



## รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

การตรวจจ้บยูเรียและครีตินินโดยนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล  
บนคาร์บอนสกรีนปริ้นท์อิเล็กโทรด

Ni-Co NPs Modified Carbon Screen-Printed Electrode for  
Urea and Creatinine Detections

นางสาวณรวี อัครกิจธนานนท์  
นายวรปรัชญ์ ฤทธิคารบ

ภาควิชาวิศวกรรมแพทย  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจจ้ยูเรียและครีตินินโดยนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล  
บนคาร์บอนสกรีนปริ้นท์อิเล็กโทรด

Ni-Co NPs Modified Carbon Screen-Printed Electrode for  
Urea and Creatinine Detections

นางสาวณรวิ อัสวกิจธนานนท์

นายวรปรัชญ์ ฤทธิคำรบ

ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การตรวจจ้บยูเรียและครีเอตินินโดยนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลบนคาร์บอน สกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวณรวี อัครกิจธนานนท์ นายวรปรัชญ์ ฤทธิ์คำรบ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมแพทย์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ดร.เมทินี จรรยาสุภาพ
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	ดร. เบญจพร เลิศอนันตวงศ์
สถานประกอบการ	บริษัทควอเซนต์ ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์เทคโนโลยี สถาบันพัฒนาและฝึกอบรม โรงงานต้นแบบ (มจร.)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ จัดทำขึ้นเพื่อตรวจวัดยูเรียและครีเอตินินในไตอะไลเซทจากเครื่องฟอกไต โดยเครื่องฟอกไตมีวัตถุประสงค์เพื่อฟอกเลือดของผู้ป่วยที่มีของเสียอยู่มาก งานวิจัยของเราได้สนใจถึงการใช้เครื่องฟอกไตของผู้ป่วย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และผู้ป่วยได้มีชีวิตที่ดีขึ้นจากการฟอกไตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้เมื่อผู้ป่วยได้รับการฟอกไตแล้วนั้นของเสียในเลือดของผู้ป่วยจะออกมาในรูปของเหลวปนกับน้ำยาไตอะไลเซทที่ใช้แล้ว เราจึงสนใจที่จะตรวจจ้บของเสียของผู้ป่วย โดยเริ่มต้นจากการตรวจจ้บยูเรียและครีเอตินินในไตอะไลเซท ในการตรวจจ้บของเสียเหล่านี้ เราได้ทำการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลบนคาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด เพื่อช่วยในการตรวจจ้บยูเรียและครีเอตินิน ผู้วิจัยได้ข้อสรุปจากการทดลองและงานวิจัยต่างๆว่า ไบแมททาลิกของนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลบนสกรีนพริ้นท์คาร์บอนอิเล็กโทรดสามารถตรวจจ้บสัญญาณของยูเรียและครีเอตินินได้ดีและสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของยูเรียและครีเอตินินและหาข้อสรุปจากการทดลองที่ว่า เมื่อความเข้มข้นของยูเรียในไตอะไลเซทเพิ่มขึ้น พีคออกซิเดชันของสัญญาณนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อความเข้มข้นของครีเอตินินในไตอะไลเซทเพิ่มขึ้น พีคออกซิเดชันของสัญญาณนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลก็จะมีค่าลดลง

คำสำคัญ : ครีเอตินิน / ไตอะไลเซท / นาโนพาร์ติเคิล / ไบแมททาลิก / พีคออกซิเดชัน / ยูเรีย / สกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด

**Cooperative Title:** NiCoNPs Modified Carbon Screen-Printed Electrode for Urea and Creatinine Detections

**Students name:** Miss Narawee Asavakijthananont  
Mister Worapat Litkhamrob

**Faculty:** Engineering

**Department:** Biomedical Engineering

**Advisor name:** Dr. Metini Janyasupab

**Mentor name:** Dr. Benchaporn Lertanantawong

**Company:** Quasense Company - Sensors Technology – Pilot Plant  
Development and Training Institute (KMUTT)

## ABSTACT

Our research paper describes a new method for the detection of urea and creatinine in dialysate from dialysis machines. Patients with reduced kidney function undergo dialysis. During dialysis, wastes from the blood are pulled into a fluid called distaste. Our research aims at reducing the duration of the hemodialysis by measuring the level of wastes, notably urea and creatinine, in the used dialysate. For this measurement, we use synthesized nickel/cobalt and nickel cobalt nanoparticles on a screen printed electrode. Our experiments have conclusively shown that we can detect the presence of urea and creatinine and a change in the concentration of these wastes. When the concentration of urea increases, the oxidation peak of the signal emitted by the electrode increases whereas the oxidation peak of the signal emitted by the electrode decreases when the concentration of urea increases

**Keyword :** Bimetallic / Creatinine / Dialysate / Nanoparticle / Oxidation peak / Screen-print electrode / Urea

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เมทินี จรยาสุภาพ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่เหล่าข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบสหกิจทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนขอชี้แนะกับงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาชีพวิศวกรรมแพทย์ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการแก้ปัญหา ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.จำรัส พร้อมมาศ อาจารย์ภาควิชาชีพวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณบริษัทควอเซนส์ ทั้งคุณกฤษณพร ชื่นรังสิกุล และคุณศรัณย์ บุพพาศิริกุล สถานผู้ประกอบการผู้สนับสนุนและให้คำปรึกษาและช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วีระศักดิ์ สุระเรืองชัย, ดร.เบญจพร เลิศอนันตวงศ์ และบุคลากรประจำห้องปฏิบัติการเซนเซอร์เทคโนโลยี (SST) สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มจร. ที่ให้การช่วยเหลือทั้งในด้านคำปรึกษาและสนับสนุนเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบพระคุณพี่พยาบาลพร้อมทั้งคนไข้อาสาสมัครที่ศูนย์ฟอกไต มูลนิธิศรีรัตนโกสินทร์ วัดสุทธาราม ที่ให้คำปรึกษาด้านทฤษฎีความรู้เกี่ยวกับโรคไตพร้อมทั้งตัวอย่างน้ำยาไดอะไลซิสให้แล้ว และสุดท้ายขอขอบคุณบิดามารดาและคนในครอบครัว ผู้ที่สนับสนุนและให้กำลังใจเหล่าข้าพเจ้าตลอดมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.6 โครงสร้างของรายงาน .....	3
บทที่ 2.....	4
2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	4
2.1.1 การสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิล.....	4
2.1.2 การตรวจจัญับยูเรีย.....	4
2.1.3 การตรวจจัญับครีเอตินิน .....	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 ความรู้เกี่ยวกับไตและผู้ป่วยโรคไต.....	7
2.2.2 เครื่องไตเทียม .....	9
2.2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี .....	10
บทที่ 3.....	14
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	14
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำคัญในการทดลอง.....	15

3.2.1	อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง .....	15
3.2.2	เครื่องมือที่ใช้วัด .....	16
3.3	ขั้นตอนการสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิล .....	17
3.3.1	ขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลนาโนพาร์ติเคิล.....	17
3.3.2	ขั้นตอนการสังเคราะห์โคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล.....	19
3.3.3	ขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล.....	21
3.4	ขั้นตอนการผสมสารทดสอบ.....	22
3.4.1	ขั้นตอนการผสม Phosphate buffered saline (1X PBS) กับยูเรียและครีเอตินีน....	22
3.4.2	ขั้นตอนการผสมไดอะไลเซสกับยูเรียและครีเอตินีน.....	23
3.5	การตรวจจับยูเรียและครีเอตินีน.....	24
บทที่ 4	.....	26
4.1	กราฟการตรวจวัดยูเรีย.....	26
4.1.1	อิเล็กโทรดต้นแบบหรือคาร์บอนสกรีนพรีนต์อิเล็กโทรด.....	26
4.1.2	นิกเกิลอิเล็กโทรด.....	27
4.1.3	โคบอลต์อิเล็กโทรด.....	28
4.1.4	นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด.....	29
4.2	กราฟการตรวจวัดครีเอตินีน.....	37
4.2.1	นิกเกิลอิเล็กโทรด.....	37
4.2.2	โคบอลต์อิเล็กโทรด.....	38
4.2.3	นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด.....	42
บทที่ 5	.....	49
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....		51
ภาคผนวก.....		52
ประวัติผู้วิจัย.....		56

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระยะต่างๆ ของโรคไต.....	8

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างยูเรียกับนิกเกิลอิเล็กโทรดบนขั้วแคโทดและแอโนด .....	4
2.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลอิเล็กโทรดของตัวเร่งปฏิกิริยาในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 M โดยใช้อัตราการสแกน 10 mV/s .....	5
2.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ออกไซด์แกรฟีนอิเล็กโทรด ในความแตกต่างของ อัตราส่วนนิกเกิลกับโคบอลต์ที่ใช้ตรวจจับยูเรีย ความเข้มข้น 10 mM โดยใช้อัตราการสแกน 10 mV/s .....	6
2.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดในความแตกต่างของอัตราส่วนนิกเกิลกับโคบอลต์ ใช้ตรวจจับเอมีน ความเข้มข้น 1 mM ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s .....	7
2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไตเทียม .....	9
2.6 แสดงส่วนประกอบเซลล์ไฟฟ้าเคมี .....	11
2.7 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย .....	11
2.8 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกันและเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ .....	12
2.9 ตัวอย่างเซลล์อิเล็กโทรไลต์ที่ต่ออยู่กับแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง .....	13
3.1 คาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด (Carbon Screen-Printed Electrode) ชนิดสามขั้วของบริษัท ควอเซนส์ .....	15
3.2 เครื่อง Autolab potentiostat .....	16
3.3 เครื่อง ER466 Integrated Potentiostat System (eDAQ) .....	16
3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลนาโนพาร์ติเคิล .....	18
3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์โคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล .....	20
3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล .....	21
3.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผสม Phosphate buffered saline (1X PBS) กับยูเรียและครีเอตินีน .....	22
3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการผสมไตเอสท์กับยูเรียและครีเอตินีน .....	23

3.9	แผนผังแสดงการตรวจจับสนุรีและครีเอตินินโดยใช้นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลบนสกรีนพริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์.....	25
4.1	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรดต้นแบบหรือคาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ตรวจวัดยูเรีย ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	26
4.2	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลอิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	27
4.3.1	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	28
4.3.2	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	28
4.4.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรีย ความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	29
4.4.2	ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด ตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในสารละลาย PBS ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัด มาตรฐาน Autolab.....	30
4.5.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในน้ำยาไดอะไลเซส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	30
4.5.2	ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด ตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในน้ำยาไดอะไลเซส ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัด มาตรฐาน Autolab.....	31



4.8.2	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	40
4.8.3	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ช่วง 0-0.7 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	40
4.8.4	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ช่วง 0-3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	41
4.9.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	42
4.9.2	ภาพแสดงกราฟ Calibration Curve ที่เปลี่ยนเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	42
4.10.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่างๆในน้ำยาไดอะไลเซส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab.....	43
4.10.2	ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำยาไดอะไลเซส ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab ...	43
4.10.3	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลเซส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน eDAQ.....	44
4.10.4	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลเซส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น.....	45
4.10.5	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ไอออนโทดตรวจวัดครีเอตินินเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ครีเอตินินความเข้มข้น 0.75 mM.....	46

4.10.6	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 1.5 mM .....	46
4.10.7	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 3 mM.....	47
4.10.8	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 6 mM.....	47
4.10.9	ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 12 mM.....	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โรคไตเรื้อรัง (Chronic Kidney Disease, CKD) เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญทั้งทั่วโลกและประเทศไทย สาเหตุของโรคไตเรื้อรังที่พบบ่อยเกิดจากโรคเบาหวานและภาวะความดันโลหิตสูง [1] และโรคไตเรื้อรังในระยะแรกมักไม่พบอาการผิดปกติ ทำให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าตนเองป่วยเป็นโรคไต และมักจะตรวจพบเมื่อเป็นมากแล้ว หรือเมื่อเข้าสู่ระยะไตวายเรื้อรังระยะสุดท้ายหรือระยะที่ 5 ซึ่งเป็นระยะที่ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการรักษาบำบัดทดแทนไต ได้แก่ การฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม การล้างไตทางช่องท้อง หรือการผ่าตัดปลูกถ่ายไต ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัจจุบันในประเทศไทย พบผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังร้อยละ 17.6 ของประชากร หรือประมาณ 8 ล้านคน เทียบได้ว่าใน 100 คน พบคนที่เป็นโรคไตเรื้อรังถึง 17 คน ในจำนวนนั้นเป็นผู้ป่วยไตเรื้อรังระยะที่ 5 ถึง 200,000 คน หรือคิดเป็น ร้อยละ 2.5 ของผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังทั้งหมด แนวโน้มของผู้ป่วยรายใหม่เพิ่มขึ้นทุกปี ปีละกว่า 7,800 ราย โดยมีผู้ป่วยไตเรื้อรังระยะสุดท้ายที่ต้องรับการบำบัดทดแทนไตถึง “70,000 ราย” และมากกว่า 5,000 ราย ที่รอการปลูกถ่ายไต แต่มีเพียงประมาณ “600 ราย/ปี” หรือมีเพียง 1 ใน 10 คน เท่านั้นที่ได้รับการปลูกถ่ายไต อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการบำบัดทดแทนไตในปัจจุบันสูงถึง 240,000 บาทต่อคนต่อปี [1,2] ในขณะที่เดียวกันผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังจะเสียเวลาในการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียมครั้งละ 4-5 ชั่วโมง โดยต้องเดินทางไปโรงพยาบาลหรือศูนย์ฟอกไต ทำการฟอกเลือดไม่ต่ำกว่าสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง ส่วนการฟอกทางช่องท้องจะทำได้เองที่บ้านซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การล้างไตทางช่องท้องด้วยเครื่องอัตโนมัติ (APD) ที่จะทำการฟอกในเวลากลางคืนขณะนอนหลับ และการล้างไตทางช่องท้องอย่างต่อเนื่องด้วยตนเอง (CAPD) ที่จะทำการฟอกครั้งละ 4-6 ชั่วโมง เปลี่ยนถ่ายน้ำยา 4 ครั้งต่อวัน

การประเมินการทำงานของไต โดยหลักแล้วจะใช้การตรวจเลือดหาค่า BUN (blood urea nitrogen) และครีเอตินิน (Creatinine; Cr) และการคำนวณค่าการทำงานของไต (Glomerular Filtration Rate หรือ GFR คือ อัตราการกรองของเลือดที่ผ่านไตออกมาเป็นน้ำปัสสาวะ) ในกรณีไตวายระยะสุดท้ายคือ การทำงานของไตลดลงน้อยกว่า 15% และค่า BUN  $\geq$  60 mg/dl , creatinine  $\geq$  6 mg/dl [3] ส่วนการประเมินประสิทธิภาพการฟอกไต นิยมการคำนวณค่า Kt/v ซึ่งคำนวณจากค่าน้ำหนัก และค่า Urea ควบคุม การประเมินค่า BUN, ครีเอตินิน และอื่นๆ

การบำบัดทดแทนไตนั้น คือ กระบวนการเพื่อขจัดของเสียในร่างกาย ปรับระดับเกลือแร่ในร่างกายและปรับสมดุลของน้ำในร่างกายให้เป็นปกติ

จากความสำคัญดังกล่าวจึงก่อให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อหวังว่าจะพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย โดยการประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของเสีย อันได้แก่ ยูเรียและครีเอตินิน ด้วยอุปกรณ์แบบไม่ลุกล้ำ (non-invasive measurement) โดยใช้หลักการเซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีวัดจากน้ำยาไตอะไลเซทหรือน้ำยาฟอกไตใช้แล้วของผู้ป่วย ซึ่งการทดลองนี้จะมุ่งเน้นไปที่การสังเคราะห์สารอนุภาคนาโนเคลือบอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมกับสารที่จะวัด ซึ่งจะทำให้รู้ว่าการฟอกเลือดของผู้ป่วยนั้นเพียงพอแล้วหรือไม่ สามารถกำจัดของเสียไปได้มากน้อยเพียงใด หรืออาจกล่าวว่าเป็นการบ่งบอกคุณภาพเลือดของผู้ป่วยในช่วงนั้นๆ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของเสียของผู้ป่วยที่ฟอกไตผ่านเครื่องไตเทียมจากน้ำยาไตอะไลเซทใช้แล้วของผู้ป่วย ด้วยเซนเซอร์ทางไฟฟ้าเคมีแบบไม่ลุกล้ำ ( non-invasive measurement ) โดยมุ่งเน้นที่การวัดความเข้มข้นของยูเรียและครีเอตินิน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดของเสียของผู้ป่วยระยะสุดท้ายที่ฟอกไตผ่านเครื่องไตเทียมจากน้ำยาไตอะไลเซท โดยเน้นที่การตรวจวัดความเข้มข้นของของเสียอ้างอิง คือ ยูเรียและครีเอตินิน โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์คาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ ชนิด 3 ชั้น ที่เคลือบด้วยสารที่สังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งการทดลองมุ่งเน้นไปที่การหาสารเคลือบอิเล็กทรอนิกส์และวิธีการสังเคราะห์ที่เหมาะสมกับการตรวจวัดยูเรียและครีเอตินินในน้ำยาไตอะไลเซท ซึ่งวิธีการสังเคราะห์เราจะใช้วิธีแบบ one spot หรือวิธีแบบ 1 กระบวนการ โดยใช้ความร้อนและคลื่นจากเครื่องไมโครเวฟ

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาส่วนประกอบของสารและของเสียอ้างอิงในน้ำยาฟอกไตใช้แล้ว และช่วงความเข้มข้นของของเสียอ้างอิง
2. ศึกษาสารเคลือบที่เหมาะสมกับการตรวจวัดยูเรียและครีเอตินิน
3. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารเคลือบ
4. สังเคราะห์สร้างเคลือบ

5. เคลือบสารบนคาร์บอนสกรีนปรินท์อิเล็กทรอนิกส์และนำมาตรวจวัดยูเรียและคลีเอตินิน
6. วิเคราะห์ผลการตรวจวัดสารยูเรียและคลีเอตินิน
7. ปรับปรุงแก้ไขวิธีการสังเคราะห์และเทคนิคการวัด

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการฟอกไต โดยวัดจากของเสียอ้างอิง คือ ยูเรีย และ ครีเอตินิน ด้วยอุปกรณ์แบบไม่ลุกล้ำ (non-invasive) ชนิดเซนเซอร์ทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical sensor) วัดผ่านน้ำยาไตอะโลเอสส์ใช้แล้วของผู้ป่วย และบอกได้ว่าการฟอกเลือดของผู้ป่วยเพียงพอแล้วหรือไม่ มีของเสียเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด อันเป็นตัวช่วยในการอ้างอิงประสิทธิภาพการฟอกไตโดยตรง นอกเหนือจากการตรวจเลือดและคำนวณค่าต่างๆในช่วงก่อนใช้เครื่อง อีกทั้งยังเป็นผลงานวิจัยที่สามารถต่อยอดได้ในอนาคต

## 1.6 โครงสร้างของรายงาน

โดยเนื้อหาในเล่มจะแบ่งเป็นบทต่างๆตามรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะเป็นการกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต วิธีการดำเนินงานวิจัยตลอดจนประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับสำหรับงานวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการตรวจจับสารยูเรียและครีเอตินิน ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโรคไต เครื่องไตเทียมและปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย จะกล่าวถึงขั้นตอนการสังเคราะห์สาร เทคนิคการตรวจวัด และการสังเคราะห์ของเสียตัวอย่างสำหรับการตรวจวัด

บทที่ 4 ผลการวิจัย จะแสดงกราฟที่เป็นผลจากการตรวจวัดของยูเรียและครีเอตินินด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ ในสารละลาย PBS และในน้ำยาไตอะโลเอสส์

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ จะแสดงการสรุปผลการวิจัยทั้งหมดและข้อเสนอแนะต่างๆ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

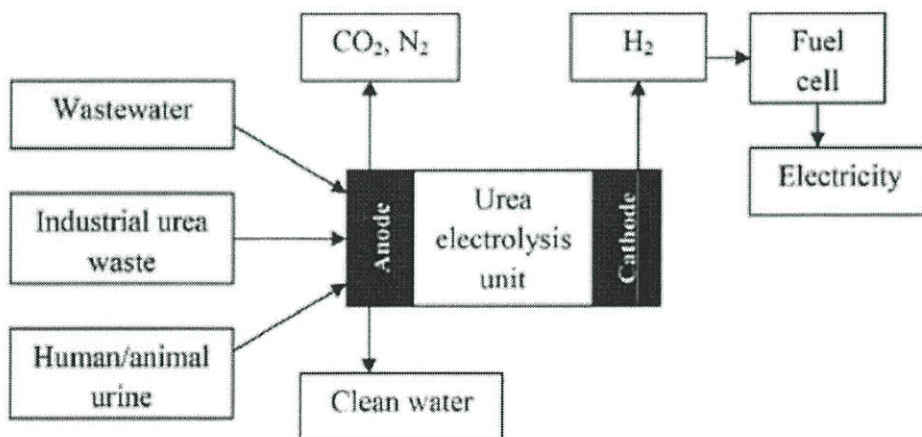
### 2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

#### 2.1.1 การสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิล

Wei Xu และ คณะ [4] ได้ทำการสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิล จากอัตราส่วนที่ไม่เท่ากันของส่วนผสมที่สำคัญคือ โซเดียมคาร์โบเนต นิกเกิลคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต และโพลีไวนิลพิลิดอน ที่ทำให้เกิดขนาดของนาโนพาร์ติเคิลที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้สารที่ทำให้นาโนพาร์ติเคิลมีขนาดเล็กคือ ไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์โบเนต เมื่อนำสารที่กล่าวไปแล้วข้างต้นมาผสมกันและใช้ความร้อนและคลื่นที่เกิดขึ้นจากไมโครเวฟจะทำให้เกิดนาโนพาร์ติเคิล นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาในการให้ความร้อนของไมโครเวฟมีส่วนสำคัญต่อขนาดนาโนพาร์ติเคิลเช่นกัน โดยพบว่าปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการให้ความร้อนจากไมโครเวฟลดลง

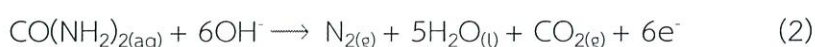
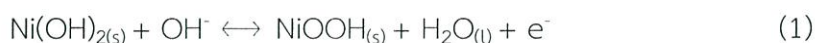
#### 2.1.2 การตรวจจับสนุรี

Vedasri และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างยูเรียกับนิกเกิลอิเล็กโทรดบนขั้วแคโทดและแอโนด



รูปที่ 2.1 ภาพปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างยูเรียกับนิกเกิลอิเล็กโทรดบนขั้วแคโทดและแอโนด

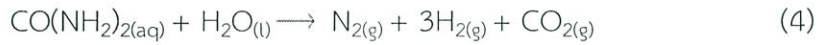
แอโนด:



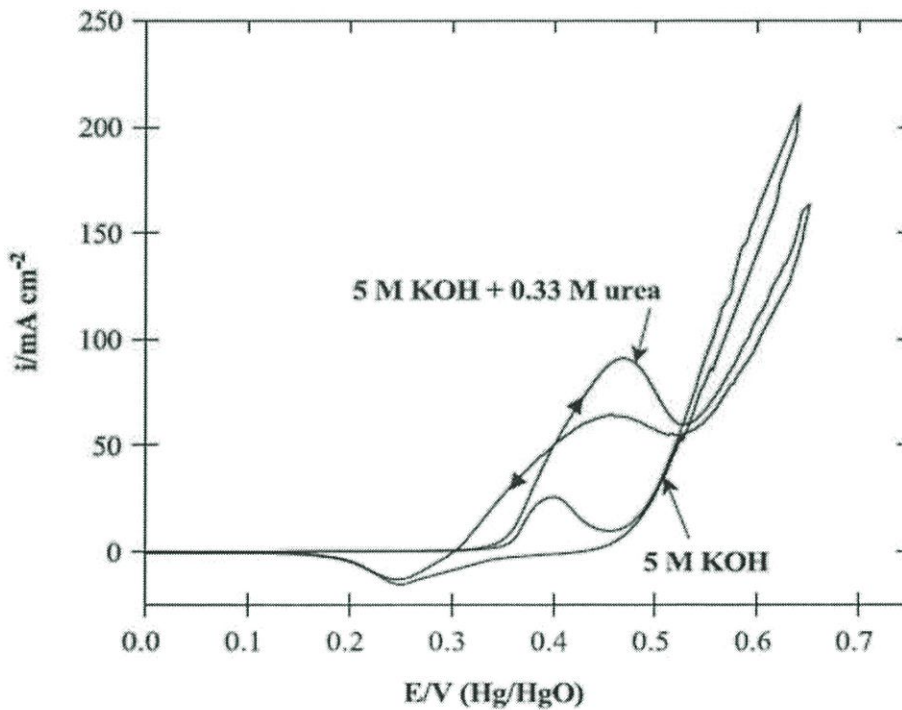
แคโทด:



ปฏิกิริยารวม:



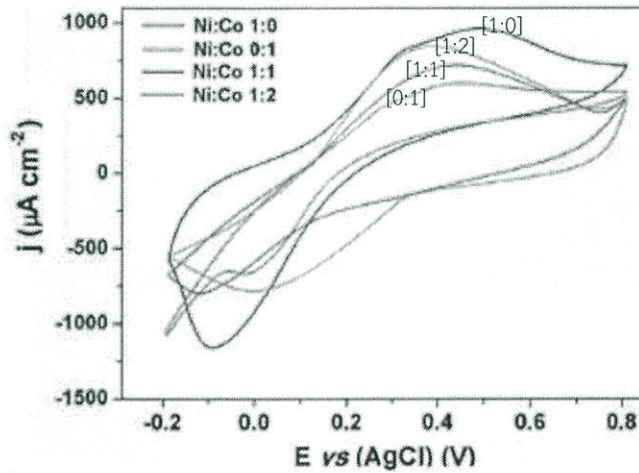
นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบกราฟของนิกเกิลออกไซด์โทดขณะมียูเรียกับไม่มียูเรีย เมื่อมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะพบว่า เมื่อมียูเรียกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นิกเกิลออกไซด์โทดจะสามารถตรวจจับสัญญาณออกซิเดชันได้กราฟที่สูงกว่ากราฟที่มีเพียงโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 2.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลออกไซด์โทดของตัวเร่งปฏิกิริยาในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 M โดยใช้อัตราการสแกน 10 mV/s

Elaheh และคณะ [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับนิกเกิลออกไซด์บนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรดเพื่อตรวจจับยูเรีย โดยในงานวิจัยพบว่า สิ่งที่เป็นตัวจำกัดของการตรวจจับยูเรียของนิกเกิลออกไซด์บนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนขั้วแอโนด นอกจากนี้หากมีการจ่ายไฟให้กับคาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรดด้วยมากเกินไป จะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจนขึ้นบนพื้นผิวของสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด

Nhi Sa Nguyen และคณะ [7] ศึกษาการเกิดโคบอลต์ออกไซด์กับแกรไฟีนนาโนพาร์ติเคิลสามมิติ ที่ไม่ใช้ เอนไซม์ในการช่วยตรวจจับยูเรีย และมีการใช้อัตราส่วนของนิกเกิลกับโคบอลต์ที่แตกต่างกันในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1 และ 1:2 ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของนิกเกิลกับโคบอลต์ที่ 1:2 สามารถตรวจจับยูเรียได้ดีที่สุด เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

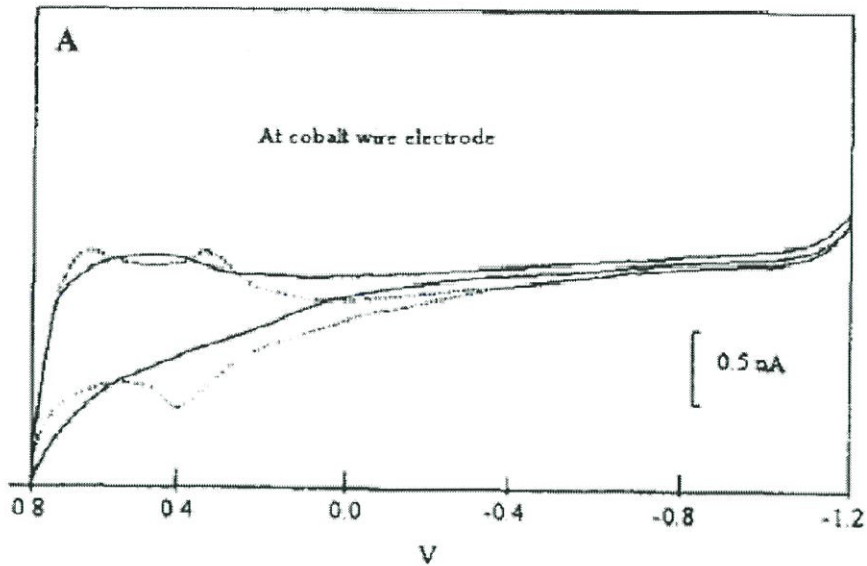


รูปที่ 2.3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์ออกไซด์แกรไฟีนอิเล็กโทรด ในความแตกต่างของ อัตราส่วนนิกเกิลกับโคบอลต์ที่ใช้ตรวจจับยูเรียความเข้มข้น 10 mM โดยใช้อัตราการสแกน 10 mV/s

### 2.1.3 การตรวจจับครีเอตินิน

Hidayat และคณะ [8] ศึกษาการตรวจจับเอมีนโดยใช้โคบอลต์อิเล็กโทรด โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ งานวิจัยนี้บอกถึงปฏิกิริยาทางเคมีของโคบอลต์กับเอมีน





รูปที่ 2.4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดในความแตกต่างของอัตราส่วนนิกเกิลกับโคบอลต์ ใช้ตรวจจับเอมีนความเข้มข้น 1 mM ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ความรู้เกี่ยวกับไตและผู้ป่วยโรคไต

ไต เป็นอวัยวะหนึ่งที่สำคัญของร่างกาย มีรูปร่างคล้ายเม็ดถั่ว มี 2 ข้าง อยู่แถวใต้ชายโครงด้านหลัง ทำหน้าที่หลักคือการกรองของเสียที่ร่างกายใช้ประโยชน์ไม่ได้ และขับออกมาในรูปของปัสสาวะ

#### หน้าที่ของไต

1. ขับของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ของร่างกายรวมทั้งสารพิษต่างๆ ที่ร่างกายได้รับ ออกมาเป็นปัสสาวะ
2. ขับน้ำส่วนเกินออกจากร่างกาย
3. ควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ที่สำคัญของร่างกายให้อยู่ในภาวะปกติเสมอ
4. ช่วยสร้างฮอร์โมนที่มีผลต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง
5. ช่วยสร้างวิตามินดี

#### ภาวะโรคไต

ไตเสื่อม คือภาวะที่การทำงานของไตเสียไปจนทำให้มีการสะสมของของเสียในร่างกาย ซึ่งจะตรวจได้จากเลือดคือค่า BUN (blood urea nitrogen) และครีเอตินิน ซึ่งจะบอกถึงโรคไตได้อย่างคร่าวๆ การดูว่าไตเสื่อมต้องนำค่าครีเอตินินมาคำนวณเป็นอัตราการกรองของไตซึ่งบ่งบอกค่าการทำงานของไตไต (Glomerular Filtration Rate; GFR) มีสูตรดังนี้

อัตราการกรองของไต = (140 - อายุ) x น้ำหนัก(กก.) 72 x ค่าครีเอตินิน

ค่าครีเอตินินโดยปกติ

ผู้ชาย 0.7 - 1.3 mg/dL

ผู้หญิง 0.6 - 1.1 mg/dL

ผู้หญิงจะมีค่าครีเอตินินน้อยกว่าผู้ชาย เนื่องจากกล้ามเนื้อน้อยกว่าผู้ชาย

### สาเหตุของโรคไต

เมื่ออายุมากขึ้นโรคความเสื่อมที่พบบากกว่า 50 % ของประชากรไทยคือโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง การทานยาปริมาณมาก ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ก็เป็นสาเหตุให้ไตเสื่อม บางรายทานยาชุดต่อเนื่อง ก็เป็นเหตุให้ไตวายเฉียบพลันได้ ซึ่งขึ้นกับสุขภาพของแต่ละบุคคล

โรคเบาหวาน เกิดจากตับอ่อนเสื่อมผลิตอินซูลินได้ลดลงส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ทางแพทย์จึงสรุปว่าคนนั้นเป็นโรคเบาหวานต้องทานยาและพบแพทย์เป็นประจำเพื่อควบคุมโรค

โรคความดันโลหิตสูง เป็นโรคเรื้อรังชนิดหนึ่งเกิดจากความดันในหลอดเลือดแดงสูงกว่าปกติตลอดเวลา โรคนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระยะเริ่มแรก แต่ในระยะยาวจะเป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดหัวใจตีบและไตเสื่อม

### ระยะของโรคไต

ระยะของโรค	รายละเอียดของระยะต่างๆ	ค่าการทำงานของไต (GFR)
ระยะที่ 1	ไตเริ่มเสื่อม (มีโปรตีนในปัสสาวะ) ค่า GFR ปกติ	90 หรือมากกว่า
ระยะที่ 2	ไตเสื่อม ค่า GFR ลดลงเล็กน้อย	60-89
ระยะที่ 3	ค่า GFR ลดลงปานกลาง	30-59
ระยะที่ 4	ค่า GFR ลดลงมาก	15-29
ระยะที่ 5	ไตวาย	น้อยกว่า 15

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะต่างๆ ของโรคไต

### อาการของผู้ป่วยโรคไตวาย

- ภาวะซีด
- ตัวบวม หอบเหนื่อยง่าย
- ความดันโลหิตสูง
- อาการคันตามตัว
- เบื่ออาหาร น้ำหนักลด อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน

## 2.2.2 เครื่องไตเทียม

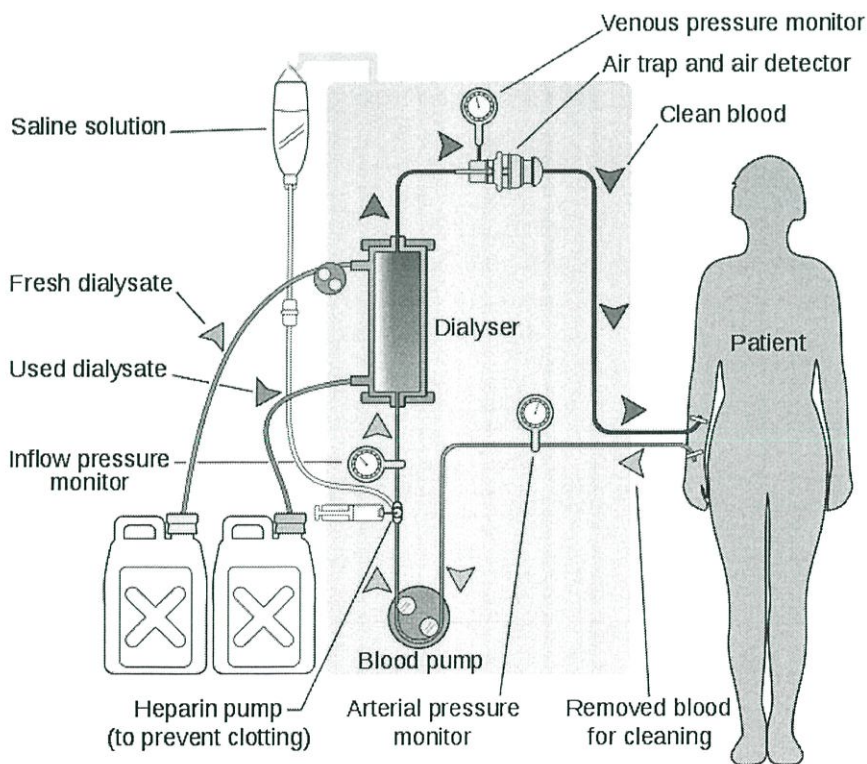
### หลักการของเครื่องไตเทียม

เครื่องไตเทียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ อาศัยการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดกับไดอะไลเซส โดยอาศัยการแพร่กระจาย การกรอง หรือโดยออสโมซิส ทำให้ของเสียในร่างกายจะถูกส่งจากเลือดผ่านไดอะไลเซอร์เข้าไปยังไดอะไลเซส จึงทำให้ของเสียในร่างกายที่คั่งอยู่ ซึ่งไม่สามารถขับออกได้โดยธรรมชาติ ก็จะสามารถขับออกได้ โดยเครื่องไตเทียม โดยเครื่องไตเทียมที่ใช้กันนั้นจะใช้หลักการของการไดอะไลซิสของเลือด ดังนั้น จึงเรียกว่า เครื่องฮีมодиอะไลซิส

### ส่วนประกอบของเครื่องไตเทียม

เครื่องไตเทียมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1. หน่วยนำไดอะไลเซส (dialysate delivery unit)
2. หน่วยนำเลือดออกนอกร่างกาย (extracorporeal blood delivery unit)
3. หน่วยโมนิเตอร์ (monitoring unit)
4. ไดอะไลเซอร์ (dialyzer)



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไตเทียม

### 2.2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี

#### ประเภทของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันภายในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน และแบตเตอรี่
2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี เกิดจากการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปภายในเซลล์ แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เช่น เซลล์แยกน้ำด้วยไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

กล่าวได้ว่าการใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือการใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้นเกิดขึ้นได้ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) นั้นเอง

#### ส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

1. ขั้วไฟฟ้า เป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน มี 2 ชนิด
  - 1.1 ขั้วว่องไว (Active electrode) ได้แก่ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn Cu Pb ขั้วพวกนี้บางโอกาสจะมีส่วนร่วมใน ปฏิกิริยาด้วย
  - 1.2 ขั้วเฉื่อย (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใดๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น PtC (แกรไฟต์)

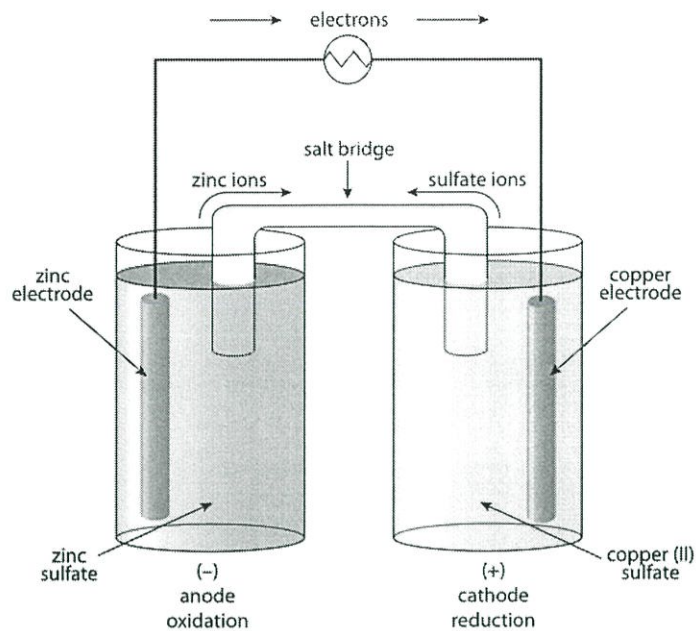
ในเซลล์ไฟฟ้าปกติ จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ดังนี้

1. ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
2. ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

#### 2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

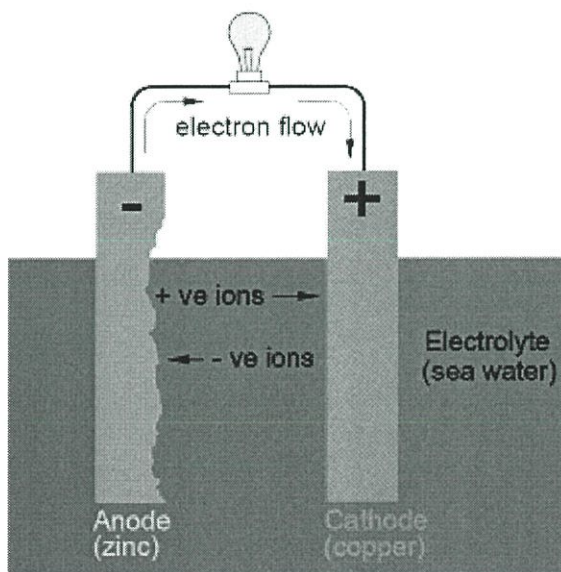
อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นวัสดุนำไฟฟ้าได้โดยการเคลื่อนที่ของไอออนที่เป็นองค์ประกอบ นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนเคลื่อนที่ไปมาอยู่ในสารละลายซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มี 2 ชนิดคือ

1. สารประกอบไอออนิกหลอมเหลว เช่น สารละลาย NaCl
2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายกรด เบส เกลือ



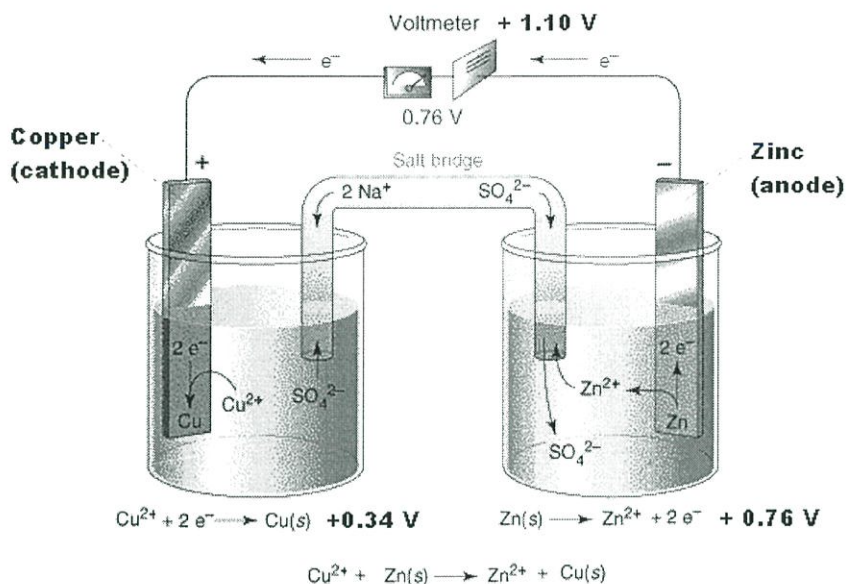
รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบเซลล์ไฟฟ้าเคมี

การสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีบริเวณที่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ง่ายที่สุด จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว และอิเล็กโทรไลต์ 1 ชนิด ดังรูป



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย

ส่วนเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกันจะเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ ดังรูป



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกันและเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ

### เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์อิเล็กโทรไลต์

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมี หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น นั่นเอง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็จะเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเซลล์ประเภทนี้จะมีค่า  $E_{0\text{cell}}$  ติดลบ

### ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

1. ขั้วไฟฟ้า(Electrode)เป็นโลหะหรือแกรไฟต์ที่นำไฟฟ้าได้ดี โดยทั่วไปมักจะใช้ขั้วเฉื่อย เช่น ขั้ว Pt สามารถจำแนกขั้วไฟฟ้าได้ดังนี้

จำแนกตามการเกิดปฏิกิริยา

- 1.1 ขั้วแอโนด (Anode)เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- 1.2 ขั้วแคโทด (Cathode)เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

จำแนกขั้วตามการต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

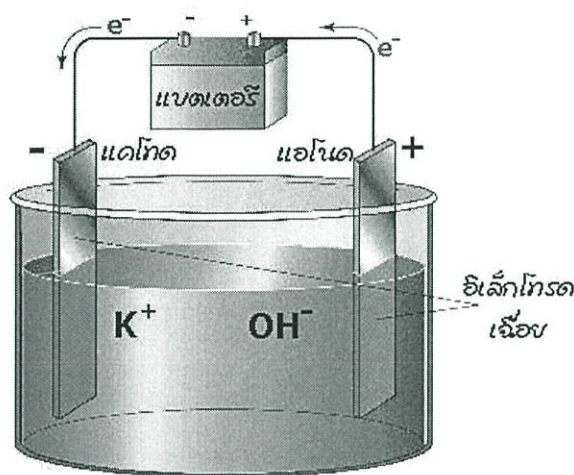
- 1.1 ขั้วบวกเป็นขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้า
- 1.2 ขั้วลบเป็นขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

2. สารอิเล็กโทรไลต์คือ สารที่มีสถานะของเหลวประกอบด้วยไอออนที่เคลื่อนที่ และนำไฟฟ้าได้

2.1 สารประกอบไอออนิกหลอมเหลวเช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว

2.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์เช่น สารละลายกรด เบส เกลือ

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยภาชนะที่บรรจุสารเคมีที่จะเกิดปฏิกิริยา และมีขั้วไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง โดยทั่วไปมักเป็นขั้วเฉื่อยที่ไม่มีส่วนร่วมกับการปฏิกิริยา ดังรูป



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเซลล์อิเล็กโทรไลต์ที่ต่ออยู่กับแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปเซลล์อิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยภาชนะที่บรรจุสารเคมีที่จะเกิดปฏิกิริยา และมีขั้วไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นขั้วเฉื่อยที่ไม่มีส่วนร่วมกับการปฏิกิริยา และมีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขณะที่ผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป ไอออนบวก (Cation) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ (แคโทด) และไอออนลบ (Anion) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก (แอโนด) เพื่อให้ไอเล็กตรอนถูกออกซิไดส์

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

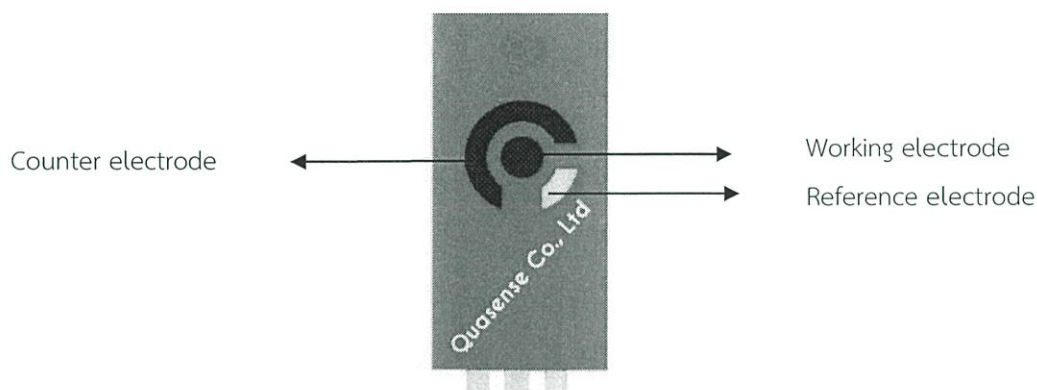
#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Nickel chloride (Nickel (II) chloride)
2. Cobalt chloride (Cobalt (II) chloride)
3. sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
4. sodium hydroxide (NaOH)
5. hydrazine hydrate ( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  50-60 %)
6. polyvinyl alcohol ( $(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2 \cdot \text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ )
7. Cobalt(II) chloride ( $\text{CoCl}_2$ )
8. Ethylene glycol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ )
9. Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ )
10. น้ำกลั่น
11. Sodium chloride (NaCl)
12. Potassium chloride (KCl)
13. Potassium phosphate monobasic ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
14. Sodium phosphate dibasic ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
15. Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )
16. Creatinine ( $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$ )
17. ไดอะไลเซตสูตร A2
18. ไดอะไลเซตสูตร B2

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำคัญในการทดลอง

### 3.2.1 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง

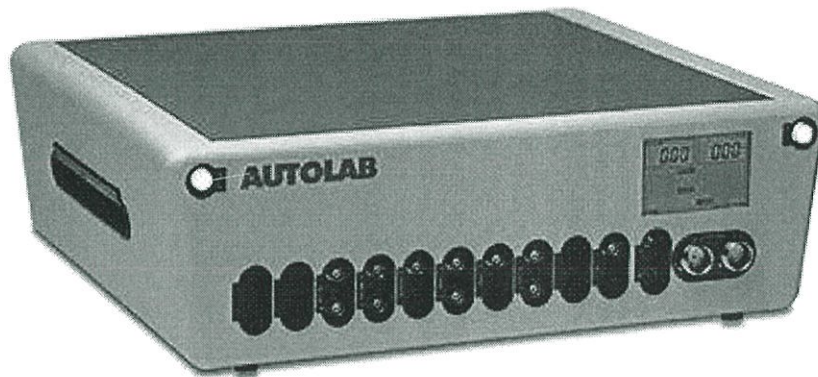
ในการทดลองของโปรเจกต์นี้เราใช้คาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด (Carbon Screen-Printed Electrode) ชนิดสามขั้วของบริษัทควอเซนต์เป็นอิเล็กโทรดต้นแบบที่จะนำมาปรับปรุง ตัวอิเล็กโทรดประกอบด้วย อิเล็กโทรดขั้วทำงาน (Working electrode) คือคาร์บอน (Carbon), อิเล็กโทรดขั้วอ้างอิง (Reference electrode) คือ ซิลเวอร์ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และสัตุถ่ายอิเล็กโทรดขั้วช่วยเหลือ (Counter electrode) คือ คาร์บอน (Carbon)



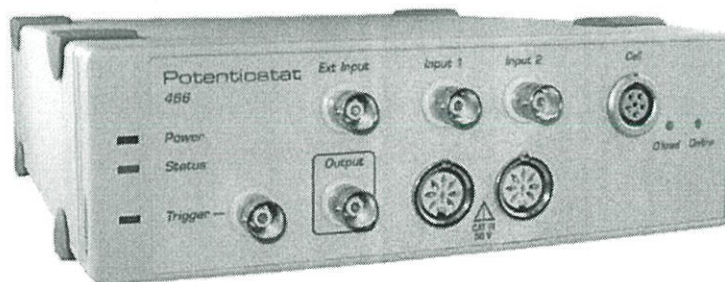
รูปที่ 3.1 คาร์บอนสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด (Carbon Screen-Printed Electrode) ชนิดสามขั้วของบริษัทควอเซนต์

### 3.2.2 เครื่องมือที่ใช้วัด

ในการทดลองจะใช้อิเล็กทรอนิกส์ควบคู่ไปกับเครื่องวัดทางเคมีไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าโพเทนชิออสแตท (potentiostat) ซึ่งในที่นี้เราทดลองใช้อิเล็กทรอนิกส์ตรวจจ่ายเรียและคลีเอตนินด้วยเครื่องโพเทนชิออสแตทมาตรฐาน 2 เครื่อง คือ Autolab potentiostat และ ER466 Integrated Potentiostat System (eDAQ) และเครื่องที่สร้างขึ้นภายใต้โปรเจคสหกิจหนึ่งของบริษัทควอเซนต์



รูปที่ 3.2 เครื่อง Autolab potentiostat

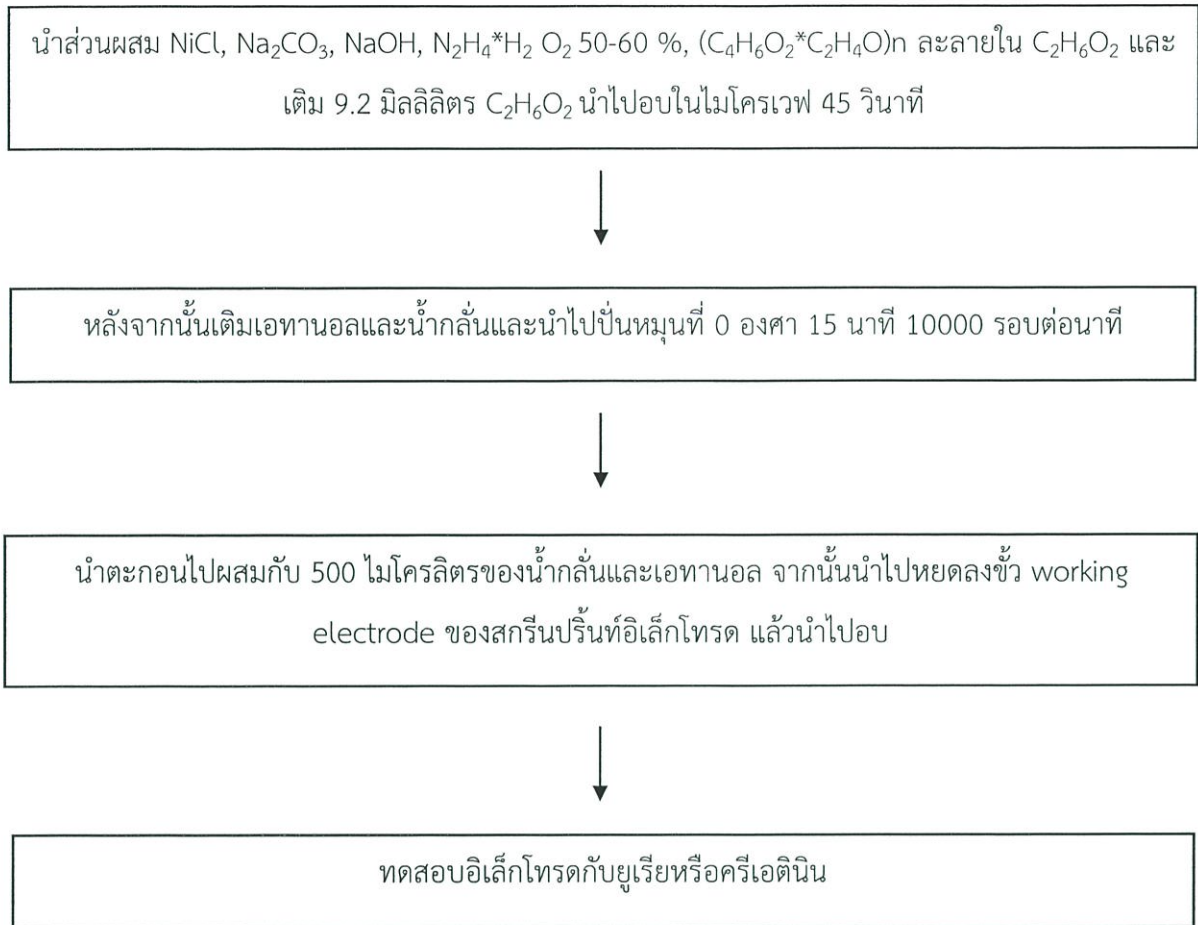


รูปที่ 3.3 เครื่อง ER466 Integrated Potentiostat System (eDAQ)

### 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิล

#### 3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลนาโนพาร์ติเคิล

ทำการสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิลโดยการนำส่วนผสม 5 มิลลิลิตร 0.02 M ของนิกเกิลคลอไรด์ , 1 มิลลิลิตร 0.1 M ของโซเดียมคาร์บอเนต , 0.2 มิลลิลิตร 0.1 M ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ , 0.6 มิลลิลิตร 0.87 M ของไฮดราซีนไฮเดรต และ 4 มิลลิลิตร 1 M ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยสารทั้งหมดละลายในเอทิลีนไกลคอล เข้าด้วยกันในขวดรูปชมพู่แล้วเติม 9.2 มิลลิลิตร ของเอทิลีนไกลคอลอีกครั้ง นำเข้าอบในตู้ไมโครเวฟ 45 วินาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็น แล้วเทส่วนผสมที่ได้ไปผสมกับ 60 มิลลิลิตร ของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 0 องศาเซลเซียส 15 นาที อัตราเร็ว 10000 รอบต่อนาที จะเกิดตะกอนสีดำขึ้น นำตะกอนที่ได้ผสมกับ 500 ไมโครลิตร ของน้ำกลั่นและเอทานอล เมื่อได้ส่วนผสมทั้งหมดแล้ว นำ 2 ไมโครลิตร ไปหยดลงบนสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ นำสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ไปอบในเตาอบอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง อันเป็นการเสร็จสิ้นการสังเคราะห์นิกเกิลนาโนพาร์ติเคิล



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลนาโนพาร์ติเคิล

### 3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์โคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

ทำการสังเคราะห์นาโนพาร์ติเคิลโดยการนำส่วนผสม 5 มิลลิลิตร 0.02 M ของโคบอลต์คลอไรด์, 1 มิลลิลิตร 0.1 M ของโซเดียมคาร์บอเนต, 0.2 มิลลิลิตร 0.1 M ของโซเดียมไฮดรอกไซด์, 0.6 มิลลิลิตร 0.87 M ของไฮดราซีนไฮเดรต และ 4 มิลลิลิตร 1 M ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยสารทั้งหมดละลายในเอทิลีนไกลคอล เข้าด้วยกันในขวดรูปชมพู่แล้วเติม 9.2 มิลลิลิตร ของเอทิลีนไกลคอลอีกครั้ง นำเข้าอบในตู้ไมโครเวฟ 30 วินาที ทำเช่นนี้อีกประมาณ 19 รอบ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็น แล้วเทส่วนผสมที่ได้ไปผสมกับ 60 มิลลิลิตรของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปปั่นหมุนที่ 25 องศาเซลเซียส 15 นาที อัตราเร็ว 9000 รอบต่อนาที ทำเช่นนี้อีกประมาณ 3 รอบ และนำตะกอนที่ได้ไปผสมกับ 60 มิลลิลิตรเอทานอล ปั่นหมุนเช่นเดิมที่ 25 องศาเซลเซียส 15 นาที อัตราเร็ว 9000 รอบต่อนาที แล้วนำตะกอนที่ได้ไปผสมกับ 60 มิลลิลิตรของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปปั่นหมุนที่ 0 องศาเซลเซียส 15 นาที อัตราเร็ว 9000 รอบต่อนาทีอีกครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลดำขึ้น นำตะกอนที่ได้ไปผสมกับ 500 ไมโครลิตรของน้ำกลั่นและเอทานอล เมื่อได้ส่วนผสมทั้งหมดแล้ว นำส่วนผสมที่ได้ 2 ไมโครลิตร ไปหยดลงบนสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ นำสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ไปอบในเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง อันเป็นการเสร็จสิ้นการสังเคราะห์โคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

นำส่วนผสม  $\text{CoCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  50-60 %,  $(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2 \cdot \text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$  ละลายใน  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  และเติม 9.2 มิลลิลิตร  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  นำไปอบในไมโครเวฟ 30 วินาที จำนวน 20 ครั้ง



เติมน้ำกลั่นและนำไปปั่นหมุนที่ 25 องศา 15 นาที 9000 รอบต่อนาที จำนวน 4 รอบ และเติมเอทานอล นำไปปั่นหมุนที่ค่าเดิม แล้วเติมน้ำกลั่น นำไปปั่นหมุนที่ 0 องศา 15 นาที 9000 รอบต่อนาที



นำตะกอนไปผสมกับ 500 ไมโครลิตรของน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นนำไปหยดลงขั้ว working electrode ของสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรด แล้วนำไปอบ

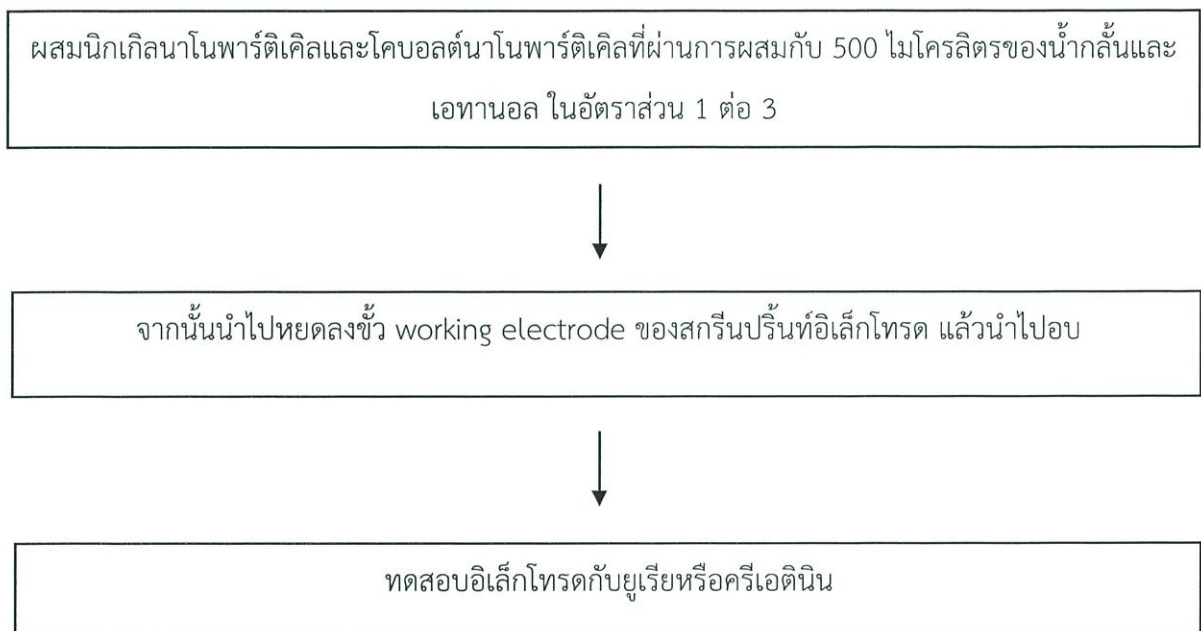


ทดสอบอิเล็กโทรดกับยูเรียหรือครีเอตินิน

รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์โคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

### 3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

เตรียมส่วนประกอบของนิกเกิลนาโนพาร์ติเคิลและโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลที่ผ่านการผสมกับ 500 ไมโครลิตรของน้ำกลั่นและเอทานอลแล้ว มาผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 นำส่วนผสมที่ได้ 2 ไมโครลิตร ไปหยดลงบนสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ นำสกรีนปริ้นท์อิเล็กทรอนิกส์ไปอบในเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง อันเป็นการเสร็จสิ้นการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

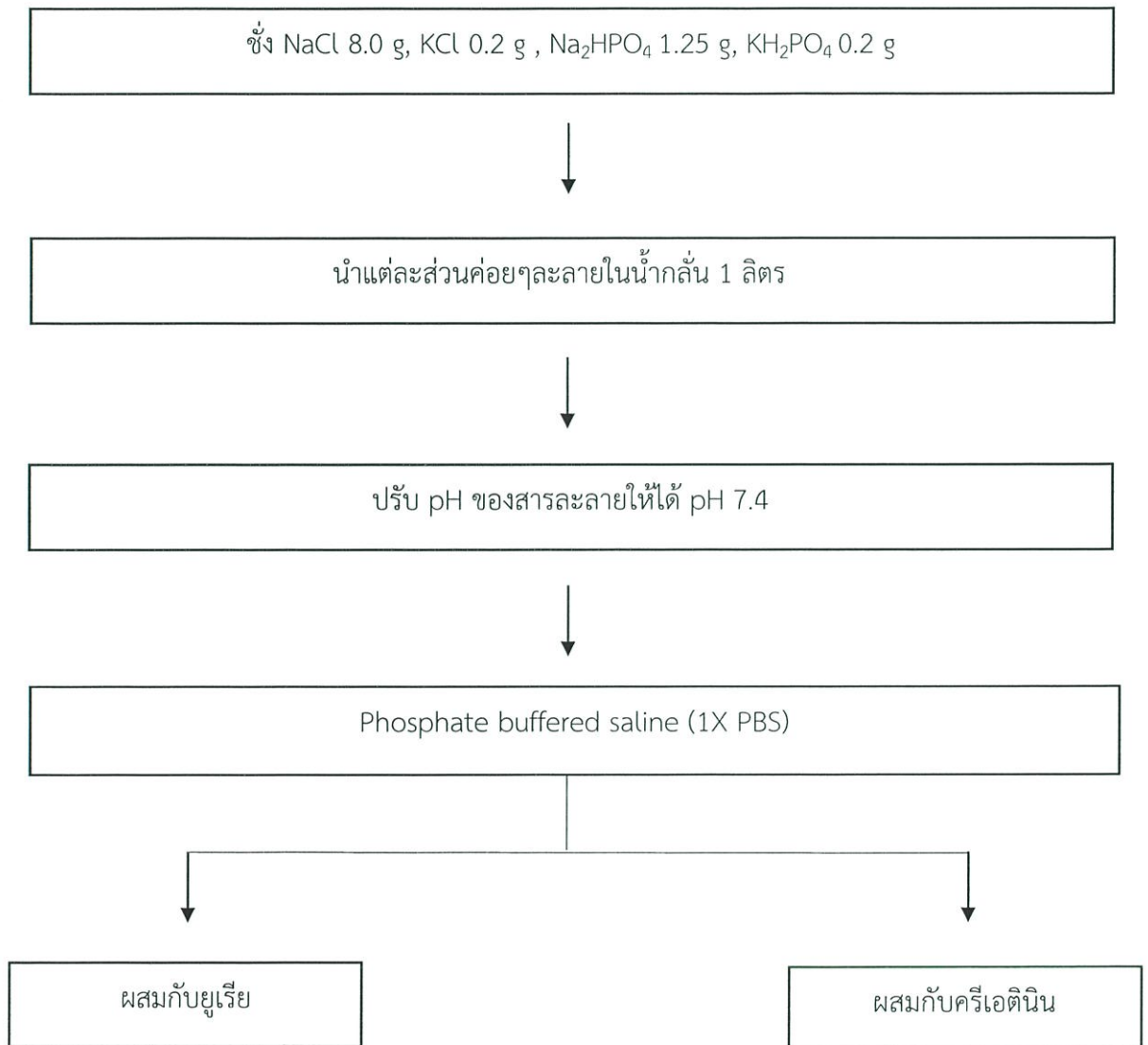


รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการสังเคราะห์นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิล

### 3.4 ขั้นตอนการผสมสารทดสอบ

#### 3.4.1 ขั้นตอนการผสม Phosphate buffered saline (1X PBS) กับยูเรียและครีเอตินีน

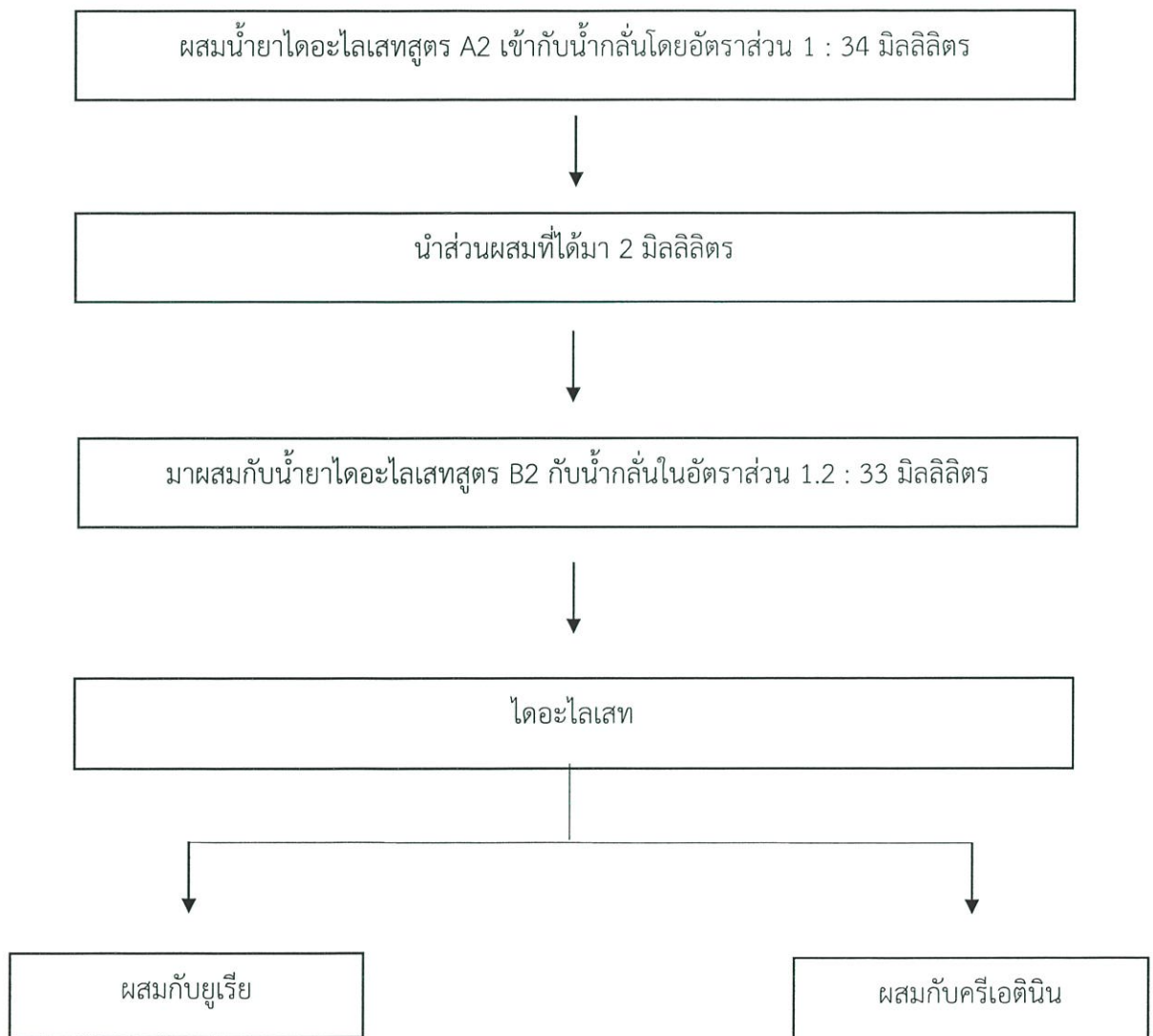
โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 8.0 กรัม, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 กรัม, โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิก 1.25 กรัม, โพแทสเซียมฟอสเฟตโมโนเบสิก 0.2 กรัม นำแต่ละส่วนค่อยๆละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 7.4 และผสมเข้ากับยูเรียหรือครีเอตินีน



รูปที่ 3.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผสม Phosphate buffered saline (1X PBS) กับยูเรียและครีเอตินีน

### 3.4.2 ขั้นตอนการผสมไดอะไลเซทกับยูเรียและครีเอตินิน

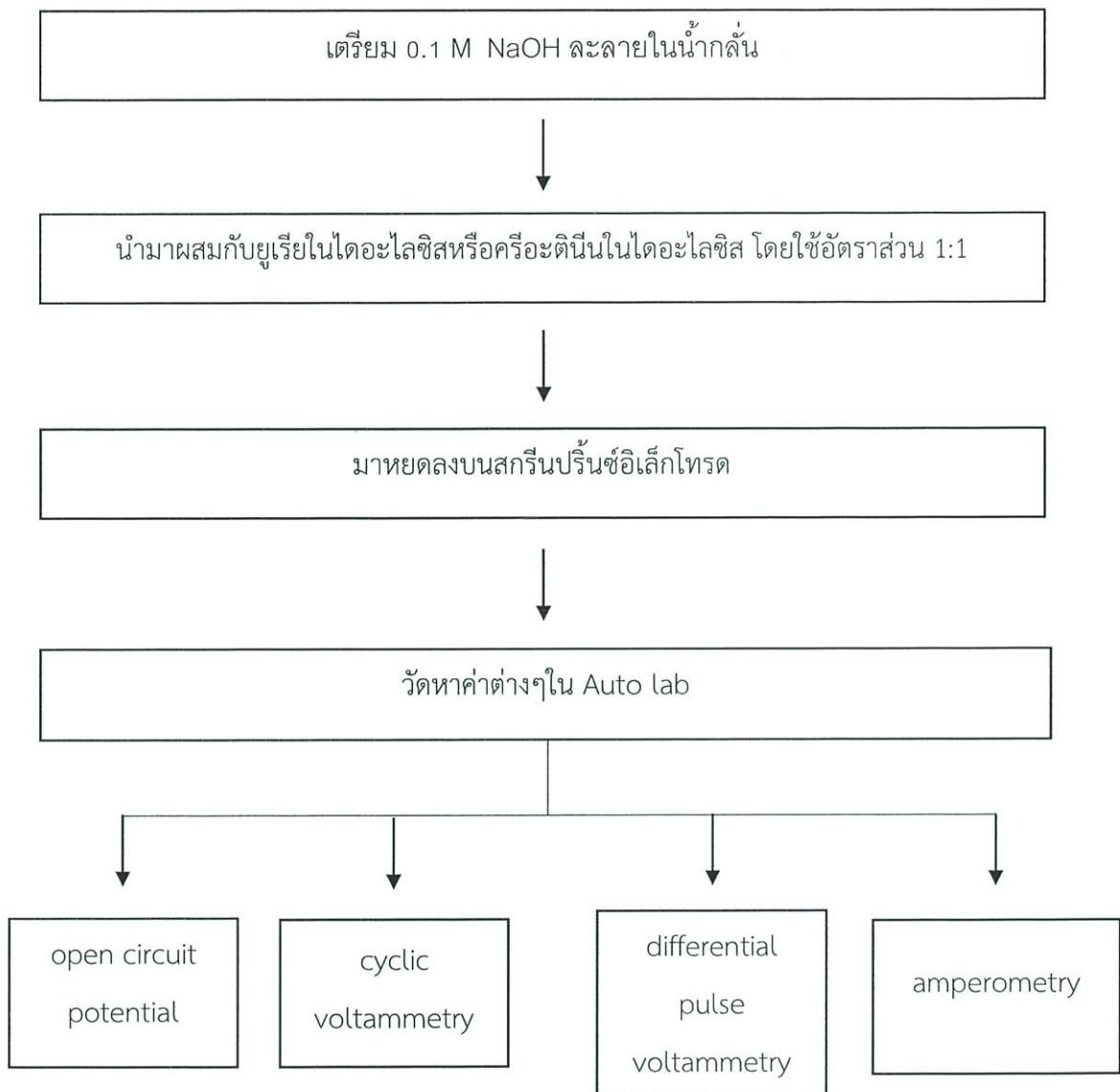
น้ำยาไดอะไลเซทมีสองสูตรคือ สูตร A2 และ B2 ซึ่งเครื่องฟอกไตเทียมจะทำการคำนวณและผสม 2 สูตรนี้เข้าด้วยกัน แต่ทั้งนี้เราก็สามารถผสมด้วยตัวเองได้โดย เริ่มจากการผสมน้ำยาไดอะไลเซทสูตร A2 เข้ากับน้ำกลั่นโดยอัตราส่วน 1 : 34 มิลลิลิตร นำส่วนผสมที่ได้มา 2 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำยาไดอะไลเซทสูตร B2 กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1.2 : 33 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการผสมไดอะไลเซทกับยูเรียและครีเอตินิน

### 3.5 การตรวจจับสนุรีเยยและครีเอตินิก

เมื่อเรเตรียมสารยุรีเยยในโดอะไลเสทและครีเอตินิกในโดอะไลเสทเสร็จแล้วนั้น ให้เรเตรียม 0.2 M ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายในน้ำกลั่นเพื่อที่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างนิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลกับยุรีเยยในโดอะไลเสทหรือ ครีเอตินิกในโดอะไลเสท โดยใช้อัตราส่วน 1:1 ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับยุรีเยยในโดอะไลเสทหรือครีเอตินิกในโดอะไลเสท แล้วหยดสารในอัตราส่วนนี้ 120 ไมโครมิลลิลิตร ลงบนสกรีนพริ้นท์อเล็กโทรด พร้อมวัดด้วยเครื่องโพเทนชิออสแตท (potentiostat) ผ่านเทคนิคค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น (open circuit potential), ไซคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry), ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (differential pulse voltammetry) และแอมเพอโรเมตรี (amperometry)



รูปที่ 3.9 แผนผังแสดงการตรวจจับยูเรียและครีเอตินินโดยใช้นิกเกิลโคบอลต์นาโนพาร์ติเคิลบนสกรีนปรีนซ์อีเล็กโทรด

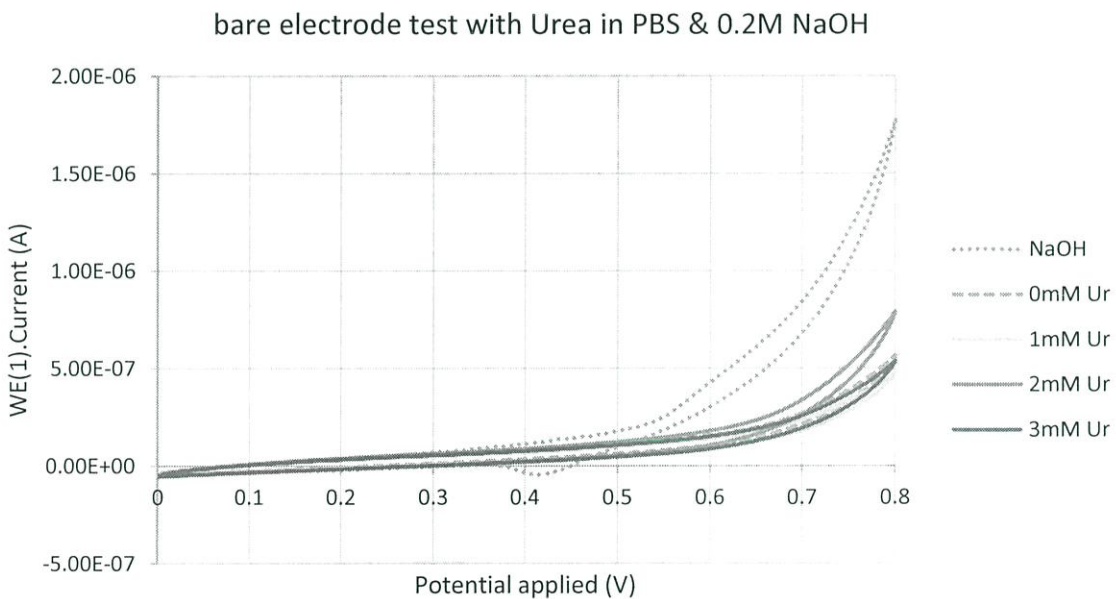
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในบทที่ 4 นี้จะนำเสนอเฉพาะกราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมและดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของผลการทดลองด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีและดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรีตามลำดับ เปรียบเทียบการวัดยูเรียและคลีเอตินินที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันไป อันประกอบด้วยอิเล็กโทรดต้นแบบ นิกเกิลอิเล็กโทรด โคบอลต์อิเล็กโทรด และนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด โดยในส่วนอิเล็กโทรดต้นแบบ นิกเกิลอิเล็กโทรด โคบอลต์อิเล็กโทรดจะนำเสนอเพียงกราฟที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab และส่วนนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดจะนำเสนอกราฟที่ได้จากเครื่องทั้งสาม คือ เครื่องวัดมาตรฐาน Autolab และ เครื่องวัดมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้นมา

#### 4.1 กราฟการตรวจวัดยูเรีย

##### 4.1.1 อิเล็กโทรดต้นแบบหรือคาร์บอนสกรีนพรีนทีอิเล็กโทรด

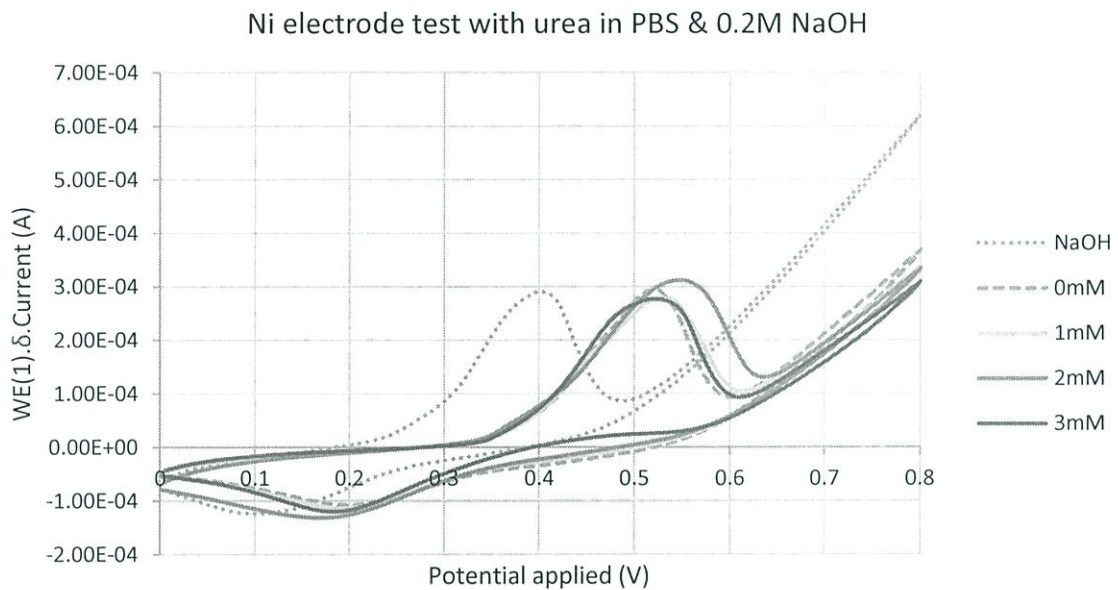


รูปที่ 4.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอิเล็กโทรดต้นแบบหรือคาร์บอนสกรีนพรีนทีอิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรีย ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.1 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าความเข้มข้นของยูเรียจะเป็นเช่นไร กราฟที่ได้ยังคงคล้ายคลึงกัน คือ ไม่เกิดพีคที่ชัดเจนและออกซิเดชันและให้ค่ากระแสที่ต่ำ และกราฟของยูเรียในสารละลาย PBS

ความเข้มข้นต่างๆ จะแตกต่างจากกราฟที่ตรวจจับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะเกิดพีคอร์ดักชั้นในช่วงประมาณ 0.4 โวลต์ และพีคอร์ดักชั้นที่ช่วงประมาณ 0.6 โวลต์

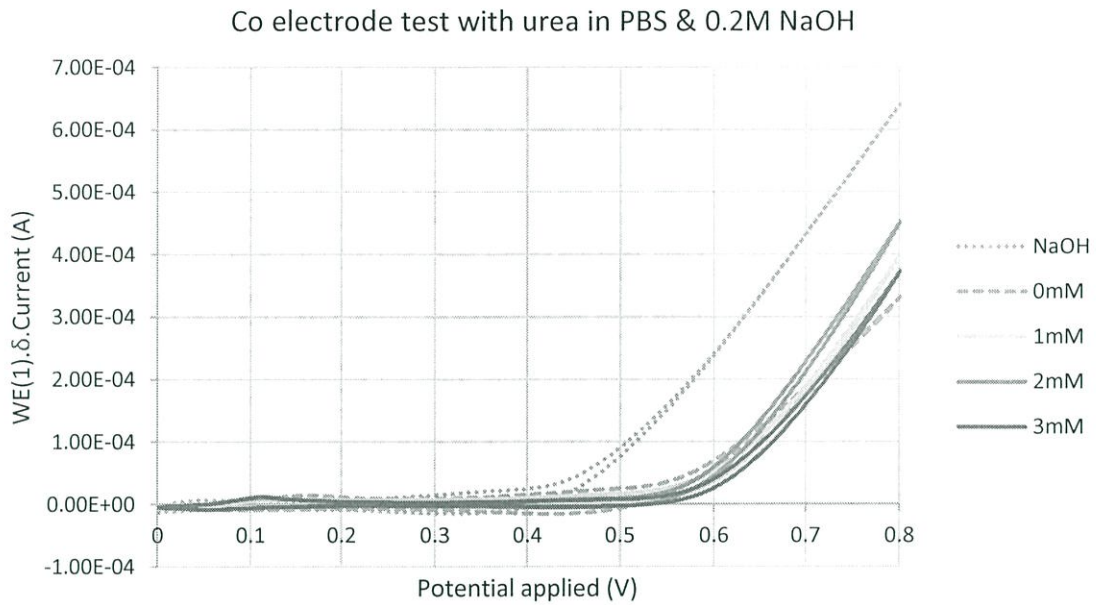
#### 4.1.2 นิกเกิลอิเล็กโทรด



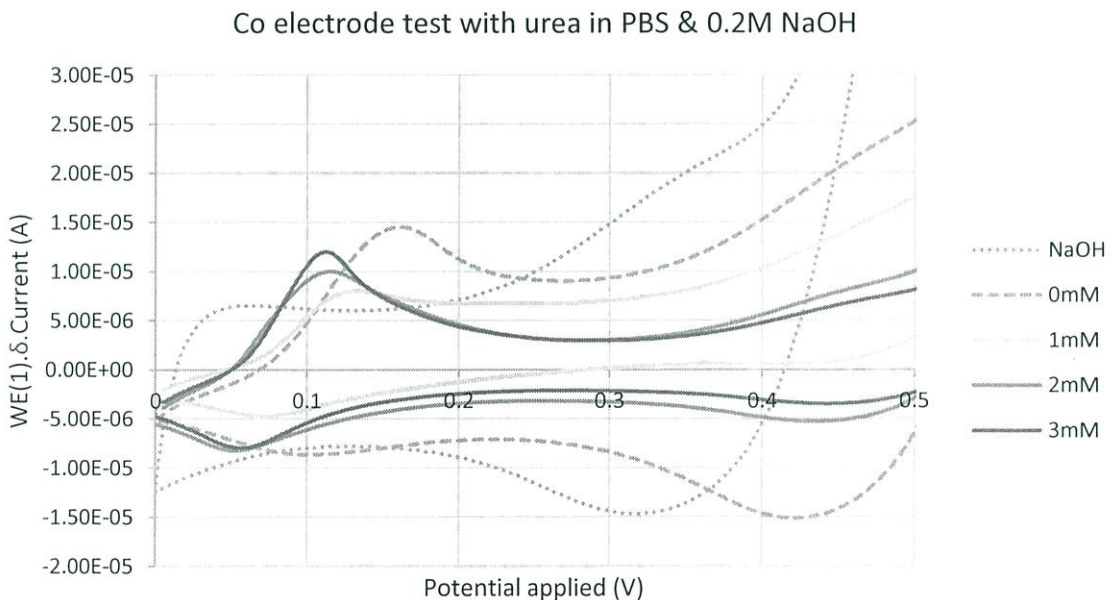
รูปที่ 4.2 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลอิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.2 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของยูเรียต่างๆ ในสารละลาย PBS เกิดพีคอร์ดักชั้นและออกซิเดชันที่ประมาณ 0.2 โวลต์ และ 0.5 โวลต์ ตามลำดับและตรวจวัดพีคอร์ดักชั้นได้กระแสที่สูงหลักประมาณ  $3 \times 10^{-4}$  และกราฟแต่ละความเข้มข้นของยูเรียมีความเหลื่อมล้ำไม่เท่ากัน และกราฟความเข้มข้นของยูเรียต่างๆ ที่ได้ ช่วงพีคอร์ดักชั้นจะแตกต่างจากพีคอร์ดักชั้นที่ได้จากการตรวจวัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะเกิดพีคอร์ดักชั้นที่ช่วงประมาณ 0.15 โวลต์ และพีคอร์ดักชั้นที่ช่วงประมาณ 0.4 โวลต์

### 4.1.3 โคบอลต์อิเล็กโทรด



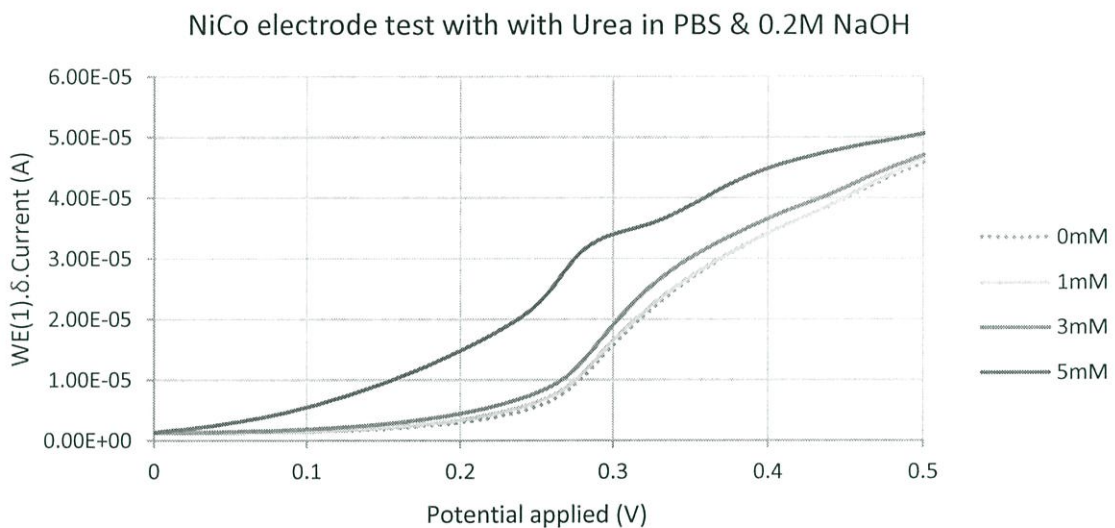
รูปที่ 4.3.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab



รูปที่ 4.3.2 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

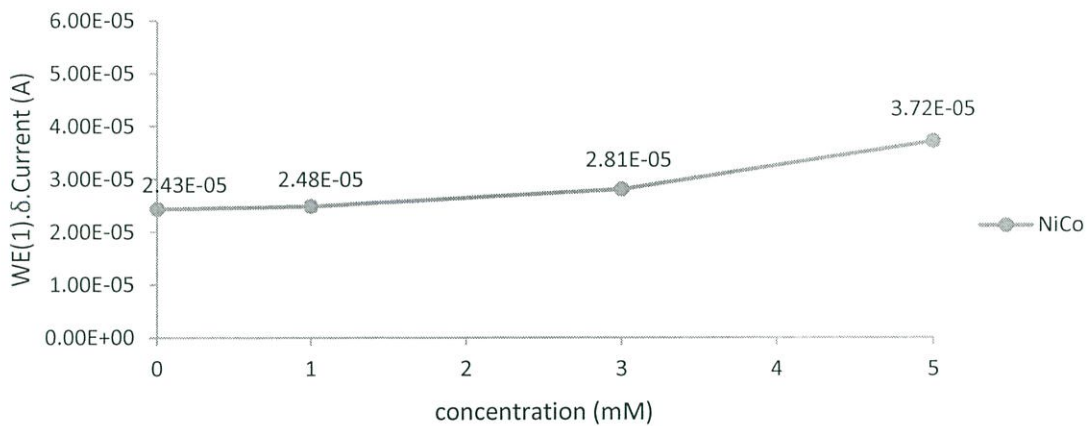
จากรูปที่ 4.3.1-4.3.2 ขั้วต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของยูเรียต่างๆ ในสารละลาย PBS เกิดพีคที่ต่างกันและออกซิเดชันที่ประมาณ 0.05 โวลต์ และ 0.1 โวลต์ ตามลำดับและตรวจวัดพีคออกซิเดชันได้ กระแสที่ค่อนข้างต่ำประมาณ  $1 \times 10^{-5}$  กราฟแต่ละความเข้มข้นของยูเรียมีความเหลื่อมล้ำไล่ระดับกัน และ กราฟความเข้มข้นของยูเรียต่าง ๆ ที่ได้ ช่วงพีคจะแตกต่างจากพีคที่ได้จากการตรวจวัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่จะเกิดพีคออกซิเดชันในช่วงประมาณ 0.15 โวลต์

#### 4.1.4 นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด



รูปที่ 4.4.1 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการแสกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

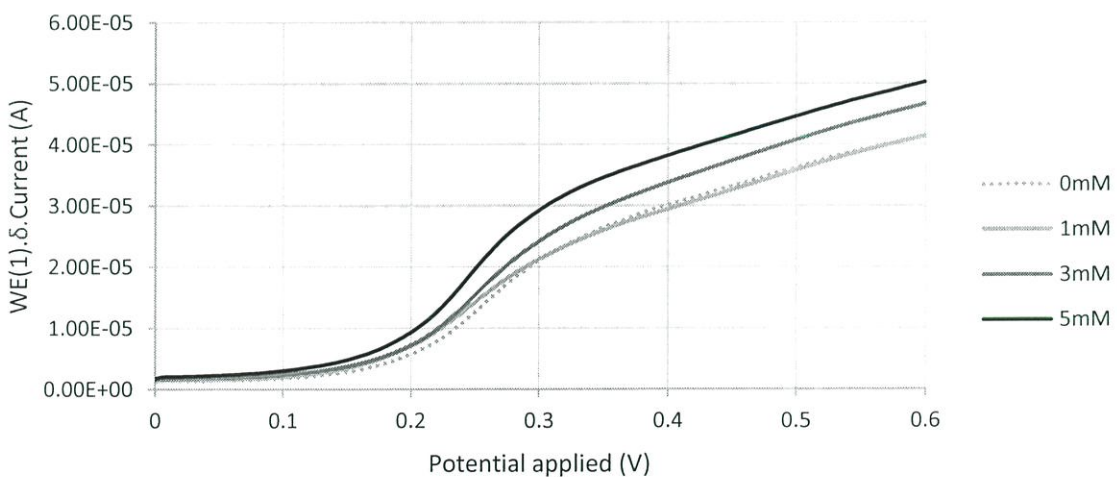
Calibration curve  
of NiCo electrode test Urea in PBS & 0.2M NaOH



รูปที่ 4.4.2 ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในสารละลาย PBS ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

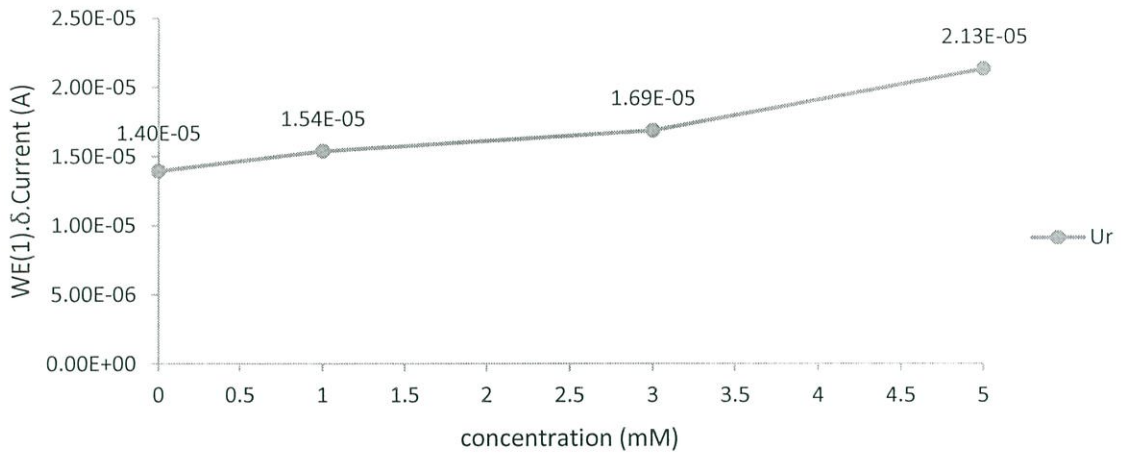
จากรูปที่ 4.4.1-4.4.2 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของยูเรียกับกระแส คือ เมื่อมีความเข้มข้นของยูเรียที่เพิ่มขึ้น กระแสที่ตรวจวัดได้จะเพิ่มขึ้นตาม ที่ยูเรียความเข้มข้น 5 mM จะให้กระแสเพิ่มขึ้นมาก มากกว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของยูเรียความเข้มข้นที่ต่ำกว่า

NiCo electrode test with Urea in dialysate & 0.2M NaOH



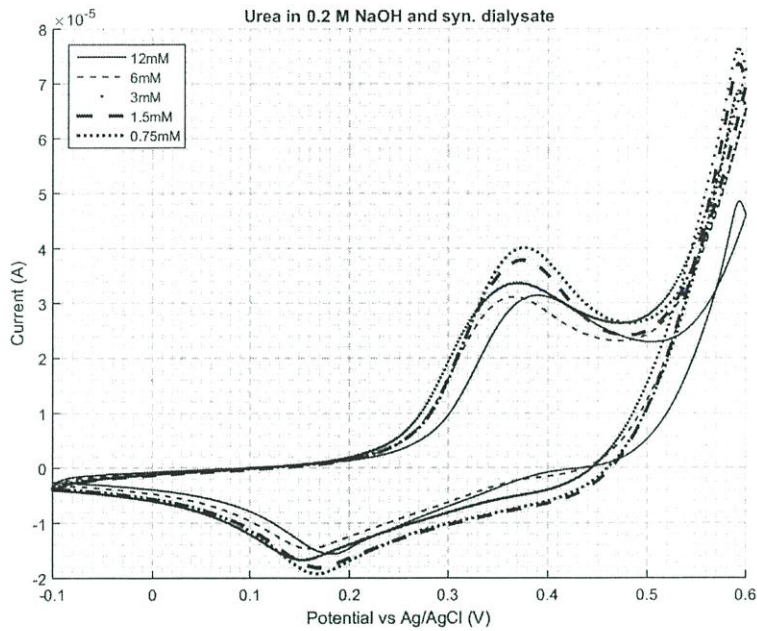
รูปที่ 4.5.1 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

NiCo electrode test with Urea in dialysate & 0.2M NaOH



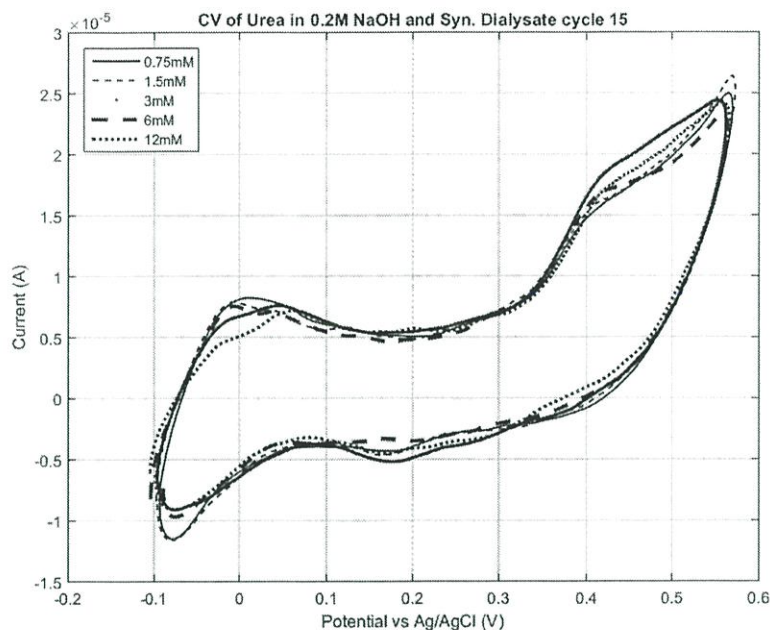
รูปที่ 4.5.2 ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด ตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0, 1, 3 และ 5 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.5.1-4.5.2 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นยูเรียกับกระแสที่เกิดขึ้น คือ เมื่อมีความเข้มข้นของยูเรียที่เพิ่มขึ้น กระแสที่ตรวจวัดได้จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกระแสที่ตรวจวัดได้จะเพิ่มขึ้นในแนวโน้มที่คงที่



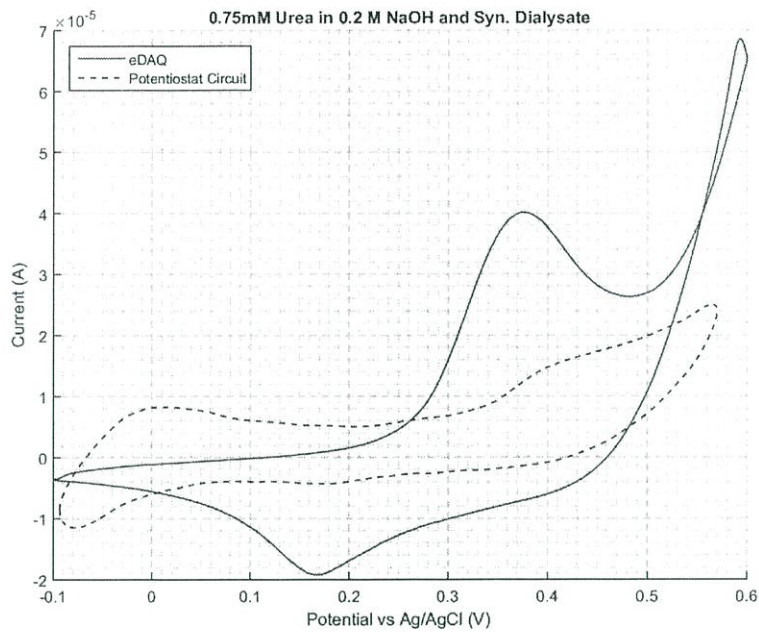
รูปที่ 4.5.3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน eDAQ

จากรูปที่ 4.5.3 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของยูเรียต่างๆ ในน้ำยาไดอะไลซิสเกิดพีครีดักชันและออกซิเดชันที่ประมาณ 0.15 โวลต์ และ 0.35 โวลต์ ตามลำดับและตรวจวัดพีคออกซิเดชันได้ กระแสที่สูงหลักประมาณ  $4 \times 10^{-5}$  และกราฟแต่ละความเข้มข้นของยูเรียมีความเหลื่อมล้ำไม่เท่ากัน ที่ความเข้มข้นของยูเรียมากจะให้กระแสที่ต่ำกว่าที่ความเข้มข้นของยูเรียที่น้อยกว่า

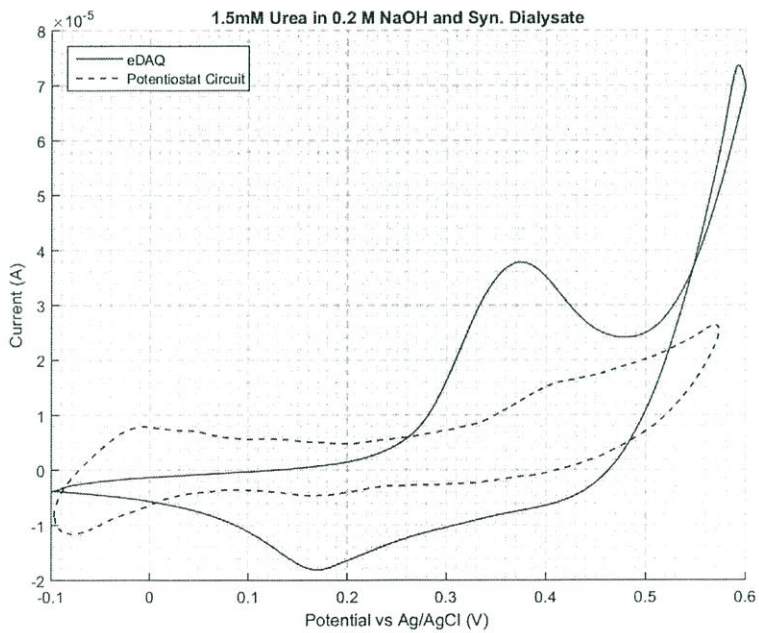


รูปที่ 4.5.4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการแสกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น

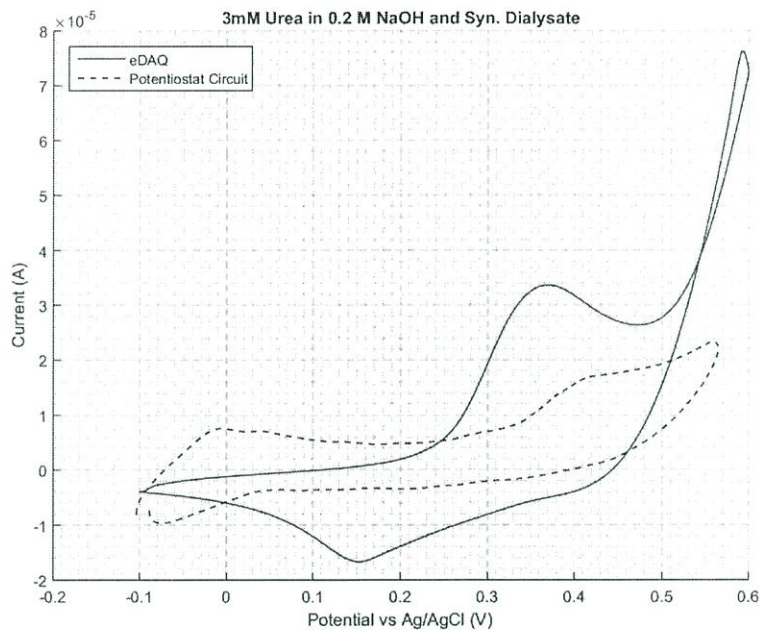
จากรูปที่ 4.5.4 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของยูเรียต่างๆ ในน้ำยาไดอะไลซิสเกิดพีคออกซิเดชันที่ประมาณ 0.4 โวลต์ ส่วนพีครีดักชันอยู่ที่ประมาณ 0.2 โวลต์แต่ไม่ชัดเจนนัก และตรวจวัดพีคออกซิเดชันได้กระแสที่สูงหลักประมาณ  $1.5 \times 10^{-5}$  และกราฟแต่ละความเข้มข้นของยูเรียมีความเหลื่อมล้ำกันเล็กน้อย



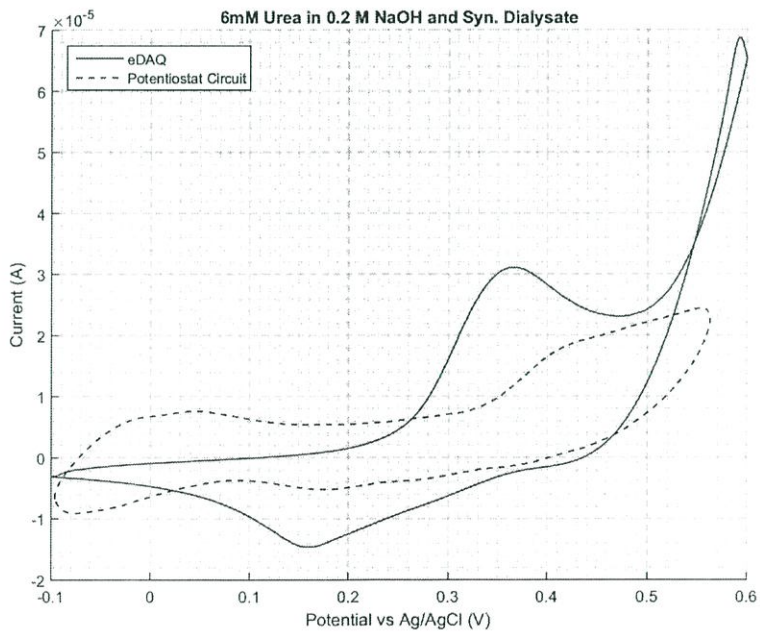
รูปที่ 4.5.5 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ยูเรียความเข้มข้น 0.75 mM



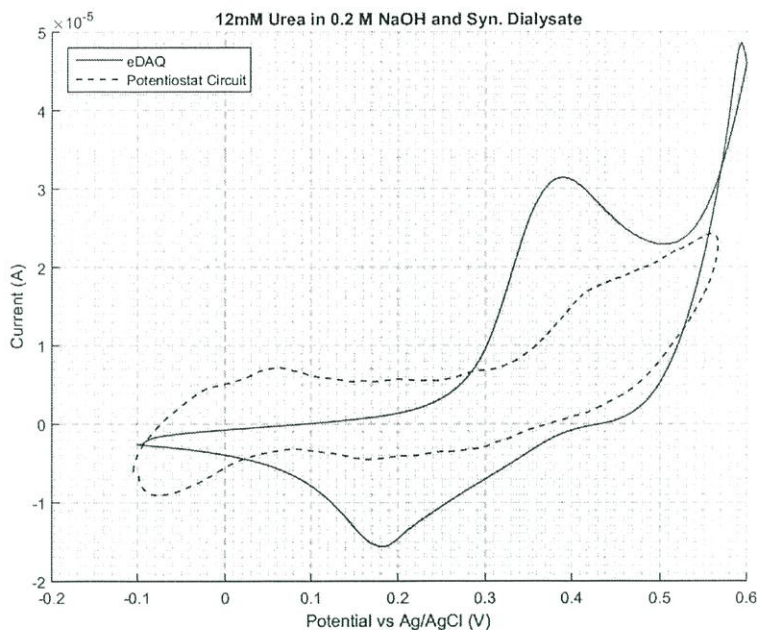
รูปที่ 4.5.6 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ยูเรียความเข้มข้น 1.5 mM



รูปที่ 4.5.7 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ยูเรียความเข้มข้น 3 mM



รูปที่ 4.5.8 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ยูเรียความเข้มข้น 6 mM

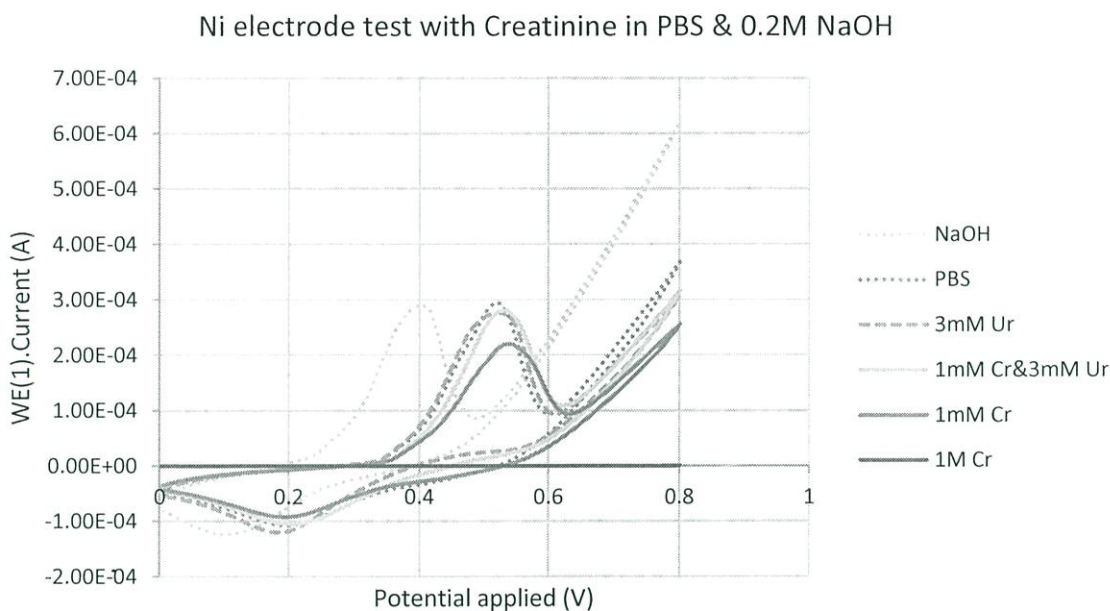


รูปที่ 4.5.9 โพลีกราฟโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดยูเรียเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่ยูเรียความเข้มข้น 12 mM

จากรูปที่ 4.5.5-4.5.9 ข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น จะสังเกตได้ว่ากระแสที่ได้จากการตรวจวัดยูเรียของเครื่องที่สร้างขึ้นต่ำกว่าเครื่องมาตรฐาน eDAQ อย่างเห็นได้ชัด และรูปร่างของกราฟจากเครื่องทั้งสองจะแตกต่างกัน กราฟที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นจะเห็นพีคได้ไม่ชัดเจนเท่าเครื่องมาตรฐาน

## 4.2 กราฟการตรวจวัดครีเอตินิน

### 4.2.1 นิกเกิลอิเล็กโทรด

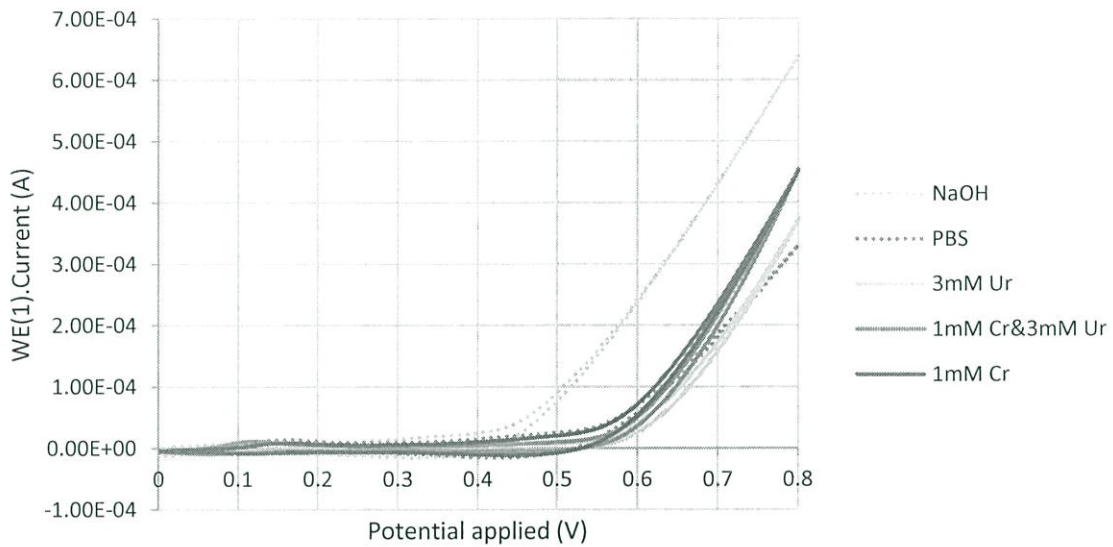


รูปที่ 4.6 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลอิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS เปรียบเทียบกับยูเรียในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.6 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟครีเอตินินจะมีพีคออกซิเดชันที่ต่ำกว่ากราฟยูเรีย โดยมีพีคออกซิเดชันอยู่ที่ประมาณ 0.5 โวลต์ โดยกราฟครีเอตินินความเข้มข้น 1 mM ผสมยูเรียความเข้มข้น 3 mM และกราฟยูเรียความเข้มข้น 3 mM จะมีกราฟที่ลักษณะใกล้เคียงกัน มีพีคพอกพอน แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของยูเรียเช่นชัดเจนกว่าครีเอตินิน และเมื่อเทียบกราฟครีเอตินินความเข้มข้น 1 mM กับ 1 M จะพบว่าความเข้มข้นที่ 1 M ให้กระแสที่ต่ำ ผลกราฟแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นครีเอตินินมากจะตรวจวัดได้กระแสที่ต่ำ

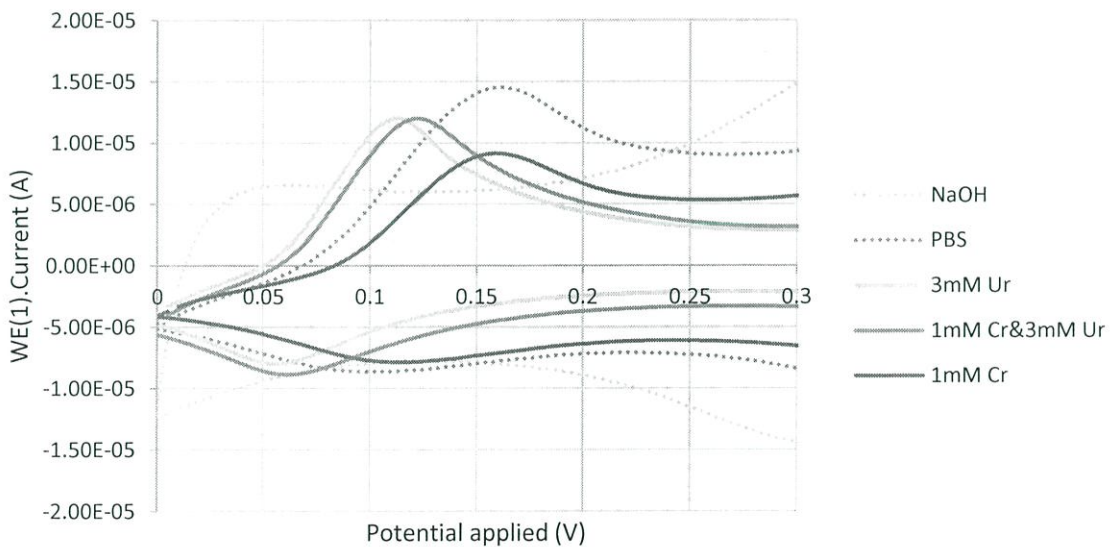
#### 4.2.2 โคบอลต์อิเล็กโทรด

Co electrode test with Creatinine in PBS & 0.2M NaOH



รูปที่ 4.7.1 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS เปรียบเทียบกับยูเรียในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

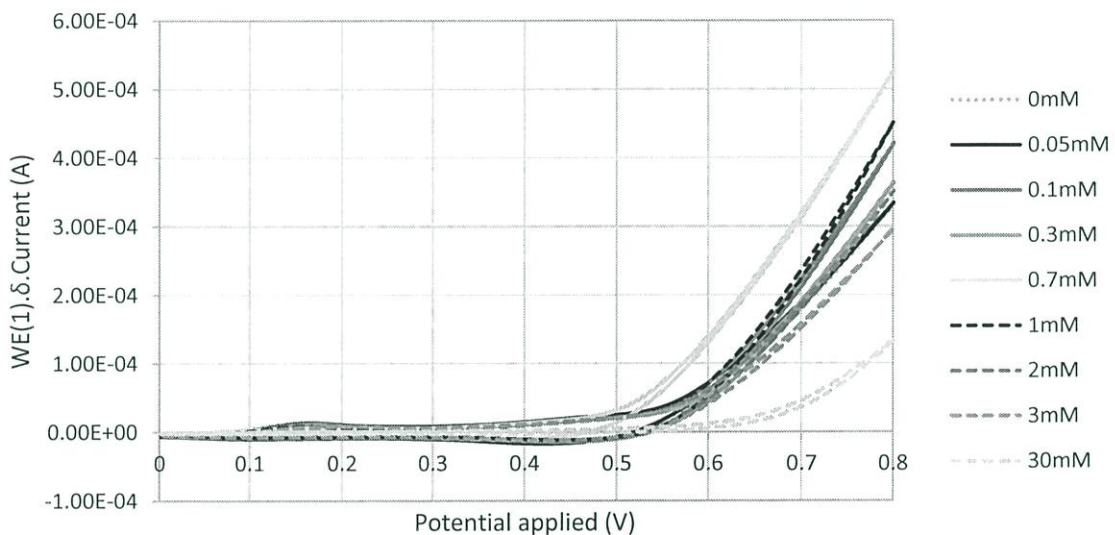
Co electrode test with Creatinine in PBS & 0.2M NaOH



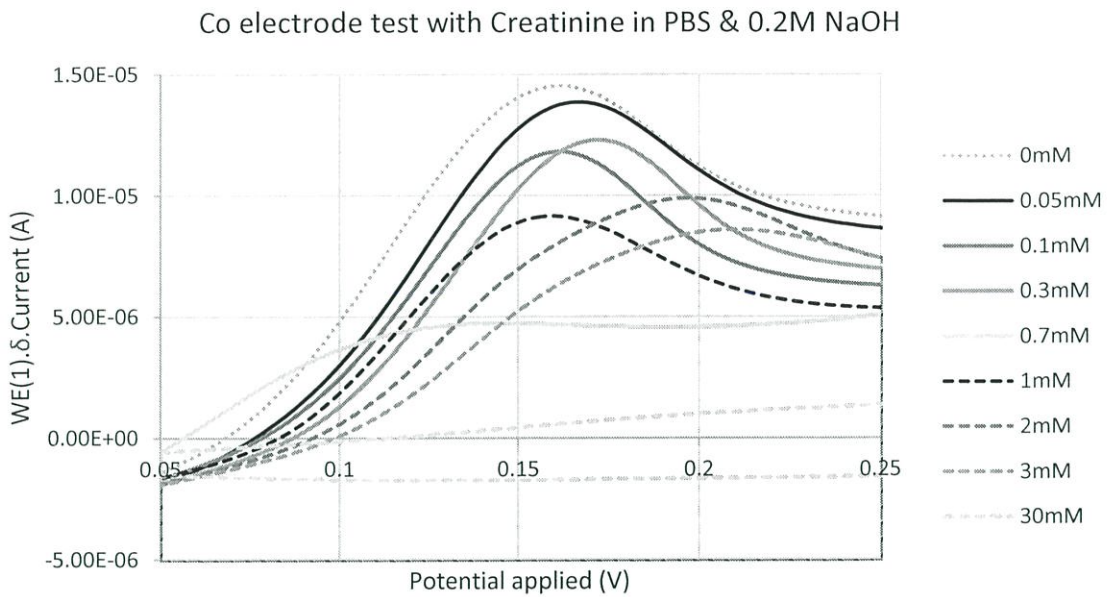
รูปที่ 4.7.2 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS เปรียบเทียบกับยูเรียในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.7.1-4.7.2 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นผลกราฟที่ได้จากโคบอลต์อิเล็กโทรดคล้ายกับของนิกเกิลอิเล็กโทรดในภาพที่ 4.6 แต่มีออกซิเดชันพีคอยู่ที่ประมาณ 0.15 โวลต์ และกระแสที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่า นั่นคือ กราฟครีเอตินีนความเข้มข้น 1 mM ผสมยูเรียความเข้มข้น 3 mM และกราฟยูเรียความเข้มข้น 3 mM จะมีกราฟที่ลักษณะใกล้เคียงกัน มีพีคพอกัน แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของยูเรียเช่นชัดเจนกว่าครีเอตินีน และเมื่อเทียบกราฟคลีเอตินีนความเข้มข้น 1 mM กับ 1 M จะพบว่าความเข้มข้นที่ 1 M ให้กระแสที่ต่ำ แต่มีพีคออกซิเดชันอยู่ที่ประมาณ 0.15 โวลต์ และกระแสที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่านิกเกิลอิเล็กโทรด

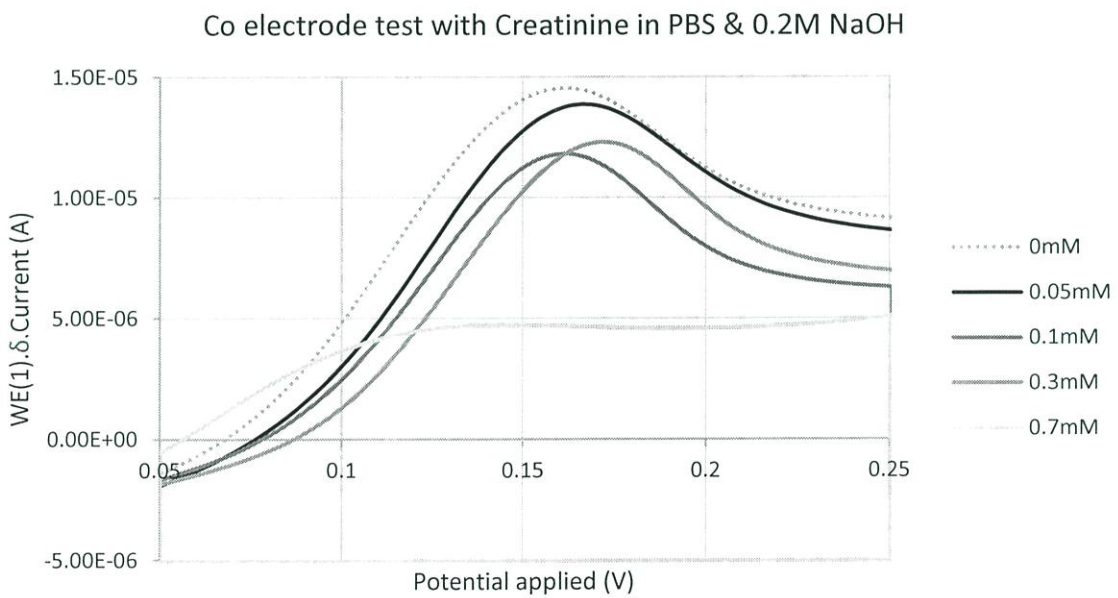
Co electrode test with Creatinine in PBS & 0.2M NaOH



รูปที่ 4.8.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของโคบอลอิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินีนความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

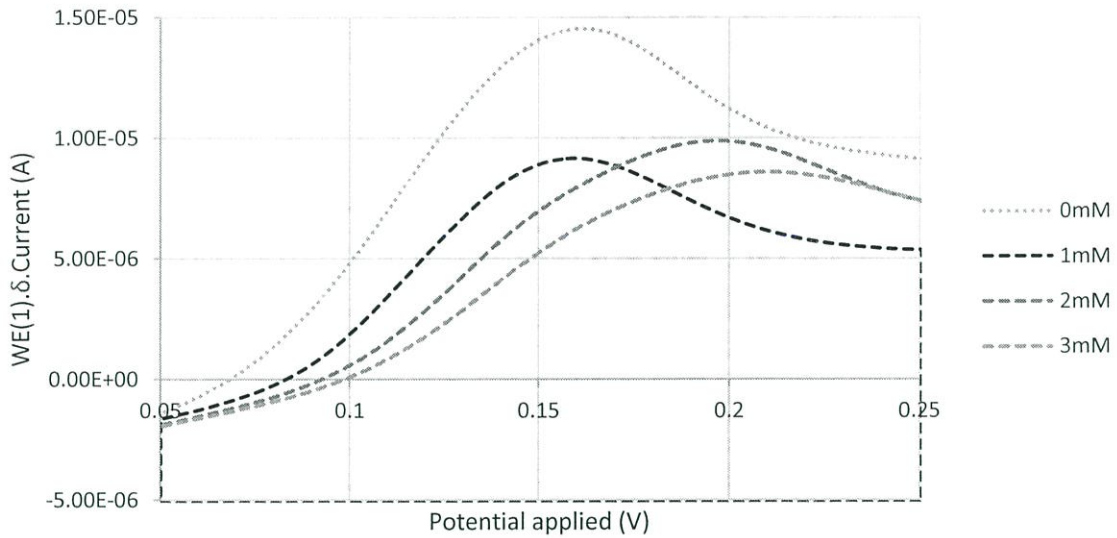


รูปที่ 4.8.2 ซิกนัลโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab



รูปที่ 4.8.3 ซิกนัลโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ช่วง 0-0.7 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้ อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

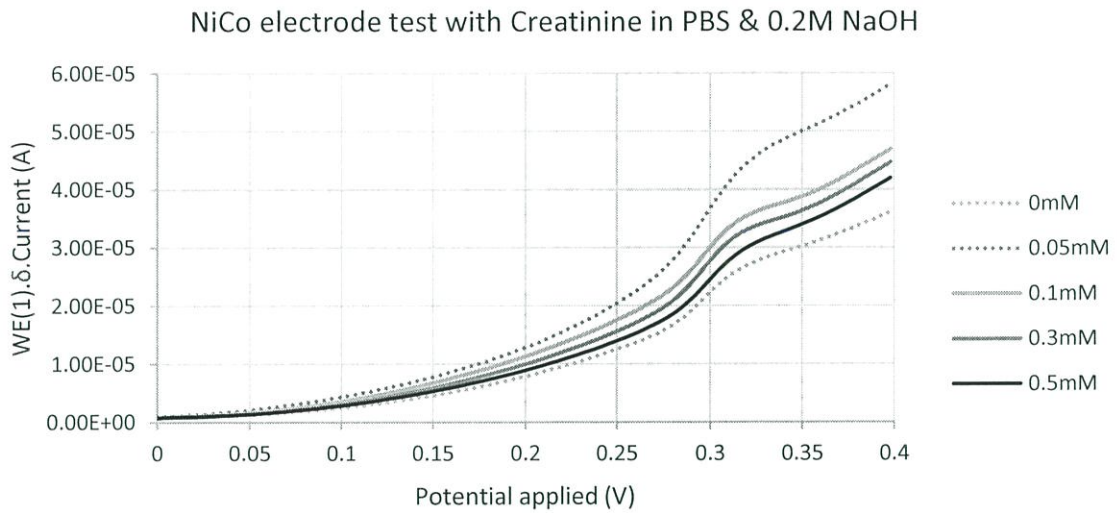
Co electrode test with Creatinine in PBS & 0.2M NaOH



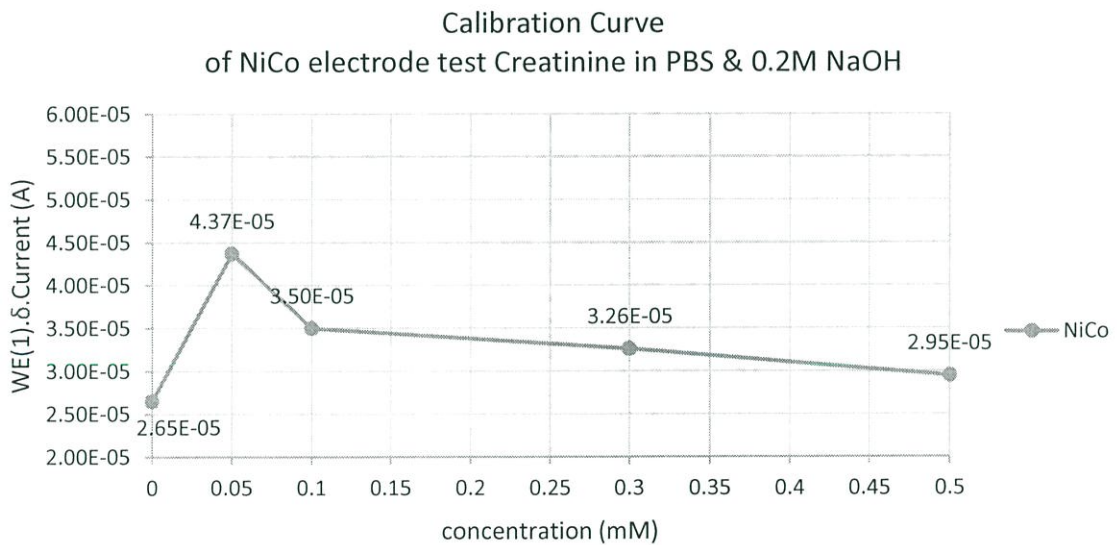
รูปที่ 4.8.4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมแบบขยายของโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ช่วง 0–3 mM ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.8.1-4.8.4 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของครีเอตินินที่เพิ่มขึ้น จะตรวจวัดกระแสได้ลดลง โดยที่ความเข้มข้นครีเอตินินที่ 30 mM มีค่ากระแสที่ต่ำและมองไม่เห็นพีค แต่ที่ความเข้มข้นครีเอตินินช่วง 0.05-3 mM สามารถตรวจวัดได้กระแสที่สูงและเห็นพีคออกซิเดชันที่ประมาณ 0.15 โวลต์ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าอิเล็กโทรดสามารถวัดความเข้มข้นของครีเอตินินต่ำ ๆ ได้ดี

### 4.2.3 นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรด



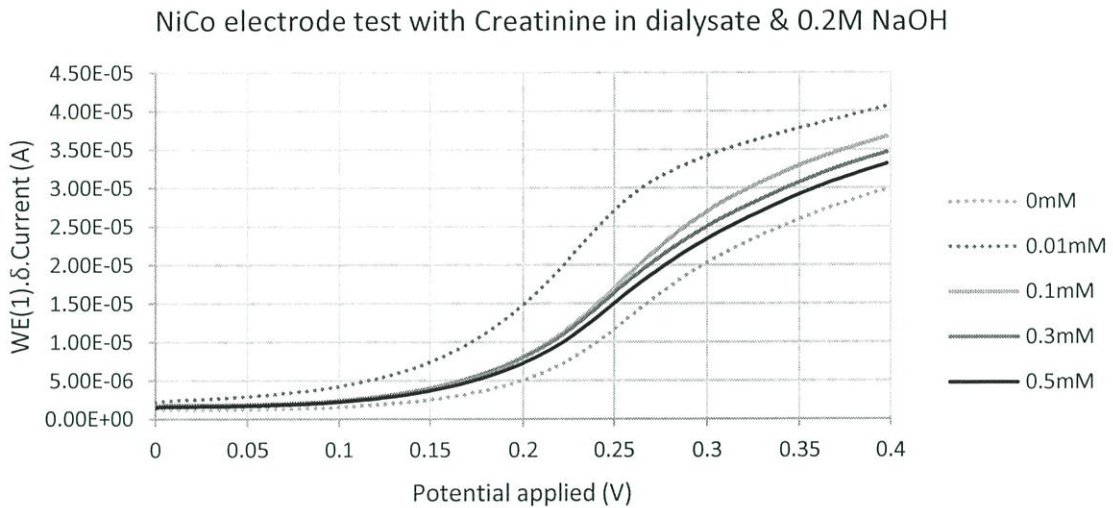
รูปที่ 4.9.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab



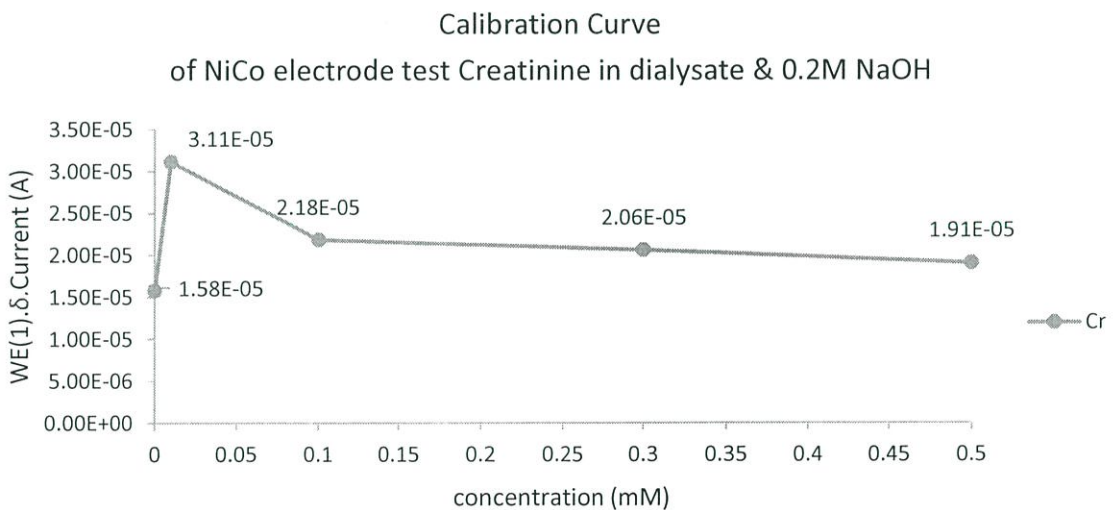
รูปที่ 4.9.2 ภาพแสดงกราฟ Calibration Curve ที่เปลี่ยนเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในสารละลาย PBS ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.9.1-4.9.2 ข้างต้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของครีเอตินินกับกระแสที่ตรวจวัดได้ โดยความเข้มข้นของครีเอตินินที่มากจะตรวจวัดกระแสได้ต่ำ สังเกตได้จากความเข้มข้นของครีเอตินิน

0.05 mM ตรวจวัดกระแสได้มากกว่าความเข้มข้น 0.5 mM และ 0 mM และที่ความเข้มข้นของครีเอตินิน 0.05 mM จะตรวจวัดกระแสได้สูงมากกว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกระแสที่วัดได้จากความเข้มข้น 0.1-0.5 mM

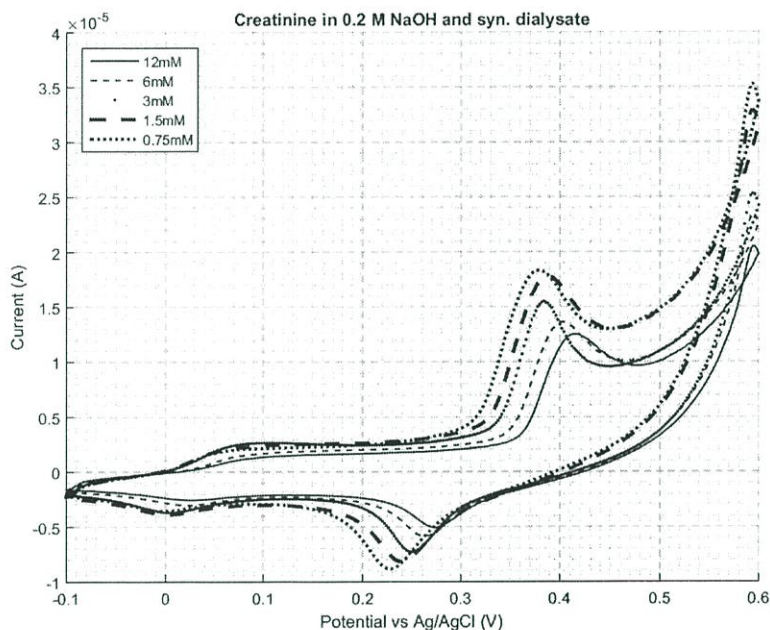


รูปที่ 4.10.1 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมโมแกรมของโคบอลลิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab



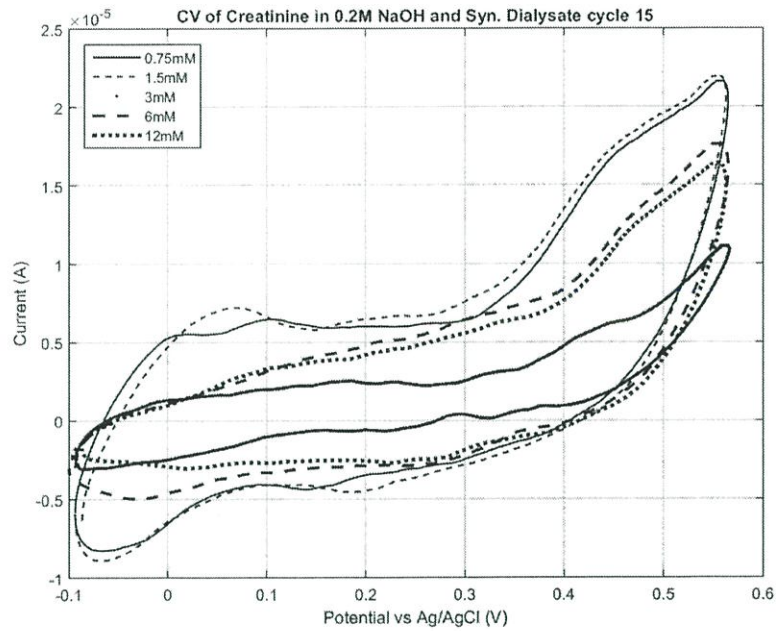
รูปที่ 4.10.2 ภาพแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสกับความเข้มข้นของการใช้นิกเกิลโคบอลลิเล็กโทรดตรวจวัดครีเอตินินความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำยาไดอะไลซิส ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab

จากรูปที่ 4.10.1-4.10.2 ข้างต้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของคลีเอตินินกับกระแสที่ตรวจวัดได้คล้ายกับรูปที่ 4.8 โดยความเข้มข้นของคลีเอตินินที่มากจะตรวจวัดกระแสได้ต่ำ สังเกตได้จากความเข้มข้นคลีเอตินิน 0.05 mM ตรวจวัดกระแสได้มากกว่าความเข้มข้น 0.5 mM และ 0 mM และที่ความเข้มข้นคลีเอตินิน 0.05 mM จะตรวจวัดกระแสได้สูงมากกว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกระแสที่วัดได้จากความเข้มข้น 0.1-0.5 mM



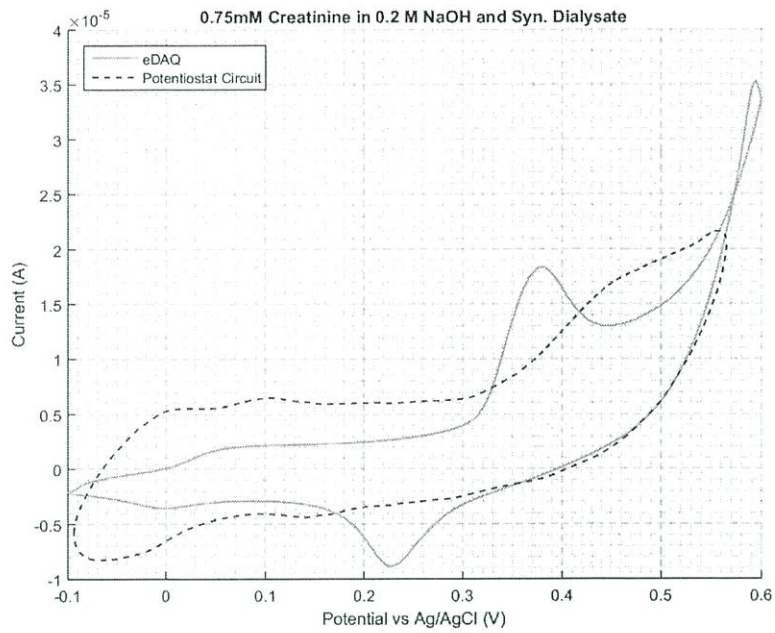
รูปที่ 4.10.3 ซิกนัลโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องวัดมาตรฐาน eDAQ

จากรูปที่ 4.10.3 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของคลีเอตินินต่างๆ ในน้ำยาไดอะไลซิส เกิดพีครีดักชันและออกซิเดชันที่ประมาณ 0.25 โวลต์ และ 0.35 โวลต์ ตามลำดับและตรวจวัดพีคออกซิเดชันได้กระแสที่สูงหลักประมาณ  $1.5 \times 10^{-5}$  และกราฟแต่ละความเข้มข้นของคลีเอตินินมีความเหลื่อมล้ำไม่เท่ากัน ที่ความเข้มข้นของคลีเอตินินต่ำจะให้กระแสต่ำกว่าที่ความเข้มข้นของคลีเอตินินที่น้อยกว่า

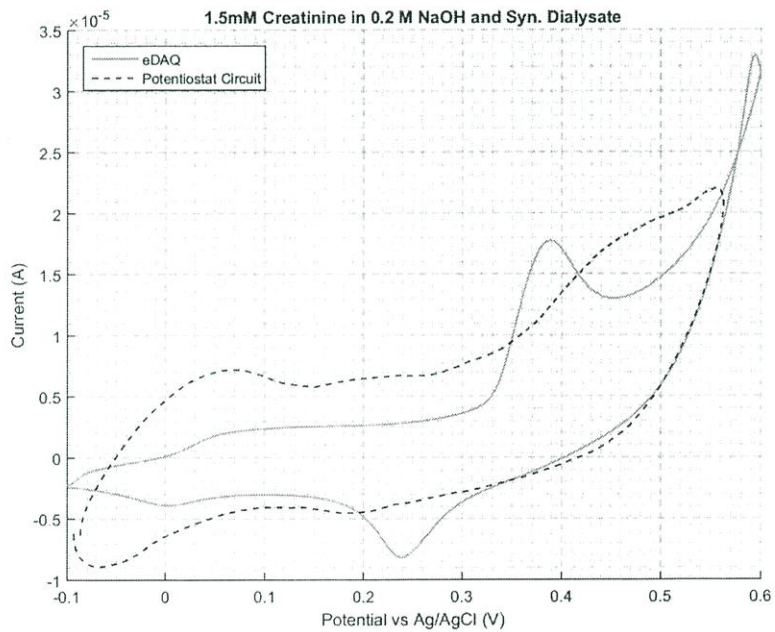


รูปที่ 4.10.4 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินในความเข้มข้น 0.75, 1.5, 3, 6 และ 12 mM ในน้ำยาไดอะไลซิส ตัวเร่งปฏิกิริยาคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M โดยใช้อัตราการสแกน 50 mV/s ที่ทดสอบด้วยเครื่องที่สร้างขึ้น

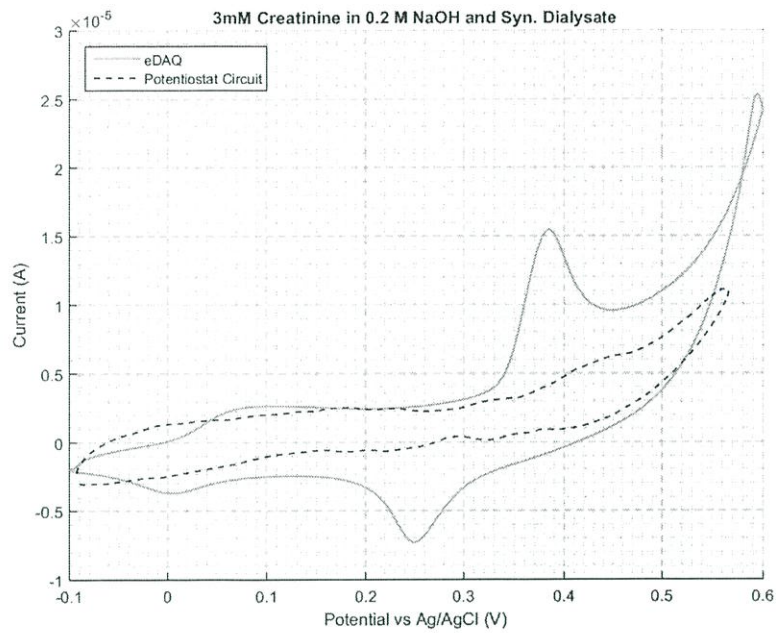
จากรูปที่ 4.10.4 ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่ากราฟความเข้มข้นของคลีเอตินต่างๆ ในน้ำยาไดอะไลซิส เกิดพีคออกซิเดชันที่ประมาณ 0.45 โวลต์ ส่วนพีครีดักชันอยู่ที่ประมาณ 0.15 โวลต์แต่ไม่ชัดเจนนัก และตรวจวัดพีคออกซิเดชันได้กระแสที่สูงหลักประมาณ  $1.5 \times 10^{-5}$  และกราฟแต่ละความเข้มข้นของคลีเอตินมีความเหลื่อมล้ำกัน ที่ความเข้มข้นของคลีเอตินต่ำจะให้กระแสที่ต่ำกว่าที่ความเข้มข้นของคลีเอตินน้อย



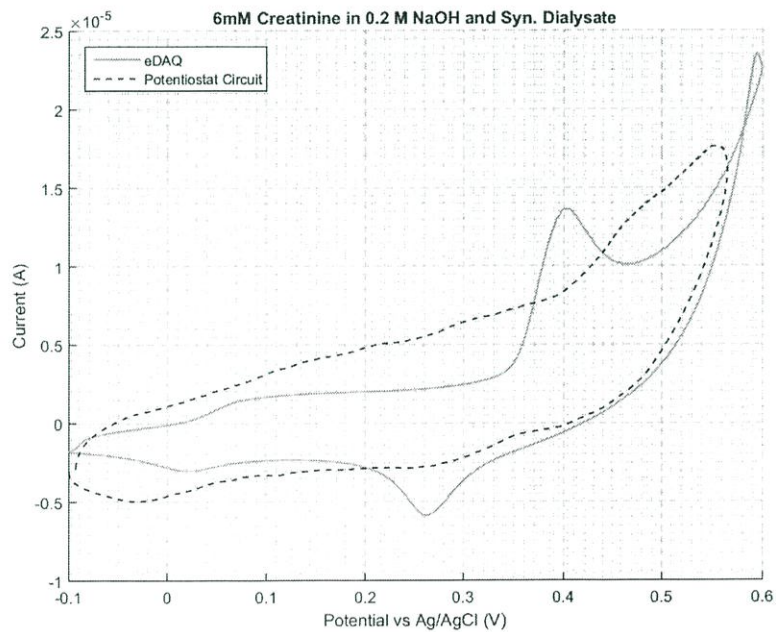
รูปที่ 4.10.5 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 0.75 mM



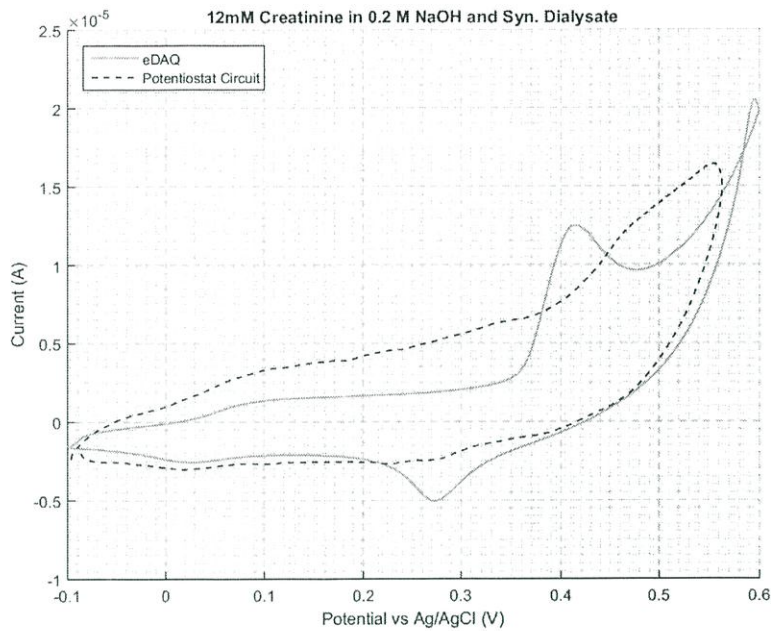
รูปที่ 4.10.6 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 1.5 mM



รูปที่ 4.10.7 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 3 mM



รูปที่ 4.10.8 ไชคคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 6 mM



รูปที่ 4.10.9 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของนิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดตรวจวัดคลีเอตินินเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน eDAQ และเครื่องที่สร้างขึ้น ที่คลีเอตินินความเข้มข้น 12 mM

จากรูปที่ 4.10.5-4.10.9 ข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน (eDAQ) และเครื่องที่สร้างขึ้น จะสังเกตได้ว่ากระแสที่ได้จากการตรวจจับคลีเอตินินของเครื่องที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่จะใกล้เคียงเครื่องมาตรฐาน eDAQ แต่รูปร่างของกราฟจากเครื่องทั้งสองจะแตกต่างกัน กราฟที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น จะเห็นพีคที่ไม่ชัดเจนเท่าเครื่องมาตรฐาน

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

คาร์บอนสกรีนปริ้นท์อิเล็กโทรดเดิมนั้นเมื่อนำมาตรวจวัดยูเรียนั้นให้กระแสที่ต่ำ จึงไม่เหมาะจะนำมาใช้ในงานนี้ เราจึงต้องสังเคราะห์สารนาโนพาร์ติเคิลมาเคลือบพื้นผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและปรับปรุงให้อิเล็กโทรดสามารถวัดได้ดีขึ้น

นิกเกิลโคบอลต์อิเล็กโทรดที่ปรับปรุงขึ้นมาสามารถวัดยูเรียและครีเอตินินในน้ำยาไตอะไลเซท ซึ่งเราได้อาศัยเทคนิคไบแมททาลิกโดยนำนิกเกิลและโคบอลต์มาผสมรวมกันและเคลือบบนคาร์บอนสกรีนปริ้นท์อิเล็กโทรดเพื่อให้ได้อิเล็กโทรดที่วัดของเสียได้ทั้ง 2 ชนิด คือ ยูเรียและครีเอตินิน อีกทั้งการผสมนี้จะช่วยในการลดการเกิดศักย์ไฟฟ้าเกินกัมมันต์ (overpotential) ของนิกเกิล เพิ่มความไวและความสามารถในการตอบสนองต่อยูเรียและคลีเอตินิน

จากผลการทดลองที่วัดโดยเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab นิกเกิลโคบอลต์บนสกรีนปริ้นท์คาร์บอนอิเล็กโทรดสามารถตรวจจับสัญญาณของยูเรียและครีเอตินินได้ดี โดยจะตรวจจับคลีเอตินินความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ดี และสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของยูเรียและครีเอตินิน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับพีคออกซิเดชันหรือกระแสที่ตรวจวัดจากตัวยูเรียและคลีเอตินินจะตรงข้ามกัน โดยยูเรียที่มีความเข้มข้นมากจะตรวจวัดได้พีคออกซิเดชันที่สูงหรือกระแสที่มาก ส่วนคลีเอตินินที่มีความเข้มข้นมากจะวัดได้พีคออกซิเดชันที่ต่ำหรือกระแสที่น้อย

ส่วนผลการทดลองที่วัดโดยเครื่องวัดมาตรฐาน eDAQ ให้ผลที่ตรงข้ามกับเครื่องวัดมาตรฐาน Autolab ในส่วนของการตรวจวัดยูเรีย โดยที่ยูเรียความเข้มข้นสูงจะให้กระแสต่ำหรือวัดได้พีคออกซิเดชันต่ำ หรือกล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกระแสที่ตรวจวัดได้ทั้งยูเรียและคลีเอตินินไปในทางเดียวกัน คือ ที่ความเข้มข้นน้อยจะตรวจวัดได้พีคออกซิเดชันที่สูงหรือกระแสที่มาก ส่วนที่มีความเข้มข้นมากจะวัดได้พีคออกซิเดชันที่ต่ำหรือกระแสที่น้อย

ส่วนผลการทดลองที่วัดโดยเครื่องที่สร้างขึ้น ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ชัดเจนนัก ความแตกต่างของพีคหรือกระแสในแต่ละความเข้มข้นของสารเสื่อมล้ำกันไม่มาก แยกความแตกต่างของแต่ละความเข้มข้นได้ยาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจวัดสารนั้นเราจำเป็นต้องผสม NaOH เพิ่มจากสารที่เราจะทำการวัด เนื่องจากตัว NaOH จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ช่วยให้สารที่สังเคราะห์สามารถทำงานได้ดีขึ้น เห็นพิกัดได้ชัดเจนขึ้น มีกระแสที่สูง ซึ่งในอนาคตการผสม NaOH กับน้ำยาไดอะไลเซส จะทำให้เกิดความยุ่งยากไม่เหมาะสม จึงควรพัฒนาการตรวจวัดแบบไม่ต้องผสม NaOH

ในการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่คงที่และแม่นยำนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ตัวอิเล็กโทรดควรใช้อิเล็กโทรดที่เคลือบและอบใหม่วันต่อวัน หรืออย่างมากสุดไม่เกิน 1 สัปดาห์ เนื่องจากอิเล็กโทรดที่เคลือบนั้นมีการเสื่อมสภาพ อันจะก่อให้เกิดการวัดค่าที่ผิดพลาด และการตรวจวัดสารละลายนั้นควรนำหลอดสารละลายไปทำการ vortex เพื่อให้สารที่อาจตกตะกอนหรือไม่เป็นเนื้อเดียว กลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ควรมีการทดลองตรวจวัดยูเรียและคลีเอตินในความเข้มข้นต่างๆ ซ้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำของอิเล็กโทรดที่ปรับปรุงขึ้น และเพิ่มความน่าเชื่อถือของการทดลอง

ในอนาคตการจะใช้งานจริงควรพัฒนาให้เป็นอิเล็กโทรดแบบแข็ง (Solid Electrode) เพื่อการวัดอย่างต่อเนื่อง และใช้งานได้ยาวนาน ซึ่งต่างจากสกรีนพริ้นท์อิเล็กโทรดที่เป็นอิเล็กโทรดแบบใช้แล้วทิ้ง

## เอกสารอ้างอิง

- 1 นางสาวธิดารัตน์ อภิญา(บรรณาธิการ) , 2016, คู่มือการอบรมพัฒนาศักยภาพการดำเนินงานเพื่อลดโรคไต สำหรับ อสม., พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี
- 2 ญัฐฉิวรรณ พันธุ์มุง และคณะ(คณะบรรณาธิการ), 2016, คู่มือการจัดการโรคไตเรื้อรัง(CKD) สำหรับ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.), พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี
- 3 ผศ.นพ. สุรศักดิ์ กันตชูเวสศิริ, Patient with chronic kidney diseases ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยมหิดล
- 4 W. Xu et al. / Materials Letters 62 (2008) 2571–2573
- 5 V.Vedharathinam, G.G. Batte/ EElectrochimicaActa 81 (2012) 292-300
- 6 Elaheh Lohrasbi et al.: Electrooxidation of Urea on the Nickel Oxide Nanoparticles and Multi-walled Carbon Nanotubes Modified Screen Printed Electrode
- 7 N.S. Nguyenetal./BiosensorsandBioelectronics 77 (2016) 372–377
- 8 A. Hidayat et al. / Talanta 44 (1997) 239-248
- 9 Dittrich S, Lippek F, Gratopp A. Grosse-Siestrup C, Lange PE. Buhrer C, Clin Exp Pharmacol Physiol. 2002 Oct 29 (10): 909-14
- 10 Ruehl ML, Orozco JA, Stoker MB, McDonagh PF, Coull BM, Ritter LS. Neurol Res. 2002 Apr; 24(3): 226-32.
- 11 Zhang Q, Li Z, Xu Z, Niu X, Zhang H. Planta Med. 2003 Jun; 69(6): 537-41.
- 12 Zhang Q, Li N, Zhao T, Qi H, Xu Z, Li Z. Phytother Res. 2005 Jan; 19(1): 50-3

ภาคผนวก

ตาราง แสดงความชุกของผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังระยะสุดท้ายที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตในประเทศไทย  
 แจกแจงตามชนิดของการรักษา ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2555

ปี พ.ศ.	2550		2551		2552		2553		2554		2555	
	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%
Hemodialysis	20,641 (327.4)	81.1	26,438 (417.1)	83.9	27,056 (425.9)	77.1	30,835 (482.6)	75.5	34,895 (545.2)	72.7	40,505 (628.5)	69.4
Peritoneal dialysis	1,198 (19.0)	4.7	2,760 (43.5)	8.8	5,133 (80.8)	14.6	6,829 (106.9)	16.7	9,509 (148.6)	19.8	12,150 (188.5)	20.8
Kidney transplantation	3,618 (57.4)	14.2	2,298 (36.3)	7.3	2,923 (46.0)	8.3	3,181 (49.8)	7.8	3,583 (55.9)	7.5	5,729 (905.9)	9.8

RRT, renal replacement therapy; pmp, per million population

ตาราง แสดงอุบัติการณ์ของผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังระยะสุดท้ายที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตในประเทศไทย  
 ไทย แจกแจงตามชนิดของการรักษา ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2555

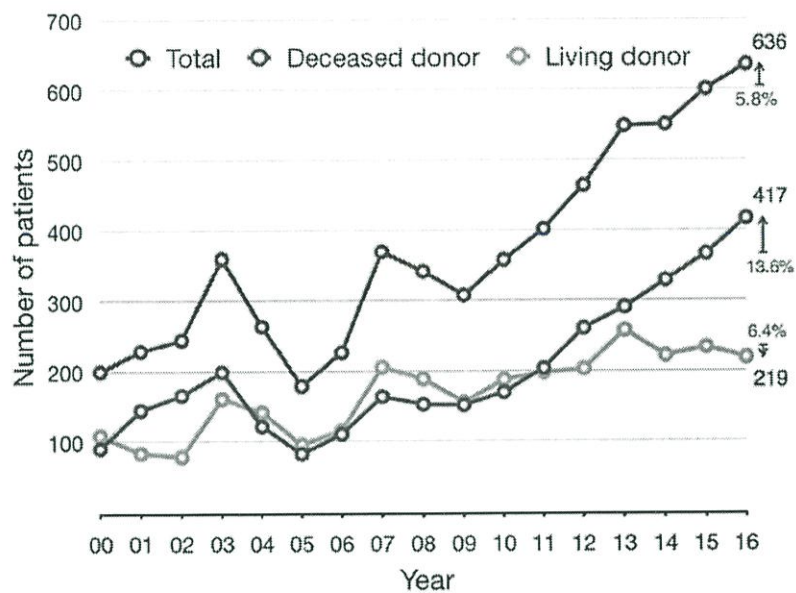
ปี พ.ศ.	2550		2551		2552		2553		2554		2555	
	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%	N (pmp)	%
Hemodialysis	3,410 (54.10)	79.2	4,688 (73.96)	73.7	3,991 (62.83)	51.0	6,244 (97.73)	53.9	7,901 (123.45)	54.3	7,783 (120.76)	54.6
Peritoneal dialysis	528 (8.37)	12.2	1,330 (20.98)	20.9	3,532 (55.60)	45.1	4,979 (77.93)	43.0	6,252 (97.68)	42.9	6,001 (93.11)	42.1
Kidney transplantation	370 (5.87)	8.6	342 (5.39)	5.4	308 (4.84)	3.9	354 (5.54)	3.1	402 (6.28)	2.8	465 (7.20)	3.3

RRT, renal replacement therapy; pmp, per million population

ตาราง แสดงจำนวนผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายไตในปี พ.ศ. 2559 แยกตามโรงพยาบาล

	ผู้ป่วยรับการ ปลูกถ่ายไตจาก Deceased donor	ผู้ป่วยรับการ ปลูกถ่ายไตจาก Living donor	รวม
ศิริราช	35	28	63
จุฬาลงกรณ์	28	20	48
รามธิบดี	112	74	186
พระมงกุฎเกล้า	15	5	20
พระรามเก้า	35	8	43
ภูมิพลอดุลยเดช	13	3	16
มหाराชนครเชียงใหม่	35	24	59
ราชวิถี	9	5	14
วชิรพยาบาล	11	13	24
ชลบุรี	0	3	3
สรรพสิทธิประสงค์	12	2	14
ศรีนครินทร์	56	4	60
สมิติเวชสุขุมวิท	6	3	9
กรุงเทพ	0	0	0
พญาไท1	4	0	4
บำรุงราษฎร์อินเตอร์เนชั่นแนล	10	8	18
พุทธชินราช	0	0	0
ตำรวจ	9	1	10
มหाराชนครราชสีมา	0	0	0
สงขลานครินทร์	2	2	4
สมิติเวชศรีนครินทร์	6	1	7
ธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ	12	3	15
สุราษฎร์ธานี	0	2	2
ศูนย์ขอนแก่น	1	1	2
หาดใหญ่	1	2	3
อุดรธานี	5	0	5
เวชธานี	0	1	1
สถาบันโรคไต ภูมิราชนครินทร์	0	2	2
มศว.องครักษ์	0	2	2
เชียงใหม่ประชานุเคราะห์	0	2	2
รวม	417	219	636

รูป กราฟจำนวนของการปลูกถ่ายไตในแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 โดยแบ่งตามประเภทของการปลูกถ่ายไต



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวณรรวี อัครวิจิธนานนท์  
วัน เดือน ปีเกิด 25 ตุลาคม 2538  
ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2556 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก  
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ  
ปีการศึกษา 2557 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา  
หลักสูตรวิศวกรรมวิศวกรรมชีวการแพทย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-สกุล นายวรปรัชญ์ ฤทธิ์คำรบ  
วัน เดือน ปีเกิด 29 เมษายน 2538  
ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2556 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก  
โรงเรียนชินอรสวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2557 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา  
หลักสูตรวิศวกรรมวิศวกรรมชีวการแพทย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง