

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ข้าวคาร์บอนเพสต์
ที่ปรับปรุงด้วยบีตา - ไฮโคลเดกซ์ทรีน



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of L-tyrosine Using a Carbon Paste Electrode
Modified with β -cyclodextrin



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 2004
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์
 ที่ปรับปรุงด้วยปีตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน
นักศึกษา นายเกียรติศักดิ์ ดวงเงิน
 นายเสกสิทธิ์ สุขแดง
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2547
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน
นักศึกษา	นายเกียรติศักดิ์ ดวงเงิน นายเสกสิทธิ์ สุขแดง
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินซึ่งพิจารณาเลือกจากอัตราส่วนขององค์ประกอบในการสร้างขั้ว (ได้แก่ปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน และน้ำมันพาราฟิน) ที่ให้กระแสจากการตรวจวัด $K_3[Fe(CN)_6]$ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีสูงสุดที่อัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ในสถานะเดียวกัน พบว่ารากที่สองของอัตราการสแกน (0.01 ถึง 0.9 Vs^{-1}) เป็นสัดส่วนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน แสดงให้เห็นว่ากระแสที่เกิดปฏิริยานั้นควบคุมโดยการแพร่ สัดส่วน S/N ของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีสูงกว่าขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ กลาสสิคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ประมาณ 1.68 1.11 และ 1.13 เท่า ตามลำดับ จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนอยู่ในช่วง 0.0552 ถึง 0.5519 mM เท่ากันทั้งขั้วและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 0.9934 0.9895 0.9825 และ 0.9846 ตามลำดับ ชัดจำกัดในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนของขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 8.53 5.18 5.89 และ 4.26 μM ตามลำดับ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินให้ค่าความเที่ยงที่ดี (%RSD = 3.3752) มีสภาพไวสูงต่อการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนและมีอายุการใช้งานนานกว่า 3 เดือน การวิเคราะห์ปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine 500 mg ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีโดยวิธี

เติมสารมาตรฐานให้เปอร์เซ็นต์การกลับคืนเท่ากับ 98.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title	Determination of L-tyrosine using a carbon paste electrode modified with β -cyclodextrin
Student	Mr. Kiattisak Duang-ngern Mr. Seksit Sukdang
Department	Chemistry
Programme	Industrial Chemistry
Year	2004
Project advisor	Asst. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

This project focused on the determination of L-tyrosine using a carbon paste electrode modified with β -cyclodextrin (CP-BCD). Effects of composition ratio in electrode (including quantity of graphite powder, β -cyclodextrin and paraffin oil) on the highest response current of electrochemical determination of $K_3[Fe(CN)_6]$ was selected at 1:1:1 w/w. The best CP-BCD was used for electroanalysis of L-tyrosine in 0.1 M phosphate buffer pH 7.0 and then compared with graphite, glassy carbon and bare carbon paste electrodes in the same condition. The potential scan rate of L-tyrosine oxidation (peak current for 0.55 mM L-tyrosine linearly proportional to $v^{1/2}$, with the range of 0.01 to 0.9 Vs^{-1}) indicated that the oxidation current was diffusion controlled by CP-BCD surface. Differential pulse voltammetric signal-to-noise (S/N) ratio from the CP-BCD electrode had been higher than that obtained from the graphite, glassy carbon and bare carbon paste electrodes about 1.68, 1.11 and 1.13 fold, respectively. Linear range of L-tyrosine from 0.0552 to 0.5519 mM with every working electrode was used, and r^2 of the graphite, glassy carbon, bare carbon paste and CP-BCD electrodes were 0.9934, 0.9895, 0.9825 and 0.9846, respectively. Detection limit of the graphite, glassy carbon, bare carbon paste and CP-BCD electrodes for determination of L-tyrosine were 8.53, 5.18, 5.89 and 4.26 μM , respectively. The modified electrode had good precision (%RSD = 3.3752), low detection limit and high sensitivity for the detection of L-tyrosine and high stable (life time more than 3 months). Quantitative analysis of GNC L-tyrosine 500 mg sample with differential pulse voltammetry using the modified electrode with standard addition method was recovered at 98.41%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวงนเวสสำหรับกรเซงนงนเพอกรศกษนเทอนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษนี้ สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พัทนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องกลึงสำหรับลดขนาดชิ้นงาน และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่กรุณาสอนวิธีใช้งานเครื่องกลึง ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเตรียมอุปกรณ์ในการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโดรเดกซ์ทริน

ขอขอบพระคุณ คุณสุพจน์ ศิวาคม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความสะดวกต่อการทำงานอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ พี่ไพโรจน์ จันทร์หอม พี่ไศภิชัฐ เชื้อคำช่าง พี่พิริยะ ศรีเจ้า ตลอดจนพี่ ๆ ทุกคนที่กรุณาแนะนำในทุก ๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้ ซึ่งมีค่ายิ่งต่อการดำรงชีวิตในอนาคต

นายเกียรติศักดิ์ ดวงเงิน

นายเสกสิทธิ์ สุขแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	ix
สารบัญรูป.....	xiii
อักษรย่อและความหมาย.....	xx

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ไส้คลิกโวลแทมเมตรี.....	3
2.1.1 การแปรผลข้อมูล.....	6
2.1.2 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible System).....	7
2.1.3 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และกึ่งผันกลับได้ (Irreversible and quasi-reversible system).....	9
2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี และ ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเม- ตรี.....	11
2.3 ชูปฮาโมเลคูลาร์.....	12
2.4 ไส้โคลเดกซ์ทริน.....	13
2.4.1 โครงสร้างของไส้โคลเดกซ์ทริน.....	13
2.4.2 สมบัติของไส้โคลเดกซ์ทริน.....	14
2.4.3 การประยุกต์ใช้งานของไส้โคลเดกซ์ทริน.....	16
2.5 แอล-ไทโรซีน.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของแอล-ไทโรซีน.....	16
2.5.2 ความเป็นมาของแอล-ไทโรซีนและการแยกจากแหล่งธรรมชาติ.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สารเคมี.....	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	20
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	21
3.3.1 การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการทดลอง.....	21
3.3.1.1 การสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์.....	21
3.3.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วย บิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน.....	22
3.3.2 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอน เพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินที่เตรียมได้.....	23
3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน.....	23
3.4 วิธีการทดลอง.....	24
3.4.1 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	24
3.4.1.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน.....	24
3.4.1.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ เหมาะสมต่อการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน.....	25
3.4.1.3 การศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการ ตรวจวัดแอล-ไทโรซีน.....	25
3.4.1.4 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโร ซีน.....	25
3.4.1.5 การศึกษากระแสพื้น.....	25
3.4.2 การศึกษาสมบัติของขั้ว.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์.....	26
3.4.2.2 สภาพไวของขั้ว.....	26
3.4.2.3 อายุการใช้งานของขั้ว.....	26
3.4.2.4 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit)	26
3.4.2.5 การศึกษาความเที่ยง.....	27
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณ แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล.....	29
4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.....	29
4.1.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์.....	29
4.1.2 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา - ไซโคลเดกซ์ทริน.....	29
4.1.3 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ (CPE) ที่เตรียมได้.....	30
4.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	31
4.2.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน...	31
4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน.....	33
4.2.3 การศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน.....	34
4.2.4 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน.....	37
4.2.5 การศึกษากระแสพื้น (Background current).....	38
4.3 การศึกษาสมบัติของขั้ว.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์.....	39
4.3.1.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์.....	39
4.3.1.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน.....	41
4.3.1.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์.....	42
4.3.1.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.....	44
4.3.2 สภาพไวของขั้ว (Sensitivity).....	45
4.3.3 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time).....	46
4.3.3.1 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์.....	46
4.3.3.2 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.....	47
4.3.4 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit) และสัญญาณต่ำสุดที่ตรวจวัดได้.....	48
4.3.5 การศึกษาความเที่ยง (Precision).....	48
4.3.5.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์.....	48
4.3.5.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน.....	49
4.3.5.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์.....	49
4.3.5.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.....	50
4.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนต์โพลาไรซ์.....	51
โวลแทมเมทรี.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก. การตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม Autolab.....	57
ภาคผนวก ข. การเตรียมสารเคมี.....	60
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง.....	63
ภาคผนวก ง. การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด.....	99
ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์ปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน.....	15
3.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.....	24
3.2 ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดปริมาณแอล-ไทโรซีนด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน.....	28
4.1 สภาพไวของขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนในช่วงความถี่สัมพัทธ์ที่เป็นเส้นตรง.....	45
4.2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของขั้วไฟฟ้าทำงานชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน.....	48
4.3 ผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine.....	51
ค.1 ผลของตำแหน่งศักย์และกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH ต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	67
ค.2 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	68
ค.3 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	69
ค.4 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	71
ค.5 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟต	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
บัพเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	71
ค.6 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	73
ค.7 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	75
ค.8 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	76
ค.9 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	78
ค.10 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	80
ค.11 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	82
ค.12 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	86
ค.13 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.14 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	94
ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในช่วงที่เป็นเส้นตรงกับกระแสที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	100
ง.2 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วกราฟไฟต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	101
ง.3 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วกลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	102
ง.4 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	104
ง.5 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	105
จ.1 ผลการชั่งน้ำหนักเม็ดยาตัวอย่าง GNC L-tyrosine จำนวน 20 เม็ด.....	108
จ.2 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	111
จ.3 สรุปสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

๑.4	สรุปผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine	117
-----	---	-----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	3
2.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมทั่วไป.....	4
2.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบต่าง ๆ	5
2.4 การแปรผลข้อมูลจากไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	6
2.5 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า.....	7
2.6 โวลเทจโปรแกรมของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลารोगราฟี.....	11
2.7 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรม.....	12
2.8 ภาพวาดโครงสร้างไซโคลเดกซ์ทริน.....	14
2.9 โครงสร้างแอล-ไทโรซีน.....	16
3.1 ภาพวาดองค์ประกอบภายในขั้วคาร์บอนเพสต์.....	22
4.1 ผลของอัตราส่วนอัตราส่วนขององค์ประกอบของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (ปริมาณผงกราฟไฟต์ต่อปริมาณบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน) ในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM.....	29
4.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 10 mM โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต ในสารละลาย 0.1 M โพแทสเซียมคลอไรด์ ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s สแกนในช่วง -0.1 ถึง 0.5 โวลต์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอนเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	31
4.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 2.0 ถึง 8.0 ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.5 mV/s สแกนในช่วง 0.2 ถึง 1.1 โวลต์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	32
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ตรวจวัดได้จากการตรวจวัด 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และค่า pH ตั้งแต่ 2.0 ถึง 8.0	32
4.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.5 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl อัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.05 V/s สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 1.1 โวลท์.....	33
4.7 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	34
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	35
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	35
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสจากปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	36
4.11 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วทำงานต่าง ๆ กัน เทียบกับขั้ว Ag/AgCl	37
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ตรวจวัดได้กับขั้วไฟฟ้าใช้งานชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี	38
4.13 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วทำงานต่าง ๆ กัน เทียบกับขั้ว Ag/AgCl.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.14	โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงาน	39
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	40
4.16	ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์	40
4.17	โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน	41
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้ว Ag/AgCl	41
4.19	ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน	42
4.20	โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงาน	42
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้ว Ag/AgCl	43
4.22	ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์	43
4.23	โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงาน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้ว Ag/AgCl	44
4.25	ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน.....	45
4.26	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	46
4.27	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	47
4.28	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	48
4.29	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	49
4.30	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	50
4.31	กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	50
ก.1	Autolab hardware configuration	57
ก.2	การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเพรีแบบอัตโนมัติ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีแบบกำหนด cursor เอง	58
ก.4 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีแบบอัตโนมัติ.....	58
ก.5 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีแบบกำหนด cursor เอง	58
ค.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1: 2 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	63
ค.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5: 2 : 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	64
ค.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5: 0.5 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	64
ค.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 2 : 0.5 : 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....	65
ค.5 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 2 : 1 : 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl	65
ค.6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
<p>ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5 : 2 : 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl</p>	66
<p>ค.7 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5 : 1.5 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....</p>	66
<p>ค.8 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl</p>	67
<p>จ.1 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน</p>	109
<p>จ.2 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอนเทียบกับขั้วไฟฟ้าAg/AgClด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน.....</p>	109
<p>จ.3 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน.....</p>	110
<p>จ.4 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน.....</p>	110
<p>จ.5 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี และใช้ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....</p>	112
<p>จ.6 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี และใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....</p>	112
<p>จ.7 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl.....</p>	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.8	กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl 113
จ.9	ภาพวาดกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน..... 114



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
tyr	L-tyrosine
CDs	cyclodextrins
α -CD	α - cyclodextrin
β -CD	β -cyclodextrin
γ -CD	γ -cyclodextrin
CPE	carbon paste electrode
CP-BCD	carbon paste modified by β -cyclodextrin
mM	มิลลิโมลาร์
nM	นาโนโมลาร์
μ M	ไมโครโมลาร์
M	โมลาร์
mL	มิลลิลิตร
mm	มิลลิเมตร
mg	มิลลิกรัม
ppm	ส่วนในล้านส่วน หรือ มิลลิกรัม/ลิตร
v	อัตราเร็วการสแกน
V/s	โวลต์/วินาที
mV	มิลลิโวลต์
$v^{1/2}$	รากที่สองของอัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า
A	แอมแปร์
μ A	ไมโครแอมแปร์
Å	อังสตรอม
$^{\circ}$ C	องศาเซลเซียส
%RSD	relative standard deviation
w/w	น้ำหนักต่อน้ำหนัก
LC	เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลว
HPLC	เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
$E_{initial}$	ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น
E_{final}	ศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย
E_{max}	ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด
E_{min}	ศักย์ไฟฟ้าต่ำสุด
E_{pc}	ศักย์ไฟฟ้าที่แคโทดิกพีค
E_{pa}	ศักย์ไฟฟ้าที่แอนโอดิกพีค
i_{pc}	กระแสที่แคโทดิกพีค
i_{pa}	กระแสที่แอนโอดิกพีค
E°	standard reduction potential
ΔE_p	ความแตกต่างของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า
E_p	ศักย์ไฟฟ้าของพีค
$E_{p/2}$	ศักย์ไฟฟ้าครึ่งพีค
g/cm^3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
SCE	Saturated Calomel Reference Electrode
Ag/AgCl	Silver-Silver Chloride Reference Electrode
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
GPE	ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์
GCE	ขั้วไฟฟ้ากลาสซิคาร์บอน
CPE	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์
CP-BCD	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจสุขภาพมากขึ้นโดยเฉพาะการควบคุมน้ำหนัก อาหารที่ควบคุม น้ำหนักส่วนใหญ่จะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบซึ่งก็ต้องมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย หรือ กรดอะมิโนชนิดที่ร่างกายสามารถนำไปสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ เพื่อให้ร่างกายสามารถทำงานได้อย่างปกติแม้ในสภาวะที่อดอาหาร แอล-ไทโรซีนเป็นกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายแต่มี ฮอร์โมนหลายชนิดที่ร่างกายสร้างจากแอล-ไทโรซีน เช่น dopamine และ norepinephrine ซึ่งมีฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลางทำให้อารมณ์ดี ลดอาการเจ็บปวด ระวังความหิวกระหาย ช่วยในการเรียนรู้และความจำ นอกจากนี้ แอล-ไทโรซีน ยังใช้ในการสร้างและรักษาปริมาณไนโตรเจน ไออนในร่างกาย ปัจจุบันได้มีการนำ แอล-ไทโรซีน มาใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารควบคุมน้ำหนัก อาหารผู้ป่วย หรือยาบำรุงร่างกาย ยาต้านโรคซึมเศร้า ใช้สำหรับสภาวะต่าง ๆ จากการศึกษา ผลิตปกติของผิว (Vertigo) สภาวะความจำเสื่อม [1,2]

แอล-ไทโรซีน สร้างได้จากกรดอะมิโนชื่อ แอล-ฟีนิลอะลานีน โดยใช้เอนไซม์ L-phenylalanine hydroxylase นอกจากร่างกายจะสร้างแอล-ไทโรซีนได้จาก แอล-ฟีนิลอะลานีน ร่างกายยังสร้างกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ จากแอล-ฟีนิลอะลานีนด้วย [3,4]

แอล-ไทโรซีน โดยทั่วไปใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หลายวิธีประกอบด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีและสเปกโทรฟลูออโรเมทรี เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลว (LC) หรือเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) และเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่น เทคนิคทางสเปกโทรสโกปีและเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีเป็นเทคนิคที่ทำลายตัวอย่าง เครื่องมือมีราคาแพง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวและโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ส่วนเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นและมีความจำเพาะที่สูงส่วนข้อดีของไฟฟ้าใช้งานในการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเป็นข้อที่มีราคาแพง นอกจากนี้ยังได้มีการใช้ไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน แต่สัญญาณที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างต่ำ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน แอล-ไทโรซีน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทรินโดยอาศัยปฏิกิริยาอินคลูชันระหว่างบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทรินกับกรดอะมิโนเพื่อให้ได้สัญญาณในการตรวจวัดที่เด่นชัดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1.2.1 เพื่อสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินสำหรับการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน
- 1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน
- 1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทรินที่สร้างได้ กับขั้วกลาสลิคาร์บอน ขั้วกราไฟต์ และขั้วคาร์บอนเพสต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน
- 1.2.4 ตรวจวัดแอล-ไทโรซีน ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ

- 1.3.1 เตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน
- 1.3.2 นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินที่สร้างได้ไปตรวจวัดแอล-ไทโรซีน
- 1.3.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินที่สร้างได้ กับขั้วกลาสลิคาร์บอน ขั้วกราไฟต์ และขั้วคาร์บอนเพสต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน
- 1.3.4 ตรวจวัด แอล-ไทโรซีน ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถสร้างขั้วไฟฟ้าใช้งานสำหรับการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน หรือกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ที่มีสามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า
- 1.4.2 ทราบถึงผลของการเกิดปฏิกิริยาอินคลูชัน (inclusion) ของบีตา – ไฮโคลเดกซ์ทรินกับแอล-ไทโรซีน ในการตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า
- 1.4.3 ทราบถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน
- 1.4.4 สามารถพัฒนาวิธีวิเคราะห์แอล-ไทโรซีน หรือกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ได้ด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

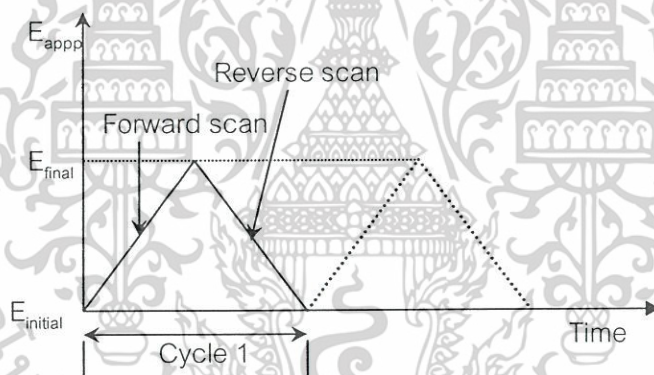
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไชคลิกโวลแทมเมตรี [5-10]

ไชคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry) เป็นการสแกนศักย์ไฟฟ้าเชิงเส้นตรงแบบคลื่นรูปสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.1 ใช้กับระบบที่ใช้อิเล็กโทรดแบบมีขนาดเล็กในสารละลายที่ไม่มีสารกีดขวาง ศักย์ไฟฟ้ารูปสามเหลี่ยมนี้สามารถให้วนได้ไม่จำกัดรอบหรือให้เพียงรอบเดียวขึ้นกับข้อมูลที่ต้องการตรวจหา ไชคลิกโวลแทมเมตรีเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของสารบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงานตลอดจนใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าอื่นๆ

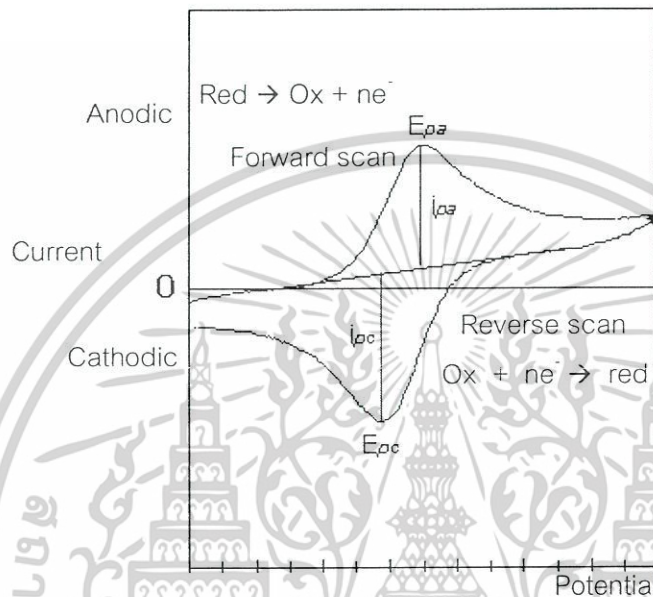


รูปที่ 2.1 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในไชคลิกโวลแทมเมตรี

การบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้ากับขั้วไฟฟ้าทำงานโดยไชคลิกโวลแทมเมตรีเป็นการพล็อตระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ การตอบสนองที่อยู่ในรูปกระแสของการสแกนไปข้างหน้ามีลักษณะคล้ายคลื่นในโวลแทมเมตรีแบบกวาดเชิงเส้นตรง (Linear Sweep Voltammetry) พารามิเตอร์ที่สำคัญของการกระตุ้นแบบรอบและไชคลิกโวลแทมเมตรี ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น (initial potential, $E_{initial}$) ทิศทางการกวาดเริ่มต้น (initial sweep direction, +/-) ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (maximum potential, E_{max}) ศักย์ไฟฟ้าต่ำสุด (minimum potential, E_{min}) ศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย (final potential, E_{final}) อัตราการสแกน (scan rate, v) ศักย์ไฟฟ้าที่แคโทดิกฟิสิก (cathodic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak potential, E_{pc}) ศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดิกพีค (anodic peak potential, E_{pa}) กระแสที่แคโทดิกพีค (cathodic peak current, i_{pc}) และกระแสที่แอโนดิกพีค (anodic peak current, i_{pa})



รูปที่ 2.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมทั่วไป

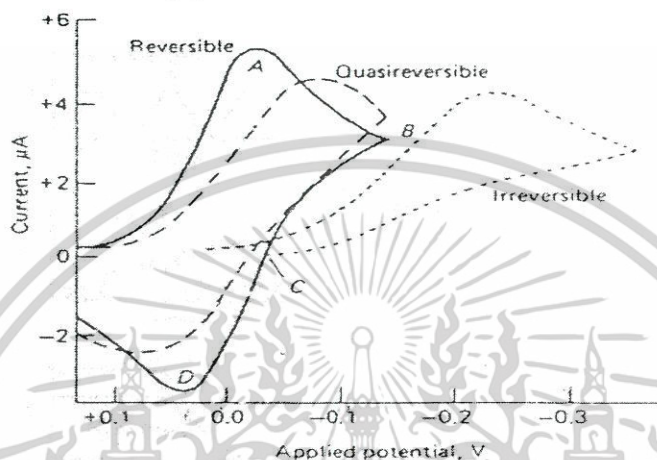
เมื่อเริ่มสแกนศักย์ไฟฟ้าก็เริ่มมีกระแสเกิดขึ้น เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (ถึงยอดของสามเหลี่ยม) จะมีกระแสเนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นเกิดขึ้นสูงสุดมีลักษณะเป็นพีคและเมื่อลดศักย์ไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมกระแสก็จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงต่ำสุดเพราะเกิดปฏิกิริยาในทิศทางตรงกันข้าม (ผันกลับได้) มีลักษณะเป็นพีคเช่นกันแต่กลับทิศทางกัน การให้ศักย์ไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ มีความสัมพันธ์ดังสมการ 2.1

$$V = \frac{dE}{dt} \quad (2.1)$$

การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเคมีไฟฟ้าโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางที่เป็นลบแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน สารที่อยู่ในรูปของออกซิไดซ์ตอนเริ่มแรกในการให้ศักย์ไฟฟ้ายังไม่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จนกระทั่งให้ศักย์ไฟฟ้าใกล้จะถึง E^0 จะเริ่มเกิดกระแสแคโทดิกเกิดขึ้น ($Ox + ne^- \rightarrow Red$) เมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางย้อนกลับจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ($\text{Red} \rightarrow \text{Ox} + n\text{e}^-$) และให้กระแสแอโนดิก ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 2.3 แสดงไชคลิกโวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาต่าง ๆ กราฟเส้นทึบ คือ กราฟของปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ พีก A คือ แคโทดิกพีกของปฏิกิริยาซึ่งมีลักษณะเหมือนกับพีกที่เกิดขึ้นในลิเธียลรีไซเคิลโวลตาโรกราฟี ความสูงของพีกคือกระแสที่เกิดขึ้น เรียกว่า i_{pc} (Cathodic current) เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าถึงค่าที่ทำให้ปฏิกิริยาเริ่มผันกลับ (จุด B) กระแสยังคงมีค่าเป็นบวกอยู่ เพราะยังมีกระแสเนื่องจากการแพร่ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารวิเคราะห์เกิดขึ้น เมื่อลดศักย์ไฟฟ้าลง (ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นลบน้อยลง) จนถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดที่ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงต่อไปอีก (ให้เป็นลบน้อยลง หรือเพิ่มความเป็นบวกมากขึ้น) จะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น กระแสเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเข้มข้นรอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าทำงานของไอออนที่โวลต์ลงเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้เกิดกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดทำให้เกิดเป็นพีก D ขึ้น เรียกว่า แอโนดิกพีก ความสูงของพีกคือ กระแสที่เรียกว่า i_{pa} (anodic current) สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้นี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างพีก A และพีก D เท่ากับ $2 \times 0.0282/n$ โวลต์ ถ้าหากพีกมีลักษณะสมมาตรกัน (Reversible) ความแตกต่างของตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า (ΔE_p) จะอยู่ในช่วง 57 – 60 mV

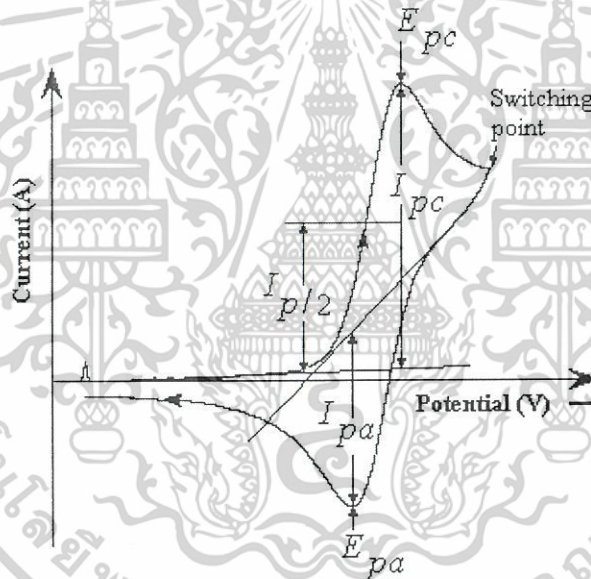
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E_p = E_{p,a} - E_{p,c} = 0.059/n \text{ V} \quad (2.2)$$

เมื่อ $E_{p,a}$ แทน ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 $E_{p,c}$ แทน ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

2.1.1 การแปรผลข้อมูล

การแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรมซึ่งพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าสูงสุดสองค่า และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดสองค่า หรือค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากตำแหน่งแคโทดิกพีคและแอนอดิกพีค ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแปรผลข้อมูลจากไซคลิกโวลแทมโมแกรม

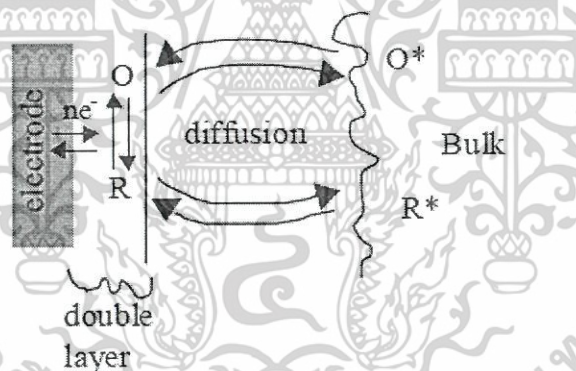
การวัดกระแส i_{pc} และ i_{pa} ที่เกิดขึ้นจากไซคลิกโวลแทมโมแกรมสามารถทำได้โดยต่อเส้นฐาน (base line) ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาแต่ละชนิดโดยการประมาณค่าแนวโน้มที่เป็นไปได้แล้ววัดระยะระหว่างส่วนยอดของพีคถึงฐาน สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ไม่สมบูรณ์ (กราฟเส้นประเข้มในรูปที่ 2.3) และปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ (กราฟเส้นประจางในรูปที่ 2.3) สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากการวัดค่ากระแส i_{pc} เท่านั้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อโวลแทมโมแกรมจึงทำให้วิธีการของไซคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลแทมเมทริกกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษากลไกของปฏิกิริยาและอัตราเร็วในขบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์

2.1.2 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible System)

ในระบบที่เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction) จะต้องเป็นระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อพิจารณาปฏิกิริยา $Ox + ne^- \leftrightarrow Red$ ตามรูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาของสารออกซิไดส์ที่อยู่ในรูป Ox รับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนอยู่ในรูป Red และเกิดการแพร่ของสารในชั้นการแพร่ของสารละลาย กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้เรียกว่า กระแสแคโทดิก (Cathodic Current) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามจะเกิดปฏิกิริยาของสารรีดิวซ์ (Reduced) ที่อยู่ในรูป Red ให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนไปเป็น Ox กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้เรียกว่ากระแสแอโนดิก (Anodic current) และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction)



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า

กระแส i_p ที่วัดได้จากแคโทดิกพีคและแอโนดิกพีคจะมีขนาดเท่ากันซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นและรากที่สองของอัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้างสมการ 2.3

$$i_p = 2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2} \nu^{1/2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	i_p	แทน กระแสฟีก มีหน่วยเป็น A
	n	แทน จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้อง
	A	แทน พื้นที่ผิวขั้วไฟฟ้า มีหน่วยเป็น cm^2
	C	แทน ความเข้มข้น มีหน่วยเป็น mol cm^{-3}
	D	แทน สัมประสิทธิ์ของการแพร่ มีหน่วยเป็น $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$
	v	แทน อัตราการสแกน มีหน่วยเป็น Vs^{-1}

ในระบบของ Nernst ปฏิริยาที่ผันกลับได้ (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 ไม่ขึ้นอยู่กัอัตราเร็วการสแกน
3. i_p จะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับค่า $v^{1/2}$
4. อัตราส่วนของฟีก $\frac{i_p}{i_{pc}}$ ต้องมีค่าเท่ากับ 1
5. ค่าของ $E^0 = \frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$
6. ค่าของ $E_{p/2} = E_{1/2} \pm \frac{0.028}{2} V$

จากสมการ 2.3 ถ้านำค่า i_p มาพล็อตกับค่า $v^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n , A , C และ D คงที่เมื่อใส่ \log ลงในสมการ 2.3 จะได้

$$\begin{aligned} \log i_p &= \log (2.69 \times 10^5 n^{3/2} ACD^{1/2}) + \log v^{1/2} \\ \log i_p &= 0.5 \log v \end{aligned} \quad (2.4)$$

จากสมการ 2.4 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพล็อตกับค่า $\log v$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled แต่ถ้าปฏิริยาผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดฟีกเมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิริยาผันกลับได้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบรูณ์ลักษณะพิกที่ก่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า 0.059/n โวลท์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกน

ในกรณีที่มีสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ติดอยู่ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากระแสของพิกที่ก่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการ 2.4

$$i_p = \frac{n^2 F^2 C_{ads} v}{4RT} \quad (2.5)$$

เมื่อ F แทน Faraday constant มีหน่วยเป็น $C \text{ mol}^{-1}$

C_{ads} แทน ความเข้มข้นของสารที่ติดอยู่ที่ผิวหน้า มีหน่วยเป็น mol cm^{-3}

v แทน อัตราการสแกน มีหน่วยเป็น $V s^{-1}$

จากสมการ 2.5 ถ้านำค่า i_p มาพล็อตกับค่า v จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เกิดมีสารติดที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า และถ้าให้ n, F, C_{ads}, R และ T คงที่ เมื่อใส่ \log ลงในสมการ 2.5 จะได้

$$\log i_p = \log\left(\frac{n^2 F^2 C_{ads}}{4RT}\right) + \log v$$

$$\log i_p = \log v \quad (2.6)$$

จากสมการ 2.6 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพล็อตกับค่า $\log v$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 1 ดังนั้นกระบวนการที่ก่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็นการดูดซับสารที่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า

2.1.3 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และกึ่งผันกลับได้ (Irreversible and quasi-reversible system)

ในกระบวนการที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) จะมีการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนของการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าทำให้เกิดพิกเดี่ยวและเกิดการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้า โดยการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ สามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_p = E^{\circ} - \frac{RT}{\alpha n_p F} \left[0.780 + \ln \left(\frac{D^{1/2}}{k^{\circ}} \right) + \ln \left(\frac{\alpha n_p F v}{RT} \right)^{1/2} \right] \quad (2.7)$$

เมื่อ	α	แทน	transfer coefficient
	k°	แทน	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเคลื่อนที่อิเล็กตรอน
	n_a	แทน	จำนวนอิเล็กตรอนในขั้นตอนการกำหนดอัตราการผลิตปฏิกิริยาของกระบวนการของกระบวนการขั้วไฟฟ้า (the number of electrons in the rate-determination step of electrode process)
	E_p	แทน	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 2.8

$$i_p = (2.99 \times 10^5) n (\alpha n_a)^{1/2} A C D^{1/2} v^{1/2} \quad (2.8)$$

จากสมการ 2.8 ถ้านำค่า i_p มาพล็อตกับค่า $v^{1/2}$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงนั้นแสดงว่ากระบวนการนี้เป็น Diffusion-controlled และถ้าให้ค่า n , n_a , α , A , C และ D คงที่เมื่อใส่ log ลงในสมการ 2.8 จะได้

$$\begin{aligned} \log i_p &= \log (2.99 \times 10^5 n (\alpha n_a)^{1/2} A C D^{1/2}) + \log v^{1/2} \\ \log i_p &= 0.5 \log v \end{aligned} \quad (2.9)$$

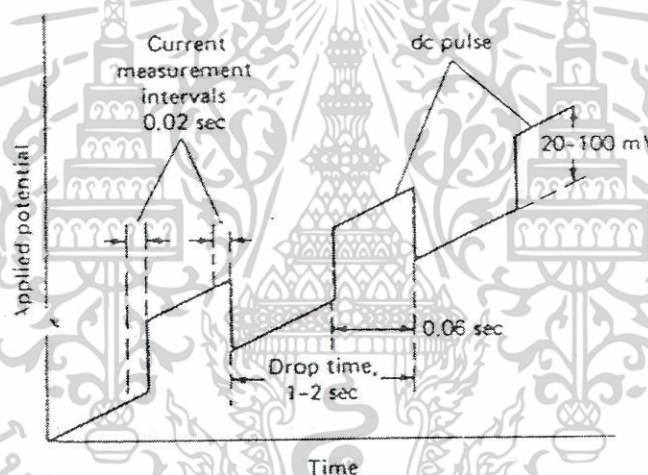
จากสมการ 2.9 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพล็อตกับค่า $\log v$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled ถ้าปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดพีกเมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิกิริยาผันกลับได้ไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะพีกที่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า $0.059/n$ โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกน

2.2 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี และ ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทเม- ทรี [5-6]

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

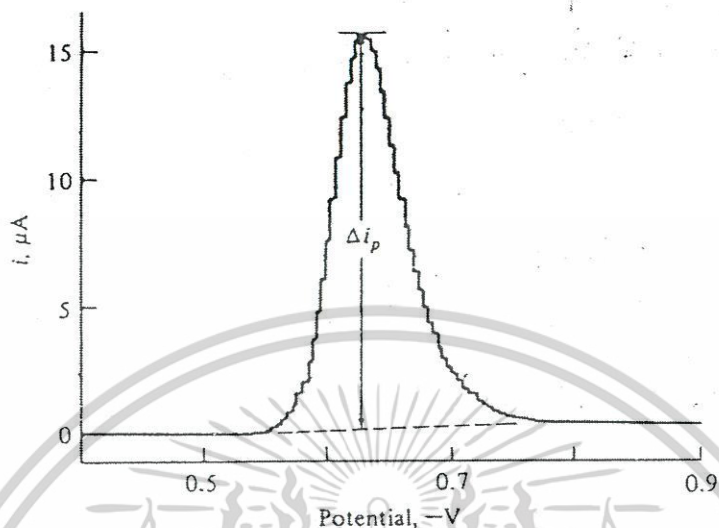


รูปที่ 2.6 โวลเทจโปรแกรมของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี

ความแตกต่างระหว่างกระแสที่วัดได้จากช่วงศักย์ไฟฟ้าทั้งสองจะถูกนำมาพล็อตกราฟเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ โพลาริแกรมที่ได้คืออนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของโพลาริแกรมตามปกติ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความสูงของพีกคือ Δi_p จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย ตามสมการ 2.10

$$\Delta i_p = \frac{nFAD^{\frac{1}{2}}C}{\pi^{\frac{1}{2}}\delta^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{e^{(nF\Delta E/2RT)} - 1}{e^{(nF\Delta E/2RT)} + 1} \right] \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

การวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลตาโรกราฟีสามารถทำได้โดยวิธีเติมสารมาตรฐานเช่นเดียวกับวิธีของพัลส์โวลตาโรกราฟีโดยการเพิ่มขนาดของพัลส์ของศักย์ไฟฟ้า (เพิ่ม ΔE) จะทำให้วิธีการวิเคราะห์มีความไวสูงขึ้นแต่ความสามารถในการแยกของพีคเมื่อมีสารหลายตัวผสมกัน ลดลง ถ้าการวิเคราะห์มีสปีชีส์ที่สนใจอยู่เพียงตัวเดียวในสารละลาย พัลส์ของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ควรมีขนาดระหว่าง 50 – 100 mV เพื่อทำให้มีความไวสูงที่สุด แต่ถ้ามีสปีชีส์ที่สนใจตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ขนาดของพัลส์ควรลดลงเหลือ 5 – 10 mV เพื่อให้การแยกดีขึ้น วิธีของพัลส์และดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลตาโรกราฟียังคงเป็นเทคนิคและวิธีการที่ใช้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC potential) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้ในปริมาณน้อยกว่าที่วิธีโวลตาโรกราฟีธรรมดาจะทำได้ ถ้าขั้วไฟฟ้าทำงานเป็นขั้วของแข็งที่อยู่นิ่งหรือขั้วของแข็งที่หมุนได้จะเรียกว่าพัลส์โวลแทมเมทรี (Pulse Voltammetry) หรือดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี (Differential Pulse Voltammetry)

2.3 ซูพราโมเลกุลาร์ (Supramolecular) [11]

ซูพราโมเลกุลาร์คือ สารเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลตั้งแต่สองโมเลกุลขึ้นไปเกิดอันตรกิริยากัน โดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ สารเชิงซ้อนประเภท host – guest complexes คือ ตัวอย่างที่สำคัญของโครงสร้างชนิดนี้ โดยโมเลกุลของ host มีโครงสร้างเป็นวงแหวนมีช่องว่างขนาดใหญ่พอที่โมเลกุลของ guest หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของโมเลกุลสามารถสอดทะลุหรือบรรจุอยู่ในช่องว่างของวงแหวนของ

host แล้วไม่เกิดการเลื่อนหลุด แรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ผลักดันทำให้เกิดซูปราโมเลกุลาร์ เช่น ไดโพล – ไดโพล แวน เดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ host กับ guest

2.4 ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrins)

ไซโคลโอลิโกอะไมโลส (cyclooligoamylose) ไซโคลมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (cyclomaltooligosaccharides) หรือ ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrins, CDs) คือ อะไมโลสโอลิโกเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน ค้นพบครั้งแรกโดย Villiers ในปี ค.ศ. 1891 [11] ตั้งแต่นั้นวงแหวนคาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน

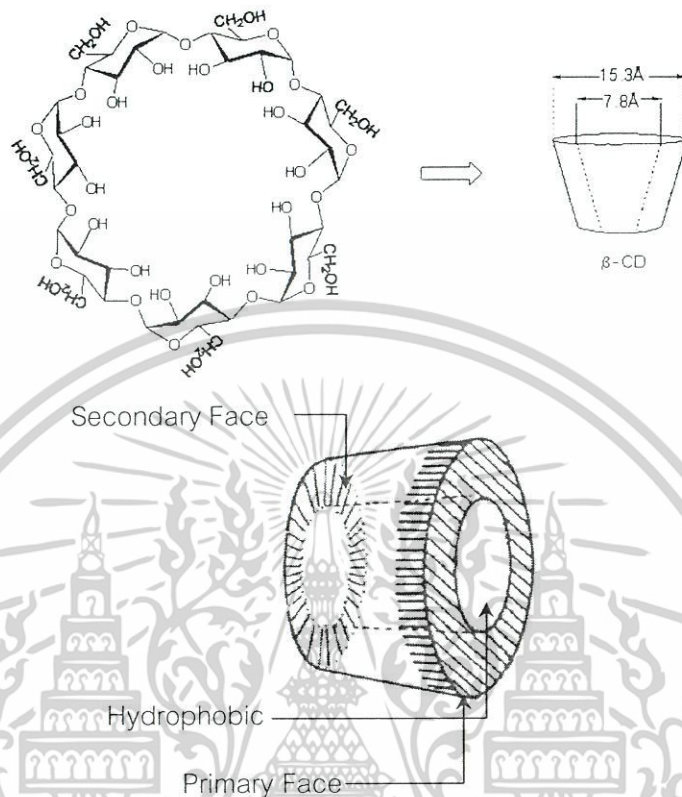
ไซโคลเดกซ์ทรินที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีสามชนิด คือ อัลฟา – ไซโคลเดกซ์ทริน (α - cyclodextrin, α -CD) บีตา – ไซโคลเดกซ์ทริน (β - cyclodextrin, β -CD) และแกมมา – ไซโคลเดกซ์ทริน (γ - cyclodextrin, γ -CD) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสจำนวน 6 7 และ 8 หน่วยตามลำดับและ ไซโคลเดกซ์ทรินทั้งสามชนิดนี้เป็นสารที่มีความเป็นผลึก ไม่ดูดความชื้น [12] โครงสร้างของบีตา – ไซโคลเดกซ์ทรินแสดงดังรูป 2.6

2.4.1 โครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทริน [11-12]

โครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทรินประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นวงแหวนด้วยพันธะแบบอัลฟา-(1→4)ไกลโคซิดิก (α -(1→4) glycosidic bond) วงแหวนไซโคลเดกซ์ทรินมีรูปร่างทรงกระบอกกรวย โดยหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิและทุติยภูมิจะอยู่คนละด้านของวงแหวนไซโคลเดกซ์ทริน พันธะไกลโคซิดิกออกซิเจน (glycosidic oxygen bridges) และไฮโดรเจนอะตอมที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 5 จะอยู่ด้านในช่องว่างของวงแหวน ส่วนไฮโดรเจนอะตอมที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 2 และ 4 จะอยู่ด้านนอกของวงแหวน ความแข็งแรงของโครงสร้างเกิดจากไฮดรอกซีที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองของกลูโคสโมเลกุลหนึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซีที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามของกลูโคสโมเลกุลที่อยู่ติดกัน

ด้านที่มีไฮดรอกซีทุติยภูมิจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่างมากกว่าด้านที่มีไฮดรอกซีปฐมภูมิ นอกจากนั้นผิวด้านนอกของไซโคลเดกซ์ทรินแสดงสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic region) ส่วนผิวด้านในของช่องว่างแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic region) แสดงดังรูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพวาดโครงสร้างไซโคลเดกซ์ทริน [13]

เนื่องจากด้านนอกของโมเลกุลไซโคลเดกซ์ทรินแสดงสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นไซโคลเดกซ์ทรินสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับ guest โมเลกุลโดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ โดยในกรณีที่โมเลกุลของ guest (หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของโมเลกุล) บรรจุอยู่ในช่องว่างของไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งเรียกรวมสารเชิงซ้อนนี้ว่า สารประกอบเชิงซ้อน (inclusion complex) หรือสารเชิงซ้อนไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin complexes)

2.4.2 สมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน [11-12]

ไซโคลเดกซ์ทรินโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีความเป็นผลึก และไม่ดูดความชื้นแต่จะมีน้ำอยู่เป็นองค์ประกอบ เช่น บีตา - ไซโคลเดกซ์ทรินเมื่อทำการอบให้แห้งเพื่อให้น้ำในโครงสร้างระเหยไป น้ำหนักจะลดลง 10 ถึง 13 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซโคลเดกซ์ทรินละลายได้ในน้ำ โดยปีตา – ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถละลายได้ 1.85 กรัมต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง ความสามารถในการละลายของไซโคลเดกซ์ทรินขึ้นกับอุณหภูมิ เช่น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสการละลายของปีตา – ไซโคลเดกซ์ทรินจะเพิ่มเป็นสามเท่าของ อุณหภูมิห้อง นอกจากละลายในน้ำแล้วไซโคลเดกซ์ทรินยังละลายได้ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulphoxide) ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (dimethylformamide) และตัวทำละลายอื่นๆ ที่ใช้ร่วมกับ น้ำ เช่น เมทานอล (methanol) เอทานอล (ethanol) ไอโซโพรพานอล (isopropanol) อะซีโตนไนไทรล์ (acetonitrile) และเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran)

ไซโคลเดกซ์ทรินแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวแตกต่างกันไป สมบัติ ทางความร้อนของไซโคลเดกซ์ทรินที่ได้ขึ้นกับปริมาณน้ำในองค์ประกอบ โครงสร้างผลึก อัตราการให้ ความร้อน และองค์ประกอบของบรรยากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยปีตา – ไซโคลเดกซ์ทรินมีจุด หลอมเหลวประมาณ 290 ถึง 300 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสลายตัวน้อยกว่า 310 องศาเซลเซียส (อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที)

ไซโคลเดกซ์ทรินมีพิษต่ำมากต่อร่างกายและสามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทาง ชีวภาพ แม้การย่อยสลายนั้นจะใช้เวลาานเพราะไซโคลเดกซ์ทรินไม่มีหมู่ปลายที่วงไวด์ต่อการย่อย สลาย อัลฟา – อะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแบ่งได้โดยไม่จำเป็นต้องมีหมู่ปลายที่วงไวด์ต่อการ ย่อยสลาย สามารถย่อยไซโคลเดกซ์ทรินได้แต่ก็ใช้ระยะเวลาาน

ตารางที่ 2.1 สมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน [12]

	α -CD	β -CD	γ -CD
จำนวนหน่วยกลูโคส	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล	973	1135	1297
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโพรง (Å)	5 – 6	7 – 8	9 – 10
ความลึกของโพรง (Å)	7 – 8	7 – 8	7 – 8
$[\alpha]_D^{20}$ (H ₂ O, 1%)	+150.5°	+162.5°	+177.4°
ความสามารถในการละลาย (g/100mL, H ₂ O, 25°C)	14.5	1.85	23.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

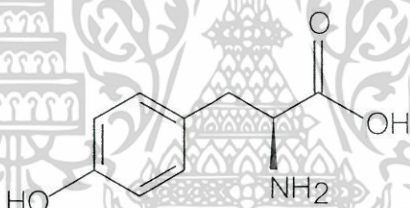
2.4.3 การประยุกต์ใช้งานของไซโคลเดกซ์ทริน [11-12]

การประยุกต์ใช้งานของไซโคลเดกซ์ทรินเป็นที่ยอมรับกันว่ามีค่าสำคัญมาหลายปีโดยสะท้อนให้เห็นจากจำนวนสิทธิบัตรที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่น ในกระบวนการผลิตแคปซูล ไซโคลเดกซ์ทรินส์ จะทำให้สารที่มีความไวต่อการกระตุ้นมีเสถียรภาพมากขึ้น ไซโคลเดกซ์ทรินที่เกิดสารเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้เป็นเฟสคงที่ (stationary phase) ในคอลัมน์โครมาโทกราฟี สารที่ละลายน้ำได้น้อยบางชนิดสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทริน นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม ยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชต่าง ๆ ตัวเร่งปฏิกิริยา และเครื่องปรุงรส

2.5 แอล-ไทโรซีน [14]

สูตรโมเลกุล $C_9H_{11}NO_3$

สูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างแอล-ไทโรซีน

ชื่อสามัญ แอล-ไทโรซีน

ชื่อ IUPAC 2-amino-3-(p-hydroxyphenyl)propionic acid

ชื่ออื่น ๆ 2-amino-3-(p-hydroxyphenyl)propionic acid; 2-Amino-3-(4-hydroxyphenyl)-propanoic acid; 3-(p-hydroxyphenyl)alanine; 3-(4-Hydroxyphenyl)-L-alanine; p-tyrosine; L-(-)-tyrosine; แอล-ไทโรซีน; แอล-ไทโรซีน FREE BASE; (S)-(-)-Tyrosine; Tyr; Tyrosine; Y

2.5.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ แอล-ไทโรซีน

มวลโมเลกุล 181.1908

ความหนาแน่น 1.34 g/cm³

ละลายน้ำได้น้อยแต่ละลายได้ดีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ความเป็นมาของแอล-ไทโรซีนและการแยกจากแหล่งธรรมชาติ

การละลายโปรตีนกับสารละลายต่างซึ่งทำโดยหลอมเหลวส่วนที่เป็นน้ำมันที่ได้จากโปรตีนด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ส่วนที่เป็นกากตกค้างละลายด้วยน้ำร้อน แล้วเติมกรดอะซิติก (CH_3COOH) แยก leucine ด้วยการกรอง Leibig ได้ตั้งชื่อสารประกอบที่มีลักษณะเหมือนไขมีไขมันคล้ายใหม่ที่แยกได้จาก casein และได้จากการละลายของโปรตีนกับต่างว่าไทโรซีน และพบไทโรซีนในชีสของกรีซเป็นแห่งแรก

การวิเคราะห์ไทโรซีนทำได้ถูกต้องครั้งแรกเริ่มเมื่อ ค.ศ. 1848 โดย De La Rue ซึ่งแยกกรดอะมิโนจากสารสกัดของแมลงในสารละลายร้อน จากการวิเคราะห์หระบูได้ว่าสูตรอย่างง่ายของสารประกอบคือ $\text{C}_9\text{H}_{11}\text{NO}_3$ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Liebig

ต่อมาภายหลังไทโรซีนสามารถแยกออกจากโปรตีนได้อย่างรวดเร็วด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดแล้วทำให้เป็นกลางด้วยเบส จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นแล้วกรองแยกไทโรซีนซึ่งไม่ละลายน้ำออก

แนวความคิดของโครงสร้างของไทโรซีน เริ่มที่ ค.ศ. 1852 โดยการสังเกตของ Piria ซึ่งไทโรซีนเป็นกรดอะมิโนที่มีโครงสร้างคล้าย Salicylic acid เมื่อเติมสารละลาย iron chloride ได้สีม่วงแดง และ 2-3 ปีต่อมา Stadelер ก็ทำการทดลองยืนยันปฏิกิริยาของการเกิดสีนี้

ใน ค.ศ. 1880 เกิดข้อสงสัยว่าไทโรซีนคือ p-hydroxyphenylaminopropionic แต่ก็ยังไม่แน่ชัด จนกระทั่ง ค.ศ. 1883 Erlenmeyer และ Lipp สามารถสังเคราะห์ได้สำเร็จ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

MacDonald และ Roscoe [15] ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าของ tyrosine, tryptophan และโดเพปไทด์ที่เกี่ยวข้องโดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพททินัมในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่ากรดอะมิโนและโดเพปไทด์ที่ศึกษาสามารถตรวจวัดได้ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.5 V และพบว่าโดเพปไทด์สามารถเกิดการแตกพันธะที่ศักย์ไฟฟ้า 1.8 ถึง 2.2 V เทียบกับขั้วไฟฟ้า SCE

Ogura และคณะ [16] ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของ histidine และ tyrosine ด้วย FTIR และเทคนิคโวลแทมเมตรี พบว่าหมู่คาร์บอนิลไม่ถูกโปรโทเนต (protonate) ทั้งหมดเมื่อดูดซับอยู่บนขั้วแพททินัม ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.4 V เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ความเข้มข้นของไอออนที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า แต่จะถูกดูดซับได้น้อยลงเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าไปถึง 1.1 V โดยวงเบนซินของ tyrosine เริ่มมีการจัดเรียงตัวขนานกับพื้นผิวขั้วไฟฟ้าที่ศักย์ไฟฟ้า 0.3 V และจัดเรียงตัวเสร็จที่

ศักย์ไฟฟ้า 0.6 V ทั้ง histidine และ tyrosine ถูกออกซิไดส์ที่ศักย์ไฟฟ้า 1.1 V ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 13.0

Agüi และคณะ [17] ได้ศึกษาการใช้ฟิล์ม poly(3-methylthiophene) ปรับปรุงเส้นใยคาร์บอนไมโครอิเล็กโทรด (carbon fiber microelectrode) เพื่อการตรวจวัดกรดอะมิโนบางชนิดในระบบไหลชนิด กรดอะมิโนที่ศึกษาได้แก่ tyrosine, tryptophan, L-dopa และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง เช่น tyramine และ ascorbic acid โดยทำการตรวจวัดซึ่งควบคุมความเป็นกรดเป็นเบสด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH 7.0 พบว่าสามารถตรวจวัดกรดอะมิโนที่ศึกษาได้ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.8 V และพบว่าการใช้ poly(3-methylthiophene) ปรับปรุงเส้นใยคาร์บอนไมโครอิเล็กโทรดสามารถช่วยเพิ่มสัญญาณในการตรวจวัดกรดอะมิโนที่ศึกษาได้

Saurina และคณะ [18] ศึกษาการตรวจวัดกรดอะมิโนด้วยไซคลิกโวลแทมเมตรีโดยวิธี multivariate calibration กรดอะมิโนที่ศึกษาเป็นสารละลายกรดอะมิโน 3 ชนิดผสมกัน ได้แก่ cysteine, tyrosine และ tryptophan ขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ใช้ในการศึกษาคือ graphite - methacrylate composite และใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M pH 7.5 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลือหนืด พบว่าความถูกต้องในการตรวจวัดกรดอะมิโนผสมของ cysteine และ tryptophan เป็น 10% ส่วนความถูกต้องในการตรวจวัด tyrosine เป็น 18%

Guorong และคณะ [19] ศึกษาการเกิด inclusion complex ของ ferrocene กับ β -CD เพื่อใช้ปรับปรุงขั้วคาร์บอนเพสต์สำหรับการตรวจวัด ascorbic acid ในสารละลายแอมโมเนีย - แอมโมเนียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ pH 10.0 ซึ่งจำกัดในการตรวจวัดคือ 1.0×10^{-7} M อายุการใช้งานของขั้วมากกว่า 1 ปี และสามารถใช้ขั้วนี้ตรวจวัด ascorbic acid ในน้ำผลไม้ได้

Wen และคณะ [20] ศึกษาการใช้ nitroxide เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ แอล-ไทโรซีน โดยใช้ขั้วกลาสคาร์บอนในการศึกษาสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของ แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่า แอล-ไทโรซีน แสดงสมบัติทางไฟฟ้าต่ำมากจึงใช้ 4-hydroxy-2,2,6,6-tetramethylpiperidiny-1-oxy (HO-TEMPO) เป็นตัวกลางช่วยเพิ่มความไวต่อการตอบสนองทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fiorucci และ Éder Tadeu Gomes Cavalheiro [21] ศึกษาการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ตรวจวัด tryptophan ในระดับไมโครโมลาร์ในสุตริยา ได้แก่ hydroxycobalamine และวิตามิน เช่น วิตามิน A B₁ B₂ B₆ B₁₂ และ E ขั้วไฟฟ้าใช้งานที่ศึกษาคือ กลาสสิคาร์บอนและคาร์บอนเพสต์โดยมีการควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ในขั้นตอนการตรวจวัดมีผลรบกวนจาก ascorbic acid แต่แก้ไขได้โดยใช้วิธีเติมสารมาตรฐาน

Nan และคณะ [22] ศึกษาสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของ tryptophan และ อนุพันธ์ด้วยขั้วไฟฟ้า กลาสสิคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วย hemin โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีในการตรวจวัด tryptophan และ อนุพันธ์ ได้แก่ Indole-3-acetic acid, 5-hydroxytryptamine, 5-hydroxy-indole-3-acetic acid และ glycyl-tryptophan พบว่า hemin จะเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ tryptophan และอนุพันธ์

Majid และคณะ [23] ศึกษาการตรวจวัดปริมาณปรอท (II) ในปริมาณน้อยในน้ำโดยใช้วิธีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างปรอท (II) กับ แอล-ไทโรซีน โดยสัญญาณที่ลดลงของ แอล-ไทโรซีน เนื่องมาจาก แอล-ไทโรซีน เกิดปฏิกิริยากับปรอทได้มากขึ้น

Alonso และคณะ [24] ศึกษาการตรวจวัด tyrosine ในระบบไหลชนิดด้วยวิธี chemiluminescence โดยอาศัยการเกิดออกซิเดชันของกรดอะมิโนโดยใช้ K₃Fe(CN)₆ ในตัวกลางที่เป็น KOH ที่อุณหภูมิห้องและขยายสัญญาณการตอบสนองด้วยบีตา - ไฮโคลเดกซ์ทรินและกรดฟอรั่มิก ซึ่ง tyrosine ทำปฏิกิริยากับ potassium ferricyanide โดยอาศัยการเกิด host-guest interaction กับบีตา - ไฮโคลเดกซ์ทริน

Jin และ Lin [25] ศึกษาสมบัติทางเคมีไฟฟ้าและการตรวจวัด tyrosine และ tryptophan ด้วยเทคนิคแอมเพโรเมทริกโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วย butrylcholine พบว่าสามารถตรวจวัด tyrosine ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.715 V ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0

กนกวรรณ ฤตสิริศักดิ์ [26] ศึกษาการตรึงเอนไซม์ไฮโดรเลสบนขั้วคาร์บอนเพสต์เพื่อวิเคราะห์เมทิลพาราไทออนพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างขั้วคาร์บอนเพสต์คือ ปริมาณผลราไฟต์ต่อน้ำมันพาราฟินเป็น 1 : 1 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แอล-ไทโรซีน, $C_9H_{11}NO_3$ (Fluka) เกรดชีวเคมี
2. Beta-cyclodextrin (Fluka) เกรด HPLC
3. Hydrochloric acid, HCl (Italmar) เกรดวิเคราะห์
4. Phosphoric acid, H_3PO_4 (Carlo Erba) เกรดวิเคราะห์
5. Potassium Monohydrogen Phosphate, K_2HPO_4 (Carlo Erba) เกรดวิเคราะห์
6. Potassium Dihydrogen Phosphate, KH_2PO_4 (Carlo Erba) เกรดวิเคราะห์
7. Kaliumhexacyanoferrat(III), $K_3[Fe(CN)_6]$ (Merck) เกรดวิเคราะห์
8. ผงกราไฟต์ (Merck)
9. น้ำมันพาราฟิน (Merck)
10. วาสลิน
11. กาวตราช้าง

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง 663 VA Stand voltammetric analyzer (Metrohm, Herisau, Switzerland) ที่ประกอบด้วย potentiostat (Autolab PG STAT 20,2)
2. เครื่องไทเทรตอัตโนมัติรุ่น 716 DMS Titrino ที่ประกอบด้วยเครื่อง 728 Stirrer (Metrohm) พร้อมขั้วไฟฟ้า combination pH electrode
3. เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน รุ่น Milli-Q (Milford, MA, USA)
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (Denver instrument company)
5. อัลตราโซนิก (Eltrosonic type 0.7 profi)
6. เครื่องกรองแบบลดความดัน (Tokyo Rikkakai co.,Ltd. Type A-3s)
7. เครื่องกลึง (Liang Dei รุ่น LD-1548A)
8. ปากกาจับชิ้นงาน
9. ท่อเทฟลอนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เกลียวในหรือเกลียวตัวเมียทำจากไนลอนและทองเหลืองชุบนิเกิล ขนาด 6x8 mm
11. เส้นลวดทองแดงชุบเงิน
12. โกร่งบดสาร
13. เครื่องแก้วที่จำเป็น

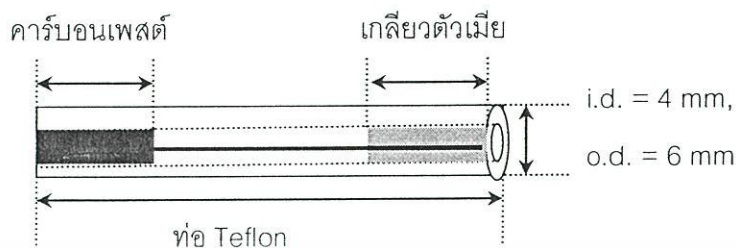
3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการทดลอง

3.3.1.1 การสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ (CPE)

1. ตัดท่อเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ยาว 50 mm ขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 และเบอร์ 200 ตามลำดับ นำท่อเทฟลอนไปแช่น้ำปราศจากไอออนในบีกเกอร์แล้วนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกนาน 5 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าท่อเทฟลอน
2. อบผงกราไฟต์ในโกร่งบดสารที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อไล่ความชื้น
3. ทิ้งผงกราไฟต์ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบดให้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน
4. ชั่งน้ำหนักผงกราไฟต์กับน้ำมันพาราฟินอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก
5. ผสมผงกราไฟต์กับน้ำมันพาราฟินที่ชั่งไว้แล้วโดยใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว
6. อัดของผสมที่เตรียมได้ใส่เข้าไปในท่อเทฟลอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว
7. ใส่เส้นลวดที่ทำจากทองแดงชุบเงินเพื่อส่งสัญญาณทางไฟฟ้า โดยให้เส้นลวดเลียบอยู่ในคาร์บอนพอสต์สูง 3 ส่วน 4 ของความสูงคาร์บอนพอสต์ ส่วนปลายลวดอีกด้านหนึ่งให้ยาวจนถึงปลายท่ออีกด้าน
8. ยึดคาร์บอนพอสต์กับเส้นลวดด้วยกาวเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นลวดเคลื่อนที่ขณะใช้งาน
9. ใส่เกลียวตัวเมียหรือเกลียวในที่ทำจากไนลอนและทองเหลืองชุบนิเกิล (สำหรับงานรองแผ่นปริ้นท์) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm ยาว 20 mm ที่ผ่านการกลึงลดขนาดจนเหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 mm อัดให้แน่นโดยใช้ปากกาจับชิ้นงาน
10. ขัดผิวหน้าขั้วที่ได้ด้วยกระดาษที่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ภาพวาดองค์ประกอบภายในขั้วคาร์บอนเฟสดี

3.3.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน

1. ตัดท่อเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ยาว 50 mm ขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 และเบอร์ 200 ตามลำดับ นำท่อเทฟลอนไปแช่น้ำปราศจากไอออนในบีกเกอร์แล้วนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกนาน 5 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าท่อเทฟลอน
2. อบผงกราฟิตในโถงอบสารที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อไล่ความชื้น
3. ทิ้งผงกราฟิตให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วบดให้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน
4. ชั่งน้ำหนักผงกราฟิต บิตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน และน้ำมันพาราฟิน อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก
5. ผสมผงกราฟิต บิตา – ไฮโคลเดกซ์ทริน และน้ำมันพาราฟินที่ชั่งไว้แล้วโดยใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว
6. อัดของผสมที่เตรียมได้ใส่เข้าไปในท่อเทฟลอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว
7. ใส่เส้นลวดที่ทำจากทองแดงชุบเงินเพื่อส่งสัญญาณทางไฟฟ้า โดยให้เส้นลวดเสียบอยู่ในคาร์บอนเฟสดีสูง 3 ส่วน 4 ของความสูงคาร์บอนเฟสดี ส่วนปลายลวดอีกด้านหนึ่งให้ยาวจนถึงปลายท่ออีกด้าน
8. ยึดคาร์บอนเฟสดีกับเส้นลวดด้วยกาวเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นลวดเคลื่อนที่ขณะใช้งาน
9. ใส่เกลียวตัวเมียหรือเกลียวในที่ทำจากไนลอนและทองเหลืองชุบนิเกิล (สำหรับงานรองแผ่นรีนัท) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm ยาว 20 mm ที่ผ่านการกลึงลดขนาดจนเหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 mm อัดให้แน่นโดยใช้ปากกาจับชิ้นงาน
10. ขัดผิวหน้าขั้วที่ได้ด้วยกระดาษที่เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่เตรียมได้

1. ขัดผิวหน้าขั้วคาร์บอนเพสต์ให้เรียบด้วยกระดาษ
2. ต่อขั้วคาร์บอนเพสต์ที่เตรียมได้เข้ากับตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าใช้งาน ใช้ขั้วอ้างอิงเป็นซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และใช้ขั้วไฟฟ้าช่วยเป็นขั้วกลาสสิคาร์บอน
3. ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 M จำนวน 10 mL ใส่ในเซลล์ แล้วตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ผิวหน้าขั้วคาร์บอนเพสต์ จนได้ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่เรียบ (ไม่มีสัญญาณรบกวน) แล้วล้างขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำปราศจากไอออน
4. นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วมาใช้ตรวจวัดสารละลาย 10 mM โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ใน 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s สแกนในช่วงศักย์ไฟฟ้า -0.1 ถึง 0.5 V
5. เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าทำงานจากคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนแล้วทำการทดลองใหม่แต่ใช้สารละลายเดียวกันกับที่ใช้ตรวจวัดด้วยขั้วคาร์บอนเพสต์

3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ใช้อัตราส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ดังตารางที่ 3.1 (ตัวเลขในตารางเมื่อคูณด้วย 100 mg จะเป็นน้ำหนักแท้จริงที่ใช้ในการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน) ใช้ขั้วที่ได้จากตารางที่ 3.1 เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล¹โทรซีนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยเลือกใช้ค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์จากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ และเลือกอัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าจากข้อ 3.4.1.3 สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 1.1 V

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน

ลำดับที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		
	ผงกราฟไฟต์	บิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน	น้ำมันพาราฟิน
1	0.5	1.5	1
2	0.5	2	1.5
3	1	1	1
4	1	2	1
5	1.5	0.5	1
6	1.5	2	2
7	2	0.5	1.5
8	2	1	2

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมตรี

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เทียบกับขั้ว Ag/AgCl

3.4.1.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน

ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.10 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 2.0 ถึง 8.0 ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s เทียบกับขั้ว Ag/AgCl สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 1.1 V

การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน จะพิจารณากระแสที่ pH ต่าง ๆ ว่าที่ pH ใดมีปริมาณกระแสสูงสุดและนำค่า pH นั้น เป็นค่า pH ของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์สำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ แอล-ไทโรซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน

ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ซึ่งพิจารณาเลือกค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1.1 โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ ความเข้มข้น 0.010, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.250 และ 0.500 M และใช้อัตราเร็วในการสแกน ศักย์ไฟฟ้า 0.05 V/s เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 1.1 V

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณ กระแสที่วัดจากความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ว่าที่ความเข้มข้นใดมีปริมาณ กระแสสูงสุด และนำค่าความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ดังกล่าวมาเป็นค่าของความเข้มข้นที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ แอล-ไทโรซีน

3.4.1.3 การศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด แอล-ไทโรซีน

ศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยเลือกใช้ค่า pH และความเข้มข้นของ สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ โดยใช้ความเข้มข้นของ แอล-ไทโรซีน เท่ากับ 0.55 mM ใช้อัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.01, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, และ 0.90 V/s เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl สแกนในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.2 ถึง 1.1 V

3.4.1.4 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพชนิดของขั้วไฟฟ้า 4 ชนิด ได้แก่ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา - ไฮโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย ฟอสเฟตบัพเฟอร์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากข้อ 3.4.1.1 ถึง 3.4.1.3

3.4.1.5 การศึกษากระแสพื้น (background current)

ศึกษาเปรียบเทียบกระแสพื้นของขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน เพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา - ไฮโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ตรวจวัดสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ โดยพิจารณาเลือก pH และความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์จากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ ใช้อัตราเร็วการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 สแกนในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.2 ถึง 1.1 V

3.4.2 การศึกษาสมบัติของขั้ว

3.4.2.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์

ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ขั้วกราฟไฟต์ และขั้วกลาสลิคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน เทียบกับขั้วขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ในสภาวะที่เหมาะสม ตรวจวัดปริมาณแอล-ไทโรซีน ที่ความเข้มข้น 5.52×10^{-3} ถึง 1.66 mM ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี พล็อตค่าของปริมาณกระแสกับค่าความเข้มข้นของปริมาณ แอล-ไทโรซีน ช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรงจะเป็นค่าการตอบสนองเชิงเส้น (linear range)

3.4.2.2 สภาพไวของขั้ว (sensitivity)

หาความชันของกราฟการตอบสนองเชิงเส้นซึ่งได้จากการทดลองข้อ 3.4.2.1 ความชันที่ได้จากการตอบสนองเชิงเส้นโดยใช้ขั้วทำงานแต่ละชนิดจะเป็นสภาพไวของขั้วทำงานชนิดนั้น ๆ

3.4.2.3 อายุการใช้งานของขั้ว (life time)

ตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM ppm แอล-ไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่ pH และความเข้มข้นที่เลือกจากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงาน ใช้อัตราการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 สแกนในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.2 ถึง 1.1 V บันทึกกระแสที่เกิดขึ้นจนกระทั่งกระแสลดต่ำกว่า 50 % ของกระแสเริ่มต้น (ตรวจวัดทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลา 15 สัปดาห์) ทุกครั้งที่ตรวจวัดจะเตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้ง

3.4.2.4 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (detection limit)

หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากกระแสของสัญญาณรบกวนในสารละลายเบสไลน์ (baseline) ของ สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH และความเข้มข้นที่เลือกจากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ) ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ โดยนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายเบสไลน์ที่ได้คูณด้วย 3 (ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมั่นที่ 99.86%) แล้วหารด้วยค่าของความชันของกราฟที่ได้จากข้อ 3.4.2.2 จะได้ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (detection limit)

3.4.2.5 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์สามารถหาได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้ค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ตามลำดับ ใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงาน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้าโดยเลือกจากข้อ 3.4.1.3 สแกนในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.2 ถึง 1.1 V ตรวจวัดซ้ำ 30 ครั้ง แล้วหาค่า %RSD

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณ แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี

ศึกษาการตรวจวัดปริมาณ แอล-ไทโรซีน ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine 500 mg โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี ใช้ขั้วไฟฟ้าทำงาน 4 ชนิด ได้แก่ ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ตรวจวัดในสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักเม็ดยาตัวอย่าง 20 เม็ดแล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักเม็ดยาต่อเม็ด
2. บดเม็ดยาตัวอย่างให้ละเอียดแล้วชั่งมา 50 mg จดบันทึกน้ำหนักเม็ดยาอย่างละเอียด
3. นำมาละลายน้ำปราศจากไอออนและหยุดสารละลายกรด 1.0 M ไฮโดรคลอริก จำนวน 40 หยด (อย่าให้ของเหลวที่ใช้ละลายตัวอย่าง ภาวเกิน 50 mL) คนของผสมด้วยแท่งแก้วนาน 5 นาที แล้วนำของผสมที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรให้เป็น 50 mL
4. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 100 ppm และ 1000 ppm
5. เตรียมสารละลายสำหรับตรวจวัดปริมาณแอล-ไทโรซีนด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยเตรียมสารละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 รายละเอียดการเตรียมสารละลายตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดปริมาณแอล-ไทโรซีนด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน

ขวดที่	ปริมาตรสารตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรสารมาตรฐาน (mL)	
		100 ppm	1000 ppm
1	1	0	0
2	1	1.25	0
3	1	0	1.25
4	1	0	2.5

จากตารางที่ 3.2 จะได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของขวดที่ 1 2 3 และ 4 เท่ากับ 0 5 50 และ 100 ppm ตามลำดับ

- นำสารละลายที่เตรียมได้ไปตรวจวัดหาปริมาณแอล-ไทโรซีนด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีในสภาวะที่เหมาะสม

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

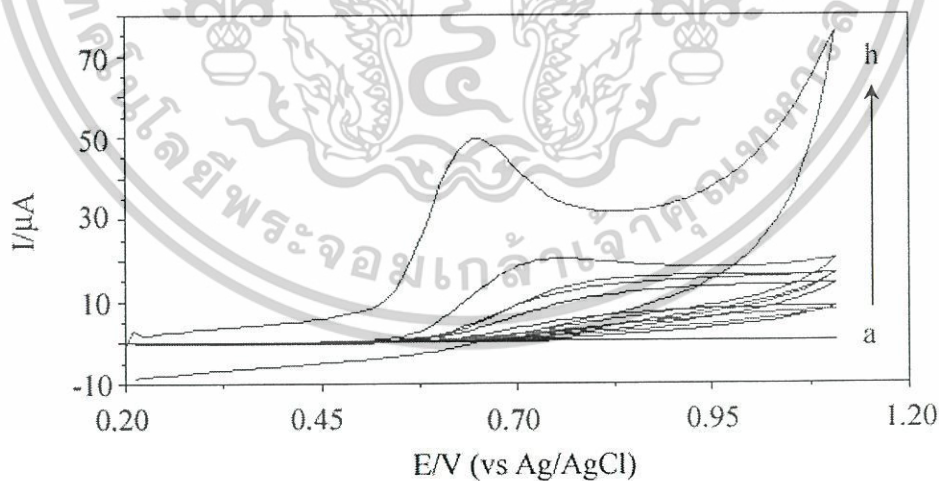
4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

4.1.1 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

จากศึกษาการตรึงเอนไซม์ไฮโดรเลสบนขั้วคาร์บอนเพสต์เพื่อวิเคราะห์เมทิลพาราไทออน [26] พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างขั้วคาร์บอนเพสต์คือ ปริมาณผงกราฟไฟต์ต่อน้ำมันพาราฟินเป็น 1 : 1 โดยน้ำหนัก

4.1.2 อัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบในการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ได้แก่ ปริมาณผงกราฟไฟต์ ปริมาณบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน และปริมาณน้ำมันพาราฟิน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตาราง 3.1 แล้วตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M pH 7.0 อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนอัตราส่วนองค์ประกอบของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (ปริมาณผงกราฟไฟต์ต่อปริมาณบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน) ในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM โดย a (อัตราส่วน 0.5 : 2 : 1.5) b (อัตราส่วน 0.5 : 1.5 : 1) c (อัตราส่วน 1.5 : 2 : 2) d (อัตราส่วน 2 : 1 : 2) e (อัตราส่วน 1 : 2 : 1) f (อัตราส่วน 2 : 0.5 : 1.5) g (อัตราส่วน 1.5 : 0.5 : 1) และ h (อัตราส่วน 1 : 1 : 1) ตามลำดับ

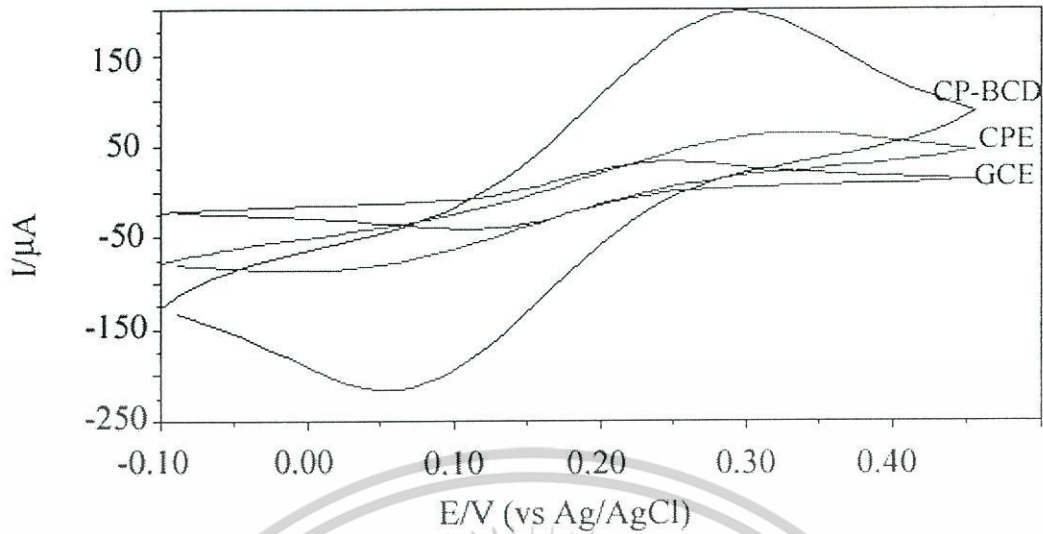
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ในรูปภาคผนวกที่ ค.1.8 พบว่าอัตราส่วนส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมคือใช้ปริมาณผงกราฟไฟต์ ต่อบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟินเป็น 1:1:1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาไซคลิกโวลแทมโมแกรมในรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้อัตราส่วนขององค์ประกอบระหว่างปริมาณผงกราฟไฟต์ต่อบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟินเป็น 1:1:1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะให้กระแสสูงสุดและได้ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่เด่นชัด ง่ายต่อการแปรผลการตรวจวัด

4.1.3 ทดสอบการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ (CPE) ที่เตรียมได้

จากการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์ความเข้มข้น 10 mM ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s โดยสแกนในช่วง -0.1 ถึง 0.5 V ใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl จากรูปที่ 4.2 พบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินให้ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ชัดเจนกว่าและให้กระแสที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นเพราะว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินมีขนาดใหญ่กว่าขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนโดยขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ส่วนขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพียง 2 mm แต่ช่วงที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาไซคลิกโวลแทมโมแกรมในรูปที่ 4.2 พบว่าการใช้บิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ทำ ให้ได้กระแสจากการตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์สูงกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เพียงอย่างเดียว โดยที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองชนิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากัน

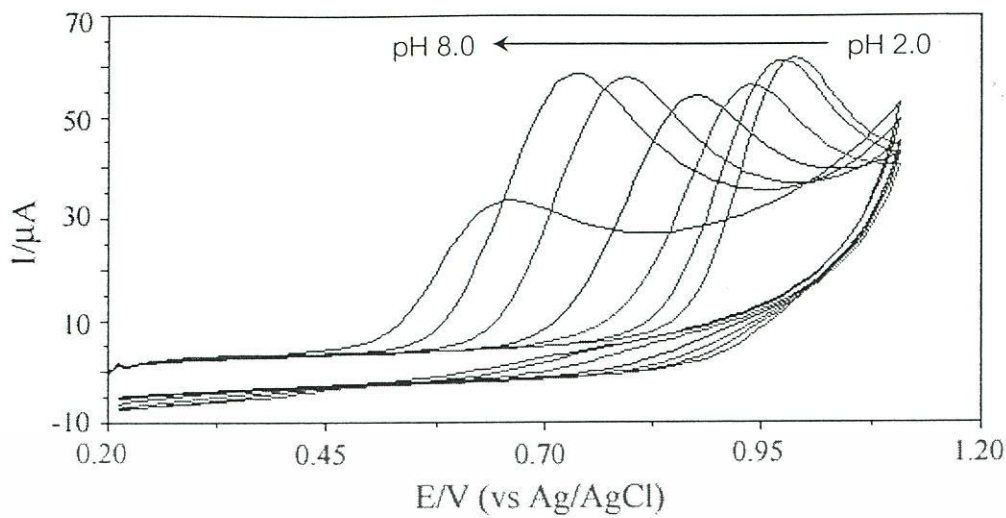


รูปที่ 4.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 10 mM โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ในสารละลาย 0.1 M โพแทสเซียมคลอไรด์ ใช้ อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s สแกนในช่วง -0.1 ถึง 0.5 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

4.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรี

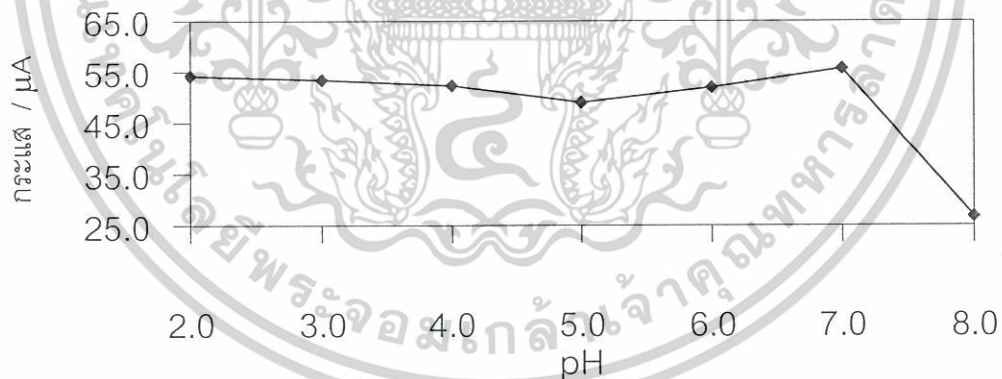
4.2.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน

ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M pH 2.0 ถึง 8.0 ใช้ อัตราเร็วการสแกน 0.05 V/s สแกนในช่วง 0.2 ถึง 1.1 โวลท์ ไชคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 2.0 ถึง 8.0 ใช้อัตราเร็วการสแกน 0.5 mV/s สแกนในช่วง 0.2 ถึง 1.1 V โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

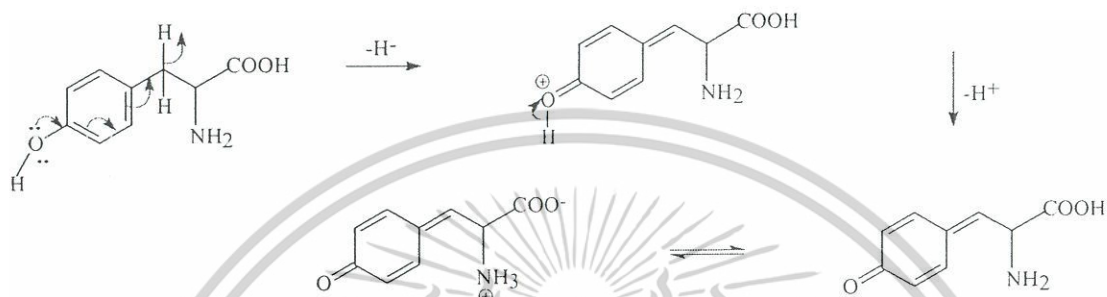
เมื่อนำค่ากระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ค่า pH ต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นข้อมูลมาพล็อตกับค่า pH ต่าง ๆ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ตรวจวัดได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และค่า pH ตั้งแต่ 2.0 ถึง 8.0

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M โดยใช้ค่า pH ตั้งแต่ 2.0 ถึง 8.0 พบว่าเมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 7.0 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะได้กระแสจากการตรวจวัดสูงที่สุดเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

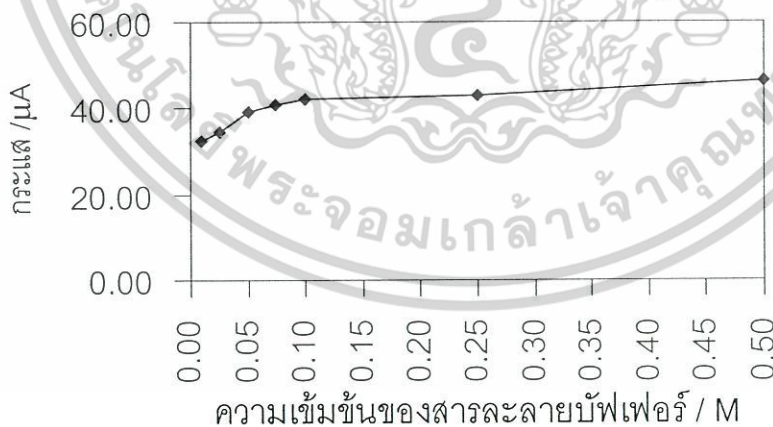
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลไทโรซีนจะเกิดสารมัธยันต์ (intermediate) ที่เสถียรและมีทั้งประจุบวกและลบอยู่ในโครงสร้าง (zwitterions) ดังนั้นการตรวจวัดแอลไทโรซีนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่า pH 7.0 จะทำให้สารมัธยันต์ดังกล่าวมีความเสถียรมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 7.0 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการตรวจวัดแอลไทโรซีนตลอดการทดลองนี้ กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีนแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน [27-28]

4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ความเข้มข้น 0.01 ถึง 0.50 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ดังรูปที่ 4.6



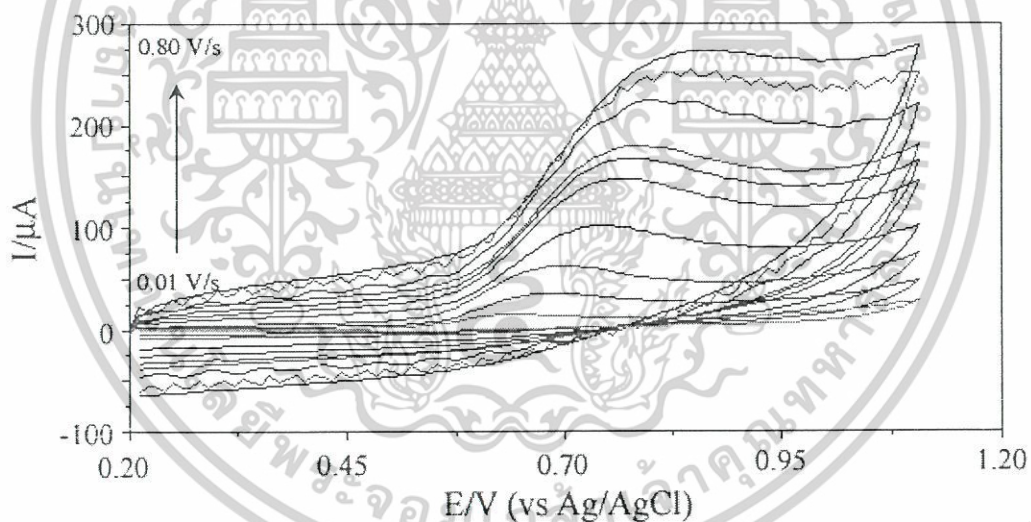
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.50 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl อัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.05 V/s สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.2 ถึง 1.1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นกระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ความแรงของไอออน (ionic strength) เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในช่วง 0.1 ถึง 0.5 M พบว่ากระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M ในการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน

4.2.3 การศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน

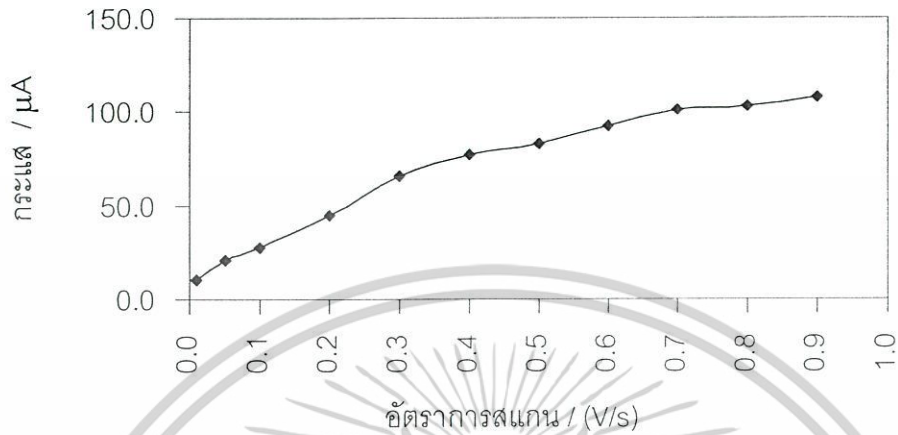
จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ใช้อัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.01, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80 และ 0.90 V/s ได้ไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

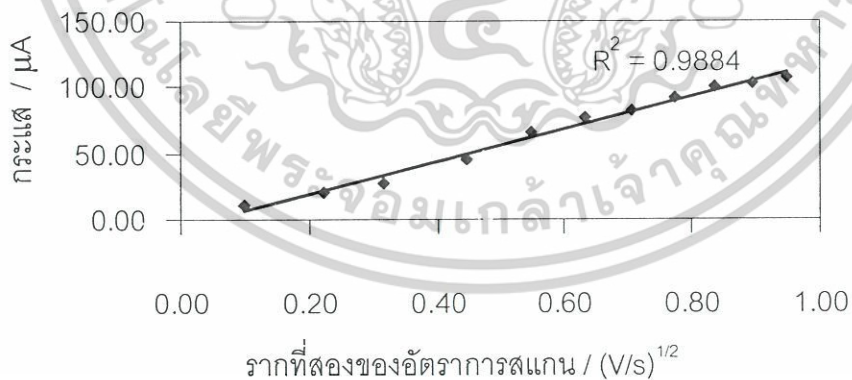
ลักษณะไซคลิกโวลแทมโมแกรมของรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการสแกนส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย พิกที่ได้เป็นพิกจากปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) เพราะได้แอนอดิกพิกหรือพิกที่เกิดจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงฟีกเดียว ค่าของกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแสดงในภาคผนวก ค. 2.3 (ตารางที่ ค.3) นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแส ได้ดังรูปที่ 4.8



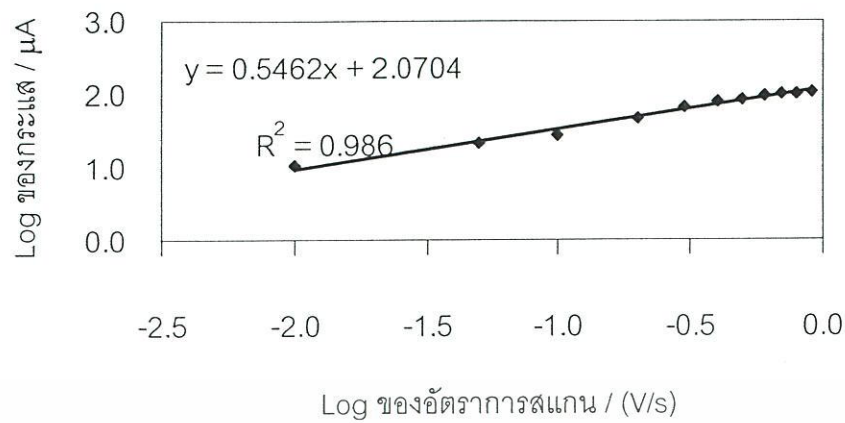
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

จากกราฟรูปที่ 4.8 จะเลือกอัตราการสแกนที่ 0.05 V/s เพราะให้ความชันของกราฟสูงสุด ดังนั้นตลอดการทดลองจึงเลือกอัตราการสแกนที่ 0.05 V/s สำหรับการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไซโคลเดคท์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

จากรูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีนจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.9884$) ตามสมการ 2.8 จากสมการ

$$i_p = (2.99 \times 10^5) n(\alpha n_s)^{1/2} ACD^{1/2} \nu^{1/2}$$

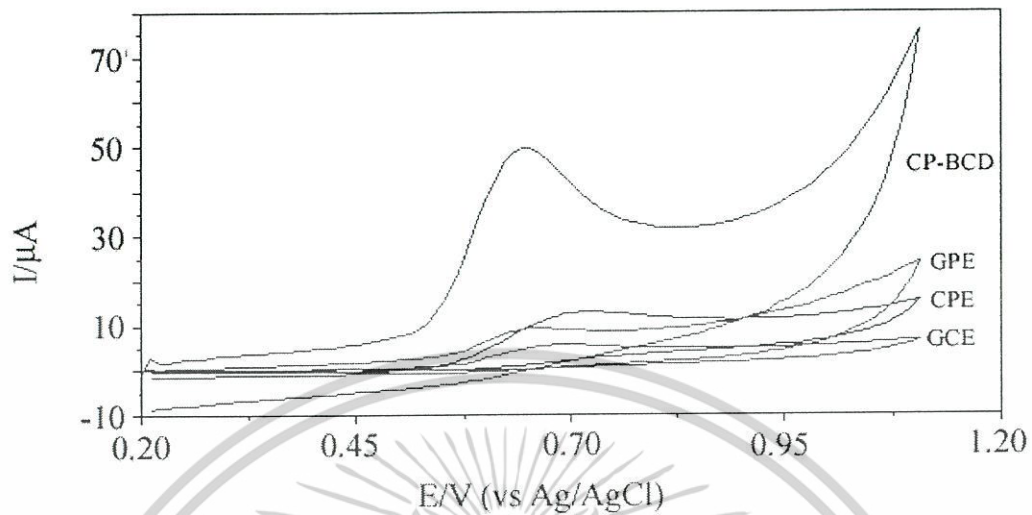
เมื่อใส่ log ทั้งสองข้างจะได้

$$\log i_p = \log (2.99 \times 10^5 n(\alpha n_s)^{1/2} ACD^{1/2}) + \log \nu^{1/2}$$

$$\log i_p = 0.5 \log \nu$$

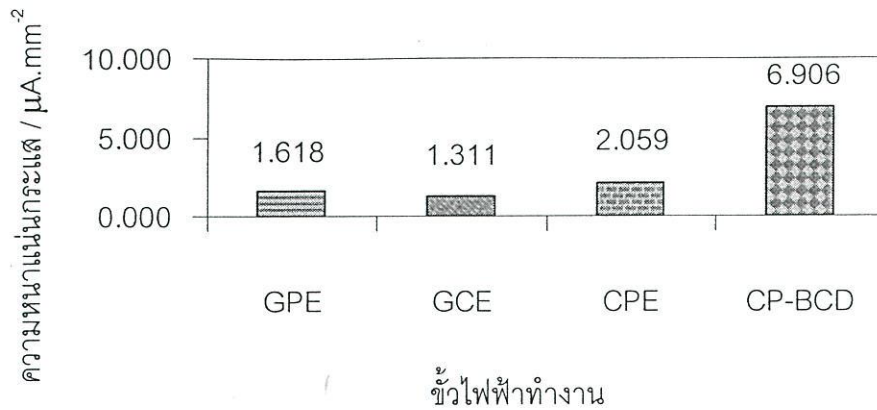
แสดงว่ากระแสที่เกิดขึ้นจะควบคุมโดยกระบวนการแพร่ "diffusion-controlled" และจากกราฟรูปที่ 4.10 จากความสัมพันธ์ Log ของอัตราการสแกนเทียบกับ Log กระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีนจะได้เป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.986$) และมีความชันประมาณ 0.5 ตรงกับสมการข้างต้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่ากระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า (electrode process) เป็นแบบการแพร่

4.2.4 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน

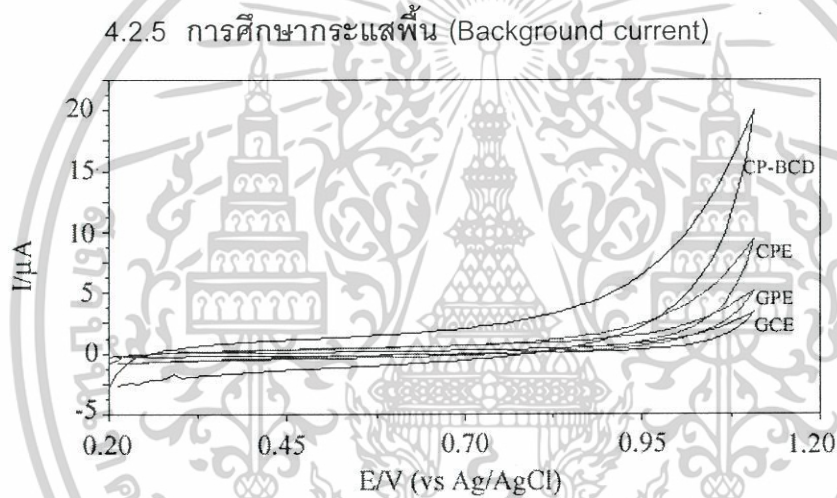


รูปที่ 4.11 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วทำงานต่าง ๆ กัน เทียบกับขั้ว Ag/AgCl

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วทำงานต่างชนิดกัน ได้แก่ ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ได้ไชคลิกโวลแทมโมแกรมดังรูปที่ 4.11 และเมื่อนำค่ากระแสที่ตรวจวัดได้จากการใช้ขั้วทำงานชนิดต่างๆ ไปสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินจะให้ความหนาแน่นกระแสสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นกระแสที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานเพราะว่าบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถเกิดปฏิกิริยาอินคลูชันคอมเพล็กซ์กับแอล-ไทโรซีน โดยโมเลกุลของแอล-ไทโรซีน (guest) เข้าไปอยู่ในโมเลกุลของบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (host) ด้วยแรงดึงดูดหุติยภูมิ (เกิดพันธะไฮโดรเจน) ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ตรวจวัดได้กับชั่วโมงทำงานชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี



รูปที่ 4.13 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ชั่วโมงทำงานต่าง ๆ กัน เทียบกับชั่วโมงทำงาน Ag/AgCl

เมื่อพิจารณาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของกระแสพื้น (background current) จากรูปที่ 4.13 พบว่าสัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการใช้ชั่วโมงคาร์บอนเพสต์และชั่วโมงไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินในการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 มีค่ามากกว่าสัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการใช้ชั่วโมงไฟฟ้างลาสสิคาร์บอนและชั่วโมงไฟฟ้างราไฟต์ เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชั่วโมงไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และชั่วโมงไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (4 mm) มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชั่วโมงไฟฟ้างลาสสิคาร์บอนและชั่วโมงไฟฟ้างราไฟต์ (2 mm) และสัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการใช้ชั่วโมงไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นชั่วโมงทำงานมีค่ามากที่สุดเพราะ

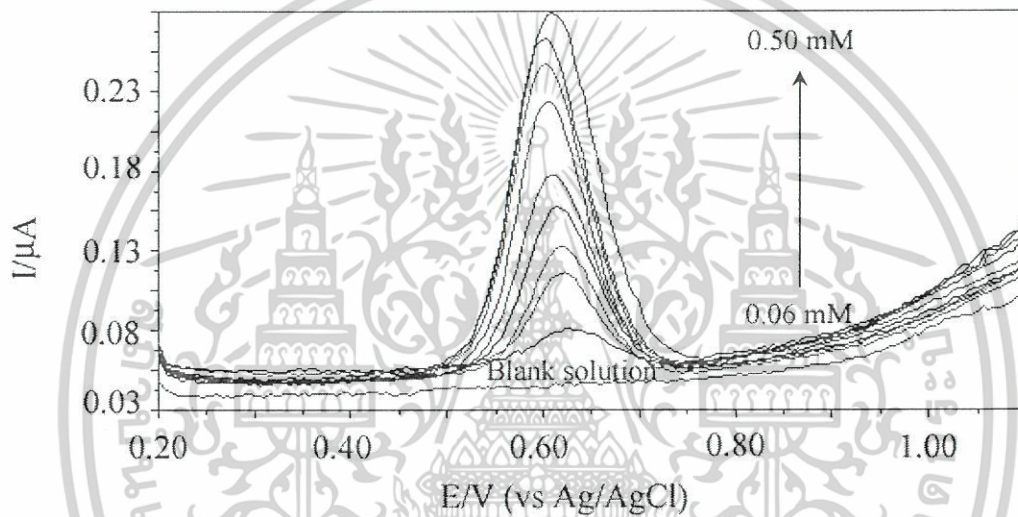
อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจากออกซิเจนอะตอมของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group; OH) ในบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นแหล่งให้พลังงานสำหรับการเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ เมื่ออยู่เหนือบะประจุเชิงลบในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคลดอกซ์ทรีนช่วยในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในระบบ และเมื่อพิจารณาสัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลดอกซ์ทรีนจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณของกระแสจากการใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์และขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน

4.3 การศึกษาสมบัติของขั้ว

4.3.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์

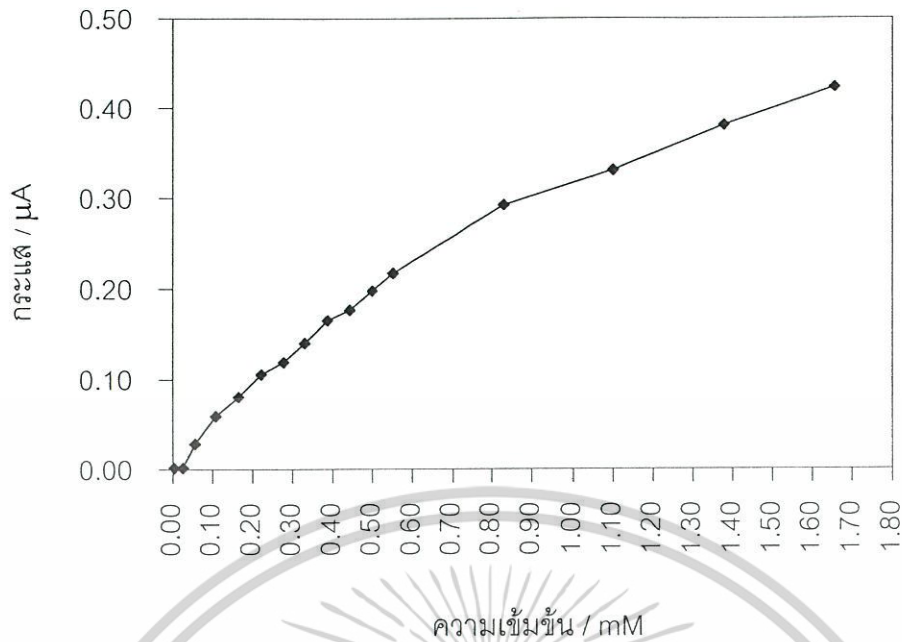
4.3.1.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์



รูปที่ 4. 14 โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลโทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงาน

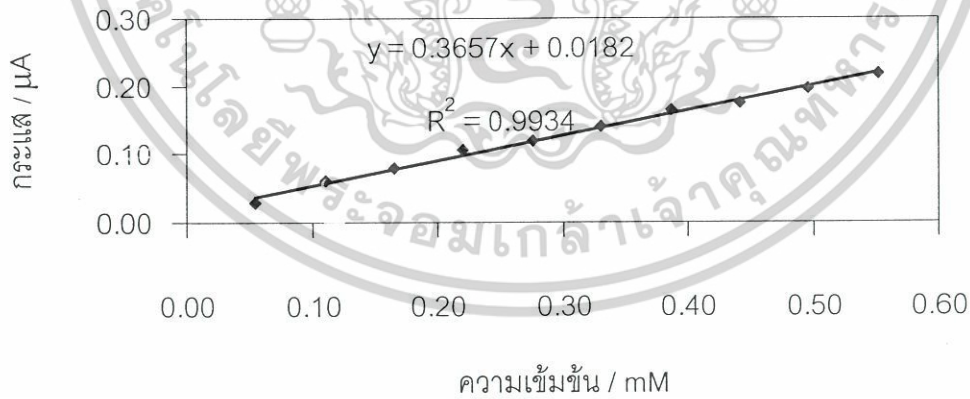
จากการตรวจวัดสารละลายแอลโทโรซีนความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl จะได้กราฟดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่างๆของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

จากกราฟรูปที่ 4.15 สามารถหาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ในการใช้ตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ได้ดังกราฟรูปที่ 4.16

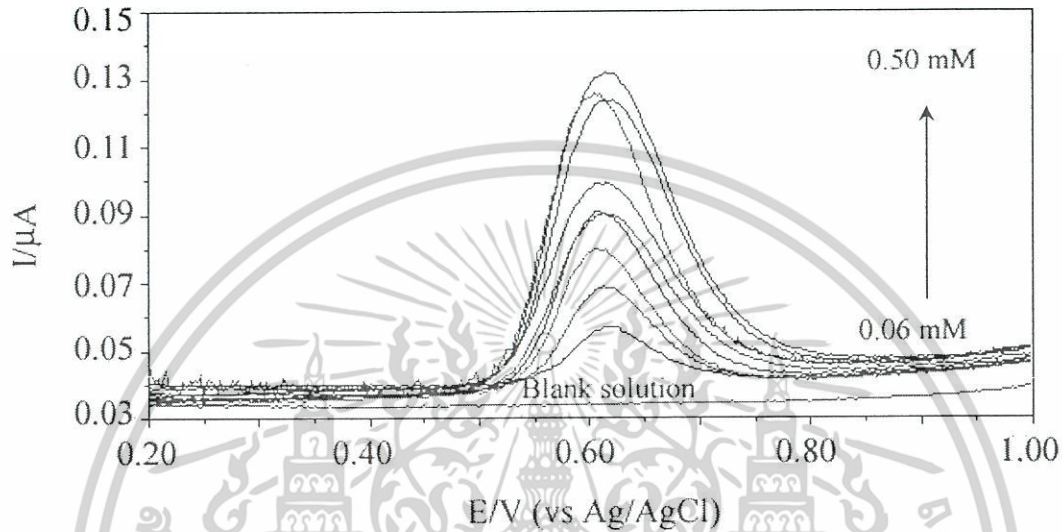


รูปที่ 4.16 ช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

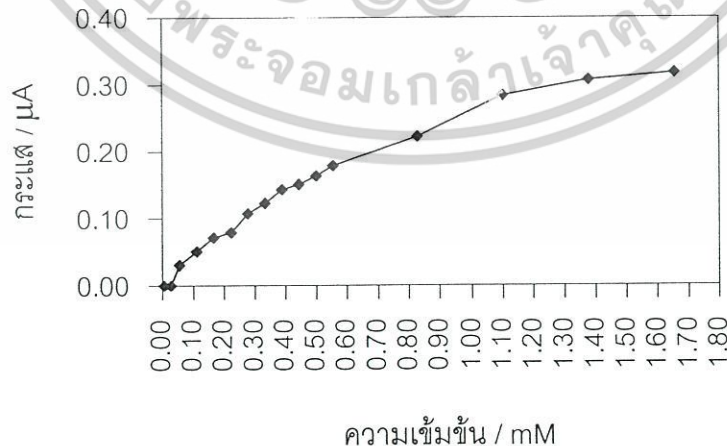
จากกราฟรูปที่ 4.16 ช่วงของความเข้มข้นเชิงเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์อยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.55 mM

4.3.1.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ 4.17 โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน

จากการตรวจวัดสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl จะได้กราฟดังรูปที่ 4.18

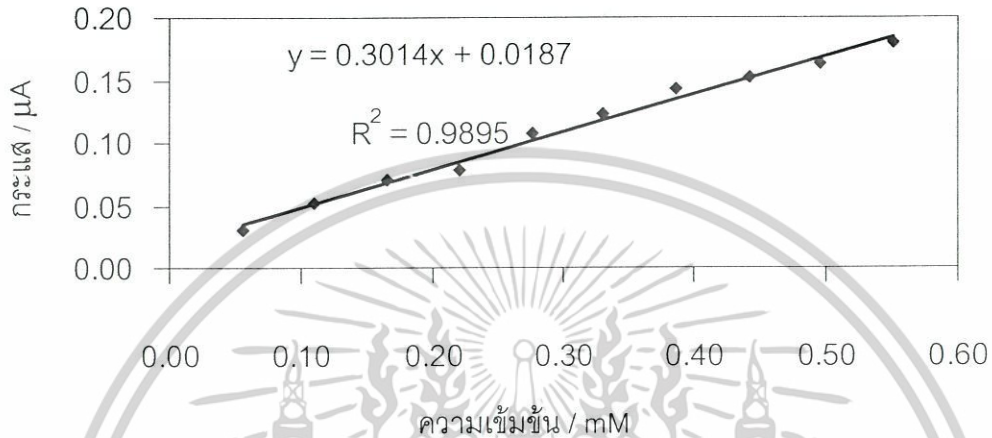


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบ

กับขั้ว Ag/AgCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

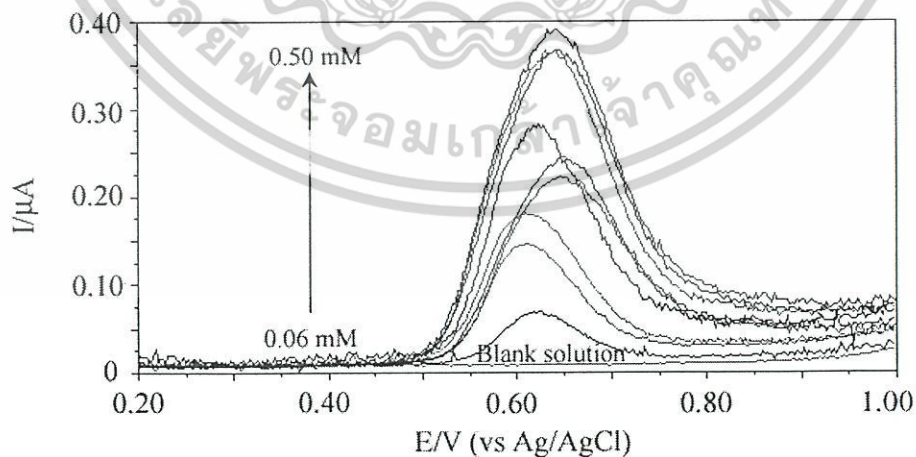
จากกราฟรูปที่ 4.18 สามารถหาช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนในการใช้ตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ได้ดังกราฟรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

จากกราฟรูปที่ 4.19 ช่วงของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.55 mM

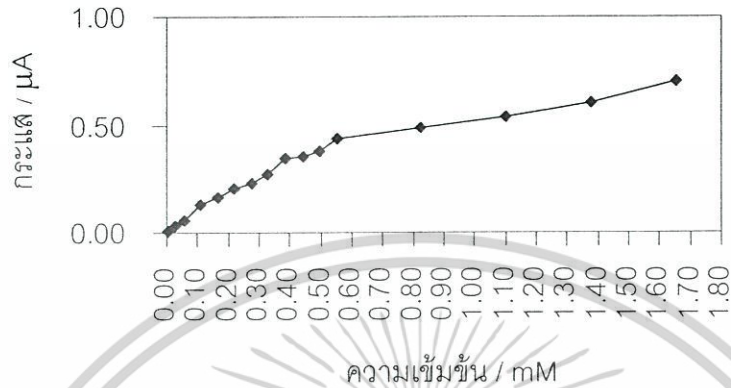
4.3.1.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์



รูปที่ 4.20 โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงาน

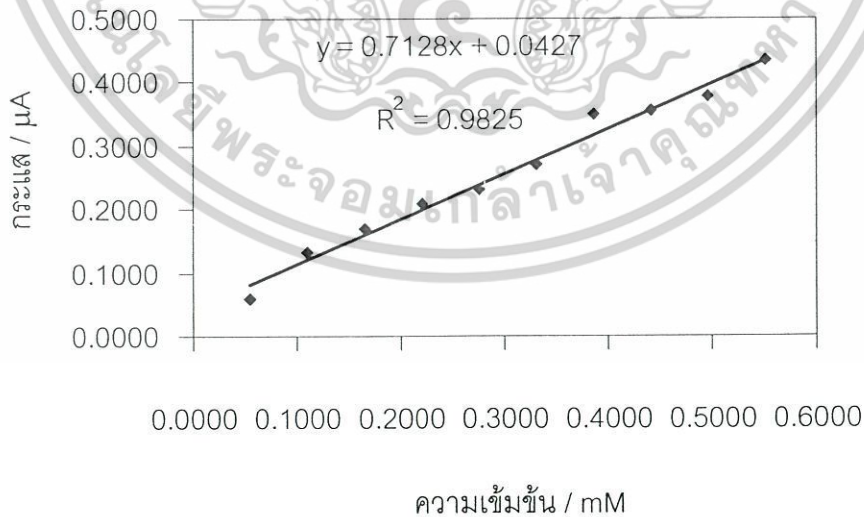
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจวัดสารละลายแอลโทรซินความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เพสต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl จะได้กราฟดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอลโทรซิน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้ว Ag/AgCl

จากกราฟรูปที่ 4.21 สามารถหาช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ในการใช้ตรวจวัดสารละลายแอลโทรซินในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ได้ดังกราฟรูปที่ 4.22



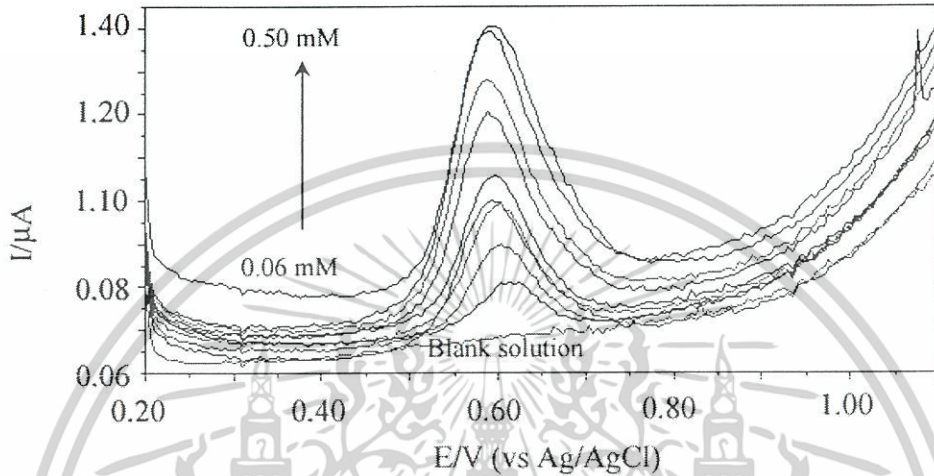
รูปที่ 4.22 ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอลโทรซินใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.22 ช่วงของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.55 mM

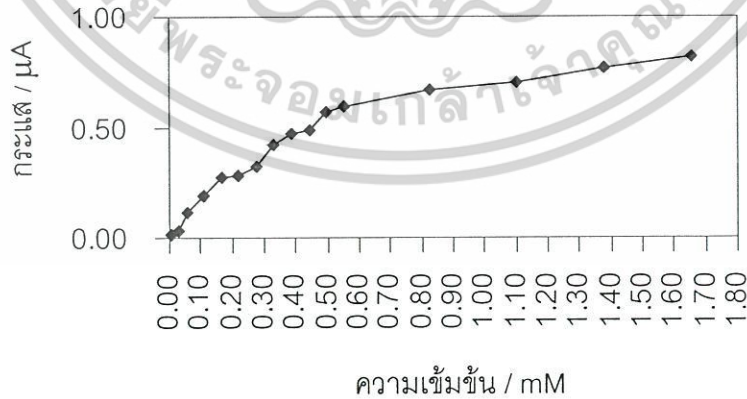
4.3.1.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ทริน



รูปที่ 4.23 โวลแทมโมแกรมของสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้น 0.06 ถึง 0.50 mM และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.10 M pH 7.0 (blank solution) โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงาน

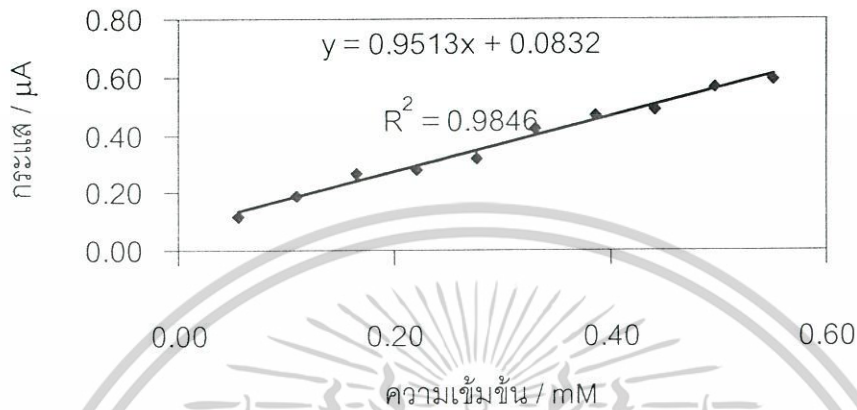
จากการตรวจวัดสารละลายแอลไทโรซีนความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl จะได้กราฟดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟสดีที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้ว Ag/AgCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.24 สามารถหาช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินในการใช้ตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ได้ดังกราฟรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

จากกราฟรูปที่ 4.25 ช่วงของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์อยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.55 mM

4.3.2 สภาพไวของขั้ว (Sensitivity)

หาได้จากความชันของกราฟในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างกระแสกับความเข้มข้นของสารละลายแอล-ไทโรซีน สรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาพไวของขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนในช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ขั้วไฟฟ้า	สภาพไว ($\mu\text{A}/\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$)
ขั้วกราไฟต์	0.3657
ขั้วกลาสลึคาร์บอน	0.3014
ขั้วคาร์บอนเพสต์	0.7128
ขั้วคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	0.9513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วย บิตาไซโคลเดกซ์ทรินมีพื้นที่ผิวหน้าของขั้วมากกว่าขั้วไฟฟ้ากราไฟต์และขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน จึงทำให้มีสภาพไวในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนมากกว่า และการใช้บิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินปรับปรุง ขั้วคาร์บอนเพสต์ทำให้สภาพไวในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนมากกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เพียงอย่างเดียวเพราะบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถเกิดปฏิกิริยาอินคลูชันกับแอล-ไทโรซีนและ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในโครงสร้างของบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินจะช่วยส่งผ่านอิเล็กตรอนระหว่างการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ได้สภาพไว (sensitivity) สูง สามารถใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินตรวจวัดแอล-ไทโรซีนความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้และยังให้สัญญาณที่

4.3.3 อายุการใช้งานของขั้ว (Life time)

4.3.3.1 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี จะได้กราฟดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กราฟกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมเมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับ ขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดทุก ๆ สัปดาห์)

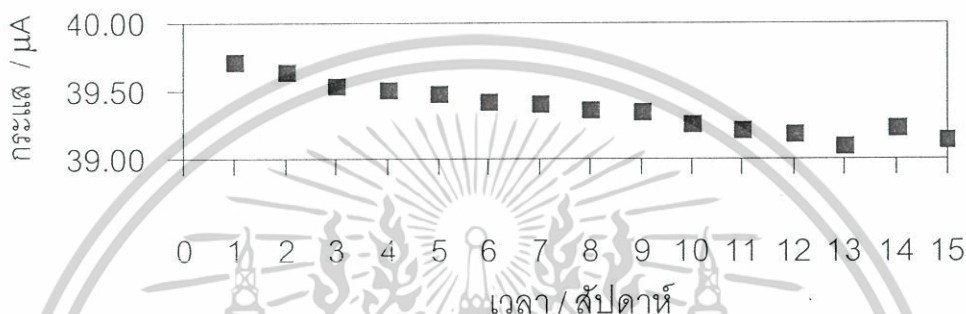
จากกราฟรูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้า คาร์บอนเพสต์ในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 คือ 19.2507 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 0.2512 และค่า %RSD (relative

standard deviation; %RSD = $\frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 1.3049 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี จะได้กราฟดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 กราฟกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมเมทรีของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดทุก ๆ สัปดาห์)

จากกราฟรูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินในการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 คือ 39.3760 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 0.1845 และค่า %RSD (relative standard deviation; $\%RSD = \frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 0.4686 %

การตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินพบว่าอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถใช้งานได้มากกว่า 3 เดือน

4.3.4 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit)

จากการคำนวณตามภาคผนวก ง. ได้ผลของขีดจำกัดในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำงาน 4 ชนิด ได้แก่ ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินแสดงดังตารางที่ 4.2

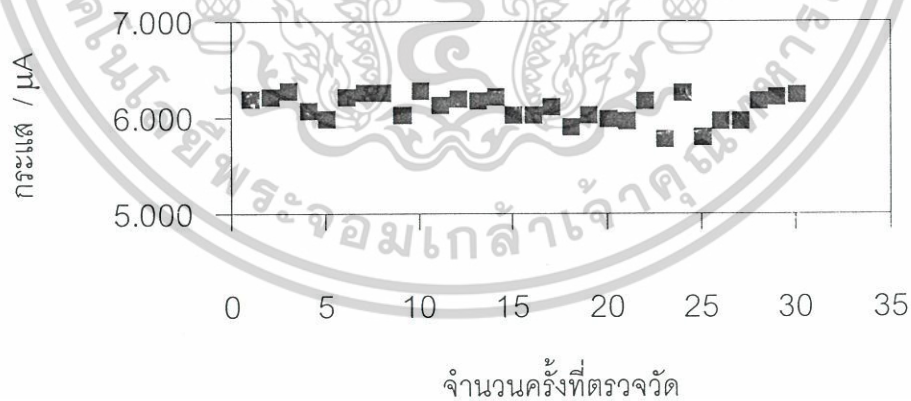
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของขั้วไฟฟ้าทำงานชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีน

ขั้วไฟฟ้าทำงาน	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (μM)
ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์	8.53
ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน	5.18
ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์	5.35
ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	4.16

4.3.5 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

4.3.5.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ และทำการตรวจวัดสารละลายเดิม 30 ครั้ง จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.28



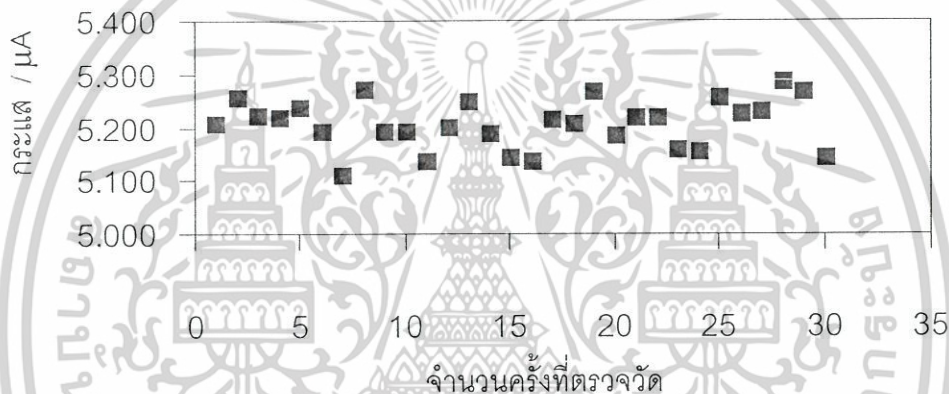
รูปที่ 4.28 กราฟกระแสสเปกโทรกราฟิกที่ได้ออกจากระบบวัดสัญญาณไฟฟ้าของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ตรวจวัดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ 6.1178 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 0.1413 และค่า %RSD (relative standard deviation; $\%RSD = \frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 2.3097 %

4.3.5.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน และทำการตรวจวัดสารละลายเดิม 30 ครั้ง จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

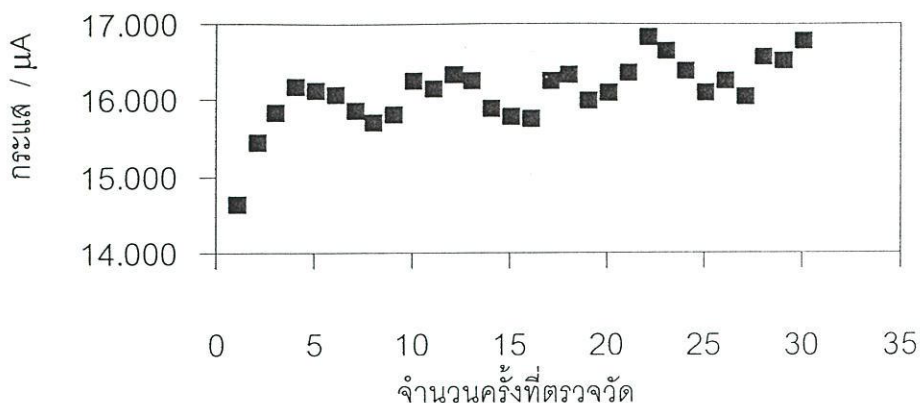
จากกราฟรูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ตรวจวัดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ 5.2083 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 0.0456 และค่า %RSD (relative standard deviation; $\%RSD = \frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 0.8755 %

4.3.5.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และทำการตรวจวัดสารละลายเดิม 30 ครั้ง จะได้

กราฟแสดงดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

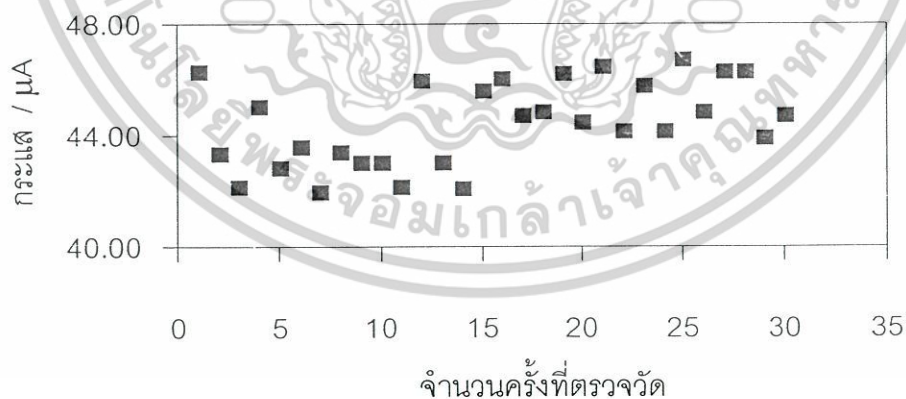


รูปที่ 4.30 กราฟกระแสปฏิบัติกริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

จากกราฟรูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ตรวจวัดได้จากปฏิบัติกริยาออกซิเดชันคือ 16.1237 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 0.4256 และค่า %RSD (relative standard deviation; %RSD = $\frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 2.6396 %

4.3.5.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน และทำการตรวจวัดสารละลายเดิม 30 ครั้ง จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 กราฟกระแสปฏิบัติกริยาออกซิเดชันที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ใน 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ตรวจวัดสารละลายเดิมซ้ำ 30 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ตรวจวัดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ 44.4661 μA และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คือ 1.5009 และค่า %RSD (relative standard deviation; %RSD = $\frac{\text{S.D.}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} \times 100\%$) มีค่าเท่ากับ 3.3754 %

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีนในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีพบว่าค่า %RSD (relative standard deviation) ที่ได้จากขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินมีค่าสูงกว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์และขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตามลำดับ แสดงว่าความเที่ยงในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานมีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์และขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอในการกระจายตัวขององค์ประกอบในขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ หรืออาจเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ (ท่อเพฟลอน) โค้งงอทำให้ตำแหน่งของผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินไม่อยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อมีการตรวจวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

4.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ แอล-ไทโรซีน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

ผลการตรวจวัดตัวอย่างยา GNC L-tyrosine โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ด้วยวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีนและใช้ขั้วไฟฟ้าทำงาน 4 ชนิด ได้แก่ ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก จ และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine

ขั้วไฟฟ้า	สมการเส้นตรง	ค่า x (ppm)	ปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา (mg/เม็ด)		เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (%)
			ปริมาณจริง	ปริมาณที่ตรวจวัดได้	
กราไฟต์	$y = 0.0016x + 0.0402$	25.1250	500	511.7036	102.34
กลาสสิคาร์บอน	$y = 0.0013x + 0.0313$	24.0769	500	490.3581	98.07
คาร์บอนเพสต์	$y = 0.0026x + 0.0648$	24.9231	500	507.5912	101.52
คาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	$y = 0.0056x + 0.1353$	24.160	500	492.0647	98.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ใช้ในการทดลองใช้อัตราส่วนปริมาณผงกราไฟต์ต่อน้ำมันพาราฟินเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ส่วนขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินใช้อัตราส่วนปริมาณผงกราไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟินเท่ากับ 1:1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินพิจารณาจากการให้กระแสไวลแอมป์แอมเมทรีของโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรตสูงสุด

การใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินตรวจวัดแอล-ไทโรซีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็น 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่ช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.6 ถึง 0.7 V ใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า 0.05 V/s แอล-ไทโรซีนเป็นกรดอัลฟาอะมิโนคือมีหมู่คาร์บอกซิลที่เป็นกรดและหมู่อะมิโนที่เป็นเบสอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ดังนั้นในขั้นตอนการตรวจวัดที่มีการควบคุม pH ที่เป็นกลาง (pH 7.0) จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีสามารถทำได้ในช่วงศักย์ไฟฟ้า 0.6 ถึง 0.7 V

จากการทดลองใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินพบว่ารากที่สองของอัตราการสแกน (0.01 ถึง 0.9 V/s) จะเป็นสัดส่วนกันกับกระแสที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 100 ppm แอล-ไทโรซีนแสดงให้เห็นว่ากระแสที่เกิดปฏิกิริยานั้นควบคุมโดยกระบวนการแพร่

สัดส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) จากการตรวจวัดสารละลาย 100 ppm แอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีจะสูงกว่าขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนและขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ ประมาณ 1.5 1.1 และ 1.5 เท่า ตามลำดับ และให้ช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนอยู่ในช่วง 0.0552 ถึง 0.5519 mM เท่ากันทั้งสี่ขั้ว (ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน) แต่ขีดจำกัดในการตรวจวัดของขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็น 8.53 nM ($R^2 = 0.9943$) ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็น 5.18 nM ($R^2 = 0.9895$) ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็น 5.89 nM ($R^2 = 0.9825$) และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็น 4.26 nM ($R^2 = 0.9846$) แต่ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคล

เดกซ์ทรินจะให้ค่าความเที่ยง (precision) ในการตรวจวัดไม่ดีเท่าขั้วไฟฟ้ากราไฟต์และขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน อย่างไรก็ตาม การเรียงนี้เพื่อเปรียบเทียบเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขการวัดซ้ำๆ กัน การวัดซ้ำๆ กันทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลาสคาร์บอนโดย %RSD ของขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน
เพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 2.3097 0.8755
2.6396 และ 3.3752 % ตามลำดับ และการใช้ปีตา-ไฮโคลเดกซ์ทรินปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอน
เพสต์ทำให้สภาพไวของขั้วมีค่าสูงขึ้นด้วย

อายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยปีตา-
ไฮโคลเดกซ์ทริน สามารถใช้งานได้มากกว่า 3 เดือนโดยที่สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดยังคง
ไม่ถึง 50%

5.2 ข้อเสนอแนะ

การผสมอัตราส่วนต่าง ๆ ในการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์และขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์
ควรให้เกิดการผสมที่สม่ำเสมอ หรือ การสร้างขั้วแต่ละครั้งควรใช้เวลาในการผสมที่เท่ากัน
สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยขั้วไฟฟ้าที่สร้างจากระยะเวลาที่ต่างกันอาจจะดีขึ้น และวัสดุที่
ใช้ทำขั้วไฟฟ้า (ท่อเทฟลอน) ควรจะไม่มีสารโค้งงอ หรืออาจจะใช้วัสดุชนิดอื่นที่ไม่มีสารโค้งงอหรือ
โค้งงอได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าขณะที่ตรวจวัดอยู่ในตำแหน่งเดิม และ
อาจจะทำให้ค่าความเที่ยงในการตรวจวัด (precision) ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Resources Healthnotes. 2004. Tyrosine. [online] Available :<http://www.pccnaturalmarkets.com/health/Supp/Tyrosine.htm>.
- [2] Live Well Guide. 2004. Tyrosine. [online] Available : http://www.livewellguide.com/qa/thai/L-Tyrosine.php#แอล-ไทโรซีน_id0.
- [3] PDRhealth. "drug information." [online] Available : http://www.gettingwell.com/drug_info/nmdrugprofiles/nutsupdrugs/lph_0201.shtml. 2004.
- [4] GreatVista Chemicals. 2004. Amino Acids. [online] Available : http://www.greatvistachemicals.com/amino_acids/L-phenylalanine.html.
- [5] ลาวัลย์ ศรีพงษ์. 2543. การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 229-230, 211-214.
- [6] ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2545. เคมีวิเคราะห์ 2, พิมพ์ครั้งที่ 10, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. หน้า 280-291.
- [7] Allen J. B., Larry R. F. 1980. Electrochemical Methods : Fundamentals and Applications New York : John Wiley and Sons. pp.213 – 242.
- [8] Department of Chemistry of Michigan State University. 2004. Cyclic Voltammetry. [online] Available : <http://poochbah.chem.msu.edu/courses/cem419/cem372cyclicvoltammetry.pdf>.
- [9] Department Of Chemistry and Biochemistry of New Mexico State University. 2004. Theory of Cyclic Voltammetry. [online] Available : <http://www.chemistry.nmsu.edu/studntres/chem435/Lab13/intro.html>.
- [10] อัญญา ปรีชาวรรณ. 2546. "การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าของโรโบฟลาวิน และโรโบฟลาวิน-5'-ฟอสเฟตโดยใช้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มบางเพชรเจือโบรอนเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้ากราไฟต์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] มนจิรา เขยคำแหง. 2546. "การศึกษาการสังเคราะห์และสมบัติของสารเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์บางชนิดกับบีตา - ไฮโคไซด์ทริน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [12] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. 2539. "ไฮโคไซด์ทริน : ผลิตภัณฑ์แห่งทศวรรษ 1990." เอกสารการประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง คาร์โบไฮเดรต : ปัจจุบันและอนาคต. นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตทับแก้ว. หน้า 81 – 91.
- [13] Research Interests of Prof. Kerry K. Karukstis. 2004. Cyclodextrins. [online] Available : <http://www2.hmc.edu/~karukstis/resdesc.htm>.
- [14] Greenstein, J.P. and Winitz, M. 1961. Chemistry of the Amino Acids. New York : John Wiley & Sons. pp. 2516-2177, pp. 2348-2367.
- [15] MacDonald, S.M. and Roscoe, S.G. 1997. "Electrochemical oxidation reactions of tyrosine, tryptophan and related dipeptides." *Electrochim. Acta.* 42 : 1189 – 1200.
- [16] Ogura, K., Kobayashi, M., Nakayama, M. and Miho, Y. 1999. "In-situ FTIR studies on the electrochemical oxidation of histidine and tyrosine." *J. Electroanal. Chem.* 463 : 218 – 223.
- [17] Agüí, L., González-Cortés, A., Yáñez-Sedeño, P. and Pingarrón, J. M. 1999. "Continuous monitoring of amino acids and related compounds with poly(3-methylthiophene)-coated cylindrical carbon fiber microelectrodes." *Anal. Chim. Acta.* 401 : 145 – 154.
- [18] Saurina, J., Hernández-Cassou, S., Fàbregas, E. and Alegret, S. 2000. "Cyclic voltammetric simultaneous determination of oxidizable amino acids using multivariate calibration methods." *Anal. Chim. Acta.* 405 : 153 – 160.
- [19] Guorong, Zh., Xiaolei, W., Xingwang, Sh. and Tianling, S. 2000. " β -Cyclodextrin-ferrocene inclusion complex modified carbon paste electrode for amperometric determination of ascorbic acid." *Talanta.* 51 : 1019 – 1025.
- [20] Wen, X., Jia, Y., Yang, L. and Liu, Zh. 2001. "Electrocatalytic oxidation of L-tyrosine by a nitroxide." *Talanta.* 53 : 1031 – 1036.

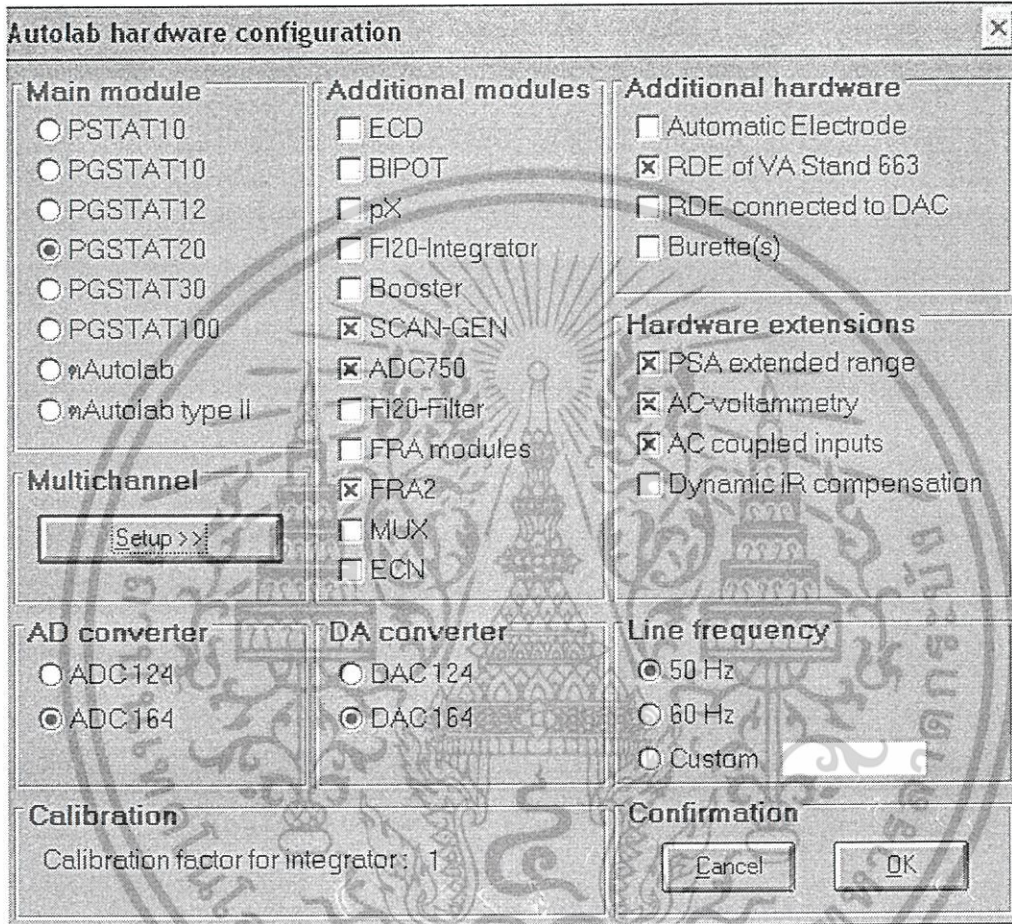
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Fiorucci, A. R. and Cavalheiro, É. T. Gomes, 2002. "The use of carbon paste electrode in the direct voltammetric determination of tryptophan in pharmaceutical formulations." *J. Pharm. Biomed. Anal.* 28 : 909 –915.
- [22] Nan, Ch.G., Feng, Zh.Zh., Li, W.X., Ping, D.J. and Qin, Ch.H. 2002. "Electrochemical behavior of tryptophan and its derivatives at a glassy carbon electrode modified with hemin." *Anal. Chim. Acta.* 452 : 245 – 254.
- [23] Majid, S., Rhazi, M.E., Aminc, A. and Brett, Ch.M. A. 2002. "An amperometric method for the determination of trace mercury(II) by formation of complexes with L-tyrosine." *Anal. Chim. Acta.* 464 : 123 – 133.
- [24] Alonso, M.C., Zamora, L.L. and Calatayud, J.M. 2003. "Determination of tyrosine through a FIA-direct chemiluminescence procedure." *Talanta.* 60 : 369 – 376.
- [25] Jin, G. and Lin, X. 2004. "The electrochemical behavior and amperometric determination of tyrosine and tryptophan at a glassy carbon electrode modified with butyrylcholine." *Electrochemistry Communications.* 6 : 454 – 460.
- [26] กนกวรรณ ฤดีศิริศักดิ์. 2547. "การตรึงเอนไซม์ไฮโดรเลสบนขั้วคาร์บอนเพสต์เพื่อวิเคราะห์เมทิลพาราไทออน". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [27] สุนันทา วิบูลย์จันทร์. 2539. *เคมีอินทรีย์*. พิมพ์ครั้งที่ 3, นนทบุรี : บริษัทเอนดับบลิวมีเดีย จำกัด. หน้า 420 – 421.
- [28] Wen, X., Jia, Y., Yang, L. and Liu, Z. 2001. "Electrocatalytic oxidation of L-tyrosine by a nitroxide." *Talanta.* 53 : 1031-1036.

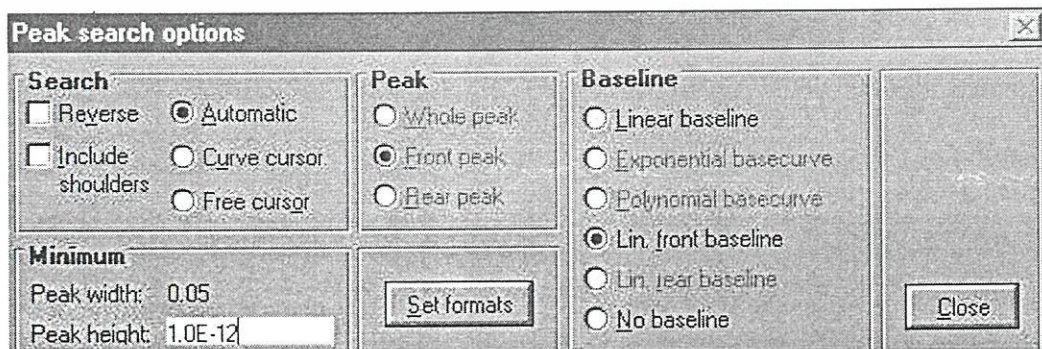
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม Autolab

รูปที่ ก.1 Autolab hardware configuration

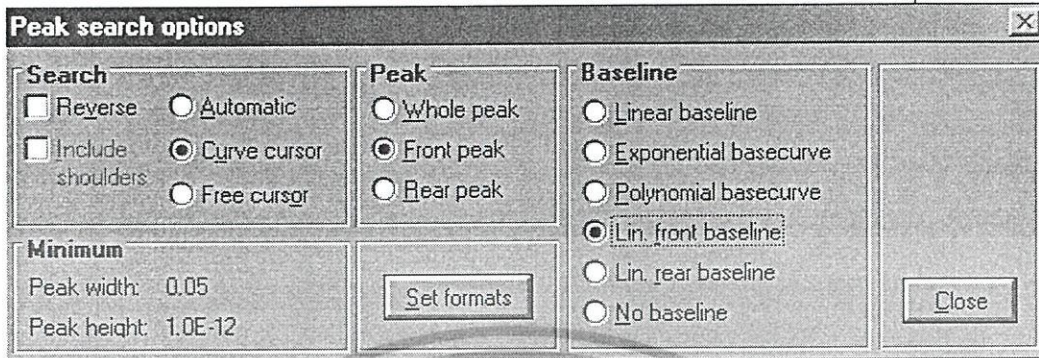


รูปที่ ก.2 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการเรจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีแบบอัตโนมัติ

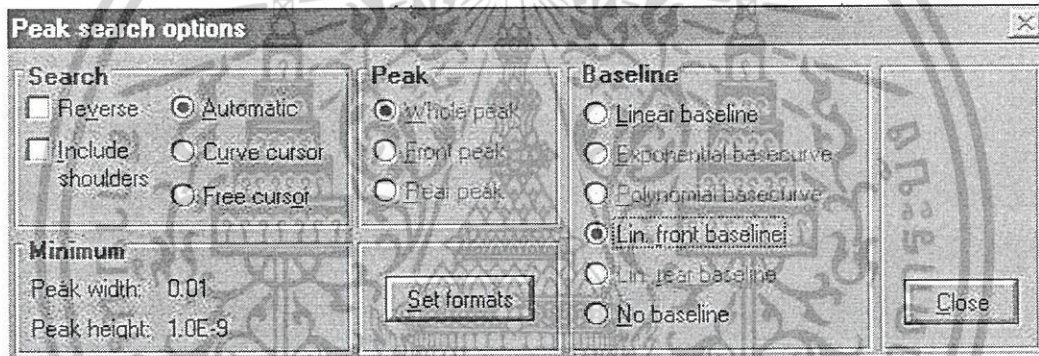


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

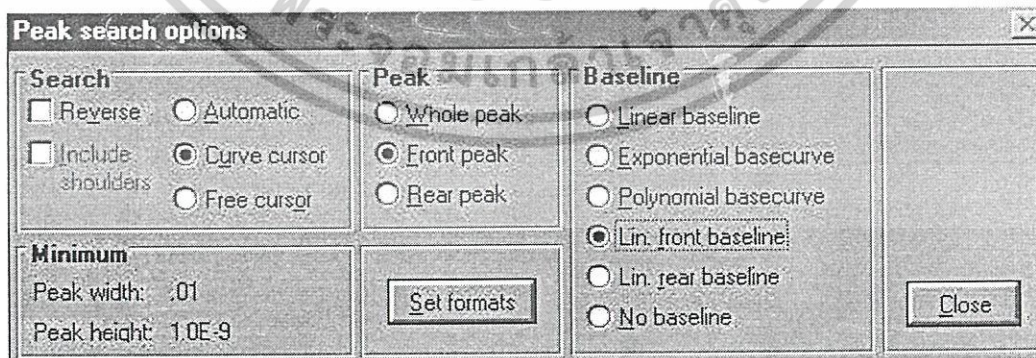
รูปที่ ก.3 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีแบบกำหนด cursor เอง



รูปที่ ก.4 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีในอัตโนมัติ



รูปที่ ก.5 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีแบบกำหนด cursor เอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

เลือก Method เป็น Cyclic voltammetry (staircase) เลือก Normal และใช้สภาวะดังนี้

Pretreatment

Purge time	300 s
First conditioning potential	0 V
Duration	0 s
Equilibration time	20 s

Measurement

Number of scans	1
Standby potential	0 V

Potentials

Start potential	0.2 V
First vertex potential	0.2 V
Second vertex potential	1.1 V
Step potential	0.01 V
Scan rate	0.05 V/s

ก.2 สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

เลือก Method เป็น Voltammetric analysis เลือก Differential Pulse และใช้สภาวะดังนี้

Pretreatment

Purge time	300 s
Conditioning potential	0 V
Duration	0 s
Deposition potential	0 V
Duration	0 s
Equilibration time	30 s

Measurement

Modulation time (≥ 0.0025 s)	0.05 s
Interval time (≥ 0.10 s)	0.2 s

Potentials

Initial potential	0.2 V
End potential	1 V
Step potential	0.00255 V
Modulation amplitude	0.00255 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การเตรียมสารเคมี

ข.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 mL

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 136.09) 6.8045 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิคเทให้โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ปรับปริมาตรเป็น 500 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ข.2 การเตรียมสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 mL

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 174.18) 8.709 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปโซนิคเทให้ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ปรับปริมาตรเป็น 500 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ข.3 การเตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 500 mL

ปิเปตกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (87% w/w ความหนาแน่น 1.695 g/mL) 33 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ที่มีน้ำปราศจากไอออนอยู่ประมาณ 200 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนปริมาตรสารละลายเป็น 500 mL เก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวดแก้วสีชา

ข.4 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 M จำนวน 500 mL

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% w/w ความหนาแน่น 1.18 g/mL) 40 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ที่มีน้ำปราศจากไอออนอยู่ประมาณ 200 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนปริมาตรสารละลายเป็น 500 mL เก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวดแก้วสีชา

ข.5 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 2.0 – 4.0

เทสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 M ที่เตรียมได้จากภาคผนวก ข.1. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ปริมาตร 70 – 80 mL นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทเทรตอัตโนมัติ ใช้หลอดหยด หยดสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 M เพื่อปรับค่า pH ให้ได้ตามต้องการ

ข.6 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.0 – 8.0

เทสารละลายไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1 M ที่เตรียมได้จาก ภาคผนวก ข.2. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ปริมาตร 70 – 80 mL นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ ใช้หลอดหยด หยดสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 M เพื่อปรับค่า pH ให้ได้ตามต้องการ

ข.7 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 mL

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (น้ำหนักโมเลกุล 74.543) 3.72715 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนปริมาตรสารละลายเป็น 500 mL เก็บสารละลายที่เตรียมได้ไว้ในขวดพลาสติกที่ทำจากพอลิโพรพิลีน

ข.8 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ความเข้มข้น 0.06 M ปริมาตร 100 mL

ชั่งโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3[Fe(CN)_6]$ น้ำหนักโมเลกุล 329.26) 2.05311 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนปริมาตรสารละลายเป็น 100 mL

ข.9 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต 10 mM ปริมาตร 25 mL ในสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์

ปิเปตสารละลาย 0.06 M โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต จากภาคผนวก ข.8 จำนวน 4 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์

ข.10 การเตรียมสารละลาย แอล-ไทโรซีน ความเข้มข้น 5.52 mM ปริมาตร 50 mL

ชั่ง แอล-ไทโรซีน (น้ำหนักโมเลกุล 181.19) 50 mg ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 10 mL หยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 M จำนวน 40 หยด นำไปโซนิเคชันได้สารละลายใส เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.11 การเตรียมสารละลาย แอล-ไทโรซีน ความเข้มข้น 0.55 mM ปริมาตร 25 mL ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH ต่าง ๆ

ปิเปตสารละลาย แอล-ไทโรซีน ที่เตรียมได้ใส่ภาควงก ข.10 ปริมาตร 2.5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ปรับปริมาตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH ต่าง ๆ ตามต้องการ

ข.12 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณตัวอย่างด้วยวิธีเดิม สารละลายมาตรฐาน

ชั่งตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ที่บดละเอียดแล้วมา 50 mg ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนประมาณ 30 mL หยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 M จำนวน 40 หยด คนด้วยแท่งแก้วนาน 5 นาทีแล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรเป็น 50 mL



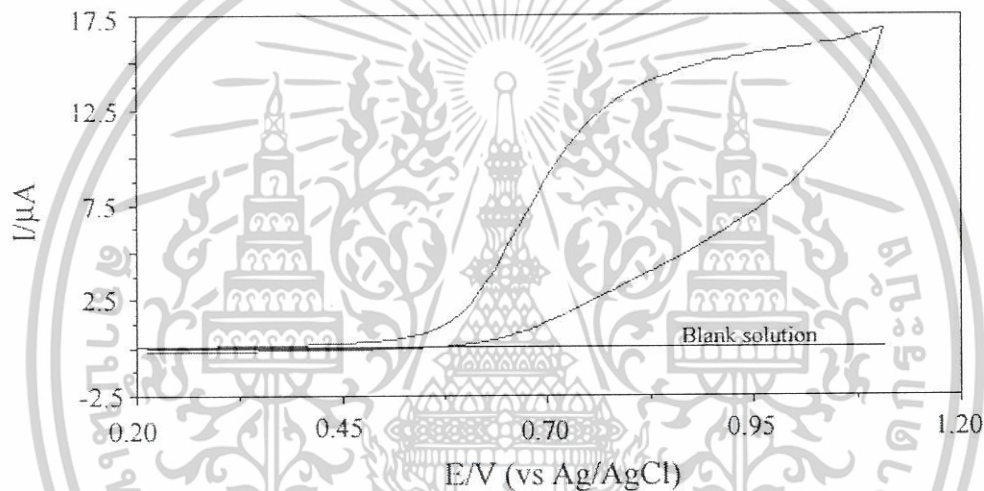
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลการทดลอง

ค.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสร้างขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

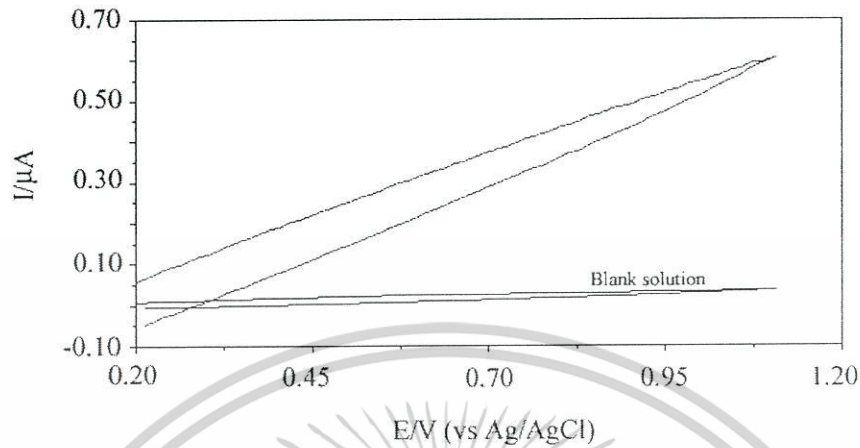
ค.1.1 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 1:2:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1 : 2 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

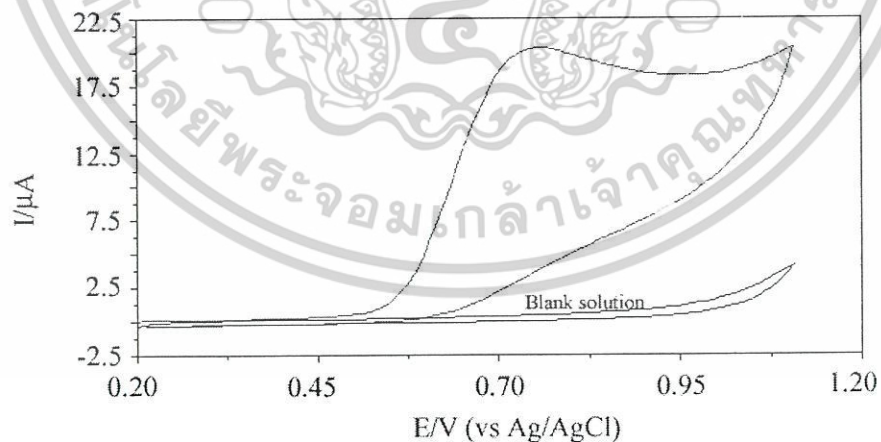
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5:2:1.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ใน สารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟลด์ที่ ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5 : 2 : 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

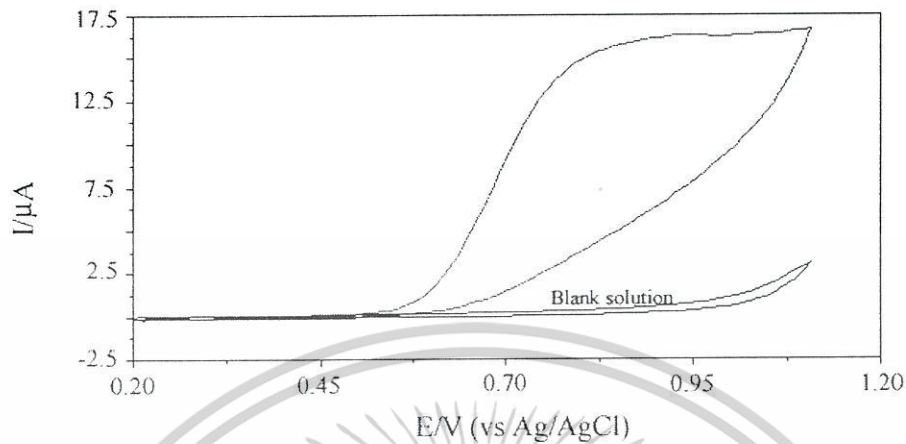
ค.1.3 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5:0.5:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ใน สารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเฟลด์ที่ ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5 : 0.5 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

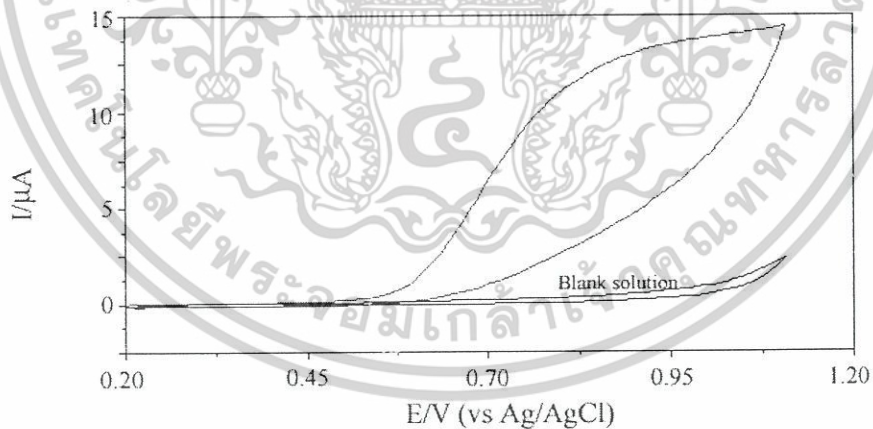
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.4 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 2:0.5:1.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 2 : 0.5 : 1.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

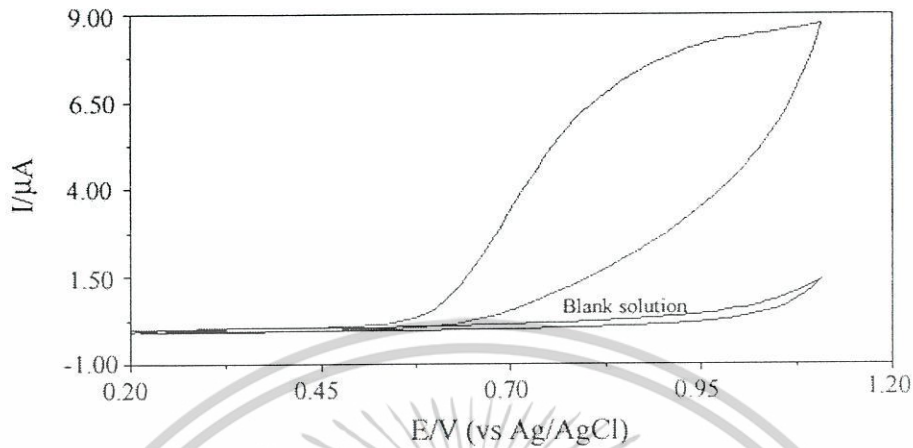
ค.1.5 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 2:1:2 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.5 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 2 : 1 : 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

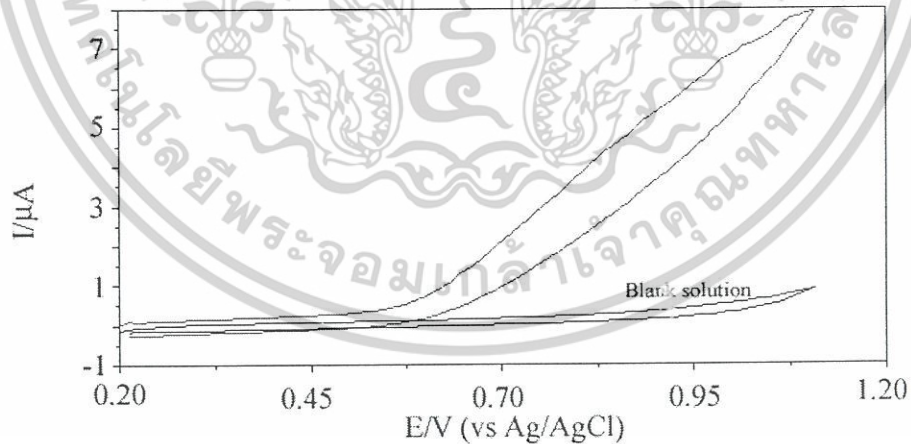
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.6 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5:2:2 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ใน สารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1.5 : 2 : 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

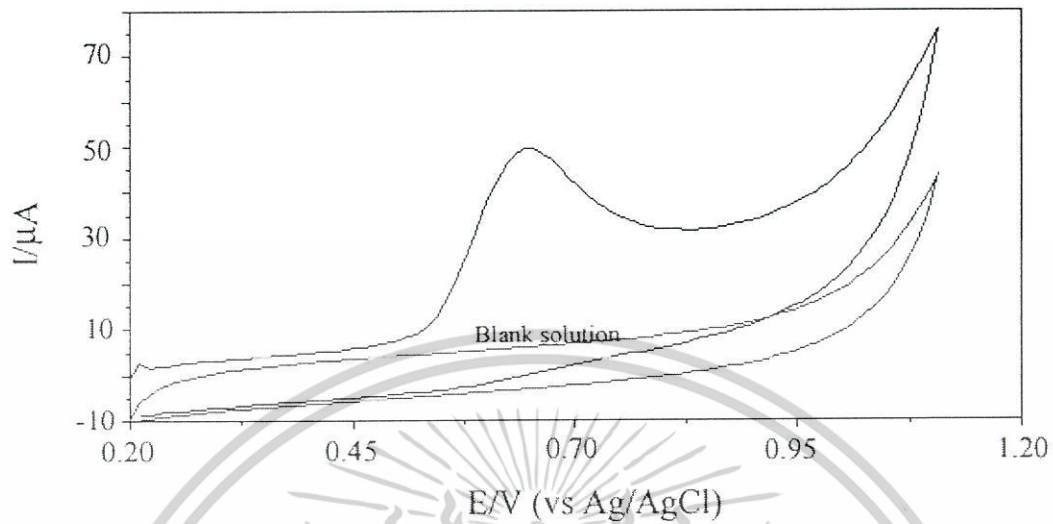
ค.1.7 อัตราส่วนระหว่างผงกราฟไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5:1.5:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.7 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ใน สารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพลัสต์ที่ ประกอบด้วยปริมาณผงกราฟไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 0.5 : 1.5 : 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.8 อัตราส่วนระหว่างผงกราไฟต์ต่อบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันพาราฟิน เป็น 1:1:1 โดยน้ำหนักตามลำดับ



รูปที่ ค.8 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายแอล-ไทโรซีนความเข้มข้น 0.55 mM ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ประกอบด้วยปริมาณผงกราไฟต์ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและน้ำมันพาราฟิน เป็น 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนักตามลำดับ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ค.2 สภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายแอล-ไทโรซีน

ค.2.1 ค่า pH ของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม ตารางที่ ค.1 ผลของตำแหน่งศักย์และกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH ต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

pH	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
2.0	0.986	0.986 ± 0.00100	54.31	54.29 ± 0.61025
	0.987		53.67	
	0.985		54.89	
3.0	0.978	0.978 ± 0.00000	52.78	53.67 ± 0.81835
	0.978		53.84	
	0.978		54.39	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

pH	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
4.0	0.935	0.935 ± 0.00000	52.46	51.47 ± 0.50507
	0.935		52.98	
	0.935		51.97	
5.0	0.876	0.875 ± 0.00361	48.79	49.13 ± 0.86186
	0.878		50.11	
	0.871		48.49	
6.0	0.794	0.794 ± 0.00100	51.76	52.15 ± 0.48128
	0.795		52.01	
	0.793		52.69	
7.0	0.734	0.734 ± 0.00000	55.43	55.80 ± 0.32393
	0.734		56.01	
	0.734		55.97	
8.0	0.655	0.653 ± 0.00173	26.99	26.99 ± 0.42501
	0.652		26.57	
	0.652		27.42	

ค.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ที่เหมาะสม

ตารางที่ ค.2 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ความเข้มข้นของ สารละลายฟอสเฟต บัพเฟอร์ (M)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.010	0.764	0.765 ± 0.00115	32.50	32.54 ± 0.03606
	0.766		32.57	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 0.764 ใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

ความเข้มข้นของ สารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (M)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.025	0.724	0.724 ± 0.00058	34.75	34.79 ± 0.04583
	0.724		34.78	
	0.725		34.84	
0.050	0.673	0.673 ± 0.00000	39.36	39.32 ± 0.07810
	0.673		39.23	
	0.673		39.37	
0.075	0.673	0.672 ± 0.00115	41.18	41.14 ± 0.06083
	0.671		41.17	
	0.673		41.07	
0.100	0.653	0.653 ± 0.00058	42.19	42.19 ± 0.02000
	0.653		42.17	
	0.654		42.21	
0.250	0.663	0.663 ± 0.00000	43.23	43.21 ± 0.02646
	0.663		43.18	
	0.663		43.22	
0.500	0.633	0.633 ± 0.00000	46.64	46.60 ± 0.06083
	0.633		46.53	
	0.633		46.63	

ค.2.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสม

ตารางที่ ค.3 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิบัติการออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

อัตราการ สแกน (V/s)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.01	0.643	0.643 ± 0.00000	10.84	10.28 ± 0.02646
	0.643		10.83	
	0.643		10.79	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

อัตราการสแกน (V/s)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.05	0.724	0.724 ± 0.00000	21.01	21.06 ± 0.05000
	0.724		21.11	
	0.724		21.06	
0.10	0.743	0.744 ± 0.00100	27.73	27.75 ± 0.02000
	0.744		27.75	
	0.745		27.77	
0.20	0.744	0.744 ± 0.00200	45.04	45.08 ± 0.03464
	0.746		45.10	
	0.742		45.10	
0.30	0.824	0.824 ± 0.00000	65.57	65.57 ± 0.02000
	0.824		65.55	
	0.824		65.59	
0.40	0.824	0.824 ± 0.00000	77.33	77.32 ± 0.01000
	0.824		77.32	
	0.824		77.31	
0.50	0.834	0.835 ± 0.00173	82.88	82.86 ± 0.02000
	0.834		82.86	
	0.837		82.84	
0.60	0.854	0.855 ± 0.00173	92.35	92.37 ± 0.02000
	0.854		92.37	
	0.857		92.39	
0.80	0.914	0.915 ± 0.00100	102.93	102.90 ± 0.03000
	0.916		102.87	
	0.915		102.90	
0.90	0.916	0.915 ± 0.00265	107.48	107.50 ± 0.02000
	0.917		107.52	
	0.912		107.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.4 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอล-ไทโรซีน

ตารางที่ ค.4 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ขั้วไฟฟ้าทำงาน	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
กราไฟต์	0.653	0.653 ± 0.00000	5.083	5.081 ± 0.00173
	0.653		5.08	
	0.653		5.08	
กลาสคาร์บอน	0.663	0.663 ± 0.00000	4.116	4.118 ± 0.00265
	0.663		4.117	
	0.663		4.121	
คาร์บอนเพสต์	0.653	0.653 ± 0.00000	12.91	12.930 ± 0.01732
	0.653		12.94	
	0.653		12.94	
คาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วย บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	0.622	0.623 ± 0.00100	43.35	43.370 ± 0.01732
	0.623		43.38	
	0.624		43.38	

ค.3 สมบัติของขั้วทำงาน

ค.3.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์

ค.3.1.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์

ตารางที่ ค.5 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5.52×10^{-3}	0.635	0.635 ± 0.0020	0.00104	0.001059 ± 0.00002
	0.633		0.00105	
	0.637		0.00109	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.03	0.635	0.635 ± 0.0010	0.00120	0.001221 ± 0.00002
	0.636		0.00122	
	0.634		0.00124	
0.06	0.636	0.635 ± 0.0017	0.02886	0.02832 ± 0.00008
	0.636		0.02883	
	0.633		0.02871	
0.11	0.635	0.635 ± 0.0000	0.06027	0.06030 ± 0.00003
	0.635		0.06033	
	0.635		0.06030	
0.17	0.635	0.635 ± 0.0000	0.08095	0.08096 ± 0.00003
	0.635		0.08099	
	0.635		0.08094	
0.22	0.635	0.633 ± 0.0026	0.10669	0.10673 ± 0.00006
	0.634		0.10670	
	0.630		0.10680	
0.28	0.633	0.633 ± 0.0000	0.11889	0.11893 ± 0.00005
	0.633		0.11892	
	0.633		0.11898	
0.33	0.633	0.633 ± 0.0010	0.13954	0.14957 ± 0.00004
	0.632		0.13955	
	0.634		0.13962	
0.39	0.633	0.633 ± 0.0000	0.16579	0.16577 ± 0.00003
	0.633		0.16573	
	0.633		0.16579	
0.44	0.632	0.633 ± 0.0010	0.17651	0.17647 ± 0.00005
	0.633		0.17642	
	0.634		0.17648	
0.50	0.633	0.633 ± 0.0000	0.19723	0.18497 ± 0.00003
	0.633		0.19718	
	0.633		0.19719	
0.55	0.632	0.633 ± 0.0017	0.21727	0.20733 ± 0.00005
	0.632		0.21736	
	0.635		0.21736	
0.83	0.632	0.633 ± 0.0010	0.29137	0.31310 ± 0.00004
	0.633		0.29130	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1.10	0.623	0.623 ± 0.0010	0.33028	0.33030 ± 0.00003
	0.622		0.33033	
	0.624		0.33029	
1.38	0.623	0.623 ± 0.0000	0.38069	0.44070 ± 0.00003
	0.623		0.38074	
	0.623		0.38070	
1.66	0.623	0.623 ± 0.0010	0.42377	0.47380 ± 0.00003
	0.622		0.42383	
	0.624		0.42380	

ค.3.1.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

ตารางที่ ค.6 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5.52×10^{-3}	0.636	0.636 ± 0.0100	0.001021	0.001023 ± 0.000002
	0.626		0.001025	
	0.646		0.001023	
0.03	0.626	0.615 ± 0.0115	0.001043	0.001059 ± 0.000015
	0.616		0.001062	
	0.603		0.001072	
0.06	0.623	0.633 ± 0.0265	0.03021	0.03011 ± 0.000087
	0.613		0.03007	
	0.663		0.03005	
0.11	0.613	0.613 ± 0.0000	0.05169	0.05173 ± 0.000035
	0.613		0.05175	
	0.613		0.05175	
0.17	0.623	0.613 ± 0.0100	0.07110	0.07105 ± 0.000070
	0.613		0.07108	
	0.603		0.07097	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.22	0.613	0.613 ± 0.0000	0.07889	0.07893 ± 0.000046
	0.613		0.07898	
	0.613		0.07892	
0.28	0.613	0.613 ± 0.0100	0.10777	0.10771 ± 0.000053
	0.623		0.10769	
	0.603		0.10767	
0.33	0.613	0.613 ± 0.0030	0.12361	0.12357 ± 0.000046
	0.616		0.12352	
	0.610		0.12358	
0.39	0.624	0.613 ± 0.0110	0.14276	0.14280 ± 0.000036
	0.613		0.14281	
	0.602		0.14283	
0.44	0.616	0.603 ± 0.0130	0.15230	0.15227 ± 0.000079
	0.603		0.15233	
	0.590		0.15218	
0.50	0.623	0.613 ± 0.0182	0.16366	0.16363 ± 0.000098
	0.624		0.16352	
	0.592		0.16371	
0.55	0.626	0.618 ± 0.0092	0.17987	0.17983 ± 0.000078
	0.608		0.17988	
	0.620		0.17974	
0.83	0.616	0.618 ± 0.0092	0.22217	0.22220 ± 0.000052
	0.628		0.22226	
	0.610		0.22217	
0.10	0.626	0.618 ± 0.0156	0.28491	0.28500 ± 0.000115
	0.628		0.28513	
	0.600		0.28496	
1.38	0.612	0.603 ± 0.0082	0.30737	0.30740 ± 0.000026
	0.601		0.30742	
	0.596		0.30741	
1.66	0.619	0.618 ± 0.0095	0.31784	0.31790 ± 0.000053
	0.608		0.31794	
	0.627		0.31792	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3.1.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

ตารางที่ ค.7 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5.52×10^{-3}	0.628	0.628 ± 0.0100	0.0073	0.0067 ± 0.0008
	0.618		0.0070	
	0.638		0.0058	
0.03	0.623	0.623 ± 0.0010	0.0323	0.0334 ± 0.0010
	0.622		0.0338	
	0.624		0.0341	
0.06	0.621	0.623 ± 0.0026	0.0604	0.0598 ± 0.0006
	0.622		0.0592	
	0.626		0.0598	
0.11	0.622	0.623 ± 0.0010	0.1317	0.1320 ± 0.0005
	0.623		0.1326	
	0.624		0.1317	
0.17	0.633	0.633 ± 0.0000	0.1693	0.1681 ± 0.0014
	0.633		0.1684	
	0.633		0.1666	
0.22	0.643	0.643 ± 0.0100	0.2102	0.2093 ± 0.0011
	0.633		0.2096	
	0.653		0.2081	
0.28	0.644	0.643 ± 0.0017	0.2319	0.2325 ± 0.0007
	0.641		0.2323	
	0.644		0.2333	
0.33	0.664	0.663 ± 0.0036	0.2713	0.2703 ± 0.0013
	0.666		0.2708	
	0.659		0.2688	
0.39	0.656	0.653 ± 0.0026	0.3518	0.3510 ± 0.0011
	0.652		0.3514	
	0.651		0.3498	
0.44	0.655	0.653 ± 0.0101	0.3540	0.3546 ± 0.0005
	0.642		0.3549	
	0.662		0.3549	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.50	0.653	0.653 ± 0.0020	0.3795	0.3790 ± 0.0004
	0.655		0.3788	
	0.651		0.3787	
0.55	0.653	0.653 ± 0.0100	0.4351	0.4339 ± 0.0010
	0.643		0.4334	
	0.663		0.4332	
0.83	0.644	0.648 ± 0.0040	0.4912	0.4902 ± 0.0013
	0.648		0.4907	
	0.652		0.4887	
1.10	0.642	0.643 ± 0.0010	0.5349	0.5341 ± 0.0012
	0.644		0.5347	
	0.643		0.5327	
1.38	0.661	0.663 ± 0.0111	0.6028	0.6023 ± 0.0004
	0.653		0.6021	
	0.675		0.6020	
1.66	0.684	0.683 ± 0.0010	0.6505	0.6997 ± 0.0011
	0.683		0.6501	
	0.682		0.6485	

ค.3.1.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ตารางที่ ค.8 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายแอล-ไทโรซีน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5.52×10^{-3}	0.633	0.628 ± 0.0050	0.0169	0.0165 ± 0.0011
	0.628		0.0153	
	0.623		0.0173	
0.03	0.622	0.623 ± 0.0017	0.0375	0.0368 ± 0.0007
	0.622		0.0367	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.06	0.633	0.623 ± 0.0200	0.1165	0.1174 ± 0.0012
	0.636		0.1169	
	0.600		0.1188	
0.11	0.626	0.623 ± 0.0030	0.1895	0.1909 ± 0.0019
	0.623		0.1902	
	0.620		0.1930	
0.17	0.622	0.623 ± 0.0017	0.2696	0.2690 ± 0.0004
	0.622		0.2689	
	0.625		0.2690	
0.22	0.666	0.653 ± 0.0089	0.2832	0.2823 ± 0.0012
	0.653		0.2828	
	0.670		0.2809	
0.28	0.663	0.663 ± 0.0090	0.3216	0.3212 ± 0.0005
	0.654		0.3207	
	0.672		0.3213	
0.33	0.653	0.643 ± 0.0100	0.4247	0.4240 ± 0.0006
	0.633		0.4237	
	0.643		0.4236	
0.39	0.653	0.653 ± 0.0100	0.4688	0.4691 ± 0.0003
	0.663		0.4693	
	0.643		0.4692	
0.44	0.655	0.653 ± 0.0161	0.4856	0.4847 ± 0.0010
	0.636		0.4848	
	0.668		0.4837	
0.50	0.653	0.653 ± 0.0100	0.5681	0.5675 ± 0.0008
	0.663		0.5678	
	0.643		0.5666	
0.55	0.655	0.653 ± 0.0141	0.5943	0.5934 ± 0.0017
	0.666		0.5945	
	0.638		0.5914	
0.83	0.638	0.648 ± 0.0132	0.6649	0.6653 ± 0.0005
	0.663		0.6659	
	0.643		0.6651	
1.10	0.644	0.643 ± 0.0066	0.7004	0.7012 ± 0.0017
	0.636		0.7001	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

ความเข้มข้น (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1.38	0.666	0.663 ± 0.0256	0.7709	0.7713 ± 0.0006
	0.636		0.7720	
	0.687		0.7710	
1.66	0.683	0.683 ± 0.0200	0.8149	0.8142 ± 0.0007
	0.663		0.8136	
	0.703		0.8141	

ค. 3.2 อายุการใช้งานของขั้วทำงานที่สร้างขึ้น

ค.3.2.1 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

ตารางที่ ค.9 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.613	0.603 ± 0.0100	19.77	19.73 ± 0.0458
	0.603		19.68	
	0.593		19.74	
2	0.623	0.633 ± 0.0255	19.66	19.69 ± 0.0985
	0.614		19.61	
	0.662		19.80	
3	0.644	0.643 ± 0.0085	19.61	19.52 ± 0.1082
	0.634		19.55	
	0.651		19.4	
4	0.663	0.673 ± 0.0100	19.93	19.52 ± 0.4882
	0.673		19.65	
	0.683		18.98	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ)

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.667	0.673 ± 0.0207	19.45	19.30 ± 0.1803
	0.656		19.35	
	0.696		19.1	
6	0.686	0.683 ± 0.0089	19.36	19.21 ± 0.1308
	0.673		19.12	
	0.690		19.15	
7	0.662	0.683 ± 0.0182	19.27	19.20 ± 0.0755
	0.693		19.12	
	0.694		19.21	
8	0.661	0.683 ± 0.0191	19.11	19.16 ± 0.1136
	0.693		19.08	
	0.695		19.29	
9	0.688	0.683 ± 0.0062	19.22	19.16 ± 0.0794
	0.685		19.19	
	0.676		19.07	
10	0.656	0.663 ± 0.0243	19.13	19.15 ± 0.0265
	0.643		19.14	
	0.690		19.18	
11	0.643	0.643 ± 0.0110	19.2	19.03 ± 0.2606
	0.653		19.16	
	0.633		18.73	
12	0.653	0.663 ± 0.0265	19.07	18.99 ± 0.0800
	0.643		18.99	
	0.693		18.91	
13	0.687	0.683 ± 0.0125	18.97	18.91 ± 0.0794
	0.669		18.94	
	0.693		18.82	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ)

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
14	0.686	0.683 ± 0.0098	19.11	19.07 ± 0.0458
	0.672		19.02	
	0.691		19.08	
15	0.643	0.633 ± 0.0100	19.09	19.12 ± 0.0361
	0.623		19.16	
	0.633		19.11	

ค.3.2.1 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน

ตารางที่ ค.10 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไฮโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.653	0.653 ± 0.0090	39.77	39.72 ± 0.0624
	0.644		39.74	
	0.662		39.65	
2	0.663	0.673 ± 0.0111	39.66	39.64 ± 0.0173
	0.671		39.63	
	0.685		39.63	
3	0.673	0.683 ± 0.0087	39.58	39.55 ± 0.0361
	0.688		39.56	
	0.688		39.51	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ)

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
4	0.663	0.673 ± 0.0100	39.54	39.52 ± 0.0436
	0.673		39.55	
	0.683		39.47	
5	0.666	0.673 ± 0.0070	39.50	39.49 ± 0.0265
	0.673		39.51	
	0.680		39.46	
6	0.673	0.673 ± 0.0100	39.46	39.43 ± 0.0361
	0.663		39.44	
	0.683		39.39	
7	0.683	0.694 ± 0.0149	39.42	39.41 ± 0.0100
	0.688		39.40	
	0.711		39.41	
8	0.693	0.694 ± 0.0115	39.38	39.37 ± 0.0265
	0.683		39.39	
	0.706		39.34	
9	0.688	0.683 ± 0.0087	39.33	39.36 ± 0.0436
	0.673		39.34	
	0.688		39.41	
10	0.663	0.673 ± 0.0089	39.28	39.26 ± 0.0200
	0.676		39.24	
	0.680		39.26	
11	0.673	0.683 ± 0.0087	39.23	39.22 ± 0.0173
	0.688		39.20	
	0.688		39.23	
12	0.676	0.683 ± 0.0070	39.20	39.19 ± 0.0265
	0.683		39.21	
	0.690		39.16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ)

เวลา (สัปดาห์)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
13	0.666	0.673 ± 0.0061	39.16	39.11 ± 0.0436
	0.676		39.08	
	0.677		39.09	
14	0.693	0.694 ± 0.0115	39.26	39.23 ± 0.0265
	0.683		39.21	
	0.706		39.22	
15	0.686	0.683 ± 0.0061	39.21	39.14 ± 0.0889
	0.676		39.17	
	0.687		39.04	

ค. 3.3 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

ค. 3.3.1 ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์

ตารางที่ ค. 11 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.643	0.643 ± 0.0010	6.212	6.215 ± 0.003
	0.644		6.217	
	0.642		6.216	
2	0.644	0.643 ± 0.0105	6.222	6.221 ± 0.004
	0.653		6.224	
	0.632		6.217	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
3	0.643	0.643 ± 0.0000	6.287	6.289 ± 0.002
	0.643		6.29	
	0.643		6.290	
4	0.632	0.633 ± 0.0010	6.077	6.075 ± 0.007
	0.633		6.081	
	0.634		6.067	
5	0.644	0.643 ± 0.0010	5.995	5.998 ± 0.004
	0.643		6.002	
	0.642		5.997	
6	0.631	0.633 ± 0.0020	6.234	6.237 ± 0.008
	0.633		6.231	
	0.635		6.246	
7	0.630	0.633 ± 0.0044	6.266	6.262 ± 0.004
	0.631		6.259	
	0.638		6.261	
8	0.653	0.653 ± 0.0000	6.277	6.279 ± 0.003
	0.653		6.283	
	0.653		6.277	
9	0.644	0.643 ± 0.0017	6.041	6.044 ± 0.004
	0.644		6.048	
	0.641		6.043	
10	0.642	0.643 ± 0.0010	6.288	6.283 ± 0.004
	0.643		6.281	
	0.644		6.280	
11	0.644	0.643 ± 0.0026	6.144	6.145 ± 0.002
	0.645		6.147	
	0.640		6.144	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
12	0.643	$0.633 \pm$	6.211	6.206 ± 0.005
	0.633	0.0100	6.201	
	0.623		6.206	
13	0.623	$0.623 \pm$	6.189	6.184 ± 0.008
	0.623	0.0000	6.188	
	0.623		6.175	
14	0.633	$0.633 \pm$	6.235	6.233 ± 0.002
	0.633	0.0000	6.233	
	0.633		6.231	
15	0.644	$0.643 \pm$	6.044	6.042 ± 0.006
	0.644	0.0017	6.047	
	0.641		6.035	
16	0.644	$0.642 \pm$	6.034	6.037 ± 0.003
	0.643	0.0026	6.039	
	0.639		6.038	
17	0.633	$0.632 \pm$	6.123	6.127 ± 0.004
	0.633	0.0017	6.131	
	0.630		6.127	
18	0.632	$0.632 \pm$	5.929	5.921 ± 0.012
	0.631	0.0010	5.927	
	0.633		5.907	
19	0.633	$0.633 \pm$	6.039	6.040 ± 0.004
	0.633	0.0000	6.044	
	0.633		6.037	
20	0.633	$0.633 \pm$	6.010	6.006 ± 0.006
	0.632	0.0010	5.999	
	0.634		6.009	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
21	0.632	0.632 ± 0.0000	5.989	5.981 ± 0.016
	0.632		5.991	
	0.632		5.963	
22	0.632	0.633 ± 0.0010	6.199	6.195 ± 0.019
	0.634		6.212	
	0.633		6.174	
23	0.644	0.643 ± 0.0010	5.818	5.800 ± 0.024
	0.643		5.809	
	0.642		5.773	
24	0.643	0.643 ± 0.0010	6.288	6.281 ± 0.006
	0.642		6.279	
	0.644		6.276	
25	0.634	0.633 ± 0.0010	5.811	5.806 ± 0.007
	0.633		5.809	
	0.632		5.798	
26	0.634	0.632 ± 0.0035	5.987	5.980 ± 0.013
	0.634		5.988	
	0.628		5.965	
27	0.634	0.632 ± 0.0026	5.979	5.978 ± 0.007
	0.633		5.971	
	0.629		5.984	
28	0.633	0.633 ± 0.0010	6.199	6.191 ± 0.016
	0.634		6.201	
	0.632		6.173	
29	0.639	0.642 ± 0.0026	6.227	6.221 ± 0.005
	0.644		6.217	
	0.643		6.219	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
30	0.644	0.643 ± 0.0010	6.249	6.258 ± 0.012
	0.643		6.253	
	0.642		6.272	
ผลรวม	-	19.123	-	183.5350
ค่าเฉลี่ย	-	0.637	-	6.1178
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0064	-	0.1413
% RSD	-	1.0047	-	2.3097

ค. 3.3.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน

ตารางที่ ค. 12 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.654	0.653 ± 0.0026	5.211	5.209 ± 0.002
	0.655		5.207	
	0.65		5.209	
2	0.655	0.653 ± 0.0020	5.256	5.259 ± 0.007
	0.653		5.255	
	0.651		5.267	
3	0.643	0.643 ± 0.0000	5.222	5.225 ± 0.003
	0.643		5.227	
	0.643		5.226	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
4	0.643	0.644 \pm 0.0010	5.223	5.219 \pm 0.004
	0.645		5.216	
	0.644		5.218	
5	0.653	0.654 \pm 0.0115	5.246	5.241 \pm 0.007
	0.643		5.244	
	0.666		5.233	
6	0.653	0.652 \pm 0.0036	5.197	5.194 \pm 0.003
	0.655		5.193	
	0.648		5.192	
7	0.643	0.653 \pm 0.0173	5.110	5.114 \pm 0.005
	0.643		5.119	
	0.673		5.113	
8	0.653	0.653 \pm 0.0100	5.277	5.273 \pm 0.003
	0.643		5.271	
	0.663		5.271	
9	0.644	0.643 \pm 0.0010	5.197	5.195 \pm 0.002
	0.643		5.193	
	0.642		5.195	
10	0.642	0.643 \pm 0.0010	5.199	5.196 \pm 0.005
	0.644		5.199	
	0.643		5.190	
11	0.654	0.653 \pm 0.0085	5.134	5.137 \pm 0.003
	0.644		5.139	
	0.661		5.138	
12	0.653	0.653 \pm 0.0100	5.207	5.202 \pm 0.004
	0.643		5.199	
	0.663		5.200	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
13	0.633	0.643 ± 0.0173	5.247	5.250 ± 0.003
	0.633		5.253	
	0.663		5.250	
14	0.655	0.653 ± 0.0191	5.197	5.192 ± 0.008
	0.633		5.196	
	0.671		5.183	
15	0.653	0.652 ± 0.0095	5.144	5.146 ± 0.004
	0.642		5.143	
	0.661		5.151	
16	0.653	0.653 ± 0.0090	5.144	5.140 ± 0.007
	0.644		5.144	
	0.662		5.132	
17	0.655	0.653 ± 0.0017	5.211	5.215 ± 0.004
	0.652		5.219	
	0.652		5.215	
18	0.653	0.653 ± 0.0000	5.210	5.208 ± 0.003
	0.653		5.204	
	0.653		5.210	
19	0.643	0.653 ± 0.0173	5.264	5.269 ± 0.006
	0.643		5.267	
	0.673		5.276	
20	0.642	0.642 ± 0.0000	5.189	5.186 ± 0.004
	0.642		5.188	
	0.642		5.181	
21	0.644	0.653 ± 0.0165	5.226	5.222 ± 0.004
	0.643		5.219	
	0.672		5.221	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
22	0.643	0.643 ± 0.0100	5.222	5.219 ± 0.005
	0.653		5.213	
	0.633		5.222	
23	0.655	0.653 ± 0.0020	5.161	5.159 ± 0.002
	0.653		5.157	
	0.651		5.159	
24	0.652	0.653 ± 0.0105	5.153	5.157 ± 0.005
	0.643		5.163	
	0.664		5.155	
25	0.663	0.652 ± 0.0191	5.266	5.259 ± 0.008
	0.663		5.261	
	0.63		5.250	
26	0.643	0.653 ± 0.0100	5.232	5.228 ± 0.012
	0.663		5.237	
	0.653		5.215	
27	0.632	0.642 ± 0.0100	5.229	5.231 ± 0.004
	0.652		5.236	
	0.642		5.228	
28	0.643	0.643 ± 0.0100	5.293	5.286 ± 0.008
	0.653		5.288	
	0.633		5.277	
29	0.633	0.653 ± 0.0173	5.274	5.271 ± 0.008
	0.663		5.277	
	0.663		5.262	
30	0.643	0.653 ± 0.0100	5.149	5.146 ± 0.004
	0.663		5.142	
	0.653		5.147	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
ผลรวม	-	19.497	-	156.2484
ค่าเฉลี่ย	-	0.650	-	5.2083
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0047	-	0.0456
% RSD	-	0.7231	-	0.8755

ค. 3.3.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์

ตารางที่ ค. 13 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.643	0.643 \pm 0.0010	14.66	14.64 \pm 0.092
	0.644		14.72	
	0.642		14.54	
2	0.654	0.653 \pm 0.0010	15.53	15.47 \pm 0.072
	0.653		15.49	
	0.652		15.39	
3	0.655	0.653 \pm 0.0111	15.92	15.86 \pm 0.072
	0.663		15.88	
	0.641		15.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
4	0.644	0.643 ± 0.0205	16.21	16.18 ± 0.061
	0.663		16.22	
	0.622		16.11	
5	0.653	0.653 ± 0.0100	16.17	16.14 ± 0.089
	0.663		16.21	
	0.643		16.04	
6	0.663	0.643 ± 0.0265	16.13	16.09 ± 0.035
	0.653		16.07	
	0.613		16.07	
7	0.655	0.653 ± 0.0092	15.83	15.87 ± 0.046
	0.643		15.92	
	0.661		15.86	
8	0.652	0.652 ± 0.0090	15.84	15.72 ± 0.151
	0.643		15.77	
	0.661		15.55	
9	0.643	0.653 ± 0.0118	15.88	15.83 ± 0.132
	0.666		15.93	
	0.65		15.68	
10	0.653	0.653 ± 0.0100	16.33	16.28 ± 0.056
	0.643		16.29	
	0.663		16.22	
11	0.653	0.653 ± 0.0100	16.24	16.16 ± 0.085
	0.643		16.17	
	0.663		16.07	
12	0.663	0.643 ± 0.0265	16.39	16.34 ± 0.044
	0.653		16.32	
	0.613		16.31	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
13	0.654	0.644 ± 0.0100	16.33	16.28 ± 0.095
	0.644		16.17	
	0.634		16.34	
14	0.644	0.643 ± 0.0205	15.97	15.91 ± 0.122
	0.663		15.99	
	0.622		15.77	
15	0.653	0.653 ± 0.0100	15.79	15.80 ± 0.036
	0.643		15.77	
	0.663		15.84	
16	0.652	0.652 ± 0.0010	15.83	15.77 ± 0.072
	0.653		15.79	
	0.651		15.69	
17	0.663	0.653 ± 0.0100	16.36	16.27 ± 0.079
	0.653		16.24	
	0.643		16.21	
18	0.653	0.643 ± 0.0100	16.32	16.35 ± 0.052
	0.643		16.41	
	0.633		16.32	
19	0.643	0.653 ± 0.0100	16.09	16.00 ± 0.079
	0.653		15.97	
	0.663		15.94	
20	0.643	0.643 ± 0.0100	16.14	16.12 ± 0.062
	0.653		16.17	
	0.633		16.05	
21	0.644	0.643 ± 0.0010	16.35	16.38 ± 0.030
	0.643		16.41	
	0.642		16.38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
22	0.643	0.643 ± 0.0200	16.91	16.84 ± 0.082
	0.663		16.86	
	0.623		16.75	
23	0.653	0.653 ± 0.0100	16.63	16.67 ± 0.087
	0.663		16.61	
	0.643		16.77	
24	0.653	0.652 ± 0.0010	16.44	16.40 ± 0.035
	0.652		16.38	
	0.651		16.38	
25	0.652	0.653 ± 0.0095	16.14	16.11 ± 0.098
	0.663		16.19	
	0.644		16.00	
26	0.663	0.652 ± 0.0105	16.22	16.28 ± 0.066
	0.642		16.27	
	0.651		16.35	
27	0.654	0.654 ± 0.0100	16.11	16.07 ± 0.035
	0.644		16.05	
	0.664		16.05	
28	0.653	0.653 ± 0.0100	16.55	16.57 ± 0.053
	0.663		16.53	
	0.643		16.63	
29	0.662	0.652 ± 0.0100	16.54	16.53 ± 0.066
	0.652		16.59	
	0.642		16.46	
30	0.633	0.653 ± 0.0173	16.77	16.78 ± 0.075
	0.663		16.71	
	0.663		16.86	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
ผลรวม	-	19.487	-	483.7100
ค่าเฉลี่ย	-	0.650	-	16.1237
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0047	-	0.4256
% RSD	-	0.7231	-	2.6396

ค. 3.3.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ตารางที่ ค. 14 ผลของกระแสที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย 0.55 mM แอล-ไทโรซีน ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.644	0.643 \pm 0.0036	46.36	46.30 \pm 0.056
	0.646		46.29	
	0.639		46.25	
2	0.643	0.643 \pm 0.0100	43.39	43.35 \pm 0.046
	0.653		43.36	
	0.633		43.30	
3	0.653	0.643 \pm 0.0265	42.22	42.20 \pm 0.082
	0.663		42.27	
	0.613		42.11	
4	0.663	0.643 \pm 0.0195	45.11	45.09 \pm 0.020
	0.642		45.07	
	0.624		45.09	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.653	0.653 ± 0.0100	42.88	42.89 ± 0.066
	0.643		42.83	
	0.663		42.96	
6	0.653	0.643 ± 0.0173	43.67	43.60 ± 0.096
	0.623		43.64	
	0.653		43.49	
7	0.633	0.653 ± 0.0265	42.04	42.01 ± 0.026
	0.643		41.99	
	0.683		42.00	
8	0.655	0.653 ± 0.0111	43.41	43.44 ± 0.044
	0.663		43.49	
	0.641		43.42	
9	0.643	0.643 ± 0.0010	43.11	43.08 ± 0.030
	0.644		43.05	
	0.642		43.08	
10	0.633	0.653 ± 0.0200	43.01	43.06 ± 0.095
	0.653		43.17	
	0.673		43.00	
11	0.653	0.653 ± 0.0100	42.23	42.19 ± 0.036
	0.663		42.16	
	0.643		42.18	
12	0.652	0.653 ± 0.0010	46.09	46.01 ± 0.069
	0.653		45.97	
	0.654		45.97	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
13	0.663	0.653 ± 0.0191	43.11	43.09 ± 0.092
	0.665		42.99	
	0.631		43.17	
14	0.652	0.653 ± 0.0010	42.14	42.10 ± 0.036
	0.653		42.09	
	0.654		42.07	
15	0.663	0.653 ± 0.0100	45.58	45.61 ± 0.044
	0.643		45.66	
	0.653		45.59	
16	0.642	0.653 ± 0.0110	46.01	46.06 ± 0.056
	0.653		46.12	
	0.664		46.05	
17	0.653	0.653 ± 0.0020	44.74	44.75 ± 0.036
	0.655		44.79	
	0.651		44.72	
18	0.663	0.653 ± 0.0100	44.88	44.85 ± 0.026
	0.653		44.83	
	0.643		44.84	
19	0.653	0.653 ± 0.0100	46.31	46.24 ± 0.089
	0.643		46.27	
	0.663		46.14	
20	0.641	0.653 ± 0.0111	44.53	44.47 ± 0.052
	0.663		44.44	
	0.655		44.44	
21	0.652	0.653 ± 0.0105	46.55	46.52 ± 0.030
	0.643		46.49	
	0.664		46.52	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
22	0.643	0.653 ± 0.0100	44.22	44.16 ± 0.066
	0.663		44.17	
	0.653		44.09	
23	0.653	0.653 ± 0.0100	46.79	45.83 ± 0.975
	0.643		45.86	
	0.663		44.84	
24	0.642	0.653 ± 0.0182	44.21	44.18 ± 0.070
	0.643		44.23	
	0.674		44.10	
25	0.656	0.653 ± 0.0118	46.67	46.72 ± 0.044
	0.663		46.74	
	0.640		46.75	
26	0.655	0.653 ± 0.0101	44.81	44.86 ± 0.044
	0.662		44.88	
	0.642		44.89	
27	0.643	0.653 ± 0.0100	46.27	46.30 ± 0.036
	0.663		46.34	
	0.653		46.29	
28	0.653	0.653 ± 0.0100	46.29	46.32 ± 0.044
	0.643		46.37	
	0.663		46.30	
29	0.663	0.653 ± 0.0095	43.91	43.92 ± 0.066
	0.652		43.99	
	0.644		43.86	
30	0.652	0.653 ± 0.0095	44.81	44.78 ± 0.026
	0.663		44.76	
	0.644		44.77	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 14 (ต่อ)

ครั้งที่	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า (V)		กระแส (μA)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
ผลรวม	-	19.530	-	1333.9830
ค่าเฉลี่ย	-	0.651	-	44.4661
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.00407	-	1.5009
% RSD	-	0.6298	-	3.3754



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

สูตรการคำนวณและวิธีทำการทดสอบ

1. สร้างกราฟความสัมพันธ์ของการตรวจวัดสารในช่วงที่เป็นเส้นตรง นำผลการทดลองที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นกับปริมาณกระแสที่ตรวจวัดได้ จะได้กราฟเส้นตรง จากนั้นนำมาคำนวณหาความชันของกราฟ จากสมการ

$$Y = mX + c$$

เมื่อ	m	แทน	ความชันของเส้นกราฟ
	c	แทน	จุดตัดแกนตั้ง
	X	แทน	ความเข้มข้น
	Y	แทน	กระแส

2. เมื่อสามารถหาค่าความชันของเส้นกราฟได้แล้วนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (สารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0) มาวัดกระแสที่เลือกสัญญาณของกระแสพื้น 30 ค่า แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากแปลงค์

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

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

3. นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด

$$\text{ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ } (C_L) = \frac{3(S_B)}{m}$$

$$(3 \text{ คือค่า } k = \text{Confidence Level of } 99.86\% \text{ เมื่อ } (Y_L) \geq \bar{Y}_B + 3(S_B))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1 คำวนหาขีดจำกัดในการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ไฟฟ้าชีวกราฟไฟต์เป็นขั้วทำงาน

1. หาค่าความชันของกราฟ

ตารางที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในช่วงที่เป็นเส้นตรงกับกระแสที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl (ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.5, ค.6, ค.7 และ ค.8 ตามลำดับ)

ความเข้มข้น (mM)	กระแส (μA)			
	ขั้วไฟฟ้ากราฟไฟต์	ขั้วไฟฟ้ากลาสส์คาร์บอน	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน
0.0552	0.02832	0.03011	0.0890	0.1357
0.1104	0.06030	0.05173	0.1382	0.1997
0.1656	0.08096	0.07105	0.1632	0.2442
0.2208	0.10673	0.07893	0.1953	0.2722
0.2760	0.11893	0.10771	0.2255	0.3229
0.3311	0.14957	0.12357	0.2452	0.3746
0.3863	0.16577	0.14280	0.3113	0.4442
0.4415	0.17647	0.15227	0.3159	0.4883
0.4967	0.18497	0.16363	0.3239	0.5185
0.5519	0.20733	0.17983	0.3422	0.5688
ความชัน	0.3480	0.3014	0.7128	0.9513
จุดตัดแกนตั้ง	0.0223	0.0187	0.0427	0.0832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากแปลงค์
 ตารางที่ ง.2 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์
 pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วกราไฟต์เป็นขั้ว
 ทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ลำดับที่	กระแสพื้นที่ (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0.00018	0.00389	0.00371	0.00259 \pm 0.0021
2	0.00360	0.00426	0.00455	0.00414 \pm 0.0005
3	0.00430	0.00551	0.00546	0.00509 \pm 0.0007
4	0.00540	0.00206	0.00322	0.00356 \pm 0.0017
5	0.00200	0.00845	0.00371	0.00472 \pm 0.0033
6	0.00850	0.00316	0.00181	0.00449 \pm 0.0035
7	0.00301	0.00382	0.00377	0.00353 \pm 0.0005
8	0.00346	0.00183	0.00398	0.00309 \pm 0.0011
9	0.00323	0.00551	0.00335	0.00403 \pm 0.0013
10	0.00176	0.00331	0.00301	0.00269 \pm 0.0008
11	0.00392	0.00433	0.00455	0.00427 \pm 0.0003
12	0.00384	0.00448	0.00397	0.00410 \pm 0.0003
13	0.00392	0.00161	0.00319	0.00291 \pm 0.0012
14	0.00322	0.00242	0.00448	0.00337 \pm 0.0010
15	0.00307	0.00228	0.00440	0.00325 \pm 0.0011
16	0.00138	0.00178	0.00164	0.00160 \pm 0.0002
17	0.00453	0.00271	0.00259	0.00328 \pm 0.0011
18	0.00154	0.00166	0.00207	0.00176 \pm 0.0003
19	0.00245	0.00230	0.00294	0.00256 \pm 0.0003
20	0.00368	0.00522	0.00510	0.00467 \pm 0.0009
21	0.00233	0.00323	0.00309	0.00288 \pm 0.0005
22	0.00146	0.00355	0.00340	0.00280 \pm 0.0012
23	0.00521	0.00292	0.00280	0.00364 \pm 0.0014
24	0.00326	0.00334	0.00291	0.00317 \pm 0.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

ลำดับที่	กระแสไฟฟ้า (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
25	0.00326	0.00208	0.00110	0.00215 ± 0.0011
26	0.00326	0.00202	0.00173	0.00234 ± 0.0008
27	0.00107	0.00130	0.00250	0.00162 ± 0.0008
28	0.00326	0.00149	0.00090	0.00188 ± 0.0012
29	0.00087	0.00195	0.00208	0.00163 ± 0.0007
30	0.00161	0.00417	0.00258	0.00279 ± 0.0013
ผลรวม	-	-	-	0.09460
ค่าเฉลี่ย	-	-	-	0.00315
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	-	0.00099

ตารางที่ ง.3 สัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบิฟเฟอริ์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วกลาสลิคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ลำดับที่	กระแสไฟฟ้า (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0.00022	0.00178	0.00175	0.00125 ± 0.00089
2	0.00178	0.00117	0.00177	0.00157 ± 0.00035
3	0.00173	0.00189	0.00123	0.00162 ± 0.00034
4	0.00118	0.00111	0.00257	0.00162 ± 0.00082
5	0.00169	0.00178	0.00260	0.00202 ± 0.0005
6	0.00332	0.00117	0.00174	0.00208 ± 0.00111
7	0.00182	0.00181	0.00179	0.00181 ± 0.00002
8	0.00204	0.00323	0.00120	0.00216 ± 0.00102
9	0.00386	0.00194	0.00090	0.00223 ± 0.00150
10	0.00156	0.00206	0.00210	0.00191 ± 0.00030
11	0.00321	0.00322	0.00087	0.00243 ± 0.00135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 (ต่อ)

ลำดับที่	กระแสไฟ (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
12	0.00167	0.00148	0.00119	0.00145 ± 0.00024
13	0.00106	0.00255	0.00213	0.00191 ± 0.00077
14	0.00388	0.00273	0.00089	0.00250 ± 0.00151
15	0.00147	0.00289	0.00206	0.00214 ± 0.00071
16	0.00271	0.00257	0.00238	0.00255 ± 0.00017
17	0.00191	0.00265	0.00336	0.00264 ± 0.00073
18	0.00200	0.00282	0.00030	0.00171 ± 0.00129
19	0.00194	0.00208	0.00351	0.00251 ± 0.00087
20	0.00111	0.00111	0.00281	0.00168 ± 0.00098
21	0.00051	0.00086	0.00351	0.00163 ± 0.00164
22	0.00177	0.00202	0.00147	0.00175 ± 0.00028
23	0.00239	0.00205	0.00260	0.00235 ± 0.00028
24	0.00239	0.00142	0.00054	0.00145 ± 0.00093
25	0.00382	0.00058	0.00120	0.00187 ± 0.00172
26	0.00156	0.00039	0.00084	0.00093 ± 0.00059
27	0.00112	0.00088	0.00056	0.00085 ± 0.00028
28	0.00181	0.00052	0.00157	0.00130 ± 0.00069
29	0.00162	0.00127	0.00258	0.00182 ± 0.00068
30	0.00127	0.00009	0.00006	0.00047 ± 0.00069
ผลรวม	-	-	-	0.05421
ค่าเฉลี่ย	-	-	-	0.00181
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	-	-	-	0.00052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ลำดับที่	กระแสพื้นที่ (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0.00010	0.00500	0.00530	0.00347 \pm 0.00292
2	0.00390	0.00410	0.00260	0.00353 \pm 0.00081
3	0.00540	0.00350	0.00570	0.00487 \pm 0.00119
4	0.00210	0.00230	0.00530	0.00323 \pm 0.00179
5	0.00340	0.00240	0.00280	0.00287 \pm 0.00050
6	0.00450	0.00270	0.00680	0.00467 \pm 0.00206
7	0.00410	0.00290	0.00530	0.00410 \pm 0.00120
8	0.00240	0.00590	0.00640	0.00490 \pm 0.00218
9	0.00240	0.00660	0.00390	0.00430 \pm 0.00213
10	0.00570	0.00090	0.00970	0.00543 \pm 0.00441
11	0.00600	0.00250	0.00210	0.00353 \pm 0.00215
12	0.00450	0.00570	0.00140	0.00387 \pm 0.00222
13	0.00240	0.00550	0.00600	0.00463 \pm 0.00195
14	0.00150	0.00160	0.00960	0.00423 \pm 0.00465
15	0.00530	0.00080	0.00500	0.00370 \pm 0.00252
16	0.00410	0.00440	0.00900	0.00583 \pm 0.00275
17	0.00360	0.00900	0.00500	0.00587 \pm 0.00280
18	0.00360	0.00600	0.00360	0.00440 \pm 0.00139
19	0.00200	0.00490	0.00150	0.00280 \pm 0.00184
20	0.01130	0.00410	0.00090	0.00543 \pm 0.00533
21	0.00240	0.00110	0.00220	0.00190 \pm 0.00070
22	0.00850	0.00430	0.00110	0.00463 \pm 0.00371
23	0.00500	0.00320	0.00930	0.00583 \pm 0.00313
24	0.00490	0.00310	0.00660	0.00487 \pm 0.00175
25	0.00460	0.01100	0.00940	0.00833 \pm 0.00333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 (ต่อ)

ลำดับที่	กระแสไฟฟ้า (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
26	0.00250	0.00370	0.00350	0.00323 ± 0.00064
27	0.00460	0.00210	0.00650	0.00440 ± 0.00221
28	0.00280	0.00190	0.00750	0.00407 ± 0.00301
29	0.00600	0.01170	0.00620	0.00797 ± 0.00323
30	0.00110	0.00190	0.00560	0.00287 ± 0.00240
ผลรวม	-	-	-	0.13377
ค่าเฉลี่ย	-	-	-	0.00446
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	-	-	-	0.0014

ตารางที่ ง.5 สัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัพเฟออร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

ลำดับที่	กระแสไฟฟ้า (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	0.01100	0.00160	0.00500	0.00587 ± 0.00476
2	0.00790	0.00720	0.00430	0.00647 ± 0.00191
3	0.00650	0.00550	0.00850	0.00683 ± 0.00153
4	0.00780	0.00780	0.00290	0.00617 ± 0.00283
5	0.00580	0.00660	0.00430	0.00557 ± 0.00117
6	0.00320	0.00340	0.00290	0.00317 ± 0.00025
7	0.00460	0.00440	0.00430	0.00443 ± 0.00015
8	0.00200	0.00500	0.00430	0.00377 ± 0.00157
9	0.00530	0.00450	0.00500	0.00493 ± 0.0004
10	0.00390	0.00220	0.00640	0.00417 ± 0.00211
11	0.00590	0.00610	0.00350	0.00517 ± 0.00145
12	0.00190	0.00790	0.00540	0.00507 ± 0.00301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 (ต่อ)

ลำดับที่	กระแสไฟ (μA)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
13	0.00460	0.00590	0.00310	0.00453 ± 0.0014
14	0.00520	0.00330	0.00540	0.00463 ± 0.00116
15	0.00390	0.00340	0.00690	0.00473 ± 0.00189
16	0.00250	0.00590	0.00610	0.00483 ± 0.00202
17	0.00550	0.00330	0.00310	0.00397 ± 0.00133
18	0.00370	0.00330	0.00540	0.00413 ± 0.00112
19	0.00550	0.00460	0.01090	0.00700 ± 0.00341
20	0.00310	0.00330	0.00540	0.00393 ± 0.00127
21	0.00550	0.00790	0.00430	0.00590 ± 0.00183
22	0.00540	0.00590	0.00860	0.00663 ± 0.00172
23	0.00670	0.00600	0.00860	0.00710 ± 0.00135
24	0.00300	0.00520	0.00780	0.00533 ± 0.0024
25	0.00360	0.00260	0.00500	0.00373 ± 0.00121
26	0.00430	0.00370	0.00430	0.00410 ± 0.00035
27	0.00610	0.00930	0.01070	0.00870 ± 0.00236
28	0.00680	0.00740	0.00500	0.00640 ± 0.00125
29	0.01070	0.00740	0.00510	0.00773 ± 0.00281
30	0.00390	0.00930	0.00610	0.00643 ± 0.00272
ผลรวม	-	-	-	0.16143
ค่าเฉลี่ย	-	-	-	0.00538
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	-	-	-	0.00135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด

ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ (mM)

$$\begin{aligned} \text{ขีดไฟฟ้ากราไฟต์} &= (3 \times 0.00099)/0.3480 \\ &= 0.00853 \\ \text{หรือ} &= 8.53 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ขีดไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน} &= (3 \times 0.00052)/0.3014 \\ &= 0.00518 \\ \text{หรือ} &= 5.18 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ขีดไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์} &= (3 \times 0.0014)/0.7128 \\ &= 0.00589 \\ \text{หรือ} &= 5.89 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ขีดไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน} &= (3 \times 0.00135)/0.9513 \\ &= 0.00426 \\ \text{หรือ} &= 4.26 \mu\text{M} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
การวิเคราะห์ปริมาณแอล-ไทโรซีน
ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine

จ.1 น้ำหนักเม็ดยาตัวอย่าง GNC L-tyrosine

ตารางที่ จ.1 ผลการชั่งน้ำหนักเม็ดยาตัวอย่าง GNC L-tyrosine จำนวน 20 เม็ด

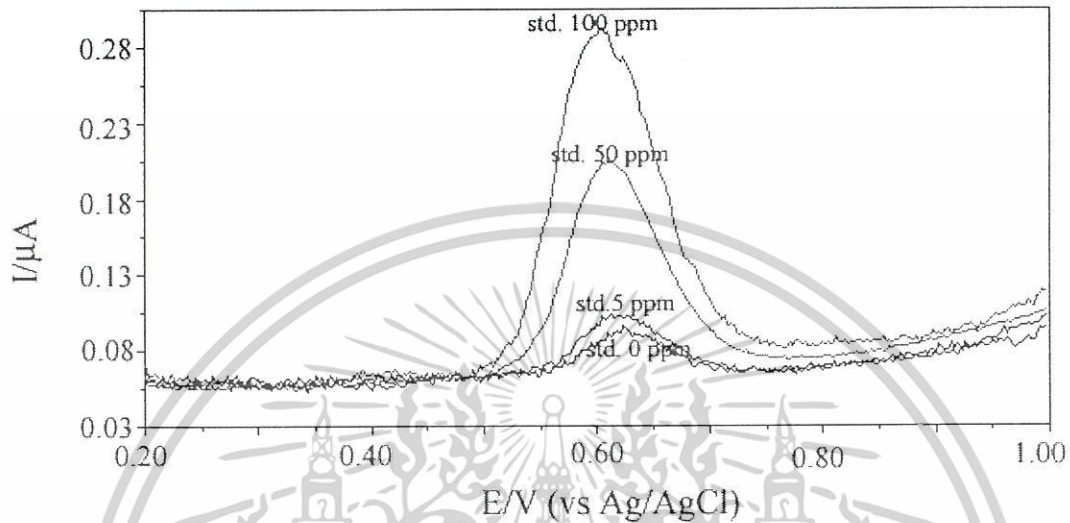
เม็ดที่	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	0.85563	0.85559	0.85579	0.85567 ± 0.00011
2	0.83111	0.82997	0.83132	0.83100 ± 0.00098
3	0.84315	0.84321	0.84348	0.84328 ± 0.00018
4	0.84126	0.84122	0.84142	0.84130 ± 0.00011
5	0.82744	0.82746	0.82739	0.82743 ± 0.00004
6	0.84069	0.84081	0.84114	0.84088 ± 0.00023
7	0.84935	0.84929	0.84932	0.84932 ± 0.00003
8	0.84844	0.84841	0.84859	0.84848 ± 0.00010
9	0.85490	0.85479	0.85489	0.85486 ± 0.00006
10	0.83450	0.83449	0.83457	0.83452 ± 0.00004
11	0.84132	0.84136	0.84134	0.84134 ± 0.00002
12	0.83730	0.83734	0.83714	0.83726 ± 0.00011
13	0.84954	0.84966	0.84960	0.84960 ± 0.00006
14	0.83941	0.83947	0.83938	0.83942 ± 0.00005
15	0.84291	0.84307	0.84284	0.84294 ± 0.00012
16	0.84927	0.84939	0.84927	0.84931 ± 0.00007
17	0.84494	0.84500	0.84476	0.84490 ± 0.00012
18	0.85366	0.85371	0.85364	0.85367 ± 0.00004
19	0.84723	0.84731	0.84721	0.84725 ± 0.00005
20	0.84734	0.84724	0.84723	0.84727 ± 0.00006
เฉลี่ย				0.84398 ± 0.00013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

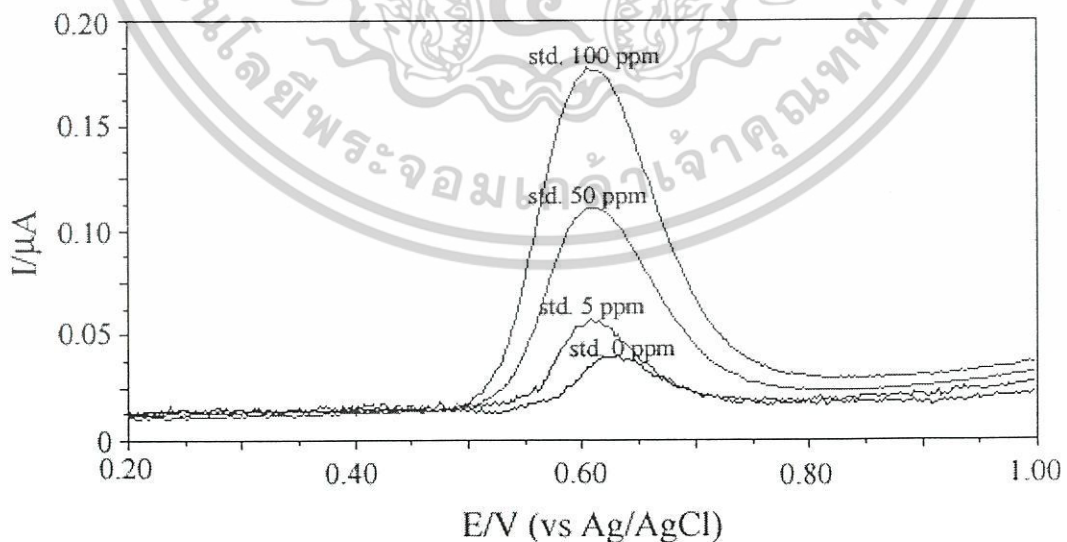
จ.2 กระแสที่ได้จากการตรวจวัดหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน

จ.2.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์



รูปที่ จ.1 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน

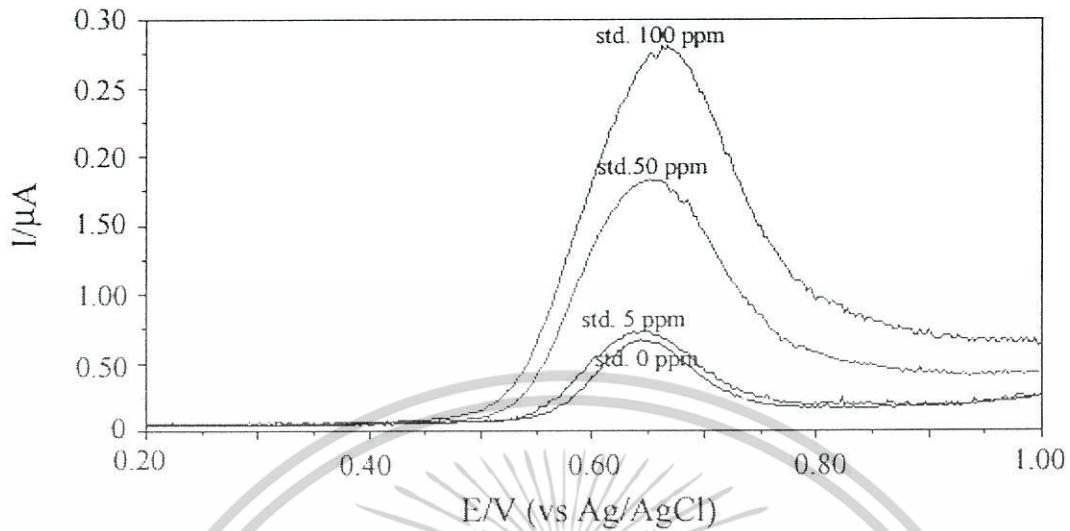
จ.2.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ จ.2 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน

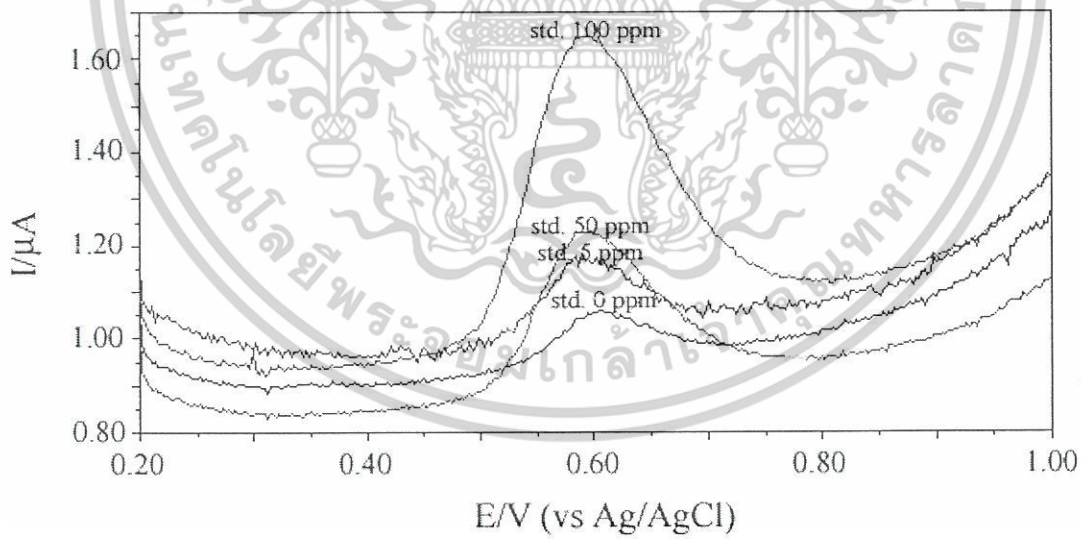
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์



รูปที่ จ.3 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน

จ.2.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน



รูปที่ จ.4 โพลารแกรมของการตรวจวัดแอล-ไทโรซีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐานแอล-ไทโรซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ผลของกระแสที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ในสารละลาย 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

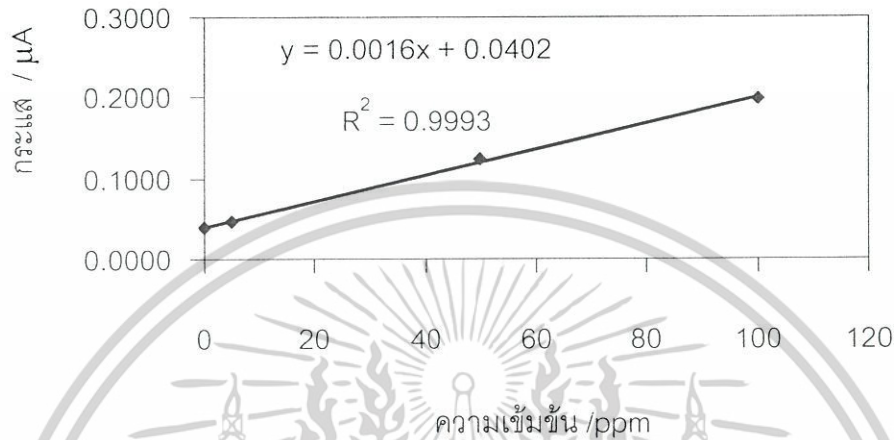
ขั้วไฟฟ้าทำงาน	ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน							
	0 ppm		5 ppm		50 ppm		100 ppm	
	กระแส (μA)	ค่าเฉลี่ย	กระแส (μA)	ค่าเฉลี่ย	กระแส (μA)	ค่าเฉลี่ย	กระแส (μA)	ค่าเฉลี่ย
กราไฟต์	0.0393	0.0391	0.0477	0.0479	0.1229	0.1233	0.2001	0.1994
	0.0387	±	0.0481	±	0.1237	±	0.1997	±
	0.0393	0.00035	0.0479	0.00020	0.1233	0.00040	0.1984	0.00089
กลาสสิคาร์บอน	0.0307	0.0302	0.0399	0.0395	0.0959	0.0960	0.1623	0.1625
	0.0299	±	0.0392	±	-0.0966	±	0.1629	±
	0.0300	0.00044	0.0394	0.00036	0.0955	0.00056	0.1623	0.00035
คาร์บอนเพสต์	0.0622	0.0624	0.0777	0.0779	0.2015	0.2017	0.3253	0.3257
	0.0629	±	0.0773	±	0.2011	±	0.3255	±
	0.0621	0.00044	0.0787	0.00072	0.2025	0.00072	0.3263	0.00053
คาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	0.1381	0.1389	0.1688	0.1685	0.4003	0.3997	0.7066	0.7063
	0.1393	±	0.1679	±	0.3993	±	0.7069	±
โคลเดกซ์ทริน	0.1393	0.00069	0.1688	0.00052	0.3995	0.00053	0.7054	0.00079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ % Recovery

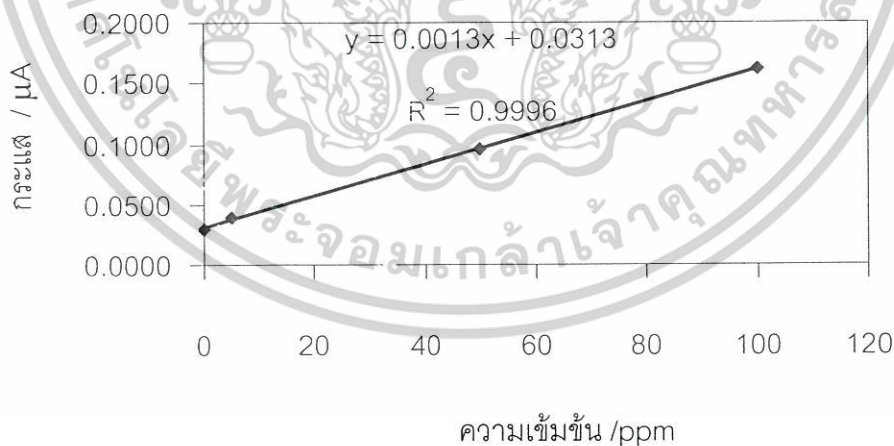
1. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

1.1 ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์



รูปที่ ๑.5 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเดิม สารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคไฟฟ้าโพเทนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

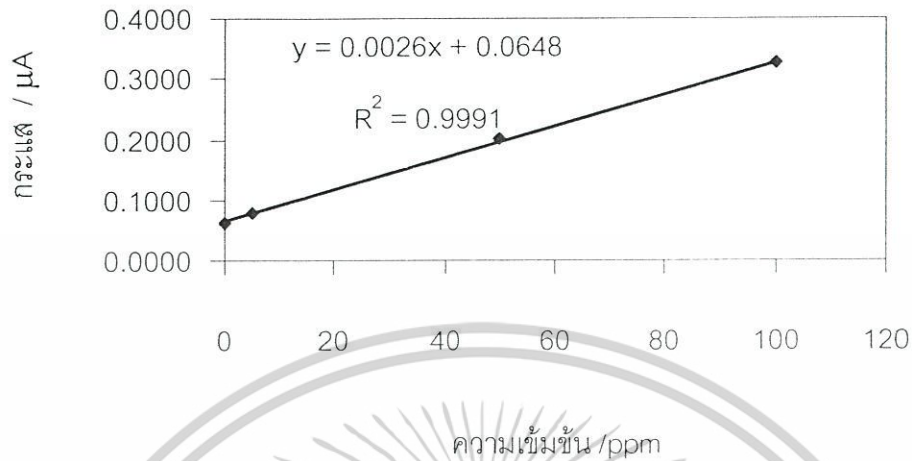
1.2 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ ๑.6 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเดิม สารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคไฟฟ้าโพเทนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

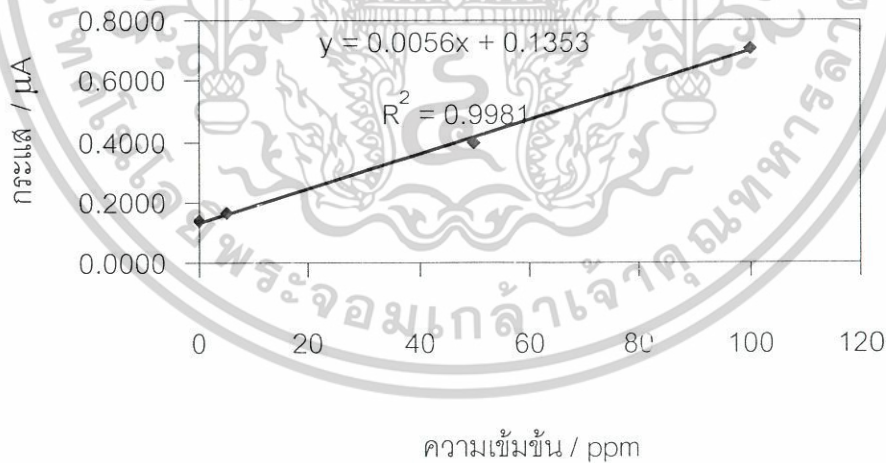
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์



รูปที่ ๑.7 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคไฟฟ้าโพเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

1.4 ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน



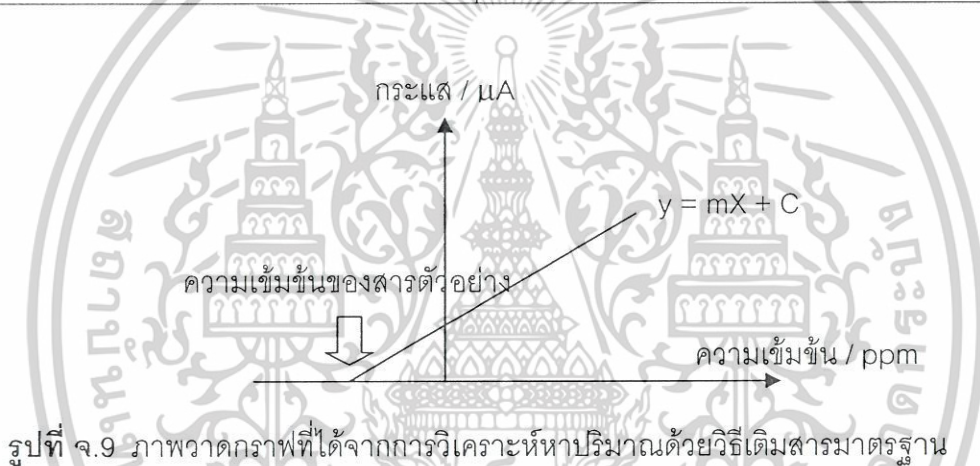
รูปที่ ๑.8 กราฟการหาปริมาณแอล-ไทโรซีนในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine ด้วยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน โดยใช้เทคนิคไฟฟ้าโพเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นขั้วทำงานเทียบกับขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ๑.5 ถึง ๑.8 สรุปได้ดังตารางที่ ๑.3

ตารางที่ ๑.3 สรุปสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

ขั้วไฟฟ้าทำงาน	สมการเส้นตรง
ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์	$y = 0.0016x + 0.0402$
ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน	$y = 0.0013x + 0.0313$
ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์	$y = 0.0026x + 0.0648$
ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	$y = 0.0056x + 0.1353$



รูปที่ ๑.9 ภาพวาดกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน

การคำนวณ

1. ใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์เป็นขั้วทำงาน

ตัวอย่างยา GNC L-tyrosine (มีปริมาณ L-tyrosine 500 mg / เม็ด) น้ำหนักเม็ดยาเฉลี่ยต่อเม็ด เท่ากับ 0.84398 g ซึ่งมา 0.0518 g นำมาละลายน้ำและละลายด้วยสารละลาย 1.0 M HCl 40 หยด นำสารของผสมที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรเป็น 50 mL

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง (ที่ปรับปริมาตรเป็น 50 mL) มา 1 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วตรวจวัดหาปริมาณด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลโวลเทมเมทรีโดยใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐาน

ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0016x + 0.0402$

จะได้ ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (x) = 25.1250 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{หรือ ในสารละลาย 25 mL จะมี L-tyrosine} &= \frac{25 \times 25.1250}{1000} \\
 &= 0.6281 \text{ mg} \\
 \text{ดังนั้น ในสารละลาย 50 mL จะมี L-tyrosine} &= 0.6281 \times 50 \\
 &= 31.4063 \text{ mg} \\
 \text{และในเม็ดยา 1 เม็ดจะมี L-tyrosine} &= \frac{31.4063 \times 0.84398}{0.0518} \\
 &= 511.7036 \text{ mg} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์การกลับคืน} &= \frac{511.7036}{500} \times 100\% \\
 &= 102.34 \%
 \end{aligned}$$

2. ใช้ข้าวไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนเป็นหัวทำงาน

ตัวอย่างยา GNC L-tyrosine (มีปริมาณ L-tyrosine 500 mg / เม็ด) นำหนักเม็ดยาเฉลี่ยต่อเม็ด เท่ากับ 0.84398 g ซึ่งมา 0.0518 g นำมาละลายน้ำและละลายด้วยสารละลาย 1.0 M HCl 40 หยด นำสารของผสมที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรเป็น 50 mL

ปีเปิดสารละลายตัวอย่าง (ที่ปรับปริมาตรเป็น 50 mL) มา 1 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วตรวจวัดหาปริมาณด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลฟิลล์โวลแทมเมตรีโดยใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐาน

ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0013x + 0.0313$

จะได้ ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (x) = 24.0769 ppm

$$\begin{aligned}
 \text{หรือ ในสารละลาย 25 mL จะมี L-tyrosine} &= \frac{25 \times 24.0769}{1000} \\
 &= 0.6019 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ในสารละลาย 50 mL จะมี L-tyrosine} &= 0.6019 \times 50 \\
 &= 30.0962 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{และในเม็ดยา 1 เม็ดจะมี L-tyrosine} &= \frac{30.0962 \times 0.84398}{0.0518} \\
 &= 490.3581 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกลับคืน} &= \frac{490.3581}{500} \times 100\% \\ &= 98.07\% \end{aligned}$$

3. ใช้ข้าวไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เป็นชิ้นทำงาน

ตัวอย่างยา GNC L-tyrosine (มีปริมาณ L-tyrosine 500 mg / เม็ด) นำหนักเม็ดยาเฉลี่ยต่อเม็ด เท่ากับ 0.84398 g ซึ่งมา 0.0518 g นำมาละลายน้ำและละลายด้วยสารละลาย 1.0 M HCl 40 หยด นำสารของผสมที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรเป็น 50 mL

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง (ที่ปรับปริมาตรเป็น 50 mL) มา 1 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วตรวจวัดหาปริมาณด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรีโดยใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐาน

$$\begin{aligned} \text{ได้สมการเส้นตรง คือ } y &= 0.0026x + 0.0648 \\ \text{จะได้ ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (x)} &= 24.9231 \text{ ppm} \\ \text{หรือ ในสารละลาย 25 mL จะมี L-tyrosine} &= \frac{25 \times 24.9231}{1000} \\ &= 0.6231 \text{ mg} \\ \text{ดังนั้น ในสารละลาย 50 mL จะมี L-tyrosine} &= 0.6231 \times 50 \\ &= 31.1538 \text{ mg} \\ \text{และในเม็ดยา 1 เม็ดจะมี L-tyrosine} &= \frac{31.1538 \times 0.84398}{0.0518} \\ &= 507.5912 \text{ mg} \\ \text{เปอร์เซ็นต์การกลับคืน} &= \frac{507.5912}{500} \times 100\% \\ &= 101.52\% \end{aligned}$$

4. ใช้ข้าวไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบิตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นชิ้นทำงาน

ตัวอย่างยา GNC L-tyrosine (มีปริมาณ L-tyrosine 500 mg / เม็ด) นำหนักเม็ดยาเฉลี่ยต่อเม็ด เท่ากับ 0.84398 g ซึ่งมา 0.0518 g นำมาละลายน้ำและละลายด้วยสารละลาย 1.0 M HCl 40 หยด นำสารของผสมที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บสารละลายที่กรองได้นำมาปรับปริมาตรเป็น 50 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง (ที่ปรับปริมาตรเป็น 50 mL) มา 1 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL แล้วตรวจวัดหาปริมาณด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลฟลักส์โวลแทมเมตรีโดยใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐาน

ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0056x + 0.1353$

จะได้ ค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง (x) = 24.1607 ppm

หรือ ในสารละลาย 25 mL จะมี L-tyrosine = $\frac{25 \times 24.1607}{1000}$
= 0.6040 mg

ดังนั้น ในสารละลาย 50 mL จะมี L-tyrosine = 0.6040×50
= 30.2009 mg

และในเม็ดยา 1 เม็ดจะมี L-tyrosine = $\frac{30.2009 \times 0.84398}{0.0518}$
= 492.0647 mg

เปอร์เซ็นต์การกลับคืน = $\frac{492.0647}{500} \times 100\%$
= 98.41 %

ตารางที่ ๔.4 สรุปผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา GNC L-tyrosine

ชื่อไฟฟ้า	สมการเส้นตรง	ค่า x (ppm)	ปริมาณ L-tyrosine ในตัวอย่างยา (mg/เม็ด)		เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (%)
			ปริมาณจริง	ปริมาณที่ตรวจวัดได้	
กราไฟต์	$y = 0.0016x + 0.0402$	25.1250	500	511.7036	102.34
กลาสสิคาร์บอน	$y = 0.0013x + 0.0313$	24.0769	500	490.3581	98.07
คาร์บอนเพสต์	$y = 0.0026x + 0.0648$	24.9231	500	507.5912	101.52
คาร์บอนเพสต์ที่ปรับปรุงด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	$y = 0.0056x + 0.1353$	24.160	500	492.0647	98.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้