

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจวัด Ellagic acid โดยใช้ข้าวไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน
นาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107801
วัน,เดือน,ปี..... 14 พ.ค. 2553

b..... 12212295
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Determination of Ellagic Acid using a Multi-Walled Carbon
Nanotubes-Pasted Electrode modified with chitosan
(Chitosan/MCPE)**

Miss Jirapat Thanadolrungscharoen

Miss Siriwan Dulnee



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การตรวจวัด Ellagic acid โดยใช้ข้าวไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน
นาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน

นักศึกษานางสาวจิรภัทร ชนาดรุ่งเจริญ
นางสาวศิริวรรณ คุณนีย์

ภาควิชาเคมี

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์
ผศ.ดร.เพ็ญชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล
กรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ
กรรมการ	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การตรวจวัด Ellagic acid โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
โดย	น.ส. จิรภัทร ธนาคลรุ่งเจริญ น.ส. ศิริวรรณ คุณนีย์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำไคโตซานมาปรับปรุงขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) สำหรับการตรวจวัด Ellagic acid ซึ่งพิจารณาเลือกจากอัตราส่วนองค์ประกอบในการสร้างขั้ว (ปริมาณ MWNTs และปริมาณน้ำมันพาราฟิน) ที่ให้กระแสจากการตรวจวัด $K_3[Fe(CN)_6]$ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีสูงสุดที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก นำขั้วไฟฟ้ามาเคลือบหน้าขั้วด้วย 0.1% Nefion, Ferrocene, และไคโตซานผสมเอนไซม์ Tyrosinase ตามลำดับ โดยขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) นำมาวิเคราะห์ห่มบัติทางเคมีของ Ellagic acid ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M เปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วทอง (Au) ในสภาวะเดียวกัน พบวาระที่สองของอัตราสแกนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic acid กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกควบคุมโดยการแพร่บนผิวหน้าขั้ว จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีในช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic acid เพิ่มขึ้น 1 ถึง 5 mM ของขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วทอง (Au) เท่ากับ 0.9384, 0.9910, 0.9386, และ 0.8995 ตามลำดับ ซึ่ดจำกัดการตรวจวัดสัญญาณ Ellagic acid ของขั้วไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดมีค่าเท่ากับ 0.086, 0.236, 0.072, และ 0.314 mM ตามลำดับ ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ให้ค่าความเที่ยงที่ดี ซึ่ดจำกัดการตรวจวัดสัญญาณต่ำ (ต่ำกว่าขั้วไฟฟ้าทอง) มีสภาพไวสูงต่อการตรวจวัด Ellagic acid และอายุการใช้งานนาน (นานกว่า MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title	Determination of Ellagic Acid using Multi-Walled Carbon Nanotubes-Pasted Electrode Modified with Chitosan (Chitosan/MCPE)
Student	Miss Jirapat Thanadolrungharoen Miss Siriwan Dulnee
Department	Chemistry
Program	Industrial Industry
Year	2006
Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwan chaiyasith

Abstract

This project concentrated on determination of Ellagic acid using a Multi-Walled Carbon Nanotubes-Pasted Electrode modified with chitosan (Chitosan/MCPE). Composition ratio of electrode (including amount of multiwall carbon nanotube and paraffin oil) on 1:1 have the highest response current of electrochemical determination of $K_3(Fe(CN)_6)$. After that the selected electrode would be deposited on surface with 0.1 % nafion, ferrocene solution, and tyrosinase mixed with chitosan, respectively. The Chitosan/MCPE was selected for electrolysis of Ellagic acid in 0.1 M NaOH and compared with MCPE, Pt electrode, and Au electrode in the same condition. A potential scan rate of Ellagic acid oxidation (peak current for 5 mM Ellagic acid linearly proportional to $v/s^{1/2}$) indicated that the oxidation current was controlled by diffusion on electrode surface. Linear range of Ellagic acid from 1 to 5 mM was used and R^2 of MCPE, Chitosan/MCPE, Pt electrode, and Au electrode were to 0.9384, 0.9910, 0.9386, and 0.8995, respectively. Detection limit of them in determination of Ellagic acid were 0.086, 0.236, 0.072, and 0.314 mM, respectively. The Chitosan/MCPE have good precision, low detection limit (less than Au electrode), high sensitivity and high stability (life time more than CPE) in Ellagic acid.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ รศ. อรุณี กงศักดิ์ไพศาล และ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เพ็ญชัย ไชยสิทธิ์ ที่ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คุณสุพจน์ สีวาคม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความสะดวก ต่อการทำงานอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ พี่จุลจักร ศรีอุบล พี่ปิยะนุช หาปัญญา พี่ณัย ไกรแก้วตลอดจนพี่ทุกคนที่บริษัทเมทโทรม สยามเป็นอย่างยิ่งที่ให้ความสะดวกต่อการทำโครงการพิเศษและกรุณาแนะนำในทุก ๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้ ซึ่งมีค่ายิ่งต่อการดำรงชีวิตในอนาคต

นางสาวจิรภัทร ชนาดรุ่งเจริญ

นางสาวศิริวรรณ คุณนีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ต
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ป
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไชคติก โวลแทมเมทรี.....	4
2.2 หลักการของดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาโรกราฟีและดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี.....	9
2.3 ไคโตซาน.....	11
2.3.1 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน.....	12
2.4 คาร์บอนนาโนทิวบ์.....	13
2.4.1 สมบัติของคาร์บอนนาโนทิวบ์.....	15
2.5 Ellagic Acid.....	16
2.5.1 โครงสร้าง.....	16
2.5.2 Plant lift.....	17
2.5.3 Ellagic acid and cancer.....	17
2.6 Ferrocene.....	18
2.6.1 โครงสร้าง.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 ความเป็นมา.....	19
2.6.3 สมบัติทางกายภาพ.....	19
2.6.4 สมบัติทางเคมี.....	20
2.6.5 การนำไปประยุกต์ใช้.....	20
2.7 Polyphenol Oxidase.....	21
2.7.1 ลักษณะพิเศษของ โพลีฟีนอลออกซิเดสจากเห็ด.....	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 การดำเนินงานและงานวิจัย.....	25
3.1 สารเคมี.....	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	25
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	26
3.3.1 การทำความสะอาดมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (MWNTs).....	26
3.3.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการทดลอง.....	26
3.3.2.1 การสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์.....	26
3.3.2.2 การสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน.....	27
3.3.3 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์.....	28
3.4 วิธีการทดลอง.....	29
3.4.1 หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ Ellagic acid.....	29
3.4.1.1 ชนิดอิเล็กโทรไลต์.....	29
3.4.1.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์.....	29
3.4.1.3 อัตราการสแกน.....	29
3.4.2 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าในการวิเคราะห์ Ellagic acid.....	29
3.4.2.1 การวัดซ้ำ (Reproducibility).....	29
3.4.2.2 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time).....	30
3.4.2.3 ช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง.....	30
3.4.2.4 กระแสพื้น (Background current).....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.2.5 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit).....	30
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณ Ellagic acid ด้วยเทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล.....	31
4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน(Chitosan/MCPE).....	31
4.1.1 การประกอบขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	31
4.1.2 พื้นผิวของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)และมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน(MCPE).....	32
4.2 การเลือกขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบสัญญาณกระแสจากสารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$	34
4.2.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)	34
4.2.2 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	37
4.3 เปรียบเทียบสัญญาณทางเคมีไฟฟ้าของมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	37
4.3.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ.....	37
4.3.2 สภาพที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัด Ellagic Acid	38
4.3.2.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)	38
4.3.2.1.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)... ..	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1.2	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	39
4.3.2.1.3	ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	40
4.3.2.1.4	ขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	41
4.3.2.2	ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน(Chitosan/MCPE) ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	44
4.3.2.2.1	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)....	44
4.3.2.2.2	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	47
4.3.2.2.3	ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	48
4.3.2.2.4	ขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	49
4.3.2.3	สแกนเนอร์ที่เหมาะสมกับขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	50
4.3.2.3.1	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	50
4.3.2.3.2	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	53
4.3.2.3.3	ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	56
4.3.2.3.4	ขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	59
4.3.2.4	สแกนนิ่งเบอร์ (scan number).....	62
4.3.2.4.1	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	62
4.3.2.4.2	ขี้ผึ้งไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	63
4.3.2.4.3	ขี้ผึ้งไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	64
4.3.2.4.4	ขี้ผึ้งไฟฟ้าทอง (Au).....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3	ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)..	66
4.3.3.1	Reproducibility ทำการวัดซ้ำในสารละลายเดิม 30 ครั้ง.....	66
4.3.3.1.1	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	66
4.3.3.1.2	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุง ด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	67
4.3.3.1.3	ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	67
4.3.3.1.4	ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	68
4.3.3.2	อายุการใช้งานของขั้ว (Life time).....	68
4.3.3.2.1	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	69
4.3.3.2.2	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุง ด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	70
4.3.3.2.3	ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	70
4.3.3.2.4	ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	71
4.3.3.3	ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง.....	71
4.3.3.3.1	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	72
4.3.3.3.2	ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุง ด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	72
4.3.3.3.3	ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt).....	73
4.3.3.3.4	ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	74
4.3.3.4	สภาพไวของขั้ว (Sensitivity).....	74
4.3.3.5	ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit).....	75
4.3.4	ผลการตรวจวัด Ellagic acid ในน้ำผลไม้.....	76
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	77
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	78
	เอกสารอ้างอิง.....	79
	ภาคผนวก ก.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.....	147
ภาคผนวก ก.....	152



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไชคลิกโวลแทมเมตรีทั่วไป.....	4
2.2 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นใน ไชคลิกโวลแทมโมแกรม.....	5
2.3 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า.....	6
2.4 โวลเทจโปรแกรมของคิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์โพลารोगرافی.....	9
2.5 คิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรม.....	10
2.6 ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาคีอะซิทีเลชันจากโคตินไปเป็นโคโตซาน.....	12
2.7 มัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์.....	15
2.8 Ellagic acid.....	16
2.9 การเปลี่ยนจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนินไปเป็น Ellagic acid.....	17
2.10 โครงสร้างของ Ferrocene.....	18
2.11 โครงสร้างของ catecholase และ cresolase.....	21
3.1 ภาพวาดองค์ประกอบภายในขั้วมัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์.....	27
4.1 ลักษณะของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร.....	31
4.2 ภาพถ่ายผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) จากกล้อง จุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า.....	32
4.3 ภาพถ่ายผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน (Chitosan/MCPE) จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า.....	33
4.4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ความเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s.....	35
4.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ความเข้มข้น 0.05 mM ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s ใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ เปรียบเทียบกับ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงชั้นของขั้ว MCPE.....	37
4.7 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCL, NaCl, K ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₄ , และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1.5 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)...	38
4.8 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCL, NaCl, K ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₄ , และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	39
4.9 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCL, NaCl, K ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₄ , และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	40
4.10 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCL, NaCl, K ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₄ , และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1.5 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	41
4.11 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	44
4.12 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic Acid.....	45
4.13 การเปลี่ยนจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนิน ไปเป็น Ellagic Acid.....	46
4.14 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	47
4.15 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16	49
<p>ไซคลิกโวลแทม โม่แกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....</p>	
4.17	50
<p>ไซคลิกโวลแทม โม่แกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....</p>	
4.18	51
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....</p>	
4.19	51
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....</p>	
4.20	52
<p>ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....</p>	
4.21	53
<p>ไซคลิกโวลแทม โม่แกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....</p>	
4.22	54
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....</p>	
4.23	54
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	55
4.25 ไชคลิก โวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	56
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	57
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	57
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	58
4.29 ไชคลิก โวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	59
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	60
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	60
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	61
4.33 แสดง scan number ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	62
4.34 แสดง scan number ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 แสดง scan number ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	64
4.36 แสดง scan number ของขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	65
4.37 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง).....	66
4.38 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง).....	67
4.39 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง).....	67
4.40 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง).....	68
4.41 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	69
4.42 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	70
4.43 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	70
4.44 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.45 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	72
4.46 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	73
4.47 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยแพลทินัม (Pt).....	73
4.48 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยทองคำ (Au).....	74
ก 1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K ₂ SO ₄ เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K ₂ SO ₄ โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	82
ก 2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na ₂ SO ₄ เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na ₂ SO ₄ โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	83
ก 3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	84
ก 4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	85
ก 5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	86
ก 6 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K ₂ SO ₄ เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K ₂ SO ₄ โดยใช้ขี้ผึ้งไขมันดีวอลล์คาร์บอน นาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก 7 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสส์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	88
ก 8 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสส์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	89
ก 9 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสส์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	90
ก 10 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสส์ ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	91
ก 11 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	92
ก 12 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	93
ก 13 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	94
ก 14 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	95
ก 15 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	96
ก 16 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	97
ก 17 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก 18	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	99
ก 19	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	100
ก 20	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	101
ก 21	
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	143
ก 22	
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	143
ก 23	
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	144
ก 24	
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้า และกระแสในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตความเข้มข้น 0.05 mM ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดี ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	36
4.2 ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้า และกระแสในปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KCl , $NaCl$ และ $NaOH$ เข้มข้น 0.1 M จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดี (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดีที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม(Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	42
4.3 สภาพไวของขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆที่ได้จากการตรวจวัด Ellagic Acid ในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง.....	74
4.4 ผลการคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด Ellagic Acid.....	75
4.5 ผลการคำนวณ S/N ของมัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดี (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดีที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	75
4.6 ผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ Ellagic Acid ในตัวอย่างน้ำผลไม้ยี่ห้อต่างๆ.....	76
ก 1.1.1 แสดงค่ากระแสฟีก และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟสดี (MCPE) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	102
ก 1.1.2 แสดงค่ากระแสฟีก และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก 1.1.3 แสดงค่ากระแสฟลัก และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ตรวจสอบสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	104
ก 1.1.4 แสดงค่ากระแสฟลัก และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ตรวจสอบสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	105
ก 1.2.1 แสดงค่ากระแสฟลักจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	106
ก 1.2.2 แสดงค่ากระแสฟลักจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	107
ก 1.2.3 แสดงค่ากระแสฟลักจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	109
ก 1.2.4 แสดงค่ากระแสฟลักจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	110
ก 1.3.1 แสดงค่ากระแสฟลัก และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัด สารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE).....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก 1.3.2 แสดงค่ากระแสฟลัก และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE).....	113
ก 1.3.3 แสดงค่ากระแสฟลัก และความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt).....	115
ก 1.3.4 แสดงค่ากระแสฟลัก และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	116
ก 2.1.1 แสดงค่ากระแสฟลักกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็น Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง.....	118
ก 2.1.2 แสดงค่ากระแสฟลักกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MCPE) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็น Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง.....	119
ก 2.1.3 แสดงค่ากระแสฟลักกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็น Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก 2.1.4 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีใช้อัตราการสแกน 50 mM/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง.....	121
ก 2.2.1 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้า มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s.....	122
ก 2.2.2 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s.....	123
ก 2.2.3 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s.....	125
ก 2.2.4 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mM/s.....	127
ก 2.3.1 แสดงค่ากระแสฟลักซ์กับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี อัตราการสแกน 50 mM/s จนกระทั่งค่ากระแสฟลักซ์ลดลงต่ำกว่า 50%.....	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก 2.3.2 แสดงค่ากระแสฟลักซ์ที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนนาเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสฟลักซ์ ลดลงต่ำกว่า 50%.....	130
ก 2.3.2 แสดงค่ากระแสฟลักซ์ที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสฟลักซ์ลดลงต่ำกว่า 50%.....	132
ก 2.3.4 แสดงค่ากระแสฟลักซ์ที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสฟลักซ์ลดลงต่ำกว่า 50%.....	135
ก 3.1 แสดงค่ากระแสฟลักซ์จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้า มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	138
ก 3.2 แสดงค่ากระแสฟลักซ์จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้า มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วย เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	139
ก 3.3 แสดงค่ากระแสฟลักซ์จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก 3.4	แสดงค่ากระแสไฟฟ้าจากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยทอง (Au) ด้วยเทคนิคไฟฟ้าโพเทนชิออสแตติกสแกนนิ่งโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s.....	142
ก 4.1	แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันของ Ellagic Acid ในน้ำผลไม้ห่อต่าง ๆ กัน โดยใช้มีดิวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามีดิวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au).....	145



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีโรคภัยไข้เจ็บหลายชนิดที่มนุษย์เผชิญอยู่นั้นยังไม่สามารถหาวิธีการรักษาให้หายขาดได้ ประกอบกับแนวโน้มของอัตราผู้ป่วยก็ทวีมากขึ้นในแต่ละปี ส่วนหนึ่งที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะมลพิษจากสิ่งแวดล้อมตลอดจนวิถีการดำรงชีวิตที่มีอาจเลือกได้ ดังนั้นหนทางที่ดีที่สุดคือการดูแลตัวเองให้พ้นจากความเสี่ยงต่อการเป็นโรคทั้งหลาย โดยมีนักวิจัยในหลายประเทศพยายามคิดค้นหาสารสกัดจากธรรมชาติมากมาย มาผลิตเป็นอาหารเสริมหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การดูแลตัวเองเป็นเรื่องง่ายและมีผลข้างเคียงน้อยที่สุด ซึ่งในบรรดาสารสกัดที่ได้รับความนิยมมากเป็นพิเศษเห็นจะเป็นสารสกัดจากผลไม้เพื่อการต้านอนุมูลอิสระ ต้นเหตุสำคัญของการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่น อันเป็นที่มาของโรคชราก่อนวัยอันควร รวมถึงการก่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังอีกหลายชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคความจำเสื่อม ฯลฯ

ทั้งนี้เพราะอนุมูลอิสระเหล่านี้มีหน้าที่ช่วยทำลายสิ่งแปลกปลอม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายเช่นกัน หากแต่เมื่อใดที่ร่างกายรับสารพิษจากภายนอกมาก เช่น การสูบบุหรี่ โคนแสงแดดจ้า หรือเลือกรับประทานอาหารแต่พวกมัน บ้าง อย่าง ฯลฯ จะส่งผลให้ระบบที่ควบคุมสารพิษในร่างกายทำงานได้น้อยลง สารอนุมูลอิสระจะมีการสะสมตัวมากจนกลายเป็นสารพิษที่คอยทำร้ายร่างกายในทันที ดังนั้นกลไกการควบคุมของสารต้านอนุมูลอิสระจากร่างกายอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอ มีความจำเป็นต้องพึ่งพาในส่วนที่สองนั่นคือ กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือเบต้าแคโรทีน ที่มีในอาหาร รวมทั้งกลุ่ม polyphenols, flavonoids ที่พบในพืชผักและผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบแอนติออกซิแดนซ์ในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดีมากยิ่งขึ้น [1]

Ellagic acid [2] ก็เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญตัวหนึ่งในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของ Ellagitannin ซึ่งร่างกายสามารถดูดซึมได้ พบมากในผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ องุ่น แอปเปิ้ล ถั่ววอลนัท ทับทิม ลำไย

Ellagic acid โดยทั่วไปใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หลายวิธีด้วยกัน [3] ประกอบด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลว (LC) เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) [4] เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมส สเปกโทรเมทรี (GC-MS)

และ capillary electrophoresis separation [5] ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน เช่น เทคนิคเอกซเรย์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HPLC ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน มีราคาแพง ได้ของเสียที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น และมีความจำเพาะสูง แต่ยังผู้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณของ Ellagic acid ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมีไม่มากนัก

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ Ellagic acid โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน สำหรับตรวจวัด Ellagic acid
- 1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด Ellagic acid โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง
- 1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง
- 1.2.4 ตรวจวัด Ellagic acid ในตัวอย่างจริง

1.3 ขอบเขตการศึกษาโครงการพิเศษ

- 1.3.1 เตรียมขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
- 1.3.2 นำขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไปตรวจวัด Ellagic acid
- 1.3.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน กับขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง
- 1.3.4 ตรวจวัด Ellagic acid ในตัวอย่างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถสร้างขั้วไฟฟ้าใช้งานสำหรับการตรวจวัด Ellagic acid และสารโพลีฟีนอลอื่นๆ
- 1.4.2 ทราบถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid
- 1.4.3 สามารถพัฒนาวิธีวิเคราะห์ Ellagic acid ด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

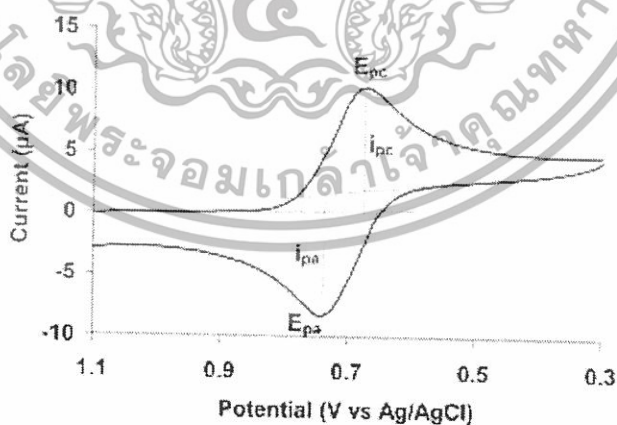
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไชคลิกโวลแทมเมทรี (cyclic voltammetry) [6]

ไชคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry) เป็นเทคนิคการวัดทางเคมีไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งของเทคนิคโพเทนชิโอเมทรี (Potentiometry) โดยไชคลิกโวลแทมโมแกรมเป็นการสร้างกราฟศักย์ไฟฟ้าที่ให้การตอบสนองที่อยู่ในรูปกระแสของการสแกนไปข้างหน้า เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อโวลแทมโมแกรมจึงทำให้วิธีการของไชคลิกโวลแทมเมทรีกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษากลไกของปฏิกิริยาและอัตราเร็วในขบวนการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน) ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์

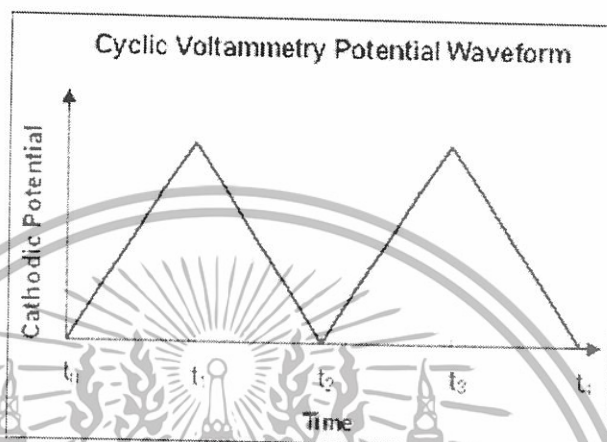
ไชคลิกโวลแทมเมทรี เป็นการสแกนศักย์ไฟฟ้าเชิงเส้นตรงใช้กับระบบที่ใช้อิเล็กโทรดขนาดเล็กในสารละลายที่ไม่มีกรวย ซึ่งอิเล็กโทรดที่ใช้ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าทำงาน (working electrode) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) และขั้วไฟฟ้าช่วย (counter electrode, auxiliary electrode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปก็ต้องมั่นใจว่าสามารถนำไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้าจะถูกระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงาน และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะถูกวัดระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงาน และขั้วไฟฟ้าช่วย โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำไปสร้างกราฟระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลื่น

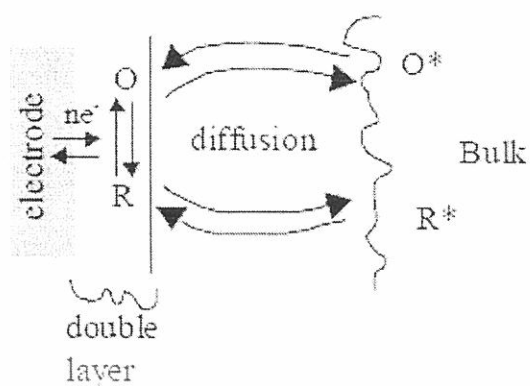


รูปที่ 2.2 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในไซคลิก โวลแทมโมแกรม

เมื่อเริ่มสแกนศักย์ไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันสูงขึ้น เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าถึงค่าที่ทำให้ปฏิกิริยาเริ่มผันกลับ ให้ศักย์ไฟฟ้าต่อไปจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น กระแสเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งความเข้มข้นรอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ไวลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้เกิดกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดทำให้เกิดฟีกเรียกว่า แอนอดิกฟีก มีลักษณะคล้ายกับแคโทดิกฟีก (ฟีกจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน)

ในระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็ว สารออกซิไดซ์จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนอยู่ในรูปสารรีดิวซ์และเกิดการแพร่ของสารในชั้นการแพร่ของสารละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่าปฏิกิริยารีดักชัน และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามจะเกิดปฏิกิริยาของสารรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอน เปลี่ยนไปเป็นสารออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่าออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า

กระแสที่วัดได้จากทั้งสองปฏิกิริยาจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นและรากที่สองของอัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า

$$i_p = 2.69 \times 10^5 n^{3/2} A C D^{1/2} V^{1/2} \quad (2.1)$$

- เมื่อ
- i_p = กระแสพีก มีหน่วยเป็น แอมแปร์
 - n = จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้อง
 - A = พื้นที่ขั้วไฟฟ้า มีหน่วยเป็น cm^2
 - C = ความเข้มข้น มีหน่วยเป็น mol cm^{-3}
 - D = สัมประสิทธิ์ของการแพร่ มีหน่วยเป็น $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$
 - V = อัตราการสแกน มีหน่วยเป็น Vs^{-1}

ในระบบของเนิร์สท ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible) จะมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. การแยกกันของ $\Delta E_p = E_{p,a} - E_{p,c}$ ต้องมีค่าเป็น $59/n \text{ mV}$ ที่ 25°C
2. ค่าของ E_p ไม่ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วการสแกน
3. i_p จะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับค่า $V^{1/2}$
4. อัตราส่วนของพีก (i_{pa}/i_{pc}) ต้องมีค่าเท่ากับ 1
5. ค่าของ $E^\circ = (E_{pa} + E_{pc})/2$

$$6. \text{ค่าของ } E_{pa} = E_{pc} \pm (0.028/2)V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.1 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n , A , C และ D คงที่เมื่อใส่ \log ลงในสมการ 2.2 จะได้

$$\begin{aligned}\log i_p &= \log (2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2}) + \log V^{1/2} \\ \log i_p &= 0.5 \log V\end{aligned}\quad (2.2)$$

จากสมการ 2.2 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพลอตกับค่า $\log V$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมี ความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled แต่ถ้าปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดฟลักเมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิกิริยาผันกลับได้ไม่สมบูรณ์ ลักษณะฟลักที่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า $0.059/n$ โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกน

ในกรณีที่มีสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากระแสของฟลักที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการ 2.3

$$i_p = \frac{n^2 F^2 C_{ads} V}{4RT} \quad (2.3)$$

เมื่อ F = Faraday constant มีหน่วยเป็น $C \text{ mol}^{-1}$
 C_{ads} = ความเข้มข้นของสารที่ติดอยู่ที่ผิวหน้า มีหน่วยเป็น mol cm^{-3}
 V = อัตราการสแกน มีหน่วยเป็น Vs

จากสมการ 2.3 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า V จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เกิดมีสารติดที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า และถ้าให้ n , F , C_{ads} , R และ T คงที่ เมื่อใส่ \log ลงในสมการ 2.3 จะได้

$$\begin{aligned}\log i_p &= \log (n^2 F^2 C_{ads} / 4RT) + \log V \\ \log i_p &= \log V\end{aligned}\quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.4 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพลอตกับค่า \log จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 1 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็นการดูดซับสารที่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า

ในระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และกึ่งผันกลับได้ (Irreversible and quasi-reversible system) ในกระบวนการที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) จะมีการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนของการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าทำให้เกิดฟลักเตีย และเกิดการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้า โดยการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ สามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.5

$$E_p = E^\circ - \frac{RT}{\alpha n_p F v} \left[0.780 + \ln \left(\frac{D^{1/2}}{k^\circ} \right) + \ln \left(\frac{\alpha n_p F v}{RT} \right) \right] \quad (2.5)$$

เมื่อ α = Transfer coefficient
 k° = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเคลื่อนที่อิเล็กตรอน
 n_p = จำนวนอิเล็กตรอนในขั้นตอนการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการขั้วไฟฟ้า (the number of electrons in the rate-determination step of electrode process)
 E_p = ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าสูงสุด

ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าของพีก (Peak potential; E_p) และค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งพีก (Half-peak potential; $E_{p/2}$) ที่ 25 °C จะแตกต่างกันเท่ากับ $|E_p - E_{p/2}| = \frac{1.857RT}{\alpha F} = \frac{47.7}{\alpha}$ mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.6

$$i_p = (2.99 \times 10^5) n (\alpha n_p)^{1/2} (ACD^{1/2}) V^{1/2} \quad (2.6)$$

จากสมการ 2.6 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n , n_p , α , A , C และ D คงที่เมื่อใส่ \log ลงใน

สมการ 2.6 จะได้

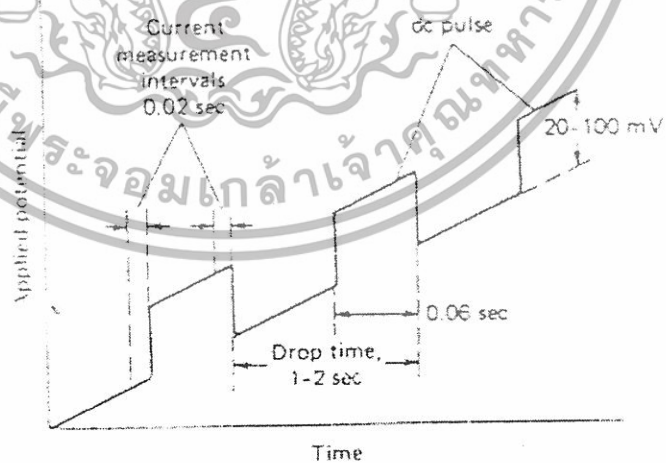
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{Log } i_p &= \log (2.99 \times 10^5) n (\alpha n_a)^{1/2} (\text{ACD}^{1/2}) + \log V^{1/2} \\ \text{Log } i_p &= 0.5 \log V\end{aligned}\quad (2.7)$$

จากสมการ 2.7 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพลอตกับค่า $\log V$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมี ความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled ถ้าปฏิกิริยา ผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดฟีก เมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิกิริยาผัน กลับได้ไม่สมบูรณ์ลักษณะฟีกที่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า 0.059/n โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกน

2.2 หลักการของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟีและดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี [6]

วิธีของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์จะมีพัลส์ของศักย์ไฟฟ้าที่มีขนาดสูงคงที่ ตามปกติจะมีขนาด 20 ถึง 100 มิลลิโวลต์ โดยแต่ละพัลส์จะใช้เวลาอย่างน้อย 57 มิลลิวินาที (~ 0.06 วินาที) กระแสจะ ถูกวัดในช่วงระหว่าง 17 มิลลิวินาที (~ 0.02 วินาที) ก่อนที่จะให้พัลส์ของศักย์ไฟฟ้ากับช่วง 17 มิลลิวินาที (~ 0.02 วินาที) สุดท้ายของพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.4 โวลเทจ โปรแกรมของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างกระแสที่วัดได้จากช่วงศักย์ไฟฟ้าทั้งสองจะถูกนำมาพลอตกราฟเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่อิเล็กโทรด โพลาริโกราฟีที่ได้คืออนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของโพลาริโกราฟีตามปกติ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความสูงของพีกคือ ΔI_p จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย ตามสมการ 2.10

$$\Delta I_p = \frac{nFAD^{1/2}C}{\pi^{1/2}\delta^{1/2}} \left[\frac{e^{(nF\Delta E/2RT)} - 1}{e^{(nF\Delta E/2RT)} + 1} \right] \tag{2.8}$$



รูปที่ 2.5 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรม

การวิเคราะห์ปริมาณ โดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมกราฟี สามารถทำได้โดยวิธีเติมสารมาตรฐานเช่นเดียวกับวิธีของพัลส์โวลแทมโมกราฟี โดยการเพิ่มขนาดของพัลส์ของศักย์ไฟฟ้า (เพิ่ม ΔE) จะทำให้วิธีการวิเคราะห์มีความไวสูงขึ้นแต่ความสามารถในการแยกของพีกเมื่อมีสารหลายตัวผสมกันลดลง ถ้าการวิเคราะห์มีสปีชีส์ที่สนใจอยู่เพียงตัวเดียวในสารละลาย พัลส์ของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ควรมีขนาดระหว่าง 50 – 100 mV เพื่อทำให้มีความไวสูงที่สุด แต่ถ้ามีสปีชีส์ที่สนใจตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ขนาดของพัลส์ควรลดลงเหลือ 5 – 10 mV เพื่อให้การแยกดีขึ้น วิธีของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมกราฟี ยังคงเป็นเทคนิคและวิธีการที่ใช้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC potential) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้ในปริมาณน้อยกว่าที่วิธีโวลแทมโมกราฟี

ธรรมดาจะทำได้ ถ้าขั้วไฟฟ้าทำงานเป็นขั้วของแข็งที่อยู่หนึ่ง หรือขั้วของแข็งที่หมุนได้จะเรียกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์โวลแทมเมทรี (Pulse Voltammetry) หรือดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี (Differential Pulse Voltammetry)

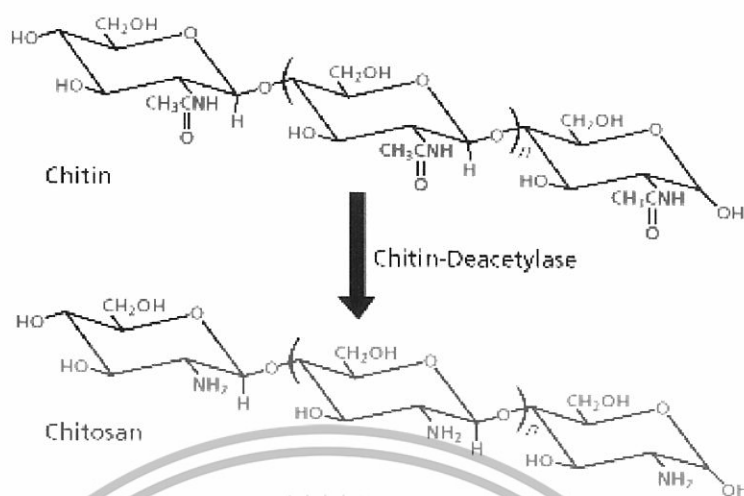
2.3 ไคโตซาน (Chitosan) [7]

ไคโตซาน เป็นสารอนุพันธ์ที่ไม่ละลายน้ำของไคติน ซึ่งสามารถสกัดได้จากเปลือกของกุ้ง ขนาดกลางและเล็ก กุ้งก้ามกราม หรือปู มีการวิจัยทางคลินิกวิทยามากกว่า 17 ปี ถึงการใช้ไคโตซาน เป็นสารลดน้ำหนักธรรมชาติโดยใช้เป็นใยอาหาร (ไฟเบอร์) เพื่อให้ให้อึดอิม และใช้ในการทำความสะอาดลำไส้ เรื่อยจนมาถึงปัจจุบัน ไคโตซานมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมัน ไขมัน และ สารพิษบางชนิด เพื่อให้กำจัดได้ง่ายขึ้น ไคโตซานถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม อาหาร เครื่องสำอาง รวมทั้งผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ไคโตซานป้องกันการเพิ่มของน้ำหนักตัว ป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูง และการมีไขมันสะสมในตับมากขึ้นเนื่องมาจากการบริโภคอาหารที่มีไขมันสูง มีการทดลองที่ทำการเปรียบเทียบการจับไขมันออกจากร่างกาย และคุณสมบัติในการลด น้ำหนักของใยอาหารจากพืชผักหลากหลายชนิดกับไคโตซาน ผลปรากฏว่าไคโตซานให้ผลดี เหนือกว่าใยอาหารอื่นทั้งหมด ไม่เพียงใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไคโตซานยังใช้เป็นไหมเย็บ บาดแผลและเส้นเลือดที่ขาด

นักวิทยาศาสตร์บางท่านได้จัดให้ไคโตซานเป็นหนึ่งในกลุ่มอาหารเพื่อหน้าที่ หรือที่รู้จัก กันว่า ฟังก์ชันนัล ฟู้ด (functional food)

ไคโตซาน คือ สารโพลีเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน คือการนำเอาอนุพันธ์ของไคตินที่ตัด เอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปและมีสมบัติละลายใน กรดอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาคีอะซิทีลชันจากไคตินไปเป็นไคโตซาน

การหายไปของหมู่อะซิทีล ทำให้ไคโตซานมีส่วนของโมเลกุลที่แอคทีฟ และพร้อมที่จะทำปฏิกิริยาอย่างว่องไวอยู่หลายหมู่ ด้วยเหตุนี้เอง ทำให้ไคโตซานสามารถตรึงเอนไซม์เอาไว้

2.3.1 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน

ไคติน-ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความหลากหลายและมีสมบัติที่โดดเด่น อาทิ มีความเป็นประจุบวกสูง สามารถทำเป็นแผ่นฟิล์ม มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่มีพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ไคติน-ไคโตซานจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ และอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ดังนี้

- ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม เป็นวัสดุตกแต่งแผล และควบคุมการปลดปล่อยของยา
- ด้านการเกษตร เคลือบเมล็ดพันธุ์พืช และเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช
- ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เป็นสารเติมแต่งในแป้งทาหน้า แชมพู สบู่ และครีมทาผิว
- ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ อาทิ รักษาความสดใสของสีผ้า ระบายเหงื่อ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ
- ด้านการแยกทางชีวภาพ อาทิ การทำเป็นแผ่นเมมเบรน เพื่อใช้ในการกรองแยกด้วย

เทคนิคต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประโยชน์ด้านอื่นๆ อาทิ บรรจุภัณฑ์, สารเพิ่มความหนืด

2.4 คาร์บอนนาโนทิวบ์ [8]

คาร์บอน (Carbon) เป็นธาตุหลักหนึ่งในสี่แห่งสิ่งมีชีวิต (ธาตุที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตบนโลกคือ ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และ ออกซิเจน) สิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกใบนี้ถือได้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตในรูปแบบ Carbon-Based คือ มีคาร์บอนเป็นพื้นฐานของชีวิต หรืออาจกล่าวได้ว่า โมเลกุลที่ได้ชื่อว่าเป็นสารอินทรีย์ทุกชนิดนั้น มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และหากจะพูดกลับกัน สิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียที่ซุกตัวอยู่ลึกหลายกิโลเมตรจากผิวโลก จุลินทรีย์จากน้ำพุร้อน หรือปล่องร้อนใต้สมุทรที่ร้อนกว่าอุณหภูมิน้ำเดือด หรือแม้แต่ชีวิตเล็กจิ๋วที่เคยชินอยู่แต่กับความเย็นกลางก้อนน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก ก็ล้วนแล้วแต่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ คาร์บอนยังมีอยู่ในอาหารที่เรารับประทาน เสื้อผ้าที่เราสวมใส่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์ และในสิ่งอื่นๆ อีกมากมาย ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงบทบาทบางส่วน of คาร์บอนเท่านั้น เมื่ออยู่ในสภาพคาร์บอนบริสุทธิ์

คาร์บอนมีโครงสร้างถึงสี่แบบ คือ แบบอสัณฐาน (Amorphous Carbon) แบบกราไฟต์ (Graphite) แบบเพชร (Diamond) และแบบบัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์เร็น (Buckminster Fullerene)

ตัวอย่าง โครงสร้างแบบอสัณฐานของคาร์บอนก็คือเขม่าควันโดยทั่วไป ส่วนโครงสร้างแบบกราไฟต์และแบบเพชรนั้นแตกต่างกันตรงที่ กราไฟต์นั้นเป็น โครงสร้างมีโครงสร้างในลักษณะที่ประกอบด้วยหน่วยของคาร์บอนที่เชื่อมต่อกันเป็นรูปหกเหลี่ยมมาซ้อนกันเป็นแผ่นในระนาบเดียวกัน เรียกว่าแผ่นกราฟีน (Graphene) และเชื่อมต่อกันระหว่างระนาบเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นสามารถเลื่อนไปมาได้ แต่โครงสร้างแบบเพชรมีการเกาะเกี่ยวกันแน่นเป็นรูปทรงสามมิติ ส่วนโครงสร้างแบบบัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์เร็นนั้น มีชื่อเรียกเล่นๆ ว่า บัคกี้บอล (Bucky Ball) เป็นโครงสร้างที่เพิ่งค้นพบเมื่อไม่นานมานี้ ประกอบด้วยคาร์บอนจำนวน 60 อะตอมมาต่อกันเป็นทรงกลมกลวงแบบลูกฟุตบอล

คาร์บอนมีการกระจายตัวในธรรมชาติในรูปประกอบอย่างหลากหลาย เช่น อยู่ในหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นต้น ส่วนถ่านหิน พีโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ก็ล้วนแต่เป็นสารประกอบคาร์บอน นอกจากนี้คาร์บอนยังปรากฏในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และละลายอยู่ในน้ำธรรมชาติทุกชนิด ประโยชน์ของคาร์บอนนั้นมีอยู่มากมาย ตั้งแต่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (ถ่านหิน) ใช้เป็นสารหล่อลื่นหรือเสริมความแข็งแรง (กราไฟต์) ไอโซโทปของคาร์บอน (คาร์บอน-14) ใช้ในการหาอายุวัตถุทางโบราณคดี และสารประกอบคาร์บอนหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นมีความสำคัญอยู่ในอุตสาหกรรมเคมีหลายๆ ชนิด ถึงแม้คาร์บอนจะเป็น “เสาหลัก” ของชีวิต แต่สารประกอบคาร์บอนบางอย่างกลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากท่อไอเสียรถยนต์ และไซยาไนด์ (CN) สารพิษจากการทำเหมือง ล้วนเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ส่วนก๊าซอินทรีย์บางชนิด เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซอีทีน ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) และก๊าซอีไทน์ ($\text{HC}\equiv\text{CH}$) นั้นเป็นอันตรายเนื่องจากเมื่อผสมกับอากาศแล้วจะติดไฟ และระเบิด

คาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon Nanotubes) เป็นอีกโครงสร้างหนึ่งของคาร์บอน ซึ่งเพิ่งค้นพบในปี ค.ศ. 1991 กล่าวคือ มีลักษณะคล้ายกับ ฟูลเลอร์รีน ต่างกันที่ฟูลเลอร์รีนมีโครงสร้างเป็นทรงกลม (Spherical Shape) แต่คาร์บอนนาโนทิวบ์มีโครงสร้างเป็นทรงกระบอก (Cylindrical Shape) ชื่อของคาร์บอนนาโนทิวบ์มาจากขนาดของมัน ซึ่งมีขนาดระดับนาโน (10⁻⁹ เมตร) หรือมีความกว้างประมาณ 1 ใน 10,000 ของความกว้างของเส้นผมมนุษย์ มีความยาวประมาณ 1 ล้านเท่าของความกว้างของมัน คาร์บอนนาโนทิวบ์มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีผนังซ้อนกัน 2 – 50 ชั้น เรียกว่า Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWNTs) และชนิดที่มีผนังชั้นเดียวหรือเป็นท่อเดี่ยว เรียกว่า Single-Walled Carbon Nanotube (SWNT)

การค้นพบคาร์บอนนาโนทิวบ์ เกิดจากความบังเอิญที่ Sumio Iijima นักวิจัยจากห้องปฏิบัติการของบริษัท NEC ในญี่ปุ่น ขณะกำลังสังเคราะห์ Fullerene โดยวิธี Arc-Evaporation แล้วพบว่าที่ขั้วคาโทดเกิดมีวัสดุ โครงสร้างแบบกรวยไฟต์ที่เป็นทั้งอนุภาคนาโน และท่อนาโน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่เคยมีผู้ใดสังเกตเห็นมาก่อน ต่อมาทีมงานของ Iijima สามารถสังเคราะห์วัสดุดังกล่าวในปริมาณมาก โดยปรับสภาวะของการทำ Arc-Evaporation ท่อนาโนที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะเป็นท่อกรวยไฟต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-10 นาโนเมตร (nm) และมีความยาวในช่วง 1 ไมโครเมตร (μm) และเป็นท่อซ้อนกัน 2-50 ชั้น เรียกว่า Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWNTs) ต่อมาวิธีการสร้าง และทำให้บริสุทธิ์แพร่หลายไปตามห้องปฏิบัติการต่างๆ ทั่วโลก รวมถึงการพัฒนาเป็นท่อเดี่ยวที่เรียกว่า Single-Walled Carbon Nanotube (SWNT) ในอีกสองปีต่อมาท่อขนาดนาโนของกรวยไฟต์นี้สามารถเป็นได้ทั้งแบบท่อปลายเปิดหรือปลายปิด (Cap) ถ้าเป็นแบบปลายปิดจะครอบด้วยครึ่งทรงกลมของฟูลเลอร์รีน C 60 ขนาดของท่อสำหรับ SWNT มีตั้งแต่ 0.7 ถึง 2 nm ส่วน MWNT มีขนาดระหว่าง 10 ถึง 300 nm โดยมีช่องว่างระหว่างชั้นของแต่ละท่อที่มีขนาดอยู่ในระหว่าง 0.34 ถึง 0.36 nm สามารถทำให้ยาวได้ถึง 20 เซนติเมตร และมีรายงานว่าสามารถทำให้ยาวได้ถึง 100 เมตร ล่าสุดสามารถทำท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ ขนาดเล็กสุดได้ถึง 3 อังสตรอม (Å)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 สมบัติของคาร์บอนนาโนทิวบ์

เราทราบกันดีว่าเพชรมีความแข็งแรงมาก ด้วยโครงสร้างโครงตาข่ายสามมิติจากการเชื่อมต่อระหว่างพันธะของอะตอมคาร์บอนที่มีสี่ตำแหน่งอย่างลงตัว ขณะที่โครงสร้างของกราฟีนนั้นคาร์บอนหนึ่งอะตอมเชื่อมพันธะกับคาร์บอนอีกสามอะตอมในระนาบเดียวกัน และอีกหนึ่งพันธะที่เหลือจะยึดกับระนาบถัดไป พันธะในระนาบเดียวกันของกราฟีน (กราฟีน) มีความแข็งแรงมาก (มากกว่าเพชร) แต่พันธะระหว่างระนาบไม่แข็งแรงมากนัก และเลื่อนไหลได้ ด้วยลักษณะ โครงสร้างคาร์บอนนาโนทิวบ์ดังกล่าว รวมถึงพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ยาวเพียง 0.14 นาโนเมตร (สั้นกว่าเพชร) จึงทำให้คาร์บอนนาโนทิวบ์แข็งแรงกว่าเพชร และกราฟีน



รูปที่ 2.7 มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์

คาร์บอนนาโนทิวบ์ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง มัดหนึ่งของคาร์บอนนาโนทิวบ์ สามารถนำไฟฟ้าได้ถึง 109 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (A/cm^2) ขณะที่ทองแดงได้สูงสุดเพียง $106 A/cm^2$ สมบัติเชิงไฟฟ้าอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจของคาร์บอนนาโนทิวบ์ คือ สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากปลายของคาร์บอนนาโนทิวบ์ในสถานะสุญญากาศได้ เมื่อวางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่ใช้ค่าศักย์ต่ำกว่า เช่น จะกระตุ้น phosphors ที่วางไว้ห่าง 1 mm ใช้ศักย์ไฟฟ้าเพียง 1-3 V ขณะที่ต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 50-100 V สำหรับปลายที่เป็นขั้ว molybdenum

คาร์บอนนาโนทิวบ์มีความสามารถนำความร้อนได้ดีมากตามแนวยาวของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ แต่เป็นฉนวนความร้อนได้ดีมากเช่นกัน ตามแนวขวางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ยังทนต่ออุณหภูมิได้ถึง $2800\text{ }^{\circ}C$ ภายใต้สุญญากาศ และ $750\text{ }^{\circ}C$ ในสภาวะปกติ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

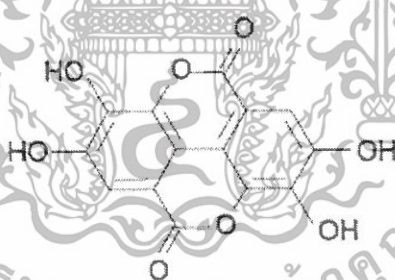
น่าสนใจอย่างมากในเชิงกายภาพ นอกจากนี้ยังมีการค้นพบสมบัติอีกหลายประการเพิ่มขึ้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ อีกมาก

การที่คาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถทำให้อยู่ในรูปของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) โดยที่สารกึ่งตัวนำนี้สามารถตอบสนองต่อสารพวกอัลคาไลด์ ฮาโลเจน และก๊าซต่างๆ ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเป็น Semiconducting Carbon Nanotube จะสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงความต้านทานได้ดีขึ้นอย่างมาก ทำให้เซนเซอร์ที่ใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ นี้มีความไวมากขึ้น ซึ่งก็มีการพัฒนาเป็นเซนเซอร์ตรวจวัด Cytochrome C, Methane, Krypton และโมเลกุลของ Alkylamine แบบสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

แต่การประยุกต์ใช้ Semiconducting Carbon Nanotube เป็นเซนเซอร์แบบนี้มีปัญหา คือไม่สามารถแยกชนิดของก๊าซที่ความเข้มข้นต่ำได้ และยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่าน ทำให้ขาดความสามารถเชิงจำเพาะหรือคัดเลือกเฉพาะที่เป็นสมบัติที่สำคัญของเซนเซอร์

2.5 Ellagic acid

2.5.1 โครงสร้าง



รูปที่ 2.8 Ellagic acid

ชื่อทางเคมี Ellagic acid

สูตรเคมี $C_{14}H_6O_8$

น้ำหนักโมเลกุล 302.197 g/mol

ความหนาแน่น 1.67 g/cm³

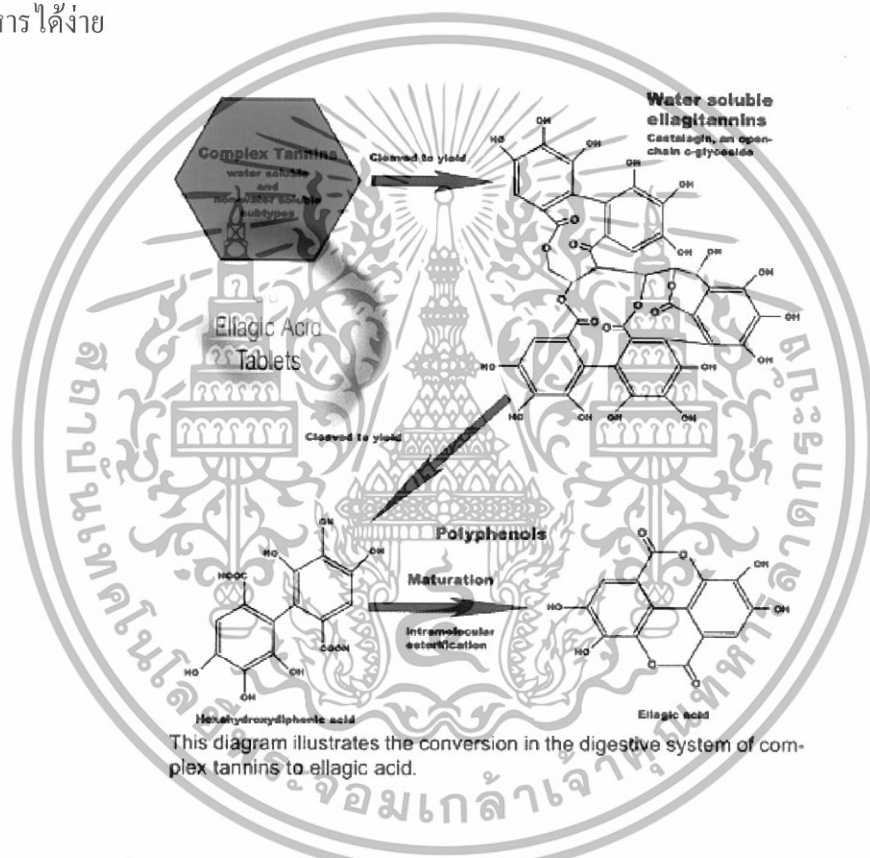
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำนานหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Ellagic acid คือสารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol compound) ซึ่งถูกพบในผลไม้และผักเป็นจำนวนมาก เช่นพวก raspberries, strawberries, cranberries, walnuts, pecans, pomegranates และพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับการเป็นสาร antioxidant

2.5.2 Plant life

พืชจะสร้าง Ellagic acid และ กลูโคส ซึ่งจะรวมกันอยู่ในรูปของ Ellagitannins เป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ร่างกายของสัตว์ และคนสามารถดูดซึมเข้าไปในรูปของสารอาหารได้ง่าย



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนินไปเป็น Ellagic acid

2.5.3 Ellagic acid and cancer

จากการสังเกตโดยทั่วไป

จากการวิจัยใน cell cultures และการทดลองกับสัตว์ได้พบว่า Ellagic acid อาจจะทำให้การเจริญเติบโตของเนื้องอกจากสารก่อมะเร็งช้าลง มีหลักฐานจากการศึกษาของมนุษย์ ได้แสดงให้เห็นว่า Ellagic acid ในรูปต่างๆสามารถป้องกัน หรือรักษามะเร็งได้ [9] การวิจัยเพิ่มเติมมีความจำเป็น ถึงแม้ว่า Professor Gary Stoner จาก Ohio State University จะอ้างถึงราสเบอร์รี่ดำ (ในการรวมกันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ Anthocyanins) ได้ถูกบันทึกเป็นเอกสารสิทธิไว้วันที่ 23 มิถุนายน 2005 ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การต่อต้านมะเร็ง และการแพร่ของมะเร็ง [10]

ประโยชน์ (Usage)

Ellagic acid เป็นสาร antioxidant ที่สามารถต่อต้านมะเร็ง และสามารถทำลายเซลล์มะเร็ง ได้ นอกจากนี้ Ellagic acid ยังช่วยให้ตับทำหน้าที่กำจัดสารพิษที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งออกจาก เลือดอีกด้วย [11]

2.6 Ferrocene

2.6.1 โครงสร้าง



Systematic	bis(η^5 -cyclopentadienyl)iron(II)
ชื่อ	Ferrocene, iron cyclopentadienyl
สูตรเคมี	$\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{Fe}$)
น้ำหนักโมเลกุล	186.04 amu
จุดหลอมเหลว	174–176 °C (447–449 K)
จุดเดือด	249°C (522 K)
ความหนาแน่น	1,490 g/m ³ (20°C)
สี	เหลือง-ส้ม
การละลาย	ไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ferrocene คือ $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ เป็น prototypical metallocene เป็นประเภทสารประกอบเคมีออร์แกโนเมทัลลิก (organometallic chemical compound) ประกอบด้วยวง cyclopentadienyl 2 วง ทำพันธะกับฝั่งตรงข้ามอะตอมของเหล็กที่อยู่ตรงกลางและฟอร์มีตัวเป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นแซนวิชออร์แกโนเมทัลลิก (organometallic sandwich compound) [12]

2.6.2 ความเป็นมา

Ferrocene ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาครั้งแรกโดยไม่ได้ตั้งใจเหมือนกับสารประกอบเคมีสังเคราะห์หลายๆตัว ในปี 1951 Pauson (Paulson) และ Kealy [13] ที่ Duquesne University ได้อธิบายการสังเคราะห์ diene โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง cyclopentadienyl magnesium bromide กับ ferric chloride แต่กลับได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงสีส้มสว่างที่มีความเสถียรแทน

ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการเตรียม Ferrocene ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่าง sodium cyclopentadienyl และ anhydrous ferrous chloride ในตัวทำละลายอีเทอร์

โครงสร้างของ Ferrocene ถูกตรวจสอบโดย NMR spectroscopy และ X-ray crystallography [14] ซึ่งพบว่าโครงสร้างมีลักษณะเหมือนแซนวิช จึงทำให้ Ferrocene ซึ่งเป็นสารประกอบของโลหะในหมู่ d-block กับไฮโดรคาร์บอน เป็นที่น่าสนใจ และเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาโดยการนำโลหะชนิดต่างๆมาใช้ทางด้าน organometallic chemistry นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะชนิดอื่นๆอีกมากมายที่สามารถใช้แทนเหล็กใน Ferrocene และสามารถนำไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ แทนที่ cyclopentadienyl ได้เช่นเดียวกัน

2.6.3 สมบัติทางกายภาพ

Ferrocene เป็นของแข็งสีส้ม มีความเสถียรในอากาศ และสามารถระเหิดได้ในสุญญากาศ หรือเมื่อถูกความร้อน เนื่องจากโมเลกุลมีลักษณะสมมาตรและไม่มีประจุ ทำให้ Ferrocene ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน (benzene) ได้ แต่ไม่ละลายในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 สมบัติทางเคมี

Ferrocene สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เช่นเดียวกับสารประกอบอะโรมาติก เช่นปฏิกิริยา Friedel-Crafts โดย Ferrocene จะถูกทำให้เป็นกรดอะซิติกด้วยอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) หรือ อะซิติกคลอไรด์ (acetyl chloride) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดฟอสฟอริก ดังนี้



นอกจากนี้ Ferrocene ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับบิวทิลลิเทียม (butyl lithium) ได้ 1,1-dilithioferrocene ซึ่งกลับไปเป็นนิวคลีโอไฟล์

ซึ่งทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ดังนี้



Ferrocene มีสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งคือสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ ประมาณ 0.4 V เทียบกับ saturated calomel electrode (SCE) ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ดีเมื่อใช้ FeCl_3 ซึ่งจะได้ blue-colored ferrocenium ion, $[\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2]^+$ ซึ่งถูกแยกออกเป็นเกลือของ $[\text{PF}_6]^-$ เกลือ Ferrocenium นิยมใช้เป็นสารออกซิไดซ์ เพราะเมื่อ Ferrocene เกิดปฏิกิริยาแล้วจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่เหนียวและถูกแยกออกจากตัวอื่นๆ ได้ง่าย [15]

2.6.5 การนำไปประยุกต์ใช้

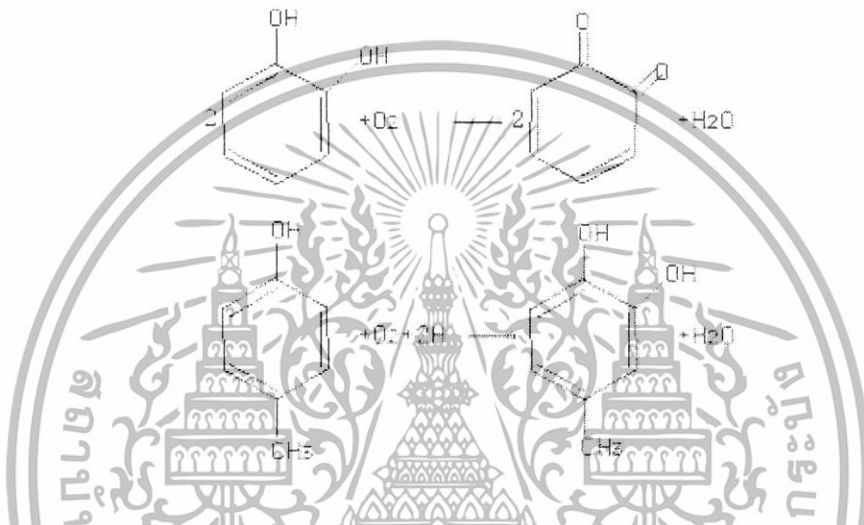
Ferrocene ถูกนำไปใช้ในหลายๆด้าน เช่น

1. Fuel additives
2. Medical
3. Synthetic chemistry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Polyphenol Oxidase [16]

Polyphenol oxidase (tyrosinase) (TY) เป็นเอนไซม์ที่มี 2 หมู่ฟังก์ชันที่มีคอปเปอร์รวมอยู่ด้วย ซึ่งทำหน้าที่เป็นได้ทั้งเอนไซม์ catecholase และ cresolase



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ catecholase และ cresolase

Jolley et al. (1974) [17] ได้กล่าวไว้ว่า Polyphenol oxidase ว่าเป็น phenol oxidase ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนออกซิเจน และ 4 อิเล็กตรอน ซึ่งสามารถตอบสนองปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (browning reaction) โดยผ่าน phylogenetic scale

ถึงแม้ว่าไทโรซิเนส (tyrosinase) จาก *Neurospora crassa* จะผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วก็ตาม (Fling et al. 1963) แต่ส่วนใหญ่มักใช้เอนไซม์จากเห็ด (mushroom enzyme) ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยก็ตาม

2.7.1 ลักษณะพิเศษของโพลีฟีนอลออกซิเดสจากเห็ด

น้ำหนักโมเลกุล: 128,000 (Duckworth and Coleman 1970)
 ส่วนประกอบ : เอนไซม์เป็นสารที่เกิดจากการนำอณูสี่ตัวของสารชนิดเดียวกันมาควบกกัน (tetramer) ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคอปเปอร์สี่กรัมต่อโมเลกุล (Jolley et al. 1974) [15] และสามารถเกิดพันธะได้ 2 ตำแหน่ง สำหรับสารที่เป็นอะโรมาติก หรือ ฟีนอลิก ตำแหน่งที่ว่างไวของเอนไซม์ออกซิเจน คอปเปอร์ จะแตกต่างกัน (Duckworth and Coleman 1970) [18] โดยคอปเปอร์จะอยู่ในเอนไซม์เอนไซม์ที่มีผลให้คอปเปอร์ซึ่งมีผลทางเคมีหนึ่ง ซึ่งอยู่ห่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปของคิวปรัส (cuprous) เมื่อทำให้ Cu^{2+} เพิ่มขึ้น ทำให้เอนไซม์ว่องไวน้อยลง (Kertész et al. 1972) [19] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของโพลีฟีนอลออกซิเดสอย่างกว้างขวาง [17, 19-23]

pH ที่เหมาะสม : 6.0-7.0

การเกิดปฏิกิริยา: โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) คือเอนไซม์ที่ถ่ายโอนออกซิเจน นอกจากนี้การใช้ออกซิเจนเพื่อที่จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาการหลุดของไฮโดรเจนของ catechols ไปเป็น orthoquinones และปฏิกิริยา orthohydroxylation ของฟีนอลไปเป็น catechols การเกิดปฏิกิริยาของเพอรอกซิเดสได้ถูกบันทึกโดย Strothkamp และ Mason (1974) [24] การศึกษาพลังงานจลน์ถูกบันทึกโดย Kertész et al. (1971) [25] ตรวจสอบอีกครั้งโดย Malmström และ Rydén [16]

ความเฉพาะเจาะจง: parasubstituted catechols ซึ่งถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนเป็นจำนวนมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aldona et al. [26] ได้กล่าวไว้ว่า Ellagic acid เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในอาหารควบคุมน้ำหนัก ซึ่งมีรายงานถึงผลที่ดีต่อสุขภาพ กระบวนการและวิธีการทดลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบสารตัวอย่างที่ดีที่สุดนั้นต้องมีความรวดเร็ว การหาปริมาณสารตัวอย่างในใบ cloudberry (*Rubus Chamaemorus L.*) ถูกพัฒนาโดยใช้ high performance liquid chromatography (HPLC) นี่เป็นครั้งแรกที่ใช้ของผสมระหว่างวิตามินซี กับ α -tocopherol เพื่อปกป้อง Ellagic acid จากอิทธิพลของออกซิเจนและแสง ซึ่งทำให้เปรียบเทียบผลของสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังวิเคราะห์อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของ Ellagic acid ผลของการแยกสารละลายมาตรฐาน Ellagic acid ด้วย HPLC เป็นที่น่าพอใจ การหาปริมาณ Ellagic acid อิสระ และ Ellagic acid ทั้งหมด ในใบ *rubus chamaemorus* แห่ง พบว่ามีความเข้มข้นสูงถึง 0.137 และ 6.996 g ต่อ 100 g ของมวลแห้ง

Bala et al. [27] ได้ศึกษาความสามารถในการละลายของ Ellagic acid ในตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ น้ำ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) เมทานอล และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) ผสมกับ เมทานอล (80:20 v/v) ทำการตรวจวัดตัวอย่างทุกๆ 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 255 นาโนเมตร พบว่า Ellagic acid ละลายน้ำได้เพียง 9.7 $\mu\text{g/mL}$ เท่านั้น ขณะที่ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) ผสมเมทานอลสามารถละลายได้มากกว่า แต่พบว่า Ellagic acid สามารถละลายในเมทานอลได้มากที่สุดถึง 671.7 $\mu\text{g/mL}$

Rajenda et al. [28] ศึกษาการตรวจวัดปริมาณ p-atenolol ด้วยวิธีโวลแทมเมตรี โดยใช้ขั้วกลาสติคาร์บอนปรับปรุงด้วยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (MWNTS) ที่ pH 7.2 พบว่าเกิดฟลักออกซิเดชันที่ 1040 มิลลิโวลต์ เทียบกับขั้ว Ag/AgCl โดยกราฟมาตรฐานมีค่า correlaton coefficient เท่ากับ 0.997 ที่ช่วงความเข้มข้น 0.25 - 0.15 มิลลิโมลาร์ และมีขีดจำกัดอยู่ที่ 0.16 มิลลิโมลาร์ วิธีนี้ได้นำไปพัฒนาเพื่อหาปริมาณ p-atenolol ในยาและปัสสาวะ

Zeng et al. [29] ศึกษาขั้วกลาสติคาร์บอน ที่ปรับปรุงด้วย MWNTs และโคโคซาน ซึ่งมีความไวสูงในการตรวจวัดโบรไมด์ (Br^-) ด้วยเทคนิค cathodic stripping voltammetry ในสารละลาย กรดซัลฟิวริก pH 1.8 พบว่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ขั้วกลาสติคาร์บอนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงด้วยมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (MWNTs) และไคโตซาน เมื่อเทียบกับขั้วกลาสติคาร์บอนที่ไม่ได้ปรับปรุง

Lu et al. [30] ได้ใช้เทคนิค cathodic stripping voltammetry เพื่อตรวจวัดปริมาณเหล็ก โดยใช้ขั้วกลาสติคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (CMGCE) โดยอาศัยความไม่ทนต่อแสงของ $\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3^{3-}$ และการลดลงของ $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจวัดเหล็กได้ที่ช่วงความเข้มข้น $2 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-7}$ g/ml มีขีดจำกัดของการตรวจวัด 1×10^{-8} g/ml ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจวัดหาปริมาณเหล็กในน้ำและน้ำแร่

Hotta et al. [31] ศึกษากลไกปฏิกิริยาของ polyphenolic antioxidants โดยใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า (flow column electrolysis and cyclic voltammetry) พบว่าใน flow column electrolysis จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ catechols (chlorogenic acid and caffeic acid) มากกว่าสอง (เช่นจำนวนของ -OH moieties) ที่พีเอชมากกว่า 7 และค่าของ n จะมีค่ามากถึง 4 ที่พีเอช 10 ส่วนโพลีฟีนอลชนิดอื่นๆประกอบด้วย คาเทชิน (catechin) กรดเอลลาจิก (ellagic acid) และเคอร์คิวมิน (curcumin) จะให้ค่า n มากกว่าจำนวนของ หมู่ -OH ในช่วงพีเอชระหว่าง 4 และ 10 สำหรับโพลีฟีนอล (polyphenols) ที่มีค่า n มาก ๆ พบว่าจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไม่ได้ (irreversible behavior) ที่พีเอชมากกว่า 10 จะเกิดปฏิกิริยาแบบกึ่งผันกลับ (quasi-reversible electron transfer) และตามด้วยปฏิกิริยาเคมีอันดับสอง (second order) เช่น ปฏิกิริยา dimerization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. Ellagic acid (95.5%, Analytical Grade, Fluka)
2. Multi-Walled Carbon Nanotubes, MWNTs (95%, Department of Physics, Chiangmai University)
3. Ferrocene (98%, Analytical Grade, Fluka)
4. Chitosan (Analytical Grade, Fluka)
5. Tyrosinase from Mushroom (Analytical Grade, Fluka)
6. Nafion (5%, Analytical Grade, Fluka)
7. Paraffin Oil (Merck)
8. Sodium hydroxide ,NaOH (98%, Analytical grade, Carlo Erba)
9. Sodium sulphate , Na_2SO_4 (98%, Analytical grade, Lab scan)
10. Sodium chloride ,NaCl (98%, Analytical grade, Carlo Erba)
11. Potassium chloride ,KCl (98%, Analytical grade, Carlo Erba)
12. Potassium sulphate , K_2SO_4 (98%, Analytical grade, Lab scan)
13. Toluene (99%, Analytical grade, Merck)
14. Ethyl alcohol (95%, Analytical grade, Carlo Erba)
15. Deionized water

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง 797 VA Computrace voltammetric analyzer (Metrohm ,Herisau , Switzerland)
2. เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน รุ่น Milli – Q (Milford, MA, USA)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (Denver instrument company)
4. อัลตราโซนิก (Eltrosonic type 0.7 profi)
5. ท่อเพลลอนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เกลียวทองเหลือง $6 \times 8 \text{ mm}^2$
7. เส้นลวดทองแดง
8. ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน (Metrohm Switzerland) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm
9. ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Metrohm Switzerland) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm
10. ขั้วไฟฟ้าทอง (Metrohm Switzerland) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm
11. ขั้วไฟฟ้าช่วย (แพลทินัม, Pt)
12. โกร่งบดสาร

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสร้างขั้วสำหรับศึกษาการเกิดปฏิกิริยา การวิเคราะห์หาปริมาณ Ellagic acid ทางเคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยให้ชื่อขั้วไฟฟ้าที่ใช้โคโคซานปรับปรุงมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ว่า “Multiwall carbon nanotube paste electrode modified by Chitosan; Chitosan/MCPE” ส่วนขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโคโคซาน ผู้วิจัยให้ชื่อว่า “Multiwall carbon nanotube paste electrode; MCPE”

3.3.1 การทำความสะอาดมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ (MWNTs)

จะนำวิธีการทำความสะอาดมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ของ Wang, Z. และคณะ [30] มาประยุกต์ใช้ โดยชั่ง MWNTs ให้ได้ใกล้เคียง 3.0 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก 2.0 M ปริมาตร 160 mL แล้วนำไปปั่นควนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปทำความสะอาดด้วยเครื่อง Ultrasonic โดยทำการสั่นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองแยก MWNTs ออกจากสารละลายโดยใช้เครื่องกรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วทำการล้าง MWNTs ด้วยน้ำปราศจากไอออน จนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่า pH ใกล้เคียงกับค่า pH ของน้ำปราศจากไอออน (ประมาณ 8.0) ทำการทดสอบโดยนำน้ำที่ผ่านการกรองมาวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัด pH เมื่อได้ MWNTs ที่ปราศจากกรดแล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากอบแล้วเก็บไว้ให้เย็นในโถสุญญากาศก่อนนำมาใช้ทำขั้วไฟฟ้า

3.3.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการทดลอง

3.3.2.1 การสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

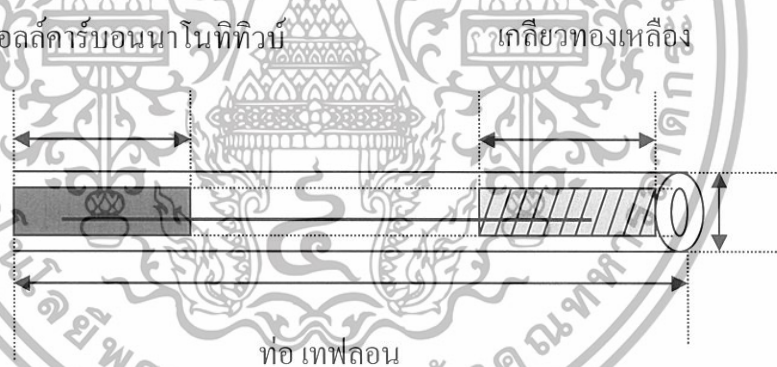
1. ตัดท่อเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ยาว 50 mm ขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเบอร์ 200 ตามลำดับ นำท่อเทฟลอนไปแช่น้ำปราศจากไอออนในบีกเกอร์ แล้วนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกนาน 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าท่อเทฟลอน

2. ใส่เกลียวทองเหลืองด้านหนึ่งของปลายท่อ
3. เชื่อมสายทองแดงจากเกลียวทองเหลืองมาที่ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อ
4. อบ MWNTs ในโถงบดสารที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน เพื่อไล่ความชื้น
5. ทิ้ง MWNTs ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบดให้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน
6. ชั่งน้ำหนัก MWNTs และน้ำมันพาราฟิน ตามอัตราส่วนที่ต้องการตามอัตราส่วนที่ต้องการ
7. ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว
8. อัดของผสมที่เตรียมได้ใส่เข้าไปในท่อเทฟลอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้วขัดผิวหน้าซ้ำที่ได้ด้วยกระดาษที่เรียบ

มัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์



รูปที่ 3.1 ภาพวาดองค์ประกอบภายในข้อไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโน

ทิวบ์เพสต์

3.3.2.2 การสร้างข้อไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วย

ไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

1. ตัดท่อเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ยาว 50 mm ขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 และเบอร์ 200 ตามลำดับ นำท่อเทฟลอนไปแช่น้ำปราศจากไอออนในบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกนาน 5 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าท่อเทฟลอน

2. ใส่เกลียวทองเหลืองด้านหนึ่งของปลายท่อ
3. เชื่อมสายทองแดงจากเกลียวทองเหลืองมาที่ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อ
4. อบ MWNTs ในโถงบดสารที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน เพื่อไล่ความชื้น
5. ทิ้ง MWNTs ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบดให้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน
6. ชั่งน้ำหนัก MWNTs และน้ำมันพาราฟิน ตามอัตราส่วนที่ต้องการตามอัตราส่วนที่ต้องการ
7. ผสมให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว
8. อัดของผสมที่เตรียมได้ใส่เข้าไปในท่อเทฟลอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้วขัดผิวหน้าขั้วที่ได้ด้วยกระดาษที่เรียบ
9. หยดสารละลาย Nafion ที่ผสม MWNTs ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงบนหน้าขั้วรอให้แห้ง
10. หยดสารละลาย Ferrocene ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงบนหน้าขั้ว รอให้แห้ง
11. ผสมสารละลายโคโคซานปริมาตร 4 ไมโครลิตร กับสารละลาย Tyrosinase ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ในบีกเกอร์ แล้วหยดลงบนหน้าขั้วในปริมาตร 1 ไมโครลิตร นำไปเก็บไว้ในอุณหภูมิ 5°C จนหน้าขั้วแห้ง

3.3.3 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์

1. ขัดผิวหน้าขั้วให้เรียบด้วยกระดาษ
2. ต่อขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่เตรียมได้เข้ากับตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าใช้งาน ใช้ขั้วอ้างอิงเป็นซิลเวอร์ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และใช้ขั้วไฟฟ้าช่วยเป็นแพลทินัม (Pt)
3. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตความเข้มข้น 0.1M จำนวน 17.5 mL ลงในขวดวัดปริมาตร 25 mL
4. ปรับปริมาตรด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 M แล้วตรวจวัดด้วยไซคลิกโวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ Ellagic acid

หาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัด Ellagic acid โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้ว MCPE , Chitosan/MCPE , Pt , AU เป็นขั้วทำงาน โดยศึกษา

3.4.1.1 ชนิดอิเล็กโทรไลต์

เตรียมสารละลาย 0.5 mM Ellagic acid ในอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ คือ NaOH, NaCl ,Na₂SO₄ , K₂SO₄ และ KCl ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s ตรวจวัดโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.4.1.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์

เตรียมสารละลาย 0.5 mM Ellagic acid ในอิเล็กโทรไลต์ (เลือกจากข้อ 3.4.1.1) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s ตรวจวัดโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.4.1.3 อัตราการสแกน

เตรียมสารละลาย 0.5 mM Ellagic acid ในความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (เลือกจากข้อ 3.4.1.2) ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีที่อัตราการสแกนต่างๆคือ 10, 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 mV/s

3.4.2 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าในการวิเคราะห์ Ellagic acid โดยศึกษา

3.4.2.1 การวัดซ้ำ (Reproducibility)

เตรียมสารละลาย 0.5 mM Ellagic acid ในอิเล็กโทรไลต์ (เลือกจากข้อ 3.4.1.2) ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s นำขั้วไฟฟ้ามาขัดและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วตรวจวัดซ้ำในสารละลายเดิม 30 ครั้ง

3.4.2.2 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time)

ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 โดยใช้ขั้วเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาล้างโดยไม่ต้องขัดแล้วตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid ซ้ำ บันทึกกระแสที่เกิดขึ้นจนกระทั่งกระแสลดต่ำกว่า 50% ของกระแสที่ได้จากการตรวจวัดครั้งแรก

3.4.2.3 ช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

ตรวจวัดปริมาณ Ellagic acid ที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วสร้างกราฟระหว่างค่าของปริมาณกระแสกับค่าความเข้มข้นของปริมาณ Ellagic acid ช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรงจะเป็นค่าการตอบสนองเชิงเส้น (Linear range)

3.4.2.4 กระแสพื้น (Background current)

ศึกษาและเปรียบเทียบกระแสพื้นของขั้วไฟฟ้า จากการตรวจวัดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (blank) โดยอ่านค่าสัญญาณฟิสิกตำแหน่งเดียวกันกับฟิสิกของ Ellagic acid เป็นจำนวน 30 ครั้ง

3.4.2.5 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit)

อ่านค่าสัญญาณฟิสิกตำแหน่งเดียวกันกับฟิสิกของ Ellagic acid เป็นจำนวน 30 ครั้ง จากนั้นหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในสารละลาย blank (baseline) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความเข้มข้นที่เหมาะสม) แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ โดยนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลาย blank ที่ได้คูณด้วย 3 (ความเชื่อมั่นที่ 95%) นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการเส้นตรงของกราฟที่ได้จากการทดลองข้อ 3.4.2.3 จะได้ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์

3.4.3 ตรวจวัด Ellagic acid ในสารตัวอย่างจริง

ตรวจวัดน้ำผลไม้ตัวอย่างยี่ห้อต่างๆ โดยใช้เทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) เป็นขั้วใช้งานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Pt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

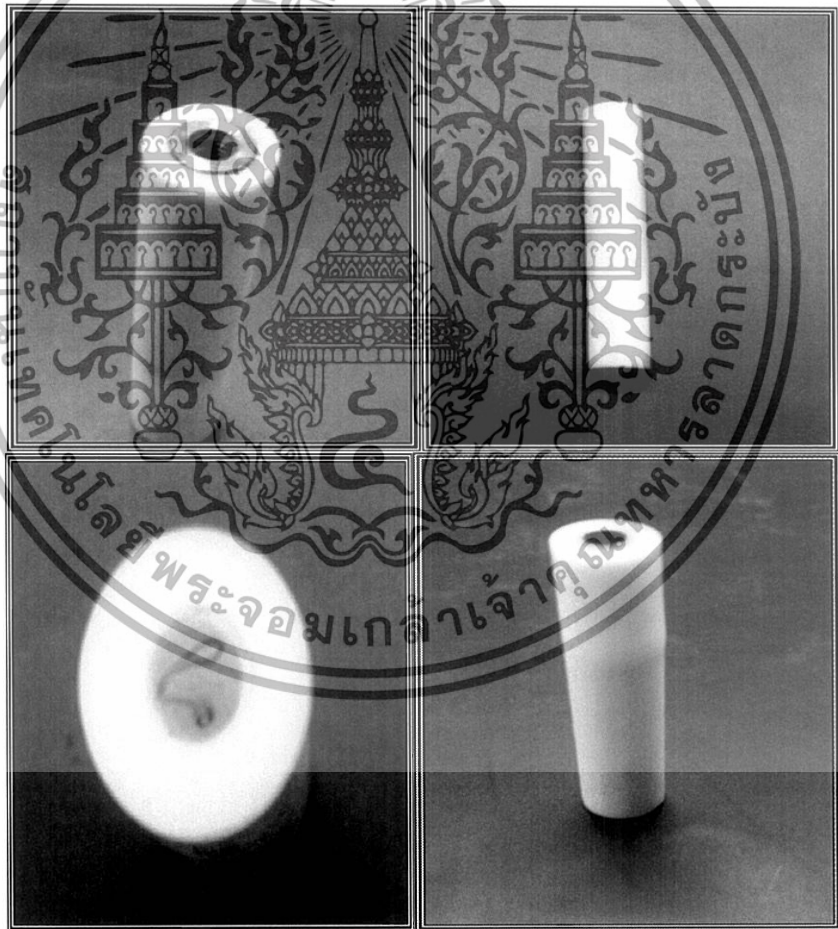
บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

4.1.1 การประกอบขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

ลักษณะของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) หลังจากประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 4.1

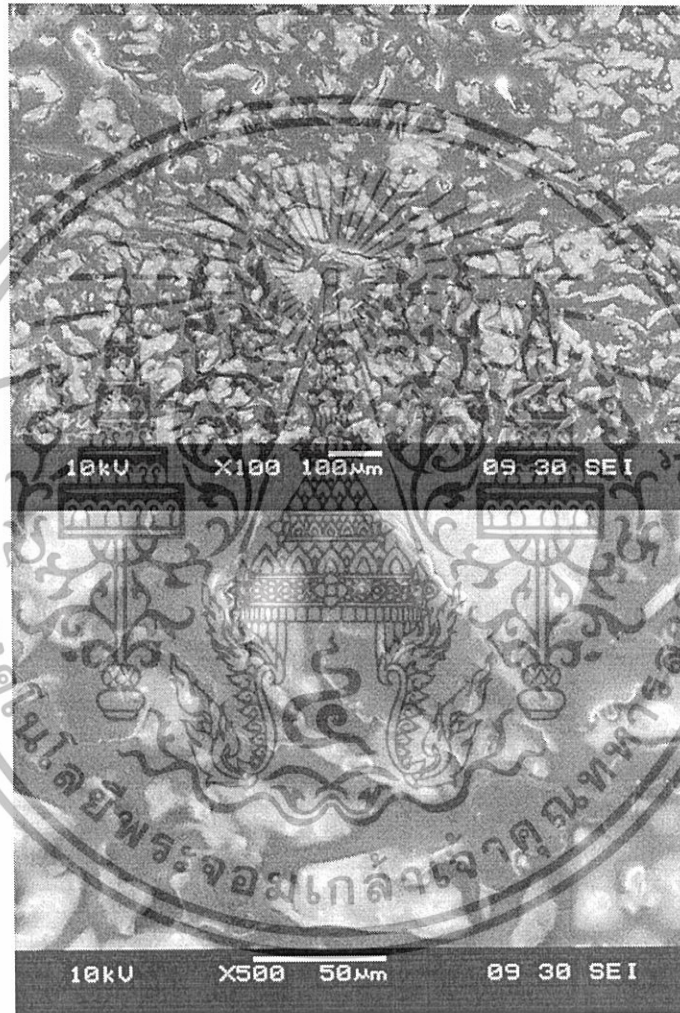


รูปที่ 4.1 ลักษณะของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

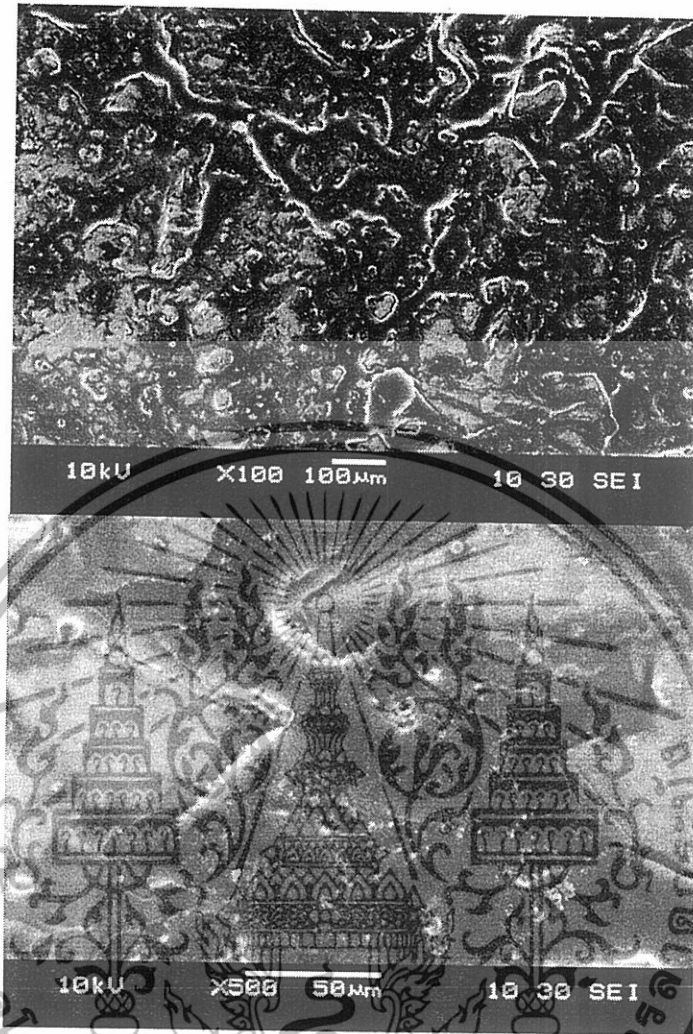
4.1.2 พื้นผิวของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

ลักษณะพื้นผิวของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) จะได้ดังรูปที่ 4.2-4.3



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) จากกล้องจุลทรรศน์ที่มี กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

จากรูปที่ 4.2-4.3 พบว่าลักษณะผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) จะมีความขรุขระ เมื่อเปรียบเทียบผิวหน้าของทั้งสองขั้วจะสังเกตเห็นว่าลักษณะผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (MCPE) มีฟิล์มบางๆเคลือบอยู่ ซึ่งสารที่ใช้เคลือบนั้นจะช่วยประสานผิวหน้าของขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ให้มีความเรียบมากขึ้น ดังนั้นขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) จะมีโอกาสที่จะมีสารมาเคลือบหน้าขั้วเป็นฟิล์มระหว่างที่วัดได้มากกว่าขั้วไฟฟ้ามีลวดคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยนำขั้วมาขัดด้วยกระดาษทรายเรียบ เพื่อให้สารที่เกาะอยู่บนผิวหน้าหลุดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเลือกขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบ สัญญาณกระแสจากสารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$

กำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

สารละลาย 0.05 M $K_3(Fe(CN)_6)$ ใน 0.1 M KCl

พ่นแก๊สไนโตรเจน 150 วินาที

อัตราการสแกน 0.05 V/s

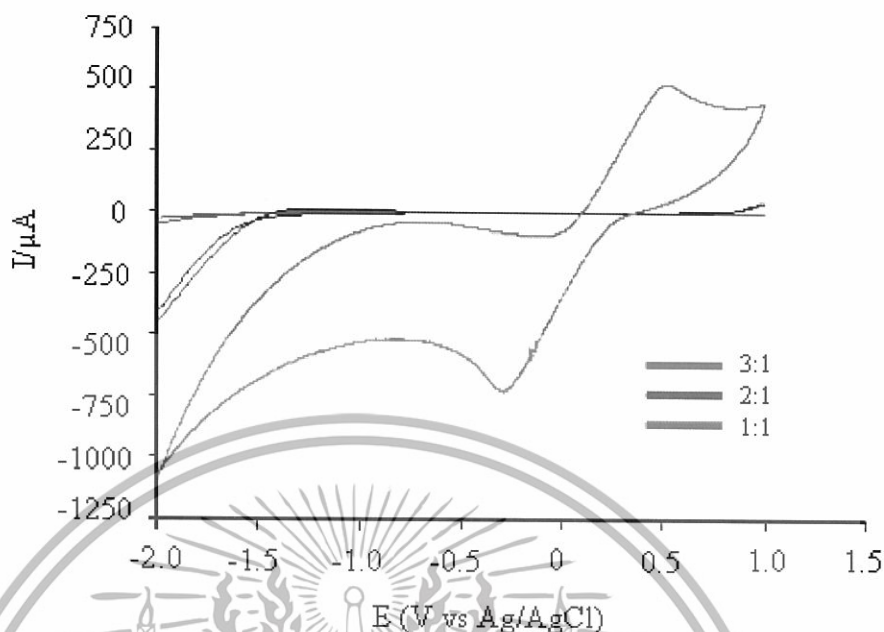
ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคือ ขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ขั้วไฟฟ้าช่วยคือ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

ขั้วไฟฟ้าทำงานคือ ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.2.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

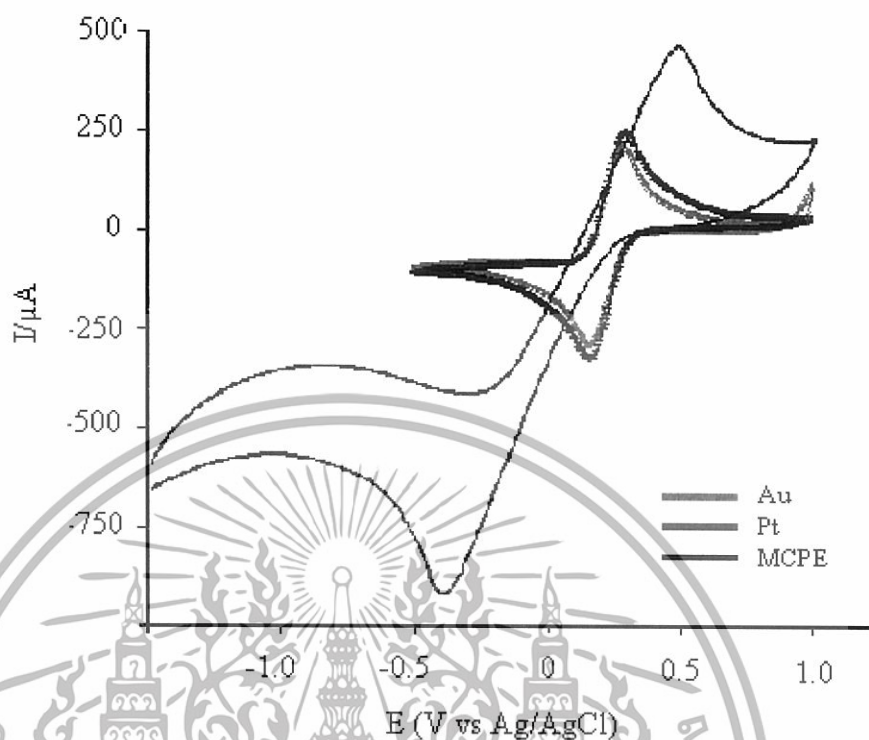
จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หา Ellagic Acid พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างขั้วไฟฟ้าคือ ปริมาณผง MWNTs ต่อน้ำมันพาราฟินเป็น 1:1 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$ ความเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

จากรูปที่ 4.4 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) อัตราส่วน 2:1 และ 3:1 พบว่าไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งอาจเป็นเพราะการส่งผ่านของอิเล็กตรอนไม่เพียงพอ เนื่องจากผสมได้ไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกิดการส่งผ่านของอิเล็กตรอนไม่ต่อเนื่องตามมา ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:1 ดังนั้นในการทำการทดลองต่อไป จึงนำขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ที่มีอัตราส่วน 1:1 ไปใช้

ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$ ความเข้มข้น 0.05 M โดยเปรียบเทียบระหว่างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) กับ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$ ความเข้มข้น 0.05 mM ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s ใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) เปรียบเทียบกับ ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

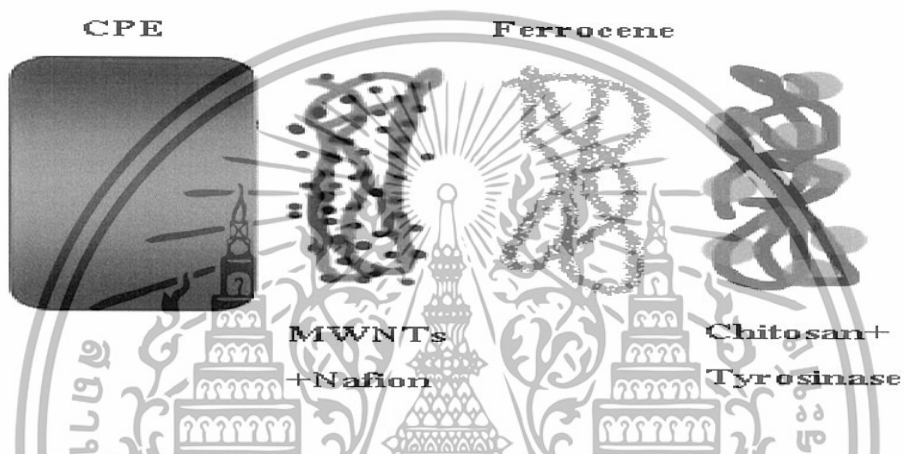
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้า และกระแสในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของ $K_3(Fe(CN)_6)$ ความเข้มข้น 0.05 mM ในสารละลาย KCl ความเข้มข้น 0.1 M จากไชคลิกโวลแทมโมแกรม โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ขั้วไฟฟ้า	ปฏิกิริยาออกซิเดชัน		ปฏิกิริยารีดักชัน	
	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)
CPE	0.471	483.2	-383	-626.1
ขั้ว Pt	0.296	339.83	0.155	-356.7
ขั้ว Au	0.291	295.7	0.165	-307.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

ในการสร้างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ส่วนประกอบที่ใช้มีทั้งหมด 3 ชั้น คือ ชั้นของ 0.1 % Nafion ชั้น Ferrocene และชั้นของไคโตซานกับ Tyrosinase อัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในภาคผนวก ค



รูปที่ 4.6 แสดงชั้นของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

4.3 เปรียบเทียบสัญญาณทางเคมีไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.3.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ

ไซคลิก โวลแทมโมแกรมของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH ความเข้มข้น 0.1 M เทียบกับ Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH ดูจากภาคผนวก ก 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สภาพที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัด Ellagic Acid

4.3.2.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

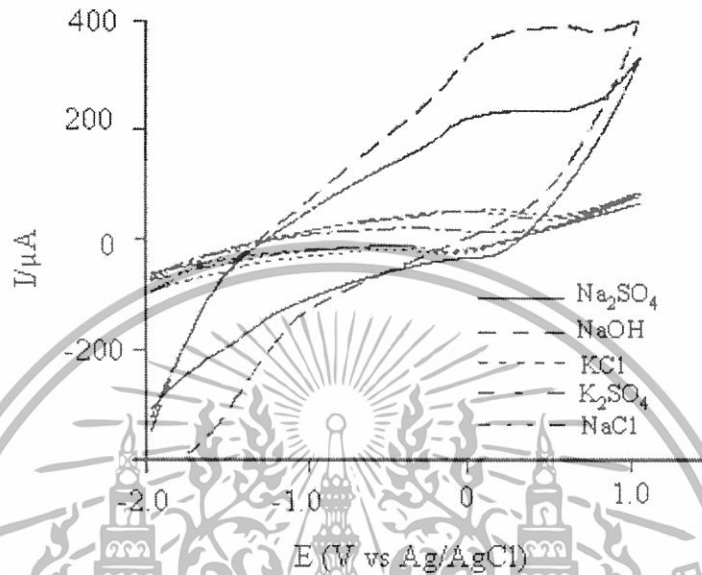
4.3.2.1.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1.5 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

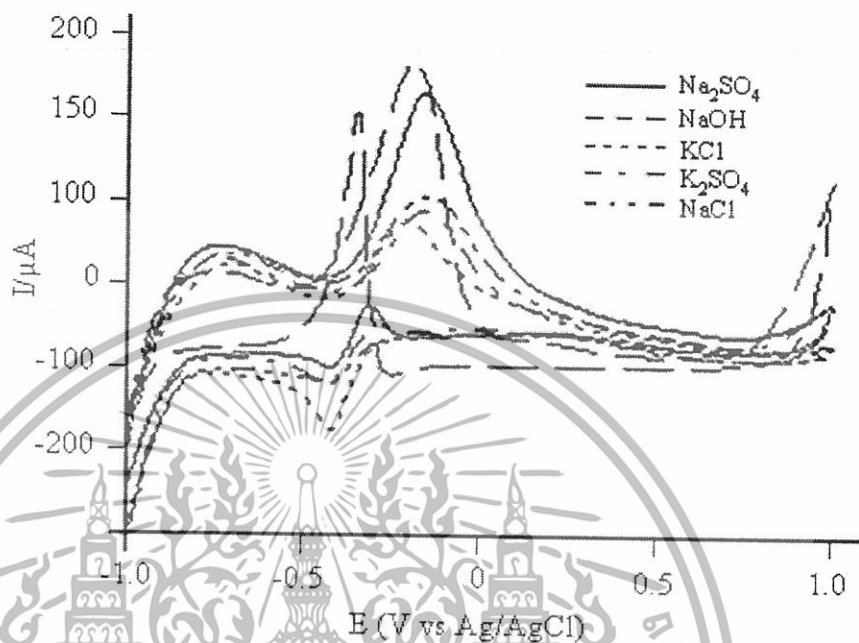
4.3.2.1.2 ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน (Chitosan/MCPE)



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1.5 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

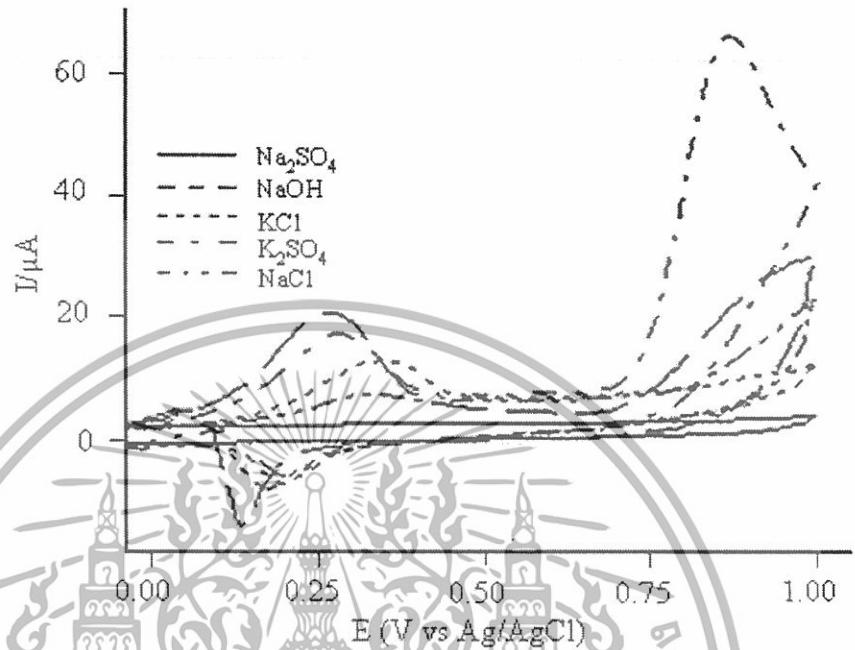
4.3.2.1.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบไซคลิกโวลเทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 และ NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1.5 ถึง 1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้า และกระแสในปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KCl , $NaCl$ และ $NaOH$ เข้มข้น 0.1 M จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์	CPE		MCPE	
	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)
0.1 M K_2SO_4	-0.291	59.337	0.269	1.715
0.1 M Na_2SO_4	-0.214	20.968	0.279	2.336
0.1 M KCl	-0.311	50.727	0.83	2.381
0.1 M $NaCl$	-0.273	25.555	-0.389	0.497
0.1 M $NaOH$	-0.023	35.377	0.464	5.699
		ขั้ว Pt		ขั้ว Au
สารละลายอิเล็กโทรไลต์	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแส (μA)
0.1 M K_2SO_4	-0.144	54.293	0.279	11.83
0.1 M Na_2SO_4	-0.159	117.933	-0.812	0.125
0.1 M KCl	-0.2	48.867	0.34	7.562
0.1 M $NaCl$	-0.13	55.567	0.313	2.815
0.1 M $NaOH$	-0.177	149.667	0.259	16.843

จะเห็นว่ามีความโน้มของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic Acid จากขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ได้ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกลางของ K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KCl และ $NaCl$ เข้มข้น 0.1 M ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่ที่ประมาณ -0.27 0.25 0.16 และ 0.03 V ตามลำดับ
2. ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเบสของ $NaOH$ เข้มข้น 0.1 M ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะอยู่ที่ประมาณ -0.023 0.464 -0.177 และ 0.259 V ตามลำดับ

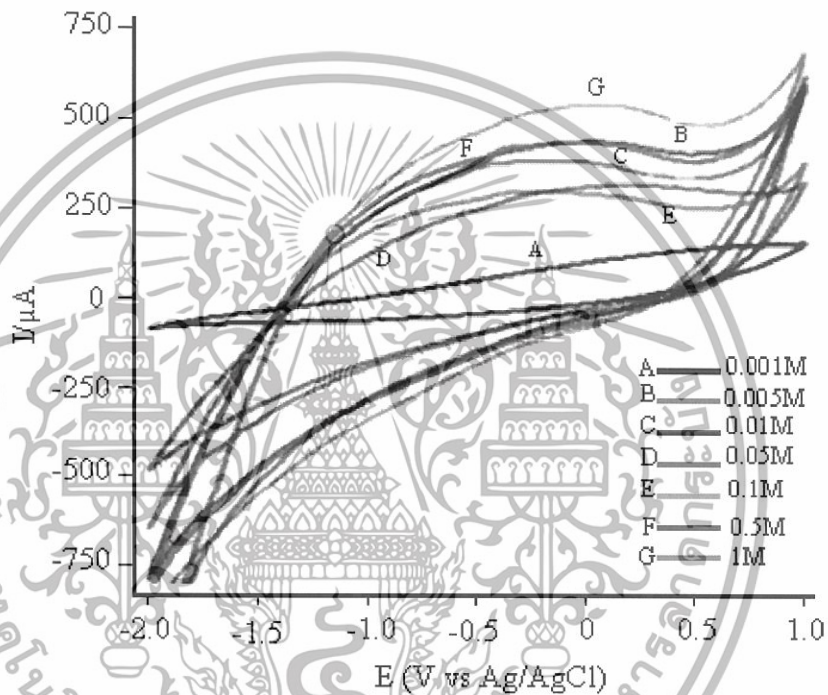
จากตารางที่ 4.2 ขั้วไฟฟ้า ทั้งขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) นั้น พบว่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH สูงกว่าอิเล็กโทรไลต์ชนิดอื่นๆ และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะของพีคไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย NaOH ในรูปที่ 4.7 ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) จะมียอดพีคที่คมชัดกว่าสารละลายอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกสารละลาย NaOH เป็นอิเล็กโทรไลต์สำหรับตรวจวัด Ellagic Acid



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.3.2.2.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)



รูปที่ 4.11 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

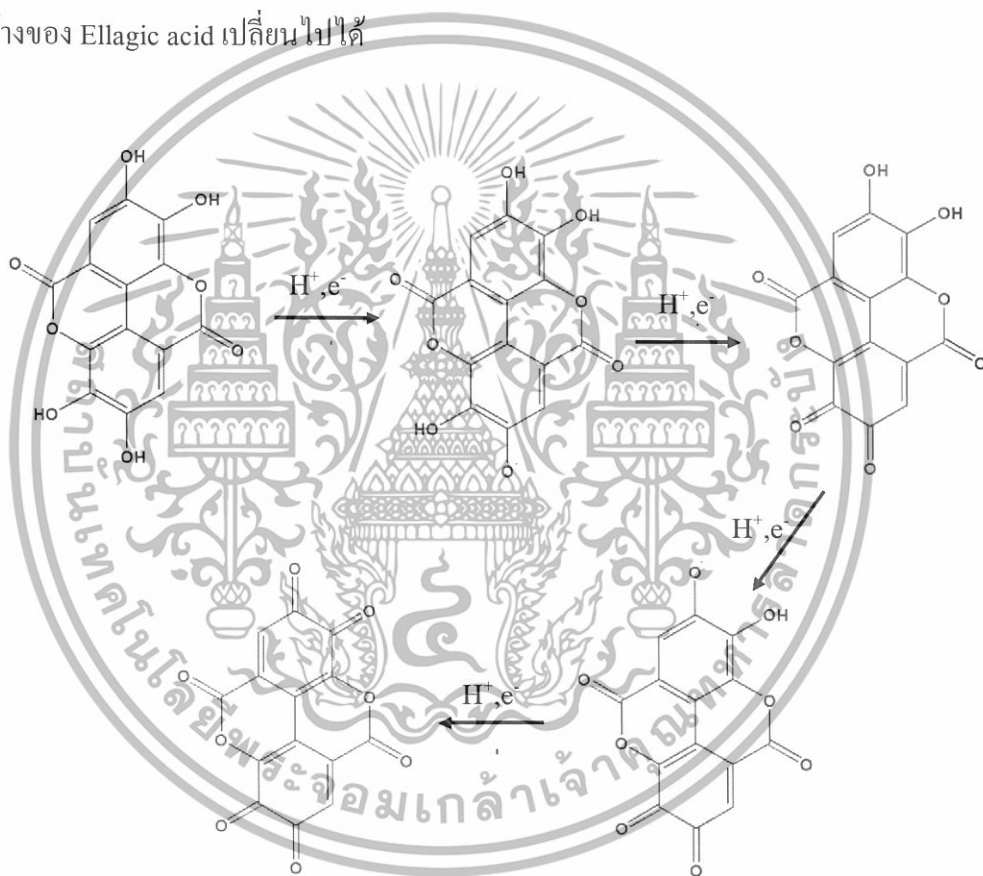
ค่าของกระแสและตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ไชคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงในภาคผนวก ก

จากไชคลิกโวลแทมโมแกรมรูปที่ 4.12 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์จาก 0.005 ถึง 0.05 M NaOH พบว่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆ กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้นตามลำดับ แต่ที่ความเข้มข้น 0.001 M ไม่มีกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น นั่นเป็นเพราะว่าสัดส่วนของอิเล็กโทรไลต์ต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์มีค่าที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อเราให้ความเข้มข้นของ NaOH เป็น 1 M แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.13 จะเห็นว่ากระแสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

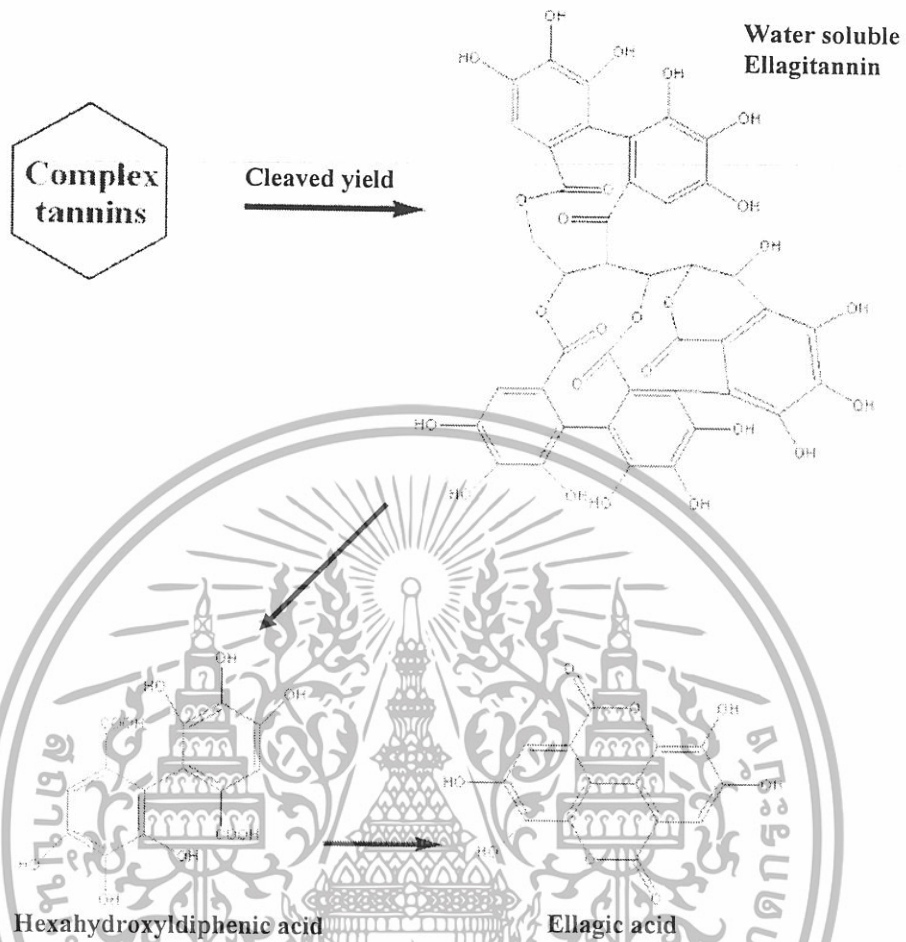
ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้น 0.5 M ถึงแม้ความเข้มข้นจะมากขึ้นเป็น 1 M กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นแต่ไม่มาก สังเกตได้จากความชันของกราฟ นอกจากนี้ ยังพบอีกว่าเมื่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น ศักย์ไฟฟ้าจะเลื่อนไปทางค่าบวกมากขึ้น แสดงได้ดัง ตารางที่ ก 1.2.1 ในภาคผนวก ก

สถานะที่เหมาะสมของ Ellagic Acid จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสถานะที่เป็นเบส ตามสมการในรูปที่ 4.12 ยิ่งสถานะที่เป็นเบสมาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ยิ่งมาก แต่จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาได้ไม่มากนักเมื่อความเป็นเบสมากขึ้น ($\text{pH} > 8$) และถ้าอิเล็กโทรไลต์เป็นเบสมากเกินไป อาจทำให้โครงสร้างของ Ellagic acid เปลี่ยนไปได้



รูปที่ 4.12 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

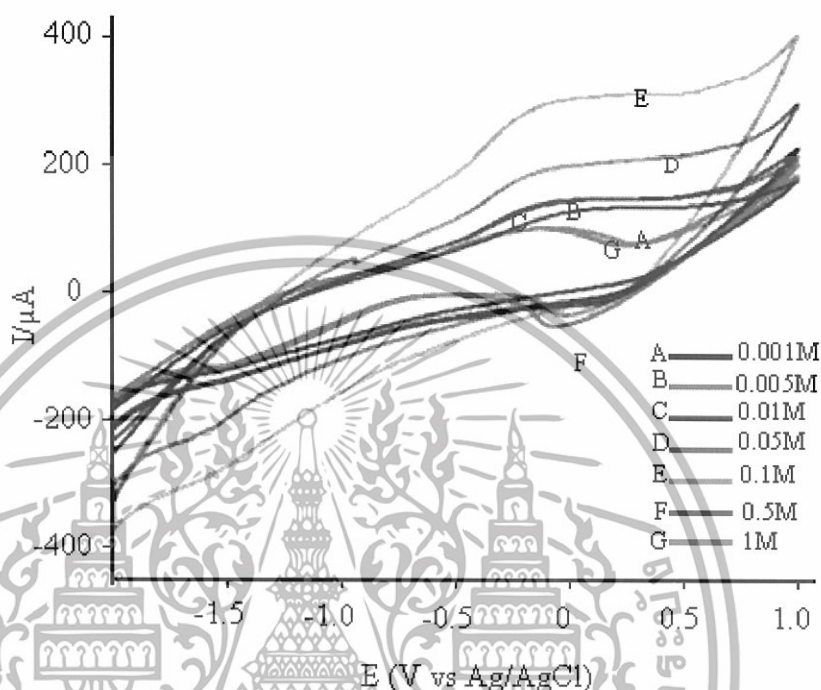


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนินไปเป็น Ellagic Acid

จากรูปที่ 4.13 แสดงกลไกการเปลี่ยนจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนินไปเป็น Ellagic Acid ซึ่งจะเห็นได้ว่า Ellagic Acid จะเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนแทนนิน นอกจากนี้แล้วสารประกอบพวกโพลีฟีนอลยังสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้ ดังนั้นในการที่จะแยกแยะสารประกอบโพลีฟีนอลนั้นควรมีเทคนิคอื่นๆ เข้ามาช่วยเช่น HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

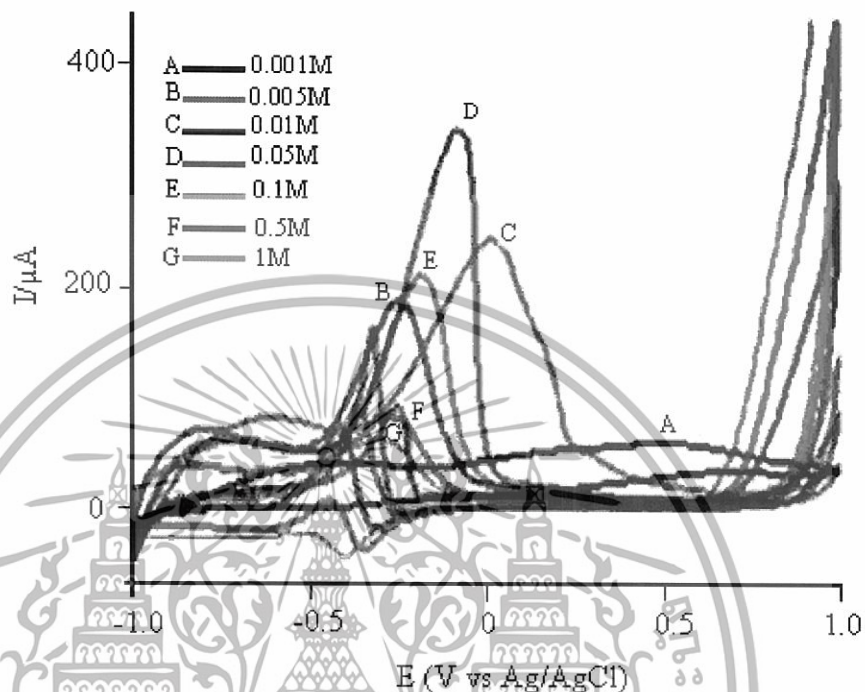


รูปที่ 4.14 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

จากกราฟรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของ NaOH เป็น 0.5 M กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เพราะสภาวะที่เหมาะสมของ Ellagic Acid ค่า pH ที่เหมาะสมจะไม่เกิน 8 หรือถ้าเกินปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะเกิดได้มากขึ้นแต่มีค่าน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

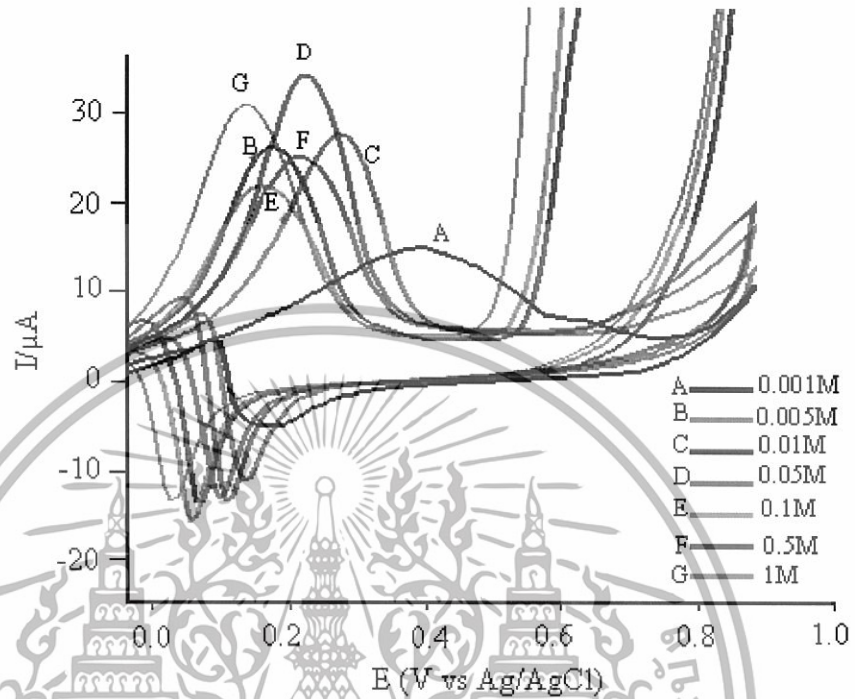


รูปที่ 4.15 โวลแทมโกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าความเข้มข้นของ NaOH ที่ให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงที่สุด คือ 0.05 M แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆ กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะลดลงเรื่อยๆเช่นกัน อาจเป็นเพราะสัดส่วนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับสารที่ต้องการไม่เหมาะสม ถึงแม้ว่าความเป็นเบสจะมากขึ้นแต่ก็ไม่ได้ทำให้เกิดกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

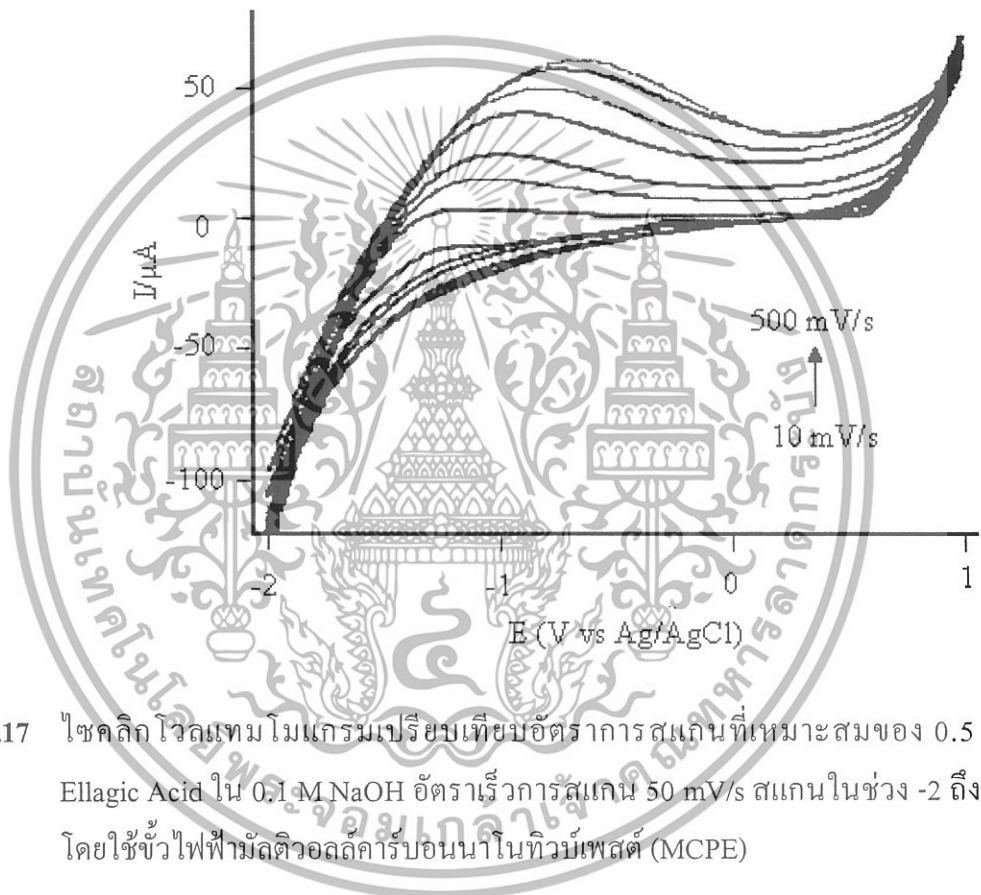


รูปที่ 4.16 โพลีกราฟโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 0.001 ถึง 1 M ของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

จากกราฟรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0.001 ถึง 0.05 M กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง อันเนื่องมาจากเป็นสัดส่วนของอิเล็กโทรไลต์ต่อสารที่วิเคราะห์มีค่าเหมาะสมที่สุดเมื่อให้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์เป็น 0.05 M NaOH ถึงแม้ว่าความเป็นเบสจะมากขึ้นแต่ก็ไม่ได้ทำให้เกิดกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

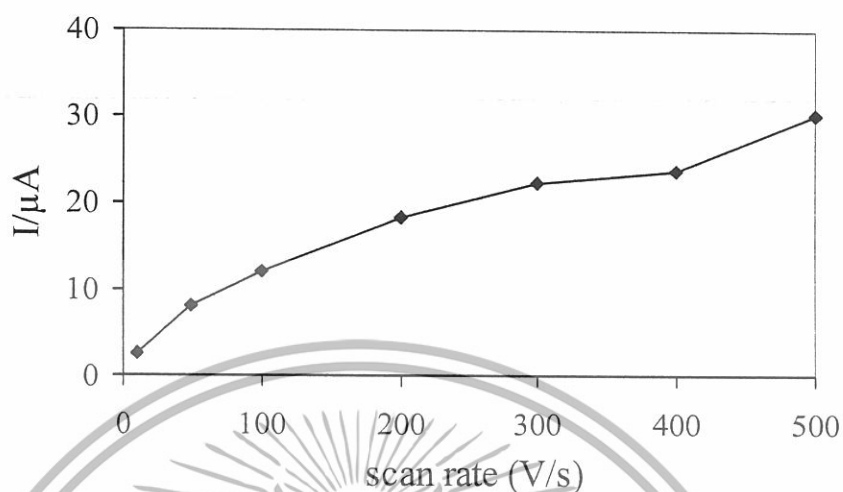
4.3.2.3 การสแกนที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.3.2.3.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

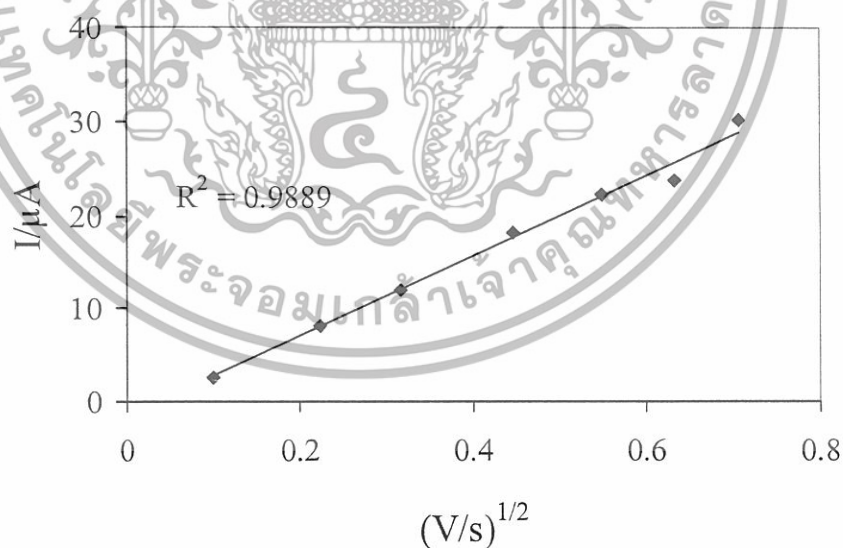


รูปที่ 4.17 ไซคลิก โวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

อัตราการสแกนที่มีผลต่อไซคลิก โวลแทมโมแกรมเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าของกระแสและตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงในภาคผนวก 1.3.1 นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.17 พบว่าอัตราการสแกน 500 mV/s ให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ชัดเจนที่สุด

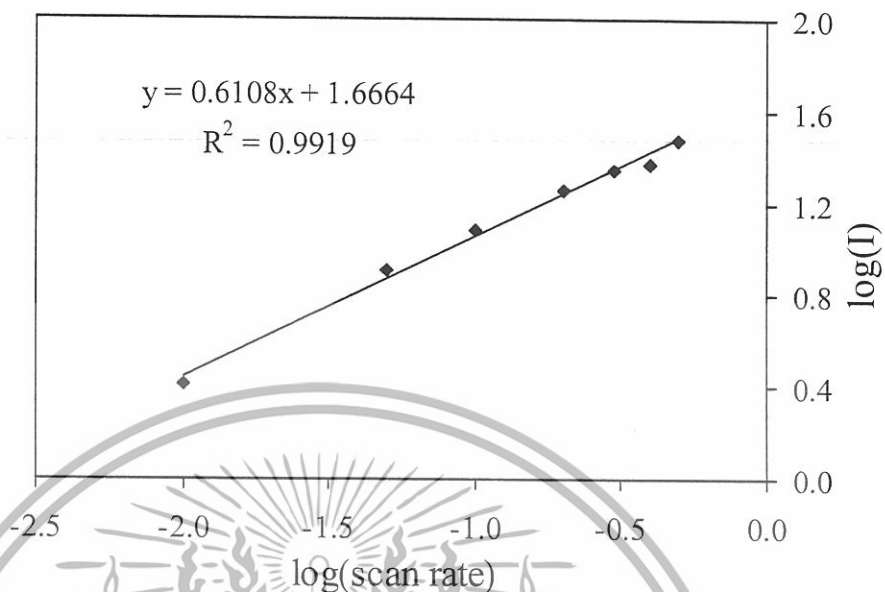


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์พอสต์ (MCPE)

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราการสแกน ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย พิกที่ได้เป็นพิกจากปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) เพราะได้แอมเพอโรแกรมหรือพิกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงพิกเดียว

จากรูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9889$) จากสมการ 2.1 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรง แสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n, A, C และ D คงที่เมื่อใส่ Log ลงในสมการ 2.2 จะได้

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

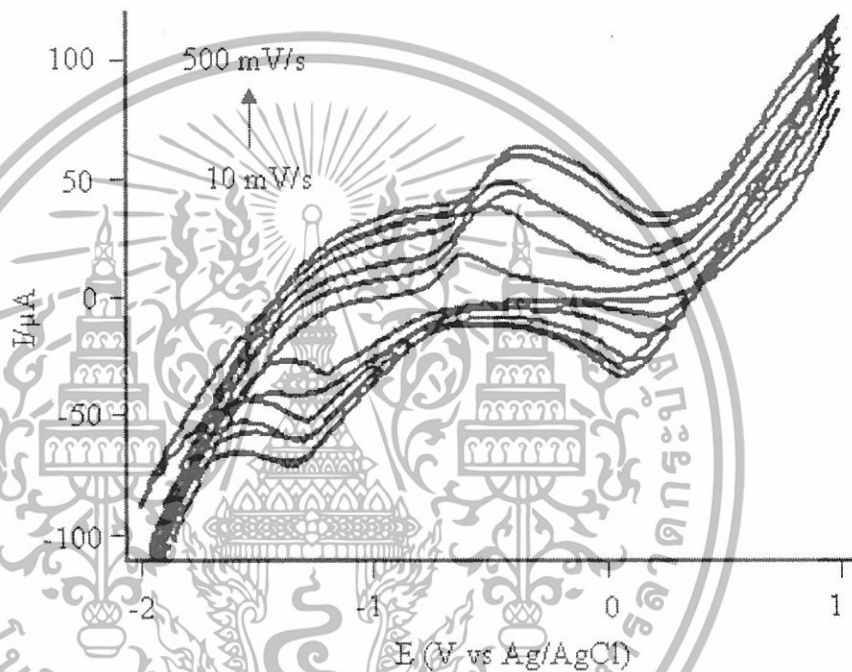
$$\text{Log } i_p = 0.5 \text{Log } V$$

แสดงว่ากระแสที่เกิดขึ้นจะควบคุมโดยกระบวนการแพร่ “Diffusion-controlled” และจากกราฟรูปที่ 4.20 จากความสัมพันธ์ Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันของ Ellagic acid จะได้เป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9919$) และมีความชันประมาณ 0.6 ซึ่งใกล้เคียงกับสมการข้างต้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการที่ขั้วไฟฟ้าเป็นแบบการแพร่

4.3.2.3.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

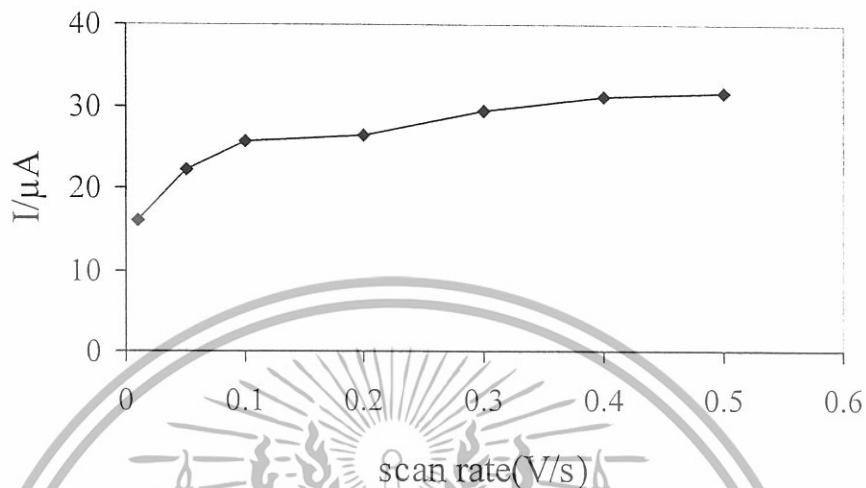


รูปที่ 4.21 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

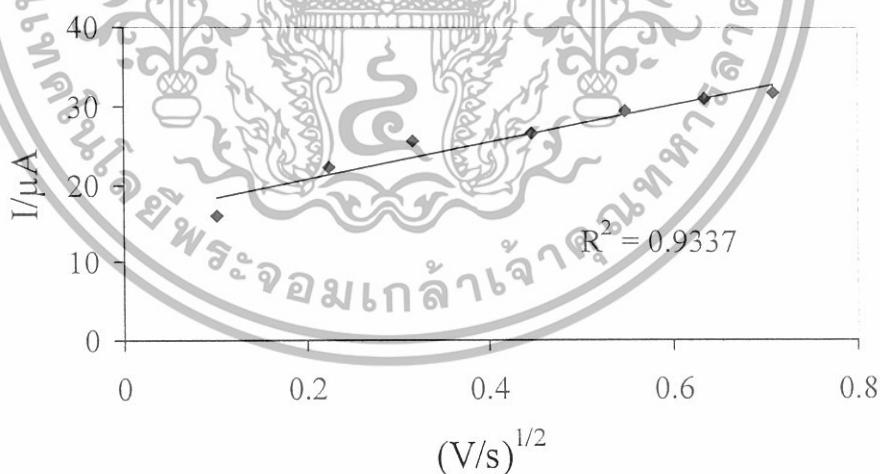
อัตราการสแกนที่มีผลต่อไชคลิกโวลแทมโมแกรมเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าของกระแสและตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงในภาคผนวก 1.3.2 นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.22 พบว่าอัตราการสแกน 500 mV/s ให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ชัดเจนที่สุด แต่สำหรับการทดลองต่อไป จะเลือกใช้อัตราการสแกน 50 mV/s เพราะจากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าให้ความชัน

สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

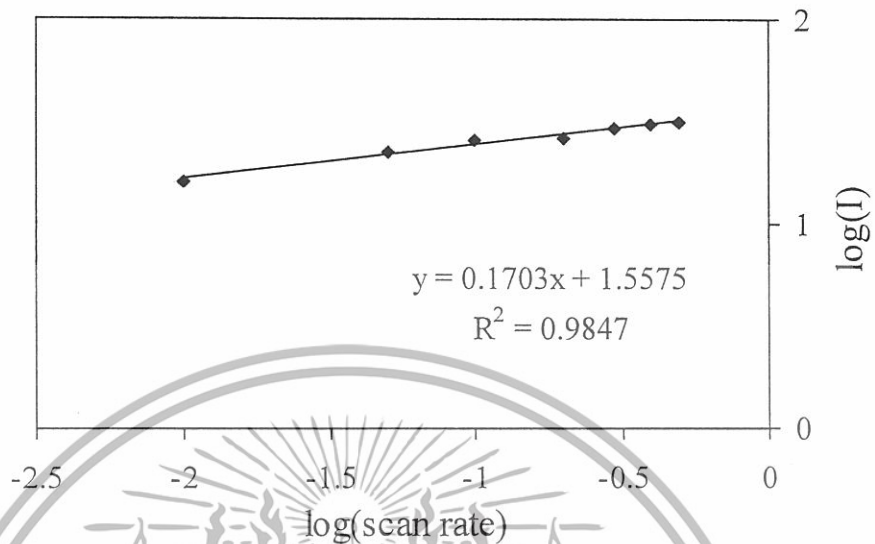


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนที่วับเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

จากรูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9337$) จากสมการ 2.1 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n, A, C และ D คงที่เมื่อใส่ Log ลงในสมการ 2.2 จะได้

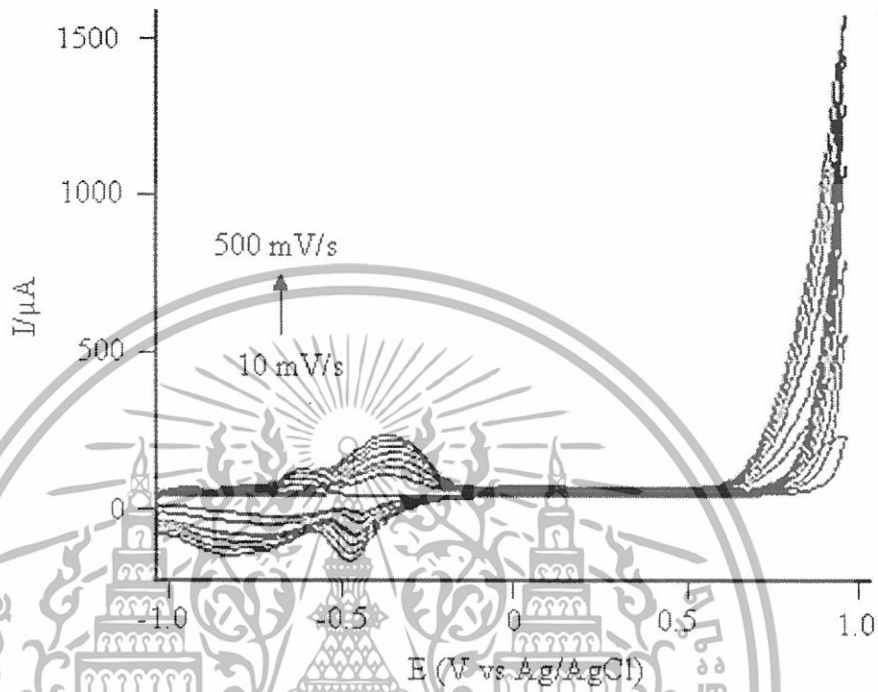
$$\text{Log } i_p = \text{Log} (2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2}) + \text{Log } V^{1/2}$$

$$\text{Log } i_p = 0.5 \text{Log } V$$

แสดงว่ากระแสที่เกิดขึ้นจะควบคุมโดยกระบวนการแพร่ “Diffusion-controlled” และจากรูปที่ 4.24 จากความสัมพันธ์ Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะได้เป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9847$) และมีความชันประมาณ 0.5 ซึ่งใกล้เคียงกับสมการข้างต้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการที่ขั้วไฟฟ้าเป็นแบบการแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

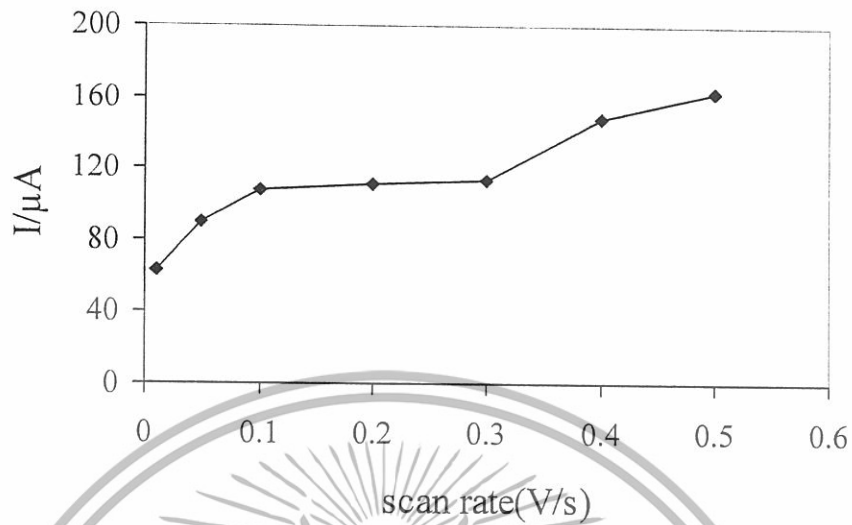
4.3.2.3.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)



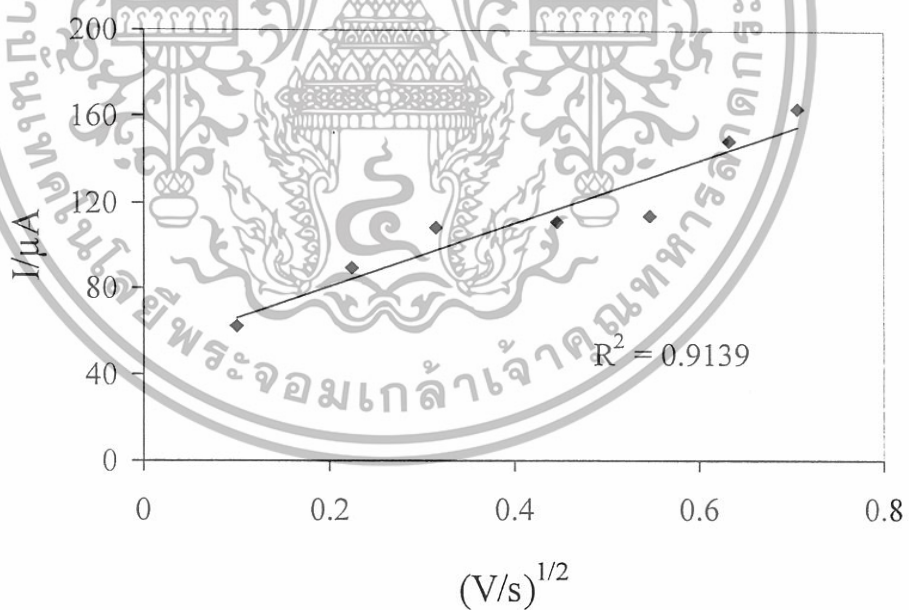
รูปที่ 4.25 โวลต์แกรมของขั้วไฟฟ้าแพลทินัมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -1 ถึง 1 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

อัตราการสแกนที่มีผลต่อโวลต์แกรมโมแกรมเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าของกระแสและตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงในภาคผนวก 1.3.3 นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังรูปที่ 4.26 พบว่าอัตราการสแกน 500 mV/s ให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ชัดเจนที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

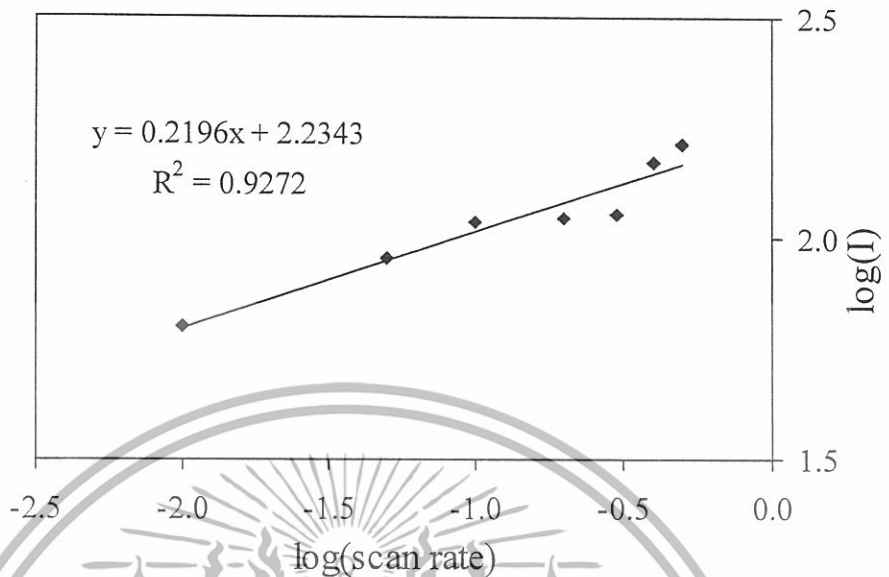


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

จากรูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9139$) จากสมการ 2.1 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n, A, C และ D ลงที่เมื่อใส่ Log ลงในสมการ 2.2 จะได้

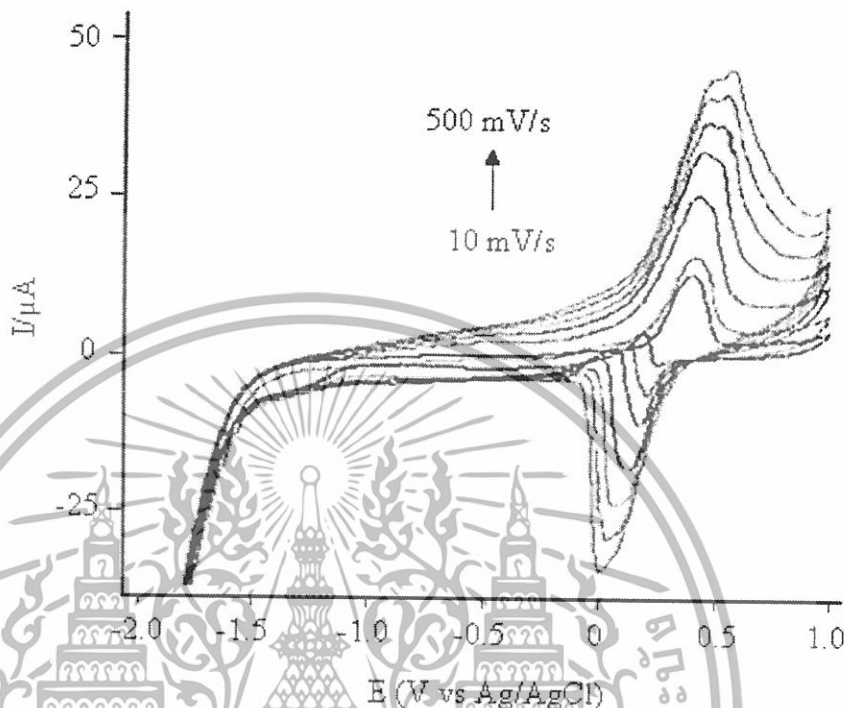
$$\text{Log } i_p = \text{Log} (2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2}) + \text{Log } V^{1/2}$$

$$\text{Log } i_p = 0.5 \text{Log } V$$

แสดงว่ากระแสที่เกิดขึ้นจะควบคุมโดยกระบวนการแพร่ “Diffusion-controlled” และจากกราฟรูปที่ 4.28 จากความสัมพันธ์ Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะได้เป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9272$) และมีความชันประมาณ 0.5 ซึ่งใกล้เคียงกับสมการข้างต้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการที่ขั้วไฟฟ้าเป็นแบบการแพร่

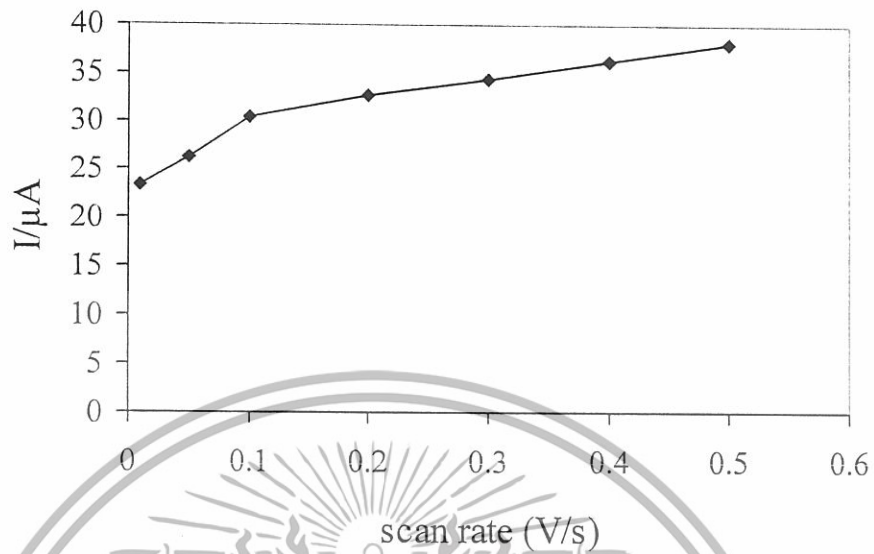
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

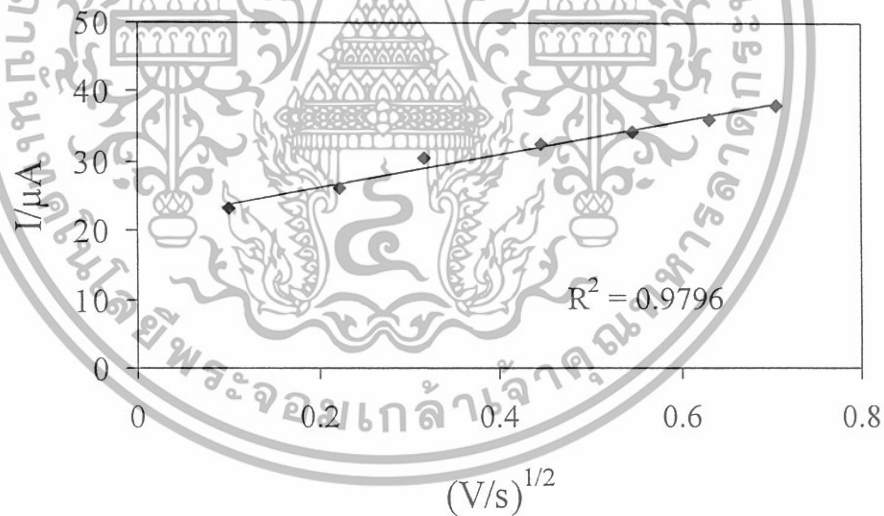


รูปที่ 4.29 ไชคคลิก โวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบอัตราการสแกนที่เหมาะสมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH อัตราเร็วการสแกน 50 mV/s สแกนในช่วง -2 ถึง 1 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

อัตราการสแกนที่มีผลต่อ ไชคคลิก โวลแทมโมแกรมเมื่อเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลทำให้ ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าของกระแสและ ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงในภาคผนวก 1.3.4 นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังรูป ที่ 4.30 พบว่าอัตราการสแกน 500 mV/s ให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ชัดเจนที่สุด ซึ่งมี แนวโน้มที่จะให้กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่สำหรับการทดลองต่อไป จะเลือกใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s เพราะจากรูปที่ 4.30 จะเห็นว่าให้ความชันสูงสุด

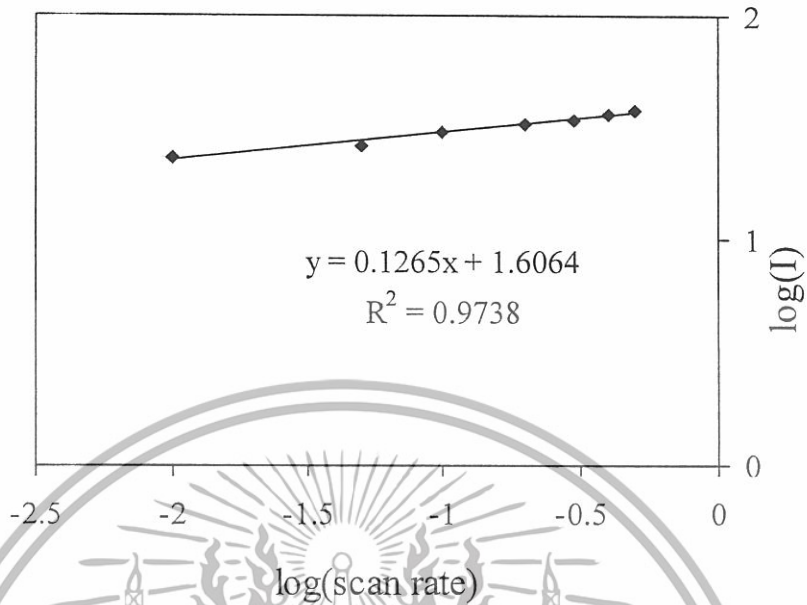


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนกับ Log กระแสปฏิกริยาออกซิเดชันของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

จากรูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9796$) จากสมการ 2.1 ถ้านำค่า i_p มาพลอตกับค่า $V^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า m, A, C และ D ลงที่เมื่อได้ Log ลงในสมการ 2.2 จะได้

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

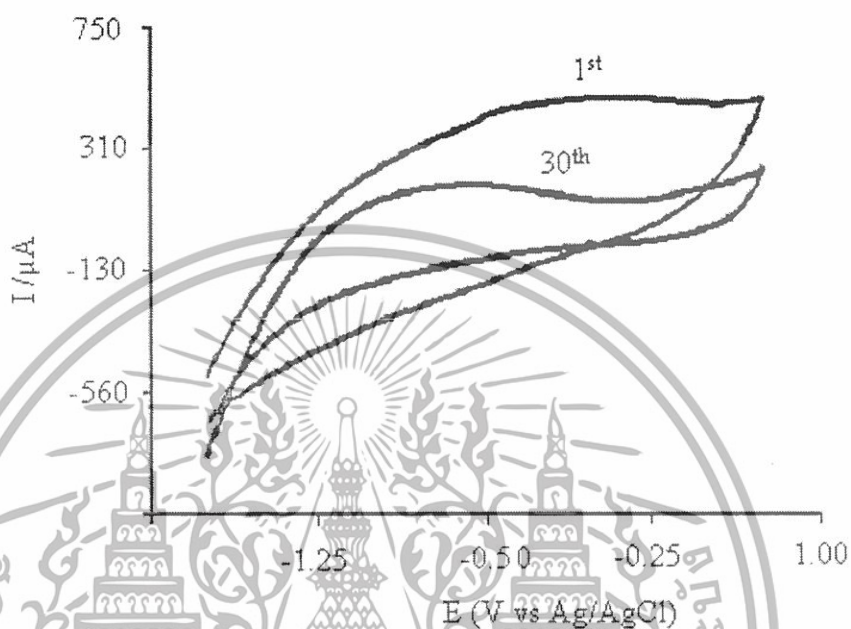
$$\text{Log } i_p = 0.5 \text{Log } V$$

แสดงว่ากระแสที่เกิดขึ้นจะควบคุมโดยกระบวนการแพร่ “Diffusion-controlled” และจากกราฟรูปที่ 4.32 จากความสัมพันธ์ Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสปฏิกริยาออกซิเดชันของ Ellagic acid จะได้เป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9738$) และมีความชันประมาณ 0.5 ซึ่งใกล้เคียงกับสมการข้างต้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการที่ขั้วไฟฟ้าเป็นแบบการแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4 สแกนนิ่งเบอร์ (Scan number)

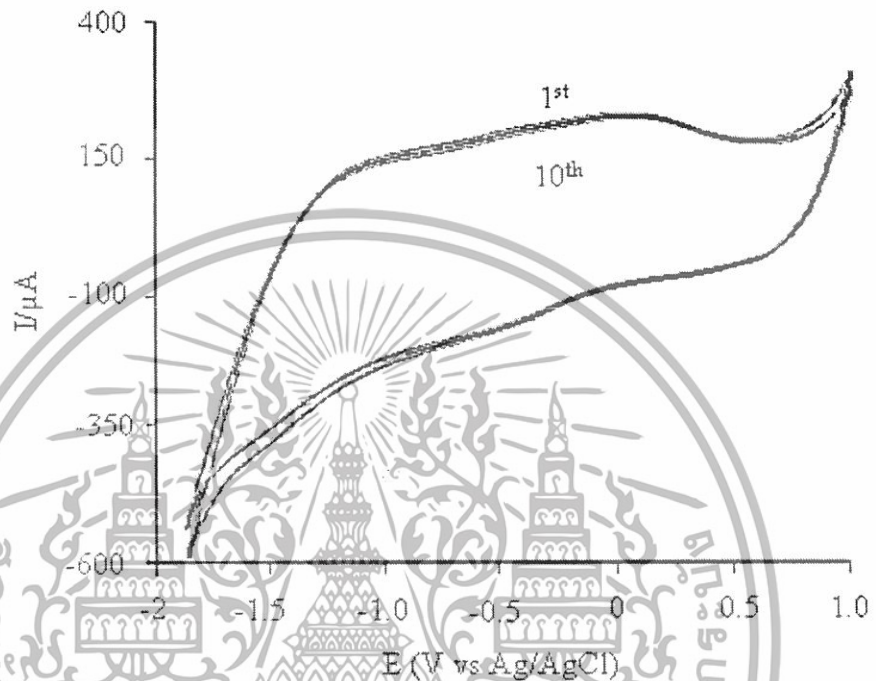
4.3.2.4.1 ขั้วไฟฟ้ามีลิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)



รูปที่ 4.33 แสดง Scan number ของขั้วไฟฟ้ามีลิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

จากรูปที่ 4.33 พบว่ากระแสที่ได้จากการวัดซ้ำหลายๆครั้ง แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานั้นจะไม่เกาะติดบนผิวของหน้าขั้ว ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการวัดครั้งต่อไปแพร่เข้ามาบริเวณหน้าขั้วจะถูกตรวจวัดได้ค่ากระแสเท่าเดิมหรือเปลี่ยนไปไม่มากนัก

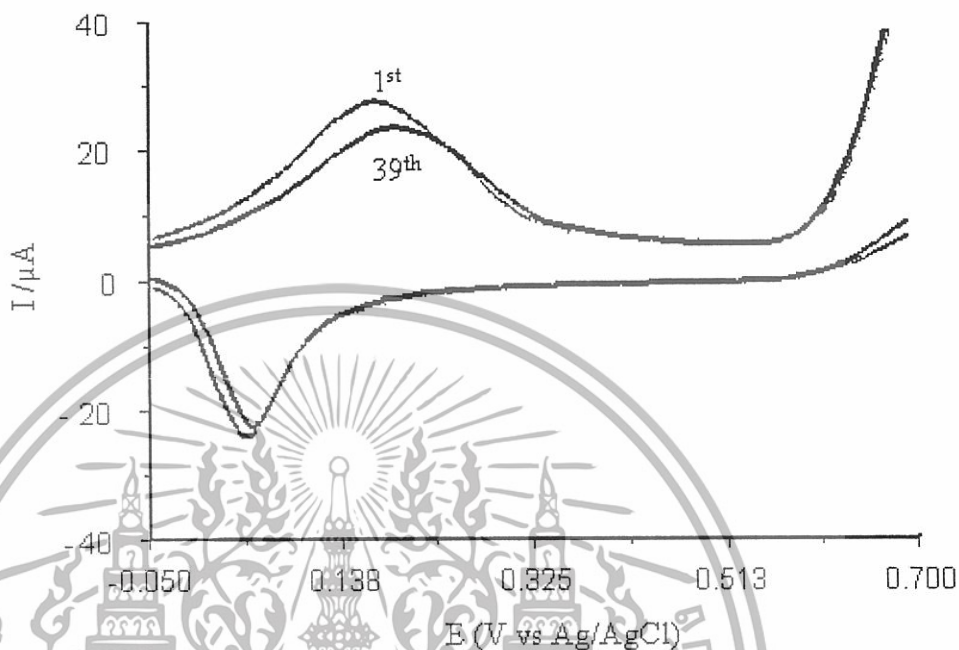
4.3.2.4.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน (Chitosan/MCPE)



รูปที่ 4.34 แสดง Scan number ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

จากรูปที่ 4.34 พบว่ากระแสที่ได้จากการวัดซ้ำหลายๆครั้ง แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานั้นจะไม่เกาะติดบนผิวของหน้าขั้ว ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการวัดครั้งต่อไปแพร่เข้ามาบริเวณหน้าขั้วจะถูกตรวจวัดได้ค่ากระแสเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก

4.3.2.4.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

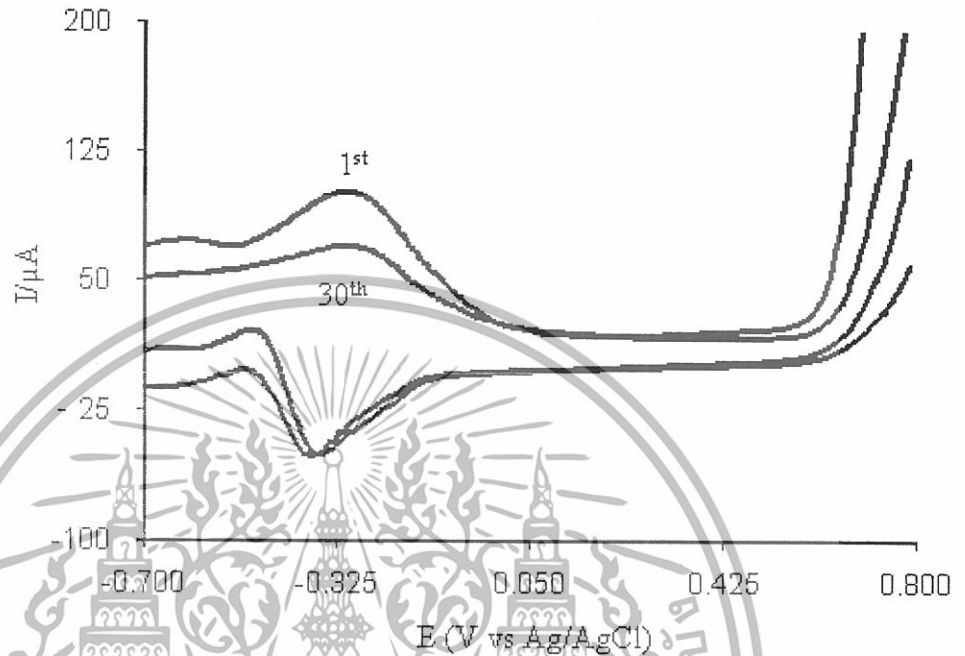


รูปที่ 4.35 แสดง Scan number ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

จากรูปที่ 4.35 พบว่ากระแสที่ได้จากการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานั้นจะไม่เกาะติดบนผิวของหน้าขั้ว ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการวัดครั้งต่อไปแพร่เข้ามาบริเวณหน้าขั้วจะถูกตรวจวัดได้ค่ากระแสเท่าเดิมหรือเปลี่ยนไปไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.4.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)



รูปที่ 4.36 แสดง Scan number ของขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

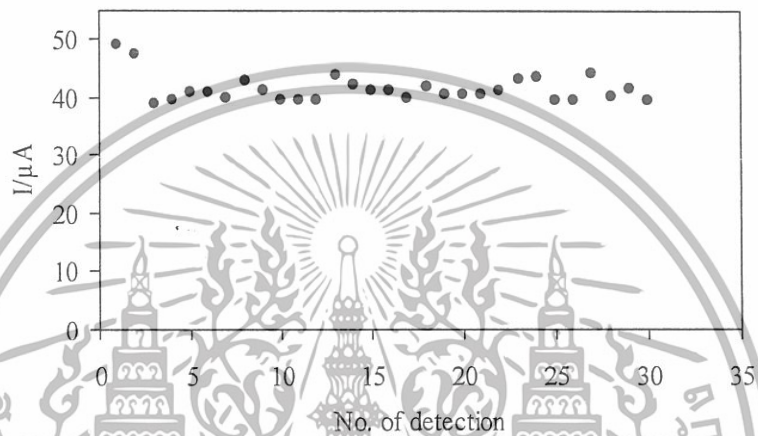
จากรูปที่ 4.36 พบว่ากระแสที่ได้จากการวัดซ้ำหลายๆครั้ง แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานั้นจะไม่เกาะติดบนผิวของหน้าขั้ว ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการวัดครั้งต่อไปแพร่เข้ามาบริเวณหน้าขั้วจะถูกตรวจวัดได้ค่ากระแสเท่าเดิมหรือเปลี่ยนไปไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.3.3.1 Reproducibility ทำการวัดซ้ำในสารละลายเดิม 30 ครั้ง

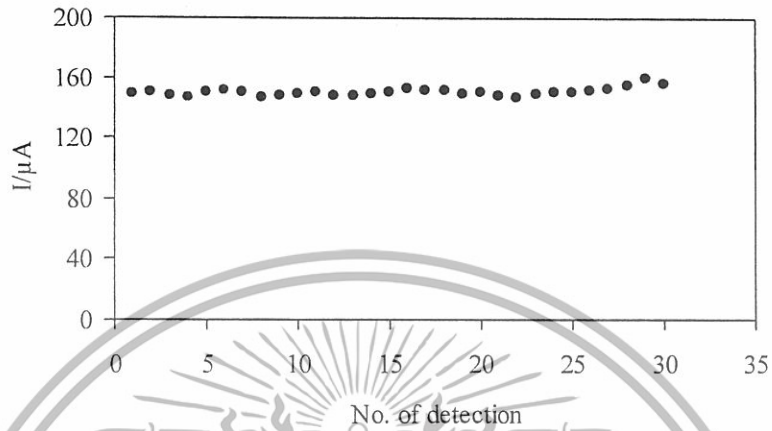
4.3.3.1.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)



รูปที่ 4.37 กราฟกระแสสเปกโตรอ็อกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

จากกราฟรูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของกระแสคือ 40.163 μA ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) คือ 6.018 μA ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

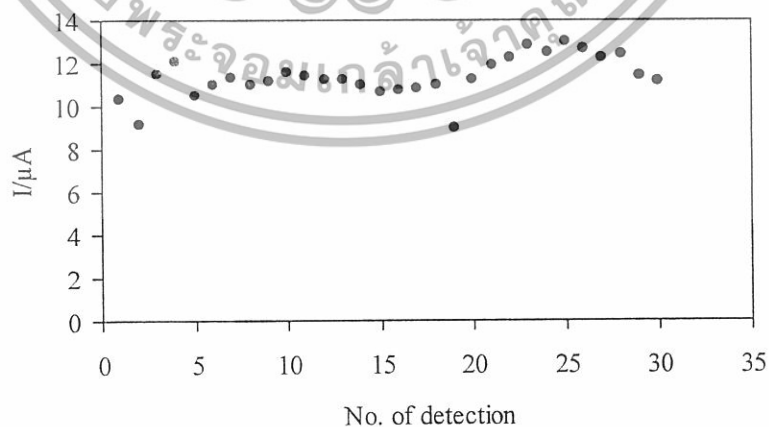
4.3.3.1.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)



รูปที่ 4.38 กราฟกระแสสเปกตรัมออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

จากกราฟรูปที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยของกระแสคือ 150.054 μA ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) คือ 2.888 μA ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.3.3.1.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

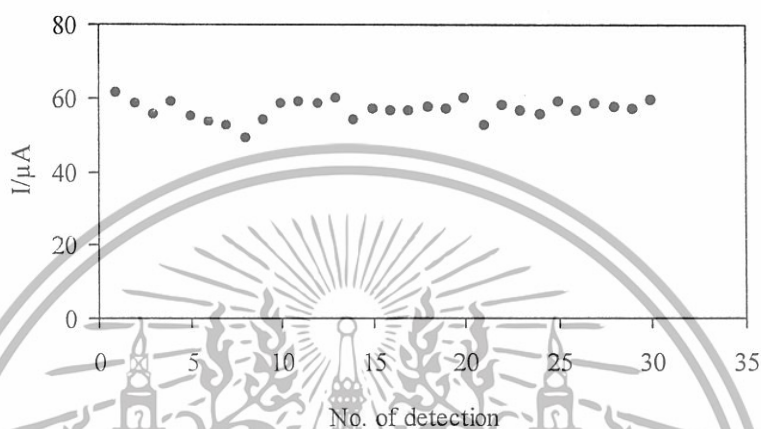


รูปที่ 4.39 กราฟกระแสสเปกตรัมออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) (ตรวจวัดสารละลายเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยของกระแสคือ $11.349 \mu\text{A}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) คือ $0.923 \mu\text{A}$ ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.3.3.1.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)



รูปที่ 4.40 กราฟกระแสแปปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิก โวลแทม โมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

จากกราฟรูปที่ 4.40 ค่าเฉลี่ยของกระแสคือ $56.732 \mu\text{A}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) คือ $2.598 \mu\text{A}$ ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.3.3.2 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time)

จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic Acid เข้มข้น 0.5 mM ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) (ดูรูปที่ 4.41 ประกอบ) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) (4.42 ประกอบ) ด้วยเทคนิคไซคลิก โวลแทมเมทรี อัตราการสแกนเท่ากับ 50 mV/s พบว่า อายุการใช้งานของ MCPE คือ 22 ครั้งและ Chitosan/MCPE เท่ากับ 36 ครั้ง สาเหตุที่มีอายุการใช้งานสั้นนั้น เนื่องจากผิวหน้าขั้วมีลักษณะไม่เรียบจึงทำให้เกิดการเกาะติดของสารบนผิวหน้าขั้ว สำหรับวิธีการแก้ไขทำได้โดยการนำกระดาษขาวผิวเรียบที่ไม่ได้ผ่านการใช้งาน จากนั้นก็ทำการขัดถูผิวหน้าขั้วบนกระดาษขาวทำให้ฟิล์มที่ติดหน้าขั้วไฟฟ้าหลุดออก ซึ่งจากการตรวจวัดความแม่นยำของขั้วไฟฟ้า ก็ได้ใช้วิธีนี้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ไขพบว่าได้ผลดี โดยให้กระแสฟลักที่คงที่ไม่ลดลงเหมือนกับกรณีที่ไม่ได้ขัดที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า

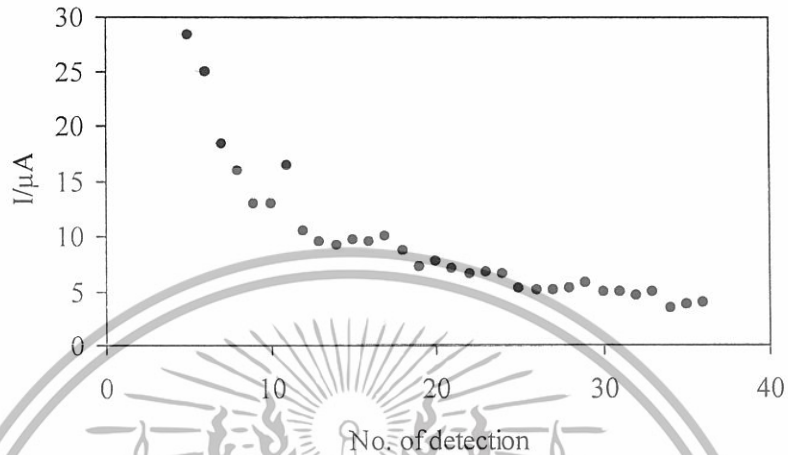
4.3.3.2.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟส (MCPE)



รูปที่ 4.41 กราฟกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันแสดงถึงอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เฟส (MCPE)

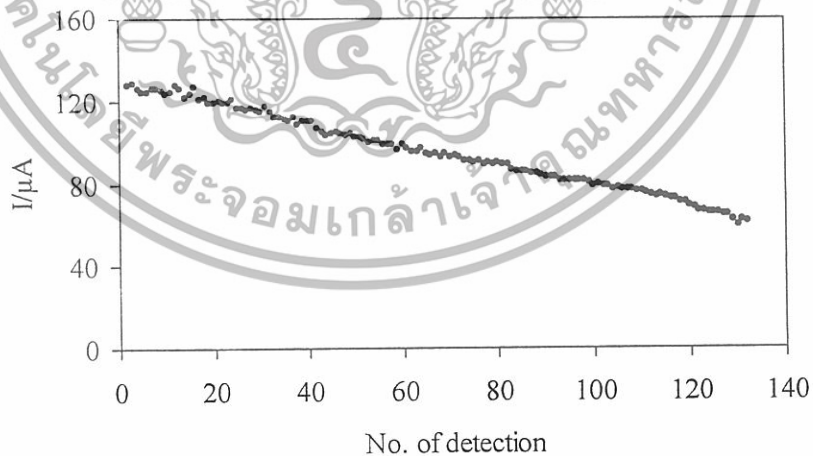
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2.2 ขั้วไฟฟ้ามีลิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน (Chitosan/MCPE)



รูปที่ 4.42 กราฟกระแสสเปกโทรอิเล็กโทรออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

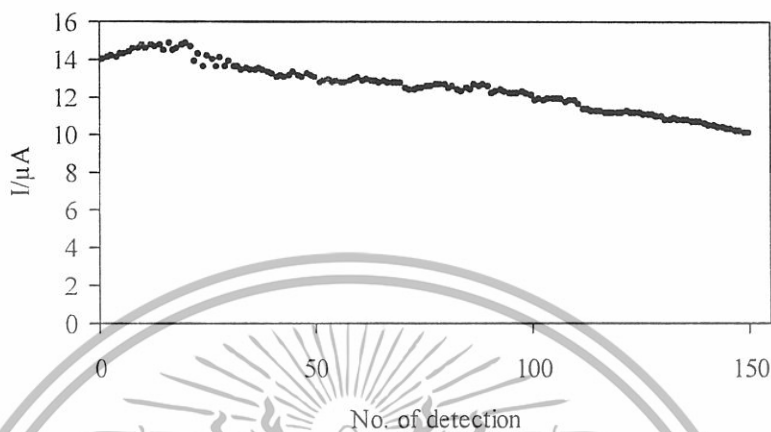
4.3.3.2.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)



รูปที่ 4.43 กราฟกระแสสเปกโทรอิเล็กโทรออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)



รูปที่ 4.44 กราฟกระแสแอมป์ที่ออกซิเดชันอายุการใช้งานที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.005 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

จากรูปที่ 4.41, 4.42, 4.43 และ 4.44 พบว่าอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) สามารถใช้งานได้มากถึง 22, 36, 132 และ 150 ครั้ง ตามลำดับ

สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเกิดแพร่เข้ามาเกาะติดบริเวณผิวหน้าขั้วได้น้อยมาก สังเกตได้จากอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) สำหรับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) นั้นอายุการใช้งานจะน้อยกว่า เนื่องจากคุณภาพของผิวหน้าขั้วไม่ดี ซึ่งอาจเกิดจากผิวหน้าขั้วมีความขรุขระ จึงง่ายต่อการเกาะติดของสาร

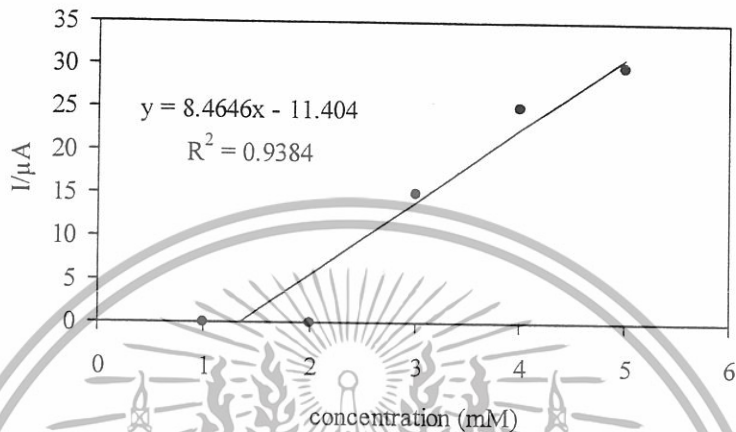
4.3.3.3 ช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

การตรวจวัด Ellagic Acid โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรี ที่อัตราการสแกน 50 mV/s จะได้โวลแทมโมแกรมและตารางของกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้ แสดงอยู่ในภาคผนวกที่ ก 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

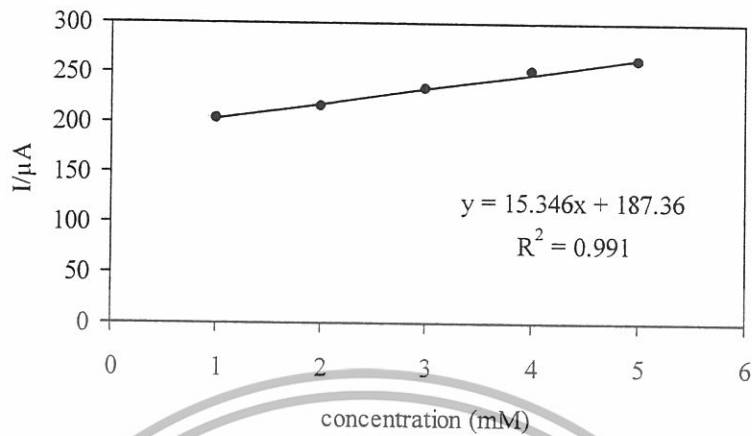
การตรวจวัดโดยเติม Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH ด้วยเทคนิคคิฟเฟอร์เรนเซียลพลัส โวลแทมเมตรี ใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) จะได้ดังกราฟรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

4.3.3.3.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

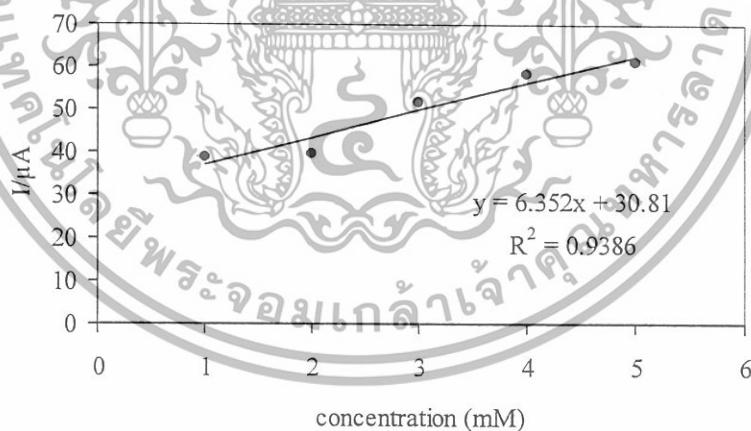
การตรวจวัดโดยเติม Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH ด้วยเทคนิคคิฟเฟอร์เรนเซียลพลัส โวลแทมเมตรี ใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) จะได้ดังกราฟรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนที่วับเพศที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

4.3.3.3.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

การตรวจวัดโดยเติม Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) จะได้ดังกราฟรูปที่ 4.47

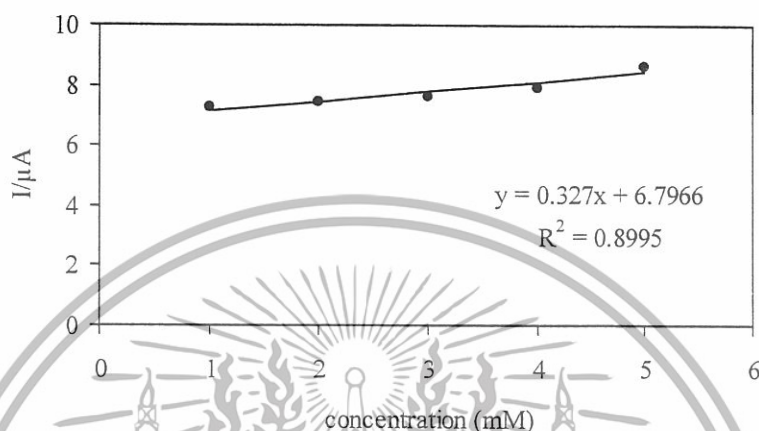


รูปที่ 4.47 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

การตรวจวัดโดยเติม Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) จะได้ดังกราฟรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของ Ellagic Acid ใน 0.5 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

4.3.3.4 สภาพไวของขั้ว (Sensitivity)

หาได้จากความชันของกราฟในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างกระแสกับความเข้มข้นของสารละลาย Ellagic Acid สรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สภาพไวของขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆที่ได้จากการตรวจวัด Ellagic Acid ในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ชนิดของขั้วอิเล็กโทรด	สภาพไว ($\mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{dm}^{-3}$)
CPE	8.465
MCPE	15.346
ขั้ว Pt	6.352
ขั้ว Au	0.327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.5 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit)

จากการคำนวณตามภาคผนวก ข ได้ผลของขีดจำกัดในการตรวจวัด Ellagic Acid จาก ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด Ellagic Acid

ชนิดของขั้วอิเล็กโทรด	สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้ (μA)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ (mM)
CPE	2.084	0.086
MCPE	31.49	0.236
ขั้ว Pt	2.699	0.072
ขั้ว Au	3.089	0.314

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณ S/N ของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ขั้ว	S	N	S/N
CPE	41.496	1.351	30.715
MCPE	150.054	27.860	5.386
Pt	11.349	2.243	5.060
Au	56.732	2.983	19.018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการตรวจวัด Ellagic Acid ในน้ำผลไม้

ผลการตรวจวัดน้ำผลไม้ตัวอย่างยี่ห้อต่างๆ โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี และใช้ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) เป็นขั้วใช้งานเทียบกับขั้วไฟฟ้าแพลทินัม จะได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ Ellagic Acid ในตัวอย่างน้ำผลไม้ยี่ห้อต่างๆ

ยี่ห้อน้ำผลไม้	% Recovery			
	CPE	MCPE	ขั้ว Pt	ขั้ว Au
Brand berry	95.77	98.77	95.23	95.44
Tipco	96.69	97.62	95.17	96.46
Squeeze	94.48	98.25	96.87	96.89
Unif	95.42	98.74	94.88	94.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ที่ใช้ในการทดลองใช้ในอัตราส่วน ปริมาณผงมัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์ต่อน้ำมันพาราฟินเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก สำหรับ ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ใช้วิธีการ เคลือบที่หน้าขั้ว โดยใช้ 0.1 % Nafion เคลือบเป็นชั้นแรก สารละลาย Ferrocene เคลือบเป็นชั้นที่ สอง และส่วนผสมของไคโตซานต่อ Tyrosinase เท่ากับ 3:2 เคลือบเป็นชั้นที่สาม

การใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ตรวจวัด Ellagic Acid ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรีใน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH ใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.05 V/s เนื่องจาก Ellagic Acid เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีหมู่ -OH อยู่ในโมเลกุล ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการ ตรวจวัดนั้นจะเป็นเบส

จากการทดลองใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) พบว่ากราฟที่สองของอัตราการสแกน (0.01-0.5 V/s) จะเป็นแปรผันตรงกับ กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.5 mM Ellagic Acid แสดงให้เห็นว่ากระแสที่ เกิดปฏิกิริยานั้นควบคุมโดยกระบวนการแพร่

จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic Acid โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกนเท่ากับ 50 mV พบว่าสภาพไวเป็น 8.465 15.346 6.352 และ 0.327 $\mu\text{A}/\text{mM}$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และ ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) จะมี สภาพความไวสูงกว่า ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection) เป็น 0.086, 0.236, 0.072 และ 0.314 mM ตามลำดับ ส่วนการศึกษาความแม่นยำในการตรวจวัด Ellagic Acid ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีพบว่า ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) และขั้วไฟฟ้ามัลติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

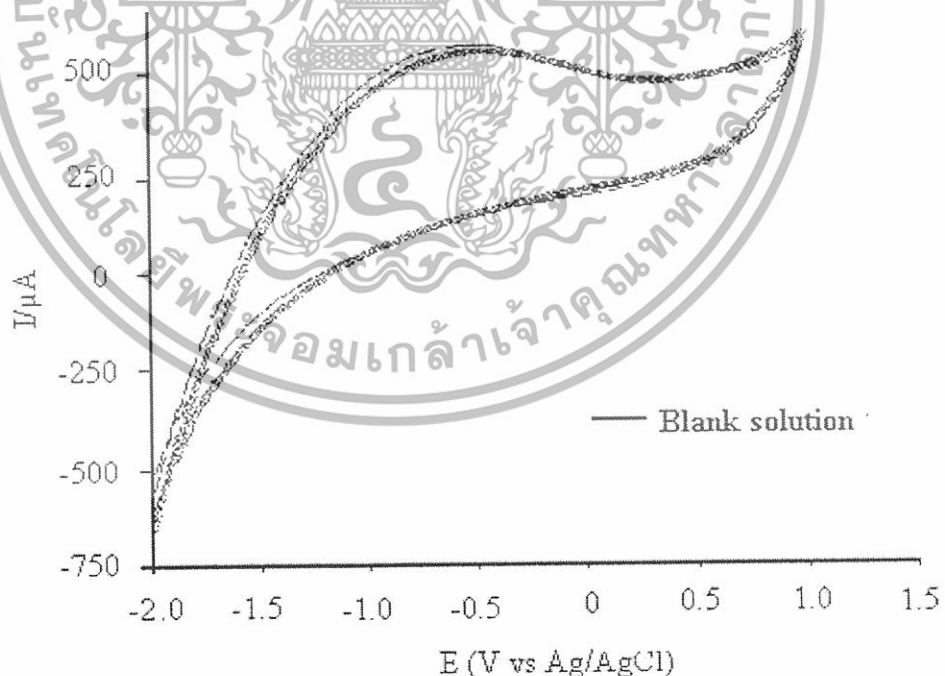
ก. เปรียบเทียบสัญญาณทางเคมีไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ก 1. สถานะที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัด ellagic acid

ก 1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ก 1.1.1 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

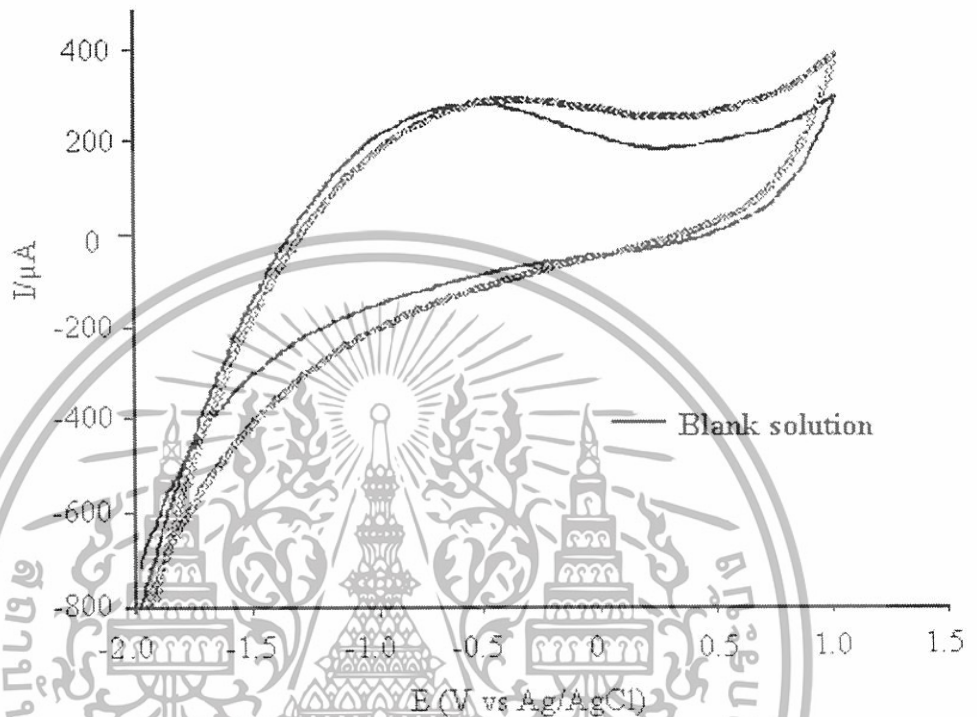
ก 1.1.1.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M K_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4



รูปที่ ก 1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอน

นาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

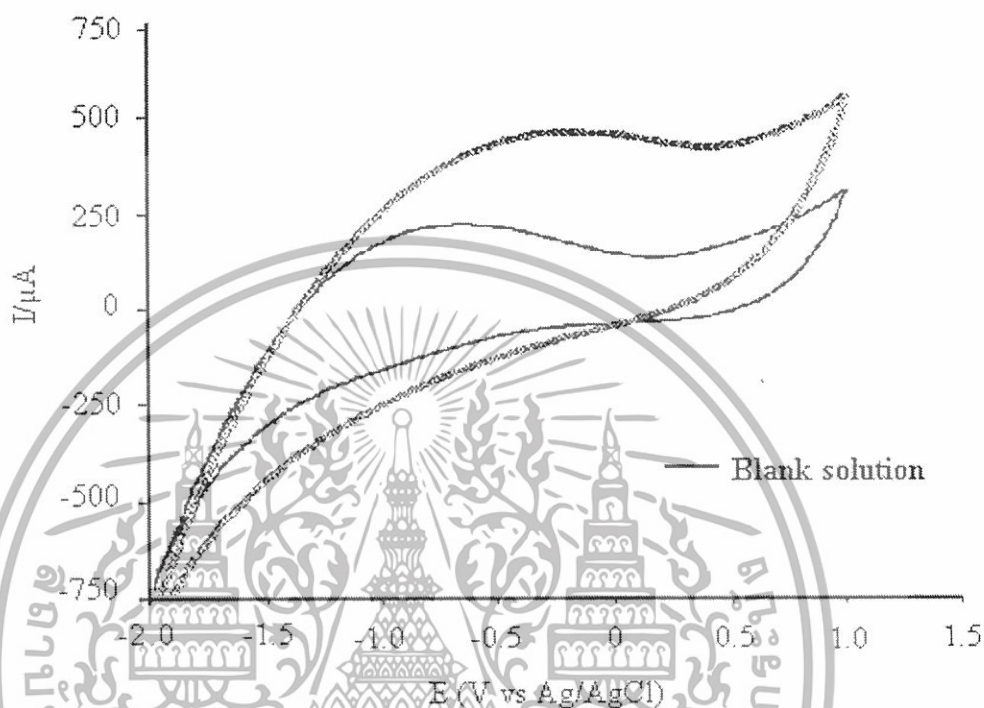
ก 1.1.1.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M Na_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4



รูปที่ ก 2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีล็ดิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

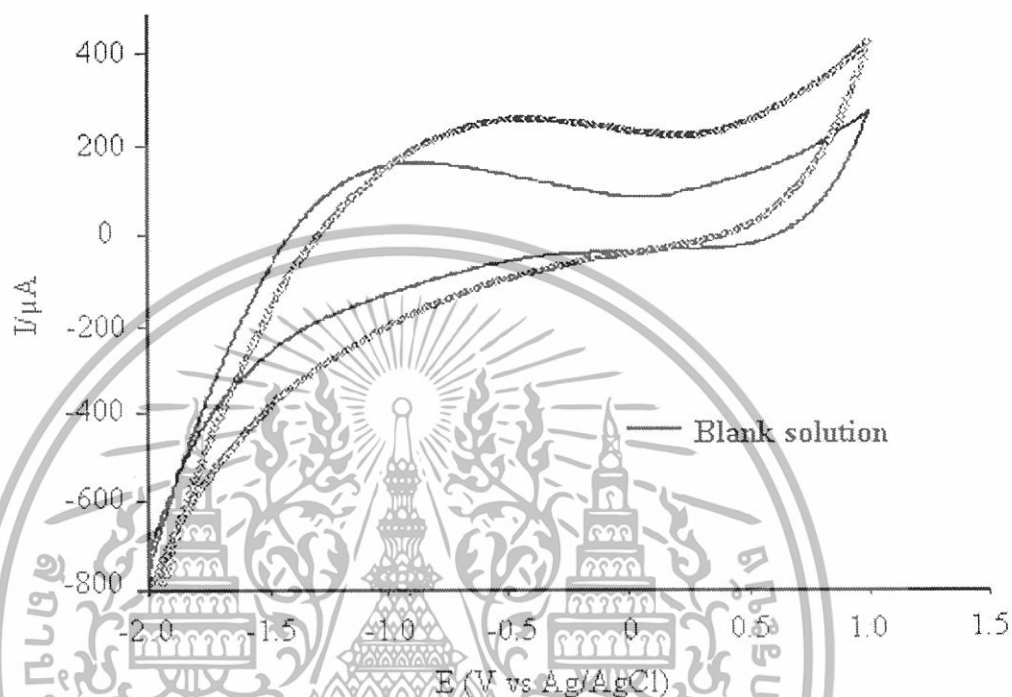
ก 1.1.1.3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M KCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl



รูปที่ ก 3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้หัวไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

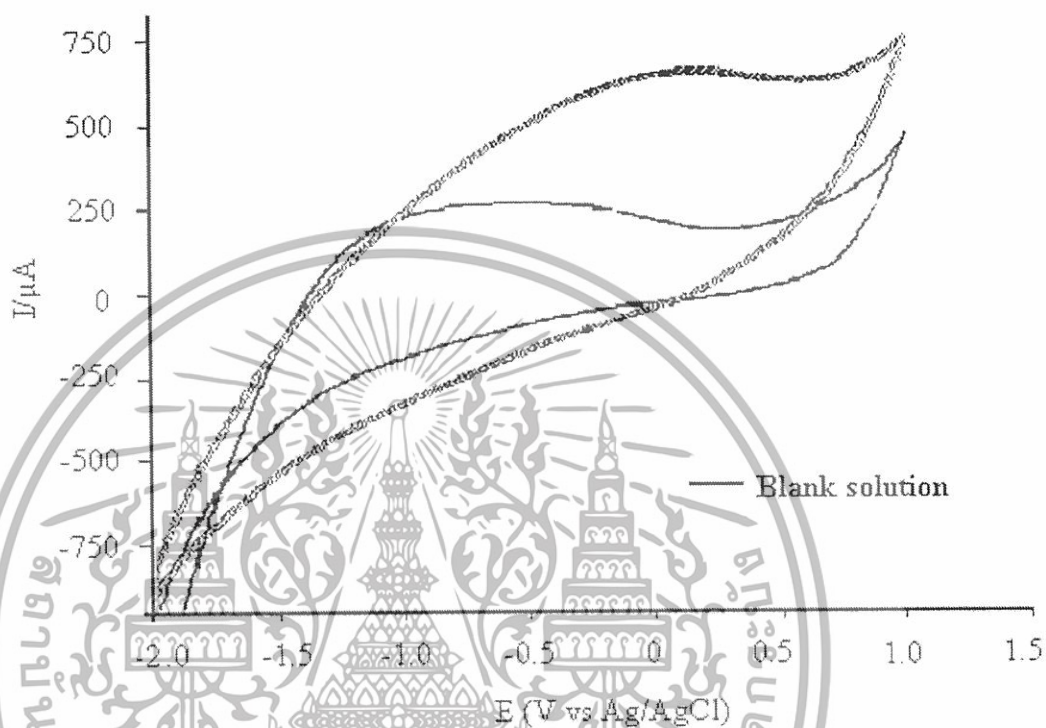
ก 1.1.1.4 โพลีเมอร์คอมพอสิตที่ประกอบด้วยสารละลาย
0.1 M NaCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl



รูปที่ ก 4 โพลีเมอร์คอมพอสิตที่ประกอบด้วยสารละลาย 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลิวโอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.1.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M NaOH กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH

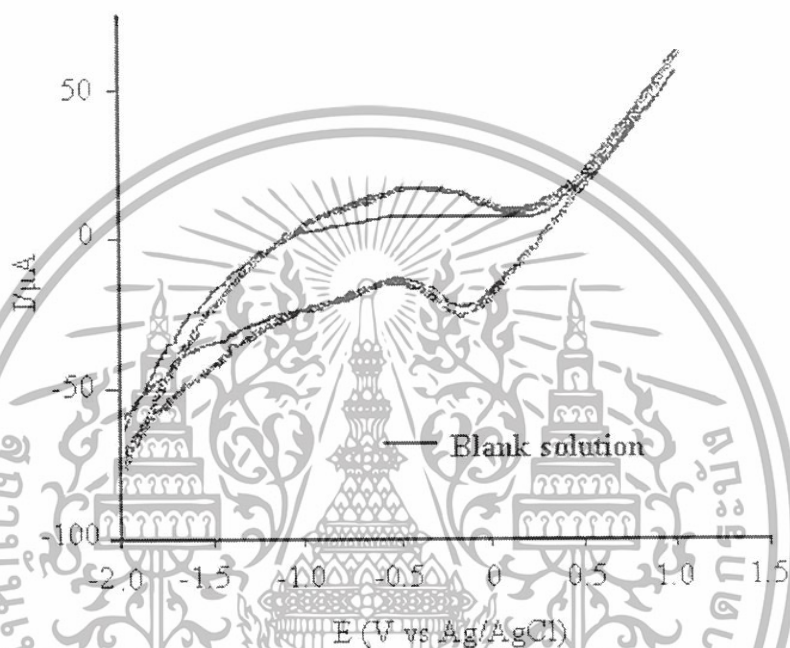


รูปที่ ก 5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.2 ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วย
ไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

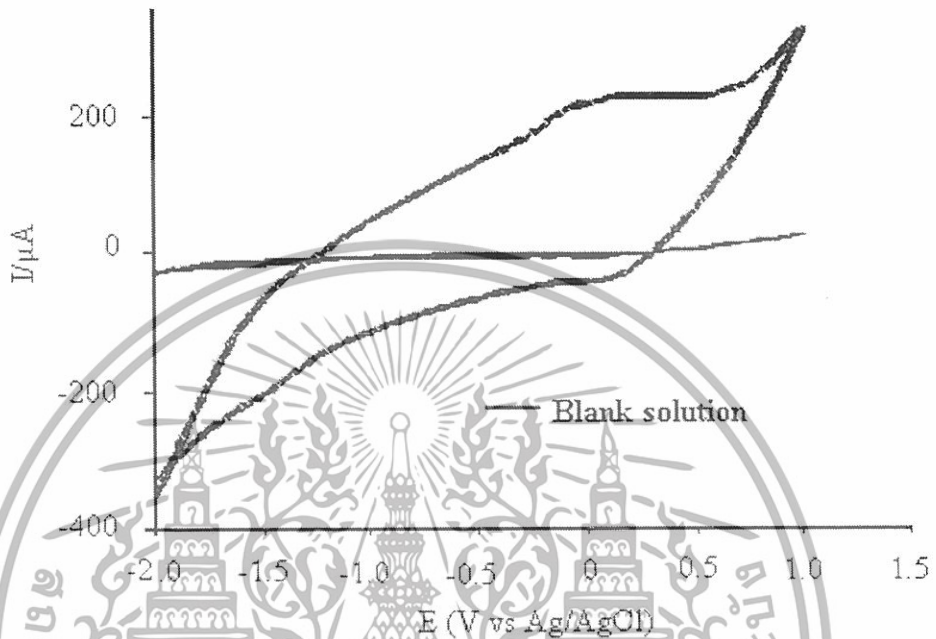
ก 1.1.2.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย
0.1 M K_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4



รูปที่ 6 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

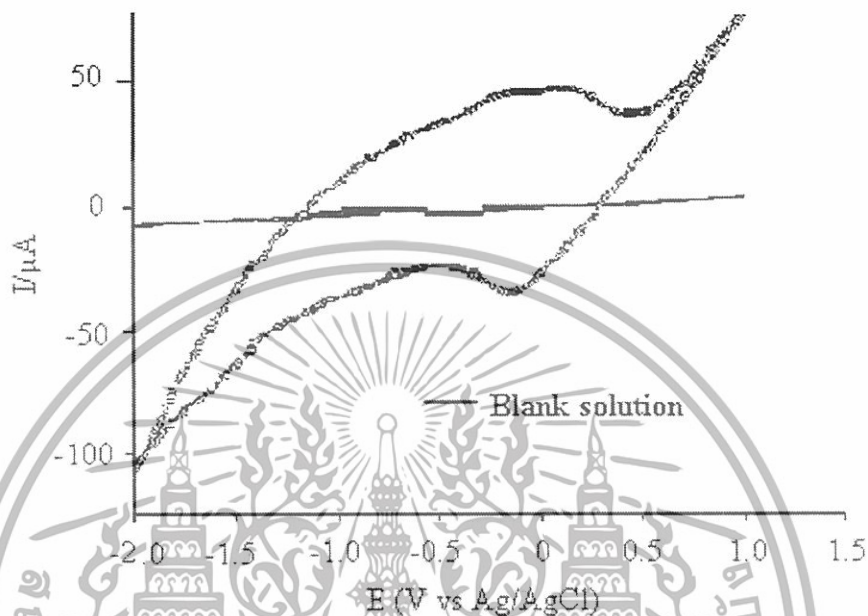
ก 1.1.2.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M Na_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4



รูปที่ ก 7 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีล็ดิวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

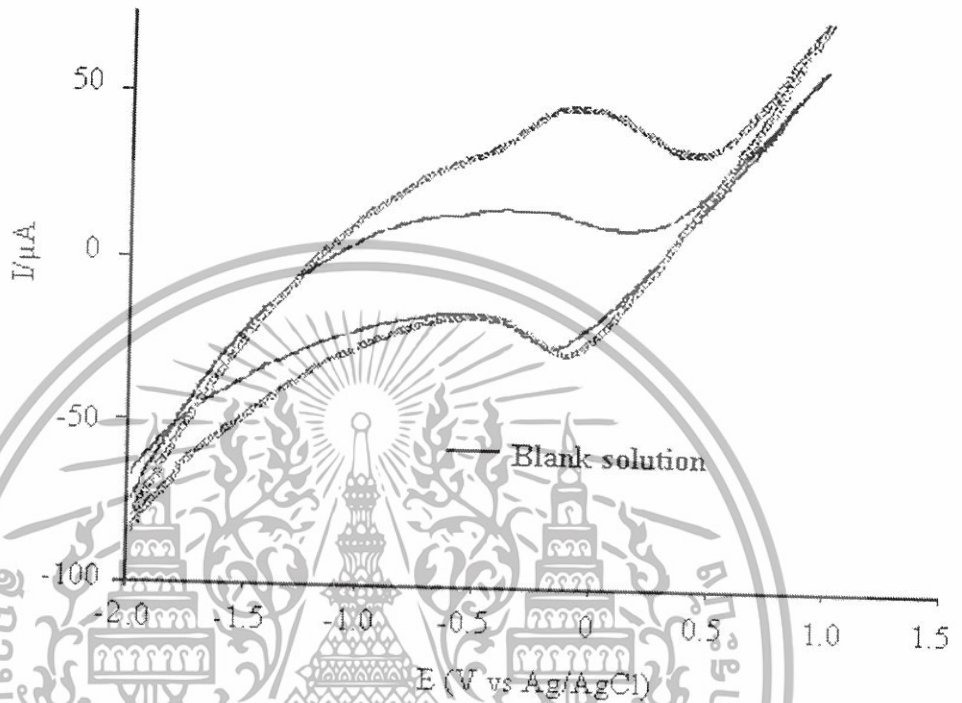
ก 1.1.2.3 โพลีเมอร์คอมโพสิตไฮโดรเจลของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl



รูปที่ 8 โพลีเมอร์คอมโพสิตไฮโดรเจลของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

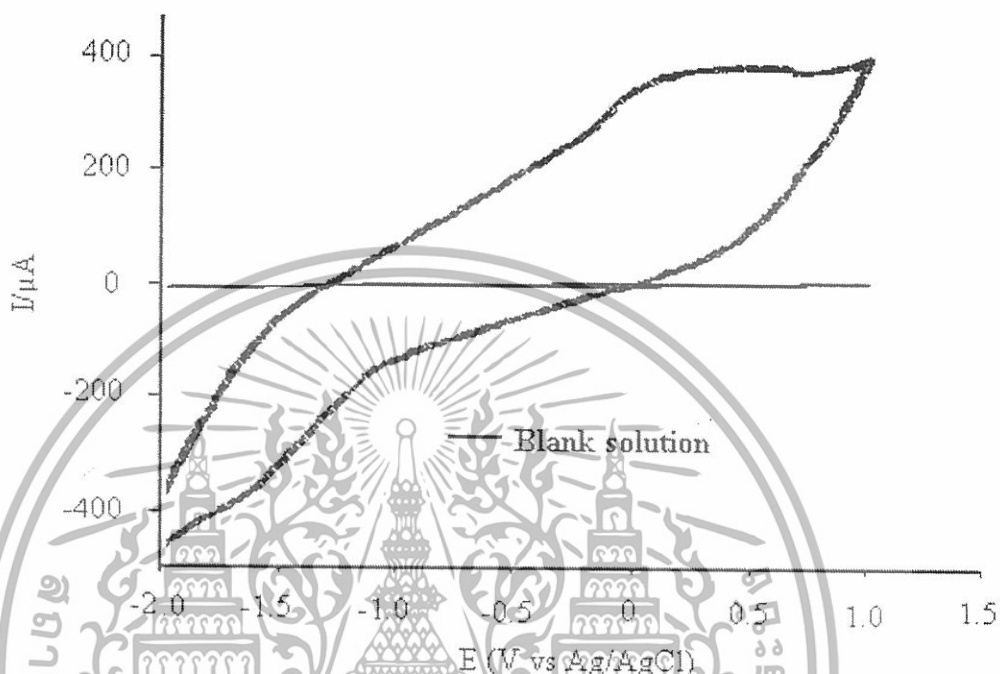
ก 1.1.2.4 โพลีเมอร์คอมพอสิตที่ประกอบด้วยสารละลาย 0.1 M NaCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl



รูปที่ 9 โพลีเมอร์คอมพอสิตที่ประกอบด้วยสารละลาย 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.2.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย
0.1 M NaOH กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH



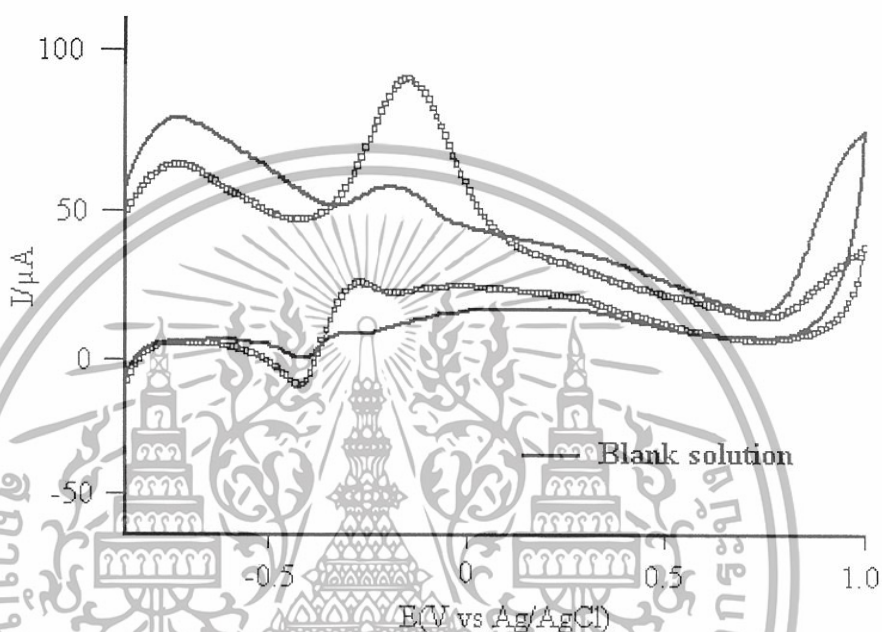
รูปที่ ก 10 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ
0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีลิตัวอลต์คาร์บอน
นาโนทิวบ์ เฟสดีที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.1.3 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

ก 1.1.3.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย

0.1 M K_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4

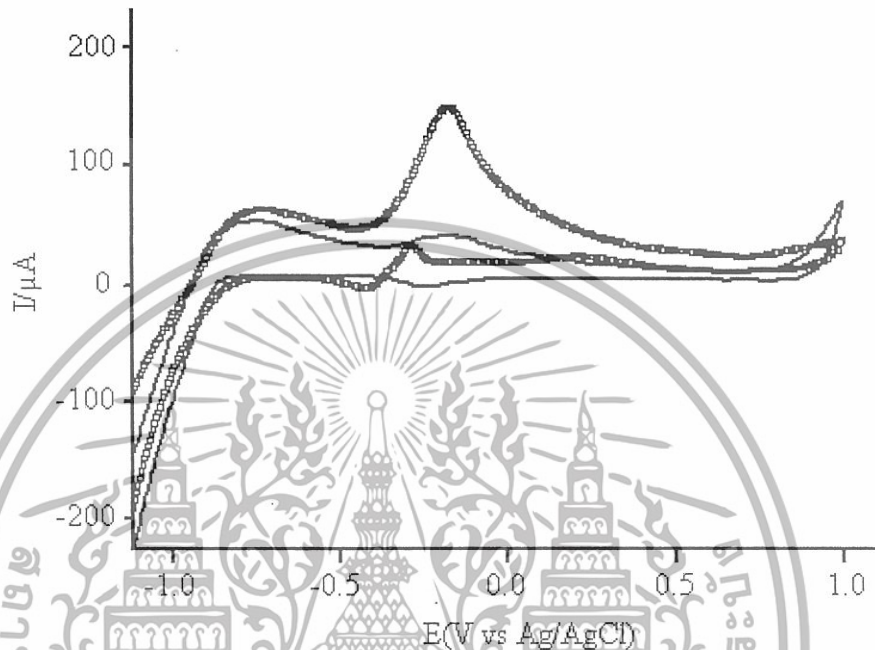


รูปที่ ก 11 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.3.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1

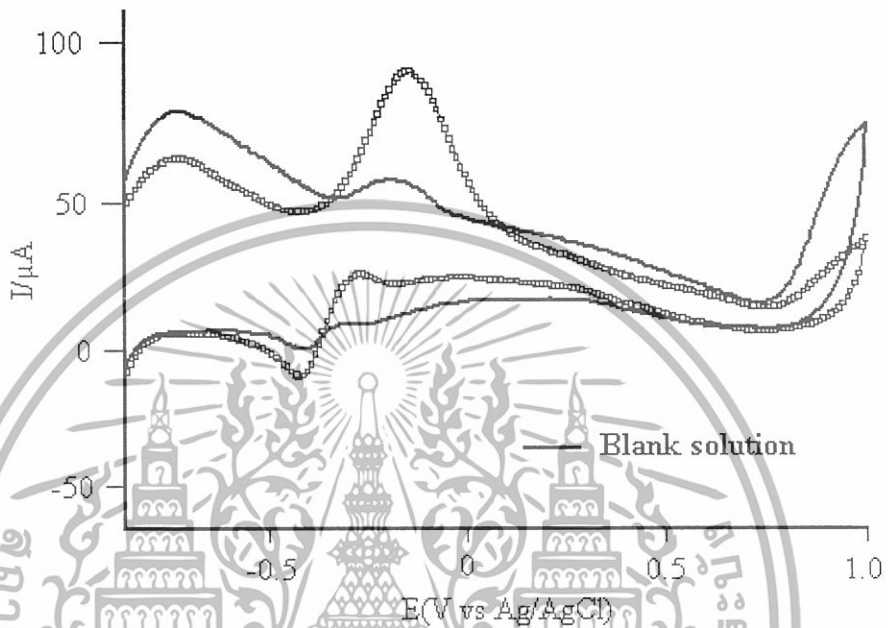
M Na_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4



รูปที่ ก 12 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรดไทเทเนียม 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

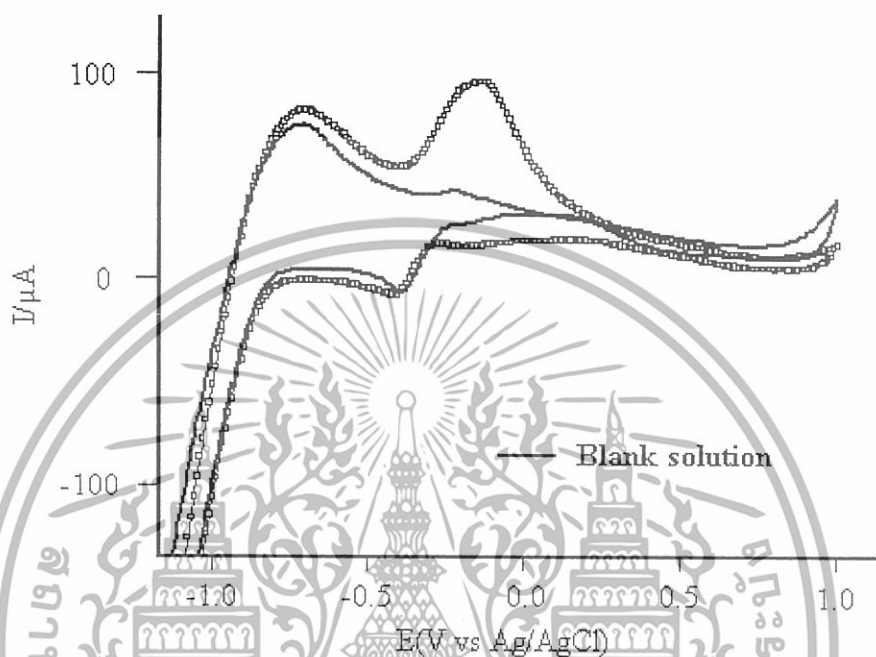
ก 1.1.3.3 โพลีคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M KCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl



รูปที่ 13 โพลีคลิกโวลแทมโมแกรมของอีเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

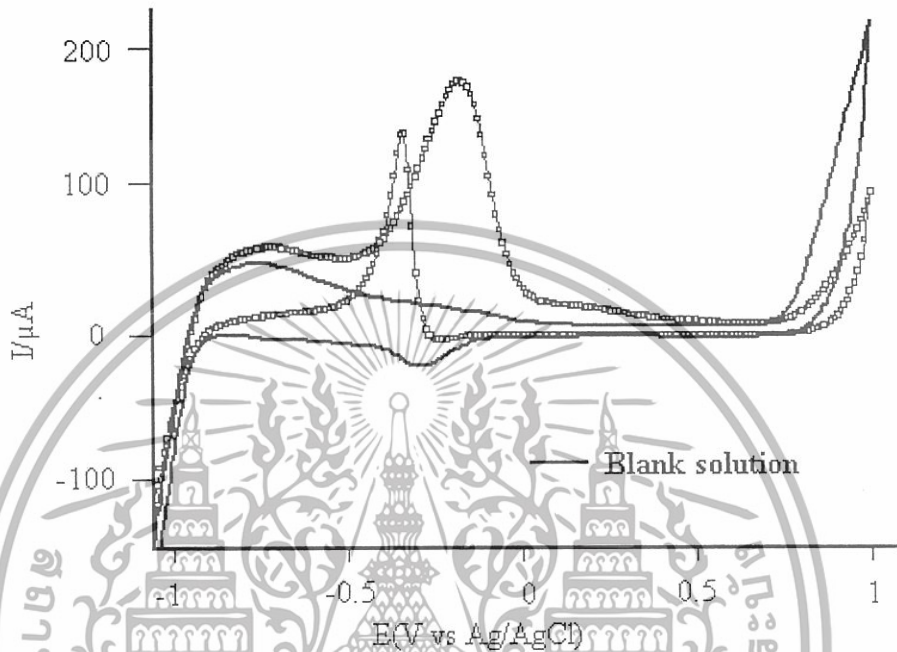
ก 1.1.3.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M NaCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl



รูปที่ ก 14 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.3.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย
0.1 M NaOH กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH



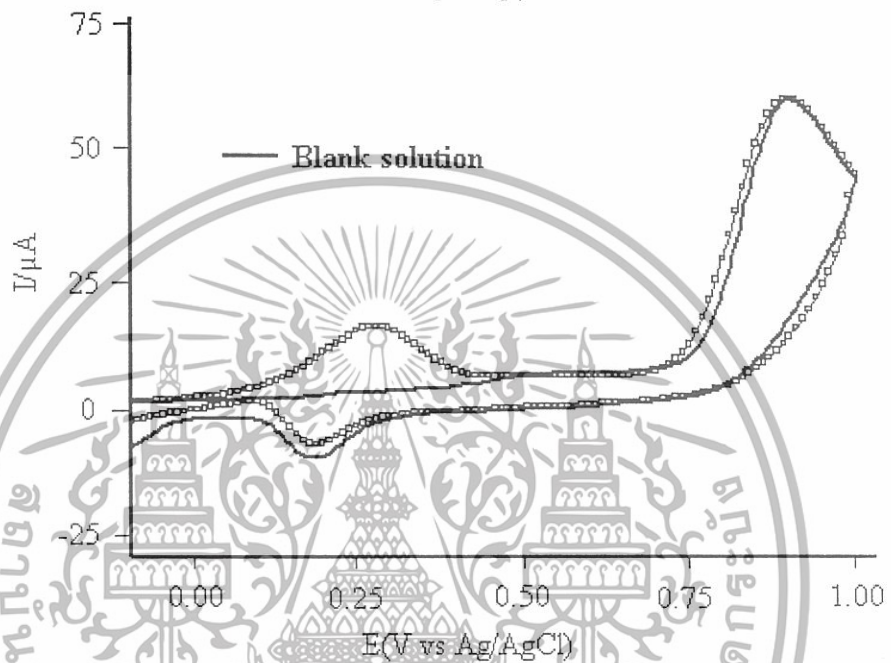
รูปที่ ก 15 ไชคลิก โวลแทมโมแกรมของอีเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.4 ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ก 1.1.4.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย

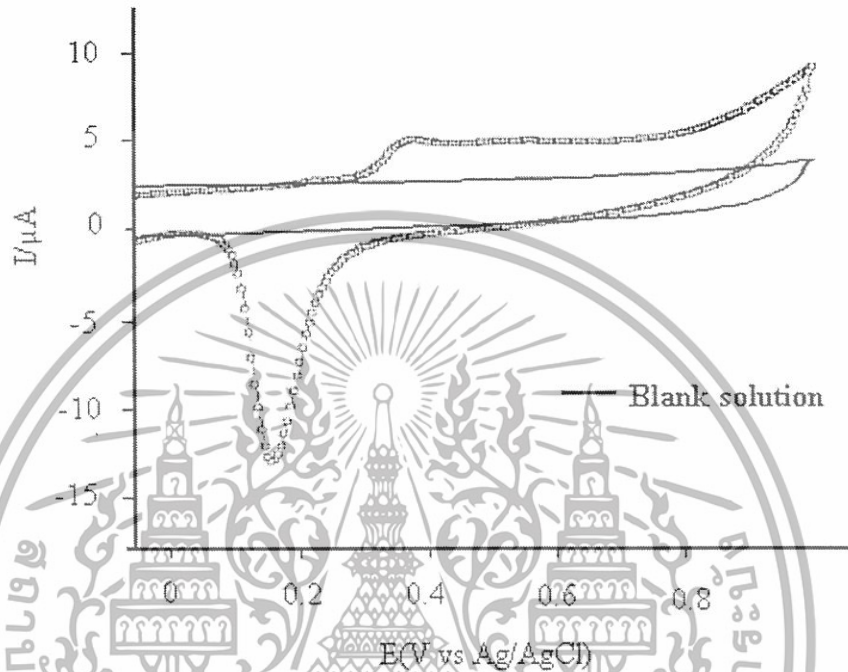
0.1 M K_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4



รูปที่ ก 16 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M K_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M K_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

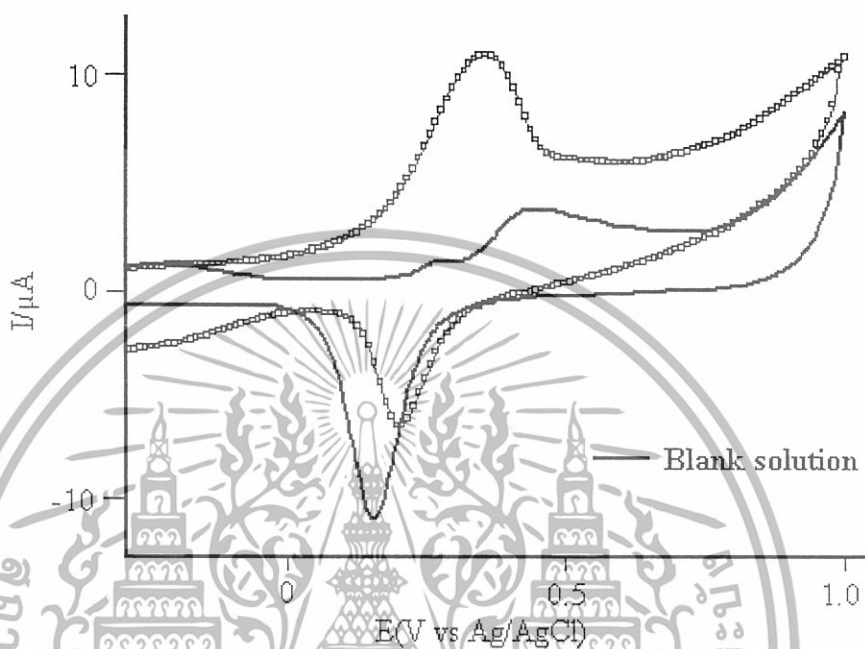
ก 1.1.4.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M Na_2SO_4 กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4



รูปที่ ก 17 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M Na_2SO_4 เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M Na_2SO_4 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

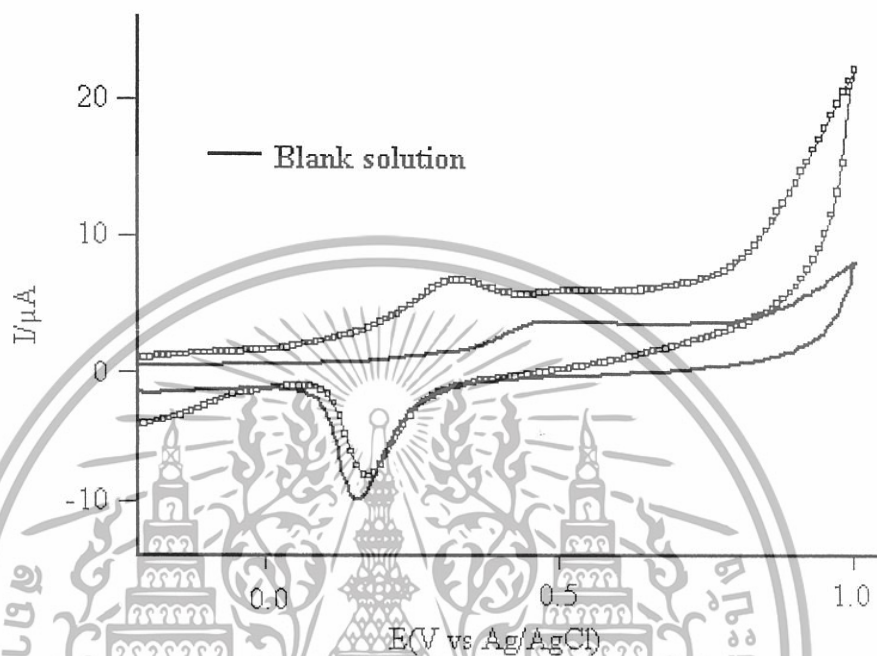
ก 1.1.4.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M KCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl



รูปที่ ก 18 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

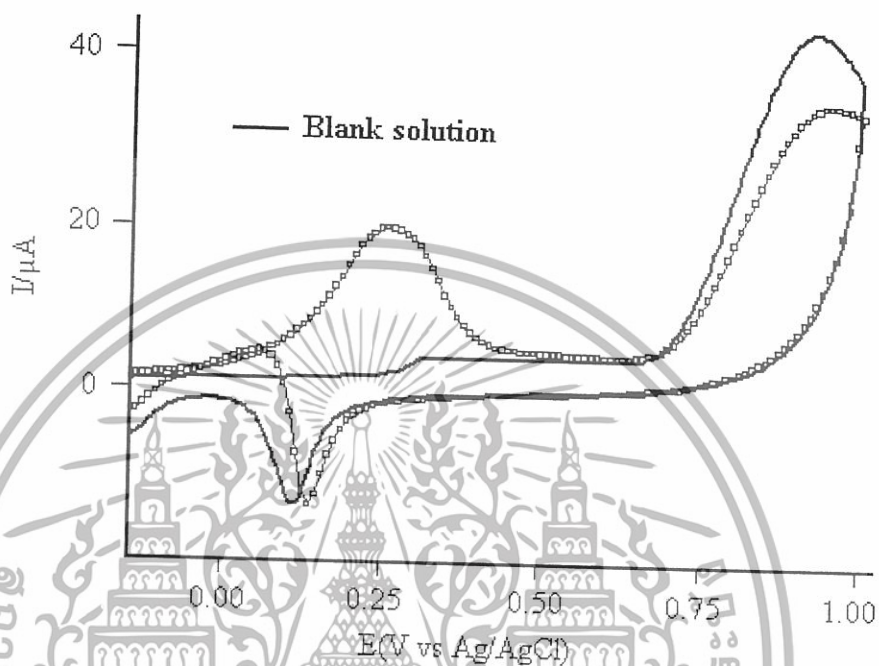
ก 1.1.4.4 โพลติกรัฟวอลแตมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M NaCl กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl



รูปที่ ก 19 โพลติกรัฟวอลแตมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaCl เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.1.4.5 โพลิกโวลแทมโมแกรมเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย 0.1 M NaOH กับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH



รูปที่ ก 20 โพลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M NaOH เปรียบเทียบกับ 0.5 mM Ellagic Acid ใน 0.1 M NaOH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.1.1 แสดงค่ากระแสสเปกฏิริยาออกซิเดชัน และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

สารละลาย อิเล็กโทรไลต์	ครั้งที่	MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสพีค (μA)
K_2SO_4	1	-0.439	77.710
	2	-0.288	60.360
	3	-0.147	39.940
	เฉลี่ย	-0.291	59.337
Na_2SO_4	1	-0.419	36.560
	2	-0.097	21.070
	3	-0.125	5.275
	เฉลี่ย	-0.214	20.968
KCl	1	-0.459	62.450
	2	-0.318	53.300
	3	-0.157	36.430
	เฉลี่ย	-0.311	50.727
NaCl	1	-0.399	36.630
	2	-0.147	14.480
	3	-	-
	เฉลี่ย	-0.273	25.555
NaOH	1	-0.298	47.960
	2	0.044	31.370
	3	0.185	26.800
	เฉลี่ย	-0.023	35.377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.1.2 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

สารละลาย อิเล็กโทรไลต์	ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสพีค (μA)
K_2SO_4	1	0.297	2.688
	2	0.322	1.110
	3	0.179	1.347
	เฉลี่ย	0.269	1.715
Na_2SO_4	1	0.248	2.971
	2	0.330	1.708
	3	0.258	2.329
	เฉลี่ย	0.279	2.336
KCl	1	0.573	1.319
	2	0.953	2.319
	3	0.962	3.505
	เฉลี่ย	0.830	2.381
NaCl	1	-0.389	0.487
	2	-0.379	0.414
	3	-0.399	0.590
	เฉลี่ย	-0.389	0.497
NaOH	1	0.414	5.643
	2	0.499	7.771
	3	0.479	3.683
	เฉลี่ย	0.464	5.699

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.1.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชัน และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

สารละลาย อิเล็กโทรไลต์	ครั้งที่	ขั้ว Pt	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิค (μA)
K_2SO_4	1	-0.147	56.580
	2	-0.147	52.900
	3	-0.137	53.400
	เฉลี่ย	-0.144	54.293
Na_2SO_4	1	-0.152	120.900
	2	-0.172	108.200
	3	-0.152	124.700
	เฉลี่ย	-0.159	117.933
KCl	1	-0.197	53.140
	2	-0.197	46.830
	3	-0.207	46.630
	เฉลี่ย	-0.200	48.867
NaCl	1	-0.137	51.910
	2	-0.127	52.840
	3	-0.127	61.950
	เฉลี่ย	-0.130	55.567
NaOH	1	-0.177	141.300
	2	-0.177	154.100
	3	-0.177	153.600
	เฉลี่ย	-0.177	149.667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.1.4 แสดงค่ากระแสสเปกฏิกิริยาออกซิเดชัน และความต่างศักย์ที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำ (Au) ตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

สารละลาย อิเล็กโทรไลต์	ครั้งที่	ขั้ว Au	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟีด (μA)
K ₂ SO ₄	1	0.276	12.130
	2	0.276	12.180
	3	0.286	11.180
	เฉลี่ย	0.279	11.830
Na ₂ SO ₄	1	-0.761	0.074
	2	-0.842	0.152
	3	-0.832	0.149
	เฉลี่ย	-0.812	0.125
KCl	1	0.326	7.160
	2	0.347	7.330
	3	0.347	8.196
	เฉลี่ย	0.340	7.562
NaCl	1	0.316	3.017
	2	0.316	2.669
	3	0.306	2.758
	เฉลี่ย	0.313	2.815
NaOH	1	0.266	17.450
	2	0.256	16.520
	3	0.256	16.560
	เฉลี่ย	0.259	16.843

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ตารางที่ ก 1.2.1 แสดงค่ากระแสประปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสประปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.001	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	เฉลี่ย	-	-
0.005	1	-0.217	43.15
	2	-0.217	63.2
	3	-0.046	79.29
	เฉลี่ย	-0.16	71.25
0.01	1	0.014	66.3
	2	-0.147	56.67
	3	-0.076	68.13
	เฉลี่ย	-0.07	63.7
0.05	1	0.085	17.13
	2	0.206	22.35
	3	0.246	19.67
	เฉลี่ย	0.179	19.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.1	1	-0.368	30.94
	2	-0.368	22.5
	3	-0.368	42.21
	เฉลี่ย	-0.368	31.88
0.5	1	-0.137	57.17
	2	-0.066	55.99
	3	-0.006	73.26
	เฉลี่ย	-0.07	62.14
1	1	-0.107	68.99
	2	0.004	82.99
	3	0.065	80.74
	เฉลี่ย	-0.013	77.32

ตารางที่ 1.2.2 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายไซโตมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์พอสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.001	1.00	-	-
	2.00	-	-
	3.00	-	-
	เฉลี่ย	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน (μA)
0.005	1.00	-	-
	2.00	-	-
	3.00	-	-
	เฉลี่ย	-	-
0.010	1.00	-	-
	2.00	-	-
	3.00	-	-
	เฉลี่ย	-	-
0.050	1.00	0.452	4.968
	2.00	0.256	4.134
	3.00	0.411	3.246
	เฉลี่ย	0.373	4.116
0.100	1.00	0.250	1.531
	2.00	0.170	1.448
	3.00	0.184	0.244
	เฉลี่ย	0.201	1.074
0.500	1.00	-0.173	27.350
	2.00	-0.138	25.960
	3.00	-0.139	29.230
	เฉลี่ย	-0.150	27.513
1.000	1.00	-0.132	25.780
	2.00	-0.120	27.140
	3.00	-0.109	28.160
	เฉลี่ย	-0.120	27.027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.2.3 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	ขั้ว Pt	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.001	1.00	0.336	28.44
	2.00	0.256	19.97
	3.00	0.195	23.16
	เฉลี่ย	0.263	23.86
0.005	1.00	-0.248	155.2
	2.00	-0.248	150.7
	3.00	-0.258	144.9
	เฉลี่ย	-0.009	150.27
0.010	1.00	0.024	196.8
	2.00	-0.026	178.2
	3.00	-0.026	174.5
	เฉลี่ย	-0.009	183.17
0.050	1.00	-0.097	236.7
	2.00	-0.076	285.4
	3.00	-0.076	291.5
	เฉลี่ย	0.083	271.2
0.100	1.00	-0.177	137
	2.00	-0.177	163
	3.00	-0.187	147.6
	เฉลี่ย	-0.18	149.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	ขั้ว Pt	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.500	1.00	-0.258	62.27
	2.00	-0.268	65.64
	3.00	-0.268	61.87
	เฉลี่ย	-0.265	63.26
1.000	1.00	-0.298	22.93
	2.00	-0.298	21.9
	3.00	-0.298	24.74
	เฉลี่ย	-0.298	23.19

ตารางที่ ก.1.2.4 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัด Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นตั้งแต่ 0.001 ถึง 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำ (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	ขั้ว Au	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.001	1.00	0.447	9.57
	2.00	0.437	10.16
	3.00	0.437	9.88
	เฉลี่ย	0.44	9.87
0.005	1.00	0.206	20.43
	2.00	0.195	19.84
	3.00	0.195	20.09
	เฉลี่ย	0.199	20.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (M)	ครั้งที่	ขั้ว Au	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.010	1.00	0.316	14.95
	2.00	0.316	20.82
	3.00	0.316	25.18
	เฉลี่ย	0.316	20.17
0.050	1.00	0.256	22.37
	2.00	0.256	26.3
	3.00	0.256	27.62
	เฉลี่ย	0.256	25.43
0.100	1.00	0.256	23.42
	2.00	0.246	21.49
	3.00	0.246	21.64
	เฉลี่ย	0.249	22.18
0.500	1.00	0.195	17.49
	2.00	0.185	16.16
	3.00	0.185	16.23
	เฉลี่ย	0.188	16.62
1.000	1.00	0.165	24.98
	2.00	0.155	23.54
	3.00	0.155	24.1
	เฉลี่ย	0.158	23.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ตารางที่ ก 1.3.1 แสดงค่ากระแสสเปกโตริยาออกซิเดชัน และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัด สารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

อัตรา การสแกน	MCPE		
	ครั้งที่	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.01	1	-1.124	2.030
	2	-1.144	2.789
	3	-1.144	2.851
	เฉลี่ย	-1.137	2.556
0.05	1	-1.053	6.901
	2	-1.084	8.866
	3	-1.053	8.755
	เฉลี่ย	-1.063	8.174
0.1	1	-0.993	11.600
	2	-0.993	12.520
	3	-0.973	12.060
	เฉลี่ย	-0.986	12.060
0.2	1	-0.892	17.120
	2	-0.892	19.030
	3	-0.872	18.700
	เฉลี่ย	-0.885	18.280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.3	1	-0.812	20.530
	2	-0.812	23.110
	3	-0.812	23.020
	เฉลี่ย	-0.812	22.220
0.4	1	-0.661	21.060
	2	-0.681	24.500
	3	-0.711	25.430
	เฉลี่ย	-0.684	23.660
0.5	1	-0.570	28.450
	2	-0.671	32.260
	3	-0.661	29.850
	เฉลี่ย	-0.634	30.187

ตารางที่ ก 1.3.2 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยาจากการตรวจวัด สารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีล็ดิวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.01	1	-0.640	15.110
	2	-0.630	14.290
	3	-0.610	18.740
	เฉลี่ย	-0.627	16.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้าออกซิเดชัน (μA)
0.05	1	-0.399	22.580
	2	-0.520	20.890
	3	-0.638	23.150
	เฉลี่ย	-0.519	22.207
0.1	1	-0.399	22.840
	2	-0.368	25.890
	3	-0.368	28.060
	เฉลี่ย	-0.378	25.600
0.2	1	-0.379	25.960
	2	-0.358	27.980
	3	-0.328	25.450
	เฉลี่ย	-0.355	26.463
0.3	1	-0.509	30.190
	2	-0.509	27.480
	3	-0.489	30.350
	เฉลี่ย	-0.502	29.340
0.4	1	-0.479	28.540
	2	-0.459	30.960
	3	-0.429	33.670
	เฉลี่ย	-0.456	31.050
0.5	1	-0.409	28.530
	2	-0.379	31.160
	3	-0.379	35.180
	เฉลี่ย	-0.389	31.620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1.3.3 แสดงค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิริยา จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	ขั้ว Pt	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิริยาออกซิเดชัน (μ A)
0.01	1	-0.325	61.820
	2	-0.325	63.660
	3	-0.325	63.530
	เฉลี่ย	-0.325	63.000
0.05	1	-0.305	89.410
	2	-0.305	90.460
	3	-0.305	89.220
	เฉลี่ย	-0.305	89.690
0.1	1	-0.295	107.200
	2	-0.295	108.700
	3	-0.295	109.300
	เฉลี่ย	-0.295	108.400
0.2	1	-0.325	110.000
	2	-0.325	112.600
	3	-0.325	111.300
	เฉลี่ย	-0.325	111.300
0.3	1	-0.305	130.800
	2	-0.305	105.600
	3	-0.305	104.900
	เฉลี่ย	-0.305	113.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	ขั้ว Pt	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.4	1	-0.305	148.100
	2	-0.305	148.200
	3	-0.305	149.400
	เฉลี่ย	-0.305	148.600
0.5	1	-0.315	162.900
	2	-0.315	162.800
	3	-0.315	163.500
	เฉลี่ย	-0.315	163.100

ตารางที่ ก 1.3.4 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ความต่างศักย์ของการเกิดปฏิกิริยา จากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 10 ถึง 500 mV/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	ขั้ว Au	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.01	1	0.185	23.260
	2	0.185	23.480
	3	0.185	23.090
	เฉลี่ย	0.185	23.270
0.05	1	0.205	21.540
	2	0.205	27.840
	3	0.205	29.210
	เฉลี่ย	0.205	26.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรา การสแกน	ครั้งที่	ขั้ว Au	
		ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
0.1	1	0.205	30.630
	2	0.205	30.500
	3	0.205	30.440
	เฉลี่ย	0.205	30.520
0.2	1	0.205	32.810
	2	0.205	32.760
	3	0.205	32.280
	เฉลี่ย	0.205	32.620
0.3	1	0.205	34.370
	2	0.205	34.290
	3	0.205	34.420
	เฉลี่ย	0.205	34.360
0.4	1	0.205	36.350
	2	0.205	36.080
	3	0.205	32.110
	เฉลี่ย	0.205	36.180
0.5	1	0.205	38.180
	2	0.205	38.010
	3	0.205	37.890
	เฉลี่ย	0.205	38.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2 ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ก 2.1 แสดงค่ากระแสปฏิกริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ตารางที่ ก 2.1.1 แสดงค่ากระแสปฏิกริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกสโควตแอมเพอรี ใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็น Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)
1	0.724	16	1.186
2	0.882	17	1.225
3	0.985	18	1.314
4	1.000	19	1.377
5	1.010	20	1.435
6	1.089	21	1.598
7	1.236	22	1.424
8	1.346	23	1.534
9	1.390	24	1.512
10	1.449	25	1.546
11	1.462	26	1.588
12	1.330	27	1.668
13	1.423	28	1.573
14	1.485	29	1.644
15	1.494	30	1.638
		ค่าเฉลี่ย	1.352
		SD.	0.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2.1.3 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคคิฟเฟอร์เรเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี ใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็น Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)
1	1.822	16	2.272
2	1.95	17	2.296
3	2.01	18	2.32
4	2.059	19	2.345
5	2.083	20	2.367
6	2.084	21	2.373
7	2.119	22	2.345
8	2.181	23	2.345
9	2.182	24	2.352
10	2.22	25	2.401
11	2.237	26	2.386
12	2.283	27	2.19
13	2.236	28	2.435
14	2.261	29	2.431
15	2.28	30	2.437
		ค่าเฉลี่ย	2.243
		SD.	0.152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2.1.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s เป็นจำนวน 30 ครั้ง

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส (μA)
1	2.976	16	3.054
2	2.987	17	3.033
3	3.004	18	2.973
4	2.987	19	2.973
5	3.011	20	2.913
6	2.975	21	2.997
7	2.919	22	2.969
8	2.952	23	2.946
9	2.971	24	3.003
10	2.976	25	2.987
11	3.019	26	3.012
12	2.942	27	3.001
13	2.95	28	2.998
14	3.022	29	2.934
15	3.034	30	2.975
		ค่าเฉลี่ย	2.983
		SD.	0.034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2.2 Reproducibility ทำการวัดซ้ำในสารละลายเดิม 30 ครั้ง

ตารางที่ ก 2.2.1 แสดงค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ครั้งที่	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิริยาออกซิเดชัน (μA)
1	-0.187	49.190
2	-0.187	47.500
3	-0.248	38.880
4	-0.238	39.580
5	-0.187	40.990
6	-0.187	41.030
7	-0.187	40.080
8	-0.187	42.860
9	-0.187	41.240
10	-0.177	39.560
11	-0.207	39.570
12	-0.207	39.690
13	-0.197	43.780
14	-0.217	42.240
15	-0.187	41.210
16	-0.187	41.110
17	-0.187	39.870
18	-0.197	41.950
19	-0.207	40.750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
20	-0.199	40.450
21	-0.207	40.710
22	-0.207	41.320
23	-0.217	43.070
24	-0.217	43.520
25	-0.207	39.600
26	-0.207	39.600
27	-0.217	44.090
28	-0.217	40.300
29	-0.228	41.640
30	-0.197	39.510
เฉลี่ย	0.276	41.496
S.D	0.009	2.334
% RSD	3.261	5.624

ตารางที่ ก 2.2.2 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เคลือบที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
1	-0.056	149.321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน (μA)
2	-0.056	149.654
3	-0.046	147.850
4	-0.046	146.587
5	-0.046	150.003
6	-0.046	151.111
7	-0.056	149.951
8	-0.046	146.850
9	-0.046	147.950
10	-0.056	148.560
11	-0.026	149.690
12	-0.046	147.654
13	-0.087	147.789
14	-0.046	148.562
15	-0.036	150.021
16	-0.016	152.321
17	-0.036	151.234
18	-0.016	151.326
19	-0.016	148.658
20	-0.026	149.990
21	-0.024	147.690
22	-0.006	146.350
23	-0.004	148.750
24	-0.004	150.000
25	-0.006	149.850
26	-0.004	150.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน (μA)
27	-0.014	152.200
28	-0.016	155.000
29	-0.065	159.900
30	-0.044	156.000
เฉลี่ย	-0.035	150.054
S.D	0.021	2.888
% RSD	-60.000	1.925

ตารางที่ ก 2.2.3 แสดงค่ากระแสปฏิกริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ครั้งที่	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน (μA)
1	-0.149	10.330
2	0.159	9.132
3	-0.169	11.540
4	-0.169	12.080
5	-0.159	10.470
6	-0.169	11.030
7	-0.169	11.310
8	-0.169	11.010
9	-0.169	11.170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
10	-0.169	11.600
11	-0.169	11.420
12	-0.179	11.250
13	-0.179	11.240
14	-0.179	10.970
15	-0.179	10.650
16	-0.179	10.730
17	-0.179	10.840
18	-0.179	11.040
19	-0.149	9.020
20	-0.159	11.240
21	-0.159	11.900
22	-0.159	12.210
23	-0.169	12.860
24	-0.159	12.540
25	-0.169	12.960
26	-0.169	12.680
27	-0.169	12.270
28	-0.169	12.400
29	-0.169	11.390
30	-0.169	11.200
เฉลี่ย	-0.157	11.349
S.D	0.060	0.923
% RSD	-38.328	8.268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2.2.4 แสดงค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ครั้งที่	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิริยาออกซิเดชัน (μA)
1	0.277	61.370
2	0.277	58.400
3	0.267	55.490
4	0.287	58.950
5	0.287	54.880
6	0.277	53.740
7	0.277	52.590
8	0.267	49.230
9	0.267	54.230
10	0.267	58.321
11	0.297	58.660
12	0.287	58.550
13	0.277	59.660
14	0.277	54.123
15	0.277	57.123
16	0.267	56.498
17	0.267	56.231
18	0.267	57.654
19	0.267	57.000
20	0.287	59.789
21	0.287	52.316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขี้ Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน (μA)
22	0.287	57.987
23	0.277	56.321
24	0.277	55.463
25	0.277	58.752
26	0.267	56.495
27	0.267	58.621
28	0.267	57.263
29	0.267	57.000
30	0.277	59.243
เฉลี่ย	0.276	56.732
S.D	0.009	2.598
% RSD	3.261	4.579

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้ารนำไปใช้

ก 2.3 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time)

ตารางที่ ก 2.3.1 แสดงค่ากระแสสเปกโทรกราฟีออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัด

สารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์
คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทม
เมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสสเปกโทรกราฟี
ออกซิเดชันลดลงต่ำกว่า 50%

ครั้งที่	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
1	-0.535	61.39
2	-0.413	65.12
3	-0.322	71.06
4	-0.242	65.71
5	-0.242	71.57
6	-0.2	68.86
7	-0.23	69.02
8	-0.175	60.92
9	-0.181	67.38
10	-0.181	71.76
11	-0.145	63.91
12	-0.126	63.32
13	-0.126	65.7
14	-0.072	42.03
15	-0.065	41.38
16	-0.053	40.99
17	-0.059	38.63
18	-0.047	38.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
19	-0.035	38.61
20	-0.023	36.29
21	-0.053	33.36
22	-0.004	34.66

ตารางที่ ก 2.3.2 แสดงค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามีถั่วอลดีคาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชันลดลงต่ำกว่า 50%

ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสปฏิริยาออกซิเดชัน (μA)
1	0.225	7.686
2	0.282	18.95
3	0.32	17.48
4	0.447	28.22
5	0.241	28.37
6	0.495	24.88
7	0.470	18.38
8	0.426	15.98
9	0.469	12.91
10	0.377	12.98
11	0.474	16.44
12	0.237	10.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
13	0.241	9.508
14	0.38	9.171
15	0.364	9.677
16	0.414	9.461
17	0.421	9.938
18	0.308	8.7
19	0.340	7.221
20	0.227	7.77
21	0.255	7.046
22	0.252	6.555
23	0.472	6.725
24	0.445	6.476
25	0.318	5.326
26	0.420	5.131
27	0.209	5.029
28	0.389	5.199
29	0.420	5.691
30	0.289	4.976
31	0.260	4.964
32	0.321	4.63
33	0.269	4.846
34	0.383	3.416
35	0.356	3.748
36	0.472	3.953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2.3.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันลดลงต่ำกว่า 50%

ครั้งที่	ขั้ว Pt		ครั้งที่	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)
1	-0.197	111.8	23	-0.217	118.6
2	-0.197	127.9	24	-0.217	120.7
3	-0.197	128.7	25	-0.217	116.5
4	-0.207	126.3	26	-0.217	116.3
5	-0.207	124.5	27	-0.217	115.2
6	-0.207	124	28	-0.217	115.9
7	-0.207	125.9	29	-0.217	115.7
8	-0.207	126	30	-0.217	114.7
9	-0.207	125	31	-0.207	117.2
10	-0.207	123.3	32	-0.217	114.4
11	-0.207	124.3	33	-0.217	111.7
12	-0.207	127.6	34	-0.217	111.6
13	-0.207	125.8	35	-0.217	111.1
14	-0.207	121.9	36	-0.217	110.2
15	-0.207	123.6	37	-0.217	111.8
16	-0.207	126.6	38	-0.217	108
17	-0.217	120.6	39	-0.217	110
18	-0.207	121.4	40	-0.217	110.3
19	-0.217	118.9	41	-0.217	110.1
20	-0.217	118.7	42	-0.217	107
21	-0.207	120.2	43	-0.228	105.2
22	-0.217	118.5	44	-0.228	103.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Pt		ครั้งที่	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิค (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิค (μA)
45	-0.228	104.1	67	-0.228	94.61
46	-0.228	104.9	68	-0.228	93.11
47	-0.228	104.4	69	-0.228	94.85
48	-0.228	103.4	70	-0.228	92.39
49	-0.228	104.4	71	-0.228	93.12
50	-0.228	102.7	72	-0.228	92.67
51	-0.217	102.5	73	-0.228	91.09
52	-0.228	101.7	74	-0.228	90.5
53	-0.228	100.1	75	-0.228	90.18
54	-0.228	100.3	76	-0.228	90.91
55	-0.228	100.4	77	-0.228	89.38
56	-0.228	99.1	78	-0.228	89.93
57	-0.228	98.8	79	-0.228	89.15
58	-0.228	98.6	80	-0.228	89.97
59	-0.228	96.5	81	-0.228	88.99
60	-0.228	98.5	82	-0.228	88.91
61	-0.228	96.94	83	-0.238	86.16
62	-0.228	95.38	84	-0.238	85.47
63	-0.228	95.13	85	-0.238	85.38
64	-0.228	96.66	86	-0.238	85.56
65	-0.228	94.14	87	-0.238	84.43
66	-0.228	93.75	88	-0.238	84.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Pt		ครั้งที่	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟีด (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟีด (μA)
89	-0.238	83.68	111	-0.238	75.29
90	-0.228	83.4	112	-0.238	74.02
91	-0.238	83.19	113	-0.238	73.71
92	-0.238	82.63	114	-0.238	74.02
93	-0.238	81.62	115	-0.238	73.31
94	-0.238	81.42	116	-0.238	72.78
95	-0.238	81.27	117	-0.238	72.19
96	-0.238	81.12	118	-0.238	70.59
97	-0.238	81.04	119	-0.238	70.61
98	-0.238	80.99	120	-0.238	69.02
99	-0.238	80.73	121	-0.238	68.08
100	-0.238	78.4	122	-0.238	66.73
101	-0.238	79.4	123	-0.248	66.53
102	-0.238	78.83	124	-0.238	65.4
103	-0.238	78.6	125	-0.238	65.9
104	-0.238	77.17	126	-0.238	65.23
105	-0.238	77.87	127	-0.238	64.3
106	-0.238	76.68	128	-0.238	64.76
107	-0.238	76.98	129	-0.238	62.02
108	-0.238	76.99	130	-0.238	59.85
109	-0.238	75.74	131	-0.238	62.06
110	-0.238	76.18	132	-0.238	61.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2.3.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับครั้งที่วัดของการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้น 0.5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองคำ (Au) ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s จนกระทั่งค่ากระแสไฟฟ้าลดลงต่ำกว่า 50%

ครั้งที่	ขั้ว Au		ครั้งที่	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)
1	0.236	13.96	23	0.236	14.3
2	0.236	14.14	24	0.236	13.64
3	0.236	14.23	25	0.236	14.15
4	0.226	14.13	26	0.236	14.01
5	0.226	14.26	27	0.236	13.65
6	0.226	14.31	28	0.236	14.12
7	0.226	14.38	29	0.236	13.63
8	0.226	14.57	30	0.236	13.95
9	0.226	14.59	31	0.236	13.61
10	0.226	14.74	32	0.236	13.58
11	0.226	14.61	33	0.236	13.46
12	0.226	14.8	34	0.236	13.48
13	0.236	14.64	35	0.236	13.41
14	0.236	14.77	36	0.236	13.46
15	0.236	14.52	37	0.236	13.55
16	0.236	14.87	38	0.236	13.44
17	0.236	14.47	39	0.236	13.29
18	0.236	14.6	40	0.236	13.24
19	0.236	14.79	41	0.236	13.06
20	0.236	14.87	42	0.236	13.16
21	0.236	14.66	43	0.236	13.05
22	0.236	13.88	44	0.236	13.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Au		ครั้งที่	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิสิก (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิสิก (μA)
45	0.236	13.33	67	0.236	12.78
46	0.236	13.1	68	0.236	12.74
47	0.236	13.07	69	0.236	12.75
48	0.236	13.27	70	0.236	12.72
49	0.236	13.13	71	0.236	12.47
50	0.236	13.07	72	0.236	12.42
51	0.236	12.8	73	0.236	12.35
52	0.236	12.84	74	0.236	12.5
53	0.236	12.97	75	0.236	12.46
54	0.236	12.77	76	0.236	12.6
55	0.236	12.85	77	0.236	12.59
56	0.236	12.78	78	0.236	12.71
57	0.236	12.75	79	0.236	12.71
58	0.236	12.81	80	0.236	12.67
59	0.236	12.97	81	0.236	12.43
60	0.236	13.02	82	0.236	12.56
61	0.236	12.85	83	0.236	12.41
62	0.236	12.92	84	0.236	12.3
63	0.236	12.85	85	0.236	12.46
64	0.236	12.88	86	0.236	12.35
65	0.236	12.78	87	0.236	12.67
66	0.236	12.87	88	0.236	12.56
89	0.236	12.66	93	0.236	12.39
90	0.236	12.61	94	0.236	12.24
91	0.236	12.19	95	0.236	12.19
92	0.236	12.26	96	0.236	12.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Au		ครั้งที่	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟีด (μA)		ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟีด (μA)
97	0.236	12.19	122	0.236	11.22
98	0.236	12.27	123	0.236	11.16
99	0.236	12.17	124	0.236	11.17
100	0.236	12.14	125	0.236	11.12
101	0.236	11.81	126	0.236	11.05
102	0.236	11.95	127	0.236	11.07
103	0.236	11.82	128	0.236	11.01
104	0.236	11.94	129	0.236	10.97
105	0.236	11.95	130	0.236	10.96
106	0.236	11.89	131	0.236	10.78
107	0.236	11.95	132	0.236	10.78
108	0.236	11.7	133	0.236	10.84
109	0.236	11.84	134	0.236	10.79
110	0.236	11.77	135	0.236	10.77
111	0.236	11.58	136	0.236	10.72
112	0.236	11.32	137	0.236	10.68
113	0.236	11.34	138	0.236	10.68
114	0.236	11.28	139	0.236	10.66
115	0.236	11.24	140	0.236	10.57
116	0.236	11.2	141	0.236	10.46
117	0.236	11.16	142	0.236	10.44
118	0.236	11.16	143	0.236	10.42
119	0.236	11.16	144	0.236	10.37
120	0.236	11.18	145	0.236	10.27
121	0.236	11.12	146	0.236	10.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแสฟิค (μA)
147	0.236	10.19
148	0.236	10.18
149	0.236	10.12
150	0.236	10.13

ก 3 ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ตารางที่ ก 3.1 แสดงค่ากระแสปฏิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ด้วยเทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลเทอเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (mM)	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
1	0.004	0.006
	-0.006	0.017
	0.004	0.022
เฉลี่ย	0.001	0.015
2	0.488	0.161
	0.397	0.031
	0.437	0.031
เฉลี่ย	0.441	0.074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (mM)	MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
3	0.397	11.950
	0.447	17.020
	0.467	15.970
เฉลี่ย	0.437	14.980
4	0.185	24.680
	0.236	26.850
	0.296	23.500
เฉลี่ย	0.239	25.010
5	0.397	33.640
	0.296	27.860
	0.447	28.110
เฉลี่ย	0.347	29.870

ตารางที่ 3.2 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรึงวัสดุสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ด้วยเทคนิค คิฟเฟอร์เรชันเนียลพัลส์โวลแทจเมทรีใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (mM)	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
1	0.451	194.400
	0.462	201.200
	0.512	216.100
เฉลี่ย	0.475	203.900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (mM)	Chitosan/MCPE	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μ A)
2	0.445	214.400
	0.432	212.800
	0.521	219.500
เฉลี่ย	0.466	215.567
3	0.465	234.600
	0.485	228.500
	0.501	236.200
เฉลี่ย	0.484	233.100
4	0.428	251.100
	0.398	248.600
	0.398	256.400
	0.408	252.030
เฉลี่ย	0.408	252.030
5	0.467	263.300
	0.495	259.500
	0.503	264.400
เฉลี่ย	0.488	262.400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 3.3 แสดงค่ากระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี ใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

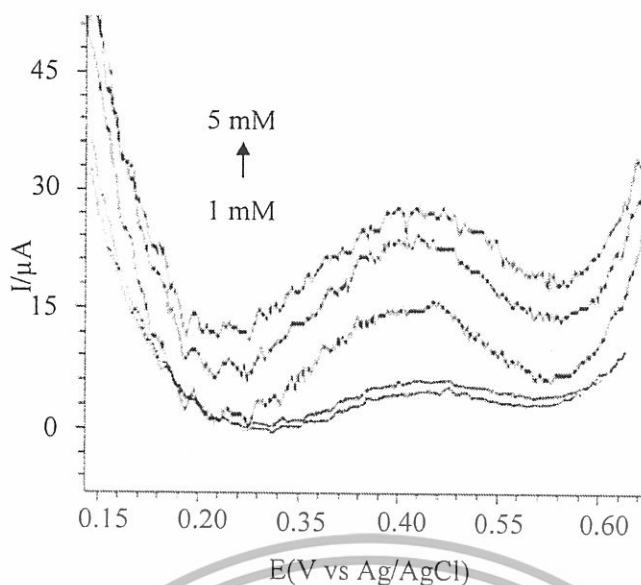
ความเข้มข้น (mM)	ขั้ว Pt	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μ A)
1	-0.238	36.630
	-0.310	39.930
	-0.257	39.280
เฉลี่ย	-0.268	38.613
2	-0.284	39.930
	-0.268	39.980
	-0.256	39.230
เฉลี่ย	-0.269	39.713
3	-0.318	49.100
	-0.318	52.950
	-0.267	52.740
เฉลี่ย	-0.301	51.597
4	-0.297	64.120
	-0.284	70.260
	-0.301	40.680
เฉลี่ย	-0.294	58.353
5	-0.316	59.930
	-0.346	60.950
	-0.298	62.280
เฉลี่ย	-0.320	61.053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

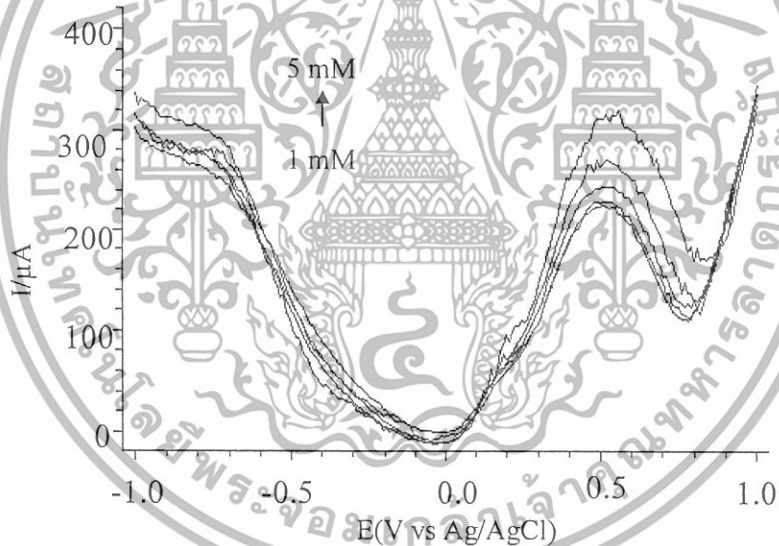
ตารางที่ ก 3.4 แสดงค่ากระแสปฏิบัติกริยาออกซิเดชันจากการตรวจวัดสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ใช้อัตราสแกน 50 mV/s

ความเข้มข้น (mM)	ขั้ว Au	
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (μA)
1	0.175	7.535
	0.155	7.082
	0.155	7.140
เฉลี่ย	0.162	7.252
2	0.155	7.453
	0.155	7.464
	0.155	7.492
เฉลี่ย	0.155	7.450
3	0.155	7.651
	0.165	7.720
	0.155	7.448
เฉลี่ย	0.158	7.606
4	0.165	7.972
	0.165	8.219
	0.175	7.616
เฉลี่ย	0.168	7.936
5	0.160	8.639
	0.160	8.686
	0.160	8.608
เฉลี่ย	0.160	8.644

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

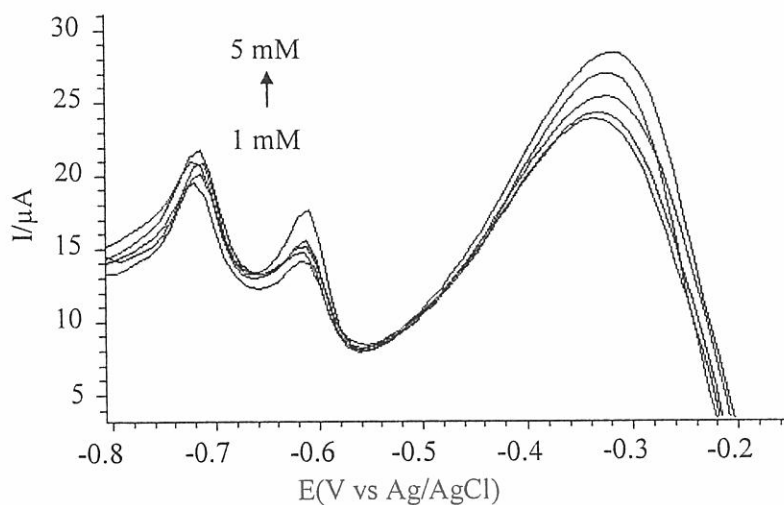


รูปที่ ก 21 คิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ ขั้วไฟฟ้ามีลิวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

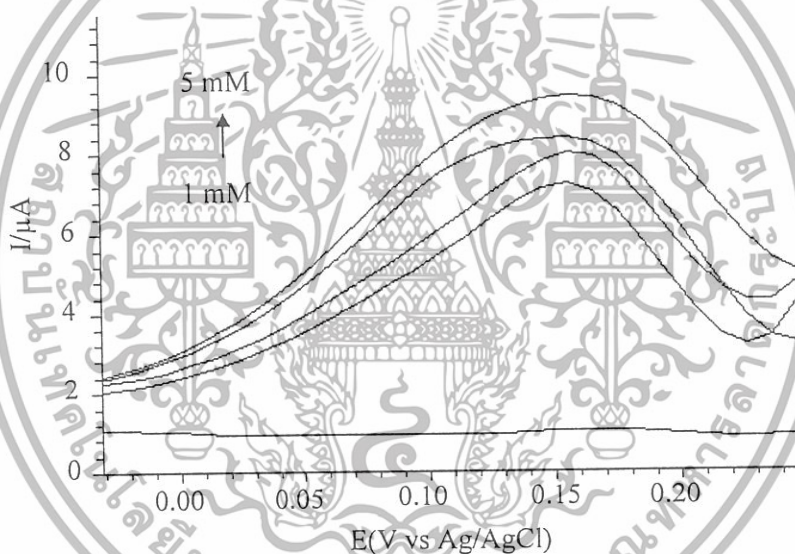


รูปที่ ก 22 คิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ ขั้วไฟฟ้ามีลิวอลล์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก 23 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)



รูปที่ ก 24 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ของสารละลาย Ellagic acid เข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 mM โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 4 ผลการตรวจวัด Ellagic Acid ในน้ำผลไม้

ตารางที่ ก 4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าออกซิเดชันของ Ellagic Acid ในน้ำผลไม้ยี่ห้อต่างๆกัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE) ขั้วไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt) และขั้วไฟฟ้าทอง (Au)

ยี่ห้อน้ำผลไม้	ครั้งที่	กระแส (μA)			
		MCPE	Chitosan/MCPE	ขั้ว Pt	ขั้ว Au
Brand berry	1	47.500	6790.000	32.987	14.060
	2	48.000	5940.000	33.869	14.150
	3	43.000	6260.000	34.274	14.250
เฉลี่ย		46.167	6330.000	33.710	14.150
added standard	1	85.450	6405.187	63.885	15.482
	2	86.540	6401.850	62.486	15.235
	3	88.110	6410.321	65.551	16.386
เฉลี่ย		86.700	6405.786	63.974	15.701
Tipco	1	36.040	451.000	32.147	7.440
	2	37.650	430.000	32.411	7.516
	3	40.180	401.000	32.282	7.574
เฉลี่ย		37.957	427.000	32.280	7.510
added standard	1	78.410	580.992	62.127	9.024
	2	79.010	574.120	61.354	9.648
	3	79.220	575.288	64.094	8.559
เฉลี่ย		78.880	576.800	62.525	9.077
Squeeze	1	41.640	41640.000	33.512	7.482
	2	34.160	34160.000	33.524	7.562
	3	36.250	36250.000	33.764	7.606
เฉลี่ย		37.350	37350.000	33.600	7.550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อน้ำตาลไม้	ครั้งที่	กระแส (μA)			
		MCPE	Chitosan/MCPE	ขี้ Pt	ขี้ Au
added standard	1	77.213	37426.110	63.985	9.225
	2	78.005	37424.998	64.458	9.118
	3	76.793	37425.063	64.712	9.029
เฉลี่ย		77.337	37425.387	64.385	9.124
Unif	1	36.500	7041.000	30.997	6.854
	2	37.500	7500.000	32.516	7.015
	3	40.400	8647.000	30.027	6.993
เฉลี่ย		38.133	7729.000	31.180	6.954
added standard	1	78.461	7805.156	61.542	8.643
	2	78.152	7805.557	61.002	8.284
	3	78.917	7803.567	61.455	8.549
เฉลี่ย		78.510	7804.760	61.333	8.492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

การคำนวณชี้แจงจำกัดในการตรวจวัดตามวิธีของ Internation Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

สูตรการคำนวณและวิธีการทำการทดสอบ

1. การสร้าง calibration curve จากความสัมพันธ์ของการตรวจวัดสารในช่วงที่เป็นเส้นตรง นำผลการทดลองที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นกับปริมาณกระแสที่วัดได้ จะได้กราฟเส้นตรงจากนั้นนำมาคำนวณหาความชันของเส้นกราฟ จากสมการ

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{(\bar{Y} - b)}{\bar{X}}$$

$$b = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

a = ความชันของเส้นกราฟ

b = จุดตัดแกนตั้ง

X = ความเข้มข้น

Y = กระแส

2. เมื่อสามารถหาความชันของเส้นกราฟได้แล้ว นำสารละลายธาตุอิเล็กโทรไลต์มาวัดกระแสพื้น (อย่างน้อย 20 ครั้ง) แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{ค่าเฉลี่ย Blank } (\bar{Y}_B) = \frac{\sum_{j=1}^{n_B} Y_{Bj}}{n_B}$$

$$\text{Standard Deviation of Blank } (S_B) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_B} (Y_{Bj} - \bar{Y}_B)^2}{(n_B - 1)}}$$

3. นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าชี้แจงจำกัดในการ

ตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้

$$(Y_L) = (\bar{Y}_B) + 3(S_B)$$

หรือ

$$C_L = \frac{3(S_B)}{a}$$

ข 1 คำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจวัด Ellagic acid

1. หาค่าความชันของกราฟ

ความเข้มข้น (mM)	กระแส (μ A)			
	MCPE	Chitosan/MCPE	ขั้ว Pt	ขั้ว Au
1	0.015	203.900	38.613	7.252
2	0.074	214.400	39.713	7.470
3	14.980	212.800	51.597	7.606
4	25.010	219.500	58.353	7.936
5	29.870	215.567	61.053	8.644
average	13.990	233.399	49.866	7.782
slope	8.465	15.346	6.352	0.327
Intercept	-11.404	187.360	30.810	6.807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ครั้งที่	กระแส (μA)			
	MCPE	Chitosan/MCPE	ขั้ว Pt	ขั้ว Au
1	0.724	27.456	1.822	2.976
2	0.882	28.452	1.950	2.987
3	0.985	27.631	2.010	3.004
4	1.000	26.321	2.059	2.987
5	1.010	27.543	2.083	3.011
6	1.089	26.710	2.084	2.975
7	1.236	26.770	2.119	2.919
8	1.346	28.260	2.181	2.952
9	1.390	28.390	2.182	2.971
10	1.449	28.740	2.220	2.976
11	1.462	28.890	2.237	3.019
12	1.330	27.136	2.283	2.942
13	1.423	29.870	2.236	2.95
14	1.485	25.138	2.261	3.022
15	1.494	28.634	2.280	3.034
16	1.186	29.543	2.272	3.054
17	1.225	24.631	2.296	3.033
18	1.314	27.364	2.320	2.973
19	1.377	28.642	2.345	2.973
20	1.435	28.631	2.367	2.913
21	1.598	28.631	2.373	2.997
22	1.424	27.354	2.345	2.969
23	1.534	27.345	2.345	2.946
24	1.512	26.354	2.352	3.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	กระแส (μA)			
	CPE	MCPE	ขี้ว Pt	ขี้ว Au
25	1.546	27.964	2.401	2.987
26	1.588	28.631	2.386	3.012
27	1.668	29.346	2.190	3.001
28	1.573	28.521	2.435	2.998
29	1.644	28.456	2.431	2.934
30	1.638	28.456	2.437	2.975
Average	1.352	27.860	2.243	2.983
SD.	0.244	1.210	0.152	0.034

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด

สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้ (μA)

ขี้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

$$Y_L = 1.352 + 3(0.244)$$

$$= 2.084$$

ขี้วไฟฟ้ามีลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน (Chitosan/MCPE)

$$Y_L = 27.86 + 3(1.210)$$

$$= 31.49$$

ขี้วไฟฟ้าแพลทินัม (Pt)

$$Y_L = 2.243 + 3(0.152)$$

$$= 2.699$$

ขี้วไฟฟ้าทอง (Au)

$$Y_L = 2.983 + 3(0.034)$$

$$= 3.089$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

ข้าวไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ (MCPE)

$$C = 3(0.244)/8.4646$$

$$= 0.086$$

ข้าวไฟฟ้ามัลติวอลต์คาร์บอนนาโนทิวบ์เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน
(Chitosan/MCPE)

$$C = 3(1.210)/15.346$$

$$= 0.236$$

ข้าวไฟฟ้าเพลทินัม (Pt)

$$C = 3(0.152)/6.352$$

$$= 0.072$$

ข้าวไฟฟ้าทอง (Au)

$$C = 3(0.034)/0.327$$

$$= 0.314$$

การคำนวณ percent recovery

สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\frac{(\text{value of sample} + \text{standard}) - (\text{value due to sample})}{\text{value of standard added}} \times 100\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลาย

ก1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 ml

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH ; น้ำหนักโมเลกุล 40.0) 2.0 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิเกตให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 500 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ก2. การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 ml

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ (NaCl ; น้ำหนักโมเลกุล 58.443) 2.922 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิเกตให้โซเดียมคลอไรด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 500 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ก3. การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 ml

ชั่งโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 142.037) 7.101 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิเกตให้โซเดียมซัลเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 500 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ก4. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 ml

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl ; น้ำหนักโมเลกุล 74.551) 3.727 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิเกตให้โพแทสเซียมคลอไรด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 500 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ก5. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 ml

ชั่งโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 174.250) 8.712 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิเกตให้โพแทสเซียมซัลเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 500 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ก6. การเตรียมเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์

ผสมเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:1 ให้ได้ปริมาตรรวม 100 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค7. การเตรียมสารละลาย Ellagic acid ความเข้มข้น 0.5 mM ปริมาตร 100 ml

ชั่ง Ellagic acid (น้ำหนักโมเลกุล 302.19) 0.0151 g ละลายด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมได้จากภาคผนวก ค6 นำไปโซนิเคทให้ Ellagic acid ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์

ค8. การเตรียมแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ในโทลูอีน

ผสมเอทิลแอลกอฮอล์และโทลูอีนในอัตราส่วน 1:1 ให้ได้ปริมาตรรวม 100 ml

ค9. การเตรียมสารละลาย Ferrocene

ชั่ง Ferrocene (น้ำหนักโมเลกุล 186.04) 1.25 g ละลายด้วยแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ในโทลูอีนที่เตรียมได้จากภาคผนวก ค8 นำไปโซนิเคทให้ Ferrocene ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml ปรับปริมาตรเป็น 25 ml ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ในโทลูอีน

ค10. การเตรียมสารละลาย Nafion 0.1%

ปิเปต Nafion 0.25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml ปรับปริมาตรเป็น 25 ml ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์

ค11. การเตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 M

ปิเปต กรดซัลฟิวริก 0.4 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ค 12. การเตรียมสารละลายไคโตซาน

ชั่งไคโตซาน 0.25 g ละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 M ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml ปรับปริมาตรเป็น 25 ml ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 M

ค 13. การเตรียมสารละลาย Tyrosinase

ชั่ง Tyrosinase 2 mg ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 ml ในขวดแก้วที่มีฝาปิด แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Indira Priyadarsini, Sujata M. Khopde, S. Santosh Kumar, and Hari Mohan.: Free Radical Studies of Ellagic Acid, a Natural Phenolic Antioxidant, **J. Agric. Food Chem.** 50, 2200 -2206, 2002.
- [2] Begoña Cerdá, Francisco A, Tomás-Barberán, Juan Carlos Espín.:Metabolism of Antioxidant and Chemopreventive Ellagitannins from Strawberries, Raspberries, Walnuts, and Oak-Aged Wine in Humans: Identification of Biomarkers and Individual Variability, **J. Agric. Food Chem.** 53, 227-235.
- [3] S.A.S.S. Gomes and M.J.F.Rebelo.: A New Laccase Biosensor for Polyphenols Determination, **Sensors** 2003. 3, 166-175, 2003.
- [4] Romani, A : Minunni, M : Mulinacci, N : Pinelli, P : Vincieri, F F : Del Carlo, M : Mascini, M.: Comparison among differential pulse voltammetry, amperometric biosensor, and HPLC/DAD analysis for polyphenol determination, **J-Agric-Food-Chem.** 1197-1203, 2000.
- [5] Lourdes Arce, María Teresa Tena, Angel Rios and Miguel Valcárcel.: Determination of trans-resveratrol and other polyphenols in wines by a continuous flow sample clean-up system followed by capillary electrophoresis separation, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Sciences, University of Córdoba E-14004-Córdoba Spain. 1997.
- [6] Joseph Wang, **Analytical electrochemistry**, second edition, Wiley-VCH, 28-33, 68-71, 2000.
- [7] Stasse-Wolthuis M, Abers HFF, van Jeveren JGC, De Jong JW, Hautvast JG.: Influence of dietary fiber from vegetables and fruits, bran or citrus pectin on serum lipids, fecal lipids, and colonic function, **American Journal of Clinical Nutrition.** 33, 1745-1756, 1980.
- [8] Yildirim, T., O. Gulseren, Kiliç and S. Ciraci.: Pressure-induced interlinking of carbon nanotubes, **Physical Review B.** 62, 12648-12651, 2000.
- [9] Ricki Lewis, "Preventing Cancer," in *The Scientist*, Vol 17, Supplement 2|6| September 22, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Stoner, Gary D.; (Columbus, OH) ; Cassady, John M.; Compositions of and derived from strawberry and raspberry and therapeutic uses thereof, Serial No 951413 Series Code: 10 Filed: September 28, 2004 .
- [11] Yu YM, Chang WC, Wu CH, Chiang SY.: Reduction of oxidative stress and apoptosis in hyperlipidemic rabbits by ellagic acid, **J Nutr. Biochem.** 11, 675-681, 2005.
- [12] R. Dagani Fifty Years of Ferrocene Chemistry, **Chemical and Engineering News.** 79, 37-38, 2001.
- [13] T. J. Kealy, P. L. Pauson.: A New Type of Organo-Iron Compound, **Letters to Nature.** 168, 1039-1040, 1951
- [14] J. Dunitz, L. Orgel, A. Rich.: The crystal structure of ferrocene, **Acta Crystallographica.** 9, 373-375, 1956.
- [15] N. G. Connelly, W. E. Geiger.: Chemical Redox Agents for Organometallic Chemistry, **Chemical Reviews.** 96, 877-910, 1996.
- [16] Malmstrom, B. and Ryden, L.: The copper containing oxidases; Biological oxidation, Biological Oxidation, T. Singer, Interscience Publisher, New York, 419-428, 1968.
- [17] Jolley, R., Evans, L., Makino, N. and Mason, H.: Oxytyrosinase, **J. Biol. Chem.** 249, 335-345, 1974.
- [18] Duckworth, H. and Coleman, J.: Physicochemical and Kinetic Properties of Mushroom Tyrosinase, **J. Biol. Chem.** 245, 1613, 1970
- [19] Kertes, Z. D., Rotilio, G., Brunori, M., Zito, R. and Antonini, E.: Kinetics of Reconstitution of Polyphenoloxidase from Apoenzyme and Copper, **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 49, 1208-1215, 1972.
- [20] Jolley, R., Nelson, R. and Robb, D.: The Multiple Forms of Mushroom Tyrosinase. Structural Studies on the Isozymes, **J. Biol. Chem.** 244, 3251-3257, 1969.
- [21] Jolly, R., Robb, D. and Mason, H.: The Multiple Forms of Mushroom Tyrosinase. Association-Dissociation Phenomena, **J. Biol. Chem.** 244, 1593-1599, 1969.
- [22] Jolly, R., Evens L. and Mason, H.: Reversible Oxygenation of Tyrosinase, **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 46, 878-884, 1972.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] Jolly, R., Evens, L. and Mason, H.: A Reaction Between Tyrosinase and H₂O₂ Oxidases and Related Redox Systems Vol. 1, T. King, H. Mason and M. Morrison, Univ Pk Press, Baltimore, MD USA, 100, 1973.
- [24] Strothkamp, K. and Mason, H.: Pseudoperoxidase Activity of Mushroom Tyrosinase, **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 1, 827-832, 1974.
- [25] Kertesz, D., Brunori, M., Zito, R. and Antonini, E.: Transient Kinetic Studies of DOPA Oxidation by Polyphenoloxidase, **Biochem. Biophys. Acta.** 250, 306, 1971.
- [26] Aldona Krawczyk¹, Barbara Thiem² and Maurycy Szkudlarek¹: High-Performance Liquid Chromatography of Ellagic acid From the Leaves of Rubus Chamamorus L, **Chem. Anal.** (Warsaw), 48, 891-899, 2003.
- [27] I. Bala, V., Bhardwarg, S., Hariharan, M.N.V. Ravi Kumar.: Analytical Methods for Essay of Ellagic acid and Its Solubility Studies, **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.** 40, 206-210, 2006.
- [28] Rajendra, N. Goyal, Sudhanshu P. Singh: Voltammetric Determination of Atenolol at C60-modified Glassy Carbon Electrodes, *Talanta*. 69, 932-937, 2006.
- [29] Yan Zeng, Zhi-Hong Zhu, Rui-Xia Wang and Guang-Han Lu.: Electrochemical Determination of Bromide at a Multiwall Carbon Nanotubes-Chitosan Modified Electrode, **Electrochimica Acta.** 51, 649-654, 2005.
- [30] Guanghan Lu, Xin Yao, Xiaogang Wu and Tong Zhan, Determination of the Total Iron by Chitosan-Modified Glassy Carbon Electrode, **Microchemical Journal.** 69, 81-87, 2001.
- [31] Hotta, H., Sakamoto, H., Nagano, S., Osakai, T. and Tsujino, Y.: Unusually Large Numbers of Electrons for the Oxidation of Polyphenolic Antioxidants, **Biochim Biophys. Acta.** 1526, 159-167, 2001.
- [32] Wang, Z., Liu, J., Liang, Q., Wang, Y. and Luo, G.: Carbon Nanotube-Modified Electrode for the Simultaneous Determination of Dopamine and Ascorbic Acid, **Analyst.** 127, 653-658, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้