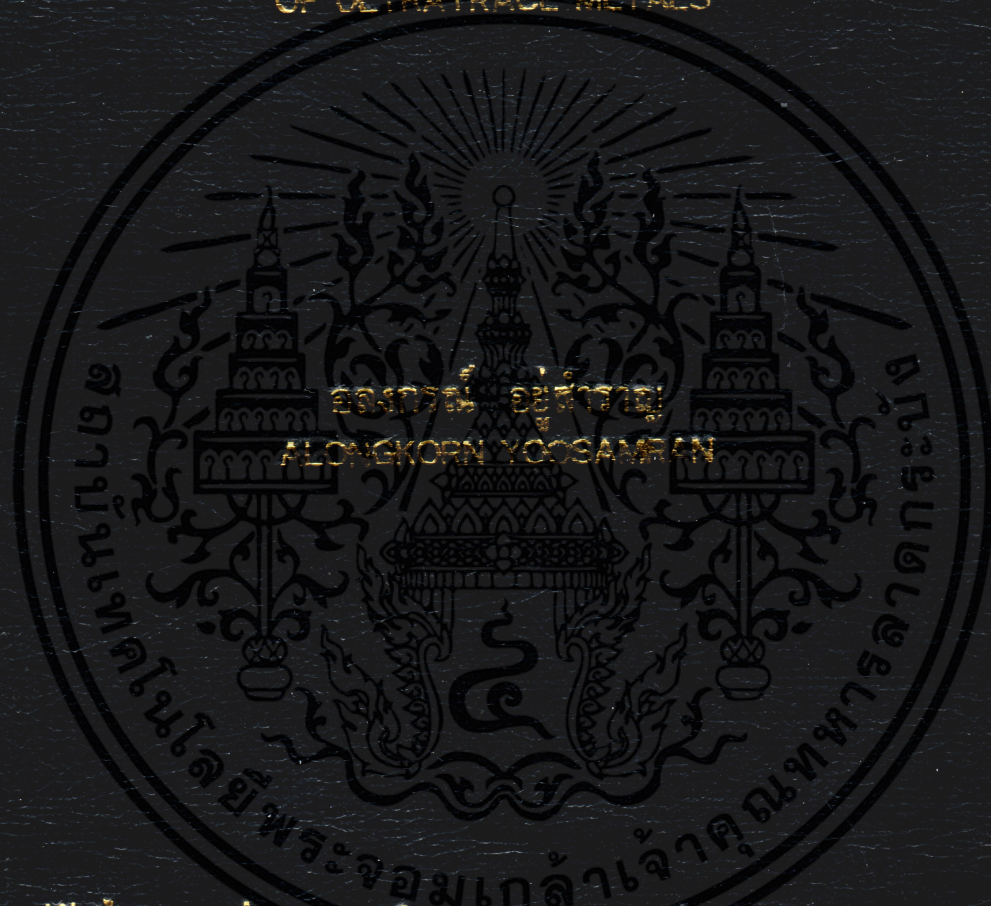


เทคนิคแอตซอร์พทีฟแคโทดิกสตรippingโวลแทมเมทรี
เพื่อตรวจวัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยมากอย่างพร้อมกัน

ADSORPTIVE CATHODIC STRIPPING VOLTAMMETRY
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION
OF ULTRATRACE METALS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี

สาขาวิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-771-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี
เพื่อตรวจวัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยมากอย่างพร้อมกัน

ADSORPTIVE CATHODIC STRIPPING VOLTAMMETRY
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION
OF ULTRATRACE METALS



อลงกรณ์ อยู่สำราญ
ALONGKORN YOOSAMRAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2543

ISBN 974-622-771-8

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36034
วัน, เดือน, ปี..... 5 ก.ค. 2543

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTIVE CATHODIC STRIPPING VOLTAMMETRY
FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION
OF ULTRATRACE METALS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-771-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคแอดซอร์ฟิฟแคโทดิกสตรipping โวลแทมเมตรี เพื่อตรวจวัดโลหะหนัก
ที่มีปริมาณน้อยมากอย่างพร้อมกัน

ADSORPTIVE CATHODIC STRIPPING VOLTAMMETRY FOR
SIMULTANEOUS DETERMINATION OF ULTRATRACE METALS

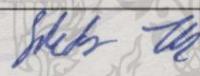
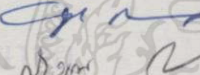
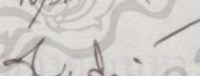
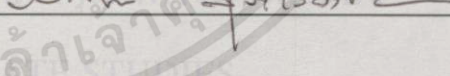
ชื่อนักศึกษา นายอลงกรณ์ อยู่สำราญ

รหัสประจำตัว 39065463

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เคมี (เคมีวิเคราะห์)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์	
รศ.อรุณี กงศักดิ์ไพศาล	
ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์	
ดร.วีระศักดิ์ สุระเรืองชัย	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 3 พฤษภาคม 2543 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง 424 ห้องประชุม-สัมมนา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Adsorptive Cathodic Stripping Voltammetry for Simultaneous Determination of Ultratrace Metals
Student	Mr. Alongkorn Yoosamran
Student ID.	39065463
Degree	Master of Science
Programme	Chemistry
Year	2000
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

Large advances have been made in the application of adsorptive cathodic stripping voltammetry (AdSV) to the determination of trace elements in drinking water. In this study monomolecular layer of complexes on a hanging mercury drop electrode (HMDE) was allowed to adsorb directly from aqueous solution during the pre-concentration step, followed by measurement of the reduction current by means of a potential scan to more negative potentials. An ultrasensitive adsorptive cathodic stripping voltammetry procedure for simultaneous determination trace levels of copper, lead, cadmium and zinc in the presence of catechol is herein described. The optimum experimental condition were found to be a solution of pH 4.0 containing 73.8 μM catechol and a deposition potential of $-1,000\text{ mV}$. A deposition time of 90 s resulted in detection limit of copper 1.787 $\mu\text{g/l}$, lead 0.833 $\mu\text{g/l}$, cadmium 0.692 $\mu\text{g/l}$ and zinc 0.166 $\mu\text{g/l}$.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า	5
2.1.1 วิธีโพเทนชิโอเมตริก	5
2.1.2 วิธีอิเล็กโตรไลติก	5
2.1.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า	5
2.1.4 วิธีโวลแทมเมตรี	5
2.2 โวลแทมเมตรี	6
2.2.1 วิธีวิเคราะห์ในกลุ่มโวลแทมเมตรี	6
2.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิธีโวลแทมเมตรี	6
2.2.3 เซลล์โวลแทมเมตรี	7
2.2.4 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง	8
2.2.5 ขั้วไฟฟ้าช่วย	8
2.2.6 ขั้วไฟฟ้าใช้งาน	8
2.2.7 การเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก	9
2.2.8 โวลแทมโมแกรม	12
2.2.9 การขจัดออกซิเจน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 สตรีปปีงโวลแทมเมทรี	15
2.4 แอคซอร์พทีฟแคโทดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	21
3.1.1 สารเคมีที่ใช้	21
3.1.2 อุปกรณ์	21
3.2 การดำเนินงานวิจัย	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล	25
4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอคซอร์พทีฟ แคโทดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี เมื่อใช้ Cupferron เป็นลิแกนด์	25
4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	25
4.1.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า Deposition	26
4.1.3 ระยะเวลา Deposition	27
4.1.4 ความเข้มข้นของ Cupferron	28
4.1.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	29
4.1.6 ระยะเวลา Equilibration	30
4.1.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	31
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอคซอร์พทีฟ แคโทดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี เมื่อใช้ Oxine เป็นลิแกนด์	33
4.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	33
4.2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า Deposition	34
4.2.3 ระยะเวลา Deposition	35
4.2.4 ความเข้มข้นของ Oxine	36
4.2.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 ระยะเวลา Equilibration	38
4.2.6 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	39
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอดซอร์พทีฟ แคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี เมื่อใช้Catechol เป็นลิแกนด์	41
4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	41
4.3.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า Deposition	42
4.3.3 ระยะเวลา Deposition	43
4.3.4 ความเข้มข้นของ Catechol	44
4.3.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	45
4.3.6 ระยะเวลา Equilibration	46
4.3.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	47
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟ แคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี เมื่อใช้Zincon เป็นลิแกนด์	49
4.4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	50
4.4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า Deposition	51
4.4.3 ระยะเวลา Deposition	52
4.4.4 ความเข้มข้น Zincon	53
4.4.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	54
4.4.6 ระยะเวลา Equilibration	55
4.4.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	56
4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟ แคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี เมื่อใช้Sodiumdiethyldithiocarbamate เป็นลิแกนด์	57
4.5.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	58
4.5.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า Deposition	59
4.5.3 ระยะเวลา Deposition	60
4.5.4 ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate	61

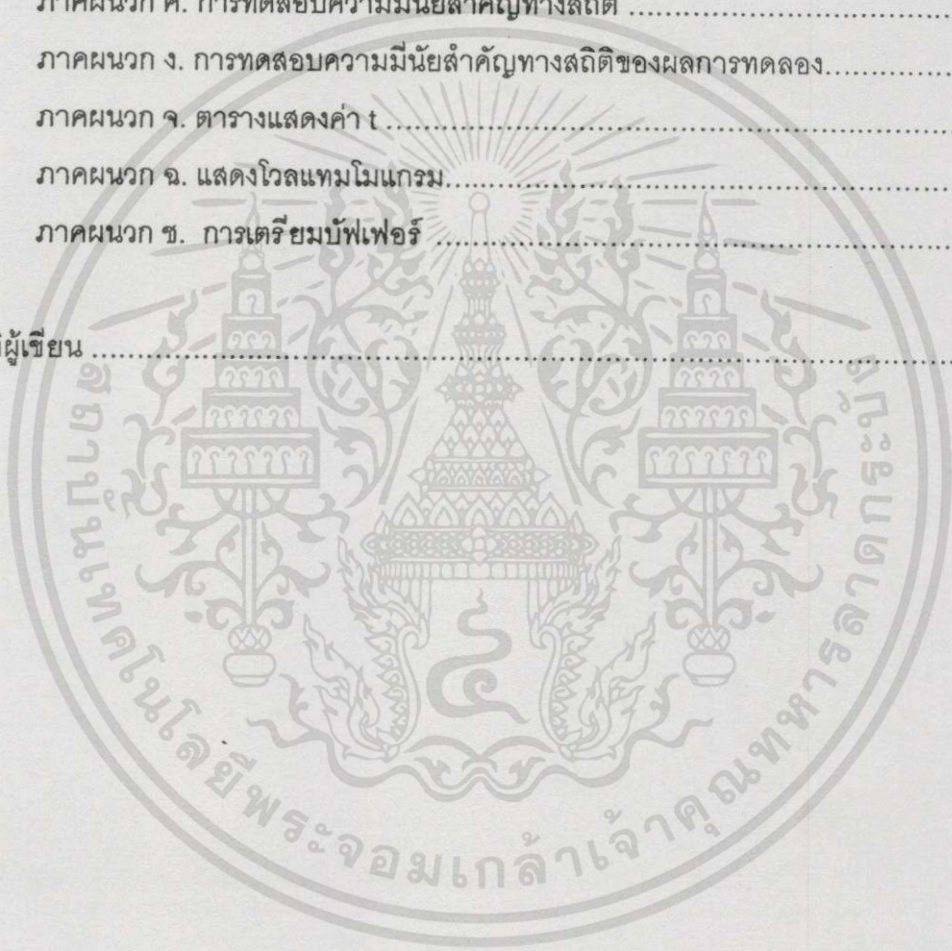
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	62
4.5.6 ระยะเวลา Equilibration	63
4.5.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	64
4.6 ซีดจำกัดในการตรวจวัด	65
4.7 ผลทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำดื่ม	66
4.7.1 น้ำประปาและน้ำบาดาล ในเขตกรุงเทพมหานคร	66
4.7.2 น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกใส)	67
4.7.3 น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกขุ่น)	68
4.7.4 น้ำแร่บรรจุขวด	69
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง	70
5.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	70
5.2 ช่วงศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน	72
5.3 ศักย์ไฟฟ้า Deposition	76
5.4 ระยะเวลา Deposition	77
5.5 ความเข้มข้นของลิแกนด์	77
5.6 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน	78
5.7 ระยะเวลา Equilibration	78
5.8 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด	78
5.9 ซีดจำกัดในการตรวจวัด	79
5.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำดื่ม	81
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	83
6.1 สรุปผลการวิจัย	83
6.2 ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	86

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง	89
ภาคผนวก ข. การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด.....	124
ภาคผนวก ค. การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ	134
ภาคผนวก ง. การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของผลการทดลอง.....	138
ภาคผนวก จ. ตารางแสดงค่า t	146
ภาคผนวก ฉ. แสดงโวลแทมโมแกรม	147
ภาคผนวก ช. การเตรียมบัฟเฟอร์	198
ประวัติผู้เขียน	200



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงวิธีวิเคราะห์ต่างๆและช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม	2
2.1 เทคนิคต่างๆของโวลแทมเมตรี	7
2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดต่างๆ	12
4.1 แสดงค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง โวลแทมเมตรี	65
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร	66
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำตาลในเขตกรุงเทพมหานคร	67
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกใส) ในเขตกรุงเทพมหานคร	67
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกขุ่น) ในเขตกรุงเทพมหานคร	68
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำแร่บรรจุขวด ในเขตกรุงเทพมหานคร	69
5.1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง Cupferron กับไอออนของโลหะ	69
5.2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง Oxine กับไอออนของโลหะ	69
5.3 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง Catechol กับไอออนของโลหะ	71
5.4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง Zincon กับไอออนของโลหะ	71
5.5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่าง NaDDTC กับไอออนของโลหะ	71
6.1 แสดงค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง โวลแทมเมตรี	83
6.2 สรุปผลการวิเคราะห์น้ำดื่มด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง โวลแทมเมตรี	84
ก.1 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้	89
ก.2 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้	90
ก.3 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้	91
ก.4 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.5 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	93
ก.6 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	94
ก.7 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	95
ก.8 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	96
ก.9 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	97
ก.10 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	98
ก.11 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	99
ก.12 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	100
ก.13 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	101
ก.14 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	102
ก.15 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	103
ก.16 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	104
ก.17 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	105
ก.18 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	106
ก.19 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	107
ก.20 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	108
ก.21 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	109
ก.22 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	110
ก.23 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	111
ก.24 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	112
ก.25 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	113
ก.26 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	114
ก.27 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	115
ก.28 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	116
ก.29 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	117
ก.30 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	118
ก.31 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	119
ก.32 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.33 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	121
ก.34 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	122
ก.35 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	123



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กแบบต่างๆ	10
2.2 แสดงช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยชนิดต่างๆ.....	11
2.3 แสดงโวลแทมโมแกรม จากสัญญาณกระตุ้นแบบต่างๆ	13
2.4 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารผสมสองชนิด เมื่อศักย์ไฟฟ้าครั้งคลื่อนต่างกัน	13
2.5 แสดงโวลแทมโมแกรมของ 0.1 M HCl	14
2.6 แสดงรูปแบบของโวลเตจโปรแกรมสำหรับสตริบิงโวลแทมเมทรี	16
2.7 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการ Deposit เทียบกับความสูงของพีค	16
2.8 แสดงวิธีการควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ให้แกขั้วทำงานของ เทคนิคแอมเปอร์พีฟแคโทดิกสตริบิงโวลแทมเมทรี	18
4.1 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	25
4.2 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	26
4.3 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	27
4.4 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	28
4.5 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	29
4.6 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	30
4.7 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	31
4.8 แสดงแอมเปอร์พีฟแคโทดิกสตริบิงโวลแทมโมแกรม	32
4.9 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	33
4.10 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้.....	34
4.11 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	35
4.12 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Oxine ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	36
4.13 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	37
4.14 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	38
4.15 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	39
4.16 แสดงแอมเปอร์พีฟแคโทดิกสตริบิงโวลแทมโมแกรม	40
4.17 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	41
4.18 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้.....	42
4.19 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องใช้ในการค้า
ไม่เข้ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Catechol ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	44
4.21 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	45
4.22 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	46
4.23 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	47
4.24 แสดงแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมโมแกรม	48
4.25 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	49
4.26 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้.....	50
4.27 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	51
4.28 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Zincon ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	52
4.29 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	53
4.30 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	54
4.31 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	55
4.32 แสดงแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมโมแกรม	56
4.33 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้	57
4.34 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้.....	58
4.35 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	59
4.36 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้น Zincon ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	60
4.37 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	61
4.38 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	62
4.39 แสดงผลของอิทธิพลของพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่วัดได้.....	63
4.40 แสดงแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมโมแกรม	64
5.1 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ	73
5.2 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ.....	74
5.3 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ.....	75
5.4 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ.....	76
จ.1 แสดงโวลแทมโมแกรมของ Cupferron	147
จ.2 แสดงโวลแทมโมแกรมของ Cupferron	148
จ.3 แสดงโวลแทมโมแกรมของ Cupferron.....	149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	150
จ.5 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	151
จ.6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	152
จ.7 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	153
จ.8 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	154
จ.9 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	155
จ.10 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	156
จ.11 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	157
จ.12 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	158
จ.13 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	159
จ.14 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	160
จ.15 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	161
จ.16 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	162
จ.17 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	163
จ.18 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	164
จ.19 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Oxine	165
จ.20 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	166
จ.21 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	167
จ.22 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	168
จ.23 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	169
จ.24 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	170
จ.25 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	171
จ.26 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	172
จ.27 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	173
จ.28 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	174
จ.29 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	175
จ.30 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	176
จ.31 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.32 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	178
จ.33 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	179
จ.34 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Catechol	180
จ.35 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincon	181
จ.36 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincon	182
จ.37 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincon	183
จ.38 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincon	184
จ.39 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	185
จ.40 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	186
จ.41 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	187
จ.42 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	188
จ.43 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	189
จ.44 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	190
จ.45 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	191
จ.46 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	192
จ.47 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	193
จ.48 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	194
จ.49 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Zincom	195
จ.50 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ NaDDTC	196
จ.51 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ NaDDTC	197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันมีผู้นิยมดื่มน้ำบริโภคบรรจุขวดกันมาก ผู้บริโภคเข้าใจว่าน้ำดังกล่าวนั้นสะอาด บริสุทธิ์ ปราศจากสารเจือปนและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังให้ความสะดวกสบายเหมาะกับสภาพสังคมที่ต้องการความรวดเร็ว ทำให้น้ำบริโภคบรรจุขวดมีการผลิตออกมาจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย การผลิตน้ำบริโภคมักจะทำจากน้ำประปา น้ำบาดาล ซึ่งได้ปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 16 พ.ศ. 2524 โดยนำน้ำดิบมาผ่านเครื่องกรอง ซึ่งประกอบด้วยเรซินต่างๆเช่น เรซินสำหรับกำจัดความกระด้าง เหล็ก สี ตะกอน ความขุ่น เป็นต้น แล้วจึงนำมาผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค แต่แต่ละชั้นจะมีวิธีการต่างไปตามทฤษฎีและความรู้ของผู้ผลิตอันเป็นเหตุทำให้คุณภาพน้ำไม่ได้มาตรฐาน เช่นจากรายงานผลการตรวจวิเคราะห์น้ำบริโภคบรรจุขวด ของกองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในปี 2530 พบว่าน้ำบริโภคบรรจุขวดมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ 20.7 ในปี 2531 คิดเป็นร้อยละ 27.8 ในปี 2532 - 2533 พบว่ามีน้ำดื่มบรรจุขวดที่ไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็นร้อยละ 19.2 (ปทุม สุรัตน์ และคณะ . 2534)

แร่ธาตุต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำที่นำมาผลิตน้ำดื่มนั้นมีมากมาย ซึ่งธาตุบางชนิดที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยในน้ำนั้น อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ได้แก่ พวกโลหะหนัก เช่นปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น ธาตุที่มีปริมาณเล็กน้อยเหล่านี้มีความสำคัญมากต่อระบบชีวภาพ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปหรือน้อยเกินไป ก็จะทำให้ร่างกายเกิดโรคได้ โดยร่างกายจะได้รับธาตุเหล่านี้ทางอาหาร น้ำ และอากาศ ถึงแม้ว่าธาตุเหล่านี้จะมีอยู่ในอาหาร แต่ในบางแห่งนั้นก็พบได้ในน้ำดื่มด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งหรือของเสียจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย นอกจากธาตุปริมาณน้อยๆในน้ำเหล่านี้ยังมีสารอื่นอีกที่ทำให้แหล่งน้ำเป็นพิษ เช่น ไซยาไนต์ ถ้าน้ำดื่มมีเซยาไนต์มากเกินไปจะมีผลถึงเสียชีวิตได้

จากความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกสบายในการบริโภคน้ำดื่ม ทำให้การเจริญเติบโตของกิจการน้ำดื่มบรรจุขวดมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยมีการแข่งขันกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งก็มีทั้งผู้ผลิตที่เน้นคุณภาพ และผู้ผลิตที่มุ่งหวังแต่ผลกำไรโดยละเลยเรื่องคุณภาพของสินค้า สิ่งหนึ่งที่จะสามารถช่วยเหลือกลุ่มผู้บริโภคได้ก็คือการตรวจสอบคุณภาพของน้ำดื่ม จึงทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ให้มีความสามารถในการตรวจวัด และในการตรวจหาสารเหล่านั้นให้มีความถูกต้อง (precision) ความน่าเชื่อถือ (reliability) ความไว

(sensitivity) และความเลือกเฉพาะในชนิดของสาร (selectivity) รวมถึงความรวดเร็วในการวิเคราะห์ให้อยู่ในระดับที่ดีมากขึ้น

ความต้องการในการตรวจสอบ และหาปริมาณของโลหะหนักในปริมาณน้อยๆ ในตัวอย่างน้ำนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่นการตรวจสอบโดยใช้ เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เทคนิคอะตอมมิกอีมิสชันสเปกโทรสโกปี และการวิเคราะห์เชิงก่อกัมมันตภาพรังสี ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจสอบปริมาณโลหะหนักได้ถึงระดับต่ำกว่ามิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าจะมีความไวสูงในการตรวจวัด แต่มีข้อเสียคือต้องมีการเตรียม ตัวอย่างที่จะนำมาตรวจวัด และซีดจำกัดในการเลือกเฉพาะในชนิดของสารที่ทำการวิเคราะห์จะลดลง เมื่อต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบหลายชนิดในตัวอย่างเดียวกัน รวมถึงเครื่องมือเหล่านี้มีราคาสูงมาก ยังมีอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาปริมาณโลหะหนักปริมาณน้อยๆ ในตัวอย่างน้ำ คือเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า มีด้วยกันหลายเทคนิค เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจคือเทคนิคสตริปปีงโวลแทมเมตรี ซึ่งแบ่งออกได้อีก 3 เทคนิคคือแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี แอโนดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี และแอมัลกัมแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี ซึ่งแต่ละวิธีวิเคราะห์จะมีความไวแตกต่างกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงวิธีวิเคราะห์ต่างๆ และช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม

เทคนิค	ความเข้มข้น (mol liter ⁻¹)
Titration methods	10 ⁻² – 10 ⁻⁶
Molecular absorption spectrophotometry	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁵
Atomic absorption spectrophotometry	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁷
Atomic fluorescence spectrophotometry	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁸
Emission spectrophotometry	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁶
Neutron activation analysis	10 ⁻⁹ – 10 ⁻¹⁰
Classical polarography	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁶
Cathodic stripping voltammetry	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁷
Anodic stripping voltammetry	10 ⁻⁷ – 10 ⁻¹⁰
Adsorptive stripping voltammetry	10 ⁻⁷ – 10 ⁻¹²

ด้วยเหตุผลและหลักการดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นแนวทางสำคัญในการนำไปสู่การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาโลหะหนักปริมาณน้อยๆ ในน้ำดื่มบรรจุขวด โดยใช้เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยให้สามารถตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาโลหะหนักปริมาณน้อยๆในน้ำดื่มบรรจุขวดได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถนำไปใช้ในการหาโลหะหนักปริมาณน้อยๆในตัวอย่งน้ำธรรมชาติได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบชนิดลิแกนด์ที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีในการตรวจวัดทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงขีดจำกัดในการตรวจวัดทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี

1.2.4 เพื่อตรวจวัดทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี ในการตรวจวัดทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี

1.3.2 ขั้วทำงานใช้ขั้วหยดปรอท ขั้วอ้างอิงใช้ขั้วซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ ใน 3 โมลาร์โพตัสเซียมคลอไรด์ และขั้วช่วยใช้ขั้วชนิดแพลทินัม

1.3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วย

1.3.3.1 ลิแกนด์ที่เหมาะสมเปรียบเทียบระหว่าง Cupferron (N-nitrosophenyl hydroxylamine ammonium salt), Oxine (8-hydroxyquinoline), Catechol, Sodium diethyldithiocarbamate, Zincon (2-[[α -(2-Hydroxy-5-sulfophenylazo)benzylidene]hydrazino]benzoic acid monosodium salt)

1.3.3.2 ค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสม จะทำการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 1 – 10

1.3.3.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าในการเดโพสิชัน

1.3.3.4 เวลาในการเดโพสิชัน

1.3.3.5 ความเข้มข้นของลิแกนด์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

1.3.3.6 ศึกษาหาขีดจำกัดในการตรวจวัด

1.3.4 หาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวดในเขต กรุงเทพมหานคร โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี โดยใช้เตา กราไฟต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสปีชีส์หนึ่งไปยังอีกสปีชีส์หนึ่ง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์นั้นคือพื้นฐานของเคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดอกซ์ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้แก่ กระแส (current) ศักย์ไฟฟ้า (voltage) และความต้านทาน (resistance) เมื่อมีวิธีการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆนี้ได้ ก็สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ มีวิธีการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีสำหรับวัดค่าทางไฟฟ้าได้หลายแบบจึงทำให้เกิดเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆได้หลายวิธี และมีชื่อเรียกวิธีการวิเคราะห์เหล่านั้นๆตามเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

2.1.1 วิธีโพเทนชิโอเมตริก (potentiometric method)

เป็นวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานที่วัดต่อสปีชีส์ที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ

2.1.2 วิธีอิเล็กโทรไลติก (electrolytic method)

เป็นวิธีที่อาศัยเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดอิเล็กโทรไลซิส เกิดเป็นโลหะเกาะที่ขั้วแคโทด ซึ่งทำให้ขั้วมีน้ำหนักมากขึ้น

2.1.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductometric method)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีค่าความต้านทานสูงจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี แต่ถ้ามีความต้านทานต่ำจะนำไฟฟ้าได้ดี ค่าความต้านทานของเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลายนั้นคือค่าการนำไฟฟ้าก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลายด้วยดังนั้นการวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยตรงจึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้

2.1.4 วิธีโวลแทมเมตริก (voltammetric method)

อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าที่เกิดอิเล็กโทรไลซิสที่ขั้วทำงานขนาดเล็ก และสารละลายนิ่งปราศจากการคน พบว่าเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่อิเล็กโทรไลติกเซลล์จะเกิดกระแสที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร โดยหลักการของโวลแทมเมตรีถ้าใช้ขั้วทำงานที่มีขนาดเล็กมากๆ และเกิดการไหลไรซ์ได้ง่าย เช่นขั้วปรอทหยด ทำให้สามารถวัดกระแสเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ วิธีการวิเคราะห์แบบนี้เรียกว่าโพลารอกราฟี ถ้าควบคุมให้เซลล์มีกระแสคงที่แล้ววัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานเทียบกับเวลา คือวิธีการวิเคราะห์ที่เรียกว่าโครโนโพเทนชิโอเมตริก นอกจากนี้การควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์เพื่อวัดกระแสที่เกิดขึ้นโดยหลักการของ

โวลแทมเมตรีนี้สามารถทำได้หลายแบบทำให้เกิดวิธีการวิเคราะห์ขึ้นอีกมากมายหลายวิธีเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์และดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี ลิเนียร์สวิตช์โพลาริกราฟี ไชคลิกโวลแทมเมทรี และ สตรีปิงโวลแทมเมทรี เป็นต้น

2.2 โวลแทมเมทรี

โวลแทมเมทรี คือการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า ที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับ ศักย์ไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุทำงานขนาดเล็กที่มีพื้นที่ผิวเป็นตาราง มิลลิเมตร และปราศจากการคนสารละลาย จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระแสขึ้นเนื่องจากการเกิดโพลาริเซชัน (polarization) ที่ผิวทำงานขนาดเล็กนั้น กระแสที่เกิดขึ้นนี้แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น จึงทำให้สามารถนำวิธีนี้มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้

เดิมเทคนิคที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้านี้เรียกว่าโพลาริกราฟี เริ่ม ตั้งแต่ปี ค.ศ.1920 ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ให้ใหม่ๆขึ้นอีกหลายวิธีโดยอาศัยความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงได้รวมเรียกวิธีการวิเคราะห์เหล่านี้ว่า โวลแทมเมทรี วิธีโวลแทมเมทรีได้ถูก พัฒนามาโดยตลอด จนสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งทางคุณภาพวิเคราะห์ และทางปริมาณวิเคราะห์ ได้ทั้งสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์

2.2.1 วิธีวิเคราะห์ในกลุ่มโวลแทมเมทรี

ลักษณะสำคัญของการวิเคราะห์ด้วยหลักการโวลแทมเมทรีคือต้องจัดเซลล์แบบ อิเล็กโทรไลติกเซลล์ ขั้วไฟฟ้าใช้งานต้องเป็นขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก และต้องมีการบันทึกกระแสตาม ศักย์ที่ให้กับขั้วหรือขั้วไฟฟ้า ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการพัฒนาการของเทคนิคการวิเคราะห์จาก โพลาริกราฟีซึ่งเป็นแบบคลาสสิก เกิดจากการพัฒนาดัดแปลงวิธีการในการบันทึกศักย์และกระแส ที่ต่างกันไป ถ้าถือว่าศักย์ที่ให้กับขั้วในช่วงระยะเวลาหนึ่งเป็นเสมือนสัญญาณกระตุ้นให้เกิด ปฏิกิริยาเคมี และเกิดการไหลของกระแส สัญญาณกระตุ้นที่แตกต่างกันไป ย่อมทำให้เกิดการตอบสนองของกระแสที่ต่างกัน เกิดเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบบต่างๆขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิธีโวลแทมเมทรี

การวิเคราะห์ด้วยวิธีโวลแทมเมทรีไม่ว่าเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบบใด ย่อมประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนของเซลล์เคมีไฟฟ้า และส่วนของเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณ ไฟฟ้า เซลล์เคมีไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมทรี มักเรียกเป็นเซลล์โวลแทมเมทรีเพราะมีความแตกต่างไปจากเซลล์เคมีไฟฟ้าธรรมดาอยู่บ้าง สำหรับเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้ามัก ประกอบด้วยอุปกรณ์ในการควบคุมศักย์ที่ให้แก่วัสดุ เรียกว่าโพเทนชิออสแตท และอุปกรณ์ในการอ่านค่ากระแสของวงจร อาจเรียกส่วนของการควบคุมสัญญาณไฟฟ้านี้ว่า โวลแทมเมตรีอะนา โลเชอร์ ในเครื่องมือของการทำโวลแทมเมทรีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ต่างๆ ยังมักประกอบด้วยอุปกรณ์ บันทึกผลข้อมูล และอาจสร้างเส้นกราฟได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เทคนิคต่างๆของโวลแทมเมตรี

Name	Voltage sweep program	Sensitivity	$\Delta E_{1/2}$ for resolution	Current-voltage curve
(a) Classical or linear-scan polarography		$10^{-4} M$	0.2 V	
(b) Differential pulsed polarography		$10^{-2} M$	0.05 V	
(c) Rapid-scan polarography		$10^{-3} M$	0.05 V	
(d) Cyclic voltammetry				
(e) Alternating-current polarography		$10^{-4} M$	0.05 V	
(f) Stripping voltammetry		$10^{-8} M$	0.1 V	

2.2.3 เซลล์โวลแทมเมตรี

เซลล์โวลแทมเมตรี มักใช้เรียกเซลล์เคมีไฟฟ้าในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่แตกต่างไปจากการทำโพเทนชิอเมตรีตรงที่ว่าขั้วไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมตรี มักประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าทำงาน และขั้วไฟฟ้าช่วยจุ่มอยู่ในสารละลายที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ และสารอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา มักเรียกว่าเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วย โดยสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยมักใช้ในปริมาณที่มากเกินพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode)

คุณสมบัติที่ถือเป็นลักษณะเฉพาะของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง คือมีค่าศักย์ที่แน่นอน ไม่แปรหรือขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสในวงจร ไม่ขึ้นกับส่วนประกอบของสารตัวอย่าง ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ดีต้องมีส่วนประกอบคงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงง่ายเมื่อเก็บไว้ และไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิด้วย

ในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าจำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เพื่อช่วยให้ครบวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปกติแล้วค่าศักย์ของวงจรที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า เป็นค่าที่เกิดจากผลต่างของศักย์จากขั้วไฟฟ้าทั้งสองของวงจร อาจเรียกค่าศักย์ของวงจรที่วัดได้นี้ว่าค่าศักย์สัมพัทธ์ ถ้าขั้วไฟฟ้าตัวหนึ่งของวงจรเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่รู้ค่าศักย์ที่แน่นอน ย่อมทำให้สามารถหาค่าศักย์ของอีกขั้วไฟฟ้าที่ต่อในวงจร ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าที่ใช้งาน นั่นคือการมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิงต่ออยู่ในวงจร เซลล์เคมีไฟฟ้าหนึ่งๆทำให้สามารถรู้ผลการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าที่เกิดกับขั้วไฟฟ้าใช้งานอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่าง ทำให้วิเคราะห์หาปริมาณของสารตัวอย่างได้

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือขั้วไฟฟ้าอ้างอิงปฐมภูมิ ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นชนิดแรกตามข้อกำหนดไว้ว่า ควรต้องเป็นขั้วไฟฟ้าที่สร้างได้ง่าย ผลที่เกิดที่ขั้วไฟฟ้าผันกลับไปมาได้เพื่อให้ขั้วไฟฟ้าคงสภาพมาตรฐานไว้ได้ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงประเภทที่สองคือขั้วไฟฟ้าอ้างอิงทุติยภูมิ ถูกพัฒนาเนื่องจากความไม่สะดวกของการมีแก๊สเป็นส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจน โดยพัฒนาเป็นโลหะเป็นส่วนประกอบ (ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงประเภทนี้จะรู้ค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้าได้ ต้องเทียบมาตรฐานกับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจน จึงเรียกขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนเป็นขั้วไฟฟ้าปฐมภูมิ) ที่ใช้กันค่อนข้างแพร่หลายคือ ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ และขั้วไฟฟ้าเมอร์คิวรี-เมอร์คิวรัสซัลเฟต เป็นต้น

2.2.5 ขั้วไฟฟ้าช่วย (auxiliary electrode)

จัดเป็นขั้วไฟฟ้าที่สามของวงจรโวลแทมเมตรีที่คุณลักษณะเฉพาะคือทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นขั้วที่รับพลังงานไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ส่งต่อผ่านสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่โดยขั้วไฟฟ้าช่วยนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่างระหว่างทำการวิเคราะห์ขั้วไฟฟ้าช่วยมักมีพื้นที่ผิวมากๆ เพื่อให้การนำไฟฟ้าเป็นไปได้ดี ลดการเกิดศักย์จากโอห์มของวงจร ขดลวดแพลทินัมหรือแผ่นแพลทินัม หรืออ่างปรอท มักใช้เป็นขั้วไฟฟ้าช่วยได้

2.2.6 ขั้วไฟฟ้าใช้งาน (working electrode)

การวิเคราะห์โวลแทมเมตรีนั้นขั้วไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างจากการวิเคราะห์อื่นๆ คือต้องใช้ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ทั้งนี้เพื่อให้พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าในการสัมผัสกับสารตัวอย่างมีน้อย เกิดสถานะของโพลาริเซชันตลอดการวิเคราะห์

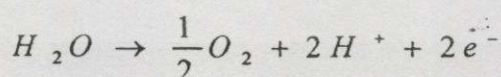
ส่วนประกอบหลักของชีวไฟฟ้าที่ใช้กันทางปฏิบัติ มักเป็นโลหะเฉื่อย เช่นแพลทินัมของ คาร์บอน และปรอท รูปแบบของชีวไฟฟ้าที่ผลิตออกสู่ท้องตลาดมีแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนประกอบของชีวไฟฟ้านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ที่กะทัดรัดเหมาะแก่การใช้งานวิเคราะห์ทั่วไป หรือการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์อื่นๆได้แก่ ชีวไฟฟ้าที่ส่วนประกอบอัดเป็นแผ่นแบนเล็กๆ เรียกคิสกือเล็กโทรด ดังรูปที่ 2.1(ก) ชีวไฟฟ้าแบบนี้ส่วนของแผ่นแบนเล็กๆนอกจากอาจเป็นแพลทินัม หรือคาร์บอน ยังอาจใช้เป็นพวกโลหะกึ่งตัวนำ เช่นดีบุก หรืออินเดียมออกไซด์ได้ด้วย โดยแผ่นที่ทำหน้าที่เป็นชีวไฟฟ้านี้ ถูกฝังอยู่ในแท่งวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่นเทปลอน และมีลวดตะกั่วเป็นตัวนำไฟฟ้าเสียบติดไว้ต่อกับวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปรอทนำมาทำเป็นชีวไฟฟ้าแบบแผ่นได้ โดยการทำให้เป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนแผ่นโลหะอีกที แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยม

ปรอทอยู่ในสถานะของเหลว ปรอทหยดทำหน้าที่เป็นชีวไฟฟ้าขนาดเล็กได้ ที่ใช้กันได้แก่ชีวไฟฟ้าปรอทหยดแขวน และชีวปรอทหยด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1(ข) และ 2.1(ค)

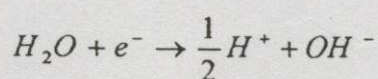
2.2.7 การเลือกใช้ชีวไฟฟ้าขนาดเล็ก

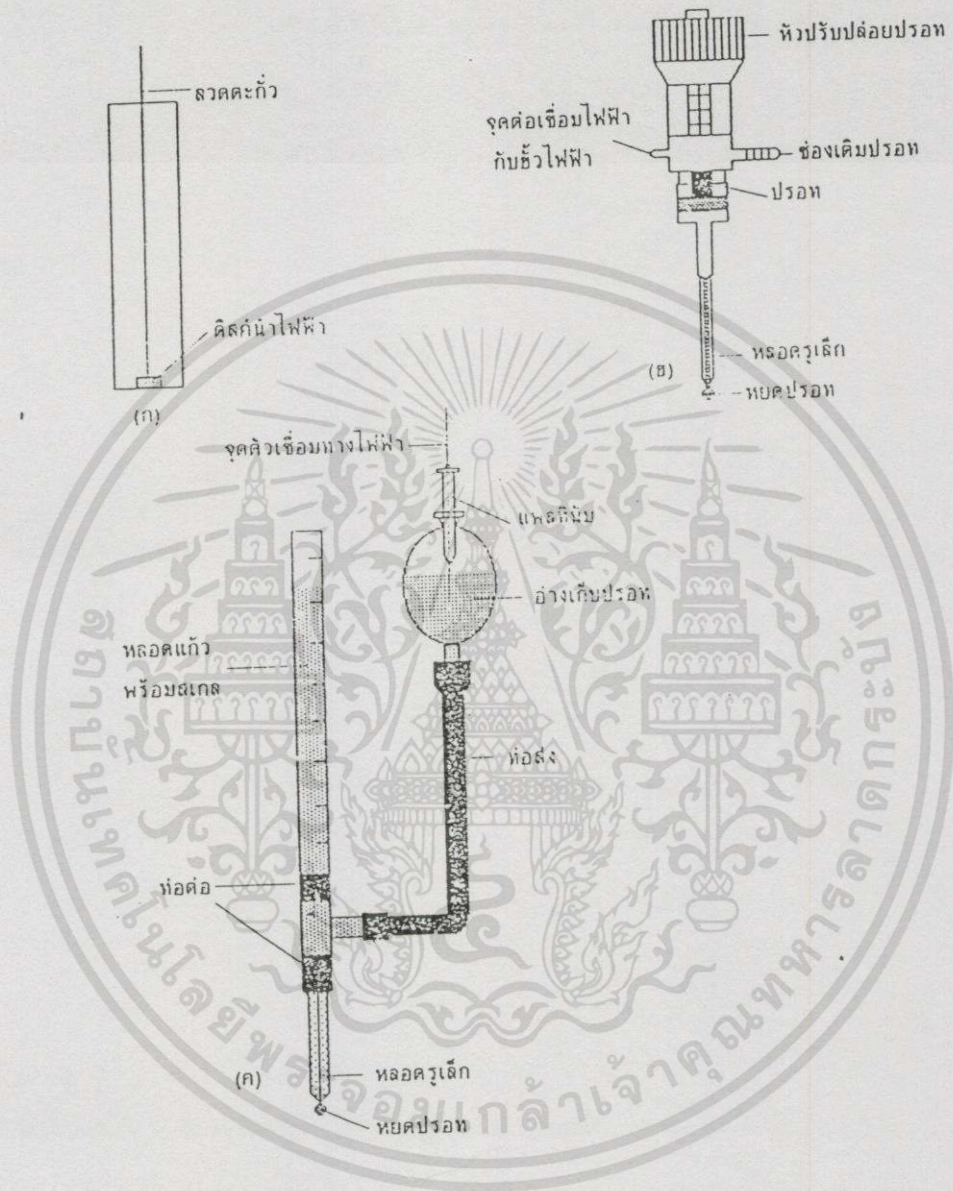
ชีวไฟฟ้าใช้งานในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ซึ่งเป็นชีวไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้ชีวไฟฟ้าขนาดเล็กจากแพลทินัม คาร์บอน หรือปรอท ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเมื่อต่อชีวไฟฟ้าเหล่านี้เข้ากับวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า จะให้ช่วงของศักย์ที่สัมพันธ์กับกระแสได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ชีวไฟฟ้าขนาดเล็กให้เหมาะสมด้วย โดยสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่เลือกใช้นั้น จึงจะวิเคราะห์สารนั้นๆได้

โดยทั่วไปตัวทำละลายของสารตัวอย่างมักเป็นน้ำ ช่วงศักย์ของแต่ละชีวไฟฟ้าอาจหาได้จากกราฟให้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แก่วงจรเซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีชีวไฟฟ้าขนาดเล็กที่ต้องการศึกษาเป็นชีวไฟฟ้าใช้งาน และชีวไฟฟ้าคาโธดเป็นชีวไฟฟ้าอ้างอิงอยู่ในน้ำ (อาจมีสารละลายช่วยด้วย) ศักย์ที่ให้กับวงจรจนเกิดการไหลของกระแส อันเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ และให้โมเลกุลออกซิเจน เป็นขีดจำกัดทางบวก



ขณะเดียวกันขีดจำกัดศักย์ทางลบได้จากการเกิดรีดักชันของน้ำ

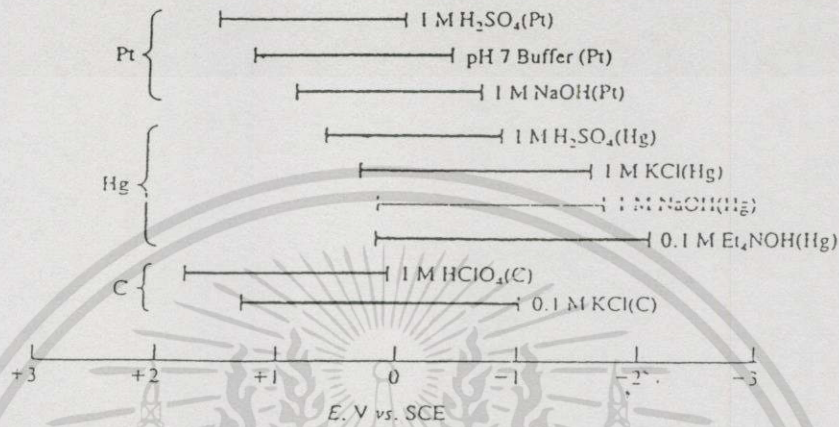




รูปที่ 2.1 แสดงขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กแบบต่างๆ (ก) ดิสก์อิเล็กโทรด (ข) ขั้วไฟฟ้าหยอดปรอทแขวน (ค) ขั้วไฟฟ้าปรอทหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีดจำกัดศักย์ทั้งบวก และลบแตกต่างกันในขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กแต่ละชนิด และยังต่างกันตามแต่ชนิดของสารละลายช่วยด้วย ซึ่ง Skoog และ West ได้สรุปเป็นผังของช่วงศักย์ของแต่ละชนิดของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กในสารละลายช่วยต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยชนิดต่างๆ

สำหรับขั้วไฟฟ้าที่เป็นแพลทินัมหรือคาร์บอนขีดจำกัดศักย์ทางบวกในการเกิดออกซิเดชันของน้ำมีค่าไม่น้อยกว่า +1.0 V ขึ้นกับชนิดของสารละลายช่วยด้วย โดยสารละลายช่วยที่มีความเป็นกรดสูง เช่น 1 M HClO₄ (C) หรือ 1 M H₂SO₄ (Pt) ในรูปที่ 2.2 ทำให้ขีดจำกัดศักย์ไฟฟ้าทางบวกมากขึ้น ส่วนขีดจำกัดศักย์ด้านลบของทั้งแพลทินัม และคาร์บอนมีความแตกต่างกัน เนื่องจากศักย์เกินตัวของไฮโดรเจน ที่ต่างกันของแต่ละขั้วไฟฟ้าด้วย ทำให้ขีดจำกัดศักย์ด้านลบของคาร์บอนได้ถึง -1.0 V หรือมากกว่า ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลาย แต่ขีดจำกัดศักย์ด้านลบของแพลทินัมได้เพียง -0.1 V เท่านั้น

ปรอทในการเป็นขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กมีขีดจำกัดศักย์ทางบวก และลบ ต่างจากแพลทินัม และคาร์บอน โดยช่วงศักย์ทางบวกสำหรับปรอท ต้องไม่มากกว่า 0.4 V เพราะปรอทเกิดออกซิเดชันได้ ขณะเดียวกันขีดจำกัดศักย์ทางด้านลบมีค่ามากกว่าการใช้แพลทินัม หรือคาร์บอน เพราะศักย์เกินตัวของไฮโดรเจนมีค่าสูงมาก ทำให้ศักย์ทางลบสำหรับปรอทได้มากถึง -2.0 V หรือมากกว่าตามแต่สารละลายช่วยที่ใช้ (รูปที่ 2.2)

นอกจากการเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กให้เหมาะสมกับสารตัวอย่างโดยการดูช่วงศักย์ที่เหมาะสม ถ้าศักย์ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง ไปทางด้านลบมากกว่า 0.1 V ยังต้องทำการขจัดออกซิเจนในสารตัวอย่างด้วย เพราะออกซิเจนสามารถเกิดรีดักชันได้ ดังนั้นเมื่อใช้คาร์บอนหรือปรอทเป็นขั้วไฟฟ้ามักต้องเสริมอุปกรณ์ไล่ออกซิเจนในการวิเคราะห์ แม้แพลทินัมไม่มี

ผลต่อออกซิเจน แต่ปัญหาที่มักประสบ คือการเกิดออกไซด์ของสารบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร ข้อสรุปเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดต่างๆตามตารางที่ 2.2 เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้น เพื่อให้สามารถแยกแยะการใช้ขั้วไฟฟ้าทั้งสามชนิดได้ในการวิเคราะห์ต่างๆ

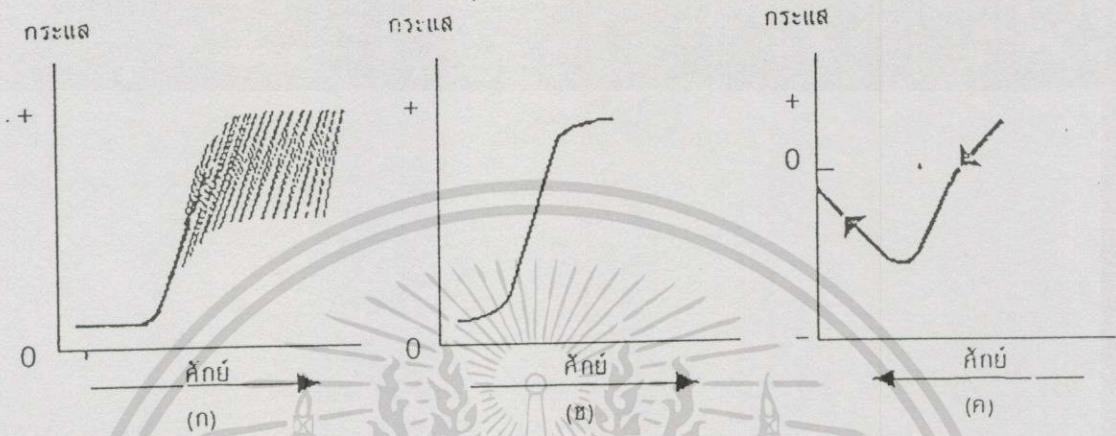
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดต่างๆ

	ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก		
	Pt	C	Hg
ช่วงศักย์ (V)	-0.1 ถึง +1.0	-1.0 ถึง +1.0	-2.0 ถึง +0.4
การขจัดออกซิเจน	ไม่จำเป็น	จำเป็น	จำเป็น
การเกิดออกไซด์	เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

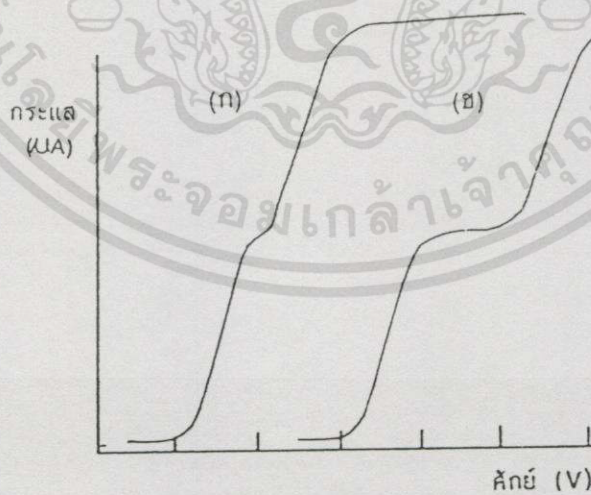
2.2.8 โวลแทมโมแกรม (voltammogram)

ในเทคนิควิธีการวิเคราะห์ใดๆในโวลแทมเมตรี เส้นกราฟที่ได้จากการพลอตระหว่างกระแสที่วัดได้กับศักย์ที่ให้กับขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก เรียกว่าโวลแทมโมแกรม (ยกเว้นสำหรับวิธีโพลารอกราฟี ที่เรียกว่าโพลารอแกรม) โวลแทมโมแกรมที่ได้จากสัญญาณกระตุ้นที่ต่างกันจะไม่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ข้อมูลของการวิเคราะห์ที่ได้จากโวลแทมโมแกรม คือกระแสจำกัด ซึ่งเป็นค่าที่แปรตามความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าขนาดเล็ก ใช้ค่านี้ในการหาปริมาณสารตัวอย่างได้ ลักษณะเฉพาะของกระแสจำกัด คือเป็นกระแสฟาราเดอิกที่มีค่าไม่ขึ้นกับการแปรของศักย์ที่ให้กับวงจร และค่าของกระแสถูกจำกัดด้วยอัตราความเร็วของการที่สารตัวอย่างถูกพาไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ข้อมูลจากโวลแทมโมแกรมในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร คือค่าศักย์ครึ่งคลื่นซึ่งเป็นค่าคงที่ของสารในสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยหนึ่งๆ เป็นค่าศักย์บนเส้นกราฟที่ค่ากระแสเป็นครึ่งหนึ่งของกระแสจำกัด กรณีที่สารตัวอย่างมากกว่า 1 ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้สารตัวอย่างถูกแยกออกจากกันได้ถ้าค่าศักย์ครึ่งคลื่นของแต่ละสารในสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยเดียวกันมีค่าต่างกันเกินมากกว่า 0.1 V ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) เปรียบเทียบกับในรูปที่ 2.4(ข)



รูปที่ 2.3 แสดงโวลแทมโมแกรม จากสัญญาณกระตุ้นแบบต่างๆ (ก) สัญญาณแบบลิเธียมไอออน
 (ข) สัญญาณแบบฟอล์ส (ค) สัญญาณแบบสตริปปีง

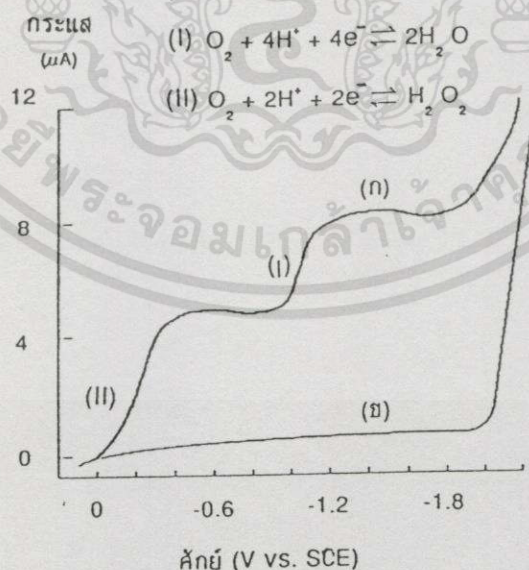


รูปที่ 2.4 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารผสมสองชนิด เมื่อศักย์ไฟฟ้าครั้งคลื่นต่างกัน
 (ก) 0.1 V (ข) 0.2 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 การขจัดออกซิเจน

โดยปกติแล้วออกซิเจนมีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศในรูปแก๊สและละลายอยู่ในสารละลายได้ด้วยสำหรับการวิเคราะห์ทางโวลแทมเมตรีโดยมีขั้วไฟฟ้าปรอทหยดเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน ออกซิเจนในสารละลายกลายเป็นสารรบกวนต่อการวิเคราะห์ เพราะออกซิเจนในสารละลายเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ที่ศักย์เพียง -0.1V เกิดเป็น H_2O_2 และที่ศักย์ประมาณ -0.9V ออกซิเจนถูกรีดักชันได้นำเกิดขึ้น ดังแสดงในโวลแทมโมแกรมรูปที่ 2.5(ก) ผลลัพธ์การเกิดรีดักชันของออกซิเจนทำให้เกิดกระแสแคโทดิกได้ไม่น้อยกว่า 5 ไมโครแอมแปร์ ทั้งออกซิเจนและ H_2O_2 ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆในสารตัวอย่างได้ด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์โวลแทมเมตรีต่างๆที่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าปรอทหยด หรือหยดปรอทแขวน จำเป็นต้องไล่ออกซิเจนออกจากสารละลายตัวอย่าง โดยการผ่านแก๊สเฉื่อยที่บริสุทธิ์ เช่นไนโตรเจน หรืออาร์กอน ลงไปในสารละลายตัวอย่างประมาณ 10 ถึง 15 นาที ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ และผ่านแก๊สปกคลุมบรรยากาศของสารตัวอย่างตลอดการวิเคราะห์ เพื่อแน่ใจว่าไม่มีการละลายของออกซิเจนลงไปในสารละลายตัวอย่างอีกและได้โวลแทมโมแกรมดังรูปที่ 2.5(ข)



รูปที่ 2.5 แสดงโวลแทมโมแกรมของ 0.1 M HCl (ก) แสดงการเกิดรีดักชันของ 0.1 M HCl

(ข) ขจัดออกซิเจนก่อนการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สตรีปปีงโวลแทมเมทรี

สตรีปปีงโวลแทมเมทรี เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้า ซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักที่มีปริมาณน้อยๆในสารละลายได้

สตรีปปีงโวลแทมเมทรีมีความคล้ายคลึงกับเทคนิคโพลารोगราฟี่แต่สตรีปปีงโวลแทมเมทรีประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนแรกคือ deposition ด้วยไฟฟ้าของสปีซีส์ทางเคมีบนผิวของขั้วทำงานที่เฉื่อยโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าที่คงที่

ขั้นตอนที่สอง เป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้า (voltage scan) แก่ขั้วใช้งาน ซึ่งจะมีผลทำให้มีการละลายเนื่องจากไฟฟ้า หรือการstripping เกิดขึ้นของสปีซีส์ทางเคมีที่ศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัวของสปีซีส์นั้นๆ

โดยทั่วไปรูปแบบของโวลเตจโปรแกรม สำหรับสตรีปปีงโวลแทมเมทรี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยรูปแบบของคลื่นเป็นการพล็อตระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วใช้งานเทียบกับเวลา ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆคือ

ขั้น conditioning เป็นขั้นตอนทำความสะอาดด้วยไฟฟ้า ของผิวขั้วทำงาน เพื่อเป็นการกำจัดโลหะไอออนที่ตกค้างอยู่ แต่ขั้นตอนนี้ไม่มีความจำเป็นถ้าใช้ขั้วไฟฟ้าใช้งานชนิดหยดปรอทแขวน เพราะในการตรวจวัดใช้ปรอทหยดใหม่ทุกครั้งจึงไม่มีการตกค้างเหลืออยู่

ขั้นตอน deposition ศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วทำงานในขั้นตอนนี้มีผลต่อโลหะไอออนที่สนใจ มีโอกาสที่จะสัมผัสกับขั้วใช้งาน และรวมตัวกับปรอทกลายเป็นอะมัลกัม (amalgam) ได้มากขึ้น โดยศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ deposition นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะไอออนที่สนใจ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เช่นเกิดการออกซิเดชัน หรือเกิดการรีดักชัน ระยะเวลา deposition ก็มีความสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ถ้าใช้เวลา deposition นาน ก็จะทำให้ได้กระแสที่มากขึ้นไปด้วย

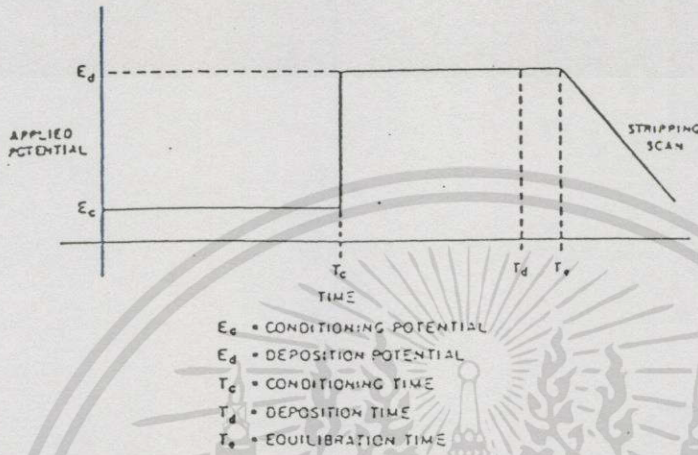
ขั้นตอน equilibration ในระหว่างขั้นตอนนี้จะมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับในขั้น deposition เพียงแต่ไม่มีการกวนสารละลาย เพื่อให้ลดกระแสที่เกิดจากการกวนสารละลาย และขั้นตอนนี้ยังเป็นการทำให้อะมัลกัมเสถียรมากที่สุด

ขั้นตอน stripping เป็นขั้นตอนที่โลหะไอออนที่ทำ deposition จะกลับไปเป็นไอออนในสารละลาย และทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างกระแสที่เกิดขึ้นเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ โดยกระแสที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะไอออนที่สนใจ

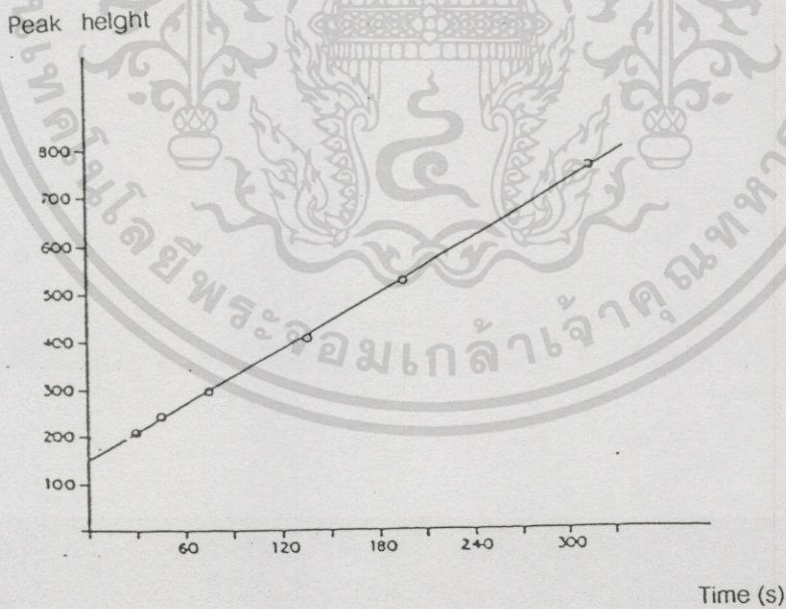
เทคนิคสตรีปปีงนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิค คือ

1. แอนโอดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี
2. แคโทดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี
3. แอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตรีปปีงโวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถตีพิมพ์หรือทำซ้ำในเชิงพาณิชย์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบของโวลเตจโปรแกรมสำหรับ stripping โวลแทมเมตรี



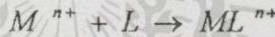
รูปที่ 2.7 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการ Deposit เทียบกับความสูงของพีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

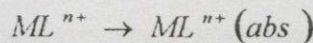
2.4 แออดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี

เป็นเทคนิคหนึ่งของสตริปปีงโวลแทมเมทรี มีการนำเทคนิคนี้มาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ.1983 ซึ่งเทคนิคนี้ถูกค้นพบจากการสังเกตปรากฏการณ์การดูดซับของสารละลายตัวอย่างในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ โดยเทคนิคแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี แล้วพบว่าปรากฏการณ์ดูดซับนี้ทำให้ความไว ของการทดลองเพิ่มมากขึ้น และยังเพิ่มความสูงของพีค (กระแส) มากขึ้นด้วย

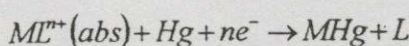
เทคนิคแออดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง นี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกคือขั้น deposition โดยอาศัยการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ กับลิแกนด์ที่เหมาะสม โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นสามารถเป็นได้ทั้งประจุบวก ประจุลบ และเป็นกลาง



ขั้น deposition (ให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่) เป็นขั้นตอนที่ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วใช้งานเพื่อทำให้เกิดการดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนบนผิวของขั้วใช้งาน (ขั้วปรอทแขวน) ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วใช้งานนี้ต้องเหมาะสม คือไม่ทำให้ขั้วใช้งานมีความเป็นบวกมากเกินไป (จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และมีความเป็นลบมากเกินไป (จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน) ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมนี้ในโลหะไอออนแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า deposition แล้วเปรียบเทียบปริมาณกระแสที่ได้ในขั้นตอน stripping โดยเลือกศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ให้กระแสในขั้นตอน stripping มากและเหมาะสมที่สุด เพราะว่าถ้าศักย์ไฟฟ้าสำหรับ deposition ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน หรือออกซิเดชัน ทำให้ปรากฏการณ์ดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ได้ปริมาณกระแสในขั้นตอน stripping น้อยลง ในขั้น deposition นี้ต้องมีการวนสารละลาย เพื่อช่วยให้สารประกอบเชิงซ้อนนั้นมีโอกาสได้สัมผัสกับผิวของขั้วใช้งานได้มากยิ่งขึ้น

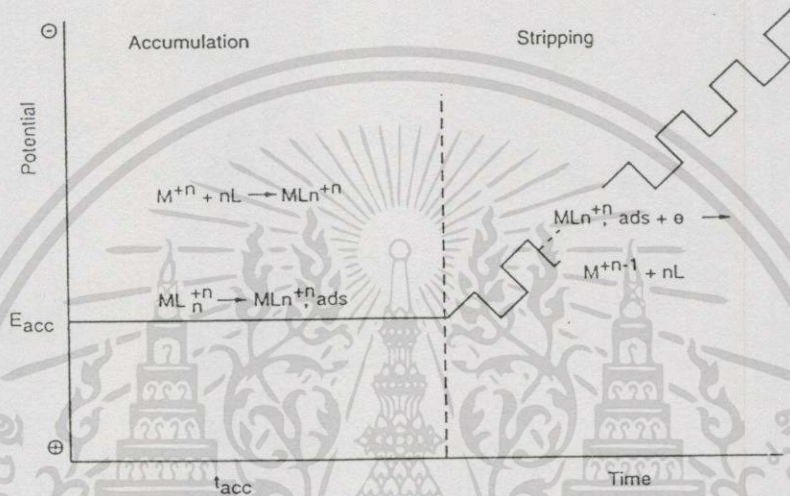


ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอน stripping (มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า) เป็นขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนเกาะอยู่ที่ขั้วใช้งาน เกิดปฏิกิริยารีดักชันทำให้โลหะไอออนเกิดการรวมตัวกับปรอทเกิดเป็นอะมัลกัม ให้กระแสแคโทดิกออกมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุใช้งานนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุใช้งานของเทคนิคแอตซอร์พทีฟสตริปปิงโวลแทมเมตรี

เทคนิคแอตซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปิงโวลแทมเมตรีนั้น มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ให้ในขั้น stripping ได้หลายแบบต่าง ๆ กันเช่น พัลส์ และดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาริกราฟี ลิเนียร์สวิป โพลาริกราฟี และไซคลิกโวลแทมเมตรี เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์โดยเทคนิคแอตซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปิงโวลแทมเมตรี มีด้วยกันหลายปัจจัยเช่น ชนิดของลิแกนด์ ความเข้มข้นของลิแกนด์ ความเป็นกรดเบส ค่าศักย์ไฟฟ้าในขั้น deposition และระยะเวลา deposition

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Constant et. al. (1986:111) ทำการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในน้ำทะเลโดยเทคนิคแอตซอร์พทีฟสตริปปิงโวลแทมเมตรี โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oxine ความเข้มข้น 2×10^{-5} M ค่าความเป็นกรดเบสที่ 7.5 deposition ที่ -1.1 V ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดระหว่าง $0.12 - 0.3$ nM

Constant (1989:1527) ทำการรวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรี ว่าสามารถทำการวิเคราะห์โลหะปริมาณน้อยๆ ได้ถึงระดับนาโนโมลาร์

Brito et. al. (1996:19) พบว่าในวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรีนั้น ผลของออกซิเจนในสารละลายตัวอย่างมีผลต่อความสูงของพีคที่ได้โดยถ้าไม่ได้ทำการไล่ออกซิเจน หรือไล่ออกซิเจนไม่หมดจะทำให้ความสูงของพีคมีมากขึ้น ซึ่งไม่ตรงกับความเป็นจริง

Carlo et. al. (1997:29) ทำการทดลองหาปริมาณทองแดง แคดเมียม และสังกะสี ในตัวอย่างน้ำทะเล โดยเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรี ใช้ Oxine 0.01 mM เป็นลิแกนด์ โดยใช้ Tris 0.01 M เป็นบัฟเฟอร์ deposition ที่ -1.4 V เป็นเวลานาน 90 วินาที และทำการสตริปปีงด้วยเทคนิคสแควร์เวฟมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.3 nM

Constant et. al. (1997:40) ทำการพัฒนาเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรี ในการหาปริมาณทองแดง แคดเมียม สังกะสี และนิกเกิล ในน้ำทะเลโดยใช้ลิแกนด์ผสมระหว่าง DMG กับ Oxine deposition ที่ -0.80 V มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดประมาณ 0.2 nM

Fries and Getrost (1977:28) เขียนไว้ในหนังสือ Organic Reagents for Trace Analysis ว่า Cupferron สามารถนำมาแยกโลหะไอออนได้ เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง โคโรเนียม เป็นต้น

Golimowski et. al. (1985:315) ทำการวิเคราะห์ทองแดงในระดับน้อยๆ ด้วย Cupferron Joseph and Jianmin (1992:1913) สามารถหาปริมาณทองแดงและยูเรเนียม โดยเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรี ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับ Cupferron ในน้ำทะเล

Elleouet et. al. (1992:301) ทดลองนำ Cupferron มาหาปริมาณทองแดง และตะกั่วได้เป็นผลสำเร็จ โดยเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรี

Wu and Wong (1991:301) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง แคดเมียมด้วย Catechol พบว่าถ้าในตัวอย่างมีสังกะสีอยู่มากจะเกิดการรบกวน ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ดีเท่าที่ควร

Janice and Tebello (1997:87) ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอตซอร์ฟิฟอสตริปปีงโวลแทมเมตรีของ บิสมาท ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม โดยการรวมตัวกับ Catechol เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4

Fries and Getrost (1977:412) เขียนไว้ในหนังสือ Organic Reagents for Trace Analysis ว่า Zincon สามารถรวมตัวกับสังกะสี และทองแดง เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตริ์ได้

Mccall and Davis (1958:1345) สามารถวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในดิน ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตริ์ โดยอาศัยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีกับ Zincon

Rush and Yoe (1954:1345) กล่าวว่า Zincon สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่ว เกิดเป็นสารละลายสีน้ำเงิน ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเบส

Fries and Getrost (1977:138) เขียนไว้ในหนังสือ Organic Reagents for Trace Analysis ว่า Sodium diethyldithiocarbamate สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตริ์ได้

Bobtelsky and Rafailoff (1957:321) กล่าวว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม ที่ตะกั่วสามารถรวมตัวกับ Sodium diethyldithiocarbamate เป็นสารประกอบเชิงซ้อนนั้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ pH 2 ถึง pH 14

Mayne and Moordhof (1953:625) สามารถวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในน้ำทะเล โดยอาศัยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Sodium diethyldithiocarbamate กับสังกะสี ในอีเทอร์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 262 nm, 280 nm หรือ 295 nm

Anastasios and Fielden (1993:1399) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณและพัฒนาเทคนิคแอดซอร์บ์ที่ฟอสตริ์ปิงโวลแทมเมตริ์ โดยเปรียบเทียบระหว่างขั้วใช้งานชนิดหยดปรอทแวนกับขั้วฟิล์มปรอท พบว่าขั้วใช้งานแบบฟิล์มปรอทสามารถใช้งานได้และได้ผลไม่แตกต่างกับการใช้ขั้วชนิดหยดปรอทแวน

กระทรวงอุตสาหกรรม(2521:4) กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มบรรจุขวดให้มีปริมาณโลหะหนักไว้ดังนี้

ตะกั่ว	ไม่เกิน	0.001 ppm
แคดเมียม	ไม่เกิน	0.010 ppm
ทองแดง	ไม่เกิน	1.000 ppm
สังกะสี	ไม่เกิน	5.000 ppm

สมทรัพย์ อธิคมรังษฤษฎ์ (2535:40) กล่าวถึงความเป็นอันตรายของโลหะหนักต่อมนุษย์ และปริมาณที่มนุษย์พอจะรับได้ เช่น ตะกั่วถ้าในเลือดมีตะกั่วมากกว่า 400 ppm จะทำให้เสียชีวิตได้ ส่วนแคดเมียมนั้นไม่ควรมีในเลือดเกิน 0.01 ppm เป็นต้น

เลิศลักษณ์ สุพุดนิพานิชย์ (2539:77) ทำการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในน้ำดื่มบรรจุขวดพบว่า มีเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดที่ไม่ได้มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม ของทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี
2. Cupferron (N-nitrosophenylhydroxylamine ammonium salt) (Analytical grad ของ Fuka)
3. Oxine (8-hydroxyquinoline) (Analytical grad ของ Fuka)
4. Catechol (Analytical grad ของ Fuka)
5. Sodium diethyldithiocarbamate (NaDDTC) (Analytical grad ของ Fuka)
6. Zincon (2-[[α -(2-Hydroxy-5-sulfophenylazo)benzylidene]hydrazino] - benzoic acid monosodium salt) (Analytical grad ของ Fuka)
7. Potassium chloride (Analytical grad ของ Merck)
8. Hydrochloric acid (Analytical grad ของ Merck)
9. Sodium acetate (Analytical grad ของ Merck)
10. Potassium hydrogen phosphate (Analytical grad ของ Fuka)
11. Sodium hydrogen phosphate (Analytical grad ของ Merck)
12. Boric acid (Analytical grad ของ Fuka)
13. Sodium hydroxide (Analytical grad ของ Merck)
14. DI water

3.1.2 อุปกรณ์

1. 746 VA Trace Analyzer ต่อกับ 695 Auto sampler และ 647 VA Stand (METROHM)

1.1 Working electrode ชนิด HMDE

1.2 Reference electrode ชนิด Ag/AgCl ใน 3M KCl

1.3 Auxiliary electrode ชนิด Pt

2. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ชนิด Non-Flame (SHIMADSU)

3. pH meter (METROHM)

4. เครื่องชั่ง (SARTORIUS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัย

การศึกษาดังกล่าวที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด โดยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

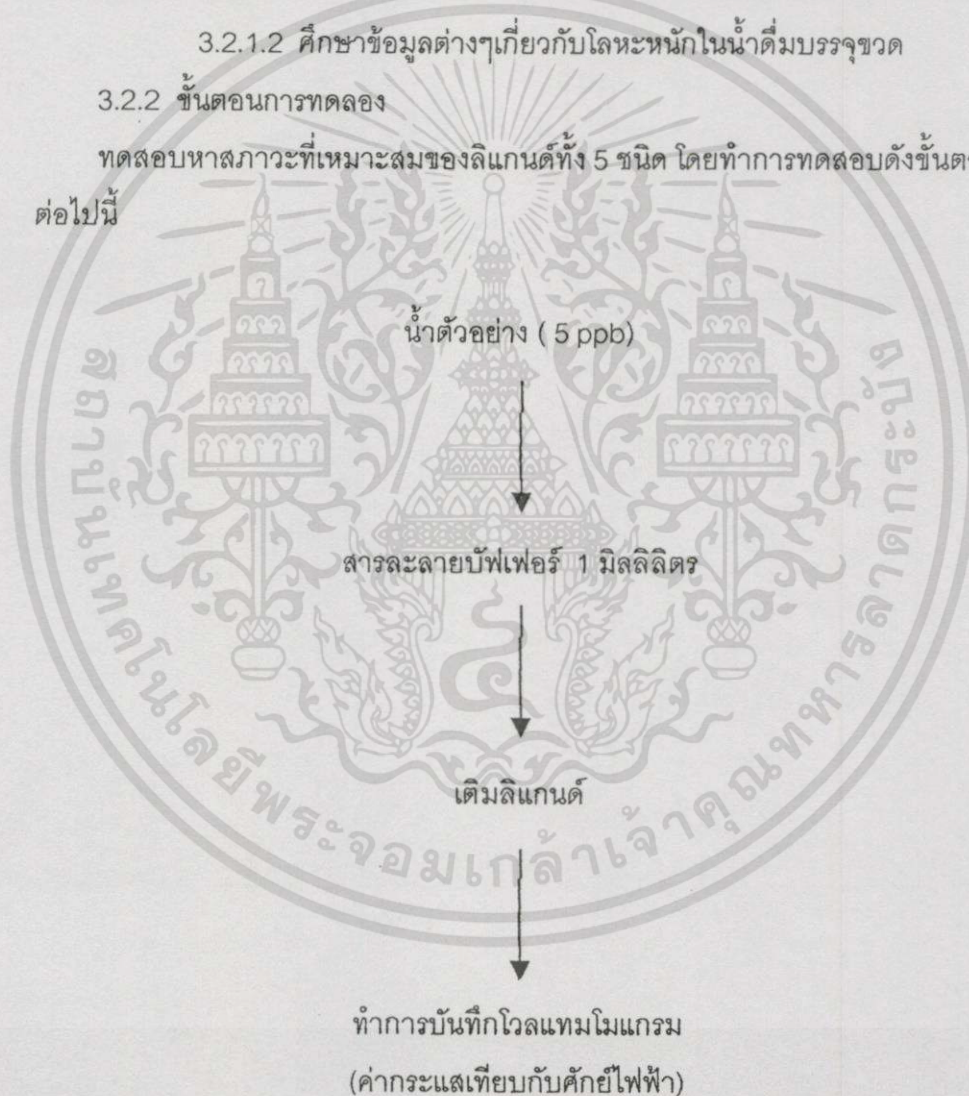
3.2.1 ชั้นเตรียมการ

3.2.1.1 ศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี ในการหาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี

3.2.1.2 ศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับโลหะหนักในน้ำดื่มบรรจุขวด

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของลิแกนด์ทั้ง 5 ชนิด โดยทำการทดสอบดังขั้นตอนต่อไปนี



สภาวะที่ใช้ในการบันทึกโวลแทมโมแกรม

TECHNIQUES	Differential pulse	Pulse amplitude 50 mV
PRETREATMENT	Purge time	300 s
	Deposition potential	-600 mV
	Deposition time	60 s
	Equilibration time	15 s
MEASUREMENT	Initial potential	200 mV
	End potential	-1,150 mV

ทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างดังต่อไปนี้

pH	pH 1 ถึง pH 10
Deposition potential	100 mV ถึง -1,500 mV
Deposition time	0 s ถึง 180 s
concentration of ligand	0 M ถึง 3.69 mM
Equilibration time	0 s ถึง 120 s
Purge time	0 s ถึง 540 s
Pulse amplitude	10 mV ถึง 90 mV
Detection limit	

3.2.3 ประเมินผลเปรียบเทียบชนิดของลิแกนด์ที่เหมาะสมในการใช้งาน

หลังจากทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของลิแกนด์ทั้ง 5 ชนิดได้แล้วจากนั้นจึงนำผลการทดลองของลิแกนด์ทั้ง 5 ชนิดมาตัดสินใจ โดยเปรียบเทียบว่าลิแกนด์ชนิดใดที่ทำในสภาวะที่เหมาะสมแล้วให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ปริมาณน้อยๆ ในสารละลายตัวอย่าง

3.2.4 ทดสอบการใช้งานและประเมินผล

หลังจากทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมและชนิดของลิแกนด์ที่เหมาะสมได้แล้ว จากนั้นเป็นขั้นตอนการทดสอบเทคนิคที่ได้ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเทคนิค AAS

3.2.5 ขั้นตอนการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลจะสรุปผลตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในตอนต้น โดยสรุปตามประเด็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

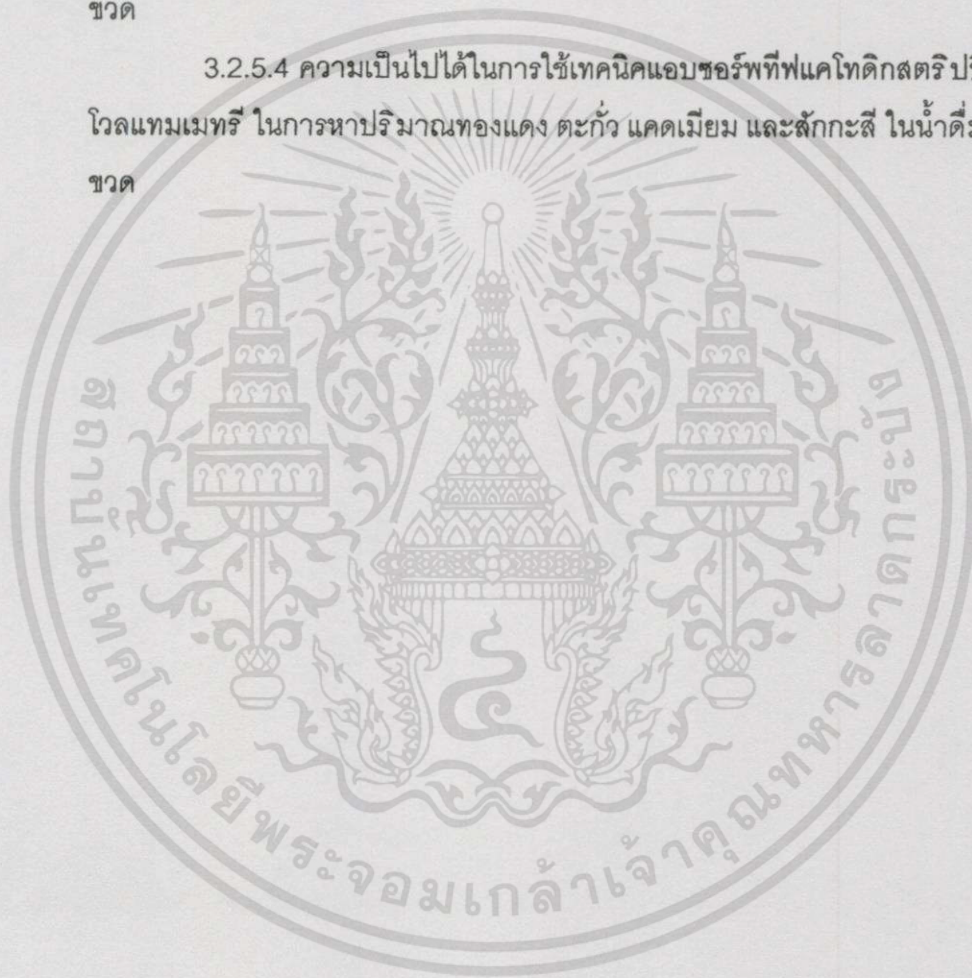
ต่างๆดังนี้

3.2.5.1 สภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคแอมัลกัมไทเทเนียม-ปรอทอินทรีย์ ปิงโวลแทมเมตรี

3.2.5.2 ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสี ของเทคนิคแอมัลกัมไทเทเนียม-ปรอทอินทรีย์

3.2.5.3 การหาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด

3.2.5.4 ความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคแอมัลกัมไทเทเนียม-ปรอทอินทรีย์ ในการหาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอดซอร์พทีฟ แคลโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีเมื่อใช้Cupferron เป็นลิแกนด์

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

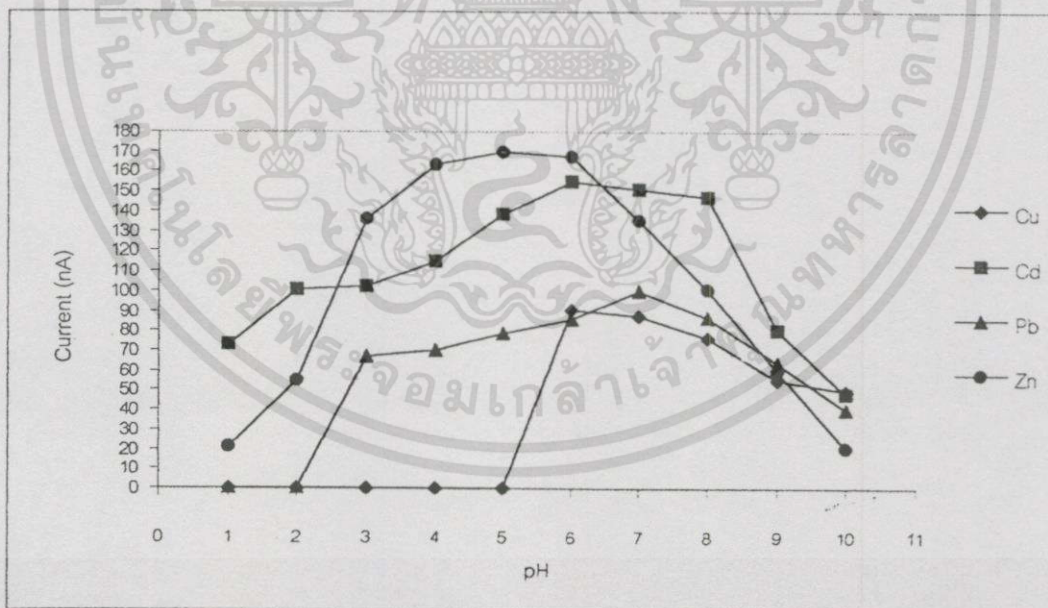
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.1 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทดลองคือ พีเอช 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคโพเทนชิโพลีกราฟโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.2 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition ที่เหมาะสมคือ -1000 มิลลิโวลต์

4.1.3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

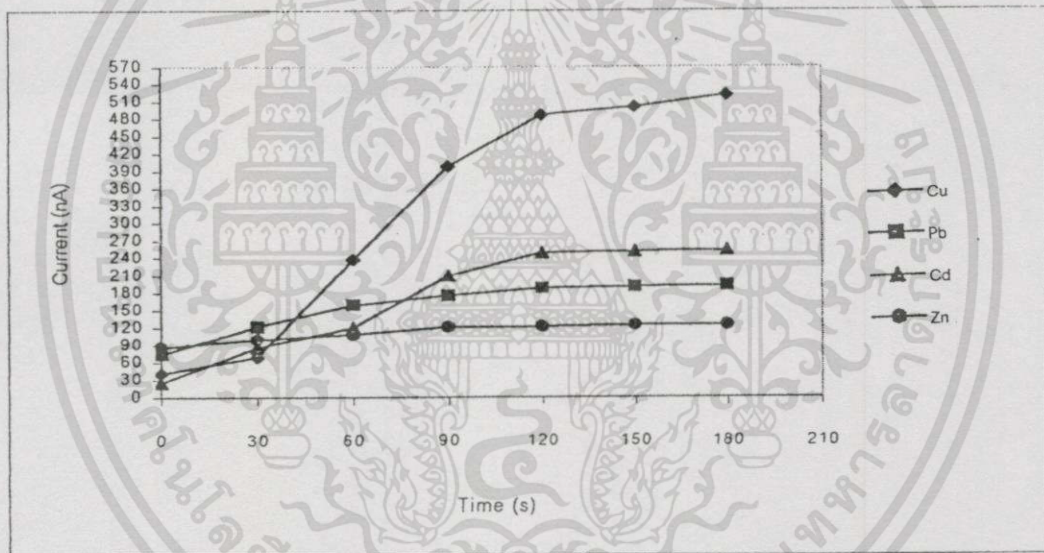
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.3 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสมคือ 120 วินาที

4.1.4 ความเข้มข้นของ Cupferron

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

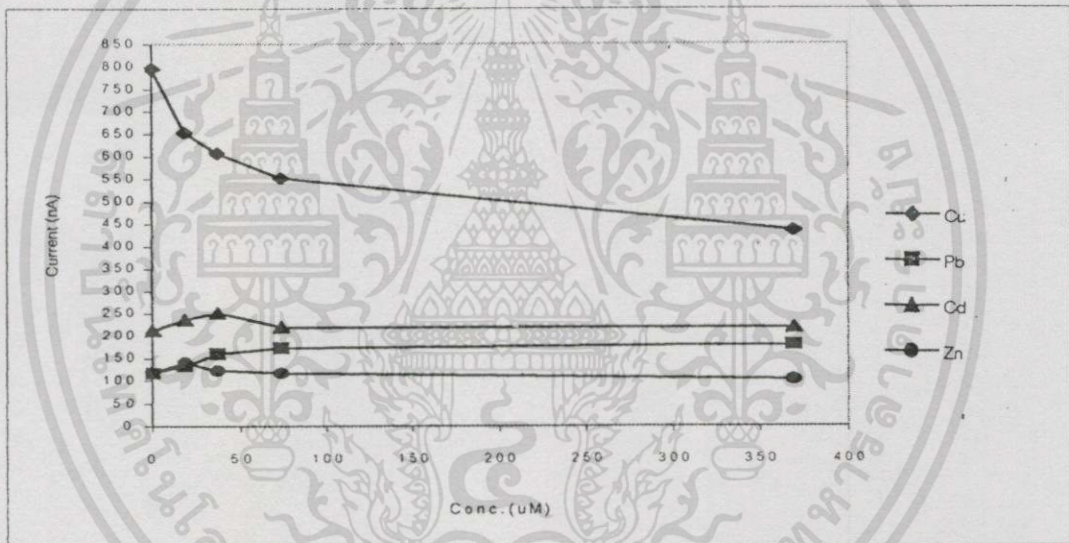
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพลัสโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.4 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้นของ Cupferron ที่เหมาะสมคือ 73.8 ไมโครโมลาร์

4.1.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซีเจน

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.5 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซีเจน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลาในการไล่ออกซีเจนที่เหมาะสมคือ 60 วินาที

4.1.6 ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

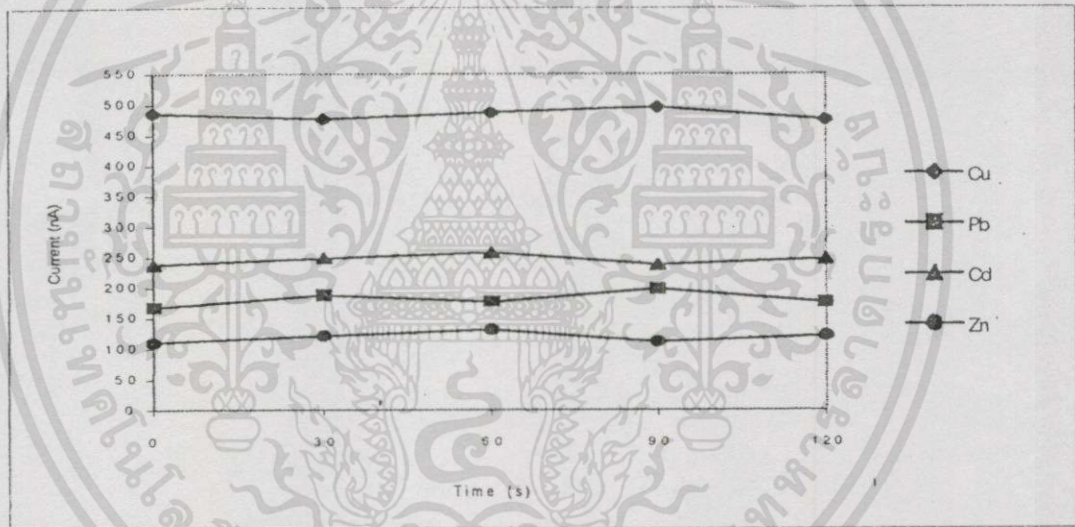
ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.6 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาที

4.1.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

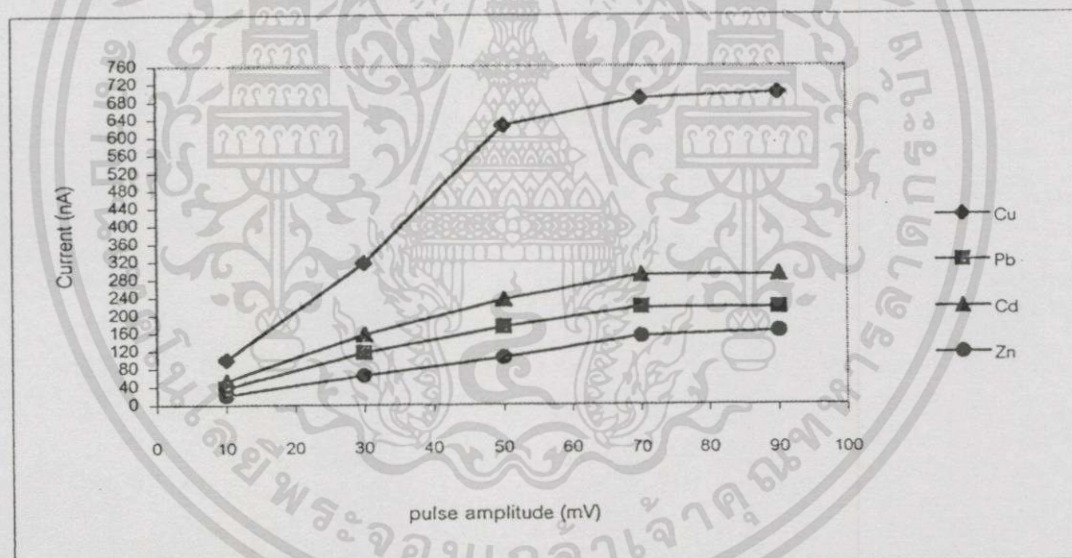
ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

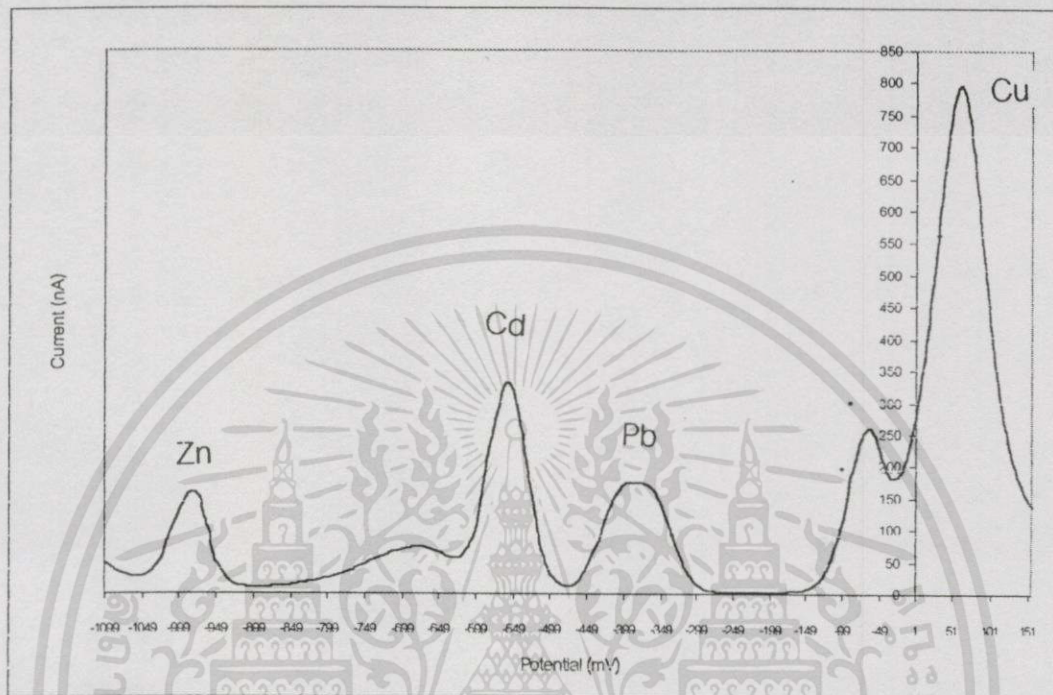
ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที



รูปที่ 4.7 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสมคือ 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.8 แสดงแอตเซอร์ฟิฟแคโทดิกสตริปปิงโวลแทมโมแกรมของ ทองแดง 500 พีพีบี ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี 1000 พีพีบี ที่สภาวะดังนี้
 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6
 ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์
 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที
 ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์
 ระยะเวลา deposition 120 วินาที
 ระยะเวลา equilibration 15 วินาที
 พัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิก สตรีปปีงโวลแทมเมทรีเมื่อใช้Oxine เป็นลิแกนด์

4.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.9 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ พีเอช 8

4.2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

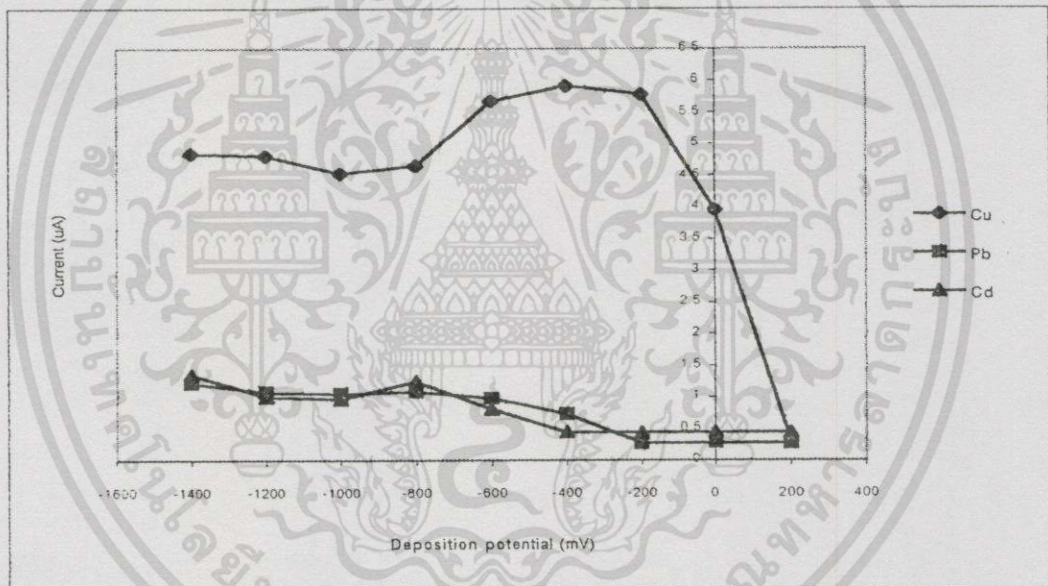
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.10 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition ที่เหมาะสมคือ -1200 มิลลิโวลต์

4.2.3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

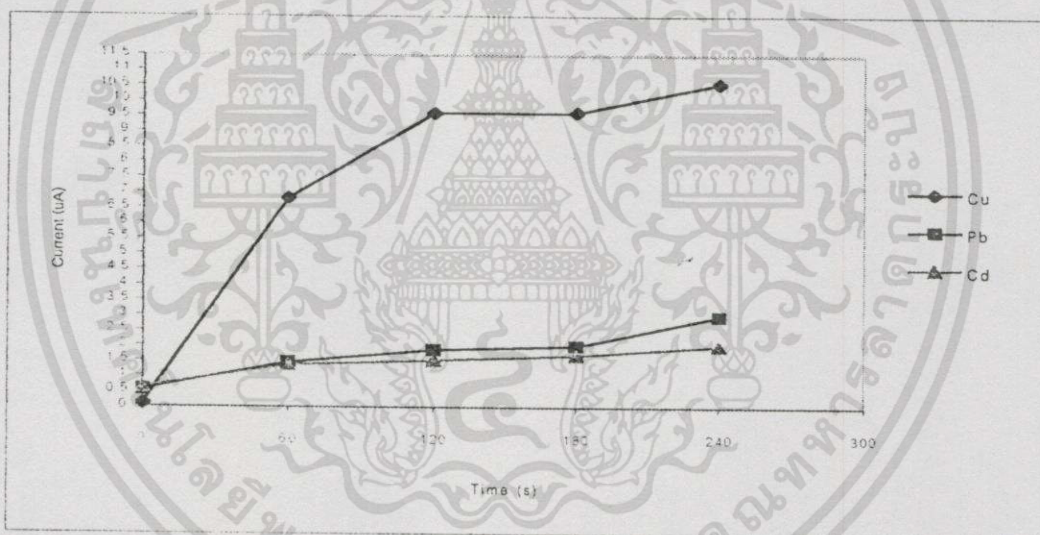
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.11 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสมคือ 120 วินาที

4.2.4 ความเข้มข้นของ Oxine

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

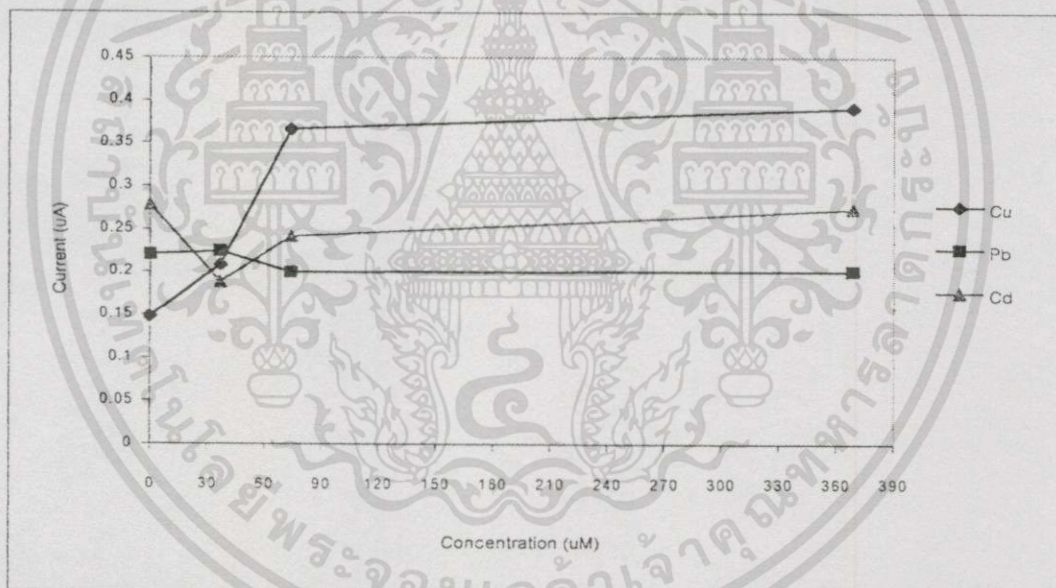
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.12 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Oxine ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้นของ Oxine ที่เหมาะสมคือ 73.8 ไมโครโมลาร์

4.2.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

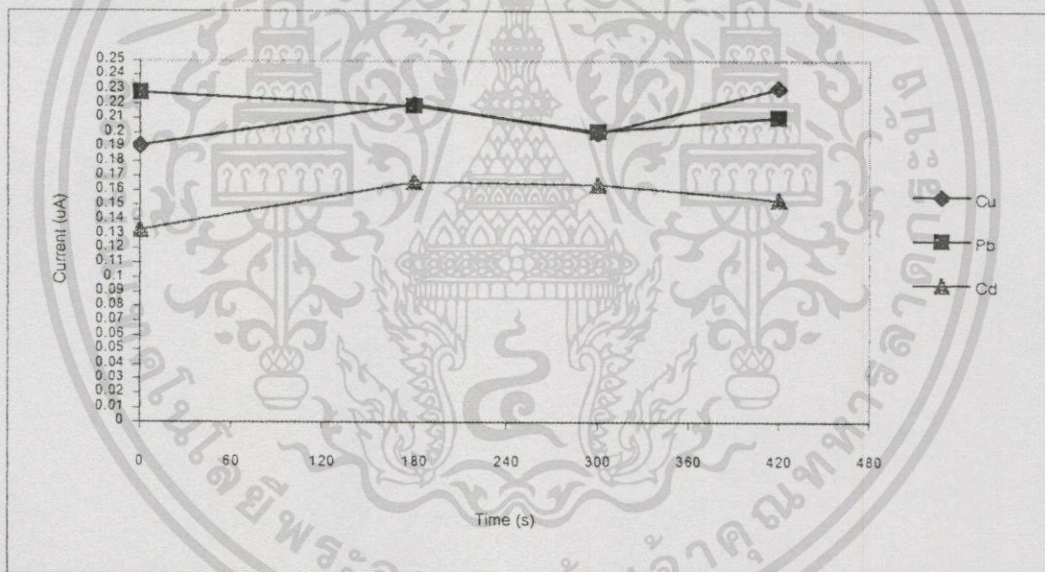
ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.13 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนที่เหมาะสมคือ 60 วินาที

4.2.6 ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

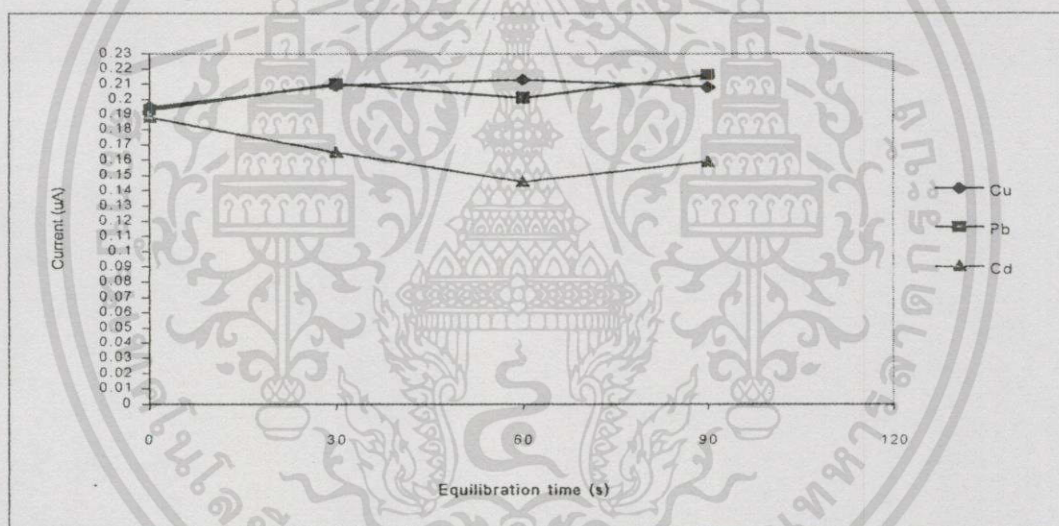
ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคคิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.14 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาที

4.2.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

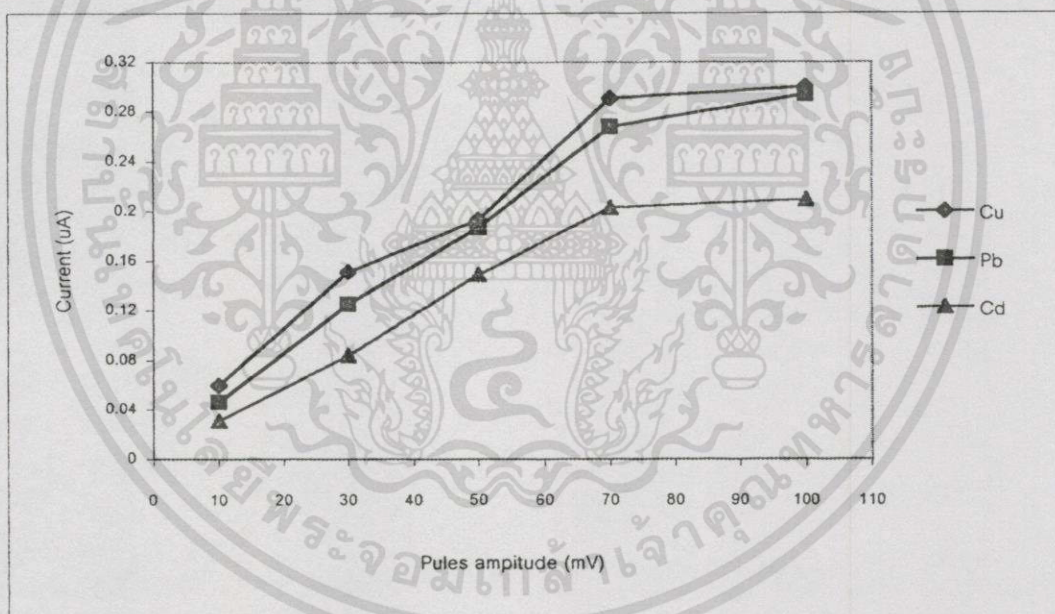
ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

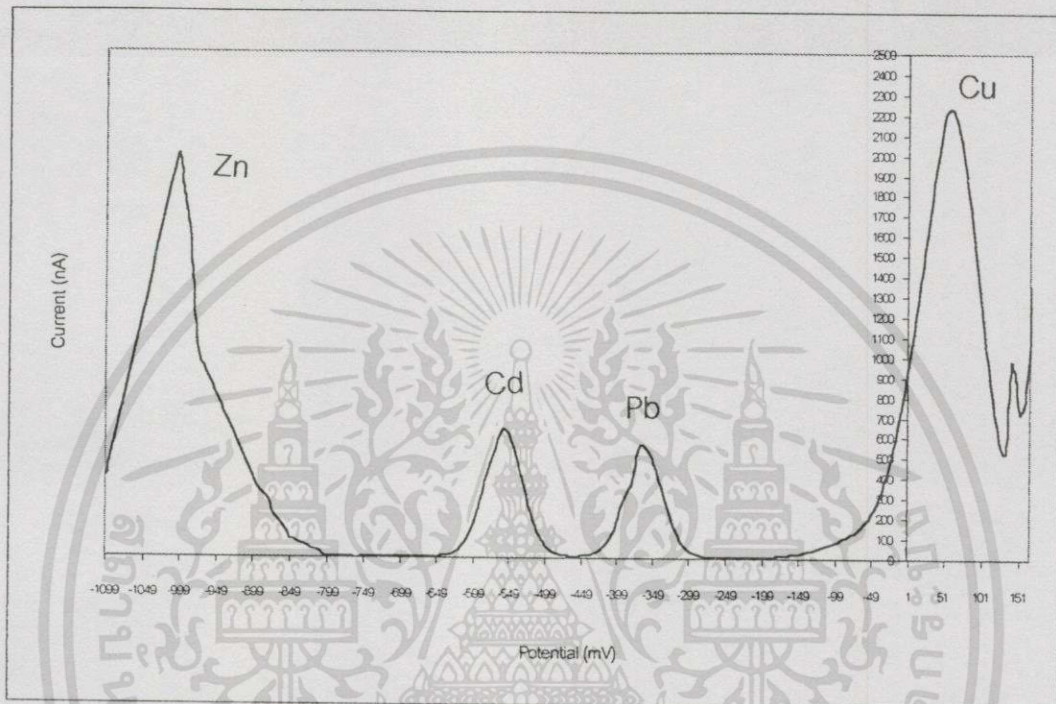
ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที



รูปที่ 4.15 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสมคือ 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.16 แสดงแอตซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงวัฏธรมโนแกรมของ ทองแดง 500 พีพีบี ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี 1000 พีพีบี ที่สภาวะดังนี้
 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8
 ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์
 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที
 ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์
 ระยะเวลา deposition 120 วินาที
 ระยะเวลา equilibration 15 วินาที
 ทัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทิฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีเมื่อใช้Catechol เป็นลิแกนด์

4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.17 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทดลองคือ พีเอช 4

4.3.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

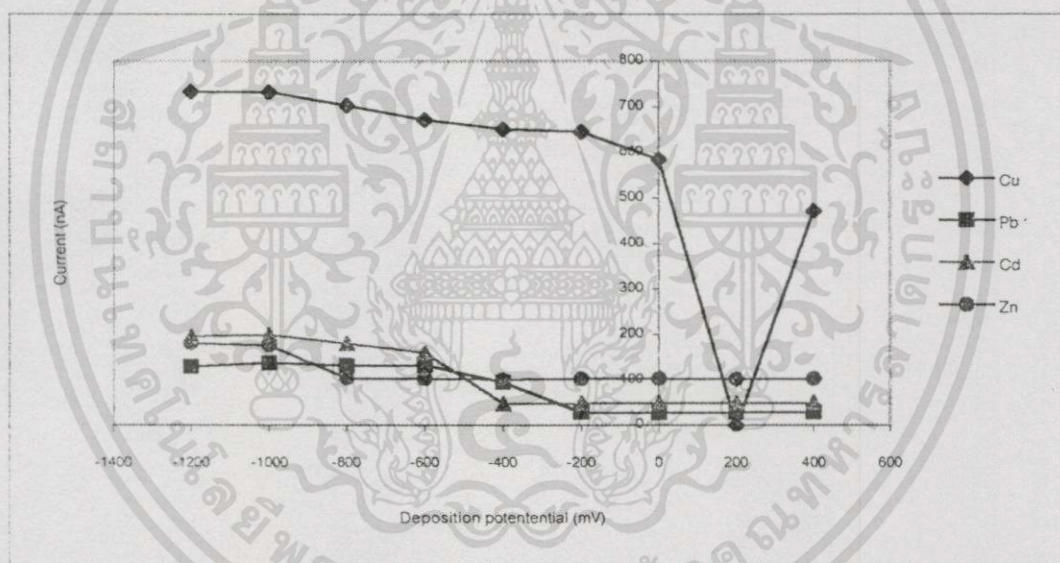
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคพิโพแอมเพอเมตรีโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.18 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition ที่เหมาะสมคือ -1000 มิลลิโวลต์

4.3.3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

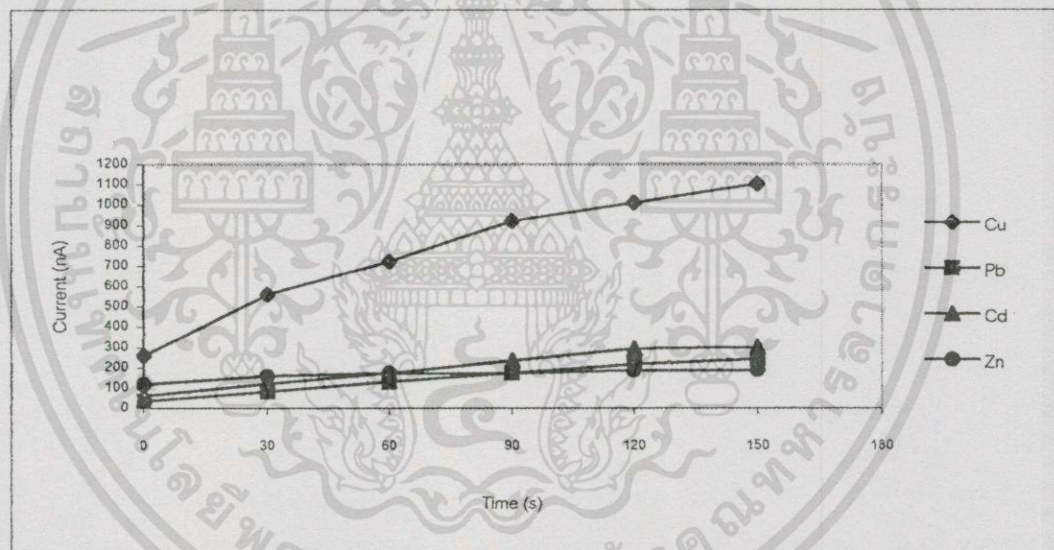
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 30 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.19 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสมคือ 90 วินาที

4.3.4 ความเข้มข้นของ Catechol

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

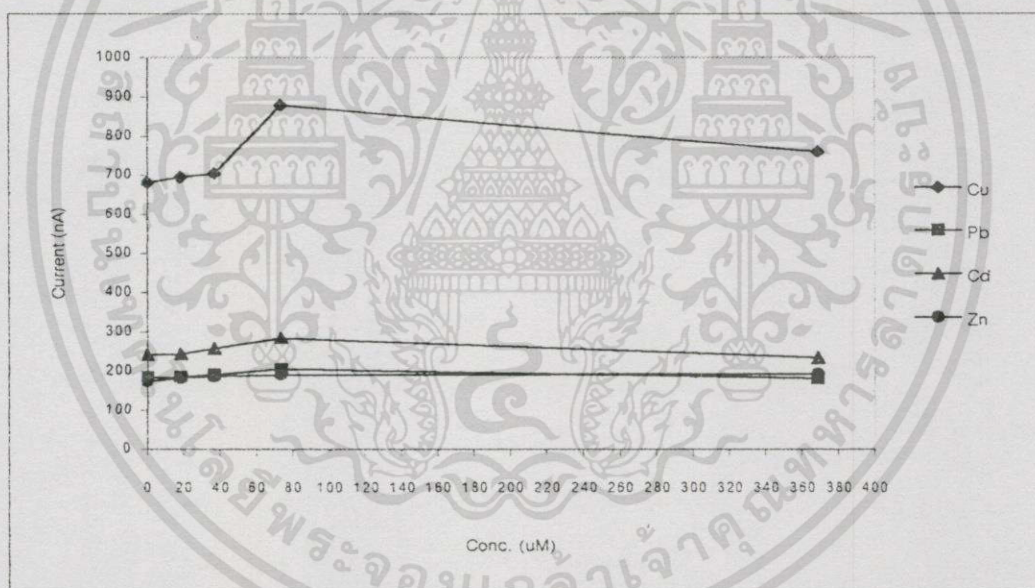
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.20 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Catechol ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้นของ Catechol ที่เหมาะสมคือ 73.8 ไมโครโมลาร์

4.3.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

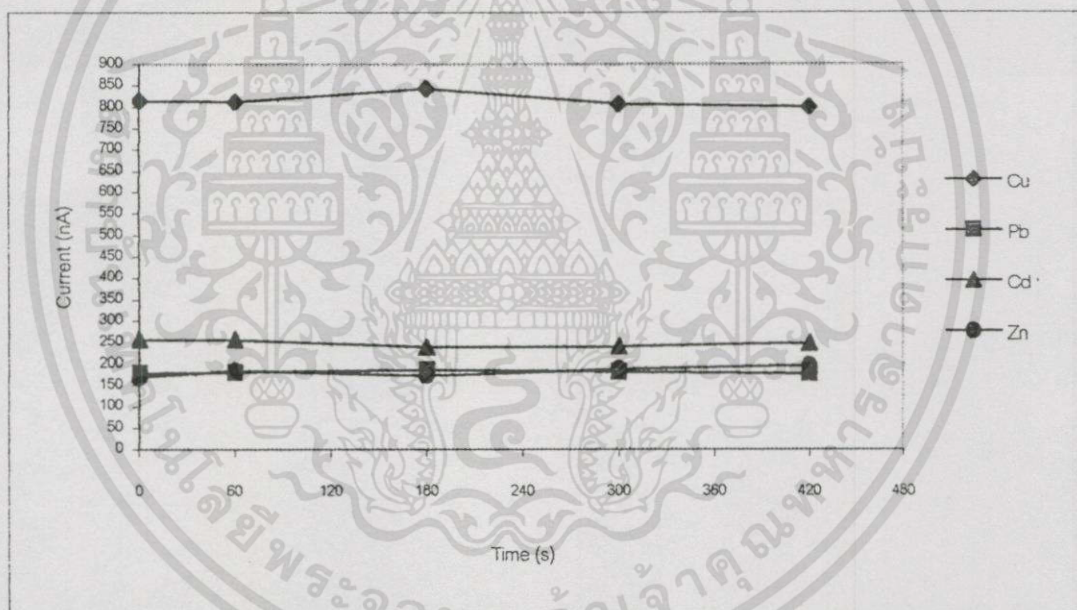
ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.21 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนที่เหมาะสมคือ 60 วินาที

4.3.6 ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

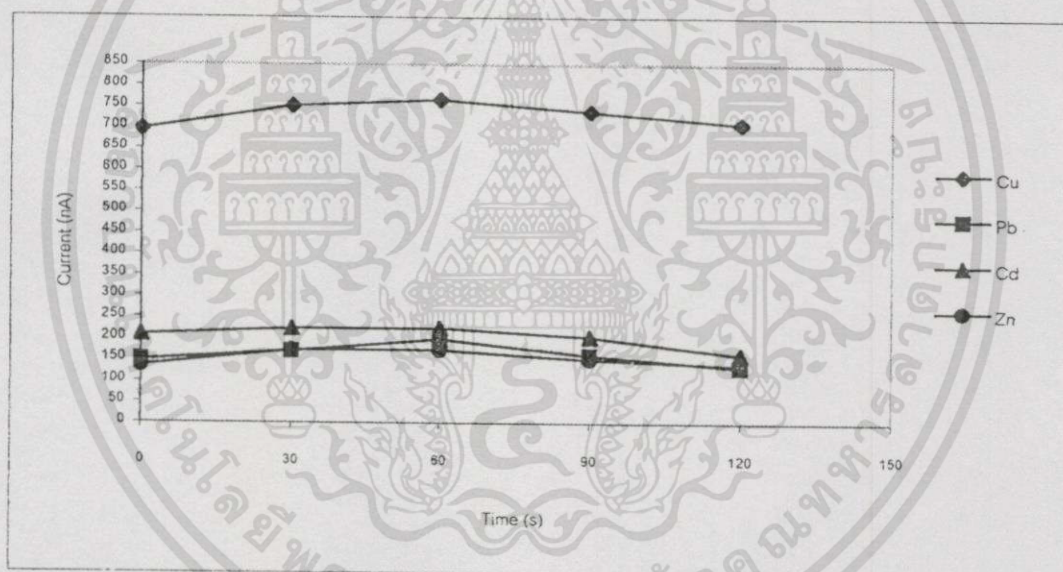
ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.22 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการ equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

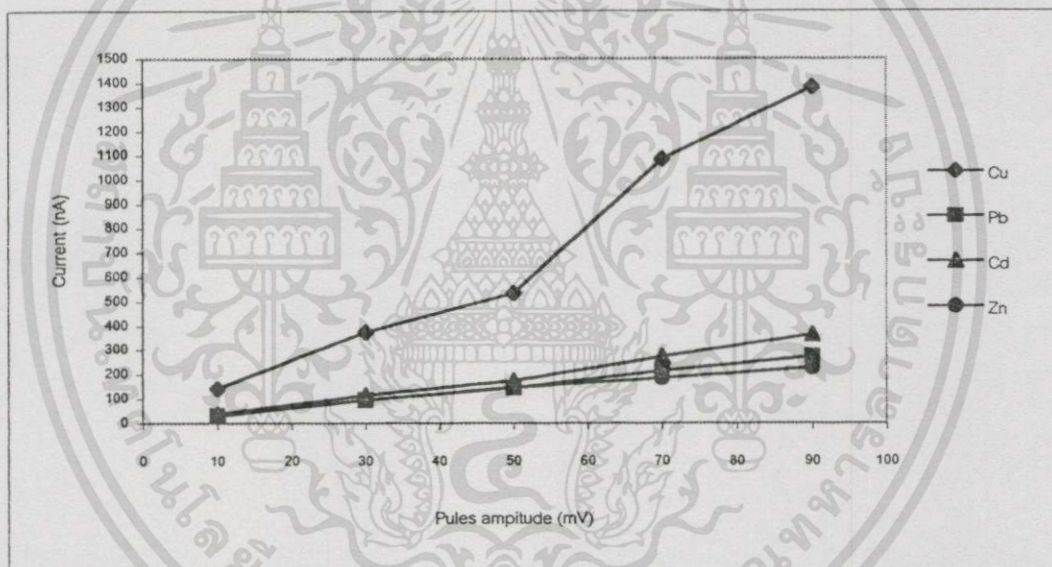
ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

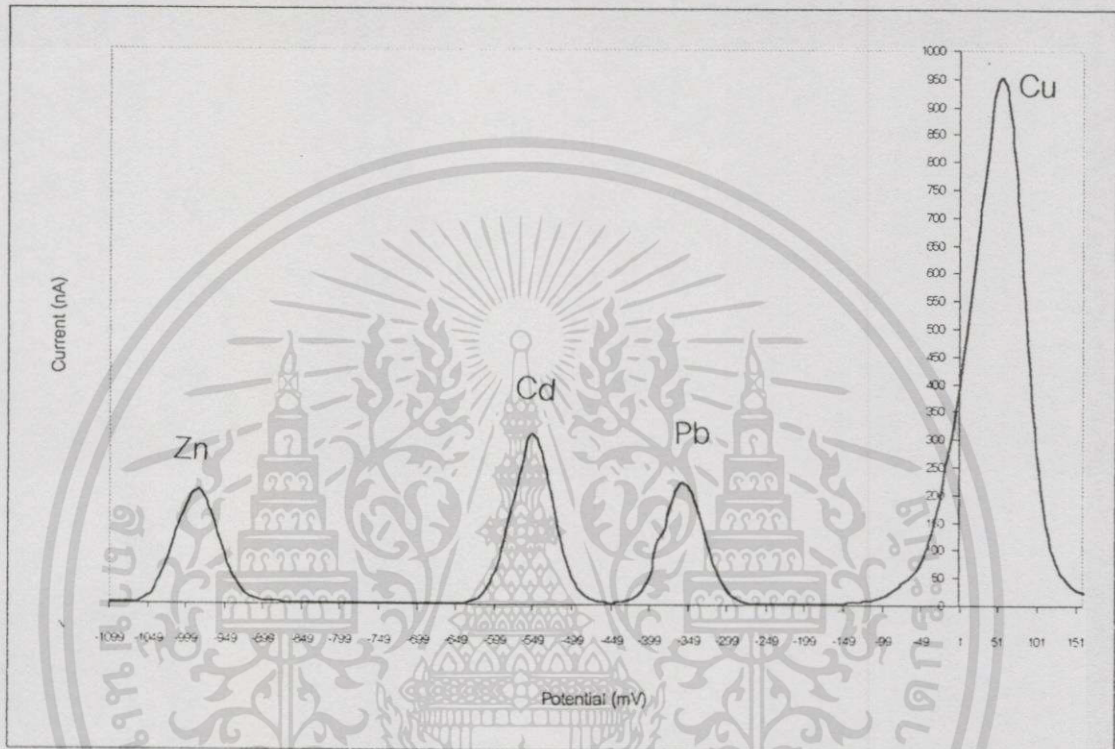
ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที



รูปที่ 4.23 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสมคือ 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.24 แสดงแอมเพอโรแกรมโพตENTIALสวิตติงของ ทองแดง 500 พีพีบี ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี 1000 พีพีบี ที่สภาวะดังนี้
 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4
 ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์
 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที
 ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์
 ระยะเวลา deposition 90 วินาที
 ระยะเวลา equilibration 15 วินาที
 พัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทิฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรีเมื่อใช้Zincon เป็นลิแกนด์

4.4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

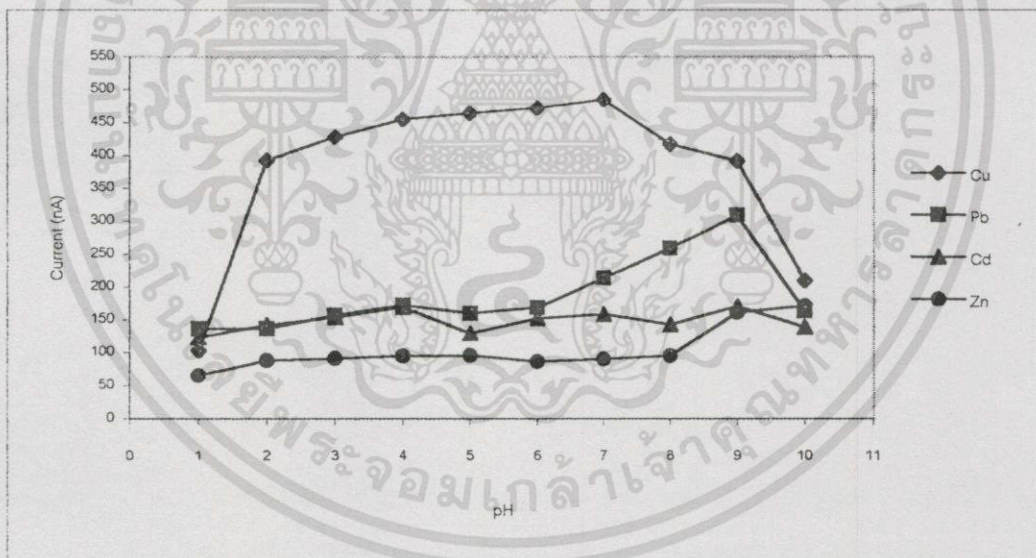
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.25 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทดลองคือ พีเอช 9

4.4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

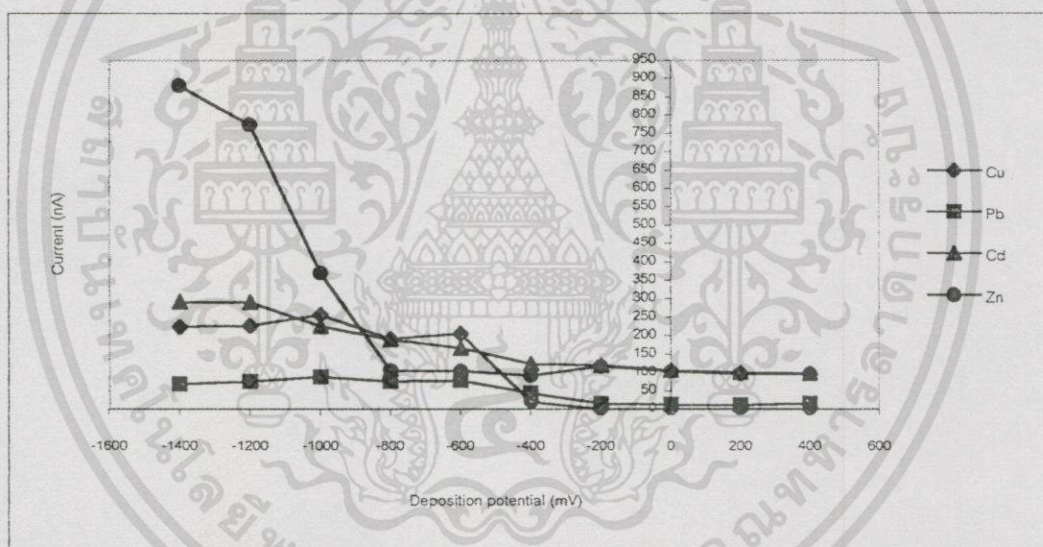
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโวลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.26 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition ที่เหมาะสมคือ -1200 มิลลิโวลต์

4.4.3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

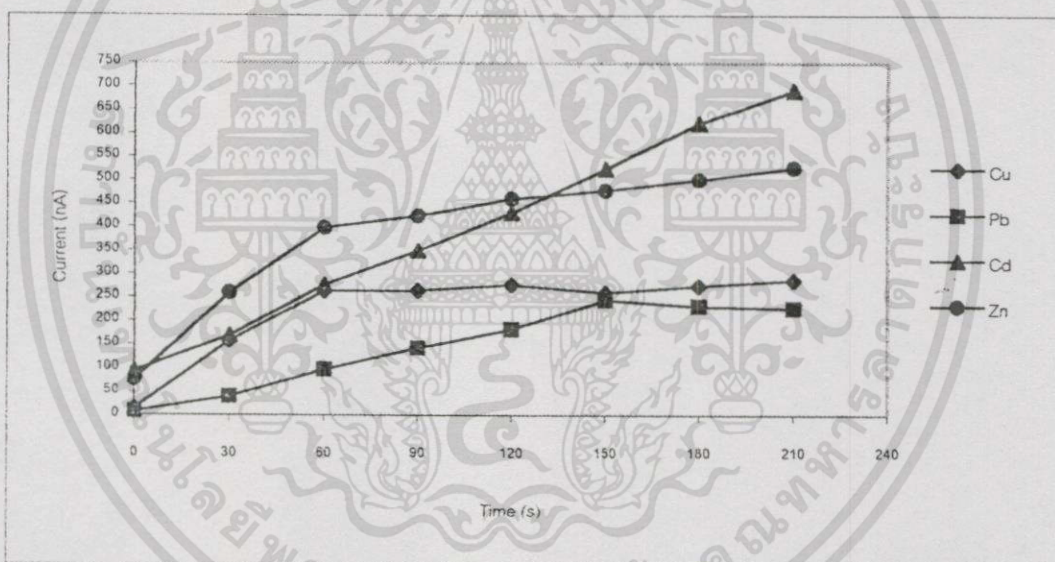
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.27 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสมคือ 150 วินาที

4.4.4 ความเข้มข้นของ Zincon

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

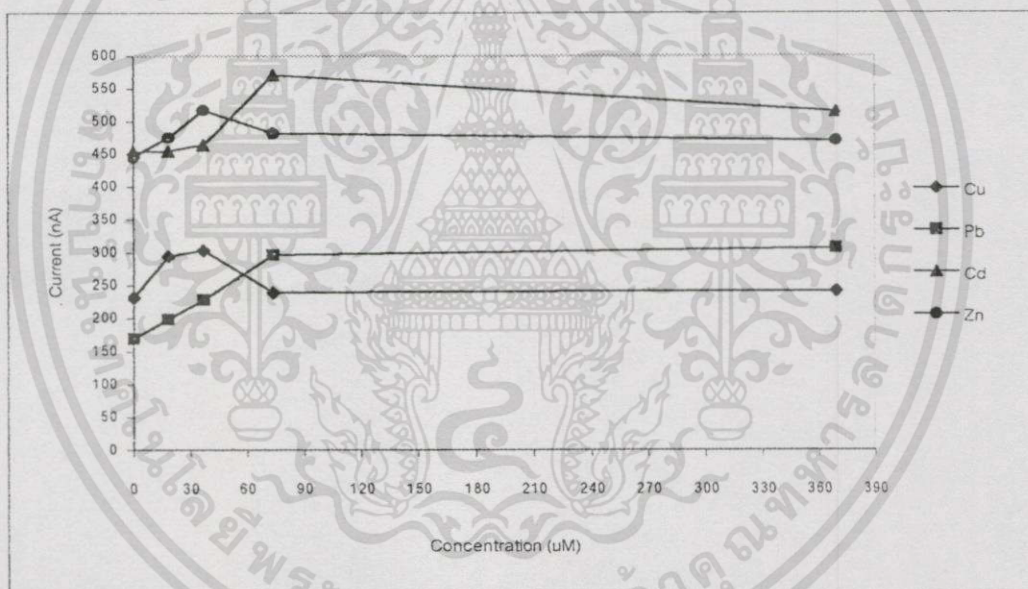
ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.28 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Zincon ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้นของ Zincon ที่เหมาะสมคือ 73.8 ไมโครโมลาร์

4.4.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซีเจน

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

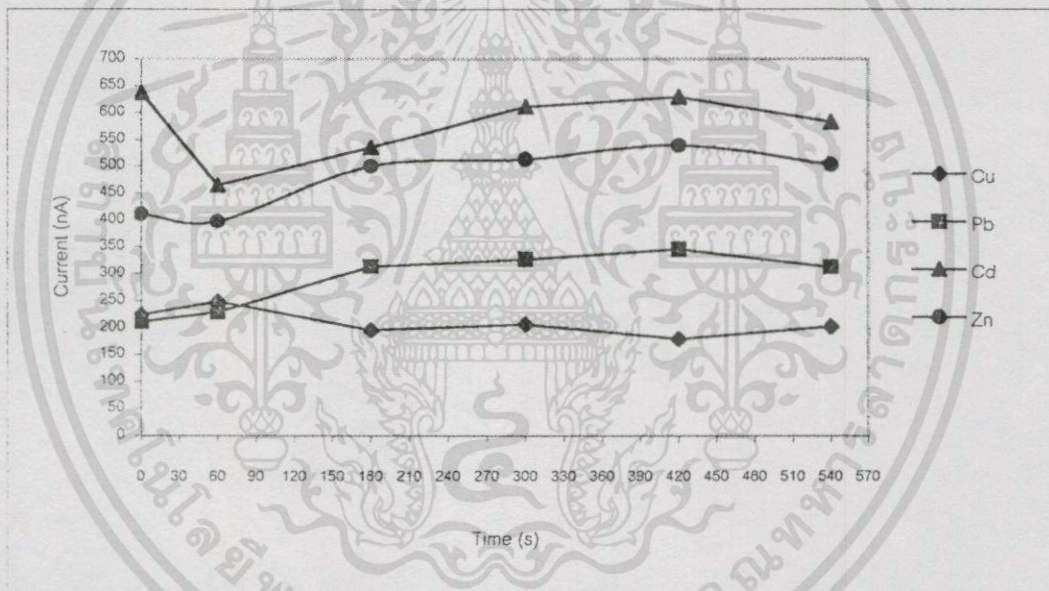
ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.29 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซีเจน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลาในการไล่ออกซีเจนที่เหมาะสมคือ 60 วินาที

4.4.6 ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

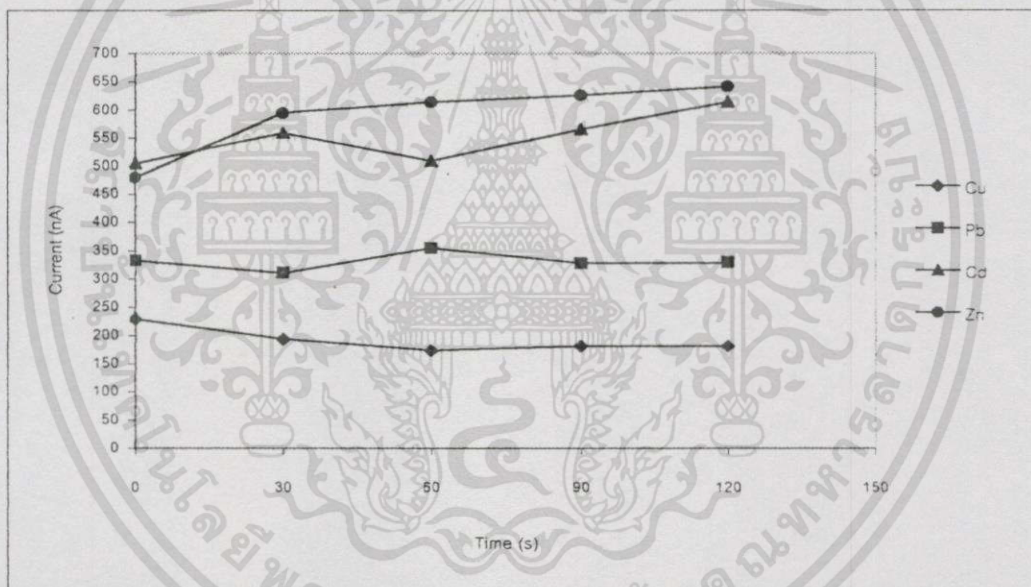
ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.30 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาที

4.4.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

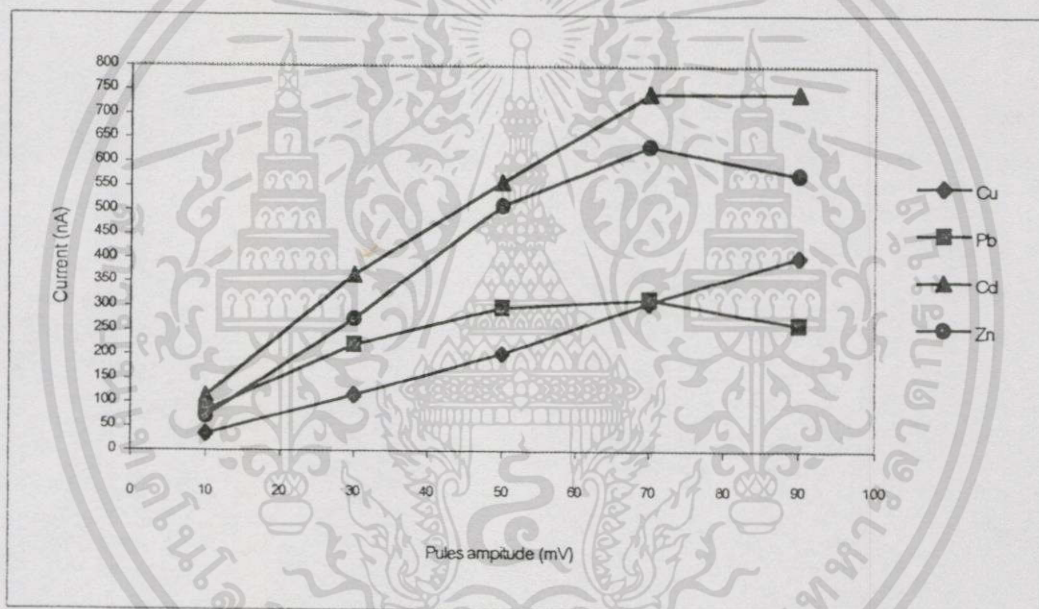
ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

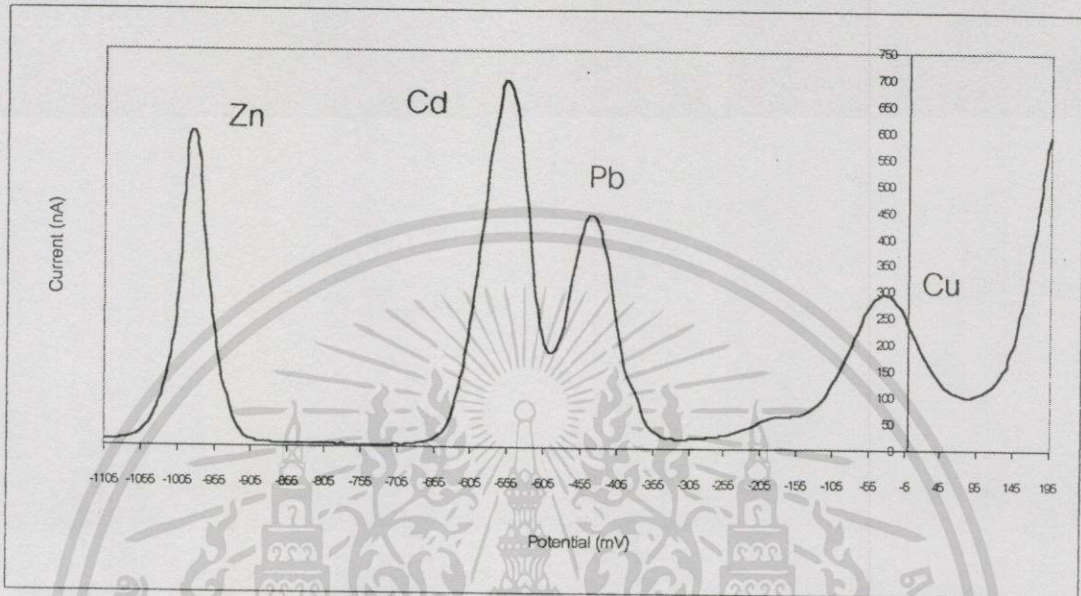
ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที



รูปที่ 4.31 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสมคือ 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.32 แสดงแอตซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมโมแกรมของ ทองแดง 500 พีพีบี ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี 1000 พีพีบี ที่สภาวะดังนี้
 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9
 ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์
 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที
 ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์
 ระยะเวลา deposition 150 วินาที
 ระยะเวลา equilibration 15 วินาที
 พัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีเมื่อใช้ Sodiumdiethyldithiocarbamate เป็นลิแกนด์

4.5.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.33 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทดลองคือ พีเอช 6

4.5.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ของสังกะสี 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

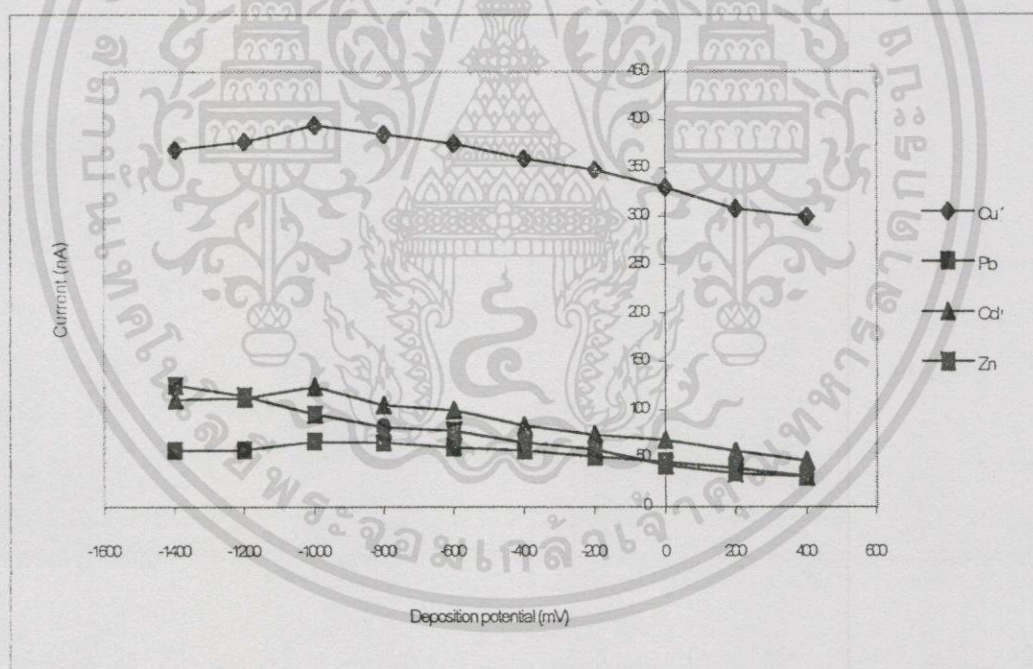
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลโวลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.34 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition ที่เหมาะสมคือ -1000 มิลลิโวลต์

4.5.3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

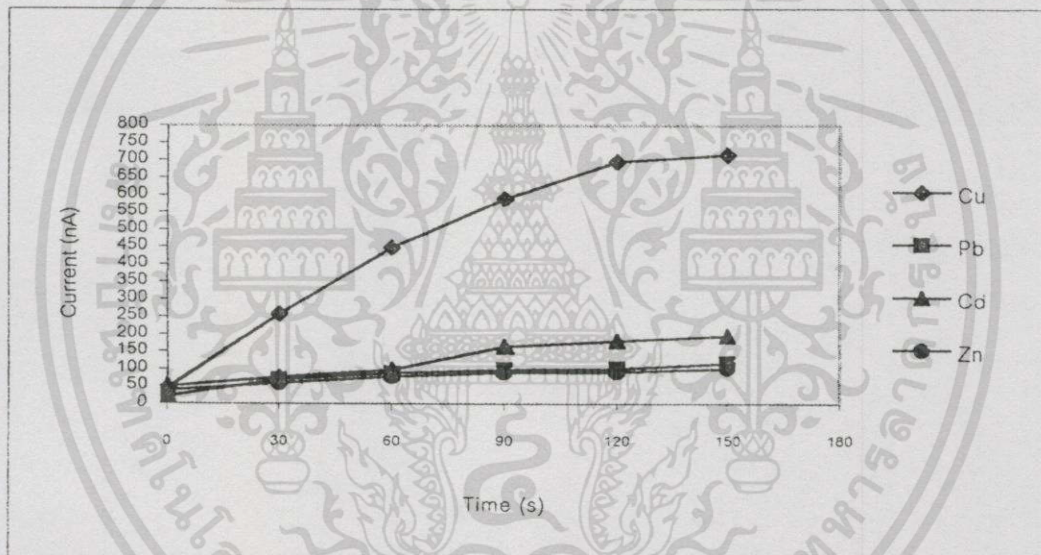
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.35 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสมคือ 90 วินาที

4.5.4 ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเพอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.36 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate ที่เหมาะสมคือ 73.8 ไมโครโมลาร์

4.5.5 ระยะเวลาในการไล่ออกซีเงิน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

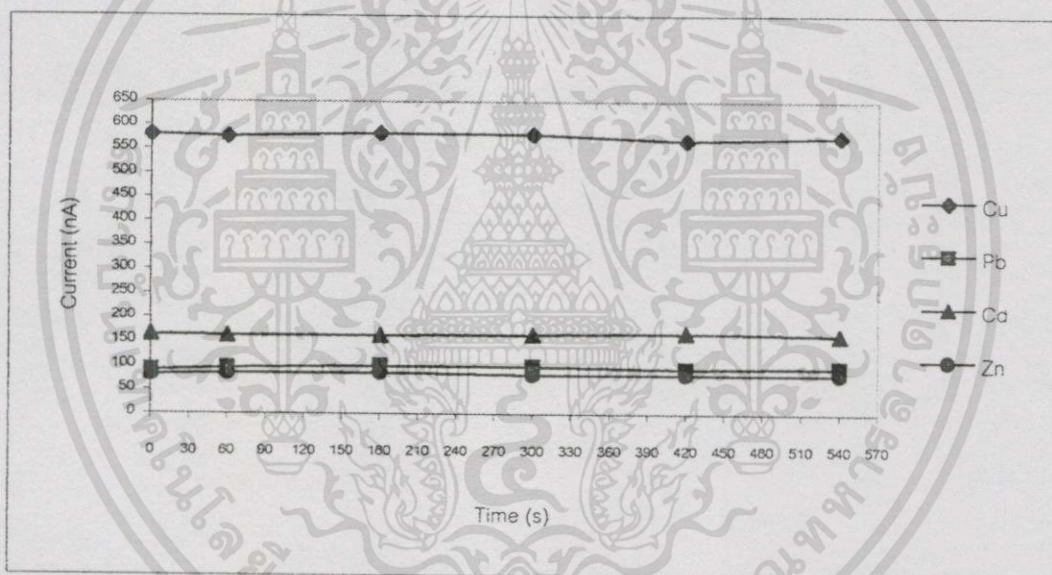
ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.37 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซีเงิน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลาในการไล่ออกซีเงินที่เหมาะสมคือ 60 วินาที

4.5.6 ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

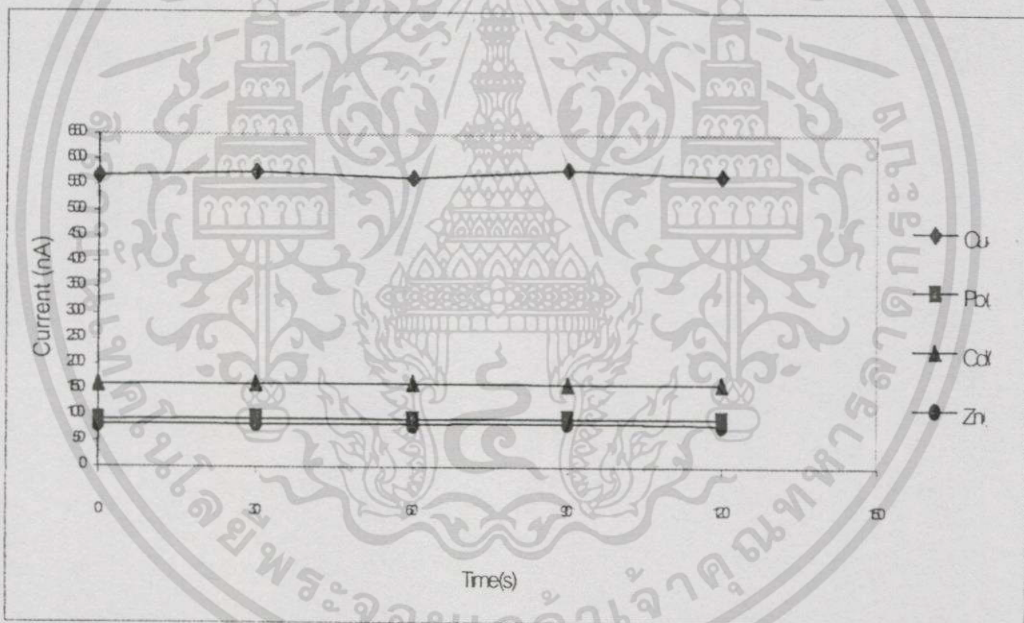
ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคฟิโพลเร็นเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.38 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาที

4.5.7 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้าใน deposition -1000 มิลลิโวลต์

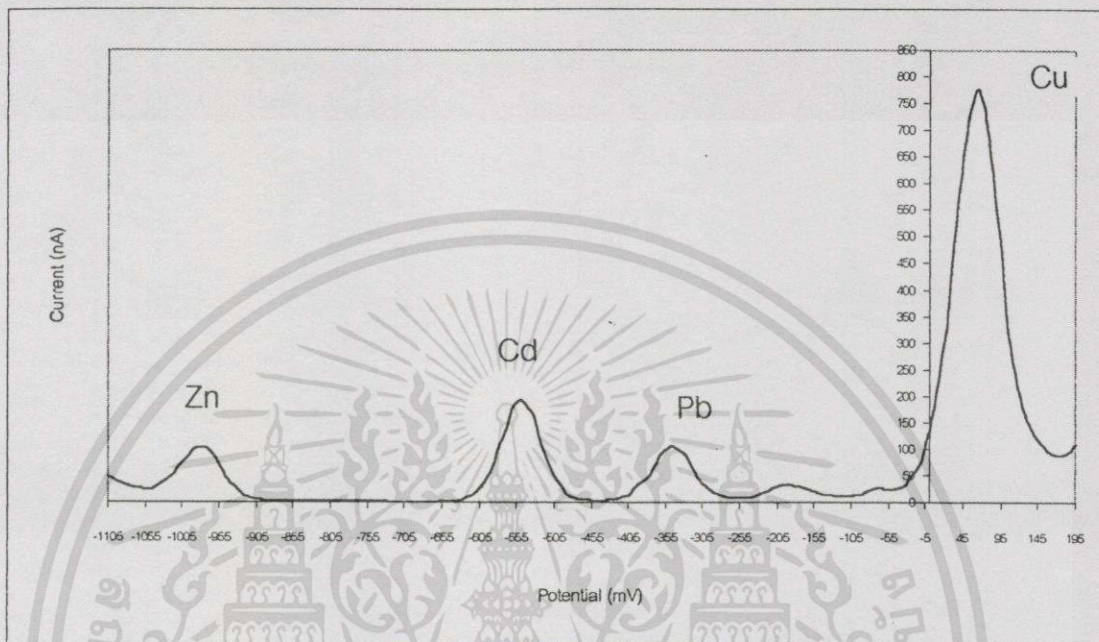
ระยะเวลาใน deposition 90 วินาที

ระยะเวลาในการ equilibration 15 วินาที



รูปที่ 4.39 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสม คือ 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ 4.40 แสดงแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปิงโวลแทมโมแกรมของ ทองแดง 500 พีพีบี ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี 1000 พีพีบี ที่สภาวะดังนี้
 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6
 ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์
 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที
 ศักย์ไฟฟ้าใน deposition -1000 มิลลิโวลต์
 ระยะเวลาใน deposition 90 วินาที
 ระยะเวลาในการ equilibration 15 วินาที
 พัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

4.6 ขีดจำกัดในการตรวจวัด

การทดสอบและคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดในการตรวจวัดนั้น ทำการทดสอบจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละชนิดลิแกนด์ โดยทำการทดสอบและคำนวณตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริบปีง โวลแทมเมตรี

	ขีดจำกัดในการตรวจวัด (ไมโครกรัมต่อลิตร ; พีพีบี)				
	Cupferron	Oxine	Catechol	Zincon	Na-DDTC
ทองแดง	1.260	8.500	1.787	0.214	1.260
ตะกั่ว	19.500	15.330	0.833	5.068	19.500
แคดเมียม	9.920	21.600	0.692	0.303	9.920
สังกะสี	16.110	-	0.166	0.198	16.110

เทคนิคที่มีขีดจำกัดในการตรวจวัดที่เหมาะสมคือ ใช้ Catechol เป็นลิแกนด์

4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำดื่ม

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลพัลส์ โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด

70 มิลลิโวลต์

เปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ที่ใช้เตากราฟไฟต์

7.7.1 น้ำประปาและน้ำบาดาล ในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร

	ทองแดง		ตะกั่ว		แคดเมียม		สังกะสี	
	ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร	
	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS
ประปา (1)	3.730	3.514	3.999	2.589	ND	ND	16.630	15.987
ประปา (2)	2.306	2.966	2.828	3.147	ND	ND	17.440	17.500
ประปา (3)	1.947	2.068	2.547	2.033	ND	ND	18.624	18.014
ประปา (4)	2.014	2.654	3.245	3.125	ND	ND	17.244	16.847
เฉลี่ย	2.499	2.800	3.155	2.7235	ND	ND	17.485	17.087

หมายเหตุ

ประปา (1) = น้ำประปาในเขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ประปา (2) = น้ำประปาในเขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประปา (3) = น้ำประปาในเขตปทุมวัน กรุงเทพฯ

ประปา (4) = น้ำประปาในเขตราชวัชรบูรณะ กรุงเทพฯ

ND = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำบาดาล ในเขตกรุงเทพมหานคร

	ทองแดง		ตะกั่ว		แคดเมียม		สังกะสี	
	ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร	
	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS
บาดาล (1)	6.317	5.897	12.131	12.568	0.880	0.651	20.147	20.687
บาดาล (2)	5.921	6.245	11.974	11.522	0.923	0.847	19.635	20.065
บาดาล (3)	5.394	5.471	12.254	13.045	0.910	0.895	19.241	19.665
บาดาล (4)	6.495	5.992	12.457	12.114	0.832	0.869	20.351	20.578
บาดาล (5)	5.074	5.514	11.331	12.347	0.889	0.799	20.687	20.147
เฉลี่ย	5.840	5.823	12.029	12.319	0.887	0.812	20.012	20.228

หมายเหตุ

บาดาล (1) = น้ำบาดาลในเขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ

บาดาล (2) = น้ำบาดาลในเขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ

บาดาล (3) = น้ำบาดาลในเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ

บาดาล (4) = น้ำบาดาลในเขตบางเขน กรุงเทพฯ

บาดาล (5) = น้ำบาดาลในเขตหนองจอก

ND = ไม่สามารถตรวจวัดได้

7.7.2 น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกใส)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกใส) ในเขตกรุงเทพมหานคร

	ทองแดง		ตะกั่ว		แคดเมียม		สังกะสี	
	ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร	
	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS
ตัวอย่างที่ 1	4.440	4.147	1.664	1.354	ND	0.511	8.954	9.141
ตัวอย่างที่ 2	3.401	3.658	1.856	2.088	1.097	0.978	9.429	9.516
ตัวอย่างที่ 3	3.684	4.058	1.914	2.322	ND	ND	7.574	7.558
ตัวอย่างที่ 4	3.982	4.652	1.774	1.871	ND	ND	8.808	7.989
ตัวอย่างที่ 5	2.629	2.987	1.083	1.221	ND	0.598	7.911	8.325
ตัวอย่างที่ 6	3.812	2.951	1.764	1.478	ND	ND	7.338	7.589
เฉลี่ย	3.658	3.742	1.676	1.722	1.097	0.695	8.336	8.353

หมายเหตุ

ND = ไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7.3 น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกขุ่น)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำดื่มบรรจุขวด (พลาสติกขุ่น) ในเขตกรุงเทพมหานคร

	ทองแดง		ตะกั่ว		แคดเมียม		สังกะสี	
	ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร	
	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS
ตัวอย่างที่ 1	1.741	1.587	2.104	2.365	ND	0.526	20.310	20.001
ตัวอย่างที่ 2	4.982	5.064	2.502	2.314	ND	0.624	20.641	20.544
ตัวอย่างที่ 3	5.876	6.211	5.304	5.147	ND	ND	21.650	21.528
ตัวอย่างที่ 4	2.902	3.698	2.953	3.658	ND	ND	16.834	16.583
ตัวอย่างที่ 5	4.519	4.321	5.042	5.365	ND	0.647	20.912	21.121
ตัวอย่างที่ 6	5.311	5.658	4.994	5.658	ND	0.721	20.159	20.237
ตัวอย่างที่ 7	4.306	4.158	4.253	4.365	ND	0.578	18.196	18.236
ตัวอย่างที่ 8	4.693	4.254	4.781	5.684	ND	0.699	22.961	23.142
ตัวอย่างที่ 9	4.845	5.064	4.147	4.621	ND	0.654	20.048	20.144
ตัวอย่างที่ 10	6.410	5.998	5.858	6.358	ND	ND	20.580	20.655
ตัวอย่างที่ 11	5.332	4.989	4.523	4.365	ND	0.675	21.983	21.787
ตัวอย่างที่ 12	6.401	6.547	4.932	5.332	ND	0.732	17.239	17.522
ตัวอย่างที่ 13	5.169	5.365	2.564	2.633	1.190	1.201	21.815	21.822
ตัวอย่างที่ 14	5.937	6.326	2.607	2.789	ND	ND	21.994	21.888
ตัวอย่างที่ 15	6.586	6.748	2.700	3.001	ND	ND	20.480	20.566
ตัวอย่างที่ 16	4.045	4.251	2.099	2.114	0.617	0.623	15.969	16.028
ตัวอย่างที่ 17	5.682	5.987	2.485	2.654	ND	ND	21.354	21.565
ตัวอย่างที่ 18	3.658	3.622	6.620	6.662	ND	0.662	22.690	22.336
เฉลี่ย	4.911	4.991	3.915	4.171	0.903	0.695	20.323	20.316

หมายเหตุ

ND = ไม่สามารถตรวจวัดได้

7.7.4 น้ำแร่บรรจุขวด

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำแร่บรรจุขวด ในเขตกรุงเทพมหานคร

	ทองแดง		ตะกั่ว		แคดเมียม		สังกะสี	
	ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร		ไมโครกรัมต่อลิตร	
	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS	AdSV	AAS
ตัวอย่างที่ 1	4.532	4.354	1.681	1.255	ND	0.612	20.924	21.147
ตัวอย่างที่ 2	4.421	4.565	1.456	1.565	ND	ND	20.886	21.362
ตัวอย่างที่ 3	4.867	5.032	1.873	2.365	ND	0.512	19.651	19.457
ตัวอย่างที่ 4	3.933	4.114	2.190	2.114	ND	0.669	19.468	19.354
ตัวอย่างที่ 5	4.978	4.874	2.792	3.325	ND	ND	22.135	21.652
เฉลี่ย	4.546	4.587	1.998	2.124	ND	0.597	20.613	20.594

หมายเหตุ

ND = ไม่สามารถตรวจวัดได้

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิสตรีปีง์วอลแทมเมทรี่นั้น อาศัยกระบวนการdeposition ของสารประกอบเชิงซ้อน ที่ขั้วทำงานดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายจึงมีความสำคัญ เพราะในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนชนิดหนึ่งๆนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของลิแกนด์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันคือ

5.1.1 Cupferron ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 6 ซึ่งโดยปรกติการรวมตัวระหว่าง Cupferron กับไอออนของโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Fries and Getrost. 1997) ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Cupferron กับ ไอออนของโลหะ

	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2-10	6-10	6-10	2-10

พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปรกติ

5.1.2 Oxine ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 8 ซึ่งโดยปรกติการรวมตัวระหว่าง Oxine กับไอออนของโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Fries and Getrost. 1997) ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Oxine กับ ไอออนของโลหะ

	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2-12	6-10	5-10	7-9

พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 Catechol ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 4 ซึ่งโดยปกติการรวมตัวระหว่าง Catechol กับไอออนของโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Fries and Getrost. 1997) ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Catechol กับ ไอออนของโลหะ

	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2-6	4-7	4-10	2-10

พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปกติ

5.1.4 Zincon ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 9 ซึ่งโดยปกติการรวมตัวระหว่าง Zincon กับไอออนของโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Fries and Getrost. 1997) ดังนี้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Zincon กับ ไอออนของโลหะ

	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7-10	6-10	6-10	2-10

พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปกติ

5.1.5 Sodiumdiethyldithiocarbamate ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ที่ พีเอช 6 ซึ่งโดยปกติการรวมตัวระหว่าง Sodiumdiethyldithiocarbamate กับไอออนของโลหะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Fries and Getrost. 1997) ดังนี้

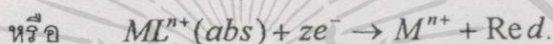
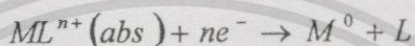
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง NaDDTC กับ ไอออนของโลหะ

	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2-10	6-10	6-10	2-10

พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยปรกติ

5.2 ช่วงศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ศักย์ไฟฟ้าในช่วงนี้ จะเป็นศักย์ไฟฟ้าที่สารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน หลังจากที่เกิดการdepositionแล้ว ดังสมการ



ซึ่งไอออนของโลหะ และไอออนลิแกนด์แต่ละชนิดจะมีช่วงค่าศักย์ไฟฟ้าในการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ไม่เท่ากัน ทำให้สามารถบ่งบอกชนิดของไอออนโลหะ และชนิดของลิแกนด์ได้จากการทดลองเมื่อใช้ Cupferron เป็นลิแกนด์พบว่าไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้

ไอออนทองแดง เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~50 มิลลิโวลต์

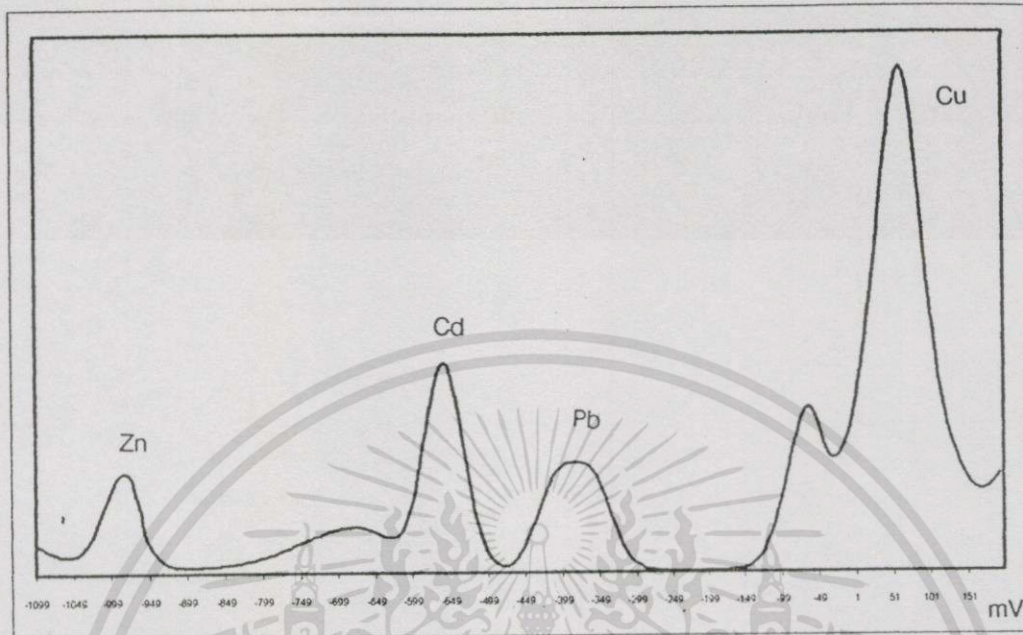
ไอออนตะกั่ว เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~390 มิลลิโวลต์

ไอออนแคดเมียม เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~551 มิลลิโวลต์

ไอออนสังกะสี เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~974 มิลลิโวลต์

ไอออน Cupferron เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -88 มิลลิโวลต์

และ -699 มิลลิโวลต์



รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า วัดที่ชั้นของไอออนของโลหะ ไอออนทองแดง ~ 50 mV
ไอออนตะกั่ว ~ -390 mV ไอออนแคดเมียม ~ -551 mV และไอออนสังกะสี ~ -974 mV

จากการทดลองเมื่อใช้ Oxine เป็นลิแกนด์พบว่าไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้

ไอออนทองแดง เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ 39 มิลลิโวลต์

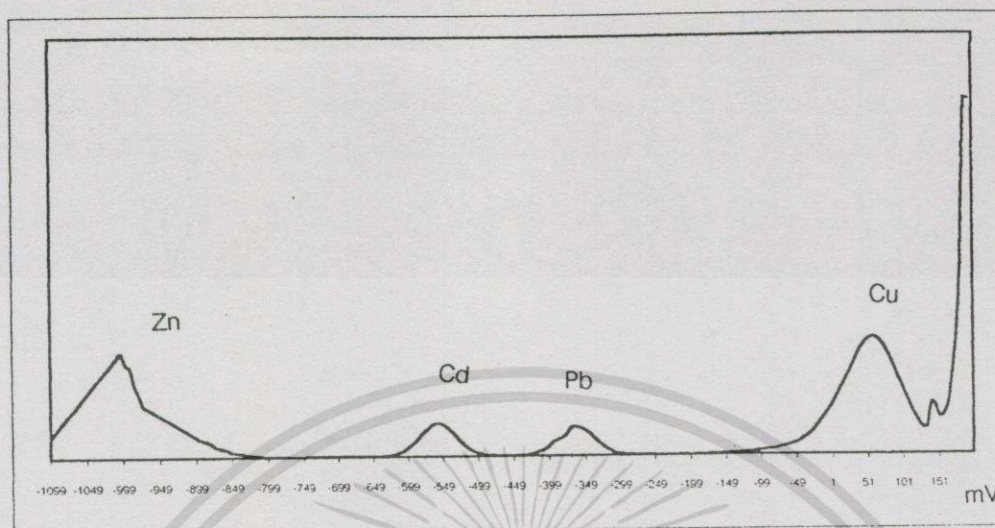
ไอออนตะกั่ว เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -363 มิลลิโวลต์

ไอออนแคดเมียม เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -560 มิลลิโวลต์

ไอออนสังกะสี เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -1000 มิลลิโวลต์

ไอออน Oxine เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -1100 มิลลิโวลต์

พบว่าไอออน Oxine กับ ไอออนสังกะสีมีศักย์ไฟฟ้าในการรีดักชันใกล้เคียงกันมากทำให้
ไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นว่าปริมาณกระแสที่วัดได้นั้นเป็นของ Oxine หรือสังกะสี ทำให้การทดลอง
ที่ใช้ Oxine เป็นลิแกนด์ไม่สามารถหาปริมาณของไอออนสังกะสีได้



รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ ไอออนทองแดง ~ 39 mV
ไอออนตะกั่ว ~ -363 mV ไอออนแคดเมียม ~ -560 mV ไอออนสังกะสี ~ -1000 mV
และไอออน Oxine ~ -1100 mV

เมื่อใช้ Catechol เป็นลิแกนด์พบว่าไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้

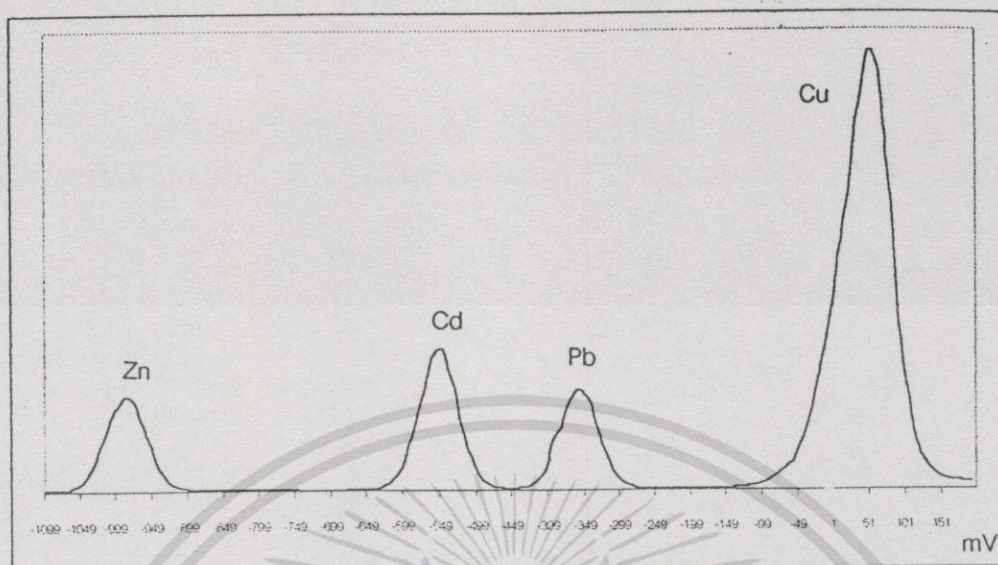
ไอออนทองแดง เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~16 มิลลิโวลต์

ไอออนตะกั่ว เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-350 มิลลิโวลต์

ไอออนแคดเมียม เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-540 มิลลิโวลต์

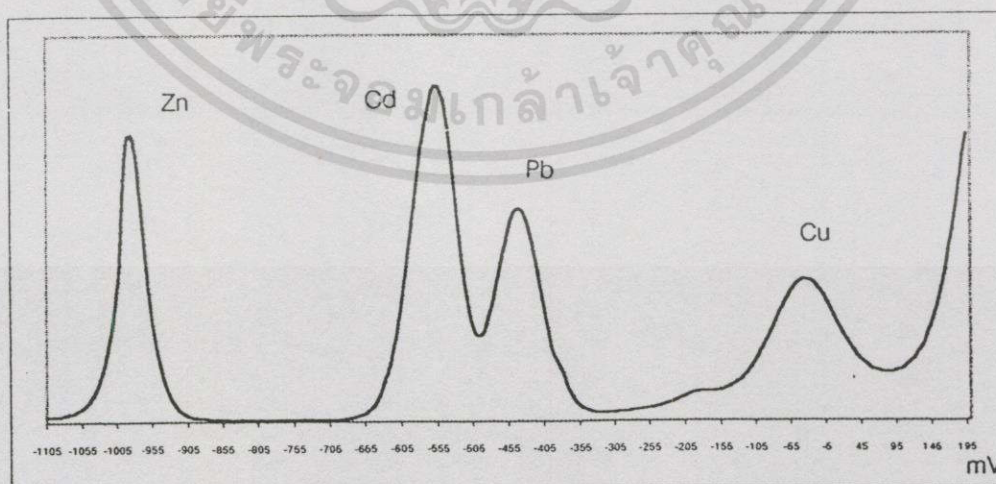
ไอออนสังกะสี เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-980 มิลลิโวลต์

ไอออน Catechol เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -1260 มิลลิโวลต์



รูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าในรีดักชันของไอออนของโลหะ ไอออนทองแดง ~ 16 mV
ไอออนตะกั่ว ~ -350 mV ไอออนแคดเมียม ~ -540 mV และไอออนสังกะสี ~ -980 mV

เมื่อใช้ Zincon เป็นลิแกนด์พบว่าไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้
ไอออนทองแดง เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ 35 มิลลิโวลต์
ไอออนตะกั่ว เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ 439 มิลลิโวลต์
ไอออนแคดเมียม เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ 555 มิลลิโวลต์
ไอออนสังกะสี เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ 997 มิลลิโวลต์
ไอออน Zincon เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~ -200 มิลลิโวลต์
และ -1300 มิลลิโวลต์



รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าในรีดักชันของไอออนของโลหะ ไอออนทองแดง ~ 35 mV
ไอออนตะกั่ว ~ -439 mV ไอออนแคดเมียม ~ -555 mV และไอออนสังกะสี ~ -997 mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ Sodiumdiethyldithiocarbamate เป็นลิแกนด์พบว่าไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้

ไอออนทองแดง เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~63 มิลลิโวลต์

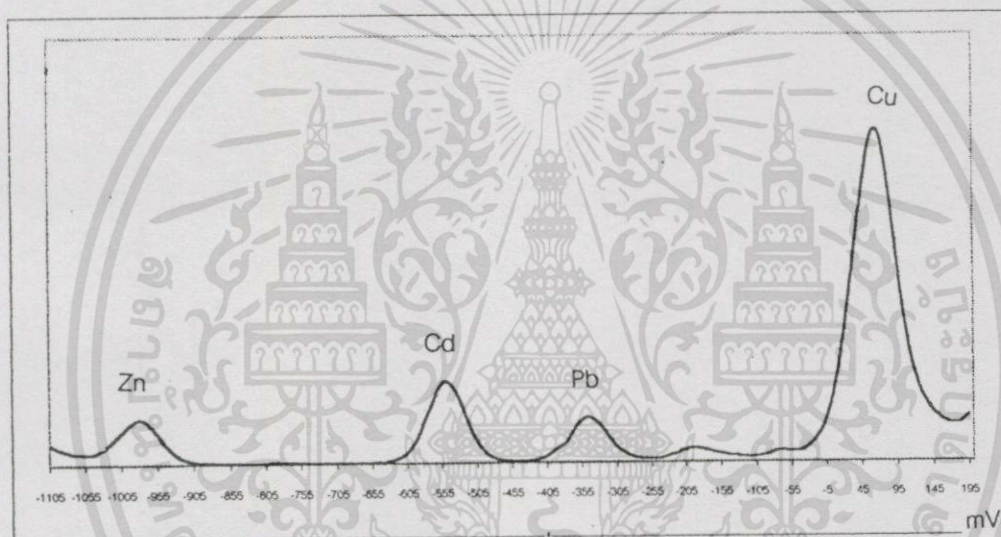
ไอออนตะกั่ว เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-346 มิลลิโวลต์

ไอออนแคดเมียม เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-544 มิลลิโวลต์

ไอออนสังกะสี เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า ~-960 มิลลิโวลต์

ไอออน Sodiumdiethyldithiocarbamate เกิดการรีดักชันที่ศักย์ไฟฟ้า

~ -200 มิลลิโวลต์ และ -1200 มิลลิโวลต์



รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งศักย์ไฟฟ้า รีดักชันของไอออนของโลหะ ไอออนทองแดง ~ 63 mV

ไอออนตะกั่ว ~ -346 mV ไอออนแคดเมียม ~ -544 mV และไอออนสังกะสี ~ -960 mV

5.3 ศักย์ไฟฟ้า deposition

ศักย์ไฟฟ้า deposition นี้ เพื่อทำให้เกิดปรากฏการณ์ดูดซับของสารประกอบเชิงซ้อนบนผิวของขั้วทำงาน โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วทำงานจึงต้องมีความเหมาะสม โดยไม่ทำให้ผิวของขั้วทำงานมีประจุบวกหรือลบมากเกินไป เพราะว่าถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ให้เป็นบวกมากเกินไปนั้นก็จะทำให้สารประกอบเชิงซ้อนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และถ้าเป็นลบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันทำให้สารประกอบเชิงซ้อนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการดูดซับที่ขั้วทำงานได้ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ไม่ตรงกับความเป็นจริง

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ Cupferron เป็นลิแกนด์ ศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ เมื่อใช้ Oxine เป็นลิแกนด์ ศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ เมื่อใช้ Catechol เป็นลิแกนด์ ศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ เมื่อใช้ Zincon เป็นลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ และเมื่อใช้ Sodiumdiethyldithio carbamate เป็นลิแกนด์ ศักย์ไฟฟ้า deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์

5.4 ระยะเวลา deposition

ระยะเวลา deposition นั้น มีความสำคัญมากต่อผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโลหะโดยเทคนิคนี้ เมื่อเพิ่มระยะเวลา deposition แล้วปริมาณกระแสที่วัดได้นั้นจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อ deposition นานมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้สารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายสามารถดูดซับที่ขั้วใช้งานได้มากขึ้น และถ้าทำในเวลาที่นานพอสมควรก็จะทำให้ได้ปริมาณไอออนโลหะที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งจะทำได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

จากการทดลองเมื่อใช้ Cupferron เป็นลิแกนด์ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสม คือ 120 วินาที เมื่อใช้ Oxine เป็นลิแกนด์ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสม คือ 120 วินาที เมื่อใช้ Catechol เป็นลิแกนด์ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสม คือ 90 วินาที เมื่อใช้ Zincon เป็นลิแกนด์ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสม คือ 60 วินาที และเมื่อใช้ Sodiumdiethyldithio carbamate เป็นลิแกนด์ระยะเวลา deposition ที่เหมาะสม คือ 90 วินาที

5.5 ความเข้มข้นของลิแกนด์

เทคนิคแอตซอร์พทีฟแคโทดิสตรีปิงโวลแทมเมทรินั้น ต้องอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนโลหะกับลิแกนด์ ดังนั้นถ้าปริมาณของลิแกนด์มีไม่เพียงพอกับปริมาณของไอออนโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ ก็จะทำให้มีไอออนโลหะเหลืออยู่ในสารละลายทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่ถูกต้องด้วยเหตุนี้เอง ถ้าเพิ่มปริมาณของลิแกนด์ก็จะทำให้ได้ปริมาณกระแสซึ่งเป็นผลการทดลองได้มากขึ้น

จากการทดลองเมื่อใช้ Cupferron, Oxine, Catechol, Zincon และ Sodiumdiethyldithiocarbamate เป็นลิแกนด์พบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างลิแกนด์กับไอออนโลหะที่เหมาะสมคือ 2 ต่อ 1 แต่จากการทดลองพบว่าถ้าอัตราส่วนความเข้มข้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงในทางที่มีความเข้มข้นของลิแกนด์มากกว่า ก็จะไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะในตัวอย่างเพราะมีปริมาณลิแกนด์มากพอในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ และอัตราส่วน 2 ต่อ 1 นี้มีความสัมพันธ์ตรงกับอัตราส่วนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของลิแกนด์และไอออนโลหะเหล่านั้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงดังกล่าวคือ มีอัตราส่วน 2 ต่อ 1 เช่นกัน

5.6 ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

โดยทั่วไปถ้ามีออกซิเจนอยู่ในสารละลายที่ทำการวิเคราะห์ พบว่าออกซิเจนสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วปรอทได้ 2 ขั้นตอน ทำให้มีฟีกออกซิเจนอยู่ 2 ฟีก ตำแหน่งของฟีกจะอยู่ ณ ที่ใดขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ถ้าสารละลายมีฤทธิ์เป็นด่างช่วงที่เกิดฟีกจะอยู่ที่ศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนนาน 60 วินาที ก็พอเพียงสำหรับการไล่ออกซิเจน อาจเป็นเพราะปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาณเพียง 10 มิลลิลิตร เท่านั้นจึงทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะใช้ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนนาน

5.7 ระยะเวลา equilibration

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนทั้งให้สารละลายอยู่นิ่ง ก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนการ stripping หรือ การสแกนศักย์ไฟฟ้า เพื่อให้กระแสที่บันทึกได้นั้นเป็นกระแสที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันเท่านั้น โดยไม่มีกระแสที่เกิดจากการกวนสารละลาย

จากการทดลองพบว่าระยะเวลา equilibration ที่เหมาะสมคือ 15 วินาทีก็เพียงพอแล้ว อาจเนื่องมาจากปริมาณสารละลายเช่นเดียวกัน ที่มีปริมาณน้อยเพียง 10 มิลลิลิตรเท่านั้น

5.8 ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

ขนาดของพัลส์แอมพลิจูดที่มีความสำคัญมากในขั้นตอนการสแกนศักย์ไฟฟ้า การให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นช่วงๆเพื่อให้สปีชีส์หนึ่งๆเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ถ้ามีการให้ศักย์ที่มีขนาดพัลส์แอมพลิจูดน้อยเกินไปก็จะทำให้สปีชีส์นั้นๆเกิดปฏิกิริยารีดักชันไม่หมดทำให้ได้ปริมาณกระแสที่น้อย ทำให้เทคนิคนั้นได้ผลการทดลองที่ไม่ดี แต่ถ้ามีการให้ศักย์ที่มีขนาดพัลส์แอมพลิจูดมากเกินไปก็จะทำให้ผลการทดลองของให้สปีชีส์ 2 ชนิดที่มีศักย์ไฟฟ้าในการรีดักชันใกล้เคียงกัน ไม่สามารถแยกจากกันได้

จากการทดลองพบว่าพัลส์แอมพลิจูดที่เหมาะสมคือที่ 70 มิลลิโวลต์ ที่สามารถใช้ขนาดพัลส์ แอมพลิจูดได้ขนาดสูง เป็นเพราะว่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันของสปีชีส์ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันมากพอที่จะไม่ทำให้ฟีกผลการทดลองซ้อนทับกัน

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิก
สตริปปีงโวลแทมเมตรี

	เทคนิคที่ 1	เทคนิคที่ 2	เทคนิคที่ 3	เทคนิคที่ 4	เทคนิคที่ 5
ชนิดโลหะ	Cu,Pb,Cd,Zn	Cu,Pb,Cd	Cu,Pb,Cd,Zn	Cu,Pb,Cd,Zn	Cu,Pb,Cd,Zn
ค่าพีเอช	6	8	4	9	6
ลิแกนด์	Cupferron	Oxine	Catechol	Zincon	NaDDTC
	73.8 uM	73.8 uM	73.8 uM	73.8 uM	73.8 uM
ระยะเวลาใส่ O ₂	60 s	60 s	60 s	60 s	60 s
ศักย์ไฟฟ้าdeposition	-1,000 mV	-1,200 mV	-1,000 mV	-1,200 mV	-1,000 mV
ระยะเวลาdeposition	120 s	120 s	90 s	60 s	90 s
ระยะเวลา equilibration	15 s	15 s	15 s	15 s	15 s
ขนาดพัลส์แอมพลิจูด	70 mV	70 mV	70 mV	70 mV	70 mV
ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น	200 mV	200 mV	200 mV	200 mV	200 mV
ศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย	-1,200 mV	-1,200 mV	-1,200 mV	-1,200 mV	-1,200 mV

5.9 ขีดจำกัดในการตรวจวัด

จากการทดลองข้างต้น ทำให้สามารถทราบสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละเทคนิคจึงนำมาหาขีดจำกัดให้การตรวจวัดของแต่ละเทคนิค เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกเทคนิคที่ดีที่สุดที่จะนำมาตรวจวัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยมากอย่างพร้อมกันในตัวอย่างน้ำดื่ม

การทดสอบและคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดในการตรวจวัดนั้น ทำการทดสอบจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละชนิดลิแกนด์ โดยทำการทดสอบและคำนวณตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

จากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้ Catechol เป็นลิแกนด์นั้นมีขีดจำกัดให้การตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดคือ

ขีดจำกัดในการตรวจวัดทองแดงเมื่อใช้ Cupferron สามารถตรวจวัดได้ 1.26 พีพีบี เท่ากับ 19.8 นาโนโมลาร์ Oxine สามารถตรวจวัดได้ 8.5 พีพีบี เท่ากับ 133.8 นาโนโมลาร์ Catechol สามารถตรวจวัดได้ 1.787 พีพีบี เท่ากับ 28.03 นาโนโมลาร์ Zincon สามารถตรวจวัดได้ 0.214 พีพีบี เท่ากับ 3.37 นาโนโมลาร์ และ NaDDTC สามารถตรวจวัดได้ 1.26 พีพีบี เท่ากับ 3.79 นาโนโมลาร์ ซึ่ง Zincon มีขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีดจำกัดในการตรวจวัดตะกั่วเมื่อใช้ Cupferron สามารถตรวจวัดได้ 19.5 พีพีบี 94.1 นาโนโมลาร์ Oxine สามารถตรวจวัดได้ 15.33 พีพีบี เท่ากับ 73.9 นาโนโมลาร์ Catechol สามารถตรวจวัดได้ 0.833 พีพีบี เท่ากับ 4.02 นาโนโมลาร์ Zincon สามารถตรวจวัดได้ 5.068 พีพีบี เท่ากับ 24.45 นาโนโมลาร์ และ NaDDTC สามารถตรวจวัดได้ 19.5 พีพีบี เท่ากับ 168 นาโนโมลาร์ซึ่ง Catechol มีขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำที่สุด

ขีดจำกัดในการตรวจวัดแคดเมียมเมื่อใช้ Cupferron สามารถตรวจวัดได้ 9.92 พีพีบี เท่ากับ 88.3 นาโนโมลาร์ Oxine สามารถตรวจวัดได้ 21.6 พีพีบี เท่ากับ 192.1 นาโนโมลาร์ Catechol สามารถตรวจวัดได้ 0.692 พีพีบี เท่ากับ 6.16 นาโนโมลาร์ Zincon สามารถตรวจวัดได้ 0.303 พีพีบี เท่ากับ 2.69 นาโนโมลาร์ และ NaDDTC สามารถตรวจวัดได้ 9.92 พีพีบี เท่ากับ 120 นาโนโมลาร์ ซึ่ง Zincon มีขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำที่สุด

ขีดจำกัดในการตรวจวัดสังกะสีเมื่อใช้ Cupferron สามารถตรวจวัดได้ 16.11 พีพีบี เท่ากับ 246 นาโนโมลาร์ Oxine ไม่สามารถตรวจวัดได้ Catechol สามารถตรวจวัดได้ 0.166 พีพีบี เท่ากับ 2.53 นาโนโมลาร์ Zincon สามารถตรวจวัดได้ 0.198 พีพีบี เท่ากับ 3.02 นาโนโมลาร์ และ NaDDTC สามารถตรวจวัดได้ 16.11 พีพีบี เท่ากับ 647 นาโนโมลาร์ ซึ่ง Catechol มีขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำที่สุด

และเมื่อเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ของเทคนิคที่ได้พัฒนานั้น โดยใช้ Catechol เป็นลิแกนด์ กับเทคนิคที่เคยมีการพัฒนามาแล้วพบว่า

Constant ใช้ Oxine เป็นลิแกนด์ สามารถตรวจวัด ทองแดง แคดเมียม และตะกั่วมีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.12 ถึง 0.3 นาโนโมลาร์ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดได้ดีกว่าเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น (Constant.1986:111)

Carlo ใช้ Oxine เป็นลิแกนด์ สามารถตรวจวัด ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดประมาณ 0.3 นาโนโมลาร์ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดได้ดีกว่าเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น (Carlo.1997:29)

Constant ใช้ Oxine ผสมกับ DMG สามารถตรวจวัด ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดประมาณ 0.2 นาโนโมลาร์ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดได้ดีกว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้น (Constant.1997:40)

5.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำดื่ม

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด

70 มิลลิโวลต์

เปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี โดยใช้เตากราฟไฟต์

โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างน้ำดื่มเป็น

1. น้ำประปา จำนวน 4 ตัวอย่าง
2. น้ำบาดาล จำนวน 5 ตัวอย่าง
3. น้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใส จำนวน 6 ตัวอย่าง
4. น้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกขุ่น จำนวน 18 ตัวอย่าง
5. น้ำแร่บรรจุขวด จำนวน 5 ตัวอย่าง

รวมตัวอย่างน้ำดื่มทั้งสิ้น 38 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างน้ำดื่มทั้งหมดมีปริมาณโลหะทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี อยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ว่าด้วยข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ (มวก.257 เล่ม 1-2521) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมคือ

	ทองแดง (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	สังกะสี (ไมโครกรัมต่อลิตร)
น้ำประปา	1.947 - 3.730	2.547 - 3.999	ND	16.630 - 18.624
น้ำบาดาล	5.074 - 6.495	11.331 - 12.457	0.832 - 0.923	20.687 - 19.241
น้ำดื่มขวดใส	2.629 - 4.440	1.083 - 1.914	ND - 1.097	7.338 - 9.429
น้ำดื่มขวดขุ่น	1.741 - 6.586	2.099 - 6.620	ND - 1.190	16.834 - 22.961
น้ำแร่	3.933 - 4.978	1.456 - 2.792	ND - 0.669	19.468 - 22.135
มาตรฐานมอก.	1000	50	10	5000

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำดื่มทั้ง 5 ประเภทตามมาตรฐานพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณทองแดงปนเปื้อนน้อยที่สุดคือน้ำประปาอยู่ในช่วง 1.947 – 3.730 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือน้ำดื่มบรรจุขวดใส 2.629 – 4.440 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำแร่ 3.933 – 4.978 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำดื่มบรรจุขวดขุ่น 1.741 – 6.586 ไมโครกรัมต่อลิตร และน้ำบาดาล 5.074 – 6.495 ไมโครกรัมต่อลิตร

ปริมาณตะกั่วปนเปื้อนน้อยที่สุดคือน้ำดื่มบรรจุขวดใสอยู่ในช่วง 1.083 – 1.914 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือน้ำแร่ 1.456 – 2.792 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำประปา 2.547 – 3.999 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำดื่มบรรจุขวดขุ่น 2.099 – 6.620 ไมโครกรัมต่อลิตร และน้ำบาดาล 11.331 – 12.457 ไมโครกรัมต่อลิตร

ปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนน้อยที่สุดคือน้ำประปาและน้ำแร่ซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ รองลงมาคือน้ำบาดาล น้ำดื่มบรรจุขวดขุ่น และน้ำดื่มบรรจุขวดใส คืออยู่ในช่วง 0.832 – 0.923 ไมโครกรัมต่อลิตร, ไม่สามารถตรวจพบได้ ถึง 1.190 ไมโครกรัมต่อลิตร และ ไม่สามารถตรวจพบได้ ถึง 1.097 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ

ปริมาณสังกะสีปนเปื้อนน้อยที่สุดคือน้ำดื่มบรรจุขวดใส อยู่ในช่วง 7.338 – 9.429 ไมโครกรัมต่อลิตร รองลงมาคือน้ำประปา น้ำบาดาล น้ำดื่มบรรจุขวดขุ่น และน้ำแร่ คือ 16.630 – 18.624 ไมโครกรัมต่อลิตร, 20.687 – 19.241 ไมโครกรัมต่อลิตร, 16.831 – 22.961 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 19.468 – 22.135 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ค.) พบว่า เทคโนโลยีซีพีพีแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรีใช้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยทองแดง ตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสีในน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ไม่มีความแตกต่าง จากเทคนิคอะตอมมิก แอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี ใช้เตากราฟไฟต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95% (ภาคผนวก จ.)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวดด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแควร์ โดยกำหนดฟิล์มแอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์

6.1.2 ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี

การทดสอบและคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดในการตรวจวัดนั้น ทำการทดสอบจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละชนิดลิแกนด์ โดยทำการทดสอบและคำนวณตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด ของเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี

	ขีดจำกัดในการตรวจวัด (ไมโครกรัมต่อลิตร ; พีพีบี)				
	Cupferron	Oxine	Catechol	Zincon	Na-DDTC
ทองแดง	1.260	8.500	1.787	0.214	1.260
ตะกั่ว	19.500	15.330	0.833	5.068	19.500
แคดเมียม	9.920	21.600	0.692	0.303	9.920
สังกะสี	16.110	-	0.166	0.198	16.110

เทคนิคที่มีขีดจำกัดในการตรวจวัดที่เหมาะสมคือ ใช้ Catechol เป็นลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 การหาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด

ตารางที่ 6.2 สรุปผลการวิเคราะห์น้ำดื่มด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี

	ทองแดง (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ตะกั่ว (ไมโครกรัมต่อลิตร)	แคดเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	สังกะสี (ไมโครกรัมต่อลิตร)
น้ำประปา	1.947 – 3.730	2.547 – 3.999	ND	16.630 – 18.624
น้ำบาดาล	5.074 – 6.495	11.331 – 12.457	0.832 – 0.923	20.687 – 19.241
น้ำดื่มขวดใส	2.629 – 4.440	1.083 – 1.914	ND – 1.097	7.338 – 9.429
น้ำดื่มขวดขุ่น	1.741 – 6.586	2.099 – 6.620	ND – 1.190	16.834 – 22.961
น้ำแร่	3.933 – 4.978	1.456 – 2.792	ND – 0.669	19.468 – 22.135
มาตรฐานนอก.	1000	50	10	5000

ND = ไม่สามารถตรวจพบ

น้ำดื่มบรรจุขวดใสและน้ำประปามีปริมาณปนเปื้อนโลหะทั้ง 4 ชนิดน้อยที่สุด

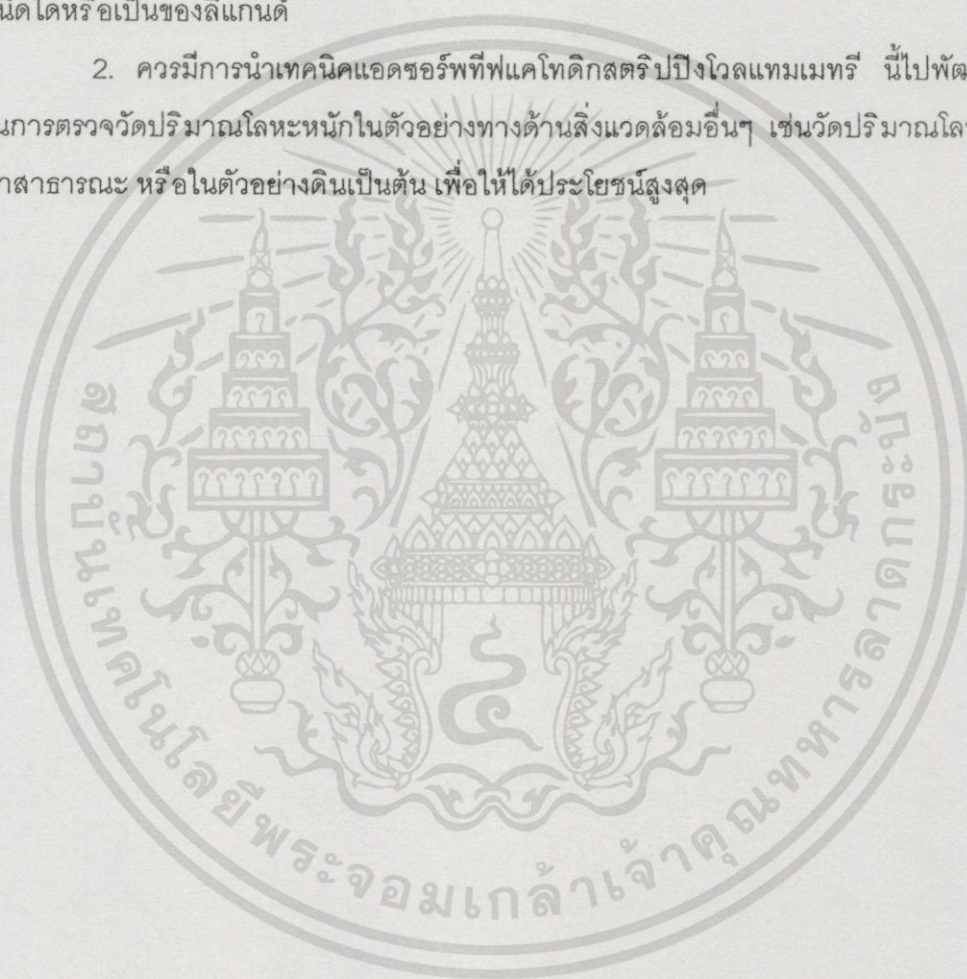
6.1.4 ความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรี ในการหาปริมาณทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในน้ำดื่มบรรจุขวด

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีใช้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ไม่มีความแตกต่าง จากเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ที่ใช้เตากราฟไฟต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95% นั้นหมายความว่าเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมทรีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก ในปริมาณน้อยมากอย่างพร้อมกันได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ลิแกนด์ที่สามารถนำมาใช้สำหรับเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี นั้น ไม่สามารถนำลิแกนด์ทุกชนิดที่ใช้ในเทคนิคสเปกโทรสโกปีมาใช้งานได้ เหตุผลเนื่องมาจากในขั้นตอนการสตริปปีงนั้นนอกจากไอออนของโลหะจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้ว ลิแกนด์ก็ยังสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย ซึ่งถ้าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันนั้นเกิดในช่วงเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมาก จะมีผลทำให้สามารถแยกได้ด้วยกระแสที่เกิดขึ้น ณ ศักย์ไฟฟ้านั้นเป็นของโลหะชนิดใดหรือเป็นของลิแกนด์

2. ควรมีการนำเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี นี้ไปพัฒนาเพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น วัดปริมาณโลหะหนักในน้ำสาธารณะ หรือในตัวอย่างดินเป็นต้น เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด



บรรณานุกรม

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2521. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , น้ำบริโภค** เล่มที่ 1.

กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2539. **เคมีวิเคราะห์ 2** 7 กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

เลิศลักษณ์ สุพถุฒิปาณิชย์. 2539. "น้ำดื่มบรรจุขวด." **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** 15 (4) : 65-79.

สมทรัพย์ อธิคมรังสฤษฎ์. 2535. "คุณลักษณะที่เป็นพิษในน้ำ." **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** 11(2) : 40-44.

Brito Hernandez, J.J.. 1996. "Determination of Tin Traces in Water Samples by Adsorptive Stripping Voltammetry." **Anal. Chim. Acta.** 19 : 320 - 328.

Bobtalsky, M. and Rafailoff, R.. 1957. "Determination of Lead in Sea Water." **Anal. Chm. Acta.** 321 : 16 - 21.

Carlo, C. and Constant, M.G. van den Berg. 1997. "Simultaneous Determination of Several Metals in Seawater Using Cathodic Stripping Voltammetry with Mixed Ligands." **Anal. Chim. Acta.** 29 : 337.

Constant M.G. van den Berg. 1986. "Determination of Metals in Sea Water by Cathodic Stripping Voltammetry of Complexes with Catechol." **J. Electroanal. Chem.** 111 : 215.

Constant M.G. van den Berg. 1989. "Methods of Accumulation and Determination in Stripping Voltammetry." **Analyst.** 114 : 1527.

Constant M.G. van den Berg. 1997. "Adsorptive Cathodic Stripping Voltammetry of Trace Elements in Sea Water." **Analyst.** 40 : 95.

Elleouet, C. and Quentel, F.. 1992. "Determination of Copper in Water by AdSV." **Anal. Chim. Acta.** 301 : 257.

Fries, J. and Getrost, H. .1997. **Organic reagents for trace analysis . : E. Merck Darmstadt.**

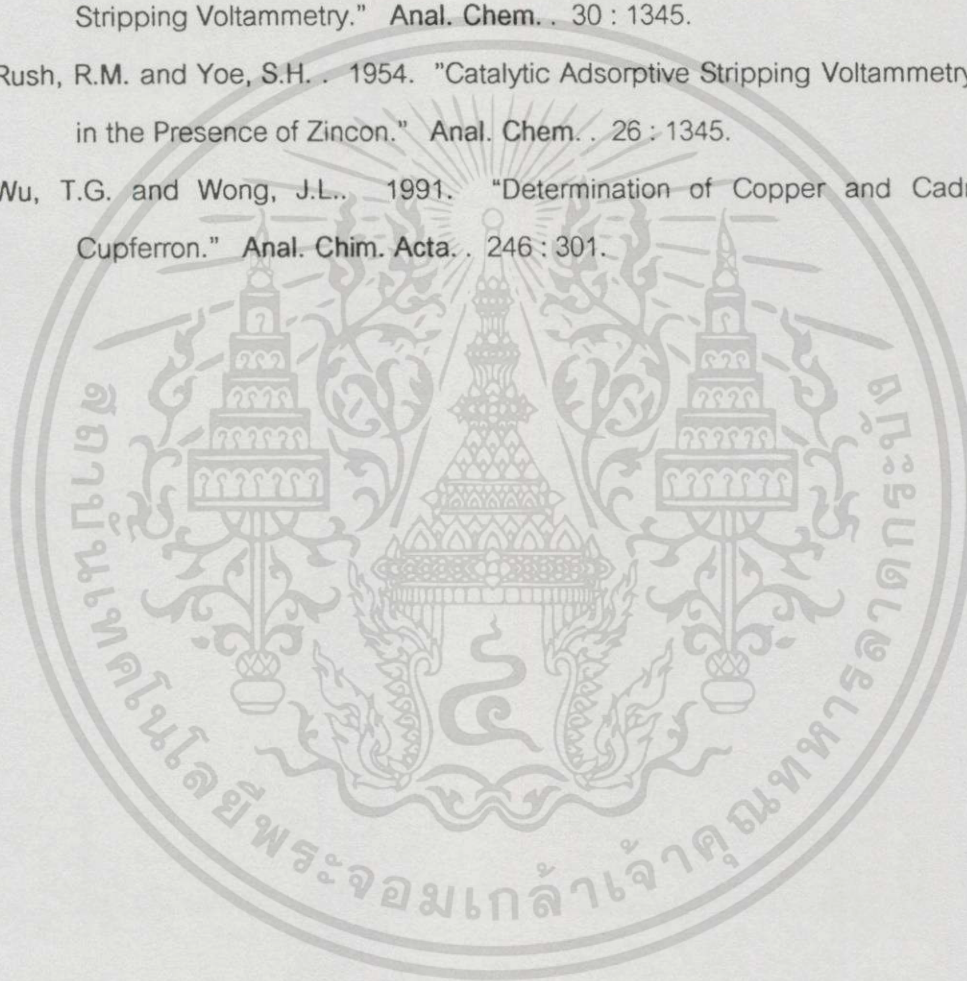
Golimowski, J. ,Valenta, P. and Nurnberg, H. W. . 1985. "Determination of Copper by Cupferron Complexes." **Anal. Chem.** 315 : 322.

Janice, L. and Tebello, N.. 1997. "Determination of Bismuth Lead Copper and Cadmium in Sea Water." **Anal. Chim. Acta.** 87 : 344.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Joseph, W. and Jianmin Lu . 1992. "Measurement of Ultratrace Levels of Chromium by Adsorptive Catalytic Stripping Voltammetry in the Presence of Cupferron." *Analyst*. 117 : 1913.
- Mayne, J.E.O. and Moordhof, G.H. . 1953. "Adsorptive Stripping Voltammetry on Mercury Film Electrodes in the Presence of Surfactants." *Analyst*. 78 : 625.
- Mccall, I.T. and Davis, G.K. . 1958. "Rapid Determination of Zinc by Adsorptive Stripping Voltammetry." *Anal. Chem.* . 30 : 1345.
- Rush, R.M. and Yoe, S.H. . 1954. "Catalytic Adsorptive Stripping Voltammetry of Lead in the Presence of Zincon." *Anal. Chem.* . 26 : 1345.
- Wu, T.G. and Wong, J.L.. 1991. "Determination of Copper and Cadmium by Cupferron." *Anal. Chim. Acta.* . 246 : 301.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

ก. ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตรipping โวลแทมเมทรี เมื่อใช้ Cupferron เป็นลิแกนด์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟฟิออเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.1 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
1	0	73.0	0	21.2
2	0	100.5	0	55.3
3	0	101.9	66.9	135.7
4	0	114.5	70.0	163.6
5	0	138.3	78.3	170.1
6	90.1	155.2	85.8	167.6
7	86.8	150.8	99.8	135.2
8	75.9	147.1	86.7	100.5
9	54.8	80.3	63.7	59.5
10	49.9	47.9	39.8	20.7

2. ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.2 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
400	0	54.7	11.9	80.0
200	81.7	49.6	12.1	83.1
0	112.9	55.0	15.9	84.6
-200	157.6	76.2	13.1	80.6
-400	171.2	111.1	12.7	89.5
-600	194.6	137.2	99.1	96.6
-800	218.6	144.0	115.6	100.5
-1000	220.1	144.7	127.1	121.3
-1200	221.8	145.1	128.7	127.4
-1400	223.4	147.5	130.8	131.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.3 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
0	40.1	73.1	23.8	85.5
30	69.2	121.5	85.2	99.4
60	237.0	159.0	120.0	108.0
90	399.3	175.2	209.5	120.5
120	487.3	188.1	248.3	122.4
150	500.7	191.0	251.3	124.1
180	521.1	192.9	253.5	124.9

4. ความเข้มข้นของ Cupferron

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.4 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Cupferron ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
0	796.2	118.2	212.6	119.6
18.5	654.3	133.9	236.6	140.1
36.9	607.9	160.5	251.1	123.6
73.8	552.0	173.1	221.1	117.5
369	436.7	179.4	218.8	103.4

5. ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคพีเพอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ๓.5 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
0	480.1	167.4	240.3	123.2
60	482.4	186.9	251.1	132.5
180	481.5	177.2	244.6	143.6
300	495.3	167.8	263.5	122.7
420	494.7	195.4	243.6	132.3
540	496.4	186.3	255.1	123.4

6. ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.6 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
0	485.8	167.9	238.3	110.8
30	476.5	188.4	248.6	121.6
60	486.7	177.4	257.8	131.7
90	495.7	198.2	238.1	112.1
120	475.1	176.4	247.8	121.8

7. ขนาดของฟิล์มแอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Cupferron 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

ตารางที่ ก.7 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดฟิล์มแอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ฟิล์มแอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	แคดเมียม	ตะกั่ว	สังกะสี
10	101.1	37.6	53.4	21.3
30	317.9	117.0	158.0	64.84
50	625.4	174.4	235.6	105.1
70	687.8	218.6	289.8	153.4
90	699.8	216.9	291.0	162.9

ข. ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อ เทคนิคแอดсорบ์ฟที่ฟแคโทดิกสตริปปีง
โวลแทมเมทรีเมื่อใช้ Oxine เป็นลิแกนด์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.8 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
1	0.104	0.080	0.039
2	0.314	0.124	0.047
3	0.711	0.399	0.065
4	0.758	0.428	0.101
5	0.897	0.579	0.177
6	0.925	0.583	0.226
7	0.905	0.607	0.106
8	1.695	1.047	0.176
9	1.648	0.986	0.183
10	1.597	1.005	0.175

2. ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.9 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	สังกะสี
200	0.314	0.267	0.439
0	3.958	0.28	0.4454
-200	5.784	0.2627	0.4346
-400	5.914	0.7285	0.446
-600	5.681	0.981	0.8021
-800	4.656	1.079	1.243
-1000	4.532	1.047	0.9603
-1200	4.808	1.074	1.002
-1400	4.85	1.211	1.351

3. ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคพีเพอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.10 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
0	0.105	0.554	0.618
60	6.824	1.452	1.372
120	9.593	1.866	1.531
180	9.624	2.001	1.695
240	10.570	2.970	2.001

4. ความเข้มข้นของ Oxine

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.11 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Oxine ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
0	0.148	0.220	0.278
36.9	0.208	0.224	0.188
73.8	0.366	0.199	0.241
369	0.391	0.201	0.274
3690	0.477	0.298	0.344

5. ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 500 พีพีพี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 12 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
0	0.191	0.228	0.133
180	0.22	0.219	0.166
300	0.2	0.201	0.164
420	0.231	0.211	0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.13 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
0	0.195	0.193	0.188
30	0.209	0.21	0.165
60	0.213	0.201	0.146
90	0.208	0.216	0.159

7. ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไฮดรอกซิด่าง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8

ความเข้มข้นของ Oxine 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซีเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 120 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

ตารางที่ ก.14 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

พัลส์แอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)		
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม
10	0.06	0.046	0.031
30	0.151	0.125	0.084
50	0.193	0.187	0.149
70	0.291	0.268	0.203
100	0.300	0.294	0.209

ค. ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอตซอร์พทิฟแคโทดิกสตริปปีง
โวลแทมเมตรีเมื่อใช้ Catechol เป็นลิแกนด์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์วอลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.15 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
1	214.3	95.9	81.2	95.3
2	394.2	101.2	114.6	100.7
3	557.1	106.2	157.3	101.9
4	671.8	132.5	160.0	102.6
5	706.8	137.5	159.8	125.3
6	721.5	140.1	162.3	130.5
7	725.6	142.5	163.5	134.2
8	767.3	149.2	164.5	136.2
9	695.2	150.3	169.3	139.5
10	621.5	152.2	171.2	140.2

2. ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.16 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
400	471.1	28.1	50.6	103.5
200	1.84.3	28.1	49.5	102.4
0	584.4	27.6	48.8	102.5
-200	645.6	28.4	49.5	103.2
-400	651.0	94.8	48.2	100.9
-600	671.8	132.5	160.0	102.6
-800	703.4	131.8	181.1	104.5
-1000	732.8	137.2	198.6	176.4
-1200	733.9	129.4	196.2	180.3

3 ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.17 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	259.7	35.6	60.0	117.4
30	562.0	81.5	119.8	159.0
60	722.2	130.8	174.1	172.5
90	920.5	173.4	235.6	171.8
120	1012.0	216.9	294.7	186.2
150	1104.0	242.5	301.5	190.1

4. ความเข้มข้นของ Catechol

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.18 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Catechol ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	680.7	183.5	241.5	172.9
18.5	695.0	185.1	243.7	181.6
36.9	704.9	191.3	257.4	185.9
73.8	879.2	205.6	284.4	190.0
368.9	758.2	180.6	234.2	193.7
3689	507.0	184.0	214.0	177.3

5. ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 19 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจนต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	815.7	179.6	256.5	168.6
60	812.4	180.5	256.6	184.5
180	844.0	187.7	240.4	172.8
300	807.4	181.7	241.1	189.2
420	800.9	178.0	249.0	197.5

6. ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 4.20 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	696.1	149.6	208.5	135.5
30	751	169.4	222.4	172.4
60	765.9	197.8	223.8	172.4
90	739.4	161.5	204.7	151.3
120	709	133.6	162.7	137.8

7. ขนาดของพัลส์แอมพลิจูด

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4

ความเข้มข้นของ Catechol 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

ตารางที่ ก.21 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิจูด ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

พัลส์แอมพลิจูด (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
10	142.3	34.1	41.3	30.5
30	374.6	96.5	115.1	95.0
50	536.6	145.8	174.7	147.1
70	1085.0	214.5	273.5	186.3
90	1382.0	272.4	365.8	229.0

ง. ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง
โวลแทมเมตรีเมื่อใช้ Zincon เป็นลิแกนด์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการใส่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.22 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
1	103.9	136.4	123.5	65.6
2	393.1	137.0	142.1	88.5
3	428.6	157.3	154.3	91.5
4	455.3	173.2	169.9	95.5
5	465.0	160.4	129.5	96.8
6	472.3	169.5	152.2	86.9
7	485.3	214.5	159.1	90.5
8	417.1	258.9	142.9	95.8
9	391.9	309.0	170.5	161.2
10	210.5	163.2	139.1	171.5

2. ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.23 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
400	0	15.9	96.7	95.5
200	0	11.1	100.6	96.1
0	0	12.7	106.2	102.5
-200	0	15.6	119.9	117.0
-400	20.4	43.6	124.3	91.4
-600	205.7	77.9	166.1	104.1
-800	192.0	75.3	189.5	105.4
-1000	257.2	87.4	226.1	369.4
-1200	227.0	74.6	290.9	774.0
-1400	225.0	67.2	291.9	881.4

3. ระยะเวลาที่ใช้ในdeposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพีลล์โดยกำหนดพีลล์แอมพลิฟิเคชันขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.24 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	13.9	7.2	94.4	76.7
30	158.2	40.1	169.5	260.0
60	263.1	97.7	276.2	398.2
90	264.4	143.2	350.1	424.2
120	276.9	182.6	430.7	460.1
150	260.3	244.1	524.2	478.4
180	274.1	231.1	621.5	501.5
210	286.4	226.5	691.2	526.9

4. ความเข้มข้นของ Zincon

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.25 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Zincon ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	231.9	169.1	453.5	445.8
18.5	294.4	198.9	454.5	475.1
36.9	303.3	228.6	464.1	517.4
73.8	239.5	296.8	570.3	481.9
368.9	242.3	306.9	514.8	470.7
3690	251.0	275.4	476.0	395.8
36900	247.1	259.5	454.8	351.2

5. ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคไฟฟ้าเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.26 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	224.0	211.2	637.2	411.3
60	249.2	228.8	465.0	398.5
180	195.9	313.6	535.4	500.6
300	206.4	326.8	611.4	513.4
420	179.4	344.9	629.4	538.6
540	202.9	312.1	582.7	503.1

6. ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 4.27 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	229.2	331.9	504.8	479.2
30	193.4	310.2	559.0	594.7
60	173.3	353.8	508.8	614.1
90	181.0	327.0	565.3	626.4
120	180.8	328.1	614.6	641.3

7. ขนาดของพัลส์แอมพลิฟิเคชัน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9

ความเข้มข้นของ Zincon 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1200 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 150 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

ตารางที่ ก.28 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิฟิเคชัน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

พัลส์แอมพลิฟิเคชัน (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
10	34.5	82.5	113.7	70.7
30	115.8	221.2	365.6	275.0
50	202.4	297.4	559.8	510.6
70	308.8	315.8	742.9	634.3
90	402.4	262.4	742.8	574.7

จ. ผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีง โวลแทมเมทรีเมื่อใช้ Sodiumdiethyldithiocarbamate เป็นลิแกนด์

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -600 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแควร์วอลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.29 แสดงผลของอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
1	199.5	34.5	65.3	70.5
2	235.6	42.1	75.8	80.9
3	284.8	57.5	84.6	99.8
4	389.5	64.5	100.8	109.5
5	454.5	77.1	117.5	117.7
6	477.1	82.2	189.7	93.8
7	470.0	79.5	170.1	90.6
8	379.7	75.6	161.4	90.0
9	309.7	87.5	158.9	87.5
10	297.5	80.5	144.2	85.6

2. ค่าศักย์ไฟฟ้า deposition

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ระยะเวลา deposition 60 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียลฟอลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.30 แสดงผลของอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้า deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
400	299.5	31.5	47.3	30.6
200	307.5	39.5	56.9	34.2
0	329.6	45.6	68.3	42.3
-200	347.8	50.8	74.6	58.6
-400	359.8	57.6	83.5	65.8
-600	375.8	60.8	99.8	78.6
-800	385.5	65.8	105.1	82.0
-1000	394.6	67.4	124.1	95.6
-1200	377.4	58.0	112.3	114.4
-1400	368.9	57.6	110.6	125.6

3. ระยะเวลา deposition

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.31 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา deposition ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	43.9	20.2	49.1	38.5
30	257.8	68.9	76.5	58.6
60	447.8	87.8	97.8	77.5
90	588.6	97.4	163.1	88.7
120	695.6	100.5	180.1	90.5
150	715.6	115.6	195.3	100.8

4. ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 300 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.32 แสดงผลของอิทธิพลของความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ความเข้มข้น (ไมโครโมลาร์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	957.8	98.6	153.6	92.4
18.5	245.8	65.6	54.8	34.2
36.9	378.9	86.3	86.3	53.6
73.8	586.3	99.4	160.6	85.5
368.9	605.8	105.3	178.6	94.2
3689	645.3	135.6	188.3	98.3

5. ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไอออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.33 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	581.2	90.2	163.9	80.6
60	576.9	95.6	162.5	84.3
180	583.4	99.4	161.8	85.7
300	581.2	98.6	164.5	81.3
420	567.5	93.5	167.8	80.6
540	575.9	96.3	163.5	81.5

6. ระยะเวลา equilibration

เมื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไลออนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ตารางที่ ก.34 แสดงผลของอิทธิพลของระยะเวลา equilibration ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

ระยะเวลา (วินาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
0	567.8	91.3	160.5	81.5
30	576.9	95.6	162.5	84.3
60	564.2	92.5	163.8	82.6
90	581.6	94.6	161.8	85.4
120	569.6	93.5	162.5	81.9

7. ขนาดของพัลส์แอมพลิฟิเคชัน

เมื่อกำหนดสถานะของตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้

ความเข้มข้นของไฮดรอนทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี 1000 พีพีเอ็ม

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6

ความเข้มข้นของ Sodiumdiethyldithiocarbamate 73.8 ไมโครโมลาร์

ระยะเวลาในการไล่ออกซิเจน 60 วินาที

ศักย์ไฟฟ้า deposition -1000 มิลลิโวลต์

ระยะเวลา deposition 90 วินาที

ระยะเวลา equilibration 15 วินาที

ตารางที่ ก.35 แสดงผลของอิทธิพลของขนาดพัลส์แอมพลิฟิเคชัน ต่อปริมาณกระแสที่บันทึกได้

พัลส์แอมพลิฟิเคชัน (มิลลิโวลต์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณกระแสที่บันทึกได้ (นาโนแอมแปร์)			
	ทองแดง	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี
10	398.9	45.6	135.6	47.6
30	457.9	57.6	140.1	55.9
50	512.5	75.8	148.3	67.5
70	588.6	97.48	163.1	88.7
90	601.2	100.9	169.9	90.1

ภาคผนวก ข. การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด

การทดสอบและคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดในการตรวจวัดนั้น ทำการทดสอบจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละชนิดลิแกนด์ โดยทำการทดสอบและคำนวณตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

สูตรการคำนวณและวิธีการทดสอบ

1. เตรียมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นแน่นอนต่างกัน แล้วนำไปทำการทดลองในสภาวะที่เหมาะสม นำผลการทดลองที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นกับปริมาณกระแสที่วัดได้ จะได้กราฟเส้นตรง จากนั้นนำมาคำนวณหาความชันของเส้นกราฟ จากสมการ

$$Y = aX + b$$

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

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

เมื่อ a คือความชันของเส้นกราฟ

b คือจุดตัดแกนตั้ง

2. เมื่อสามารถหาค่าความชันของเส้นกราฟได้แล้ว นำสารละลายที่ปราศจากไอออนของโลหะทั้ง 4 ชนิดนำไปทำการทดลองในสภาวะที่เหมาะสม (เป็นจำนวนอย่างน้อย 20 ครั้ง) แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

Standard Deviation of Blank (S_B)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด

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

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

$$\text{Detection Limit } (C_L) = \frac{(Y_L - \bar{Y}_B)}{a}$$

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

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดเมื่อ Cupferron เป็นลิแกนด์

1. หาค่าความชันของกราฟ

Conc.(ppb)	100	500	1000	Slope	Intercept
Cu (nA)	26.51	655.50	1518	1.659	-151
Pb (nA)	68.85	188.30	230.90	0.176	68
Cd (nA)	28.33	168.50	280.70	0.278	10
Zn (nA)	29.35	73.63	148.40	0.132	12

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
1	25.49	10.51	10.57	20.35
2	25.12	11.54	11.58	20.45
3	26.45	10.65	12.58	21.54
4	24.98	12.36	12.65	20.36
5	25.36	10.24	10.36	20.47
6	24.35	9.65	10.24	21.65
7	26.00	10.36	12.65	20.68
8	25.71	9.256	12.89	21.95
9	24.98	10.65	11.14	20.65
10	26.30	11.25	10.21	21.98
11	25.70	9.65	12.58	20.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
12	25.60	12.65	11.58	20.78
13	24.87	11.35	12.36	21.65
14	26.31	12.78	11.45	21.35
15	25.00	9.65	11.15	20.65
16	25.69	11.54	12.35	20.00
17	24.77	12.65	11.67	21.58
18	25.61	11.58	12.98	22.50
19	24.87	12.98	10.57	21.35
20	26.35	12.58	11.36	22.60
21	24.35	12.65	10.65	21.40
22	26.14	11.98	11.57	20.65
23	25.87	10.25	12.91	20.25
24	23.99	10.98	11.57	21.65
25	24.58	12.01	12.65	20.99
SUM	634.44	281.75	292.27	528.11
AVER.	25.377	11.270	11.690	21.124
SD.	0.693	1.144	0.919	0.713

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด
สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้

$$\text{Copper} = 25.378 + (3 \times 0.693) = 27.457 \text{ nA}$$

$$\text{Lead} = 11.27 + (3 \times 1.144) = 14.702 \text{ nA}$$

$$\text{Cadmium} = 11.691 + (3 \times 0.919) = 14.448 \text{ nA}$$

$$\text{Zinc} = 21.124 + (3 \times 0.714) = 23.266 \text{ nA}$$

Detection Limit

$$\text{Copper} = (3 \times \text{SD})/a = 1.26 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 19.8 \text{ nM}$$

$$\text{Lead} = (3 \times \text{SD})/a = 19.5 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 94.1 \text{ nM}$$

$$\text{Cadmium} = (3 \times \text{SD})/a = 9.92 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 88.3 \text{ nM}$$

$$\text{Zinc} = (3 \times \text{SD})/a = 16.11 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 246 \text{ nM}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดเมื่อ Oxine เป็นลิแกนด์

1. หาค่าความชันของกราฟ

Conc.(ppb)	100	500	1000	Slope	intercept
Cu (nA)	54.80	104.30	323.60	0.30	-1.44
Pb(nA)	2.19	72.35	163.70	0.18	-16.3
Cd(nA)	0.08	9.17	88.16	0.10	-21.0

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)
1	25.70	4.70	1.90
2	24.90	4.50	2.50
3	25.10	5.60	2.30
4	26.10	4.50	2.90
5	25.30	5.60	3.50
6	24.70	6.50	2.10
7	25.60	4.50	2.60
8	24.80	5.30	3.60
9	25.60	6.20	3.40
10	25.80	4.80	1.60
11	24.90	6.50	2.50
12	26.30	7.10	1.50
13	25.50	6.90	2.60
14	28.20	4.80	2.70
15	27.10	5.60	3.60
16	25.60	6.60	2.40
17	24.80	6.80	3.50
18	24.90	6.70	3.70
19	25.60	4.90	3.90
20	27.00	5.30	2.50
21	25.60	5.80	3.60
22	24.90	7.10	3.50
23	24.80	6.80	2.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)
24	25.40	6.90	3.90
25	24.90	6.40	3.40
SUM	639.10	146.4	72.3
Aver.	25.564	5.856	2.892
SD	0.848	0.921	0.718

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด
สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้ (nA)

$$\text{Copper} = 25.564 + (3 \times 0.85) = 28.114 \text{ nA}$$

$$\text{Lead} = 5.856 + (3 \times 0.92) = 8.616 \text{ nA}$$

$$\text{Cadmium} = 2.892 + (3 \times 0.72) = 5.052 \text{ nA}$$

Detection Limit

$$\text{Copper} = (3 \times \text{SD})/a = 8.5 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 133.8 \text{ nM}$$

$$\text{Lead} = (3 \times \text{SD})/a = 15.33 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 73.9 \text{ nM}$$

$$\text{Cadmium} = (3 \times \text{SD})/a = 21.6 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 192.1 \text{ nM}$$

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดเมื่อ Catechol เป็นลิแกนด์

1. หาค่าความชันของกราฟ

Conc.(ppb)	100	500	1000	Slope	Intercept
Cu (nA)	260.30	743.5	1176.00	1.011	187.3
Pb(nA)	18.52	82.95	181.20	0.181	-2.52
Cd(nA)	28.55	126.90	260.70	0.258	0.94
Zn(nA)	31.90	111.00	182.50	0.166	19.75

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
1	3.00	0.15	0.26	0.15
2	2.50	0.21	0.25	0.16
3	2.60	0.14	0.24	0.10
4	3.10	0.16	0.18	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
5	3.50	0.14	0.26	0.11
6	2.60	0.17	0.24	0.15
7	3.40	0.13	0.26	0.16
8	2.80	0.25	0.28	0.20
9	3.60	0.26	0.21	0.18
10	3.90	0.23	0.23	0.15
11	4.10	0.24	0.16	0.18
12	3.90	0.26	0.18	0.16
13	3.50	0.11	0.19	0.14
14	3.40	0.14	0.12	0.13
15	2.80	0.20	0.16	0.14
16	3.60	0.24	0.25	0.15
17	3.50	0.14	0.35	0.10
18	2.40	0.14	0.24	0.11
19	2.80	0.25	0.31	0.16
20	3.80	0.19	0.25	0.18
21	2.70	0.18	0.38	0.18
22	3.90	0.19	0.24	0.21
23	4.50	0.26	0.29	0.20
24	4.20	0.28	0.20	0.18
25	4.10	0.21	0.15	0.19
SUM	84.20	4.87	5.88	3.97
AVER.	3.368	0.194	0.235	0.158
SD	0.603	0.051	0.060	0.031

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด
สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้ (nA)

$$\text{Copper} = 3.368 + (3 \times 0.60) = 5.168 \text{ nA}$$

$$\text{Lead} = 0.195 + (3 \times 0.05) = 0.345 \text{ nA}$$

$$\text{Cadmium} = 0.235 + (3 \times 0.06) = 0.415 \text{ nA}$$

$$\text{Zinc} = 0.159 + (3 \times 0.03) = 0.249 \text{ nA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detection Limit

Copper = $(3XSD)/a = 1.787 \text{ ug/l}$ เท่ากับ 28.03 nMLead = $(3XSD)/a = 0.833 \text{ ug/l}$ เท่ากับ 4.02 nMCadmium = $(3XSD)/a = 0.692 \text{ ug/l}$ เท่ากับ 6.16 nMZinc = $(3XSD)/a = 0.166 \text{ ug/l}$ เท่ากับ 2.53 nM

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดเมื่อ Zincon เป็นลิแกนด์

1. หาค่าความชันของกราฟ

Conc. (ppb)	100	500	1000	Slope	Intercept
Cu (nA)	132.50	313.60	438.40	0.336	115.53
Pb(nA)	11.29	167.20	328.40	0.351	-18.29
Cd(nA)	42.76	197.30	399.40	0.396	1.64
Zn(nA)	21.49	50.26	129.20	0.121	2.32

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

	Cu (nA)	Pb(nA)	Cd(nA)	Zn(nA)
1	0.55	27.10	0.45	0.08
2	0.49	27.30	0.47	0.08
3	0.53	26.90	0.39	0.07
4	0.55	26.50	0.51	0.08
5	0.54	27.00	0.41	0.09
6	0.51	26.90	0.52	0.08
7	0.55	27.30	0.43	0.07
8	0.56	27.10	0.45	0.09
9	0.57	27.90	0.47	0.08
10	0.53	28.10	0.41	0.07
11	0.51	27.50	0.42	0.09
12	0.54	26.80	0.42	0.09
13	0.49	27.20	0.47	0.07
14	0.52	27.30	0.50	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cu (nA)	Pb(nA)	Cd(nA)	Zn(nA)
15	0.51	27.60	0.39	0.07
16	0.53	28.90	0.37	0.08
17	0.49	27.90	0.45	0.08
18	0.53	26.90	0.43	0.07
19	0.50	27.50	0.50	0.09
20	0.53	28.20	0.43	0.07
21	0.54	28.10	0.44	0.07
22	0.48	26.40	0.39	0.08
23	0.50	27.10	0.40	0.08
24	0.51	26.90	0.45	0.09
25	0.53	26.70	0.41	0.07
SUM	13.09	683.1	10.98	1.97
AVER.	0.523	27.324	0.439	0.078
SD	0.023	0.593	0.040	0.007

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด
สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้

$$\text{Copper} = 0.523 + (3 \times 0.023) = 0.595 \text{ nA}$$

$$\text{Lead} = 27.324 + (3 \times 0.593) = 29.10 \text{ nA}$$

$$\text{Cadmium} = 0.439 + (3 \times 0.040) = 0.56 \text{ nA}$$

$$\text{Zinc} = 0.078 + (3 \times 0.007) = 0.102 \text{ nA}$$

Detection Limit

$$\text{Copper} = (3 \times \text{SD})/a = 0.214 \text{ ug/l} \text{ เท่ากับ } 3.37 \text{ nM}$$

$$\text{Lead} = (3 \times \text{SD})/a = 5.068 \text{ ug/l} \text{ เท่ากับ } 24.45 \text{ nM}$$

$$\text{Cadmium} = (3 \times \text{SD})/a = 0.303 \text{ ug/l} \text{ เท่ากับ } 2.69 \text{ nM}$$

$$\text{Zinc} = (3 \times \text{SD})/a = 0.198 \text{ ug/l} \text{ เท่ากับ } 3.02 \text{ nM}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัดเมื่อ NaDDTC เป็นลิแกนด์

1. หาค่าความชันของกราฟ

Conc. (ppb)	100	500	1000	Slope	Intercept
Cu (nA)	63.48	677.20	1140.00	1.180	-5.13
Pb (nA)	3.75	10.89	50.36	0.052	-6
Cd (nA)	23.02	95.09	247.40	0.251	-12
Zn (nA)	12.16	36.69	62.59	0.055	7.12

2. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
1	0.68	5.36	0.45	5.32
2	0.67	5.26	0.56	5.24
3	0.60	5.98	0.46	5.36
4	0.60	4.98	0.53	4.36
5	0.64	5.64	0.56	3.65
6	0.68	4.69	0.36	5.98
7	0.59	6.21	0.59	4.65
8	0.76	5.68	0.54	3.65
9	0.64	4.98	0.53	5.68
10	0.75	6.25	0.56	5.98
11	0.68	5.87	0.64	5.47
12	0.51	6.23	0.54	5.36
13	0.68	6.45	0.65	5.35
14	0.43	4.87	0.48	4.57
15	0.65	5.98	0.65	6.25
16	0.47	5.47	0.63	5.36
17	0.64	6.54	0.54	6.25
18	0.59	4.87	0.65	5.78
19	0.62	5.64	0.65	4.65
20	0.42	5.14	0.65	6.35
21	0.65	6.58	0.65	6.54
22	0.47	5.48	0.54	6.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cu (nA)	Pb (nA)	Cd (nA)	Zn (nA)
23	0.69	6.24	0.53	5.78
24	0.55	4.87	0.49	5.36
25	0.49	6.45	6.21	5.47
SUM	15.286	141.71	19.773	134.660
AVER.	0.611	5.668	0.790	5.386
SD.	0.095	0.604	1.131	0.776

3. หาค่าสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด
สัญญาณต่ำสุดที่วัดได้

$$\text{Copper} = 0.611 + (3 \times 0.095) = 0.896 \text{ nA}$$

$$\text{Lead} = 5.668 + (3 \times 0.604) = 7.480 \text{ nA}$$

$$\text{Cadmium} = 0.790 + (3 \times 1.131) = 4.183 \text{ nA}$$

$$\text{Zinc} = 5.386 + (3 \times 0.776) = 7.714 \text{ nA}$$

Detection Limit

$$\text{Copper} = (3 \times \text{SD})/a = 0.241 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 3.79 \text{ nM}$$

$$\text{Lead} = (3 \times \text{SD})/a = 34.85 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 168 \text{ nM}$$

$$\text{Cadmium} = (3 \times \text{SD})/a = 13.52 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 120 \text{ nM}$$

$$\text{Zinc} = (3 \times \text{SD})/a = 42.33 \text{ ug/l} \quad \text{เท่ากับ } 647 \text{ nM}$$

ภาคผนวก ค.

การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อสรุปผลการวิเคราะห์จากเขตของผลการวิเคราะห์ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่าง กลับไปหากลุ่มประชากร โดยมีการตั้งสมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) ซึ่งเป็นข้อความที่เกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่า สมมติฐานทางสถิติประกอบด้วย 2 ส่วน คือสมมติฐานของความไม่ต่าง (null hypothesis) และสมมติฐานของความต่าง (alternative hypothesis)

สมมติฐานของความไม่ต่าง เป็นสมมติฐานที่ระบุถึงความไม่ต่างกันของค่าพารามิเตอร์ ดังนั้นสมมติฐานของความไม่ต่างจึงมีเครื่องหมายเท่ากับปรากฏอยู่เสมอ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานความไม่ต่างคือ H_0 เช่น $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ หมายถึงมีขัณมีเลขคณิต ของกลุ่มประชากรกลุ่มที่ 1 มีค่าเท่ากับมีขัณมีเลขคณิตของกลุ่มประชากรกลุ่มที่ 2

สมมติฐานของความต่าง เป็นสมมติฐานที่คู่กับสมมติฐานของความไม่ต่างกัน โดยระบุถึงค่าพารามิเตอร์ว่าควรเป็นอย่างไรเมื่อสมมติฐานของความไม่ต่างไม่ถูกต้อง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนสมมติฐานของความต่างคือ H_1 เช่น $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ หรือ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ เป็นต้น

นิยามของคำบางคำที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

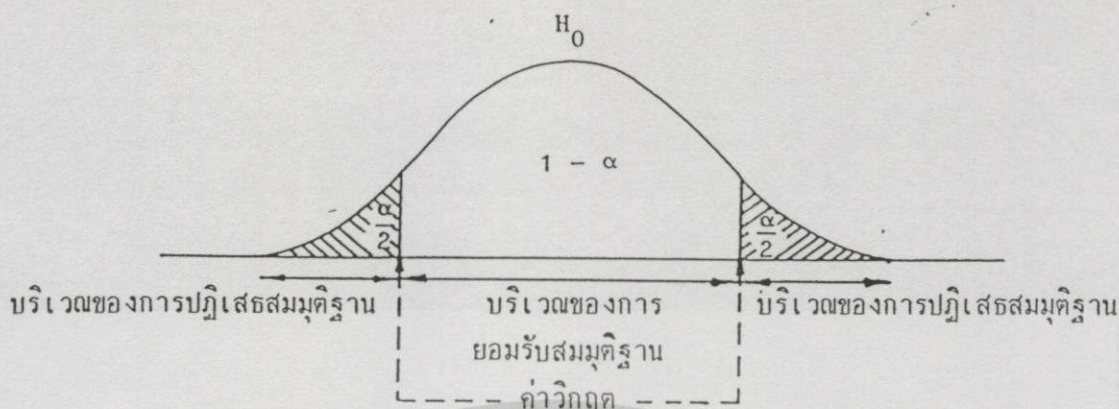
ระดับนัยสำคัญ ในการทดสอบสมมติฐาน ระดับนัยสำคัญหมายถึง ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะสรุปผลผิดพลาดว่าสมมติฐานของความไม่ต่างไม่ถูกต้อง ทั้งๆที่สมมติฐานของความไม่ต่างถูกต้อง ระดับนัยสำคัญที่นิยมใช้ในการทดสอบสมมติฐานคือ 0.05

การทดสอบสมมติฐานที่กำหนดค่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 หมายความว่าในการทดสอบสมมติฐาน 100 ครั้ง ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะสรุปผลผิดพลาดในลักษณะที่ปฏิเสธสมมติฐานของความไม่ต่างมีอยู่เพียง 5 ครั้ง หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการทดสอบสมมติฐานครั้งนั้นมีระดับความมั่นใจในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานของความไม่ต่างเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

บริเวณของการปฏิเสธสมมติฐาน เป็นกลุ่มของค่าสถิติที่ก่อให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐาน

บริเวณของการยอมรับสมมติฐาน เป็นกลุ่มของค่าสถิติที่ก่อให้เกิดการยอมรับสมมติฐาน

ค่าวิกฤต เป็นค่าสถิติที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าวิกฤตเป็นจุดแบ่งบริเวณของการยอมรับกับบริเวณของการปฏิเสธสมมติฐาน



รูปที่ ๑.๑ การทดสอบสมมุติฐานแบบสองทาง (ระดับนัยสำคัญเป็นพื้นที่ส่วนปลายทั้งสองข้างได้เส้นโค้งของการแจกแจงของค่าสถิติ)

ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานทางเคมิวเคราะห์ ได้แก่ z , t และ F โดย z และ t จะใช้ในการทดสอบสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับความเท่ากันของมัธยฐานเลขคณิตของกลุ่มประชากร ส่วน F จะใช้กับการทดสอบสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับความเท่ากันของความแปรปรวนของกลุ่มประชากร

การทดสอบสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับความเท่ากันของมัธยฐานเลขคณิตของกลุ่มประชากร

การทดสอบสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับความเท่ากันของมัธยฐานเลขคณิตของกลุ่มประชากรแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. การทดสอบในกรณีที่มีเซตของผลการวิเคราะห์เพียงเซตเดียว (กลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว) การทดสอบในกรณีนี้จะต้องทราบค่าที่แท้จริงหรือค่าที่ยอมรับกัน

สมมุติฐาน

$$H_0 : u_1 = u_0$$

$$H_1 : u_1 \neq u_0$$

$$\text{หรือ } u_1 > u_0$$

$$u_1 < u_0$$

โดย u_0 เป็นค่าที่แท้จริงหรือค่าที่ยอมรับกัน

การทดสอบในกรณีนี้แบ่งได้เป็น 2 กรณีย่อยๆคือ

1.1 ถ้าทราบค่า σ หรือถ้าไม่ทราบค่า σ $n \geq 30$ ใช้วิธีทดสอบ z นั่นคือค่าสถิติที่เลือกใช้เป็น z คำนวณค่า z ได้จาก

$$z = \frac{\bar{x} - u_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

และในกรณีที่ไมทราบค่า σ ให้ประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเขตของผลการวิเคราะห์เป็นค่า σ

1.2 ถ้าไม่ทราบค่า σ และ $n < 30$ ใช้วิธีทดสอบ t นั่นคือค่าสถิติที่เลือกใช้เป็น t คำนวณหาค่า t ได้จาก

$$t = \frac{\bar{x} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

โดยที่ $V = n - 1$

2. การทดสอบในกรณีที่มีเขตของผลการวิเคราะห์ 2 เขต (กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม) การทดสอบในกรณีนี้แบ่งได้เป็น 2 กรณีย่อยๆคือ

2.1 เขตของผลการวิเคราะห์ทั้งสองเขตเป็นอิสระต่อกัน สมมติฐาน

$$\begin{array}{l} H_0 : u_1 = u_2 \\ H_1 : u_1 \neq u_0 \\ \text{หรือ } u_1 > u_0 \\ \text{หรือ } u_1 < u_0 \end{array}$$

แบ่งออกได้เป็น

2.1.1 ถ้าทราบค่า σ_1 และ σ_2 หรือไม่ทราบแต่ n_1 และ $n_2 \geq 30$ ใช้วิธีทดสอบ z และคำนวณหาค่า z ได้จาก

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (u_1 - u_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

2.1.2 ถ้าไม่ทราบค่า σ_1 และ σ_2 หรือไม่ทราบแต่ n_1 และ $n_2 < 30$ ใช้วิธีทดสอบ t และคำนวณค่า t ได้จาก

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (u_1 - u_2)}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

2.2 เขตของผลการวิเคราะห์ทั้งสองเขตมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน เช่นนักวิเคราะห์ต้องการทดสอบวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นใหม่เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน โดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีส่วนประกอบต่างกันเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ทั้งสองเขตนี้จะมีความเกี่ยวข้องกันเนื่องจากเป็นผลการวิเคราะห์จากสารตัวอย่างเดียวกัน

สมมุติฐาน

$$H_0 : u_1 = 0$$

$$H_1 : u_D \neq 0$$

$$\text{หรือ } u_D > 0$$

$$u_D < 0$$

$$\text{เมื่อ } u_D = u_1 - u_2$$

ใช้วิธีทดสอบ t และคำนวณหาค่า t ได้จาก

$$t = \frac{\bar{D} - u_D}{\frac{s_D}{\sqrt{n}}}$$

$$\text{และ } V = n - 1$$

เมื่อ D เป็นความแตกต่างพร้อมเครื่องหมายระหว่างค่าของตัวแปรตามแต่ละคู่
n เป็นจำนวนคู่

\bar{D} เป็นค่าเฉลี่ยของ D

s_D เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ D

$$\bar{D} = \frac{\sum D}{n}$$

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum (D - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

ภาคผนวก ง.

การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของผลการทดลอง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณโลหะ 4 ชนิดประกอบด้วยทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิคแอดซอร์พทีฟแคโทดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี เปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ชนิดแกรไฟต์

โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างน้ำดื่มเป็น

1. น้ำประปา จำนวน 4 ตัวอย่าง
2. น้ำบาดาล จำนวน 5 ตัวอย่าง
3. น้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใส จำนวน 6 ตัวอย่าง
4. น้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกขุ่น จำนวน 18 ตัวอย่าง
5. น้ำแร่บรรจุขวด จำนวน 5 ตัวอย่าง

รวมตัวอย่างน้ำดื่มทั้งสิ้น 38 ตัวอย่าง

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในน้ำดื่ม

	ทองแดง ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
ประปา (1)	3.73	3.514	0.216	0.316421	0.100122
ประปา (2)	2.306	2.966	-0.66	-0.55958	0.313129
ประปา (3)	1.947	2.068	-0.121	6.100421	37.21514
ประปา (4)	2.014	2.654	-0.64	-0.53958	0.291145
บาดาล (1)	6.317	5.897	0.42	0.520421	0.270838
บาดาล (2)	5.921	6.245	-0.324	-0.22358	0.049988
บาดาล (3)	5.394	5.471	-0.077	0.023421	0.000549
บาดาล (4)	6.495	5.992	0.503	0.603421	0.364117
บาดาล (5)	5.074	5.514	-0.44	-0.33958	0.115314
ตัวอย่างที่ 1	4.44	4.147	0.293	0.393421	0.15478
ตัวอย่างที่ 2	3.401	3.658	-0.257	-0.15658	0.024517
ตัวอย่างที่ 3	3.684	4.058	-0.374	-0.27358	0.074845
ตัวอย่างที่ 4	3.982	4.652	-0.67	-0.56958	0.32442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ทองแดง ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
ตัวอย่างที่5	2.629	2.987	-0.358	-0.25758	0.066347
ตัวอย่างที่6	3.812	2.951	0.861	0.961421	0.92433
ตัวอย่างที่7	1.741	1.587	0.154	0.254421	0.06473
ตัวอย่างที่8	4.982	5.064	-0.082	0.018421	0.000339
ตัวอย่างที่9	5.876	6.211	-0.335	-0.23458	0.055027
ตัวอย่างที่10	2.902	3.698	-0.796	-0.69558	0.48383
ตัวอย่างที่11	4.519	4.321	0.198	0.298421	0.089055
ตัวอย่างที่12	5.311	5.658	-0.347	-0.24658	0.060801
ตัวอย่างที่13	4.306	4.158	0.148	0.248421	0.061713
ตัวอย่างที่14	4.693	4.254	-1.305	-1.20458	1.45101
ตัวอย่างที่15	4.845	5.064	-0.219	-0.11858	0.014061
ตัวอย่างที่16	6.41	5.998	1.421	1.521421	2.314722
ตัวอย่างที่17	5.332	4.989	0.343	0.443421	0.196622
ตัวอย่างที่18	6.401	6.547	-0.146	-0.04558	0.002077
ตัวอย่างที่19	5.169	5.365	-0.196	-0.09558	0.009135
ตัวอย่างที่20	5.937	6.326	-0.389	-0.28858	0.083278
ตัวอย่างที่21	6.586	6.748	-0.162	-0.06158	0.003792
ตัวอย่างที่22	4.045	4.251	-0.206	-0.10558	0.011147
ตัวอย่างที่23	5.682	5.987	-0.305	-0.20458	0.041853
ตัวอย่างที่24	3.658	3.622	0.036	0.136421	0.018611
SUM			-3.816		45.251
AVER.			-0.100		

วิธีทำ

สมมติฐาน

$$H_0 : u_D = 0 \text{ เมื่อ } u_D = u_1 - u_2$$

$$H_1 : u_D \neq 0$$

ค่าสถิติที่เลือกใช้ คือ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าวิกฤตของ t ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 และ $V = 38 - 1 = 37$ สำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบสองทางคือ

$$t_{\text{crit}} = \pm t_{0.025} = \pm 2.021$$

การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ t ที่ได้จากการคำนวณมีค่า > 2.021 หรือ < -2.021

การคำนวณค่า t

$$\bar{D} = -0.100 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$s = \frac{\sqrt{45.251}}{\sqrt{38-1}} = 1.110 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$t = \frac{-0.100}{\frac{1.110}{\sqrt{38}}}$$

$$t = -0.556$$

สรุปผล เทคนิคออร์ทิโทแคโทดิสตรีบิวิงโวลแทมเมตรีใช้วิเคราะห์ปริมาณทองแดงในน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ ไม่มีความแตกต่างจากเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ที่ใช้เตากราฟไฟต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95%

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำดื่ม

	ตะกั่ว ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
ประปา (1)	3.999	2.589	1.41	1.496868	2.240615
ประปา (2)	2.828	3.147	-0.319	-0.23213	0.053885
ประปา (3)	2.547	2.033	0.514	6.086868	37.04997
ประปา (4)	3.245	3.125	0.12	0.206868	0.042795
บาดาล (1)	12.131	12.568	-0.437	-0.35013	0.122592
บาดาล (2)	11.974	11.522	0.452	0.538868	0.290379
บาดาล (3)	12.254	13.045	-0.791	-0.70413	0.495801
บาดาล (4)	12.457	12.114	0.343	0.429868	0.184787
บาดาล (5)	11.331	12.347	-1.016	-0.92913	0.863285
ตัวอย่างที่ 1	1.664	1.354	0.31	0.396868	0.157505
ตัวอย่างที่ 2	1.856	2.088	-0.232	-0.14513	0.021063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ตะกั่ว ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
ตัวอย่างที่3	1.914	2.322	-0.408	-0.32113	0.103125
ตัวอย่างที่4	1.774	1.871	-0.097	-0.01013	0.000103
ตัวอย่างที่5	1.083	1.221	-0.138	-0.05113	0.002614
ตัวอย่างที่6	1.764	1.478	0.286	0.372868	0.139031
ตัวอย่างที่7	2.104	2.365	-0.261	-0.17413	0.030322
ตัวอย่างที่8	2.502	2.314	0.188	0.274868	0.075553
ตัวอย่างที่9	5.304	5.147	0.157	0.243868	0.059472
ตัวอย่างที่10	2.953	3.658	-0.705	-0.61813	0.382087
ตัวอย่างที่11	5.042	5.365	-0.323	-0.23613	0.055758
ตัวอย่างที่12	4.994	5.658	-0.664	-0.57713	0.333081
ตัวอย่างที่13	4.253	4.365	-0.112	-0.02513	0.000632
ตัวอย่างที่14	4.781	5.684	-1.577	-1.49013	2.220492
ตัวอย่างที่15	4.147	4.621	-0.474	-0.38713	0.149871
ตัวอย่างที่16	5.858	6.358	1.493	1.579868	2.495984
ตัวอย่างที่17	4.523	4.365	0.158	0.244868	0.059961
ตัวอย่างที่18	4.932	5.332	-0.4	-0.31313	0.098051
ตัวอย่างที่19	2.564	2.633	-0.069	0.017868	0.000319
ตัวอย่างที่20	2.607	2.789	-0.182	-0.09513	0.00905
ตัวอย่างที่21	2.7	3.001	-0.301	-0.21413	0.045852
ตัวอย่างที่22	2.099	2.114	-0.015	0.071868	0.005165
ตัวอย่างที่23	2.485	2.654	-0.169	-0.08213	0.006746
ตัวอย่างที่24	6.62	6.662	-0.042	0.044868	0.002013
SUM			-3.301		47.797
AVER.			-0.086		

วิธีทำ

สมมติฐาน

$$H_0 : u_0 = 0 \text{ เมื่อ } u_0 = u_1 - u_2$$

$$H_1 : u_0 \neq 0$$

ค่าสถิติที่เลือกใช้ คือ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าวิกฤตของ t ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 และ $V = 38 - 1 = 37$ สำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบสองทางคือ

$$t_{\text{crit}} = \pm t_{0.025} = \pm 2.021$$

การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ t ที่ได้จากการคำนวณมีค่า > 2.021 หรือ < -2.021

การคำนวณค่า t

$$\bar{D} = -0.086 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$s = \sqrt{\frac{47.797}{38-1}} = 1.137 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$t = \frac{-0.086}{1.137}$$

$$t = -0.467$$

สรุปผล เทคโนโลยีฟิสิกส์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมใช้วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ ไม่มีความแตกต่างจากเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปีที่ใช้เตากราฟิต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95%

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในน้ำดื่ม (นำเฉพาะตัวอย่างน้ำดื่มที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมได้เท่านั้น)

	แคดเมียม ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
บาดาล (1)	0.88	0.651	0.229	0.216053	0.046679
บาดาล (2)	0.923	0.847	0.076	0.063053	0.003976
บาดาล (3)	0.91	0.895	0.015	0.002053	0.000004
บาดาล (4)	0.832	0.869	-0.037	-0.04995	0.002495
บาดาล (5)	0.889	0.799	0.09	0.077053	0.005937
ตัวอย่างที่ 2	1.097	0.978	0.119	0.106053	0.011247
SUM			0.492		0.070
AVER.			0.012		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

สมมติฐาน

$$H_0 : u_D = 0 \text{ เมื่อ } u_D = u_1 - u_2$$

$$H_1 : u_D \neq 0$$

ค่าสถิติที่เลือกใช้ คือ t

ค่าวิกฤตของ t ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 และ $V = 38 - 1 = 37$ สำหรับการ

ทดสอบสมมติฐานแบบสองทางคือ

$$t_{crit} = \pm t_{0.025} = \pm 2.021$$

การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ t ที่ได้จากการคำนวณมีค่า > 2.021 หรือ < -2.021

การคำนวณค่า t

$$\bar{D} = 0.012 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$s = \frac{0.070}{\sqrt{38-1}} = 0.043 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$t = \frac{0.012}{0.043}$$

$$t = 1.720$$

สรุปผล

เทคโนโลยีบำบัดน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ ไม่มีความแตกต่างจากเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ที่ใช้เตากราไฟต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95%

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในน้ำดื่ม

	สังกะสี		D	D - \bar{D}	(D - \bar{D})
	ไมโครกรัมต่อลิตร				
	AdSV	AAS			
ประปา (1)	16.63	15.987	0.643	0.593789	0.352586
ประปา (2)	17.44	17.5	-0.06	-0.10921	0.011927
ประปา (3)	18.624	18.014	0.61	5.950789	35.4119
ประปา (4)	17.244	16.847	0.397	0.347789	0.120958
บาดาล (1)	20.147	20.687	-0.54	-0.58921	0.347169
บาดาล (2)	19.635	20.065	-0.43	-0.47921	0.229643

	สังกะสี ไมโครกรัมต่อลิตร		D	$D - \bar{D}$	$(D - \bar{D})^2$
	AdSV	AAS			
บาดาล (3)	19.241	19.665	-0.424	-0.47321	0.223928
บาดาล (4)	20.351	20.578	-0.227	-0.27621	0.076292
บาดาล (5)	20.687	20.147	0.54	0.490789	0.240874
ตัวอย่างที่1	8.954	9.141	-0.187	-0.23621	0.055795
ตัวอย่างที่2	9.429	9.516	-0.087	-0.13621	0.018553
ตัวอย่างที่3	7.574	7.558	0.016	-0.03321	0.001103
ตัวอย่างที่4	8.808	7.989	0.819	0.769789	0.592576
ตัวอย่างที่5	7.911	8.325	-0.414	-0.46321	0.214564
ตัวอย่างที่6	7.338	7.589	-0.251	-0.30021	0.090126
ตัวอย่างที่7	20.31	20.001	0.309	0.259789	0.067491
ตัวอย่างที่8	20.641	20.544	0.097	0.047789	0.002284
ตัวอย่างที่9	21.65	21.528	0.122	0.072789	0.005298
ตัวอย่างที่10	16.834	16.583	0.251	0.201789	0.040719
ตัวอย่างที่11	20.912	21.121	-0.209	-0.25821	0.066673
ตัวอย่างที่12	20.159	20.237	-0.078	-0.12721	0.016183
ตัวอย่างที่13	18.196	18.236	-0.04	-0.08921	0.007959
ตัวอย่างที่14	22.961	23.142	2.306	2.256789	5.093099
ตัวอย่างที่15	20.048	20.144	-0.096	-0.14521	0.021086
ตัวอย่างที่16	20.58	20.655	-1.207	-1.25621	1.578065
ตัวอย่างที่17	21.983	21.787	0.196	0.146789	0.021547
ตัวอย่างที่18	17.239	17.522	-0.283	-0.33221	0.110364
ตัวอย่างที่19	21.815	21.822	-0.007	-0.05621	0.00316
ตัวอย่างที่20	21.994	21.888	0.106	0.056789	0.003225
ตัวอย่างที่21	20.48	20.566	-0.086	-0.13521	0.018282
ตัวอย่างที่22	15.969	16.028	-0.059	-0.10821	0.01171
ตัวอย่างที่23	21.354	21.565	-0.211	-0.26021	0.06771
ตัวอย่างที่24	22.69	22.336	0.354	0.304789	0.092897
SUM			1.870		45.215
AVER.			0.049		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

สมมติฐาน

$$H_0 : u_D = 0 \text{ เมื่อ } u_D = u_1 - u_2$$

$$H_1 : u_D \neq 0$$

ค่าสถิติที่เลือกใช้คือ t

ค่าวิกฤตของ t ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 และ $V = 38 - 1 = 37$ สำหรับการทดสอบสมมติฐานแบบสองทางคือ

$$t_{\text{crit}} = \pm t_{0.025} = \pm 2.021$$

การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ t ที่ได้จากการคำนวณมีค่า > 2.021 หรือ < -2.021

การคำนวณค่า t

$$\bar{D} = 0.049 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$s = \sqrt{\frac{45.215}{38-1}} = 1.105 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$$

$$t = \frac{0.049}{\frac{1.105}{\sqrt{38}}}$$

$$t = 0.273$$

สรุปผล เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อผลิตสไตรีนโพลีเอทิลีนจากพืชสมุนไพรให้วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในน้ำดื่มที่พัฒนาใหม่ไม่มีความแตกต่างจากเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีที่ใช้เตากราไฟต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความมั่นใจ 95%

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดงค่า t ที่พื้นที่ส่วนปลายใต้เส้นโค้งปกติเพียงข้างเดียวและองศาของความเสรีมีค่า
ต่างๆกัน

v	พื้นที่ส่วนปลายใต้เส้นโค้งปกติเพียงข้างเดียว									
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.326	31.598
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.487	3.767
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

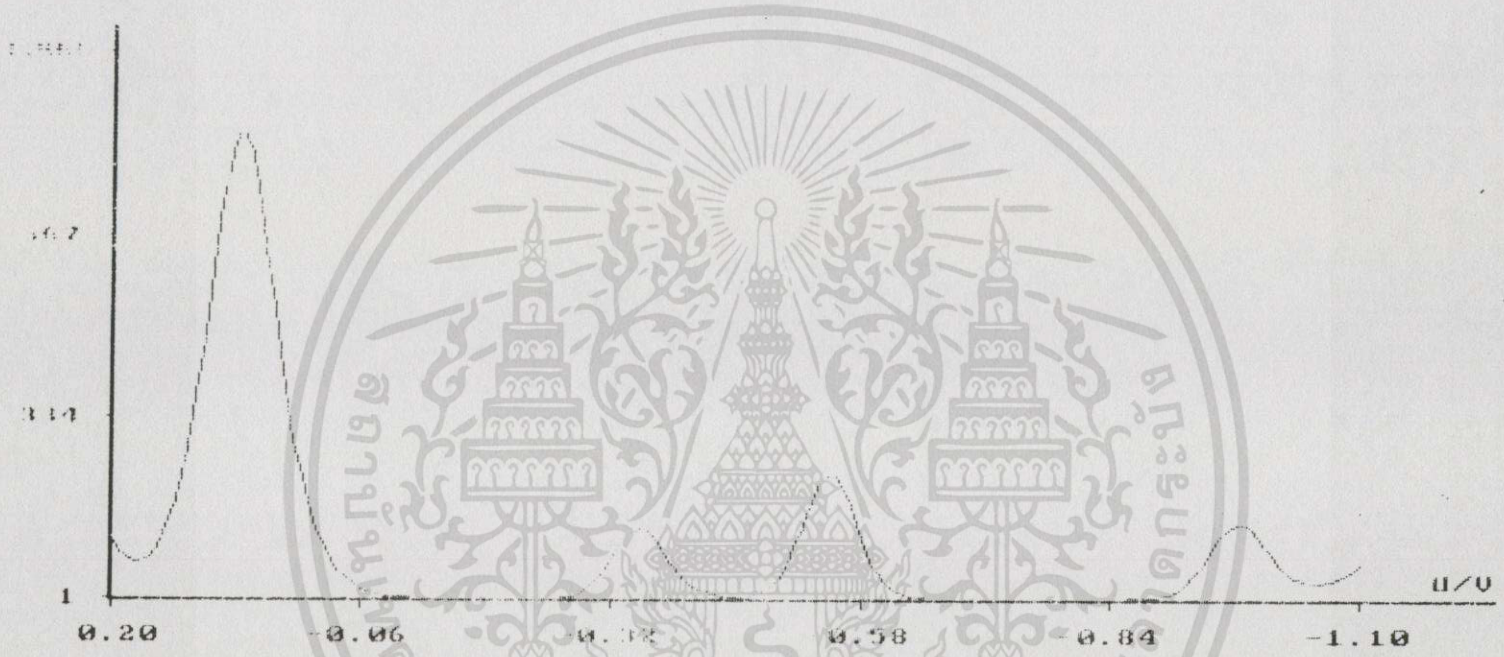
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

แสดงโวลแทมโมแกรม



รูปที่ จ.1 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Cupferron 73.8 uM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ไล่ออกซิเจนนาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.2 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Cupferron 0 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.3 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Cupferron 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลต์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



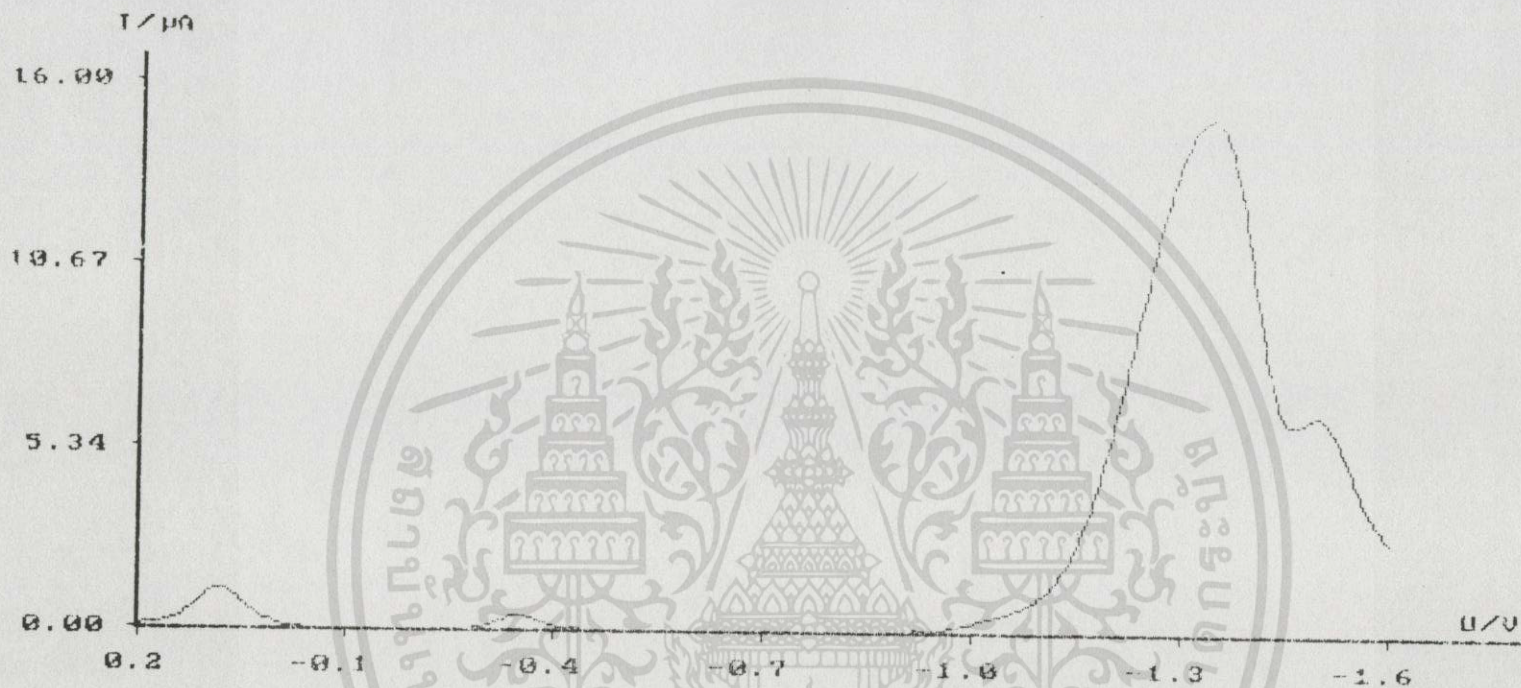
รูปที่ ๑.๔ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.5 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่ว 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคโพลาไรเซชันเชิงสแกนโดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูด ขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ ๑.๖ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



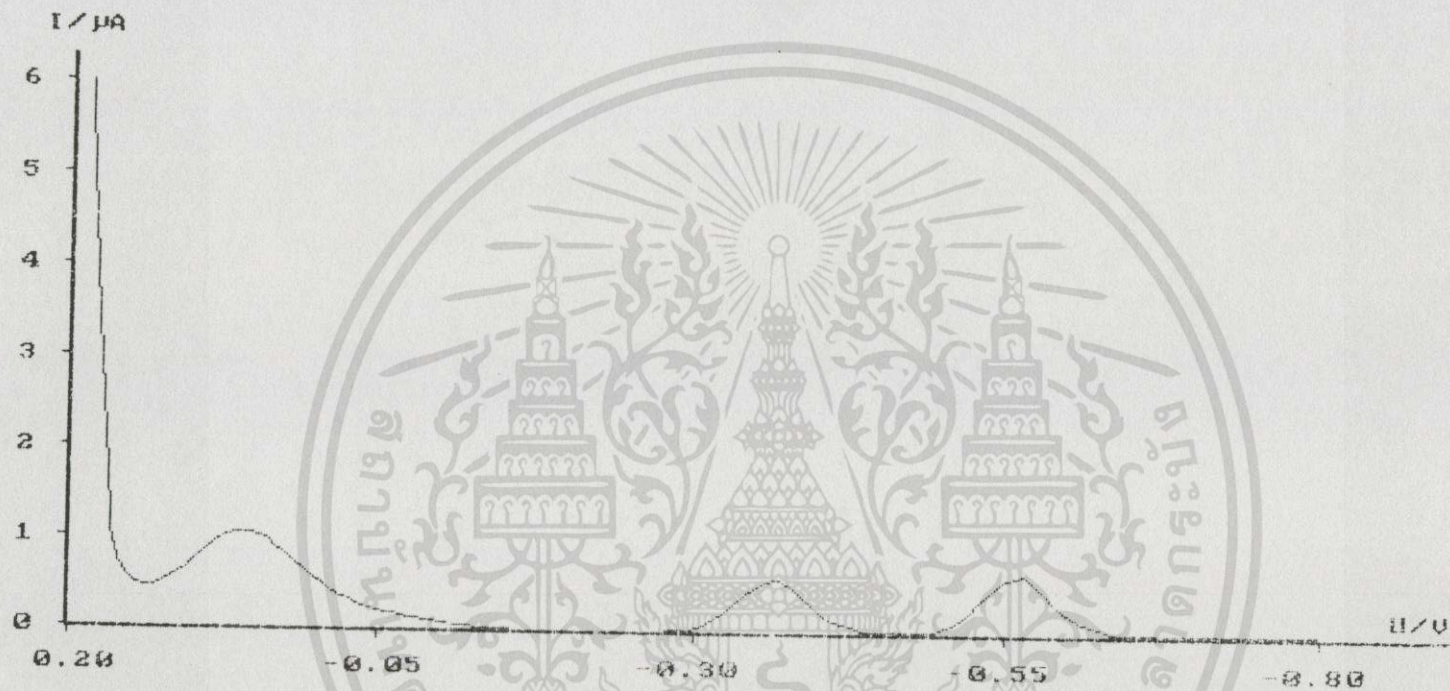
รูปที่ ๗.๗ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



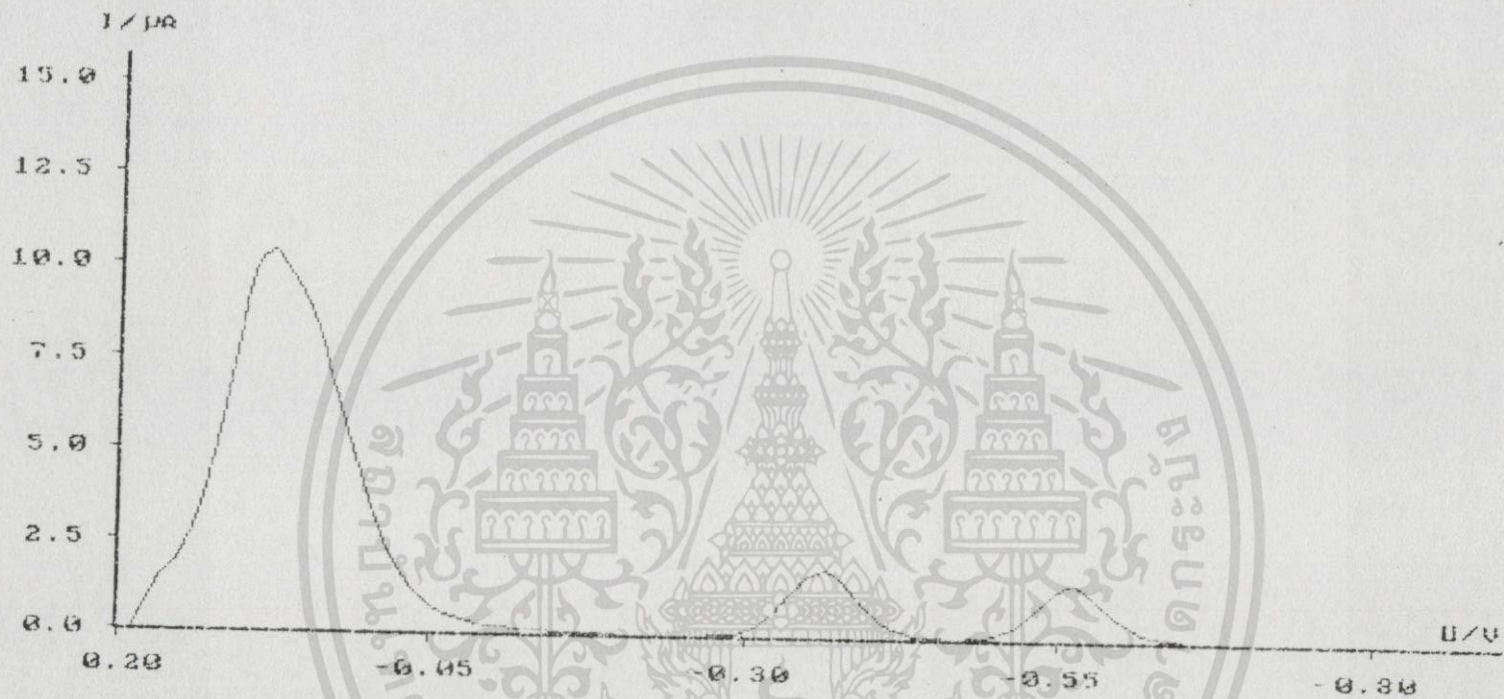
รูปที่ ๘.๘ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ 200 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ ๑.๙ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



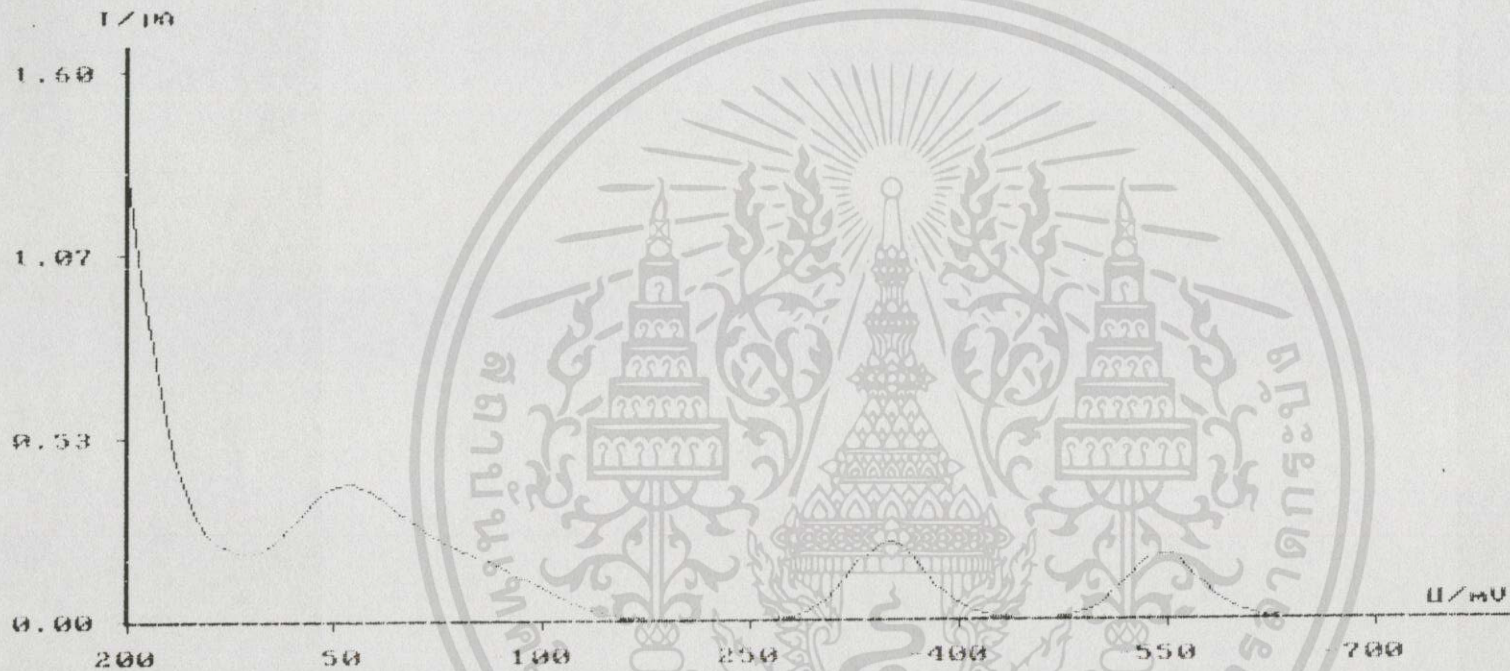
รูปที่ จ.10 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 0 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ ๑.11 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ได้ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



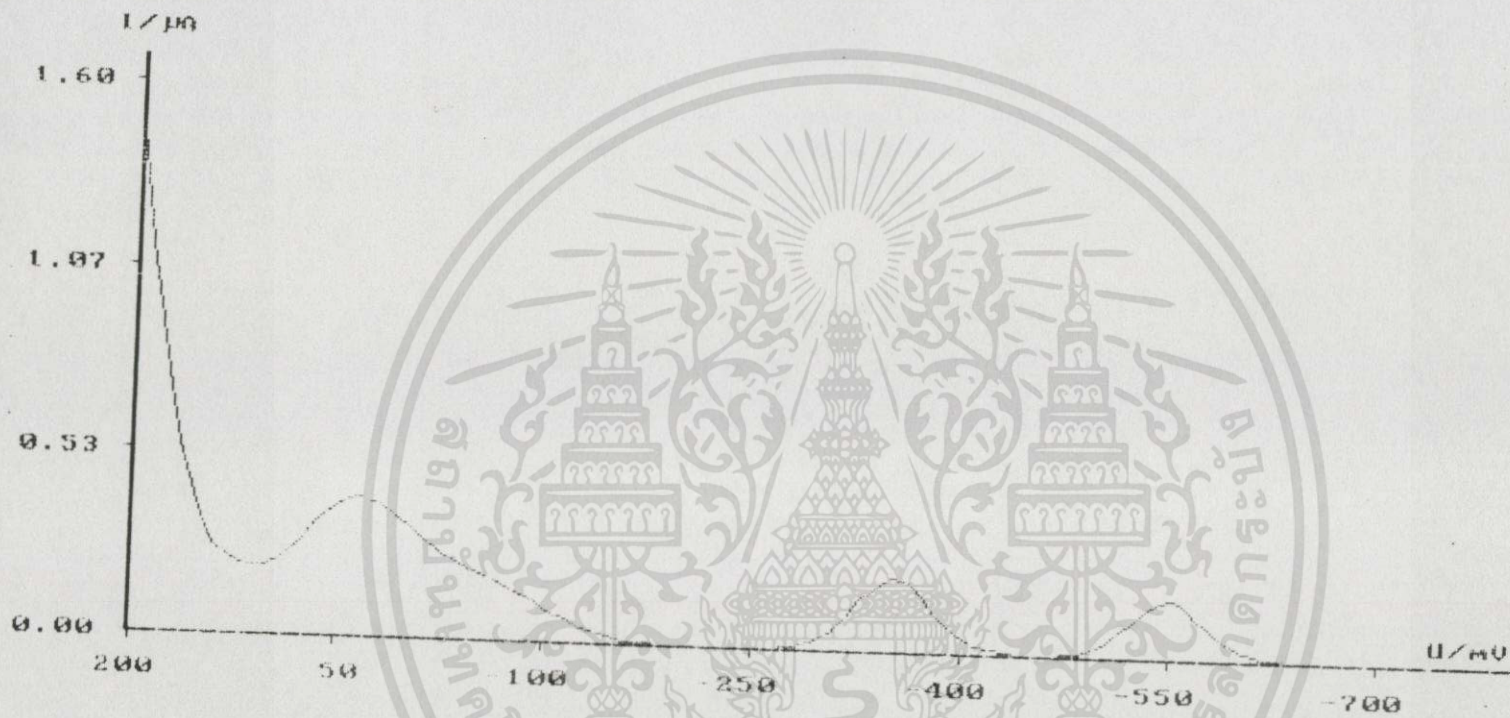
รูปที่ จ.12 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 นาโนเมตร แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 นาโนเมตร Oxine 0 uM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



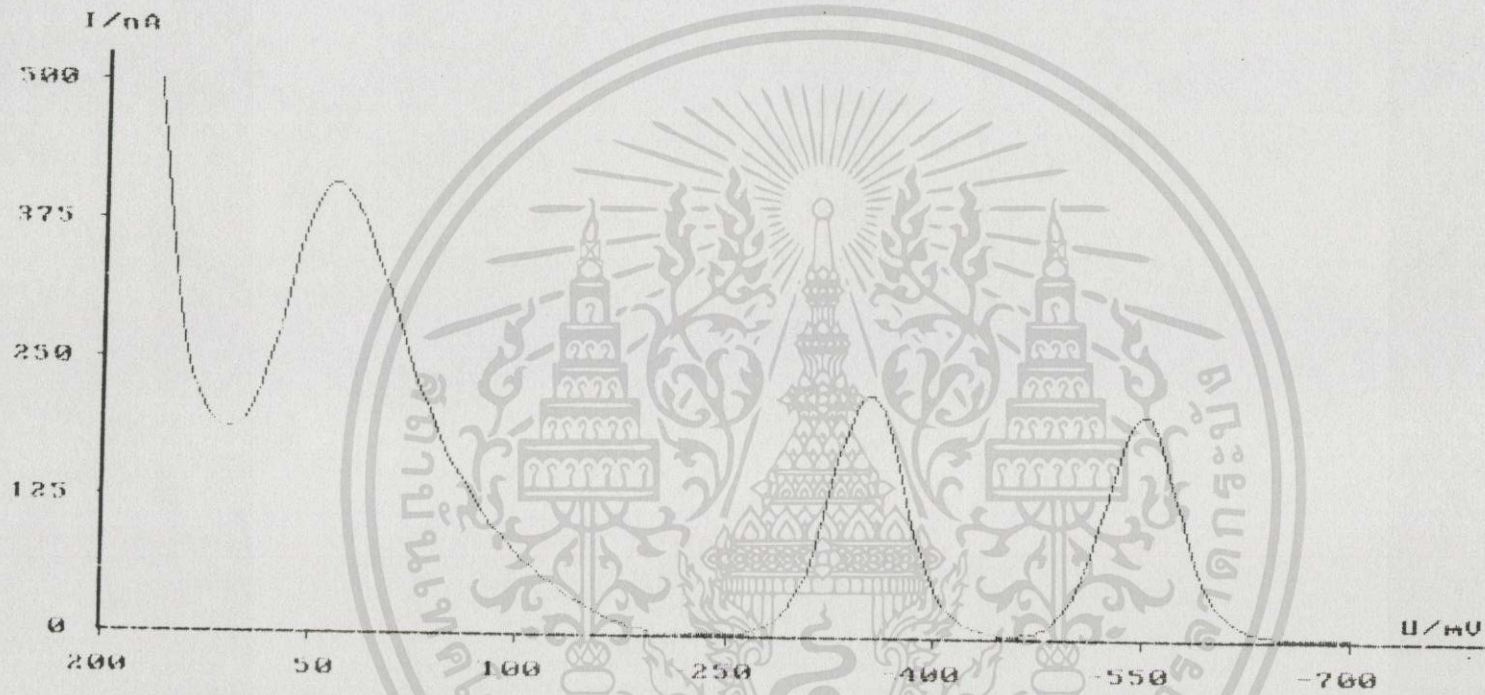
รูปที่ จ.13 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



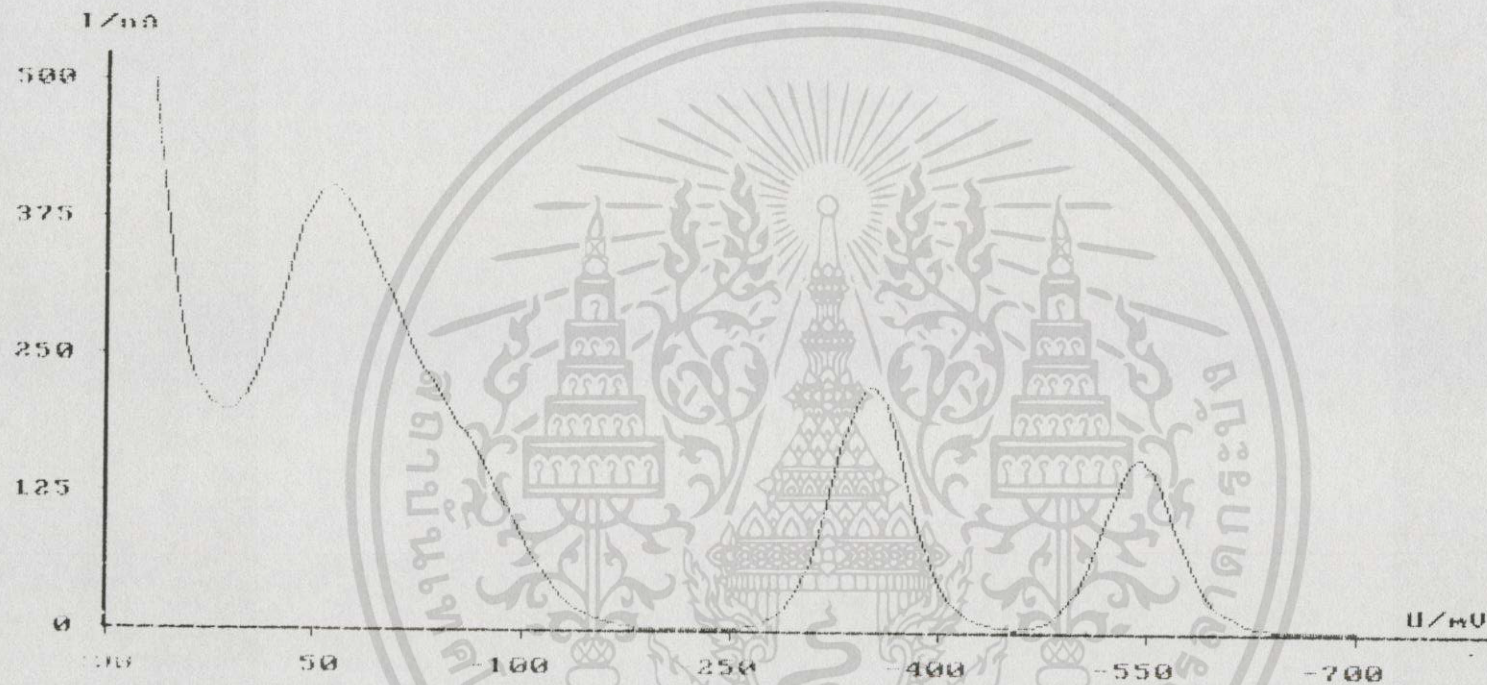
รูปที่ จ.14 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 0 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



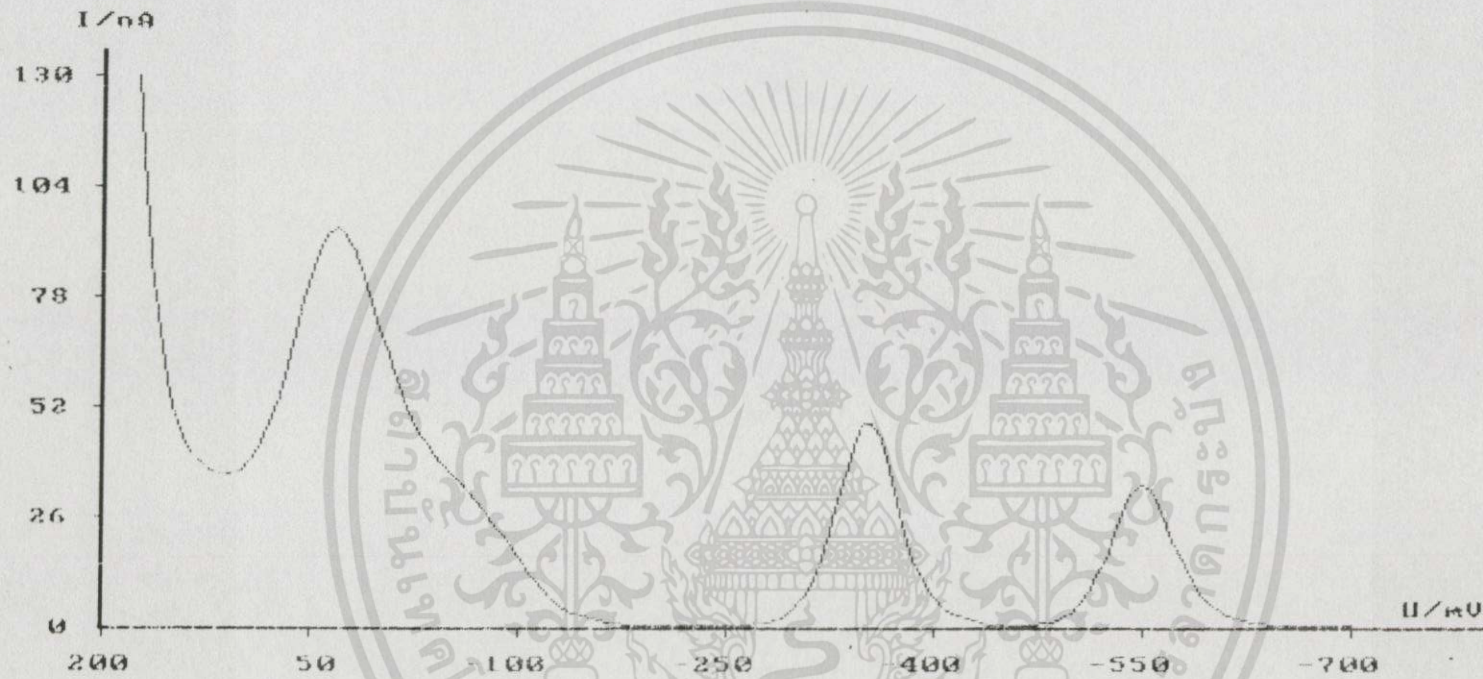
รูปที่ จ.15 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 uM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ใส่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคฟิโพรเรเนียนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



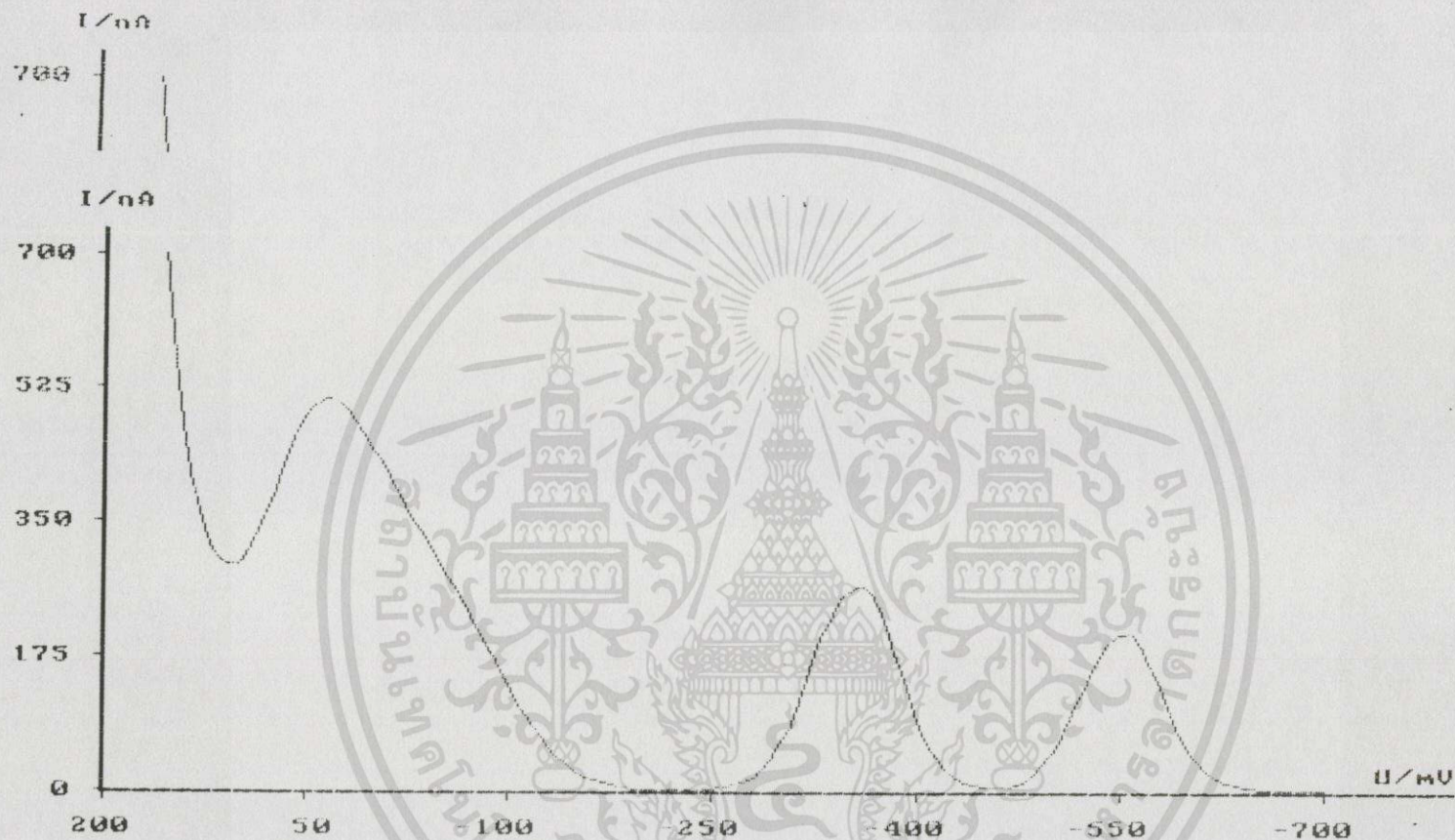
รูปที่ ๑.16 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 0 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลต์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.17 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 90 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.18 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 10 มิลลิโวลต์



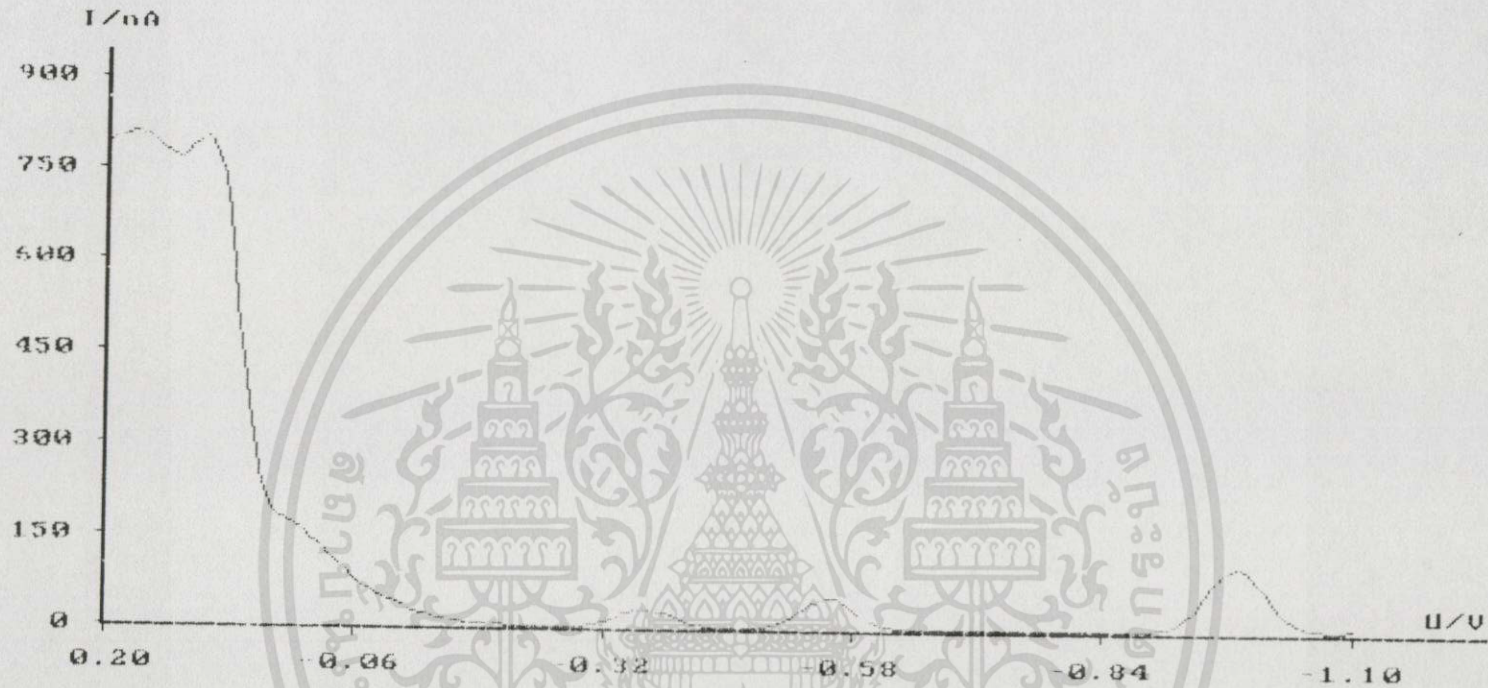
รูปที่ จ.19 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Oxine 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 120 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.20 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคตทีโอมิตีว และสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.21 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



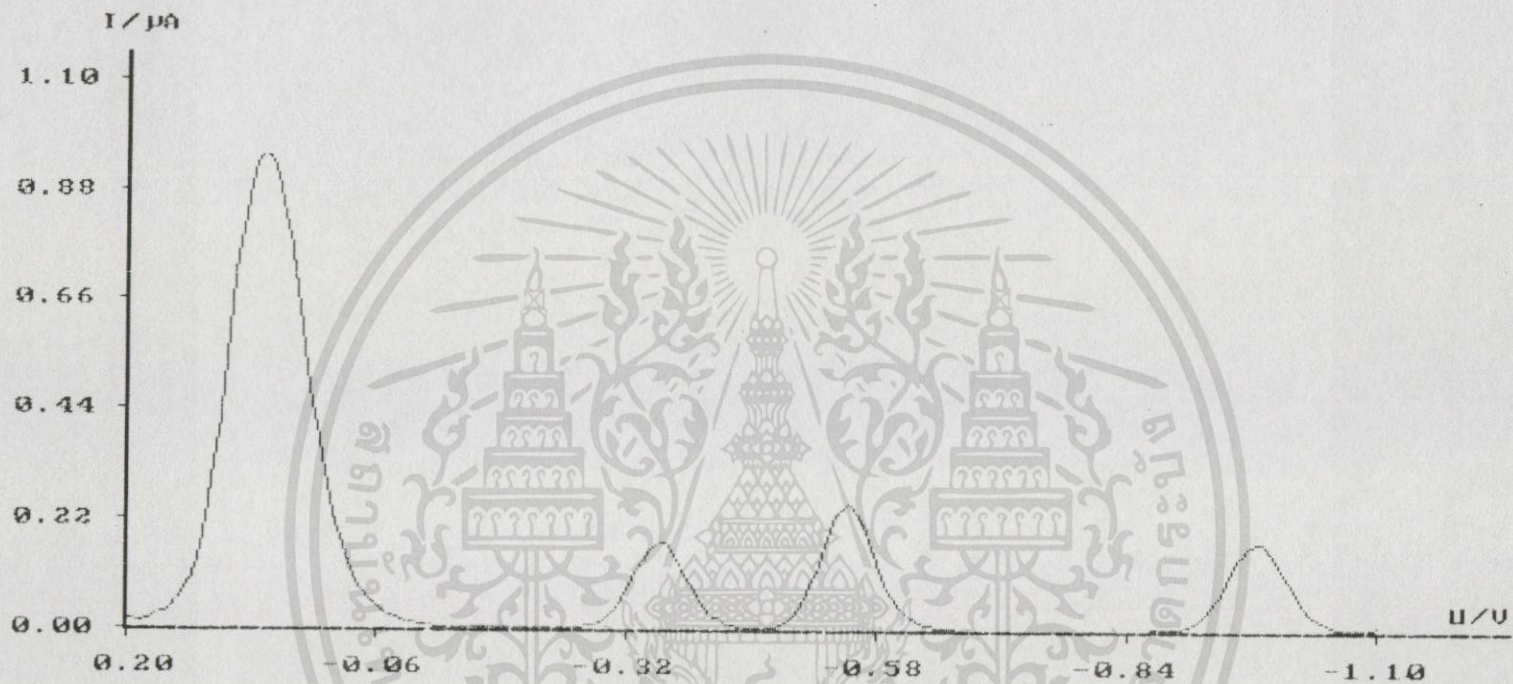
รูปที่ จ.23 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ 400 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



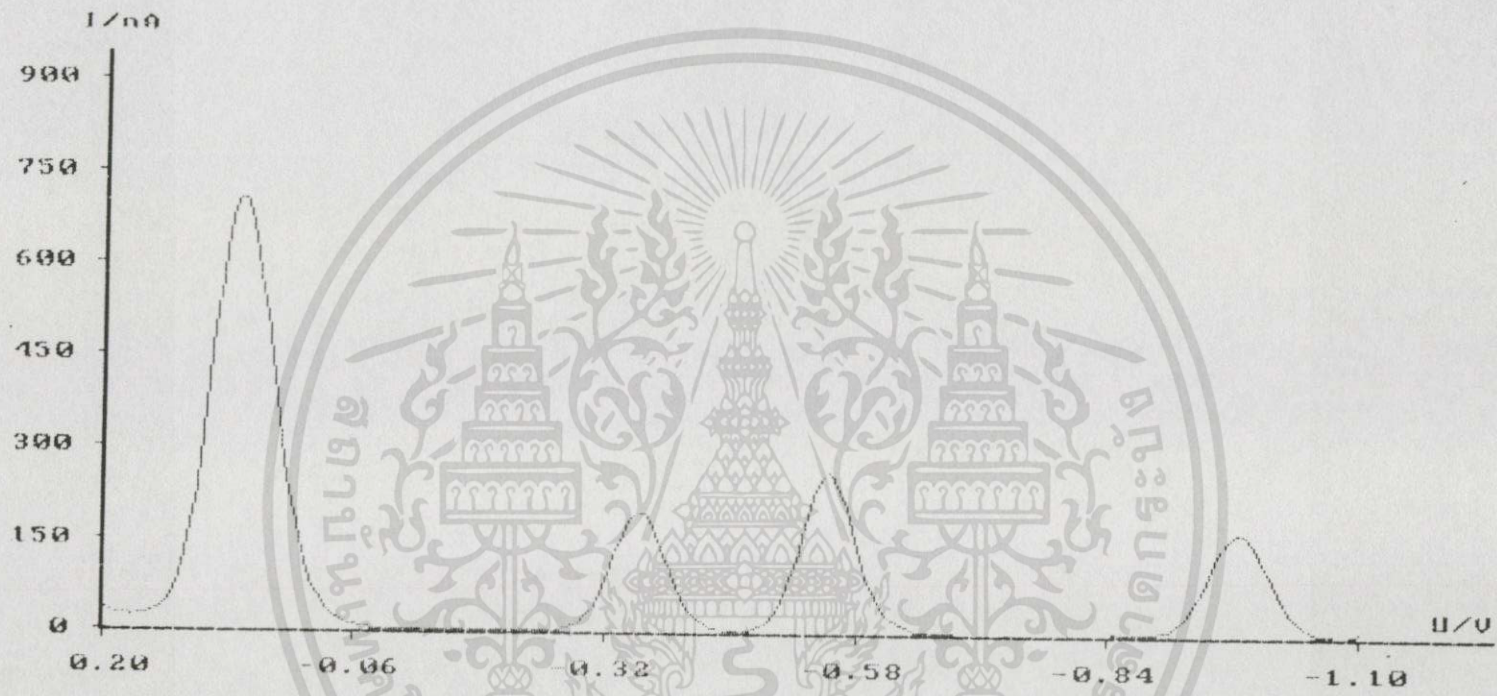
รูปที่ จ.24 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



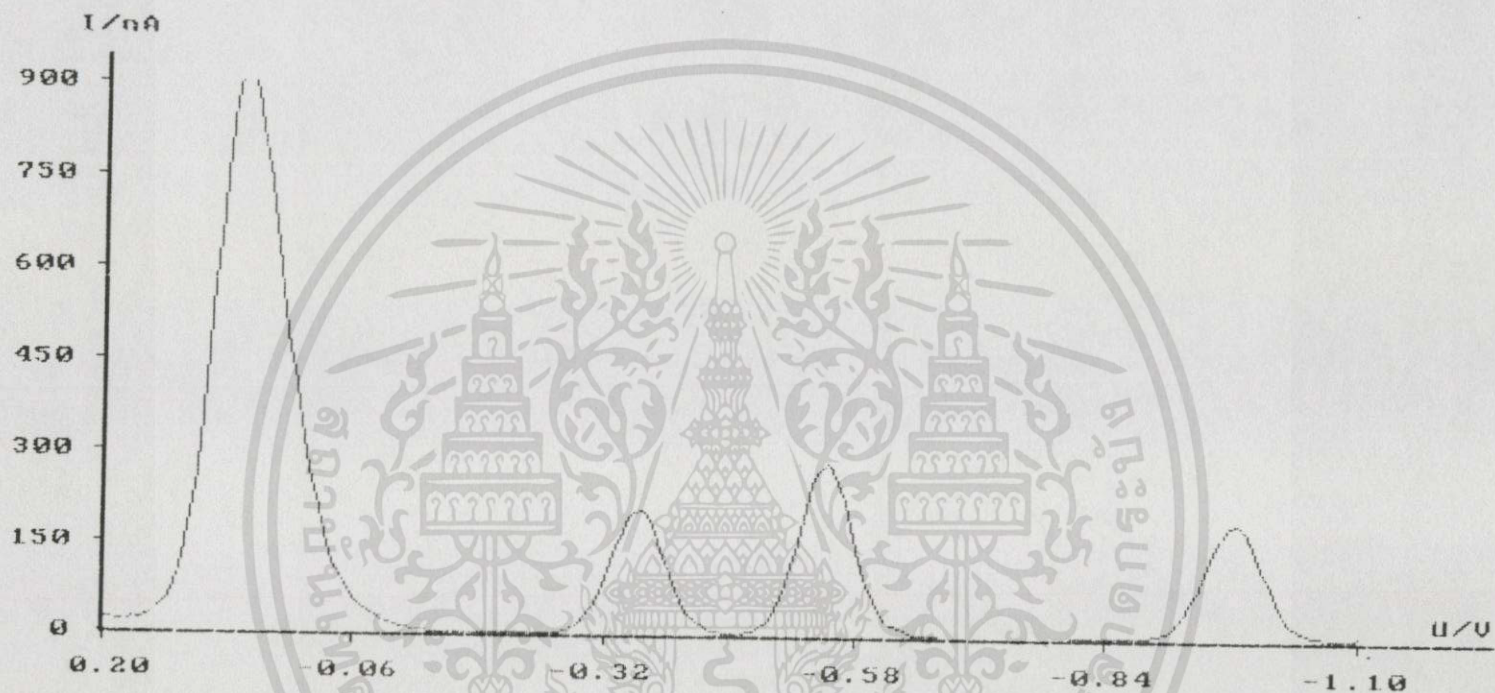
รูปที่ จ.25 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 0 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



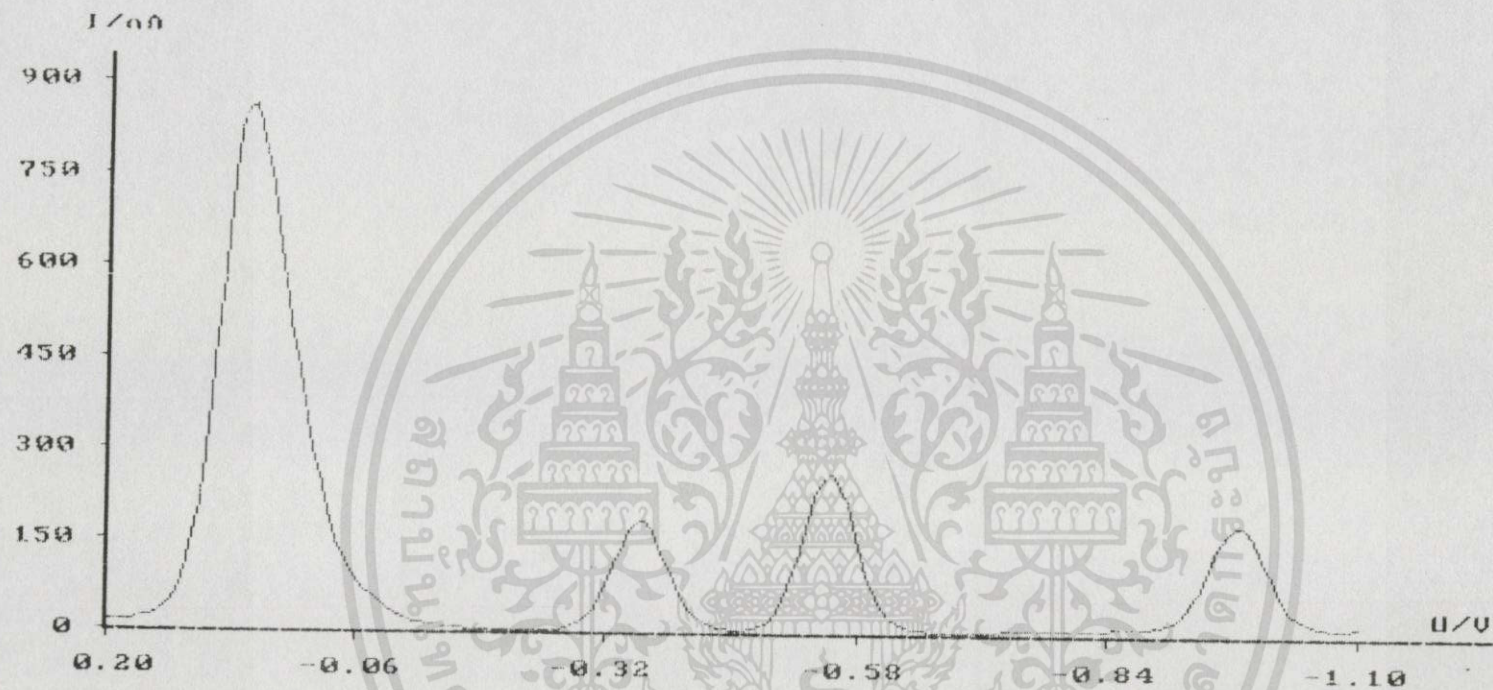
รูปที่ จ.26 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.27 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 นาโนเมตร แคตเชอล 0.001 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลต์โดยกำหนด ศักย์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.28 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์โวลต์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.29 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคตทีโอม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 0 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



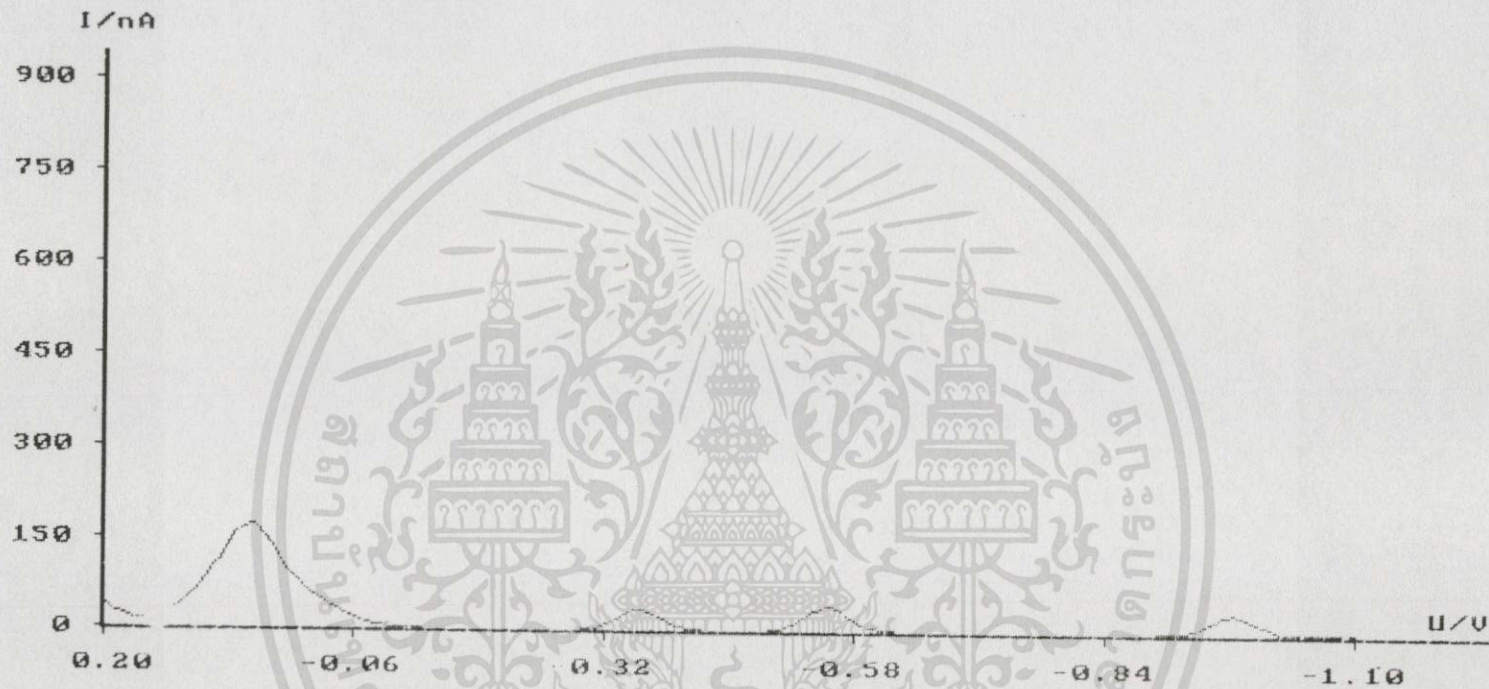
รูปที่ จ.30 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 420 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



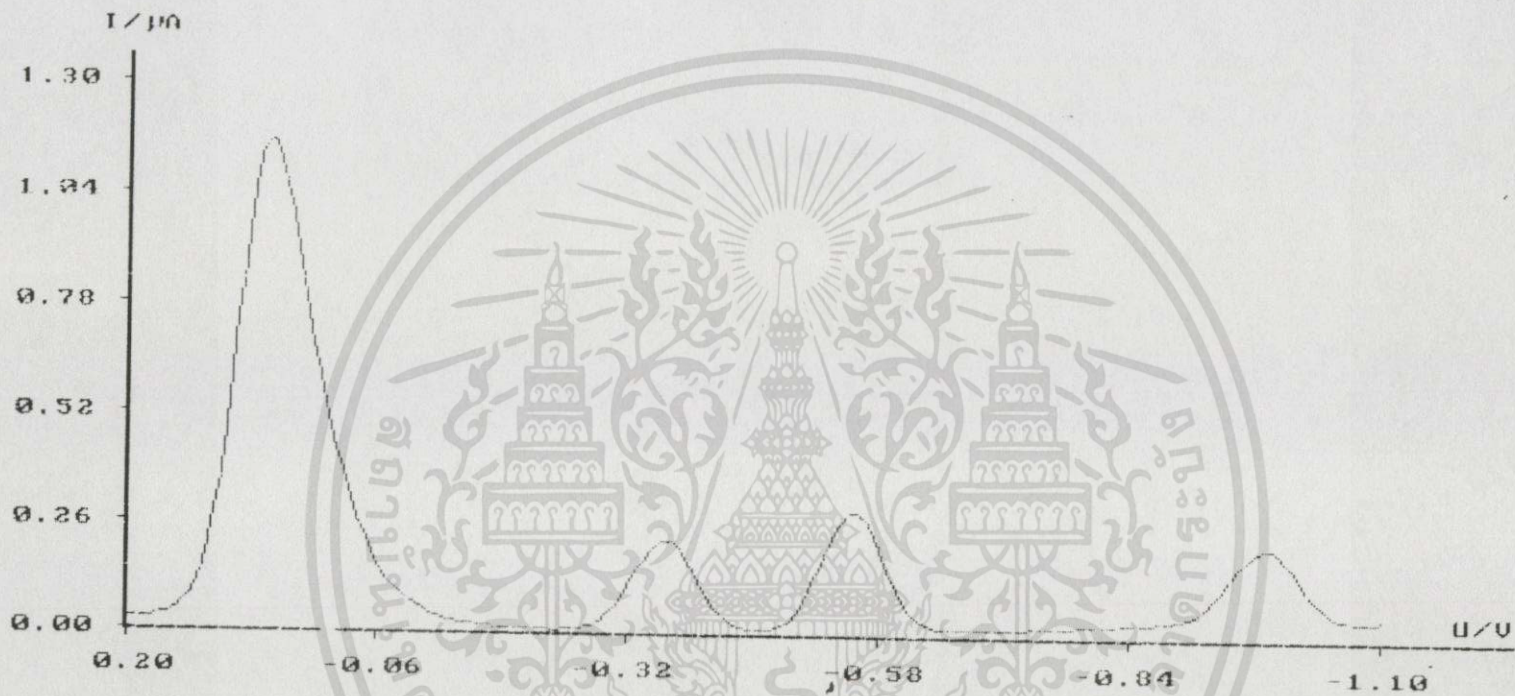
รูปที่ จ.31 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 นาโนเมตร แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 นาโนเมตร Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจนนาน 60 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 0 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



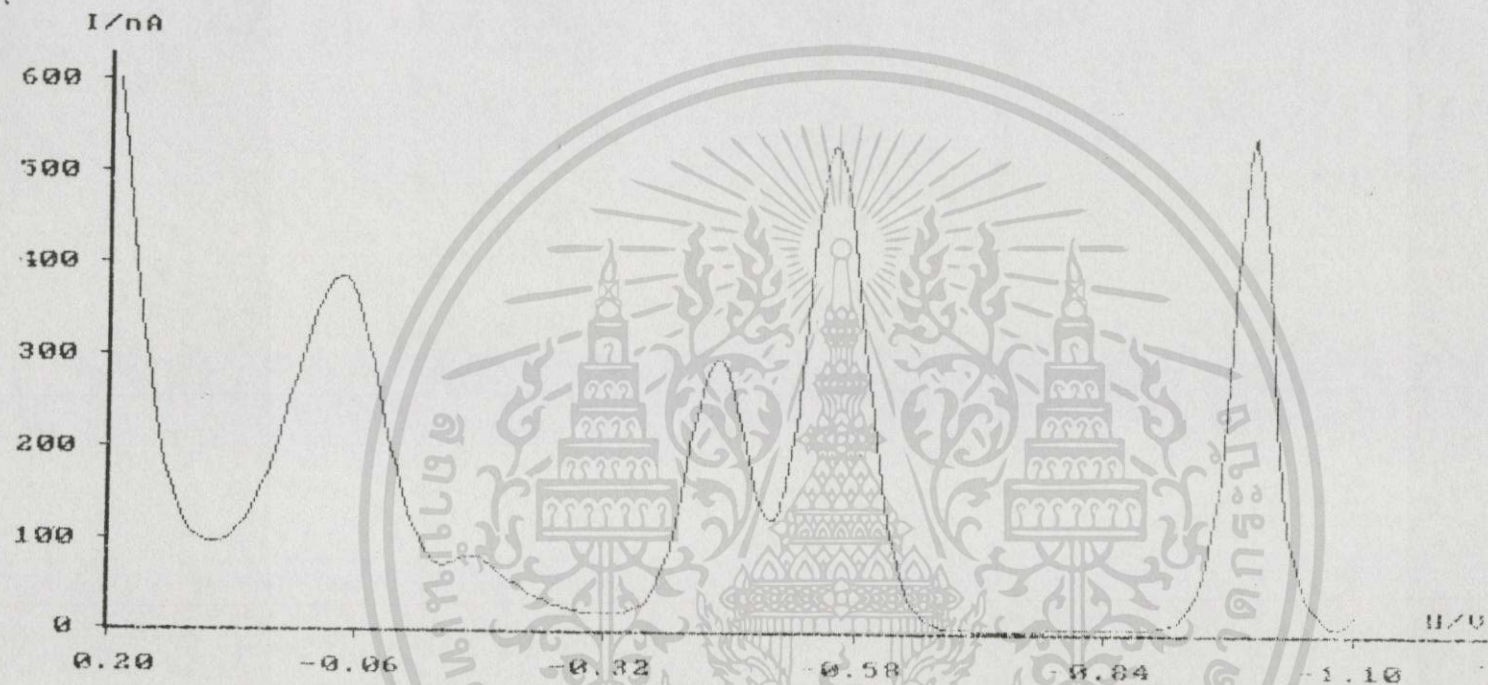
รูปที่ จ.32 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 120 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



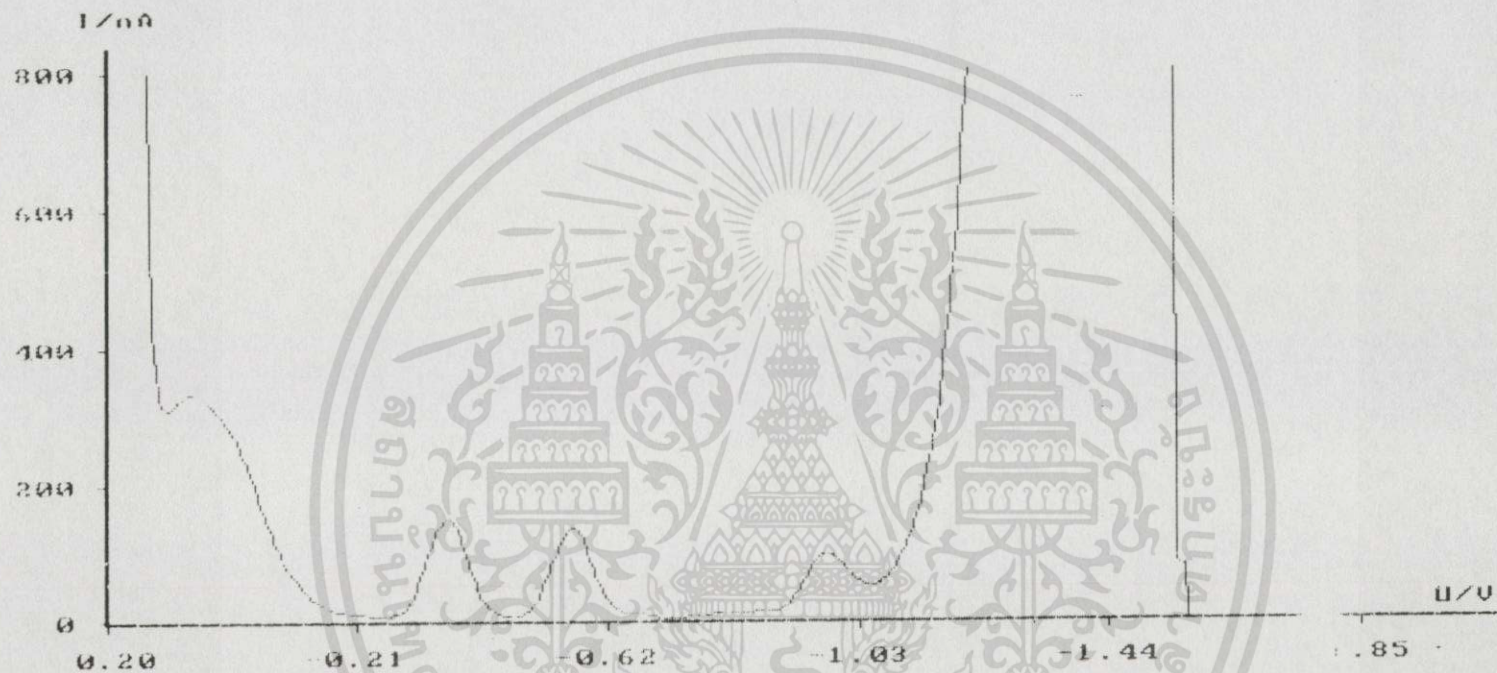
รูปที่ จ.33 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 10 มิลลิโวลต์



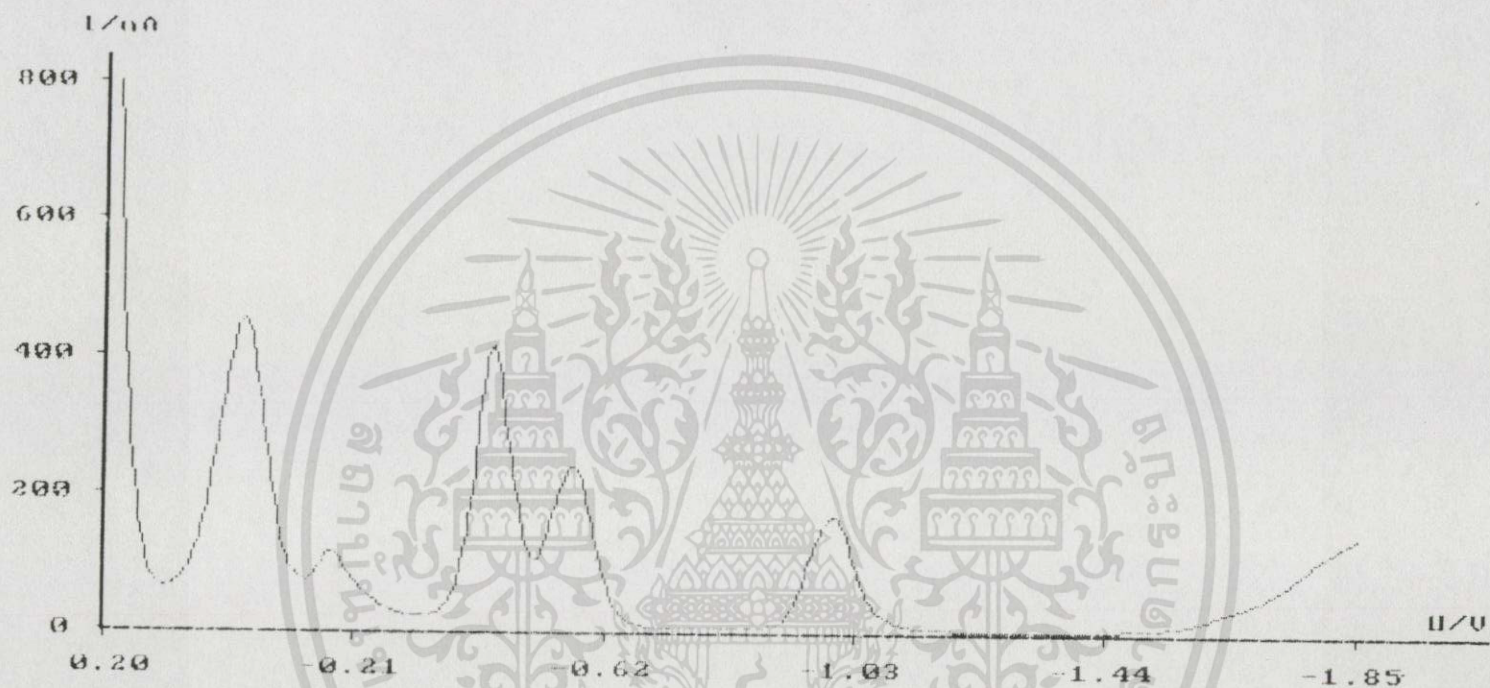
รูปที่ จ.34 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 ที่พีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 ที่พีเอ็ม Catechol 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1000 มิลลิโวลต์ นาน 90 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์



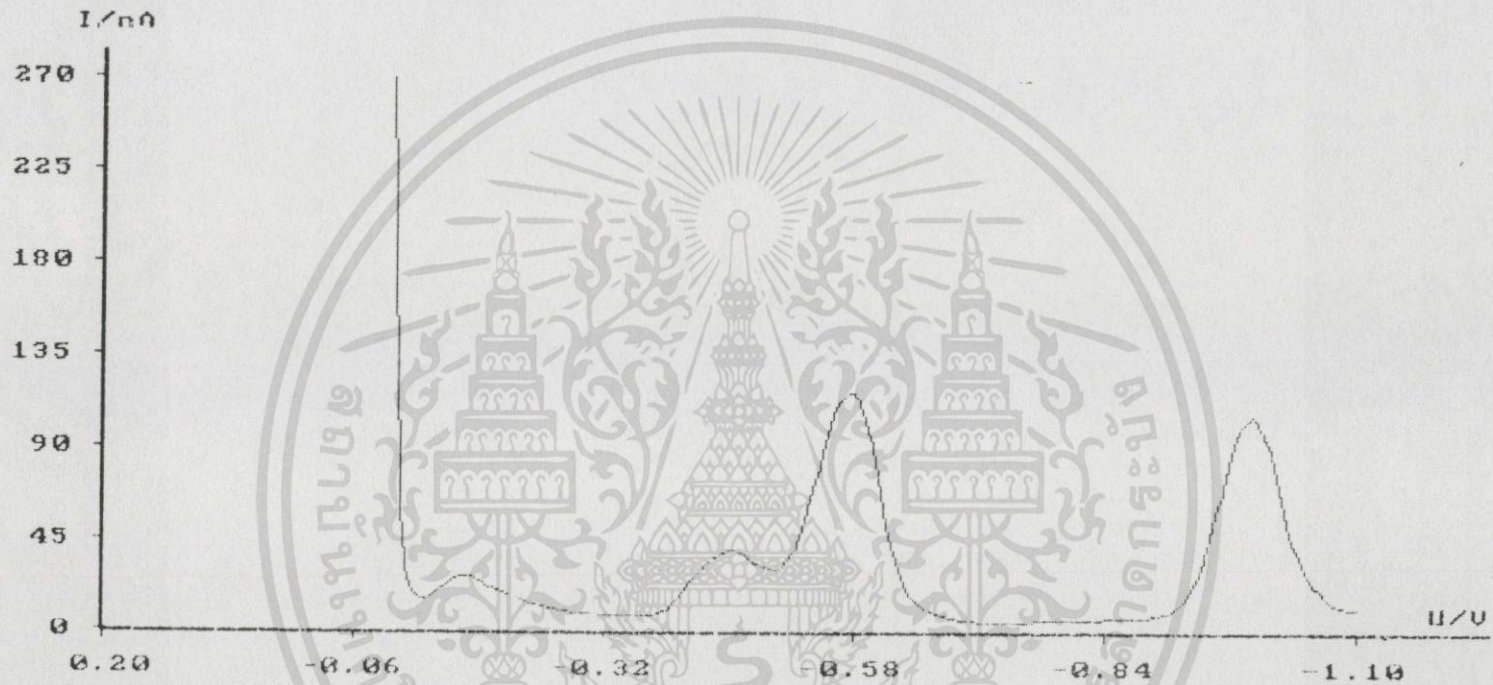
รูปที่ ๑.35 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ ๑.36 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



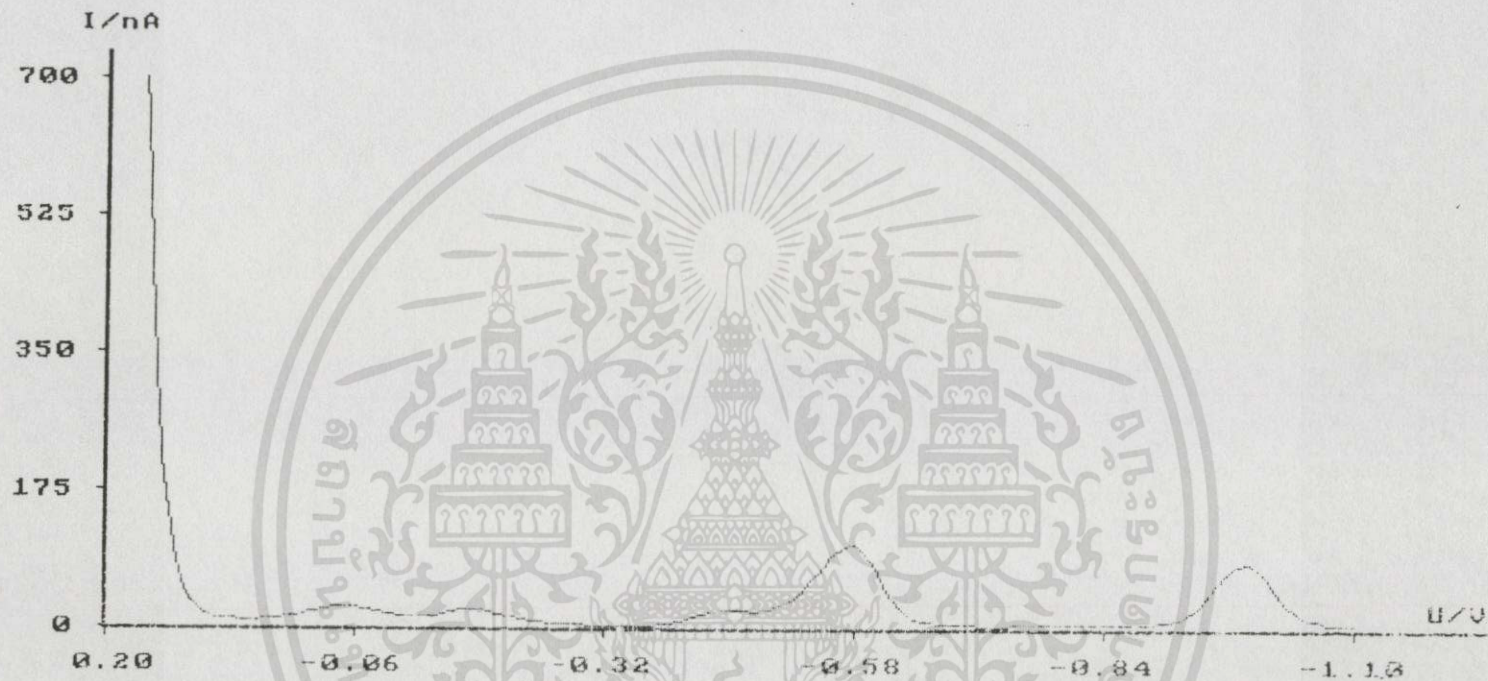
รูปที่ จ.37 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



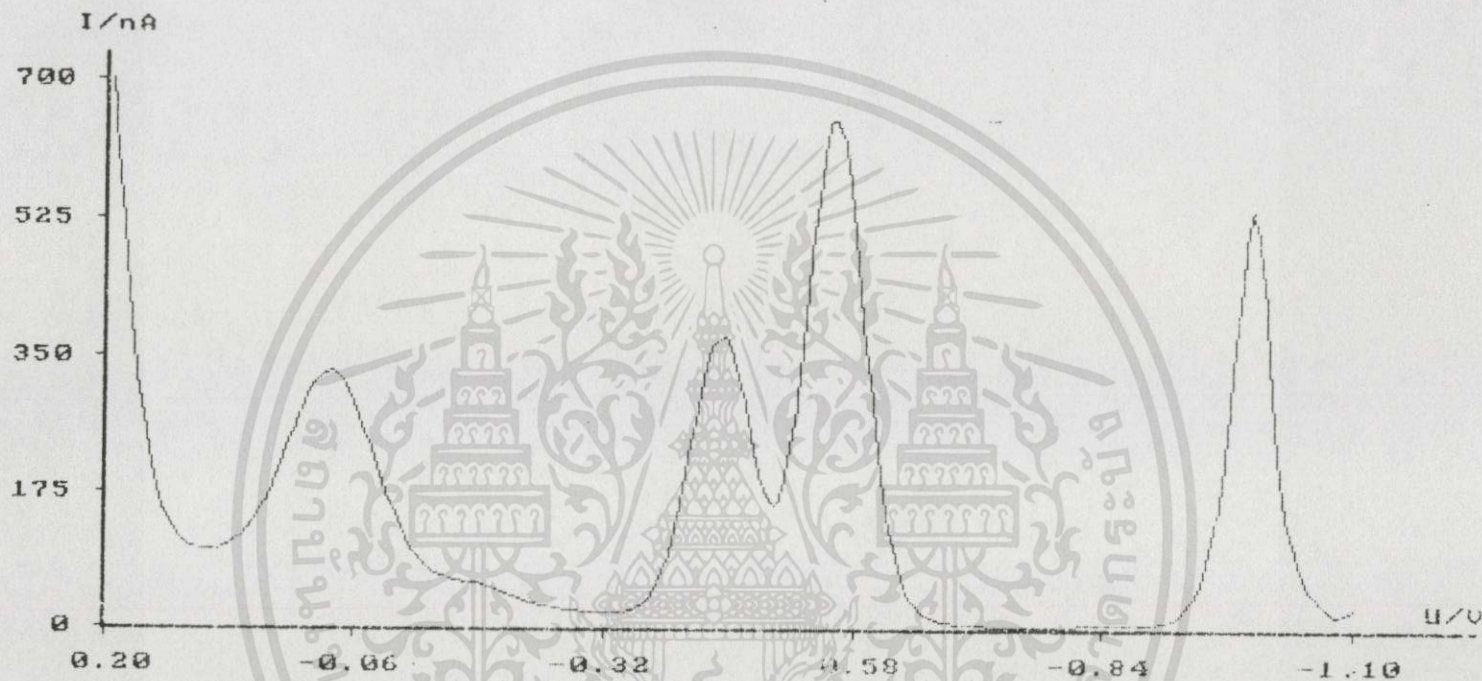
รูปที่ จ.38 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ 400 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



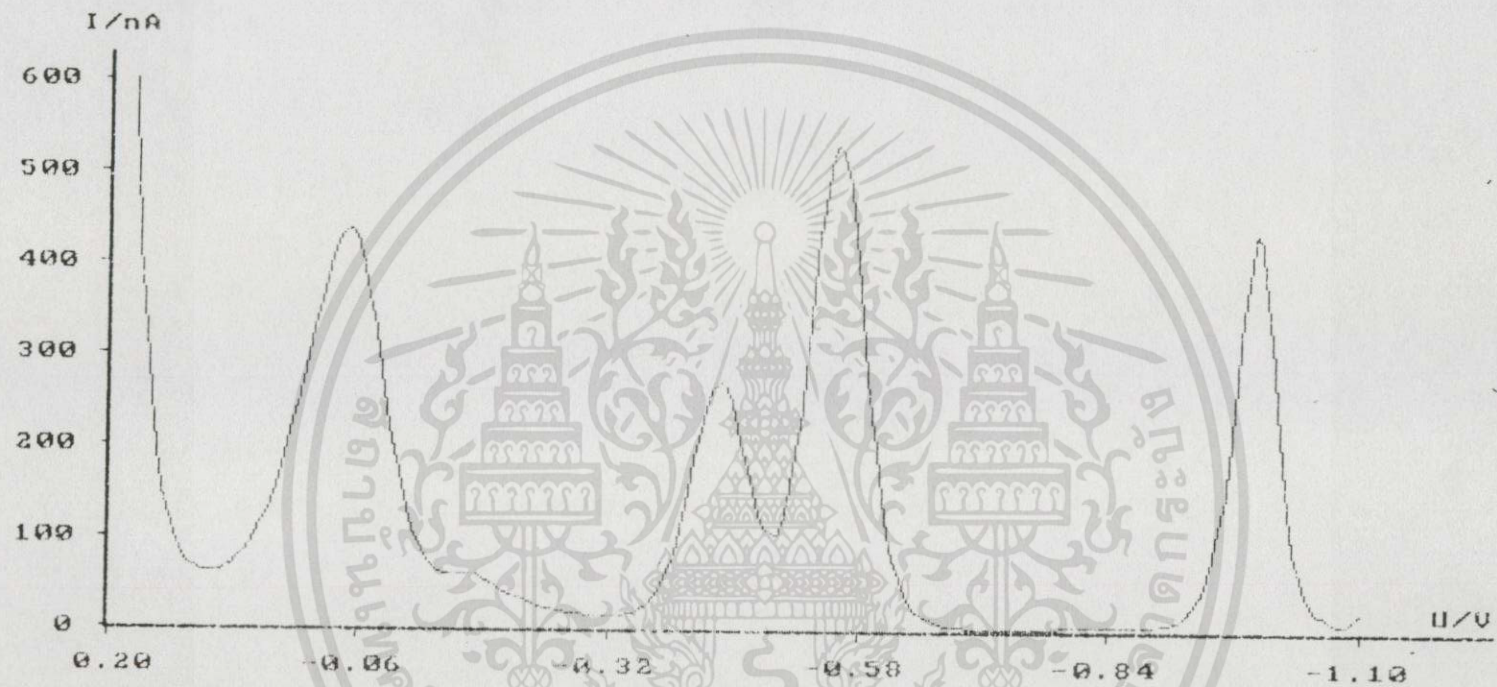
รูปที่ จ.39 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



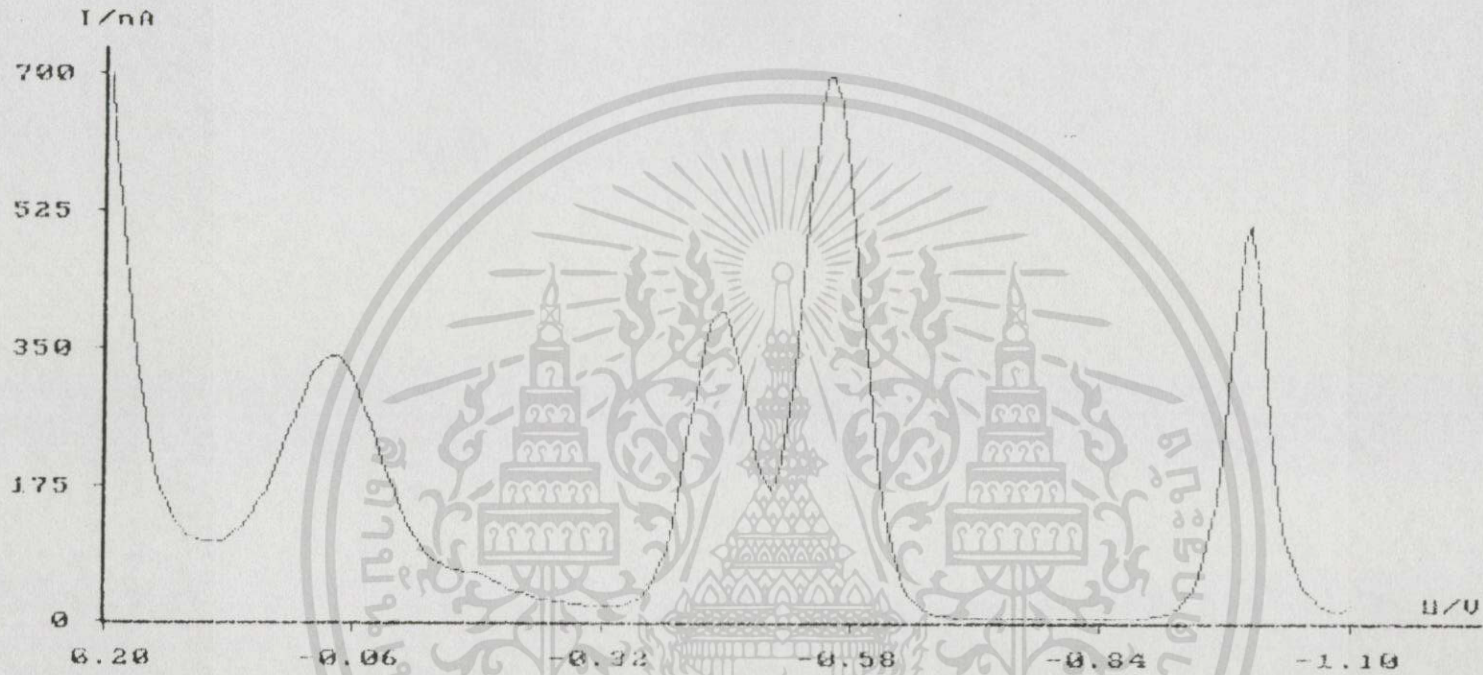
รูปที่ ๑.40 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 0 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดยกำหนด พัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



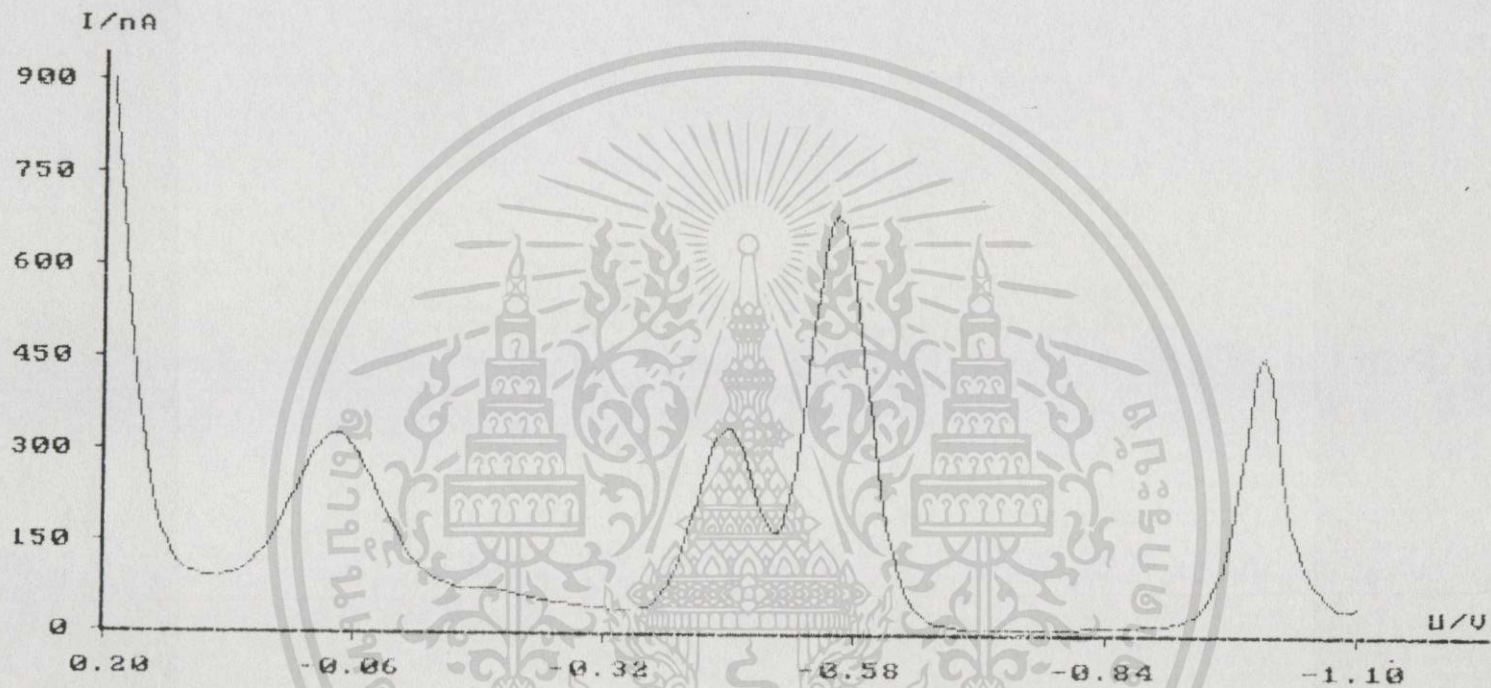
รูปที่ จ.41 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



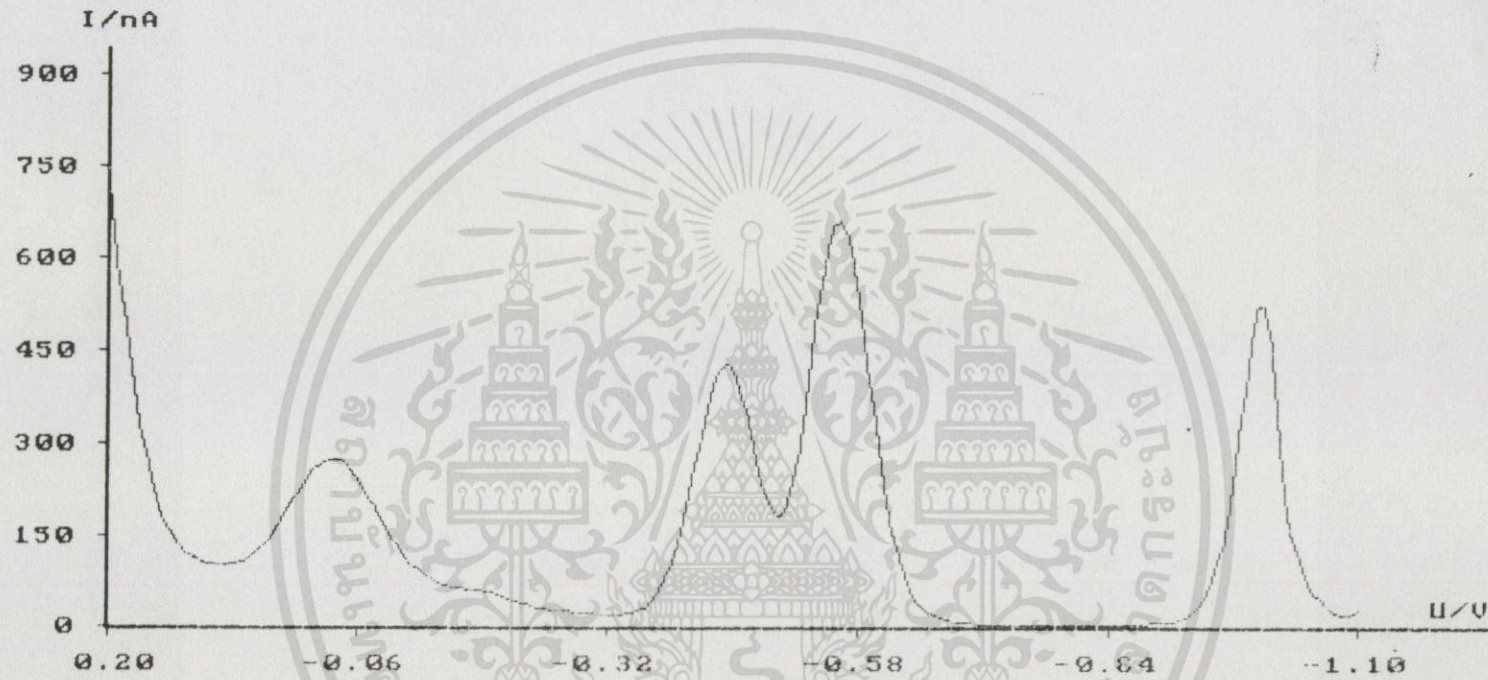
รูปที่ จ.42 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีเอ็ม แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 18.5 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



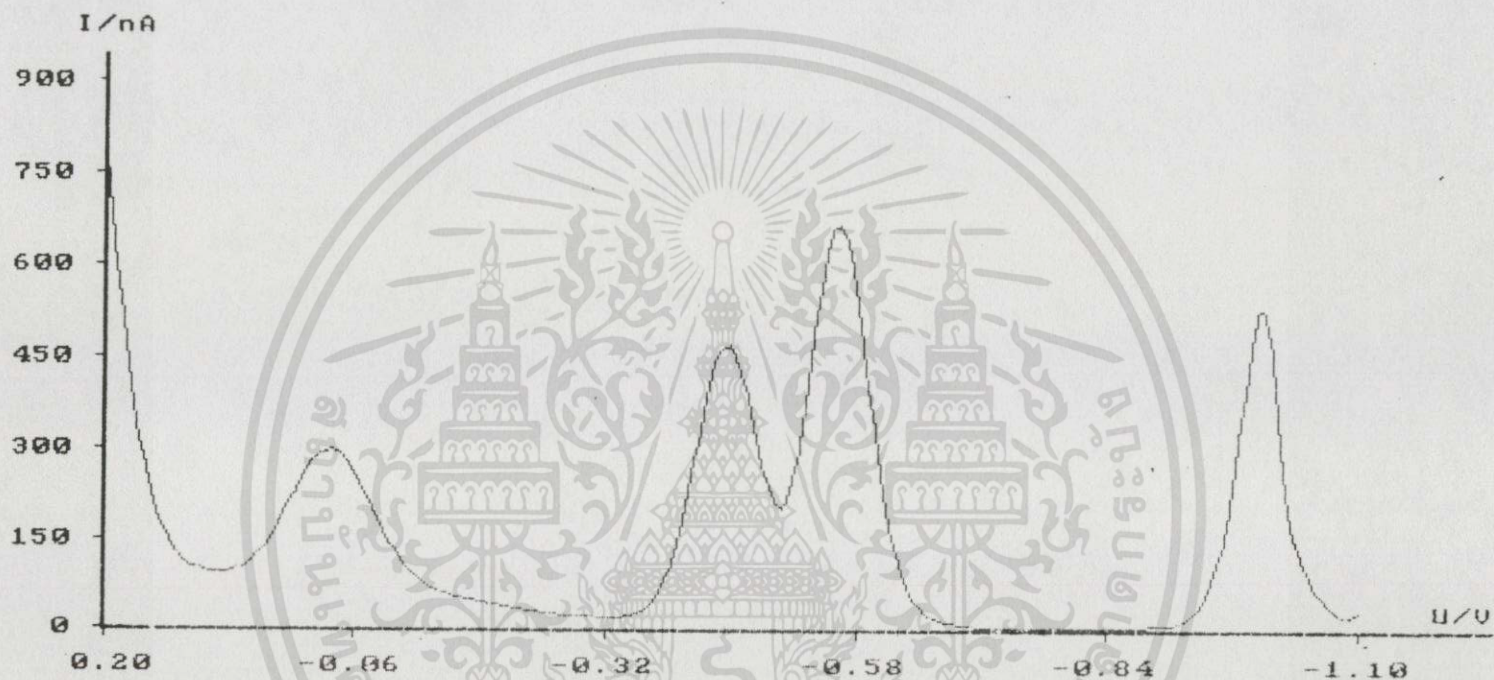
รูปที่ จ.43 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



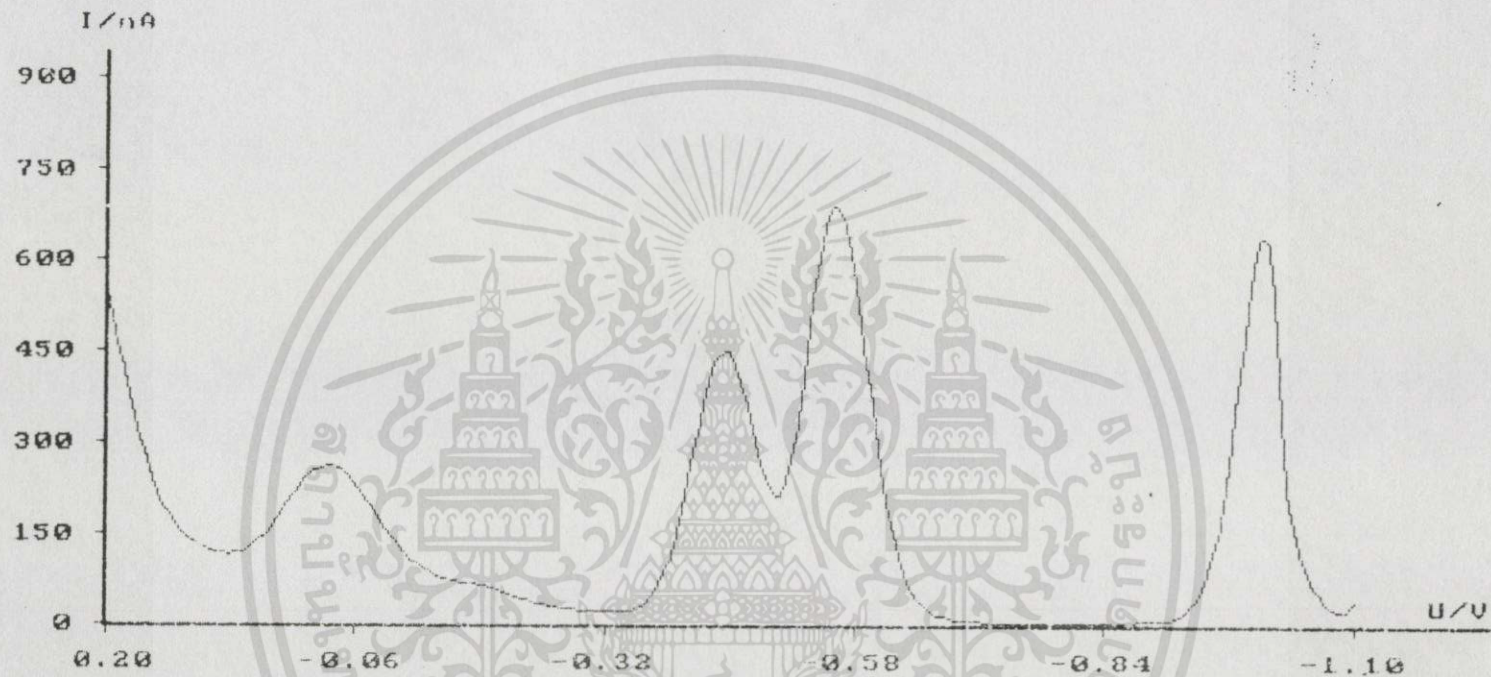
รูปที่ จ.44 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ใส่ออกซิเจน นาน 0 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคคิฟเฟอร์เรเนียนัลลิสโดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.45 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 540 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



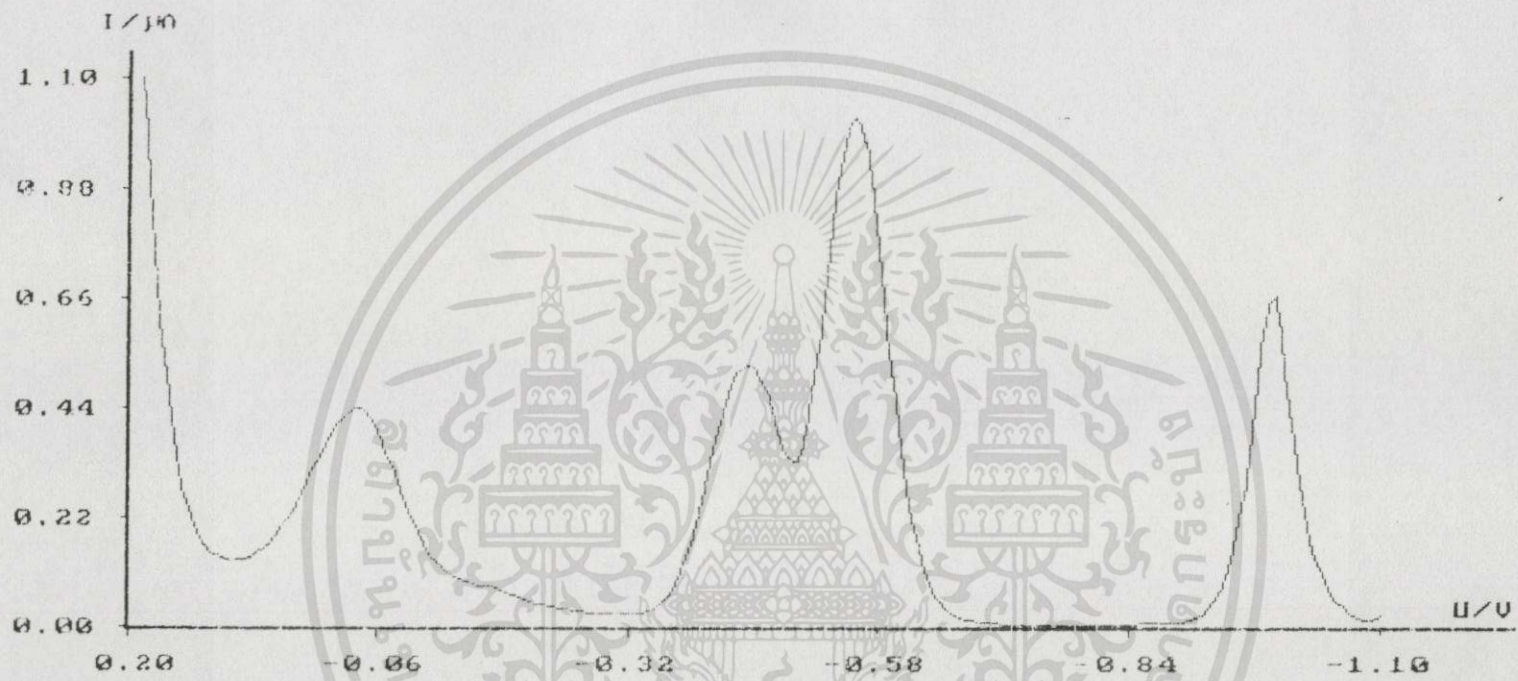
รูปที่ จ.46 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 0 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.47 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 120 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.48 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกลงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 10 มิลลิโวลต์



รูปที่ ๑.๔๙ แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม Zincon 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไล่ออกซิเจน นาน 60 วินาที Deposition ที่ -1200 มิลลิโวลต์ นาน 150 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 70 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.50 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 500 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 1000 พีพีเอ็ม NaDDTC 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ไล่ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์



รูปที่ จ.51 แสดงโวลแทมโมแกรมของทองแดง 0 พีพีบี แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี 0 พีพีเอ็ม NaDDTC 73.8 μM ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ได้ออกซิเจน นาน 300 วินาที Deposition ที่ -600 มิลลิโวลต์ นาน 60 วินาที ทำ Equilibration นาน 15 วินาที บันทึกผลด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแควร์วอลต์โดย กำหนดพัลส์แอมพลิจูดขนาด 50 มิลลิโวลต์

ภาคผนวก ช.

การสารละลายบัฟเฟอร์

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.0

นำ KCl เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับ HCl เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 67.0 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.0

นำ KCl เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับ HCl เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 6.50 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0

นำ NaOAc เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับ Acetic acid เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 9.5 มิลลิลิตร และทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0

นำ CH_3COOH เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 8.15 มิลลิลิตร ผสมกับ CH_3COONa เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 1.85 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0

นำ CH_3COOH เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 3.05 มิลลิลิตร ผสมกับ CH_3COONa เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 6.95 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0

นำ KH_2PO_4 เข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 30.21 มิลลิลิตร ผสมกับ Na_2HPO_4 เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 13.19 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0

นำ KH_2PO_4 เข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 13.96 มิลลิลิตร ผสมกับ Na_2HPO_4 เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 24.04 มิลลิลิตร ทำการเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.0

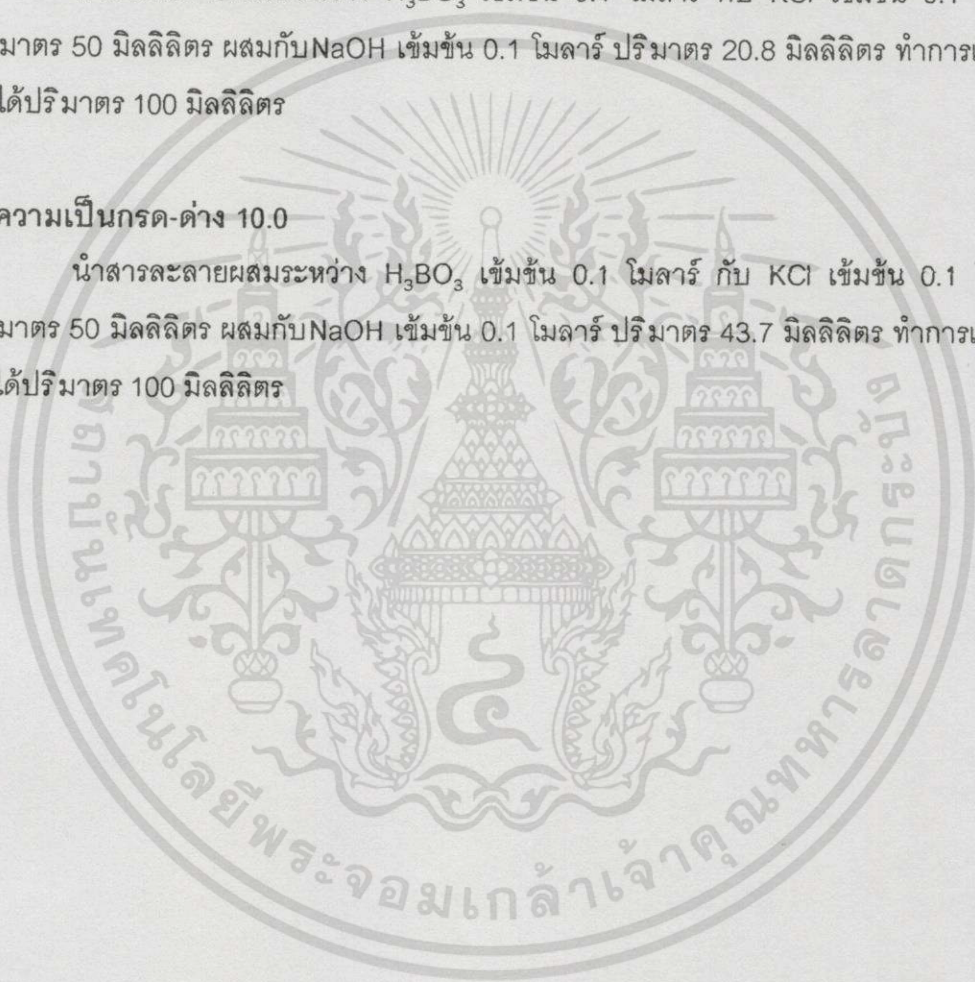
นำสารละลายผสมระหว่าง H_3BO_3 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับ KCl เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับ NaOH เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 3.90 มิลลิลิตร ทำการเจือจาง จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.0

นำสารละลายผสมระหว่าง H_3BO_3 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับ KCl เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับ NaOH เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 20.8 มิลลิลิตร ทำการเจือจาง จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10.0

นำสารละลายผสมระหว่าง H_3BO_3 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับ KCl เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับ NaOH เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 43.7 มิลลิลิตร ทำการเจือจาง จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร



ประวัติผู้เขียน

นายอลงกรณ์ อยู่สำราญ เกิดเมื่อวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม ปีการศึกษา 2538 และปี พ.ศ. 2539 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (เคมีวิเคราะห์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้