

การปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีและแมงกานีสออกไซด์
ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัด
กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน

ANTIMONY - MANGANESE OXIDE AND POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR SIMULTANEOUS DETECTION OF ASCORBIC ACID
AND ACETYLSALICYLIC ACID

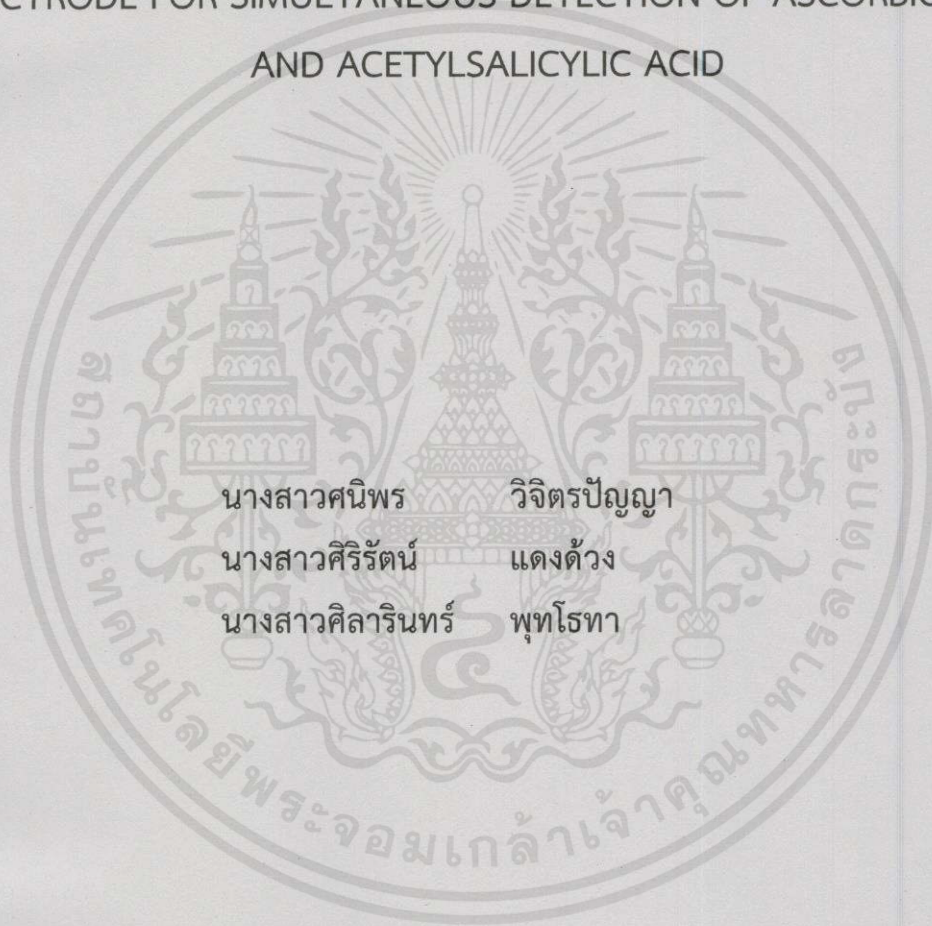


นางสาวศนิพร วิจิตรปัญญา
นางสาวศิริรัตน์ แดงดวง
นางสาวศิลารินทร์ พุทโธธา

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีและแมงกานีสออกไซด์
ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัด
กรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน

ANTIMONY - MANGANESE OXIDE AND POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR SIMULTANEOUS DETECTION OF ASCORBIC ACID
AND ACETYLSALICYLIC ACID



นางสาวศนิพร วิจิตรปัญญา
นางสาวศิริรัตน์ แดงด้วง
นางสาวศิลารินทร์ พุทโรทา

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่ในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ANTIMONY-MANGANESE OXIDE AND POLYANILINE
NANOCOMPOSITES MODIFIED FLUORINE DOPED TIN OXIDE
ELECTRODE FOR SIMULTANEOUS DETECTION OF ASCORBIC ACID
AND ACETYLSALICYLIC ACID



Miss. SANIPORN

WICHITPANYA

Miss. SIRIRAT

DAENGDUANG

Miss. SILARIN

PUTTOTA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ

การปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีและแมงกานีสออกไซด์ ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน

Antimony - Manganese Oxide and Polyaniline Nanocomposites Modified Fluorine Doped Tin Oxide Electrode for Simultaneous Detection of Ascorbic Acid and Acetylsalicylic Acid

นักศึกษา

นางสาวศนิพร วิจิตรปัญญา รหัสนักศึกษา 54050277

นางสาวศิริรัตน์ แดงด้วง รหัสนักศึกษา 54050284

นางสาวศิลารินทร์ พุทธิธาทา รหัสนักศึกษา 54050285

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

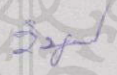
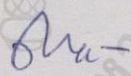
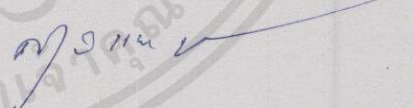
ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีและแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน		
นักศึกษา	นางสาวศนิพร	วิจิตรปัญญา	รหัสนักศึกษา 54050277
	นางสาวศิริรัตน์	แดงดวง	รหัสนักศึกษา 54050284
	นางสาวศิลารินทร์	พุทโธทา	รหัสนักศึกษา 54050285
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ด้วยเทคนิคการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ซึ่งประกอบด้วย 2 ชั้นตอน คือ ในขั้นแรก พอลิอะนิลีนจะถูกเตรียมในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง +0.6 ถึง +1.3 โวลต์ จากนั้นนำมาทำการเกาะติดทางไฟฟ้าชั้นที่สอง โดยใช้สารละลายผสมของแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไนเตรตที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.76 ถึง +0.38 โวลต์ นำขั้วไฟฟ้ามาทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นได้นำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้น ไปทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี พบว่าสารละลายที่เหมาะสมในการตรวจวัด คือ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งให้ช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดเท่ากับ 0.1×10^{-13} ถึง 9.4×10^{-13} โมลาร์ มีขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 4.723×10^{-15} และ 7.395×10^{-15} โมลาร์ ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการคืนกลับของการตรวจวัดอยู่ในช่วง 99.26 ถึง 101.73 และ 99.05 ถึง 101.64 ตามลำดับ ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนี้ยังสามารถตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันในตัวอย่างปัสสาวะได้ ซึ่งพบว่าผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

เอกสารสำคัญ : กรดอะเซทิลซาลิซิลิก กรดแอสคอบิก ขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์ พอลิอะนิลีน การค้า
ไม่ว่ากร แมงกานีสออกไซด์ แอนติโมนีไตรออกไซด์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Antimony – manganese oxide and polyaniline nanocomposites modified fluorine doped tin oxide electrode for simultaneous determination of ascorbic acid and acetylsalicylic acid		
Student	Miss. Saniporn	Wichitpanya	Student ID 54050277
	Miss. Sirirat	Daengduang	Student ID 54050284
	Miss. Silarin	Puttota	Student ID 54050285
Degree	Bachelor of Science		
Department	Chemistry		
Academic year	2015		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith		

Abstract

In this thesis study, a two-step electrodeposition technique was used to prepared $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}$ modified fluorine doped tin oxide electrode ($\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$). In the first step, a PANI film, doped with 0.1 M HCl, was electrodeposited at +0.6 to +1.3 V on FTO substrate. Next, the PANI film on the FTO was doped with 0.1 M HCl and $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2$ which was deposited as a layer at -0.76 to +0.38 V. The resulting $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$ was characterized by X-ray diffraction (XRD) and field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). This study showed that oxidation of ascorbic acid (AA) and acetylsalicylic acid (ASA) is facilitated at an in situ $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$. The optimum analytical condition for this modified electrode was found by cyclic voltammetry (CV) at pH 7.0 in phosphate buffer (0.1 M). The peak currents of two species were found by differential pulse voltammetry (DPV) too very linearly with their concentrations in the range of 0.1×10^{-13} to 9.4×10^{-13} M with detection limits of 4.723×10^{-15} M and 7.395×10^{-15} M respectively and a high percent recovery of 99.26-101.64 as well as a high sensitivity of $184.24 \text{ mA} \cdot \text{M}^{-1}$. The modified electrode showed several advantages. In this study, the electrode was employed for simultaneous detection of AA and ASA in urine samples and the obtained results were found to be satisfactory.

Keywords: Acetylsalicylic acid, Antimony trioxide, Ascorbic acid, Manganese dioxide, Polyaniline

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษการปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันจะสำเร็จลุล่วงไม่ได้หากขาดผู้สนับสนุนในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีความรู้และแนวทางการแก้ปัญหาตลอดการดำเนินงานวิจัย ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ พี่อภิญญา พวงจันทร์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีความรู้ สู่แนวทางการดำเนินงานอย่างมีระบบ ตลอดจนให้ความรู้ในเรื่องกระบวนการแก้ปัญหา ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทดลอง ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์งานต่างๆ จนโครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ๆ และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ประโยชน์และความรู้อันพึงมีจากโครงการพิเศษเล่มนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขออน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวศนิพร วิจิตรปัญญา

นางสาวศิริรัตน์ แดงด้วง

นางสาวศิลารินทร์ พุทโธธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 คำนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 หลักการ	3
2.1 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid).....	3
2.1.1 ประวัติการค้นพบกรดแอสคอร์บิก.....	4
2.1.2 แหล่งที่มาของวิตามินซี.....	5
2.1.3 ประโยชน์ของวิตามินซี.....	5
2.1.4 ผลของการขาดวิตามินซี.....	7
2.2 กรดอะเซทิลซาลิซิลิก (Acetylsalicylic acid).....	8
2.2.1 ประวัติการค้นพบกรดอะเซทิลซาลิซิลิก.....	9
2.2.2 ประโยชน์ของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก(แอสไพริน).....	9
2.2.3 พิษของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก (แอสไพริน).....	9
2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer).....	10
2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ (Synthesis of polyaniline.....	14
and derivatives)	
2.4.1 การสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical polymerization).....	15
2.4.2 การสังเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical polymerization).....	15
2.4.3 การสังเคราะห์โดยใช้แสง (Photochemical-initiated.....	16
polymerization)	
2.4.4 การประยุกต์ใช้งานพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์.....	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 แมงกานีสออกไซด์ (Manganese oxide).....	17
2.6 แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide).....	19
2.7 ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped tin oxide, FTO).....	20
2.8 หลักการทางเคมีไฟฟ้าโดยทั่วไป (Principles of electrochemistry).....	21
2.8.1 การถ่ายเทมวลในสารละลาย (Mass transfer).....	22
2.8.1.1 ไมเกรชัน (Migration).....	22
2.8.1.2 การแพร่ (Diffusion).....	23
2.8.1.3 การพา (Convection).....	23
2.8.2 กระบวนการที่ผิวหน้าชั้นไฟฟ้า.....	24
2.9 การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า (Analysis of electrochemistry).....	26
2.9.1 เซลล์โวลแทมเมทรี (Cell voltammetry).....	26
2.9.2 ชั้นไฟฟ้า (Electrode).....	27
2.9.3 เทคนิคโวลแทมเมทรี (Voltammetry).....	28
2.9.3.1 ไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry).....	29
2.9.3.2 พัลส์โวลแทมเมทรี (Pulse votammetry).....	33
2.10 เทคนิคการเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrochemical deposition).....	34
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	40
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	41
3.2.1 การเตรียมชั้นไฟฟ้าด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนชั้นไฟฟ้า.....	41
ทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	
3.2.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนินิน กรดไฮโดร-.....	41
คลอริกและสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรคลอไรด์	
และแมงกานีสไนเตรตโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี	
3.2.1.2 การเตรียมพอลิอะนินินบนชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ..	41
3.2.1.3 การเตรียมชั้นไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตร-.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ ออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินิน โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1.4 ศึกษาลักษณะทางกายภาพขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	42
3.2.2 การศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้า ในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต(III)ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	43
3.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	43
3.2.3.1 การศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	43
3.2.3.2 การศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม	44
3.2.3.3 การศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม	44
3.2.4 การตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี	44
3.2.5 การตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี	45
3.2.5.1 การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน, ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	45
3.2.5.2 การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	45

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.5.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน.....	45
กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	
3.2.5.4 การตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะ.....	45
3.2.5.5 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัด.....	45
กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	
3.2.5.6 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด.....	45
3.2.5.7 การขีดจำกัดของการวิเคราะห์.....	45
3.2.6 การวิเคราะห์ค่าความจำเพาะเจาะจง.....	45
3.2.7 การตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก.....	45
ในตัวอย่างปัสสาวะ	
3.2.7.1 การวิเคราะห์ค่าร้อยละของการคืนกลับ.....	45
3.2.7.2 การวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์.....	45
3.2.8 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำซ้ำและความเสถียร.....	46
3.2.9 การหาค่าตัวรบกวนที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์สาร.....	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	47
4.1 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน.....	47
4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีน กรดไฮโดรคลอริก.....	47
และสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไนเตรตโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	
4.1.2 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินเจือฟลูออรีนโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	50
4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน.....	54
บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้	
4.2 ผลการศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน.....	56
โพแทสเซียม-เฮกซะไซยาโนเฟอร์ต (III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	57
4.4 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี	63
4.5 ผลการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกโดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี	66
4.6 ผลการศึกษาคุณลักษณะความจำเพาะเจาะจง ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนี-ไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	69
4.7 ผลการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะ	63
4.8 ผลการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำ และความเสถียรของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนี-ไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	71
4.9 ผลการศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์สาร	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	86
ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายต่างๆ	87
ภาคผนวก ค การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์	99
ภาคผนวก ง แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับตามข้อกำหนด AOAC	103
ภาคผนวก จ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน หรือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	106
ภาคผนวก ฉ ผลการคำนวณกลับหาปริมาณสารละลายกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง	109
ภาคผนวก ช ผลการคำนวณกลับหาค่าผิดพลาดสัมพัทธ์	115

เอกสารภาคผนวก ซ การใช้เครื่องอโต้แลบระบบเพื่อการศึกษานานาชาติ ไมโครยูทิลิตี้ให้แก่งานวิจัยและนวัตกรรม 127 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้สดชนิดต่างๆ.....	5
4.1 แสดงผลจากการศึกษาคุณลักษณะช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range).....	69
ขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection) และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation) ของข้าวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติ-โมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	
4.2 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยใช้ข้าวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน.....	75
4.3 แสดงค่าการรบกวนการวิเคราะห์ของสารรบกวนที่ทำการศึกษาในตัวอย่าง.....	77
ภาคผนวก ค	
ค.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เติมลงไปและค่ากระแสที่วัดได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (Differential-pulse Voltammetry).....	99
ค.2 แสดงค่าที่นำมาใช้คำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดแอสคอบิก.....	100
ค.3 แสดงค่าที่นำมาใช้คำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก.....	101
ภาคผนวก ง	
ง.1 แสดงค่าที่นำมาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกในตัวอย่าง.....	103
ง.2 แสดงค่าที่นำมาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง.....	104
ง.3 ตารางแสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC.....	105
ภาคผนวก จ	
จ.1 แสดงค่าที่นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิก.....	106

เอกสารนี้เป็นในการเติมสารตัวอย่างครั้งแรกในตัวอย่างที่ 1 ชั่วโมงนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซท- ทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง	107
ภาคผนวก ข	
ข.1 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Salicylic acid	116
ข.2 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ L-Glutamic acid	117
ข.3 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิกและ กรดอะซีทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Magnesium sulphate	118
ข.4 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Zinc sulphate	119
ข.5 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Citric acid	120
ข.6 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Sulfonic acid	121
ข.7 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Calcium nitrat	122
ข.8 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Sodium Thio-sulphate	123
ข.9 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Copper(II) chloride dehydrate	124
ข.10 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ D-Glucose Monohydrat	125
ข.11 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Iron(II) sulfat heptahydrate	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างของ L-Ascorbic acid.....	3
2.2 สูตรโครงสร้างของ Acetylsalicylic Acid.....	8
2.3 ค่าการนำไฟฟ้าของโลหะบางตัวและพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่ผ่านกระบวนการได้ป.....	11
2.4 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิอะเซทิลีนพอลิฟิโรลพอลิอะนิลีน พอลิพาราฟินิลีน.....	11
และพอลิไทออฟิน	
2.5 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์.....	12
2.6 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธ์พอลิอะนิลีนที่มีหมู่ซัลโฟเนตเป็นหมู่แทนที่บนวงเบนซีน.....	13
ในสถานะที่เป็น (ก) กลาง (ข) กรดและ (ค) ต่าง	
2.7 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธ์พอลิอะนิลีนนำไฟฟ้าที่มีการได้ปตัวเองแต่ละชนิด.....	14
2.8 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ด้วยวิธีการทางเคมี.....	16
2.9 (ก) รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านของอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์.....	18
(ข) กราฟแท่งแสดงการกระจายตัวอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์และ	
(ค) ขนาดของอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระเจิงแสง	
2.10 เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟกชันสเปกตรัมของอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์.....	19
2.11 ลักษณะของขั้วไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์.....	21
2.12 แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนแบบไม่เกรน.....	22
2.13 แสดงการนำพามวลจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยการแพร่.....	23
2.14 แสดงการนำพามวลจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าด้วยการพา.....	24
2.15 รูปแบบแสดงกระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า.....	25
(ก) กระบวนการฟาราเดอิก	
(ข) กระบวนการอัดประจุ (นอนฟาราเดอิก)	
2.16 แสดงกระบวนการดูดซับหรือกระบวนการอัดประจุที่รอยต่อเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า.....	25
เป็นค่าลบกับขั้วไฟฟ้า	
2.17 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	29
2.18 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาแบบผันกลับได้.....	30
2.19 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้และผันกลับได้ไม่สมบูรณ์.....	32
2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของพัลส์โวลแทมเมทรีแบบพัลส์ปกติ.....	33
2.21 กราฟแสดงโวลแทมโมแกรมของพัลส์โวลแทมเมทรีแบบพัลส์ปกติ.....	33

เอกสาร 2.21 กราฟแสดงโวลแทมโมแกรมของพัลส์โวลแทมเมทรีแบบพัลส์ปกติ..... 33

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของพัลส์โวลแทมเมทรีแบบดิฟเฟอเรนเชียล	34
2.23 กราฟแสดงโวลแทมโมแกรมของพัลส์โวลแทมเมทรีแบบดิฟเฟอเรนเชียล	34
4.1 แสดงโวลแทมโมแกรมของอะนินที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1.0 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์	48
4.2 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์	49
4.3 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์	50
4.4 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (PANI/FTO)	51
4.5 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดรอกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน($Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$)	52
4.6 สเปกตรัมแสดงลักษณะทางกายภาพที่มุม 2 θ ของ (ก) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (ข) ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (ค) ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแมงกานีสไดรอกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและ (ง) ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดรอกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน	54
4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก.) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (ข.) ภาพตัดขวางขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดรอกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิน (ค.) และ (ง.) ภาพด้านบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดรอกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิน ที่ขนาดอนุภาคเท่ากับ 50 และ 25	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารนำโนเมตรตามลำดับ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์โดยใช้ขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$	56
4.9 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก ที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ	57
4.10 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ	58
4.11 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายพोटเฟตบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่างๆ	59
4.12 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายพोटเฟตบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่างๆ	59
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าพีเอช 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0 และ 12.0 ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์	60
4.14 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ	61
4.15 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ	61
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับอัตราการสแกนที่ 10-400 มิลลิโวลต์ ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์	62
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับอัตราการสแกนที่ 10-400 มิลลิโวลต์ ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์	62
4.18 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$	63
4.19 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$	64
4.20 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก และกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$	65
4.21 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพีลส์ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานผสมของกรดแอสคอบิก และกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน	66

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่เติมลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง	67
4.23 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก	68
4.24 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกระแสของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่เติมลงไปปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง	68
4.25 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่เติมลงไปปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง ในสารละลายที่มีกรดอะเซทิลซาลิซิลิกจำนวน 25 ไมโครลิตร	70
4.26 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เติมลงไปปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง ในสารละลายที่มีกรดแอสคอบิกจำนวน 25 ไมโครลิตร	70
4.27 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 1.0 ชั่วโมง	71
4.28 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง	72
4.29 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 หลังจากได้รับกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแล้วเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง	72
4.30 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 หลังจากได้รับกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแล้วเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง	73
4.31 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 หลังจากได้รับกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแล้วเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง	73
4.32 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทจโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 หลังจากได้รับกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแล้วเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง	74

เอกสาร 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จำนวน 5 ครั้งกับปริมาณการคำนวณจำนวนชั่วโมงที่สร้างขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามหากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัยใดๆ กรุณาแจ้งมายังผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการตอบสนองของขั้วไฟฟ้ากับระยะเวลา ของการใช้งาน (วัน)	76
ภาคผนวก ก	
ก.1 ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	86
ก.2 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุง ด้วยพอลิอะนิลีน	87
ก.3 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุง ด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน	87
ก.4 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุง ด้วยอนุภาคแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน	88
ภาคผนวก ข	
ข.1 แสดงการรบกวนการวิเคราะห์ของไอออนอื่นๆต่อสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิก และสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ จำนวน 200 ไมโครลิตร	115
ภาคผนวก ซ	
แสดงการใช้การใช้เครื่องอโต้แลบ	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

Sb ₂ O ₃	อนุภาคแอนติโมนีไตรออกไซด์
MnO ₂	อนุภาคแมงกานีสไดออกไซด์
PANI	พอลิอะนิลีน
FTO electrode	ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
PANI/FTO	ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
Sb ₂ O ₃ /MnO ₂ /PANI/FTO	ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน
C.V.%	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
C ₆ H ₈ O ₆	กรดแอสคอบิก
C ₉ H ₈ O ₆	กรดอะเซทิลซาลิซิลิก
R.E.	ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง
W.E.	ขั้วไฟฟ้าทำงาน
C.E.	ขั้วไฟฟ้าช่วย
Ag/AgCl	ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์
I	ค่ากระแสไฟฟ้า
E	ศักย์ไฟฟ้า
μ	ความเข้มข้นในหน่วยไมโคร
A	แอมแปร์
V	โวลต์
M	ความเข้มข้นในหน่วยมิลลาร์
μA	ค่าความเข้มข้นของกระแสในหน่วยไมโครแอมแปร์
PBS	สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์
%RSD	ค่าร้อยละคืนกลับ
S/N	อัตราส่วนของสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน
hr.	ชั่วโมง
LOD	ขีดจำกัดของการตรวจวัด
LOQ	ขีดต่ำสุดของการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี (vitamin C) เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย วิตามินซีเป็นวิตามินที่ใช้ในการสังเคราะห์คอลลาเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างของหลอดเลือด เอ็น และกระดูก นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ทำให้เซลล์อยู่ในสภาวะปกติ ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมแร่ธาตุจากอาหารได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนเป็นสารที่ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันในร่างกายได้อีกด้วย หากมีปริมาณของกรดแอสคอร์บิกในร่างกายมากเกินไปจนเกินความจำเป็น ก็จะมีการขับออกทางปัสสาวะ และในกรณีที่ได้รับกรดแอสคอร์บิกในปริมาณที่มากเกินไป ก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น เกิดอาการท้องร่วง ปัสสาวะบ่อย [1,2] เป็นต้น สำหรับกรดอะเซทิลซาลิซิลิก (acetylsalicylic acid, ASA) หรือแอสไพรินเป็นยาที่ถูกนำมาใช้ในวงการแพทย์เป็นระยะเวลายาวนานจนถึงปัจจุบัน จัดอยู่ในกลุ่มยาที่เรียกว่าเอ็นเสด (NSAIDs) สรรพคุณใช้เป็นยาแก้ปวด ลดไข้ และถูกนำมาใช้เป็นยาป้องกันการจับตัวของเกล็ดเลือด เพื่อลดภาวะอุดตันของหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงสมองและหัวใจ แต่ถ้าหากมีปริมาณของกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในเลือดสูงจะส่งผลให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หูอื้อ มีไข้ ชัก ไตวาย และอาจทำให้เสียชีวิตได้ กรดอะเซทิลซาลิซิลิกนี้สามารถดูดซึมได้ดีในระบบทางเดินอาหาร หรือแม้แต่ว่าดูดซึมเข้าทางผิวหนังที่ใช้ในรูปของยาทา ปริมาณยาในกระแสเลือดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 – 2 ชั่วโมงหลังรับประทาน และยาจะถูกทำลายที่ตับแล้วถูกขับออกทางปัสสาวะ ซึ่งถ้าพบกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในปัสสาวะประมาณ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่ามีการรับประทานแอสไพรินเกินขนาดความต้องการของร่างกาย [3,4] จะเห็นได้ว่าทั้งปริมาณของกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก หากพบในปริมาณมากในปัสสาวะสามารถเป็นปัจจัยบ่งชี้ถึงสภาวะการทำงานหรือการเกิดปัญหาทางด้านสุขภาพได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวิจัยและตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น เทคนิคโครมาโทกราฟี [5] เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี [6] หรือเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส [7] ถึงแม้เทคนิคดังกล่าวมาข้างต้นจะเป็นเทคนิคที่มีความไวในการวิเคราะห์สูงแต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของการเตรียมสารตัวอย่างที่ยุ่งยากโดยใช้รีเอเจนต์และสารตัวอย่างในปริมาณที่มาก เป็นต้น

ปัจจุบันเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจวัดหาปริมาณสารต่างๆ รวมทั้งกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำอนุภาคนาโนทองแดงมาใช้ร่วมกับพอลิอะนิลีนเพื่อปรับปรุงขั้วกลาสคาร์บอนสำหรับตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก [8] และมีการการสร้างขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นด้วย

แผ่นฟิล์มนาโนแพลทินัมและนาโนทองคำด้วยแนฟฟิออน สำหรับใช้ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิก กรดอะเซทิลซาลิซิลิก และกรดยูริกในคราวเดียวกัน [9]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดให้กับขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากแอนติโมนี เป็นสารกึ่งโลหะซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ เมื่ออยู่ในรูปของสารละลายผสมร่วมกับแมงกานีสจะทำให้แมงกานีสมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ประกอบกับพอลิอะนิลีนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าได้ดี จึงเป็นผลทำให้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตที่สร้างขึ้นมีความไวสูงต่อการวิเคราะห์สารโดยอาศัยเทคนิคโวลแทมเมตรี [10-13] ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดสารที่มีปริมาณน้อยๆได้ และสำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำขั้วไฟฟ้าที่ได้มาใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะในคราวเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่เคลือบด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน และศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้

1.2.2 เพื่อทำการวิเคราะห์การตรวจวัดปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเตรียมขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนโดยเทคนิคโวลแทมเมตรี

1.3.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้น

1.3.3 ตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิก และกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะในคราวเดียวกันด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 สามารถพัฒนาขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ปรับปรุงด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน สำหรับการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะในคราวเดียวกัน

1.4.2 สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างชนิดอื่นๆ

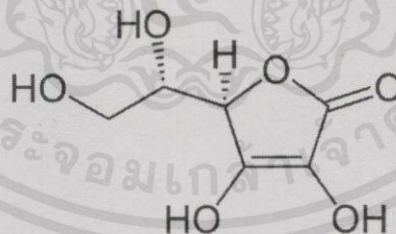
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนด้วยวิธีการเกาะติดบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน สำหรับตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน แบ่งเป็นประเด็นที่สำคัญดังนี้

- 2.1 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid)
- 2.2 กรดอะเซทิลซาลิซิลิก (Acetylsalicylic Acid)
- 2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer)
- 2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ (Synthesis of polyaniline and derivatives)
- 2.5 แมงกานีสออกไซด์ (Manganese oxide)
- 2.6 แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide)
- 2.7 ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO)
- 2.8 หลักการทางเคมีไฟฟ้าโดยทั่วไป (Principles of electrochemistry)
- 2.9 การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า (Analysis of electrochemistry)
- 2.10 เทคนิคการเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrochemical deposition)
- 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) [14, 15]



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ L-Ascorbic acid

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ร่างกายไม่สามารถที่จะสร้างขึ้นเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากการรับประทานเข้าไป วิตามินซีสามารถพบในผัก และผลไม้บางชนิด ในปริมาณที่สูงได้แก่ ส้ม แตงโม มะละกอ องุ่น แคนตาลูป สตอเบอร์รี่ มะม่วง ลูกกีวี มะเขือเทศ บลอคเคอลี ถั่วงอก กระหล่ำปลี กระหล่ำดอก วิตามินซี ที่พบในอาหารมี 2 รูปแบบคือ กรดแอสคอร์บิก กับดีไฮโดรแอสคอร์บิก ซึ่งกรดแอสคอร์บิกมีลักษณะโมเลกุลคล้ายกับน้ำตาลกลูโคส มีผลึกสี

ชาว มีรสเปรี้ยว เมื่อถูกออกซิไดซ์จะกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยาทางเคมีในร่างกาย วิตามินซีรวมในปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน และในปฏิกิริยาการขนส่งอนุมูลอิสระ ด้วยเหตุนี้วิตามินซีจึงเป็นโมเลกุลที่มีความไวในการทำปฏิกิริยารีดักชัน หรือเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปฏิกิริยาการเผาผลาญไขมัน และสามารถป้องกันไม่ให้เกิด ออกซิเดชันของเตตระไฮโดรโฟเลท (Tetrahydrofolate) ซึ่งเป็นโฟเลทโคเอนไซม์ ทำให้มีการดูดซึมเหล็กในรูปแบบที่เป็น non-heme ในลำไส้ให้มากขึ้น

วิตามินซีสลายตัวได้เร็วที่สุดในจำพวกวิตามินด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งไวต่อออกซิเจนมาก นอกจากนี้ยังสามารถสลายตัวได้ง่ายในบรรยากาศที่มีความร้อน แสง ความชื้น โลหะหนัก (เช่น เมื่อตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศที่มีทองแดง) และในสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพเป็นด่าง คุณสมบัติและปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวทำให้วิตามินซีในพืชผักและผลไม้สลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะพืชผักและผลไม้ที่เด็ดจากต้นมาเป็นเวลานานๆ หรือนำมาผ่านกระบวนการหุงต้ม ปัจจุบันมีผู้พยายามสังเคราะห์วิตามินซีเป็นอาหารเสริมเพื่อชดเชยการสูญเสียวิตามินตามธรรมชาติดังกล่าว

ประวัติการค้นพบกรดแอสคอร์บิก

การค้นพบโดยบังเอิญเกิดขึ้นตั้งแต่สมัยสงครามครูเสด เมื่อโรคลักปิดลักเปิดกลายเป็นสาเหตุสำคัญของการตายและทุพพลภาพของคนในสมัยนั้น ทำให้มีการศึกษาและค้นคว้าวิจัยทางการแพทย์ ซึ่งภายหลังได้สรุปว่าสาเหตุมาจากการขาดวิตามินซี ซึ่งมีในผักและผลไม้ ค.ศ. 1744 ดร.เจมส์ ลินด์ (Dr. James Lind) ได้ทดลองรักษาลูกเรือ 6 ใน 12 คนที่เป็นโรคลักปิดลักเปิดพบว่าส้มและมะนาวรักษาโรคนี้นี้ได้ ค.ศ. 1932 ดร.คิงส์ (Dr. King) สามารถแยกสารชนิดหนึ่งจากมะนาวซึ่งสามารถป้องกันและรักษาโรคลักปิดลักเปิดได้ จึงได้ทำการตั้งชื่อสารนี้ว่ากรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นคำย่อมาจาก แอนตี้คอร์บิวติก แฟคเตอร์ (Antiscorbutic Factor), ค.ศ. 1933 เฮเวิร์ดและเฮิร์สต์ได้ค้นพบโครงสร้างของวิตามินซีและทั้งคู่ก็ได้สังเคราะห์วิตามินซีได้สำเร็จในปีเดียวกัน ต้น ค.ศ. 1970 ทีมนักวิทยาศาสตร์ทางชีวเคมีนำโดย ดร.ไลนัส พอลิง (Linus Pauling) นักวิทยาศาสตร์ผู้ได้รับรางวัลโนเบลถึง 2 ครั้ง และเป็นผู้ที่มียูนิเวนยาวถึง 93 ปีได้ตีพิมพ์ผลการค้นคว้าเรื่อง “วิตามินซีกับอาการหวัด” ซึ่ง ดร.ไลนัส พอลิง ยังประกาศว่า “ผมจำต้องยอมรับว่าการมีสุขภาพดีของผมเกิดจากวิตามินและเกลือแร่ที่กินเข้าไป” เขาเชื่อว่าวิตามินซีช่วยชะลอการลุกลามของมะเร็งในตัวเขาได้นานถึง 20 ปีและหลังจากกินวิตามินซีในปริมาณสูง ทุกวันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 เขาก็ไม่เป็นหวัดอีกเลย ค.ศ. 1990 สถาบันมะเร็งแห่งชาติอเมริกา ได้ประกาศว่า “วิตามินซีมีฤทธิ์ต่อกระบวนการทางชีวภาพอย่างซับซ้อนและหลากหลายรูปแบบ บางทีอาจเป็นที่สุดของบรรดาวิตามินและสารอาหารทุกชนิด”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งที่มาของวิตามินซี

ปริมาณของวิตามินซีที่พบในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้สดชนิดต่างๆ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมส่วนที่บริโภคได้)

ผลไม้สด	ปริมาณ	ผักสด	ปริมาณ
เชอริ	15-30	หน่อไม้ฝรั่ง	15-30
กล้วย	8-16	บรอกโคลี	80-90
แอปเปิล	3-30	ถั่วต่างๆ	10-15
องุ่น	2-5	กะหล่ำปลี	30-70
กีวี	80-90	แคโรท	5-10
มะนาวฝรั่ง	40-50	แตงกวา	6-10
มะม่วง	10-15	มะเขือ	15-20
ส้ม	30-50	คะน้า	70-100
สับปะรด	15-25	มันฝรั่ง	4-30
สตอร์เบอร์รี่	40-70	ฟักทอง	15
มะเขือเทศ	10-20	ปวยเล้ง	35-40
อะโวคาโด	10	ผักสลัด	10-30
มะละกอ	30-40	พาร์สเลย์	200-300
เคอร์แรนต์	50-200	พริกหวาน	150-200
ลิ้นจี่	20-30	ผักชี	90

ประโยชน์ของวิตามินซี

1. เสริมสร้างภูมิคุ้มกันและลดภูมิแพ้ เมื่อร่างกายได้รับหรือสัมผัสกับเกสรดอกไม้ ฝุ่นละออง โปรตีนแปลกปลอมในอาหาร ฯลฯ ซึ่งมีผลให้เกิด อาการแพ้ มีไข้ ลมพิษ ผื่นคัน หายใจหอบ วิตามินซี เป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นกระบวนการทางเคมีโดยยับยั้งสารที่เรียกว่า ฮิสตามีน ซึ่งเป็นสารที่ ร่างกายสร้างขึ้นมามากเกินไปทำให้เลือดซึมผ่านผนังเส้นเลือดฝอยมาก เกิดผื่นหนังบวมแดง มีอาการ ระคายเคืองตามระบบหายใจทำให้จาม และมีน้ำมูกไหล นอกจากนี้วิตามินซียังมีความสำคัญต่อ ระบบภูมิคุ้มกัน โดยช่วยยับยั้งและต้านทานโรคติดเชื้อจากแบคทีเรียและไวรัส ช่วยรักษาผิวของเม็ด เลือดขาวไม่ให้ถูกทำลายทำให้การเคลื่อนย้ายตัวของเม็ดเลือดขาวไปยังเชื้อโรคต่างๆ เป็นไปได้อย่าง รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยขณะทำลายเชื้อโรคเหล่านั้น ลดอัตราการเกิด อาการของโรคเก๊าท์ (Gout) และข้ออักเสบ (Arthritis) อีกด้วย

2. เป็นสารต้านการออกซิไดซ์ (Antioxidant) วิตามินซีป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการ ออกซิเดชันได้ดีจึงสามารถป้องกันการเสื่อมของเซลล์และพบว่ามีส่วนในการต่อต้านการเกิดเซลล์ที่

ผิดปกติต่าง ๆ เช่น เซลล์มะเร็ง โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ Superoxide และ Hydroxyl ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ซึ่งมาจากการสลายตัวของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated Fatty Acid) วิตามินซีอาจจะทำปฏิกิริยาโดยทางอ้อมในการป้องกันการสลายตัวของไขมันในเยื่อ เซลล์โดยช่วยในการสังเคราะห์วิตามินอีที่ติดกับผนังเซลล์ขึ้นมาใหม่เป็น การป้องกันโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะว่าการได้รับวิตามินซีวันละ 200 มิลลิกรัม อาจลดการเกิดไนโตรซามีน (Nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในกระเพาะและตับ มักพบในการบริโภคอาหาร ที่มีสารไนเตรต หรือไนไตรท์ เช่น เนื้อแดง ไส้กรอก แฮม เบคอน และวิตามินซียังสามารถสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นเสมือนตาข่ายคลุมเซลล์ให้พ้นจากมะเร็งด้วย อย่างไรก็ตามหากวิตามินซีนั้นมีสารประกอบโพลีฟลาโวนอยด์ (Bioflavanoid) รวมอยู่ด้วย ก็ยังเป็นการเพิ่มฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้วิตามินซียังช่วยป้องกันสารอื่นไม่ให้ถูกออกซิไดซ์ด้วย เช่น วิตามินเอ วิตามินบีหนึ่ง วิตามิน บีสอง วิตามินอีและกรดแพนโทนิค

3. ช่วยสร้างและรักษาสุขภาพของคอลลาเจน วิตามินซีมีบทบาทสำคัญในการสร้างและการรักษาระดับของสารคอลลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนที่ใช้ในการสร้างกระดูก ฟัน เส้นเอ็น และผิวหนัง คอลลาเจน ประกอบด้วยไฮดรอกซีโพรลีนซึ่งได้จากการเปลี่ยนโพรลีน คอลลาเจนช่วยให้กระดูกและฟันมีสภาพแข็งแรงสมบูรณ์ และซ่อมแซมเมื่อมีการแตกหักหรือร้าวบิ่น บำรุงกระดูกและเสริมสร้างความหนาแน่นของกระดูก โดยเฉพาะบริเวณส่วนปลายกระดูกและข้อต่อ ลดอาการปวดจากโรคไขข้อต่างๆ ช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน

4. ช่วยบำรุงรักษาผิว วิตามินซีช่วยในการส่งเสริมสุขภาพผิวพรรณ สร้างเซลล์ผิวหนังใหม่ๆ ป้องกันการเกิดภาวะริ้วรอยก่อนวัย ช่วยต้านการเกิดเม็ดสีเมลานินอันเป็นต้นเหตุของการเกิดฝ้า ช่วยเร่งกระบวนการการรักษแผลโดยเฉพาะแผลที่ถูกไฟไหม้ น้ำร้อนลวก อีกทั้งช่วยในการสร้างสารในหลอดเลือดฝอย ซึ่งป้องกันการฟกช้ำดำเขียวหรือเลือดออกใต้ผิวหนัง การขาดวิตามินซีส่งผลให้บาดแผลหายช้าเพราะการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แผลไม่เป็นปกติ

5. ปฏิกิริยาต่อสารต่าง ๆ ในร่างกาย

- ช่วยให้ร่างกายดูดซึมธาตุเหล็กได้ดีขึ้นเป็นการป้องกันโรคโลหิตจาง โดยวิตามินซี จะเปลี่ยนเหล็กในอาหารจากเฟอร์ริกไอออนให้เป็นเฟอร์รัสไอออน และยังรวมกับเหล็กเป็นสารอนุ เล็กทำให้ดูดซึมได้ดีขึ้น และช่วยทำให้ทรานเฟอร์รินปลดปล่อยเหล็ก ออกมาสู่กระแสเลือดเพื่อนำไปใช้สร้างเฟอร์ริทินซึ่งธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุสำคัญที่ร่างกายเราใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ดังนั้นภาวะโลหิตจางจึงเกี่ยวพันกับปริมาณธาตุเหล็กในร่างกาย มีข้อสังเกตว่าเหตุใดบางคนรับประทาน อาหารที่ธาตุเหล็กสูงกลับเป็นโรคโลหิตจาง นั้นเป็นเพราะว่าธาตุเหล็กในอาหารหากไม่ได้อยู่ในรูปของ เฟอร์รัสเมื่อเคลื่อนผ่านลำไส้เล็กร่างกายจะไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้

- ช่วยเปลี่ยนกรดโฟลิกให้เป็นกรดโฟลินิก ซึ่งช่วยป้องกันโรคโลหิตจางชนิดเม็ด เลือดแดงมีขนาดใหญ่ (Megaloblastic Anemia)

- ช่วยในการเปลี่ยนทรिโทเฟนให้เป็นเซโรโทนิน ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทฮอโมน มีหน้าที่ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ ช่วยลดความดันในลูกตา ช่วยป้องกันต่อกระจก และต่อหินในผู้สูงอายุ และป้องกันภาวะตาบอดเฉียบพลัน

- ช่วยกระตุ้นการผลิตอินเตอร์เฟอรอน ทำหน้าที่ช่วยต่อต้านเชื้อไวรัส เช่น โรคเริม ตับอักเสบบวม เยื่อหุ้มสมองอักเสบ โรคหัด ปอดบวม เป็นต้น

- ทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาของน้ำย่อย คอเลสเตอรอล 7 โมโนออกซีซีเนสซึ่งเป็นน้ำย่อย ที่ใช้ในการเปลี่ยนคอเลสเตอรอลให้เป็นกรดน้ำดีทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด

- ช่วยกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อย และการเผาผลาญของเซลล์ภายในร่างกาย

- ช่วยในกระบวนการเมตาบอลิซึมของกรด อะมิโนบางตัว เช่น เฟนิลอะลานีน ทรอปโทเฟน และไทโรซีน

- ช่วยในการสังเคราะห์คาร์นิทีนจากไลซีน และเมทไทโอนีน ซึ่งคาร์นิทีนนี้มีประโยชน์ในการเผาผลาญกรดไขมันเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกายแบบการขนส่งแบบกระตุ้น (Active transport)

- ช่วยร่างกายในการหลั่งฮอโมนเมื่อเกิด ความเครียดโดยสังเคราะห์อิพิเนพรินและนอร์อิพิเนพรินที่ต่อมหมวกไต

- ลดอันตรายจากโลหะหนักหรือสารพิษ ต่างๆ ที่ร่างกายได้รับจากสิ่งแวดล้อม เช่น ช่วยขับสารตะกั่วออกจากร่างกายเมื่อรวมตัวกับสังกะสี

6. ผลต่อการไหลเวียนโลหิต

- วิตามินซีช่วยลดการเกิดก้อนแข็งตัวในเส้นเลือด เพิ่มสมรรถนะของผนังหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นตัวได้ดีขึ้น ทำให้ระดับความดันโลหิตอยู่ในภาวะปกติ ป้องกันการเกิดภาวะความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจอีกด้วยซึ่งหากใช้ร่วมกับวิตามินอีก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันโรคหัวใจดีขึ้น

- ช่วยป้องกันอาการเลือดไหลไม่หยุด

7. อื่นๆ

- ช่วยรักษาอาการท้องผูกเนื่องจากวิตามินซีจะช่วยให้กากอาหารในลำไส้ไม่แข็งตัว จึงทำให้ขับถ่ายสะดวก

- เพิ่มประสิทธิภาพของยาที่ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ

- ลดอัตราการเป็นหมันในชาย และทำให้สเปิร์มแข็งแรง เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

- ช่วยป้องกันโรคอัลไซเมอร์

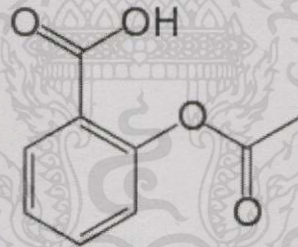
ผลของการขาดวิตามินซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทูลองที่มีการนำไปใช้
การขาดวิตามินซี ทำให้เป็นโรคเลือดออกตามไรฟัน ซึ่งพบได้ทั้งในเด็กทารกและผู้ใหญ่

- ทารก พบในทารกที่กินนมวัวที่มีปริมาณวิตามินซีต่ำ และไม่ได้รับอาหารเสริมที่ถูกต้องเด็กจะเป็นโรคติดเชื้อง่าย การเจริญเติบโตช้าลง เกิดภาวะโลหิตจาง ช่วงหายใจสั้น มีอาการทางประสาท อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ซีด กระวนกระวาย ร้องกวน มีอาการปวดตามกระดูกขา และขาบวม โดยเฉพาะบริเวณเหนือเข่า และข้อเท้า เด็กจะนอนในท่าแบะขาออกทั้ง 2 ข้าง ถ้าเด็กเริ่มมีฟันขึ้นมักจะมีเหงือกบวมสีคล้ำและอาจมีเลือดออก

- ผู้ใหญ่ พบในผู้ที่ไม่ได้บริโภคอาหารผักและผลไม้สดเป็นเวลานานๆ ผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยที่กินอาหารไม่เพียงพอจากการทดลองพบว่า ระยะ 2-3 เดือนหลังจากขาดวิตามินซี จะมีจุดเลือดออกเล็กๆ ใต้ผิวหนังก่อน ต่อมาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นจ้ำตามผิวหนัง เนื่องจากผนังเส้นเลือดฝอยเปราะบาง เพราะมีโครงสร้างของคอลลาเจนที่ผนังเส้นเลือดฝอยไม่สมบูรณ์ ผิวหนังหยาบและมีตุ่มขึ้นตามบริเวณกัน และต้นขา ขนตามตัวหักและขาดงอ ต่อมาจะมีเหงือกบวม เลือดออกตามไรฟัน ที่ตาขาวมีเลือดออก นอกจากนี้ จะพบอาการผิวหนังแห้ง ปากและตาแห้ง ผม่ว้งด้วย ถ้าขาดวิตามินซี นานกว่า 3 เดือน จะมีอาการเหนื่อยง่าย ไม่มีแรง อ่อนเพลีย ปวดกล้ามเนื้อ ปวดตามข้อและขาทั้ง 2 ข้าง บวมที่เท้าและข้อเท้า น้ำตาแห้ง น้ำลายแห้ง ผม่ว้ง ผิวหนังแห้ง และฟันอาจโยกหลุด จิตใจผิดปกติ และซึมเศร้า

2.2. กรดอะเซทิลซาลิซิลิก (Acetylsalicylic Acid) [20, 21]



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ Acetylsalicylic Acid

กรดอะเซทิลซาลิซิลิก หรือแอสไพริน เป็นยาซาลิซิลेट มักใช้เป็นยาระงับปวด ลดไข้ และแก้อักเสบ แอสไพรินยังมีฤทธิ์ต้านเกล็ดเลือดโดยยับยั้งการผลิตทรอมบ็อกเซน ซึ่งปกติเชื่อมโมเลกุลเกล็ดเลือดเข้าด้วยกันเพื่อสร้างป็นเนื้อผนังหลอดเลือดที่เสียหาย เนื่องจากป็นเกล็ดเลือดสามารถใหญ่เกินไปได้ และยังขัดขวางการไหลของเลือด ทั้งเฉพาะที่และที่อยู่หลังจากนั้น แอสไพรินยังใช้ระยะยาวที่ขนาดต่ำเพื่อช่วยป้องกันอาการหัวใจล้มเหลว โรคหลอดเลือดสมอง และการเกิดลิ่มเลือดในผู้ที่มีความเสี่ยงสูง นอกจากนี้อาจให้แอสไพรินขนาดต่ำทันทีหลังอาการหัวใจล้มเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดอาการหัวใจล้มเหลว และการตายของเนื้อเยื่อหัวใจ แอสไพรินอาจให้ผลป้องกันมะเร็งบางชนิดการกำไม่ว่าการ โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ที่ค้นพบผลนี้หา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤทธิ์ข้างเคียงหลักของแอสไพริน คือ แผลกระเพาะและลำไส้ เลือดไหลในกระเพาะอาหาร และเสี่ยงในหู โดยเฉพาะในขนาดสูง ในเด็กและวัยรุ่น ไม่แนะนำแอสไพรินสำหรับอาการคล้ายหวัด หรือการเจ็บป่วยจากไวรัส เพราะเสี่ยงต่อกลุ่มอาการไรย์ (Reye's syndrome)

แอสไพรินอยู่ในกลุ่มยารักษาโรคข้อ ยาแก้อักเสบชนิดไม่ใช่สเตียรอยด์ (Nonsteroidal anti-inflammatory drugs, NSAIDs) แต่กลไกออกฤทธิ์ของมันต่างจากชนิดไม่ใช่สเตียรอยด์ อื่นส่วนมาก แม้มันและยาอื่นที่มีโครงสร้างคล้ายกัน เรียก ซาลิซิลेट มีฤทธิ์ ลดไข้ แก้อักเสบ ระงับปวด และยับยั้ง เอนไซม์ไซโคลออกซิจีเนส (Cyclooxygenase, COX) ตัวเดียวกัน แต่แอสไพรินยับยั้งแบบผันกลับ ไม่ได้ และไม่เหมือนยาอื่น มีผลกับเอนไซม์ COX-1 มากกว่า COX-2

ประวัติการค้นพบกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

- ค.ศ. 1763 เอ็ดเวิร์ด สโตน (Edward Stone) แห่งออกฟอร์ดเชอร์ (Oxfordshire) ประเทศอังกฤษ พบว่าเปลือกหิว (willow) มีสรรพคุณลดไข้ได้

- ค.ศ. 1828 เฮนรี เลอร็อกซ์ (Henri Leroux) เกสเซอร์ชาวฝรั่งเศส และ ราฟฟาเอล ปีเรีย (Raffaele Piria) นักเคมีชาวอิตาลีสามารถสกัด ซาลิซิน (Salicin) ในรูปผลึกได้ซึ่งมีสมบัติทางเคมีเป็นกรดอย่างแรงในสารละลายที่อิ่มตัวจะมี pH เท่ากับ 2.4 และต่อมาพบว่าสารตัวนี้เป็น กรดซาลิซิลิก (salicylic acid) นั่นเอง

- ค.ศ. 1897 เฟลิซ ฮอฟฟ์แมน (Felix Hoffmann) นักวิจัยของไบเออร์ได้เปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของกรดซาลิซิลิกด้วยอะเซทิล กรุป ได้เป็น อะเซทิลเอสเตอร์ (Acetyl ester) หรืออะเซทิลซาลิซิลิก แอซิด ซึ่งเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นโดยไม่เลียนแบบธรรมชาติเป็นครั้งแรกของโลกด้วย และที่สำคัญสารเคมีตัวใหม่มีผลข้างเคียงน้อยกว่าเดิมมาก เฟลิซได้ทดลองยาตัวนี้กับพ่อของเขาซึ่งเป็น โรคข้ออักเสบ ปรากฏว่าได้ผลดีและไม่มีอาการข้างเคียงด้วย เขาจึงเสนอบริษัทฯ ให้ทำตลาดยาตัวนี้

- ค.ศ. 1899 วันที่ 6 มีนาคม ไบเออร์ได้จดสิทธิบัตรยาตัวนี้โดยใช้ชื่อการค้าว่า "แอสไพริน"

ประโยชน์ของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก (แอสไพริน)

1. มีฤทธิ์ในการลดไข้ แก้อาการ
2. แก้อาการปวดทุกชนิด เช่น ปวดหัว ปวดหู ปวดตา ปวดฟัน ปวดกล้ามเนื้อ ปวดหลัง ปวดข้อ ประจำเดือน ปวดแผล เป็นต้น (ยกเว้น ปวดโรคกระเพาะ/แผลเพ็ชตึก ห้ามใช้)
3. มีฤทธิ์เป็นยาต้านอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ ใช้แก้อาการปวดข้อ ข้ออักเสบ
4. ป้องกันการเกิดลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดสมอง และหัวใจ

พิษของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก (แอสไพริน)

เมื่อผู้ป่วยรับประทานแอสไพรินเกินขนาด อาจจะมีอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน จากการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกในลำไส้ อาการทางระบบ อันดับแรก คือ หูอื้อ ซึ่งจะมีระดับซาลิซิลेट

(salicylates) ในเลือดประมาณ 25 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จากนั้นผู้ป่วยจะเริ่มมีอาการกระวนกระวาย สับสน หัวใจเต้นเร็ว ช่วงแรกพีเอชจะเป็นแบบภาวะเลือดเป็นด่างจากการหายใจ (Respiratory Alkalosis) ระยะดังกล่าวอยู่นานประมาณ 12 ชั่วโมง ร่างกายจะมีการสูญเสียไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) และโพแทสเซียม (Potassium) เมื่อภาวะกรดเมตาบอลิก (Metabolic Acidosis) เริ่มปรากฏขึ้น พีเอชในเลือดจะกลายเป็น Mixed acid-base Disturbance และ Primary Metabolic Acidosis หลังจาก 24 ชั่วโมง ผู้ป่วยจะมีอาการซึมและช็อกในเวลาต่อมา ผู้ป่วยบางรายจะมีภาวะเลือดออกทั้งจาก Platelet Dysfunction และ Coagulopathy บางรายเกิด Noncardiogenic Pulmonary Edema หรือ Acute Renal Failure ร่วมด้วยได้

ผู้ป่วยที่เป็นพิษแบบเรื้อรังจะเกิดขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไป และอาการไม่จำเพาะเจาะจง มักเป็นอาการทางสมอง เช่น สับสน ชาน้ำ และอาจก่อให้เกิดการติดเชื้อในกระแสเลือด ปอดบวม พบได้บ่อยในผู้สูงอายุ ทำให้การวินิจฉัยบางครั้งผิดพลาด หากไม่ได้คำนึงถึงภาวะดังกล่าวระบบหายใจ

- หอบ เกิดภาวะปอดบวมน้ำ และภาวะหายใจล้มเหลว ทำให้หยุดหายใจได้
- พิษต่อหู เกิดอาการเสียงหึ่งๆ ในหู ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของยาในเลือด

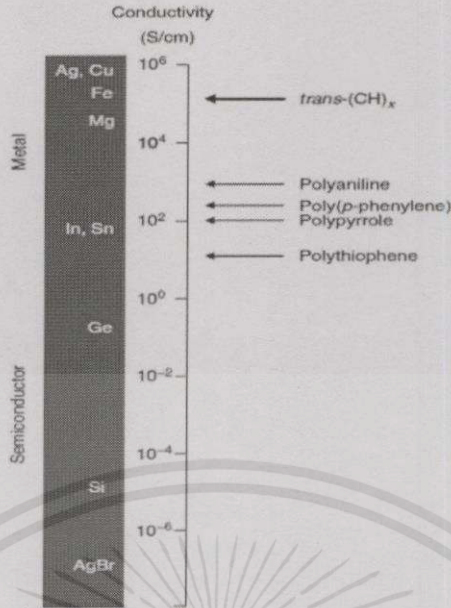
เกิน 30 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

- ระบบหัวใจ - หัวใจเต้นเร็ว ความดันต่ำ เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะหัวใจหยุดเต้น คลื่นไฟฟ้าหัวใจพบ U waves, flattened T waves, QT prolongation

- พิษต่อระบบประสาท ชัก สับสน และหมดสติ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต่อระบบต่างๆ ทั่วร่างกาย โดยเฉพาะสมดุลดกรด-เบสผิดปกติ

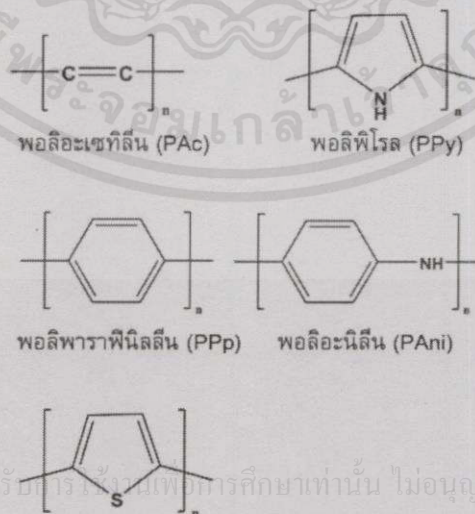
2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) [18]

ในปัจจุบันพอลิเมอร์สังเคราะห์กลายเป็นที่นิยม และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานมากกว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป็นที่รู้จักกันมากกว่าร้อยปี พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่มีพอลิเมอร์บางกลุ่มที่แสดงสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำหรือนำไฟฟ้าได้ พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1976 โดยอลันเจีฮีเกอร์ (Alan J. Heeger) อลันจีแมกไดอาร์มิด (Alan G. MacDiarmid) และฮิเดกิชิรากาวา (Hideki Shirakawa) และต่อมาทั้งสามท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีร่วมกันในปี ค.ศ. 2000 ที่ร่วมกันค้นพบและศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะเซทิลีนผลึก (Crystalline polyacetylene) ที่มีค่าการนำไฟฟ้าเทียบเท่าโลหะ การค้นพบของทั้งสามท่าน ทำให้เกิดการตื่นตัวในบรรดานักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ในการพัฒนาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดใหม่ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในศตวรรษที่ 21 โลกกำลังจะเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่จากศาสตร์ของแบบแข็งๆ ไปเป็นศาสตร์ของแบบอ่อนๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าโลกกำลังเปลี่ยนจากศตวรรษของฟิสิกส์ไปสู่ศตวรรษของเคมี และนำอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำที่มีอยู่ในโลกไปสู่ยุคอุตสาหกรรมใหม่ ซึ่งไม่มีใครเคยคิดมาก่อนเลยว่าอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าจะมาจากสารอินทรีย์



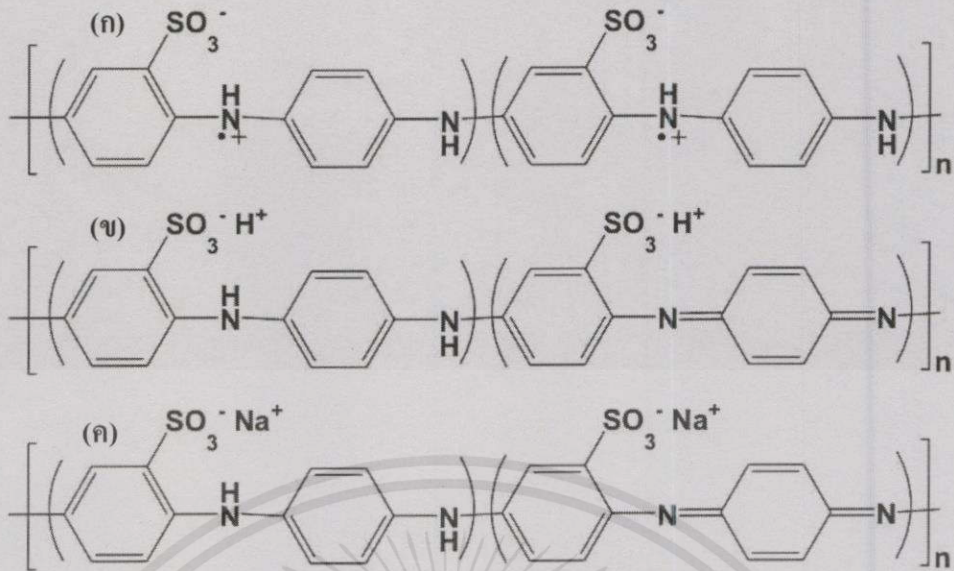
รูปที่ 2.3 ค่าการนำไฟฟ้าของโลหะบางตัวและพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่ผ่านกระบวนการโด๊ป

โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของพอลิเมอร์กลุ่มนี้คือ มีระบบแบบไพคอนจูเกต (π -conjugated system) ซึ่งเป็นอะตอมของคาร์บอนต่อกันอยู่ด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวหรือมีวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) หรือมีอะตอมของธาตุไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) อยู่ในวงแหวน ทำให้พอลิเมอร์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการกระจายอิเล็กตรอนได้ดี นอกจากนั้นแล้วความสามารถในการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ วิธีการสังเคราะห์และการโด๊ป กระบวนการโด๊ปทำให้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือรีดอกซ์ การโด๊ปทำให้พอลิเมอร์เหล่านี้ซึ่งจากเดิมเป็นฉนวนเปลี่ยนเป็นวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีเสมือนเป็นโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่อย่างไรก็ตามสภาพตัวนำและฉนวนไฟฟ้าของพอลิเมอร์กลุ่มนี้สามารถผันกลับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิอะเซทิลีน พอลิไพโรล พอลิอะนิลีน พอลิพาราฟินิลีน และพอลิไทออฟีน



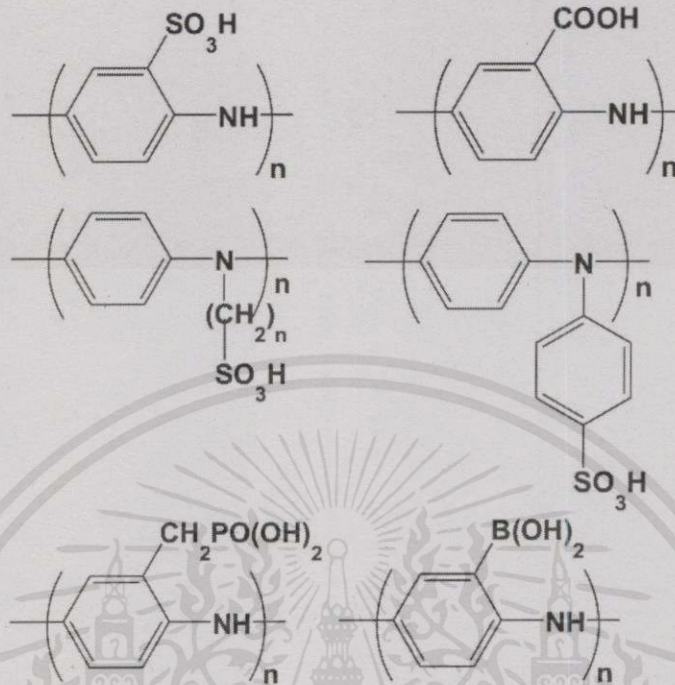
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธ์พอลิอะนิลีนที่มีหมู่ซัลโฟเนตเป็นหมู่แทนที่บนวงเบนซีน ในสถานะที่เป็น (ก) กลาง (ข) กรด และ (ค) ต่าง

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามพัฒนาวิธีการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ (Synthesis of polyaniline and derivatives) โดยการเติมหมู่แทนที่ (Substituents) ต่างๆ บนสายโซ่หลักของพอลิอะนิลีน ตัวอย่างของหมู่แทนที่ที่นิยมได้แก่ อัลคิล (Alkyl, -R) เอริล (Aryl, -Ar) อัลคอกซี (Alkoxy, -OR) ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) อะมิโน (Amino, $-\text{NH}_2$) หรือเฮโลเจน (Halogens, -X) เป็นต้น กระบวนการนี้สามารถช่วยทำให้พอลิอะนิลีนละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของสเตอริก (Steric effect) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลให้พอลิอะนิลีนมีค่าการนำไฟฟ้าและมวลโมเลกุลที่ต่ำ

ถึงแม้ว่าการเติมหมู่แทนที่ต่างๆ จะทำให้พอลิอะนิลีนละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปได้ดียิ่งขึ้น แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การไม่ละลายในน้ำ การนำไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ต่างความสามารถเชิงไฟฟ้าเคมีที่เป็นข้อจำกัดในการนำอนุพันธ์พอลิอะนิลีนไปใช้งานด้วยเช่นกัน เพื่อที่จะเอาชนะข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้ นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามคิดหาวิธีการที่จะช่วยให้พอลิอะนิลีนละลายในน้ำ แต่ยังคงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าและความสามารถเชิงไฟฟ้าเคมี ในปี ค.ศ. 1990 Jain และ Epstein เป็นคณะวิจัยแรกที่ได้รายงานอนุพันธ์พอลิอะนิลีนที่ละลายในน้ำโดยมีหมู่ซัลโฟเนต (Sulfonate groups, $-\text{SO}_3^-$) ทำหน้าที่เป็นตัวได้ป

ไอออนลบภายในโมเลกุลให้กับไอออนบวกไนโตรเจนอะตอมที่ถูกโปรตอนเต บนสายโซ่ของพอลิเมอร์กระบวนการนี้เรียกว่า การได้ปตัวเองของพอลิเมอร์ (Self-doped polymer) ในสถานะที่เป็นกลางอนุพันธ์พอลิอะนิลีนที่มีหมู่ซัลโฟเนตเป็นหมู่แทนที่บนวงเบนซีน (Benzene ring) จะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.6(ก) สิ่งที่แตกต่างกันไปจากพอลิอะนิลีนคือ อนุพันธ์ตัวนี้สามารถละลายได้

ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและต่าง เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ค) ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธ์พอลิอะนิลีนนำไฟฟ้าที่มีการโด๊ปตัวเองแต่ละชนิด

การโด๊ปตัวเองของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าสามารถทำได้ทั้งการเติมหมู่แทนที่ลงบนมอนอเมอร์ก่อนกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน และพอลิเมอร์หลังกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน หมู่แทนที่ต่างๆ ที่มีการนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์ของพอลิอะนิลีนที่มีการโด๊ปตัวเอง ได้แก่ ซัลโฟนิกแอซิด คาร์บอกซิลิกแอซิด อัลคิลและอัลคอกซีซัลโฟนิกแอซิด ฟอสโฟนิกแอซิด และโบโรนิกแอซิด ข้อดีของการโด๊ปด้วยหมู่แทนที่ต่าง ๆ เหล่านี้ คือทำให้อนุพันธ์ของพอลิอะนิลีนที่มีการโด๊ปตัวเองละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น ไสลิคลอโรฟอร์มหรือเมตา-ครีซอลได้ดีขึ้น

2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ (Synthesis of polyaniline and derivatives)

[19]

การสังเคราะห์พอลิเมอร์เป็นการรวมมอนอเมอร์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่เป็นหน่วยย่อยเชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond) ในระหว่างกระบวนการเกิดพอลิเมอร์หมู่ทางเคมีบางตัวจะหลุดออกจากหน่วยย่อย และได้พอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยย่อยซ้ำๆ กันโดยทั่วไปการสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งรวมพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ มีวิธีการสังเคราะห์ที่สำคัญๆ ได้แก่ การสังเคราะห์ทางเคมี การสังเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า การสังเคราะห์โดยใช้แสงและการสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทางสน. ออกทางสน. ให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

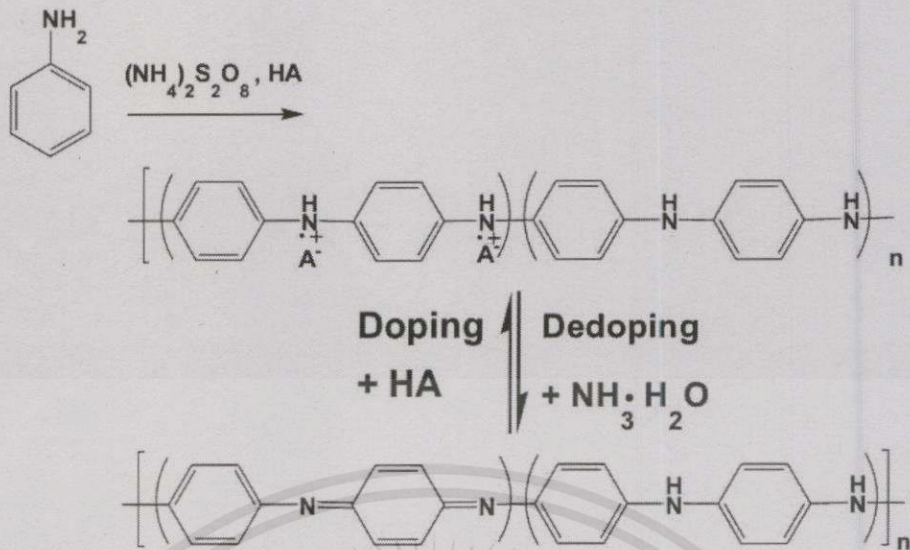
2.4.1 การสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical polymerization)

การสังเคราะห์ทางเคมีเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ และได้รับความนิยมอย่างมากในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เชิงการค้า โดยทั่วไปการสังเคราะห์ทางเคมีสามารถทำได้โดยใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิเดนต์ที่แรง เช่น แอมโมเนียเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เฟอร์ริกไอออน (Ferric ions, Fe^{3+}) เปอร์แมงกาเนตไอออน (Permanganate ions, MnO_4^-) หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เป็นต้น แอมโมเนียเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวออกซิเดนต์ที่ได้รับความนิยม และถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์มากที่สุด โดยทั่วไปพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในกรด (HA) เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เพราะฉะนั้นในกระบวนการสังเคราะห์ ไอออนลบ HSO_4^- หรือ SO_4^{2-} จะทำหน้าที่เป็นตัวโด๊ปให้กับสายโซ่หลักของพอลิเมอร์อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical polymerization) อยู่ในช่วง 1-5 องศาเซลเซียสซึ่งจะทำให้ได้พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ที่มีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 30,000 ถึง 60,000 กรัม/โมล

2.4.2 การสังเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical polymerization)

การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้า เป็นวิธีการที่มีประโยชน์อย่างมากในการเตรียมแผ่นฟิล์มที่ติดอยู่บนผิวของขั้วไฟฟ้า ข้อดีของวิธีการทางเคมีไฟฟ้าคือกระบวนการสังเคราะห์ทำได้ง่าย รวดเร็ว สามารถสังเคราะห์ทั้งสภาวะที่มีน้ำและไม่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จึงได้รับความนิยมอย่างมากในงานด้านเคมีวิเคราะห์ แต่ข้อเสียของวิธีการทางเคมีไฟฟ้าคือต้องการเครื่องมือทางเคมีไฟฟ้า ต้องการขั้วไฟฟ้าใช้งาน (Working electrode, WE) ขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter electrode, CE) และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode, RE) ขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ใช้ต้องเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ เช่น ขั้วกลาสซีคาร์บอน (Glassy carbon, GC) ขั้วโลหะทอง (Gold, Au) ขั้วแพลตินัม (Platinum, Pt) หรือขั้วอินเดียมดีบุกทินออกไซด์ (Indium Tin Oxide, ITO) ที่เคลือบบนกระจก รวมทั้งขนาดและรูปร่างของขั้วไฟฟ้าต้องเหมาะสมกับเครื่องมือด้วย โดยทั่วไปมอนอเมอร์อะนิลีนและอนุพันธ์ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในสารละลายกรด ซึ่งเกิดจากหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ทำปฏิกิริยากับกรดเกิดเป็นเกลือแอมโมเนียม ($-NH_3^+A^-$) เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าที่ประมาณ 0.9 ถึง 1.1 โวลต์ (Ag/AgCl) มอนอเมอร์อะนิลีนและอนุพันธ์จะถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในที่สุด เนื่องจากสังเคราะห์ในสารละลายกรด พอลิเมอร์ที่ได้จะอยู่ในสภาพที่ถูกโด๊ป และอยู่ในรูปเกลือเอมเมอร์ลิติน (Emeraldine salt, ES) ซึ่งนำไฟฟ้าได้พร้อมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานในงานด้านเซนเซอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ด้วยวิธีการทางเคมี

2.4.3 การสังเคราะห์โดยใช้แสง (Photochemical-initiated polymerization)

นอกจากวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีและเคมีไฟฟ้าแล้ว การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์โดยใช้แสง เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่กำลังได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีและเคมีไฟฟ้า การสังเคราะห์โดยใช้แสงมีข้อดี คือ เป็นกระบวนการที่ไม่เป็นภัยต่อสุขภาพของผู้ทดลอง สถานะการทดลองเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า อีกทั้งยังมีต้นทุนในกระบวนการสังเคราะห์ต่ำกว่าการสังเคราะห์โดยใช้แสง เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่มีประโยชน์อย่างมาก ในการเตรียมแผ่นฟิล์มที่ติดอยู่บนผิวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งทำได้โดยการฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มที่มี $[\text{Ru}(\text{bipy})_3]^{2+}$ และเมทิลไวโอลोजีน (methylviologen, MV^{2+}) เมื่อตกคลื่นแสงที่ 452 nm จะทำให้เกิด $^*[\text{Ru}(\text{bipy})_3]^{2+}$ หลังจากนั้นการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจาก $^*[\text{Ru}(\text{bipy})_3]^{2+}$ ไปยัง MV^{2+} จะได้ $[\text{Ru}(\text{bipy})_3]^{3+}$ ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงพอจะทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ได้นอกจากการใช้ $[\text{Ru}(\text{bipy})_3]^{2+}$ แล้วยังมีการนำสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียมตัวอื่นๆ เช่น $[\text{Ru}(\text{phen})_3]^{2+}$ มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์

การประยุกต์ใช้งานพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์

ด้วยข้อดีหลายประการ อาทิ เช่น มีวิธีการสังเคราะห์ที่หลากหลายมีกระบวนการสังเคราะห์ที่ง่าย มีความเสถียรต่อสภาพบรรยากาศและความชื้นสูงและราคาถูก ทำให้พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์กลายเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจและมีการนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปทำเซนเซอร์และการผลิตถ่านชาร์กเจลิตีเยมดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขการใช้อย่างเหมาะสม ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า

1. เซนเซอร์ (Sensors)

การวิเคราะห์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารต่าง ๆ มีความสำคัญมากในงานทางเคมีวิเคราะห์ ดังนั้น เซนเซอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากปฏิกิริยาเคมีเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดและบันทึกได้ เซนเซอร์ที่ใช้ฟิล์มของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าโดยเฉพาะ พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ มีการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่หลากหลาย ตั้งแต่การควบคุมคุณภาพทางสิ่งแวดล้อมไปจนถึงการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เซนเซอร์ที่ใช้ฟิล์มของพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ได้ถูกนำมาใช้เป็นทั้งตัวตรวจวัดโมเลกุลสารทางเคมี เช่น ตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) ตรวจวัดปริมาณวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก และตัวตรวจวัดโมเลกุลสารทางชีวภาพ (Biosensors) เช่น กลูโคส (Glucose) เป็นต้น จุดเด่นของเซนเซอร์ชนิดนี้คือสามารถใช้งานได้หลากหลายที่อุณหภูมิต่างๆ ตัวเซนเซอร์มีความไวสูงในการตอบสนอง สามารถตรวจวัดโมเลกุลที่มีความเข้มข้นระดับต่ำๆ และมีความเสถียรในระหว่างที่ใช้งาน

2. ถ่านชาร์จลิเทียม (Lithium-ion rechargeable batteries)

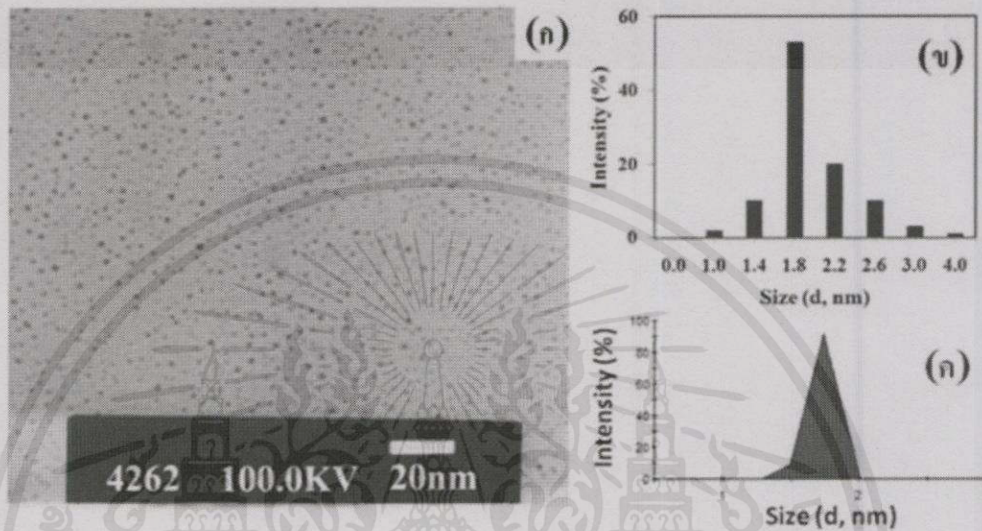
เนื่องจากลิเทียมเป็นโลหะที่บางเบาที่สุดและให้ศักย์ไฟฟ้าที่สูง ทำให้ถ่านลิเทียมถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในโทรศัพท์มือถือหรือเครื่องบินเล็กบังคับวิทยุ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามถ่านลิเทียมแบบธรรมดาที่มีข้อจำกัดคือ เสียหายง่ายและไม่สามารถชาร์จซ้ำได้อีก เพื่อให้ถ่านทำงานได้อย่างปลอดภัยมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและนำมาชาร์จซ้ำได้หลาย ๆ ครั้ง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาถ่านลิเทียมให้มีคุณภาพดีขึ้นจากงานวิจัยหลาย ๆ ชิ้น พบว่าถ่านชาร์จลิเทียมพอลิอะนิลีนมีประสิทธิภาพสูงกว่าถ่านลิเทียมแบบธรรมดา นอกจากนั้นแล้วถ่านชาร์จลิเทียมพอลิเมอร์นี้ยังง่ายต่อการผลิตมีความแข็งแรงปลอดภัยและบาง ทำให้สามารถผลิตถ่านชาร์จลิเทียมพอลิเมอร์ให้มีรูปทรงต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งาน

2.5 แมงกานีสออกไซด์ (Manganese Oxide) [20]

แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีสออกไซด์พบได้ในธรรมชาติ อยู่ในหิน ทราย ตะกอนดิน แหล่งน้ำ และสิ่งมีชีวิตทั่วไปตามธรรมชาติ มักปะปนอยู่กับสารประกอบกลุ่มซิลิเกต (silicate) หรือคาร์บอเนต (carbonate) ซึ่งพบอยู่ในดิน หิน ทราย ทั่วไป โดยปกติคนจะได้รับแมงกานีสจากธรรมชาติเป็นประจำอยู่แล้วในอาหาร เช่น ธัญพืชที่ไม่ขัดสี ผักใบเขียว ถั่ว และน้ำชา พบว่ามีปริมาณแมงกานีสอยู่มาก อาจทำให้ตรวจพบระดับแมงกานีสในร่างกายสูงได้ น้ำดื่มและอาหารเป็นแหล่งที่มาของแมงกานีสที่คนทั่วไปจะได้รับเข้าสู่ร่างกายมากที่สุด

ในปี ค.ศ.2012 ทีมนักวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ผลิตอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์ที่มีขนาดเล็กมาก (< 2 นาโนเมตร) จากภาพที่ 12 ก แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน และสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนเอกซเรย์ดิฟแฟกชันสเปกตรัมไม่กว้างเกินไปอีกทั้งยังมีโครงสร้างที่คงที่และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ของนาโนแมงกานีสออกไซด์ที่ถูกเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ที่มุมหักเหสองซีกจาก 10 ถึง 75 องศา (ภาพที่ 13) ทุกมุมสองซีกหักเหมาจากโครงสร้างเตตระโกนอลแมงกานีสออกไซด์

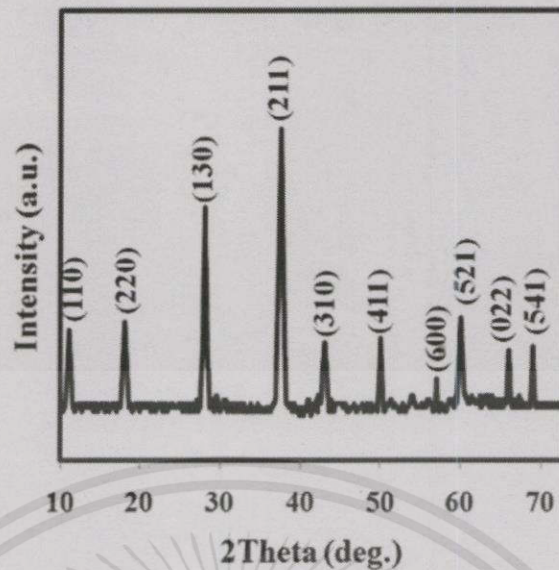
โดยรวมอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์มีการกระจายตัวค่อนข้างสูง มีขนาดอนุภาค 1.8 ± 0.2 นาโนเมตร สอดคล้องกับขนาดอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระเจิงแสง (ภาพที่ 12 ข) โดยรายงานจากทีมนักวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ถือว่าอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ



รูปที่ 2.9 (ก) รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่านของอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์ (ข) กราฟแท่ง แสดงการกระจายตัวของอนุภาคนาโนแมงกานีสออกไซด์ และ (ค) ขนาดของอนุภาคนาโน แมงกานีสออกไซด์ที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระเจิงแสง

เอกซเรย์ดิฟแฟกชันสเปกตรัมของนาโนแมงกานีสออกไซด์ที่ถูกเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ที่มุมหักเหสองซีกจาก 10 ถึง 75 องศา (รูปที่ 2.10) ทุกมุมสองซีกหักเหมาจากโครงสร้างเตตระโกนอลของอัลฟาแมงกานีสออกไซด์ (JCPDS 44-0141) โดยจากการคำนวณค่าคงที่แลตติส $a = 0.9816$ นาโนเมตร และ $c = 0.2854$ นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟกชันสเปกตรัมของอนุภาคนาโนแมงกานีสไดออกไซด์

แมงกานีสไดออกไซด์ เป็นสารประกอบอนินทรีย์กับสูตรแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO₂) ซึ่งเป็นของแข็งสีดำหรือสีน้ำตาลเกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นแร่ไฟโรลูไซต์ ซึ่งเป็นแร่หลักของแมงกานีสและส่วนประกอบของก้อนแมงกานีส การใช้งานที่สำคัญสำหรับแมงกานีสไดออกไซด์เป็นเซลล์แบตเตอรี่แห้ง เช่น แบตเตอรี่อัลคาไลน์และแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนแมงกานีสไดออกไซด์ เป็นต้น

สถานประกอบการที่พบแมงกานีสหรือสารประกอบของแมงกานีส

1. การทำเหมืองแร่แมงกานีส โดยแร่แมงกานีสที่ใช้ในอุตสาหกรรมมักอยู่ในรูปสารประกอบไดออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลหรือดำ
2. โรงงานผลิตสารเคมี เช่น โรงงานทำต่างทับทิม
3. โรงงานถ่านไฟฉาย ใช้เป็นส่วนประกอบในถ่านไฟฉาย
4. โรงงานหลอมโลหะ เหล็กกล้า อัดลอยด์ ใช้แมงกานีสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา
5. อาจใช้เคลือบหัวเชื่อมโลหะ หัวที่เจาะหิน รางรถไฟ
6. อุตสาหกรรมเซรามิก ทำหัวไม้ขีดไฟ แก้ว สีสังเคราะห์
7. ใช้เป็นส่วนผสมในสารฟอกสีเครื่องหนัง ผ้า แก้ว
8. ใช้เป็นส่วนประกอบในยาฆ่าเชื้อรา ชื่อ Maneb และ Mancozeb

2.6 แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide) [21]

โลหะพลวง (Antimony) เป็นโลหะสีเงินขาวมีความแข็งอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าโลหะแคดเมียม ออกสารโลหะพลวงมีคุณสมบัติเปราะไม่สามารถแปรรูปได้ที่อุณหภูมิปกติ แต่มีคุณสมบัติด้านทานต่อการกัดกร่อนที่ไม่ว่ากรกร่อนข้อกรวดเจือจางได้ ที่อุณหภูมิสูงจะรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีให้เปลวไฟสีน้ำเงิน เมื่อกลายเป็นออกไซด์ (Sb₂O₃) จะเป็นผงสีขาว โลหะพลวงไม่สามารถนำมาใช้งานได้ในสภาพบริสุทธิ์ ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในลักษณะของโลหะผสม โดยพลวงจะช่วยให้โลหะผสมโดยเฉพาะกับดีบุกและตะกั่วมีคุณสมบัติ

ทางด้านการไหลดี และเพิ่มความแข็งแรงจึงใช้โลหะผสมพลงในงานหล่อเป็นส่วนใหญ่ เช่น ทำโลหะแบร์ริง (Bearing or Babbit alloy) ทำโครงแผ่นธาตุแบตเตอรี่ (Storage-battery plate) ทำโลหะพลงผสมกับตะกั่วและดีบุกนำไปทำเป็นตัวพิมพ์โลหะ (Type metal) พลงถูกใช้เป็นโลหะเจือในโลหะตะกั่วที่ใช้ทำเป็นแผ่นขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ใช้เป็นส่วนผสมของหัวกระสุนปืน (Shrapnel bullets) นอกจากนี้โลหะพลงยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

ผงเหล็กสีขาว สีเหลืองเมื่อความร้อนระบายความร้อนและอีกครั้งกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของ 5.22 ~ 5.67 ละลาย 652 จุด ~ 656 องศาเซลเซียส, จุดเดือด 1525 องศาเซลเซียส ดัชนีหักเห 2.00 ~ 2.087 การสูญเสียความร้อน (105 องศาเซลเซียส) 0.1 เปอร์เซนต์ ถูกละลายในกรดกำมะถันเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดไนตริกเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมกรดทาร์ทาริก กรดอะซิติก กรดออกซาลิก ฯลฯ ไม่ได้อยู่ในน้ำ เอทานอล กรดซัลฟิวริกและตัวทำละลายอินทรีย์

การนำพลงไปใช้ประโยชน์

โดยนำไปผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม เช่น พลงผสมกับตะกั่วและดีบุก เป็นโลหะผสมเพื่อทำตัวพิมพ์โลหะ พลงผสมกับตะกั่วเพื่อทำแผ่นตะกั่วในแบตเตอรี่ พลงเป็นส่วนผสมของหัวกระสุนปืน พลงใช้ในอุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมสี และอุตสาหกรรมเซรามิก

2.7 ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO) [22]

สมบัติทั่วไปของทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

ทินไดออกไซด์ (Tin Oxide) มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์ (Rutile) หน่วยเซลล์เตตระโกนัล (Tetragonal unit cell) มีอะตอมของทินอยู่ตรงกลางและอยู่ที่มุมทั้ง 8 มุม และมีอะตอมของออกซิเจน (O) อยู่ที่กึ่งกลางด้านทั้งหน่วยที่เล็กที่สุดของผลึกจะเรียกว่า เซลล์ดั้งเดิม (Primitive cell) เป็นปริมาตรรูปสี่เหลี่ยมสามารถประกอบขึ้นมาเป็นผลึกได้พอดี

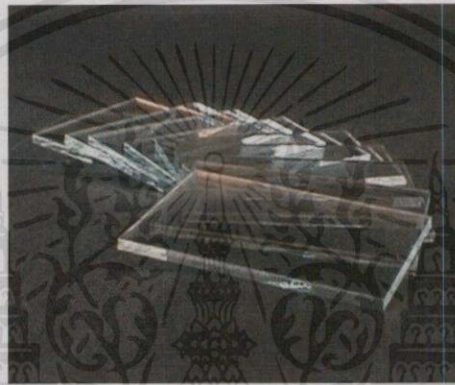
ทินออกไซด์เจือฟลูออรีน เกิดจากการเจือทินออกไซด์ด้วยฟลูออรีน โดยฟลูออรีนจะเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของออกซิเจนทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น และมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำ เรียกสารประกอบออกไซด์ที่นำไฟฟ้านี้ว่า n-type transparent conducting oxide จากนั้นนำสารประกอบของทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาเคลือบลงบนซับสเตรท (Substrate) ที่เป็นกระจก เพื่อนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ใช้ในการเคลือบทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีหลายเทคนิคด้วยกัน เช่น วิธีการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยระบบไพโรซอล การเคลือบด้วยวิธีการจุ่ม (Dip-coating technique) หรือเทคนิคสเปรย์ไพโรไลซิส (Spray pyrolyzed) เป็นต้น

คุณสมบัติสำคัญของชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีดังนี้

1. สามารถส่องผ่านแสงในช่วงที่ตามองเห็น (380-700 นาโนเมตร) ได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์
2. มีค่าความต้านทานต่ำที่สุดประมาณ 5×10^{-3} โอห์ม
3. มีโครงสร้างเป็นเตตระโกนอล มีระนาบการจัดเรียงตัว (2 1 1)
4. สามารถใส่ปริมาณฟลูออรีน ดีบุก มากที่สุดได้ประมาณร้อยละ 3 โดยโมล



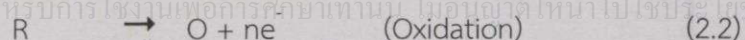
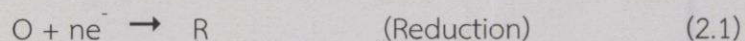
รูปที่ 2.11 ลักษณะของชั้นไฟฟ้าฟลูออรีนเจือทินออกไซด์

2.8 หลักการทางเคมีไฟฟ้าโดยทั่วไป (Principles of electrochemistry) [23]

เคมีไฟฟ้าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เซลล์เคมีไฟฟ้าจะต้องประกอบด้วยสามองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ชั้นคือ ชั้นไฟฟ้าทำงานและชั้นไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งปริมาณทางไฟฟ้ามีการส่งผ่านจากปฏิกิริยาเคมีที่ชั้นไฟฟ้าทำงานเทียบกับชั้นไฟฟ้าอ้างอิง ส่วนที่สองคือ อุปกรณ์ทางเคมีไฟฟ้า ทำหน้าที่ตรวจรับหรือให้สัญญาณปริมาณทางไฟฟ้าและส่วนที่สาม คือ สารละลายที่มีเกลืออิเล็กโทรไลต์ละลายอยู่เพื่อการนำไฟฟ้าในสารละลาย

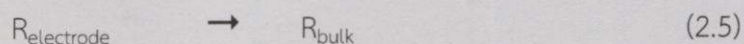
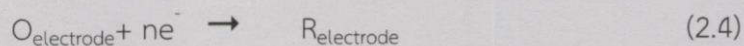
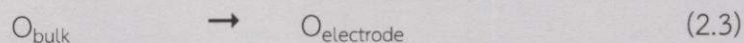
โดยทั่วไปหมวดเคมีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ชั้นไฟฟ้าด้วยสมบัติดังต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) คือ ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชัน ตัวอย่างเช่น สมการต่อไปนี้



โดย O เป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidize) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) และ R เป็นสารรีดิวซ์ (Reduce) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2. ปฏิกิริยา Heterogeneous คือ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากับสารละลายด้วยกระบวนการถ่ายเทมวลและอิเล็กตรอน ดังสมการต่อไปนี้



3. กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าว หรือกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีการส่งผ่านสู่เซลล์เคมีไฟฟ้า

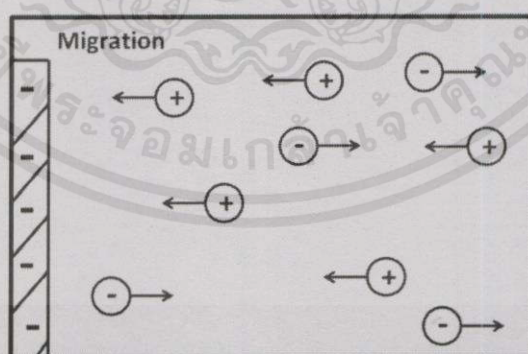
4. ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมด้วยกระบวนการถ่ายเทมวล ซึ่งมีด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ ไมเกรชัน การแพร่ และการพา รวมถึงจลศาสตร์ของปฏิกิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอน

2.8.1 การถ่ายเทมวลในสารละลาย (Mass transfer)

มวลในสารละลายซึ่งอาจจะเป็นไอออนหรือโมเลกุลถูกพาไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าได้ด้วยกันคือ ไมเกรชัน การแพร่และการพากระบวนการถ่ายเทมวลทั้ง 3 กลไกนี้เกิดขึ้นกับขั้วไฟฟ้าบวก (Anode) และขั้วไฟฟ้านลบ (Cathode) ตัวอย่างต่าง ๆ ที่ใช้อธิบายต่อไปนี้จะแสดงเฉพาะขั้วไฟฟ้าบวกเท่านั้น

2.8.1.1 ไมเกรชัน (Migration)

ไมเกรชัน เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนหรือสปีชีส์ต่าง ๆ ที่มีประจุเข้าหาขั้วไฟฟ้าตามแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตหรือภายใต้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากศักย์ไฟฟ้าภายนอกที่ให้กับขั้วไฟฟ้าคือพวกที่มีประจุบวกเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้านลบ และพวกที่มีประจุไฟฟ้านลบเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนแบบไมเกรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งกระแสที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสไมเกรชัน (Migration current) ซึ่งเป็นกระแสที่ไม่มี ความสำคัญในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าบางวิธีวิเคราะห์ต้องต้องมีการกำจัดเคลื่อนที่แบบนี้ของ สารที่ต้องการวิเคราะห์โดยเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกือหนุน (Supporting electrolyte) ซึ่งเป็น

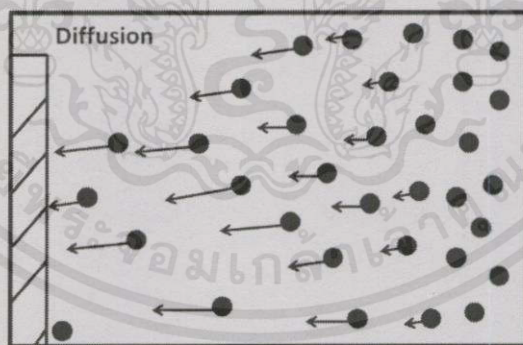
สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่และเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยต้องเติมในปริมาณที่เข้มข้นมากกว่า สารละลายตัวอย่าง 50 ถึง 100 เท่า ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปในวิวิเคราะห์ที่ต้องมีการลด กระแสไม่เกรซัน

2.8.1.2 การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ คือ การเคลื่อนที่ของไอออนหรือสปีชีส์ต่าง ๆ ที่มีประจุเข้าหาขั้วไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้เอง เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นโดยเคลื่อนที่จากบริเวณที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำกว่า เพื่อลดความแตกต่างของความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสที่เรียกว่า กระแสแพร่ จัดเป็นกระแสฟาราดีก (Faradaic current) กระแสการแพร่ขึ้นกับอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า จัดเป็นกระแสที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ ได้แก่

1. ความเข้มข้นของสาร คือ สารที่เข้มข้นสูงจะแพร่ได้มาก
2. อุณหภูมิ คือ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การแพร่เป็นไปได้เร็วขึ้น
3. ความดัน คือ การเพิ่มความดันช่วยให้โมเลกุลหรือไอออนของสารเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น
4. สิ่งเจือปนอื่นๆ คือ ที่ปนอยู่ในสารจะเป็นอุปสรรคขัดขวางทำให้การแพร่เกิดช้าลง
5. การดูดติดของสารอื่น คือ ถ้าโมเลกุลหรือไอออนของสารที่แพร่ถูกดูดติดด้วยองค์ประกอบของสารต่าง ๆ จะทำให้ความสามารถในการแพร่ลดลง

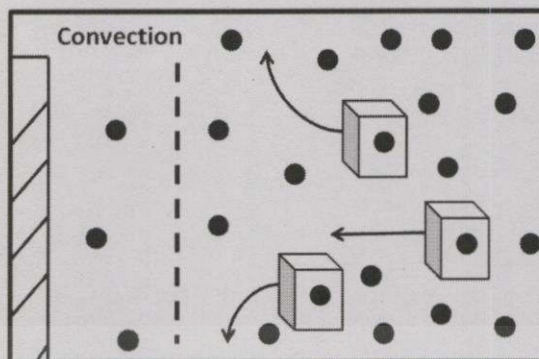


รูปที่ 2.13 แสดงการนำพามวลจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยการแพร่

2.8.1.3 การพา (Convection)

การพา เป็นการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงทางกายภาพ ทำให้เกิดการไหลเวียนของ

สารละลาย เช่น การคน หรือการกวนสารละลาย การหมุน หรือการสั่นของขั้วไฟฟ้าหรือเนื่องจาก ความแตกต่างของความหนาแน่นของสาร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบการพาเรียกว่า การพาโดยธรรมชาติ (Natural convection) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



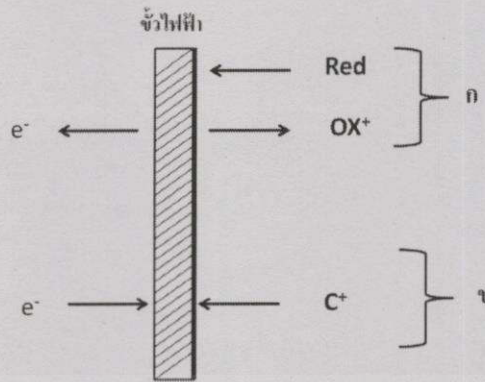
รูปที่ 2.14 แสดงการนำพามวลจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าด้วยการพา กระแสที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสการพาหรือกระแสคอนเวคชัน (Convection current) ซึ่งเป็นกระแสที่ไม่ค่อยมีความสำคัญเท่าใดนักในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า บางวิธีวิเคราะห์อาจต้องมีการกำจัดเคลื่อนที่แบบนี้โดยการหยุดคนหรือกวนสารละลายขณะการวัด

2.8.2 กระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

กระบวนการที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์โดยผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วไฟฟ้าหนึ่งและปฏิกิริยารีดักชันที่อีกขั้วไฟฟ้าหนึ่ง กระบวนการแบบนี้เรียกว่า กระบวนการฟาราเดอิกและกระแสที่เกิดขึ้น เรียกว่า กระแสฟาราเดอิก (I_{far}) ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดอิกที่กล่าวว่า ปริมาณของประจุ (อิเล็กตรอน) ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นสัดส่วนตรงกับกระแส เมื่อวัดกระแสฟาราเดอิกที่เกิดขึ้นจากสารที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งถูกรีดิวซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.15ก หรือถูกออกซิไดซ์ที่ขั้วไฟฟ้าทำให้ทราบจำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และสามารถนำไปหาปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ตามหลักปริมาณสารสัมพันธ์ ดังนั้นกระแสฟาราเดอิกจึงจัดเป็นสัญญาณการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ถูกวัดในเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า

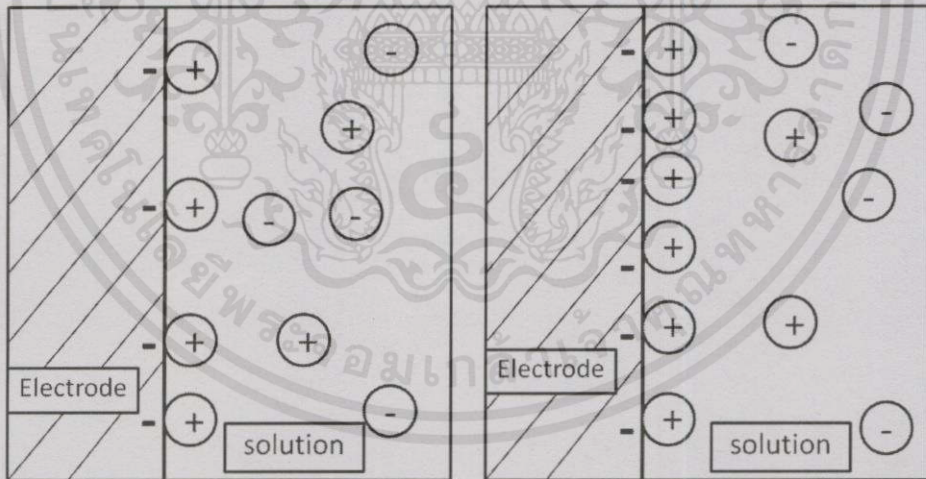
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 รูปแบบแสดงกระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

- (ก) กระบวนการฟาราเดอิก $Red \rightleftharpoons OX^+ + e^-$
- (ข) กระบวนการอัดประจุ (นอนฟาราเดอิก)

2. กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption) ของไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับขั้วไฟฟ้าที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าแต่ไม่ข้ามรอยต่อระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารละลาย และไม่มีปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15(ข) กระบวนการนี้ทำให้บริเวณรอยต่อเปรียบเสมือนตัวเก็บประจุ (Electric capacitor) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการอัดประจุ (Charging process) หรือกระบวนการนอนฟาราเดอิก (Nonfaradaic process) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ



รูปที่ 2.16 แสดงกระบวนการดูดซับหรือกระบวนการอัดประจุที่รอยต่อเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าลบกับขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของสารละลายที่ไม่ใช่องค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์มักเกิดกระบวนการอัดประจุ ดังนั้นกระแสที่เกิดขึ้นจึงเป็นสัญญาณรบกวนของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงไฟฟ้าเคมี (Analysis of electrochemistry) ดังนั้น ต้องนำกระแสที่วัดได้มาหักลบด้วยกระแสอนุพาราเดอิก (I_{chg}) จึงจะได้กระแสที่เกิดจากปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือกระแสพาราเดอิก (I_{far}) ดังสมการต่อไปนี้

$$I_{\text{far}} = I - I_{\text{chg}} \quad (2.6)$$

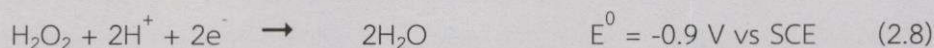
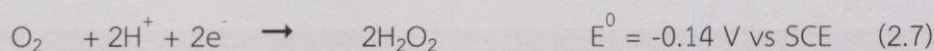
2.9 การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า (Analysis of electrochemistry) [24]

2.9.1 เซลล์โวลแทมเมตรี (Cell voltammetry)

เซลล์โวลแทมเมตรี (Cell voltammetry) เป็นเทคนิคที่มักใช้เรียกเซลล์เคมีไฟฟ้าในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างไปจากการทำโพเทนชิโอเมตรี (Potentiometry) ตรงที่ว่าขั้วไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมตรีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าใช้งาน และขั้วไฟฟ้าช่วย หรือขั้วไฟฟาร่วม ที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมักเรียกว่าเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย หรือเกลือหนุนโดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย มักใช้ในปริมาณที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังมีระบบกำจัดแก๊สออกซิเจน

1. การกำจัดออกซิเจน

โดยปกติออกซิเจนมีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศในรูปแก๊สและละลายอยู่ในสารละลาย สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า ออกซิเจนจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายทุกชนิด เช่น น้ำ ออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้ดี (ประมาณ 10^{-3} โมลาร์) ออกซิเจนที่อยู่ในสารละลายเป็นสารรบกวนต่อการวิเคราะห์ เพราะจะเกิดกระแสเนื่องจากการแพร่อยู่สองส่วน ส่วนแรกออกซิเจนในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำเกิดปฏิกิริยารีดักชันโมเลกุลของน้ำไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าครึ่งคลื่นเท่ากับ -0.14 โวลต์ และส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ถูกรีดิวซ์ (Reduced) ได้น้ำเกิดขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -0.9 โวลต์ดังสมการ



ผลจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของแก๊สออกซิเจนทั้งสองปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง -1 โวลต์ โดยเฉพาะที่ศักย์ไฟฟ้า -0.14 โวลต์นั้นถือว่าต่ำมาก ทำให้เกิดกระแสแคโทดิกได้ไม่น้อยกว่า 5 ไมโครแอมแปร์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นยังสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในสารตัวอย่างได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องอย่างยั้งที่

จะต้องกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลายที่จะทำการตรวจวัดก่อน โดยการผ่านแก๊สเฉื่อยที่บริสุทธิ์ เช่น แก๊สไนโตรเจน หรือแก๊สอาร์กอน ลงไปในสารละลายที่จะทำการวัดประมาณ 10 ถึง 15 วินาที ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ และผ่านแก๊สปกคลุมบรรยากาศบริเวณเหนือสารตัวอย่างตลอดการวิเคราะห์ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการละลายของออกซิเจนลงไปในพื้นที่เหนือสารตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์

2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย

สารละลายในเซลล์โวลแทมเมตรี นอกจากจะมีสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์แล้วยังต้องมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยโดยใช้ปริมาณมากกว่าสารละลายตัวอย่าง 50 ถึง 100 เท่า เพื่อที่จะให้เกิดกระบวนการแพร่ของไอออนตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้ามากที่สุด และให้เกิดกระบวนการไมเกรชันของไอออนตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้าน้อยที่สุดหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย นั่นคือ อัตราส่วนของกระแสไมเกรชัน (I_m) ต่อกระแสของการแพร่ (I_d) มีค่าน้อยมาก ๆ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยควรเตรียมจากสารที่มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ถูกออกซิไดส์หรือถูกรีดิวซ์ได้ง่าย ความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ในช่วง 0.10 ถึง 1.00 โมลาร์

หน้าที่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย มีดังนี้

- ช่วยลดความต้านทานของสารละลาย
- ช่วยนำไฟฟ้าในกรณีสารตัวอย่างนำไฟฟ้าได้น้อย
- ช่วยขจัดโลหะไอออนแทรกซ้อนที่ปนมาในสารตัวอย่าง
- ช่วยป้องกันการเกิดไมเกรชัน
- ช่วยทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ (ช่วยปรับหรือรักษาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้คงที่)

2.9.2 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

1. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode, RE)

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เป็นขั้วที่จำเป็นต้องมีเพื่อใช้ในการเทียบศักย์ไฟฟ้า เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากวงจร เป็นค่าของความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว จึงเรียกได้ว่าเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative potential) ในการใช้งานจะมีค่าศักย์ขั้วไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดลองและควบคุมค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้าใช้งานด้วย โดยทั่วไปขั้วไฟฟ้าอ้างอิงจะมีใช้กันหลายชนิด เช่น ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล (Saturated calomel electrode, SCE) ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl electrode) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

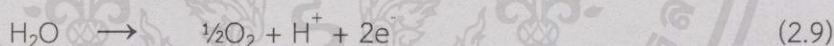
2. ขั้วไฟฟาร่วม หรือขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary electrode, AE)

ขั้วไฟฟ้าช่วยทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นขั้วที่รับพลังงานไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงส่งต่อผ่านสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างระหว่างการวิเคราะห์ ขั้วไฟฟ้าช่วย นี้มักมีพื้นที่ผิวมาก ๆ เพื่อให้การนำไฟฟ้าเป็นไปได้ดี และลดการเกิดศักย์จากโอห์มของวงจร

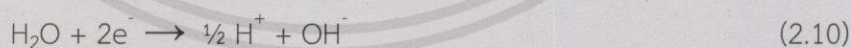
3. ขั้วไฟฟ้าใช้งาน (Working electrode, WE)

ขั้วไฟฟ้าใช้งานในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี จะแตกต่างจากการวิเคราะห์อื่น คือ ขนาดของขั้วไฟฟ้าต้องเล็กเพื่อให้พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าในการสัมผัสกับสารตัวอย่างมีน้อย เกิดสถานะของโพลาไรเซชันตลอดการวิเคราะห์โดยส่วนใหญ่จะนิยมที่ทำมาจากแพลทินัม (Pt) หรือคาร์บอน (C) หรือปรอท (Hg) เป็นต้น ซึ่งขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ดีควรจะให้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูง รวมทั้งมีการตอบสนองที่คงที่ เชื่อถือได้ตลอดอายุการใช้งาน และสิ่งที่ควรพิจารณาในการเลือกวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าใช้งาน คือ ลักษณะของปฏิกิริยารีดอกซ์ ของสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์และกระแสพื้นในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ใช้งาน โดยปัจจัยย่อยอื่น ๆ ที่นำมาพิจารณาด้วย เช่น ช่วงของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้งานได้ ค่าการนำไฟฟ้า ราคา ความยากง่ายในการหา และความเป็นพิษ เป็นต้น

โดยทั่วไปตัวทำละลายของสารตัวอย่างมักเป็นน้ำ ช่วงศักย์ไฟฟ้าใช้งานของแต่ละขั้วไฟฟ้า หาได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แก่เซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีขั้วไฟฟ้าที่ต้องการศึกษาเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน และมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิงรวมอยู่ใน



ขณะเดียวกันขีดจำกัดศักย์ไฟฟ้าทางลบเกิดจากปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของน้ำและได้โมเลกุลไฮโดรเจน



นอกจากขีดจำกัดศักย์ทั้งบวกและลบของขั้วไฟฟ้าใช้งานจะแตกต่างกันตามชนิดของขั้วไฟฟ้าแล้ว ยังแตกต่างกันตามแต่ชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย

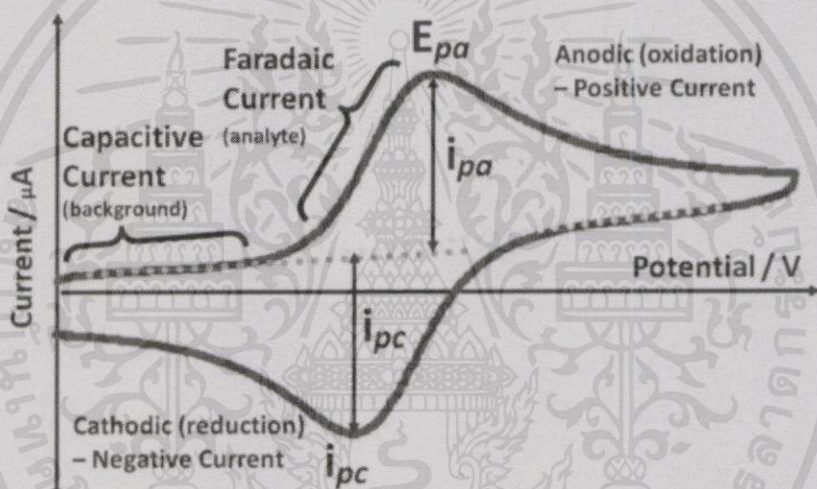
2.9.3 เทคนิคโวลแทมเมตรี (Voltammetry) [25, 26]

โวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ต้องให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่เข้าไปในวงจร และวัดกระแสที่เกิดขึ้น เซลล์เคมีไฟฟ้าของเทคนิคโวลแทมเมตรีจัดเป็นเซลล์อิเล็กโทรไลต์สำหรับขั้วไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเทคนิคนี้ จะแตกต่างจากเทคนิคโพเทนชิอเมตรี คือ มีการใช้ขั้วไฟฟ้าช่วยซึ่งส่วนมากมัก

เป็นขั้วไฟฟ้าช่วยแพลตตินัม นอกจากนี้ขั้วไฟฟ้าใช้งานสำหรับเทคนิคนี้มักเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค (Microelectrode) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดโพลาไรเซชันที่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน

2.9.3.1. ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry)

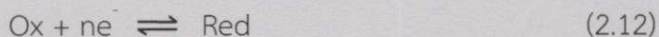
ไชคลิกโวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าในลักษณะสามเหลี่ยมหน้าจั่วแก่ขั้วไฟฟ้าทำงานซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของสารบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงานตลอดจนใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าอื่นๆต่อไป การบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงาน โดยจะทำการพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ไชคลิกโวลแทมโมแกรม การให้ศักย์ไฟฟ้าในไชคลิกโวลแทมเมตรี จะเป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าตามค่าอัตราการสแกนเมื่อเทียบกับเวลาจนถึงจุดสูงสุดและลดศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามอัตราการสแกนด้วย



รูปที่ 2.17 แสดงไชคลิกโวลแทมโมแกรมของไชคลิกโวลแทมเมตรี

ไชคลิกโวลแทมโมแกรม (Cyclic voltammogram) ที่ได้สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.17 อธิบายกระแสที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

เมื่อเริ่มให้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นค่าลบเพิ่มขึ้นจากเวลา t_0 ไปถึง t_1 ตัวออกซิไดส์ (Ox) หรือสารที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกรีดิวซ์ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานดังปฏิกิริยา 2.12



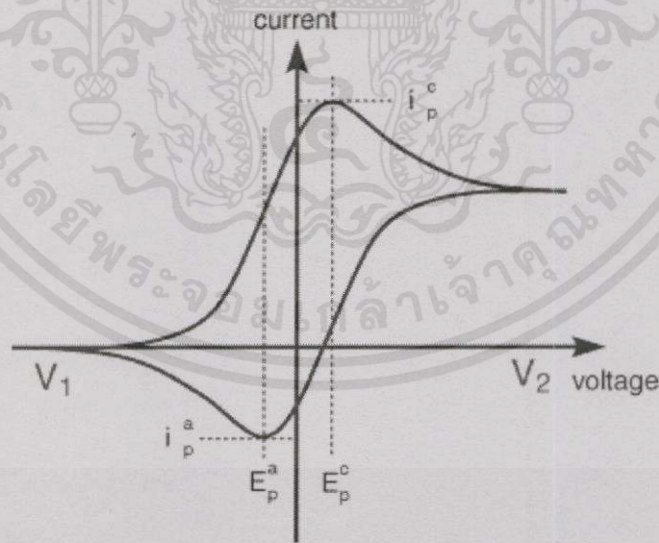
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กระแสที่เกิดขึ้นเป็นกระแสแคโทดิกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด ณ จุดนี้ตัวออกซิไดซ์จะถูกรีดิวซ์จนหมด ทำให้ปริมาณตัวออกซิไดซ์ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานลดน้อยลง กระแสจะลดลงถึงค่าต่ำสุดเมื่อเวลา t_1 โวลแทมโมแกรมจึงมีลักษณะเป็นพีก เรียกว่า แคโทดิกพีก (Cathodic peak)

กระแสแคโทดิกที่วัดจากเส้นฐานฟีกของจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสูงสุดของฟีก เรียกว่า กระแสแคโทดิกฟีก (Peak cathodic current, I_{pc}) และศักย์ไฟฟ้า ณ จุดที่กระแสแคโทดิกมีค่าเท่ากับ I_{pc} คือ E_{pc} (Peak cathodic potential) พิจารณาได้จากรูปที่ 2.17

หลังจากเวลา t_1 จะลดศักย์ไฟฟ้าที่ให้ไปในทิศทางที่เป็นบวก (หรือเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ผกผันกับตอนแรก) ดังแสดงในไซคลิกโวลแทมโมแกรมรูปที่ 2.33 แต่ก็ยังมีกระแสแคโทดิก (Cathodic current) เกิดขึ้นอยู่ เพราะศักย์ไฟฟ้ายังเป็นค่าลบเพียงพอที่จะเกิดรีดักชันจนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าเริ่มเข้าสู่ค่าที่เป็นบวก ตัวรีดิวซ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยารีดักชันที่อยู่ใกล้ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานเริ่มถูกออกซิไดส์ดังปฏิกิริยา



กระแสที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสแอโนดิก (Anodic current) กระแสนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเข้มข้นรอบๆ ขั้วไฟฟ้าของตัวรีดิวซ์ (Reduce) ลดลงเป็นศูนย์ ขณะนี้กระแสแอโนดิก (Anodic current) จะมีค่าสูงสุด และจะลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงเวลา t_2 โวลแทมโมแกรม (Voltammogram) มีลักษณะเป็นฟีก เรียกว่า แอโนดิกฟีก (Anodic peak) กระแสแอโนดิกที่วัดได้จากเส้นฐานฟีกที่ลากจากเวลา t_1 ไปถึงจุดสูงสุดของฟีกเรียกว่า กระแสแอโนดิกฟีก (Peak anodic current, I_{pa}) และศักย์ไฟฟ้า ณ จุดที่กระแสแอโนดิกมีค่าเท่ากับ I_{pa} คือ E_{pa} (Peak anodic potential)



รูปที่ 2.18 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ แสดงวิธีการหาความสูงฟีก เมื่อ i_p ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับงานวิจัยของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น ไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากภาควิชาเคมี

E_p คือ ความสูงและตำแหน่งศักย์ฟีกที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันตามลำดับ ส่วน i_{pa} , E_{pa} คือ ความสูงกระแสและตำแหน่งศักย์ฟีกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันตามลำดับ

$$i_p = 2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2} V^{1/2} \quad (2.14)$$

เมื่อ i_p = กระแสพีค (A)
 n = จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา
 C = ความเข้มข้นของสารในสารละลายบัลค์ (mol/cm³)
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (cm²/s)
 V = อัตราการสแกน (V/s)
 A = พื้นที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า (cm²)

$$E_p = E^0 - \frac{RT}{\alpha n_a F} \left[0.78 - \ln \frac{k^0}{D^{1/2}} + \ln \left(\frac{\alpha n_a F v}{RT} \right)^{1/2} \right] \quad (2.15)$$

เมื่อ α = สัมประสิทธิ์ในการแลกเปลี่ยนประจุ
 n_a = จำนวนอิเล็กตรอนในการแลกเปลี่ยนประจุ
 k^0 = ค่าคงที่อัตรามาตรฐาน

$$\text{และ } i_p = 2.99 \times 10^5 n (\alpha n_a) ACD^{1/2} V^{1/2} \quad (2.16)$$

เมื่อนำค่า i_p มาเขียนพลอตกับค่า $V^{1/2}$ ซึ่งถ้าได้กราฟที่เป็นเส้นตรงแสดงว่ากระบวนการนี้เป็นแบบดิฟฟิวชันคอนโทรล (Diffusion-control) คือ กระแสที่ได้จากปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระแสที่ถูกควบคุมโดยการแพร่หมายความว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เร็วจนไม่ได้เป็นขั้นกำหนดปฏิกิริยาแต่ไอออน โมเลกุลหรืออนุภาคของอิเล็กโทรแอคทีฟสปีชีส์ (Electroactive species) เคลื่อนที่จากชั้นสารละลายบัลค์ (Bulk solution) โดยการแพร่เข้าสู่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าจะแพร่ช้ากว่าการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากระแสที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการแพร่เข้ามาของไอออนโมเลกุลหรืออนุภาคของอิเล็กโทรแอคทีฟสปีชีส์ดังกล่าว ดังนั้น จึงเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบดิฟฟิวชันคอนโทรล

ในกรณีที่มีการเกิดสารผลิตภัณฑ์ หรือมีอิเล็กโทรแอคทีฟสปีชีส์ติดอยู่ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า กระแสพีคที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการ 2.17

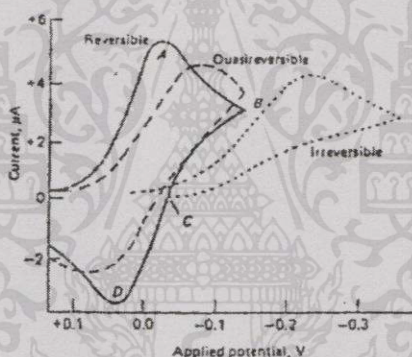
$$i_p = \frac{n^2 F^2 A \Gamma v}{4RT} \quad (2.17)$$

เมื่อ i_p = กระแสพีค(A)
 Γ = ปริมาณฟิล์มเชิงเส้นพื้นที่ผิว (mol/cm²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

เมื่อนำค่า i_p มาเขียนพลอตกับค่า V ถ้าได้กราฟที่เป็นเส้นตรงแสดงว่ากระบวนการเป็นแบบเซอร์เฟสคอนโทรล (Surface-control) หมายความว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าเกิดข้างนอกกลายเป็นขั้นกำหนดความเร็วของปฏิกิริยา เพราะว่าไอออนโมเลกุลหรืออนุภาคของอิเล็กโทรแอคทีฟสปีชีส์ ที่เคลื่อนที่ได้เร็วพอๆ กับการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า ดังนั้นกระแสที่เกิดขึ้นจึงถูกควบคุมโดยความเร็วของปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าจึงเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบเซอร์เฟสคอนโทรล

การแยกพิกว่าเป็นปฏิกิริยาแบบดิฟฟิวชันคอนโทรล หรือว่าเป็นปฏิกิริยาแบบเซอร์เฟสคอนโทรลทำได้โดยการพลอตกราฟระหว่าง $\log i_p$ กับ $\log V$ ซึ่งจะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงแล้วพิจารณาจากความชันของเส้นกราฟ ซึ่งถ้าเส้นกราฟมีความชันเท่ากับ 0.5 แสดงว่าปฏิกิริยาเป็นแบบดิฟฟิวชันคอนโทรล ส่วนถ้าเส้นกราฟมีความชันเท่ากับ 1 แสดงว่าปฏิกิริยาเป็นแบบเซอร์เฟสคอนโทรลแล้วถ้ากราฟมีความชันเท่ากับ 1 ที่อัตราการสแกนต่ำและมีความชันเท่ากับ 0.5 ที่อัตราการสแกนสูงหมายความว่า ปฏิกิริยาเป็นแบบผสมระหว่างเซอร์เฟสคอนโทรลกับดิฟฟิวชันคอนโทรล



รูปที่ 2.19 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ และผันกลับได้ไม่สมบูรณ์

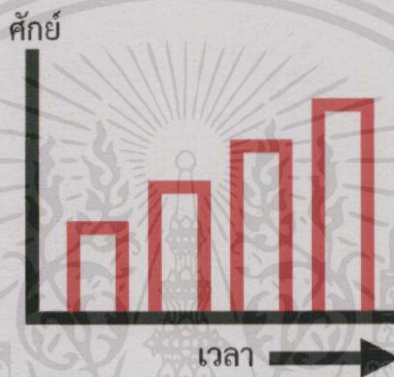
แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อลักษณะโวลแทมโมแกรม ดังนั้น นอกจากจะใช้วิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพแล้ว ยังสามารถใช้ศึกษากลไกของการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และจลศาสตร์ของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยเฉพาะปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบระหว่างโลหะกับสารอินทรีย์ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ใช้ได้กับวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี คือ อิเล็กโทรดจุลภาคเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตรอาจทำจากแพลทินัม ทอง หรือ คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Microelectrode) ที่เคลือบด้วยเมมเบรนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ตัวอย่าง เช่น คาร์บอนไฟเบอร์ อิเล็กโทรด (Carbon fiber electrode) ที่เคลือบด้วยเมมเบรน (Membrane) ที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ที่มีชื่อว่า Nafion เป็นต้น การใช้ขั้วจุลภาค (Microelectrode) นี้ทำให้วิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี ไม่จำเป็นต้องมีการไล่แก๊สออกซิเจนออกก่อนการวิเคราะห์ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

2.9.3.2. พัลส์โวลแทมเมตรี (Pulse Voltammetry)

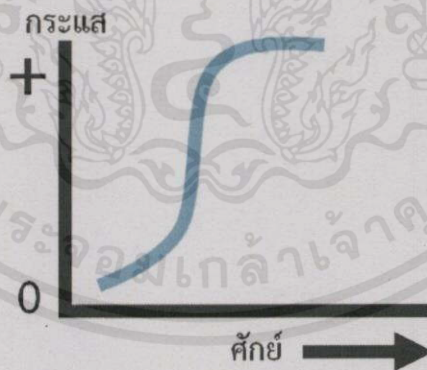
พัลส์โวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ในลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอให้แก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน เพื่อใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณสารในระดับน้อยๆได้ ซึ่งลักษณะของศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่เพิ่มให้ขั้วไฟฟ้าทำงาน ได้แก่

2.9.3.2.1 พัลส์ปกติ (Normal pulse)

เป็นการให้ศักย์กับวงจรวัดไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆ ต่อทุกปรอทหยุด โดยศักย์ที่ให้นี้มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอกับเวลา สำหรับการวัดกระแสต้องวัดในช่วงเวลาที่หยุดปรอทใกล้จะหยุดออกจากปลายแก้ว



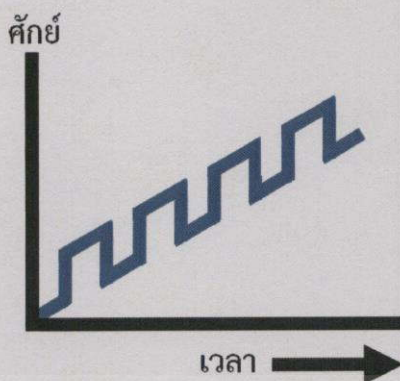
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของพัลส์โวลแทมเมตรีแบบพัลส์ปกติ



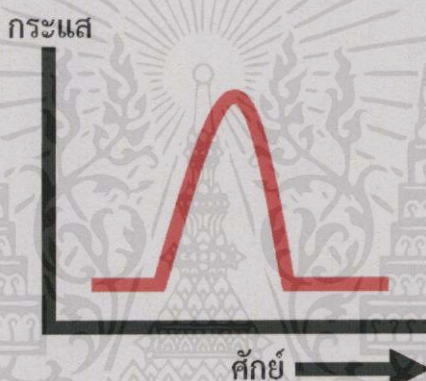
รูปที่ 2.21 กราฟแสดงโวลแทมโมแกรมของพัลส์โวลแทมเมตรีแบบพัลส์ปกติ

2.9.3.2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ (Differential-pulse Voltammetry)

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์อย่างมากในการตรวจวัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีปริมาณน้อยๆ สำหรับสัญญาณกระตุ้นในลักษณะของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์เป็นการเพิ่มศักย์ที่คงที่ในลักษณะของพัลส์ให้กับขั้วไฟฟ้าที่รับศักย์ปกติในรูปลิเนียร์-สแกนอยู่แล้ว



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของพัลส์โวลแทมเมตรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์



รูปที่ 2.23 กราฟแสดงโวลแทมโมแกรมของพัลส์โวลแทมเมตรีแบบดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์

2.10 เทคนิคการเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrochemical deposition) [27]

การเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrochemical deposition) เป็นเทคนิคที่ใช้สารละลายคอลลอยด์ (Colloid) ในกระบวนการผลิตเซรามิก มีข้อดีหลากหลาย เช่น ใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อย ไม่มีข้อจำกัดในด้านรูปร่างของซับสเตรท (Substrate) เหมาะสมกับการทำงานในปริมาณมากๆ โดยหลักการทำงานคือ ให้ประจุอนุภาคของสารตั้งต้นในคอลลอยด์ เพื่อที่จะให้อนุภาคเดินทางไปเคลือบบนผิวของขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงที่ให้เข้าไป เนื่องจากในคอลลอยด์ จะไม่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์จึงทำให้อนุภาคสามารถเดินทางไปยังขั้วไฟฟ้าได้ อัตราเร็วในการเกิดฟิล์มมีค่าประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อนาที การเคลือบผิวจะเกิดได้ทุกตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า สารละลายสามารถใช้ได้หลายชนิด เช่น แอซิทิลแอซีโตน (Acetylacetone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) และแอซีโตน (Acetone) เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทางสิ้น อีกทางห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

การเกาะติดทางไฟฟ้า เป็นที่นิยมมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึง Electrocoating, E-coating, Cathodic electrodeposition และ Electrophoretic coating หรือ Electrophoretic painting โดยคุณสมบัติลักษณะของกระบวนการนี้ก็คือ คอลลอยด์ ซึ่งเป็นอนุภาคแขวนลอยในของเหลว สามารถโยกย้ายภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า (Electrophoresis) และฝากไปยังอนุภาคเพื่อเดินทางไปเคลือบบนผิวของขั้วไฟฟ้าที่เป็นโลหะหรือวัสดุ ซึ่งตัวอย่างของคอลลอยด์ ได้แก่ เม็ดสี เซรามิกส์ และโลหะเป็นต้น

กระบวนการเกาะติดทางไฟฟ้านี้จะใช้สำหรับการใช้เคลือบต่างๆ ในผลิตภัณฑ์โลหะซึ่งได้รับการใช้อย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการเคลือบหุ้มตัวถังรถยนต์และชิ้นส่วนรถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าเครื่องใช้เฟอร์นิเจอร์โลหะภาชนะบรรจุเครื่องดื่มและหลายผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งกระบวนการนี้มีจำนวนของข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่นๆ ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. สามารถควบคุมความหนาของการเคลือบได้
2. สามารถเคลือบวัตถุที่มีรูปร่างที่ซับซ้อน ได้ง่าย
3. มีการเคลือบที่รวดเร็ว
4. ความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง
5. ใช้กับวัสดุอื่นๆ ได้ เช่น โลหะ เซรามิกส์ พอลิเมอร์และอื่น ๆ
6. สามารถควบคุมการเคลือบได้
7. กระบวนการเป็นไปโดยอัตโนมัติและต้องใช้แรงงานคนน้อยกว่ากระบวนการอื่น ๆ
8. ประสิทธิภาพสูงในการเคลือบผิววัสดุและใช้ต้นทุนลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K. Kamaraj และคณะ [28] ได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มพอลิอะนิลีนเพื่อเคลือบบนอัลลอยด์ AA 2024-T3 โดยนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้ไปศึกษาลักษณะทางกายภาพโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์สารถ่ายอินฟราเรด เครื่องวัดการดูดกลืนแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ โดยพบว่าความหนาแน่นต่อการกัดกร่อนของการเคลือบพอลิอะนิลีนลงบนอัลลอยด์ชนิด AA 2024-T3 โดยใช้ซัลเฟตมีความหนาแน่นต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าการเคลือบด้วยอีพอกซีเพียงตัวเดียว

P.Muhammed Ashraf และคณะ [29] ได้ทำการสังเคราะห์คอมโพสิตไฮบริดของพอลิอะนิลีนร่วมกับเคอควิมิน คอปเปอร์ และโคบอลต์ เพื่อใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพของโมเลกุลด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารถ่ายอินฟราเรด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม แสดงให้เห็นว่านาโนคอมโพสิตไฮบริดของพอลิอะนิลีนเกิดการตอบสนองต่อโมเลกุลของแอมโมเนียและเมทิลามีนในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 ถึง 1.0 ไมโครกรัม

ต่อกรัม และพบว่าค่ากระแสที่ได้จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของเมทิลามีนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไนโตรเจนที่เพิ่มมากขึ้น

Ke-Qiang ding และคณะ [30] ได้ทำการเตรียมคอมโพสิตโดยใช้แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนกราฟไฟต์ ด้วยกระบวนการเกาะติดด้วยไฟฟ้า ซึ่งเตรียมจากสารละลายผสมระหว่างแมงกานีสซัลเฟตร่วมกับอะนิลีนในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สำหรับการตรวจวัดปฏิกิริยารีดักชันของออกเจน โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพของคอมโพสิตที่สร้างขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องวัดการดูดกลืนแสง และเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด พบว่าอนุภาคของแมงกานีสออกไซด์มีการแทรกตัวได้ดีอยู่ในพอลิอะนิลีน ทำให้คอมโพสิตที่ได้เกิดการลดลงออกซิเจน สำหรับนำไปปรับปรุงขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์ต่อไป

Jianyin Zhang และคณะ [31] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าโดยใช้อนุภาคของทินและทินร่วมกับแอนติโมนี ให้มีลักษณะเป็นรูพรุนโดยอาศัยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า เพื่อนำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงที่สร้างขึ้นไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าลบสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการเก็บประจุได้สูงถึง 800 มิลลิแอมป์ ใน 1 ชั่วโมงต่อกรัม และมีความเสถียรของรอบเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ 40 รอบ อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 0.5 โวลต์ภายใต้สภาวะความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ 100 มิลลิแอมป์ ต่อกรัม ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าทินและทินร่วมกับแอนติโมนีนี้ เกิดขึ้นจากทินออกไซด์ (SnO_2) และแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Sb_2O_3) ที่รวมตัวกัน โดยใช้แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร พบว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงได้มีความสามารถในการเก็บประจุได้สูงขึ้นเท่ากับ 900 มิลลิแอมป์ ใน 1 ชั่วโมงต่อกรัม ที่ 100 มิลลิแอมป์ ต่อกรัม และ 520 มิลลิแอมป์ ใน 1 ชั่วโมงต่อกรัม ที่ 1 แอมป์แอมป์ ต่อกรัม ใน 40 รอบ ตามลำดับ

Iwase และ Ono I. [32] ได้ทำการตรวจวัดกรดแอสคอบิกในอาหาร โดยใช้เทคนิคการแยกด้วยคอลัมน์ ที่มีโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ที่พีเอชเท่ากับ 3 เป็นเฟสเคลื่อนที่ และสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเทระอะซิดิกเอซิดเป็นเฟสคงที่ จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า โดยกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ 400 มิลลิโวลต์ ใช้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งพบว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วในการตรวจวัด (8 นาทีต่อการวิเคราะห์ 1 ครั้ง), ซิตจำกัดในการตรวจวัดเท่ากับ 0.5 นาโนกรัมต่อการฉีดแต่ละครั้ง (ฉีดครั้งละ 20 ไมโครลิตร) ที่ $S/N=3$, มีความจำเพาะเจาะจงต่อการตรวจวัดสูง มีความสามารถในการทำซ้ำสูง [%RSD=1.8% ($n=5$)], มีความสามารถในการตรวจวัดในช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.1 ถึง 16 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และมีค่าร้อยละการคืนกลับมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้วิธีการเติมสารมาตรฐานลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fengchun Yang และคณะ [33] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอนโดยใช้โพลีเอทิลีนและพอลาเตียมร่วมกับคาร์บอนเพื่อใช้ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิก โดยศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และเครื่องตรวจสอบความต้านของผิวหน้าขั้วซึ่งพบว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อกรดแอสคอบิกที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.1 ถึง 3.42 ไมโครโมลาร์ ขีดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.1 ไมโครโมลาร์ และมีความไวในการตรวจวัดสูง ตลอดจนสามารถใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกในชีวิตประจำวันได้

Bingdi Lui และคณะ [34] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคอมโพสิตชนิดนิกเกิลออกไซด์ร่วมกับกราฟีนบนขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิกที่มีอยู่ในกรดโพลีแลกติก โดยนำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงที่สร้างขึ้นไปศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, สเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ และเครื่องตรวจสอบความต้านของผิวหน้าขั้ว ซึ่งพบว่าขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.05 ถึง 1100 ไมโครโมลาร์ มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.0167 ไมโครโมลาร์ และค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วงเท่ากับ 94.4 ถึง 107.8 เปอร์เซ็นต์

Nasrin Soltani และคณะ [35] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าโดยใช้อนุภาคนาโนของตะกั่วมาทำการเกาะติดทางไฟฟ้าลงบนผิวหน้าของแผ่นคาร์บอน โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ สำหรับการตรวจวัดอะเซททามิโนเฟน โดพามีน และกรดแอสคอบิกในคราวเดียวกันโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ภายใต้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 4.6 พบพีค 3 ตำแหน่งคือ ที่ 0.672, 0.390 และ 0.168 โวลต์ ซึ่งเป็นพีคของอะเซททามิโนเฟน โดพามีน และกรดแอสคอบิกตามลำดับ และพบว่าสารทั้ง 3 ตัวมีช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดเท่ากับ 3.30×10^{-8} ถึง 1.58×10^{-4} , 5.0×10^{-8} ถึง 1.2×10^{-4} และ 2.50×10^{-6} ถึง 1.05×10^{-3} โมลาร์ ตามลำดับ และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 5.36×10^{-9} , 2.45×10^{-9} และ 1.86×10^{-8} โมลาร์ ตามลำดับ

Su-jin Kim และคณะ [36] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าโดยการปั่นเส้นใยโพลิเอทิลีนออกไซด์ด้วยไฟฟ้าสถิตมาทำการปรับแต่งลงบนขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิก กลูโคส โดพามีน และกรดยูริกในคราวเดียวกัน นำขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด จากนั้นนำไปตรวจวัดสารโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และตรวจวัดสารเชิงปริมาณโดยเทคนิคแอมเพอโรเมตรี พบว่า พีคการตรวจวัดสารทั้ง 4 ชนิดนี้มีการแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงมาทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่ -0.01 โวลต์ (เปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าคาโลเมลล์อิ่มตัว) พบว่ามีกระแสมีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นเส้นตรงกับอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดแอสคอบิก มีความจำเพาะ

เจาะจงต่อสารสูงถึง $194.4 \pm 6.8 \mu\text{AmM}^{-1}\text{cm}^{-2}$ เมื่อ $n=5$, การตรวจวัดสารดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ($t_{95\%} = 2.9 \pm 1.2\text{s}$ ที่ $n=5$) และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดที่น้อยกว่า 0.4 ไมโครโมลาร์ ตลอดจนนำข้อไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้งานกับตัวอย่างของสารเชิงซ้อนต่อไป

Xin Zhang และคณะ [37] ได้ทำการปรับปรุงข้อไฟฟ้าโดยใช้นาโนคอมโพสิตระหว่างพอลิอะซิโตนกับกราฟีน บนข้อไฟฟ้ากลาสคาร์บอน สำหรับตรวจวัดไซโพรฟลอคซาซินที่มีกรดแอสคอบิก โดพามีน และกรดยูริก รวมอยู่ด้วย โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องตรวจสอบความต้านของผิวหน้าข้อ จากนั้นนำไปทำการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี ตรวจวัดไซโพรฟลอคซาซินโดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี พบว่าไซโพรฟลอคซาซินมีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดเท่ากับ 4×10^{-8} ถึง 1.2×10^{-4} โมลาร์ และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.01 ไมโครโมลาร์ ($S/N=3$) ตลอดจนนำข้อไฟฟ้าปรับปรุงที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจวัดสารในคราวเดียวกันต่อไป

Tayyebeh Madrakian และคณะ [38] ได้ทำการปรับปรุงข้อไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดทองคำร่วมกับมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวป์บนข้อไฟฟ้ากลาสคาร์บอน สำหรับตรวจวัดไทโรซีน อะเซทโทมิโนเฟน และกรดแอสคอบิกในคราวเดียวกัน โดยนำข้อไฟฟ้าที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องตรวจสอบความต้านของผิวหน้าข้อ จากนั้นนำข้อไฟฟ้าปรับปรุงที่ได้มาทำการตรวจวัดสารโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี พบว่าไทโรซีน อะเซทโทมิโนเฟน และกรดแอสคอบิกนี้สามารถตรวจวัดได้ในคราวเดียวกันโดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดเท่ากับ 0.4 ถึง 80.0 ไมโครโมลาร์, 0.09 ถึง 35.0 ไมโครโมลาร์ และ 1.0 ถึง 150 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 0.21, 0.03 และ 0.76 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ตลอดจนเป็นแนวทางในการนำข้อไฟฟ้าปรับปรุงนี้ไปประยุกต์ใช้งานในตัวอย่างเลือดและตัวอย่างยาต่อไป

Tzu-Lung Lu และ Yu-Chen Tsai [39] ได้ทำปรับปรุงข้อไฟฟ้ากลาสคาร์บอนโดยใช้นาโนคอมโพสิตระหว่างคาร์บอนนาโนทิวป์ร่วมกับอลูมินาและซิลิกาเพื่อใช้ในการตรวจวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะเซททิลซาลิซิลิก โดยนำข้อไฟฟ้าที่ปรับปรุงได้ไปศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทำการตรวจวิเคราะห์สารที่อัตราสารสแกนเท่ากับ 0.025 ถึง 0.3 โวลต์ต่อวินาที พบว่าข้อไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อการตรวจวัดสูงถึง $81.4 \mu\text{Am}^{-1}\text{cm}^{-2}$ และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 3.77 ไมโครโมลาร์ ($S/N=3$) ซึ่งพบว่าประสบความสำเร็จที่จะนำข้อที่ปรับปรุงขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดกรดอะเซททิลซาลิซิลิกในวงกว้างต่อไป

Edyta Wudarska และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะเซททิลซาลิซิลิกบนผิวหน้าข้อไฟฟ้าแพลทินัม โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของอะเซททิลซาลิซิลิกเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ ที่มีการส่งถ่ายระหว่างอิเล็กตรอน 1 ตัวกับ

โปรตอน 2 ตัวภายใต้สภาวะพีเอชที่สูงขึ้น แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้นมากกว่า 8 จะพบว่าเหลือเพียงแต่การส่งถ่ายอิเล็กตรอนเท่านั้น และที่ในสภาวะเป็นกลางที่พีเอชเท่ากับ 7.0 จะมีค่าคงที่ของการแพร่เท่ากับ $(6.84 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ และค่าคงที่กระแสการส่งถ่ายเท่ากับ 0.43

Rajendra N Goyal และคณะ [41] ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า สำหรับการตรวจวัดกรดอะเซทิลซาลิซิลิกและคาเฟอีนในคราวเดียวกันในตัวอย่างปัสสาวะ นำมาตรวจวัดกรดอะเซทิลซาลิซิลิกและคาเฟอีนโดยใช้เทคนิคสแควเวฟ โวลแทมเมทรี ภายใต้สภาวะที่พีเอชเท่ากับ 7.2 พบว่ามีพีคเกิดขึ้น 2 พีคคือ ที่ 1225 มิลลิโวลต์ และ 1335 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และพบว่ากระแสจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ที่ช่วงความเข้มข้นของสารเท่ากับ 0.02 ถึง 100 ไมโครโมลาร์ ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้นมีความไวต่อสารในการตรวจวัดเท่ากับ 0.16 และ 0.17 ไมโครแอมป์ ต่อไมโครโมลาร์ ตามลำดับ และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเท่ากับ 0.01 และ 0.008 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ

Umasankar Yogeswaran และคณะ [42] ได้ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิต ชนิดฟังก์ชันนัลไลซ์ของแพลทินัมและทองคำลงบนมัลติวอลล์คาร์บอนด้วยแนฟฟิออนเป็นตัวยึดเกาะ สำหรับการตรวจวัดแอสคอบิก กรดอะเซทิลซาลิซิลิก และกรดยูริกในคราวเดียวกัน โดยนำขั้วไฟฟ้าที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม พบว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้นมีความสามารถในการตรวจวัดสารทั้ง 3 ตัวในคราวเดียวกันได้ ภายใต้สภาวะของสารละลายบัฟเฟอร์ที่พีเอช เท่ากับ 6.75 โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล พัลส์ โวลแทมเมทรี ที่ให้ความเสถียรตลอดการวิเคราะห์ ไม่เกิดการออกซิไดซ์ของขั้ว และสามารถตรวจวิเคราะห์สารที่สนใจทั้ง 3 ตัวนี้ได้ในคราวเดียวกันได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

1. พอลิอะนิลีน (Polyaniline, PANI) บริษัท Sigma-Aldrich
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยมวล (Glacial Hydrochloric acid, HCl)
บริษัท CARLO ERBA REAGENTI, Italy
3. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) บริษัท CARLO ERBA REAGENTI, Italy
4. แอนติโมนีไตรคลอไรด์ (Antimony trichloride, $SbCl_3$) บริษัท LOBA CHEMIC, India
5. แมงกานีสไนเตรต (Manganese nitrate, $MnNO_3$) บริษัท CARLO ERBA REAGENTI, Italy
6. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) บริษัท Carlo erba reagents
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท Sigma-Aldrich
8. โพแทสเซียมเฮกไซยาโนเฟอเรต (Potassium Hexacyanoferrate, $K_3Fe(CN)_6$)
บริษัท Sigma- Aldrich
9. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogenphosphate, Na_2HPO_4)
บริษัท Sigma-Aldrich
10. โมโนโซเดียมฟอสเฟต (Monosodium phosphate, NaH_2PO_4) บริษัท Sigma-Aldrich
11. โซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate, CH_3COONa)
บริษัท Fisher scientific
12. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) บริษัท Sigma-Aldrich
13. กรดอะเซทิลซาลิซิลิก (Acetylsalic acid) บริษัท Sigma-Aldrich
14. น้ำปราศจากไอออน (DI water) บริษัท MIT Technology

3.1.2 อุปกรณ์

1. ครอบเปเปอร์ (Dropper)
2. ปิเปต (Pipette)
3. ลูกยาง (Rubber Bulb)
4. ช้อนตักสาร (Spatula)
5. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
6. บีกเกอร์ (Beaker)
7. เครื่องให้ความร้อนพร้อมปั่นกวน (Hot plate Stirrer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine doped Tin Oxide, FTO)
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance), PRECISA Models 404 MSCS
10. เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน รุ่น 728 Stirrer, Metrohm
11. เครื่องวัดพีเอช (pH) Methrohm รุ่น 716 DMS Titrino บริษัท Ecochemie ประเทศ

ไทย

12. ไมโครปิเปต (Micropipette) บริษัท Vipro
13. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge)
14. เครื่องทำน้ำปราศไออน รุ่น Milli-Q Milford, MA, USA
15. เครื่อง Potentiostat/Galvanostat รุ่น Anova1.10, Metrohm
16. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ รุ่น Smartlab (X-ray Diffractometer, XRD)

บริษัท Rigagu ประเทศสหรัฐอเมริกา

17. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-7001F (Field emission scanning microscope, FE-SEM) บริษัท Agilent technology ประเทศแคนาดา

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมขี้ไฟฟ้าด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้า (Electrochemical deposition) บนขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO) การเตรียมขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO)

1. ตัดขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (Fluorine-doped Tin Oxide, FTO) ขนาด 1×1 เซนติเมตร
2. นำมาล้างด้วยเอทานอล: น้ำปราศจากไออนในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และนำไปอัลตราโซนิก เป็นเวลา 5 นาที
3. นำขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมาเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนให้แห้ง

3.2.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนินิน กรดไฮโดรคลอริก และสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

3.2.1.1.1 ศึกษาความเข้มข้นของอะนินินที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขี้ไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินินบนขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.1.1.2 การศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขี้ไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนินินบนขี้ไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.1.1.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขี้ไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-214-9434 หรือ อีเมล: info@kmutt.ac.th

แอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.1.2 การเตรียมพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (PANI/FTO)

- นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่ได้จากข้อ 3.2.1. กำหนดพื้นที่สำหรับการเกาะติดทางไฟฟ้าให้มีพื้นที่หน้าตัด ขนาด 5×5 มิลลิเมตร โดยทำการกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า
- เตรียมสารละลายอะนิลีนเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์
- ทำการเกาะติดทางไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิงและขั้วแพลทินัมเป็นขั้วช่วยจุ่มลงในสารละลายข้อ 2 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.5 ถึง $+1.25$ โวลต์ เป็นจำนวน 80 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- หลังจากนั้นวางไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจะได้ขั้วไฟฟ้าพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.1.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ($Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$)

- เตรียมแมงกานีสไนเตรตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และแอนติโมนีคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์
- ทำการเกาะติดทางไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือเป็นขั้วไฟฟ้าทำงานขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงและขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วยจุ่มลงในสารละลายข้อ 1 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.76 ถึง $+0.38$ โวลต์ เป็นจำนวน 10 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที หลังจากนั้นวางไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจะได้ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.1.4 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

- เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD)

นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มาศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของผลึกบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Scanning Microscope, FESEM)

นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มาศึกษารูปร่างลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของผลึกที่บริเวณผิวของขั้วไฟฟ้า

3.2.2 ศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้า ในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

2. นำขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิอะนิลีน และขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ไปตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) (Potassium Hexacyanoferrate (III), $K_3Fe(CN)_6$) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตที่สร้างขึ้นกับขั้วไฟฟ้าชนิดอื่นๆ

3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิก และกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ของขั้วไฟฟ้าโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ซึ่งจะศึกษาสภาวะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2.3.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

การศึกษารวสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าและลักษณะของพิกที่เพิ่มขึ้นโดยใช้ช่วงศักย์ไฟฟ้าตามสภาวะการทดลองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ศึกษา

1. เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วย โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) : ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) อะซิเตทบัฟเฟอร์ (Acetate buffer) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด

3. นำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย ทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยการอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.2.3.2 ศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

การศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ซึ่งศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าพีเอชของสารละลายมาตรฐานกรดไฮดรอกซีควิโนน โดยนำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ที่ช่วงพีเอช 2 ถึง 12

1. เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 1 คือสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้จากโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4): ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่พีเอช 2 ถึง 12

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายที่ได้จากข้อ 3.2.3.1 ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่พีเอช 2 ถึง 12

3. นำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตที่สร้างขึ้น ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย จุ่มลงในสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เตรียมในพีเอชต่างๆ ทำการตรวจวัดโดยใช้วิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี ด้วยการอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.2.3.3 ศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

การศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ซึ่งศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอัตราการสแกนที่ให้แกขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนโดยช่วงสแกนที่ศึกษา คือ 10-400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ ในข้อ 3.2.3.2

2. นำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตที่สร้างขึ้นใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย จุ่มลงในสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ทำการตรวจวัดโดยใช้ไซคลิกโวลแทมเมทรีในช่วงอัตราการสแกน 10-400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.2.4 การตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี

3.2.4.1 ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน, ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทิน

ออกไซด์เจือฟลูออรีน และข้อไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีส ไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยใช้เทคนิคทางโวลแทมเมทรี

3.2.5 การตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคฟิโพลเร็นเซียลพัลส์-โวลแทมเมทรี

3.2.5.1 ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยใช้ข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ข้อไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และข้อไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีส ไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.5.2 ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยข้อไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

3.2.5.3 สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

3.2.5.4 การตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ในตัวอย่าง ปัสสาวะ

3.2.5.5 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range) ของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและ กรดอะเซทิลซาลิซิลิก

3.2.5.6 ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD)

3.2.5.7 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ)

3.2.6 การวิเคราะห์ค่าความจำเพาะเจาะจง (Selectivity)

เป็นการศึกษาโดยการกำหนดค่าของสารชนิดหนึ่งให้คงที่ จากนั้นทำการศึกษาความเพิ่มขึ้น ของสารอีกชนิดหนึ่งในช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.1×10^{-13} ถึง 9.4×10^{-13} โมลาร์

3.2.7 การตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะ

3.2.7.1 การวิเคราะห์ค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

3.2.7.2 การวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) และความเสถียร (Stability) ของข้าวไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน

วิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำซ้ำและทำการศึกษาความเสถียรของข้าวไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน โดยทำการเตรียมข้าวไฟฟ้าปรับปรุงข้าวไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนขึ้นทั้งหมด 7 ซ้ำ และทำการบันทึกดีพีเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีครั้งละ 5 ซ้ำ จากการตรวจวัดสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่พีเอชเท่ากับ 7 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และทำซ้ำโดยการเปลี่ยนสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 7 เป็นสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 7 ที่มีสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50 นาโนโมลาร์ และผ่านแก๊สไนโตรเจนอยู่เหนือสารละลายตลอดเวลาในขณะที่ทำการบันทึกดีพีเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี เป็นระยะเวลา 56 วัน

3.2.9 การหาค่าตัวรบกวนที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ (Interference)

ทำการศึกษาค่าตัวรบกวนทั้งหมด 11 ชนิด คือ กรดซาลิซิลิก (Salicylic acid), กรดกลูตามิก (L-Glutamic acid) แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulphate) ซิงค์ซัลเฟต (Zinc sulphate) กรดซิตริก (Citric acid) กรดซัลโฟนิก (Sulfonic acid) แคลเซียมไนเตรต (Calcium nitrate) โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thio-sulphate) คอปเปอร์คลอไรด์ ไดไฮเดรต (Copper(II) chloride dihydrate) กลูโคสโมโนไฮเดรต (D-Glucose Monohydrate) และไอออนซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Iron(II) sulphate heptahydrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

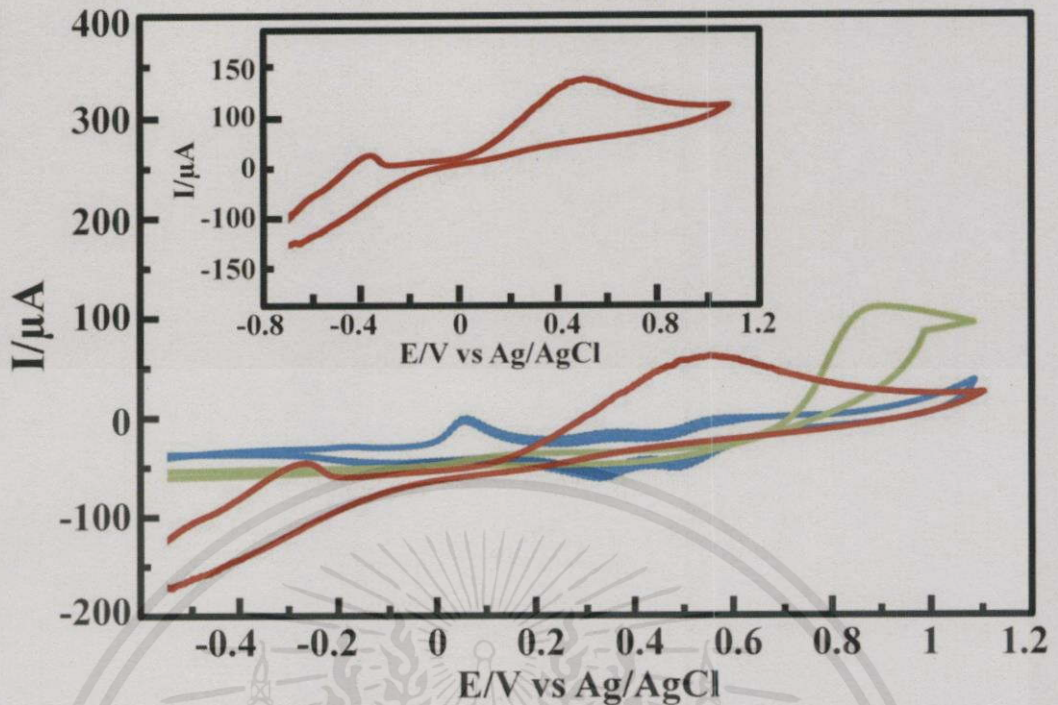
จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลของการปรับปรุงขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ($Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$) โดยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน และทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัด

4.1 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ด้วยวิธีการเกาะติดทางไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีน กรดไฮโดรคลอริก และสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไนเตรตโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี

4.1.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีนที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยทำการเตรียมสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 1.0 โมลาร์ผสมกับไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ความเข้มข้นของอะนิลีนที่เหมาะสม คือ 0.1 โมลาร์ซึ่งพิกที่ได้มีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

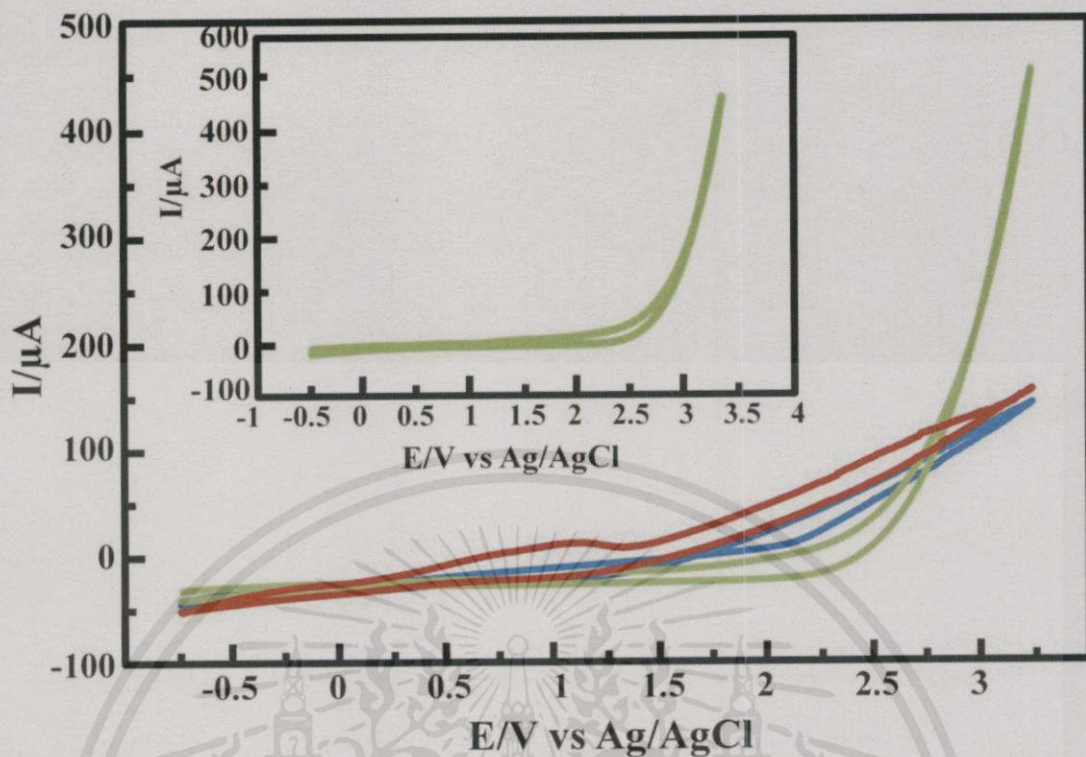


รูปที่ 4.1 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1.0 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 โวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะนิลีนและกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ จะเกิดขึ้นในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.62 ถึง +1.25 โวลต์ โดยเกิดพีกแอโนดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.25 และ +0.62 โวลต์ และพีกแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.5 และ +0.3 โวลต์ ดังนั้นจึงใช้ความเข้มข้นของสารละลายอะนิลีนที่ 0.1 โมลาร์ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.1.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยทำการเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสม คือ 0.1 โมลาร์ซึ่งพิกที่ได้มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

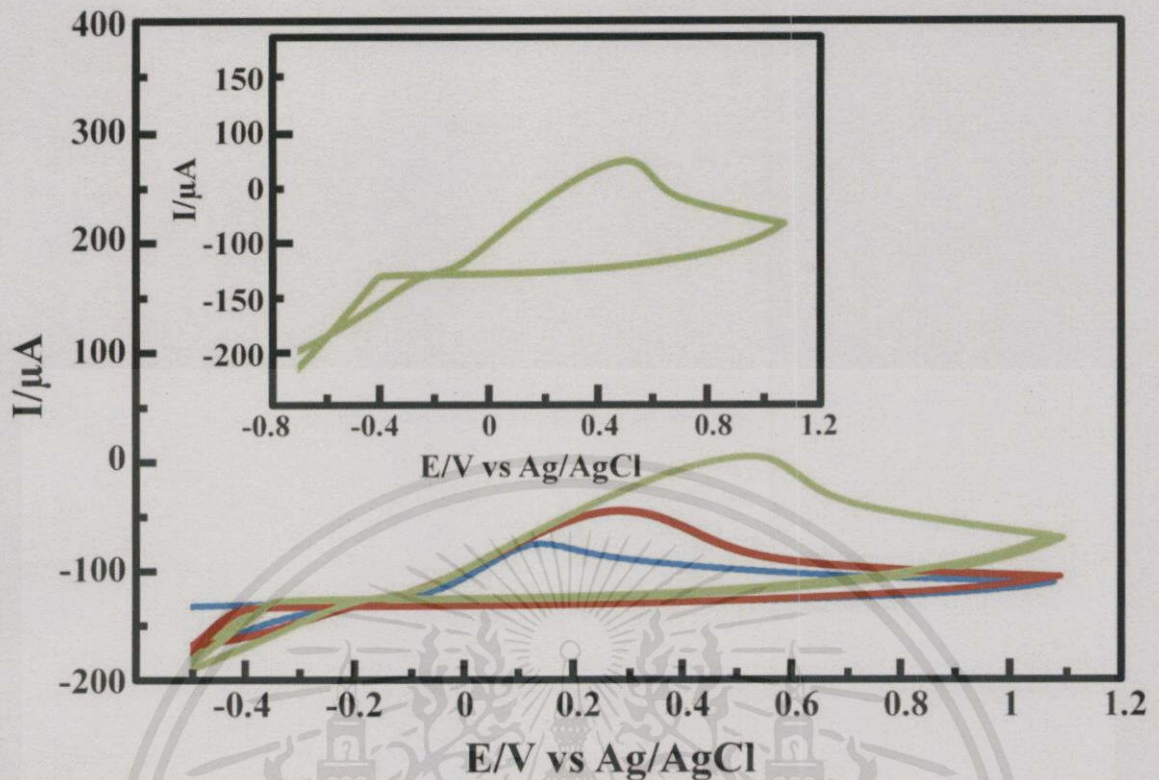


รูปที่ 4.2 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะให้ค่ากระแสที่วัดได้สูงกว่ากรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 ดังนั้น จึงใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.1.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไดรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยทำการเตรียมสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไดรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่าความเข้มข้นของแอนติโมนีและแมงกานีสที่เหมาะสม คือ 0.1 โมลาร์ซึ่งพิกที่ได้มีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์

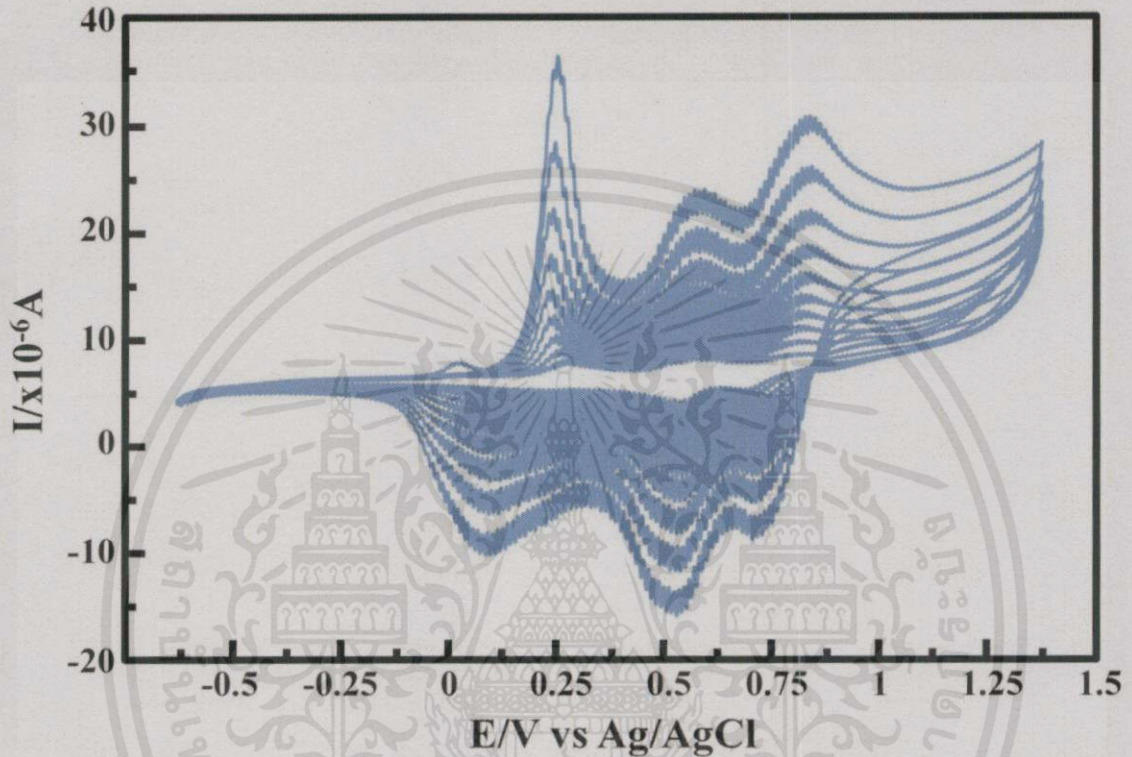
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันในช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.6 ถึง $+0.75$ โวลต์ เกิดพีกแอโนดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.25 และ $+0.35$ โวลต์ และพีกแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.25 และ $+0.2$ โวลต์ และเป็นความเข้มข้นที่ให้ค่ากระแสสูงกว่าสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 ดังนั้น จึงใช้สารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีไตรคลอไรด์และแมงกานีสไนเตรตที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.2 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินเจือฟลูออรีนโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

4.1.2.1 ผลการเตรียมพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

สำหรับการเตรียมพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยใช้สารละลายพอลิอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาทำ

การเกาะติดทางไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ที่ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.5 ถึง +1.25 โวลต์ เป็นจำนวน 10 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.4 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน (PANI/FTO)

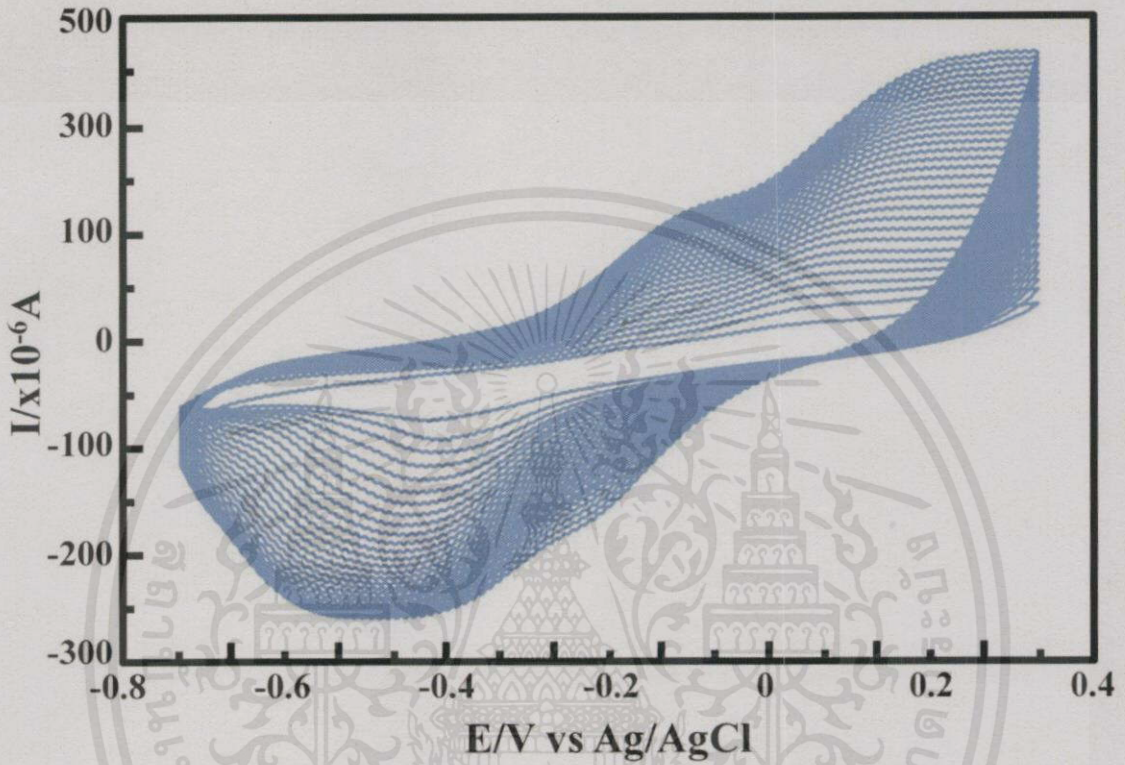
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 ในการเตรียมพอลิอะนิลีนลงบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนจะเกิดฟลักแอนอดิกที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.2, 0.5 และ 0.8 โวลต์ และเกิดฟลักแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.1, 0.5 และ 0.75 โวลต์

4.1.2.2 ผลการเตรียมขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

สำหรับการเตรียมอนุภาคแอนติโมนีและแมงกานีสลงบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

โดยใช้สารละลายพอลิอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มาทำการเกาะติดทางไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย จากนั้นนำมาทำการเกาะติดทางไฟฟ้าอีกชั้นหนึ่งโดยใช้สารละลายผสมของแอนติโมนีคลอไรด์และ

แมงกานีสไนเตรดเข้มข้น 0.1 โมลาร์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.76 ถึง +0.38 โวลต์ เป็นจำนวน 80 รอบ ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

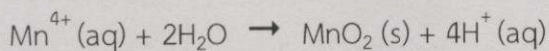
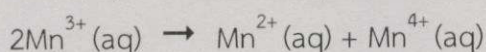
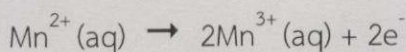


รูปที่ 4.5 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเตรียมขั้วไฟฟ้าสำหรับโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ($\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$)

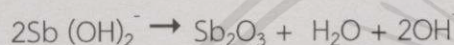
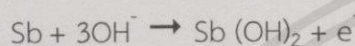
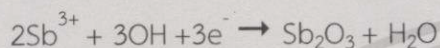
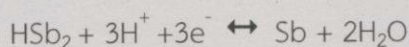
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

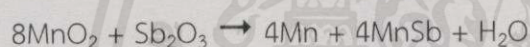
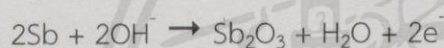
กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายแมงกานีส



กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายแอนติโมนี



กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าของสารละลายผสมระหว่างแอนติโมนีและแมงกานีส

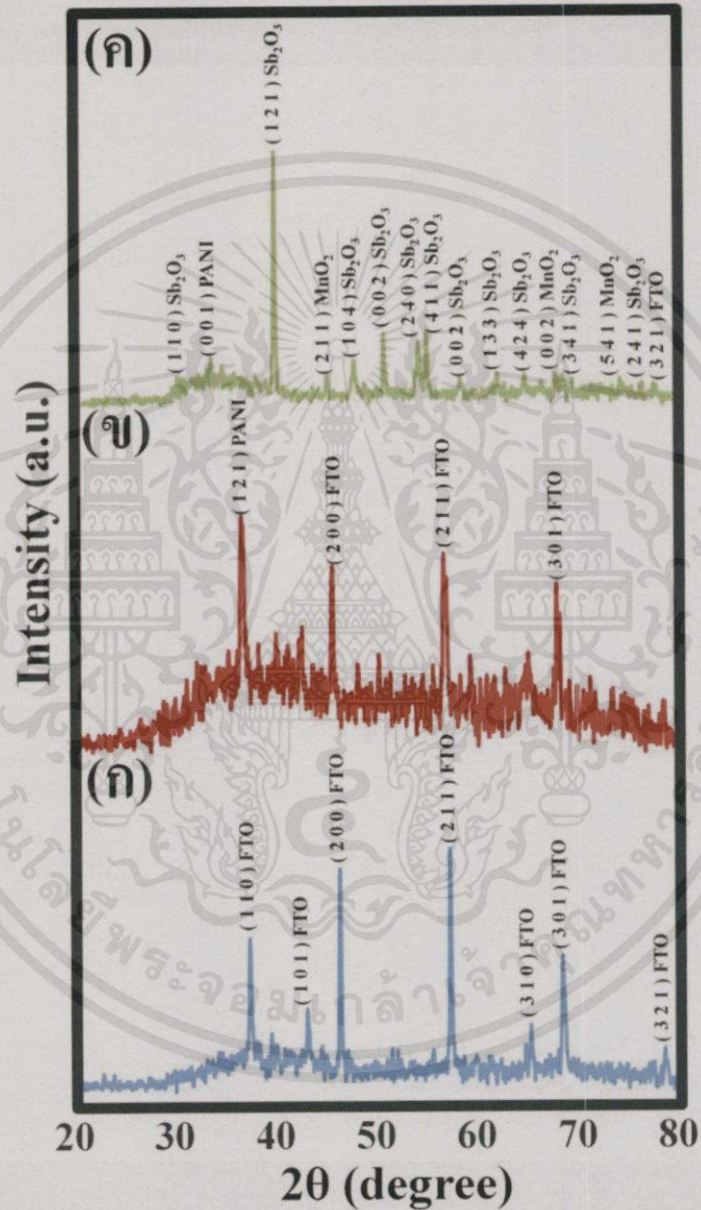


เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 ในการเตรียมขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จะเกิดพีคแอโนดิก 3 ตำแหน่ง ที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.6, -0.15 และ +0.1 โวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของ ($\text{Sb}_2\text{O}_3 - \text{MnO}_2$) (Sb_2O_3) และ (MnO_2) ตามลำดับ และเกิดพีคแคโทดิก 2 ตำแหน่ง ที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -0.1 และ 0.1 โวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของ $\text{Sb}(\text{OH})_2$ และ SbOOH ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของชั้นไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD)



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมแสดงลักษณะทางกายภาพที่มุม 2θ ของ

(ก) ชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

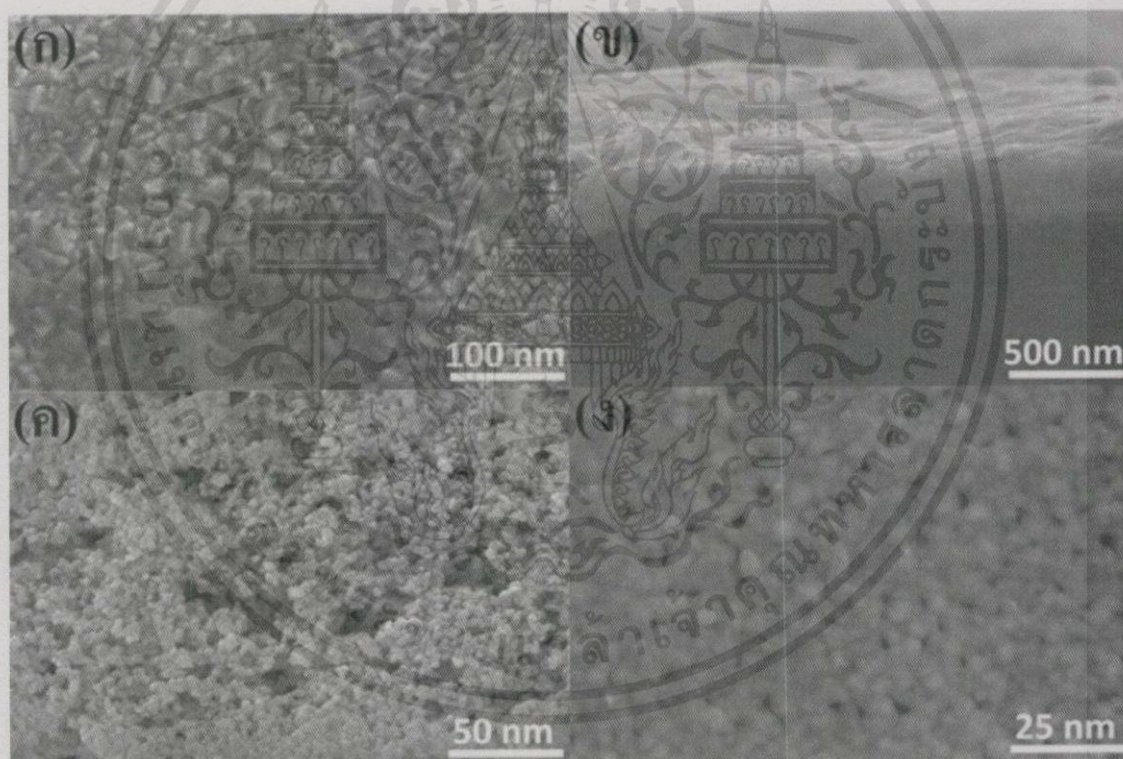
เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ข) ชั้นไฟฟ้าปรับปรุงชนิดพอลิอะนิลีนบนชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น (ค) ชั้นไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์

ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนชั้นไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 จะแสดงลักษณะทางกายภาพของขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยที่องค์ประกอบทุกชนิดบนขั้วไฟฟ้าจะถูกตรวจพบ โดยขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ถูกนำไปตรวจวัด พบว่าพิกที่ได้มีลักษณะเป็นไปตามข้อมูลมาตรฐาน (Standard data) ที่บ่งบอกถึงโครงสร้างของทินไดออกไซด์ (SnO_2) ได้อย่างชัดเจนที่สุดที่มุม 38 และ 45 องศา มีการจัดเรียงตัวกันในระนาบ (2 0 0) และ (2 1 1) ตามลำดับ อนุภาคของพอลิอะนิลีนที่มุม 28 ถึง 35 องศา มีการจัดเรียงตัวกันในระนาบ (1 2 1) แอนติโมนีจะอยู่ในรูปของแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Sb_2O_3) ที่มุม 32.1 องศา มีการจัดเรียงตัวกันในระนาบ (1 2 1) และอนุภาคของแมงกานีสจะอยู่ในรูปของแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ที่มุม 43 องศา มีจัดเรียงตัวกันในระนาบ (4 1 1) บนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

4.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM) ที่กำลังขยาย 100 kV



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(ก.) ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

(ข.) ภาพตัดขวางขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสได

ออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

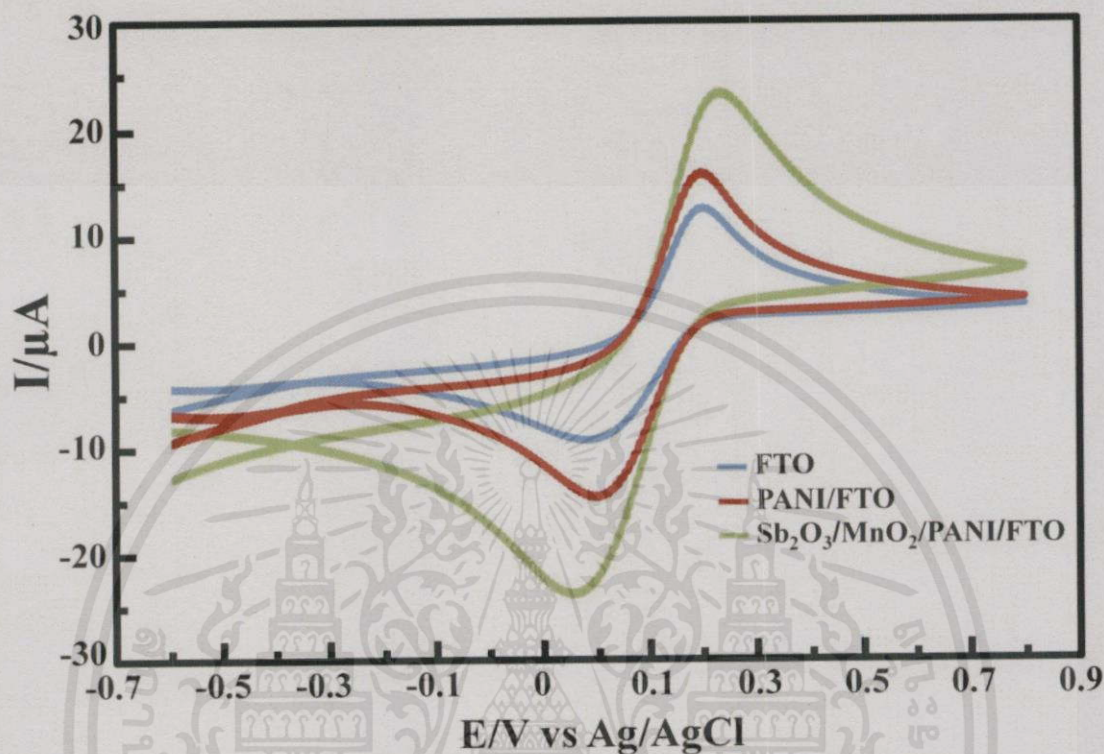
(ค.) และ (ง.) ภาพด้านบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกพิมพ์ให้คิดแบ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน ที่ขนาดอนุภาคเท่ากับ 50 และ 25

นาโนเมตร ตามลำดับ

4.2 ผลการศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้า ในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน โพลแทสเซียม-เฮกซะไซยาโนเฟอร์ต (III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี



รูปที่ 4.8 แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต ($K_3Fe(CN)_6$) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.8 แสดงการตรวจวัดสารละลายเฮกซะไซยาโนเฟอร์ต โดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้อย่างสมบูรณ์มากกว่าขั้วไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงด้วยพอลิอะนิลีนและขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ซึ่งสังเกตได้จากค่ากระแสที่สูงกว่าขั้วทั้งสอง อันเนื่องมาจากแอนติโมนีซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายผสมกับแมงกานีสแล้ว จะส่งผลให้สารละลายผสมนี้มีคุณสมบัติเป็นกึ่งตัวนำที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ดังนั้นค่ากระแสที่ได้จึงสูงขึ้น จึงนำสารทั้งสองส่วนนี้มาใช้ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า

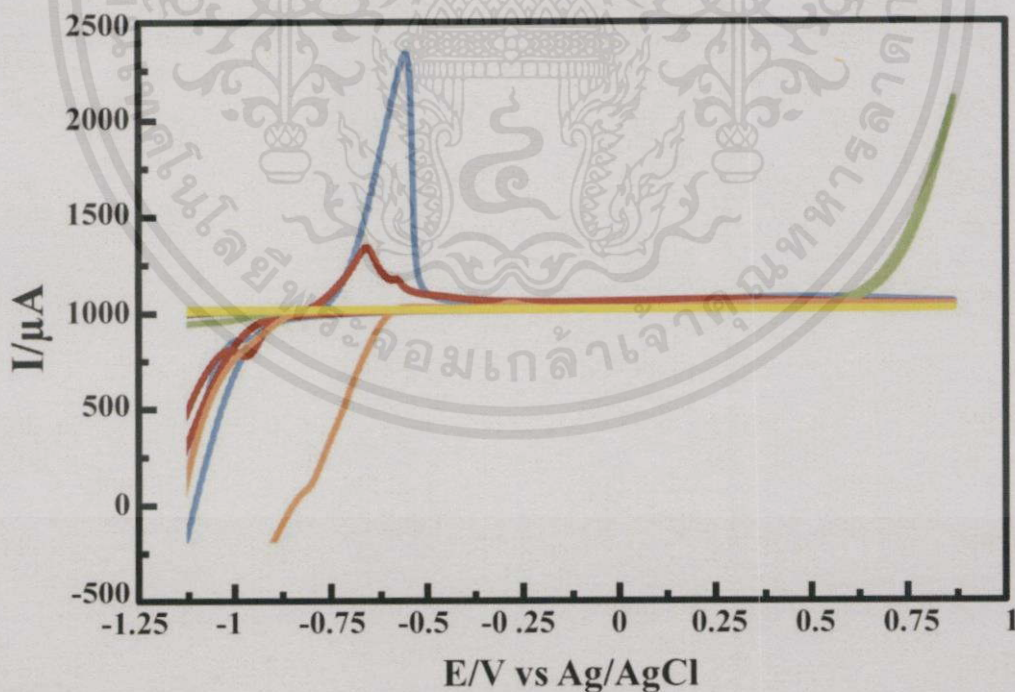
สรุปผลจากการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าด้วยนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดที่ดี เนื่องจากอนุภาคนาโนแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งมีส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันในการตรวจวัดได้ดี ประกอบกับพอลิอะนิลีนที่เกิดขึ้นนั้น มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดี

จึงทำให้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติในการทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงยิ่งขึ้น และมีความเสถียรต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

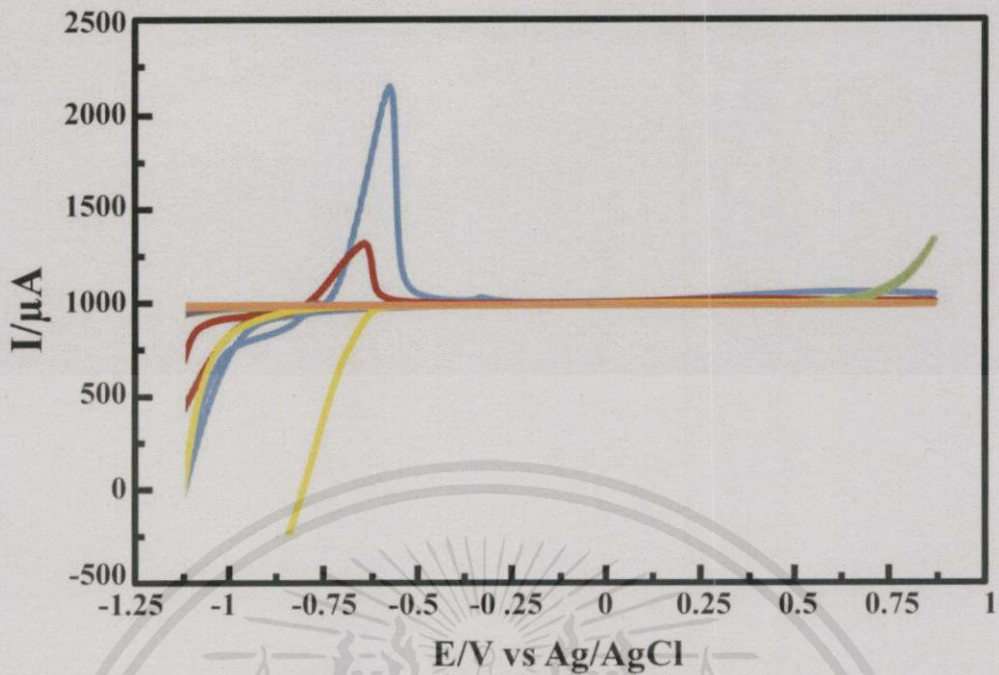
4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

4.3.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

จากผลการศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่มีความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าไทเทเนียมไดออกไซด์เจือฟลูออรีนที่เตรียมขึ้นเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิกที่ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง 0.70 โวลต์ สำหรับการตรวจวัดกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง +0.50 โวลต์ ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ผลที่ได้แสดงไซคลิกโวลแทมแกรมดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 แสดงไซคลิกโวลแทมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่มีความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ



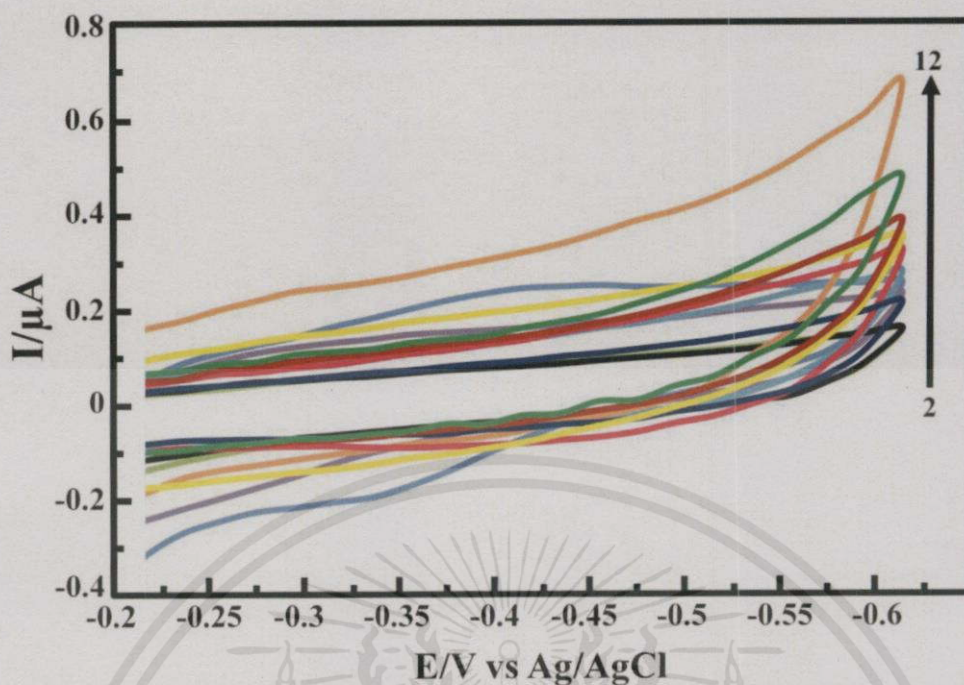
รูปที่ 4.10 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ

เมื่อพิจารณาโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์จะทำให้เกิดพีกออกซิเดชันได้อย่างชัดเจนมากที่สุด ดังนั้นสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จึงเลือกใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

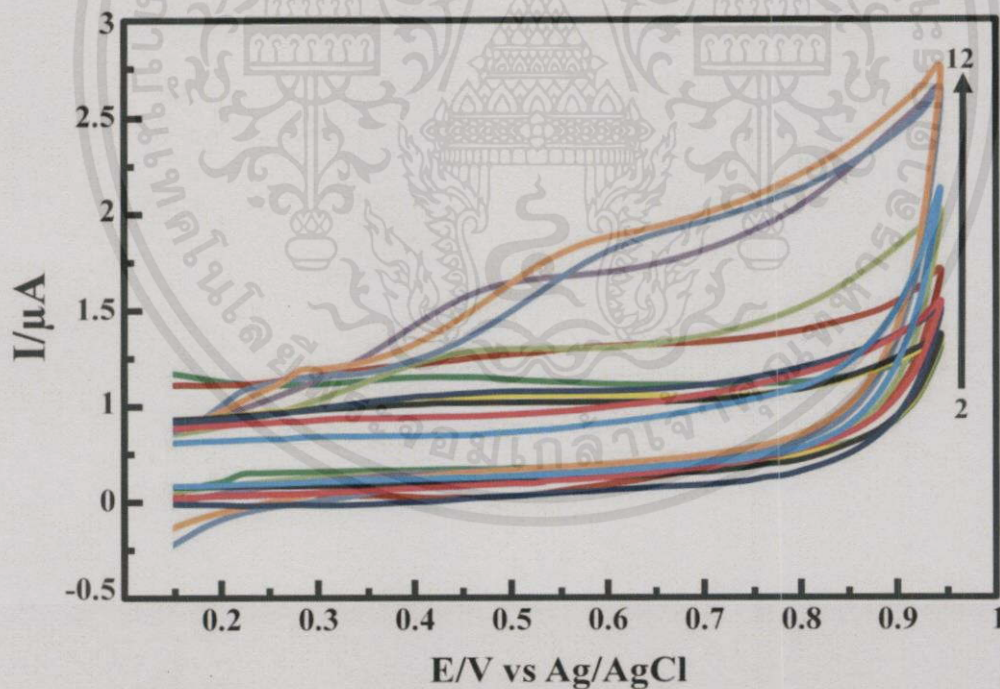
4.3.2 ผลการศึกษาสภาวะพีเอชที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาสภาวะพีเอชของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในช่วงพีเอชเท่ากับ 2.0 ถึง 12.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าช่วย โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี ที่ช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.1 ถึง -0.6 โวลต์

สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิก และ +0.2 ถึง +1.0 โวลต์สำหรับการตรวจวัดกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ด้วยอัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ผลที่ได้แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 เมื่อนำข้อมูลจากโวลแทมโมแกรมจากรูปที่ 4.11 และ 4.12 มาสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสกับค่าพีเอชในช่วง 2-12 จะแสดงได้ดังรูป 4.13

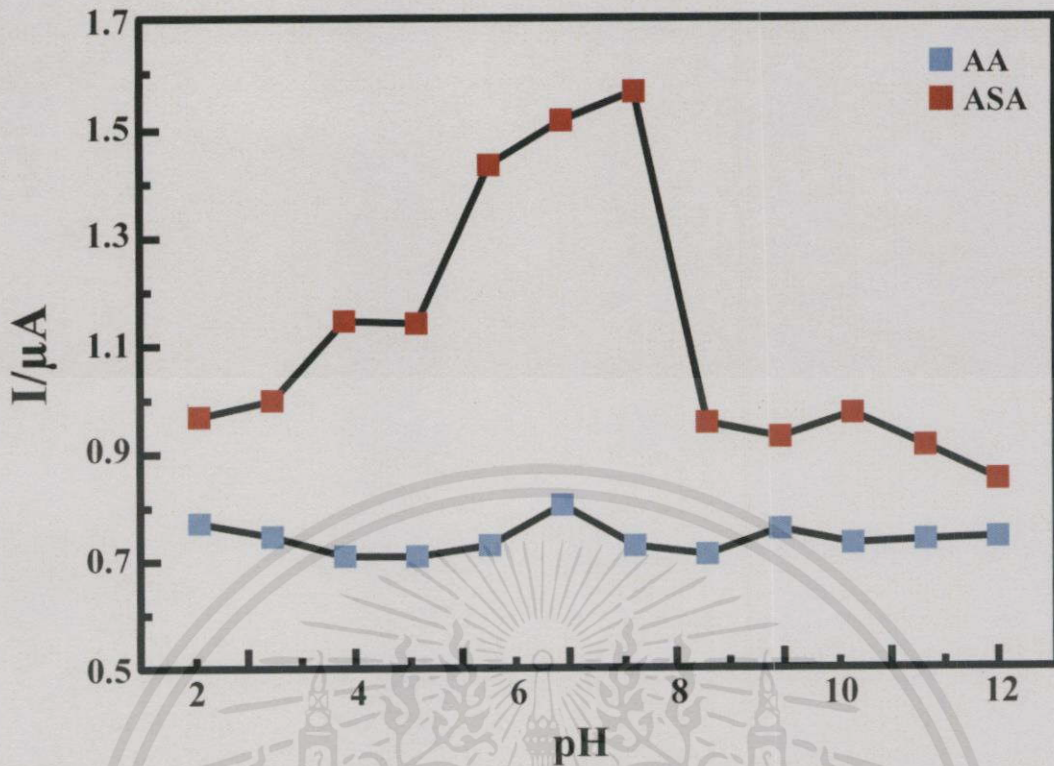


รูปที่ 4.11 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.12 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซททิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่พีเอชต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



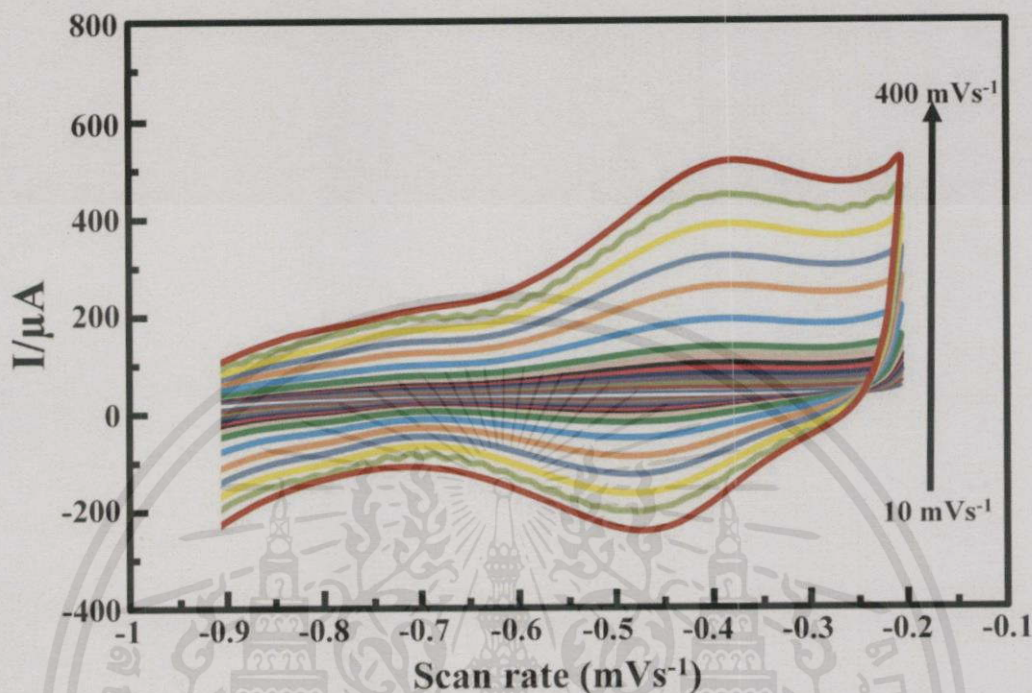
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าพีเอช 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0 และ 12.0 ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะซาลิซิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์

เมื่อพิจารณารูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าพีเอชต่างๆ ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีลักษณะแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะซาลิซิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่พีเอช 7 มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้อย่างสมบูรณ์ และให้กระแสที่สูงที่สุด ดังนั้นสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะซาลิซิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จะใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 7 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

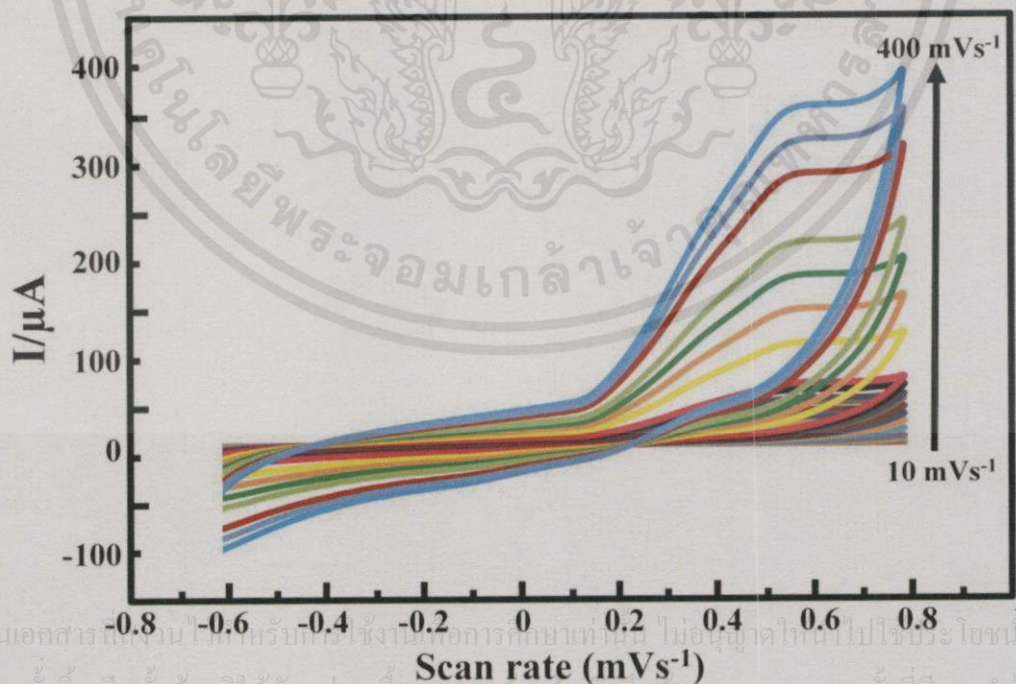
4.3.3 ผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาอัตราการสแกนที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะซาลิซิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่สร้างขึ้นเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิง และขั้วแพลตินัมเป็นขั้วช่วย โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี ในช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -1.0 ถึง +0.2 โวลต์ สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอบิก และในช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.6 ถึง

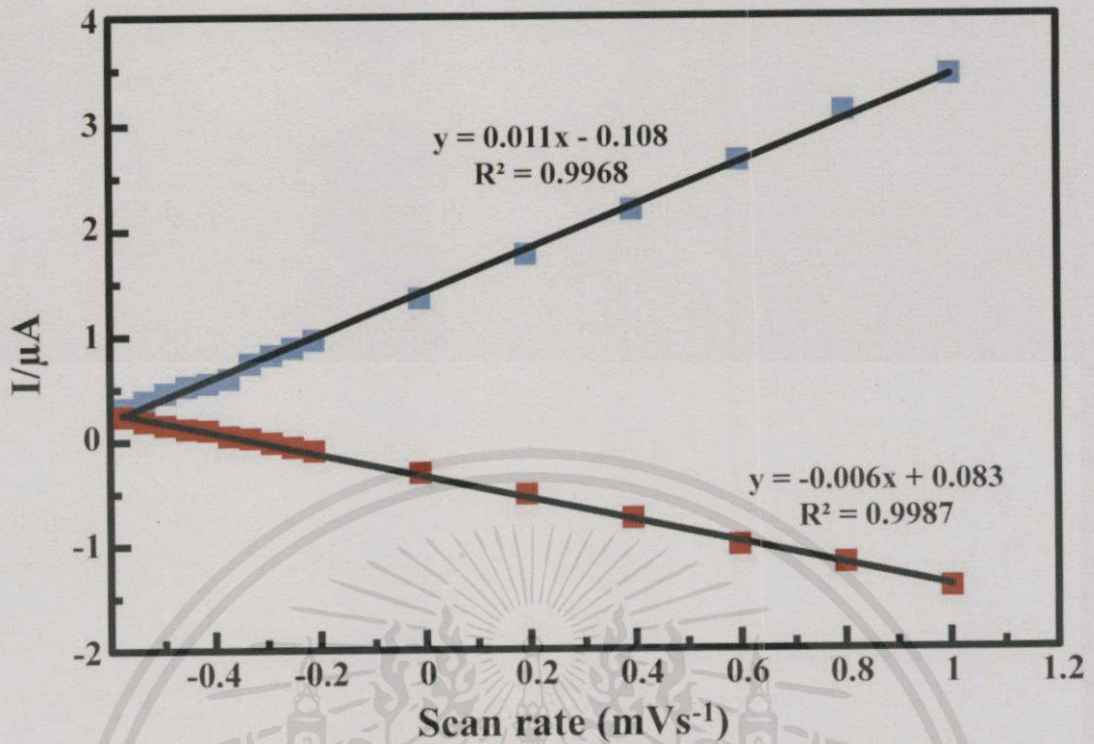
1.0 โวลต์ สำหรับการตรวจวัดกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ด้วยอัตราการสแกน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ดังแสดงในรูป 4.14 และ 4.15



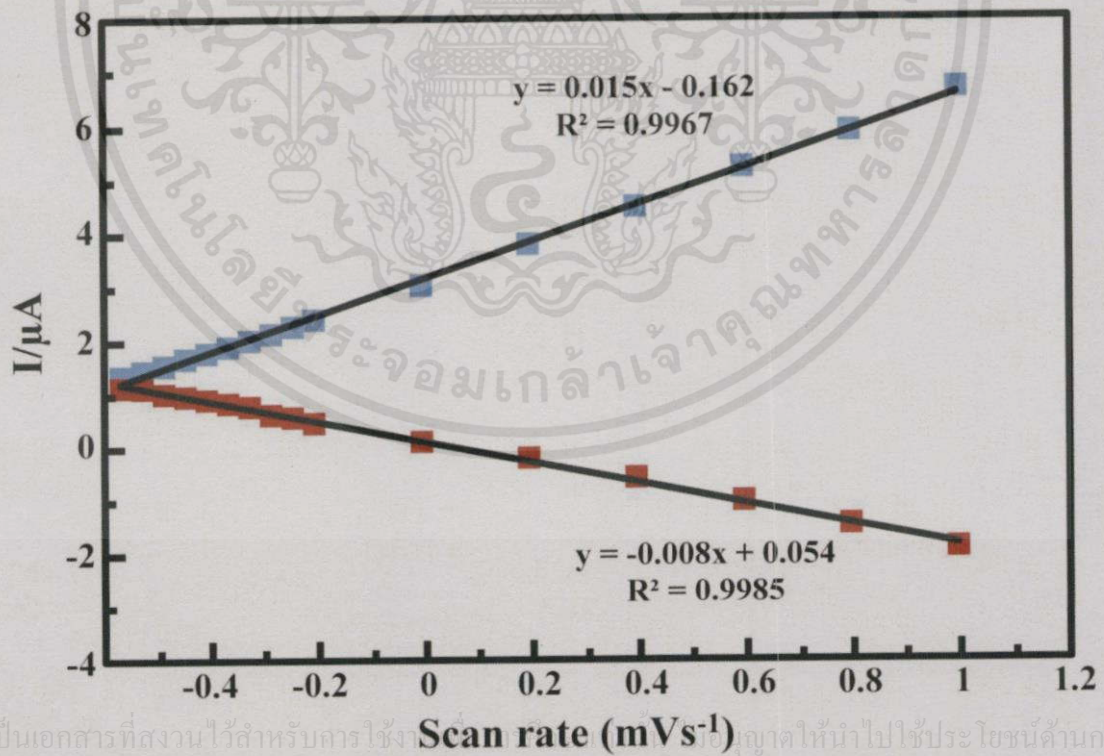
รูปที่ 4.14 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ



รูปที่ 4.15 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่อัตราการสแกนต่างๆ



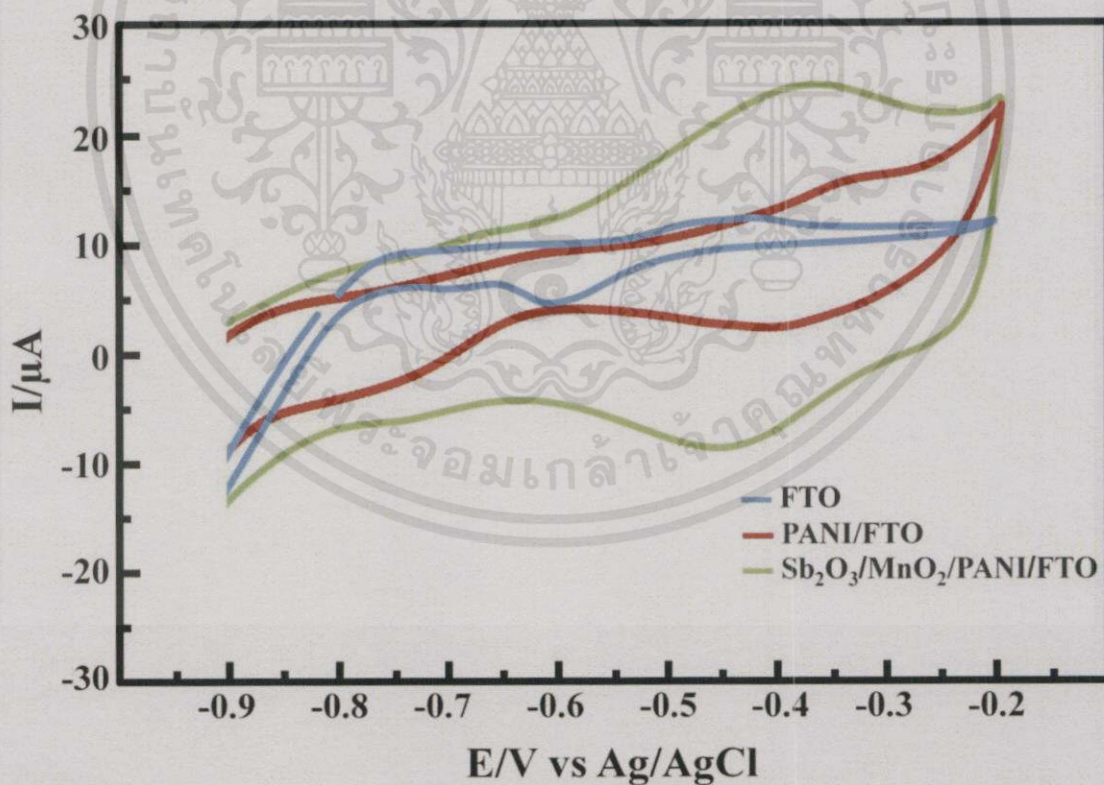
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับอัตราการสแกนที่ 10-400 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ของ การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์



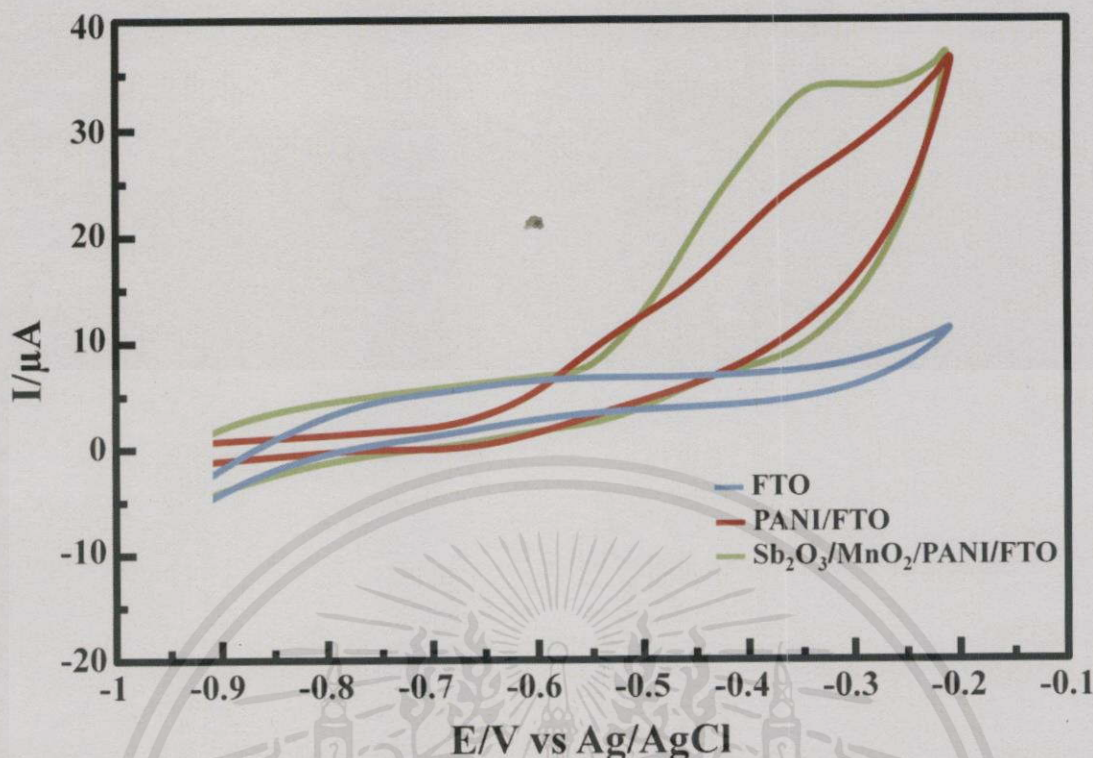
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา Scan rate (mVs^{-1}) ถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับอัตราการสแกนที่ 10-400 มิลลิโวลต์ต่อวินาทีของ การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะซิโตนซัลไฟด์ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนให้สูงขึ้นเรื่อยๆ การตรวจวัดสารละลายมาตรฐานทั้งกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ กระแสที่ได้จะมีลักษณะที่สูงขึ้นเรื่อยๆ แต่อัตราการสแกนยิ่งสูงขึ้นมากเท่าไร การตรวจวัดก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่จะได้รับความละเอียดในการตรวจวัดที่ต่ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาในการตรวจวัดที่สั้นและผลการตรวจวัดที่มีความถูกต้อง ดังนั้น ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน จึงเลือกใช้อัตราการสแกนที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ซึ่งใช้เวลาในการตรวจวัดที่รวดเร็ว มีความละเอียดและให้ค่ากระแสที่ครอบคลุมกระแสของตัวอย่างที่นำมาใช้ในการตรวจวัด ดังนั้นจึงใช้อัตราการสแกนนี้ตลอดการทดลอง

4.4 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี



เอกสารนี้
รูปที่ 4.18 แสดงไซคลิกโวลแทมเมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ Sb₂O₃/MnO₂/PANI/FTO

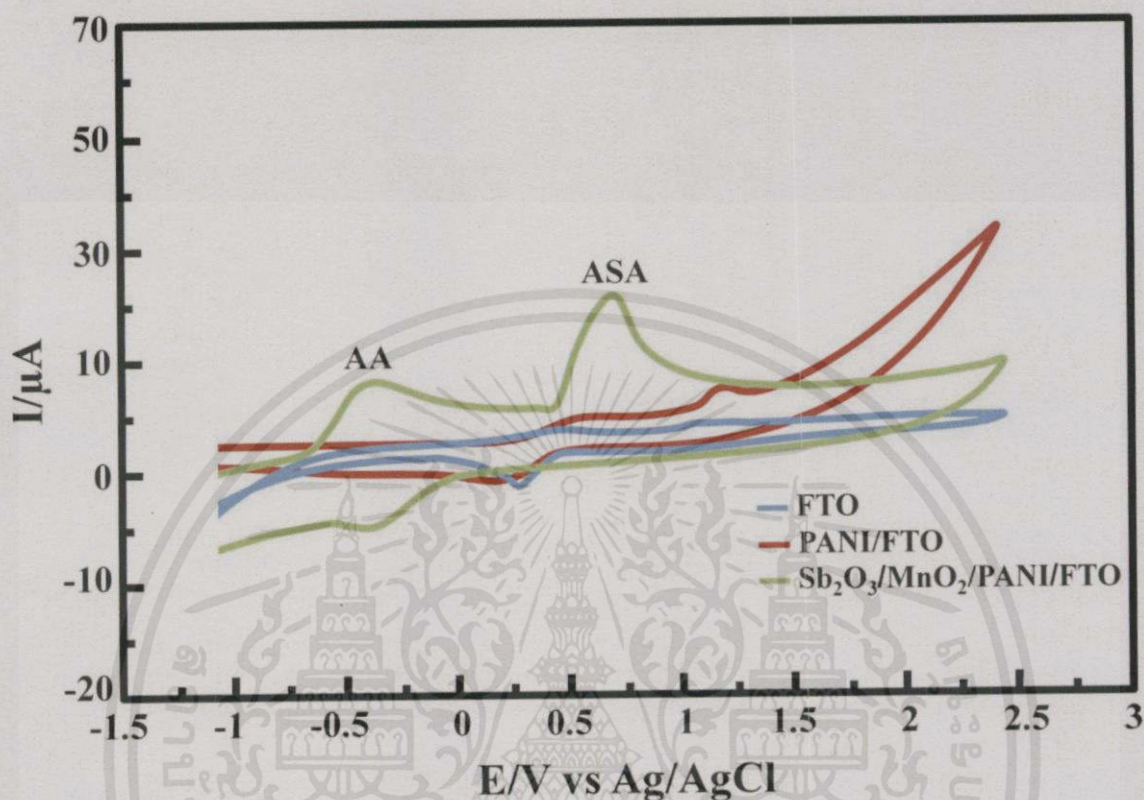


รูปที่ 4.19 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$

จากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ พบว่าขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนที่สร้างขึ้นนี้มีความสามารถในการตรวจวัดสารละลายทั้ง 2 ชนิดได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงด้วยพอลิอะนิลีนและขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ซึ่งแสดงถึงการส่งถ่ายมวลที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าในการเกิดออกซิเดชันและรีดักชันของการตรวจวัดสารได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยปฏิกิริยาของกรดแอสคอร์บิกจะเกิดขึ้นในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.9 ถึง -0.1 โวลต์ เกิดพีกแอนอดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.29 โวลต์ และพีกแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.35 โวลต์ และปฏิกิริยาของกรดอะเซทิลซาลิซิลิกจะเกิดขึ้นในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.1 ถึง -0.8 โวลต์ เกิดพีกแอนอดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.65 โวลต์ และพีกแคโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้า -0.6 โวลต์

เมื่อทำการตรวจวัดสารละลายผสมของกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในอัตราส่วนที่เท่ากันในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 โดยทำการตรวจวัดในช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.1 ถึง +1.5 โวลต์ พบว่าขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนนี้มีการเกิดออกซิเดชัน 2

ตำแหน่งอย่างชัดเจนมากกว่าชีวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและชีวไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนชีวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ดังรูป 4.20



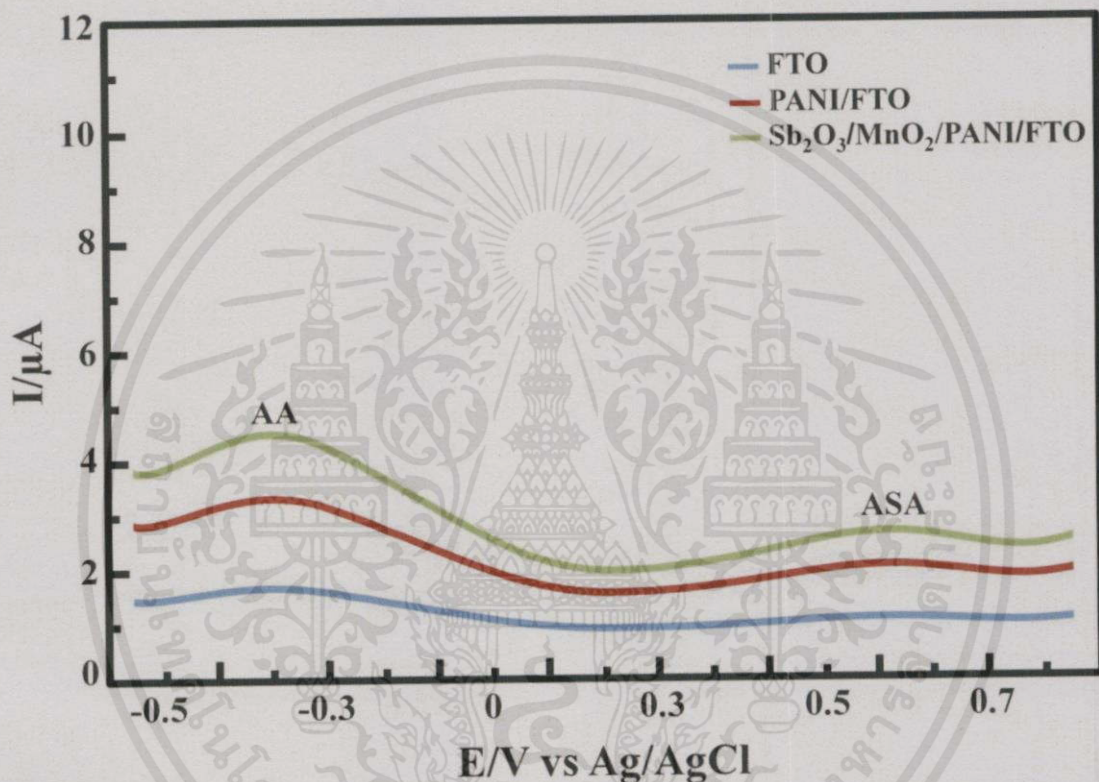
รูปที่ 4.20 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เข้มข้น 5.0×10^{-9} โมลาร์ของชีวไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $Sb_2O_3/MnO_2/PANI/FTO$

จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายผสมของกรดแอสคอบิกและอะเซทิลซาลิซิลิก พบว่า เกิดพีคแอนอดที่ 2 ตำแหน่งซึ่งแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.4 และ +0.6 โวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของการเกิดออกซิเดชันของกรดแอสคอบิกและอะเซทิลซาลิซิลิก ตามลำดับ ดังนั้นจึงใช้ชีวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนเป็นชีวไฟฟ้าทำงานสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลแทมเมทรีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกโดยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

4.5.1 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ขั้วไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน และขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน

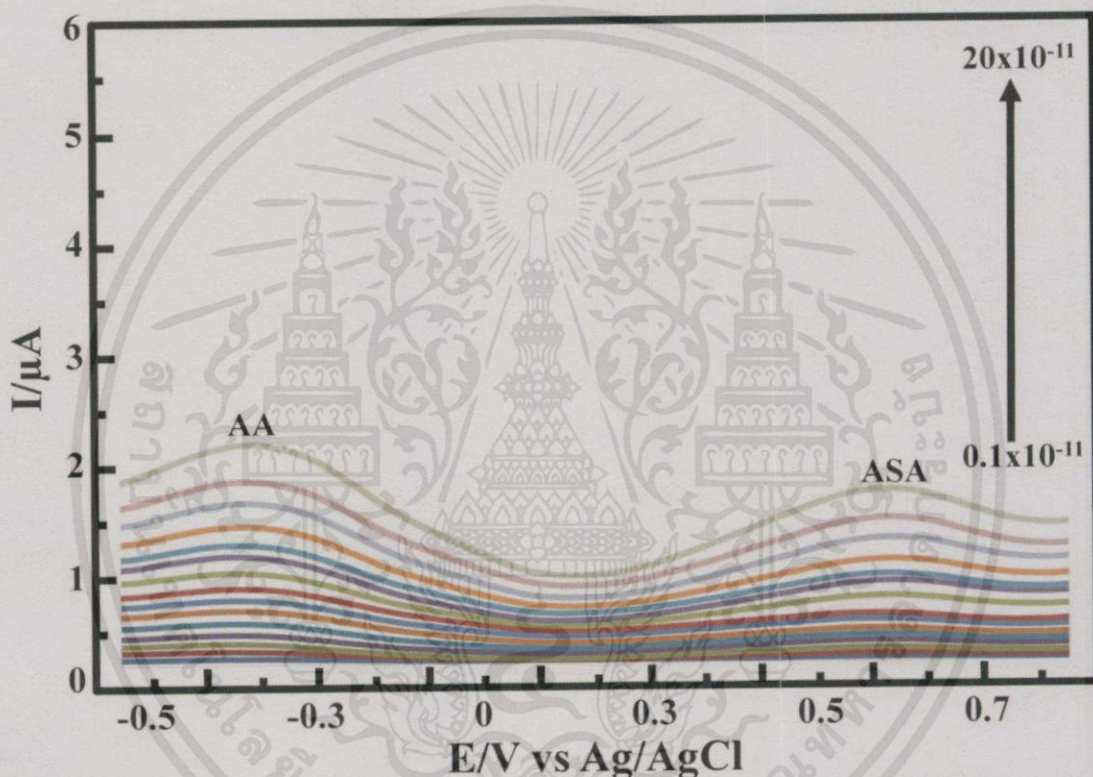


รูปที่ 4.21 แสดงดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานผสมของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันของขั้วไฟฟ้า FTO, PANI/FTO และ $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$

เมื่อทำการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน พบว่าขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีความสามารถในการตรวจวัดสารได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนและขั้วไฟฟ้าปรับปรุงพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน โดยขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้นให้ค่ากระแสที่สูงกว่าขั้วทั้ง 2 ชนิด และเกิดพิกแอโนดของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.4 และ $+0.6$ ตามลำดับ

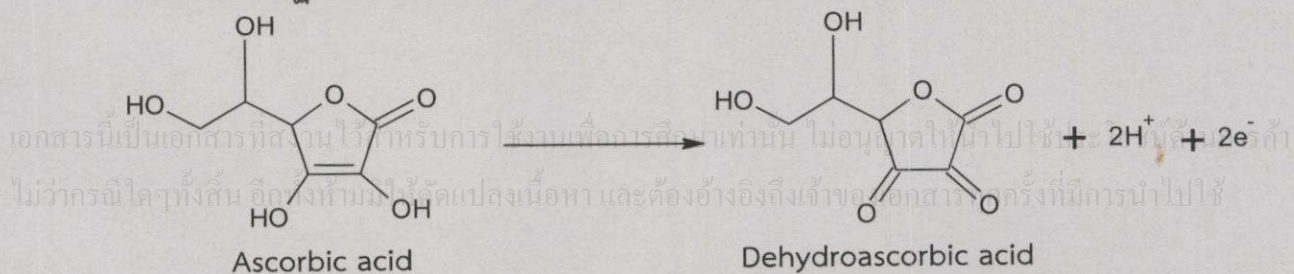
4.5.2 ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

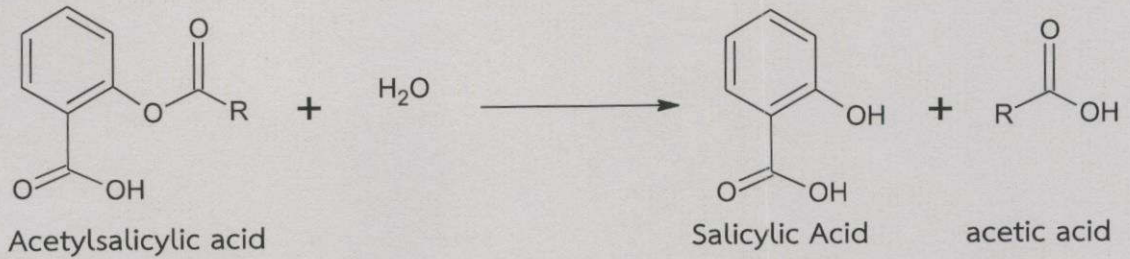
ผลการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่เติมลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ในอัตราส่วนต่างๆที่เท่ากันครั้งละ 100, 100, 150, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500 และ 2000 ไมโครลิตร จำนวน 15 ครั้งตามลำดับ ในช่วงศักย์ไฟฟ้าระหว่าง -0.8 ถึง +1.0 โวลต์ ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ที่เติมลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7 ปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง

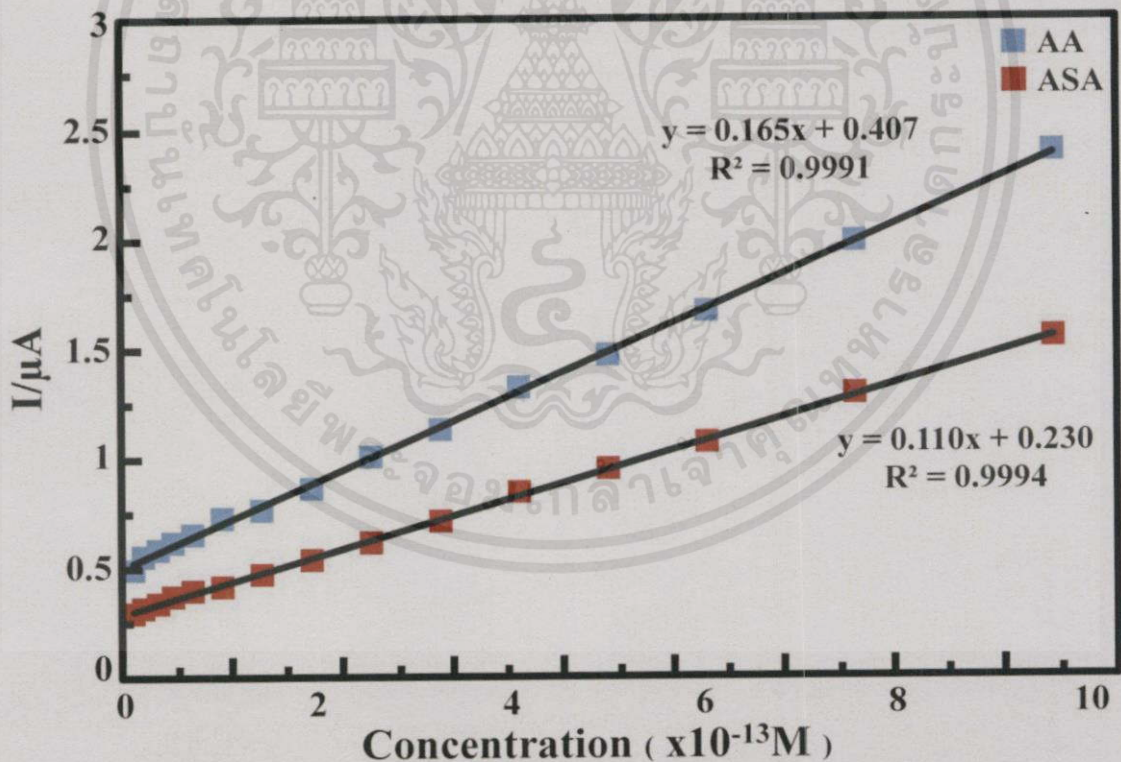
กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก





รูปที่ 4.23 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

เมื่อพิจารณาดีฟเฟอเรนเชียลพลัสโวลแทมโมแกรม แสดงการตรวจวัดสารละลายมาตรฐาน กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-10} โมลาร์ ที่เติมลงไปในแต่ละครั้งจะ มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกกับขั้วไฟฟ้า ทำให้ตรวจ พบกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -0.4 และ $+0.6$ โวลต์ ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเข้มข้น จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.24



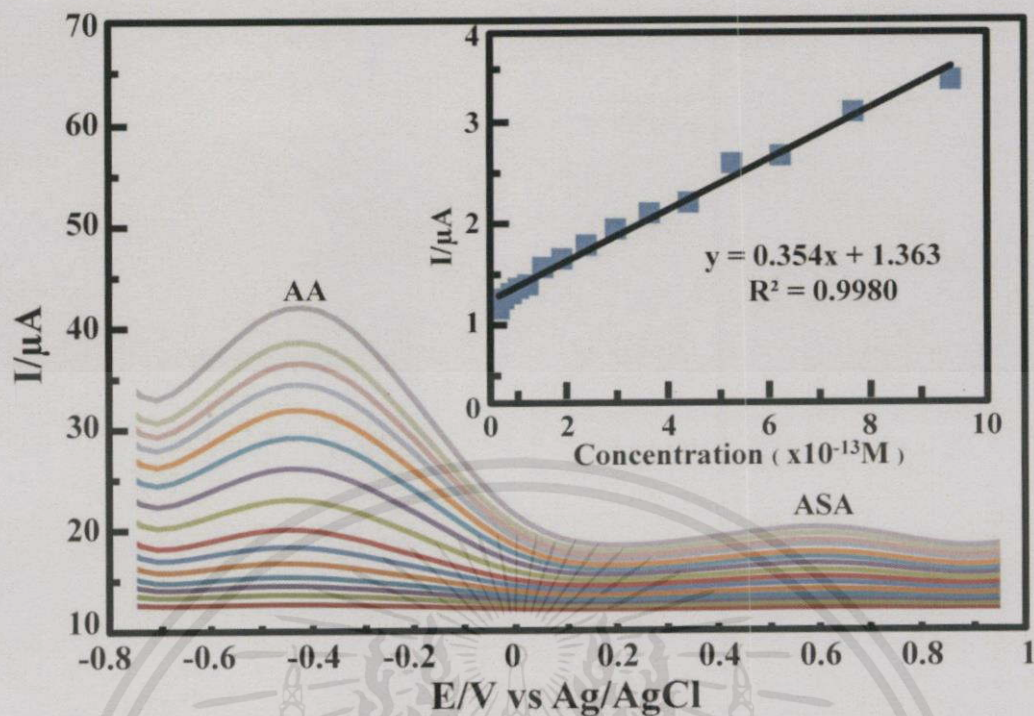
รูปที่ 4.24 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกระแสของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกความเข้มข้น 50×10^{-10} โมลาร์ ที่เติมลงไปปริมาตรต่างๆกัน จำนวน 15 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลจากการศึกษาคุณลักษณะช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection) และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation) ของข้าวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

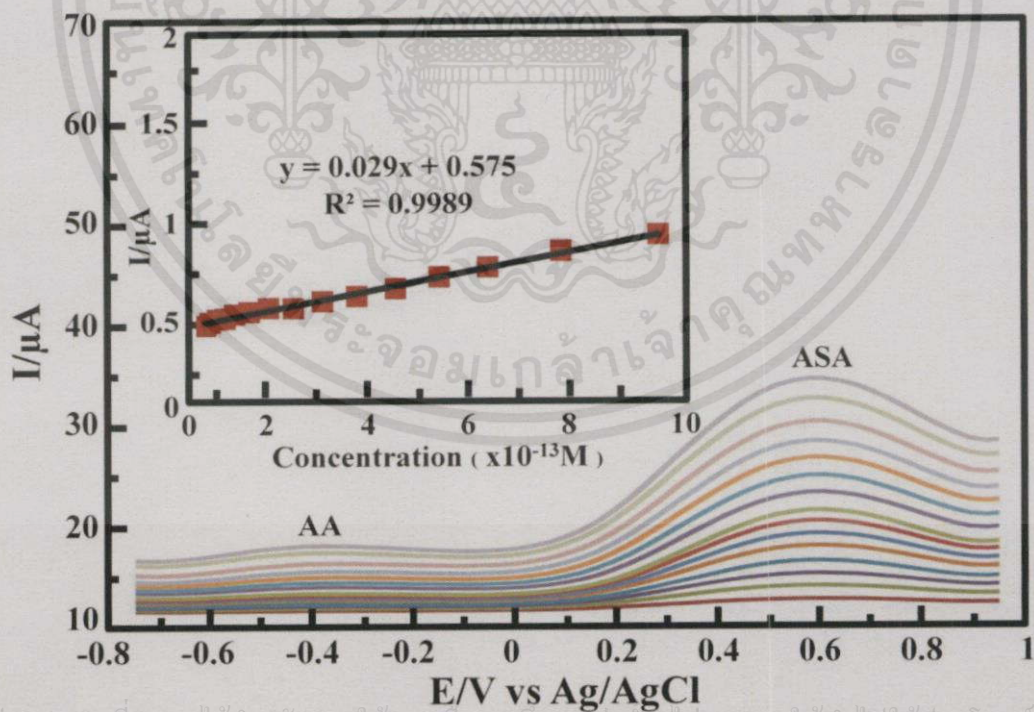
Analyte	AA	ASA
Regression equation	$y = 0.165x + 0.407$	$y = 0.110x + 0.230$
R^2	0.9991	0.9994
Linear dynamic range (molL ⁻¹)	$0.1 \times 10^{-13} - 9.4 \times 10^{-13}$	
LOD (molL ⁻¹)	4.723×10^{-15}	7.395×10^{-15}
LOQ (molL ⁻¹)	1.574×10^{-14}	2.465×10^{-14}

4.6 ผลการศึกษาคุณลักษณะความจำเพาะเจาะจง (Selectivity) ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกของข้าวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้าวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพล็อตของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่เติมลงไป ปริมาตรต่าง ๆ กัน จำนวน 15 ครั้ง ในสารละลายที่มีกรดอะเซทิลซาลิซิลิกจำนวน 25 ไมโครลิตร ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์

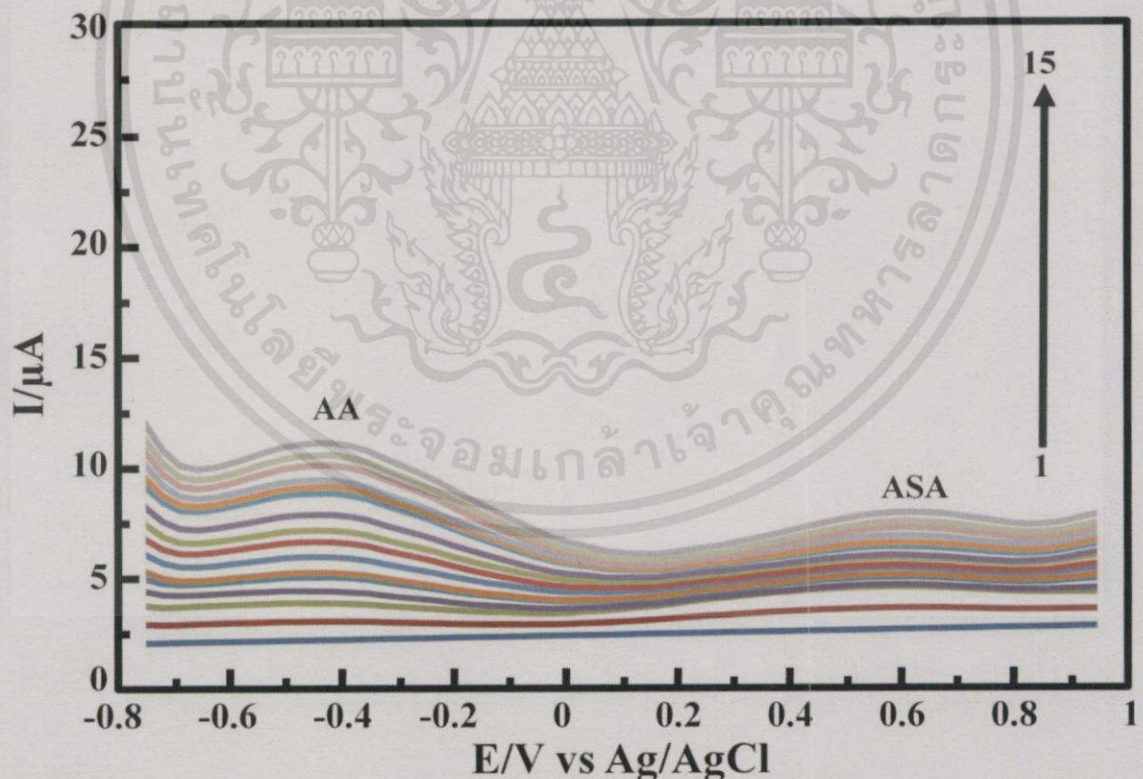


รูปที่ 4.26 แสดงดิฟเฟอเรนเชียลพล็อตของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่เติมลงไป ปริมาตรต่าง ๆ กัน จำนวน 15 ครั้ง ในสารละลายที่มีกรดแอสคอร์บิกจำนวน 25 ไมโครลิตร ที่เข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์

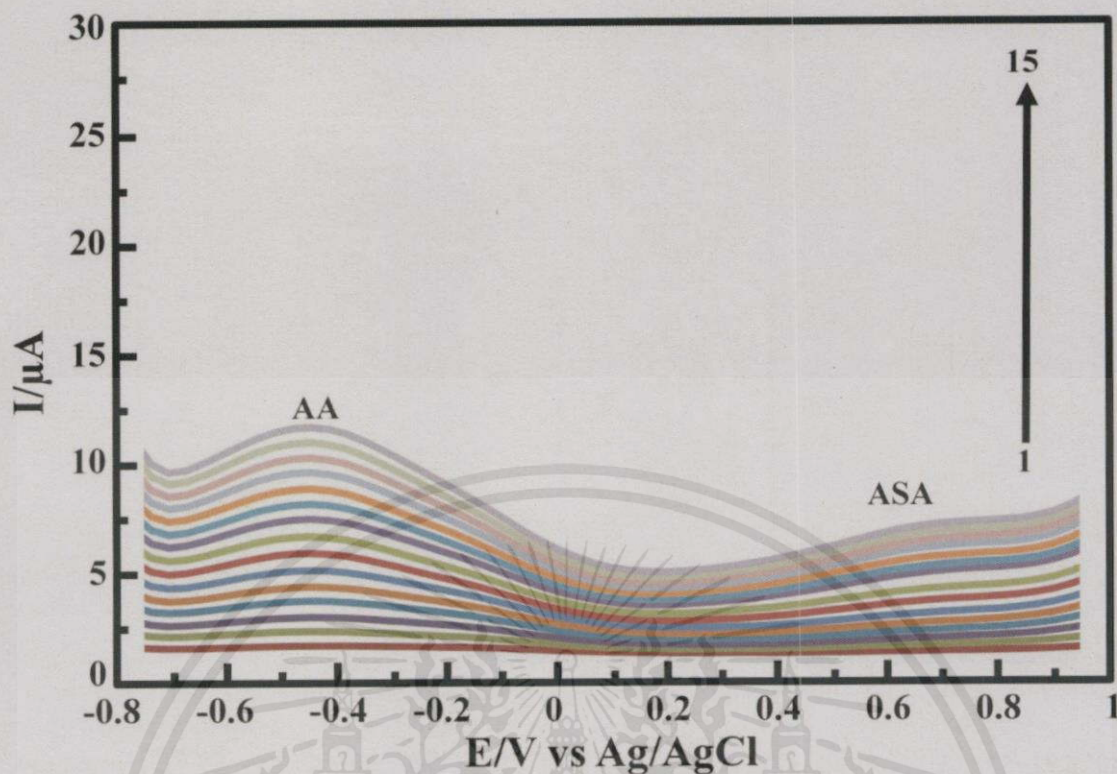
เมื่อพิจารณาดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าค่ากระแสที่ได้มีลักษณะที่สูงขึ้นตามอัตราส่วนของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป ซึ่งขั้วไฟฟ้าที่ปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารทั้ง 2 ชนิดเป็นอย่างดี

4.7 ผลการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะ

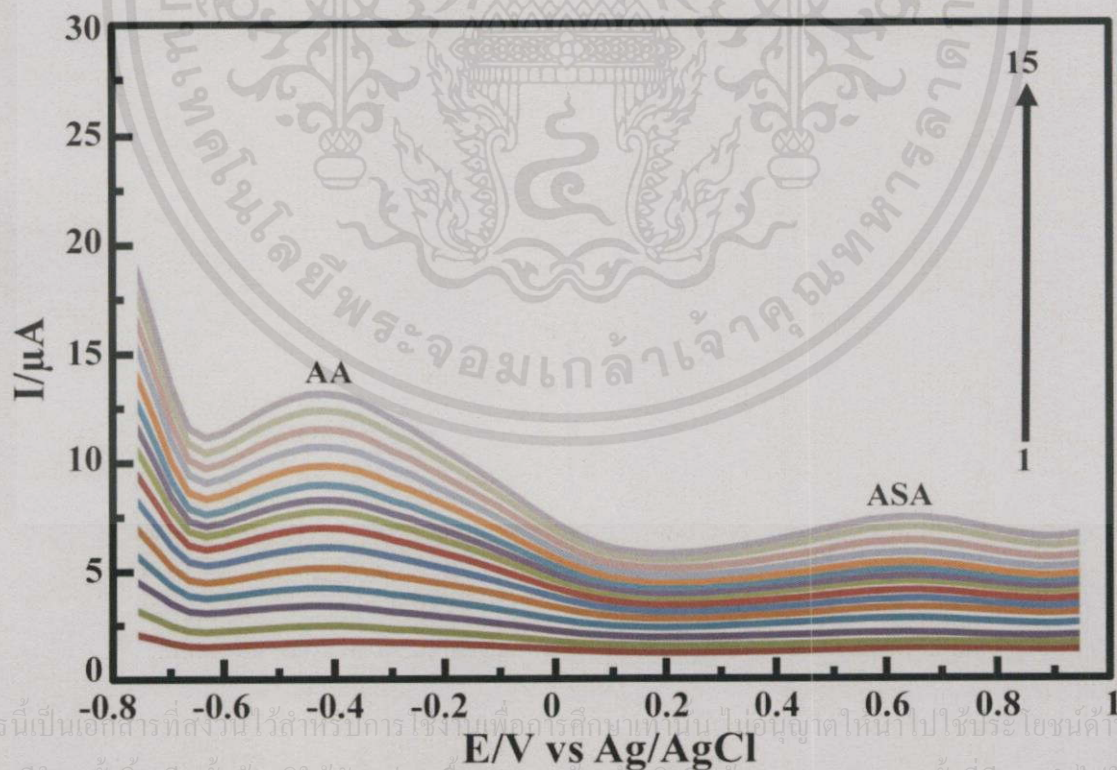
ผลการตรวจวัดหาปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม หลังจากได้รับกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกแล้วเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 30 นาที และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ โดยตรวจวัดตัวอย่างปัสสาวะในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ในอัตราส่วนต่างๆ ที่เท่ากันคือ 100, 100, 150, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500 และ 2000 ไมโครลิตร ตามลำดับ ในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.1 ถึง +1.0 โวลต์ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.27 ถึง 4.32



เอกสารนี้ รูปที่ 4.27 ดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก การถ่วงน้ำหนักสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 1.0 ชั่วโมง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



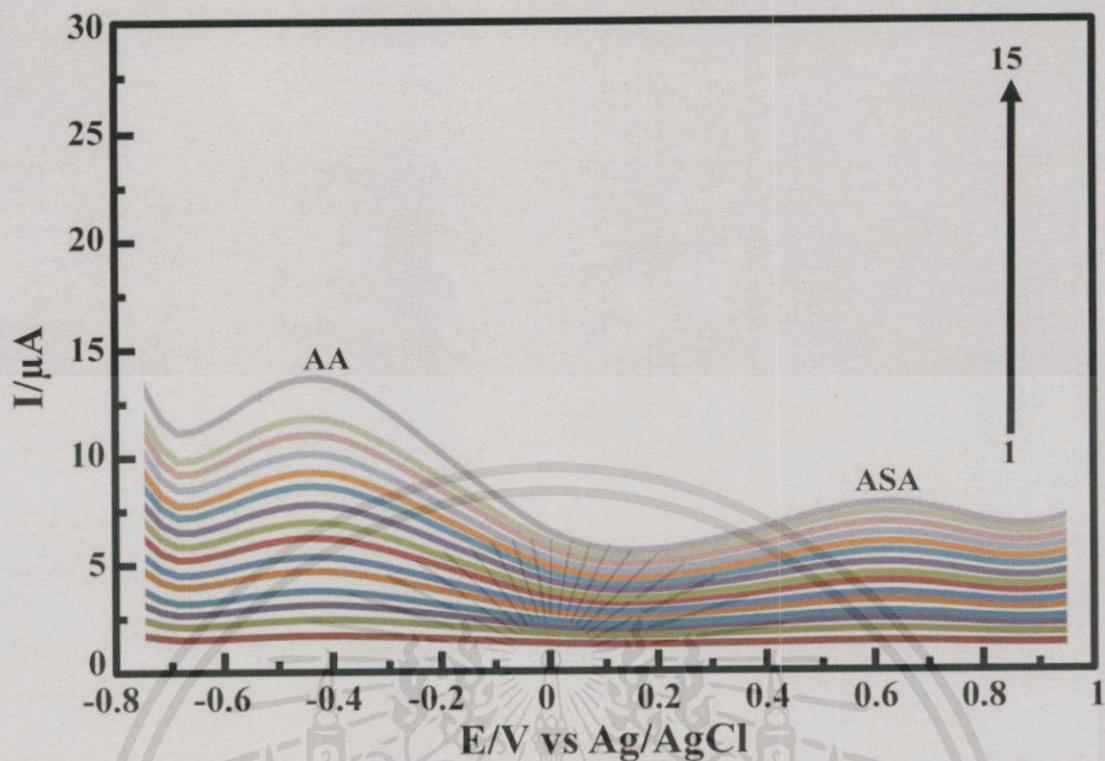
รูปที่ 4.28 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง



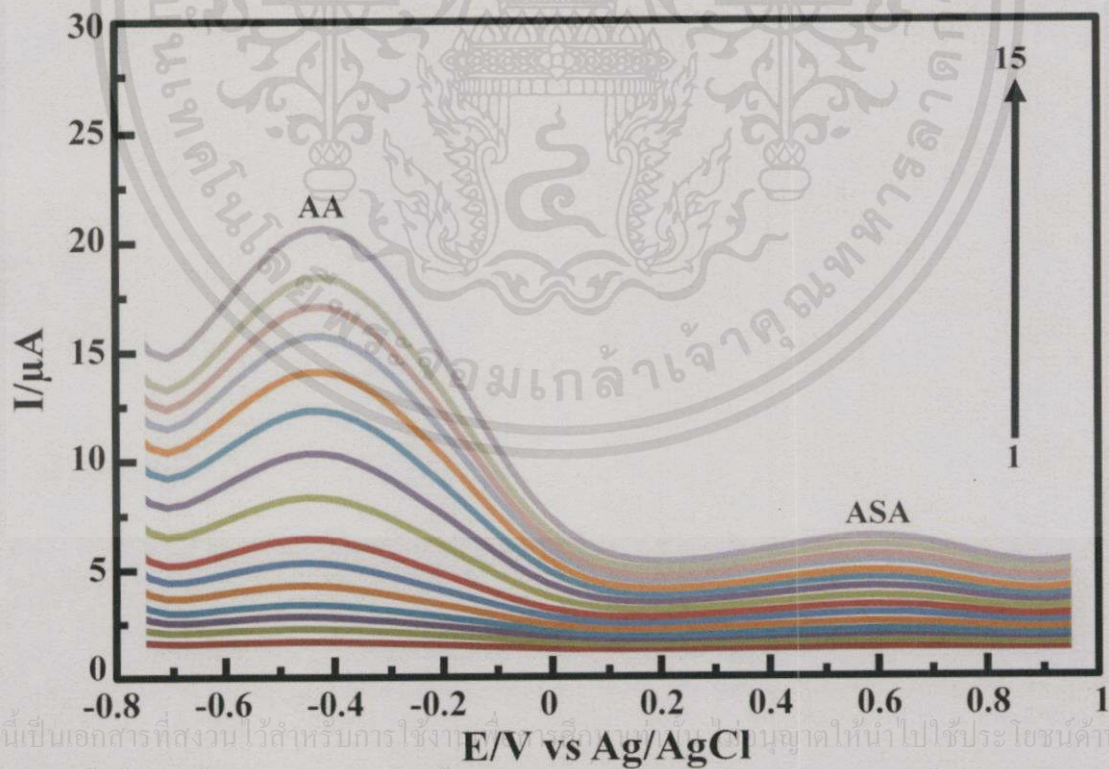
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลีเก้ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

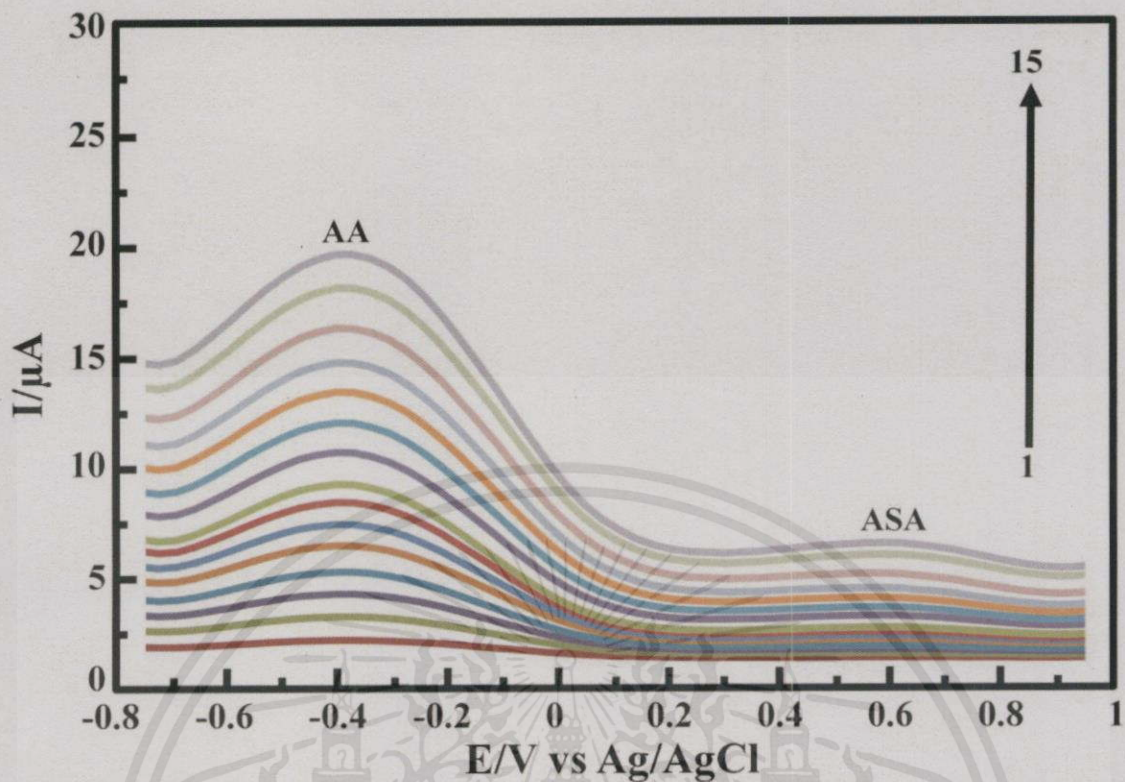
รูปที่ 4.29 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.31 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.32 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมแสดงการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างปัสสาวะที่เติมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ลงไปจำนวน 15 ครั้ง พบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกกับขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -0.4 และ $+0.6$ ตามลำดับซึ่งให้ค่ากระแสที่สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น

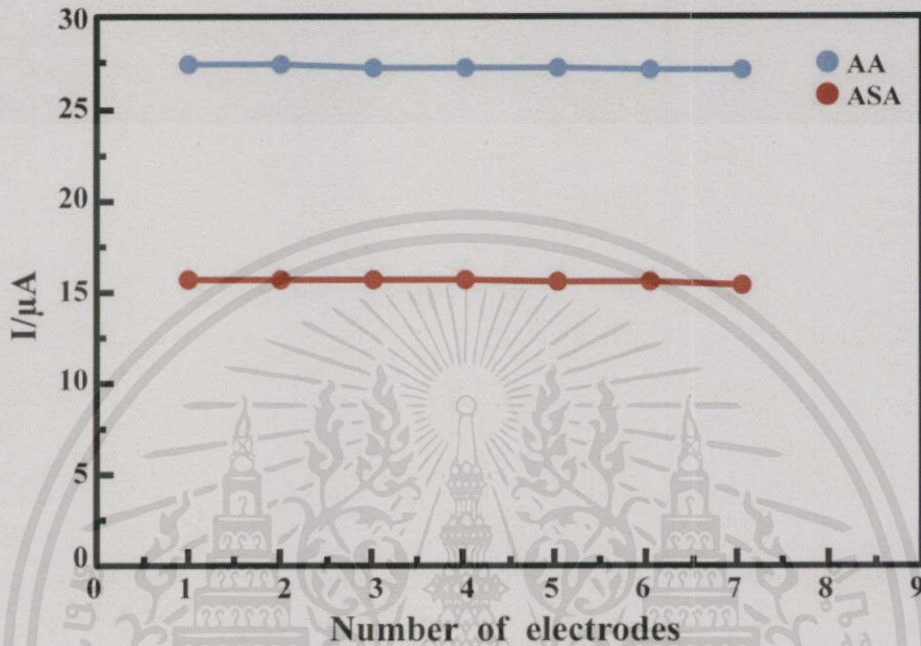
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคร่าวเดียวกันโดยใช้หัวไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนหัวไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน

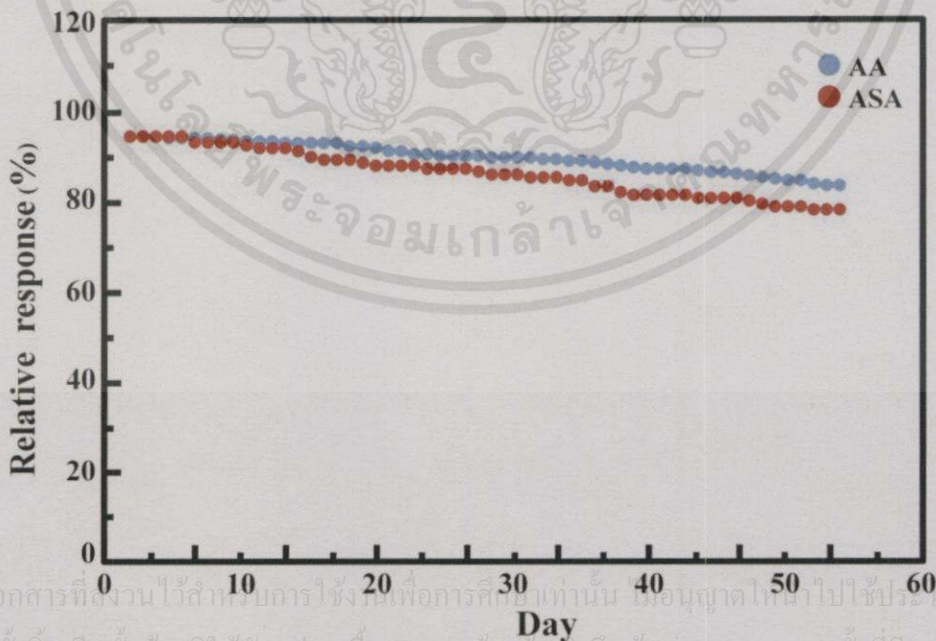
Sample	hr.	Added ($\times 10^{-13}$ molL $^{-1}$)		Found ($\times 10^{-13}$ molL $^{-1}$)		Recovery (%)		RSD (%)	
		AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA
Urine 1	1.0	0.1	0.1	-0.06	0.10	100.53	100.30	2.18	2.49
		1	1	0.90	1.59	101.11	100.81	1.30	1.17
		2.5	2.5	2.73	3.15	100.37	99.98	1.35	1.63
	2.5	0.1	0.1	0.00	0.06	99.95	100.62	1.12	2.26
		1	1	1.04	1.10	100.47	99.69	1.27	1.24
		2.5	2.5	2.66	2.40	101.73	99.05	1.09	0.55
	4.0	0.1	0.1	0.05	0.08	101.44	101.12	0.99	0.53
		1	1	1.01	1.12	100.96	101.63	0.98	1.27
		2.5	2.5	2.54	2.48	99.41	100.06	2.05	2.50
Urine 2	1.0	0.1	0.1	-0.01	0.18	100.84	101.04	1.49	1.00
		1	1	0.99	1.12	99.26	99.62	1.71	2.21
		2.5	2.5	2.75	2.58	101.05	101.23	1.10	0.90
	2.5	0.1	0.1	0.18	0.04	101.55	99.52	1.26	2.02
		1	1	1.04	0.91	100.66	101.64	1.76	0.85
		2.5	2.5	2.17	2.52	99.96	100.37	1.28	1.19
	4.0	0.1	0.1	0.18	0.03	100.00	99.62	1.22	1.59
		1	1	1.04	1.02	100.76	100.10	1.28	0.64
		2.5	2.5	2.47	2.71	99.27	100.42	0.89	1.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำ (Reproducibility) และความเสถียร (Stability) ของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน



รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จำนวน 5 ครั้งกับจำนวนขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการตอบสนองของขั้วไฟฟ้ากับระยะเวลาของการใช้งาน (วัน)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.33 และ 4.34 จะพบว่าข้อไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้นทั้ง 7 ข้อนี้มีความสามารถในการวัดซ้ำและเสถียรสูง ซึ่งสังเกตได้จากร้อยละการตอบสนองของข้อไฟฟ้าในรูปของกระแส (หน่วยไมโครแอมแปร์) ที่ลดลงเพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 3-10 เปอร์เซ็นต์ตลอดการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 56 วัน จึงถือได้ว่าข้อไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนนี้มีความสามารถในการวัดซ้ำและเสถียรต่อการใช้งานสูง

4.9 ผลการศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์สาร (Interference)

ผลการศึกษาสารรบกวนในตัวอย่าง โดยทำการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิก ที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์ พีเอช 7 ด้วยข้อไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนข้อไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนด้วยเทคนิคด้วยดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณสารรบกวนแต่ละชนิดที่ศึกษาไม่สามารถรบกวนการตรวจวัด เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (แสดงการคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) และแสดงภาพการรบกวนการวิเคราะห์ของสารรบกวนที่ทำการศึกษาในตัวอย่าง ในภาคผนวก ข.) มีค่าน้อยกว่า ± 5 เนื่องจากในสารละลายรบกวนที่ทำการศึกษามีสารประกอบหลากหลายชนิด เช่น การศึกษาไอออน Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{2+} มีส่วนประกอบที่เป็นไอออนลบคือ Cl^- ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดแก๊สคลอรีนเกิดขึ้นที่หน้าข้อไฟฟ้าซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง -0.1 ถึง $+0.4$ และเมื่อตรวจวัดสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้กระแสที่วัดได้ลดลง [43-45,50] สารในกลุ่มสารอินทรีย์พบว่าสารในกลุ่มนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้เป็นอย่างดี ภายในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.2 ถึง $+0.8$ โวลต์ [46-49] ซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงหรือช่วงเดียวกันกับสารที่ทำการศึกษาด้านอนุมูลอิสระทั้งสอง เมื่อโมเลกุลของสารรบกวนอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรืออยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่พีเอชที่เหมาะสมสามารถเกิดการแตกตัวได้ดี ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้สามารถเกาะติดกับโมเลกุลของสารที่ศึกษา และโมเลกุลของสารที่รบกวนสามารถสร้างชั้นฟิล์มที่หน้าข้อไฟฟ้าให้หนาขึ้น ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้ข้อไฟฟ้าสามารถตรวจวัดโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระได้อย่างสมบูรณ์หรือความจำเพาะเจาะจงในการวัดสารที่ศึกษาทั้งสองลดลง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการรบกวนการวิเคราะห์ของสารรบกวนที่ทำการศึกษาในตัวอย่าง

Interference	Tolerance limit
Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{2+}	2,000
Citric acid , D-Glucose	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส Salicylic acid, ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต 800 ่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก L-Glutamic acid ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีน ($\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{MnO}_2/\text{PANI}/\text{FTO}$) ที่นำมาใช้ในการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกัน ก่อนทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าได้ทำการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field emission scanning microscope, FE-SEM) หลังจากทำการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า นำขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่ได้มาศึกษาความสามารถของขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์ (III) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าขั้วไฟฟ้าปรับปรุงที่สร้างขึ้น ให้ค่ากระแสที่สูงกว่าขั้วไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงด้วยพอลิอะนิลีน (PANI/FTO) และขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง (FTO) จากนั้นทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอิเล็กโทรไลต์, พีเอช และอัตราการสแกน พบว่าอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมคือสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่พีเอช 7 และอัตราการสแกนที่ 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ค่ากระแสที่สูงที่สุด

ขั้วไฟฟ้านาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไตรออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนที่สร้างขึ้นสามารถใช้ตรวจวัดปริมาณกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในคราวเดียวกันได้ โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรีที่ศักย์ไฟฟ้าของการตรวจวัดกรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกเท่ากับ -0.4 และ 0.6 โวลต์ ตามลำดับ ค่า LOD เท่ากับ 4.723×10^{-15} และ 7.395×10^{-15} โมลาร์ และ LOQ เท่ากับ 0.157×10^{-13} และ 0.246×10^{-13} โมลาร์ ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ขณะตรวจวัดสารด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี จะเกิดการรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม ทำให้ข้อมูลที่วิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย เราจึงควรทำการตัดสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ฟาราเดย์คัพ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขณะทำ

เอกสารที่กระทรวงศึกษาธิการได้ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Padayatty SJ, Katz A, Eck P, Kwon O, Lee JH, Chen S, Corpe C, Dutta A, Dutta SK, Levine M, "Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention" *J Am Coll Nutr.* 22 (2003) 18-35.
- [2] Bradshaw MP, Barril C, Clark AC, Prenzler PD, Scollary GR, "Ascorbic acid: a review of its chemistry and reactivity in relation to a wine environment" *Crit Rev Food Sci Nutr.* 51 (2011) 479-98.
- [3] กัทธานัตถ์ ทองเทพ, สมพร มูลมั่งมี, ฉัตรชัย พลเชี่ยว, "การศึกษาสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของเฮมินร่วมพอลิไพโรลบนขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพลาสำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกด้วยเทคนิคโวลแทมเมตรี", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557.
- [4] C. S. Erdurak-Kiliç, B. Uslu, B. Dogan, U. Ozgen, S. A. Ozkan, M. Coskun. "Anodic voltammetric behavior of ascorbic acid and its selective determination in pharmaceutical dosage forms and some *Rosa* species of Turkey". *Journal of Analytical Chemistry.* 61 (2006) 1113-1120.
- [5] S. Vermeir, M.L.A.T.M. Hertog, A. Schenk, K. Beullens, B.M. Nicolai, J. Lammertyn. "Evaluation and optimization of high-throughput enzymatic assays for fast L-ascorbic acid quantification in fruit and vegetables". *Analytica Chimica Acta.* 618 (2008) 94-101
- [6] Fu Yingyi, Liang Fenfen, TianHuifeng, Hu Jingbo. "Nonenzymatic glucose sensor based on ITO electrode modified with gold nanoparticles by ion implantation". *Electrochimica Acta.* 120 (2014) 314-318.
- [7] Mohaddeseh Amiri-Aref, Jahan Bakhsh Raouf, Reza Ojani. "A highly sensitive electrochemical sensor for simultaneous voltammetric determination of noradrenaline, acetaminophen, xanthine and caffeine based on a flavonoid nanostructured modified glassy carbon electrode". *Sensors and Actuators B.* 192 (2014) 634-641.
- [8] Lingling Xi, Dandan Ren, Jinwen Luo, Yan Zh. "Electrochemical analysis of ascorbic acid using copper nanoparticles/polyaniline modified glassy carbon electrode". *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 650 (2010) 127-134.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] Tzu-Lung Lu, Yu-Chen Tsai." Electrochemical oxidation of acetylsalicylic acid at multiwalled carbon nanotube-alumina-coated silica nanocomposite modified glassy carbon electrodes". *Sensors and Actuators B*. 148 (2010) 590–594.
- [10] K. Kamaraja, RajaniDevarapallib, T. Sivab, S. Sathiyarayananb." Self-healing electrosynthesized polyaniline film as primer coat for AA 2024-T3", *Materials Chemistry and Physics*. 153 (2015) 256-265.
- [11] P. Muhamed Ashraf, K.V. Lalitha , Leela Edwin."Synthesis of polyaniline hybrid composite: A new and efficient sensor for the detection of total volatile basic nitrogen molecules". *Sensors and Actuators B*. 208 (2015) 369–378.
- [12] Ke-Qiang Ding "Cyclic Voltammetrically Prepared MnO₂-Polyaniline Composite and Its Electro-catalysis for Oxygen Reduction Reaction (ORR)", *Journal of the Chinese Chemical Society*. 56 (2009) 891-897.
- [13] Yang Fan, Jin-Hang Liu, Chun-Peng Yang, Meng Yu, Peng Liu."Graphene-polyaniline composite film modified electrode for voltammetric determination of 4-aminophenol". *Sensors and Actuators B*. 157 (2011) 669– 674.
- [14] ดร.ศิริวรรณ ตีโก้, ดร.อมร ไชยสิทธิ์, นายปรีชา มั่นสลาย. (๒๕๕๘). การพัฒนาชุดตรวจสอบวิตามินซีในน้ำผลไม้ (ออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.sci.rmutt.ac.th/download/Research/20140704siriwan.pdf>. ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘.
- [15] ร.อ. ฉัตรไชย ไตรทอง. (๒๕๕๘). วิตามินซี(ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://thailand.digitaljournals.org/index.php/RTAMG/article/viewFile/2270/2121>. ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘.
- [16] กรดอะเซทิลซาลิซิลิก (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.ideaforlife.net/health/drug/0005.html>. ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘.
- [17] จุฑามาศ บุญตั้งแต่ง, จินตนา ดิษฐกุลชัยมงคล, ศศิธร มั่นเจริญ. (๒๕๕๘). การวิเคราะห์ปริมาณกรดซาลิไซลิกในตัวอย่างยาด้วยเทคนิคแอสควาร์-เวฟ โวลแทมเมตรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าดินสออย่างง่าย (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.ubu.ac.th/web/files_up/08f2014031915393361.pdf. ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 [18] ยิ่งพิศ พรพัฒน์กุล, "พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอร์
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้เป็นของโรงเรียน และต้องอ้างถึงถึงจำนวนของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 "โรเซน", วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ม.ค. – เม.ย 2554,
 หน้า 220-229.

- [19] เสนอ ชัยรัมย์, “พอลิอะนิลีนและอนุพันธ์นำไฟฟ้า: การสังเคราะห์ และการประยุกต์ใช้งาน”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2555.
- [20] มนตรี สว่างพุกข์, “นาโนเทคโนโลยีนวัตกรรมของตัวเก็บพลังงาน: ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเคมี ยั่งยืน”, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 26 ฉบับที่ 85 กรกฎาคม – กันยายน 2556.
- [21] แอนติโมนีไดรออกไซด์ (ออนไลน์). แหล่งที่มา :
http://www.summacheeva.org/index_thaitox_antimony.htm. ๓ มีนาคม ๒๕๕๘.
- [22] Chi-Hwan Han , Sang-Do Han, JihyeGwak , S.P. Khatkar , “Synthesis of indium tin oxide (ITO) and fluorine-doped tin oxide (FTO) nano-powder by sol-gel combustion hybrid method”. Materials Letters 61. (2007) 1701–1703.
- [23] คณิตา ตั้งคณานักษ์. *เคมีวิเคราะห์ 1*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [24] เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ. *เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [25] อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. *เคมีวิเคราะห์ 2*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [26] เทคนิคโวลแทมเมทรี (ออนไลน์). แหล่งที่มา :
http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/electrochemistry/web/Eanal/anal_votammetry.htm. ๓ มีนาคม ๒๕๕๘.
- [27] Electrodeposition(Online). G.Gore, “Theory and practice of electro – deposition, including”http://www.forgottenbooks.com/download_pdf/Theory_and_Practice_of_Electro-Deposition_Including_1000757765.pdf.(2015).
- [28] K. Kamaraja, RajaniDevarapallib, T. Sivab, S. Sathiyarayananb, “ Self-healing electrosynthesised polyaniline film as primer coat for AA 2024-T3”. Materials Chemistry and Physics. 153 (2015) 256-265
- [29] P. Muhamed Ashraf, K.V. Lalitha ,Leela Edwin” Synthesis of polyaniline hybrid composite: A new and efficient sensor for the detection of total volatile basic nitrogen molecules”. Sensors and Actuators B. 208 (2015) 369–378
- [30] Ke-Qiang Ding “Cyclic Voltammetrically Prepared MnO₂-Polyaniline Composite And Its Electrocatalysis for Oxygen Reduction Reaction (ORR)”, Journal of the Chinese Chemical Society. 56 (2009) 891-897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

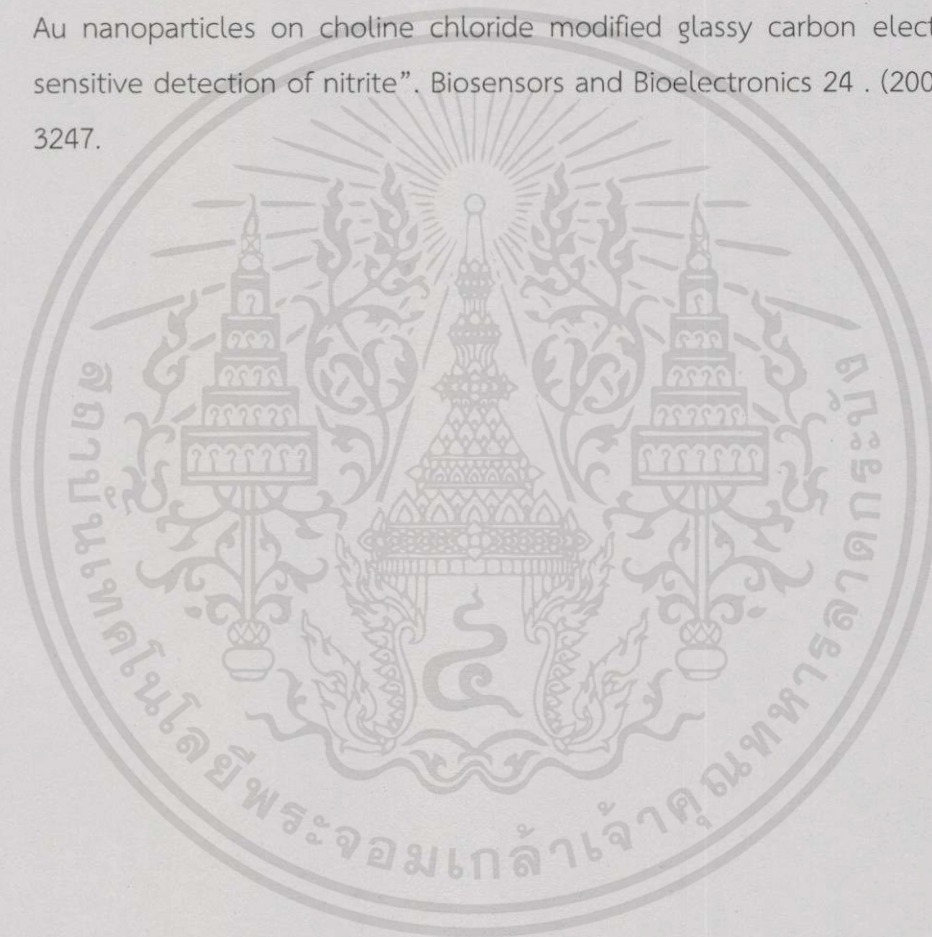
- [31] Jianyin Zhang, Zhiyong Wang , Yanzhong Hong , Shengxian Li , Xianbo Jin, George Z. Chen“Electrochemical fabrication of porous Sn/SnSb negative electrodes from mixed SnO₂-Sb₂O₃”.*Electrochemistry Communications*. 38 (2014) 36–39
- [32] Hiroshi Iwase , Ichiro Ono” Determination of ascorbic acid in food by column liquid chromatography with electrochemical detection using eluent for prerun sample stabilization”. *Journal of Chromatography A*. 806 (1998) 361–364
- [33] Fengchun Yanga, Jing Wang, Yang Cao, Lu Zhanga, Xin Zhang. “A highly sensitive ascorbic acid sensor based on carbon-supported CoPd nanoparticles”, *Sensors and Actuators B* 205 (2014) 20–25
- [34] Bingdi Liu, Liqiang Luo, Yaping Ding, Xiaojing Si, Youli Wei, Xiaoqian Ouyang, Duo Xu.“Differential pulse voltammetric determination of ascorbic acid in the presence of folic acid at electro-deposited NiO/graphene composite film modified electrode”.*Electrochimica Acta*. 142 (2014) 336–342
- [35] Nasrin Soltani, Nahid Tavakkoli ,Nasrin Ahmadi , Fateme Davar. “Simultaneous determination of acetaminophen, dopamine and ascorbic acid using a PbS nanoparticles Schiff base-modified carbon paste electrode”. *C. R. Chimie*. 18 (2015) 438–448
- [36] Su-jin Kima, Yu Lim Kima,¹ Areum Yua, Jiyoun Leea, Sang Cheol Lee.b,Chongmok Leea, Myung Hwa Kima, Youngmi Lee “Electrospun iridium oxide nanofibers for direct selective electrochemical detection of ascorbic acid”. *Sensors and Actuators B*. 196 (2014) 480–488
- [37] Xin Zhang, Youli Wei, Yaping Ding.” Electrocatalytic oxidation and Voltammetric determination of ciprofloxacin employing poly(alizarin red)/graphene composite film in the presence of ascorbic acid, uric acid and dopamine”.*Analytica Chimica Acta*. 835 (2014) 29–36
- [38] Tayyebeh Madrakian. “Simultaneous determination of tyrosine, acetaminophen and ascorbic acid using gold nanoparticles/multiwalled carbonnanotube/ glassy carbon electrode by differential pulse voltammetric method”. *Sensors and Actuators B*. 193 (2014) 451–460
- [39] Tzu-Lung Lu, Yu-Chen Tsai.” Electrocatalytic oxidation of acetylsalicylic acid at multiwalled carbon nanotube-alumina-coated silica nanocomposite modified glassy carbon electrodes”. *Sensors and Actuators B*. 148 (2010) 590–594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] Edyta Wudarska, Ewa Chrzescijanska*, Elzbieta Kusmierk, Jacek Rynkowski, "Voltammetric studies of acetylsalicylic acid electrooxidation at platinum electrode". *ElectrochimicaActa*. 93 (2013) 189–194
- [41] Rajendra N Goyal, SunitaBishnoi, BharatiAgrawal. "Electrochemical sensor for the simultaneous determination of caffeine and aspirin in human urine samples". *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 655 (2011) 97–102
- [42] Umasankar Yogeswaran, Soundappan Thiagarajan, Shen-Ming Chen. "Nanocomposite of functionalized multiwall carbon nanotubes with nafion, nano platinum, and nano gold biosensing film for simultaneous determination of ascorbic acid, epinephrine, and uric acid". *Analytical Biochemistry*. 365 (2007) 122–131
- [43] V. F. C. Lins¹, M. M. R. Castro², C. R. Araújo³, D. B. Oliveira⁴. "EFFECT OF NICKEL AND MAGNESIUM ON ZINC ELECTROWINNING USING SULFATE SOLUTIONS". *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 03, 475 - 482, July - September, 2011.
- [44] Narcís Pous a, Christin Koch b, Jesús Colprima, Sebastià Puig a, Falk Harnisch b, "Extracellular electron transfer of biocathodes: Revealing the potentials for nitrate and nitrite reduction of denitrifying microbiomes dominated by *Thiobacillus* sp." *Electrochemistry Communications* . 49 (2014) 93–97.
- [45] Florica Maneaa*, Adriana Remesa, Ciprian Radovanb, Rodica Podea, Stephen Pickenc, Joop Schoonmanc. "Simultaneous electrochemical determination of nitrate and nitrite in aqueous solution using Ag-doped zeolite-expanded graphite-epoxy electrode". *Talanta* .83 (2010) 66–71.
- [46] Lingen Sun^a, Yixuan Maa, Pei Zhang^a, LongChao^a, TingHuang^a, QingjiXie^{a,n}, Chao Chen^{a,n}, ShouzhuoYao^{a,b}, "An amperometric enzyme electrode and its biofuel cell based on a glucose oxidase-poly(3-anilineboronic acid)-Pd nanoparticles bionanocomposite for glucose biosensing". *Talanta*. 138 (2015) 100–107.
- [47] Xinyu Zheng, Xuechou Zhou, Xiaoyan Ji, Ruiyu Lin*, Wenxiong Lin*. "Simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid using poly(4-aminobutyric acid) modified glassy carbon electrode". *Sensors and Actuators B* . 178 (2013) 359– 365.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] Xiao Liu, Liqiang Luo, Yaping Ding , Daixin Ye. "Poly-glutamic acid modified carbon nanotube-doped carbon paste electrode for sensitive detection of L-tryptophan". *Bioelectrochemistry*. 82 (2011) 38–45.
- [49] P.S. Ganesh, B.E. Kumara Swamy. "Simultaneous electroanalysis of norepinephrine, ascorbic acid and uric acid using poly(glutamic acid) modified carbon paste electrode". *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 752 (2015) 17–24.
- [50] PoWang^a, Zhibin Mai^a, Zong Dai^a, Yongxin Li^b, Xiaoyong Zou^a, "Construction of Au nanoparticles on choline chloride modified glassy carbon electrode for sensitive detection of nitrite". *Biosensors and Bioelectronics* 24 . (2009) 3242–3247.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

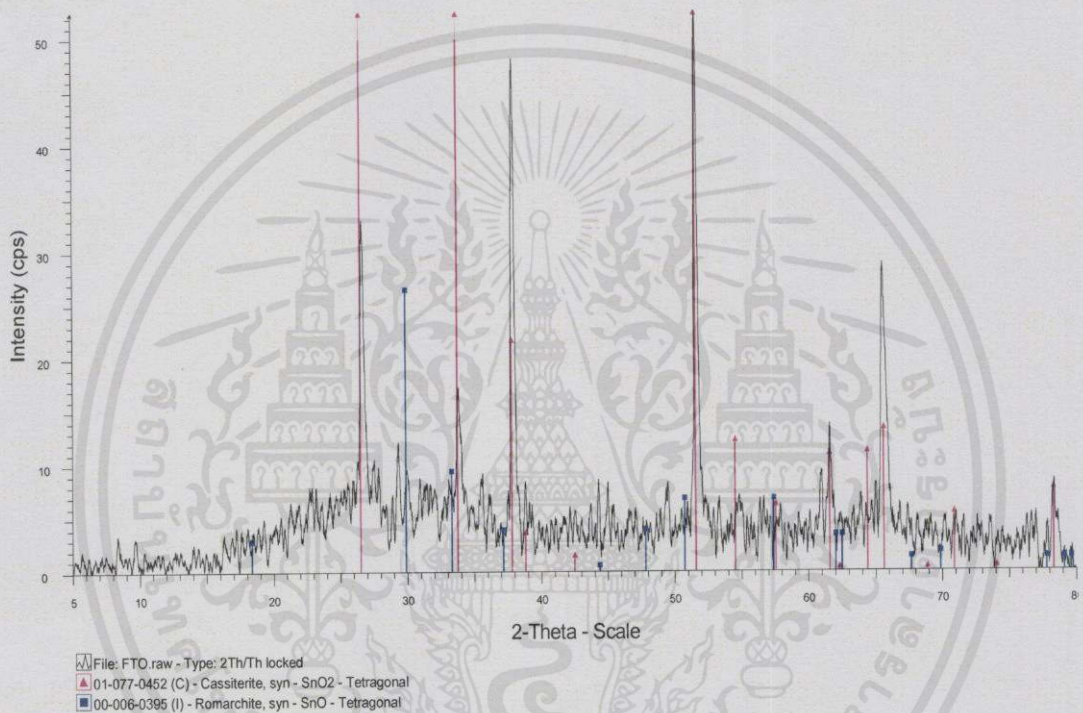


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

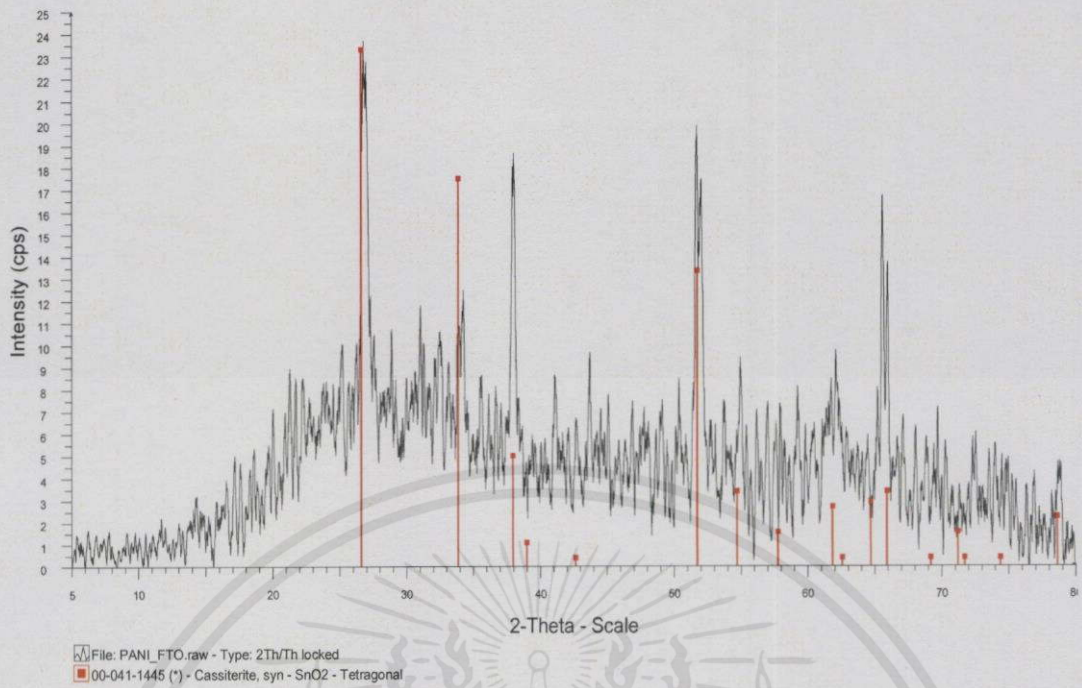
การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ
ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ก.1 ผลจากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

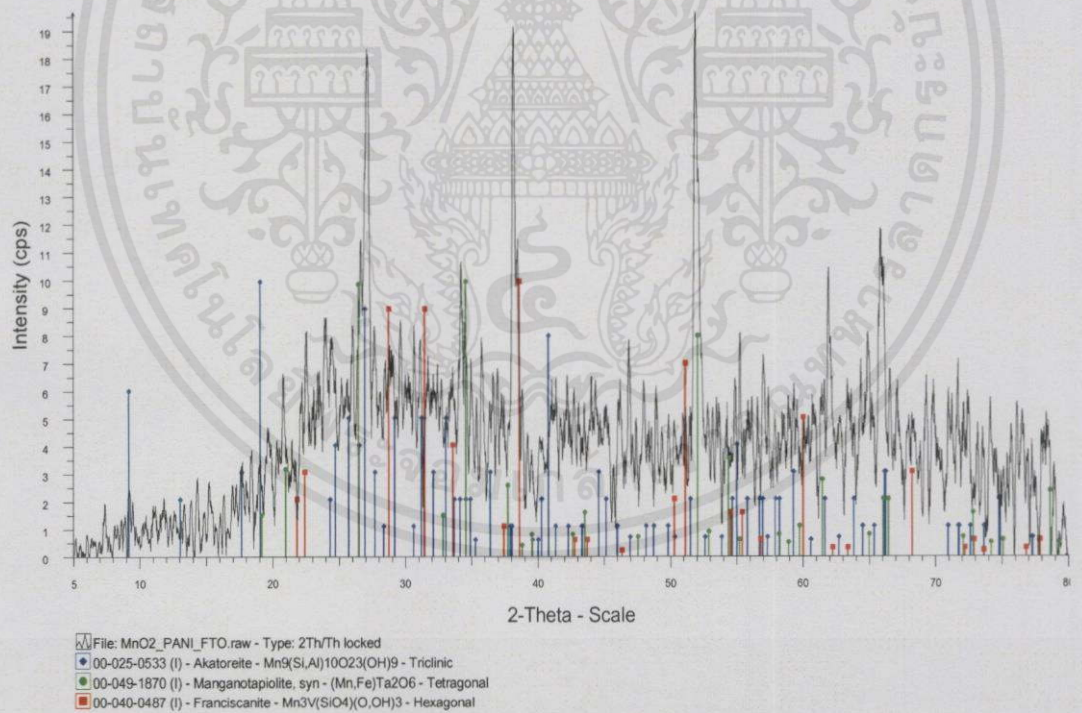


รูปที่ ก.1 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของชั้นไฟฟ้าทึบออกไซด์เจือฟลูออรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

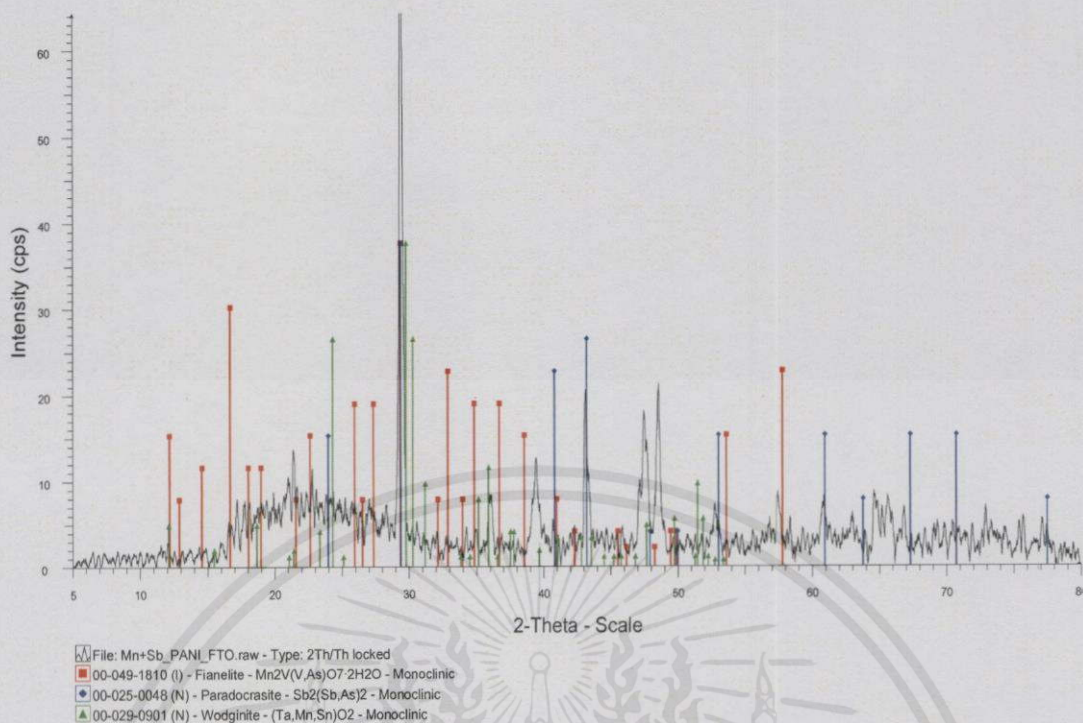


รูปที่ ก.2 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยพอลิอะนิลีน



รูปที่ ก.3 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วย

เอกสารนี้ แอมกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 กราฟจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนปรับปรุงด้วยอนุภาคแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายต่างๆ

ข.1 การเตรียมสารละลายอะนิลีนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 1.0 โมลาร์

อะนิลีนที่ใช้มีความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์, มวลโมเลกุล 93.13 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.021 กรัมต่อมิลลิลิตร

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

$$\frac{0.05 \times 50}{1000} = \frac{g}{93.13}$$

$$g = 0.2328 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมต้องชั่งอะนิลีนมา 0.2328 กรัม และทำการเจือจางในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

หมายเหตุ ที่ความเข้มข้นอื่นก็เตรียมด้วยวิธีเช่นนี้

ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\frac{0.1 \times 50}{1000} = \frac{g}{93.13}$$

$$g = 0.4656 \text{ g}$$

ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

$$\frac{1.0 \times 50}{1000} = \frac{g}{93.13}$$

$$g = 0.2328 \text{ g}$$

ข.2 การเตรียมสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1 และ 1.0 โมลาร์

แอนติโมนีไตรคลอไรด์ที่ใช้มีมวลโมเลกุล 228.11 กรัมต่อโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกที่ $\frac{CV}{1000}$ ให้คัดแปล = เนื้อหา $\frac{g}{Mw}$ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{0.01 \times 50}{1000} = \frac{g}{228.11}$$

$$g = 0.1140 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมต้องชั่งแอนติไตรีคลอไรด์ 0.1140 กรัมและทำการเจือจางในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
หมายเหตุ ที่ความเข้มข้นอื่นก็เตรียมด้วยวิธีเช่นนี้
ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

$$\frac{0.05 \times 50}{1000} = \frac{g}{228.11}$$

$$g = 0.5703 \text{ g}$$

ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\frac{0.1 \times 50}{1000} = \frac{g}{228.11}$$

$$g = 1.1405 \text{ g}$$

ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

$$\frac{1.0 \times 50}{1000} = \frac{g}{228.11}$$

$$g = 11.4055 \text{ g}$$

ข.3 การเตรียมสารละลายแมงกานีสไนเตรดที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1 และ 1.0 โมลาร์
แมงกานีสไนเตรดที่ใช้มีมวลโมเลกุล 178.95 กรัมต่อโมล

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

$$\frac{0.01 \times 50}{1000} = \frac{g}{178.95}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = 0.0895 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมต้องชั่งแมงกานีสไนเตรต 0.0895 กรัมและทำการเจือจางในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

หมายเหตุ ที่ความเข้มข้นอื่นก็เตรียมด้วยวิธีเช่นนี้

ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

$$\frac{0.05 \times 50}{1000} = \frac{g}{178.95}$$

$$g = 0.5703g$$

ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\frac{0.1 \times 50}{1000} = \frac{g}{178.95}$$

$$g = 0.8947g$$

ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

$$\frac{1.0 \times 50}{1000} = \frac{g}{178.95}$$

$$g = 8.9475g$$

ข.4 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ

1. สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากกรดอะซิติก (CH_3COOH) 99.5 เปอร์เซ็นต์ที่มีมวลโมเลกุล 60.05 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.0501 กรัมต่อมิลลิลิตร ผสมกับโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) มวลโมเลกุล 136.08 กรัมต่อโมล

- เตรียมกรดอะซิติก (CH_3COOH) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\text{จากสูตร} \quad C = \frac{10 \times \% \times d}{Mw}$$

$$C = \frac{10 \times 99.5 \times 1.0501}{60.05} = 17.3997M$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งาน 60.05 วิชาศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

$$17.3997 M \times V_1 = 0.1 M \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.5747 \text{ ml}$$

ดังนั้น การเตรียมกรดอะซิติก (CH_3COOH) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะต้องปิเปตกรดอะซิติกมา 0.5747 มิลลิลิตรและทำการเจือจางในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

- เตรียมโซเดียมอะซิเตท(CH_3COONa)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{82.035}$$

$$g = 0.8204 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตท(CH_3COONa)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 0.8204 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบิฟเฟอริที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากไดโพแทสเซียมฟอสเฟต(K_2HPO_4)ที่มีมวลโมเลกุล 174.2 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 2.44 กรัมต่อมิลลิลิตร ผสมกับโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(KH_2PO_4) มวลโมเลกุล 136.09 กรัมต่อโมล

- เตรียมไดโพแทสเซียมฟอสเฟต(K_2HPO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{174.18}$$

$$g = 1.742 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียมฟอสเฟต(K_2HPO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 1.742 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

- เตรียมโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(KH_2PO_4) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในนามของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์การค้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{136.09}$$

$$g = 1.3609 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียมฟอสเฟต(K_2HPO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 1.3609 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(NaH_2PO_4)ที่มีมวลโมเลกุล 156.01 กรัมต่อโมลผสมกับไดโซเดียมไฮดรเจนฟอสเฟต(Na_2HPO_4) มวลโมเลกุล 141.96 กรัมต่อโมล

- เตรียมโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(NaH_2PO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{156.01}$$

$$g = 1.5601 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(NaH_2PO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 1.5601 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

- เตรียมไดโซเดียมไฮดรเจนฟอสเฟต(Na_2HPO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{141.46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ดังนั้น การเตรียมสารละลายไดโซเดียมไฮดรเจนฟอสเฟต(Na_2HPO_4)ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 1.4196 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตรไดโซเดียมไฮดรเจนฟอสเฟต(Na_2HPO_4) 100 มิลลิลิตร

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีมวลโมเลกุล 39.997 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 2.1 กรัมต่อมิลลิลิตร

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{0.1 \times 100}{1000} = \frac{g}{39.997}$$

$$g = 0.39997 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 0.39997 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์

เตรียมจากโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่มีมวลโมเลกุล 74.555 กรัมต่อโมลและความหนาแน่น 1.987 กรัม/มิลลิลิตร

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{1 \times 250}{1000} = \frac{g}{74.555}$$

$$g = 18.6375 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 18.6375 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

6. สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ไรไซยานด์ ($K_3[Fe(CN)_6]$) ที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์เตรียมจากโพแทสเซียมเฟอร์ไรไซยานด์ ($K_3[Fe(CN)_6]$) ที่มีมวลโมเลกุล 329.2 กรัม/โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ล้วน อีกที่... ให้คัดปดส... เนื้อ... ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{0.005 \times 100}{1000} = \frac{g}{329.2}$$

$$g = 0.823g$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 0.823 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

7. กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 1.0, 2.0, 2.5 และ 3.0 โมลาร์

เตรียมจากกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีมวลโมเลกุล 36.5 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากสูตร $C = \frac{10 \times \% \times d}{Mw}$

$$C = \frac{10 \times 37 \times 1.19}{36.5} = 12.06M$$

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 M \times V_1 = 0.01 M \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.0829 \text{ ml}$$

ดังนั้น การเตรียมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ต้องบีบกรดไฮโดรคลอริก 1.206 มิลลิลิตร และทำการเจือจางในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ ที่ความเข้มข้นอื่นก็เตรียมด้วยวิธีเช่นนี้

ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 M \times V_1 = 0.05 M \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.4146 \text{ ml}$$

ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 M \times V_1 = 0.1 M \times 100 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 8.2919 \text{ ml}$$

ที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 \text{ M} \times V_1 = 2 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 16.5837 \text{ ml}$$

ที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 \text{ M} \times V_1 = 2.5 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 20.7297 \text{ ml}$$

ที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$12.06 \text{ M} \times V_1 = 3 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 24.8756 \text{ ml}$$

8. สารละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากกรดไนตริก(HNO_3) ที่มีมวลโมเลกุล 63.01 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.51 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากสูตร $C = \frac{10 \times \% \times d}{Mw}$

$$C = \frac{10 \times 60.09 \times 1.51}{63.01} = 14.4 \text{ M}$$

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$$14.4 \text{ M} \times V_1 = 0.1 \text{ M} \times 100 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.694 \text{ ml}$$

ดังนั้น การเตรียมกรดไนตริก(HNO_3) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ต้องปิเปตกรดไนตริก 0.694 มิลลิลิตรและทำการเจือจางในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

9. สารละลายซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากกรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) ที่มีมวลโมเลกุล 98.078 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.835 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากสูตร $C = \frac{10 \times \% \times d}{Mw}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือทำซ้ำในสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{10 \times 96 \times 1.835}{98.078} = 17.96 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 17.96 \text{ M} \times V_1 &= 0.1 \text{ M} \times 100 \text{ ml} \\ V_1 &= 0.5568 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมกรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ต้องปิเปตกรดซัลฟิวริก 0.5568 มิลลิลิตรและทำการเจือจางในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

9. สารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เตรียมจากกรดฟอสฟอริก(H_3PO_4) ที่มีมวลโมเลกุล 97.995 กรัม/โมล และความหนาแน่น 1.689 กรัม/มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C &= \frac{10 \times \% \times d}{M_w} \\ C &= \frac{10 \times 85 \times 1.689}{97.995} = 14.65 \text{ M} \\ \text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 14.65 \text{ M} \times V_1 &= 0.1 \text{ M} \times 100 \text{ ml} \\ V_1 &= 0.682 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น การเตรียมกรดฟอสฟอริก(H_3PO_4) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ต้องปิเปตกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 0.682 มิลลิลิตรและทำการเจือจางในน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

เตรียมจากกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่มีมวลโมเลกุล 186.16 กรัม/โมล

- ที่ความเข้มข้น 0.002 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ CV แปลง g/1000 เป็น g/Mw และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{CV}{1000} = \frac{g}{M_w}$$

$$\frac{0.002 \times 25}{1000} = \frac{g}{186.16}$$

$$g = 0.0090089 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 0.0090 กรัม ละลายในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ พีเอช4, สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช4 และพีเอช7, ที่ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

- ที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์

จากสูตร

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

$$\frac{5 \times 100}{1000} = \frac{g}{194.191}$$

$$g = 97.0955 \text{ mg}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ต้องชั่งสารมา 97.0955 มิลลิกรัม ละลายในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ พีเอช4และพีเอช7, สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช4 และพีเอช7ที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

ค. 1 การคำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

การตรวจสอบ และการคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดการตรวจวัดนั้นทำการทดสอบจากการป้อน ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง โดยทำการตรวจสอบ และคำนวณตามวิธีการของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

ทำการศึกษาค่าขีดจำกัดการตรวจวัด และขีดจำกัดการวิเคราะห์ ของขั้วไฟฟ้าปรับปรุงนาโนคอมโพสิตชนิดแอนติโมนีไดรอกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับพอลิอะนิลีนบนขั้วไฟฟ้าทินออกไซด์เจือฟลูออรีนจะได้สมการเชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ $y = 0.1651x + 0.4079$ และ $R^2 = 0.9991$ และ จะได้สมการเชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของกรดอะซีทิลซาลิซิลิกเท่ากับ $y = 0.1108x + 0.2309$ ค่า $R^2 = 0.9994$

ตารางที่ ค.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกและซีทาลิซิลิกที่เติมลงไปกับค่ากระแสที่วัดได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี (Differential-pulse Voltammetry)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (10^{-13} M)	ค่ากระแสไฟฟ้า (μ A)	
	AA	ASA
0.1	0.40	0.24
0.2	0.45	0.25
0.35	0.48	0.27
0.5	0.50	0.30
0.7	0.53	0.32
1.0	0.59	0.35
1.4	0.62	0.38
1.9	0.71	0.44
2.5	0.83	0.50
3.2	0.93	0.58

4.0	1.08	0.69
4.9	1.21	0.78
5.9	1.37	0.88
7.4	1.63	1.06
9.4	1.97	1.27

กำหนดให้ X_i คือ ค่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

Y_i คือ ค่ากระแสของ Blank

\hat{Y}_i คือ ค่ากระแสที่ได้จากแอมพโรแกรม $\hat{Y}_i = 0.1651X_i + 0.4079$

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าที่นำมาใช้คำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดแอสคอร์บิก

X_i	Y_i	\hat{Y}_i	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$
1.00×10^{-14}	4.10007×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.10700×10^{-16}	4.43945×10^{-32}
2.00×10^{-14}	4.10107×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.20700×10^{-16}	4.87085×10^{-32}
3.50×10^{-14}	4.10207×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.30700×10^{-16}	5.32225×10^{-32}
5.00×10^{-14}	4.10227×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.32700×10^{-16}	5.41493×10^{-32}
7.00×10^{-14}	4.10257×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.35700×10^{-16}	5.55545×10^{-32}
1.00×10^{-13}	4.10277×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.37700×10^{-16}	5.65013×10^{-32}
1.40×10^{-13}	4.10297×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.39700×10^{-16}	5.74561×10^{-32}
1.90×10^{-13}	4.10317×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.41700×10^{-16}	5.84189×10^{-32}
2.50×10^{-13}	4.10337×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.43700×10^{-16}	5.93897×10^{-32}
3.20×10^{-13}	4.10357×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.45700×10^{-16}	6.03685×10^{-32}
4.00×10^{-13}	4.10377×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.47700×10^{-16}	6.13553×10^{-32}
4.90×10^{-13}	4.10417×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.51700×10^{-16}	6.33529×10^{-32}
5.90×10^{-13}	4.10437×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.53700×10^{-16}	6.43637×10^{-32}
7.40×10^{-13}	4.10507×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.60700×10^{-16}	6.79645×10^{-32}
9.40×10^{-13}	4.10607×10^{-14}	4.08000×10^{-14}	2.70700×10^{-16}	7.32785×10^{-32}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ผลรวมของ $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$ มีค่าเท่ากับ 8.78479×10^{-31} หากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เนื่องจาก
blank มีสัญญาณ ตัวส่วนจึงเป็น $n-2$

$$\begin{aligned}
 SD &= \frac{\sqrt{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}}{\sqrt{n-2}} \\
 &= \frac{\sqrt{\sum 8.78479 \times 10^{-31}}}{\sqrt{13}} \\
 &= 2.59952 \times 10^{-16}
 \end{aligned}$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 2.59952×10^{-16}

ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจพบ (LOQ) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 LOD &= \frac{3SD \text{ of Blank}}{\text{Slope}} \\
 LOQ &= \frac{10SD \text{ of Blank}}{\text{Slope}} \\
 \text{ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD)} &= 3 \times \frac{2.59952 \times 10^{-16}}{0.1651} \\
 &= 4.772355 \times 10^{-15} \text{ M} \\
 \text{ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจพบ (LOQ)} &= 10 \times \frac{2.59952 \times 10^{-16}}{0.1651} \\
 &= 1.57452 \times 10^{-14} \text{ M}
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ X_j คือ ค่าความเข้มข้นของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

Y_j คือ ค่ากระแสของ Blank

\hat{Y}_j คือ ค่ากระแสที่ได้จากแอมพโรแกรม $\hat{Y}_j = 0.1108X_i + 0.2309$

ตารางที่ ค.3 แสดงค่าที่นำมาใช้คำนวณขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) ของกรดอะเซทิลซาลิซิลิก

X_j	Y_j	\hat{Y}_j	$Y_j - \hat{Y}_j$	$(Y_j - \hat{Y}_j)^2$
1.00×10^{-14}	2.33116×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.21600×10^{-16}	4.91066×10^{-32}
2.00×10^{-14}	2.33136×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.23600×10^{-16}	4.9997×10^{-32}
3.50×10^{-14}	2.33246×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.34600×10^{-16}	5.50372×10^{-32}
5.00×10^{-14}	2.33276×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.37600×10^{-16}	5.64538×10^{-32}

7.00×10^{-14}	2.33306×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.40600×10^{-16}	5.78884×10^{-32}
1.00×10^{-13}	2.33356×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.45600×10^{-16}	6.03194×10^{-32}
1.40×10^{-13}	2.33376×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.47600×10^{-16}	6.13058×10^{-32}
1.90×10^{-13}	2.33416×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.51600×10^{-16}	6.33026×10^{-32}
2.50×10^{-13}	2.33436×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.53600×10^{-16}	6.4313×10^{-32}
3.20×10^{-13}	2.33476×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.57600×10^{-16}	6.63578×10^{-32}
4.00×10^{-13}	2.33556×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.65600×10^{-16}	7.05434×10^{-32}
4.90×10^{-13}	2.33586×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.68600×10^{-16}	7.2146×10^{-32}
5.90×10^{-13}	2.33616×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.71600×10^{-16}	7.37666×10^{-32}
7.40×10^{-13}	2.33706×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	2.80600×10^{-16}	7.87364×10^{-32}
9.40×10^{-13}	2.33906×10^{-14}	2.31000×10^{-14}	3.00600×10^{-16}	9.03604×10^{-32}

ผลรวมของ $(Y_j - \hat{Y}_j)^2$ มีค่าเท่ากับ 9.6963×10^{-31}

หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เนื่องจาก blank มีสัญญาณ ตัวส่วนจึงเป็น n-2

$$\begin{aligned} \text{SD} &= \frac{\sqrt{\sum (Y_j - \hat{Y}_j)^2}}{\sqrt{n-2}} \\ &= \frac{\sqrt{9.6963 \times 10^{-31}}}{\sqrt{13}} \end{aligned}$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 2.73107×10^{-16}

$$\begin{aligned} \text{ขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD)} &= 3 \times \frac{2.73107 \times 10^{-16}}{0.1108} \\ &= 7.39458 \times 10^{-15} \text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจพบ (LOQ)} &= 10 \times \frac{2.73107 \times 10^{-16}}{0.1108} \\ &= 2.46486 \times 10^{-13} \text{M} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)
ตามข้อกำหนด AOAC

ง.1 วิธีการคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้จากสมการ

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

$C_{\text{spiked sample}}$ = ความเข้มข้นของ Spiked sample

C_{sample} = ความเข้มข้นของตัวอย่าง (Sample)

C_{standard} = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (Standard)

วิธีการคำนวณ จากตัวอย่างที่ 1 ที่เวลา 1 ชั่วโมง มีการเติมสารตัวอย่าง 0.1×10^{-13} ml

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(-0.056366) - (-0.156894)}{0.1} \times 100\% = 100.528$$

ตารางที่ ง.1 แสดงค่าที่นำมาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิกในตัวอย่าง

ตัวอย่าง	Current (μA)	Found (mol/L^{-1})	Current (μA)	Sample (mol/L^{-1})	Std ($\times 10^{-3} \text{mol/L}^{-1}$)	Recovery (%)
1	0.57	-0.0564	0.55	-0.1569	0.1	100.53
	0.75	0.9007	0.56	-0.1104	1.0	101.11
	1.10	2.7316	0.63	0.2224	2.5	100.37
2.5	0.87	0.0047	0.85	-0.0952	0.1	99.95
	1.07	1.0356	0.88	0.0309	1.0	100.47
	1.38	2.6630	0.89	0.1198	2.5	101.73

4	ชม.	0.60	0.0518	0.58	-0.0497	0.1	101.44	
		0.78	1.0128	0.59	0.0032	1.0	100.96	
		1.07	2.5371	0.60	0.0518	2.5	99.41	
2	1	ชม.	0.86	-0.0074	0.85	-0.1082	0.1	100.84
			1.05	0.9879	0.87	-0.0047	1.0	99.26
			1.39	2.7526	0.91	0.2264	2.5	101.05
	2.5	ชม.	1.31	0.1792	1.28	0.0777	0.1	101.55
			1.50	1.0358	1.27	0.0291	1.0	100.66
			1.76	2.1660	1.19	-0.3329	2.5	99.96
	4	ชม.	3.77	0.1821	3.74	0.0821	0.1	100.00
			3.96	1.0379	3.73	0.0304	1.0	100.76
			4.28	2.4679	3.72	-0.0138	2.5	99.27

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าที่นำมาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับของการวิเคราะห์กรดอะซีทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง

ตัวอย่าง	Current (μA)	Found (mol/L^{-1})	Current (μA)	Sample (mol/L^{-1})	Std ($\times 10^{-3} \text{mol/L}^{-1}$)	Recovery (%)		
1	1	ชม.	0.2976	0.0982776	0.2877	-0.002026	0.1	100.30
			0.4445	1.5866261	0.345	0.5785208	1.0	100.81
			0.5987	3.1489362	0.352	0.6494428	2.5	99.98
	2.5	ชม.	0.3000	0.0612033	0.2903	-0.039419	0.1	100.62
			0.4001	1.0995851	0.304	0.1026971	1.0	99.69
			0.5257	2.4024896	0.287	-0.073651	2.5	99.05
	4	ชม.	0.2433	0.0766088	0.2334	-0.024515	0.1	101.12
			0.3455	1.1205312	0.246	0.1041879	1.0	101.63
			0.4789	2.4831461	0.234	-0.018386	2.5	100.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการวิจัยทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	1 ชม.	0.3657	0.1794145	0.355	0.0783758	0.1	101.04
		0.4655	1.121813	0.36	0.1255902	1.0	99.62
		0.6200	2.5807365	0.352	0.0500472	2.5	101.23
	2.5 ชม.	0.4423	0.0405797	0.432	-0.058937	0.1	99.517
		0.5322	0.9091787	0.427	-0.107246	1.0	101.64
		0.6987	2.5178744	0.439	0.0086957	2.5	100.37
	4 ชม.	0.5421	0.0344828	0.5317	-0.065134	0.1	99.62
		0.6455	1.0249042	0.541	0.0239464	1.0	100.10
		0.8211	2.7068966	0.559	0.1963602	2.5	100.42

ตารางที่ ง.3 ตารางแสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน(Coefficient) หรือค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation)

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

วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ได้จากสมการ

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

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าที่นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิก
การเติมสารตัวอย่างครั้งแรกในตัวอย่างที่ 1 ชั่วโมง

ครั้งที่	Add1
1	9.29×10^{-7}
2	9.54×10^{-7}
3	9.40×10^{-7}
4	9.19×10^{-7}
5	9.01×10^{-7}
AVERAGE	9.29×10^{-7}
SD	2.02571×10^{-8}
%RSD	2.181348702

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง

Added (molL ⁻¹)		Urine 1						Urine 2					
		1 hours		2.5 hours		4 hours		1 hours		2.5 hours		4 hours	
		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)	
AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA
0.4001	0.2348	2.18	2.49	1.12	2.26	0.99	0.53	1.49	0.99	1.26	2.02	1.22	1.59
0.4501	0.2540	1.66	0.84	1.32	2.55	1.95	0.53	2.08	1.65	1.15	0.97	1.26	1.06
0.4755	0.2717	0.75	1.78	1.37	3.56	1.08	2.47	1.22	1.53	1.04	0.95	1.41	0.57
0.5022	0.2979	1.23	0.80	1.40	2.67	1.73	0.43	1.66	1.97	1.11	0.82	1.22	1.09
0.5323	0.3192	0.90	0.72	1.33	1.50	2.82	2.20	1.10	1.93	1.51	1.55	1.28	0.86
0.5933	0.3346	1.30	1.17	1.27	1.24	0.98	1.27	1.71	2.21	1.76	0.85	1.28	0.64
0.6233	0.3811	1.31	1.02	1.29	0.33	0.68	1.09	1.20	1.59	2.27	0.87	1.6	2.01
0.7046	0.4356	1.24	1.02	1.74	0.26	0.79	1.14	1.83	2.02	1.34	1.42	2.04	0.57
0.8250	0.5000	1.35	1.63	1.09	0.55	2.05	2.50	1.10	0.90	1.28	1.19	0.89	1.74
0.9262	0.5800	1.18	1.00	1.28	0.92	1.43	2.63	1.16	0.94	1.30	1.13	1.04	1.86
1.0844	0.6901	0.99	0.66	1.09	0.34	2.49	3.25	1.33	2.85	1.65	0.92	1.24	2.30
1.2054	0.7764	1.39	0.90	1.22	0.35	1.04	1.03	1.90	2.21	1.44	0.88	0.84	1.33

ตารางที่ จ.2แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง (ต่อ)

Added (molL ⁻¹)		Urine 1						Urine 2					
		1 hours		2.5 hours		4 hours		1 hours		2.5 hours		4 hours	
		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)		RSD (%)	
AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA	AA	ASA
1.3700	0.8766	1.41	1.22	1.23	1.09	1.27	2.06	0.84	1.07	1.61	0.94	1.16	0.71
1.6322	1.0587	1.21	1.06	1.198	0.77	1.42	1.24	1.20	2.35	1.62	0.94	1.59	2.13
1.9700	1.2698	1.20	0.68	1.41	0.99	0.94	1.23	2.085	1.88	1.61	1.93	1.41	0.64

ภาคผนวก ฉ

ผลการคำนวณกลับหาปริมาณสารละลายกรดแอสคอบิกและ กรดอะเซททิลซาลิซิลิกในตัวอย่าง

ฉ.1 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่
ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.1893x + 0.5829$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.5829}{0.1893} = 3.0792 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในปิเกตอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

จากสูตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_1 (25 \times 10^{-6} \text{ L}) = (3.0792 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L})$$

$$C_1 = 3.2332 \times 10^{-10} \text{ M}$$

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} \text{ใน } 1 \text{ L} & \text{ มี } 3.2332 \times 10^{-10} \text{ M} \\ \text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} & \text{ มี } = \frac{(3.2332 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}} \\ & = 0.0808 \times 10^{-13} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าปิเปตมา } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี [AA]} = 0.0808 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าปิเปตมา } 150 \text{ mL} \quad \text{มี [AA]} & = \frac{(0.0808 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})} \\ & = 4.8480 \times 10^{-11} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{จาก} \quad n = \frac{g}{MW}$$

$$4.8480 \times 10^{-11} \text{ M} = \frac{g}{176.14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$g = 8.5393 \times 10^{-9} \text{ g}$$

เจือจางมา 25 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $g = 2.1348 \times 10^{-7} \text{ g}$ จึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.2 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.1911x + 0.8691$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.8691}{0.1911} = 4.5479 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในบีกเกอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ C_1 (25 \times 10^{-6} \text{ L}) &= (4.5479 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L}) \\ C_1 &= 4.7708 \times 10^{-10} \text{ M} \end{aligned}$$

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} \text{ใน } 1 \text{ L} \quad &\text{มี } 4.7708 \times 10^{-10} \text{ M} \\ \text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad &\text{มี } = \frac{(4.7708 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}} \\ &= 0.1193 \times 10^{-13} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าปิเปตมา } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี [AA]} = 0.1193 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าปิเปตมา } 150 \text{ mL} \quad \text{มี [AA]} &= \frac{(0.1193 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})} \\ &= 7.1561 \times 10^{-11} \text{ M} \end{aligned}$$

จาก

$$\begin{aligned} n &= \frac{g}{\text{MW}} \\ 7.1561 \times 10^{-11} \text{ M} &= \frac{g}{176.14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ g &= 1.2605 \times 10^{-8} \text{ g} \end{aligned}$$

เจือจางมา 25 เท่า

$$\begin{aligned} g &= 1.2605 \times 10^{-8} \text{ g} \times 25 \\ g &= 3.1512 \times 10^{-7} \text{ g} \end{aligned}$$

ฉ.3 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.1873x + 0.5903$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา $\frac{0.5903}{0.1873}$ ดังอิงเงินจ่ายเอกสารฉบับนี้ครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.5903}{0.1873} = 3.1516 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในบีกเกอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_1(25 \times 10^{-6} \text{ L}) = (3.1516 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L})$$

$$C_1 = 3.3060 \times 10^{-10} \text{ M}$$

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} \text{ใน } 1 \text{ L} & \quad \text{มี } 3.3060 \times 10^{-10} \text{ M} \\ \text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} & \quad \text{มี } = \frac{(3.3060 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}} \\ & = 0.0827 \times 10^{-13} \text{ M} \end{aligned}$$

ถ้าปิเปตมา $25 \times 10^{-6} \text{ L}$ มี [AA] = $0.0827 \times 10^{-13} \text{ M}$

ถ้าปิเปตมา 150 mL มี [AA] = $\frac{(0.0827 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})}$
 $= 4.9590 \times 10^{-11} \text{ M}$

จาก

$$n = \frac{g}{MW}$$

$$4.9590 \times 10^{-11} \text{ M} = \frac{g}{176.14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$g = 8.7349 \times 10^{-9} \text{ g}$$

เจือจางมา 25 เท่า

$$g = 8.7349 \times 10^{-9} \text{ g} \times 25$$

$$g = 2.1837 \times 10^{-7} \text{ g}$$

๘.4 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.0987x + 0.2879$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.2879}{0.0987} = 2.9169 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในบีกเกอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง $C_1(25 \times 10^{-6} \text{ L}) = (2.0839 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L})$ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปล C_1 หรือ $= 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}$ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} \text{ใน } 1 \text{ L} & \quad \text{มี } 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M} \\ \text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} & \quad \text{มี } = \frac{(2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}} \\ & = 0.0547 \times 10^{-13} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าปิเปตมา } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี [AA]} = 0.0547 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าปิเปตมา } 150 \text{ mL} & \quad \text{มี [AA]} = \frac{(0.0547 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})} \\ & = 3.2820 \times 10^{-11} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{จาก} \quad n = \frac{g}{MW}$$

$$3.2820 \times 10^{-11} \text{ M} = \frac{g}{180.157 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$g = 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g}$$

เจือจางมา 25 เท่า

$$g = 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g} \times 25$$

$$g = 1.4782 \times 10^{-7} \text{ g}$$

ฉ.5 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 2.5 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.0964x + 0.2941$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.2941}{0.0964} = 3.0508 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในบีกเกอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

จากสูตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_1 (25 \times 10^{-6} \text{ L}) = (2.0839 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L})$$

$$C_1 = 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}$$

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\text{ใน } 1 \text{ L} \quad \text{มี } 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}$$

$$\text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี } = \frac{(2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 1 L อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ถ้าปิเปตมา } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี [AA]} = 0.0547 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าปิเปตมา 150 mL} \quad \text{มี [AA]} &= \frac{(0.0547 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})} \\ &= 3.2820 \times 10^{-11} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad n &= \frac{g}{\text{MW}} \\ 3.2820 \times 10^{-11} \text{ M} &= \frac{g}{180.157 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \\ g &= 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g} \end{aligned}$$

เจือจางมา 25 เท่า

$$\begin{aligned} g &= 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g} \times 25 \\ g &= 1.4782 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

ฉ.6 การคำนวณหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในปัสสาวะตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

วิธีคิด. จากสมการ Standard addition $y = 0.0979x + 0.2358$

$$\text{เมื่อ } y = 0 \quad x = \frac{0.2358}{0.0979} = 2.4085 \times 10^{-13} \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นที่ได้คือความเข้มข้นในบีกเกอร์ ดังนั้น ความเข้มข้นจริง คือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ C_1 (25 \times 10^{-6} \text{ L}) &= (2.0839 \times 10^{-13} \text{ M}) \times (0.026225 \text{ L}) \\ C_1 &= 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M} \end{aligned}$$

คิดเป็นปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} \text{ใน } 1 \text{ L} \quad \text{มี} & 2.1860 \times 10^{-10} \text{ M} \\ \text{ใน } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี} &= \frac{(2.1860 \times 10^{-10} \text{ M}) \times (25 \times 10^{-6} \text{ L})}{1 \text{ L}} \\ &= 0.0547 \times 10^{-13} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{ถ้าปิเปตมา } 25 \times 10^{-6} \text{ L} \quad \text{มี [AA]} = 0.0547 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$$\text{ถ้าปิเปตมา 150 mL} \quad \text{มี [AA]} = \frac{(0.0547 \times 10^{-13}) \times (150 \times 10^{-3} \text{ L})}{(25 \times 10^{-6} \text{ L})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารนี้ออกจากรายการของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3.2820 \times 10^{-11} \text{ M} = \frac{g}{180.157 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$g = 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g}$$

เจ็จางมา 25 เท่า

$$g = 5.9128 \times 10^{-9} \text{ g} \times 25$$

$$g = 1.4782 \times 10^{-7} \text{ g}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการคำนวณกลับหาค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error)

ข.1 การคำนวณหาค่าผิดพลาดสัมพัทธ์

วิธีคิด จากสมการ

$$\% \text{Relative error} = \left| \frac{Y-X}{Y} \right| \times 100\%$$

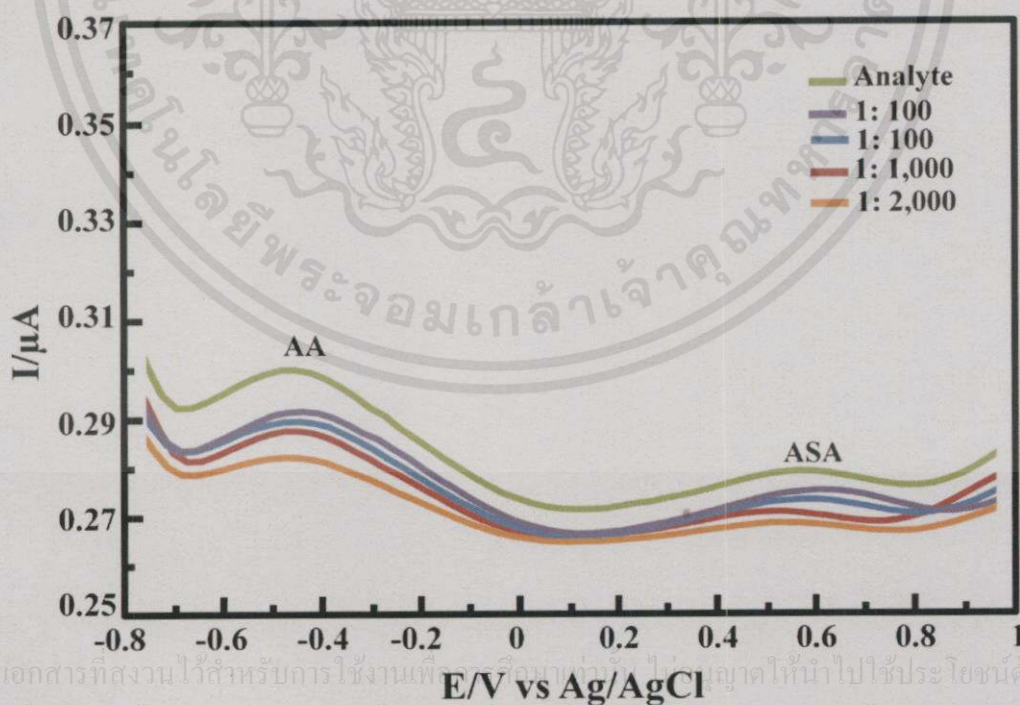
เมื่อ Y คือ ค่ากระแสจริงของการวัด

X คือ ค่ากระแสที่อ่านได้ของการวัด

จากตัวอย่างต่อ Interference ตัวที่ 1 AA : Salicylic acid ที่ 1:1

$$\begin{aligned} \% \text{Relative error} &= \left| \frac{0.3394 - 0.3361}{0.3394} \right| \times 100\% \\ &= 0.97\% \end{aligned}$$

หมายเหตุ Interference ตัวอื่นๆ ก็คำนวณด้วยวิธีเดียวกัน



รูปที่ ข.1 แสดงการรบกวนการวิเคราะห์ของไอออนอื่นๆ ต่อสารละลายมาตรฐานกรด

แอสคอบิกและสารละลายมาตรฐานกรดอะเซทิลซาลิซิลิกที่ความเข้มข้น 50×10^{-9} โมลาร์

ตารางที่ ข.1แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Salicylic acid

AA : Salicylic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
	1	2	3							
1:50	0.3347	0.3381	0.3355	0.336100	0.001778	0.3343224	0.337878	2.2831E-09	0.3394	0.97
1:100	0.3321	0.3326	0.3342	0.3329667	0.001097	0.3318697	0.334064	2.2624E-09	0.3394	1.90
1:1,000	0.3301	0.3299	0.3298	0.3299333	0.000153	0.3297806	0.330086	2.0746E-09	0.3394	2.79
1:2,000	0.3294	0.3244	0.3278	0.327200	0.002553	0.3246466	0.329753	1.7793E-09	0.3394	3.59
1:3,000	0.3277	0.3201	0.3211	0.3229667	0.004129	0.3188371	0.327096	1.4662E-09	0.3394	4.84
ASA : Salicylic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
1	2	3								
1:50	0.1331	0.1352	0.1388	0.1357000	0.002882	0.1328173	0.138583	2.2831E-09	0.1302	-4.22
1:100	0.1322	0.1347	0.1371	0.1346667	0.002450	0.1322165	0.137117	2.2624E-09	0.1302	-3.43
1:1,000	0.1315	0.1344	0.1352	0.1337000	0.001947	0.1317532	0.135647	2.0746E-09	0.1302	-2.69
1:2,000	0.1311	0.1325	0.1335	0.1323667	0.001205	0.1311611	0.133572	1.7793E-09	0.1302	-1.66
1:3,000	0.1301	0.1315	0.1322	0.1312667	0.001069	0.1301974	0.132336	1.4662E-09	0.1302	-0.82

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ L-Glutamic acid

AA : L- Glutamic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
	1	2	3							
1:50	0.3721	0.3715	0.3744	0.372666667	0.001530	0.3711359	0.374197	2.2831E-09	0.3627	-2.75
1:100	0.3701	0.3711	0.3723	0.371166667	0.001101	0.3700652	0.372268	2.2624E-09	0.3627	-2.33
1:1,000	0.3692	0.3677	0.3695	0.368800000	0.000964	0.3678356	0.369764	2.0746E-09	0.3627	-1.68
1:2,000	0.3681	0.3652	0.3674	0.366900000	0.001513	0.3653867	0.368413	1.7793E-09	0.3627	-1.16
1:3,000	0.3645	0.3641	0.3653	0.364633333	0.000611	0.3640223	0.365244	1.4662E-09	0.3627	-0.53
ASA : L- Glutamic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
	1	2	3							
1:50	0.1578	0.1583	0.1581	0.158066667	0.000251	0.157815	0.158318	2.2831E-09	0.1594	0.84
1:100	0.1575	0.1569	0.1573	0.157233333	0.000306	0.1569278	0.157539	2.2624E-09	0.1594	1.36
1:1,000	0.1559	0.1565	0.1555	0.155966667	0.000503	0.1554633	0.15647	2.0746E-09	0.1594	2.15
1:2,000	0.1551	0.1544	0.1547	0.154733333	0.00035	0.1543821	0.155085	1.7793E-09	0.1594	2.93
1:3,000	0.1529	0.1537	0.1538	0.153466667	0.00049	0.1529734	0.15396	1.4662E-09	0.1594	3.72

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Magnesium sulphate

AA : Magnesium sulphate	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.4367	0.4397	0.4376	0.4380000	0.001539	0.436461	0.439539	2.2831E-09	0.4408	0.64
1:100	0.4321	0.4388	0.4334	0.4347667	0.003553	0.431214	0.43832	2.2624E-09	0.4408	1.37
1:1,000	0.43001	0.4357	0.4315	0.4324033	0.002951	0.429453	0.435354	2.0746E-09	0.4408	1.91
1:2,000	0.4254	0.4321	0.4286	0.4287000	0.003351	0.425349	0.432051	1.7793E-09	0.4408	2.75
1:3,000	0.4235	0.4311	0.4247	0.4264333	0.004086	0.422348	0.430519	1.4662E-09	0.4408	3.26
ASA : Magnesium sulphate	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
1	2	3								
1:50	0.2421	0.2436	0.2552	0.2469667	0.007170	0.2397971	0.254136	2.2831E-09	0.2489	0.78
1:100	0.2411	0.2405	0.2501	0.2439000	0.005378	0.2385223	0.249278	2.2624E-09	0.2489	2.01
1:1,000	0.2379	0.2389	0.2495	0.2421000	0.006428	0.2356719	0.248528	2.0746E-09	0.2489	2.73
1:2,000	0.2344	0.2355	0.2478	0.2392333	0.007439	0.231794	0.246673	1.7793E-09	0.2489	3.88
1:3,000	0.2317	0.2351	0.2465	0.2377667	0.00775	0.2300147	0.245519	1.4662E-09	0.2489	4.47

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Zinc sulphate

AA : Zinc sulphate	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.7884	0.7886	0.7921	0.7897	0.002081	0.7876191	0.791781	2.2831E-09	0.7931	0.43
1:100	0.7856	0.7795	0.7876	0.7842333	0.004219	0.7800139	0.788453	2.2624E-09	0.7931	1.12
1:1,000	0.7811	0.7745	0.7845	0.7800333	0.005085	0.7749487	0.785118	2.0746E-09	0.7931	1.65
1:2,000	0.7793	0.7732	0.7773	0.7766	0.003110	0.7734903	0.77971	1.7793E-09	0.7931	2.08
1:3,000	0.7745	0.7712	0.7724	0.7727	0.001670	0.7710297	0.77437	1.4662E-09	0.7931	2.57
ASA : Zinc Sulphate	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.9554	0.9542	0.9544	0.9546667	0.000643	0.9540238	0.95531	2.2831E-09	0.9563	0.17
1:100	0.9511	0.9539	0.9537	0.9529	0.001562	0.951338	0.954462	2.2624E-09	0.9563	0.35
1:1,000	0.9503	0.9512	0.9522	0.9512333	0.000950	0.9502829	0.952184	2.0746E-09	0.9563	0.53
1:2,000	0.9496	0.9494	0.9486	0.9492	0.000529	0.9486708	0.949729	1.7793E-09	0.9563	0.74
1:3,000	0.9488	0.9476	0.9479	0.9481	0.000625	0.9474755	0.948724	1.4662E-09	0.9563	0.86

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Citric acid

AA : Citric acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.5347	0.5355	0.5402	0.5368	0.002972	0.5338285	0.5397715	2.2831E-09	0.5392	0.45
1:100	0.5323	0.5323	0.5378	0.53413333	0.003175	0.5309579	0.5373088	2.2624E-09	0.5392	0.94
1:1,000	0.5305	0.5311	0.5324	0.53133333	0.000971	0.5303621	0.53230459	2.0746E-09	0.5392	1.46
1:2,000	0.5296	0.5285	0.5288	0.52896667	0.000568	0.5283980	0.52953529	1.7793E-09	0.5392	1.90
1:3,000	0.5266	0.5277	0.5255	0.5266	0.001100	0.5255000	0.5277000	1.4662E-09	0.5392	2.34
ASA : Citric acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.4571	0.4557	0.4563	0.45636667	0.000702	0.45566429	0.457069044	2.2831E-09	0.4587	0.51
1:100	0.4528	0.4548	0.4556	0.4544	0.001442	0.4529578	0.4558422	2.2624E-09	0.4587	0.94
1:1,000	0.4511	0.4532	0.4532	0.4525	0.001212	0.4512876	0.4537124	2.0746E-09	0.4587	1.35
1:2,000	0.4487	0.4514	0.4508	0.4503	0.001418	0.4488823	0.4517177	1.7793E-09	0.4587	1.83
1:3,000	0.4473	0.4478	0.4476	0.44756667	0.000252	0.4473150	0.4478183	1.4662E-09	0.4587	2.43

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Sulfonic acid

AA : Sulfonic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
	1	2	3							
1:50	0.8213	0.8235	0.8244	0.8230667	0.001597	0.8214719	0.824661	2.2831E-09	0.8248	0.21
1:100	0.8207	0.8211	0.8237	0.8218333	0.001629	0.8202044	0.823462	2.2624E-09	0.8248	0.36
1:1,000	0.8199	0.8188	0.8218	0.8201667	0.001518	0.818649	0.821684	2.0746E-09	0.8248	0.56
1:2,000	0.8175	0.8186	0.8197	0.8186	0.001100	0.8175	0.8197	1.7793E-09	0.8248	0.75
1:3,000	0.8144	0.8175	0.8185	0.8168	0.002138	0.8146622	0.818938	1.4662E-09	0.8248	0.97
ASA : Sulfonic acid	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current \pm SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error \pm 5%
1	2	3								
1:50	0.4357	0.4365	0.4371	0.4364333	0.000702	0.435731	0.437136	2.2831E-09	0.4389	0.56
1:100	0.4345	0.4332	0.4362	0.4346333	0.001504	0.4331289	0.436138	2.2624E-09	0.4389	0.97
1:1,000	0.4319	0.4311	0.4321	0.4317	0.000529	0.4311708	0.432229	2.0746E-09	0.4389	1.64
1:2,000	0.4306	0.4294	0.4299	0.4299667	0.000603	0.4293639	0.430569	1.7793E-09	0.4389	2.04
1:3,000	0.4285	0.4277	0.4254	0.4272	0.001609	0.4255907	0.428809	1.4662E-09	0.4389	2.67

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Calcium nitrat

AA : Calcium nitrat	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.4445	0.4452	0.4438	0.4445	0.000700	0.4438	0.4452	2.2831E-09	0.4466	0.47
1:100	0.4432	0.4437	0.4427	0.4432	0.000500	0.4427	0.4437	2.2624E-09	0.4466	0.76
1:1,000	0.4405	0.4431	0.4407	0.4414333	0.001447	0.4399865	0.44288	2.0746E-09	0.4466	1.16
1:2,000	0.4386	0.4424	0.4379	0.4396333	0.002421	0.4372119	0.442055	1.7793E-09	0.4466	1.56
1:3,000	0.4366	0.4401	0.4356	0.4374333	0.002363	0.4350704	0.439796	1.4662E-09	0.4466	2.05
ASA : Calcium nitrat	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.3457	0.3446	0.3455	0.3452667	0.000586	0.3446807	0.345853	2.2831E-09	0.3474	0.61
1:100	0.3446	0.3431	0.3427	0.3434667	0.001002	0.342465	0.344468	2.2624E-09	0.3474	1.13
1:1,000	0.3421	0.3418	0.3415	0.3418	0.000300	0.3415	0.3421	2.0746E-09	0.3474	1.61
1:2,000	0.3406	0.3387	0.3399	0.3397333	0.000961	0.3387724	0.340694	1.7793E-09	0.3474	2.21
1:3,000	0.3365	0.3374	0.3382	0.3373667	0.000851	0.3365162	0.338217	1.4662E-09	0.3474	2.89

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Sodium Thio-sulphate

AA :Na ₂ S ₃ O ₃	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.8873	0.8864	0.8853	0.8863333	0.001002	0.8853317	0.887335	2.2831E-09	0.8887	0.27
1:100	0.8854	0.8832	0.8845	0.8843667	0.001106	0.8832606	0.885473	2.2624E-09	0.8887	0.49
1:1,000	0.8833	0.8811	0.8826	0.8823333	0.001124	0.8812094	0.883457	2.0746E-09	0.8887	0.72
1:2,000	0.8805	0.8807	0.8795	0.8802333	0.000643	0.8795904	0.880876	1.7793E-09	0.8887	0.95
1:3,000	0.8794	0.8779	0.8754	0.8775667	0.002021	0.8755459	0.879587	1.4662E-09	0.8887	1.25
ASA : Na ₂ S ₃ O ₃	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความ เข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.4855	0.4861	0.4874	0.4863333	0.000971	0.4853621	0.487305	2.2831E-09	0.4884	0.42
1:100	0.4846	0.4843	0.4853	0.4847333	0.000513	0.4842202	0.485246	2.2624E-09	0.4884	0.75
1:1,000	0.4823	0.4832	0.4833	0.4829333	0.000551	0.4823826	0.483484	2.0746E-09	0.4884	1.12
1:2,000	0.4812	0.4807	0.4814	0.4811	0.000361	0.4807394	0.481461	1.7793E-09	0.4884	1.50
1:3,000	0.4796	0.4789	0.4777	0.4787333	0.000961	0.4777724	0.479694	1.4662E-09	0.4884	1.98

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Copper(II) chloride dihydrate

AA : CuCl ₂	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.7211	0.7224	0.7231	0.7222	0.0010149	0.7211851	0.723215	2.2831E-09	0.7246	0.33
1:100	0.7209	0.7195	0.7209	0.7204333	0.0008083	0.719625	0.721242	2.2624E-09	0.7246	0.58
1:1,000	0.7195	0.7188	0.7167	0.7183333	0.0014572	0.7168762	0.71979	2.0746E-09	0.7246	0.86
1:2,000	0.7157	0.7175	0.7143	0.7158333	0.0016042	0.7142292	0.717437	1.7793E-09	0.7246	1.21
1:3,000	0.7136	0.7144	0.7126	0.7135333	0.0009018	0.7126315	0.714435	1.4662E-09	0.7246	1.53
ASA : CuCl ₂	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.3565	0.3552	0.3546	0.3554333	0.0009713	0.3544621	0.356405	2.2831E-09	0.3568	0.38
1:100	0.3543	0.3547	0.3537	0.3542333	0.0005033	0.35373	0.354737	2.2624E-09	0.3568	0.72
1:1,000	0.3511	0.3545	0.3521	0.3525667	0.0017474	0.3508193	0.354314	2.0746E-09	0.3568	1.18
1:2,000	0.3508	0.3525	0.3517	0.3516667	0.0008505	0.3508162	0.352517	1.7793E-09	0.3568	1.43
1:3,000	0.3483	0.3516	0.3499	0.3499333	0.0016503	0.3482831	0.351584	1.4662E-09	0.3568	1.92

ตารางที่ ข.10แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ D-Glucose Monohydrate

AA : D-Glu	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.3546	0.3566	0.3542	0.3551333	0.0012858	0.3538475	0.356419	2.2831E-09	0.3567	0.44
1:100	0.3533	0.3542	0.3521	0.3532	0.0010536	0.3521464	0.354254	2.2624E-09	0.3567	0.98
1:1,000	0.3516	0.3527	0.3517	0.352	0.0006083	0.3513917	0.352608	2.0746E-09	0.3567	1.32
1:2,000	0.3504	0.3495	0.3507	0.3502	0.0006245	0.3495755	0.350824	1.7793E-09	0.3567	1.82
1:3,000	0.3476	0.3483	0.3492	0.3483667	0.0008021	0.3475646	0.349169	1.4662E-09	0.3567	2.34
ASA : D- Glu	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.2558	0.2567	0.2544	0.2556333	0.001159	0.2544743	0.256792	2.2831E-09	0.2578	0.84
1:100	0.2543	0.2549	0.2531	0.2541	0.0009165	0.2531835	0.255017	2.2624E-09	0.2578	1.44
1:1,000	0.2537	0.2526	0.2518	0.2527	0.0009539	0.2517461	0.253654	2.0746E-09	0.2578	1.98
1:2,000	0.2516	0.2509	0.2501	0.2508667	0.0007506	0.2501161	0.251617	1.7793E-09	0.2578	2.69
1:3,000	0.2503	0.2496	0.2476	0.2491667	0.0014012	0.2477655	0.250568	1.4662E-09	0.2578	3.35

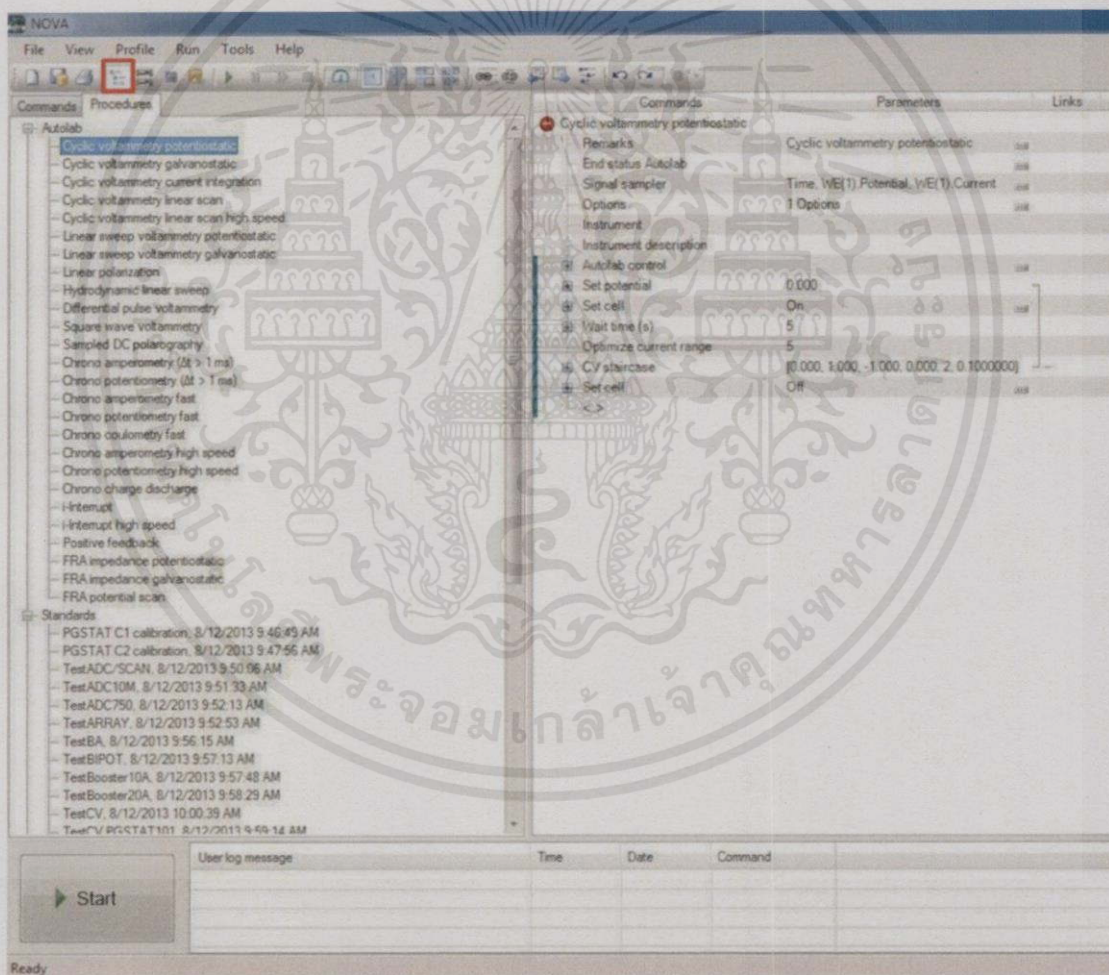
ตารางที่ ข.11แสดงค่าการคำนวณ %Relative error ของการวิเคราะห์กรดแอสคอบิกและกรดอะเซทิลซาลิซิลิกในตัวอย่างโดยใช้ Iron(II) sulfate heptahydrate

AA : FeSO ₄	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	0.9735	0.9782	0.9758	0.9758333	0.0023502	0.9734832	0.978184	2.2831E-09	0.9785	0.27
1:100	0.9723	0.9754	0.9742	0.9739667	0.0015631	0.9724036	0.97553	2.2624E-09	0.9785	0.46
1:1,000	0.9705	0.9718	0.9712	0.9711667	0.0006506	0.970516	0.971817	2.0746E-09	0.9785	0.75
1:2,000	0.9688	0.9675	0.9702	0.9688333	0.0013503	0.967483	0.970184	1.7793E-09	0.9785	0.99
1:3,000	0.9654	0.9648	0.9677	0.9659667	0.0015308	0.9644359	0.967497	1.4662E-09	0.9785	1.28
ASA : FeSO ₄	จำนวนกระแส			Average (Y)	SD	Current ± SD		ความเข้มข้น	ค่าจริง (X)	% Reletive error ± 5%
	1	2	3							
1:50	1.4438	1.4423	1.4443	1.4434667	0.0010408	1.4424258	1.444507	2.2831E-09	1.4455	0.14
1:100	1.4405	1.4415	1.4426	1.4415333	0.0010504	1.4404829	1.442584	2.2624E-09	1.4455	0.27
1:1,000	1.4375	1.4386	1.4418	1.4393	0.0022338	1.4370662	1.441534	2.0746E-09	1.4455	0.43
1:2,000	1.4353	1.4369	1.4384	1.4368667	0.0015503	1.4353164	1.438417	1.7793E-09	1.4455	0.60
1:3,000	1.4336	1.4355	1.4376	1.4355667	0.0020008	1.4335658	1.437567	1.4662E-09	1.4455	0.69

ภาคผนวก ซ

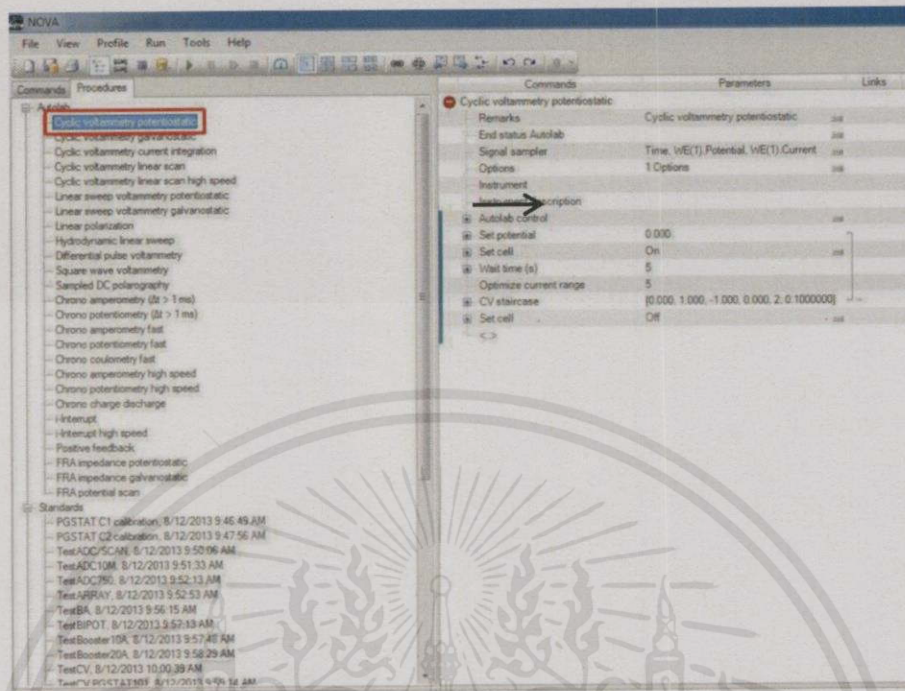
การใช้เครื่องอัตโนมัติแลบ

1. การตั้งค่าการใช้งานวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry)

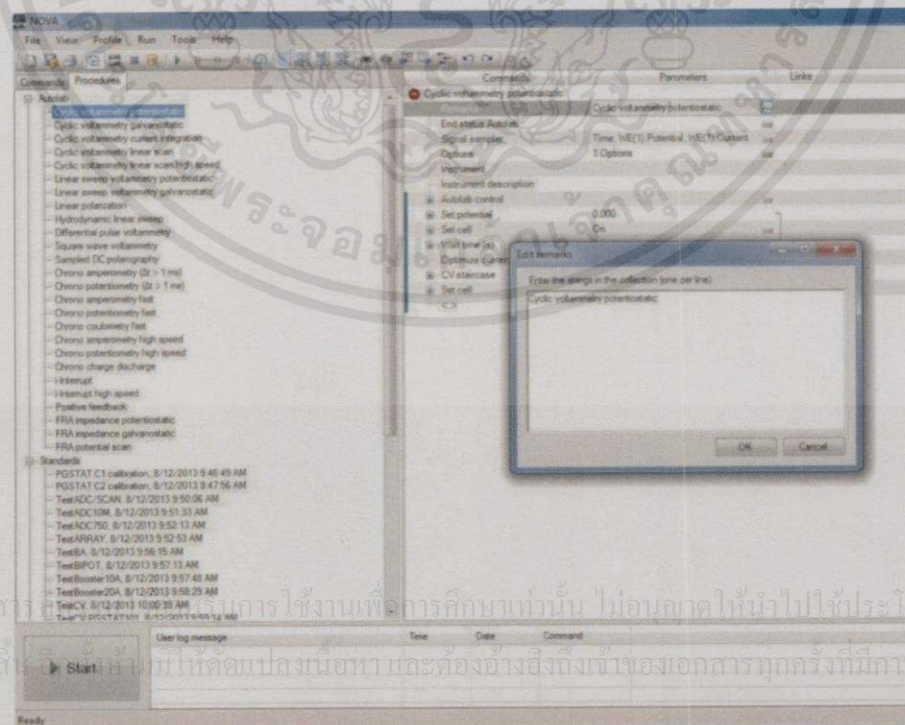


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Procedures → Cyclic Voltammery Potentiostatic

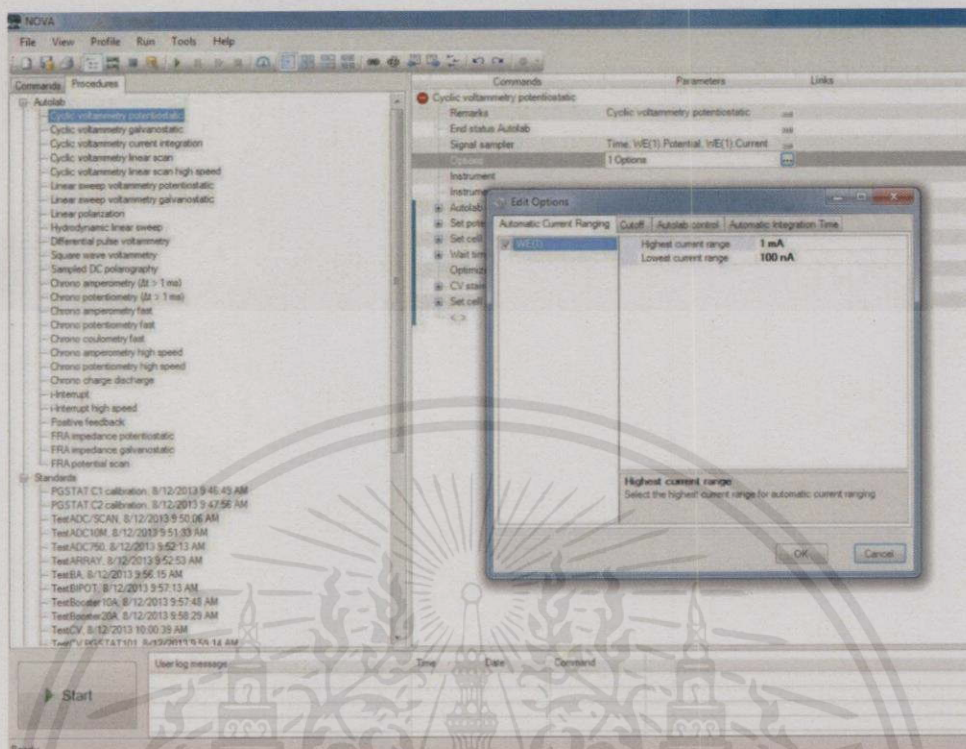


คลิก Remarks คลิก ... เพื่อตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก

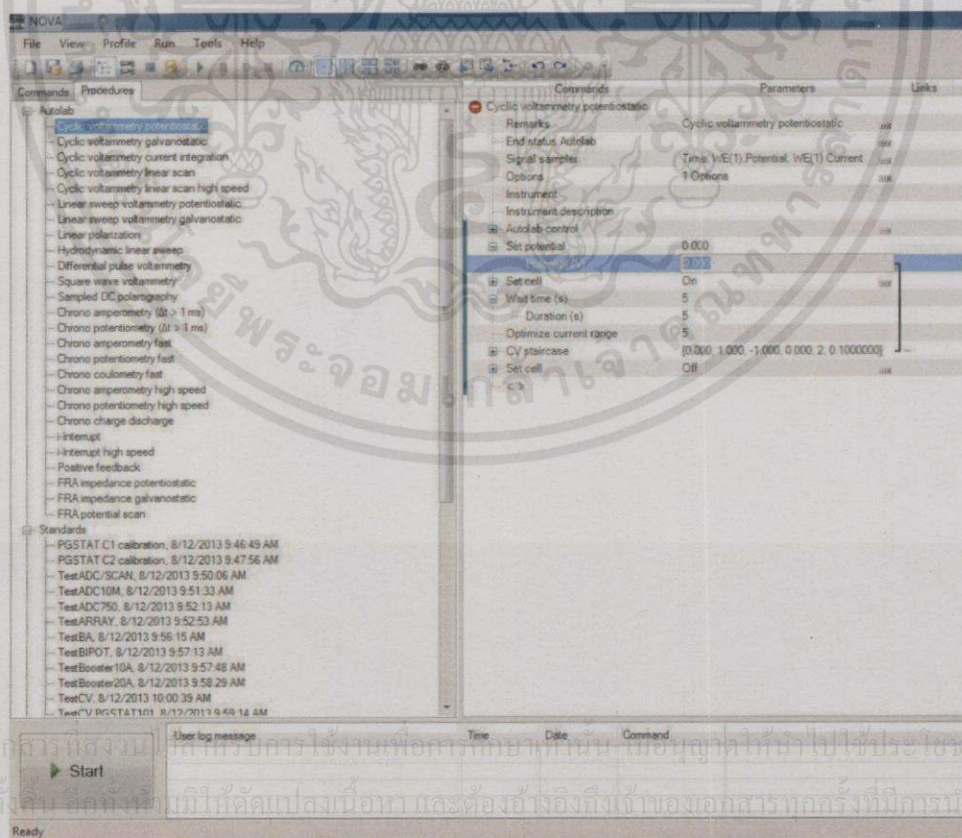


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิก Options → คลิก  เพื่อเลือกช่วงของสัญญาณ

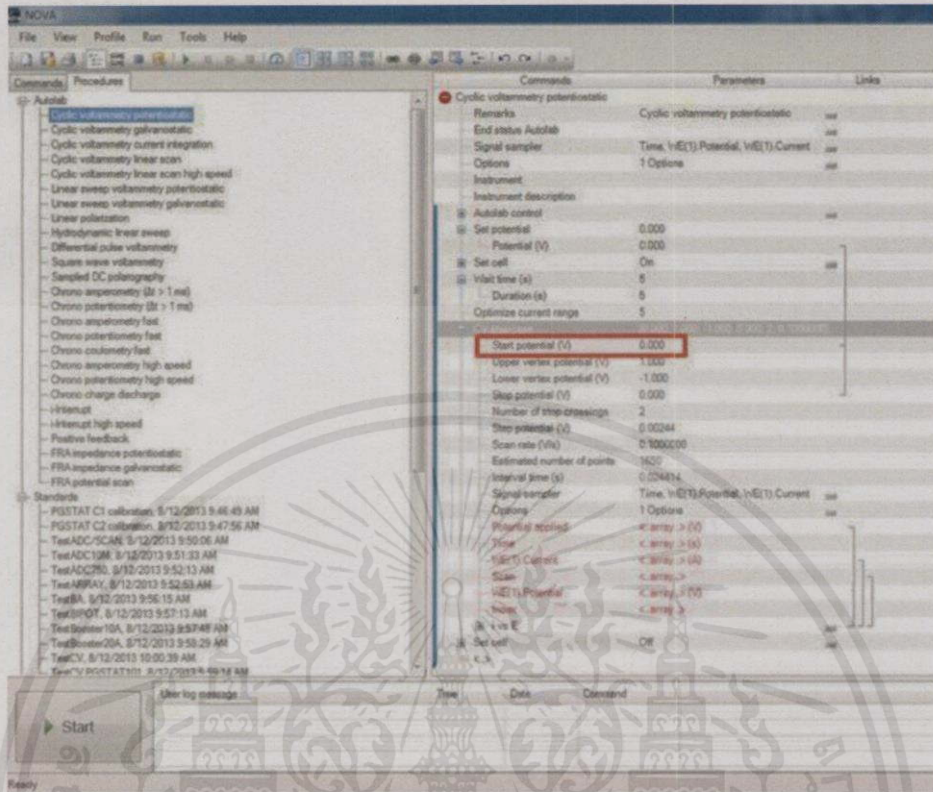


คลิก Wait time (s) → Duration (s)

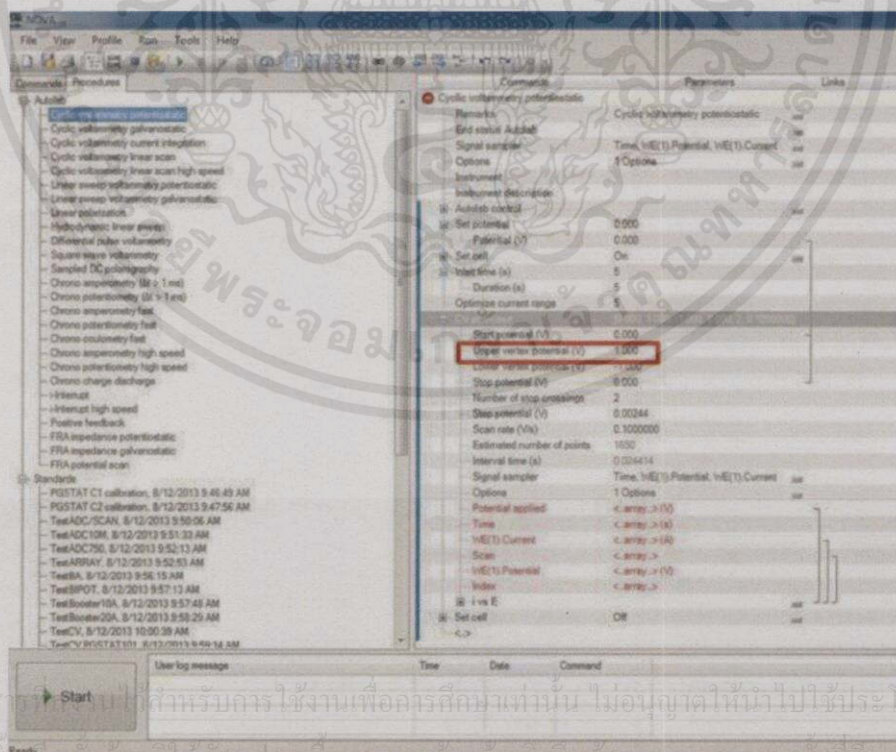


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิก CV staircase → Start potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสเริ่มต้น

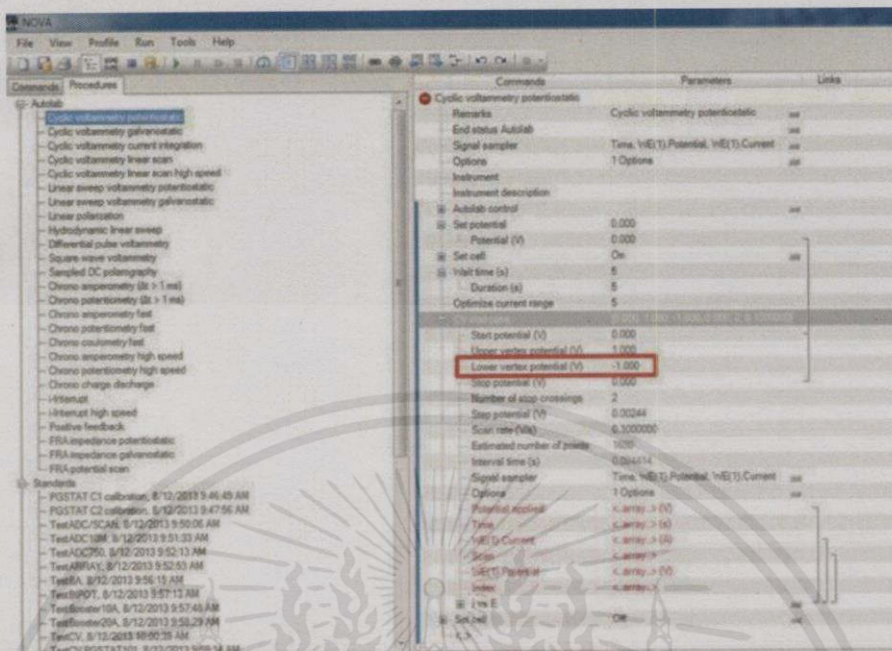


→ Upper vertex potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสสูงสุด

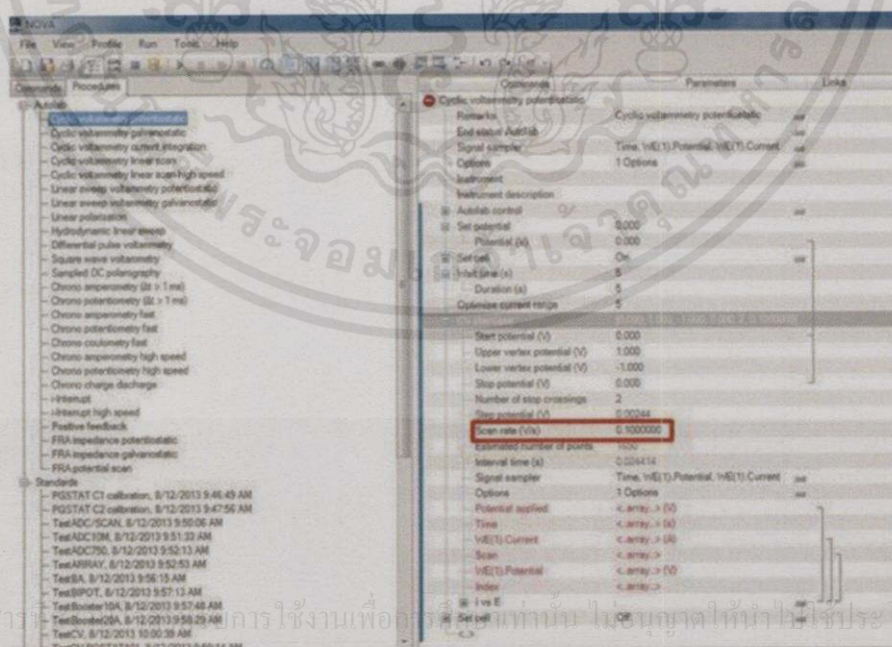


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

→ Lower vertex potential (V) เพื่อตั้งค่ากระแสต่ำสุด



→ Scan rate (V/s) เพื่อตั้งค่าอัตราการสแกน → กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการทำงานเท่านั้น ไม่เป็นญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่พิมพ์ลงเนื้อหา และขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

