

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สกรีน-พรีนธ์อิเล็กทรอนิกส์
เพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์ค่าเทชินทางเคมีไฟฟ้า



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107812
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b. 12212180
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Screen-printed electrode for electrochemical determination of catechin



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

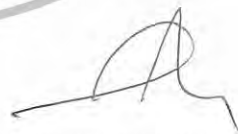
Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง สกรีน-พรีนท้อเล็กโทรดเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์คาเทชิน
 ทางเคมีไฟฟ้า
นักศึกษา นางสาวมาลินี แก้วปัญหา
 นางสาวมิ่งขวัญ วรรณบวร
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2549
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์
 ผศ.ดร.เผด็จชัย ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

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



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรดเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์คาเทชินทางเคมีไฟฟ้า
นักศึกษา	นางสาวมาลินี แก้วปัญหา นางสาวมิ่งขวัญ วรรณบวร
ภาควิชา	ภาควิชาเคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ผศ.ดร.เผชญิวยัย ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด (screen-printed electrode) เพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์คาเทชิน ซึ่งเตรียมได้จากการนำแผ่นพิวซีมาสกรีนลายทั้งหมด 4 ชั้น เริ่มต้นด้วยลายแถบการนำไฟฟ้า (Conducting track) สกรีนโดยใช้หมึกซิลเวอร์ ลายขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าช่วย และจุดตรวจวัด (Contact pads) สกรีนโดยใช้หมึกคาร์บอน ลายขั้วไฟฟ้าอ้างอิง สกรีนโดยใช้หมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ และลายฉนวนไฟฟ้า สกรีนโดยใช้สีน้ำมัน ตามลำดับ ควบคุมกับการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีของการทำแต่ละชั้น แล้วนำอเล็กโทรดมาตรวจวัดสารละลายคาเทชินพร้อมกับทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของขั้วไฟฟ้า เช่น ศักยภาพ ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ ช่วงความสัมพัทธ์ที่เป็นเส้นตรง ความเที่ยงของขั้วไฟฟ้า อายุการใช้งาน เปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าทากลาสคาร์บอน (Glassy Carbon Electrode) ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Platinum Electrode) และขั้วไฟฟ้าทอง (Gold Electrode)

จากการทดสอบพบว่าสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรดมีความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงคือ 10 – 50 mM ของสารละลายคาเทชิน มีขีดจำกัดในการตรวจวัด 0.1723 mM และมีค่า %RSD เท่ากับ 4.12 จากคุณสมบัติดังกล่าวของสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรดที่มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ค่า %RSD ที่ต่ำ และค่าช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงกว้างทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การตรวจวัดสารละลายคาเทชิน อย่างไรก็ดีขั้วไฟฟ้าชนิดนี้ก็มิใช่อายุการใช้งานสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Screen-printed electrode for electrochemical determination of catechin
Student	Miss Malinee Kaewpanha Miss Mingkwan Wannaborworn
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suwan Chaiyasith Asst.Prof.Dr. Pachernchai Chaiyasith

ABSTRACT

This project focused on the determination of catechin using a screen-printed electrode. The electrodes were prepared using the designed template and screened in four layers on the polyvinylchloride. The first layer was applied with an Ag ink as the conductive wire. The second layer was carbon ink used as the working and counter electrodes. Then the Ag/AgCl ink was screened as the reference electrode. The fourth layer was an insulator which was printed using the template to define the electrode area. Each layer was subsequently cured for 30 min. at 60 °C and allowed to cool in desiccators to avoid any reaction with oxygen. The electrodes were used to determine catechin compared with glassy carbon electrode, platinum electrode and gold electrode. Linear range, detection limit, life time and %RSD were determined

From this study it was found that the screen-printed electrode showed a linear range of 10 - 50 mM catechin, with a detection limit of 0.1723 mM catechin and %RSD of 4.12. The low detection limit, low %RSD and wide linear range made it with advantages in many applications, including determination of catechin but short life time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับหลักการทางเคมีไฟฟ้า กระบวนการเตรียมสกรีน-พริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงแนวทางและวิธีการแก้ปัญหา จาก รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ และผศ.ดร.เมธิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษร่วม

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำทางการแก้ไขปัญหา และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอขอบพระคุณอาจารย์วเรศ วีระสัย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำคำปรึกษาตลอดจนความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์เครื่องมือในการเตรียมสกรีน-พริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์

ขอขอบคุณ คุณธานินทร์ แดงกวารัมย์ ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดจนข้อชี้แนะในโครงการฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่กรุณาแนะนำในทุก ๆ เรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวแก้วปัญหา และครอบครัววรรณบวร สำหรับกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือ และกำลังใจที่มีให้มาตลอด

สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับครอบครัวแก้วปัญหา ครอบครัววรรณบวร ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้

มาลินี แก้วปัญหา
มิ่งขวัญ วรรณบวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 หลักการของไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	4
2.2 หลักการของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	10
2.3 สกรีน-พรีนที่อิเล็กทรอนิกส์.....	12
2.4 คาเทซิน.....	13
2.4.1 โครงสร้างคาเทซิน.....	14
2.4.2 โครงสร้างอนุพันธ์ของคาเทซิน.....	15
2.4.2.1 เอพิคาเทซิน.....	15
2.4.2.2 เอพิคาเทซิน กัลเลต.....	16
2.4.2.3 เอพีกัลโลคาเทซิน.....	17
2.4.2.4 เอพีกัลโลคาเทซิน กัลเลต.....	18
2.4.2.5 กัลโลคาเทซิน กัลเลต.....	19
2.4.3 คุณสมบัติของคาเทซิน.....	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	24
3.1.1 อุปกรณ์.....	24
3.1.2 สารเคมี.....	25
3.2 การสร้างสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	25
3.2.1 การเตรียมแผ่นพีวีซี.....	25
3.2.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที.....	26
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า.....	27
3.4 วิธีการทดลอง.....	27
3.4.1 การศึกษาสภาวะทางเคมีไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์คาเทชิน.....	27
3.4.1.1 ชนิดของอิเล็กโทรไลต์.....	27
3.4.1.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์.....	27
3.4.1.3 การศึกษาอัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	28
3.4.1.4 จำนวนรอบของการสแกน.....	28
3.4.2 การศึกษาสมบัติของขั้ว.....	28
3.4.2.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการตรวจวิเคราะห์.....	28
3.4.2.2 การศึกษากระแสพื้น.....	29
3.4.2.3 ซีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์.....	29
3.4.2.4 การศึกษาความเที่ยง.....	29
3.4.2.5 อายุการใช้งาน.....	30
3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาเทชิน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล.....	31
4.1 การเตรียมสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	31
4.1.1 สภาวะการเตรียมสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	31
4.1.2 การประกอบสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การเลือกสกรีน-พริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ที่ดี โดยเปรียบเทียบสัญญาณกระแสจาก สารละลาย $K_3(Fe(CN)_6)$	32
4.3 การศึกษาหาสภาวะทางเคมีไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดคาเทชิน....	33
4.3.1 ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม.....	33
4.3.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม.....	35
4.3.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสม.....	36
4.3.4 จำนวนรอบของการสแกน.....	38
4.4 สมบัติของขั้วไฟฟ้า.....	41
4.4.1 การศึกษาสมบัติช่วงความถี่ที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้น กับกระแสในการวิเคราะห์.....	42
4.4.1.1 ขั้วไฟฟ้ากาสติคาร์บอน.....	42
4.4.1.1 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม.....	44
4.4.1.1 ขั้วไฟฟ้าทอง.....	46
4.4.1.1 สกรีน-พริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์.....	48
4.4.2 ขีดจำกัดในการตรวจวัดและขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ขั้วไฟฟ้าต่าง ๆ ..	50
4.4.3 การศึกษาความเที่ยงของขั้วไฟฟ้า.....	51
4.4.4 การศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า.....	52
4.4.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นตัวอย่างด้วยเทคนิคเฟอโรเจนเนียลพัลส์ โวลแทมเมตรี.....	54
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก. การตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม Auto Lab.....	61
ภาคผนวก ข. การเตรียมสารเคมี.....	67
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง.....	70
ภาคผนวก ง. การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด.....	87
ภาคผนวก จ. การวิเคราะห์ปริมาณคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่าง.....	94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	50
Detection Limit และ Quantification Limit ของขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	
4.2	51
ค่ากระแสฟลักเจิลีเย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ %RSD ของขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด จากการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	
4.3	53
ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรม ของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ตรวจวัดด้วยเทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	
4.4	53
สมบัติของขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และ สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินมาตรฐานใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s.....	
4.5	54
Percent Recovery ที่ได้จากการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างด้วยวิธีการเติม สารมาตรฐาน จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	
5.1	55
สมบัติของสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	
ค.1	70
ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้ สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	
ค.2	71
ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ในสารละลาย KCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	
ค.3	72
ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้สกรีน-พรีนที อิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.4 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ที่จำนวนรอบของการสแกนต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทองและสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจสอบด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	74
ค.5 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	75
ค.6 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	76
ค.7 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	77
ค.8 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	78
ค.9 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	79
ค.10 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.11 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	82
ค.12 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	83
ง.1 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าความชัน และความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานคาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	88
ง.2 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน.....	89
ง.3 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม.....	90
ง.4 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง.....	91
ง.5 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	92
จ.1 ปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างน้ำชาเขียว โออิชิ รสมะนาว(oishi lemon)ด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ใน 1.0 M KCl โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	97
จ.2 สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ สารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
๑.3 ปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างน้ำชาเขียว ยูนิฟ รสมะนาว(unif lemon)ด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ใน 1.0 M KCl โดยใช้ ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสโวลแทมเมตรี.....	105
๑.4 สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ สารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ.....	108
๑.5 สรุปผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่าง.....	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมทั่วไป..... 5
2.2	แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในไซคลิกโวลแทมโมแกรม..... 5
2.3	การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า..... 6
2.4	โวลเทจโปรแกรมของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลตาโรกราฟี..... 10
2.5	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรม..... 11
2.6	สกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรด..... 12
2.7	โครงสร้างคาเทซิน..... 14
2.8	โครงสร้างเอพิคาเทซิน..... 15
2.9	โครงสร้างเอพิคาเทซิน กัลเลต..... 16
2.10	โครงสร้างเอพิกัลโลคาเทซิน..... 17
2.11	โครงสร้างเอพิกัลโลคาเทซิน กัลเลต..... 18
2.12	โครงสร้างกัลโลคาเทซิน กัลเลต..... 19
3.1	แสดงสกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรดที่เตรียมได้..... 26
4.1	สกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรดที่ได้หลังการเตรียม..... 31
4.2	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ $0.03 \text{ M K}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ ใน 0.1 M KCl ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรด..... 32
4.3	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทซินในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s เมื่อใช้สกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน โดย (a) K_2SO_4 , (b) Na_2SO_4 , (c) NaOH , (d) NaCl และ (e) KCl 33
4.4	กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทซิน..... 34
4.5	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทซินในสารละลาย KCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อ (a) 0.001 M , (b) 0.005 M , (c) 0.01 M , (d) 0.05 M , (e) 0.1 M , (f) 0.5 M และ (g) 1.0 M 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl	
ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน	
เมื่อ (a) 0.001 V/s, (b) 0.005 V/s, (c) 0.01 V/s, (d) 0.05 V/s, (e) 0.1 V/s,	
(f) 0.2 V/s, (g) 0.3 V/s, (h) 0.4 V/s และ(i) 0.5 V/s.....	
	36
4.7	
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.05 M	
คาเทชิน ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	
	37
4.8	
ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยา	
ออกซิเดชันของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด	
เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	
	37
4.9	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน	
0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกน	
เป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3.....	
	38
4.10	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน	
0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกน	
เป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3.....	
	39
4.11	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน	
0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกน	
เป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3.....	
	39
4.12	
ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน	
0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด เมื่อรอบของการสแกนเป็นดังนี้	
(a) 1, (b) 2 และ (c) 3.....	
	40
4.13	
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับ	
กระแสปฏิริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า	
กลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด.....	
	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.14 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl
อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิค
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี เมื่อ(a) 5 mM, (b)10 mM, (c) 30 mM,
(d) 50 mM, (e) 75 mM และ(f) 100 mM..... 42
- 4.15 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
คาเทชินกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า
กลาสสิคาร์บอนตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี..... 43
- 4.16 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl
อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิค
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี เมื่อ(a) 5 mM, (b)10 mM, (c) 30 mM,
(d) 50 mM, (e) 75 mM และ(f) 100 mM..... 44
- 4.17 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
คาเทชินกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า
แพลทินัมตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี..... 45
- 4.18 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl
อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิค
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี เมื่อ(a) 5 mM, (b)10 mM, (c) 30 mM,
(d) 50 mM, (e) 75 mM และ(f) 100 mM..... 46
- 4.19 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
คาเทชินกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า
ทองตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี..... 47
- 4.20 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl
อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนที่อเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิค
ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมทรี เมื่อ(a) 5 mM, (b)10 mM, (c) 30 mM,
(d) 50 mM, (e) 75 mM และ(f) 100 mM..... 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.21	ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน คาเทชินกับกระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	49
4.22	โวลแทมโมแกรมแสดงอายุการใช้งานจากการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนท์อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิก โวลแทมเมตรี เมื่อวัดครั้งที่ (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 และ(e) 5	52
ก.1	การเลือกเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัด.....	61
ก.2	การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี แบบอัตโนมัติ.....	62
ก.3	การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี แบบกำหนด cursor จุดเอง.....	62
ก.4	การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรีแบบอัตโนมัติ.....	62
ก.5	การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โวลแทมเมตรีแบบกำหนดเอง.....	63
ก.6	สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	63
ก.7	สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	64
ก.8	การบันทึกผลการวิเคราะห์.....	65
ก.9	การเรียกดูผลการวิเคราะห์.....	66
ค.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปฏิกริยาออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า กลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

ค.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า แพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง.....	85
ค.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง.....	86
ค.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสปฏิริยาออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พริ้นท์ อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง.....	86
จ.1	โวลแทมโม่แกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Oishi lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	94
จ.2	โวลแทมโม่แกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Oishi lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	95
จ.3	โวลแทมโม่แกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Oishi lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.4	96
<p>โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Oishi lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.5	98
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.6	99
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.7	100
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.8	101
<p>ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.9	102
<p>โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Unifile lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	
จ.10	103
<p>โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Unif lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
๑.11 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Unif lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	103
๑.12 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่าง(Unif lemon)โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	104
๑.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	106
๑.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	107
๑.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	107
๑.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	108
๑.17 ภาพวาดกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

GCE	ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน
PtE	ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม
GE	ขั้วไฟฟ้าทอง
SPCE	สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด
A	แอมแปร์
μA	ไมโครแอมแปร์
Ag/AgCl	ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์
CV	ไซคลิกโวลแทมเมตรี
E	ศักย์ไฟฟ้า
V	โวลต์
I	กระแสไฟ
E_{app}	ศักย์ไฟฟ้าการเกิดปฏิกิริยา
g	กรัม
M	โมลาร์
mM	มิลลิโมลาร์
ml	มิลลิลิตร
mol	โมล
V/s	โวลต์ต่อวินาที
mV/s	โวลต์ต่อวินาที
n	จำนวนของอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา
Ox	สารออกซิไดส์
Red	สารรีดิวซ์
RSD.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
\bar{x}	ค่าเฉลี่ย
R.E.	ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง
SD.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ν	อัตราการสแกน (V/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V^{1/2}$	รากที่สองของอัตรากระแสแกน (V/s) ^{1/2}
LOD	Detection Limit
LOQ	Quantification Limit
NaCl	โซเดียมคลอไรด์
KCl	โพแทสเซียมคลอไรด์
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
Na ₂ SO ₄	โซเดียมซัลเฟต
K ₂ SO ₄	โพแทสเซียมซัลเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันผู้คนได้หันมาสนใจสิ่งเกี่ยวกับตัวเองมากขึ้น การดูแลสุขภาพนับเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะเรื่องการบริโภค ทั้งอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาต่อร่างกาย ในปัจจุบันกระแสความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มชาเขียวกำลังพุ่งสูงมาก อัตราการบริโภคชาเขียวมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกวันที่ในประเทศตะวันออกและตะวันตก ในประเทศแถบตะวันออกเชื่อกันอย่างจริงจังว่าชาเขียวมีฤทธิ์ในการบำบัดรักษาโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศจีนมีคำกล่าวที่ว่า "ดื่มชาเขียวดีกว่ายา" ผลิตภัณฑ์มากมายหลากหลายชนิดมีการใส่สารสกัดจากชาเขียวเพื่อคุณประโยชน์จากฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากงานศึกษาวิจัยจำนวนมากได้ระบุว่าชาเขียวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ ในด้านการลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ และมะเร็ง ซึ่งนักวิจัย พบว่ามาจากสารที่พบในชาเขียวซึ่งมีฤทธิ์ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระสามารถต่อต้านการทำลายเซลล์ของร่างกายจากอนุมูลอิสระได้ [1-3,20]

ชาเขียว [2,19-20] มีส่วนประกอบสำคัญ และสารประกอบต่าง ๆ ที่พบได้แก่ พอลิฟีนอล (polyphenol) อัลคาลอยด์(alkaloids) แร่ธาตุ วิตามิน และสารประกอบอื่น ๆ โดยสารที่พบเป็นปริมาณสูง และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อโรคต่าง ๆ คือ คาเทชิน(catechin) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มพอลิฟีนอล(polyphenols) พบประมาณ 15-30 % ของน้ำหนักชา สารในกลุ่มพอลิฟีนอล polyphenol ที่น่าสนใจมีอยู่ 5 ชนิด คือ เอพิกคาเทชิน (epicatechin; EC) เอพิกัลโลคาเทชิน(epigallocatechin; EGC) เอพิกคาเทชิน กัลเลต(epicatechin gallate) เอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต(epigallocatechin gallate; EGCG) และกัลโลคาเทชิน กัลเลต (gallocatechin gallate; GCG) โดยในชาเขียวมีปริมาณของสารเอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต (EGCG) มากเป็นอันดับหนึ่ง

คาเทชิน (catechin) โดยทั่วไปใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หลายวิธี ประกอบด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี (spectrophotometric method) [4,6] เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง(HPLC method) [7-12] เทคนิคแคปิลารีอิเล็กโทรไลซิส(Capillary electrophoresis) และเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า [13] ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่นเทคนิคทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่ทำลายตัวอย่าง เครื่องมือมีราคาแพง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูงใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นาน ทั้งนี้ยังมีอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ตรวจวัดคาเทชินคือ เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าซึ่งเทคนิคนี้ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเนื่องจากเทคนิคนี้มีข้อดีกว่าเทคนิคอื่นที่กล่าวมาคือ มีสภาพไวสูง เครื่องมือใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีความจำเพาะที่สูง ส่วนข้อไฟฟ้าใช้งานที่นิยมใช้ตรวจวัดด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นขั้วแพลทินัมหรือขั้วกลาสคาร์บอนซึ่งมีราคาแพง หรือขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพอสต์ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานที่มีราคาถูกแต่สัญญาณที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างต่ำ

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์ โดยการสร้างสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด (Screen-printed electrode) [14-17] เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเตรียมได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น สามารถใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง ประกอบกับวิธีการตรวจวัดมีความไวสูง ทำให้เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณคาเทชิน (catechin) ในชาเขียว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เตรียมสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด สำหรับการตรวจวัดคาเทชิน
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดคาเทชินโดยใช้สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด
3. ศึกษาประสิทธิภาพของสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดที่สร้างขึ้นกับขั้วกลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง
4. ตรวจวัดคาเทชินในน้ำชาเขียวซึ่งเป็นตัวอย่างจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด (screen-printed electrode)
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดคาเทชิน ได้แก่ ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ อัตราการสแกนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี
3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดที่สร้างขึ้นกับขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง ได้แก่ ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ ความเที่ยง และอายุการใช้งาน
4. ตรวจวัดคาเทชินในน้ำชาเขียวซึ่งเป็นตัวอย่างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลคาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างขั้วไฟฟ้าสำหรับการตรวจวัดคาเทชินที่ใช้งานได้ง่าย มีขนาดเล็ก สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการและงานภาคสนาม
2. ทำให้สามารถตรวจวัดคาเทชินในเครื่องดื่มชาเขียวง่ายขึ้น
3. สามารถนำวิธีที่ศึกษามาใช้เป็นทางเลือกสำหรับการตรวจวัดคาเทชิน โดยใช้แทนเทคนิคอื่น ๆ ที่มีราคาแพง และอาจใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์นานกว่า
4. ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยี โดยการสร้างขึ้นใช้เองภายในประเทศ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษเรื่องการเตรียมสกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรด ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีเอกสารวารสาร รายงาน และบทความในประเทศและต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยดังกล่าวต่อไป

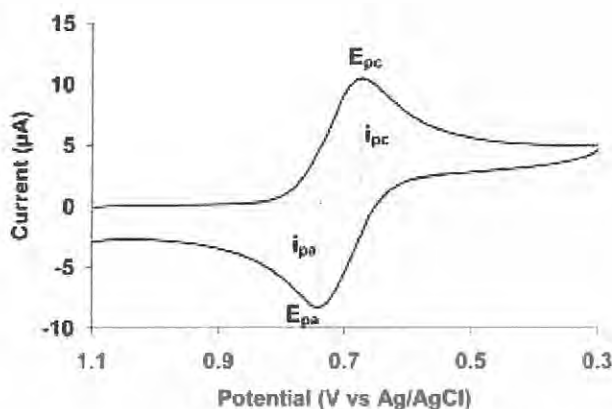
- หลักการของเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี
- หลักการของเทคนิคโพเทนชิโอเมตรี
- สกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรด
- คาเทซิน
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของไซคลิกโวลแทมเมตรี [18]

ไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry) เป็นเทคนิคการวัดทางเคมีไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งของเทคนิคโพเทนชิโอเมตรี (Potentiometry) โดยไซคลิกโวลแทมเมแกรมเป็นการสร้างกราฟศักย์ไฟฟ้าที่ให้การตอบสนองที่อยู่ในรูปกระแสของการสแกนไปข้างหน้า เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อโวลแทมเมแกรมจึงทำให้วิธีการของไซคลิกโวลแทมเมตรีกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษากลไกของปฏิกิริยาและอัตราเร็วในขบวนการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน) ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์

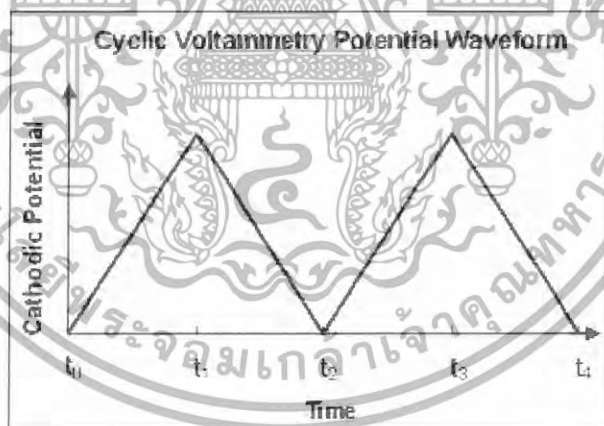
ไซคลิกโวลแทมเมตรี เป็นการสแกนศักย์ไฟฟ้าเชิงเส้นตรงใช้กับระบบที่ใช้อิเล็กโทรดขนาดเล็กในสารละลายที่ไม่มีสารกวน ซึ่งอิเล็กโทรดที่ใช้ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าทำงาน (working electrode) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) และขั้วไฟฟ้าช่วย (counter electrode, auxiliary electrode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปก็ต้องมั่นใจว่าสามารถนำไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมทั่วไป

ศักย์ไฟฟ้าจะถูกวัดระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงานและขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขณะที่กระแสที่เกิดขึ้นจะถูกวัดระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงานและขั้วไฟฟ้าช่วย โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำไปสร้างกราฟระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลื่น



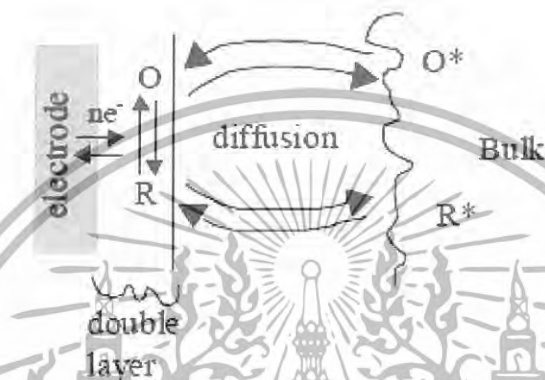
รูปที่ 2.2 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในไซคลิกโวลแทมโมแกรม

เมื่อเริ่มสแกนศักย์ไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันสูงขึ้น เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าถึงค่าที่ทำให้ปฏิกิริยาเริ่มผันกลับ ให้ศักย์ไฟฟ้าต่อไปจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น กระแสเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งความเข้มข้นรอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ไหลลงเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้เกิดกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดทำให้เกิดฟีก

เรียกว่า แอนโอดิกฟีก มีลักษณะคล้ายกับแคโทดิกฟีก(ฟีกจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็ว สารออกซิไดซ์จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนอยู่ในรูปสารรีดิวซ์และเกิดการแพร่ของสารในชั้นการแพร่ของสารละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่าปฏิกิริยารีดักชัน และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามจะเกิดปฏิกิริยาของสารรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอน เปลี่ยนไปเป็นสารออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่าออกซิเดชัน



รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า

กระแสที่วัดได้จากทั้งสองปฏิกิริยาจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นและรากที่สองของอัตราเร็วในการสแกนศักย์ไฟฟ้า

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

เมื่อ	i_p	แทน กระแสพีก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	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}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบของเนิร์สท ปฏิริยาที่ผันกลับได้(Reversible) จะมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. การแยกกันของ $\Delta E_p = E_{p,a} - E_{p,c}$ ต้องมีค่าเป็น $59/n$ mV ที่ 25°C
2. ค่าของ E_p ไม่ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วการสแกน
3. i_p จะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับค่า $V^{1/2}$
4. อัตราส่วนของพีก (i_{pa}/i_{pc}) ต้องมีค่าเท่ากับ 1 V
5. ค่าของ $E^\circ = (E_{pa} + E_{pc})/2$
6. ค่าของ $E_{p/2} = E_{1/2} \pm (0.028/2)V$

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

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

จากสมการ 2.2 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพลอตกับค่า $\log V$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled แต่ถ้าปฏิริยาผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดพีกเมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิริยาผันกลับได้ไม่สมบูรณ์ ลักษณะพีกที่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า $0.059/n$ โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการสแกน

ในกรณีที่มีสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ติดอยู่ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากระแสของพีกที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ	α	แทน	Transfer coefficient
	k°	แทน	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเคลื่อนที่อิเล็กตรอน
	n_a	แทน	จำนวนอิเล็กตรอนในขั้นตอนการกำหนดอัตราการผลิตปฏิกิริยาของกระบวนการของกระบวนการช้าไฟฟ้า (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 2.6

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

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

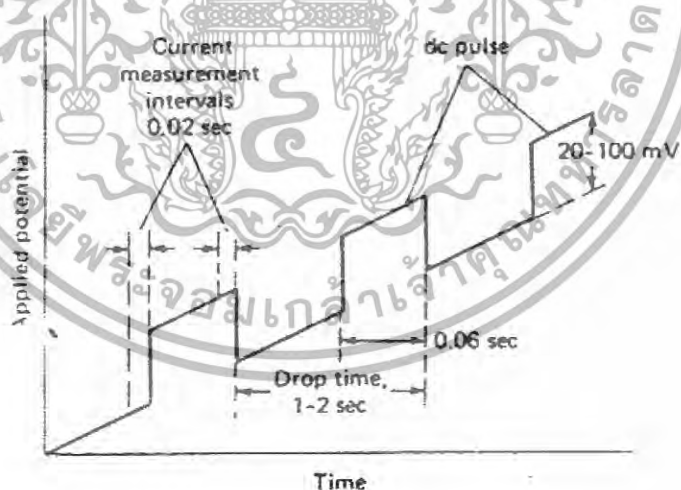
$$\begin{aligned} \text{Log } i_p &= \text{log } (2.99 \times 10^5) n (\alpha n_a)^{1/2} (ACD)^{1/2} + \text{log } V^{1/2} \\ \text{Log } i_p &= 0.5 \text{log } V \end{aligned} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.7 ถ้านำค่า $\log i_p$ มาพลอตกับค่า $\log V$ จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงและมีความชันเท่ากับ 0.5 ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นแสดงว่าเป็น Diffusion-controlled ถ้าปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้จะไม่เกิดพีก เมื่อสแกนให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า Irreversible และถ้าปฏิกิริยาผันกลับได้ไม่สมบูรณ์ลักษณะพีกที่เกิดขึ้นจะไม่สมมาตรกันเรียกว่า Quasi-reversible จะพบว่าค่า ΔE_p จะมากกว่า 0.059/n โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นตามอัตราสแกน

2.2 หลักการของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟีและดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี [18]

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

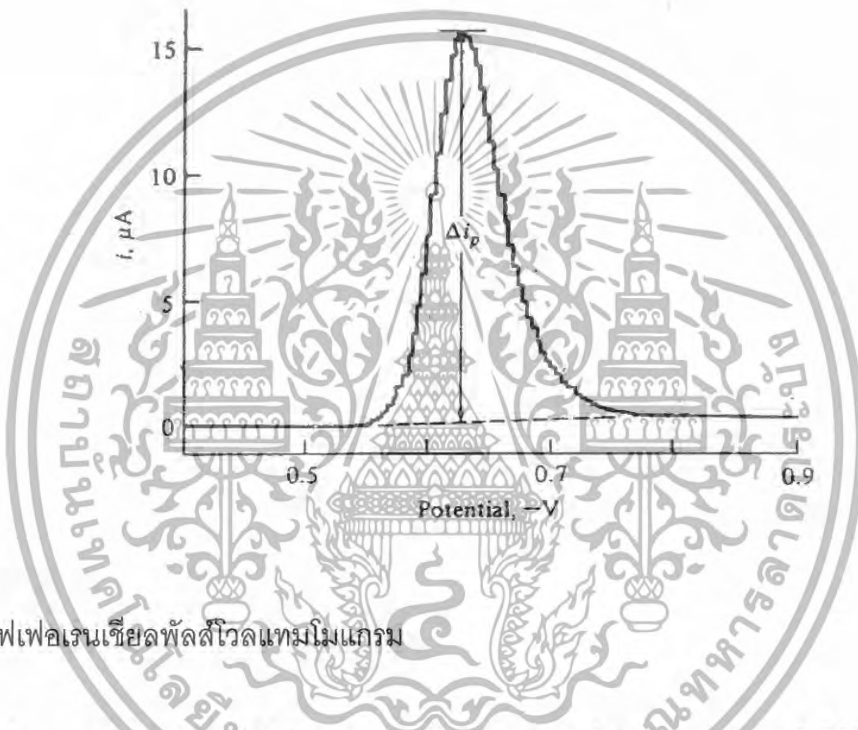


รูปที่ 2.4 โวลเทจโปรแกรมของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี

ความแตกต่างระหว่างกระแสที่วัดได้จากช่วงศักย์ไฟฟ้าทั้งสองจะถูกนำมาพลอตกราฟเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ โพลาริแกรมที่ได้คืออนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของโพลาริแกรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความสูงของพีกคือ ΔI_p จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย ตามสมการ 2.10

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



รูปที่ 2.5 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรม

การวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลตาโรกราฟี สามารถทำได้โดยวิธีเติมสารมาตรฐานเช่นเดียวกับวิธีของพัลส์โวลตาโรกราฟี โดยการเพิ่มขนาดของพัลส์ของศักย์ไฟฟ้า (เพิ่ม ΔE) จะทำให้วิธีการวิเคราะห์มีความไวสูงขึ้นแต่ความสามารถในการแยกของพีกเมื่อมีสารหลายตัวผสมกันลดลง ถ้าการวิเคราะห์มีสปีชีส์ที่สนใจอยู่เพียงตัวเดียวในสารละลาย พัลส์ของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ควรมีขนาดระหว่าง 50 – 100 mV เพื่อให้มีความไวสูงที่สุด แต่ถ้ามีสปีชีส์ที่สนใจตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ขนาดของพัลส์ควรลดลงเหลือ 5 – 10 mV เพื่อให้การแยกดีขึ้น วิธีของดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลตาโรกราฟี ยังคงเป็นเทคนิคและวิธีการที่ใช้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC potential) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้ในปริมาณน้อยกว่าที่วิธีโวลตาโรกราฟีธรรมดาจะทำได้ ถ้าขั้วไฟฟ้าทำงานเป็นขั้วของแข็งที่อยู่นิ่งหรือขั้วของแข็งที่หมุนได้จะเรียกว่าพัลส์โวลแทมเมตรี (Pulse Voltammetry) หรือดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (Differential Pulse Voltammetry)

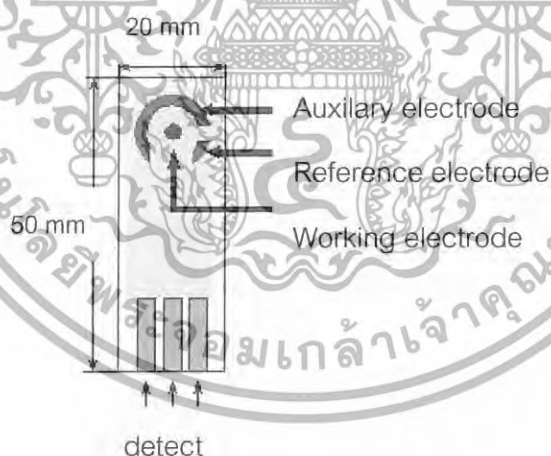
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด (screen-printed electrode) [14-17, 21-22]

สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์มีลักษณะคล้ายคลึงกับขั้วไฟฟ้าโดยทั่วไป แต่มีข้อดีเพิ่มขึ้นคือ สามารถเตรียมได้ง่าย ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น เป็นขั้วไฟฟ้าที่สามารถใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง

สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นแผ่นอาจเตรียมขึ้นจากกระดาษ เซรามิกส์หรือพอลิเมอร์ ภายในประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วคือขั้วไฟฟ้าทำงาน (working electrode) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) และขั้วไฟฟ้าช่วย (auxiliary electrode) ในการตรวจวิเคราะห์สารทำได้โดยการต่อสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดเข้ากับเครื่องตรวจวัด หยอดสารที่ต้องการวิเคราะห์ลงบนแผ่น สามารถวิเคราะห์ผลได้ทันที

นอกจากนี้แล้วสกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรดยังมีคุณสมบัติที่ดีอีกหลายประการเช่น สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปน ลดปัญหาสัญญาณที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากประสิทธิภาพของขั้วต่ำลง และสามารถเตรียมขึ้นได้จำนวนมากบนแผ่นรองรับที่เหมือนกันหรือแตกต่างกัน



รูปที่ 2.6 สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คาเทชิน (catechin) [1-3,11,19-20]

ผลิตภัณฑ์ชาเขียวมีสารประกอบทางเคมีที่สำคัญชนิดหนึ่ง คือ โพลีฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งเป็นไฟโตเคมีคัล (Phytochemical) ที่สังเคราะห์โดยพืช ประกอบด้วย

1. Bioflavonoids เช่น anthocyanins, coumestanes, flavonoids , isoflavonoids, stilbenes เป็นต้น
2. Oligometric Polyphenols เช่น proanthocyanidins เป็นต้น

ฟลาโวนอยด์ เป็นพอลิฟีนอลที่มีมากที่สุดในชาเขียว มักรู้จักกันในนามคาเทชินซึ่งมีประมาณ 35 - 50 % โดยสารดังกล่าวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถดูดซึมได้เร็วและกระจายตัวได้ดีในร่างกาย จึงมีการนำชาเขียวมาใช้ในการป้องกันและรักษาโรคหลายอย่าง

ประโยชน์ของชาเขียวทางการแพทย์ [1-2]

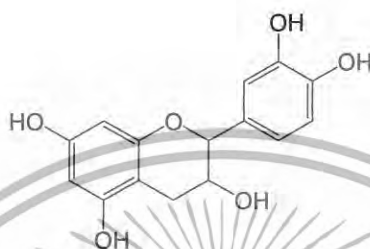
1. การยับยั้งและป้องกันมะเร็ง
2. การลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด
3. การเพิ่ม insulin activity
4. การป้องกันเบาหวาน
5. การช่วยให้น้ำหนักลดลง
6. การป้องกันความผิดปกติของผิวหนัง
7. การป้องกันโรคพาร์กินสันและอัลไซเมอร์
8. การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน
9. การมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
10. การป้องกันฟันผุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างคาเทชิน [19]

สูตรโมเลกุล $C_{15}H_{14}O_6 \cdot xH_2O$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างคาเทชิน [19]

ชื่อสามัญ	Catechin
ชื่อ IUPAC	trans-2-(3,4-Dihydroxyphenyl)-3,4-dihydro-1(2H)-benzopyran-3,5,7-triol
ชื่ออื่น ๆ	Trans-3,3',4',5,7-Pentahydroxyflavane
น้ำหนักโมเลกุล	290.3 กรัมต่อโมล
สมบัติโดยทั่วไป	

Apperance:	White Powder
Purity by HPLC:	Minimum 98%
Test Item:	Appearance, Loss on drying, Total Ash, Assay, Heavy Metals, Arsenic, Microbiological.
Packing:	Nt.W:500g/Al drum, with the inner aluminum foil package
Storage:	Store in a cool and dry area, keep sealed and keep away from direct light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาเทชิน (catechin) เป็นสารประกอบจำพวกพอลิฟีนอล พบเป็นปริมาณสูงอยู่ในชาเขียว มีลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถละลายน้ำได้ สารประกอบที่สำคัญของคาเทชิน มีอยู่ 5 ชนิดคือ

1. เอพิคาเทชิน (-)-Epicatechin (EC)
2. เอพิคาเทชิน กัลเลต (epicatechin gallate) (ECG)
3. เอพิกัลโลคาเทชิน (-)-Epigallocatechin (EGC)
4. เอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต (-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG)
5. กัลโลคาเทชิน กัลเลต (-)-Gallocatechin gallate (GCG)

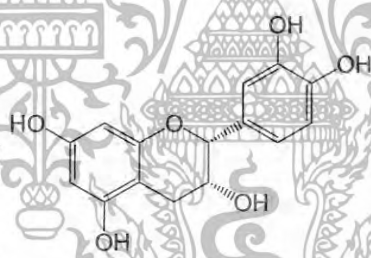
โดยในชาเขียวมีปริมาณของสารเอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต (EGCG) มากที่สุด

2.4.2 โครงสร้างอนุพันธ์ของคาเทชิน

2.4.2.1 เอพิคาเทชิน

สูตรโมเลกุล $C_{15}H_{14}O_6$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเอพิคาเทชิน [19]

ชื่อสามัญ	(-) - Epicatechin (EC)
ชื่อ IUPAC	(2S, 3S) -2- (3,4-Dihydroxyphenyl) -3,4 -dihydro -1(2H) -benzopyran -3, 5, 7- triol
น้ำหนักโมเลกุล	290.3 กรัมต่อโมล
สมบัติโดยทั่วไป	

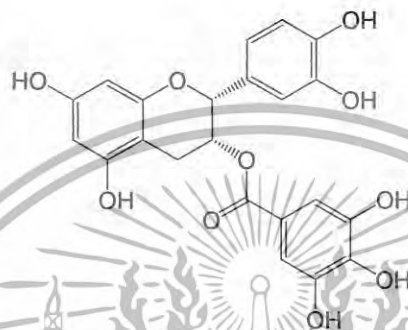
Apperance:	White Powder
Purity by HPLC:	Minimum 98% / 99%
Test Item:	Appearance, Loss on drying, Total Ash, Assay, Heavy Metals, Arsenic, Microbiological.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 เอพิคาเทชิน กัลเลต

สูตรโมเลกุล $C_{22}H_{18}O_{10}$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.9 โครงสร้างเอพิคาเทชิน กัลเลต [19]

ชื่อสามัญ (-)-Epicatechin gallate; ECG

ชื่อ IUPAC (2R, 3R)-2-(3, 4-Dihydroxyphenyl)-3, 4-dihydro-1(2H)-benzopyran-3, 5, 7-triol 3-(3,4,5-trihydroxybenzoate)

น้ำหนักโมเลกุล 442.4 กรัมต่อโมล

สมบัติโดยทั่วไป

Purity by HPLC: Minimum 98%

Test Item: Appearance, Loss on drying, Total Ash, Assay, Heavy Metals, Arsenic, Microbiological

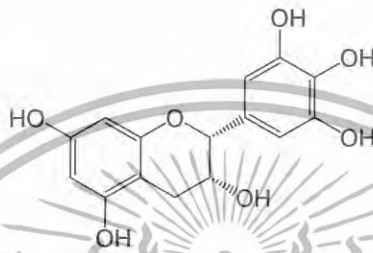
Storage: Store in a cool and dry area, keep sealed and keep away from direct light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 เอพิกัลโลคาเทชิน

สูตรโมเลกุล $C_{15}H_{14}O_7$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างเอพิกัลโลคาเทชิน [19]

ชื่อสามัญ	(-)-Epigallocatechin (EGC)
ชื่อ IUPAC	(2R,3R)-2-(3,4,5-Trihydroxyphenyl)-3,4-dihydro-1(2H)-benzopyran-3,5,7-triol
น้ำหนักโมเลกุล	306.3 กรัมต่อโมล

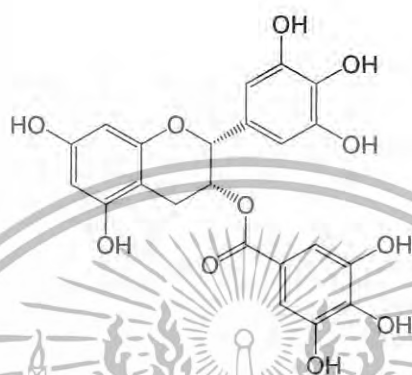
107812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 เอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต

สูตรโมเลกุล $C_{22}H_{18}O_{11}$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.11 โครงสร้างเอพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต [19]

ชื่อสามัญ	(-) - Epigallocatechin-3-gallate (EGCG)
ชื่อ IUPAC	(2R, 3R) - 2 - (3, 4, 5-Trihydroxy-phenyl)-3, 4-dihydro-1 (2H) - benzopyran -3, 5, 7 - triol 3 - (3, 4, 5-trihydroxybenzoate)
ชื่ออื่น ๆ	(-) - Epigallocatechin gallate 3-O-gallate
น้ำหนักโมเลกุล	458.4 กรัมต่อโมล
สมบัติโดยทั่วไป	

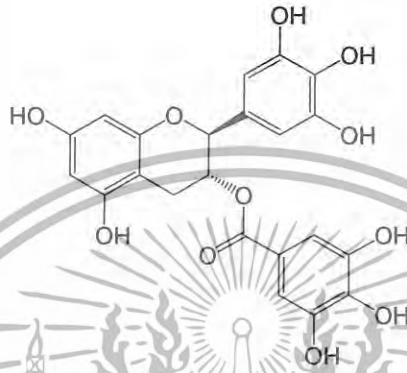
Solubility:	Clear colorless solution at 5Mg/MI in water. EGCG should be stable in solution at 2-8 °C at neutral to slight acidic pH.
Test Item:	Appearance, Loss on drying, Total Ash, Assay, Heavy Metals, Arsenic, Microbiological.
Packing:	Nt.W:1000g/Al drum, with the inner plastic bags

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 กัลโลคาเทชิน กัลเลต

สูตรโมเลกุล $C_{22}H_{18}O_{11}$

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างกัลโลคาเทชิน กัลเลต [19]

ชื่อสามัญ	(-) - Gallocatechin gallate (GCG)
ชื่อ IUPAC	(2S, 3R)-2-(3, 4, 5-Trihydroxyphenyl)-3, 4-dihydro-1(2H)-benzopyran-3, 5, 7-triol 3-(3, 4, 5- trihydroxybenzoate)
น้ำหนักโมเลกุล	458.4 กรัมต่อโมล
สมบัติโดยทั่วไป	

Apperance:	White Powder
Purity by HPLC:	Minimum 98%
Test Item:	Appearance, Loss on drying, Total Ash, Assay, Heavy Metals, Arsenic, Microbiological.
Storage:	Store in a cool and dry area, keep sealed and keep away from direct light

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 คุณสมบัติของคาเทชิน (catechin)

คาเทชินเป็นสารที่สามารถถูกดูดซึมได้เร็วและกระจายตัวได้ดีในร่างกาย มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ที่สามารถชะลอความชรา ช่วยลดระดับความดันเลือด ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งด้วยการฆ่าเซลล์มะเร็งโดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อส่วนดี สามารถต่อสู้กับโรคมะเร็งได้อย่างน้อยใน 3 ลักษณะคือ

- 1) คาเทชินช่วยป้องกันการก่อตัวขึ้นของเซลล์มะเร็งโดยเข้าไปขัดขวางการยึดเกาะกับดีเอ็นเอ(DNA) ของสารก่อมะเร็ง
- 2) กระตุ้นระบบการทำงานของร่างกายให้สามารถกำจัดหรือแปลงสภาพสารพิษภายในร่างกายไม่ให้ส่งผลเป็นอันตรายต่อสุขภาพ (detoxification)
- 3) หยุดยั้งภาวะการเติบโตของเซลล์มะเร็ง

นอกจากนี้คาเทชินยังมีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานและเผาผลาญไขมัน โดยคาเทชินจะไปเพิ่มขบวนการเทอร์โมเจนีซิส (thermogenesis) ซึ่งเป็นขบวนการที่ร่างกายใช้ในการเผาผลาญพลังงาน และเร่งการสลายไขมันจึงทำให้ไขมันส่วนเกินลดลง อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อร่างกายมากมายได้แก่

- 1) มีส่วนช่วยในกระบวนการกำจัดไขมันโคเรสเตอรอลในหลอดเลือด ซึ่งทำให้ลดภาวะความเสี่ยงต่อโรคความดันโลหิตสูงจากการอุดตันของไขมันในหลอดเลือด
- 2) ช่วยในการขับสารพิษ และสารอนุมูลอิสระจึงส่งผลในการป้องกันความเสี่ยงต่อภาวะมะเร็งและโรคความเสื่อมของเซลล์และอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย
- 3) ช่วยทำให้ร่างกายรู้สึกสดชื่น กระปรี้กระเปร่าเนื่องจากมีผลในการกระตุ้นการทำงานของระดับเซลล์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Preeyanan Buasod [3] ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มชา โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีและวิธีเฟอริกทีดิวซิง โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแอนติออกซิแดนซ์ในตัวอย่างบนขั้วกลาสคาร์บอน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ไซคลิกโวลแทมเมแกรมใช้พื้นที่ใต้พีคของปฏิกิริยาออกซิเดชันเปรียบเทียบกับของสารมาตรฐาน (+) -คาเทชิน ผลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปของ catechin equivalent antioxidant capacity (CEAC) จากการศึกษาพบว่าลำดับของความสามารถในการต้านอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระของเครื่องตีมหาที่ได้จากทั้ง 2 วิธี ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันมากโดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นเทคนิคไฮคลิกโวลแทมเมทรี สามารถใช้เป็นวิธีประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องตีมหาเช่นเดียวกับวิธีเฟอร์ริกทีวซิง

ในปี 2000 Thuy T Tran, และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้เทคนิคอิเล็กตรอน สปิน เรโซแนนซ์ สเปกโทรสโคปี ทำการตรวจวัดสารต้านอนุมูลอิสระ 5 ชนิด ซึ่งที่ความเข้มข้น 4.8 mM สามารถเรียงลำดับความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดังนี้ caffeic acid > o-coumarin > 6,7-dihydroxy-4-methylcoumarin > catechin > scopoletin. ในกรณีของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโปรออกซิแดนท์ จะถูกตรวจพบใน catechin and scopoletin ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ (ต่ำกว่า 3.6 mM)

ในปี 2001 E. A. Cummings. [14] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสารสี-ฟรั้งทีโอเล็กโทรด์ที่ปรับปรุงด้วยเอนไซม์ไทโรซิเนสสำหรับตรวจวัดสารฟลาโวนอยด์ พอลิฟีนอลในเบียร์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเทคนิคแอมเพอโรเมทริกกับ DAC colorimetric จากการศึกษาพบว่าผลการทดลองที่ได้จากสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เอนไซม์ควรคำนึงถึงสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ

ในปี 2003 O'Coinceanainn M. และคณะ [5] อธิบายว่าสารประกอบโพลีฟีนอล เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเป็นที่ทราบกันถึงความสามารถในการช่วยกำจัดโลหะโดยงานวิจัยอธิบายถึงการตรวจสอบโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโคปี เทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์ม เทคนิคโครมาโทกราฟีสมรรถนะของเหลวสูง พบว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมกับพวงน้ำหนักโมเลกุลสูง พวงโพลีฟีนอลจะถูกตรวจพบด้วย¹H NMR and heteronuclear multiple quantum coherence

ในปี 2004 Chu KO และคณะ [9] ได้ตรวจสอบระดับคาเทชินในเนื้อเยื่อของหนูตัวอย่าง นักวิจัยได้อธิบายโดยใช้วิธีการใหม่ตรวจสอบคาเทชินตัวอย่าง 8 ชนิด ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีสมรรถนะของเหลวสูง (HPLC) พบว่าสามารถตรวจวัดได้ภายใน 25 นาทีโดยช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 20-4000 ng/g ค่าความแปรปรวนน้อยกว่า 5 % ซีดจำกัดความเข้มข้น 5 ng/g วิธีนี้ตรวจสอบในระดับ สมองและไตของหนูซึ่งจะมีการพัฒนาและวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2005 Kridsanee Muangkeaw และคณะ [21] ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีน 6 รูปแบบที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน ในสารละลายเฮกซะไฮดรอนเฟอแรท ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ ซึ่งขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนเตรียมได้โดยใช้หมึกคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน และขั้วไฟฟ้าช่วย ใช้หมึกซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนประเมินจาก (1) ค่าความต้านทานการเคลื่อนที่อิเล็กตรอน และ (2) อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันและรีดักชันที่มีค่าอยู่ระหว่าง 3.49 ถึง 16.74 กิโลโอมห์ และ 0.67 ถึง 0.89 ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของขั้วไฟฟ้า เห็นได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอิมพีแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้า และเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีสามารถนำมาช่วยในการคัดสรรขั้วไฟฟ้าพิมพ์สกรีนที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Tanin Tangkuaram and Waret Veerasai [22] การปรับแต่งผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนด้วยสารประกอบโคบอลต์โปรโตพอร์ไฟริน IX โดยตรึงในฟิล์มโพลีไพโรลเพื่อวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการทดลองด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีในช่วง -0.25 ถึง $+0.25$ โวลต์ อัตราสแกน 0.1 โวลต์ต่อวินาทีเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเทียมชนิดซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ โซเดียมซีเทรตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 6.0 พบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนที่ปรับแต่งผิวหน้าด้วยโคบอลต์โปรโตพอร์ไฟริน IX ในฟิล์มโพลีไพโรลให้ผลต่อการเร่งปฏิกิริยาอิเล็กโทรคะตะไลติกออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดีกว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนปรับแต่งด้วยฟิล์มโพลีไพโรลไม่เกิดปฏิกิริยา ค่าความสัมพันธ์ของกระแสกับความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนพิมพ์สกรีนที่พัฒนาขึ้นให้ความไวของกระแส 3.42 นาโนแอมป์ต่อไมโครโมลาร์ ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงและขีดจำกัดของการตรวจวัดโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีที่ศักย์ $+0.2$ โวลต์ อยู่ในช่วง $10 - 60$ และ 1.67 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ

Prapaisri Borisuttichun and Winai Oungpipat [23] ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณออกซีเตตราซัยคลินไฮโดรคลอไรด์ สกรีน-พรีนทีออกซีเตตราซัยคลินไฮโดรคลอไรด์ไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรด อาศัยการพิมพ์อิเล็กโทรดลงบนพอลิเอสเตอร์ซัสเทรทชนิดพอลิเอทที่มีความยืดหยุ่นหรือหักงอได้ ประกอบด้วยชั้นของเพสต์เงิน เพสต์แกรไฟต์ พีวีซีที่ปรับแปรด้วยคูโอบอนของออกซีเตตราซัยคลิน ไฮโดรคลอไรด์-เตตราฟีนิลบอเรต และชั้นฉนวน จากการศึกษาพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กโทรดให้การตอบสนองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเป็นแบบเชิงเส้นกับความเข้มข้นของออกซีเตตราซัยคลินไฮโดรคลอไรด์ในช่วงความเข้มข้น $3.3 \times 10^{-4} - 9.1 \times 10^{-6}$ โมลาร์ อิเล็กโทรดมีขีดจำกัดของการวิเคราะห์ห่ออกซีเตตราซัยคลินไฮโดรคลอไรด์ในความเข้มข้นที่น้อยถึง 9.1×10^{-6} โมลาร์ ใช้ระยะเวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วเพียง 34 วินาที และมีค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการตรวจวัดซ้ำ 10 ครั้งเท่ากับ 4.90 วิธีนี้ง่าย และมีความแม่นยำสำหรับการผลิตไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรดพลาสติกชนิดใช้แล้วทิ้งในปริมาณมาก ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานโครงการพิเศษ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อเตรียมสกรีน-พรีนที่อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

- 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี
- 3.2 การเตรียมสกรีน-พรีนที่อิเล็กทรอนิกส์
- 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพสกรีน-พรีนที่อิเล็กทรอนิกส์
- 3.4 วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่อง 663 VA Stand Voltammetric analyzer (Metrohm, Herisau, Switzerland) ที่ประกอบด้วย potentiostat (Auto lab PG STAT 20,2)
2. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่มีระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็กซ์พี ชุดโปรแกรม Corel Draw Vresion 12 และ ชุดโปรแกรม Adobe Illustrator Creative Suit 2
3. เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน รุ่น Milli - Q (Milford, MA, USA)
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (Denver Instrument Company)
5. เครื่องอัลตราโซนิก (รุ่น Eltrosonic type 0.7 profi, USA)
6. เครื่องกรองแบบลดความดัน (Tokyo Rikkakai co.,Ltd. Type A-3s, Japan)
7. ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน (Metrohm Switzerland)
8. ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม (Metrohm Switzerland)
9. ขั้วไฟฟ้าทอง (Metrohm Switzerland)
10. โถดูดความชื้น
11. ตู้อบสาร
12. ผงขี้ด (BDH Laboratory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. หมึกคาร์บอน (Acheson USA)
2. หมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ Ag/AgCl ink (Acheson USA)
3. หมึกซิลเวอร์ Ag ink (Acheson USA)
4. สีนํ้ามัน (Chaiyabon Brather Thailand)
5. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride (KCl)) 98% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
6. สารละลายโพแทสเซียมไดซัลเฟต (Potassium disulphate (K_2SO_4)) 98% เกรดวิเคราะห์ Lab scan
7. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride (NaCl)) 98% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
8. สารละลายโซเดียมไดซัลเฟต (Sodium disulphate (Na_2SO_4)) 98% เกรดวิเคราะห์ Lab scan
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide (NaOH)) 98% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
10. สารมาตรฐานคาเทชิน ($\geq 98\%$ (HPLC), Sigma)
11. กาวซิลิโคน
12. แผ่นพีวีซีซับสเตรท
13. เฟรมสกรีนอะลูมิเนียม 16 x 20 นิ้ว (ขอบใน)
14. ผ้าสกรีน 140T

3.2 การสร้างสกรีน-พริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 การเตรียมแผ่นพีวีซี

นำแผ่นพีวีซีความหนา 0.4 มิลลิเมตรที่เตรียมมาตัดให้ได้ขนาด กว้าง 18 เซนติเมตรและ ยาว 48 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนท์

3.2.1.1 ออกแบบลายสกรีน ซึ่งเป็นการกำหนดขนาด ตำแหน่ง และรูปร่างของขั้วไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Corel Draw Version 12 และโปรแกรม Adobe Illustrator Creative Suit 2 ซึ่งลายสกรีนจะประกอบด้วยชั้นทั้งหมด 4 ชั้น เรียงลำดับจากชั้นล่างสุด คือ

- 1) ลายแถบการนำไฟฟ้า (Conducting track)
- 2) ลายขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าช่วย และจุดตรวจวัด
- 3) ลายขั้วไฟฟ้าอ้างอิง
- 4) ลายฉนวนไฟฟ้า (Insulator)

3.2.1.2 นำแบบที่ได้ไปเตรียมเฟรมสกรีนโดยพิมพ์แม่พิมพ์ด้วยวิธีกาวยัด จากนั้นจึงผ้าสกรีนที่พิมพ์แม่พิมพ์แล้วลงบนกรอบอะลูมิเนียม

3.2.1.3 ทำการสกรีนลายแถบการนำไฟฟ้าด้วยหมึกซิลเวอร์บนแผ่นพีวีซี นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกซิลเวอร์

3.2.1.4 ทำการสกรีนลายขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าช่วย และจุดตรวจวัดด้วยหมึกคาร์บอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกคาร์บอน

3.2.1.5 ทำการสกรีนลายขั้วไฟฟ้าอ้างอิงด้วยหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์

3.2.1.6 ทำการสกรีนลายฉนวนไฟฟ้าด้วยสีน้ำมัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในสีน้ำมัน



รูปที่ 3.1 แสดงสกรีน-พรีนท์อิเล็กโทรดที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพขั้วไฟฟ้า

1. ต่อสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดที่เตรียมได้เข้ากับตำแหน่งขั้วไฟฟ้าของเครื่องตรวจวัดเพื่อทำการทดสอบ
2. ปิเปตสารละลาย $0.1 \text{ M K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ปริมาตร $60 \mu\text{l}$ ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีที่ศักย์ไฟฟ้าในช่วง -1.0 ถึง $+1.0 \text{ V}$ ด้วยอัตราการสแกน 0.50 V/s จำนวน 1 รอบ บันทึกโวลแทมโมแกรมที่ได้
3. เก็บชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพไว้จากนั้นทดสอบชิ้นงานต่อไปตามขั้นตอนที่ 1 และ 2

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การหาสภาวะทางเคมีไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์คาเทชิน

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดคาเทชิน ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้า

3.4.1.1 ชนิดของอิเล็กโทรไลต์

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl pH 7 ในสารละลายคาเทชิน 0.05 M มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วปิเปตปริมาตร $60 \mu\text{l}$ หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ให้ศักย์ไฟฟ้าแบบไซคลิกโวลแทมเมทรี อัตราการสแกน 0.05 V/s จำนวน 1 รอบ บันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M KCl pH 7 เป็นสารละลาย NaCl pH 7, K_2SO_4 pH 7, Na_2SO_4 pH 7 และ NaOH pH 14 ความเข้มข้น 0.1 M ตามลำดับแล้วเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้

3.4.1.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.1 0.1 M ในสารละลายคาเทชิน 0.05 M มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วปิเปตปริมาตร $60 \mu\text{l}$ หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ให้ศักย์ไฟฟ้าแบบไซคลิกโวลแทมเมทรี อัตราการสแกน 0.05 V/s จำนวน 1 รอบ บันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 M ใน 0.05 M สารละลายคาเทชินเป็น 0.001 , 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.5 และ 1 M ตามลำดับ แล้วเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 อัตราเร็วการสแกนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.2 ในสารละลายคาเทชิน 0.05 M มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วปิเปตปริมาตร 60 μl หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนต์อิเล็กโทรด ให้ศักย์ไฟฟ้าแบบไซคลิกโวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.05 V/s จำนวน 1 รอบ บันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้ และทำซ้ำ 3 ครั้ง

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนอัตราการสแกนจาก 0.05 V/s เป็น 0.001, 0.005, 0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 V/s ตามลำดับ แล้วเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้

3.4.1.4 จำนวนรอบของการสแกน

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.2 ในสารละลายคาเทชิน 0.05 M มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วปิเปตปริมาตร 60 μl หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนต์อิเล็กโทรด ให้ศักย์ไฟฟ้าแบบไซคลิกโวลแทมเมตรี อัตราการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 ทำการสแกนซ้ำหลายรอบ บันทึกไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสกรีน-พรีนต์อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง

3.4.2 การศึกษาสมบัติของขั้ว

3.4.2.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดคาเทชินจากข้อ 3.4.1.2 มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วปิเปตปริมาตร 60 μl หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนต์อิเล็กโทรด เพื่อตรวจวัดคาเทชินความเข้มข้นตั้งแต่ 0.005, 0.010, 0.030, 0.050, 0.075 และ 0.100 M ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกนที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1.3 โดยเลือกใช้ช่วงในการสแกนศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0 ถึง +1.3 V จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแอนอดิกและความเข้มข้นของคาเทชินในสารละลายของขั้วไฟฟ้า แล้วเลือกช่วงที่ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงของการตรวจวัดคาเทชินจากกราฟมาตรฐานเป็น Linear Range ของแต่ละขั้วไฟฟ้า

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสกรีน-พรีนต์อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การศึกษากระแสพื้น

นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดคาเทชินจากข้อ 3.4.1.2 มาพ่นแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 300 วินาที แล้วบีบปริมาตร 60 μl หยดลงบนแผ่นสกรีน-พรีนท์อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกนที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.1.3 เลือกใช้ช่วงในการสแกนศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0 ถึง +1.3 V

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสกรีน-พรีนท์อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทาลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง

3.4.2.3 ขีดจำกัดความเข้มข้นในการวิเคราะห์ (Detection limit)

ตรวจวัดกระแสพื้นของการตรวจวัดคาเทชินโดยทำการตรวจวัดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.2 ทั้งหมด 10 ครั้ง ทำให้ได้ค่ากระแสพื้นจากการทดลองทั้งหมด 30 ค่า [ภาคผนวก ง.] (ควรเลือกกระแสพื้นในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชิน คือ 0.6 ถึง 1.0) แล้วนำค่ากระแสพื้นดังกล่าวไปคำนวณหาค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ โดยนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของกระแสพื้นทั้ง 30 ค่า คูณด้วย 3 (ความเชื่อมั่นที่ 95 %) แล้วหารด้วยค่าของความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของการตรวจวัด (เท่ากับ sensitivity) จากข้อ 3.4.2.1 ดังสมการ

$$\text{Detection limit} = 3 (\text{S.D.}) / \text{sensitivity} \quad (3.1)$$

3.4.2.4 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

การศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์ของขั้วไฟฟ้าทำได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าตรวจวัดสารละลายคาเทชินเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 และใช้ช่วงในการสแกน 0 ถึง +1.3 V ทำการตรวจวัด 30 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะใช้สกรีน-พรีนท์อิเล็กโทรดอันใหม่ แล้วหาค่า %RSD (Percent of Relative Standard Deviation, เปอร์เซ็นต์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์) ของขั้วไฟฟ้า

$$\%RSD = (\text{SD.} / \bar{x}) \times 100 \quad (3.2)$$

โดย SD. คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสที่ได้จากการตรวจวัดทั้ง 30 ครั้ง

\bar{x} คือ ค่ากระแสเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดทั้ง 30 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำซ้ำตั้งแต่ต้นโดยเปลี่ยนสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้ากาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง(ในการทำแต่ละครั้งใช้ขั้วไฟฟ้าอันเดิมแต่จะล้างและขัดขั้วไฟฟ้าทุกครั้ง)

3.4.2.5 อายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า (Life time)

นำสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดมาตรวจวัดสารละลายคาเทชิน 0.05 M ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากข้อ 3.4.1.2 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ใช้อัตราการสแกนที่เลือกจากข้อ 3.4.1.3 ทำการทดลองซ้ำโดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดอันเดิมแต่ใช้น้ำปราศจากไอออนชนิดล้างบริเวณหน้าขั้วก่อนทำการตรวจวัดครั้งต่อไป บันทึกกระแสที่เกิดขึ้นจนกระทั่งกระแสลดต่ำลงน้อยกว่า 50% ของกระแสที่ได้จากการตรวจวัดครั้งแรก จำนวนครั้งที่ตรวจวัดจนทำให้กระแสลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง จะเป็นครึ่งชีวิตของขั้วไฟฟ้า

3.4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาเทชินด้วยเทคนิคฟิโพลีเมอร์เรซินเซียลพัลส์โวลแทมเมตรี

ตรวจวัดคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่าง โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด* ตรวจวัดเทียบกับขั้วไฟฟ้ากาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และขั้วไฟฟ้าทอง ด้วยเทคนิคฟิโพลีเมอร์เรซินเซียลพัลส์ โวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกนที่เหมาะสมในข้อ 3.4.1.3 และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในข้อ 3.4.1.2 สำหรับรายละเอียดการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างคาเทชินมีดังนี้

การเตรียมสารละลายคาเทชินตัวอย่าง ทำได้โดยบีบน้ำชาเขียวตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายคาเทชินมาตรฐานเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 0, 0.625 และ 1.25 มิลลิลิตรตามลำดับ เพื่อเตรียมสารละลายคาเทชินตัวอย่าง ความเข้มข้น 0, 0.005 และ 0.01 M ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในข้อ 3.4.1.2

นำผลการทดลองที่ได้ไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเข้มข้นของคาเทชิน เทียบหาปริมาณคาเทชินตัวอย่างในน้ำชาเขียว

* หมายเหตุ : สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดที่ใช้วัดแต่ละครั้งจะใช้อันใหม่ทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การเตรียมสกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์

4.1.1. สภาวะการเตรียมสกรีนพรีนท์อิเล็กทรอนิกส์

สกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์ได้จากการเตรียมด้วยการสกรีน-พรีนท์ ที่สภาวะดังนี้

- ความดัน 1 บรรยากาศ
- อุณหภูมิในการเตรียม 25 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิในการอบ 60 องศาเซลเซียส
- เวลาในการเตรียมทั้งหมด 4 ชั่วโมง

4.1.2 การประกอบสกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์

รูปสกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้หลังการเตรียมแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้หลังการเตรียม

ขนาดของสกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์ที่เตรียมได้มีความยาว 3 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร ความหนา 0.4 เซนติเมตร แต่ละแผ่นพีวีซีสามารถเตรียมชิ้นงานได้ 20 ชิ้น แผ่นพีวีซีที่ใช้ทั้งหมด 18 แผ่น ดังนั้นเตรียมสกรีน-พรีนท์อิเล็กทรอนิกส์ได้ทั้งหมด 360 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเลือกสกรีน-พรีนทีอิเล็กทรอนิกส์โดยเปรียบเทียบสัญญาณกระแสจากสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอไรต์(III) [$K_3(Fe(CN)_6)$]

กำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

สารละลาย 0.03 M $K_3(Fe(CN)_6)$ ในสารละลาย 0.1 M โพแทสเซียมคลอไรด์(KCl)

พ่นแก๊สไนโตรเจน 300 วินาที

อัตราการสแกน 0.05 V/s

ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.03 M $K_3(Fe(CN)_6)$ ในสารละลาย 0.1 M โพแทสเซียมคลอไรด์แสดงดังรูปที่ 4.2



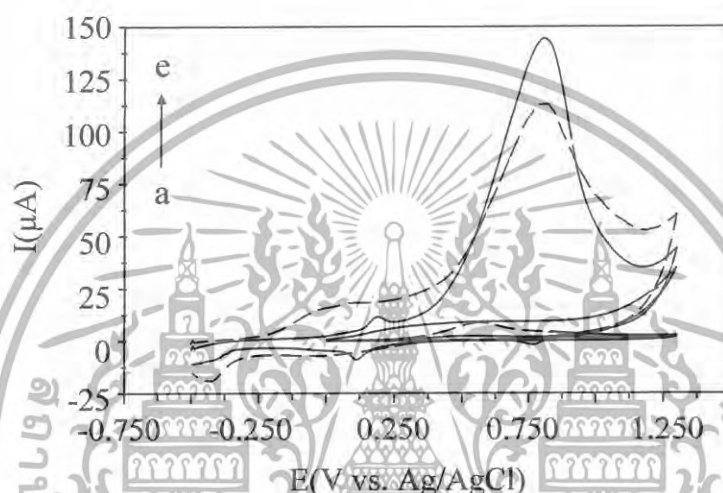
รูปที่ 4.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.03 M $K_3(Fe(CN)_6)$ ใน 0.1 M KCl ที่อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาหาสภาวะทางเคมีไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดคาเทชิน

4.3.1 ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

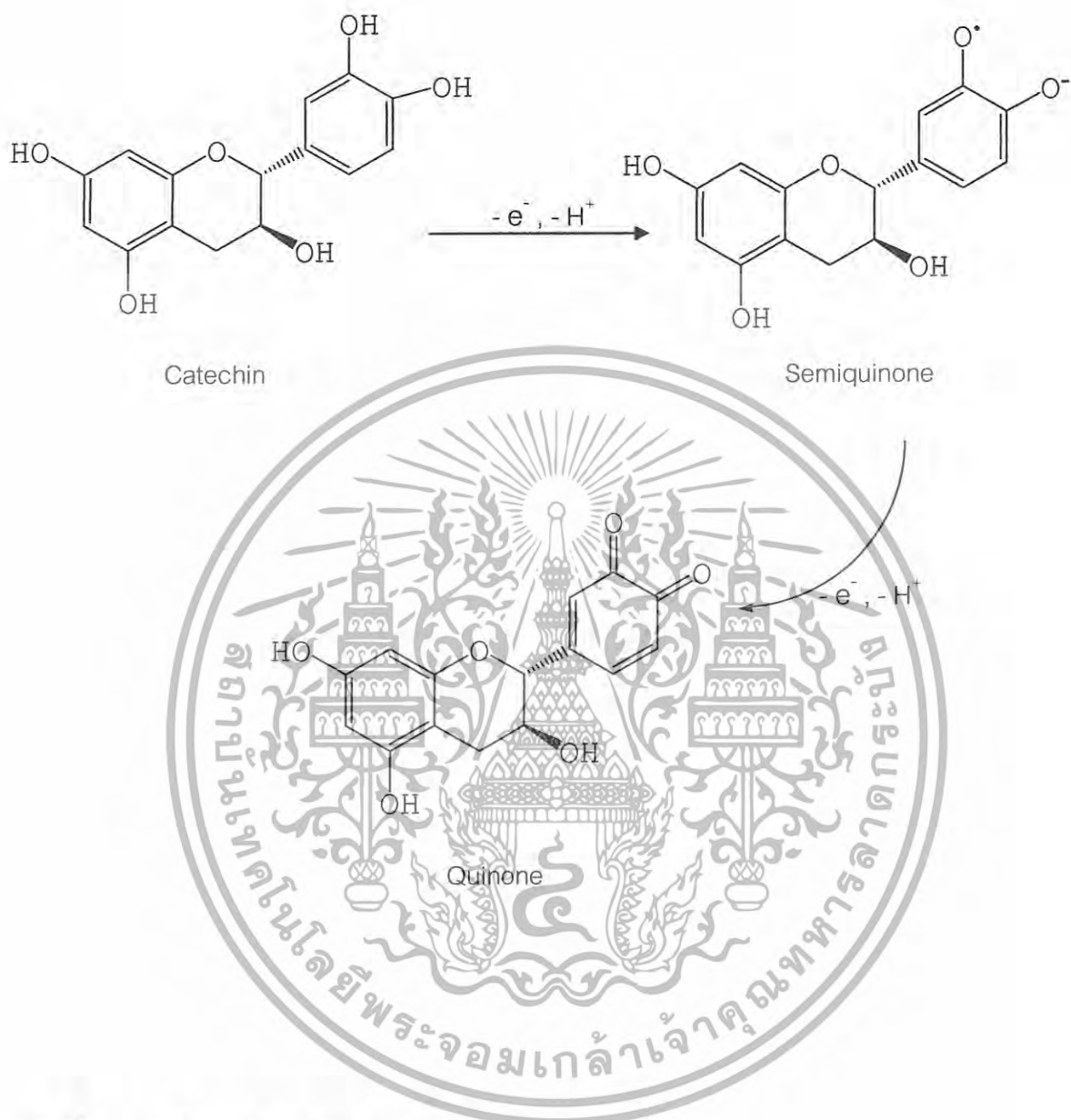
จากการตรวจวัดสารละลาย 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 0.1 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M ที่อัตราสแกน 0.05 V/s เมื่อใช้สกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน โดย (a) K_2SO_4 , (b) Na_2SO_4 , (c) $NaOH$, (d) $NaCl$ และ (e) KCl

จากการศึกษาหาชนิดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดคาเทชิน โดยใช้สกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรด พบว่าเมื่อใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะได้กระแสจากการตรวจวัดสูงที่สุด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินเกิดสารมัธยันต์ (intermediate) ที่เสถียรในสภาวะที่สารละลายเป็นกลาง แต่เมื่อสารละลายเป็นเบสเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาจะได้สารประกอบควิโนนซึ่งไม่เสถียร ทำให้กระแสที่ได้จากการตรวจวัดต่ำ เช่นเดียวกับในสภาวะที่กรดคาเทชินจะไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการตรวจวัดคาเทชิน กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

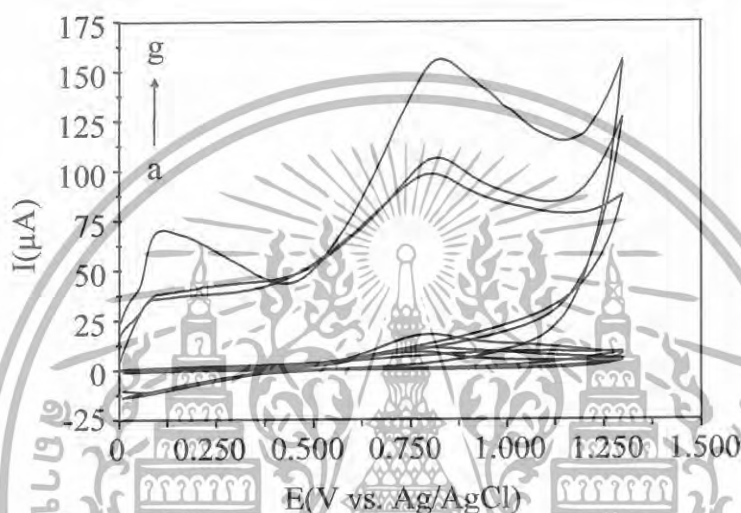


รูปที่ 4.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.001 ถึง 1.0 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.5



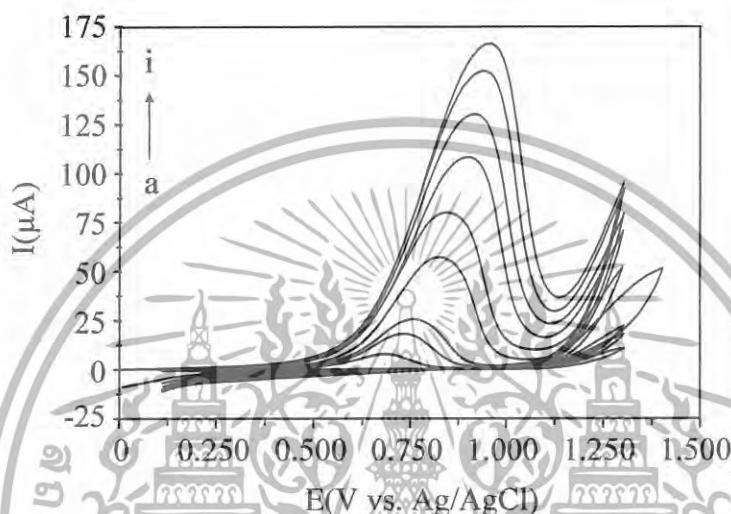
รูปที่ 4.5 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินในสารละลาย KCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อ (a) 0.001 M, (b) 0.005 M, (c) 0.01 M, (d) 0.05 M, (e) 0.1 M, (f) 0.5 M และ (g) 1.0 M

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นกระแสที่ได้จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ส่งผลให้ความแรงของไอออน (ionic strength) เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลาย โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 M ในการตรวจวัดสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสม

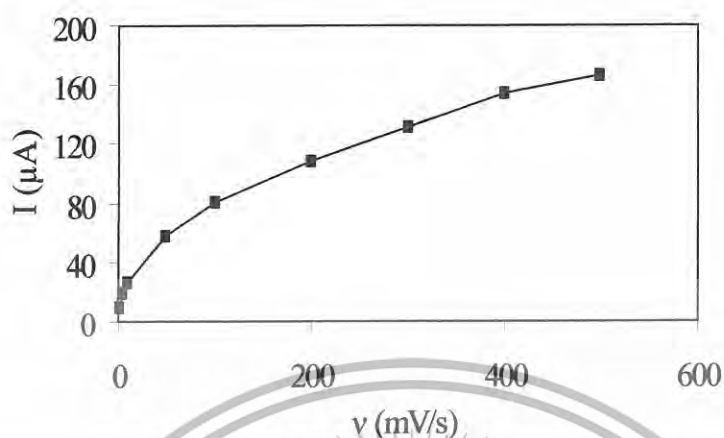
จากการตรวจวัดสารละลาย 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.6



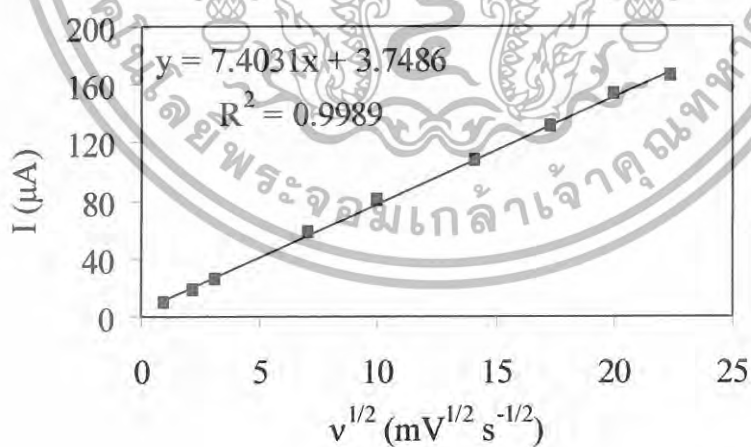
รูปที่ 4.6 ไซคลิกโวลแทมเมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อ (a) 0.001 V/s, (b) 0.005 V/s, (c) 0.01 V/s, (d) 0.05 V/s, (e) 0.1 V/s, (f) 0.2 V/s, (g) 0.3 V/s, (h) 0.4 V/s และ (i) 0.5 V/s

จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 M โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ใช้อัตราการสแกนตั้งแต่ 0.001 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 V/s พบว่ากระแสฟีกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราในการสแกนศักย์ไฟฟ้า เมื่อพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนและกระแสฟีก พบว่าได้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง และเมื่อทำการพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารากที่สองของอัตราการสแกนเทียบกับกระแสฟีก จะได้กราฟเส้นตรง $y = 0.1349x - 0.4934$ มีความชันประมาณ 0.5 ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับสมการ 2.8 ทำให้ทราบว่ากระบวนการของขั้วไฟฟ้าถูกควบคุมโดยการแพร่ (Diffusion Controlled)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทอเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน

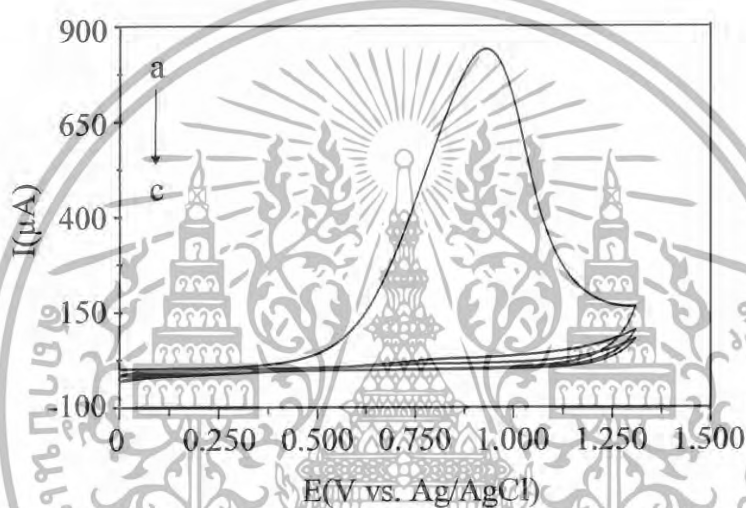


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่สองของอัตราการสแกนกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชันของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl โดยใช้สกรีน-พรีนทอเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

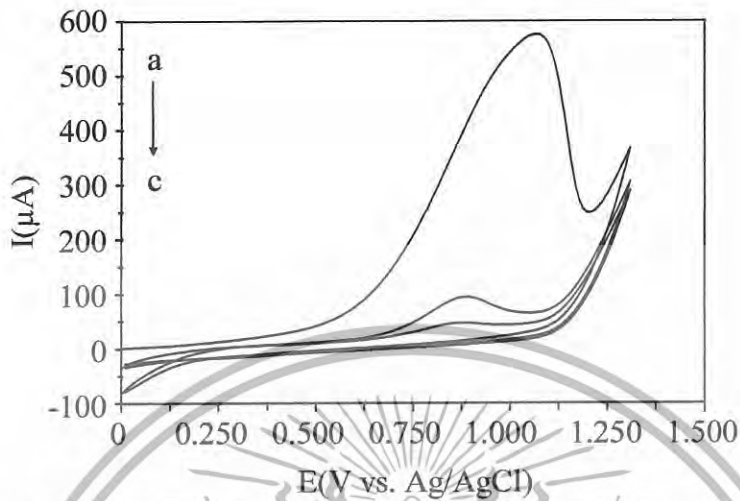
4.3.4 จำนวนรอบของการสแกน

จากการตรวจวัดสารละลาย 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากัลวาเนียมคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูป

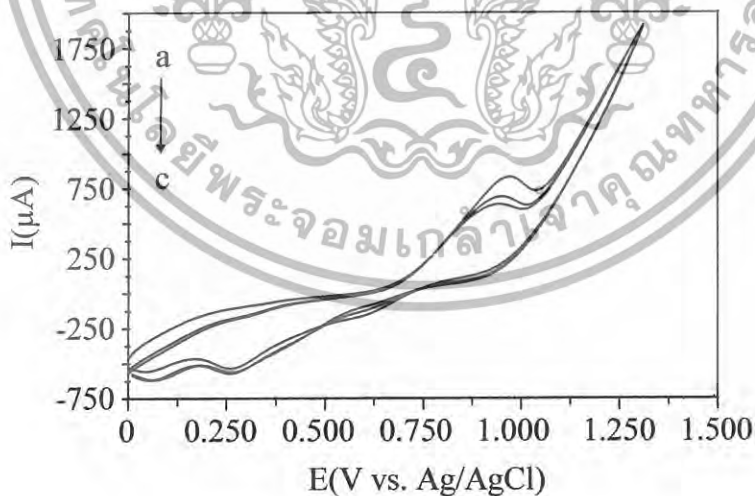


รูปที่ 4.9 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากัลวาเนียมคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกนเป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

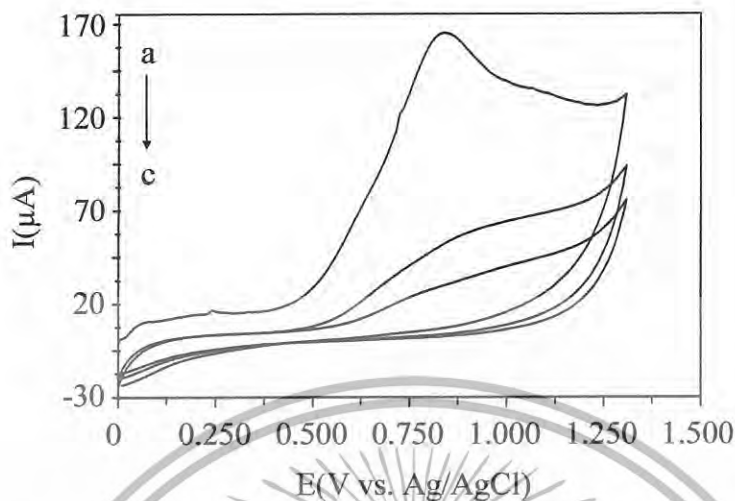


รูปที่ 4.10 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกนเป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3



รูปที่ 4.11 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน เมื่อรอบของการสแกนเป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



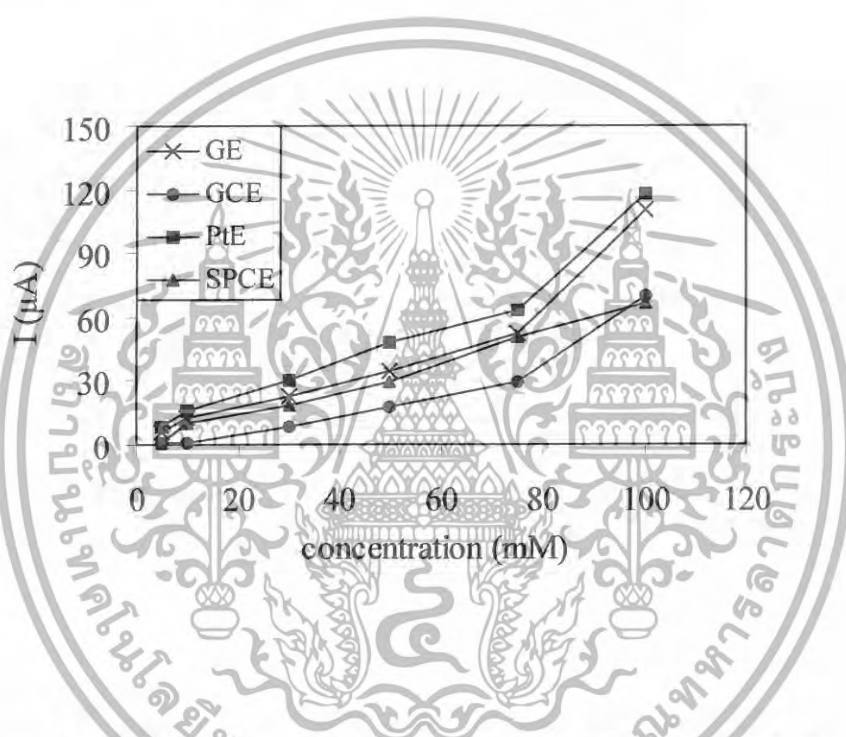
รูปที่ 4.12 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชินใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด เมื่อรอบของการสแกนเป็นดังนี้ (a) 1, (b) 2 และ (c) 3

จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ใช้อัตราการสแกน 0.5 V/s พบว่ากระแสฟีกจะลดลงเมื่อจำนวนรอบของการสแกนเพิ่มขึ้น เพราะจากการหาอัตราการสแกนที่เหมาะสมทำให้ทราบว่ากระบวนการของขั้วไฟฟ้าถูกควบคุมโดยการแพร่ (Diffusion Controlled) เมื่อสารแพร่เข้ามาแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นผลิตภัณฑ์ เกาะติดเป็นฟิล์ม (fouling) ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ซึ่งสังเกตได้จากกระแสลดลงอย่างมากเมื่อทำการสแกนในรอบที่ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สมบัติของขั้วไฟฟ้า

จากการใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.1 M ใน 1.0 M KCl ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยเริ่มสแกนตั้งแต่ศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง +1.3 V จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินกับความเข้มข้นของคาเทชินได้ดังรูปที่ 4.13



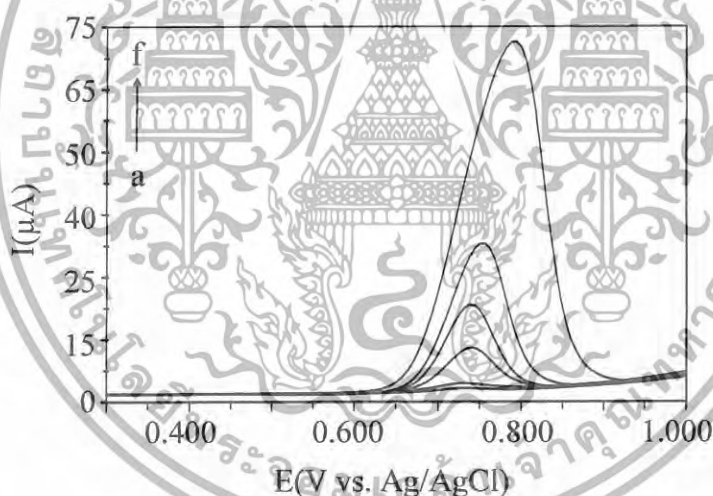
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การศึกษาสมบัติช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นกับกระแสในการวิเคราะห์

4.4.1.1 ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน

จากการใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอนตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.1 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยเริ่มสแกนตั้งแต่ศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง +1.3 V ใช้อัตราการสแกน 0.5 V/s โวลแทมโมแกรมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.14 จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินกับความเข้มข้นของคาเทชิน

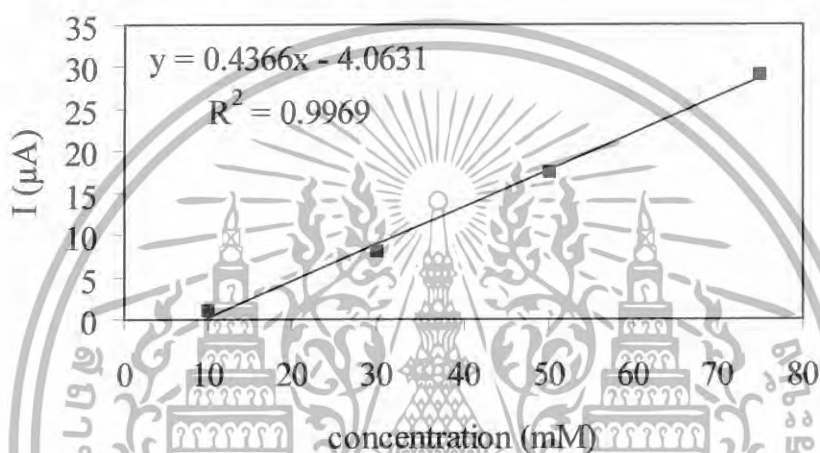


รูปที่ 4.14 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี เมื่อ (a) 5 mM, (b) 10 mM, (c) 30 mM, (d) 50 mM, (e) 75 mM และ (f) 100 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนมีช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 80 mM โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 0.4366x - 4.0631$ ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ 0.4366 $\mu\text{A}/\text{mM}$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9969 (ดูรูป 4.15 ประกอบ)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันเชิงสวิตชิงโวลเทจเมเทรี

2. กระแสพื้นของขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

การศึกษากระแสพื้นของขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอนตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M ทั้งหมด 30 จุด ซึ่งค่ากระแสทั้ง 30 ค่า แสดงดังตารางที่ ๓.2 (ภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

จากการใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัมตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.1 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี โดยเริ่มสแกนตั้งแต่ศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง +1.3 V ให้อัตราการสแกน 0.5 V/s โวลแทมโมแกรมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.16 จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินกับความเข้มข้นของคาเทชิน

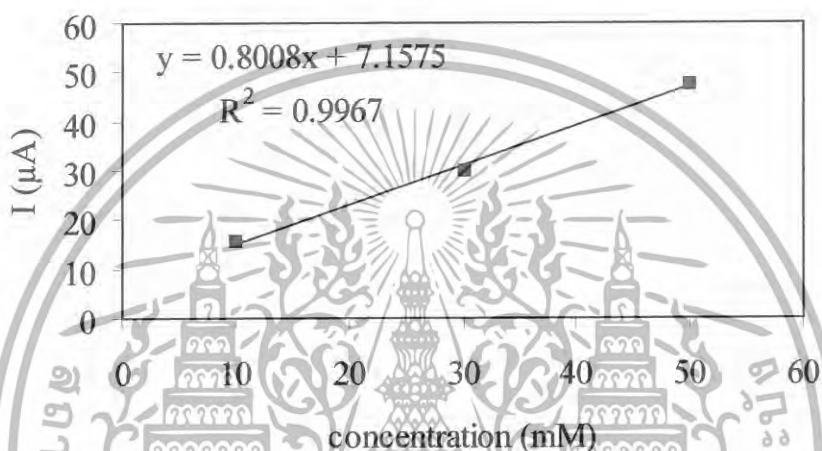


รูปที่ 4.16 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี เมื่อ (a) 5 mM, (b) 10 mM, (c) 30 mM, (d) 50 mM, (e) 75 mM และ (f) 100 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ขั้วไฟฟ้าแพลทินัมมีช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 50 mM โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 0.8008x + 7.157$ ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ 0.8008 $\mu\text{A}/\text{mM}$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9967 (ดูรูป 4.17 ประกอบ)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับกระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิคโพลาไรไรเซชันโวลแทมเมตรี

2. กระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

การศึกษากระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัมตรวจวัดสารละลาย KCl เข้มข้น 1.0 M ทั้งหมด 30 จุด ซึ่งค่ากระแสทั้ง 30 ค่า แสดงดังตารางที่ ง.3 (ภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 ชั่วไฟฟ้าทอง

จากการใช้ชั่วไฟฟ้าทองตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.1 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี โดยเริ่มสแกนตั้งแต่ศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง +1.3 V อัตราการสแกน 0.5 V/s โวลแทมโมแกรม ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.18 จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินกับความเข้มข้นของคาเทชิน

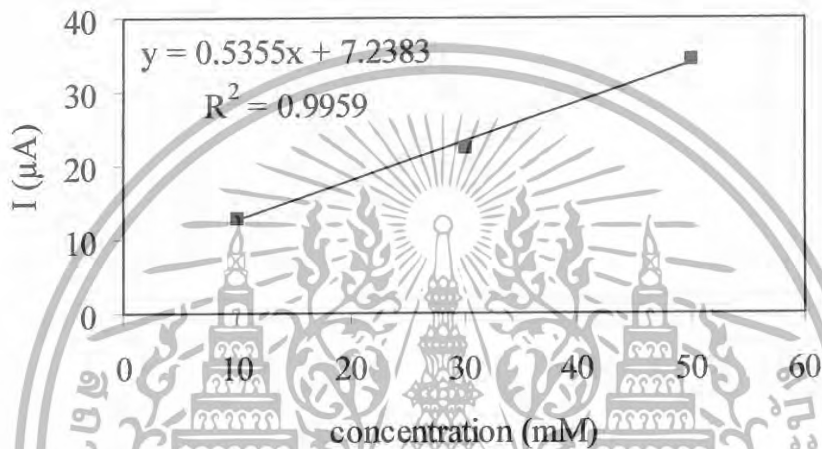


รูปที่ 4.18 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ชั่วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี เมื่อ (a) 5 mM, (b) 10 mM, (c) 30 mM, (d) 50 mM, (e) 75 mM และ (f) 100 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

ขั้วไฟฟ้าทองมีช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 50 mM โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 0.5355x + 7.2383$ ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ $0.5355 \mu\text{A}/\text{mM}$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9959 (ดูรูป 4.19 ประกอบ)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับกระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

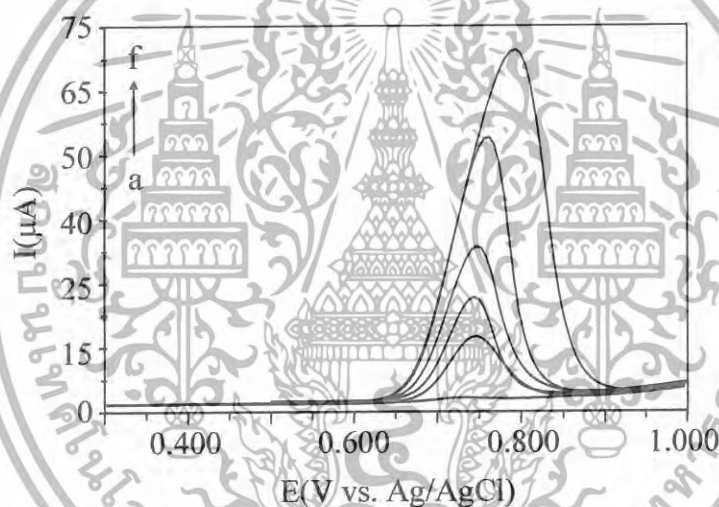
2. กระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าทอง

การศึกษากระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าทอง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 M ทั้งหมด 30 จุด ซึ่งค่ากระแสทั้ง 30 ค่า แสดงดังตารางที่ ง.4 (ภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.4 สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด

จากการใช้สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรดตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.1 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี โดยเริ่มสแกนตั้งแต่ศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง +1.3 V อัตราการสแกน 0.5 V/s โวลแทมโมแกรมที่ได้แสดงดังรูป 4.20 จากนั้นพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณกระแสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาเทชินกับความเข้มข้นของคาเทชิน

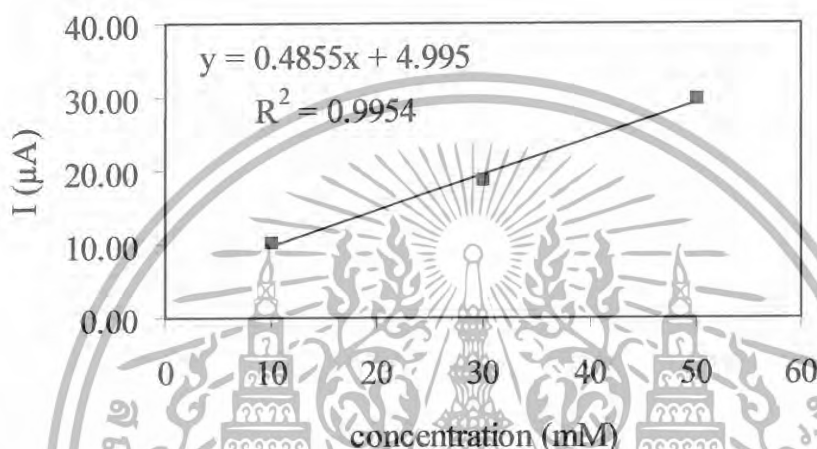


รูปที่ 4.20 โวลแทมโมแกรมของคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี เมื่อ(a) 5 mM, (b) 10 mM, (c) 30 mM, (d) 50 mM, (e) 75 mM และ (f) 100 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดมีช่วงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 50 mM โดยมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 0.4855x + 4.995$ ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ 0.4855 $\mu\text{A}/\text{mM}$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9954 (ดูรูป 4.21 ประกอบ)



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชินกับกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

2. กระแสพื้นของสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด

การศึกษากระแสพื้นของสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดตรวจวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M ทั้งหมด 30 จุด ซึ่งค่ากระแสทั้ง 30 ค่า แสดงดังตารางที่ ๓.5 (ภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ขีดจำกัดในการตรวจวัดและขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณของข้าวต่าง ๆ

$$\text{Detection Limit} = (3 \times \text{SD.}) / \text{Slope}$$

และ $\text{Quantification Limit} = (10 \times \text{SD.}) / \text{Slope}$

โดย SD. = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจาก Background (วัด 30 ครั้ง)

และ Slope = ความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง การคำนวณแสดงในภาคผนวก ง. ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 Detection Limit และ Quantification Limit ของข้าวไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ข้าวไฟฟ้า แพลทินัม ข้าวไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลเล็กไทรอด

ค่าที่ได้จากการทดลอง	ข้าวไฟฟ้า กลาสติคาร์บอน	ข้าวไฟฟ้า แพลทินัม	ข้าวไฟฟ้าทอง	สกรีน-พรีนทีอิล เล็กไทรอด
ค่า LOD (mM)	0.1917	0.0824	0.1154	0.1366
ค่า LOQ (mM)	0.6390	0.2747	0.3847	0.4552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การศึกษาความเที่ยงของขั้วไฟฟ้า

จากการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี โดยใช้อัตราการสแกน 0.5 V/s ทั้งหมด 30 ครั้งพบว่าได้ผลดังตารางที่ ค.9 – ค.12 (ภาคผนวกค.2.2) ซึ่งสามารถคำนวณค่า %RSD ของแต่ละขั้วไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 4.2

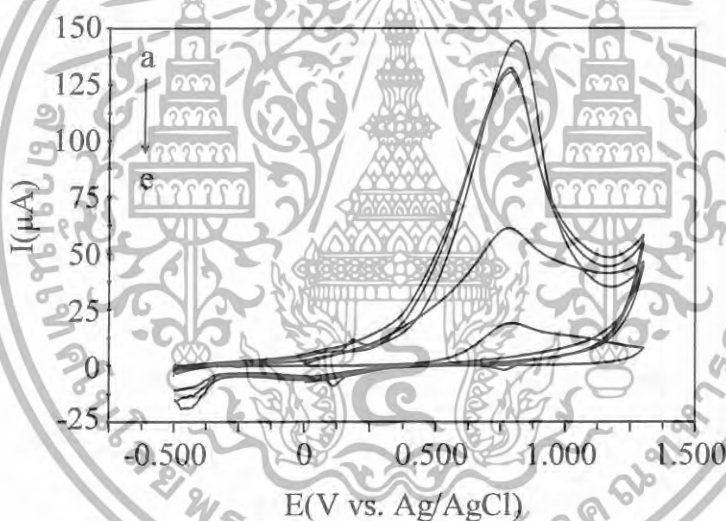
ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสฟิเคเจลีย์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ %RSD ของขั้วไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด จากการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

ค่าที่ได้จากการทดลอง	ขั้วไฟฟ้า กลาสติคาร์บอน	ขั้วไฟฟ้า แพลทินัม	ขั้วไฟฟ้าทอง	สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด
กระแสฟิเคเจลีย์ (μA)	18.50	48.84	34.77	28.75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9350	0.7121	0.7627	1.1654
% RSD	5.05	1.46	2.19	4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า

จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินเข้มข้น 0.05 M ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.0 M โดยใช้สกรีน-พรีนทีโอเล็กโทรด ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี อัตราการสแกน 0.5 V/s พบว่า อายุการใช้งานของสกรีน-พรีนทีโอเล็กโทรด เท่ากับ 3 ครั้ง สาเหตุที่มีอายุการใช้งานสั้นนั้นเนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดการยึดเกาะแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้บริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้า ทำให้ในการเกิดปฏิกิริยาครั้งต่อไปคาเทชินมีพื้นที่สัมผัสขั้วไฟฟ้าลดลง การเกิดปฏิกิริยาและกระแสจึงลดลง อายุการใช้งานแสดงดังกราฟรูปที่ 4.22 สัญญาณที่ตรวจวัดได้แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.22 โวลแทมโมแกรมแสดงอายุการใช้งานจากการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีโอเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี เมื่อวัดครั้งที่ (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4 และ (e) 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ตรวจวัดด้วยเทคนิค โวลติกโวลแทมเมตรี โดยใช้สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
1	0.806	120.10
2	0.782	101.80
3	0.782	99.71
4	0.769	34.07
5	0.758	14.75

ตารางที่ 4.4 สมบัติของขั้วไฟฟ้ากาสถิติคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และ สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด จากการตรวจวัดสารละลายคาเทชินมาตรฐาน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s

ชนิดขั้วไฟฟ้า	ช่วง	ความเที่ยง %RSD	LOD (mM)	LOQ (mM)	S/N *
	ความเข้มข้นที่ เป็นเส้นตรง (mM)				
ขั้วไฟฟ้า กาสถิติคาร์บอน	10-80	5.05	0.1917	0.6390	496.32
ขั้วไฟฟ้า แพลทินัม	10-50	1.46	0.0824	0.2747	1395.43
ขั้วไฟฟ้าทอง	10-50	2.19	0.1154	0.3847	1162.88
สกรีน-พริ้นท์ อิเล็กโทรด	10-50	4.12	0.1366	0.4552	735.73

หมายเหตุ : * คือการตรวจวัดสารละลายคาเทชินความเข้มข้น 0.05 M ในสารละลาย KCl 1.0 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณคาเทชินตัวอย่างด้วยเทคนิคโฟลว์เรซินเซียลพัลส์โวลแทมเมทรี

จากการตรวจวัดคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่างด้วยวิธีการเดิมมาตรฐาน โดยใช้ สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดตรวจวัดเทียบกับ ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม และ ขั้วไฟฟ้าทอง ด้วยเทคนิคโฟลว์เรซินเซียลพัลส์โวลแทมเมทรี อัตราการสแกน 0.5 V/s ใน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า %RSD (การคำนวณแสดงในภาคผนวก จ.) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 Percent Recovery ที่ได้จากการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างด้วยวิธีการเดิม มาตรฐาน จากเทคนิคโฟลว์เรซินเซียลพัลส์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด

ตัวอย่าง	ขั้วไฟฟ้า	Percent Recovery
น้ำชาเขียวโออิชิระมะนาว	กลาสคาร์บอน	96.61
	แพลทินัม	102.76
	ทอง	100.81
	สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด	96.97
น้ำชาเขียวยูนิพรสมะนาว	กลาสคาร์บอน	97.65
	แพลทินัม	102.81
	ทอง	98.82
	สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด	98.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์คาเทชิน พร้อมทั้งศึกษาถึงสภาวะในการเตรียม ในการทดสอบ สมบัติขั้ว และเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้ามาตรฐานต่างๆ พบว่า

- 5.1.1 เตรียมสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดโดยใช้หมึก Ag/AgCl เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง หมึกคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้าทำงานและขั้วไฟฟ้าช่วยสกรีนลงบนแผ่นพีซีที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้อุณหภูมิในการอบ 60 °C เวลาในการเตรียม 4 ชั่วโมง
- 5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ คือ ตรวจวัดสารละลายคาเทชินในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 M KCl ใช้อัตราการสแกน 0.5 V/s สแกนศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง +1.3 V
- 5.1.3 ผลการทดสอบสมบัติขั้วไฟฟ้า โดยการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ ความเที่ยงและอายุการใช้งาน จากการทดลองพบว่า สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมในการตรวจวัดคาเทชิน ซึ่งสมบัติของขั้วไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สมบัติของสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด

สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด	Detection Limit	ความเที่ยง ที่ตรวจวัดได้	อายุการใช้งาน
	0.1366 mM	%RSD = 4.12	3 ครั้ง

- 5.1.4 ผลการเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้ามาตรฐานต่างๆ พบว่า สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรดมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีอายุการใช้งานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรศึกษาการปรับปรุงขั้วไฟฟ้า เพื่อเพิ่มสมบัติขั้วในการตรวจวิเคราะห์
- 5.2.2 ในการเตรียมสกรีน-พรีนที่อิเล็กทรอนิกส์ ควรให้หมึกมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งขั้ว ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพ ความแม่นยำในการสกรีน หรือเตรียมโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติ
- 5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องอายุการเก็บรักษาขั้วไฟฟ้า (storage time)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahmad, N. and Mukhtar, H., Green tea polyphenols and cancer biologic mechanisms and practical implications. **Nutr. Rev.** 1999; 57: 78-83.
- [2] Kang, W., Lim, I. and Yuk, D., Antithrombotic activities of green tea catechins and (-)-epigallocatechin gallate. **Thromb. Res.** 1999; 96: 229-237.
- [3] Preeyanan, B., Kunlanit, C. and Rasamee, C., Antioxidant capacity tests of tea beverages by cyclic voltammetry and ferric reducing antioxidant power assay. Silpakorn University, Thailand. 1-3.
- [4] Jennifer, B., Jennifer, D., Rodney, W., Andrew, W., J.G., Rosemary, W. and Sidika, E. (+)-Catechin in human plasma after ingestion of a single serving of reconstituted red wine. **Am. J. Clin. Nutr.** 2000;71(1) :103-108.
- [5] O'Coinceanainn, M., Astill, C. and Baderschneider, B., Coordination of aluminium with purpurogallin and theaflavin digallate. **J. Inorg. Biochem.** 2003; 96(4): 463-468.
- [6] Thuy, T., Mark, C., John, D. and Harry, M., Determination of anti-oxidant activity by electron spin resonance spectroscopy. **Spectroscopy.** 2000; 56 (9), 818 – 820.
- [7] Chu, K., Wang, C., Chu, C., Rogers, M., Choy, K. and Pang, C.. Determination of catechins and catechin gallates in tissues by liquid chromatography with coulometric array detection and selective solid phase extraction. **J. Chromatogr. B.** 2004 Oct 25; 810(2): 187-95.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] Pineiro, Z., Palma, M. and Barroso, C., Determination of catechins by means of extraction with pressurized liquids. **J. Chromatogr. A.** 2004; 1026 (1). 19-23.
- [9] Chu, K., Wang, C., Chu, C., Rogers, M., Choy, K. and Pang, C., Determination of catechins and catechin gallates in tissues by liquid chromatography with coulometric array detection and selective solid phase extraction. **J. Chromatogr. B.** 2004; 810(2): 187-95.
- [10] Jung, L., Mohammad, K. and Sang, L., Determination of catechin in aqueous solution by chemiluminescence method. **J. Fluoresc.** 2005; 15(5): 735-739.
- [11] Guido, G., Maria, R. and Paola, B., Pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry used to simultaneously determine essential oil and phenolic compounds in the monks' pepper *vitex agnus-castus* L. **Rapid. Commun. Mass. Sp.** 2005; 9(13): 1252 – 1260.
- [12] Cavit, B., Determination of aflatoxin contamination in olives by immunoaffinity column using high-performance liquid chromatography. **J. Food. Quality.** 2006; 29 (2): 126–138.
- [13] Susana, T., Christophe, S., Carla, A., Isabel, B., Paula, M., Fernanda, B., José, L. and Salette, R., Structure-property studies on the antioxidant activity of flavonoids present in diet. **J. Rapid. Meth. Aut. Mic.** 2005; 39: 1099-108.
- [14] Cummings, E., Development of a tyrosinase-based, screen-printed amperometric electrode for the detection of flavanoid polyphenols in lager beers. Newtownabbey, Co. Antrim, Northern Ireland. **J. Am. Soc. Brew. Chem.** 2001; 59 (2): 84-89.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Soln, R., Sapelnikovab, S., Skl'adala, P., Winther-Nielsenc, M., Carlssond, C., Emn'eusb, J. and Ruzgasb, T., Multienzyme electrochemical array sensor for determination of phenols and pesticides. *Talanta*. 2005; 65: 349–357.
- [16] Fernandez, Romero, J., Stiene, M., Kast, R., Luque, de, Castro, M. and Bilitewski, U., Application of screen-printed electrodes as transducers in affinity flow-through sensor systems. *Biosens. Bioelectron*. 1998; 13 (10): 1107-15.
- [17] Maria, Jesús, S., Josefa, L., Ramon, M., Félix, S., Juan, S., Eduardo, G. and Luis, G., An ion-selective electrode for anion perchlorate in thick-film technology. *J. Sens*. 2006; 6: 480-491.
- [18] Wang, J., *Analytical electrochemistry*, 2nd ed. Wiley-VCH, 2000; p 28-33, p 68-71.
- [19] Hammerstone, J., Lazarus, S. and Schmitz, H., Procyanidin content and variation in some commonly consumed foods. *J. Nutr*. 2000; 130: 2086S–2092S.
- [20] O'Neill, R., Chang, S., Lowry, J. and McNeil, C., EGCG down-regulates telomerase in human breast carcinoma MCF-7 cells, leading to suppression of cell viability and induction of apoptosis. *Int. J. Oncol*. 2004; 24(3): 703-10.
- [21] Kridsanee, M., Tanin, T., Piyanee, P. and Waret, V., **Electrochemical impedance spectroscopy and cyclic voltammetry for evaluation the screen printed carbon electrode**. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. Thailand. 2005; 720-725.
- [22] Tanin, T. and Waret, V., **Modification of screen printed carbon electrode for detection of hydrogen peroxide**. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. Thailand. 2005; 11-13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] Prapaisri, B. and Winai, O., **Potentiometric screen-printed electrodes for the determination of oxytetracycline hydrochloride**. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. Thailand. 2005; 1-3.

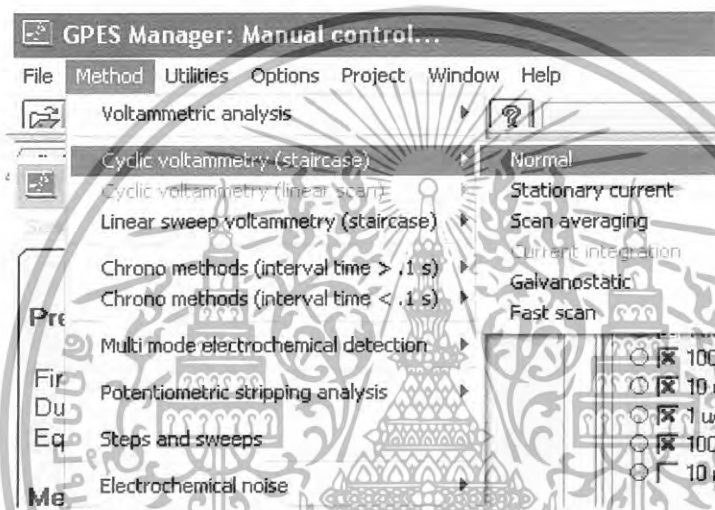


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

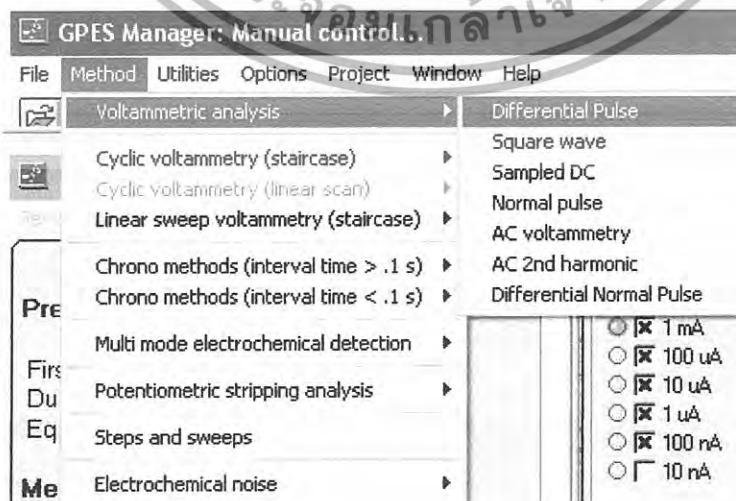
ภาคผนวก ก. การตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม Autolab

รูปที่ ก.1 การเลือกเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัด

- เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี



- เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีแบบอัตโนมัติ

Peak search options			
Search <input type="checkbox"/> Reverse <input checked="" type="radio"/> Automatic <input type="checkbox"/> Include shoulders <input type="radio"/> Curve cursor <input type="radio"/> Free cursor		Peak <input type="radio"/> Whole peak <input checked="" type="radio"/> Front peak <input type="radio"/> Rear peak	
Minimum Peak width: 0.03 Peak height: 1.0E-6		Baseline <input checked="" type="radio"/> Linear baseline <input type="radio"/> Exponential basecurve <input type="radio"/> Polynomial basecurve <input type="radio"/> Lin. front baseline <input type="radio"/> Lin. rear baseline <input type="radio"/> No baseline	
		<input type="button" value="Set formats"/> <input type="button" value="Close"/>	

รูปที่ ก.3 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีแบบกำหนด cursor จุดเอง

Peak search options			
Search <input type="checkbox"/> Reverse <input type="radio"/> Automatic <input type="checkbox"/> Include shoulders <input checked="" type="radio"/> Curve cursor <input type="radio"/> Free cursor		Peak <input checked="" type="radio"/> Whole peak <input type="radio"/> Front peak <input type="radio"/> Rear peak	
Minimum Peak width: 0.03 Peak height: 1.0E-6		Baseline <input checked="" type="radio"/> Linear baseline <input type="radio"/> Exponential basecurve <input type="radio"/> Polynomial basecurve <input type="radio"/> Lin. front baseline <input type="radio"/> Lin. rear baseline <input type="radio"/> No baseline	
		<input type="button" value="Set formats"/> <input type="button" value="Close"/>	

รูปที่ ก.4 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีแบบอัตโนมัติ

Peak search options			
Search <input type="checkbox"/> Reverse <input checked="" type="radio"/> Automatic <input type="checkbox"/> Include shoulders <input type="radio"/> Curve cursor <input type="radio"/> Free cursor		Peak <input checked="" type="radio"/> Whole peak <input type="radio"/> Front peak <input type="radio"/> Rear peak	
Minimum Peak width: .03 Peak height: 1.0E-10		Baseline <input checked="" type="radio"/> Linear baseline <input type="radio"/> Exponential basecurve <input type="radio"/> Polynomial basecurve <input type="radio"/> Lin. front baseline <input type="radio"/> Lin. rear baseline <input type="radio"/> No baseline	
		<input type="button" value="Set formats"/> <input type="button" value="Close"/>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.5 การหาค่าสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคไฟฟ้าเรนเซียลพัลส์โวลแทมเมตรีแบบกำหนดเอง

Peak search options		
Search <input type="checkbox"/> Reverse <input type="radio"/> Automatic <input type="checkbox"/> Include shoulders <input checked="" type="radio"/> Curve cursor <input type="radio"/> Free cursor	Peak <input checked="" type="radio"/> Whole peak <input type="radio"/> Front peak <input type="radio"/> Rear peak	Baseline <input checked="" type="radio"/> Linear baseline <input type="radio"/> Exponential basecurve <input type="radio"/> Polynomial basecurve <input type="radio"/> Lin. front baseline <input type="radio"/> Lin. rear baseline <input type="radio"/> No baseline
Minimum Peak width: .03 Peak height: 1.0E-10	<input type="button" value="Set formats"/>	<input type="button" value="Close"/>

รูปที่ ก.6 สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

Edit procedure	
Page 1	Page 2
Pretreatment	
First conditioning potential (V):	0
Duration (s):	300
Equilibration time (s):	20
Measurement	
Number of scans:	1
Cell off after measurement:	<input checked="" type="checkbox"/>
Standby potential (V):	0
Potentials	
Define start potential w.r.t. OCP:	<input checked="" type="checkbox"/>
Start potential (V):	0
First vertex potential (V):	1.3
Second vertex potential (V):	0
Step potential (V):	.01005
Scan rate (V/s):	.499901
Title and subtitle	
<input type="text"/> <input type="text"/>	

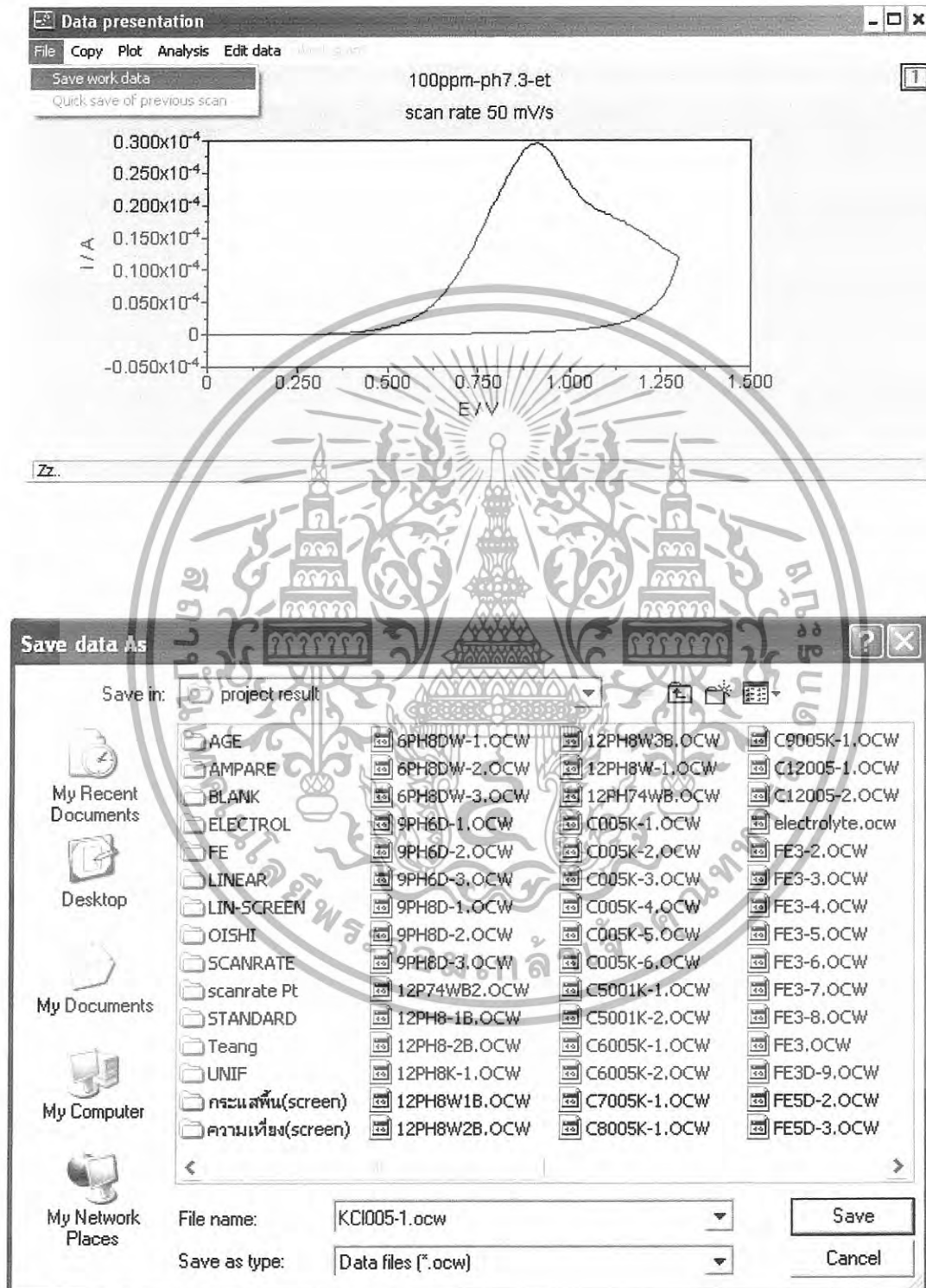
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.7 สภาวะที่ใช้ในการตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

Page 1		Page 2	
Pretreatment			
Conditioning potential (V) :	0		
Duration (s) :	0		
Deposition potential (V) :	0		
Duration (s) :	0		
Equilibration time (s) :	20		
Measurement			
Cell off after measurement :	<input checked="" type="checkbox"/>		
Modulation time (≥ 0.002 s) :	.05		
Interval time (≥ 0.10 s) :	.5		
Potentials			
Initial potential (V) :	0		
End potential (V) :	1.3		
Step potential (V) :	.49395		
Modulation amplitude (V) :	.07005		
Standby potential (V) :	0		
Title and subtitle			

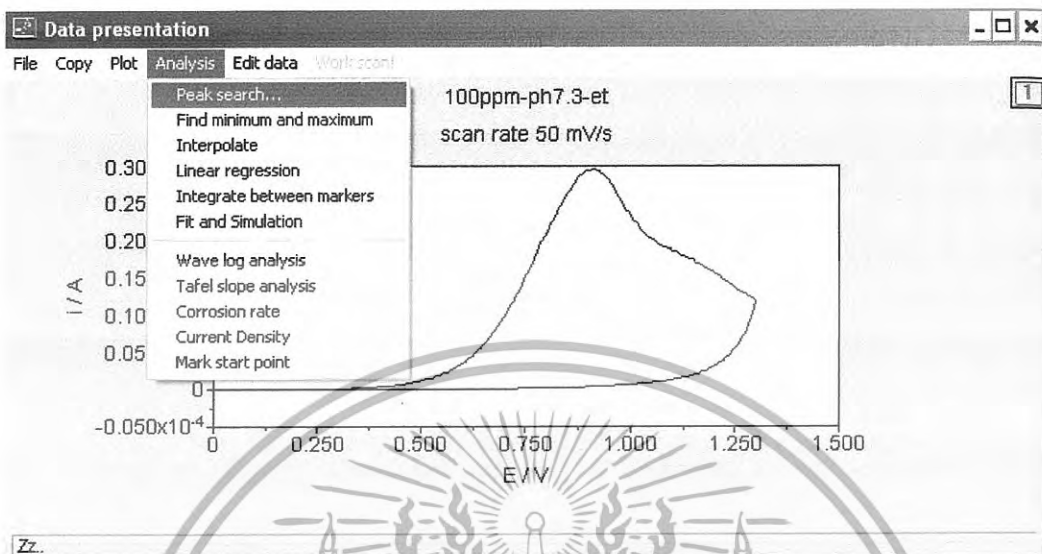
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.8 การบันทึกผลการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.9 การเรียกดูผลการวิเคราะห์



Peak search results

Results

No.	Position	Height	Area (C)	Width (1/2)	Derivative	Ep-Ep/2 (V)
01	0.892	2.234e-5	1.431e-4	0.280	6.726e-4	0.134

Clear OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การเตรียมสารเคมี

- ข.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 ml**
ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์(KCl; น้ำหนักโมเลกุล 74.55) 0.7455 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิจิเคทให้โพแทสเซียมคลอไรด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน
- ข.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 ml**
ชั่งโซเดียมคลอไรด์(NaCl; น้ำหนักโมเลกุล 58.44) 0.5844 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิจิเคทให้โซเดียมคลอไรด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน
- ข.3 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 ml**
ชั่งโพแทสเซียมซัลเฟต(K_2SO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 174.27) 1.7427 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิจิเคทให้โพแทสเซียมซัลเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน
- ข.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 ml**
ชั่งโซเดียมซัลเฟต(Na_2SO_4 ; น้ำหนักโมเลกุล 142.04) 1.4204 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิจิเคทให้โซเดียมซัลเฟตละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน
- ข.5 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 ml**
ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH; น้ำหนักโมเลกุล 49.00) 0.4900 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิจิเคทให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 100 ml

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์(KCl; น้ำหนักโมเลกุล 74.55) 7.4550 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปไซนิฟิเคทให้โพแทสเซียมคลอไรด์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน

ข.7 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 10 ml

ชั่งคาเทชิน($C_{15}H_{14}O_6$; น้ำหนักโมเลกุล 290.28) 0.5806 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 98% นำไปไซนิฟิเคทให้คาเทชินละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml ปรับปริมาตรเป็น 10 ml ด้วยน้ำเอทานอล 98%

ข.8 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 20 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.2 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.7 จำนวน 10 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 10 ml

ข.9 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.075 M ปริมาตร 20 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.1 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.8 จำนวน 15 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 5 ml

ข.10 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 15 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.075 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.9 จำนวน 10 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 5 ml

ข.11 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.03 M ปริมาตร 20 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.05 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.10 จำนวน 12 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 8 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.12 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 15 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.03 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.11 จำนวน 5 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โฟแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 10 ml

ข.13 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 0.005 M ปริมาตร 20 ml

ปีเปตสารละลายมาตรฐาน 0.01 M คาเทชิน จากภาคผนวก ข.12 จำนวน 10 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วเติมสารละลาย 1.0 M โฟแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6 จำนวน 10 ml

ข.14 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณคาเทชินด้วยวิธีเดิม สารละลายมาตรฐาน

ปีเปตสารละลายตัวอย่างชาเขียวจำนวน 10 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml จากนั้นจึงนำไปเติมสารละลายมาตรฐาน แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1.0 M โฟแทสเซียมคลอไรด์ จากภาคผนวก ข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลการทดลอง

ค.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายคาเทชิน

ค.1.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม

ตารางที่ ค.1 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พริ้นท์อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

อิเล็กโทรไลต์	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.1 M KCl	0.806	0.790 ± 0.01385	120.10	119.70 ± 0.45825
	0.782		119.20	
	0.782		119.80	
0.1 M NaCl	0.788	0.769 ± 0.00916	74.08	73.09 ± 0.85982
	0.794		72.53	
	0.806		72.66	
0.1 M K_2SO_4	0.528	0.530 ± 0.00321	1.62	1.66 ± 0.06035
	0.534		1.73	
	0.529		1.62	
0.1 M Na_2SO_4	0.569	0.567 ± 0.00288	7.98	7.80 ± 0.20969
	0.564		7.57	
	0.569		7.83	
0.1 M NaOH	-	-	-	-

หมายเหตุ : - คือเครื่องหมายแสดงผลว่าไม่ปรากฏพีกในการตรวจวัดสารละลายคาเทชินใน

สารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2 ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม

ตารางที่ ค.2 ค่าปริมาณกระแสปฏิบัติกริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ในสารละลาย KCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ อัตราการสแกน 0.05 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

ความเข้มข้นของ สารละลาย โพแทสเซียม- คลอไรด์(M)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.001	0.743	0.744 ± 0.00115	4.79	4.73 ± 0.08963
	0.743		4.63	
	0.745		4.78	
0.005	0.752	0.759 ± 0.00608	6.35	6.41 ± 0.05292
	0.763		6.45	
	0.762		6.43	
0.010	0.777	0.771 ± 0.00656	8.29	8.33 ± 0.07234
	0.764		8.41	
	0.772		8.28	
0.050	0.795	0.789 ± 0.00551	13.19	13.18 ± 0.02309
	0.789		13.19	
	0.784		13.15	
0.100	0.795	0.795 ± 0.00000	37.43	36.95 ± 0.44095
	0.795		36.56	
	0.795		36.87	
0.500	0.801	0.811 ± 0.01234	39.14	38.85 ± 0.51971
	0.825		38.25	
	0.808		39.16	
1.000	0.813	0.813 ± 0.00058	75.02	75.05 ± 0.08327
	0.814		74.98	
	0.813		75.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.3 อัตราการสแกนที่เหมาะสม

ตารางที่ ค.3 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl ที่อัตราการสแกนต่าง ๆ โดยใช้สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

อัตราการสแกน (V/s)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.001	0.685	0.680 \pm 0.00462	9.85	9.79 \pm 0.05196
	0.677		9.76	
	0.677		9.76	
0.005	0.732	0.726 \pm 0.00603	19.18	19.23 \pm 0.04163
	0.725		19.26	
	0.720		19.24	
0.010	0.755	0.762 \pm 0.00586	26.02	26.00 \pm 0.06245
	0.764		25.93	
	0.766		26.05	
0.050	0.826	0.836 \pm 0.01674	57.93	57.86 \pm 0.05859
	0.826		57.84	
	0.855		57.82	
0.100	0.842	0.840 \pm 0.00173	81.13	81.11 \pm 0.02082
	0.839		81.09	
	0.839		81.12	
0.200	0.893	0.904 \pm 0.00945	108.60	108.47 \pm 0.11547
	0.907		108.40	
	0.911		108.40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราสแกน (V/s)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
0.300	0.909	0.900 ± 0.00777	131.4	131.33 ± 0.11547
	0.894		131.4	
	0.898		131.2	
0.400	0.938	0.938 ± 0.00000	153.7	153.67 ± 0.15275
	0.938		153.5	
	0.938		153.8	
0.500	0.942	0.942 ± 0.00551	166.2	166.23 ± 0.15275
	0.936		166.4	
	0.947		166.1	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.4 จำนวนรอบของการสแกน

ตารางที่ ค.4 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s ที่จำนวนรอบของการสแกนต่าง ๆ โดยขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าทอง และ สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

ขั้วไฟฟ้า	จำนวนรอบของการสแกน	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
		ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
กลาสสิคาร์บอน	1	0.927	732.60
	2	-	-
	3	-	-
แพลทินัม	1	1.047	369.20
	2	0.876	48.26
	3	0.856	13.89
ทอง	1	0.947	254.10
	2	0.947	65.31
	3	0.947	41.34
สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด	1	0.826	94.28
	2	-	-
	3	-	-

หมายเหตุ :- คือ ไม่ปรากฏพีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 สมบัติของขั้วทำงาน

ค.2.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของความเข้มข้นในการวิเคราะห์

ค.2.1.1 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

ตารางที่ ค.5 ค่าปริมาณกระแสประปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี

คาเทชิน (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.786	0.790 \pm 0.00346	0.53	0.57 \pm 0.04042
	0.792		0.61	
	0.792		0.56	
10	0.791	0.787 \pm 0.00321	0.96	0.97 \pm 0.01155
	0.786		0.98	
	0.785		0.96	
30	0.785	0.784 \pm 0.00115	8.24	8.21 \pm 0.04619
	0.783		8.16	
	0.783		8.24	
50	0.785	0.785 \pm 0.00000	17.52	17.52 \pm 0.06000
	0.785		17.58	
	0.785		17.46	
75	0.792	0.790 \pm 0.00404	29.15	29.09 \pm 0.05196
	0.792		29.06	
	0.785		29.06	
100	0.785	0.787 \pm 0.00346	70.73	70.32 \pm 0.09644
	0.791		70.25	
	0.785		70.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.1.2 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

ตารางที่ ค.6 ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี

คาเทชิน (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.785	0.784 \pm 0.00115	8.56	8.51 \pm 0.06110
	0.785		8.44	
	0.783		8.52	
10	0.783	0.784 \pm 0.00115	15.69	15.70 \pm 0.01732
	0.785		15.69	
	0.783		15.72	
30	0.785	0.789 \pm 0.00379	30.05	30.11 \pm 0.05196
	0.791		30.14	
	0.792		30.14	
50	0.783	0.786 \pm 0.00416	47.74	47.73 \pm 0.09539
	0.785		47.63	
	0.791		47.82	
75	0.786	0.786 \pm 0.00058	63.26	63.31 \pm 0.08660
	0.785		63.41	
	0.786		63.26	
100	0.791	0.787 \pm 0.00404	118.34	118.22 \pm 0.10693
	0.786		118.15	
	0.783		118.16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.1.3 ขั้วไฟฟ้าทอง

ตารางที่ ค.7 ค่าปริมาณกระแสปฏิกริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี

คาเทชิน (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.791	0.791 \pm 0.00058	6.06	6.09 \pm 0.02517
	0.791		6.11	
	0.792		6.09	
10	0.783	0.786 \pm 0.00416	13.01	12.99 \pm 0.01732
	0.791		12.98	
	0.785		12.98	
30	0.785	0.784 \pm 0.00115	22.54	22.51 \pm 0.04619
	0.783		22.54	
	0.785		22.46	
50	0.785	0.791 \pm 0.00551	34.48	34.41 \pm 0.10214
	0.791		34.45	
	0.796		34.29	
75	0.785	0.789 \pm 0.00346	52.08	52.12 \pm 0.04509
	0.791		52.12	
	0.791		52.17	
100	0.783	0.786 \pm 0.00416	110.50	110.53 \pm 0.05774
	0.785		110.60	
	0.791		110.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.1.4 สกรีน-พรีนทีอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ ค.8 ค่าปริมาณกระแสปฏิบัติภายนอกซีเดชั่น และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิเล็กทรอนิกส์ ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมทรี

คาเทชิน (mM)	สัญญาณที่ตรวจวัดได้			
	ศักย์ไฟฟ้า(V)		กระแส(μ A)	
	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่าเฉลี่ย
5	0.796	0.792 \pm 0.00635	0.76	0.73 \pm 0.03606
	0.785		0.69	
	0.796		0.74	
10	0.785	0.784 \pm 0.00115	10.24	10.23 \pm 0.01732
	0.785		10.24	
	0.783		10.21	
30	0.792	0.791 \pm 0.00058	18.85	18.80 \pm 0.04726
	0.791		18.76	
	0.791		18.78	
50	0.785	0.790 \pm 0.00404	29.64	29.65 \pm 0.01155
	0.792		29.64	
	0.792		29.66	
75	0.785	0.791 \pm 0.00557	50.09	50.15 \pm 0.06000
	0.796		50.15	
	0.792		50.21	
100	0.785	0.784 \pm 0.00115	66.48	66.44 \pm 0.06928
	0.783		66.36	
	0.783		66.48	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.2 การศึกษาความเที่ยง

ค.2.2.1 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน

ตารางที่ ค.9 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลแทมเมทรี

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
1	0.794	19.64
2	0.798	19.56
3	0.784	18.79
4	0.782	18.51
5	0.785	17.98
6	0.801	19.24
7	0.794	19.26
8	0.784	18.34
9	0.784	18.29
10	0.782	18.33
11	0.798	19.13
12	0.798	19.65
13	0.788	18.75
14	0.784	18.66
15	0.801	19.42
16	0.801	19.66
17	0.794	19.76
18	0.789	18.95
19	0.782	18.98
20	0.783	17.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
21	0.798	19.71
22	0.785	17.96
23	0.781	17.84
24	0.781	17.84
25	0.783	17.84
26	0.785	17.89
27	0.783	17.98
28	0.782	18.12
29	0.782	18.06
30	0.784	18.04
ค่าเฉลี่ย		18.50
SD.		0.93499
% RSD		5.05

ค.2.2.2 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

ตารางที่ ค.10 ค่าปริมาณกระแสปฏิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลแทมเมทรี

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
1	0.783	48.56
2	0.785	48.55
3	0.785	48.56
4	0.783	48.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
5	0.792	49.68
6	0.791	49.87
7	0.792	49.87
8	0.791	49.84
9	0.783	48.86
10	0.783	48.96
11	0.783	48.91
12	0.791	49.05
13	0.792	49.24
14	0.792	49.18
15	0.792	49.25
16	0.785	48.63
17	0.791	49.27
18	0.791	49.46
19	0.783	48.84
20	0.781	48.87
21	0.781	48.76
22	0.796	49.55
23	0.785	49.78
24	0.796	49.67
25	0.791	49.89
26	0.785	48.43
27	0.785	48.52
28	0.792	49.08
29	0.783	48.74
30	0.792	49.38
ค่าเฉลี่ย		48.84
SD.		0.71209
% RSD		1.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2.2.3 ขั้วไฟฟ้าทอง

ตารางที่ ค.11 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
1	0.783	35.56
2	0.783	35.65
3	0.785	35.65
4	0.783	35.65
5	0.785	35.62
6	0.791	35.12
7	0.791	34.84
8	0.796	34.95
9	0.785	35.26
10	0.792	34.68
11	0.783	34.84
12	0.783	35.23
13	0.785	35.58
14	0.796	34.26
15	0.791	34.68
16	0.791	34.77
17	0.792	35.12
18	0.785	34.09
19	0.785	35.74
20	0.783	35.86
21	0.791	35.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
22	0.796	35.79
23	0.785	34.56
24	0.783	34.58
25	0.783	34.22
26	0.783	33.98
27	0.785	33.94
28	0.792	33.90
29	0.792	33.83
30	0.791	34.38
ค่าเฉลี่ย		34.77
SD.		0.76269
% RSD		2.19

ค.2.2.4 สกรีน-พรีนซ์อิเล็กโทรด

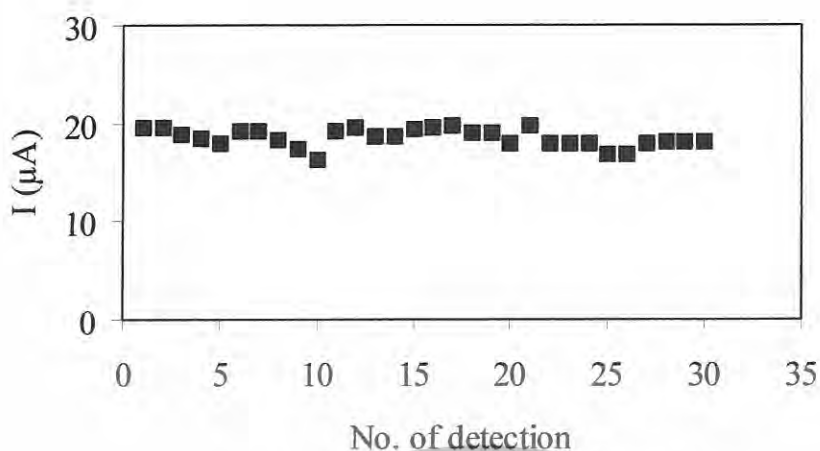
ตารางที่ ค.12 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโวลแทมโมแกรมของ 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนซ์อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
1	0.785	30.57
2	0.791	29.54
3	0.783	29.48
4	0.783	28.97

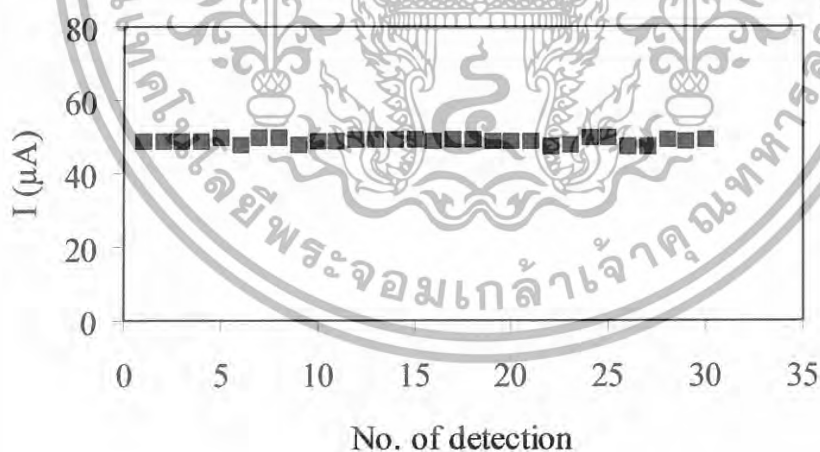
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้ง	สัญญาณที่ตรวจวัดได้	
	ศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแส(μ A)
5	0.792	28.92
6	0.792	27.41
7	0.783	29.72
8	0.796	29.65
9	0.791	28.96
10	0.791	28.59
11	0.785	27.86
12	0.783	26.42
13	0.792	26.16
14	0.792	27.47
15	0.792	26.34
16	0.792	28.56
17	0.783	28.42
18	0.785	27.19
19	0.785	27.65
20	0.796	26.49
21	0.791	29.63
22	0.783	28.84
23	0.791	29.01
24	0.783	26.92
25	0.783	27.87
26	0.783	28.76
27	0.796	27.73
28	0.792	29.09
29	0.785	28.38
30	0.792	26.99
ค่าเฉลี่ย		28.25
SD.		1.16542
% RSD		4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

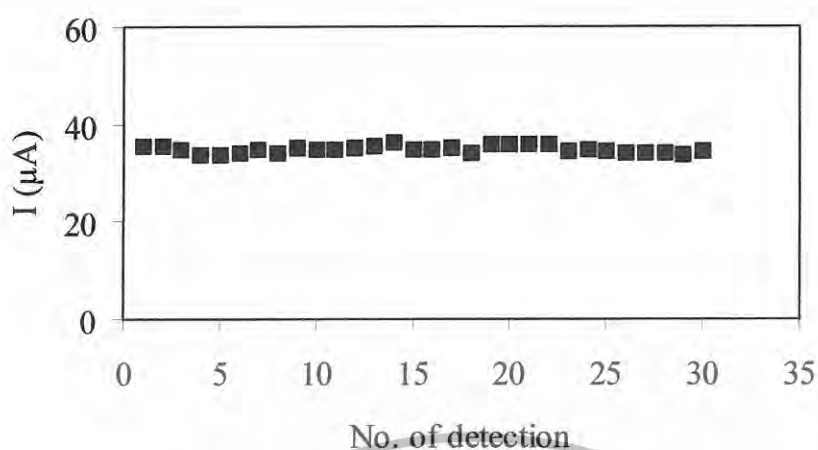


รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้า กลาสคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเซียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง

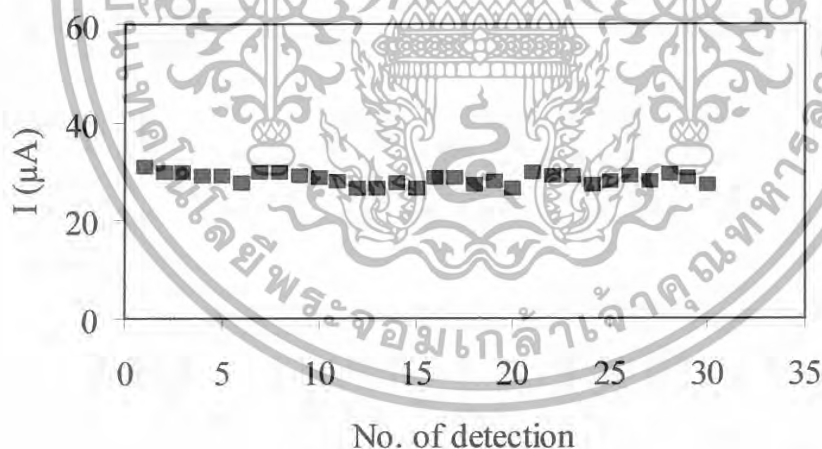


รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจวัดด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเซียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าออกที่เดิกันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง



รูปที่ ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าออกที่เดิกันกับจำนวนครั้งของการตรวจวัด 0.05 M คาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี ตรวจวัดทั้งหมด 30 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

สูตรการคำนวณและวิธีการทดสอบ

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 1.0 M โพแทสเซียมคลอไรด์) มาวัดกระแสพื้น สุ่มเลือกสัญญาณของกระแสพื้น 30 ค่า แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากเบลงค์

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

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

3. นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจวัด

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1 คำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจวัดคาเทชิน

1. หาค่าความชันกราฟ

ตารางที่ ง.1 ค่าปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าความชัน และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเทชิน ใน 1.0 M KCl อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วทำงานชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลเทมเมทรี

คาเทชิน (mM)	กระแส(μ A)			สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด
	ขั้วไฟฟ้า กลาสคาร์บอน	ขั้วไฟฟ้า แพลทินัม	ขั้วไฟฟ้าทอง	
5	0.57	8.51	6.09	0.73
10	0.97	15.70	12.99	10.23
30	8.21	30.11	22.51	18.80
50	17.52	47.73	34.41	29.65
75	29.09	63.31	52.12	50.15
100	7.032	118.22	110.53	66.44
ความชัน	0.4366	0.8008	0.5355	0.4855
จุดตัดแกนตั้ง	-4.0631	7.1575	7.2383	4.9950

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากแปลงค์

ตารางที่ ง.2 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสลิคาร์บอน

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)
1	0.0107	16	0.0108
2	0.0534	17	0.0290
3	0.0997	18	0.0127
4	0.0534	19	0.0151
5	0.0326	20	0.0175
6	0.0591	21	0.0114
7	0.0192	22	0.0113
8	0.0153	23	0.0763
9	0.0125	24	0.0804
10	0.0582	25	0.0717
11	0.0504	26	0.0916
12	0.0175	27	0.0478
13	0.0119	28	0.0453
14	0.0075	29	0.0103
15	0.0153	30	0.0113
		ค่าเฉลี่ย	0.0353
		SD.	0.02794

หมายเหตุ: วิธีการอ่านค่ากระแสพื้นที่ทำได้ดังนี้

1. เลือกค่าศักย์ไฟฟ้า 3 จุดให้ครอบคลุมกับตำแหน่งค่าศักย์ไฟฟ้าของสารที่ต้องการตรวจวัดปรากฏพีค
2. คลิกขวา ขึ้นเมาส์บนเส้นกราฟให้ตรงกับศักย์ไฟฟ้าที่เลือก
3. อ่านค่ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิคโพโพรี เรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μA)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μA)
1	0.0158	16	0.0288
2	0.0683	17	0.0385
3	0.0671	18	0.0313
4	0.0122	19	0.0212
5	0.0569	20	0.0127
6	0.0151	21	0.0288
7	0.0699	22	0.0145
8	0.0153	23	0.0111
9	0.0108	24	0.0692
10	0.0290	25	0.0613
11	0.0582	26	0.0125
12	0.0504	27	0.0582
13	0.0175	28	0.0504
14	0.0114	29	0.0502
15	0.0085	30	0.0548
		ค่าเฉลี่ย	0.0350
		SD.	0.02199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิคโพลาไรซ์
เรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)
1	0.0221	16	0.0156
2	0.0158	17	0.0194
3	0.0183	18	0.0245
4	0.0187	19	0.0195
5	0.0122	20	0.0296
6	0.0569	21	0.0186
7	0.0151	22	0.0845
8	0.0199	23	0.0209
9	0.0325	24	0.0324
10	0.0209	25	0.0648
11	0.0345	26	0.0208
12	0.0993	27	0.0389
13	0.0264	28	0.0339
14	0.0159	29	0.0265
15	0.0176	30	0.0204
		ค่าเฉลี่ย	0.0299
		SD.	0.02061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.5 สัญญาณของกระแสพื้นที่ได้จากการตรวจวัด 0.1 M KCl ด้วยเทคนิคโพโพรี เรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี อัตราการสแกน 0.5 V/s โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด

ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)	ครั้งที่ตรวจวัด	กระแส(μ A)
1	0.0502	16	0.0145
2	0.0548	17	0.0288
3	0.0763	18	0.0385
4	0.0356	19	0.0313
5	0.0305	20	0.0212
6	0.0611	21	0.0127
7	0.0383	22	0.0871
8	0.0615	23	0.0288
9	0.0488	24	0.0116
10	0.0692	25	0.0288
11	0.0145	26	0.0145
12	0.0163	27	0.0111
13	0.0848	28	0.0416
14	0.0417	29	0.0612
15	0.0423	30	0.0522
		ค่าเฉลี่ย	0.0403
		SD.	0.02207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด

ค่า Detection Limit (mM) :

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน} &= (3 \times 0.0279 \mu\text{A}) / (0.4366 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.1917 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้าแพลทินัม} &= (3 \times 0.0220 \mu\text{A}) / (0.8008 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.0824 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้าทอง} &= (3 \times 0.0206 \mu\text{A}) / (0.5355 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.1154 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด} &= (3 \times 0.0221 \mu\text{A}) / (0.4855 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.1366 \text{ mM} \end{aligned}$$

4. คำนวณค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดปริมาณ

ค่า Quantification Limit (mM) :

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน} &= (10 \times 0.0279 \mu\text{A}) / (0.4366 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.6390 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้าแพลทินัม} &= (10 \times 0.0220 \mu\text{A}) / (0.8008 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.2747 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวไฟฟ้าทอง} &= (10 \times 0.0206 \mu\text{A}) / (0.5355 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.3847 \text{ mM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆} \text{ ขี้วัวสกรีน-พรีนทีอิลิกโทรด} &= (10 \times 0.0221 \mu\text{A}) / (0.4855 \mu\text{A}/\text{mM}) \\ &= 0.4552 \text{ mM} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ปริมาณคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่าง

1. น้ำชาเขียวโออิชิรสมะนาว(oishi lemon)

จ.1 กระแสที่ได้จากการตรวจวัดหาปริมาณคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่างด้วยวิธีเดิมสารมาตรฐาน

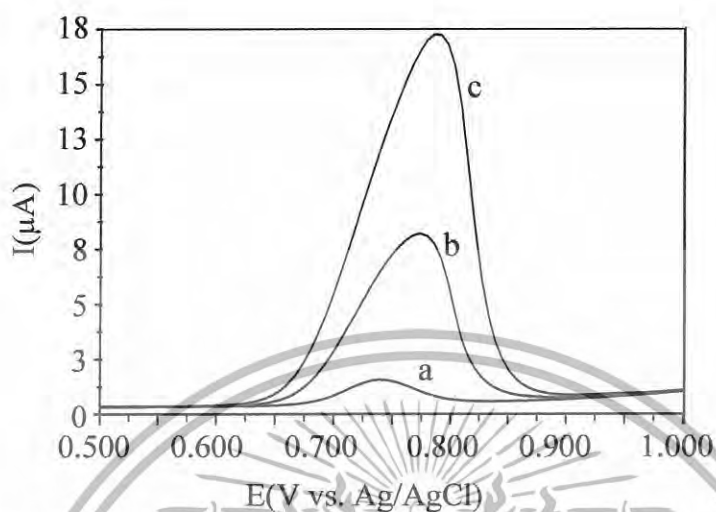
♦ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ จ.1 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเดิมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลแทมเมตรี

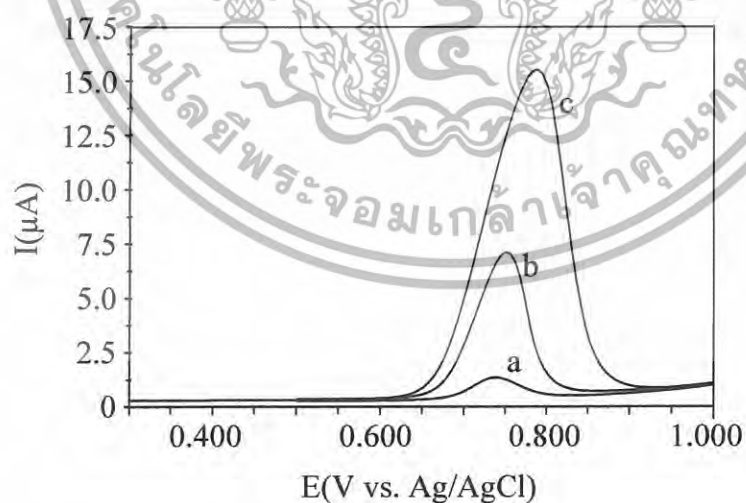
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◆ **ชีวไฟฟ้าแพลทินัม**



รูปที่ ๑.2 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ชีวไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี

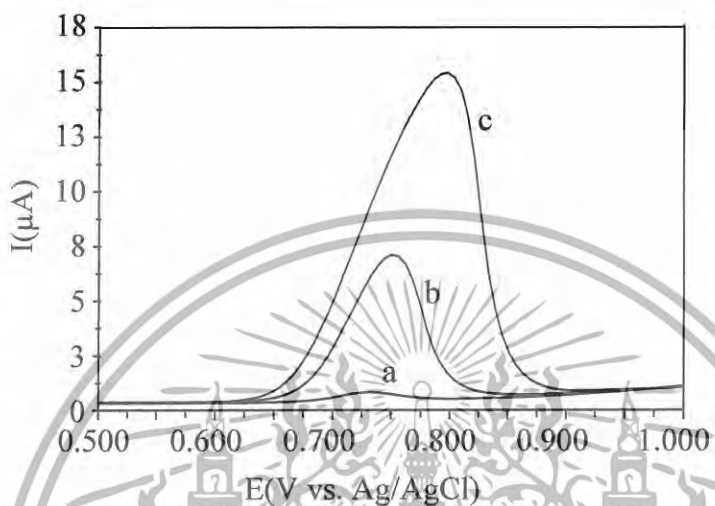
◆ **ชีวไฟฟ้าทอง**



รูปที่ ๑.3 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ(c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ชีวไฟฟ้าทอง ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

♦ สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด



รูปที่ ๑.4

โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพลาไรไรเซชันโวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

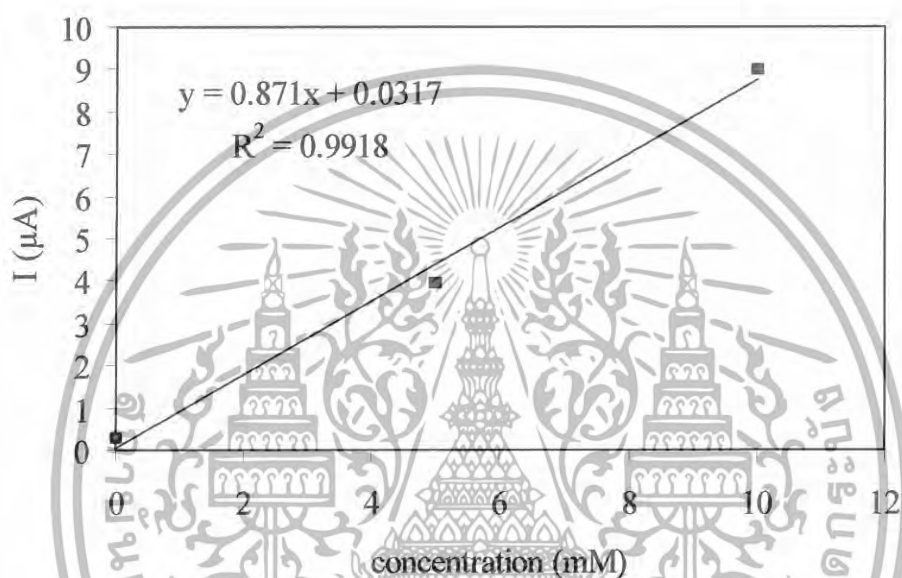
ตารางที่ ๑.1 ปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างน้ำชาเขียวโออิชิ รสมะนาว(oishi lemon) ด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

คาเทชิน (mM)	ครั้งที่	กระแส(μA)			
		ขั้ว กลาสสิคาร์บอน	ขั้ว แพลทินัม	ขั้วทอง	สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด
0	1	0.26	1.09	0.91	0.43
	2	0.26	1.05	0.95	0.38
	3	0.26	1.06	0.89	0.42
	เฉลี่ย	0.25±0.01155	1.07±0.02082	0.92±0.03055	0.41±0.02646
5	1	3.93	7.68	6.76	6.53
	2	3.93	7.59	6.68	6.52
	3	3.95	7.65	6.68	6.52
	เฉลี่ย	3.94±0.01155	7.64±0.04583	6.71±0.04619	6.52±0.00577
10	1	8.97	16.68	15.11	14.79
	2	8.86	16.54	15.13	14.65
	3	8.94	16.63	15.2	14.74
	เฉลี่ย	8.92±0.05686	16.62±0.07095	15.15±0.04726	14.73±0.07095

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้
ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

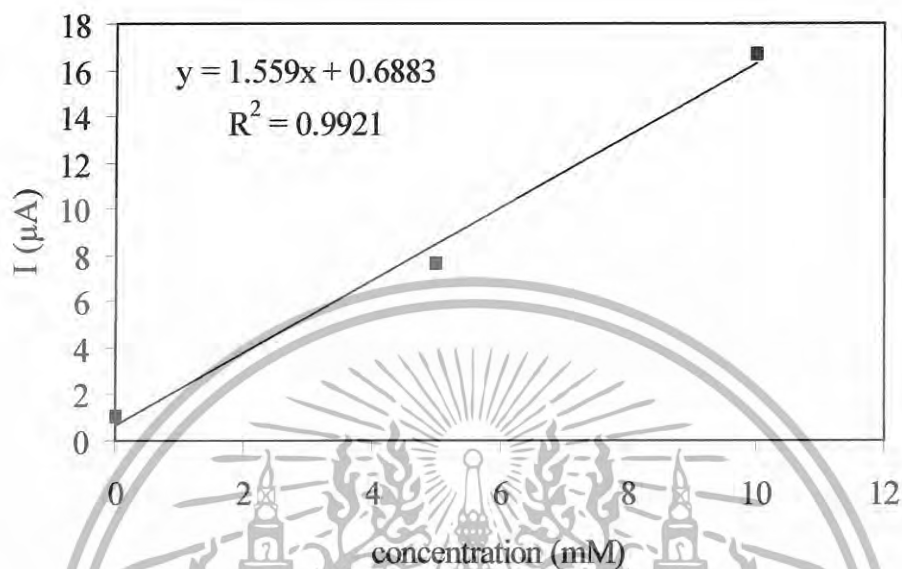
1.1 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ ๑.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ
สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอรัล
เรนเจียลพัลส์โวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

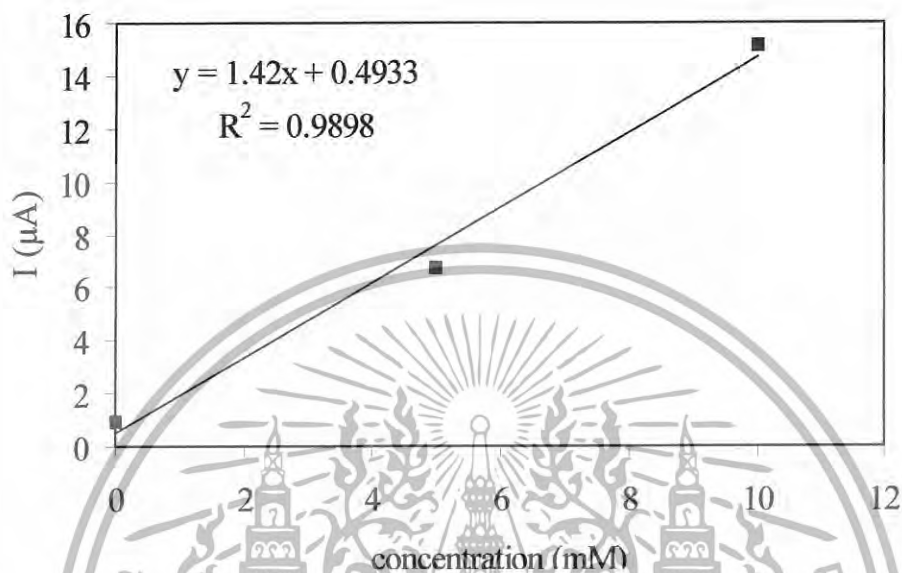
1.2 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม



รูปที่ ๑.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

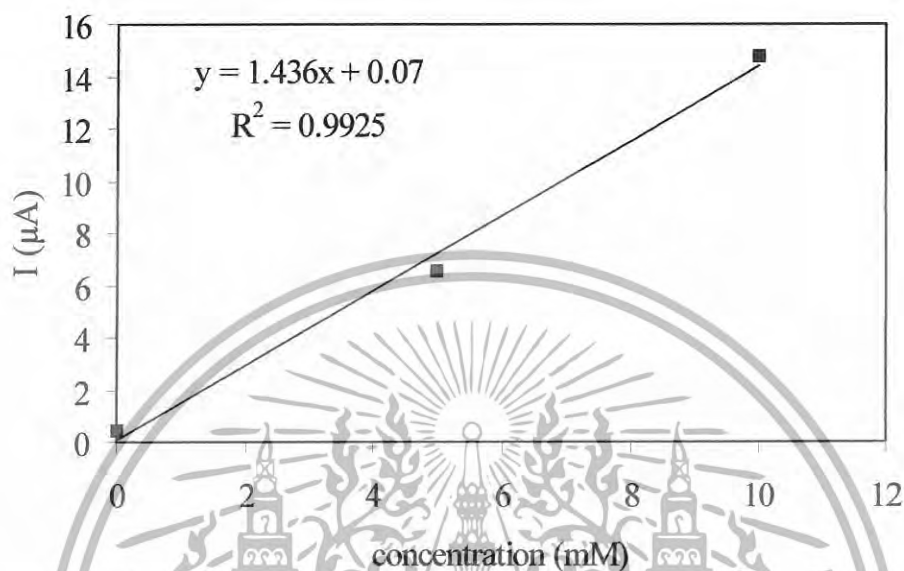
1.3 ขั้วไฟฟ้าทอง



รูปที่ ๑.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจวัดด้วยเทคนิคโพเทนชิโวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด



รูปที่ ๑.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด ตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

จากรูปที่ ๑.5 ถึง ๑.8 สรุปได้ดังตารางที่ ๑.2

ตารางที่ ๑.2 สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

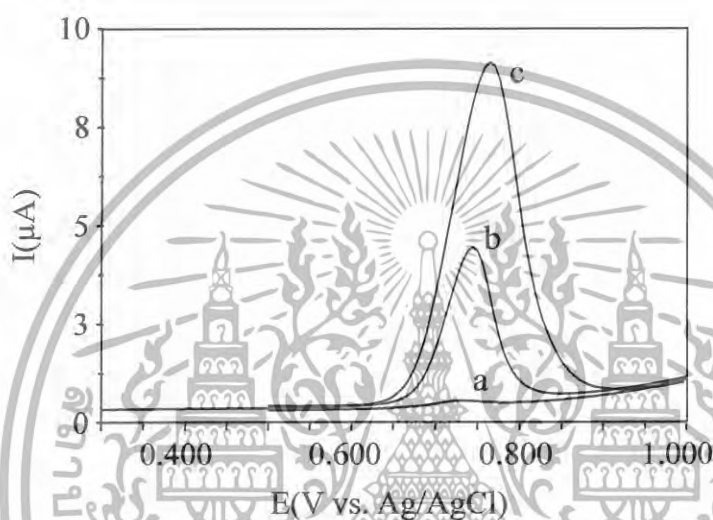
ขั้วไฟฟ้าทำงาน	สมการเส้นตรง
ขั้วกลาสคาร์บอน	$y = 0.871x + 0.0317$
ขั้วแพลทินัม	$y = 1.559x + 0.6883$
ขั้วทอง	$y = 1.42x + 0.4933$
สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด	$y = 1.436x + 0.07$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำชาเขียวยูนิฟรสมะนาว(unif lemon)

๑.2 กระแสที่ได้จากการตรวจวัดหาปริมาณคาเฟอีนในน้ำชาเขียวตัวอย่างด้วยวิธีเดิมสารมาตรฐาน

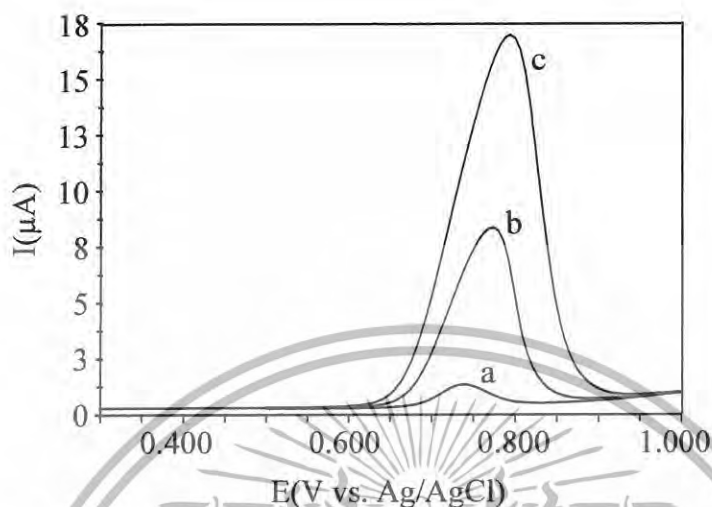
♦ ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ ๑.9 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเดิมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคโพลาไรไรเซชันโวลแทมเมตรี

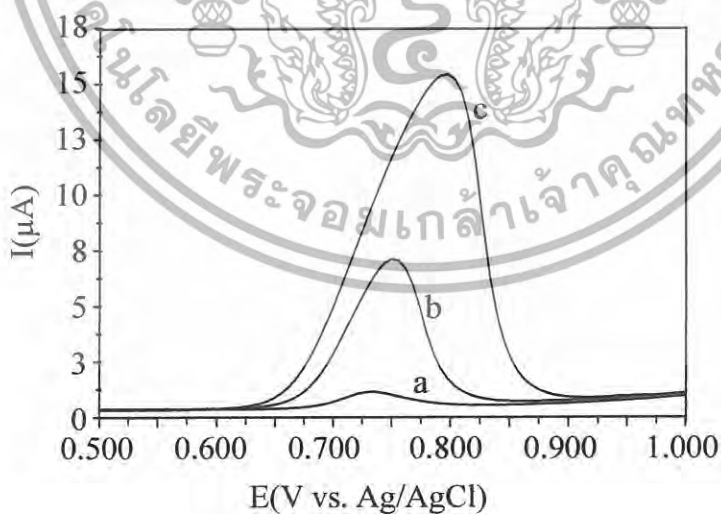
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

♦ **ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม**



รูปที่ ๑.10 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันเชิงสแตติกโวลแทมเมทรี

♦ **ขั้วไฟฟ้าทอง**

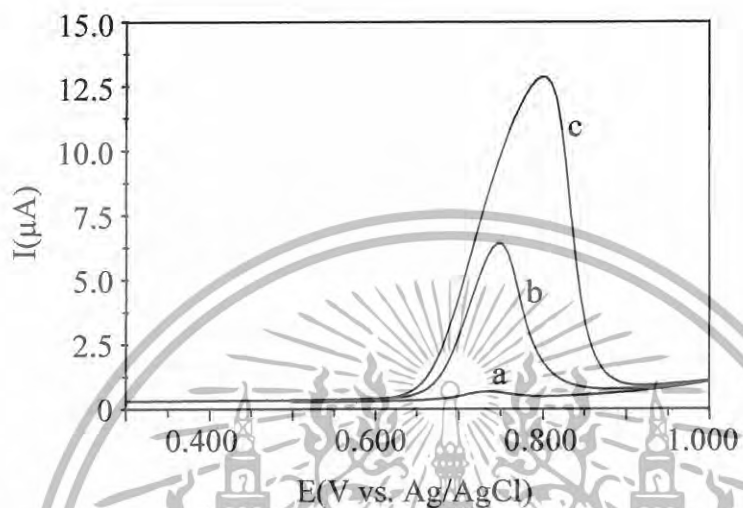


รูปที่ ๑.11 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้

ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันเชิงสแตติกโวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

♦ สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด



รูปที่ ๑.12 โวลแทมโมแกรมของน้ำชาเขียวตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเตรียมสารละลายความเข้มข้น (a) 0 mM, (b) 15 mM และ (c) 10 mM ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วสกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพสิทีฟสแกนนิ่งโวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

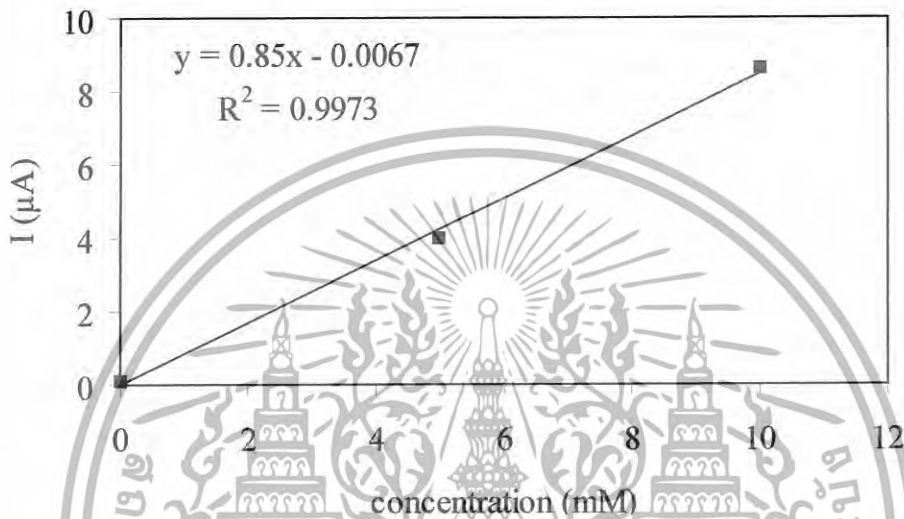
ตารางที่ ๑.3 ปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันของการตรวจวัดน้ำชาเขียวตัวอย่างน้ำชาเขียวยูนิฟ รสมะนาว(unif lemon)ด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน ใน 1.0 M KCl โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ตรวจวัดด้วยเทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

คาเทชิน (mM)	ครั้งที่	กระแส(μ A)			สกรีน-พรีนท์ อิเล็กโทรด
		ขั้ว กลาสคาร์บอน	ขั้ว แพลทินัม	ขั้วทอง	
0	1	0.12	0.87	0.69	0.23
	2	0.13	0.86	0.64	0.19
	3	0.09	0.84	0.71	0.24
	เฉลี่ย	0.11 ± 0.02082	0.86 ± 0.01528	0.68 ± 0.03606	0.22 ± 0.02646
5	1	3.98	7.73	6.46	5.92
	2	3.96	7.69	6.50	5.87
	3	3.99	7.70	6.45	5.88
	เฉลี่ย	3.98 ± 0.01528	7.71 ± 0.02082	6.47 ± 0.02646	5.89 ± 0.02646
10	1	8.62	16.33	14.63	12.59
	2	8.59	16.31	14.61	12.68
	3	8.59	16.33	14.67	12.64
	เฉลี่ย	8.60 ± 0.01732	16.32 ± 0.01155	14.64 ± 0.03056	12.64 ± 0.04509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้
ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

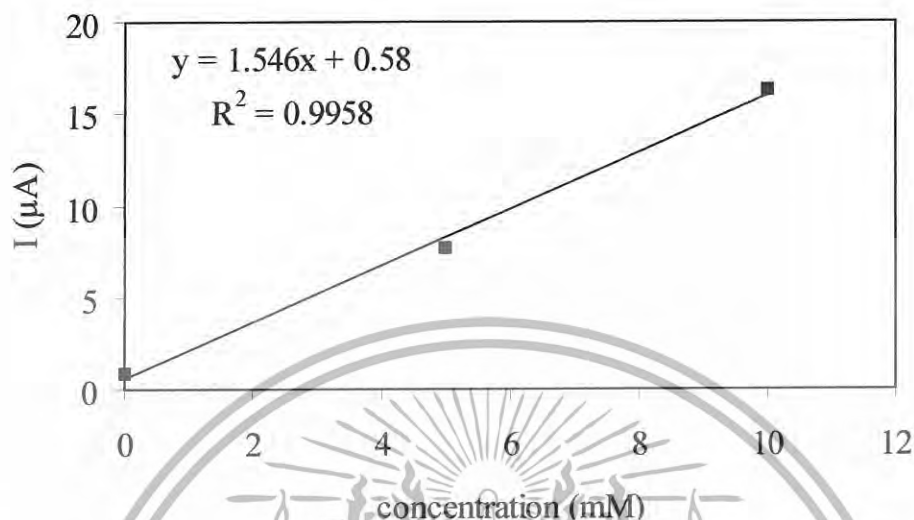
1.1 ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน



รูปที่ ๑.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของ
สารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้ากลาสสิคาร์บอน ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอรัล
เรนเซียลพัลส์โวลแทมเมตรี

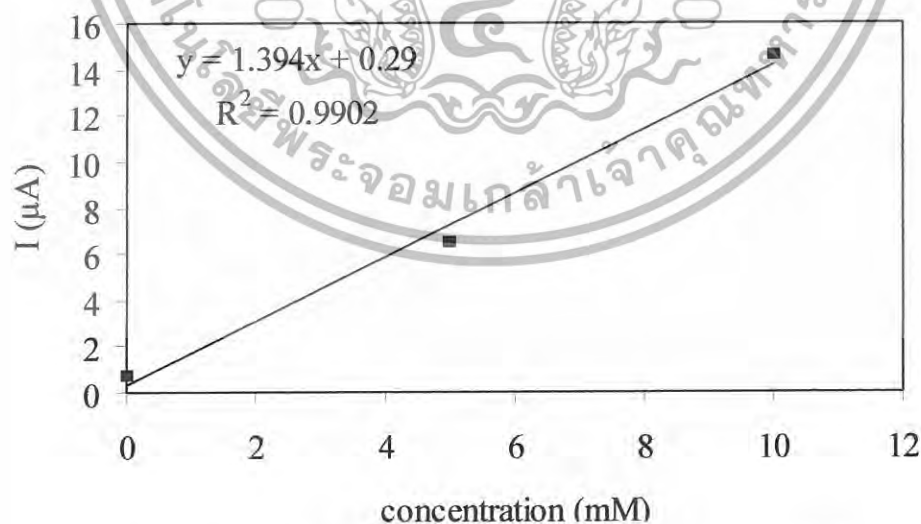
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม



รูปที่ ๑.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันแรงดันพัลส์โวลแทมเมตรี

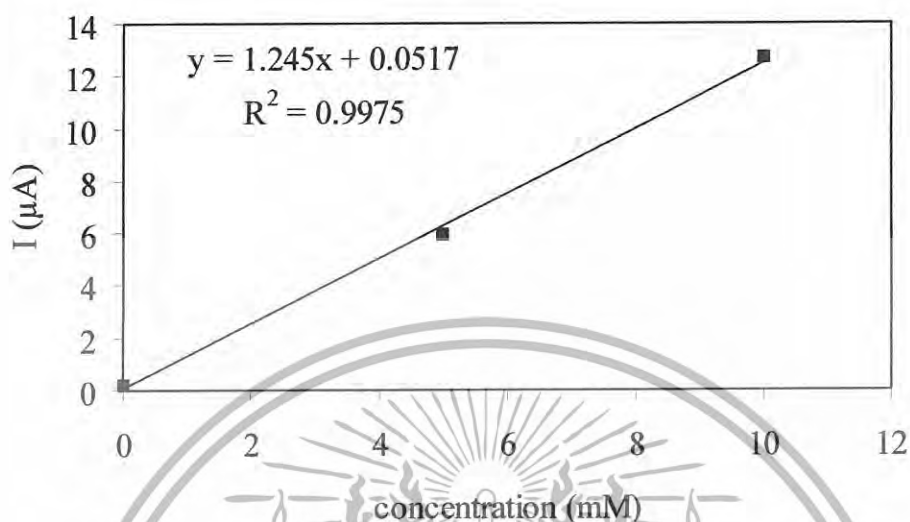
1.3 ขั้วไฟฟ้าทอง



รูปที่ ๑.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทอง ตรวจสอบด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันแรงดันพัลส์โวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้วสกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด



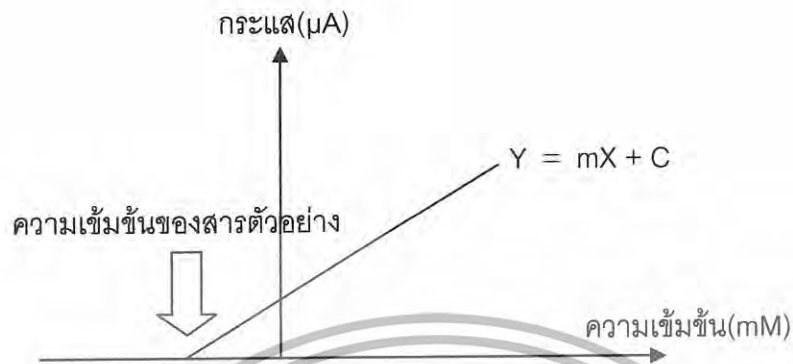
รูปที่ ๑.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสปฏิกิริยาออกซิเดชันกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน โดยใช้สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด ตรวจวัดด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

จากรูปที่ ๑.13 ถึง ๑.16 สรุปได้ดังตารางที่ ๑.4

ตารางที่ ๑.4 สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานกับกระแสที่ตรวจวัดได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

ขั้วไฟฟ้าทำงาน	สมการเส้นตรง
ขั้วกลาสสึคาร์บอน	$y = 0.850x - 0.0067$
ขั้วแพลทินัม	$y = 1.546x + 0.58$
ขั้วทอง	$y = 1.394x + 0.29$
สกรีน-พรีนทีอิลเล็กโทรด	$y = 1.245x + 0.0517$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.17 ภาพวาดกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน

♦ การคำนวณ percent recovery

สามารถคำนวณได้ดังสมการ

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

ตารางที่ ๑.5 สรุปผลการคำนวณการวิเคราะห์หาปริมาณคาเทชินในน้ำชาเขียวตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ชีวไฟฟ้า	สมการที่ได้	Percent Recovery
น้ำชาเขียว โอยิชิรสมะนาว	กลาสติคาร์บอน	$y = 0.871x + 0.0317$	96.61
	แพลทินัม	$y = 1.559x + 0.6883$	102.76
	ทอง	$y = 1.42x + 0.4933$	100.81
	สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด	$y = 1.436x + 0.07$	96.97
น้ำชาเขียว ยูนิฟรสมะนาว	กลาสติคาร์บอน	$y = 0.850x - 0.0067$	97.65
	แพลทินัม	$y = 1.546x + 0.58$	102.81
	ทอง	$y = 1.394x + 0.29$	98.82
	สกรีน-พรีนทีอเล็กโทรด	$y = 1.245x + 0.0517$	98.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้