีน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่บริเวณผิวหน้าถูกปรับปรุงด้วยไทโอนีน และใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองนาโนที่ถูกปรับปรุงด้วยไทโอนีน นำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาขั้วให้มีความจำเพาะสำหรับการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ
- 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชันของไทโอนีนบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน
- 3) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ
- 4) เพื่อนำวิธีที่พัฒนามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ในงานวิจัยนี้ใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนเพื่อเพิ่มความไวในการวิเคราะห์
- 2) เพิ่มความจำเพาะเจาะจงโดยการเกาะติดทางเคมีไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน
- 3) ทำการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนโดยปรับเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ต่างชนิดกัน
- 4) หาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หา กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และ ไทโรซีน
- 5) ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธี
- 6) นำวิธีที่พัฒนามาประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

- 1) สืบค้นข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) วางแผนการทดลอง จัดหาอุปกรณ์ สารเคมีรวมถึงตัวอย่างที่ใช้
- 3) ดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนโดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า
- 4) ดำเนินการทดลองเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนโดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า
- 5) นำวิธีที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถทราบถึงวิธีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน
- 2) สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะในเพศชาย และเพศหญิง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาปริมาณสารดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องมือและเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าในการวิเคราะห์
- 4) ใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนวิเคราะห์สารได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว มีราคาถูก และเตรียมง่าย
- 5) สามารถวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในปริมาณน้อยๆในตัวอย่างปัสสาวะได้ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว

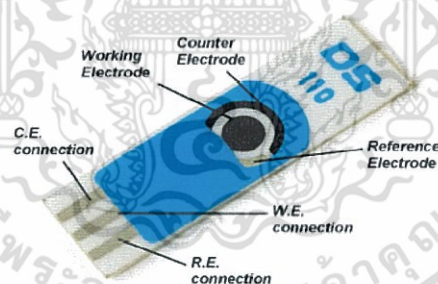
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนกับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงด้วยไทโอนีนเพื่อตรวจวัดวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษา ทฤษฎี เอกสาร วารสาร รายงาน และบทความเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน (Screen-printed electrode)
- 2.2 ไทโรซีน, โดปามีน, กรดแอสคอร์บิก และกรดยูริก
- 2.3 ไทโอนีน (Thionine)
- 2.4 อิเล็กโทรพอลิเมอไรเซชัน (Electropolymerization)
- 2.5 การตรวจปัสสาวะ (Urinalysis)
- 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน (Screen-printed electrode)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

(ที่มา:http://www.dropsens.com/en/img/productos/screen_printed_elect2.gif)

ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนเป็นขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นราบซึ่งมีการสกรีนหมึกหลายๆชั้นลงไปบนแผ่นพลาสติก แผ่นกระดาษหรือเซรามิกเพื่อทำเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า โดยหมึกที่ประสบผลสำเร็จและนิยมใช้มากที่สุดได้แก่ หมึกคาร์บอน และหมึกของโลหะมีตระกูล เช่น ทอง, แพลทตินัม, เงิน เป็นต้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ การตรวจวัดตะกั่ว ปริมาณน้อยในน้ำดื่มและน้ำประปา และการตรวจหาปริมาณของยาปฏิชีวนะกลุ่มเตตราไซคลิน ที่ตกค้างในอาหาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเป็นตัวตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าแบบใช้แล้วทิ้ง และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การสร้างขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนนี้มีการให้หมึกหลายชนิด เริ่มตั้งแต่ใช้หมึกคาร์บอน ซึ่งหมึกคาร์บอนที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันก็จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย จากงานวิจัยของ Wang et al.,1997 [5] ได้ศึกษาการใช้หมึกคาร์บอนที่มีขายในเชิงการค้า 4 ชนิด (Acheson ink 49AB90 , Ercon ink G-448-I , Gwent ink C10903D14 และ Dupont7102) โดยเปรียบเทียบปฏิกิริยาของสาร ferrocyanide, acetaminophen และ ascorbic acid กับกระแสพื้นหลัง (background current) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ HCl, acetate buffer และ phosphate buffer โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) แอมเพโรเมตรี(Amperometry) ในการตรวจวัด(แบบใช้แล้วทิ้ง) ทางเคมีไฟฟ้า รวมถึงการศึกษาพวกโลหะหนักเช่น ตะกั่ว, ทองแดง และ แคดเมียม โดยเทคนิคสทริปปิงโวลแทมเมตรี (Stripping Voltammetry) ซึ่งมีการเคลือบสารปรอทลงไปบนขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนซึ่งใช้หมึกแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าการใช้หมึกแตกต่างกัน ส่งผลถึงปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าและกระแสพื้นหลังที่ต่างกันด้วย ดังนั้น จึงต้องมีการเลือกให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้นๆ

ข้อดีของขั้วไฟฟ้าชนิดนี้ [6] ที่เหนือกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอื่นๆคือเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีราคาถูก เนื่องจากทำสกรีนครั้งละหลายๆทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถพกพาได้สะดวก การใช้งานง่ายให้ผลเป็นที่ยอมรับ อีกทั้งยังถือว่าเป็นตัวตรวจวัดร่วมกัน (combine detector) เพราะว่าแต่ละชิ้นจะมีทั้งขั้วไฟฟ้าใช้งาน, ขั้วไฟช่วย และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงรวมอยู่บนแผ่นเดียวกันเลย ซึ่งต้องมีการออกแบบแทนพิมพ์การสกรีนนี้ราคาถูก จึงเป็นไปได้ที่จะทำการเป็นขั้วไฟฟ้าใหม่ทุกครั้งของการวัดได้ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีการปนเปื้อนหรือต้องทำการขัดผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าให้ใหม่อยู่เสมอ ดังนั้น จึงถือว่าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนนี้มีประสิทธิภาพและถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในทางสิ่งแวดล้อม การแพทย์ งานตรวจวัดที่ต้องการความสะอาดและงานทางเคมีวิเคราะห์ทั้งหลาย

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

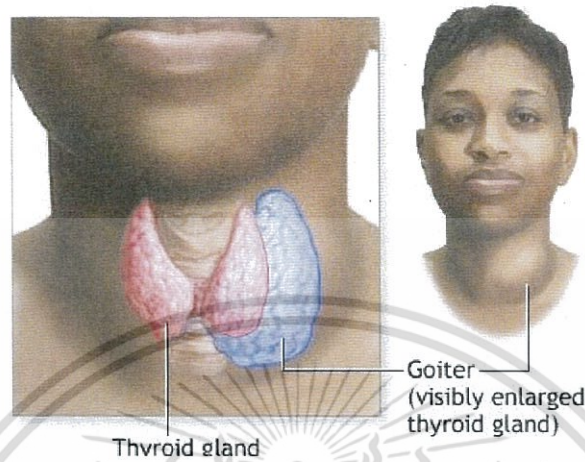
| ข้อดี | ข้อเสีย |
|--|-------------------------------------|
| ใช้งานง่ายและให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว | มีข้อจำกัดในการใช้ซ้ำ |
| ช่วยลดสัญญาณรบกวน (Background) เพราะขั้วไฟฟ้าทำงานสัมผัสกับสารโดยตรงไม่มีฉนวนมาบัง | ตัวเชื่อมต่อเกิดสนิมได้ง่าย |
| ช่วยลดการปนเปื้อนเนื่องจากเป็นขั้วชนิดใช้แล้วทิ้ง | ต้องเก็บรักษาในที่ ที่ไม่มีความชื้น |
| ราคาถูกเนื่องจากส่วนประกอบที่ใช้ทำขั้วราคาถูกไม่แพง | สารต้องมีความจำเพาะกับขั้ว |

(เอกสารอ้างอิง : Science and technology RMUTT journal, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไทโรซีน

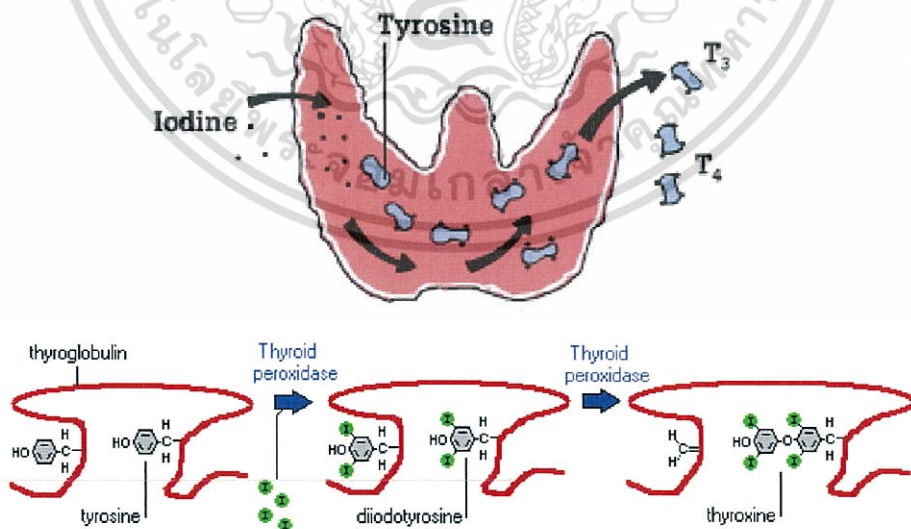
ต่อมไทรอยด์ เป็นต่อมไร้ท่อ มีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ ที่อยู่บริเวณคอ ใต้กระดูกเดือก มีขนาดยาว 4 ซม. กว้าง 1-2 ซม.



รูปที่ 2.2 แสดงต่อมไทรอยด์

ที่มา : <http://www.student.chula.ac.th/~56370156/cause.html>

ต่อมไทรอยด์ จะทำหน้าที่จับไอโอดีนจากอาหารที่ทานเข้าไป แล้วนำไปรวมกับกรดอะมิโนไทโรซีน เพื่อสร้างไทรอยด์ฮอร์โมน Triiodothyronine (T3) และ Thyroxine (T4)

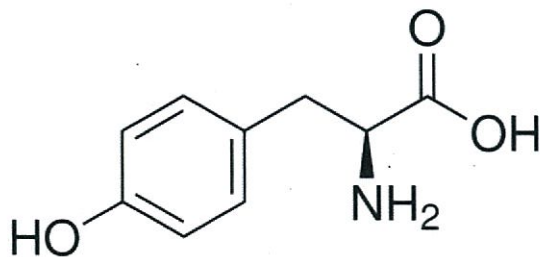


รูปที่ 2.3 แสดงต่อมไทรอยด์ที่จับกับไอโอดีนแล้วนำไปรวมกับกรดอะมิโนไทโรซีน

ที่มา : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/chapter1/thyroid.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทโรซีนหรือTry เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งซึ่งกรดอะมิโนเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างแอล-ไทโรซีน

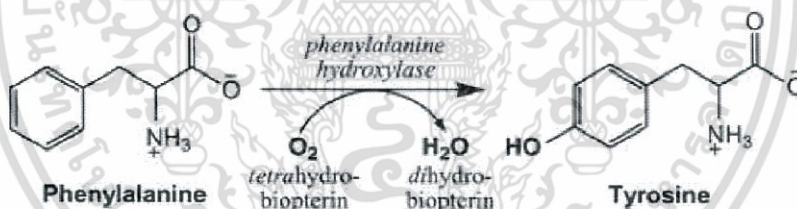
สูตรโมเลกุล $C_9H_{11}NO_3$

ชื่อสามัญ แอล-ไทโรซีน

ชื่อ IUPAC 2-amino-3-(4-hydroxyphenyl)propanoic acid

มวลโมเลกุล 181.19 กรัม

การสังเคราะห์ในร่างกาย ร่างกายสามารถสังเคราะห์ไทโรซีนได้จากฟีนิลอะลานีนซึ่งฟีนิลอะลานีนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ต้องรับประทานจากอาหารเท่านั้นโดยเอนไซม์ฟีนิลอะลานีนไฮดรอกซิเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนฟีนิลอะลานีนเป็นไทโรซีน



รูปที่ 2.5 แสดงการผลิตไทโรซีนจากฟีนิลอะลานีน

ความสำคัญของไทโรซีนในการเป็นสารตั้งต้นของสารสื่อประสาทได้แก่

- นอร์เอพิเฟริน (นอร์อะดรีนาลีน)

ทำหน้าที่เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มการหายใจเร็วขึ้น ทำให้ออกซิเจนไปเลี้ยงร่างกายและสมองมากขึ้น ทำให้อารมณ์และสมองทำงานได้ดีกว่าปกติ และหยุดกระบวนการบางอย่างของร่างกายเช่น กระบวนการย่อยอาหารหากร่างกายขาดนอร์อะดรีนาลีน อาจเกิดการไม่ตื่นตัว ความจำและการเรียนรู้ก็ลดลง อาจเกิดโรคซึมเศร้า

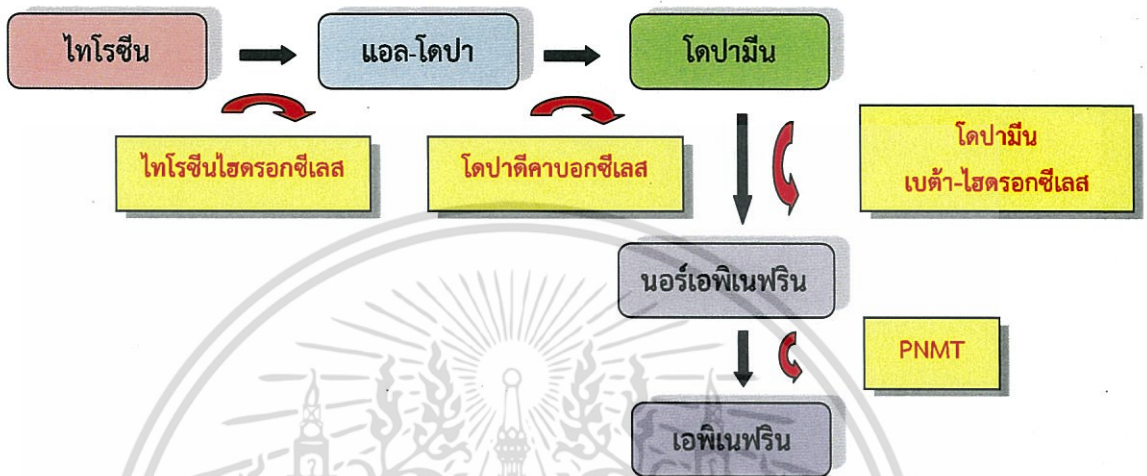
- เอพิเนเฟริน (อะดรีนาลีน)

ทำหน้าที่คล้าย นอร์เอพิเฟรินหากร่างกายขาดอะดรีนาลีน จะทำให้เราขาดความสุข ขาดความผ่อนคลาย เจ็บปวดง่าย รู้สึกไม่พึงพอใจในสิ่งต่างๆ และอารมณ์ที่ไม่เป็นสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดปามีน

ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวต่ออารมณ์ของบุคคล ช่วยให้มีความตื่นตัว กระฉับกระเฉง มีสมาธิมากขึ้น ไวต่อสิ่งกระตุ้นต่างๆ รอบตัว หากร่างกายขาดนอร์อะดรีนาลีน อาจเกิดการไม่ตื่นตัว ความจำและการเรียนรู้ก็ลดลง อาจเกิดโรคซึมเศร้า

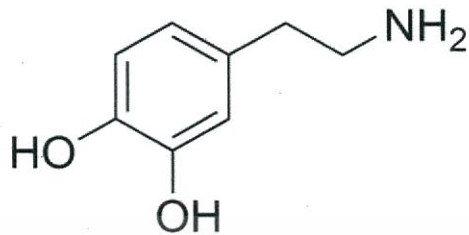


รูปที่ 2.6 แสดงการผลิตสารสื่อประสาท [7]
(เอกสารอ้างอิง: เมทาบอลิซึมและโภชนาการ, 2553)

โดปามีน(DA) เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญกับสมองและร่างกาย ซึ่งสังเคราะห์โดยการเปลี่ยนหมู่กรดอินทรีย์ของ L-DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanine) ให้เป็นหมู่อะมิโน ซึ่งเป็นสารเคมีที่ผลิตขึ้นในสมองและไต และพบว่าพืชและสัตว์บางชนิดก็สามารถสังเคราะห์ได้เช่นกัน ในสมอง โดปามีนทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) คอยกระตุ้น ตัวรับโดปามีน (dopamine receptor) โดปามีนทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนประสาท (neurohormone) ที่หลั่งมาจากสมองส่วนไฮโปทาลามัส (hypothalamus) หน้าที่หลักของฮอร์โมนตัวนี้คือยับยั้งการหลั่งโปรแลคติน (prolactin) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary)

ในร่างกายหลายๆ คนอาจมีการหลั่งสารโดปามีนออกมาน้อยเกินไป หรือเซลล์สมองส่วนที่สร้างโดปามีนตาย ซึ่งพบได้ในผู้สูงอายุ [8] นั่นจึงทำให้ผู้สูงอายุบางคนมีอาการทางระบบประสาท คือโรคพาร์กินสัน จะมีอาการมือไม้สั่น เกร็งเคลื่อนไหวช้า เพราะโดปามีนเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายนั่นเอง ตรงกันข้าม หากมีสารโดปามีนหลั่งออกมามากเกินไป ก็ทำให้เป็นคนคิดเร็ว สมองมีการตอบสนองดี สั่งการเร็ว อาจทำให้เป็นคนหุนหันพลันแล่น ไฮเปอร์ หรือก้าวร้าวได้ และถ้ายังมีมากจนเกินขีด คนนั้นอาจกลายเป็นคนหวาดระแวง บ้าคลั่ง มีอาการป่วยทางจิต เพราะสารนี้จะไปกระทบกับสมองส่วนฟรอนทัลที่ทำหน้าที่ควบคุมอารมณ์ ความรู้สึกนึกคิด การเรียนรู้ ความจำ ซึ่งจากการทดสอบผู้ป่วยโรคจิตเภทก็พบว่ามีสารโดปามีนในสมองมากกว่าคนปกติวิธี รักษาความสมดุลของโดปามีนก็คือ พยายามรับประทานอาหารจำพวกโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นม, ไข่, ถั่วเหลือง, อาหารทะเล, อัลมอนต์, เมล็ดธัญพืช, กล้วย และแอปเปิล เพราะโดปามีนผลิตมาจากกรดอะมิโนไทโรซีนที่มีในโปรตีนนั่นเอง จะช่วยให้สมองมีพลัง ตื่นตัว รู้สึกกระฉับกระฉวย



รูปที่ 2.7 แสดงสูตรโครงสร้างโดปามีน

สูตรโมเลกุล $C_8H_{11}NO_2$

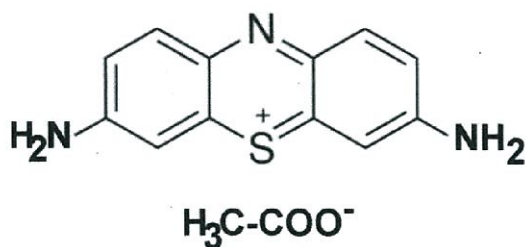
ชื่อสามัญ Dopamine

ชื่อIUPAC 4-(2-Aminoethyl)benzene-1,2-diol

มวลโมเลกุล 153.178 กรัม

การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของโดปามีน[9] ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีความสำคัญในระบบประสาทส่วนกลางและง่ายต่อสมบัติการเกิดออกซิเดชัน ในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของสารสื่อประสาทส่วนกลาง ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนนิยมใช้ในการวิเคราะห์อย่างแพร่หลายเมื่อเทียบกับขั้วโลหะเนื่องจากมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และจะได้กระแสที่ต่ำแต่ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วงกว้าง ทำให้มีแนวโน้มในการตอบสนองลดลงซึ่งเป็นผลมาจากการปนเปื้อนของขั้วไฟฟ้าที่ถูกรบกวนจากสารสำคัญ โดยสารรบกวนนั้นถูกสร้างขึ้นโดยกรดแอสคอร์บิก(AA) และ กรดยูริก(UA) ซึ่งพบวาระดับของ AA สูงกว่า DA 1,000 เท่า ในสมองของมนุษย์ แม้ว่า AA เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนในการวิเคราะห์จะเห็นการออกซิไดซ์ AA ได้หลายร้อยมิลลิโวลต์ ที่ศักย์ไฟฟ้าในเชิงบวกมากกว่า DA ด้วยเหตุผลนี้ทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณ DA ไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การปรับสภาพทางไฟฟ้าเคมีด้วยแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์

2.3 ไทโอนีน



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างไทโอนีนอะซิเตท

สูตรโมเลกุล $\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}$

ชื่อสามัญ Thionine acetate

ชื่อ IUPAC 3,7-diaminophenothiazin-5-ium

มวลโมเลกุล 287.337 กรัม

ไทโอนีน (Thionine) หรือที่เรียกว่า Lauth's violet คือเกลือของสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic compounds) ความหลากหลายของเกลือเป็นที่รู้จักรวมทั้ง คลอไรด์ (Cl) และ ไทโอนีนอะซิเตท ($\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}$) [10]

คุณสมบัติของสีย้อมและการใช้

Thionine เป็นสีย้อม metachromatic [11] การย้อมสีซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการย้อมสีทางชีวภาพ ไทโอนีนสามารถใช้แทนสารเคมีในการย้อม หาปริมาณ Feulgen ของดีเอ็นเอ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์อีกด้วย

2.4 อิเล็กโทรพอลิเมอไรเซชัน (Electropolymerization)

การใช้อิเล็กโทรพอลิเมอไรเซชัน ในการเตรียมขั้วไฟฟ้า [12] จากการเกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่มีขนาดเล็กบนผิวหน้าขั้ว เคยมีงานวิจัยได้กล่าวถึงการเตรียมขั้วไฟฟ้าแพลตตินัม และทิน ไดออกไซด์ ด้วย ไทโอนีนจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 15 นาที (1 ถึง 1.5 โวลต์ ด้วย ขั้วคาโบลเมล) บนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มสารละลาย ไทโอนีนใน 0.05 โมลาร์ สารละลายไดไฮโดรเจนซัลเฟต และทำซ้ำเป็นจำนวน 20 ชั้น จะได้แผ่นฟิล์ม ไทโอนีน และในการเตรียมขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนสำหรับการตรวจวัด AA, DA, UA และ Tyr [13] ทำโดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ +1.8 โวลต์ ใน 0.1 โมลาร์ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) พีเอช 7.00 และให้ค่าศักย์ไฟฟ้ากวาดไปที่ช่วง -0.4 ถึง +1.0 โวลต์ ที่มีสารละลาย 0.5 มิลลิโมลาร์ ไทโอนีน ผลที่ได้จะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มสีม่วงอยู่บนผิวหน้าขั้ว และยากที่จะหลุดออก

2.5 การตรวจปัสสาวะ (Urinalysis) [14]



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างปัสสาวะ

(ที่มา : <http://www.icphysics.com/modules.php?name=News&file=article&sid=77>)

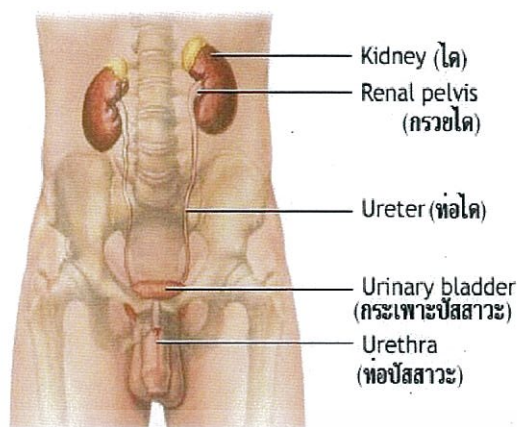
ปัสสาวะเป็นสิ่งที่ร่างกายไม่ต้องการ และขับถ่ายออกมา แต่ในทางการแพทย์ถือเป็นสิ่งที่มีประโยชน์มากมายในการช่วยวินิจฉัยและรักษาโรคได้ ทั้งนี้เพราะไตทำหน้าที่ขับของเสียออกจากเลือด ดังนั้นการตรวจปัสสาวะสามารถบอกหน้าที่ของไต และ การทำงานของระบบอื่น ในปัสสาวะมีสารเคมีมากมายที่ร่างกายขับออกมา ถ้านำมาตรวจหาชนิด และ ปริมาณที่ขับออกมาในแต่ละวัน จะสามารถบอกพยาธิสภาพบางโรคได้อย่างแม่นยำ

โดยอาศัยการตรวจทางฟิสิกส์ เคมี และ การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งในปัจจุบันมีความก้าวหน้า ในการตรวจทางห้องปฏิบัติการอย่างมาก ทำให้สามารถช่วยด้านการแพทย์ได้ คือ

- 1) เป็นการตรวจคัดกรองโรคบางชนิด (Screening test)
- 2) ช่วยในการวินิจฉัยโรคร่วมกับอาการและการตรวจอย่างอื่น
- 3) ช่วยในการแยกชนิดของโรคไต โรคทางเดินปัสสาวะ จากโรคอื่นๆ
- 4) มีประโยชน์ในการพยากรณ์โรค
- 5) ติดตามการดำเนินของโรค

ระบบขับถ่ายปัสสาวะ

ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (Urinary system) เป็นระบบที่ประกอบด้วยอวัยวะหลายอย่าง ทำหน้าที่ร่วมกันในการทำน้ำปัสสาวะ เก็บน้ำปัสสาวะชั่วคราว และ ขับน้ำปัสสาวะออกทิ้ง เพื่อเป็นการรักษาภาวะสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายในของร่างกาย



รูปที่ 2.10 อวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะ

อวัยวะในระบบขับถ่ายปัสสาวะที่สำคัญ ได้แก่

1) ไต (Kidneys)

เป็นอวัยวะสำคัญที่สุดของระบบนี้ มี 2 อัน รูปร่างคล้ายเมล็ดถั่วดำขนาด 10 X 5.5 เซนติเมตร อยู่บริเวณในช่องท้องสองข้างของกระดูกสันหลังระดับเอว ทำหน้าที่กรองสาร ดูดซับน้ำ ไอออน และสารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายกลับเข้าสู่กระแสเลือด และขับไอออน และสารอื่นๆ ที่ร่างกายไม่ต้องการ หรือมากเกินไป ออกจากร่างกายเพื่อการปรับสมดุล ความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย โดยไตจะขับปัสสาวะออกมาเรื่อยๆ ประมาณ 1 มิลลิลิตร/นาที สู่อัตไ้ทั้งสองข้าง

2) ท่อไต (Ureters)

เป็นท่อ 2 อัน ที่นำน้ำปัสสาวะออกจากไตไปสู่กระเพาะปัสสาวะ

3) กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder)

เป็นถุงที่เก็บสะสมน้ำปัสสาวะ ผิวด้านในมีรอยย่นเรียก รูแอก ซึ่งจะขยายออกได้ กระเพาะปัสสาวะปกติมีความจุได้ประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อมีปัสสาวะประมาณ 210 ถึง 300 มิลลิลิตร จะรู้สึกปวดอยากถ่ายปัสสาวะเนื่องจากปัสสาวะไปกระตุ้นปลายประสาทที่ผนังกระเพาะปัสสาวะ ทำให้กระเพาะปัสสาวะหดและบีบตัวเอาปัสสาวะออกมาทางท่อปัสสาวะ (urethra) เพื่อขับออกนอกร่างกาย ผู้ใหญ่ปกติจะถ่ายปัสสาวะ 600-1600 มิลลิลิตร/วัน ในเด็กไม่สามารถกลั้นปัสสาวะได้ เพราะระบบประสาทยังไม่สมบูรณ์

4) ท่อปัสสาวะ (Urethra)

เป็นท่อที่นำปัสสาวะจากกระเพาะปัสสาวะออกจากร่างกาย

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญในปัสสาวะพบว่า 95% เป็นน้ำ 2.5 % เป็นยูเรีย อีก 2.5% เป็นสารอื่นๆ ถ้าแยกส่วนประกอบที่เป็นมิลลิกรัมออกมาในน้ำปัสสาวะ 100 ซีซี (ลูกบาศก์เซนติเมตร) จะพบว่ามีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะใน 100 ซีซี

| ส่วนประกอบ | ปริมาณ (มิลลิกรัม) |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Urea Nitrogen | 682 |
| 2. Urea | 1,459 |
| 3. Creatinin Nitrogen | 36 |
| 4. Creatinin | 97 |
| 5. Uric acid nitrogen | 12.30 |
| 6. Uric acid | 36.90 |
| 7. Amino nitrogen | 9.70 |
| 8. Ammonia nitrogen | 57 |
| 9. Sodium | 212 |
| 10. Potassium | 137 |
| 11. Calcium | 19.50 |
| 12. Magnesium | 11.30 |
| 13. Chloride | 314 |
| 14. Total sulphate | 91 |
| 15. Inorganic sulphate | 83 |
| 16. Inorganic phosphate | 127 |

ตารางที่ 2.3 ตารางอ้างอิงช่วงระดับไทโรซีนในปัสสาวะ

| ประเภท | μm | mg/ml |
|----------------------------|---------------|---------|
| คนปกติ | 31-110 | 0.5-1.8 |
| ผู้ที่มีโอกาสเสี่ยงเป็นโรค | 360-600 | 6-10 |
| ผู้ป่วยที่เป็นโรคPKU | >1,200 | 20 |

(เอกสารอ้างอิง : เมทาบอลิซึมและโภชนาการ น.256-258)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 ตารางอ้างอิงช่วงโทปามีนในปัสสาวะ [15]

| อายุ | หน่วยธรรมดา | หน่วยSI |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3-8 ปี | 80-378 ไมโครกรัม / 24 ชั่วโมง | 523-2472 นาโนโมล / 24 ชั่วโมง |
| 9-12 ปี | 51-474 ไมโครกรัม / 24 ชั่วโมง | 334-3100 นาโนโมล / 24 ชั่วโมง |
| 13-17ปี | 51-645 ไมโครกรัม / 24 ชั่วโมง | 334-4218 นาโนโมล / 24 ชั่วโมง |
| > 17 ปี | 52-480 ไมโครกรัม / 24 ชั่วโมง | 340-3139 นาโนโมล / 24 ชั่วโมง |

(ที่มา : <http://emedicine.medscape.com/article/2088959-overview>)

ตาราง 2.5 ตารางอ้างอิงช่วงกรดยูริกในปัสสาวะ

| | หน่วย mg | หน่วย mmol |
|--------|----------|------------|
| คนปกติ | 250-750 | 1.48-4.43 |

(ที่มา : <http://www.webmd.com/arthritis/uric-acid-in-urine#2>)

วิธีการเก็บปัสสาวะอย่างถูกวิธีเพื่อผลการตรวจที่ถูกต้อง

ชนิดของตัวอย่าง : ปัสสาวะที่เก็บครั้งเดียว

ภาชนะ : กระป๋องปัสสาวะเป็นภาชนะที่แห้งสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ มีปากกว้าง และฝาปิดมิดชิด รวมทั้งเป็นภาชนะที่ใช้แล้วทิ้ง

Female urinary
system



Urine
sample
collected



รูปที่ 2.11 แสดงระบบทางเดินปัสสาวะของเพศหญิง

สำหรับเพศหญิง

- 1) ผู้มีรอบเดือนให้เลื่อนการตรวจปัสสาวะ จนกว่ารอบเดือนจะหมด
- 2) ล้างมือให้สะอาด
- 3) ทำความสะอาดบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์ ด้วยน้ำสะอาด และเช็ดให้แห้งด้วยกระดาษชำระ โดยต้องเช็ดจากส่วนบนลงในส่วนล่าง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากช่องทวารหนัก หากต้องการถ่ายอุจจาระ ควรเก็บปัสสาวะก่อน
- 4) ให้ปัสสาวะทิ้งช่วงต้นไปเล็กน้อย เก็บปัสสาวะในช่วงถัดมาประมาณครึ่งกระป๋อง โดยห้ามสัมผัสด้านใน ของภาชนะ และ ปัสสาวะช่วงสุดท้ายไป
- 5) นำปัสสาวะมาส่งให้เจ้าหน้าที่โดยเร็วที่สุด



สำหรับเพศชาย

- 1) ล้างมือให้สะอาด
- 2) รัดผืนหนังหุ้มปลายองคชาติ
- 3) ทำความสะอาดโดยเช็ดบริเวณรอบ ๆ ปลายองคชาติ ด้วยน้ำสะอาด และ เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษชำระ
- 4) ให้ปัสสาวะทิ้งช่วงต้นไปเล็กน้อย เก็บปัสสาวะในช่วงถัดมาประมาณครึ่งกระป๋อง โดยห้ามสัมผัสด้านใน ของภาชนะ และ ปัสสาวะช่วงสุดท้ายไป
- 5) ระวังไม่ให้ปนเปื้อนอุจจาระ หากต้องการถ่ายอุจจาระ ควรเก็บปัสสาวะก่อน
- 6) นำปัสสาวะมาส่งให้เจ้าหน้าที่โดยเร็วที่สุด

วิธีการตรวจปัสสาวะ

การตรวจปัสสาวะเพื่อวินิจฉัยโรคทางห้องปฏิบัติการ แบ่งออกเป็น

2.5.1 การตรวจคุณสมบัติทางกายภาพ(Physical examination)

ได้แก่ ตรวจหาปริมาณ, สี, กลิ่น, ความขุ่น และ ความถ่วงจำเพาะ

2.5.2 การตรวจคุณสมบัติทางเคมี (Chemical examination)

เป็นการตรวจความเป็นกรด-ด่าง และสารเคมีต่างๆเช่น โปรตีน, กลูโคส, คีโตน และ ยูโรบิรินเจน เป็นต้น

รายงานการตรวจวิเคราะห์ปัสสาวะ

2.5.1 การตรวจคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical examination) ได้แก่

2.5.1.1 สี (Color)

ค่าปกติ สีเหลืองอ่อนและใส (Yellow Clear) แต่จะมีความอ่อนถึงแก่ของสีแตกต่างกันได้ตามความเข้มข้นของปัสสาวะ หากปัสสาวะที่ถ่ายออกมามีสีอื่น เช่น แดง และ น้ำตาล ฯลฯ อาจเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ อาหาร, ยา และ สารสีต่าง ๆ หรือ ผลิตผลจากระบบเผาผลาญของร่างกาย การดูสีปัสสาวะ จึงเป็นเครื่องบ่งชี้ข้อแรกสำหรับโรคไต และภาวะผิดปกติของระบบเผาผลาญอาหาร

- 1) สีฟางข้าว (straw) ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.010
- 2) สีเหลืองอ่อน (pale yellow) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.011–1.019
- 3) สีอำพัน (amber) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.020
- 4) สีแดงใส เกิดจากภาวะที่ปัสสาวะมีสีของฮีโมโกลบินจากเม็ดเลือดแดงที่แตกแล้ว
- 5) สีคล้ายนม เกิดจากภาวะที่ปัสสาวะมีเซลล์เม็ดเลือดขาวมาก
- 6) สีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองอมเขียว เนื่องจากมีน้ำตาลในปัสสาวะ

2.5.1.2 ความขุ่น (Turbidity)

ค่าปกติ ใส (clear) ปัสสาวะอาจจะขุ่นได้แต่ไม่พบสิ่งผิดปกติซึ่งอาจเกิดจากแบคทีเรียในปัสสาวะที่ตั้งทิ้งไว้ อาหารและยาบางชนิดที่รับประทาน เช่น ออสลันฐานของฟอสเฟต ยูเรต และคาร์บอนेट เป็นต้น การรายงานความขุ่นนิยมรายงานเป็นใส ขุ่นเล็กน้อย หรือขุ่น ตั้งแต่เล็กน้อย (1+) ไปถึงขุ่นมาก (4+)

- 1) ปัสสาวะขุ่นที่มีความผิดปกติ เช่น พบเซลล์เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และ แบคทีเรียในผู้ที่มี การอักเสบของทางเดินปัสสาวะ

2.5.1.3 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ค่าปกติ 1.003 – 1.030 เป็นการวัดความสามารถของไตในการควบคุมความเข้มข้นและส่วนประกอบของของเหลวในร่างกายให้คงที่ อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ดื่มเข้าไป อุณหภูมิและการออกกำลังกาย

- 1) ถ้าสูงเกินไป อาจเกิดจากร่างกายขาดน้ำ เช่น ดื่มน้ำน้อย, ท้องร่วง รุนแรง และ ได้น้ำชดเชยน้อยเกินไปทำให้ขาดน้ำในกระแสเลือด ปัสสาวะจึงเข้มข้น
- 2) ถ้าต่ำไป อาจเกิดจากการดื่มน้ำมากเกินไป ร่างกายจึงกำจัดน้ำ ออกมาทางปัสสาวะมาก หรือ เป็นโรคที่ทำให้มีปัสสาวะออกมามากผิดปกติ เช่น โรคเบาเจ็ด

2.5.2 การตรวจคุณสมบัติทางเคมี (Chemical examination) ได้แก่

2.5.2.1 ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

ค่าปกติ 4.6 - 8.0 เป็นการบอกความสามารถของไตในการควบคุมสมดุลกรด - ด่างของร่างกาย เปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการเผาผลาญอาหาร ชนิดของอาหาร โรค และการใช้ยา ค่าความเป็นกรด และด่างของปัสสาวะมีผลต่อการออกฤทธิ์ของยาบางอย่าง และการตกตะกอนของสารบางอย่าง ในปัสสาวะทำให้เกิดนิ่วได้

- 1) ปัสสาวะเป็นกรด พบในภาวะ อดอาหาร รับประทานโปรตีนมากเกินไป การติดเชื้อ ยาบางชนิด
- 2) ปัสสาวะเป็นด่าง พบในภาวะกินเจ หรือ ยาบางชนิด

2.5.2.2 โปรตีน (Protein)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative) การตรวจพบโปรตีนในปัสสาวะหมายถึงการที่มีโปรตีนมากกว่าปกติในปัสสาวะอาจเป็น เครื่องบ่งชี้ที่สำคัญอย่างหนึ่งของโรคที่มีพยาธิสภาพภายในไต, ไตอักเสบเรื้อรังและเฉียบพลัน, ภาวะแพ้ปัสสาวะอักเสบ, ท่อปัสสาวะอักเสบ และการสัมผัสสารโลหะหนักบางชนิด เช่น พรอท และ แคลดเมียม มีฤทธิ์ในการทำลายเนื้อไต มีผลทำให้โปรตีนออกมาในปัสสาวะจำนวนมาก โรคเบาหวานที่เริ่มมีโรคแทรกซ้อน การตั้งครรภ์ระยะท้ายๆ มีไข้

- 1) การตรวจพบโปรตีนในปัสสาวะเป็นช่วงๆ มักจะเกิดจากภาวะการทำงานของร่างกายมากกว่าที่จะเป็นโรคไต เช่น มีการออกกำลังกายหักโหมเกินไป ยืนเดินนานๆ อยู่ในภาวะเครียดวิตกกังวล การเก็บปัสสาวะในขณะที่มีการแข็งตัวของอวัยวะเพศในเพศชาย การเก็บปัสสาวะในขณะที่มีรอบเดือน เป็นต้น

- 2) การรายงานผลจะรายงานเป็น Trace , 1+ , 2+ , 3+ และ 4+ หมายถึง พบโปรตีนในปริมาณน้อยๆ ไปจนถึงปริมาณมากตามลำดับ

2.5.2.3 น้ำตาล (Glucose)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

การตรวจพบกลูโคสในปัสสาวะจะสงสัยว่าอาจจะเป็นเบาหวาน ควรจะงดอาหารไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง แล้วเจาะเลือด ดูน้ำตาลในเลือดเพื่อยืนยันโรคเบาหวานต่อไป

- 1) ถ้าตรวจพบกลูโคสในปัสสาวะ ในขณะที่ระดับน้ำตาลในเลือดปกติ อาจเกิดจากหลอดเลือดฝอยในไตมีความสามารถในการดูดซึมกลูโคสกลับได้น้อยกว่าปกติ กรณีที่พบกลูโคสในปัสสาวะได้ เช่น หลังรับประทานอาหารหนัก หรือ เกิดความกดดันทางอารมณ์
- 2) การรายงานผลจะรายงานเป็น Trace , 1+ , 2+ , 3+ และ 4+ หมายถึง พบน้ำตาลในปริมาณน้อยๆ ไปจนถึงปริมาณมากตามลำดับ

2.5.2.4 คีโตน (Ketone)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

การตรวจพบสารคีโตนในปัสสาวะอาจพบว่าเป็นการเกิดจากการจำกัดอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ทำให้ร่างกายมีการเผาผลาญอาหารประเภท ไขมันเพิ่มขึ้นเพื่อใช้เป็นพลังงาน จะพบได้ในโรคเบาหวาน หรือ มีการจำกัดอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น

2.5.2.5 เม็ดเลือด (Occult blood)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative) ใช้ตรวจสอบฮีโมโกลบินซึ่งมีอยู่ในเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดแดงในปัสสาวะ มักพบในภาวะไตอักเสบเฉียบพลัน, เลือดคั่งในไต, นิ่ว, มะเร็งที่ไต และ วัณโรคที่ไต

2.5.2.6 บิลิรูบิน (Bilirubin)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

การตรวจพบบิลิรูบิน ในปัสสาวะแสดงถึงโรคที่เกิดจากเซลล์ตับ หรือมีการอุดตันของทางเดินน้ำดี การตรวจนี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นในการวินิจฉัยโรค

2.5.2.7 ยูโรบิลิโนเจน (Urobilinogen)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

โดยทั่วไปโรคใดที่ทำให้บิลิรูบิน เพิ่มขึ้นจะทำให้ ยูโรบิลิโนเจน เพิ่มขึ้นด้วย โรคชนิดใดที่ทำให้ตับไม่สามารถกำจัดยูโรบิลิโนเจน ได้ จะทำให้มี ยูโรบิลิโนเจน ในปัสสาวะเพิ่มขึ้น รวมทั้งในภาวะที่มีการทำลายของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น เช่น โรคโลหิตจาง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการตรวจ ยูโรบิลิโนเจนในปัสสาวะมีประโยชน์มากเพราะสามารถช่วยในการแยกชนิดของ โรคตับ, โรคโลหิตจาง

และการอุดตันของท่อน้ำดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำการตรวจเป็นระยะๆ จะติดตามการดำเนินของโรคและดูการตอบสนองต่อการรักษา

2.5.2.8 เลือด (Blood)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative) การพบเลือดแสดงว่ามีเลือดออกในทางเดินปัสสาวะ เช่น นิ่ว เนื้องอก กระเพาะปัสสาวะอักเสบ

2.5.2.9 ไนไตรท์ (Nitrite)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

ตรวจเพื่อใช้เป็นเครื่องบ่งชี้การอักเสบของทางเดินปัสสาวะเนื่องจากแบคทีเรีย ดังนั้นจึงควรทำการตรวจภายใน 1 ชั่วโมง หลังเก็บปัสสาวะ

2.5.2.10 เม็ดเลือดขาว (Leukocytes)

ค่าปกติ ไม่มี (Negative)

การพบเม็ดเลือดขาวแสดงว่ามีกรดติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ เช่น กระเพาะปัสสาวะอักเสบ และ กรวยไตอักเสบ

สีปัสสาวะบอกโรค

1) ปัสสาวะออกมาเป็นสีอมแดง

หากปัสสาวะออกมาเป็นสีนี้ต้องลองนึกให้ออกว่าได้รับประทานอาหารอะไรที่เป็นสีทำนองนี้หรือเปล่า เช่น แบล็คเบอร์รี่หรือผักกาดม่วง แต่ถ้าแน่ใจว่าไม่ได้กินอะไรใกล้เคียงกับสีแดงเลย มีความเสี่ยงมาก เพราะสีแดงนั้นอาจจะเป็นเลือดที่ขับออกมาจากไตหรือกระเพาะปัสสาวะอาจอักเสบ หรือไม่ก็อาจจะมีอะไรในร่างกายที่ผิดปกติเป็นแน่ ควรรีบปรึกษาแพทย์โดยด่วน

2) ปัสสาวะเป็นสีน้ำตาล

มองได้ 2 อย่างคือ อาจเกิดจากการรับประทานถั่วในปริมาณที่มาก หรือว่าอาจจะเป็นลิ่มเลือดที่ปนออกมาก็ได้ ทางที่ดีควรปรึกษาแพทย์ดีกว่า

3) ปัสสาวะออกเป็นสีเหลือง

ถ้าปัสสาวะออกเป็นสีเหลืองอ่อน เป็นไปได้ว่าวันนั้นร่างกายจะได้รับวิตามินบี 2 มากเกินความต้องการจนต้องขับออกมา แต่ถ้าเป็นสีเหลืองเข้มก็หมายความว่า คุณดื่มน้ำน้อยเกินไปแล้ว แต่ถ้ามั่นใจว่าดื่มน้ำเยอะแล้วแต่ทำไมปัสสาวะยังเป็นสีเหลืองเข้มอยู่เหมือนเดิม ก็คงต้องรีบปรึกษาแพทย์เพราะอาจมีโรคไตแฝงมาแล้วก็ได้

4) ปัสสาวะมีสีขุ่น

ในผู้ที่ปัสสาวะสีขุ่นให้ลองดื่มน้ำสดดูว่าหายหรือไม่ ถ้าไม่หาย อาจเนื่องมาจากติดเชื้อบางอย่างก็ได้ อาการอย่างนี้ควรปรึกษาแพทย์

5) ปัสสาวะมีสีส้ม

อาจเป็นผลข้างเคียงที่เกิดจากการใช้ยาโพรีเดียมที่ใช้ในการรักษาโรคระเพาะปัสสาวะอีกเสบ

6) ปัสสาวะเป็นสีน้ำเงิน

ถ้าปัสสาวะมีสีอย่างนี้ ไม่ต้องแปลกใจ โดยเฉพาะหากคุณทานยาแก้อาการคลื่นปัสสาวะไม่อยู่ เพราะในยามีส่วนผสมของสารเมธิลีน และขับออกมาทางปัสสาวะ ปัสสาวะจึงมีสีออกฟ้าๆ

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

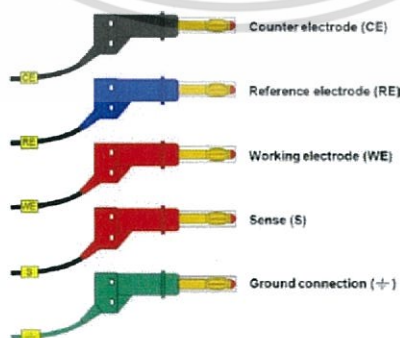


รูปที่ 2.13 เครื่องมือโพเทนชิโอสแตต

(ที่มา : <http://www.sci.ku.ac.th:8000/th/sec/index.php/instruments/62-potentiostat-galvanostat.html>)

เครื่อง Potentiostat ของ Autolab รุ่น PGSTAT

- ต่อสายไฟจากขั้วไฟฟ้าใช้งาน (WE) ขั้วไฟฟ้าช่วย (CE) และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (RE) ไปยังเครื่อง potentiostat



รูปที่ 2.14 แสดงการเชื่อมต่อที่พร้อมใช้งานบนสายไฟสำหรับอโต้แลป

(ที่มา: <https://www.slideshare.net/norolaynsaid/autolab-a-laboratory-instrument>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าสายไฟของเครื่องโพเทนชิโอสแตทจะมีทั้งหมด 5 ตัวเชื่อมต่อ [16] คือ CE, RE, WE, S และ G

CE ศักย์ไฟฟ้าจะวัดระหว่าง RE (สีน้ำเงิน) กับ S (สีแดง) เสมอ และกระแสจะวัดระหว่าง WE (สีแดง) กับ CE (สีดำ) ส่วนตัวเชื่อมต่อพื้นดิน (สีเขียว)สามารถนำมาใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับพื้นของ PGSTAT

โพเทนชิโอสแตทเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวควบคุมการจ่ายความต่างศักย์และวัดกระแสไฟฟ้าที่มีความละเอียดและถูกต้องสูง ในปัจจุบันโพเทนชิโอสแตท จะต่อกับคอมพิวเตอร์และมีซอฟต์แวร์ ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและแสดงผลการวิเคราะห์ ทำให้เราสามารถทำงานได้สะดวก เครื่องโพเทนชิโอสแตทจะถูกต่อไปยังเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบสามขั้ว (Three electrode electrochemical cell) [17]



รูปที่ 2.15 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบสามขั้ว (three electrode electrochemical cell)

ขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้วสามขั้วนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันแต่ไม่ต่อกัน โดยจุ่มอยู่ในสารละลายภายในเซลล์เคมีไฟฟ้า เซลล์นี้ซึ่งส่วนใหญ่จะทำด้วยแก้วจะบรรจุสารละลายซึ่งประกอบด้วยสารที่ต้องการวิเคราะห์ ตัวทำละลาย และอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายและเป็นตัวทำให้อาร์ละลายมีค่าการนำไฟฟ้าดีขึ้น ตัวทำละลายและอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมควรเป็นสารประกอบที่ไม่รบกวนปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารที่เราสนใจ และมีความเสถียรในสภาวะที่เราทำการวิเคราะห์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Md. Mahbubur Rahman และคณะ [18] ได้ศึกษาตัวตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าโดยการปรับปรุงขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน (GCE) โดยใช้พอลิไทโอนีน (AGCE/PTH) สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไทโรซีน เพื่อให้ขั้ว GCE มีความเลือกจำเพาะ ว่องไวในการวิเคราะห์ เป็นวิธีที่ง่าย และ อีกทั้งยังสามารถขั้วที่ได้ทำการปรับปรุงแล้วมาหาปริมาณของสารที่รบกวนต่อการวิเคราะห์ไทโรซีน(Tyr) คือ กรดยูริก(UA), กรดแอสคอร์บิก(AA) และกรดโดปามีน(DA) สำหรับการปรับปรุงขั้วGCEด้วยไทโอนีนโดยนำขั้วนั้นจุ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 จากนั้นให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้าที่ +1.8 โวลต์ เป็นเวลา 400 วินาที แล้วจึงทำพอลิเมอร์ไรซ์ไทโอดีนโดยการนำขั้ว GCE ที่ผ่านการ anodized มาแล้วจุ่มในสารละลายไทโอดีนที่เข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ และให้ ศักย์ไฟฟ้าที่ให้อยู่ที่ช่วง -0.4 ถึง 0.1 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้ว GCE มีแผ่นฟิล์มสีม่วงของพอลิไทโอดีนเคลือบอยู่ ในงานวิจัยนี้พบว่าขั้ว AGCE/PTH ให้ความไวในการวิเคราะห์สูงแสดงได้จากการแยกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง AA-DA, DA-UA, และ UA/Tyr ได้ 157, 135 และ 325 ตามลำดับ ในขณะที่ขั้ว GCE ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงจะให้สัญญาณค่าการออกซิเดชันของไทโรซีน ที่แยกจากสารรบกวนนั้นมีความไวในการวิเคราะห์ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ขั้ว AGCE/PTH ยัง แสดงความเลือกจำเพาะที่ดีในการตรวจวัดไทโรซีนคือให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไทโรซีนอยู่ช่วง 1 ไมโครลาร์ ถึง 250 มิลลิโมลาร์ มีความไวในการวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ได้ใน ปริมาณที่ต่ำๆได้และพบว่าขั้ว AGCE/PTH สามารถตรวจวัดได้ $1.05 \mu\text{A}/\text{cm}^2/\mu\text{M}$ และ $0.57 \mu\text{M}$ ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้นำขั้ว AGCE/PTH มาวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าในการตรวจวัดไทโรซีน ในน้ำเลือดและปัสสาวะ

Jiaqi Deng และคณะ [19] ได้ศึกษางานวิจัยการปรับปรุงขั้วกลาสคาร์บอนด้วยสารละลาย ไทโอดีน (GCE/PTH) เพื่อเป็นตัวตรวจวัดทางชีวภาพในการศึกษาปฏิกิริยาการรีดักชัน (reduction) H_2O_2 กับ PTH บนผิวหน้าขั้ว โดยมี 2 ขั้นตอน ในการทำ 2.4 อิเล็กโตรพอลิเมอร์ไรซ์เซชันประกอบด้วยขั้น 1 คือการนำเอากลาสคาร์บอน (GCE) วัดไทโอดีนที่มีความเข้มข้น 1.10^{-4} โมลาร์ ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH ที่เป็นกลาง โดยเริ่มให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ +1.5 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาทีและตามด้วยขั้นที่ 2 คือ เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่แล้วจึงเริ่มให้ศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ ระหว่างช่วง -0.4 ถึง +0.1 โวลต์ และใช้อัตราการสแกน (scan rate) ที่ 0.5 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยพบว่าการเกาะติดของแผ่นฟิล์ม PTH นั้นขึ้นกับระยะเวลาของการเริ่มให้ศักย์และ กระแสไฟฟ้าลงบนผิวหน้าขั้ว ซึ่งระยะเวลานี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ประจุบวกสะสมรวมกันอยู่ บนผิวหน้าขั้วอยู่เป็นปริมาณมากดังนั้นประจุลบของไทโอดีนจะเข้าทำปฏิกิริยาขณะทำการ อิเล็กโตรพอลิเมอร์ไรซ์เซชันจะเกิดเป็นพอลิไทโอดีนซึ่งสังเกตเห็นจะเป็นแผ่นฟิล์มสีทองที่เกาะติด บนผิวหน้าขั้ว เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะค่อนข้างเรียบและเกาะติดแบบถาวร โดยความแข็งแรง ในการเกาะติด PTH บนหน้าขั้วโดยทำการอัลตราโซนิคส์ เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งไม่มีผลต่อการ วิเคราะห์

Xiurong Yang และคณะ [20] ได้ทำการปรับปรุงขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนโดยใช้พอลิไทโอดีน (SPCEs/PTH) สำหรับการวิเคราะห์ NADH ด้วย Flow injection analysis (FIA) ซึ่งตรวจวัด ในระดับความเข้มข้นทั่วไปที่ 5-100 ไมโครโมลาร์ ซึ่งขั้นตอนสำหรับการเคลือบผิวหน้าด้วย ไทโอดีนทำโดยการอิเล็กโตรพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน ไทโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลาย ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มี pH เป็นกลาง เริ่มจากการให้ศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 1.1 โวลต์ อัตราการสแกนอยู่ที่ 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที จากนั้นนำขั้วที่ทำกรอิเล็กโตรพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสร็จแล้วนั้นไปทำอัลตราโซนิกส์ เพื่อละลายเอามอนอเมอร์ของพอลิไทโอนีนออก ในการปรับปรุงขั้วพบว่า PTH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าที่มีการตอบสนองต่อ NADH ที่มีความเสถียรและสามารถทำได้หลายๆสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งมีการใช้งานหลากหลายในการอธิบายลักษณะการเกิดแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนีนแสดงโดยเทคนิคทั่วไปคือ voltammetry, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) และ Scanning electron microscopy (SEM)

Jae-Joon Lee และคณะ [21] ได้ศึกษาการอธิบายลักษณะของพอลิไทโอนีนในการปรับปรุงขั้วกลาสคาร์บอน (GCE/PTH) สำหรับการวิเคราะห์กรดโดปามีน(DA) และ ยูริก(UA) โดยในการตรวจหาโดปามีนและยูริกพร้อมๆกันนั้นจะมีกรดแอสคอบิก(AA) เป็นสารรบกวนอยู่เสมอ งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่มีเสถียรและมีความไว เพื่อการปรับปรุงขั้วด้วยไทโอนีน ซึ่งเริ่มจากการนำ GCE จุ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 จากนั้นให้ศักย์ไฟฟ้าที่ +1.8 โวลต์ เป็นเวลา 400 วินาที แล้วจึงทำพอลิเมอร์ไรโทไอออนโดยการนำ GCE ที่ผ่านการอโนไดซ์ มาแล้วจุ่มในสารละลายไทโอนีนเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์และให้ศักย์ไฟฟ้าที่ให้อยู่ในช่วง -0.4 ถึง 0.1 โวลต์ พบว่าขั้ว GCE/PTH เป็นตัวตรวจวัดที่ทำการแยกสัญญาณการออกซิเดชันของ DA และ UA ออกจาก AA ได้อย่างชัดเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าการปรับปรุงขั้วด้วย PTH มีค่ากระแสของพีการออกซิเดชันของ DA และ UA ของทั้งคู่ให้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ระดับความเข้มข้น 5 ถึง 30 ไมโครโมลาร์ ในขณะที่ AA อยู่ที่ 200 ไมโครโมลาร์ ความไวในการวิเคราะห์แสดงที่ 22.87 และ 6.02 $\mu\text{A}/\text{cm}^2/\text{M}$ นอกจากนี้ขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำสุดของ DA และ UA อยู่ที่ 0.7 และ 1.7 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ (S/N=3) ซึ่งขั้วไฟฟ้านี้จะมีการสะสมประจุที่ผิวหน้าขั้วของฟิล์ม PTH เมื่อใช้ pH ของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณของ DA และ UA ไปพร้อมๆกัน

S. Abraham John และคณะ [22] ได้ศึกษาการพัฒนาขั้วกลาสคาร์บอนด้วย 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole (p-AM ta) โดยวิธีอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชันเพื่อวิเคราะห์ไทโรซีน (Tyr) ซึ่งในการวิเคราะห์หา Tyr โดยงานวิจัยทำการพัฒนาขั้วเพื่อตรวจวัดไทโรซีนในปัสสาวะของมนุษย์ ซึ่งมักจะมีสารรบกวนสำคัญอยู่คือ กรดยูริก(UA), กรดแอสคอบิก(AA) และโดปามีน(DA) โดยนำสารดังกล่าวมาละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ใน pH ที่เป็นกลาง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพบว่าไม่สามารถแยกสัญญาณของไทโรซีนออกจากสารรบกวนเช่น UA และ DA ด้วยเทคนิคโวลแทมเมตริกได้อย่างชัดเจน ในงานวิจัยนี้พบว่าขั้ว p-AM ta ไม่สามารถแยกสัญญาณของ AA, UA และ Tyr ได้ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 และ 300 มิลลิโวลต์ ระหว่าง AA-UA และ UA-Tyr ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถบอกถึงค่ากระแสสูงสุดของการออกซิเดชันของสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ และขั้ว p-AM ta แสดงถึงความสามารถในการเลือกการวิเคราะห์หาปริมาณไทโรซีนที่มีระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าของ AA และ UA ได้ โดยค่ากระแสที่วัดได้ของไทโรซีนเพิ่มขึ้นอย่างเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นตรงที่ระดับความเข้มข้นในช่วง $5.0 \times 10^{-8} - 1.0 \times 10^{-4}$ โมลาร์ และพบว่าความสามารถขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดอยู่ที่ 1.9×10^{-10} โมลาร์ ($S/N = 3$)

Chunya Li [23] ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาไทโรซีนด้วยชีวไฟฟ้าที่ถูกปรับปรุงด้วยแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ poly-L-serine โดยการทำ อิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน L-serine บนขั้วกลาสคาร์บอน(GCE) เพื่อนำไปตรวจวัดหาปริมาณของไทโรซีนในกรดอมิโนทางการค้า หรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และศึกษาพฤติกรรมของไทโรซีนบนขั้ว poly-L-serine ด้วยเทคนิคโวลแทมเมตริก และ linear sweep voltammetry ทำในสภาวะที่เหมาะสมซึ่งเห็นกระแสออกซิเดชันของไทโรซีนบนขั้วฟิล์ม poly-L-serine เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยงานวิจัยนี้พบว่าเห็นพีคออกซิเดชันของไทโรซีนอยู่ที่ 0.9 โวลต์ และในช่วงความเข้มข้น 3.0×10^{-7} ถึง 1.0×10^{-4} โมลต่อลิตรจะเห็นการออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง และงานวิจัยนี้พบว่าขีดจำกัดต่ำสุดของความเข้มข้นในการตรวจวัดได้อยู่ที่ 1.0×10^{-7} โมลต่อลิตร

Bin. FANG และคณะ [24] ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาไทโรซีนด้วยเทคนิคไฟฟ้าเคมีโดยปรับปรุงขั้วคาร์บอนด้วย 9-aminoacridine ซึ่งที่ผิวหน้าของขั้วจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม poly (9-aminoacridine) การปรับปรุงขั้วไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขั้วที่ไม่ได้รับการปรับปรุง งานวิจัยนี้พบว่าแผ่นฟิล์ม poly (9-aminoacridine) นี้จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาให้การออกซิเดชันของไทโรซีนที่หน้าขั้วสูงขึ้น และยังช่วยแยกทริปโตเฟนที่เป็นสารรบกวนในการวิเคราะห์ของไทโรซีนออกได้ ซึ่งแสดงได้จากค่ากระแสที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยที่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมนี้ ขั้ว poly (9-aminoacridine) สามารถวิเคราะห์หาไทโรซีนได้ในระดับความเข้มข้นช่วง $1.0 \times 10^{-6} - 2.8 \times 10^{-3}$ โมลาร์ และได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ 0.9987 นอกจากนี้ขั้วดังกล่าวมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดอยู่ที่ 1.0×10^{-7} โมลาร์ ($S/N=3$) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงประสบความสำเร็จในการนำ ขั้วคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วย poly (9-aminoacridine) นี้วิเคราะห์หาความเข้มข้นของไทโรซีนในกรดอมิโนที่รับประทานเข้าไป และนอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึง ความสามารถในการตรวจวัดซ้ำๆ ของขั้วได้ดี และมีความไวในการวิเคราะห์ที่สูง รวมถึงยังราคาไม่สูง

Xiang-Qin Lin และ Guang-Ping Jin [25] ศึกษาพฤติกรรมเคมีไฟฟ้าและแอมเพอโรเมตริกในการปรับปรุงขั้วกลาสคาร์บอนด้วยบิวทิลโคลไรด์ butrylcholine (BuCh) เพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดหาไทโรซีน โดย BuCh ที่ถูกใช้สำหรับการปรับปรุงขั้วกลาสคาร์บอนนั้น (BuCh/GCE) ทำโดยเริ่มจากการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน จากนั้นตรวจสอบการเกาะติดบนหน้าขั้วด้วยวิธี X-ray photoelectron spectroscopy และ UV-VIS ในขณะที่การทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า BuCh จะเกิดการ ไฮโดรไลซ์ ได้คลอไรด์ และ กรดบิวทาลิก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งสองตัวนี้จะไปเกาะติดอยู่ที่บนหน้าขั้ว โดยการติดกันเป็นชั้นนั้นขึ้นกับโคเวเลนต์ของตัวคลอไรด์ ในงานวิจัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ได้ค้นพบการพัฒนาชั่วคราวขึ้นมาใหม่จากการมีสารผสมกันสองชนิดเข้าด้วยกัน และในทางเคมีไฟฟ้าการปรับปรุงชั่วคราว BuCh/GCE ช่วยเป็นตัวทดสอบปฏิกิริยาเบื้องต้นของกรดอะมิโน ซึ่งพบว่า ไทโรซีน และทริปโตเฟนสามารถเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชัน แพรบนชั่วคราวชนิดนี้ได้ ในระดับความเข้มข้นที่ชั่วคราว BuCh/GCE สามารถวิเคราะห์ไทโรซีนได้นั้นอยู่ในช่วง 4.0×10^{-6} ถึง 1.0×10^{-6} โมลาร์และทริปโตเฟนอยู่ในช่วง 2.0×10^{-6} ถึง 6.0×10^{-5} โมลาร์ และขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดอยู่ที่ 4.0×10^{-7} โมลาร์ และ 6.0×10^{-7} โมลาร์ สำหรับ ไทโรซีนและทริปโตเฟนตามลำดับโดยตัวตรวจวัดชนิดนี้มีความเสถียรและทำซ้ำได้อย่างน้อยหนึ่งเดือน อีกทั้งในทางเทคนิคของเคมีไฟฟ้าชั่วคราว BuCh/GCE ตัวสารคลอไรด์ยังมีความคล้ายกับการปรับปรุงชั่วคราวโดย acetylcholine และ propionylcholine อีกด้วย

Carmen Quintana และคณะ[26] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดไทโรซีนเพื่อศึกษาเคมีซูพราโมเลคิวลาร์ หรือ เคมีของโฮสต์กับเกสต์ ในปฏิกิริยาระหว่างไซโคลเดกทรีน และ ไทโรซีนจากการใช้ชั่วคราวนาโน ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์หากรดอะมิโนตัวดังกล่าวนี้ โดยวัตถุประสงค์ของงานนี้คือการเกินชั้นของหมู่ไฮดรอกซิลไซโคลเดกทรีนบนชั้นทอง ข้อดีของการพัฒนาวิธีนี้ช่วยเพิ่มผิวหน้าชั่วคราวในการรับอิเล็กตรอนของกรดอะมิโนตัวที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าวิเคราะห์หาปริมาณไทโรซีนที่ให้ค่ากระแสได้ดีในช่วงความเข้มข้น 3.6×10^{-5} โมลาร์ ถึง 2.4×10^{-4} โมลาร์ และพบว่าขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดอยู่ที่ 1.2×10^{-5} โมลาร์ สำหรับความถูกต้องความแม่นยำของวิธีนั้นให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ต่ำกว่า 13% และ % RSD (n = 5) มีค่าน้อยกว่า 5.4 %

Sona Skrovankova¹ และคณะ [27] ได้ศึกษาวิธีทางเคมีไฟฟ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ที่เป็นส่วนสำคัญในระบบประสาทของมนุษย์ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง รวมถึงยังมีความสำคัญต่อระบบเอนไซม์ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกนั้นอาศัยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า ที่มีความง่าย สะดวกและรวดเร็ว ชั่วคราวไฟฟ้าที่ถูกใช้วิเคราะห์การออกซิเดชันแอสคอร์บิกมีแบบหลากหลาย ซึ่งชั่วคราวไฟฟ้าแบบเก่าอย่างเช่น Hg, Au, Pt และกลาสสคาร์บอน แต่อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดแอสคอร์บิกนั้นมักมีปัญหาการเกาะติด และเลอะบนผิวหน้าชั่วคราวจากการออกซิเดชัน ซึ่งเมื่อทำการตรวจวัดชั่วคราวไฟฟ้าที่ไม่ได้ถูกการปรับปรุงพบว่ามีปัญหาในการออกซิเดชันของสารขึ้นซ้อนทับกัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้อาจได้ถูกแก้ไขโดยการปรับปรุงชั่วคราวไฟฟ้าให้มีความจำเพาะต่อการตรวจวัดสารให้มากขึ้น เช่นการปรับปรุงชั่วคราวด้วยเบนโซควิโนน, เฟอร์โรซีน, 1-1-ไดเมทิลเฟอร์โรซีน เป็นต้น

Takeo Ohsaka และคณะ [28] ได้ศึกษาการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าด้วยการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์-ไรเซชัน N,N-dimethylaniline(DMA) เพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดสารโดปามีน (DA) และกรดแอสคอร์บิก (AA) ซึ่งโครงสร้างของแผ่นพอลิเมอร์ฟิล์มนี้จะมีประจุบวกอยู่บริเวณตรงกลาง และสารละลายโดปามีนจะแสดงประจุบวก ในขณะที่กรดแอสคอร์บิกจะแสดงประจุลบ ในงานวิจัยนี้ทำการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทม ซึ่งพบว่ากรดแอสคอร์บิกเกิดปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม PDMA ได้ดีโดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต (electrostatic) ของไอออน ทำให้การออกซิเดชันของศักย์ไฟฟ้าแอสคอร์บิกเปลี่ยนแปลงไปทางด้านลบ เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าแบบเปลือย และการออกซิเดชันของโดปามีนพบว่าศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปทางด้านบวก เนื่องจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) และนอกจากนี้ขั้วไฟฟ้าแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PDMA แยกโดปามีนและกรดแอสคอร์บิกที่ศักย์ไฟฟ้า 300 มิลลิโวลต์ พบว่าสามารถวิเคราะห์โดปามีนได้ด้วยความเข้มข้นต่ำ ประมาณ 0.2 ไมโครโมลาร์ ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกสูงกว่า 1000 เท่า ซึ่งทำให้เห็นการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนแปลงไปทางด้านลบมากกว่าโดปามีนได้อย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงค้นพบว่าขั้วไฟฟ้าที่ได้รับการปรับปรุงนี้การออกซิเดชันสารแอสคอร์บิกที่ผิวหน้าขั้วไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ ซึ่งต่างจากขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการปรับปรุงที่บริเวณผิวหน้าขั้วจะปนเปื้อนไปด้วยการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก ส่งผลให้ความสามารถในการตรวจวัดสารลดลง

Fariba Tadayon และคณะ [29] ได้ศึกษาการปรับปรุงขั้วโดยใช้วัสดุประกอบกราฟีนออกไซด์ Au-Pd ที่ถูกกรดกัดนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรด (VE) ซึ่งมีความไวและพร้อมกันนั้นยังสามารถตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, อะซิโธนิโนฟิน และ ไทโรซีน โดยใช้ขั้วอ้างอิงเป็นคาโลเมล (SCE) ส่วนขั้วไฟฟ้าช่วยเป็นแพลตทินัม (AE) ลักษณะการตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ปรับปรุงแล้วนั้นนำไปสู่การวิเคราะห์ที่ถูกตรวจสอบโดยดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์และไซคลิกโวลแทมเมทรีพบว่า การตอบสนองของเซนเซอร์เคมีไฟฟ้าสำหรับสารที่ต้องการวิเคราะห์ พบว่าการปรับปรุงดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับคาร์บอนเฟสอิเล็กโทรด (CPE) และกราฟีนออกไซด์ที่ถูกกรดกัด/คาร์บอนเฟสอิเล็กโทรด สภาวะการทดลองสำหรับการวัดพร้อมกันของรูปแบบที่เรากำหนด ส่วนผสมของสารที่เราต้องการวิเคราะห์ 3 ชนิดนั้นสามารถวัดได้ในช่วง 0.03-9.5 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขีดจำกัดของการวัดมีค่าเท่ากับ 15.7, 7.6 และ 11.1 นาโนโมลาร์ สำหรับแอสคอร์บิก, อะซิโธนิโนฟิน และ ไทโรซีน ตามลำดับวิธีการที่ถูกนำมาใช้นี้ประสบความสำเร็จในการตรวจวัดสารที่เราต้องการวิเคราะห์ในยูรีน, เซรั่ม และตัวอย่างยาได้พร้อมๆ กัน

A.J. Saleh Ahammad และคณะ [30] ได้ศึกษาความเร็วของตัวตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า สำหรับการตรวจวัดโดปามีน และกรดยูริกในคราวเดียวกันในตัวอย่างปัสสาวะมนุษย์ การพัฒนาพอลิไทโอนีนถูกใช้ในการปรับปรุงพัฒนาขั้วกลาสลิคาร์บอน ขั้วกลาสลิคาร์บอนนี้ถูกปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีนเป็นตัวตรวจวัดที่สามารถแยกสัญญาณออกซิเดชันของโดปามีน และกรดยูริก ออกจากกรดแอสคอร์บิกได้ การพอกพูนบริเวณผิวหน้าของแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนีนและพีเอชของสารละลายที่เหมาะสมใช้สำหรับการตรวจวัดในของโดปามีนและกรดยูริกในคราวเดียวกัน กราฟออกซิเดชันของโดปามีน และกรดยูริกที่เป็นเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 ถึง 30 ไมโครโมลาร์ ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์ กรดแอสคอร์บิกในตัวอย่างมนุษย์ ความว่องไวของตัวตรวจวัดแสดงที่ 22.87 และ 6.02 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรต่อไมโครโมลาร์ ซีตจำกัดการตรวจวัดของโดปามีน กรดยูริกคือ 0.7และ1.3ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ตัวตรวจวัดไม่มีสัญญาณจากตัวรบกวน และคิดค่าการคืนกลับจากการเติมสารตัวอย่างปัสสาวะมนุษย์ได้อย่างดีเยี่ยมสำหรับการตรวจวัดโดปามีนและกรดยูริก



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

| ชื่อสารเคมี | สูตรทางเคมี | ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต |
|---|-------------------------|------------------------|
| L-Tyr | $C_9H_{11}NO_3$ | Sigma |
| Thionine acetate | $C_{14}H_{13}N_3O_2S$ | Acros organlics |
| Dopamine hydrochloride | $CH_{11}NO_2 \cdot HCl$ | Sigma |
| Uric acid | $CH_4N_4O_3$ | Sigma |
| Ascorbic Acid | $C_6H_8O_6$ | Sigma |
| Di-potassium hydrogen Ortphosphate anhydrous | $K_2 HPO_4$ | Fisher scientific |
| Potassium Dihydrogen Orthophosphate | $KH_2 HPO_4$ | Rankem |
| Potassium ferricyanide | $K_3 Fe(CN)_6$ | Carlo erba |
| Potassium Chloride | KCl | Fisher scientific |

3.1.2 อุปกรณ์ และ เครื่องตรวจวัด

- 1) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- 2) ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3) ไมโครปิเปตต์ (Micro pipette)
- 4) แท่งแก้ว (Stirring rod)
- 5) หลอดหยด (Droppers)
- 6) ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน
- 7) ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน ของบริษัทMetrohm ประเทศสเปน
- 8) เครื่อง pH Metrohm® 827 pH Lab Meter, USA
- 9) เครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้าและวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า (Autolab Potentiostat) รุ่น PGSTAT128N ของบริษัทMetrohm ประเทศเนเธอร์แลนด์
- 10) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

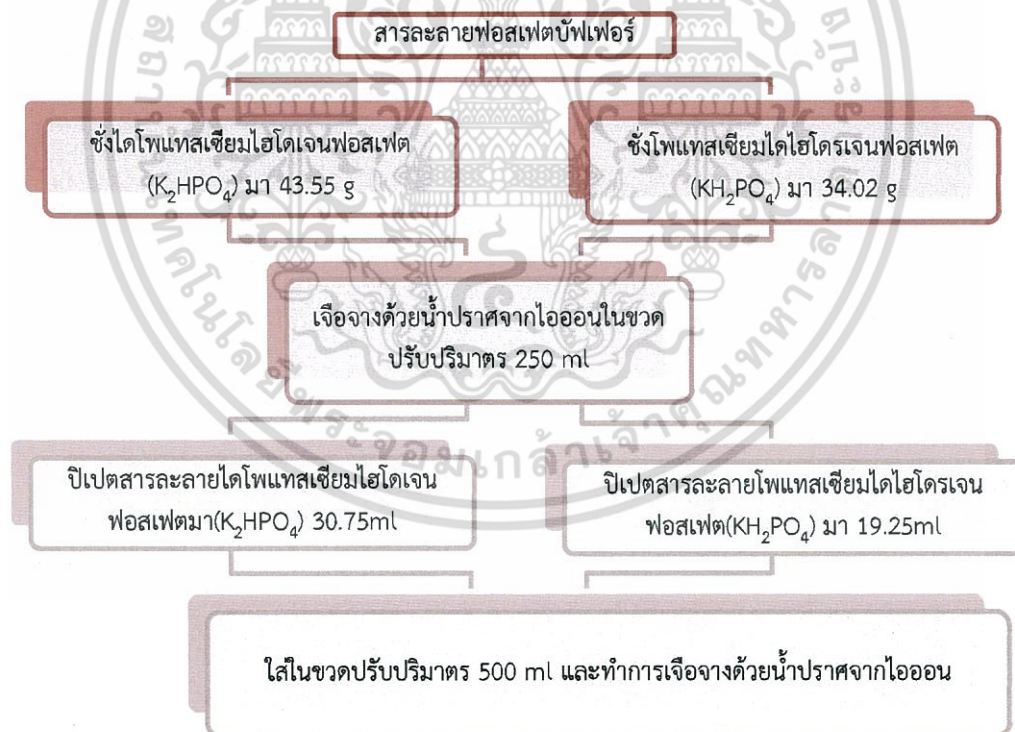
- 11) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
- 12) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม (Atomic Force Microscope)
- 13) เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน รุ่น Milli-Q

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7

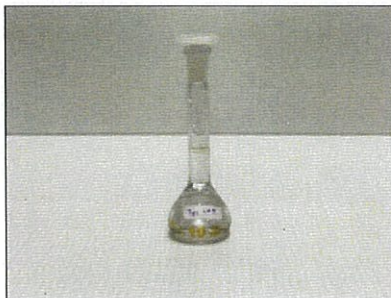
เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ในขวดปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร
ซึ่ง K_2HPO_4 1 โมลาร์ 43.55 กรัม เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดปรับ
ปริมาตร 250 มิลลิลิตร และ ซึ่ง KH_2PO_4 1โมลาร์ 34.02 กรัม เจือจางด้วยน้ำปราศจาก
ไอออนในขวดปรับปริมาตร 250 มิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต(K_2HPO_4) มา 30.75 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับ
ปริมาตร 500 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) มา
19.25 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรเดียวกันหลังจากนั้นทำการเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนจะ
ได้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7



รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

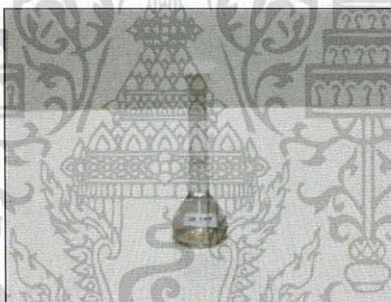
3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไทโรซีน 1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 3.2 สารละลายมาตรฐานไทโรซีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

เตรียมสารละลายไทโรซีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งไทโรซีน 0.0018 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ละลายด้วย 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 และปรับปริมาตรลงในขวดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

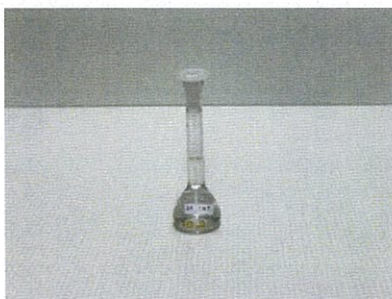
3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดยูริก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 3.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

เตรียมสารละลายกรดยูริกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งกรดยูริก 0.0017 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ละลายด้วย 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 และปรับปริมาตรลงในขวดปริมาตร 10 มิลลิลิตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00

3.2.4 เตรียมสารละลายมาตรฐานโคปามีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

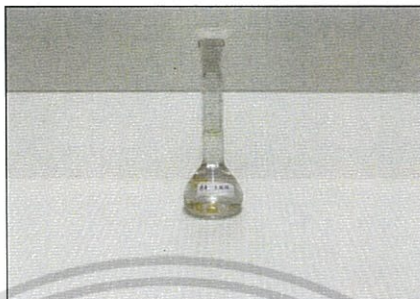


รูปที่ 3.4 สารละลายมาตรฐานโคปามีนความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซังโตปามีน 0.0019 กรัม ลงในบีกเกอร์ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 ใส่ขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.1 โมลาร์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00

3.2.5 เตรียมสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 3.5 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

ซังกรดแอสคอร์บิก 0.0011 กรัม ลงในบีกเกอร์สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 ใส่ขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00

3.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนด้วยวิธีเกาะติดทางเคมีไฟฟ้า(Electroporimerization) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

3.3.1 การเตรียมสารละลายไทโอนีน ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 3.6 สารละลายไทโอนีนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

ซังไทโอนีน 0.0002 กรัม ละลายด้วยสารละลาย 0.1 โมลาร์ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 ลงในขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.3.2 การเตรียมพอลิไทโอนินบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

- 1) นำขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนมาหยดสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่เตรียมจาก 3.2.1 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง +1 ถึง -1 โวลต์ เป็นจำนวน 25 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- 2) รอให้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่มีสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3) นำขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ผ่านการปรับปรุงหยด 0.1 มิลลิโมลาร์ สารละลายไทโอนินลงไปที่บริเวณหน้าขั้วและทำการให้ศักย์ไฟฟ้า ระหว่าง +1 ถึง -1 โวลต์ เป็นจำนวน 25 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- 4) ปลอ่ยให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จะได้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนเมื่อปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน เป็นระยะเวลา 0, 10, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

3.3.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนปรับปรุงด้วย ไทโอนิน

- 1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Field Emission Scanning Electron Microscope)

นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีน, ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนที่ปรับปรุงด้วยไทโอนิน, ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอนิน มาศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูพื้นผิวบริเวณหน้าขั้ว

- 2) กล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม (Atomic Force Microscope) นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีน, ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนิน, ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนินมาศึกษา ลักษณะพื้นผิว ความหนา ของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนด้วยแรงอะตอม เพื่อเปรียบเทียบพื้นผิวพร้อมวัดค่าความขรุขระบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 3.4.1 ศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ตรวจวัดโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(III)

- 1) เตรียมโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1 โมลาร์ ซึ่ง 18.6403 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ใส่ขวดปรับปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต 0.0164 กรัม ละลายด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1โมลาร์ ใส่ขวดปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(III) 2 มิลลิโมลาร์
- 3) นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(III) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร หยดลงบนหน้าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนิน และ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนิน ให้ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.2 ถึง $+0.6$ อัตราการสแกนที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีเพื่อเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนินกับขั้วไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม ชีวไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนินบนชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองใน ระดับนาโน



รูปที่ 3.9 สารละลายไทโอนินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 4.00 ถึง 10.00

การศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม
ชีวไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนินบนชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองใน
ระดับนาโนโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

- 1) ชั่งไทโอนินมา 0.0002 กรัม ละลายด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
พีเอช 4.00 ถึง 10.00 ตามลำดับ จะได้สารละลายไทโอนินในสารละลาย
ฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆตามลำดับที่กล่าวมาข้างต้น
- 2) นำไทโอนินที่ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆมาตรวจวัดด้วยชีวไฟฟ้า
พิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน
- 3) นำมาสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่ากระแสและสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่
พีเอช 4.00 ถึง 10.00

3.4.3 การศึกษาอัตราการสแกนของสารละลายไทโอนินที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม ชีวไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนินบนชีวพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับ นาโน

การศึกษาอัตราการสแกนของสารละลายไทโอนินที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมชีวไฟฟ้า
ที่ชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี
ซึ่งศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราการสแกนที่ให้แก่
ชีวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน โดยช่วงสแกนที่ศึกษา คือ 2.5 ถึง
100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีตามลำดับ ในสารละลายไทโอนินมีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

- 1) เตรียมสารละลายไทโอนินความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
พีเอช 7.00 ที่ศึกษาได้ ในข้อ 3.4.2

- 2) นำขี้ไฟฟ้าฟิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนมาตรวจวัดสารละลายไทโอนีน ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 ในช่วง อัตราการสแกน 2.5 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

ตารางที่ 3.2 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาหาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

| อัตราการสแกน (มิลลิโวลต์ต่อวินาที) | ความเข้มข้นของไทโอนีน (มิลลิโมลาร์) | ความเข้มข้นของ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (โมลาร์) | ปริมาตร สารละลายที่ใช้ (ไมโครลิตร) |
|---------------------------------------|--|--|--|
| 2.5 | 0.1 | 0.1 | 40 |
| 20 | 0.1 | 0.1 | 40 |
| 40 | 0.1 | 0.1 | 40 |
| 60 | 0.1 | 0.1 | 40 |
| 80 | 0.1 | 0.1 | 40 |
| 100 | 0.1 | 0.1 | 40 |

3.5 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน

การศึกษานานาชาติที่เหมาะสมต่าง ๆ การตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก, และ ไทโรซีน ของขี้ไฟฟ้าฟิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนโดยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมตรี

3.5.1 ศึกษาสถานะพีเอชที่เหมาะสม

การศึกษานานาชาติที่เหมาะสมในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ซึ่งศึกษาโดยการเปรียบเทียบ กระแสไฟฟ้ากับค่าพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์โดยใช้ขี้ไฟฟ้าฟิมพ์สกรีน คาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอนีนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่ช่วงพีเอช 4.00 ถึง 10.00

- เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้จากสารละลายโพแทสเซียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) : โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ที่ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่ช่วงพีเอช 4.00 ถึง 10.00 ตามตาราง ต่อไปนี้เพื่อนำไป ละลายสารมาตรฐานที่ต้องการวิเคราะห์

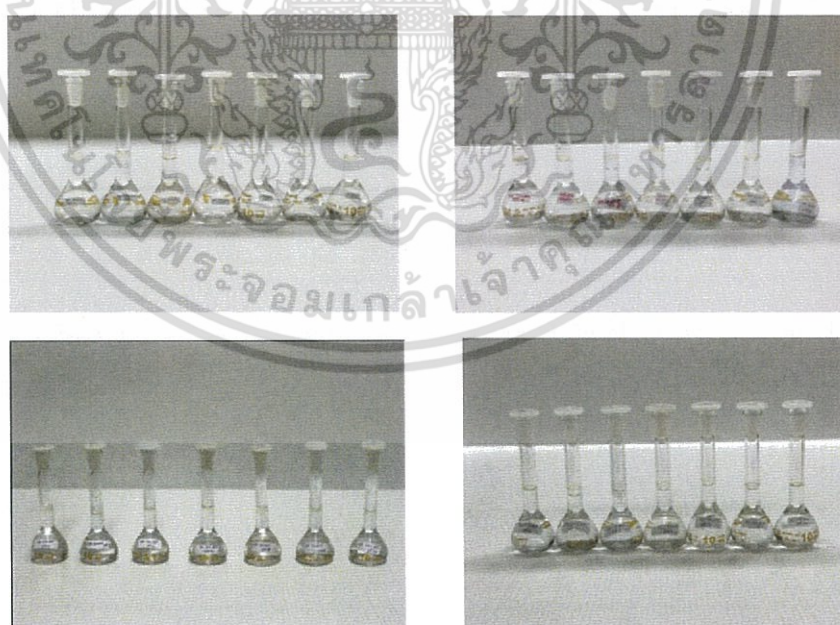
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4):

โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ในการเตรียมพีเอชต่างๆ

| พีเอช | K_2HPO_4 (มิลลิลิตร) | KH_2PO_4 (มิลลิลิตร) |
|-------|---------------------------|---------------------------|
| 4.00 | 0.02 | 9.10 |
| 5.00 | 0.15 | 9.00 |
| 6.00 | 0.66 | 4.34 |
| 7.00 | 3.50 | 2.50 |
| 8.00 | 4.70 | 0.30 |
| 9.00 | 4.90 | 0.03 |
| 10.00 | 7.00 | 0.005 |

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนมา 1 มิลลิลิตร ตามลำดับนำไปละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4.00 ถึง 10.00

3) จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.00 ถึง 10.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) นำขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนินไปตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่เตรียมในพีเอชต่างๆโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.5.2 ศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

การศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีน ซึ่งศึกษาโดยการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราการสแกนที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอเนินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 โดยช่วงอัตราการสแกนที่ศึกษา คือ 2.5 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีตามลำดับ

- 1) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ตามลำดับละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 ที่ศึกษาได้ ในข้อ 3.4.2
- 2) นำขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนมาตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดแอสคอร์บิก และ ไทโรซีน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.00 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ในช่วงอัตราการสแกน 2.5 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.6 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนิน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอเนิน ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.6.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 3.11 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ชั่งกรดแอสคอร์บิก (AA) 0.0011กรัม
- 2) ชั่งกรดยูริก (UA) 0.0017กรัม
- 3) ชั่งโดปามีน (DA) 0.0019กรัม
- 4) ชั่งไทโรซีน (Tyr) 0.0018กรัม
- 5) ละลายและปรับปริมาตรด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช7.00ขวดปรับปริมาตร10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

3.7 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีนในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนต่างชนิดกัน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี

3.7.1 เตรียมสารละลายผสม



รูปที่ 3.12 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน จากข้อ 3.6.1 มา 1 , 3 , 3 และ2 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- 2) ปรับปริมาตรด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น0.1โมลาร์ พีเอช 7.00 ในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 3) จะได้ความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน เท่ากับ 100, 300 , 300 และ200 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ

3.7.2 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linear range)

ทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในช่วงความเข้มข้น 2.50 ถึง 500 ไมโครโมลาร์, 10 ถึง 300 ไมโครโมลาร์, 2 ถึง 500 ไมโครโมลาร์ และ 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้า และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละความเข้มข้น

ตารางที่ 3.4 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาหาความเข้มข้น

| ความเข้มข้นของ สารละลายกรด แอสคอร์บิก (ไมโครโมลาร์) | ความเข้มข้นของ สารละลายโดปามีน (ไมโครโมลาร์) | ความเข้มข้นของ สารละลายกรดยูริก (ไมโครโมลาร์) | ความเข้มข้นของ สารละลายไทโรซีน (ไมโครโมลาร์) |
|--|--|---|--|
| 500 | 300 | 500 | 260 |
| 450 | 280 | 450 | 190 |
| 400 | 260 | 380 | 150 |
| 330 | 230 | 300 | 120 |
| 240 | 170 | 200 | 110 |
| 230 | 140 | 150 | 80 |
| 170 | 100 | 130 | 40 |
| 50 | 40 | 80 | 20 |
| 25 | 20 | 20 | 10 |
| 2.5 | 10 | 2 | 1 |

3.7.3 ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ)

การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) ทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในช่วงความเข้มข้น 2.50 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500 และ 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ จากนั้นนำค่ากระแสที่วัดได้คำนวณหาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD)

การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) ทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีนในช่วงความเข้มข้น 2.50 ถึง 500 ไมโครโมลาร์, 10 ถึง 300 ไมโครโมลาร์, 2 ถึง 500 ไมโครโมลาร์ และ 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ จากนั้นนำค่ากระแสที่วัดได้คำนวณหาขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ)

3.8 ศึกษาการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง

3.8.1 ศึกษาตัวอย่างปัสสาวะที่ทำการเติมสารละลายมาตรฐานลงไป

- 1) ปิเปตตัวอย่างปัสสาวะมา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 2) เจือจางปัสสาวะด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00
- 3) ทำการปิเปตปัสสาวะ มา 1 มิลลิลิตรจากข้อที่ 2 ลงในขวดปริมาตร 10 มิลลิลิตรทำการตรวจวัดหาปริมาณด้วยการเติมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน

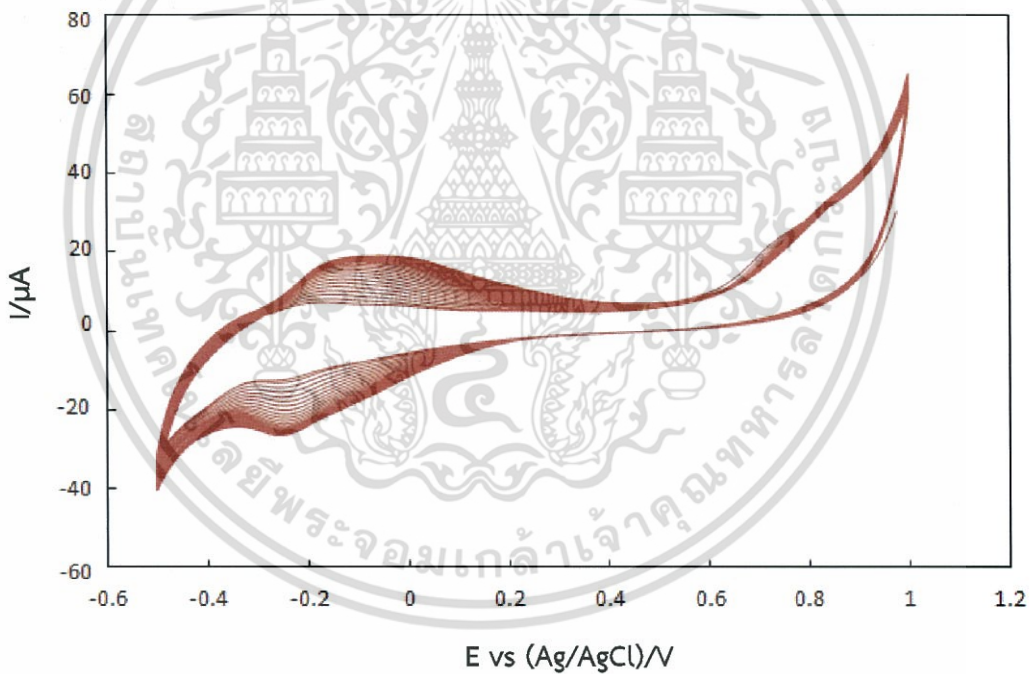
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยไทโอนีน

4.1.1 ผลการเตรียมพอลิไทโอนีนบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน

สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนด้วยพอลิไทโอนีน โดยใช้สารละลายไทโอนีนที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 ที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน โดยใช้เทคนิคทางไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.5 ถึง $+1.0$ โวลต์ เป็นจำนวน 25 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.1 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน (SPCE/PTH)

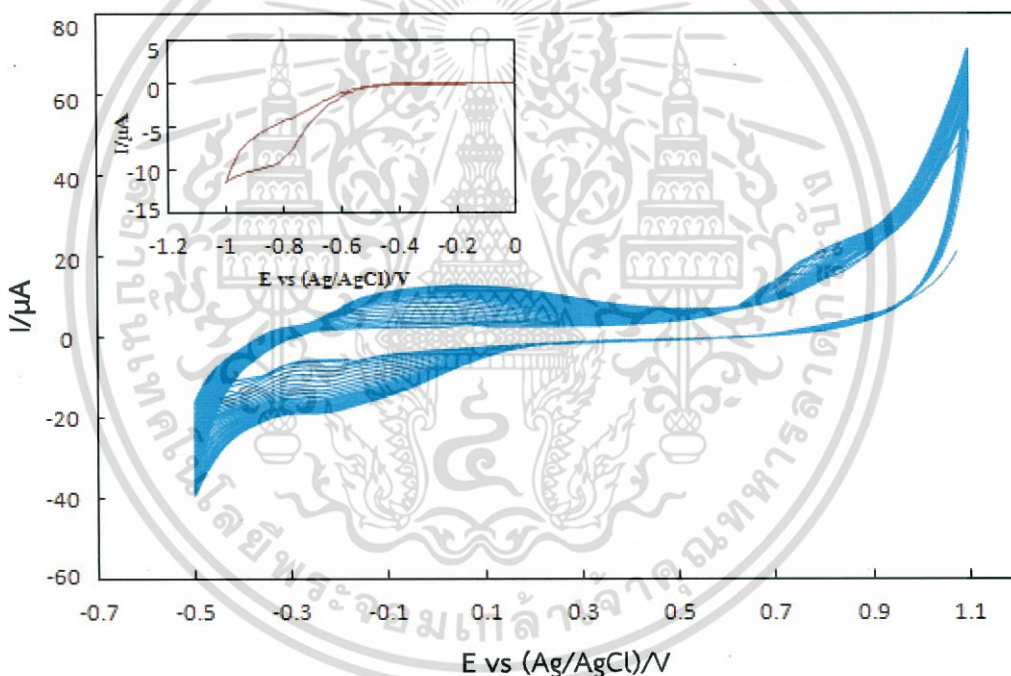
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงให้เห็นกระบวนการเกาะติดบนขั้วไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ด้วยเทคนิคทางอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน พบว่าในรอบแรกจะเห็นพีคการออกซิเดชันและรีดักชันเกิดขึ้นในลักษณะที่แหลม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการรีดออกซ์ของมอนอเมอร์ไทโอนีนเกิดขึ้นบนหน้าขั้วที่ศักย์ไฟฟ้า -0.2 โวลต์ และเมื่อทำการสแกนต่อเนื่องพบพีคแอนอดิกที่เกิดขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้า $+0.74$ โวลต์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันหมู่ $-NH_2$ ของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทโอนีน ในระหว่างการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างต่อเนื่องจะพบคู่พิกแอนอดิก และแคโทดิกที่เคลื่อนไปสูงสุดที่ +0.86 และต่ำสุดที่ -0.25 โวลต์ ทั้งนี้การให้ช่วงของศักย์ไฟฟ้ามีความสำคัญสำหรับการเตรียมพอลิไทโอนีนในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า ถ้าหากให้ช่วงไฟฟ้าที่สูงสุดน้อยกว่า +0.8 โวลต์ จะไม่พบการเกาะติดของพอลิเมอร์เกิดขึ้น

4.1.2 ผลการเตรียมพอลิไทโอนีนบนขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน

สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนด้วยพอลิไทโอนีน โดยใช้สารละลายไทโอนีนที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาทำการปรับปรุงขั้วพิมพ์สกรีน โดยใช้เทคนิคทางไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.5 ถึง +1.0 โวลต์ เป็นจำนวน 25 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

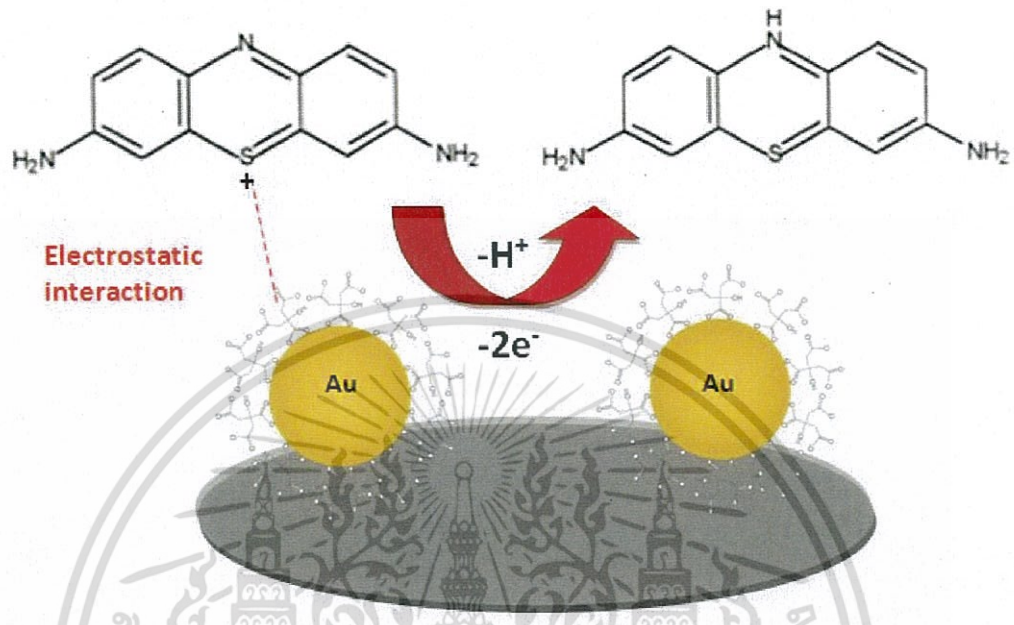


รูปที่ 4.2 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงให้เห็นกระบวนการเกาะติดบนขั้วไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ด้วยเทคนิคทางอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน เนื่องจากขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนมีอนุภาคทองในระดับนาโนเกาะติดอยู่บนผิวขั้วทำให้เห็นค่าการออกซิเดชันครั้งแรกในการเกาะติดพอลิไทโอนีนเกิดขึ้นที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนไปเล็กน้อยที่ +0.06 โวลต์ สำหรับการเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันหมู่ $-NH_2$ ของโมเลกุลไทโอนีนจะพบพิกการออกซิเดชันขึ้นที่ค่าศักย์ไฟฟ้า + 0.68 ในระหว่างการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างต่อเนื่องจะพบคู่พิกแอนอดิก และแคโทดิกที่เคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปสูงสุดที่ +0.81 และต่ำสุดที่ -0.23 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าการออกซิเดชันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเนื่องจากประจุลบของอนุภาคทองคำนาโนเข้าทำปฏิกิริยาจับกับประจุบวก หมู่ -NH₂ ของพอลิไทโอินิน แสดงได้ในแผนภาพที่ 4.3

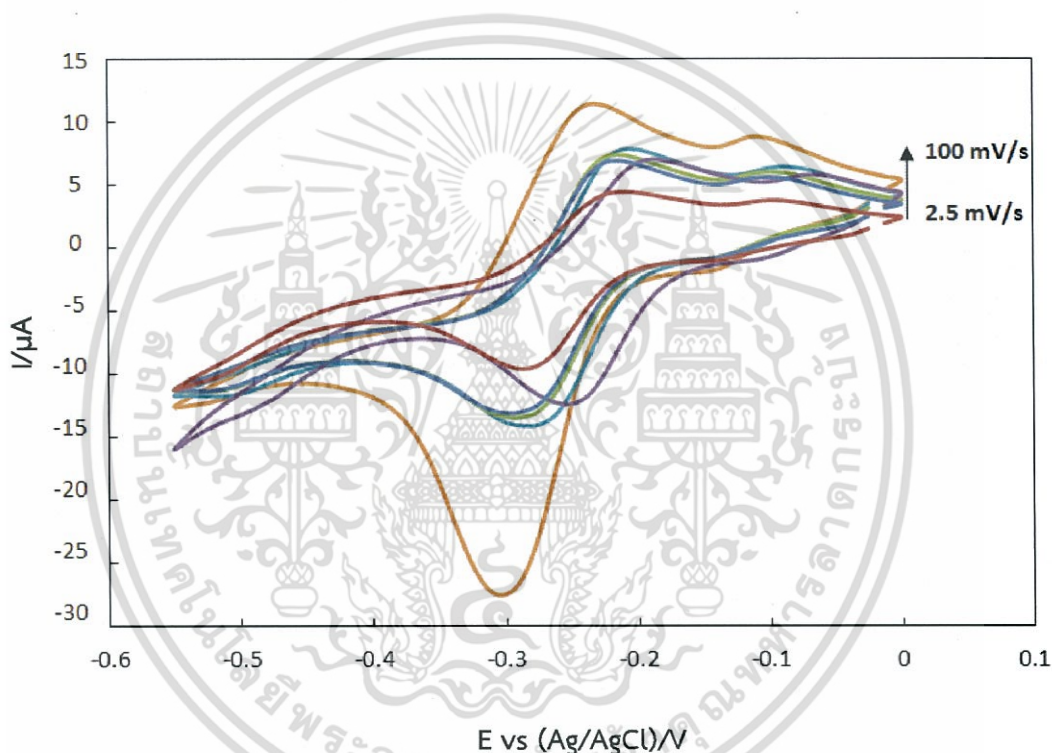


รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพกระบวนการเกาะติดPTHที่บริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH)

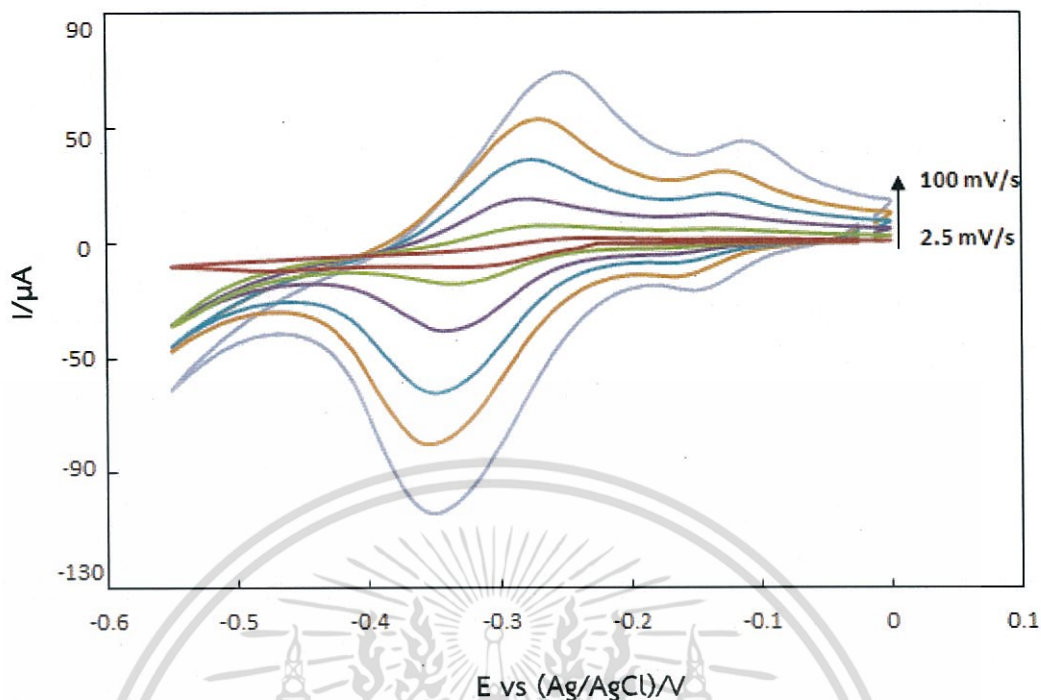
จากแผนภาพรูปที่ 4.3 การเกิดกระบวนการเกาะติดPTHที่บริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH) พบว่าประจุลบที่หมู่เสถียรภาพ (Stabilize) ของอนุภาคทองคำนาโนจับกับประจุบวกของหมู่ -NH₂ ด้วยแรงทางประจุไฟฟ้าทำให้เกิดการเกาะติดของไทโอินินด้วยกระบวนการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชัน

4.1.3 ผลการศึกษาอัตราการสแกนของสารละลายไทโอนีนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน

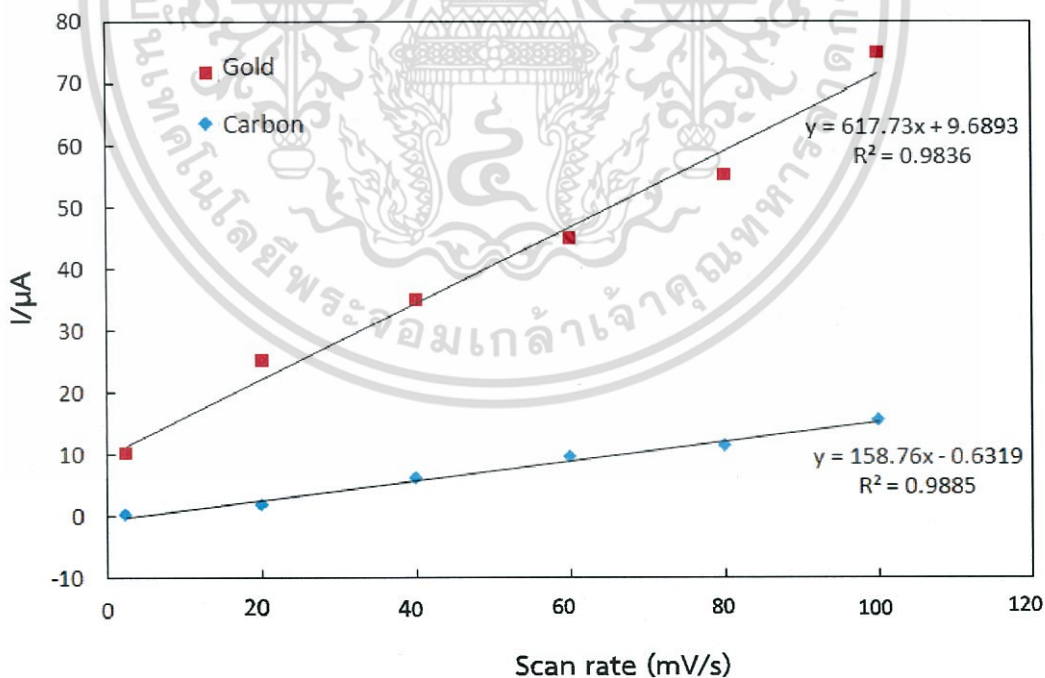
สำหรับอัตราการสแกนในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกนที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2.5, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ตามลำดับ ที่สารละลายไทโอนีนมีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.6 ถึง 0.0 โวลต์



รูปที่ 4.4 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอัตราการสแกนในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCE/PTH)



รูปที่ 4.5 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอัตราการสแกนในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน (SPCEGNPs/PTH)



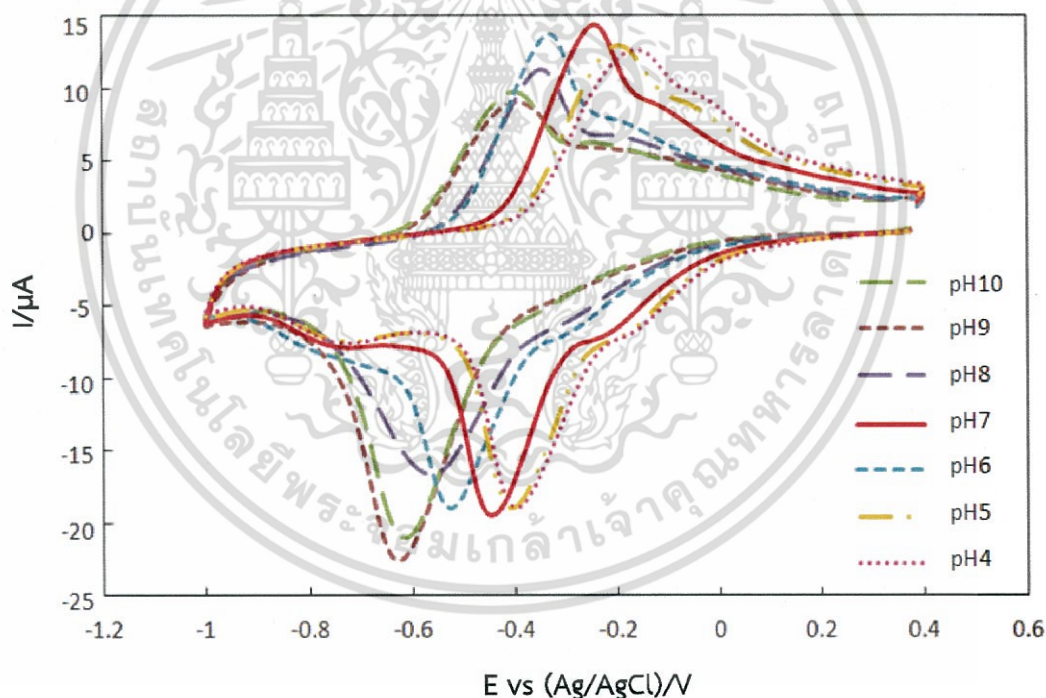
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับอัตราการสแกนที่ 2.5 ถึง 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีในการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน ที่ปรับปรุงด้วยไทโอนิน 0.1 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

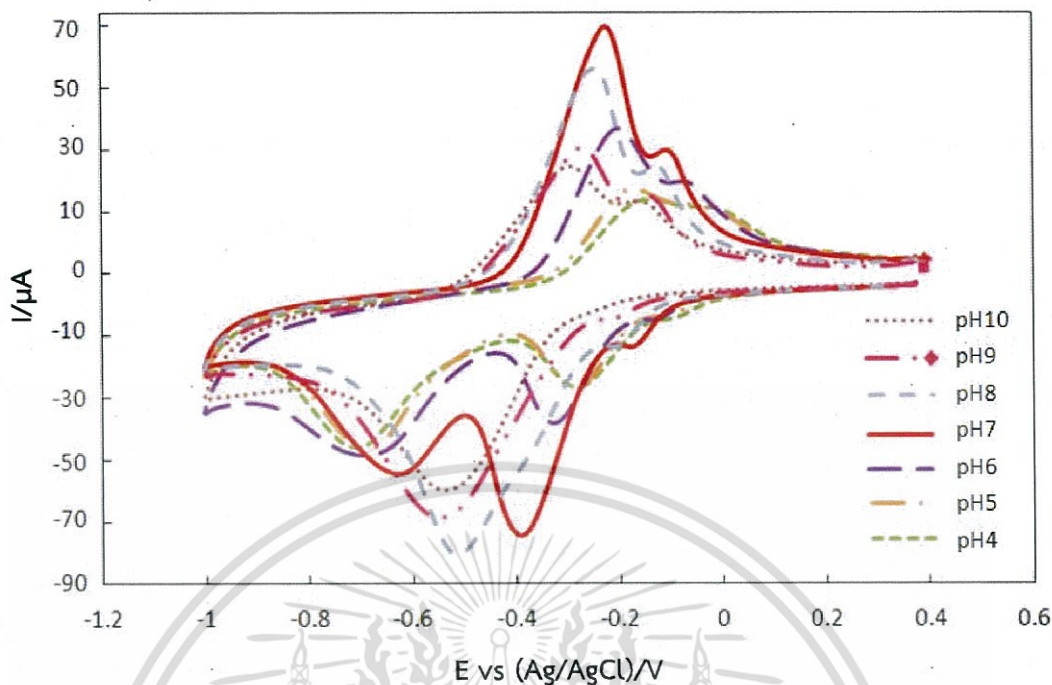
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกนจะให้ช่วงความเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นกระบวนการขนส่งของอิเล็กตรอนแบบการแพร่ที่เกิดขึ้นภายในแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนีน โดยพบว่าที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ ชั่วโมงไฟฟ้าพิมพ์สกรีนทั้งสองชนิดให้ค่ากระแสการตอบสนองในการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไทโอนีนได้สูงสุด ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้อัตราการสแกนสำหรับการปรับปรุงด้วยสารละลายไทโอนีนที่ 100 มิลลิโวลต์

4.1.4 ผลการศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารละลายไทโอนีนที่ใช้ปรับปรุงขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนกับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน

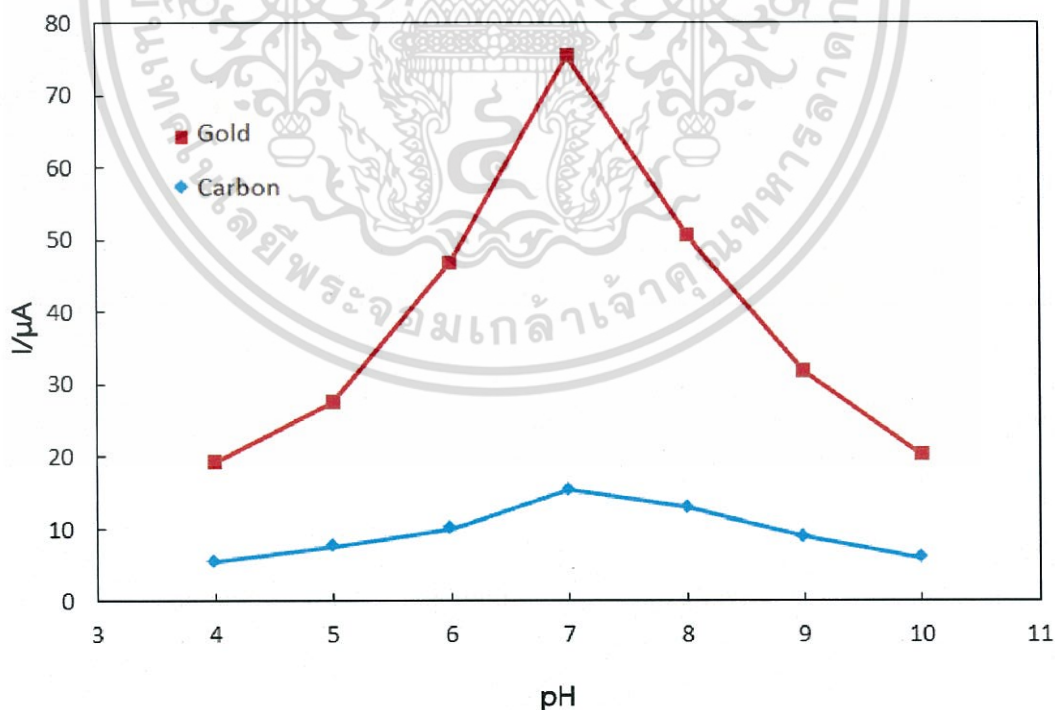
จากการศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้า โดยใช้สารละลายไทโอนีนเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีให้ศักย์ไฟฟ้าที่ -1 ถึง 0.4 โวลต์



รูปที่ 4.7 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่พีเอช 4.00 ถึง 7.00 ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCE/PTH)



รูปที่ 4.8 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมพีเอช 4.00 ถึง 7.00 ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH)



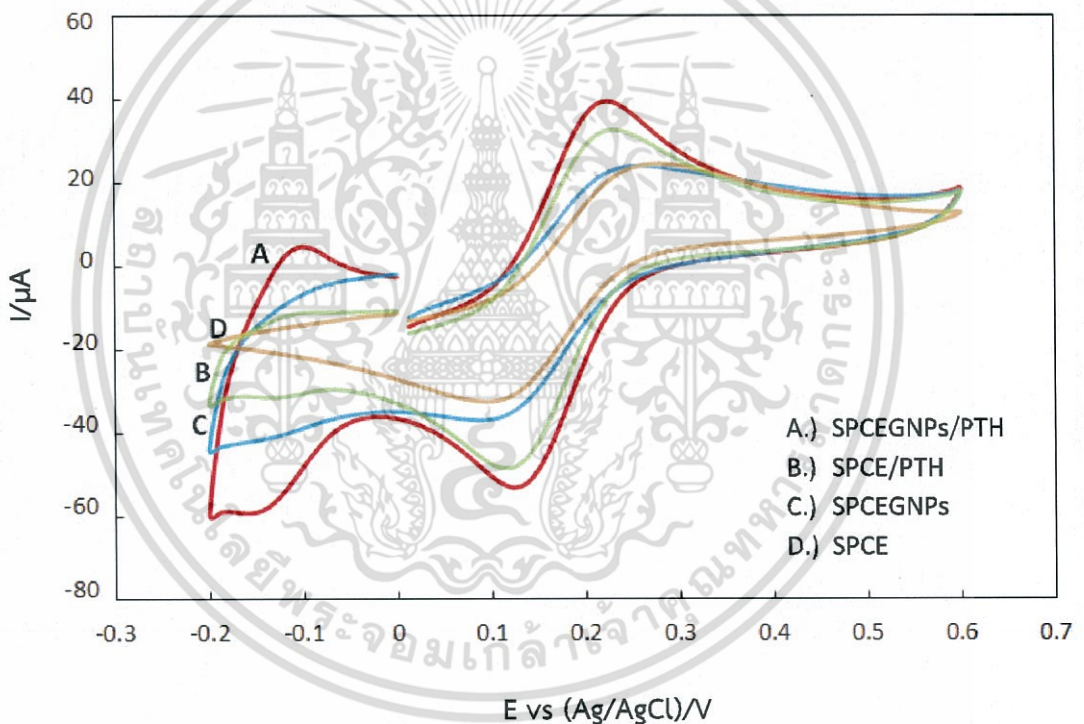
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับพีเอช 4.00 ถึง 10.00 ของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ในการเตรียมขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

คาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน ที่ปรับปรุงด้วยไทโอนีน 0.1 มิลลิโมลาร์ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณา รูป 4.9 พบว่าพฤติกรรมของพอลิไทโอนีนในทางเคมีไฟฟ้า นั้นเป็นสีย้อมพอลิเมอร์ที่มีผลต่อค่าพีเอช ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่แคโทดิกและแอโนดิกจะมีการเคลื่อนไปทางศักย์ไฟฟ้าที่ด้านลบเมื่อค่าพีเอชนั้นเพิ่มสูงขึ้นที่พีเอช 7 จะให้ค่ากระแสสูงสุด ในงานวิจัยจึงเลือกใช้พีเอช 7 ในการเตรียมสารละลายไทโอนีนในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

4.1.5 ผลการศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

จากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีให้ศักย์ไฟฟ้าช่วง -0.2 ถึง +0.6 โวลต์



รูปที่ 4.10 แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($K_3(Fe(CN)_6)$) ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดที่แตกต่างกัน

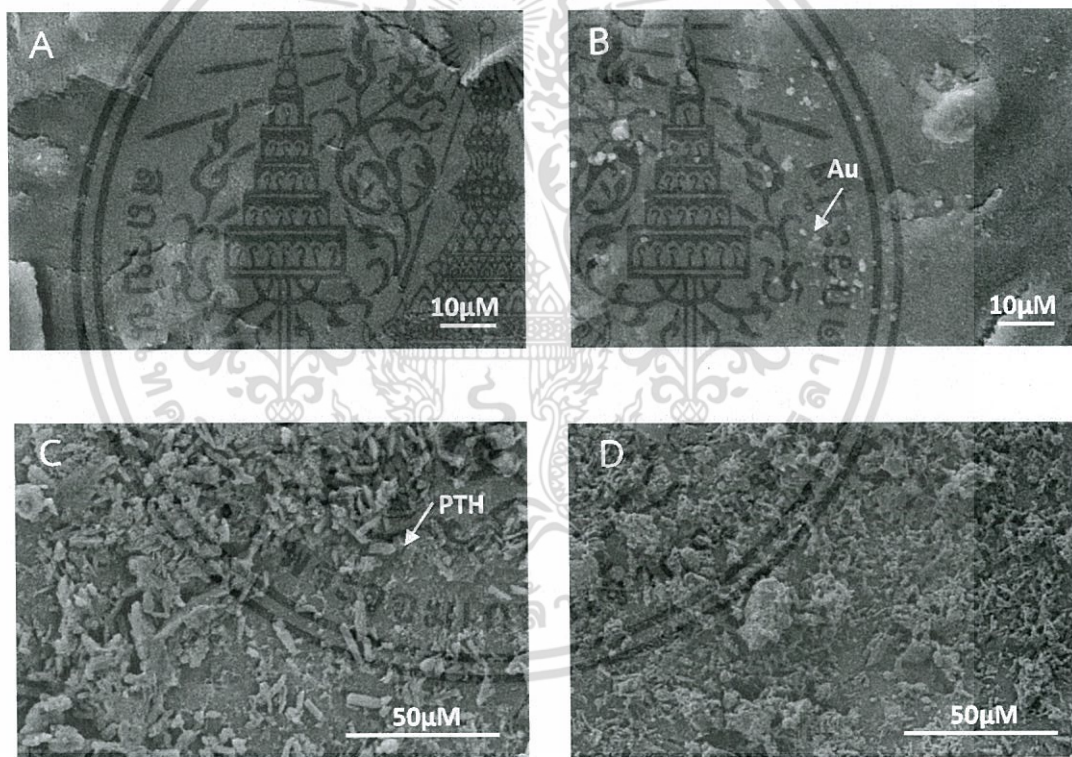
เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.10 แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต จะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไอนีน (SPCEGNS/PTH) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้อย่างสมบูรณ์และให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 39.5 ไมโครแอมแปร์ สูงกว่าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNS) ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไอนีน (SPCE/PTH) และขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

คาร์บอน (SPCE) ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 32.5 , 24.2 และ 22.2 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งค่ากระแสที่สูงขึ้นเนื่องมาจากบริเวณผิวหน้าขั้วมีอนุภาคทองในระดับนาโนที่ช่วยเพิ่มพื้นผิวการตรวจวัดอยู่จำนวนมาก เมื่อสารละลายไทโอนีนที่รวมตัวกันเป็นพอลิไทโอนีนที่เกาะติดบนผิวหน้าขั้วมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพสูงในการนำไฟฟ้า จึงส่งผลให้ค่ากระแสของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH) นั้นเพิ่มสูงมากขึ้น

4.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ปรับปรุงด้วยสารละลายไทโอนีน

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope)



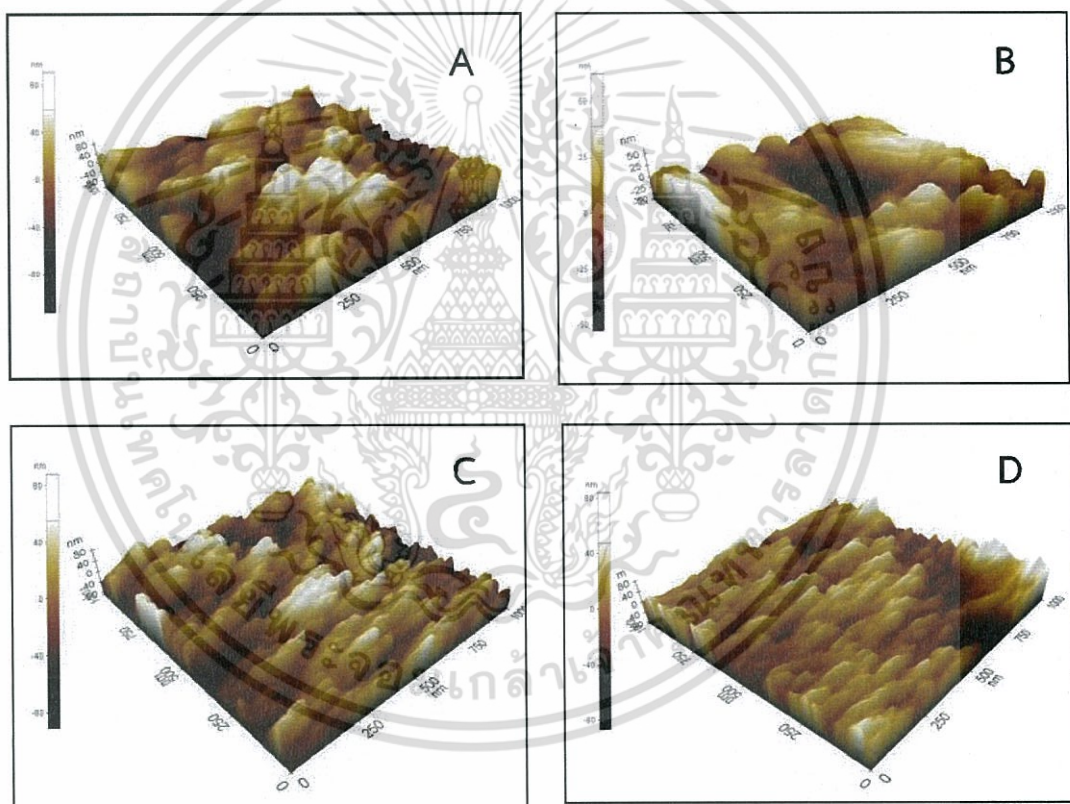
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า สำหรับ (A) และ (B) 5,000 เท่า สำหรับ (C) และ (D) ตามลำดับ

- ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน (SPCE)
- ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs)
- ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนปรับปรุงด้วยไทโอนีน (SPCE/PTH)
- ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนปรับปรุงด้วยไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำให้ทราบถึงผิวหน้าของขั้วแต่ละชนิด สำหรับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนมีผิวหน้าที่ค่อนข้างเรียบ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนจะเห็นอนุภาคของทองคำที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการวิเคราะห์ และสำหรับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงด้วยไทโอนีน จะเห็นการเกาะติดของไทโอนีนเป็นจำนวนมากช่วยในการเพิ่มความขรุขระบริเวณผิวหน้าขั้ว และจะสังเกตได้ว่าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนนั้นจะมีการกระจายการเกาะติดของพอลิไทโอนีนอย่างทั่วมากกว่าขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม(Atomic Force Microscope)



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอม A.) SPCE, B.) SPCE/PTH, C.) SPCEGNPs และ D.) SPCEGNPs/PTH ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ด้วยแรงอะตอมของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีน ซึ่งแสดงให้เห็นชัดในการเพิ่มความขรุขระของพื้นที่ผิวบริเวณหน้าขั้ว พบว่าค่าความขรุขระของ SPCE , SPCEGNPs , SPCE/PTH และ SPCEGNPs/PTH อยู่ที่ 15.48, 16.03, 22.35 และ 23.31 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความขรุขระมีการเพิ่มขึ้นเมื่อขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนผ่านกระบวนการอนิโดซ์ด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์สำหรับการเตรียมพอลิไทโอนีนในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

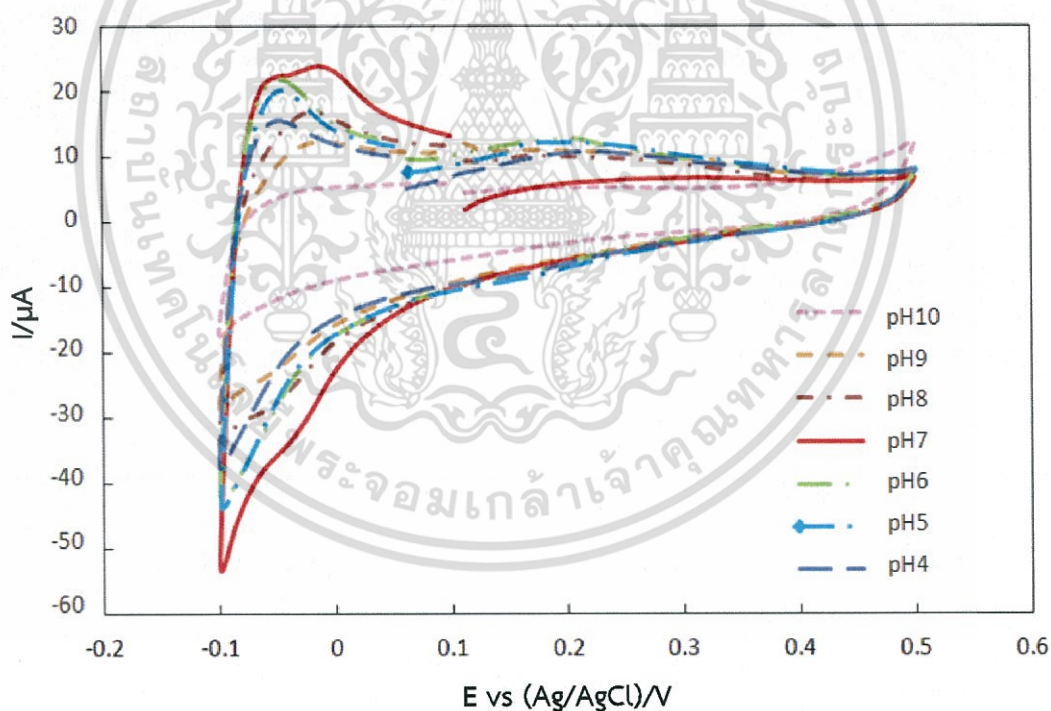
กระบวนการดังกล่าวจะช่วยให้มีการเพิ่มกลุ่มของออกซิเจน เช่น $-\text{COOH}$, $-\text{CO}-$, $-\text{CHO}$ เป็นต้น ซึ่งในกลุ่มของออกซิเจนดังกล่าวจะช่วยให้การเพิ่มการส่งผ่านอิเล็กตรอนในระหว่างการทำอิเล็กโทรพอลิเมอร์ไรเซชันของสารไทโอนีนได้มากขึ้น

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก กรดยูริก โดปามีน และ ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNPs/PTH)

4.3.1 การศึกษาพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

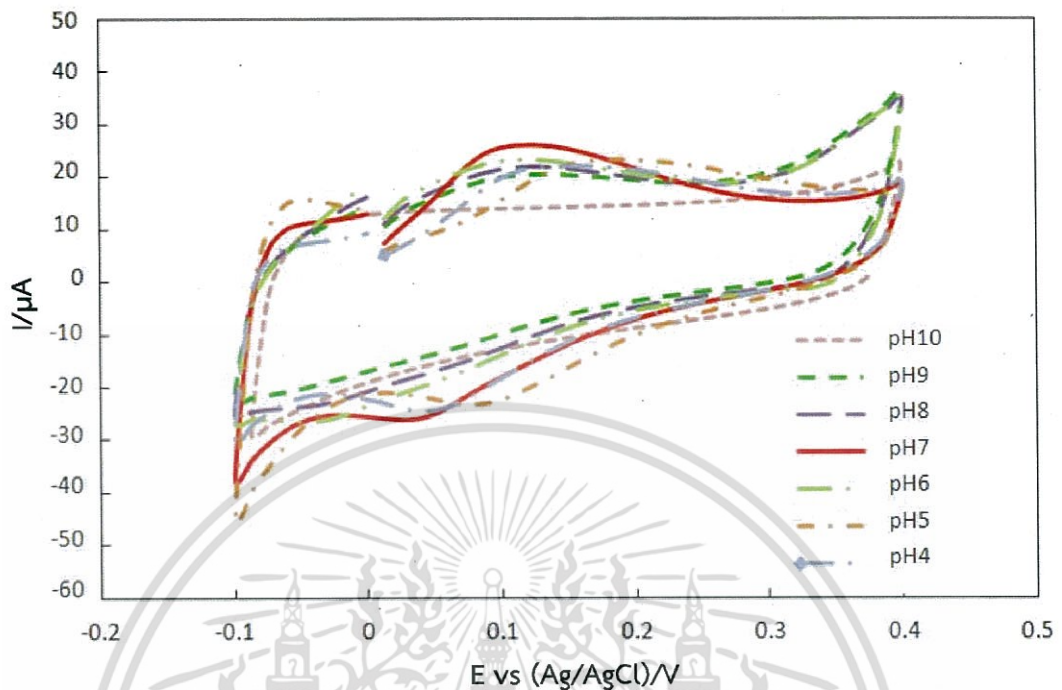
สำหรับการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4.00 ถึง 10.00 โดยใช้อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.1 ถึง 0.5 โวลต์

4.3.1.1 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก



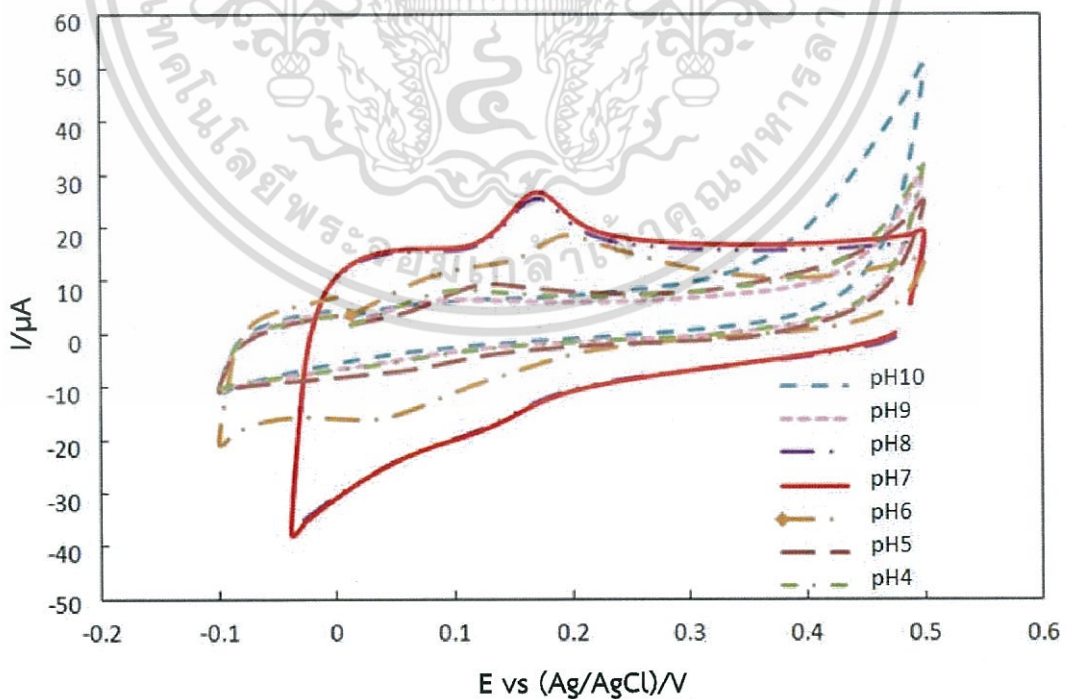
รูปที่ 4.13 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก 0.1 มิลลิโมลาร์

4.3.1.2 สารละลายมาตรฐานโดปามีน



รูปที่ 4.14 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานโดปามีน 0.1 มิลลิโมลาร์

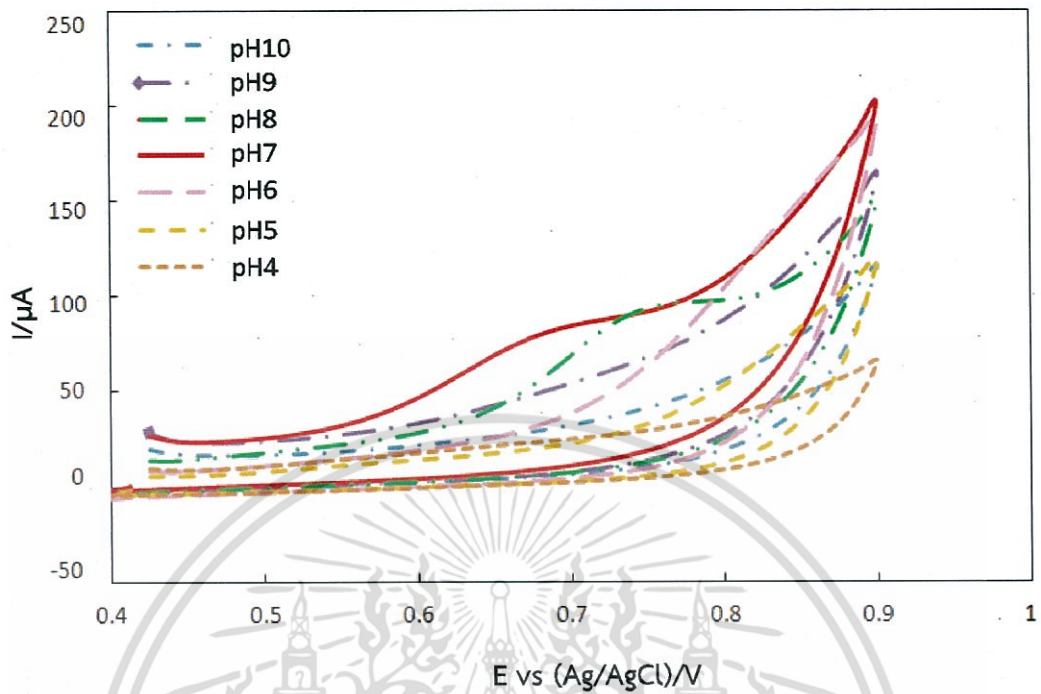
4.3.1.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริก



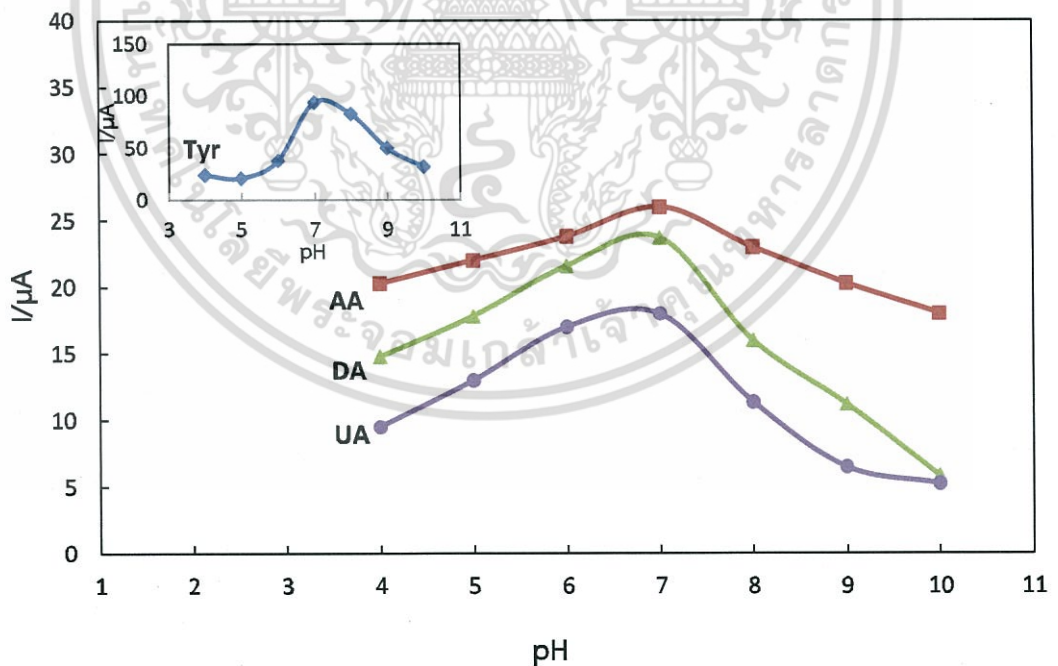
รูปที่ 4.15 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดยูริก 0.1 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.4 สารละลายมาตรฐานไทโรซีน



รูปที่ 4.16 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานไทโรซีน 0.1 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและพีเอช จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและพีเอช สำหรับการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ที่พีเอช 4.00 ถึง 10.00 โดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH จะเห็นได้ว่าเมื่อพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นจากพีเอช 4.00 ถึง 7.00 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะสูงขึ้น จนกระทั่งสูงสุดที่พีเอช 7.00 จากนั้นค่ากระแสไฟฟ้าก็จะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 8.00 ถึง 10.00 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่พีเอช 7.00 เป็นสภาวะที่พีเอชเห็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีน ดีที่สุด จากการให้ค่ากระแสสูงกว่า พีเอชอื่นๆ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกการวิเคราะห์หาปริมาณสารกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00

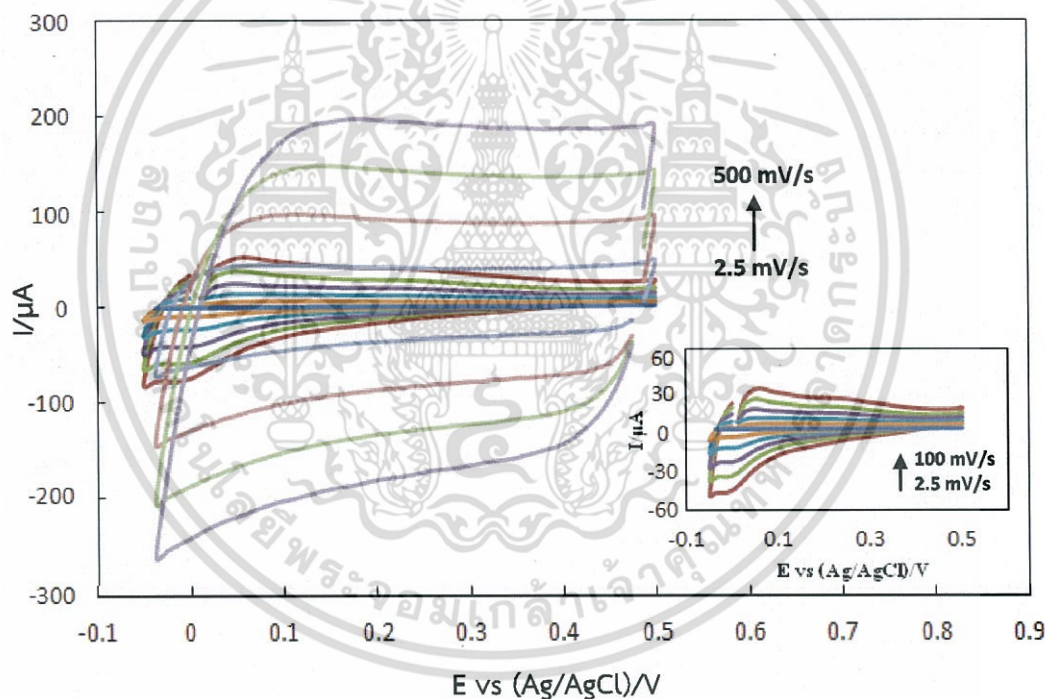


4.3.2 การศึกษาอัตราการสแกน

สำหรับการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.3.2.1 สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

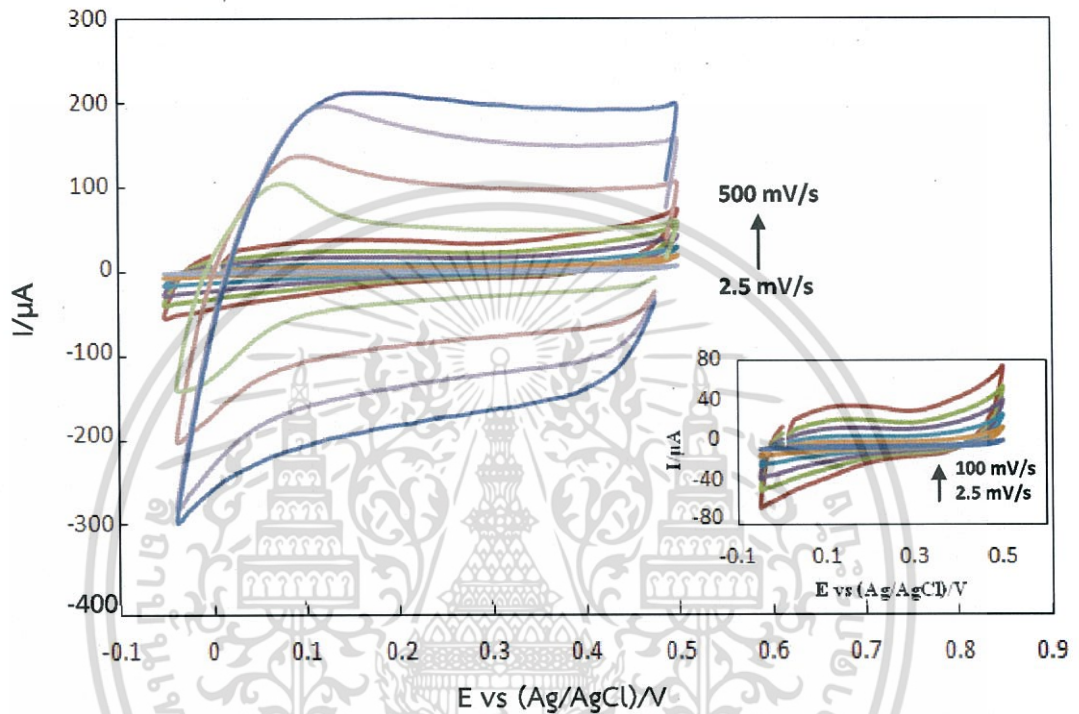
สำหรับการศึกษาอัตราการสแกนของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิกทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.1 ถึง 0.5 โวลต์ และให้อัตราการสแกนที่ 2.5, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mV/s ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานแอสคอร์บิก 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.3.2.2 สารละลายมาตรฐานโดปามีน

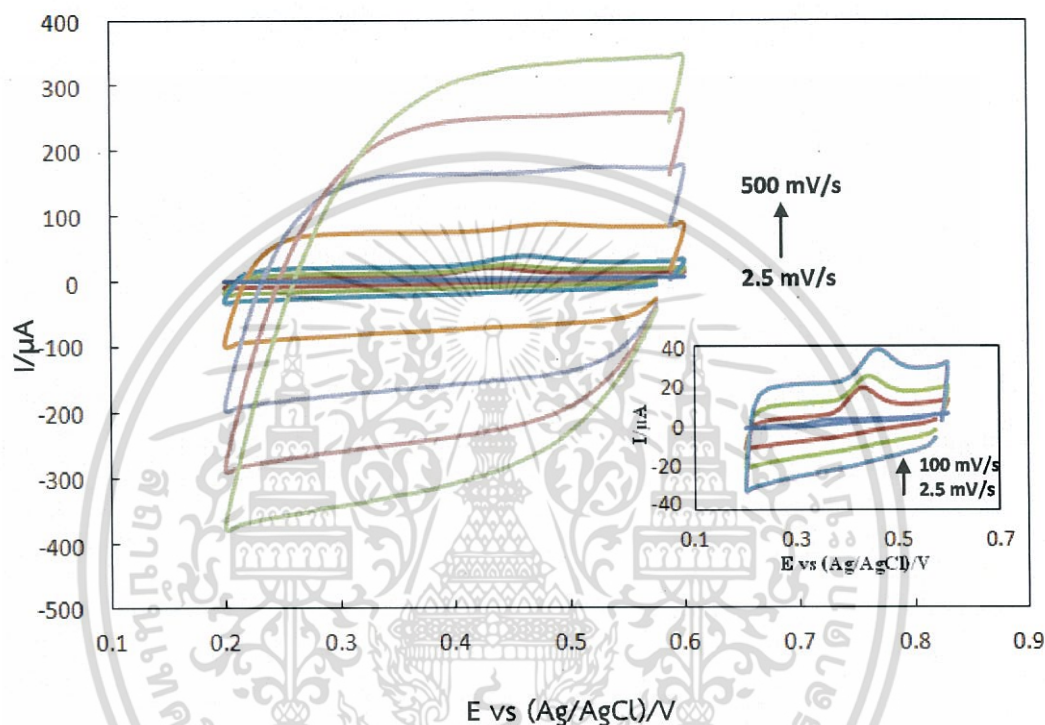
สำหรับการศึกษาอัตราการสแกนของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานโดปามีนทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.1 ถึง 0.5 โวลต์ และให้อัตราการสแกนที่ 2.5, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mV/s ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานโดปามีน 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.3.2.3 สารละลายมาตรฐานกรดยูริก

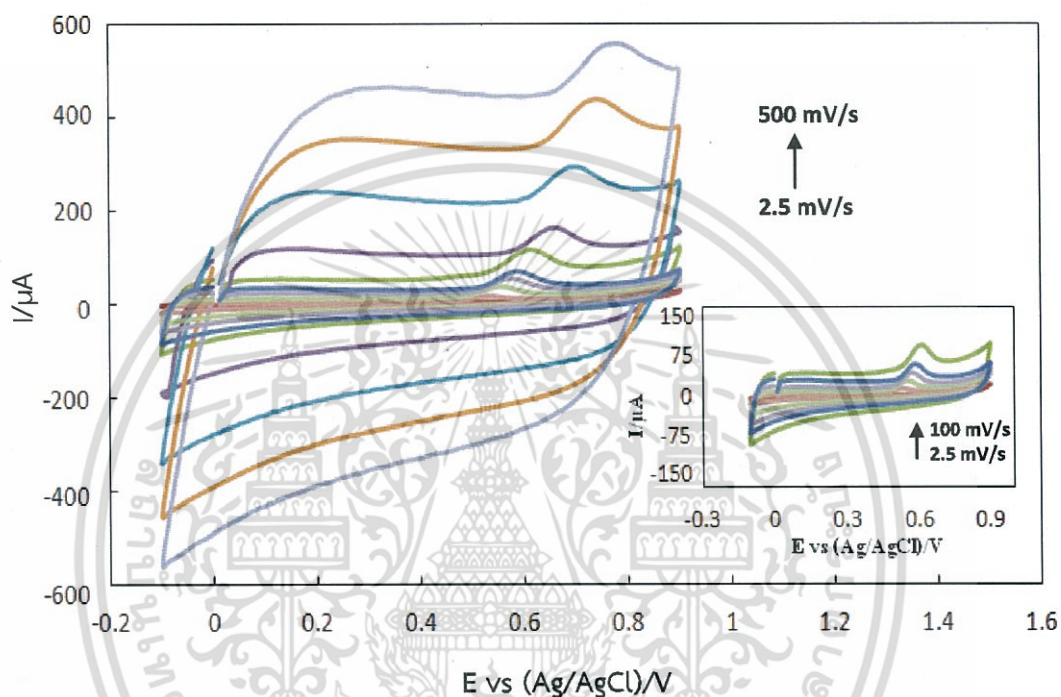
สำหรับการศึกษาอัตราการสแกนของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานกรดยูริกทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 0.6 โวลต์ และให้อัตราการสแกนที่ 2.5, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mV/s ตามลำดับ



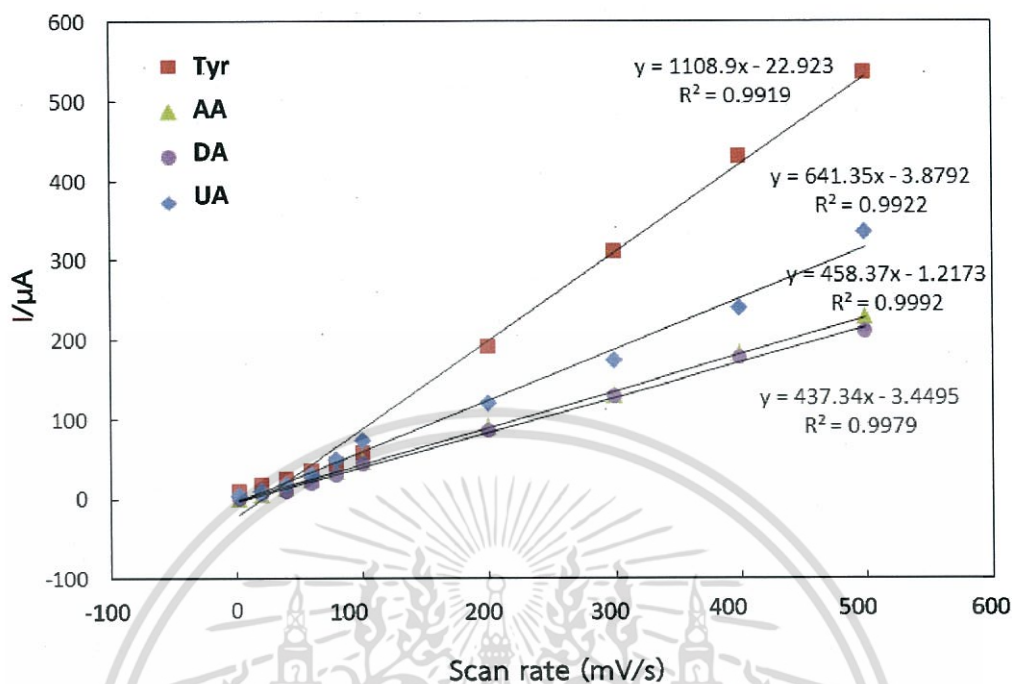
รูปที่ 4.20 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดยูริก 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

4.3.2.4 สารละลายมาตรฐานไทโรซีน

สำหรับการศึกษาอัตราการสแกนของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานไทโรซีนทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.2 ถึง 1.0 โวลต์ และให้อัตราการสแกนที่ 2.5, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mV/s ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานไทโรซีน 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ ต่อวินาที



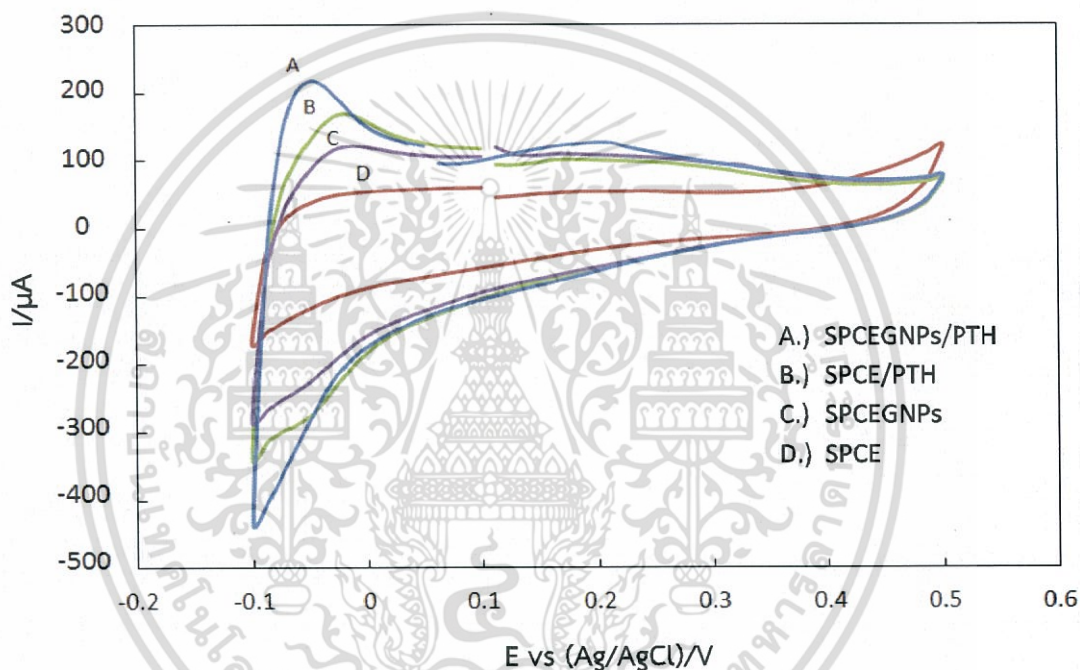
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกน จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ ที่อัตราการสแกน 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและอัตราการสแกน สำหรับการศึกษ้อัตราการสแกนที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 2.5 ถึง 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราการสแกนสูงขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดที่อัตราการสแกนที่ 500 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ซึ่งจากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของแต่ละสารที่ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ถูกรับปรุงจะเห็นกระแสแอนอดิก (I_{pa}) เกิดขึ้นสำหรับสารทุกตัว และในช่วงความเป็นเส้นตรงเมื่อมีอัตราการสแกนเพิ่มขึ้น โดยจากสมการเส้นตรงของ I_{pa} ได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เป็น 0.9992, 0.9979, 0.9922 และ 0.9919 สำหรับ AA, DA, UA และ Tyr ตามลำดับ ซึ่งจากผลที่ได้ดังกล่าวจึงแสดงให้เห็นว่าการออกซิเดชันของสารบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าที่ถูกรับปรุงเป็นกระบวนการ adsorption-controlled

4.4 ผลการศึกษาปฏิกิริยา กรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีน ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

4.4.1 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดแอสคอร์บิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.1 ถึง 0.5 โวลต์

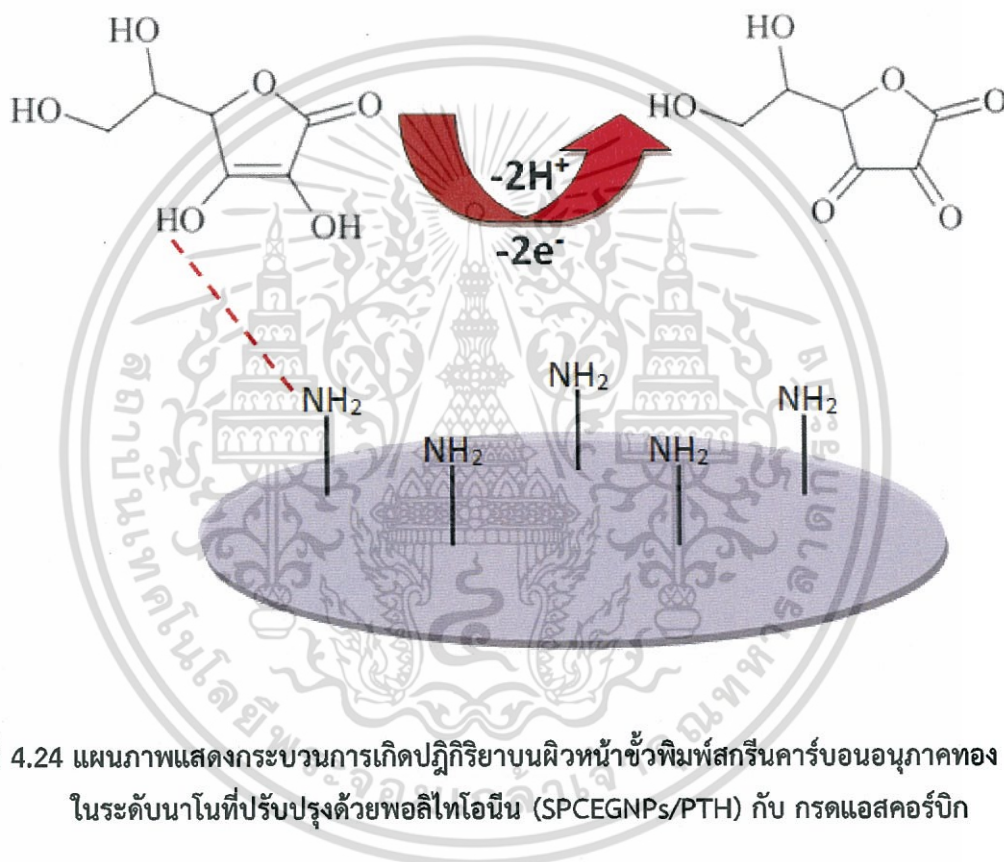


รูปที่ 4.23 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.23 สัญญาณที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน (SPCE) ,ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCE/PTH) ,ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน (SPCEGNNPs) และ ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNNPs/PTH) จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ขั้ว SPCEGNNPs/PTH จะให้ค่ากระแสสูงกว่าขั้วพิมพ์สกรีนชนิดต่างๆ ทั้งนี้ค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นสูงนี้ เนื่องจากขั้วพิมพ์สกรีนที่มีอนุภาคทองนาโนที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวมากขึ้นร่วมกับการมีพอลิเมอร์สารกึ่งตัวนำที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นได้มากขึ้นนอกจากนี้พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดบนหน้าขั้ว SPCE และ SPCEGNNPs ให้ค่าไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.001 และ -0.01 โวลต์ ตามลำดับ สำหรับปฏิกิริยาบนหน้าผิว SPCE/PTH และ SPCEGNPs/PTH การออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ค่าศักย์ไฟฟ้า -0.02 และ -0.05 โวลต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนไปทางลบเล็กน้อยที่ผิวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ถูกรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน เมื่อเทียบกับผิวไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ไม่ได้รับการปรับปรุง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณผิวหน้าผิวถูกเพิ่มด้วยพันธะไฮโดรเจน จากพอลิไทโอนีนเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแอสคอร์บิกที่มีการแตกตัวจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ซึ่งแสดงได้จากภาพ

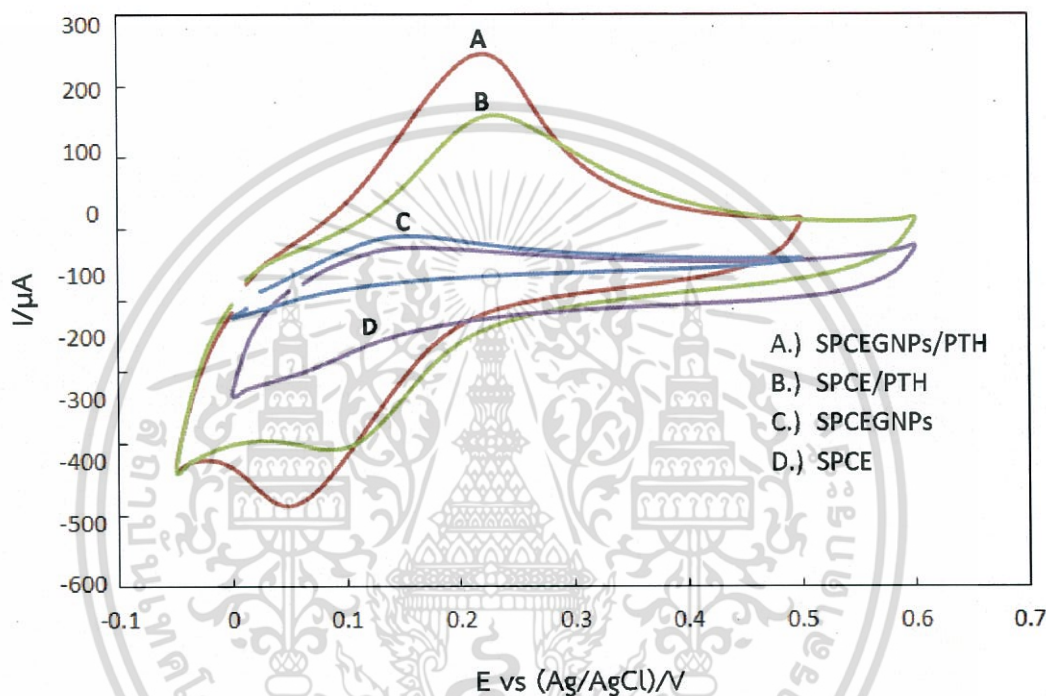


รูปที่ 4.24 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH) กับ กรดแอสคอร์บิก

จากแผนภาพค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยขึ้นกับอิทธิพลประจุบวก (Cationic) หมู่ $-\text{NH}_2$ ของพอลิไทโอนีนที่ติดบนหน้าขั้ว จับกับประจุลบ (Anionic) หมู่ $-\text{OH}$ ของกรดแอสคอร์บิก จึงส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทำไซคลิกโวลแทมโมแกรม ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่ปรับปรุงด้วยไทโอนีนจะเคลื่อนไปทางด้านลบเมื่อเทียบกับขั้วที่ไม่ได้รับการปรับปรุง

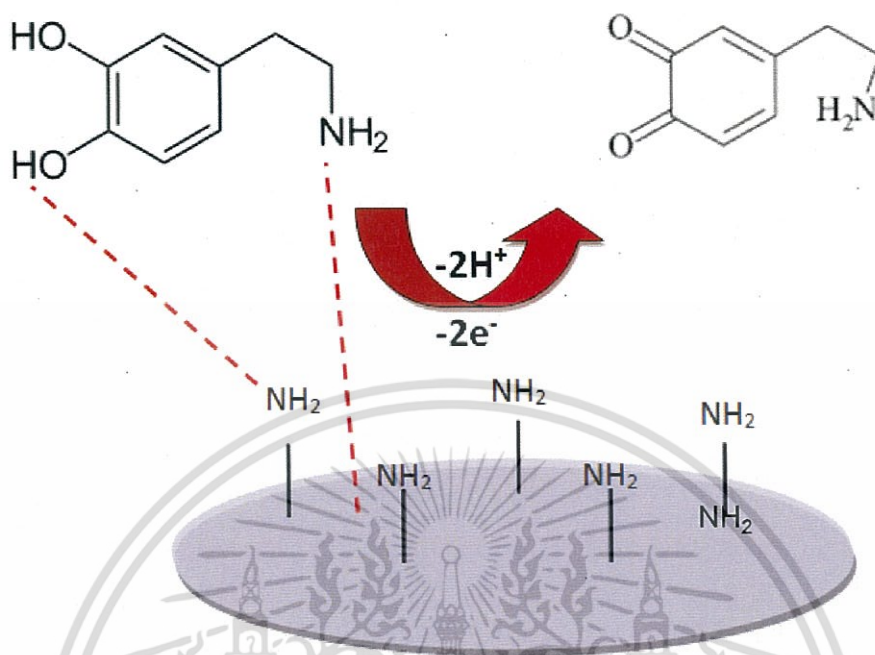
4.4.2 ผลการศึกษาปฏิกิริยาโดปามีนโดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน

สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานโดปามีนทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.05 ถึง 0.6 โวลต์



รูปที่ 4.25 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน โดปามีน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.25 สัญญาณที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานโดปามีนพบว่าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน (SPCEGNPs) จะเห็นได้ว่าค่ากระแสจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐานโดปามีน จะสูงสุดและเมื่อสารละลายโดปามีนทำปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้วที่มีแผ่นฟิล์มพอลิไทโอนินเกาะติดอยู่นั้นจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปทางลบเล็กน้อยเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิกแต่บริเวณ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขึ้นของสารละลายโดปามีนเกิดที่ 0.21 , 0.22 , 0.16 และ 0.139 โวลต์ สำหรับขั้ว SPCE/PTH , SPCEGNPs/PTH ,SPCEGNPs และ SPCE ตามลำดับซึ่งกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้ว SPCEGNPs/PTH แสดงได้ดังแผนภาพ

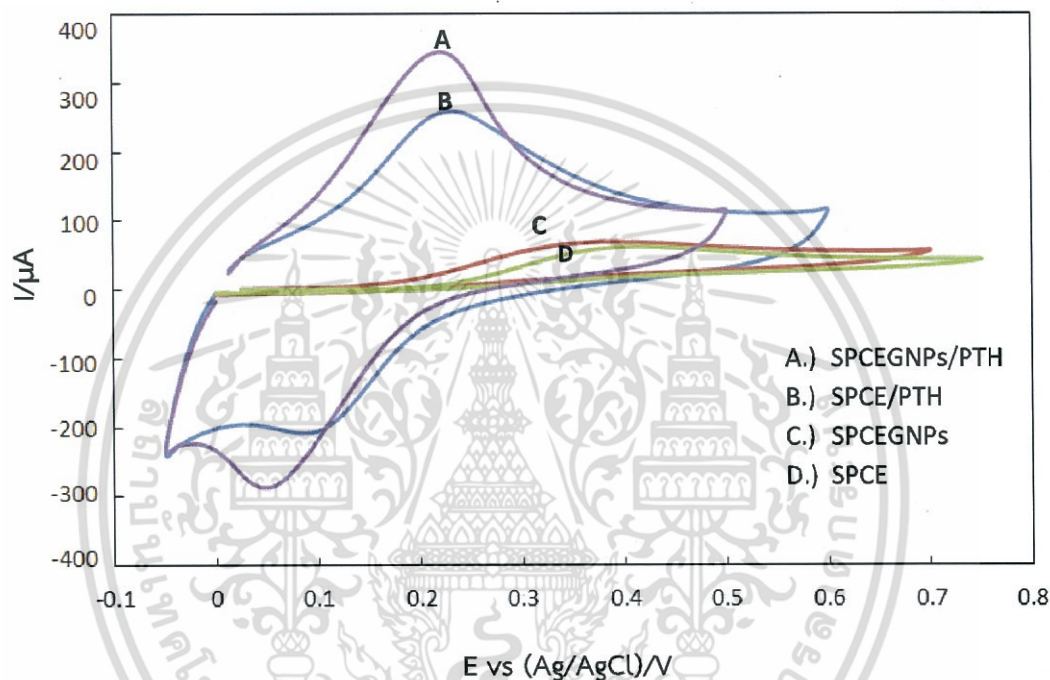


รูปที่ 4.26 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH) กับ โดปามีน

จากแผนภาพข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนของค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยของขั้ว SPCEGNPs/PTH เมื่อเทียบกับขั้วอีกสามชนิดนั้น เกิดจากประจุบวก (Cationic) หมู่ $-NH_2$ ของพอลิไทโอนีนที่ติดบนหน้าขั้ว จับกับประจุลบ (Anionic) หมู่ $-OH$ ของโดปามีน นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าโครงสร้างของโดปามีนนั้นมี $-NH_2$ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จับกับอิเล็กตรอนในวงอะโรมาติก ของไทโอนีนและการจับกันของพันธะนั้นมีความแข็งแรงมากกว่า $O-H \cdots N$ ทั้งนี้เนื่องจากค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของไนโตรเจนนั้นมีค่ามากกว่า OH จึงส่งผลให้สัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของโดปามีนนั้นเคลื่อนไปทางด้านขวาเมื่อมีพอลิไทโอนีนเกาะติดบนหน้าขั้ว

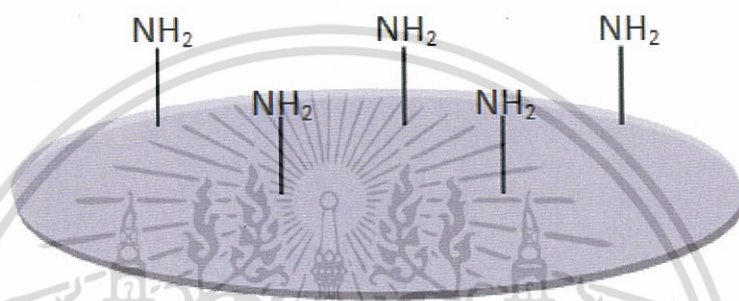
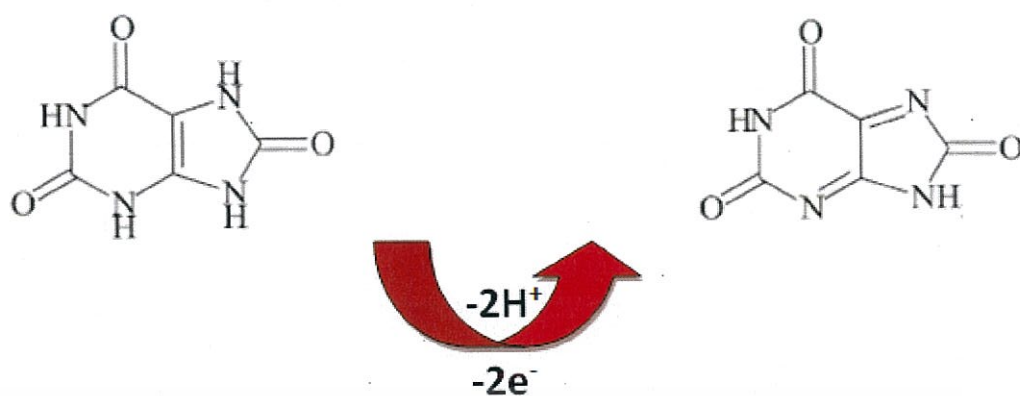
4.4.3 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดยูริกโดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน

สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานกรดยูริกทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.05 ถึง 0.75 โวลต์



รูปที่ 4.27 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดยูริก ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.27 สัญญาณที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานกรดยูริก ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้มากที่สุดมาจากขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน (SPCEGNPs/PTH) และค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐาน กรดยูริก ของทั้งสองขั้วนั้นจะเคลื่อนไปยังด้านลบเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก โดยขั้ว (SPCEGNPs/PTH) จะเห็นการเกิดปฏิกิริยาที่ค่าศักย์ 0.23 โวลต์ ซึ่งกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนหน้าขั้วแสดงได้ดังแผนภาพ

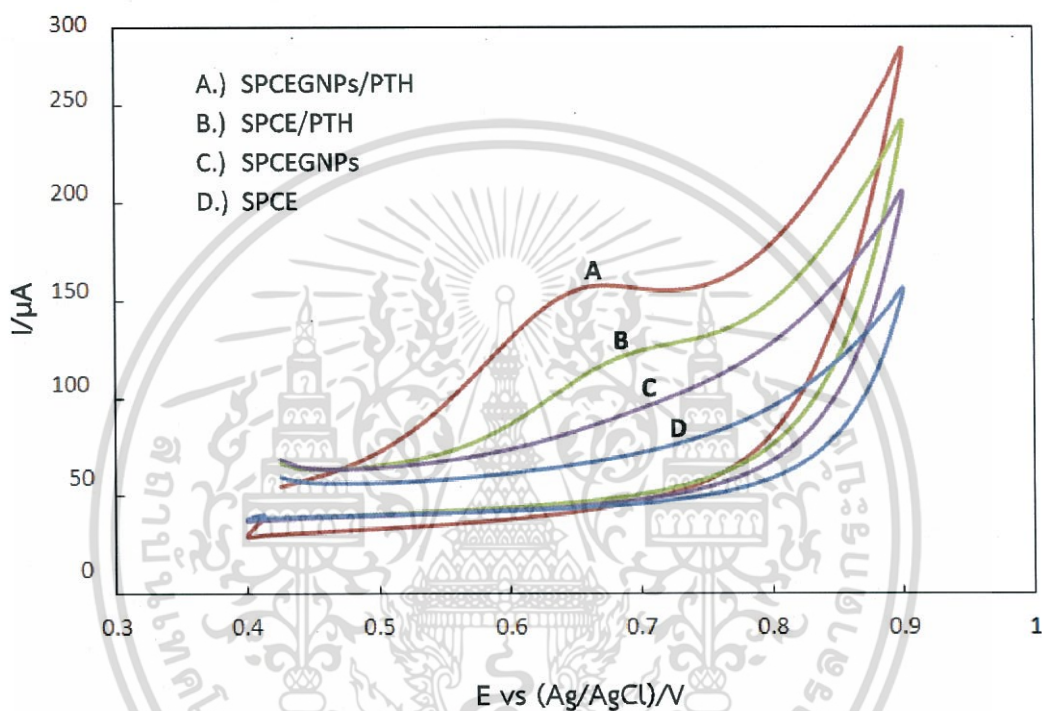


รูปที่ 4.28 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าสกรีนคาร์บอนอนุภาคของในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH) กับกรดยูริก

จากแผนภาพ 4.28 เมื่อกรดยูริกมีการแตกตัวบริเวณหน้าขั้วจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างประจุบวกของพอลิไทโอนีน กับ ประจุลบของกรดยูริกด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุทางไฟฟ้า (Electrostatic interaction) จึงส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปทางด้านลบเมื่อขั้วไฟฟ้าสกรีนมีพอลิไทโอนีนเกาะติดอยู่ที่หน้าขั้ว

4.4.4 ผลการศึกษาปฏิกิริยากรดไทโรซีนโดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน, ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

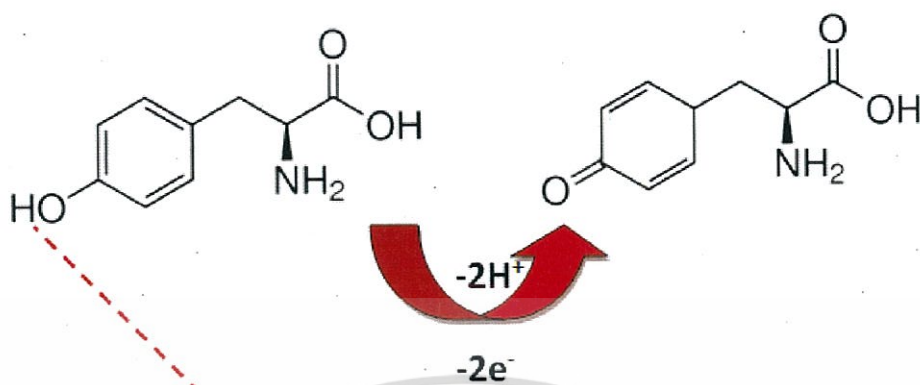
สำหรับการศึกษาปฏิกิริยาของ 1 มิลลิโมลาร์ สารละลายมาตรฐานไทโรซีนทำโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.4 ถึง 0.9 โวลต์



รูปที่ 4.29 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน ไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ พีเอช 7.00 ที่อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.29 สัญญาณที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานไทโรซีน พบว่า ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน ให้กระแสสูงกว่าขั้ว SPCE/PTH, SPCEGNPs และ SPCE ตามลำดับ จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐานไทโรซีน พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดที่ 6.65 , 6.68 , 7.00 และ 7.00 โวลต์ สำหรับขั้ว SPCE/PTH , SPCEGNPs/PTH , SPCEGNPs และ SPCE ตามลำดับของทั้ง 4 ขั้ว แต่จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วพิมพ์สกรีนที่มีพอลิไทโอนีนเกาะติดอยู่นั้นทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนไปทางด้านลบเช่นกัน ดังนั้นที่บริเวณหน้าขั้วพอลิไทโอนีนจึงส่งผลในการตรวจวัดที่ทำให้ค่ากระแสการตรวจวัดเพิ่มขึ้นและค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับขั้วพิมพ์สกรีนที่ไม่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของไทโอนีนบนหน้าขั้วแสดงได้ดังแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

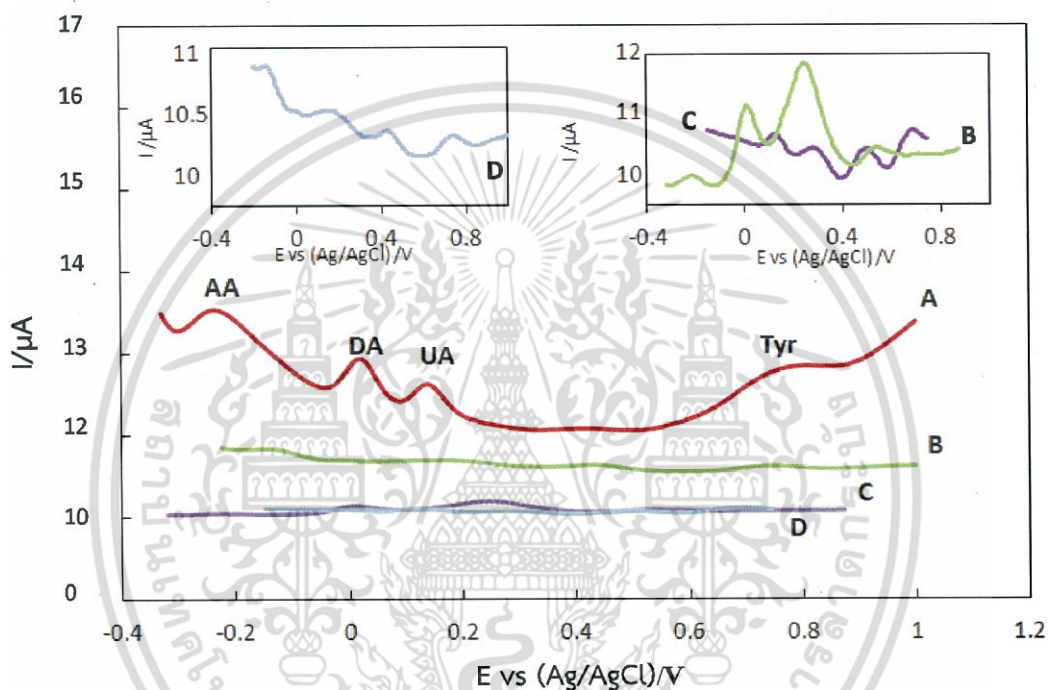


รูปที่ 4.30 แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคของในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน (SPCEGNPs/PTH) กับไทโรซีน

จากแผนภาพที่บริเวณผิวหน้าเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้พอลิไทโอนีนถูกออกซิไดซ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถออกซิไดซ์ของไทโรซีนได้อย่างง่าย ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าที่เคลื่อนไปก็เกิดจากการจับพันธะกันของ NH_2 ของพอลิไทโอนีน กับ $-\text{OH}$ ของไทโรซีน

4.5 ผลการศึกษาปฏิกิริยา กรดแอสคอร์บิก, กรดยูริก, โดปามีน และไทโรซีน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

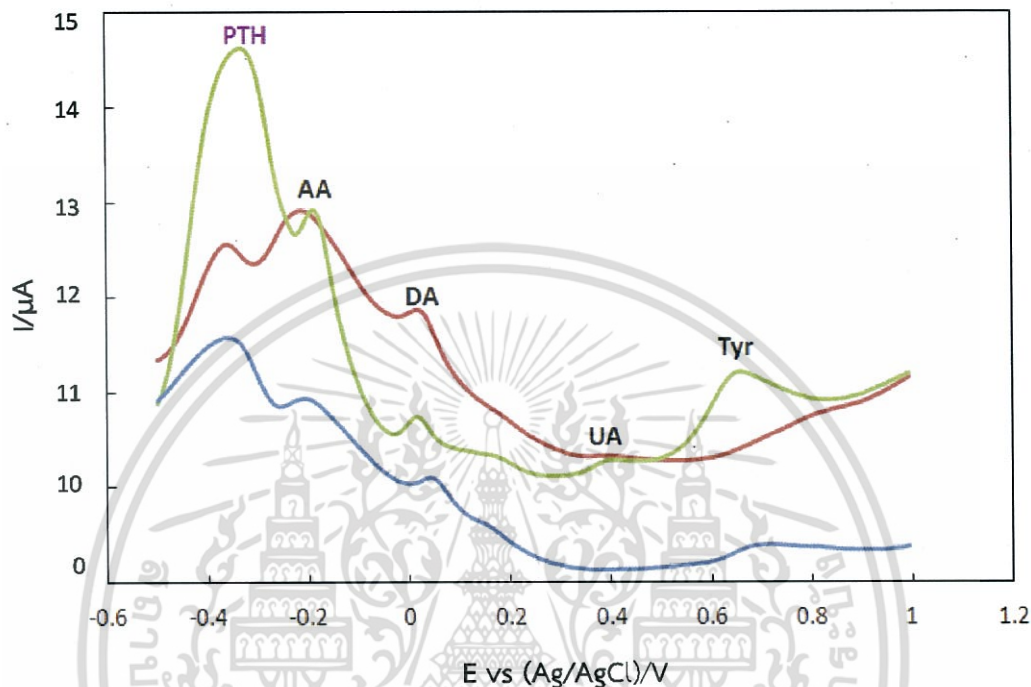
4.5.1 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน, ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโน และ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน



รูปที่ 4.31 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนที่มีความเข้มข้น 300, 200, 300 และ 200 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGPs/PTH (A), SPCE/PTH (B), SPCEGNP (C), และ SPCE (D)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.31 สัญลักษณ์ที่ได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี ของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 300, 200, 300, และ 200 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ปรากฏที่ประมาณ -0.20 , $+0.01$, $+0.40$ และ $+0.70$ โวลต์ตามลำดับ ซึ่งเห็นลำดับการแยกอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนที่ไม่ได้รับการปรับปรุง

4.5.2 การศึกษาไทโออินมีผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในคราวเดียวกันโดยใช้ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโออิน(SPCEGNPs/PTH)



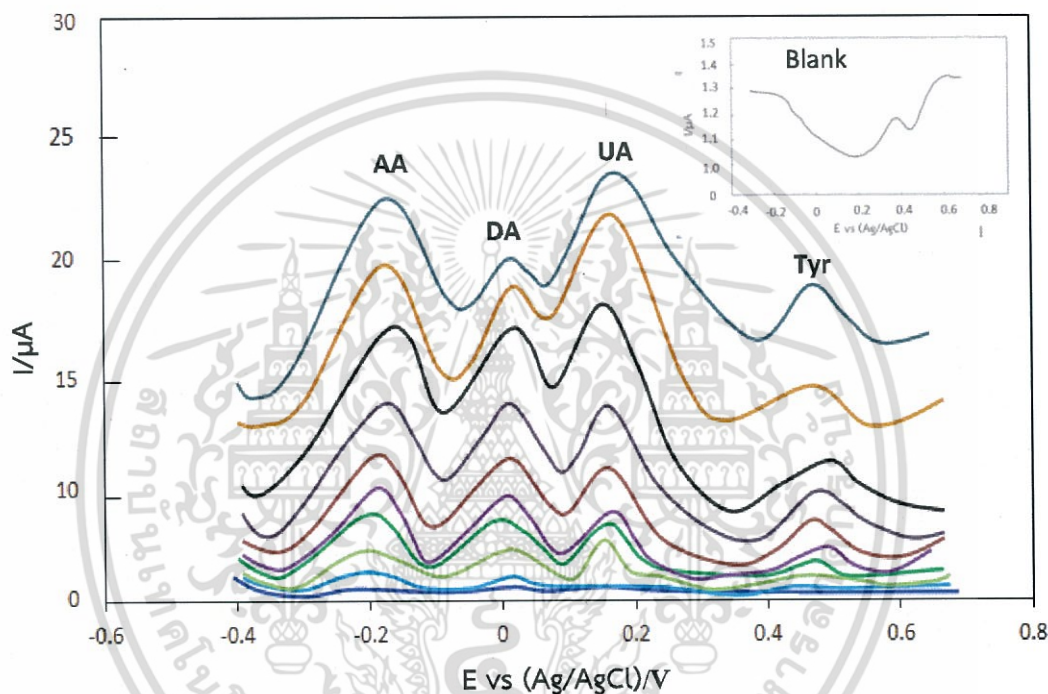
รูปที่ 4.32 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่มีความเข้มข้น 300, 200, 300 และ 200 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ที่ทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโออิน (SPCEGNPs/PTH) ในการวัดครั้งที่หนึ่ง สอง และสาม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.32 สัญญาณที่ได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี ของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 300, 200, 300 และ 200 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโออิน (SPCEGNPs/PTH) โดยวัดครั้งที่หนึ่ง, ครั้งที่สอง และ ครั้งที่สาม จะพบว่ากระแสที่ได้จากการวัดครั้งที่สองและสามลดต่ำลง เป็นผลมาจากพอลิไทโออินหลุดออกจากบริเวณผิวหน้าขั้ว ซึ่งสรุปได้ว่าพอลิไทโออิน (PTH) มีผลต่อการตรวจวัดการแยกสารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน แต่เมื่อสังเกตว่าการวัด DA ใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH ครั้งที่สอง ยังคงให้ค่ากระแสที่สูงกว่าเนื่องจากผลของประจุบวกของหมู่บวก $-NH_2$ ของโดปามีนนั้น มีแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของพอลิไทโออิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในคราวเดียวกัน โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

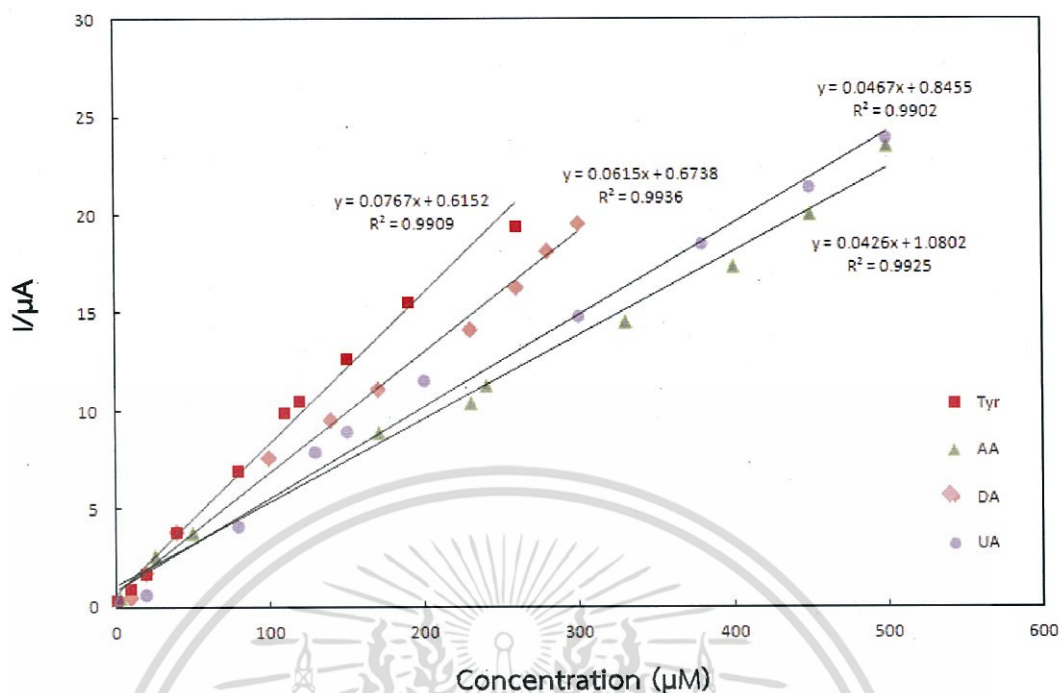
ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในช่วงความเข้มข้นเข้มข้น 2.5 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500 และ 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ที่เติมลงไปในการละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 จำนวน 10 ครั้ง ในช่วงศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.4 ถึง +7.0 โวลต์ ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่มีความเข้มข้น 2.5 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500 และ 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.33 สัญญาณที่ได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมโทรี ของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนจากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาหน้าขั้วที่กล่าวมาในส่วนข้างต้นจากเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมโทรีนั้นการแยกของสารละลายมาตรฐานจะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสำหรับ ระหว่าง กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ -0.17, +0.02, +0.15 และ +0.49 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเข้มข้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนคร่าวเดียวกัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

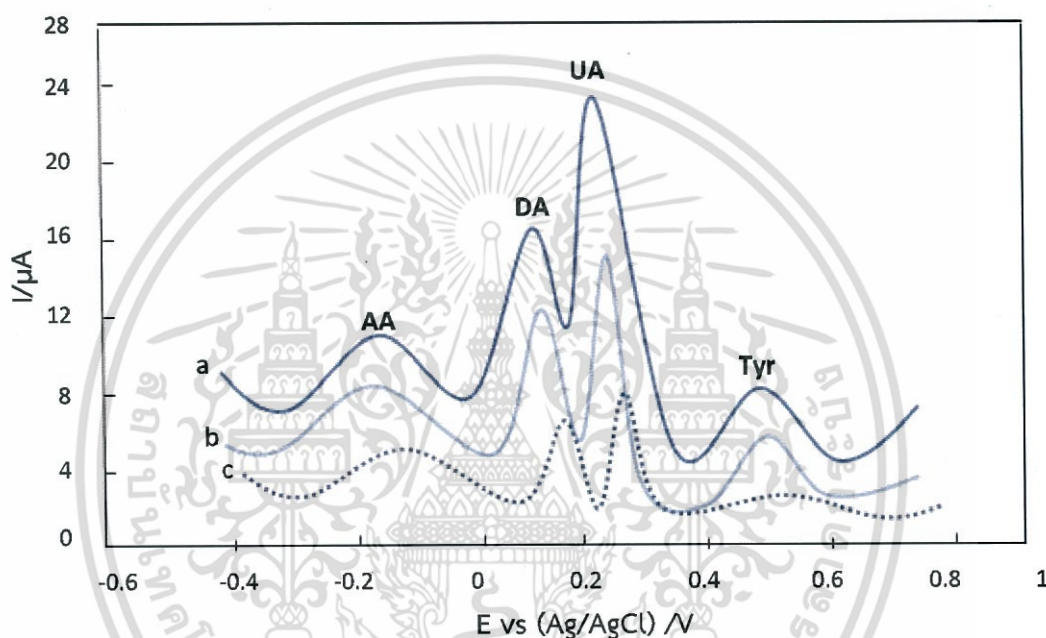
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาคคุณลักษณะช่วงความเป็นเส้นตรง, ขีดจำกัดการตรวจวัด และขีดจำกัดการวิเคราะห์ของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

| Analyte | Regression equation | R^2 | LOD (μM) | LOQ (μM) |
|---------|------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| AA | $y = 0.0426x + 1.0802$ | 0.9925 | 0.2786 | 6.1612 |
| DA | $y = 0.0615x + 0.6738$ | 0.9936 | 0.9412 | 10.0446 |
| UA | $y = 0.0467x + 0.8455$ | 0.9902 | 0.8316 | 7.2730 |
| Tyr | $y = 0.0767x + 0.6152$ | 0.9909 | 0.0506 | 7.6881 |

4.6 ผลต่อการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ

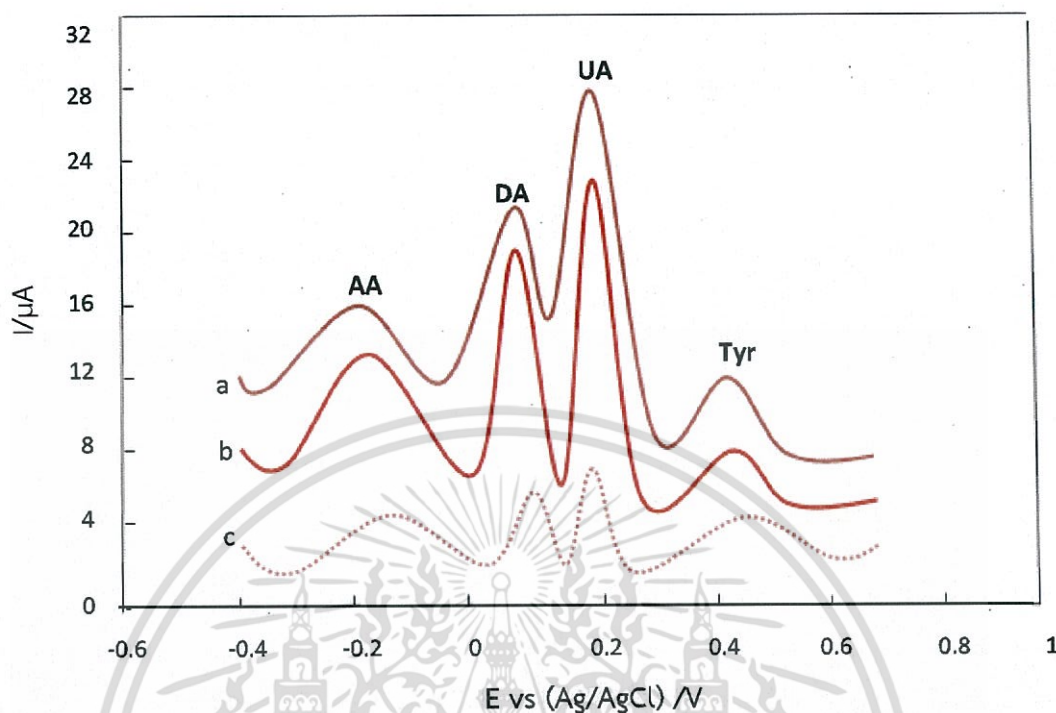
ผลการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และ ไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะ 2 กลุ่ม คือกลุ่มเพศชาย และเพศหญิง โดยตรวจวัดปัสสาวะที่ละลายในฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.00 ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่เติมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ความเข้มข้น ตามตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

4.6.1 ผลการตรวจตัวอย่างปัสสาวะในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย



รูปที่ 4.35 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมการตรวจวัดตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย ทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH ที่เติมสารละลายมาตรฐาน (a) 250, 200, 200 และ 200 ไมโครโมลาร์, (b) 130, 120, 100 และ 100 ไมโครโมลาร์ สำหรับ AA, DA, UA และ Tyr ตามลำดับ และ (c) คือตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน

4.6.2 ผลการตรวจตัวอย่างปัสสาวะในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง



รูปที่ 4.36 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมการตรวจวัดตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิง ทำการตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH ที่เติมสารละลายมาตรฐาน (a) 200, 200, 150 และ 200 ไมโครโมลาร์ (b) 150, 150, 100 และ 100 ไมโครโมลาร์ สำหรับ AA, DA, UA และ Tyr ตามลำดับ และ (c) คือตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมการตรวจวัดตัวอย่างปัสสาวะสองกลุ่มที่ทำ การตรวจวัดในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้ว SPCEGNPs/PTH พบว่าเมื่อเติมสารมาตรฐานลงใน ตัวอย่างปัสสาวะพบค่าศักย์ไฟฟ้าเคลื่อนไปเล็กน้อย ซึ่งสามารถหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ได้จากตารางแสดงร้อยละของการคืนกลับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะเพศชายโดยใช้ชีวไฟฟ้าพืมาพืสกรินคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุ่ด้วยพอลิไทโอนีน

| sample | Analyte | Original(μM) | Added(μM) | Found(μM) | % Recovery |
|--------|---------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------|
| Male | AA | 2.27 | 130 | 138.82 | 108.56 |
| | | 2.27 | 250 | 255.03 | 102.95 |
| | DA | 2.90 | 120 | 133.75 | 109.04 |
| | | 2.90 | 200 | 206.02 | 101.56 |
| | UA | 5.50 | 100 | 106.31 | 100.81 |
| | | 5.50 | 200 | 205.50 | 100.00 |
| | Tyr | 1.19 | 100 | 105.91 | 104.71 |
| | | 1.19 | 200 | 217.82 | 108.31 |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ในตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิงโดยใช้ชีวไฟฟ้าพืมาพืสกรินคาร์บอน อนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุ่ด้วยพอลิไทโอนีน

| sample | Analyte | Original(μM) | Added(μM) | Found(μM) | % Recovery |
|--------|---------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------|
| Female | AA | 0.61 | 150 | 161.76 | 108.25 |
| | | 0.61 | 200 | 210.56 | 105.59 |
| | DA | 1.66 | 150 | 161.36 | 108.68 |
| | | 1.66 | 200 | 203.05 | 102.36 |
| | UA | 8.18 | 100 | 117.61 | 109.43 |
| | | 8.18 | 150 | 151.72 | 95.69 |
| | Tyr | 0.05 | 100 | 106.56 | 106.51 |
| | | 0.05 | 200 | 214.23 | 107.14 |

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิงตามลำดับ ในการวิเคราะห์หาสาร ทั้ง 4 ชนิดนี้พบว่าในตัวอย่างปัสสาวะ %RSD ที่ได้คือช่วง 100-109.04% และ 95.69-109.43% สำหรับตัวอย่างปัสสาวะเพศชายและเพศหญิง ตามลำดับ เนื่องจากความเข้มข้นของการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างต่ำส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ที่สูง ดังนั้น %RSD ของกลุ่มตัวอย่างปัสสาวะทั้งสองจึงเป็นที่ยอมรับได้ตาม AOAC ในช่วงกว้างคือ 80-100% [ภาคผนวก จ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขั้วไฟฟ้าพืมหัสกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนสามารถทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจวัดโดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า(Electrochemical deposition) ด้วยไทโอนีน แอซิเตท (Thionine acetate) โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) พบว่าความเข้มข้นของไทโอนีน(Thionine) ที่เหมาะสมสำหรับการเกาะติดบริเวณหน้าขั้วคือ 0.01 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) พีเอช 7.00 ที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ สำหรับการเกาะติดทางไฟฟ้า(Electrochemical deposition) ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.5 ถึง +1.0 โวลต์มีอัตราการสแกน (Scan rate) 0.05 โวลต์ต่อวินาที (เทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์) ทำการขึ้นขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี(Cyclic Voltammetry) ซึ่งนำขั้วไฟฟ้าที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, AA) โดปามีน (Dopamine, DA) กรดยูริก (Uric acid, UA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr) โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (Differential pulse Voltammetry) ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.4 ถึง +1.0 โวลต์ ค่าความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, AA) โดปามีน (Dopamine, DA) กรดยูริก (Uric acid UA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr)ที่ความเข้มข้น 2.5 ถึง 500, 10 ถึง 300, 2 ถึง 500, 1 ถึง 260 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ จะได้สมการเชิงเส้น $y = 0.0426x+1.0802$ $R^2 = 0.9925$, $y = 0.0615x+0.6738$ $R^2 = 0.9936$, $y = 0.0467x+0.8455$ $R^2 = 0.9902$, $y = 0.0767x+0.6152$ $R^2 = 0.9909$ ตามลำดับ ขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.2786, 0.9412, 0.8316 และ 0.0506 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ขีดจำกัดการวิเคราะห์เท่ากับ 6.1612, 10.0446, 7.2730 และ 7.6881 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.12, 0.73 1.59 และ 1.47ตามลำดับ จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าพืมหัสกรีนอนุภาคทองในระดับนาโนปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจวัดโดยการเกาะติดทางไฟฟ้า(Electrochemical deposition) ของ ไทโอนีน แอซิเตท(Thionine acetate) ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, AA) โดปามีน (Dopamine, DA) กรดยูริก (Uric acid, UA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr)ในตัวอย่างปัสสาวะของเพศชายและเพศหญิง พบว่ามีค่าร้อยละของการคืนกลับเฉลี่ย(% Recovery) ในปัสสาวะเพศชายเท่ากับ 105.76, 105.30, 100.41 และ 106.51 ตามลำดับ และในปัสสาวะเพศหญิงเท่ากับ 106.92, 105.52, 102.56 และ 106.83 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขณะตรวจวัดความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, AA) โดปามีน (Dopamine, DA) กรดยูริก (Uric acid, UA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr) โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (Differential pulse Voltammetry) จะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ ทำให้กราฟออกมาไม่มีความสมบูรณ์ จึงควรตัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ฟาราเดย์แคส เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดลอง
2. การเตรียมสารมาตรฐานโดปามีน (Dopamine, DA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr) สังเกตได้ว่าเมื่อเตรียมสารทิ้งไว้ข้ามวัน สารจะเริ่มมีสีเข้มขึ้นและเกิดตะกอน จึงควรเตรียมสารมาตรฐานโดปามีน (Dopamine, DA) และไทโรซีน (Tyrosine, Tyr) วันต่อวันเพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์
3. ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนจะไวต่อความชื้น จึงควรเก็บไว้ใน เดซิคาเตอร์ (Desiccator)



เอกสารอ้างอิง

- [1] Roman Kand, Pavla ZÁKOVÁ. (2009). "Determination of phenylalanine and tyrosine in plasma and dried blood samples using HPLC with fluorescence detection". *Journal of Chromatography B*, Vol.877, 3926–3929.
- [2] Chunhui Deng, Yonghui Deng, Bin Wang, Xiuhan Yang. (2002). "Gas chromatography–mass spectrometry method for determination of phenylalanine and tyrosine in neonatal blood spots". *Journal of Chromatography B*, Vol.780, 407–413.
- [3] Wei Wei, Wang Hong-Jian, Jiang Chong-Qiu, Shi Jing-Min. (2007). "Spectrofluorimetric Determination of Trace Amounts of Tyrosine with 1,5-Bis(4,6-dichloro-1,3,5-triazinylamino) naphthalene". *CHINESE JOURNAL OF ANALYTICAL CHEMISTRY*, Volume 35, 1772-1775.
- [4] Md. Mahbubur Rahman, Nasrin Siraj Lopa, Kyuwon Kim and Jae-Joon Lee. (2015). "Selective detection of L-tyrosine in the presence of ascorbic acid; dopamine, and uric acid at poly(thionine)-modified glassy carbon electrode". *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol.754, 87-93.
- [5] J.Wang, B. Tian, V.B. Nascimento, L. Angnes. (1998). "Performance of screen-printed carbon electrodes fabricated from different carbon inks". *Electrochimica Acta*, Vol.43, 3459-3465.
- [6] P. Masawat., S. Liawruangrath., J.M Slater. (2003). "Flow injection measurement of lead using mercury-free disposable gold-sputtered screen-printed carbon electrodes (SPCE)". *Sensors and Actuators B*, Vol.91, 52-59.
- [7] Di Stefano A, Sozio P, Cerasa LS, Lannitelli. (2011). "L-Dopa prodrugs: an overview of trends for improving Parkinson's disease treatment". *Current Pharmaceutical Design*, Vol.17,82-93.
- [8] Lutke-Eversloh T, Santos CN (2007). "Perspectives of biotechnological production of L-tyrosine and its applications". *Appl Microbiol Biotechnol*. Vol.77, 751–762.
- [9] T. Zetterstrom, T. Sharp, C.A. Marsden, U. Ungerstedt. (2003). "Schematic drawing of Hydrophobic interaction between DA and the PDMA film". *Bioelectrochemistry*, Vol.59, 11–19.
- [10] Kienan J. A. (2001). "Classification and naming of dyes, stains and fluorochromes". *Biotech Histochem*, Vol.76, 261–78.
- [11] Baker E. M, Hodges RE, Hood J, Sauberlich HE, March SC. (1971). "Metabolism of ascorbic-1-14C acid in experimental human scurvy". *The American Society for Clinical Nutrition*, Vol.22, 549-558.

- [12] Qiang Gao, Xiaoqiang Cui, Fan Yang, Ying Ma, Xiurong Yang. (2003). "Preparation of poly(thionine) modified screen-printed carbon electrode and its application to determine NADH in flow injection analysis system". State Key Laboratory of Electroanalytical Chemistry, : 159
- [13] Md. Mahbubur Rahman, Nasrin Siraj Lopa, Kyuwon Kim and Jae-Joon Lee. (2015). "Selective detection of L-tyrosine in the presence of ascorbic acid, dopamine, and uric acid at poly(thionine)-modified glassy carbon electrode". Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol.754, 87-93.
- [14] Amanda J.Callens BS, LVT..Joseph W. Bartges DVM, PhD. (2015). "Urinalysis". Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Vol.45, 621-637.
- [15] Walsh C. J, Sooksimuang T, Mandal B.K. (1992). "Synthesis and characterization of zinc(II) meso-tetra(9-hexyl) carbazoly(porphine. A Green-emitting hole-transporting material for electroluminescent and photoconductive application", J. Porphyrins and Phthalocyanines, Vol.5(11), 1551-1554.
- [16] Norolayn K. (2014). "Basic principle of a potentiostat/galvanostat. (PGSTAT)". Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry, 7-29.
- [17] Bard, A. J., Faulkner, L. R., (1980), "The electrode/electrolyte interface - a status report", Electrochemical Method : Fundamentals and Application, Vol.2, 213-242.
- [18] Md. Mahbubur Rahman , Nasrin Siraj Lopa , Kyuwon Kim , Jae-Joon Lee. (2015). "Selective detection of L-tyrosine in the presence of ascorbic acid, dopamine and uric acid at poly(thionine)-modified glassy carbon electrode", Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol.754, 87-93.
- [19] Ru Yang, Chuanmin Ruan, Weilin Dai, Jiaqi Deng , Jilie Kong. (1999). "Electropolymerization of thionine in neutral aqueous media and H₂O₂ biosensor based on poly(thionine)". Electrochimica Acta, Vol.44, 158-1596.
- [20] Qiang Gao, Xiaoqiang Cui, Fan Yang, Ying Ma, Xiurong Yang . (2003). "Preparation of poly(thionine) modified screen-printed carbon electrode and its application to determine NADH in flow injection analysis system". Biosensors and Bioelectronics, Vol.19, 277-282.
- [21] A. J. Saleh Ahammad, Xiao-bo Li, Md. Mahbubur Rahman, Kwang-Mo Noh, Jae-Joon Lee. (2013). "Characteristics of a Poly(thionine) Modified Glassy Carbon Electrode and the Detection of Dopamine and Uric acid". Int. J. Electrochem. Sci, Vol.8, 7806-7815.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Roman Kand, Pavla ZÁKOVÁ. (2009). "Determination of phenylalanine and tyrosine in plasma and dried blood samples using HPLC with fluorescence detection". *Journal of Chromatography B*, Vol.877, 3926–3929.
- [2] Chunhui Deng, Yonghui Deng, Bin Wang, Xiuhan Yang. (2002). "Gas chromatography–mass spectrometry method for determination of phenylalanine and tyrosine in neonatal blood spots". *Journal of Chromatography B*, Vol.780, 407–413.
- [3] Wei Wei, Wang Hong-Jian, Jiang Chong-Qiu, Shi Jing-Min. (2007). "Spectrofluorimetric Determination of Trace Amounts of Tyrosine with 1,5-Bis(4,6-dichloro-1,3,5-triazinylamino) naphthalene". *CHINESE JOURNAL OF ANALYTICAL CHEMISTRY*, Volume 35, 1772-1775.
- [4] Md. Mahbubur Rahman, Nasrin Siraj Lopa, Kyuwon Kim and Jae-Joon Lee. (2015). "Selective detection of L-tyrosine in the presence of ascorbic acid, dopamine, and uric acid at poly(thionine)-modified glassy carbon electrode". *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol.754, 87-93.
- [5] J.Wang, B. Tian, V.B. Nascimento, L. Angnes. (1998). "Performance of screen-printed carbon electrodes fabricated from different carbon inks". *Electrochimica Acta*, Vol.43, 3459-3465.
- [6] P. Masawat., S. Liawruangrath., J.M Slater. (2003). "Flow injection measurement of lead using mercury-free disposable gold-sputtered screen-printed carbon electrodes (SPCE)". *Sensors and Actuators B*, Vol.91, 52-59.
- [7] Di Stefano A, Sozio P, Cerasa LS, Lannitelli. (2011). "L-Dopa prodrugs: an overview of trends for improving Parkinson's disease treatment". *Current Pharmaceutical Design*, Vol.17,82-93.
- [8] Lutke-Eversloh T, Santos CN (2007). "Perspectives of biotechnological production of L-tyrosine and its applications". *Appl Microbiol Biotechnol*. Vol.77, 751–762.
- [9] T. Zetterstrom, T. Sharp, C.A. Marsden, U. Ungerstedt. (2003). "Schematic drawing of Hydrophobic interaction between DA and the PDMA film". *Bioelectrochemistry*, Vol.59, 11–19.
- [10] Kienan J. A. (2001). "Classification and naming of dyes, stains and fluorochromes". *Biotech Histochem*, Vol.76, 261–78.
- [11] Baker E. M, Hodges RE, Hood J, Sauberlich HE, March SC. (1971). "Metabolism of ascorbic-1-14C acid in experimental human scurvy". *The American Society for Clinical Nutrition*, Vol.22, 549-558.

- [22] S. Brillians Revin, S. AbrahamJohn. (2012). "Selective determination of l-tyrosine in the presence of ascorbic and uric acids at physiological pH using the electropolymerized film of 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol.161, 1059-1066.
- [23] Chunya Li. (2006). "Voltammetric determination of tyrosine based on an L-serine polymer film electrode". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 50, 147–151.
- [24] Bin FANG, Hongying LIU, Guangfeng WANG, Yunyou ZHOU, Maoguo Lla, Yan YU, Wei ZHANG. (2007) "The electrochemical behavior and direct determination of tyrosine at a glassy carbon". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol.97, 169–178.
- [25] Guang-Ping Jin, Xiang-Qin Lin. (2004). "The electrochemical behavior and amperometric determination of tyrosine and tryptophan at a glassy carbon electrode modified with butyrylcholine". *Electrochemistry Communications*, Vol.6 , 454–460.
- [26] Carmen Quintana, Sonia Suárez, Lucas Hernández. (2010). "Nanostructures on gold electrodes for the development of an L-tyrosin electrochemical sensor based on host–guest supramolecular interactions". *Sensors and Actuators B*, Vol.149, 129–135.
- [27] Sona Skrovankova¹, Jiri Mlcek, Jiri Sochor, Mojmir Baron, Jindrich Kynicky and Tunde Jurikova. (2015). "Determination of Ascorbic Acid by Electrochemical Techniques and other Methods". *Int. J. Electrochem Sci.*, Vol.10, 2421-2431.
- [28] Protiva Rani Roy, Takeyoshi Okajima, Takeo Ohsaka. (2003). "Simultaneous electroanalysis of dopamine and ascorbic acid using poly (N,N-dimethylaniline)- modified electrodes". *Bioelectrochemistry*, Vol.59, 11–19.
- [29] Fariba Tadayon, Hasan Bagheri. (2016). "Au-Pd/reduced graphene oxide composite as a new sensing layer for electrochemical determination of ascorbic acid,acetaminophen and tyrosine". *Materials Science and Engineering: C*, Vol.68, 805-813.
- [30] A. J. Saleh Ahammad. (2011). "Selective Detection of Serotonin from the Interference by Ascorbic Acid and Uric Acid at Poly (thionine)-modified Glassy Carbon Electrode". *Bulletin of the Korean Chemical Society*, Vol.32, 779-780.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลาย

ก.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

ก.1.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4 : น้ำหนักโมเลกุล 136.09 กรัม) 6.8045 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปปั่นกวนให้โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ก.1.2 การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4 : น้ำหนักโมเลกุล 174.18 กรัม) 8.709 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปปั่นกวนให้ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์

ก.1.3 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4 ถึง 10

เทสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่เตรียมได้จาก ภาพผนวก ก.1 ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เทสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจน ฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่เตรียมได้จากภาพผนวก ก.1.2 ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปีเปิดสารแต่ละตัวปริมาตรตามตาราง ก1.ใส่ในขวดปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก1 แสดงปริมาณสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4):

โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(KH_2PO_4) ในการเตรียมพีเอชต่างๆ

| พีเอช | K_2HPO_4 (มิลลิลิตร) | KH_2PO_4 (มิลลิลิตร) |
|-------|---|---|
| 4 | 0.02 | 9.1 |
| 5 | 0.15 | 9 |
| 6 | 0.66 | 4.34 |
| 7 | 3.5 | 2.5 |
| 8 | 4.7 | 0.3 |
| 9 | 4.9 | 0.03 |
| 10 | 7 | 0.005 |

ก.2 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

เตรียมโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 1 โมลาร์ ซึ่ง 18.6403 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดปรับปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนปริมาตรสารละลายเป็น 250 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์

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

$$\frac{g}{74.55} = \frac{1 \times 250}{1000}$$

$$g = 18.6403 \text{ g}$$

ก.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต (III) ความเข้มข้น 2

มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ซึ่งเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต 0.0164g ละลายด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ จนปริมาตรสารละลายเป็น 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต(III) 2 มิลลิโมลาร์

ก.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ซึ่งไทโรซีน 0.0018 กรัม ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) 0.1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จนปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานไทโรซีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{g}{181.19} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0018 \text{ g}$$

ก.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโดปามีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ซึ่งโดปามีน 0.0019 กรัม ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) 0.1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จนปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโดปามีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{g}{189.64} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0019 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดยูริก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ซึ่งกรดยูริก 0.0017 กรัม ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) 0.1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จนปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดยูริก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{g}{168.11} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0017 \text{ g}$$

ก.7 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ซึ่งแอสคอร์บิก 0.0017 กรัม ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) 0.1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จนปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

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

$$\frac{g}{176.12} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0017 \text{ g}$$

ก.8 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไทโอนีน ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ซึ่งไทโอนีน 0.0002 กรัม ละลายด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PBS) 0.1 โมลาร์ เทใส่ขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จนปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานไทโอนีน ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{g}{287.32} = \frac{0.1 \times 10^{-3} \times 10}{1000}$$

$$g = 0.0002 \text{ g}$$

ก.9 การเตรียมสารละลายตัวอย่างปัสสาวะสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน

ปิเปตตัวอย่างปัสสาวะบริสุทธิ์ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร เจือจางปัสสาวะด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำการปิเปตปัสสาวะจากขวด 10 มิลลิลิตรมา 1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ข

การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

ข1. การคำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด(LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

การตรวจสอบ และการคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดการตรวจวัดนั้นทำการทดสอบจากการป้อนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง โดยทำการตรวจสอบและคำนวณตามวิธีการของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ทำการศึกษาค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด และขีดจำกัดการวิเคราะห์ ของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน จะได้สมการเชิงเส้น กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีนคือ $y = 0.05605x + 7.785$ $R^2 = 0.96431$, $y = 0.04294x + 7.2921$ $R^2 = 0.98624$, $y = 0.01966x + 2.018$ $R^2 = 0.99203$ และ $y = 0.02258x - 0.01539$ $R^2 = 0.9665$ ตามลำดับ ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจพบ (LOQ) หาได้จากสมการ

$$\text{LOD} = 3 \text{ SD ของ sample blank / ความชันของกราฟ}$$

$$\text{LOQ} = \text{ค่าเฉลี่ยของ sample blank} + 10 \text{ SD}$$

ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในช่วงที่เป็นเส้นตรงกับกระแสที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนิน

| ความเข้มข้น AA (μM) | กระแส AA (μA) | กระแสของblank (μA) |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 500 | 16.21 | 1.299 |
| 450 | 15.03 | 1.298 |
| 400 | 14.34 | 1.302 |
| 330 | 13.58 | 1.302 |
| 240 | 11.28 | 1.301 |
| 230 | 10.36 | 1.310 |
| 170 | 9.81 | 1.309 |
| 50 | 9.00 | 1.305 |
| 25 | 8.68 | 1.301 |
| 2.5 | 8.04 | 1.304 |
| | | $\bar{X} = 1.3031$ |
| | | SD = 0.00395 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ SD=0.00395 ขนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด(LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดแอสคอร์บิก (AA)

LOD = 3 SD ของ sample blank / ความชันของกราฟ

$$\begin{aligned} &= \frac{3 \times 0.0039}{0.0426} \\ &= 0.2786 \mu\text{M} \end{aligned}$$

LOQ = ค่าเฉลี่ยของ sample blank +10 SD

$$\begin{aligned} &= 1.3031 + 10(0.0039) \\ &= 1.3421 \end{aligned}$$

หาความเข้มข้นขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ จากสมการเส้นตรง

$$y = 0.0426x + 1.0802$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{1.3421 - 1.0802}{0.0426} \\ &= 6.1612 \mu\text{M} \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.2 แสดงขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน

| Analyte | LOD (μM) | LOQ (μM) |
|---------|-----------------------|-----------------------|
| AA | 0.2786 | 6.1612 |
| DA | 0.9412 | 10.0446 |
| UA | 0.8316 | 7.2730 |
| Tyr | 0.0506 | 7.6881 |

ภาพผนวก ค.

แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(Coefficient) หรือค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation)

การคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient : CV) หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation : RSD)

วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนได้จากสมการ

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

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าที่นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของการวิเคราะห์
กรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน

| Analyte | Concentration (μ M) | Current (μ A) |
|---------|--------------------------|--------------------|
| AA | 200 | 12.60 |
| DA | 100 | 16.90 |
| UA | 200 | 6.46 |
| Tyr | 100 | 3.77 |

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) ของกรดแอสคอร์บิก

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

$$= \frac{0.01}{12.03} \times 100$$

$$= 0.12 \%$$

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ผลของกระแสที่ได้จากกราฟดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ ในการเกิดออกซิเดชัน ของสารละลายกรดแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ที่ 200, 100, 200 และ 100 μM ตามลำดับโดยใช้ขั้วไฟฟ้าSPCEGNP₅/PTH

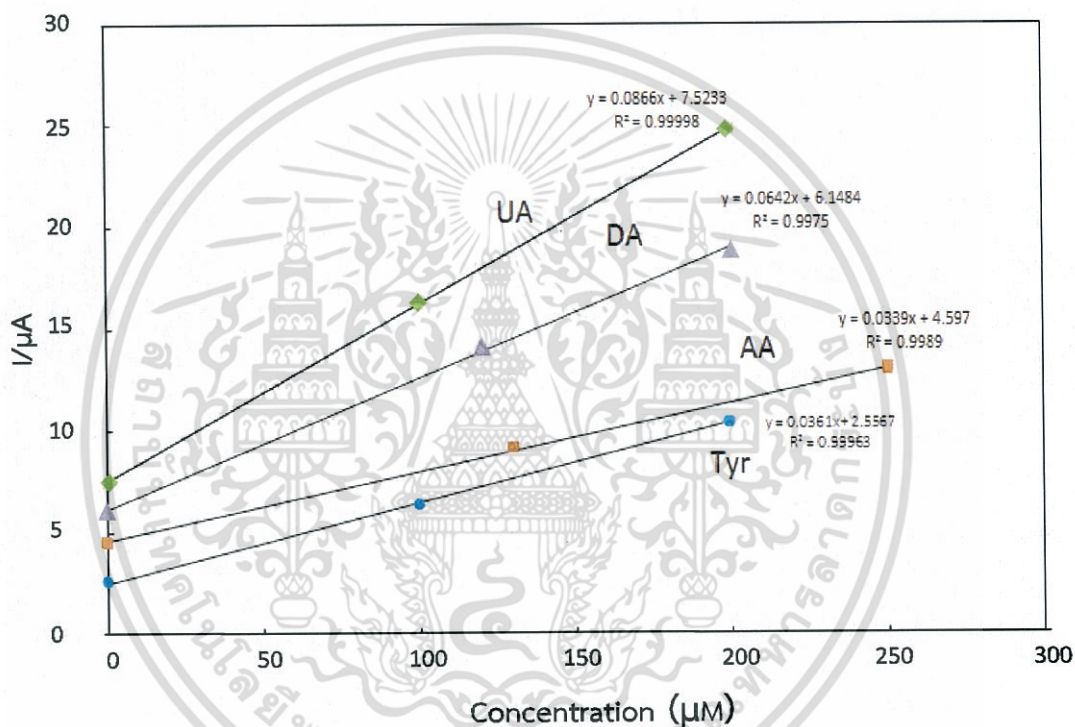
| Number | AA (μA) | DA (μA) | UA (μA) | Tyr (μA) |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 12.05 | 16.11 | 6.52 | 3.05 |
| 2 | 12.03 | 16.32 | 6.42 | 3.00 |
| 3 | 12.02 | 16.51 | 6.41 | 3.02 |
| 4 | 12.03 | 16.50 | 6.32 | 3.00 |
| 5 | 12.05 | 16.31 | 6.50 | 3.10 |
| 6 | 12.02 | 16.45 | 6.21 | 2.98 |
| 7 | 12.05 | 16.32 | 6.52 | 3.10 |
| 8 | 12.03 | 16.44 | 6.41 | 2.98 |
| 9 | 12.02 | 16.42 | 6.33 | 3.00 |
| 10 | 12.01 | 16.33 | 6.32 | 3.02 |
| X_{avg} | 12.03 | 16.33 | 6.39 | 3.03 |
| SD | 0.01 | 0.11 | 0.10 | 0.04 |
| %RSD | 0.12 | 0.73 | 1.59 | 1.47 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ง

การคำนวณหาปริมาณ กรดแอสคอร์บิก โดปามีน กรดยูริก และไทโรซีนในตัวอย่างปัสสาวะเพศชายและปัสสาวะเพศหญิง

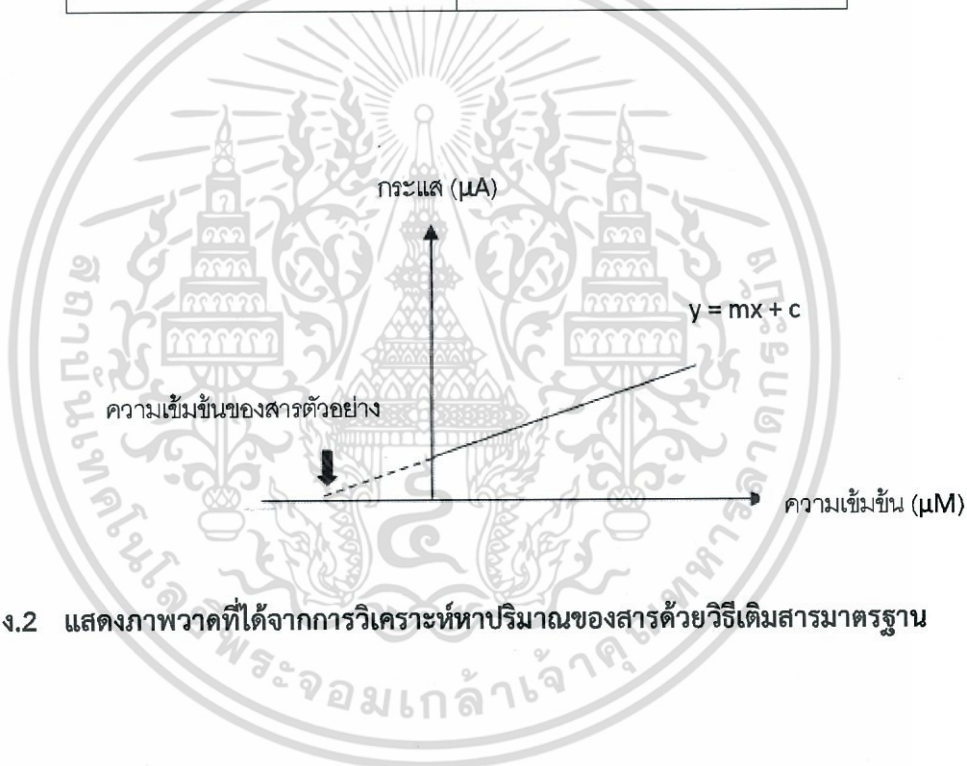
- สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่วัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้า SPCEGNPs/PTH
 - ตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากระแสกับความเข้มข้นจากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ในการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, กรดยูริก และไทโรซีน ด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานที่ 0, 130 และ 250 ไมโครโมลาร์ ในตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

ตารางที่ ง.1 แสดงสมการเส้นตรงของการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, ยูริก และไทโรซีน ที่ได้จากกราฟกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับ กระแสที่วัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้า SPCEGNPs/PTH

| สารมาตรฐาน | สมการเส้นตรง |
|---------------|------------------------|
| กรดแอสคอร์บิก | $y = 0.0339x + 4.597$ |
| โดปามีน | $y = 0.0642x + 6.1484$ |
| กรดยูริก | $y = 0.0866x + 7.5233$ |
| ไทโรซีน | $y = 0.0361x + 2.5567$ |



รูปที่ ง.2 แสดงภาพวาดที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยวิธีเดิมสารมาตรฐาน

1.1.1 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณแอสคอร์บิกในปัสสาวะเพศชาย

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน $y = 0.03287x + 4.597$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{4.597}{0.03287}$$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง = 139.85 μM

หาความเข้มข้นจริงจะได้ $C_1V_1 = C_2V_2$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (139.85 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 1538.39 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike

C_2 = ปริมาตรที่ spike

C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร

C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

| | | | |
|----------------------------|---------|---------|---|
| ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ | 1000 ml | มี AA | 1538.39 μmol |
| | | | $1538.39 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}$ |
| ใน | 1 ml | จะมี AA | $= \frac{1538.39 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 1.5383 \mu\text{mol}$ |
| ถ้าปีเปตมา | 1 ml | มี AA | 1.5383 μmol |
| ตั้งนั้น ใน | 10 ml | จะมี AA | $1.5383 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}$ |
| | | | $= \frac{1.5383 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 15.8383 \mu\text{mol}$ |

$$\text{จาก } n = \frac{g}{Mw}$$

$$15.8383 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{176.12 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0028 \text{ g}$$

$$g = 0.0028 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0056 \text{ g}$$

$$= 5.60 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.1.2 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณโดปามีนในปัสสาวะเพศชาย

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน $y = 0.0628x + 5.817$

เมื่อ $y = 0$ $x = \frac{5.817}{0.0628}$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง = 92.6126 μM

หาความเข้มข้นจริงจะได้ $C_1V_1 = C_2V_2$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (92.6126 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 1018.7391 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike

C_2 = ปริมาตรที่ spike

C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร

C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ 1000 ml มี DA 1018.7391 μmol
 ใน 1 ml จะมี DA $= \frac{1018.7391 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$
 $= 1.0187 \mu\text{mol}$
 ถ้าปิเปตมา 1 ml มี DA 1.0187 μmol
 ตั้งนั้น ใน 10 ml จะมี DA $= \frac{1.0187 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$
 $= 10.187 \mu\text{mol}$

จาก $n = \frac{g}{Mw}$

$$10.187 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{153.178 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0016 \text{ g}$$

$$g = 0.0016 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0032 \text{ g}$$

$$= 3.20 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.1.3 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณกรดยูริกในปัสสาวะเพศชาย

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน

$$y = 0.0866x + 7.0233$$

เมื่อ $y = 0$

$$x = \frac{7.0233}{0.0866}$$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

$$= 81.10 \mu\text{M}$$

หาความเข้มข้นจริงจะได้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (81.10 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 892.105 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike

C_2 = ปริมาตรที่ spike

C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร

C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

| | | | | |
|----------------------------|---------|---------|---|--|
| ดั่งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ | 1000 ml | มี UA | 892.105 μmol | |
| | | | | |
| ใน | 1 ml | จะมี UA | $892.105 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}$ | |
| | | | $= \frac{892.105 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$ | |
| | | | $= 0.8921 \mu\text{mol}$ | |
| ถ้าปิเปตมา | 1 ml | มี UA | 0.8921 μmol | |
| ดั่งนั้น ใน | 10 ml | จะมี UA | $0.8921 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}$ | |
| | | | $= \frac{0.8921 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$ | |
| | | | $= 8.921 \mu\text{mol}$ | |

จาก $n = \frac{g}{Mw}$

$$8.921 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{168.11 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0015 \text{ g}$$

$$g = 0.0015 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0030 \text{ g}$$

$$= 3.00 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.1.4 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณไทโรซีนในปัสสาวะเพศชาย

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน $y = 0.0361x + 2.5567$

เมื่อ $y = 0$ $x = \frac{2.5567}{0.0361}$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง = 70.82 μM

หาความเข้มข้นจริงจะได้ $C_1V_1 = C_2V_2$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (70.82 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 779.049 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike

C_2 = ปริมาตรที่ spike

C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร

C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ 1000 ml มี Tyr 779.049 μmol
 ใน 1 ml จะมี Tyr $= \frac{779.049 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$
 $= 0.7790 \mu\text{mol}$
 ถ้าปีเปิดมา 1 ml มี AA 0.7790 μmol
 ตั้งนั้น ใน 10 ml จะมี AA $= \frac{0.7790 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$
 $= 7.790 \mu\text{mol}$

จาก $n = \frac{g}{Mw}$
 $7.790 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{181.19 \text{ g/mole}}$

$$g = 0.0014 \text{ g}$$

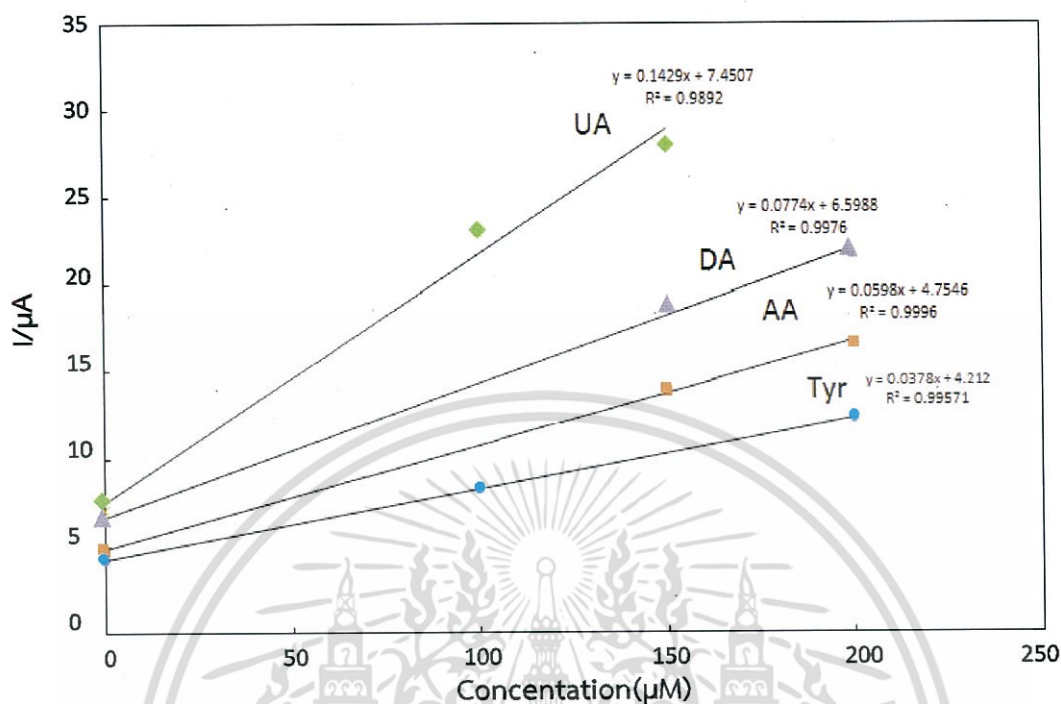
$$g = 0.0014 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0028 \text{ g}$$

$$= 2.80 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.2 ตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิง



รูปที่ ๓.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากระแสกับความเข้มข้นจากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ในการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, ยูริก และไทโรซีน ด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานที่ 0, 150 และ 200 ไมโครโมลาร์ โดยใช้ขั้วพิมพ์สกรีนคาร์บอนอนุภาคทองในระดับนาโนที่ปรับปรุงด้วยพอลิไทโอนีน

ตารางที่ ๓.2 แสดงสมการเส้นตรงของการหาปริมาณแอสคอร์บิก, โดปามีน, ยูริก และไทโรซีนที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่วัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้า SPCEGNPs/PTH

| สารมาตรฐาน | สมการเส้นตรง |
|---------------|------------------------|
| กรดแอสคอร์บิก | $y = 0.0598x + 4.7546$ |
| โดปามีน | $y = 0.0774x + 6.5988$ |
| กรดยูริก | $y = 0.1429x + 7.4507$ |
| ไทโรซีน | $y = 0.0378x + 4.212$ |

1.2.1 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณแอสคอร์บิกในปัสสาวะเพศหญิง

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน

$$y = 0.05635x + 4.7546$$

เมื่อ $y = 0$

$$x = \frac{4.7546}{0.05635}$$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

$$= 84.376 \mu\text{M}$$

หาความเข้มข้นจริงจะได้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (84.376 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 928.138 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike C_2 = ปริมาตรที่ spike C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

| | | | |
|----------------------------|---------|---------|---|
| ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ | 1000 ml | มี AA | 928.138 μmol |
| | | | $928.138 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}$ |
| ใน | 1 ml | จะมี AA | $= \frac{\quad}{1000 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 0.9281 \mu\text{mol}$ |
| ถ้าปีเปตมา | 1 ml | มี AA | 0.9281 μmol |
| ตั้งนั้น ใน | 10 ml | จะมี AA | $0.9281 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}$ |
| | | | $= 9.281 \mu\text{mol}$ |

$$\text{จาก } n = \frac{g}{Mw}$$

$$9.281 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{176.12 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0016 \text{ g}$$

$$g = 0.0016 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0032 \text{ g}$$

$$= 3.20 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.2.2 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณโดปามีนในปัสสาวะเพศหญิง

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน $y = 0.07459x + 6.6142$

เมื่อ $y = 0$ $x = \frac{6.6142}{0.07459}$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง = $88.674 \mu\text{M}$

หาความเข้มข้นจริงจะได้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (88.674 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 975.414 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike

C_2 = ปริมาตรที่ spike

C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร

C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ 1000 ml มี DA 975.414 μmol
 ใน 1 ml จะมี DA $\frac{975.414 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$
 = 0.9754 μmol
 ถ้าปีเปิดมา 1 ml มี DA 0.9754 μmol
 ตั้งนั้น ใน 10 ml จะมี DA $\frac{0.9754 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$
 = 9.754 μmol

จาก $n = \frac{g}{Mw}$

$$9.754 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{153.178 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.00149 \text{ g}$$

$$g = 0.00149 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0029 \text{ g}$$

$$= 2.90 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.2.3 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณกรดยูริกในปัสสาวะเพศหญิง

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน

$$y = 0.1463x + 5.823$$

เมื่อ $y = 0$

$$x = \frac{5.823}{0.1463}$$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

$$= 39.802 \mu\text{M}$$

หาความเข้มข้นจริงจะได้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (39.802 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 437.819 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike C_2 = ปริมาตรที่ spike C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

| | | | |
|----------------------------|---------|---------|---|
| ดั่งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ | 1000 ml | มี UA | 437.819 μmol |
| | | | $437.819 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}$ |
| ใน | 1 ml | จะมี UA | $= \frac{437.819 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 0.4378 \mu\text{mol}$ |
| ถ้าปีปเตมา | 1 ml | มี UA | 0.4378 μmol |
| ดั่งนั้น ใน | 10 ml | จะมี UA | $0.4378 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}$ |
| | | | $= 4.378 \mu\text{mol}$ |

$$\text{จาก } n = \frac{g}{Mw}$$

$$4.378 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{168.11 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0007 \text{ g}$$

$$g = 0.0007 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0014 \text{ g}$$

$$= 1.40 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

1.2.4 ตัวอย่างแสดงการคำนวณหาปริมาณไทโรซีนในปัสสาวะเพศหญิง

จากสมการการเติมสารมาตรฐาน

$$y = 0.0378x + 4.212$$

เมื่อ $y = 0$

$$x = \frac{4.212}{0.0378}$$

จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

$$= 111.428 \mu\text{M}$$

หาความเข้มข้นจริงจะได้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1 (1 \text{ ml}) = (111.428 \mu\text{M}) (11 \text{ ml})$$

$$C_1 = 1225.714 \mu\text{M}$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นก่อน spike C_2 = ปริมาตรที่ spike C_3 = ความเข้มข้นหลัง spike ในขวดปรับปริมาตร C_4 = ปริมาตรของ blank และตัวอย่าง

| | | | |
|----------------------------|---------|----------|--|
| ตั้งนั้นคิดเป็นปริมาตร คือ | 1000 ml | มี Tyr | 1225.714 μmol |
| | | | $1225.714 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}$ |
| ใน | 1 ml | จะมี Tyr | $= \frac{1225.714 \mu\text{mol} \times 1 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 1.2257 \mu\text{mol}$ |
| ถ้าปีเปตมา | 1 ml | มี AA | 1.2257 μmol |
| ตั้งนั้น ใน | 10 ml | จะมี AA | $1.2257 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}$ |
| | | | $= \frac{1.2257 \mu\text{mol} \times 10 \text{ ml}}{1 \text{ ml}}$ |
| | | | $= 12.257 \mu\text{mol}$ |

$$\text{จาก } n = \frac{g}{Mw}$$

$$12.257 \times 10^{-6} \text{ mol} = \frac{g}{181.19 \text{ g/mole}}$$

$$g = 0.0022 \text{ g}$$

$$g = 0.0022 \text{ g} \times 2$$

$$= 0.0044 \text{ g}$$

$$= 4.40 \text{ mg}$$

เจือจางมา 2 เท่า

ภาพผนวก จ.

แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ(%Recovery) ตามข้อกำหนด AOAC

วิธีการคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้จากสมการ

$$\% \text{Recovery} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100$$

$C_{\text{spiked sample}}$ = ความเข้มข้นของ Spiked sample (C_1)

C_{sample} = ความเข้มข้นของตัวอย่าง (sample) (C_2)

C_{standard} = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (Standard) (C_3)

ตัวอย่างผลการคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับในการหาหาปริมาณสารละลายกรดยูริกในตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย

จากสูตร $\% \text{Recovery} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100$

จากสมการ $y = 0.08866x + 7.0233$

เมื่อ $I_{\text{UA1}} = 16.23 \mu\text{A}$ และ $C_{\text{UA1}} = 106.31 \mu\text{M}$

$$\text{แทนค่า จะได้ } \frac{106.31 - 5.50}{100} \times 100 = 100.80\%$$

เมื่อ $I_{\text{UA2}} = 24.82 \mu\text{A}$ และ $C_{\text{UA2}} = 205.50 \mu\text{M}$

$$\text{แทนค่า จะได้ } \frac{205.50 - 5.50}{200} \times 100 = 100.00\%$$

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ กรดยูริกในตัวอย่างปัสสาวะเพศชาย

| Sample | Analyte | Original(μM) | Added(μM) | Found(μM) | % Recovery |
|--------|---------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------|
| Male | UA | 5.50 | 100 | 106.31 | 100.80 |
| | | 5.502.27 | 200 | 205.50 | 100.00 |

ตัวอย่างผลการคำนวณกลับหาปริมาณสารละลายกรดยูริกในตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิง

$$\text{จากสมการ } y = 0.1463x + 5.823$$

$$\text{เมื่อ } I_{UA1} = 23.03 \mu\text{A} \text{ และ } C_{UA1} = 117.61 \mu\text{M}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} & \frac{117.61 - 8.18}{100} \times 100 \\ & = 109.43\% \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } I_{UA2} = 28.02 \mu\text{A} \text{ และ } C_{UA2} = 151.72 \mu\text{M}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} & \frac{151.72 - 8.18}{150} \times 100 \\ & = 95.69\% \end{aligned}$$

ตารางที่ จ.2 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์ กรดยูริกในตัวอย่างปัสสาวะเพศหญิง

| Sample | Analyte | Original(μM) | Added(μM) | Found(μM) | % Recovery |
|--------|---------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------|
| Female | UA | 8.81 | 100 | 171.61 | 108.25 |
| | | 8.81 | 150 | 151.72 | 95.69 |

ตารางที่ จ.3 ตารางแสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC (2002)

| Analyte % | Analyte Ratio | ความเข้มข้นของสารที่ทำ การวิเคราะห์ | ค่าร้อยละการคืน กลับ |
|------------|---------------|--|-------------------------|
| 100 | 1 | 100% | 98-102 |
| 10 | 10^{-1} | >10% | 98-102 |
| 1 | 10^{-2} | >1% | 97-103 |
| 0 | 10^{-3} | >0.1% | 95-105 |
| 0.001 | 10^{-4} | 100ppm | 90-107 |
| 0.0001 | 10^{-5} | 10ppm | 80-110 |
| 0.00001 | 10^{-6} | 1ppm | 80-110 |
| 0.000001 | 10^{-7} | 100ppb | 80-110 |
| 0.0000001 | 10^{-8} | 10ppb | 60-115 |
| 0.00000001 | 10^{-9} | 1ppb | 40-120 |

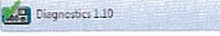


Ref: Table excerpted from: AOAC Peer-Verified Methods Program, Manual on policies and procedures, Arlington,

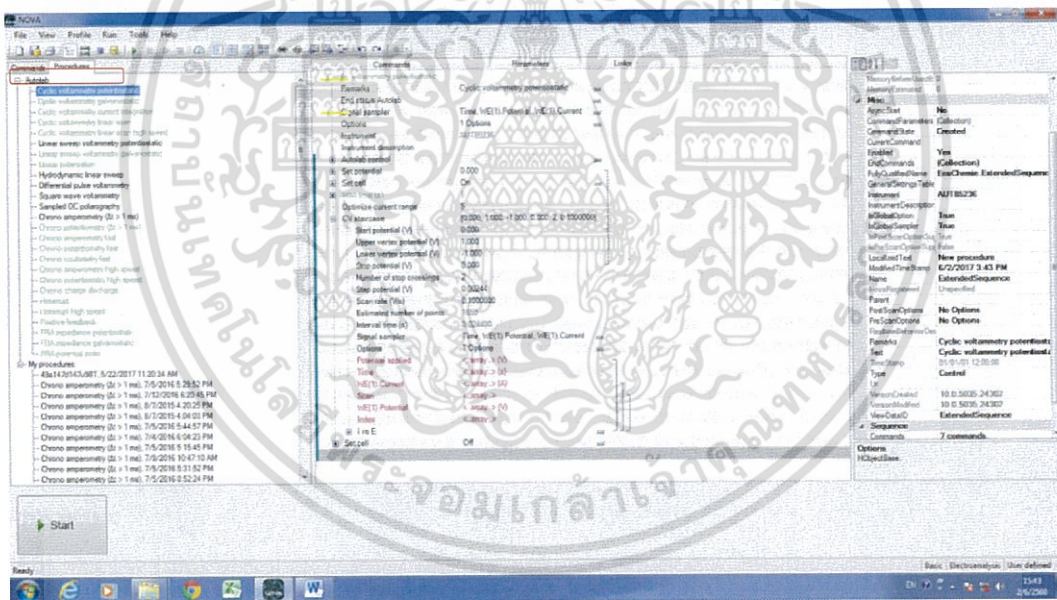
Va., USA (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การใช้เครื่องโพเทนชิโอสแตท

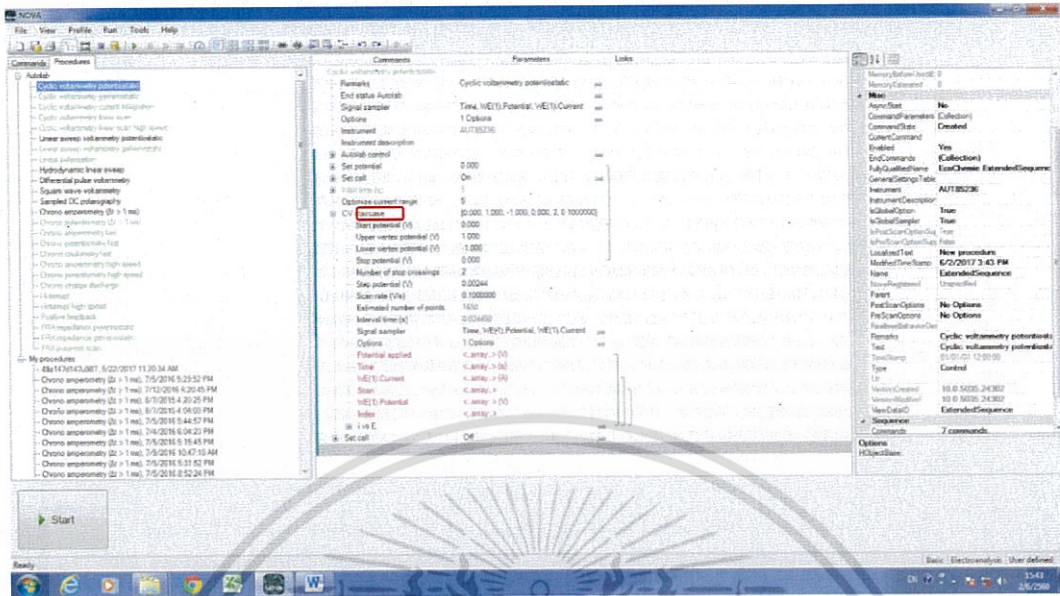
- 1) กด  เพื่อเช็คความพร้อมของเครื่องมือ ถ้าปรากฏเครื่องหมาย ✓ ทั้งหมดให้กด Save as
- 2) กด  Anova 10.1
- 3) กด  เลือก (Setup view) เพื่อทำการตั้งค่าการใช้งาน ในรูป จะทำการศึกษาด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry)
 - เลือก Procedures → Cyclic voltammetry Potentiostatic




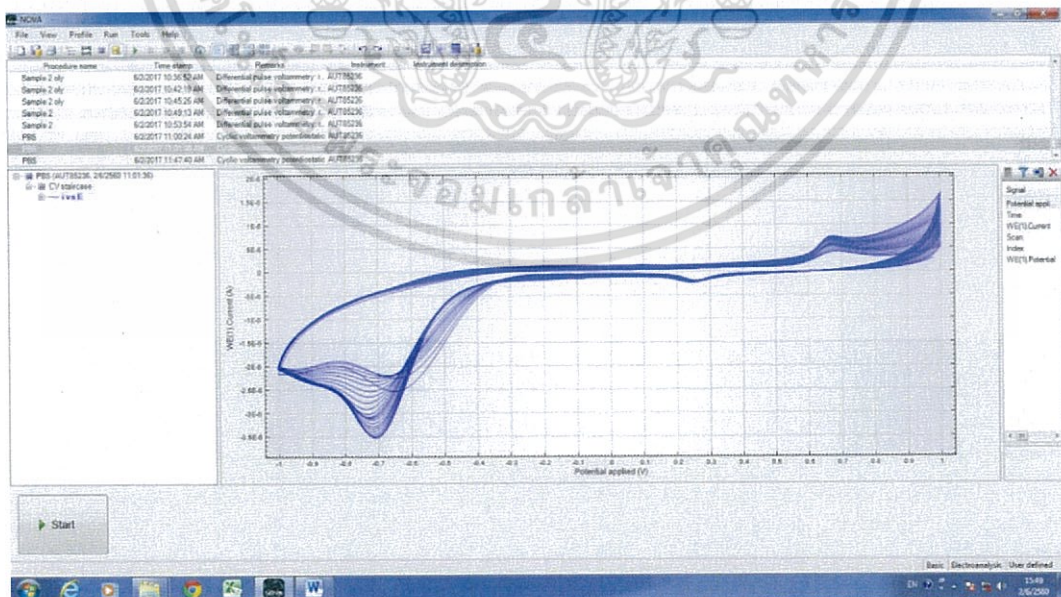
- คลิก Remarks →  เพื่อตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก
- คลิก Option →  เพื่อเลือกช่วงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คลิก CV staircase → Start potential (V) เพื่อตั้งกระแสเริ่มต้น



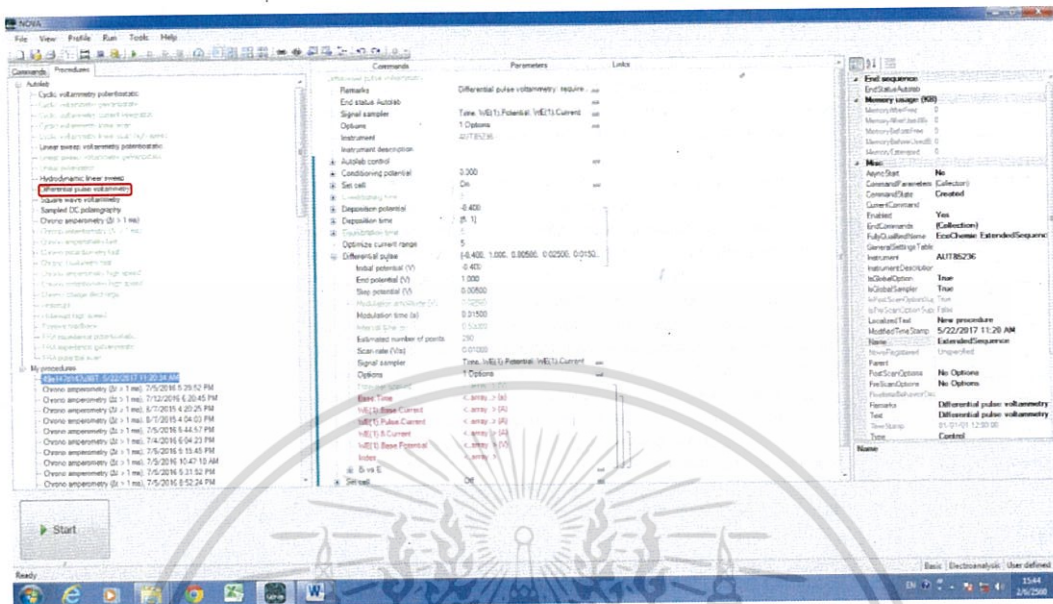
- → Upper vertex potential (V) เพื่อตั้งค่าศักย์สูงสุด
- → Lower vertex potential (V) เพื่อตั้งค่าศักย์ต่ำสุด
- → Scan rate (V/s) เพื่อตั้งค่าอัตราสแกน
- เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จ กด 
- จะได้ลักษณะเป็นดังภาพ




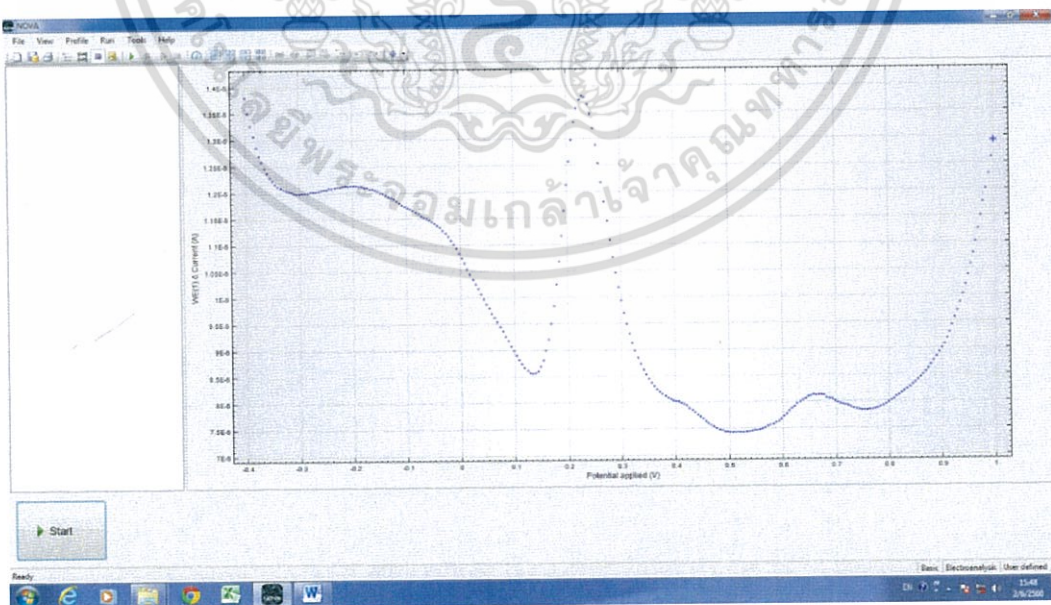
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) หากทำการศึกษาด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ (Differential pulse voltammetry)

- เลือก Procedures → Differential pulse voltammetry



- → Initial potential (V) เพื่อตั้งค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มแรก
- → End potential (V) เพื่อตั้งค่าศักย์ไฟฟ้าท้ายสุด
- เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จ กด 
- จะได้ลักษณะเป็นดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

