



รายงานการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีและลักษณะเฉพาะของตะกั่ว
โดยขั้วหมุนทองที่ดัดแปลงด้วยนาโนไคโตซาน

The study of electrochemical behavior and
characterization of lead sensor based on nanochitosan-
rotating gold disk modified electrodes

รัตติยา สารดิษฐ์ Rattiya Saradit
สุภามาส อินทฤทธิ์ Supamas Intharit

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2562 เป็นงานวิจัยพื้นฐานเพื่อก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการประเมินความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ ตลอดจนผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดความรู้ได้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

รัตติยา สารดิษฐ์
สุภามาส อินทฤทธิ
มีนาคม 2563



การศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีและลักษณะเฉพาะของตะกั่วโดยขั้วหมุนทอง ที่ตัดแปลงด้วยนาโนโคโตซาน

รัตติยา สารดิษฐ์ และสุภามาส อินทฤทธิ์¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้อธิบายถึงการเตรียมและการตัดแปลงขั้วไฟฟ้าด้วยนาโนโคโตซานบนขั้วไฟฟ้าหมุนทอง การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้วไฟฟ้าตัดแปลงด้วยนาโนโคโตซาน ได้รับการตรวจสอบโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้าตัดแปลงนาโนโคโตซาน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดตะกั่ว เนื่องจากมีค่ากระแสสูงและมีค่าศักย์คงที่ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัดตะกั่วคือ ใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดที่ pH 8 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อัตราการสแกนเท่ากับ 0.6 โวลต์ต่อวินาที ระยะเวลาการตกตะกอน 80 วินาที เวลาเข้าสู่สมดุลคือ 20 วินาที และค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 1.00

คำสำคัญ: ขั้วไฟฟ้าตัดแปลง นาโนโคโตซาน ขั้วไฟฟ้าหมุนทอง ทองแดง

¹ อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

The study of electrochemical behavior and characterization of lead sensor based on nanochitosan- rotating gold disk modified electrodes

Rattiya Saradit and Supamas Intharit¹

Abstract

This research describes the preparation and modification of electrodes with nanochitosan on rotating gold disk electrodes. The electrochemical characterization and optimum parameter of nanochitosan modified electrode has been investigated by cyclic voltammetry. The result has shown the nanochitosan - rotating gold disk modified electrodes effective in measuring lead due to the highest current and the most stable voltage. The optimal conditions was observed for sodium acetate solution at pH 8 as supporting electrolyte, scan rate is 0.6 V/s, deposition time is 80 s, equilibration time is 5 s. and correlation coefficient is 1.00

Keywords: *modified electrode, nanochitosan, rotating gold disk electrode, lead*

¹ Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thungsong, Nakhonsithammarat.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	9
2.2 วิธีการทดลอง	11
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	
3.1 การสังเคราะห์โคโตซานอนุภาคนาโน	14
3.2 เตรียมขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk(NC-RGD)	14
3.3 การศึกษาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของตะกั่ว บนขั้วดัดแปลง NC-RGD	15
3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วดัดแปลง NC-RGD	15
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย	21
บรรณานุกรม	22
ภาคผนวก ก	23
ภาคผนวก ข	33
ภาคผนวก ค	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าศักย์และค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ	16
ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดที่ pH ต่างๆเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	16
ตารางที่ 3.3 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า scan rate ต่างๆโดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	17
ตารางที่ 3.4 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า deposition time ต่างๆ	18
ตารางที่ 3.5 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า equilibration time ต่างๆ	19



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน	2
ภาพที่ 1.2 แบบของศักย์ไฟฟ้าที่ให้ในไซคลิกโวลแทมเมตรี	4
ภาพที่ 1.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม	4
ภาพที่ 2.1 เครื่อง VA 797 Computrace Analyzer connected to a Metrohm. VA 797 multimode electrode	10
ภาพที่ 2.2 ขั้ว Nano Chitosan Gold เป็น working electrode	10
ภาพที่ 2.3 ขั้ว Ag/AgCl saturated เป็น reference electrode	11
ภาพที่ 2.4 ขั้ว platinum เป็น Auxillary electrode	11
ภาพที่ 3.1 ขนาดอนุภาคของไคโตซานอนุภาคนาโน	14
ภาพที่ 3.2 ขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk(NC-RGD)	14
ภาพที่ 3.3 ค่าศักย์และค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ตรวจวัดด้วยขั้วดัดแปลง Nanochitosan – rotating gold disk(NC-RGD)	15
ภาพที่ 3.4 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ค่า pH ต่างๆ โดยใช้ขั้วดัดแปลง NC-RGD	16
ภาพที่ 3.5 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า scan rate ต่างๆ	17
ภาพที่ 3.6 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า deposition time ต่างๆ	18
ภาพที่ 3.7 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ equilibration time ต่างเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	19
ภาพที่ 3.8 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1-100 $\mu\text{g/L}$ โดยใช้ โซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	20

คำอธิบายสัญลักษณ์

°C	องศาเซลเซียส
g	กรัม
ml	มิลลิลิตร
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/ l	มิลลิกรัมต่อลิตร
mol	โมล
μA	ไมโครแอมแปร์
μm	ไมโครเมตร
μV	ไมโครโวลต์
V	โวลต์
A	แอมแปร์
%	เปอร์เซ็นต์
% w/v	ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
% w/w	ร้อยละโดยมวลต่อมวล



บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

โคโตซาน เป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นและหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในทางชีวภาพและยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์สัตว์ และสิ่งแวดล้อมโคโตซานมีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติโครงสร้างทางเคมีของสารโคโตซาน คล้ายคลึงกับเซลลูโลส คือเป็นเส้นใยที่ยาวซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า glucosamine มากกว่า 60% ขึ้นไป (นั่นคือมีปริมาณ N-acetylglucosamine นั้นเองนอกจากนี้โคโตซานยังเป็นสารเติมแต่งในเครื่องสำอาง ช่วยห้ามเลือดในวงการแพทย์ เป็นสารลดการแพ้ ป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูง ใช้ทำปุ๋ยชีวภาพ ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และยังมีประสิทธิภาพในการจับกับโลหะหนักอีกด้วย (กมลศิริพันธุ์นียะ, 2556) ปัจจุบันได้มีวิวัฒนาการการเปลี่ยนโคโตซานให้มีขนาดอนุภาคที่เล็กมากในระดับนาโนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำโคโตซานมาประยุกต์ใช้เพื่อทำเป็นขั้วตัดแปลงในการวิเคราะห์โลหะหนัก โดยอาจนำมาเคลือบเป็นแผ่นฟิล์ม (Deng P. et al, 2014) หรือนำมาทำการดีโพลีทบนขั้วคาร์บอน (Zheng M. et al, 2013) โคโตซานที่ใช้อาจอยู่ในรูปโคโตซานบริสุทธิ์หรือโคโตซานผสมกับสารอื่นๆก็ได้ โดยจุดเด่นของการตัดแปลงขั้วคือการแก้ปัญหาของขั้วสำเร็จรูป เช่น ขั้วทอง ขั้วเงิน ขั้วหยดปรอท หรือขั้วโลหะผสมต่างๆ ซึ่งพบว่าขั้วเหล่านี้เป็นขั้วที่วิเคราะห์ยาก ไม่เฉพาะเจาะจง มีช่วงการตอบสนองที่ไม่กว้าง ไม่เสถียร ราคาแพง และขั้วบางชนิดพบว่าอาจเป็นพิษแก่สิ่งแวดล้อมได้ เช่นขั้วหยดปรอท ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย (จิราภรณ์ อ่ำพันธ์, 2543)

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มีการตัดแปลงขั้วไฟฟ้าโดยปรับแต่งขั้วทองด้วยนาโนโคโตซานเพื่อใช้ในการตรวจวัดโลหะหนักโดยใช้เทคนิค Voltammetry เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีและการตอบสนองต่อการตรวจวัดโลหะ

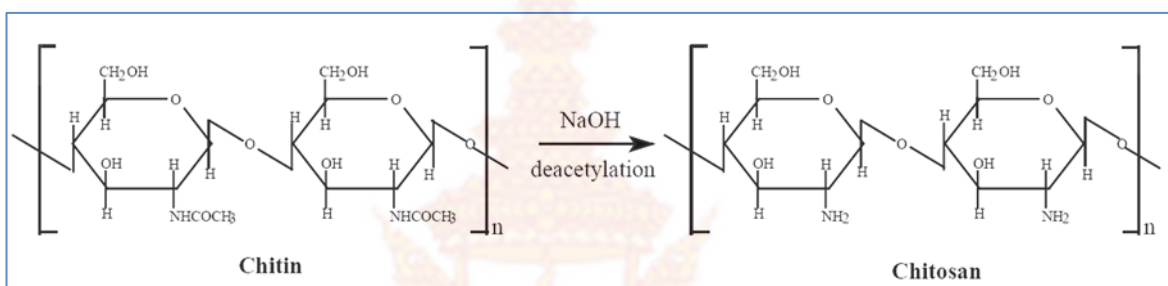
1.2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ทฤษฎี

1.2.1.1 โคโตซาน(Chitosan)

โคโตซาน เป็นโพลีโพลีเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง มีองค์ประกอบสำคัญในรูปของ D-glucosamine พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุชีวภาพ(Biomaterial) ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อ

สิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไม้ไวไฟและไม่เป็นพิษต่อพืช (non - phytotoxic) นอกจากนี้ยังส่งเสริมการเพิ่มปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ซึ่งโคโตซาน คือสารโคตินในรูปที่มีปริมาณหมู่อะซิไทลต่ำ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิไทล(degree of deacetylation, DD) ของสารโคตินด้วยต่างเข้มข้น เมื่อมีการกำจัดหมู่อะซิไทลประมาณ 60% จะสามารถละลายในกรดเจือจางได้ การกำจัดหมู่อะซิไทลจะใช้วิธีทางเคมี ทำให้โครงสร้างทางเคมีของสารโคตินเปลี่ยนไป โดยหมู่อะเซทาไมด์ (NH-CO-CH₃) จะเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นสารโคโตซานคือโพลิเมอร์ของ D-glucosamine (2-amino-deoxy-D-glucose)(กมลศิริพันธ์นิยะ, 2556)



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างของโคตินและโคโตซาน

1.2.1.2 ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นที่รู้จักมานานตั้งแต่ 3,500 ปีก่อนคริสตกาล ในอียิปต์สมัยโบราณมีการใช้แร่ตะกั่วเป็นเครื่องสำอางสำหรับทาตา โลหะตะกั่วก็นับเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีการใช้มานานที่สุด การค้นพบโลหะตะกั่วเกิดขึ้นโดยบังเอิญ โดยขณะที่มีการถลุงไพบรอนแร่ที่มีส่วนผสมของตะกั่วได้เกิดมีโลหะตะกั่วหลอมเหลวไหลออกมาบริเวณกองไฟนั้น เนื่องจากตะกั่วมีจุดหลอมเหลวต่ำจึงสามารถสกัดเอาโลหะออกจากแร่ได้โดยง่ายด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงนัก ชาวโรมันโบราณเริ่มนำโลหะตะกั่วมาใช้จริงจังสำหรับผลิตเป็นภาชนะและท่อน้ำซึ่งยังคงหลักฐานอยู่จนกระทั่งปัจจุบัน นับจากนั้นก็ได้มีการใช้ประโยชน์จากโลหะตะกั่วอย่างแพร่หลาย

โลหะตะกั่วเป็นมีคุณสมบัติเด่นคือ มีหลอมเหลวต่ำ มีความหนาแน่นสูง มีความอ่อนตัวสูง ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีคุณสมบัติหล่อลื่น และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี การใช้ประโยชน์โลหะตะกั่วส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมทำแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้เป็นสารประกอบตะกั่วสำหรับผสมทำสี ใช้ทำลูกกระสุนและยุทธภัณฑ์ ใช้ทำฉากกันเพื่อป้องกันรังสีต่างๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีเบต้า รังสีแกมมา เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นธาตุผสมกับโลหะทองแดงและเหล็ก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงหรือตัด ซึ่งการนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งสภาพโลหะและสารเคมีที่สำคัญ

ตะกั่วเป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ คือไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบเผาผลาญอาหาร (metabolism) ตะกั่วยังเป็นพิษต่อร่างกายอย่างแรง ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณสูง โดยปกติร่างกายคนเราสามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณสูงพอสมควร มีการวิจัยพบว่าคนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด

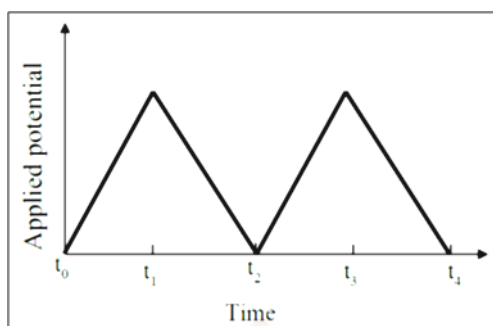
0.25 pm โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างไร แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใดเช่นในเลือดมีมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างฉับพลัน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำเกิดจากมีPbSในอุจจาระ เกิดอาการ ซ็อกชั่นตื้นได้ง่ายความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต อาการพิษตะกั่วอย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น

1.2.1.3 เทคนิคโวลแทมเมตรี (Voltammetry Technique)

โวลแทมเมตรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่เกี่ยวข้องกับการให้ศักย์ไฟฟ้าที่ควบคุมได้ จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกแก่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ศักย์ไฟฟ้าที่ให้นี้ทำให้ขั้วทำงาน (Working electrode; WE) มีค่าศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้สารบางชนิดที่อยู่ในสารละลายสามารถเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน (electron transfer reaction) บนผิวของขั้วไฟฟ้าได้ นั่นคือ มีการให้ หรือ รับอิเล็กตรอนที่ Working Electrode ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านของ Working Electrode กระแสที่เกิดขึ้นนี้จะถูกตรวจวัดโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก ซึ่งขนาดของกระแสมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารที่เกิดปฏิกิริยา(ฮานินท์ แดงควาร์มย์และมาโนชย์ ฅนอมวงค์, 2556)

ไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry: CV) เรียกว่าเทคนิค CV เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ทางด้านสาขาเคมีและสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังมีการนำมาศึกษาในด้านที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ (redox process) การเกิดสารตัวกลาง (intermediates) และความคงตัวของสารผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ทางด้านนักเคมีอินทรีย์ได้ใช้เทคนิคนี้ศึกษาปฏิกิริยาทางชีวสังเคราะห์ และปฏิกิริยาที่ให้ข้อมูลอิสระและนักเคมีอินทรีย์ได้ใช้เทคนิคนี้เพื่อหาผลของลิแกนด์ต่อค่าศักย์ของโลหะไอออนตรงกลางในสารประกอบเชิงซ้อน รวมทั้งใช้ศึกษาการเร่งของเอนไซม์ (ฮานินท์ แดงควาร์มย์ และมาโนชย์ ฅนอมวงค์, 2556)

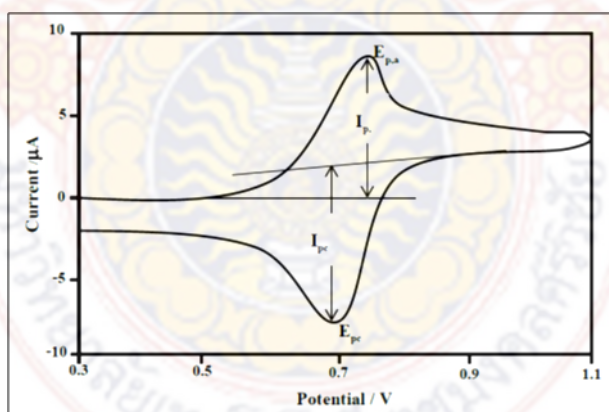
(1) รูปแบบศักย์ (Waveform) ไซคลิกโวลแทมเมตรีมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นไซเคิลที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมไปยังขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่อยู่นิ่งแล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้น ศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะถูกควบคุมเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้แก่ ขั้วไฟฟ้าคาโลเมลอิ่มตัว (saturated calomel electrode : SCE) หรือขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (silver/silver chloride) เมื่อพล็อตกราฟระหว่างแกนตั้งเป็นศักย์ไฟฟ้า และแกนนอนเป็นเวลาเมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปศักย์ที่ให้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เรียกศักย์ไฟฟ้านี้ว่า การสแกนไปข้างหน้า (forward scan) เมื่อสแกนไปถึงจุดหนึ่งที่กำหนดไว้ แล้วศักย์ไฟฟ้าก็จะเริ่มลดลงด้วยอัตราการสแกนเท่าเดิมเรียกว่า การสแกนย้อนกลับ (reverse scan) จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นจะได้เป็นหนึ่งไซเคิล (ฮานินท์ แดงควาร์มย์และมาโนชย์ ฅนอมวงค์, 2556)



ภาพที่ 1.2 แบบของศักย์ไฟฟ้าที่ให้ในไซคลิกโวลแทมเมตรี

(2) ไซคลิกโวลแทมโมแกรม (Cyclic Voltammogram)

ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่วัดได้จากกระแสที่ชั่วไฟฟ้าทำงานในระหว่างการสแกนศักย์ เมื่อนำมาพล็อตกราฟระหว่างกระแส (แกนตั้ง) กับศักย์ไฟฟ้า (แกนนอน) จะได้ดังภาพที่ 4 เมื่อพิจารณาพีคด้านบนจากจุดยอดของพีคลากเส้นมาตัดแกนศักย์จะได้ตำแหน่งศักย์ของพีคทางด้านพีคแอนอดิก (anodic peak potential) หรือ E_{pa} ซึ่งมีค่าเป็นบวก ในทำนองเดียวกันพีคด้านล่างเป็นกระแสแคโทดิก หรือ E_{pc} (cathodic peak potential) ของ ส่วนความสูงของพีคทางด้านบน คือ กระแสของพีคแอนอดิก (anodic peak current), I_{pa} และความสูงของพีคด้านล่างเป็นกระแสของพีคแคโทดิก (cathodic peak current), I_{pc} ซึ่งกระแสของพีคจะแปรผันตามความเข้มข้นของสาร และตำแหน่งศักย์ของพีคก็เป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละตัวเหมือนกับเทคนิคอื่นๆ (ธานินทร์ แต่งกวารัมย์และมาโนชญ์ ถนอมวงศ์, 2556)



ภาพที่ 1.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม

พารามิเตอร์ที่สำคัญในไซคลิกโวลแทมโมแกรม คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (E_{pc} , E_{pa}) และกระแสสูงสุด (I_{pc} , I_{pa}) ของสัญญาณแบบแคโทดิกและแอนอดิก หากปฏิกิริยาที่สารออกซิเดนต์รับอิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยารีดักชัน มีอัตราเร็วเท่ากับสารรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอน หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า เป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าแบบย้อนกลับได้ (electrochemically reversible)

1.2.1.4 ขั้วไฟฟ้าทางไฟฟ้าเคมี

ขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working Electrode:WE) มีขนาดของขั้วไฟฟ้าเล็กเพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสารตัวอย่างน้อยๆทำให้สามารถเกิดสถานะของโพลาริเซชันตลอดการวิเคราะห์ซึ่งมักจะใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็น โลหะเฉื่อย เช่น แพลตินัมหรือทอง โพลาริติกกราไฟต์กลาสคาร์บอน และผงคาร์บอน

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode:RE) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้เทียบศักย์ไฟฟ้าที่ต้องให้กับขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงนี้จะมีค่าศักย์ที่แน่นอน ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจร ไม่ขึ้นกับส่วนประกอบของสารตัวอย่าง ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ดีต้องมีส่วนประกอบคงตัวไม่เปลี่ยนแปลงง่ายเมื่อเก็บไว้และไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ปกติแล้วค่าศักย์ของวงจรที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณเป็นค่าที่ได้จากผลต่างของศักย์จากขั้วไฟฟ้าทั้งสองของวงจร อาจเรียกค่าศักย์ของวงจรที่วัดได้นี้ว่า ค่าศักย์สัมพัทธ์(Relative Potential) ถ้าขั้วไฟฟ้าตัวหนึ่งของวงจรเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่รู้ค่าศักย์แน่นอน ก็สามารถหาค่าศักย์ของอีกขั้วไฟฟ้าที่ต่อในวงจรซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานได้

ขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter Electrode:CE) จะมีคุณลักษณะที่เฉพาะคือ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นขั้วที่รับพลังงานไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าทำงาน ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่ แล้วส่งต่อพลังงานที่ได้รับเข้าสู่เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าช่วยนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้นในขณะเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่างระหว่างการวิเคราะห์ ขั้วไฟฟ้าช่วยมักมีพื้นที่ผิวมากๆเพื่อให้เป็นการนำไฟฟ้าเป็นไปได้ดี วัสดุที่ใช้ทำขั้วชนิดนี้ได้แก่ ลวดแพลตินัมหรือแผ่นแพลตินัมกลาสคาร์บอนและกราไฟต์(ฮานินท์ร่ แดงกวาร์มย์และมาโนซ์ ฅนอมวงค์, 2556)

1.2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Modified Carbon Paste Electrode คือขั้วไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อให้มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนหรือโมเลกุลที่สนใจโดยอาศัยกลไกต่างๆ เช่น การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน การสอดแทรกเข้าไปในช่องว่างของผิวขั้วหรือการใส่รีเอเจนต์ที่ผิวขั้วไฟฟ้าเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารที่สนใจกับรีเอเจนต์ที่ประกอบขึ้นเป็นขั้วไฟฟ้าแล้วให้สัญญาณไฟฟ้าในการตรวจวัดได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้วคาร์บอนเพสที่ถูกดัดแปรด้วยรีเอเจนต์ต่างๆ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำโคโตซานมาปรับแต่งขั้วเพื่อใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณสารต่างๆโดยโคโตซานที่นำมาปรับแต่งขั้วอาจเตรียมอยู่ในรูปบริสุทธิ์หรือผสมกับสารอื่น โดยในปี1998Ye X. และคณะ ได้ทำการดัดแปลงขั้วกลาสคาร์บอนที่ปรับแต่งด้วยโคโตซานเพื่อใช้ในการตรวจวัดหาทองคำ, เงิน, แพลตินัมและพลาเดียม ซึ่งจากการทดลองพบว่าขั้วปรับแต่งที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถวัดได้ในตัวอย่างจริงและยังมีขีดจำกัดของการวิเคราะห์ที่ต่ำ(Ye X. et al, 1998) ต่อมา Guanghai Lu และคณะได้พัฒนาการใช้วิธี preconcentration และเทคนิคโวลแทมเมตรีในการตรวจวัดหาปริมาณเหล็กทั้งหมดโดยใช้ขั้วกลาสคาร์บอนที่ดัดแปลงด้วยโคโตซาน พบว่าสามารถวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทั้งหมดได้ ซึ่งลักษณะการตอบสนองเชิงเส้นอยู่ในช่วงความเข้มข้น 2×10^{-8} ถึง 3×10^{-7} g/ml และขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 1×10^{-8} g/ml ที่ deposition time 2 นาที ค่า RSD เท่ากับ 3.67 % (Guanghai Lu et al, 2001) ต่อมาได้มีการพัฒนาขั้วทางไฟฟ้าในการตรวจวัดโบรมไนด์โดยใช้ขั้ว

คาร์บอนนาโนทิวป์ปรับแต่งด้วยโคโตซานซึ่งผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับซึ่วกลาสซีคาร์บอนธรรมดาพบว่า มีความแตกต่างกันคือมีช่วงการตรวจวัดที่กว้างกว่าและมีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำกว่าซึ่วกลาสซีคาร์บอนธรรมดา(Zeng Y. et al, 2005) ต่อมาPauliukaite R. และคณะได้ประดิษฐ์ซึ่วดัดแปลงโดยใช้ซึ่วแกรไฟต์-อีพ็อกซีเรซินมาเคลือบด้วยโคโตซานโดยใช้สารครอสลิงค์ที่ต่างกัน ได้แก่ GA, GO, ECH, EDC และNHS โดยวิธีใช้ ครอสลิงค์(Pauliukaite R. et al, 2010)และในปีเดียวกันได้มีการดัดแปลงพื้นผิวหน้าซึ่วด้วยโคโตซานบนซึ่วกลาสซีคาร์บอนในการศึกษาหาโลหะต่างๆ เช่น ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม โคบอล สารหนูและแพลตินัม ซึ่งจะใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควลโวลแทมเมตรี ร่วมกับกระบวนการ preconcentrationและวิธี standard addition ค่าการตรวจวัดของทองแดงจะอยู่ในช่วง 3.99×10^{-6} - 3.91×10^{-5} M, ตะกั่ว 1.99×10^{-6} - 1.58×10^{-6} M, แคดเมียม 1.59×10^{-5} - 6.23×10^{-5} M, สารหนู 7.99×10^{-6} - 5.04×10^{-5} M, แพลตินัม 8.19×10^{-6} - 3.59×10^{-5} M และ โคบอลต์ 6.11×10^{-4} - 2.78×10^{-3} M (Martinez-Huitle C.A. et al, 2010) หลังจากนั้น ในปี2011 ยุวากร เสนศรีและคณะได้มีการใช้วัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์-โคโตซาน เป็นเมทริกซ์ในการนำไปพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพโดยการตรึงเอนไซม์แลคเคสในฟิล์มของเชิงวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์-โคโตซานและสารละลายโบวินซีรัมอัลบูมินเพื่อตรวจวัดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี(ยุวากร เสนศรีและคณะ, 2011)Taufik S. และคณะได้พัฒนาซึ่วตรวจวัดโดยใช้ดีเอ็นเอไบโอเซนเซอร์ซึ่งมีบิโธมัสออกไซด์อนุภาคนาโนในการตรึงดีเอ็นเอและใช้เทคนิคการตรวจวัดร่วมกัน ซึ่วทองคำจะถูกดัดแปลงด้วยบิโธมัสออกไซด์อนุภาคนาโน/โคโตซานและถูกตรึงด้วยโอลิโกนิวคลีโอไทด์บนซึ่วทองคำโดยใช้สารละลาย 1-ethyl-3(3'-dimethylaminopropyl)-carbodiimide(EDC)และN-hydroxysulfosuccinimide (NHS) โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าพีคแอนโอดิกมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับซึ่วที่มีการผสมกับดีเอ็นเอเป้าหมายอย่างสมบูรณ์และยังมีคุณสมบัติจำเพาะเจาะจงต่อการวัดและมีความไว(Taufik S. et al, 2011)ธานินทร์ แดงกวารัมย์และมาโนชญ์ถนนวนวัฒน์ได้พัฒนาเคมีคอลเซนเซอร์สำหรับวัดตะกั่วในน้ำดื่มด้วยซึ่วไฟฟ้าบิโธมัสออกไซด์-ท่อคาร์บอนปรับแต่งด้วยโคโตซานแบบครอสลิงค์โดยใช้เทคนิคแอนโอดิกสแควลโวลแทมเมตรี พบว่าให้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำคือ 0.79 พีพีบี และมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่กว้างตั้งแต่ 1 พีพีบี ถึง 50 พีพีเอ็ม (ธานินทร์ แดงกวารัมย์ และ มาโนชญ์ ถนนวนวัฒน์, 2555) หลังจากนั้นในปี 2012 Alwarappan S. และคณะ ได้ประดิษฐ์ซึ่วดัดแปลงโคโตซาน/แกรฟีนเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของDNA ผลที่ได้คือ โคโตซานที่ตรึงกับDNA ผันแปรอย่างสมบูรณ์จะให้กระแสที่สูงกว่าโคโตซานที่ติดกับDNA ที่แปรผันอย่างไม่สมบูรณ์ (Alwarappan S. et al, 2012) Prakush S. และคณะ ได้มีประดิษฐ์ซึ่วดัดแปลงจากกลาสซีคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยเงินอนุภาคนาโนและโคโตซานเพื่อวิเคราะห์หาสารหนูในน้ำ โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควลโวลแทมเมตรี (Prakush S. et al, 2012) ต่อมาได้มีการศึกษาและพัฒนาการวิเคราะห์ p-nitrophenol โดยใช้ซึ่วอะเซทิลีนแบล็คเพสที่ปรับแต่งด้วยซาลิซิลอัลดีไฮด์และโคโตซาน โดยเทคนิคโวลแทมเมตรี ซึ่งจากการทดลองพบว่าการตอบสนองทางไฟฟ้าได้ดีและสามารถตรวจหา p-nitrophenol ในตัวอย่างน้ำได้ โดยให้ประสิทธิภาพการวัดอยู่ในช่วง 96-104% และศึกษาพัฒนาซึ่วทางไฟฟ้าในการตรวจวัดบิโธมัสออกไซด์ในน้ำดื่มขวดพลาสติก และเครื่องดื่มกระป๋องโดยใช้ซึ่วอะเซทิลีนแบล็คเพสเคลือบด้วยโคโตซาน-แกรฟีน พบว่าคุณสมบัติของซึ่วมีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ 6 นาโนเมตรและเซนเซอร์ที่

ประดิษฐ์ได้ยังแสดงถึงจุดเด่นในเรื่องของความจำเพาะเจาะจงของข้าว (Deng P. *et al*, 2012) และต่อมามีการวิเคราะห์หาวิตามินซีและรูตินในการเตรียมยา โดยใช้ข้าวตัดแปลงจากข้าวคาร์บอนนาโนทิวป์ มีลิวอลล์เคลือบด้วยไคโตซาน ผลที่ได้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกลาสซีคาร์บอนธรรมดา จะมีพีคแอนดิกที่สูงกว่า และนำฟ้าได้ดีกว่า อีกทั้งยังมีพื้นที่สัมผัสและความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่า เมื่อนำมาสอบเทียบก็ให้ค่าความเป็นเชิงเส้นที่ดีอีกด้วย (Deng P. *et al*, 2013)

การตัดแปลงคาร์บอนเพสอิเล็กโทรดด้วยไคโตซานอนุภาคนาโนซีฟเบส(CNSB) ในการวิเคราะห์หาตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอร์ENTIAL SWAN ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY(DPASV) ข้าวตัดแปรที่ได้จะแสดงพีคออกซิเดชันที่แอนดิกสแกนเท่ากับ -0.35 V และพบว่าค่าการตอบสนองที่ดีที่สุดอยู่ที่ปริมาณของผงแกรไฟต์ 73.7 %โดยมวล, ไคโตซาน 5.3 %โดยมวลและน้ำมันพาราฟิน 21 %โดยมวล โดยใช้โซเดียมอะซิเตด 0.2 M pH เท่ากับ 6 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ preconcentration เท่ากับ 600 วินาที ค่าศักย์ของรีดักชันเท่ากับ 0.1 V ค่า reduction time เท่ากับ 10 วินาที และพบว่าข้าวตัดแปลงที่ทำขึ้นนี้มีค่าการวัดในช่วง 1×10^{-6} M ถึง 1×10^{-4} M ค่าสัมประสิทธิ์ correlation เท่ากับ 0.998 ซีตจำกัดการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 7.24×10^{-7} M (Semahat Kucukkolbasil. *et al*, 2013). Zheng M. และคณะได้ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของข้าวตัดแปลงจากอะซีตามิโนฟิน-แกรฟีน-ไคโตซานบนข้าวกลาสซีคาร์บอน (Zheng M. *et al*, 2013) Xue W. และคณะได้วิเคราะห์หาซัลไฟต์และไนไตรต์โดยใช้ข้าวกลาสซีคาร์บอนปรับปรุงด้วยแกรฟีน-ไคโตซานและทองคำอนุภาคนาโน โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Xue W. *et al*, 2013) และมีการวิเคราะห์หาบีเบนดาโซลโดยวิธีแอดซอร์พชันสทิงดิฟเฟอร์ENTIAL SWAN ANODIC STRIPPING VOLTAMMETRY ซึ่งใช้ข้าวตัดแปลงจากแกรฟีนนาโนซีส/ไคโตซานและคาร์บอนนาโนสเฟียร์/ไคโตซาน มาเคลือบบนข้าวกลาสซีคาร์บอน ผลที่ได้พบว่า ช่วงการตอบสนองที่กว้างคือ 0.02–1 โมลาร์ และซีตจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำคือ 10.5 นาโนโมลาร์ (Ghalkhani M. *et al*, 2013)

ล่าสุดในปี 2014 พบว่ามีข้าวตัดแปรที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นต่างๆมากมายเพื่อแก้ไขข้อเสียของข้าวสำเร็จรูปและข้าวตัดแปรที่ผ่านมา อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของข้าวให้ดียิ่งขึ้นโดยได้มีการวิเคราะห์หา p-phenylenediamine และ resorcinol ในน้ำยาย้อมผมถาวรและน้ำประปาโดยเทคนิคโวลแทมเมทรีซึ่งใช้ข้าวคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ตัดแปลงด้วยไคโตซาน (Hudari F.F *et al*, 2014) และได้มีประดิษฐ์ข้าวโอบเชนเซอร์โดยใช้เอนไซม์แซนทินมาปรับปรุงกับข้าวคาร์บอนนาโนทิวป์มีลิวอลล์นำมาตรึงด้วยไคโตซาน- CO_3O_4 ให้เสถียรขึ้น ผลที่ได้คือ ให้ผลการตรวจวัดที่ดี มีความเสถียรสูง ให้ผลการทดสอบที่ดีเมื่อทดสอบกับวิธีแบบ SEM ไซคลิกโวลแทมเมทรีและEIS และมีช่วงการตรวจวัดที่กว้าง (Dalkiran B. *et al*, 2014) Rajabzadeh และคณะได้ทำการพัฒนาข้าวตัดแปลงจากแกรฟีนออกไซด์นาโนซีทและไคโตซานที่ดีโพลีบนข้าวกลาสซีคาร์บอน ในการตรวจวัดไคเมทิลไดซัลไฟด์ (Rajabzadeh S. *et al*, 2014). Vicentini และคณะได้วิเคราะห์หาตะกั่วในน้ำธรรมชาติโดยใช้ข้าวตัดแปลงจากคาร์บอนนาโนทิวป์ครอสลิงค์กับไคโตซานและกลูตาราลดีไฮด์โดยใช้เทคนิคสแควเวฟแอดซอร์พชันสทริงโวลแทมเมทรี (Vicentini F.C. *et al*, 2014). Pandiselvi และคณะได้ประดิษฐ์ข้าวตัดแปลงจากกลาสซีคาร์บอนที่เคลือบด้วยไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์/โพลีแอนนิลีน เพื่อใช้วิเคราะห์หาโดพามีนในวิตามินซี หลังจากการทดลองพบว่าให้ผลดีในการวิเคราะห์เชิงโมเลกุล(Pandiselvi K. *et al*, 2014). Li Y. ได้ใช้ข้าวกลาสซีคาร์บอนเคลือบด้วยแคดเมียมซัลไฟด์ร่วมกับไคโตซานและเจลาติน (Li Y. *et al*,

2014) และได้มีการประดิษฐ์เซนเซอร์เพื่อตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้ขั้วกลาสซีคาร์บอนที่ดัดแปรด้วยทองคำอนุภาคนาโน-กราฟีน-โคโตซาน(Jia N. *et al*, 2014) ซึ่งงานวิจัยโดยใช้โคโตซานในการปรับปรุงขั้วที่ผ่านมาพบว่าให้ผลการทดสอบที่ดี มีความเฉพาะเจาะจง มีความเสถียร วัดได้ในช่วงที่กว้างมาก มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ อีกทั้งยังมีความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้นและสามารถใช้ได้กับตัวอย่างจริง

ในส่วนของขั้วทองได้มีการนำมาใช้วิเคราะห์โลหะหนักอย่างแพร่หลาย เช่น การวิเคราะห์โครเมียม (Cr(VI)) พบว่าสามารถวิเคราะห์ได้ขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ (0.9×10^{-9} mol/cm³) และมีความถูกต้องสูง (Neil G.S. *et al*, 1994) นอกจากนี้ยังใช้วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและทองแดง (Hong S. *et al*, 1997) และปรอท (Albrecht U. *et al*, 2005) อีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 เพื่อทำขั้วไฟฟ้าดัดแปลงด้วย Nanochitosan สำหรับการตรวจวัดโลหะตะกั่ว
- 1.3.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของตะกั่ว โดยใช้ขั้วดัดแปลง nanochitosan- rotating gold disk
- 1.3.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดโลหะตะกั่วของขั้วดัดแปลง nanochitosan- rotating gold disk

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการทำขั้วหมุนทองที่ปรับแต่งด้วยโคโตซานอนุภาคนาโน
- 1.4.2 ได้ทราบพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของขั้วดัดแปลง nanochitosan- rotating gold disk
- 1.4.3 ได้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยใช้ขั้วดัดแปลง nanochitosan- rotating gold disk

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 สารเคมี

ลำดับที่	ชื่อสารเคมี	เกรด	ที่มา(บริษัท)
1	Ethanol	AR grade	Ajax Finechem Pty Ltd
2	Methanol	AR grade	Ajax Finechem Pty Ltd
3	Chitosan	AR grade	Aldrich chemistry
4	Paraffin oil	AR grade	Ajax Finechem Pty Ltd
5	Graphite powder	AR grade	Aldrich chemistry
6	Sodium Nitrate	AR grade	QReC TM
7	Hydrochloric acid	AR grade	QReC TM
8	Sodium acetate	AR grade	QReC TM
9	Potassium nitrate	AR grade	QReC TM
10	Lead standard solution	AR grade	MerckKGaA
11	Deionized Distilled Water	-	-

2.2 อุปกรณ์

ลำดับที่	ชื่ออุปกรณ์/เครื่องมือ	ขนาด
1	บีกเกอร์	50, 100, 250 ml
2	ขวดวัดปริมาตร	25, 100 ml
3	ไมโครปิเปต	10 – 100, 100 -1000 μ l
4	กระบอกตวง	10, 25 ml
5	กระจกนาฬิกา	-
6	Measuring Vessel	50 ml
7	Magnetic stirrer	เล็ก
8	แท่งเทปลอน	D = 8 mm x 100 mm
9	แท่งแก้วคน	-
10	กระดาษซับมัน	-
11	โกร่ง	-
12	ลวดทองแดง	D = 2 mm x 80 mm

2.3 เครื่องมือ

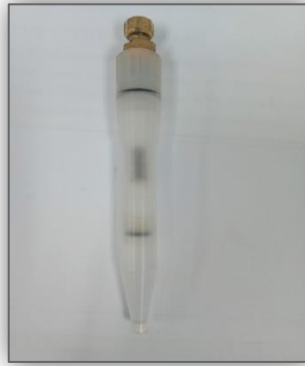
2.3.1 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก



ภาพที่ 2.1 เครื่อง VA 797 CompuTrace Analyzer connected to a Metrohm.VA 797 multimode electrode



ภาพที่ 2.2 ขั้ว Nano Chitosan Gold เป็น working electrode



ภาพที่ 2.3 ขั้ว Ag/AgCl saturated เป็น reference electrode



ภาพที่ 2.4 ขั้ว platinum เป็น Auxillary electrode

- 2.3.2 เครื่องหมุนเหวี่ยงสุญญากาศชนิดปรับอุณหภูมิได้ รุ่น Digicen 20R
- 2.3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP110s
- 2.3.4 เครื่อง Ultrasonic รุ่น CT-406
- 2.3.5 เครื่อง pH meter รุ่น Cyberscan 500
- 2.3.6 เครื่อง Zeta potential analyzer

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 การเตรียม Chitosan Nanoparticles (CN)

สารละลาย sodium tripolyphosphate (TPP) เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปเซนติฟิวส์ที่ 16,000 รอบ/นาที(rpm) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่ซึ่งสารละลายส่วนใหญ่ นำส่วนของไคโตซานอนุภาคนาโน ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปทำแห้ง(freeze dry) (Semahat Kucukkolbasil *et al*, 2013)

2.4.2 การศึกษาขนาดอนุภาคของ Chitosan Nanoparticle

นำสาร chitosan nanoparticle ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์เพื่อยืนยันขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Zeta potential analyzer โดยใช้เทคนิค Zeta potential analysis (size analysis)

2.4.3 สร้างขั้ว nanochitosan- rotating gold disk (NC-RGD)

ชั่ง Graphite powder 73.7% และ nanochitosan 5.3% บดรวมกับ paraffin oil 21 % ด้วยโรงแจ้งจนสารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำของผสมที่ได้บรรจุ ในตัวขั้วหมุนทอง อัดให้แน่นและ ปาดผิวให้เรียบ แล้วใช้แท่งแก้วปาดให้เสมอกับตัวขั้วแล้วขัดผิวด้วยกระดาษซับมันให้ผิวหน้าเรียบ และเสมอกันที่สุด จากนั้น rinse ด้วยน้ำ DI รอบๆตัวขั้ว ระวังอย่าให้โดนผิวหน้าขั้วโดยตรงเก็บไว้ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Narongrit Pratummat *et al*, 2014)

2.4.4 การศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีของตะกั่ว โดยใช้เทคนิค Cyclic Voltammetry

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท เข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้า ทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์ Cyclic Voltammogram

2.4.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้ว nanochitosan- rotating gold disk (NC-RGD)

1. สารละลายอิเล็กโทรไลต์

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้า ทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้ เทคนิคโวลแทมเมตรี ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนสารละลายโซเดียมอะซิเตท เป็นโซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมไนเตรต ตามลำดับ

2. ค่า pH

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร pH 3 จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้ เทคนิคโวลแทมเมตรี ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่า pH เป็น 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ

3. Scan rate (0.1-1.0 V/s)

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode ตั้งค่า scan rate ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 V/s โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.1 V/s หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี

4. Deposition Time (0 – 70 s)

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode ตั้งค่า deposition time ตั้งแต่ 0 – 70 วินาที โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 วินาที หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี

5. Equilibration Time (5-30 s)

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode ตั้งค่า Equilibration Time ตั้งแต่ 5- 30 วินาที โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 วินาที หลังจากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี

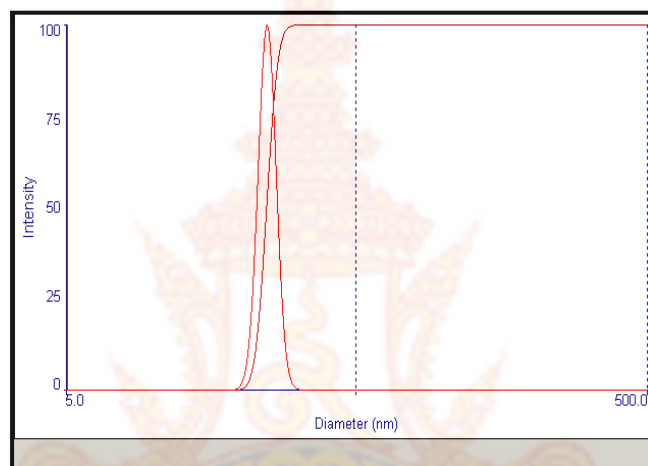
2.4.6 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของขั้ว ALA - Chitosan Carbon Paste Electrode

เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงไปใน measuring vessel ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วทำการประกอบขั้วไฟฟ้าทั้งสามขั้ว คือ ขั้ว NC-RGD เป็น working electrode ขั้ว Ag/AgCl เป็น reference electrode และขั้ว Pt wire เป็น counter electrode จากนั้นให้ทำการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรี ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเป็น 20-100 ppm ตามลำดับ

บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การสังเคราะห์โคโตซานอนุภาคนาโน

จากการศึกษาขนาดอนุภาคของ Chitosan Nanoparticle ด้วยเครื่อง Zeta potential analyzer โดยใช้เทคนิค Zeta potential analysis (size analysis) พบว่า ขนาดของอนุภาคของ Chitosan Nanoparticle ที่สังเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 28.2 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่างานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งมีค่าเท่ากับ 33 นาโนเมตร (Kucukkolbasi S. *et al*, 2013) ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขนาดอนุภาคของโคโตซานอนุภาคนาโน

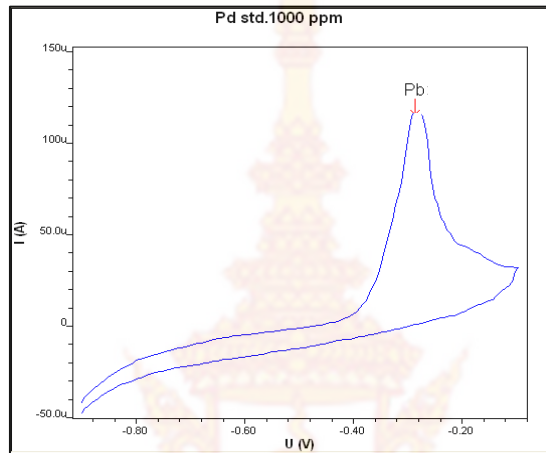
3.2 เตรียมขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk(NC-RGD)



ภาพที่ 3.2 ขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk(NC-RGD)

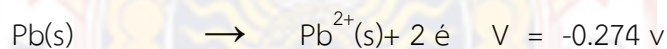
3.3 การศึกษาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของ ตะกั่ว โดยใช้ขั้ว Nanochitosan – rotating gold disk(NC-RGD) โดยใช้เทคนิค Cyclic Voltammetry

จากการศึกษาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของขั้วดัดแปลง NC-RGD ในการตรวจวัดปริมาณ ตะกั่ว โดยใช้เทคนิค Cyclic Voltammetry พบว่าการใช้ขั้วดัดแปลง NC-RGD สามารถตรวจวัด ตะกั่วได้ดี ซึ่งเกิดพีคออกซิเดชัน ที่ค่าศักย์ -0.274 V ให้ค่ากระแสเท่ากับ $22.47\text{ }\mu\text{A}$ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ค่าศักย์และค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ตรวจวัดด้วยขั้วดัดแปลง Nanochitosan – rotating gold disk(NC-RGD)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของตะกั่วบนขั้วดัดแปลง Nanochitosan – rotating gold disk(NC-RGD)



3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วดัดแปลง Nanochitosan – rotating gold disk(NC-RGD)

3.4.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วดัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลาย มาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 1000 mg/l โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ พบว่า สารละลายโซเดียมอะซิเตต เกิดพีคออกซิเดชันที่ค่าศักย์ -0.238 โวลต์ ให้ค่ากระแสสูงสุดเท่ากับ $20.07\text{ }\mu\text{A}$ ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดอื่นๆ ไม่ปรากฏพีคออกซิเดชันของตะกั่ว ซึ่งจากการ ทดลองสามารถสรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมอะซิเตตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่ากระแสที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 ค่าศักย์และค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l
เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ

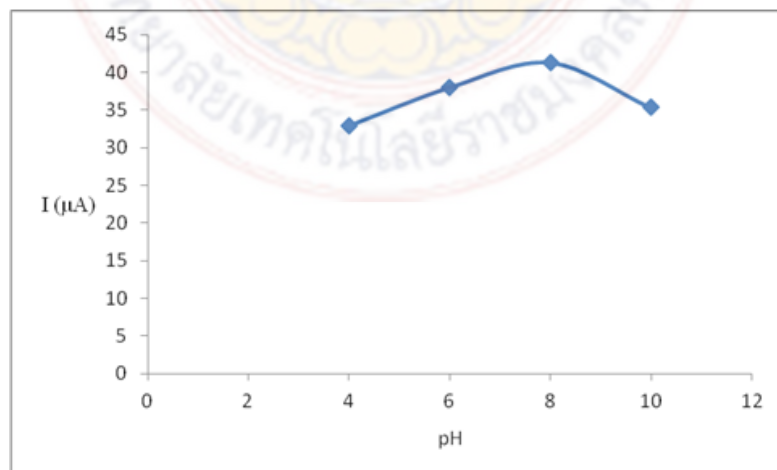
ชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์	ค่าศักย์(V)	ค่ากระแส(μ A)
Sodium acetate	-0.238	20.07
Sodium Nitrate	-	-
Potassium Nitrate	-	-

3.4.2 ค่า pH

จากผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของขั้วดัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 1000 mg/l โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดที่ pH ต่างๆ คือ 4 6 8 และ 10 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ค่ากระแสก็เพิ่มขึ้นด้วยจนถึงที่ค่า pH 8 จะให้ค่ากระแสสูงที่สุดคือ 41.31 μ A หลังจากนั้นค่ากระแสจะลดลง จึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดที่ pH 8 เนื่องจากให้ค่ากระแสที่สูงที่สุดและยังเป็นการรักษาเสถียรภาพและถนอมผิวหน้าขั้วในการวิเคราะห์ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 9

ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดที่ pH ต่างๆเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ค่า pH	ค่ากระแส(μ A)
4	32.96
6	38.03
8	41.31
10	35.32



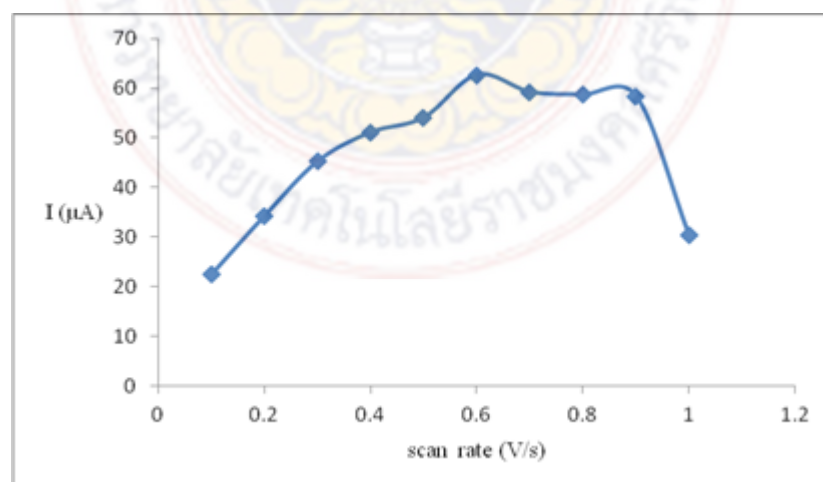
ภาพที่ 3.4 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ค่า pH ต่างๆ โดยใช้ขั้วดัดแปลง NC-RGD

3.4.3 ค่า Scan rate (V/s)

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วตัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/L ที่สภาวะค่า scan rate ในช่วงต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตด เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าค่ากระแสจะแปรผันตรงกับค่า scan rate และจะปรากฏค่ากระแสสูงสุดที่ค่า scan rate เท่ากับ 0.6 V/s และเมื่อค่า scan rate เพิ่มขึ้น ค่ากระแสจะลดลง จึงเลือกใช้ค่า scan rate เท่ากับ 0.6 V/s ซึ่งจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/L ที่ค่า scan rate ต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

Scan rate(V/s)	ค่ากระแส (μA)
0.1	22.47
0.2	34.29
0.3	45.25
0.4	51.09
0.5	54.05
0.6	62.67
0.7	59.21
0.8	58.67
0.9	58.38
1.0	30.29



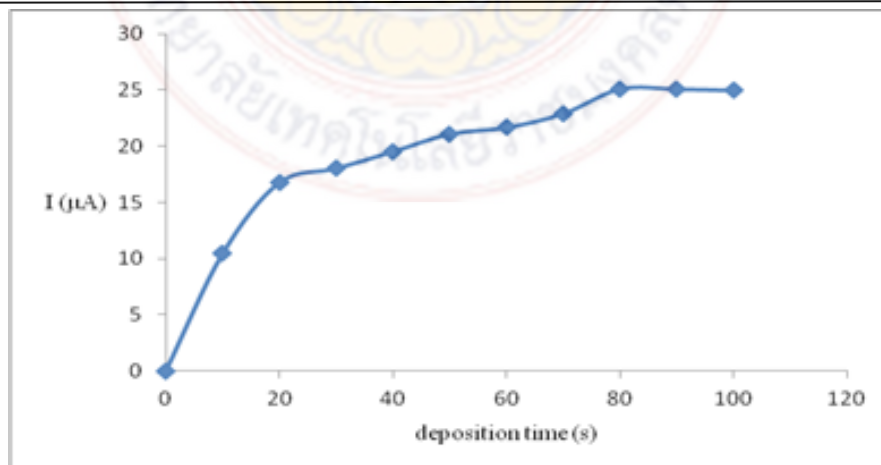
ภาพที่ 3.5 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/L ที่ค่า scan rate ต่างๆ

3.4.4 ค่า Deposition time

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วดัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l ที่สภาวะค่า deposition time ต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตด เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าเมื่อ deposition time เพิ่มขึ้น ค่ากระแสก็เพิ่มขึ้นด้วยจนถึง deposition time 80 วินาที ปรากฏค่ากระแสสูงสุด จากนั้นค่ากระแสจะคงที่ เนื่องจากพื้นผิวของอิเล็กโทรดดัดแปลงนั้นถูกปกคลุมด้วย Pb (II) อย่างสมบูรณ์ซึ่งส่งผลให้ค่ากระแสไม่เพิ่มขึ้น นั่นก็แสดงว่า ค่า deposition time ที่เหมาะสมคือ 80 วินาทีดังแสดงในตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า deposition time ต่างๆ

Deposition time(s)	ค่ากระแส (mA)
0	0
10	10.45
20	16.78
30	18.04
40	19.54
50	21.10
60	21.68
70	22.92
80	25.21
90	25.15
100	25.05



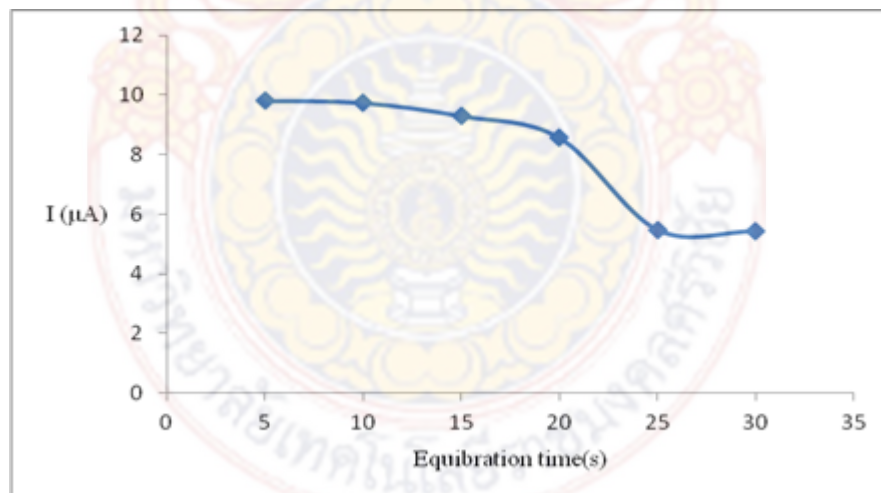
ภาพที่ 3.6 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า deposition time ต่างๆ

3.4.5 Equilibration time

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วตัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 mg/l ที่สภาวะค่า equilibration time ต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตด เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่า ค่ากระแสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มค่า equilibration time และจะมีค่าสูงสุดที่ 5 วินาที หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง นั่นก็แสดงว่า ค่า equilibration time ที่เหมาะสมคือ 5 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และภาพที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ค่า equilibration time ต่างๆ

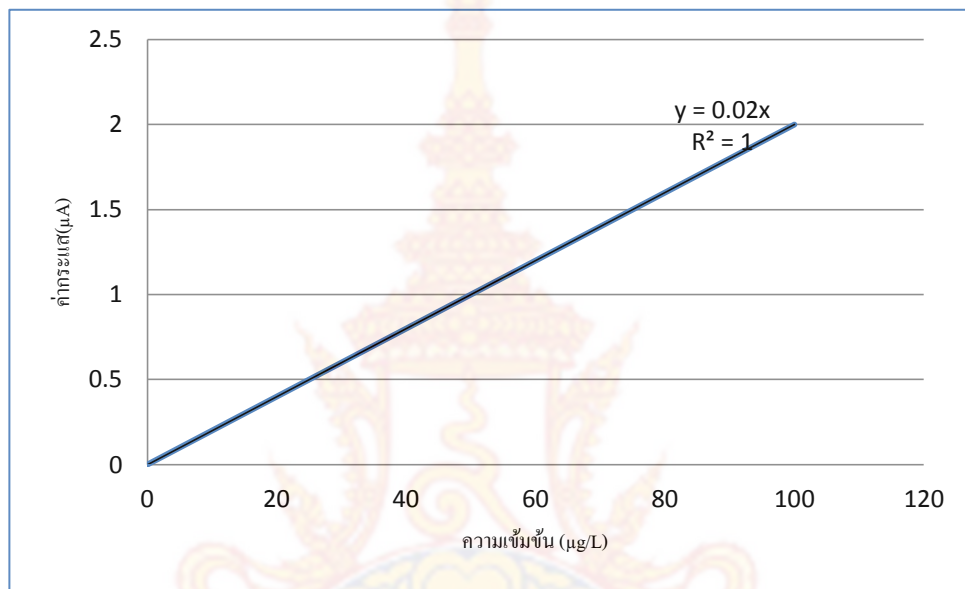
Equilibration time(s)	ค่ากระแส(μ A)
5	9.81
10	9.74
15	9.30
20	8.57
25	5.48
30	5.43



ภาพที่ 3.7 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l ที่ equilibration time ต่างๆ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.4.6 การหาค่าความเป็นเส้นตรง

จากการศึกษาการหาค่าความเป็นเส้นตรงของขั้วดัดแปลง NC-RGD ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 10-100 $\mu\text{g/L}$ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม พบว่า ค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1.0 ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ค่ากระแสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1-100 $\mu\text{g/L}$ โดยใช้โซเดียมอะซิเตดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ด้วยขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nano chitosan –rotating gold disk (NC-RGD) ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมี และพารามิเตอร์ที่เหมาะสม พบว่าขั้วไฟฟ้าดัดแปลง NC-RGD สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วได้เนื่องจาก สารละลายตะกั่วแสดงค่าพีคออกซิเดชันที่ค่าศักย์ -0.33 โวลต์ โดยให้ค่ากระแสที่ $22.47 \mu\text{A}$

จากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้วไฟฟ้าดัดแปลง Nano chitosan –rotating gold disk (NC-RGD) พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตด ที่ค่า pH 8 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ให้ค่ากระแสสูงที่สุด คือ $20.07 \mu\text{A}$ และ scan rate เท่ากับ 0.6 V/s deposition time เท่ากับ 80 วินาที Equilibration time เท่ากับ 5 วินาที และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปทำการกราฟมาตรฐานสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น $1-100 \mu\text{g/L}$ พบว่าค่าความเป็นเส้นตรง มีค่าเท่ากับ 1

ในการใช้ขั้ว Nano chitosan –Gold พบว่ายังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์อยู่บางประการ คือในการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องซ้ำหลายๆครั้งจำเป็นจะต้องมีการขัดผิวหน้าขั้วอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากในการวิเคราะห์อาจมีการ deposit ของตะกั่วและโคโตซานบนผิวหน้าขั้วจึงทำให้ศักยภาพในการตรวจวัดตะกั่วนั้นลดลง ส่งผลให้ค่ากระแสที่ปรากฏมีค่าน้อยลงด้วย และอีกประการคือ การเก็บรักษาขั้ว Nano chitosan –rotating gold disk (NC-RGD) จำเป็นต้องเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อเป็นการรักษาหรือคงสภาพของสารภายในขั้ว

บรรณานุกรม

- Deng P., Xu Z., Feng Y. and Li J. 2012. Electrocatalytic reduction and determination of p-nitrophenol on acetylene black paste electrode coated with salicylaldehyde-modified chitosan. *Sensors and Actuators B* 381-389
- Deng P., Xu Z. and Li J. 2013. Simultaneous determination of ascorbic acid and rutin in pharmaceutical preparations with electrochemical method based on multi-walled carbon nanotubes-chitosan composite film modified electrode. *Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 76:234-242.
- Jia N., Huang B. Chen L., Tan L. and Yao S. 2014. A simple non-enzymatic hydrogen peroxide sensor using gold nano particle – graphene – chitosan modified electrode *Sensors and Actuators B* 195 : 165-170.
- Kucukkolbasi S., Özden Erdoğan Z., Berek Mustafa Sahin J. and Kocak N., 2013. A Novel Chitosan Nanoparticle-Schiff Base Modified Carbon Paste Electrode as a Sensor for the Determination of Pb(II) in Waste Water, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8.p : 2164 – 2181.
- Lu G., Yao X., Wu X. and Zhan T., Determination of the total iron by chitosan-modified glassy carbon electrode, 2001. *Microchemical Journal* 69, p : 81-87
- Martínez-Huitle C.A., Suely Fernandes N., Cerro-Lopez M., Quiroz M.A. Determination of Trace Metals by Differential Pulse Voltammetry at Chitosan Modified Electrodes, 2010. *Portugaliae Electrochimica Acta*. P :39-49
- Vicentini F.C., Silva T.A., Pellatieri A., Janegitz B.C., Filho O.F. and Faria R.C. 2014. Pb(II) determination in natural water using a carbon nanotubes paste electrode modified with crosslinked chitosan. *Microchemical* : 191-196.
- Xue W., Hui L., Min W., Li G.S., Yan Z., Jiang W.Q., Gang H.P. and Zhi F.Y. 2013. Simultaneous Electrochemical Determination of Sulphite and Nitrite by a Gold Nanoparticle/Graphene-Chitosan Modified Electrode. *Analytical chemistry* : 1232-1237.
- Ye X., Yang Q., Wang Y. and Li N., 1998. Electrochemical behaviour of gold, silver, platinum and palladium on the glassy carbon electrode modified by chitosan and its application. *Talanta* 47:1099-1106.
- Zeng Y., Zhu Z., Wang R.X., and Lu G.H. 2005. Electrochemical determination of bromide at a multiwall carbon nanotubes-chitosan modified electrode. *Electrochimica Acta* 51 :649-654

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{g/Mw} &= \text{MV}/1000 \\ \text{g}/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ \text{g} &= 1.64 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด 1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

เมื่อ

g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)

Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)

V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.1.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

pH 2

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{g/Mw} &= \text{MV}/1000 \\ \text{g}/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ \text{g} &= 1.64 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด 1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 ด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น

เมื่อ

g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)

Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)

V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.1.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
pH 4

$$\begin{aligned}\text{สูตร} \quad g/Mw &= MV/1000 \\ g/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ g &= 1.64 \text{ g}\end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำDI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 4 ด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น

เมื่อ

g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)
 Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)
 M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)
 V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.1.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
pH 6

$$\begin{aligned}\text{สูตร} \quad g/Mw &= MV/1000 \\ g/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ g &= 1.64 \text{ g}\end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำDI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 6 ด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น

เมื่อ

g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)
 Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)
 M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)
 V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.1.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
pH 8

$$\begin{aligned}\text{สูตร} \quad g/Mw &= MV/1000 \\ g/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ g &= 1.64 \text{ g}\end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด 1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

เมื่อ

- g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)
Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)
M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)
V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.1.5 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
pH 10

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad g/Mw &= MV/1000 \\ g/82.03 &= (0.2 \times 100)/1000 \\ g &= 1.64 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โซเดียมอะซิเตด 1.64 กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

เมื่อ

- g คือ น้ำหนักของโซเดียมอะซิเตด(กรัม)
Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตด(กรัม/โมล)
M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(โมลาร์)
V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมอะซิเตด(มิลลิลิตร)

1.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไนเตรดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad g/Mw &= MV/1000 \\ g/ &= (0.2 \times 100)/1000 \\ g &= \text{g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโซเดียมไนเตรดเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โซเดียมไนเตรดกรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำ DI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

เมื่อ

- g คือ น้ำหนักของโซเดียมไนเตรด(กรัม)
Mw คือ มวลโมเลกุลของโซเดียมไนเตรด(กรัม/โมล)
M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรด(โมลาร์)
V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไนเตรด(มิลลิลิตร)

1.3 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad \text{g/Mw} &= \text{MV}/1000 \\ \text{g/} &= (0.2 \times 100)/1000 \\ \text{g} &= \text{g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจะต้องใช้โพแทสเซียมไนเตรด กรัม จากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำDI และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

เมื่อ
g คือ น้ำหนักของโพแทสเซียมไนเตรด (กรัม)
Mw คือ มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมไนเตรด (กรัม/โมล)
M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (โมลาร์)
V คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (มิลลิลิตร)

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 900 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1V_1 &= M_2V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 900 \times 25 \\ V_1 &= 22.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 900 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 22.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำDI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

เมื่อ
 M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 800 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1V_1 &= M_2V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 800 \times 25 \end{aligned}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 800 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 20 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
- V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)
- M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
- V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิตร)

2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 700 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 700 \times 25 \\ V_1 &= 17.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 700 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 17.5 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
- V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)
- M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
- V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิตร)

2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 600 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 600 \times 25 \\ V_1 &= 15 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 600 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 15 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
- V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)

M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 500 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 500 \times 25 \\ V_1 &= 12.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 500 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 12.5 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

เมื่อ

M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 400 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 400 \times 25 \\ V_1 &= 10 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 400 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

เมื่อ

M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.7 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 300 \times 25 \\ V_1 &= 7.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 7.5 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิตร)

2.8 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 200 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 200 \times 25 \\ V_1 &= 5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 200 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 5 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิตร)

2.9 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 1000 \times V_1 &= 100 \times 25 \\ V_1 &= 2.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25 มิลลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1000 ppm ปริมาณ 2.5 มิลลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
 V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิตร)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
 V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิตร)

2.10 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 100 \times V_1 &= 50 \times 25 \\ V_1 &= 12.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 12.5 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
- V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)
- M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
- V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.11 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 100 \times V_1 &= 40 \times 25 \\ V_1 &= 10 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

เมื่อ

- M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)
- V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)
- M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)
- V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)

2.12 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 100 \times V_1 &= 30 \times 25 \\ V_1 &= 7.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 7.5 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

	เมื่อ	
M_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)	
V_1	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)	
M_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)	
V_2	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)	

2.13 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 100 \times V_1 &= 20 \times 25 \\ V_1 &= 5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 5 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

	เมื่อ	
M_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)	
V_1	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)	
M_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)	
V_2	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)	

2.14 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm

$$\begin{aligned} \text{สูตร} \quad M_1 V_1 &= M_2 V_2 \\ 100 \times V_1 &= 10 \times 25 \\ V_1 &= 2.5 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะต้องใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 100 ppm ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตรจากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ 25 มิลลิลิตร

	เมื่อ	
M_1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(ppm)	
V_1	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนเจือจาง(มิลลิลิตร)	
M_2	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(ppm)	
V_2	คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังเจือจาง(มิลลิลิตร)	

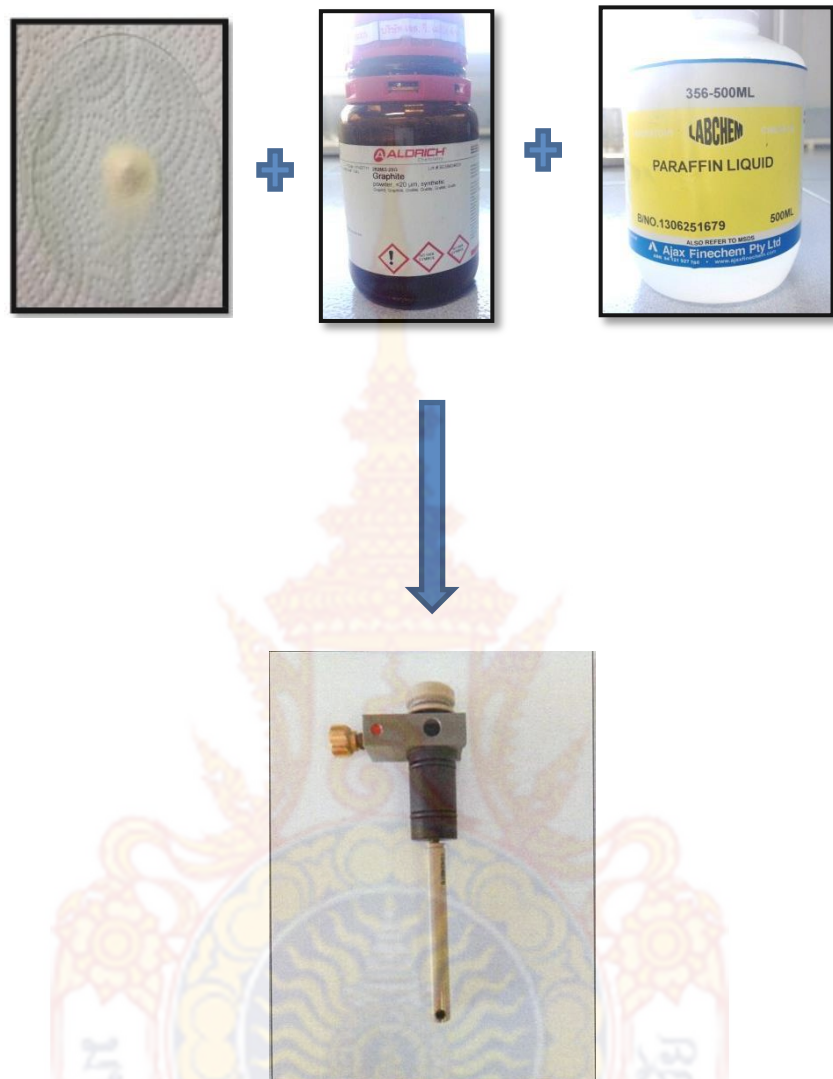
ภาคผนวก ข

การทำซ้ำตัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk(NC-RGD)

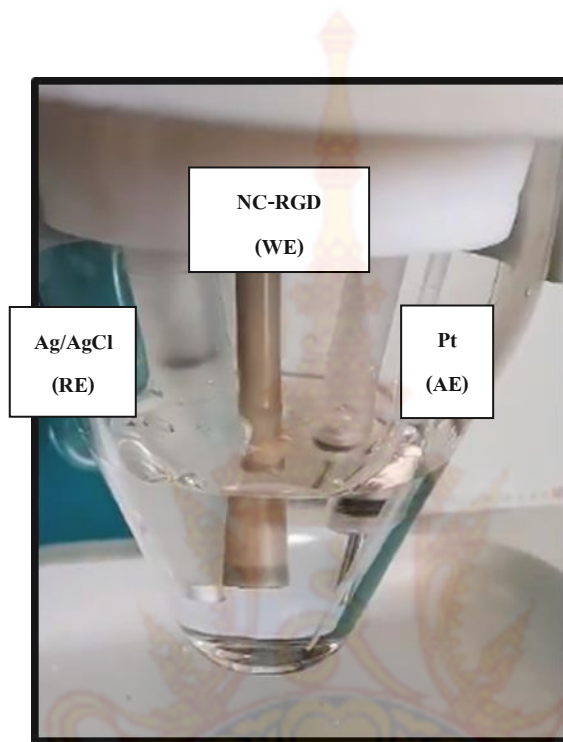


ภาพภาคผนวกที่ 1 การสังเคราะห์ Nano-Chitosan





ภาพภาคผนวกที่ 2 การทำซั้วดัดแปลง Nanochitosan-rotating gold disk (NC-RGD)



ภาพภาคผนวกที่ 3 การประกอบขั้ว NC-RGD เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีของตะกั่ว

ภาคผนวก ค
การนำเสนองานวิจัยระดับนานาชาติ

ตีพิมพ์สืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการหัวข้อ Electrochemical behavior and characterization of lead sensor based on nanochitosan- rotating gold disk modified electrodes การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 10th Rajamangala University of Technology International Conference (RMUTCON 2019) ภายใต้หัวข้อ “Creative Innovation and Technology for Sustainable Agriculture” ระหว่าง วันที่ 24-26 กรกฎาคม 2562 ณ ศูนย์ประชุมและแสดงสินค้านานาชาติเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

