

รายงานวิจัย

เรื่อง

การหาปริมาณตะกั่วในน้ำโดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี

26 ส.ค. 2552



โดย

วราดุล นัตรทอง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

S352514

การหาปริมาณตะกั่วในน้ำโดยเทคนิคstrippingโพเทนชิโอเมตรี

DETERMINATION OF LEAD IN WATER SAMPLE BY STRIPPING POTENTIOMETRY TECHNIQUE

วราดุล ฉัตรทอง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

Waradoon Chutrtong

Department of Chemistry , Faculty of Science , Srinakharinwirot University , Bangkok

บทคัดย่อ : การพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งมีหลักการให้ศักย์ไฟฟ้าไปรีดิวซ์ไอออนของตะกั่วให้เป็นโลหะอะมัลกัมสะสมที่ขั้วทำงาน เมื่อหยุดให้ศักย์ไฟฟ้าโลหะตะกั่วจะถูกออกซิไดซ์กลับไปเป็นไอออนในสารละลาย ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดการออกซิไดซ์เป็นค่าเฉพาะตัวของตะกั่ว และช่วงเวลาที่เกิดการออกซิไดซ์จะขึ้นกับปริมาณของตะกั่ว เทคนิคstrippingโพเทนชิโอเมตรีถูกศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เทคนิคอะตอมมิก แอปซอร์บชัน สเปกโตรโตเมตรี จากกราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาพบว่ามีช่วงการตอบสนองของสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้น 5-30 พีพีเอ็ม มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์(r^2) เฉลี่ยเท่ากับ 0.9966 และความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถจะวิเคราะห์ได้ประมาณเท่ากับ 0.4-1.2 พีพีเอ็ม

Abstract : The electrochemical analysis has been developed by using the potentiostatic reduction of lead-analytes to become amalgam at working electrode. The specific voltage potential of oxidative lead related to the time and concentration of analytes when the lead metal , reoxidized , presented in potential-time curve. This stripping potentiometry (SP) technique was validated using atomic absorption spectrometry(AAS). The results found the linear range of potential-time curve of lead and detection limit were 5-30 ppm($r^2 = 0.9966$) and 0.4-1.2 ppm($s/n = 3$) respectively.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็เพราะได้รับความช่วยเหลือด้านเงินทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นอกจากนั้นยังได้รับความช่วยเหลือในด้านสารเคมีบางส่วนและเครื่องมือจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับแรงกายและแรงใจจากผู้ที่อยู่รอบข้างโดยเฉพาะ รศ.ดร.ยงยุทธ ตัณฑุลเวสส ที่สนับสนุนให้ขอรับทุนวิจัยจนงานลุล่วงไปด้วยดี งานนี้จะสำเร็จไม่ได้โดยหากขาดความช่วยเหลือของศิษย์ทั้งหลายที่ลองผิดลองถูกจนเกิดองค์ความรู้นำไปสู่ผลสำเร็จ นอกจากนั้นยังมีน้องๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

นายวราคูล ฉัตรทอง



สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
ปัญหา	1
ภูมิหลัง	3
ตะกั่ว	3
ความเป็นพิษของตะกั่ว	5
แคดเมียม	7
พิษของแคดเมียม	8
ความมุ่งหมายในการวิจัย	9
ความสำคัญของการวิจัย	9
ขอบเขตของการวิจัย	10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
ผลกระทบของตะกั่ว	14
การวิเคราะห์ตะกั่ว	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
กรอบแนวความคิด	15
อุปกรณ์ วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	17
การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	23
การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง	23
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	24
การเตรียมขั้วทำงาน	24
การเตรียมขั้วอ้างอิง	25
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	
ระยะที่ 1	28
ระยะที่ 2	28
ระยะที่ 3	30
ระยะที่ 4	31
ระยะที่ 5	32
การหาประสิทธิภาพวิธีวิเคราะห์	32

การประมวลผลการวิเคราะห์	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย	34
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 1	34
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 2	35
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 3	40
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 4	42
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 5	45
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	54



บัญชีตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าและการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ สารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ตรวจวัดด้วย อินทิเกรเตอร์ นาฬิกาจับเวลา และเทคนิคอะตอมมิก แอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี	37
ตารางที่ 2 แสดงค่าสหสัมพันธ์	38
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง	39
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์	47
ตารางที่ 5 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง	50
ตารางที่ 6 แสดงร้อยละของการคืนกลับในน้ำตัวอย่าง	50

บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงแบบวงจรของเครื่องสตริปปีงโพเทนชิโอมิเตอร์	17
ภาพที่ 2 เป็นภาพร่างที่ใช้ในการประกอบเครื่องและแหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงที่ประกอบเสร็จแล้ว	17
ภาพที่ 3 เป็นตัวความต้านทานที่ปรับค่าได้ใช้ตัวปรับความดังของเสียงของเครื่องวิทยุ 18	
ภาพที่ 4 สวิตช์ ที่ใช้ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้า	18
ภาพที่ 5 โวลต์มิเตอร์ที่สามารถแสดงผลเป็นตัวเลข	18
ภาพที่ 6 เครื่อง พีเอช-มิเตอร์ที่ใช้ถูกปรับให้แสดงผลเป็นศักย์ไฟฟ้า	19
ภาพที่ 7 เครื่องบันทึกสัญญาณ Hitachi D 2500 Chromato – Integrator	19
ภาพที่ 8 แสดงส่วนประกอบของขั้วอ้างอิงที่ใช้ท่อพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ที่อัดตัวกันแน่นเป็นแท่ง และเส้นลวดพลาคินัมที่ต่อเชื่อมกับสายไฟ	20
ภาพที่ 9 แสดงขั้วทำงานที่ประกอบด้วยแท่งคาร์บอน ท่อยางซิลิโคน และสายไฟ	21
ภาพที่ 10 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี	21
ภาพที่ 11 แสดงโครงสร้างของขั้วทำงาน	24
ภาพที่ 12 แสดงองค์ประกอบของขั้วทำงานและขั้วอ้างอิงที่ใช้ไมโครเซนตริฟิวจ์	25
ภาพที่ 13 แสดงองค์ประกอบของขั้วทำงานและขั้วอ้างอิงที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์	26
ภาพที่ 14 แสดงส่วนประกอบและการเตรียมขั้วอ้างอิงโดยใช้ท่อพลาสติก	27
ภาพที่ 15 แสดงเครื่อง พีเอช-มิเตอร์กับเครื่อง โวลต์มิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าศักย์ ไฟฟ้าเทียบกันและเครื่องอินทิเกรเตอร์กับนาฬิกาจับเวลาที่ใช้ในการวัด ช่วงเวลาของการเกิดสตริปปีงเทียบกัน	29
ภาพที่ 16 แสดง Potential-time curve ของสารละลายแคดเมียม(1) สารละลายตะกั่ว(2)และสารละลายผสมตะกั่วและแคดเมียมตามลำดับ(3)	34
ภาพที่ 17 แสดง Potential- time curveของสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 10-30 ppm	36
ภาพที่ 18 แสดงตัวอย่าง Regression line ของการวิเคราะห์ตะกั่วด้วยเทคนิค สตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี และ การวิเคราะห์ตะกั่วด้วยเทคนิคอะตอมมิก แอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี	37

ภาพที่19	แสดง potential time curveของสารละลาย (1)ตะกั่ว 20 ppm (2)โรงงานแบตเตอรี่ (3)โรงงานย้อมผ้า (4)โรงงานทอผ้า (5)โรงงานฟอกหนัง	39
ภาพที่20	แสดง potential-time curve ของสารละลายตะกั่วเข้มข้น 5 ppm ที่สัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้า	42
ภาพที่21	แสดงค่าศักย์ไฟฟ้า(volt) ที่ป้อนให้แก่ขั้วทำงานเทียบกับขั้วอ้างอิง ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการเกิดสตริบปีง	43
ภาพที่22	แสดง Potential-time curve ที่ทำการวิเคราะห์สารละลายตะกั่วเข้มข้น 5 ppm โดยใช้เวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส เป็น 1, 3, 5, 7, และ 9 นาที ตามลำดับ	44
ภาพที่23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 1, 3,5,7 และ 9 นาทีกับเวลาที่เกิดการสตริบปีงของสารละลายตะกั่ว 5 ppm	44
ภาพที่24	แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่ว 5-20 ppm ใช้เวลาทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที	45
ภาพที่25	แสดงตัวอย่าง Regression line ของสารละลายตะกั่ว 5-25 ppm ใช้เวลาทำ พรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที	46
ภาพที่26	แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่ว 5-25 ppm ใช้เวลา ทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำประปา และน้ำประปาที่ ทำการ spiked สารมาตรฐานตะกั่ว 10 และ 20 ppm	46
ภาพที่27	แสดง Potential-time curve ของสารละลายแคดเมียม 5-25 ppm ใช้เวลา ทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำประปา และน้ำประปาที่ ทำการ spiked สารมาตรฐานแคดเมียม 10 และ 20 ppm	47
ภาพที่28	แสดงตัวอย่าง Regression line ของสารละลายแคดเมียม 5-25 ppm ใช้เวลาทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที	47
ภาพที่29	แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่วและแคดเมียม 2-10 ppm ใช้เวลาทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 5 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างน้ำที่ ทำการ spiked สารมาตรฐานตะกั่ว 4 ppm	48
ภาพที่30	แสดงภาพที่ขยายมาจากภาพที่ 29	49

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหา

ปัญหาทางด้านมลภาวะทั้งทางอากาศ ทางน้ำ ทางดิน และในอาหาร ตลอดจนการประกอบอาชีพ เริ่มทวีความรุนแรงขึ้นทุกขณะตามความเจริญทางด้านเทคโนโลยีของโลกที่มนุษย์ได้พัฒนาขึ้นมา แต่เดิมปัญหาทางด้านมลภาวะเราจะพิจารณาในด้านที่เป็นภัยต่อสุขภาพ แต่ในปัจจุบันส่งผลกระทบต่ออย่างกว้างขวาง ไม่เพียงแต่ทางด้านสุขภาพเท่านั้น ยังส่งผลถึงทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

ตะกั่วและแคดเมียมถูกจัดเป็นมลพิษที่สำคัญตัวหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วไป ในปัจจุบันนานาประเทศได้ทำการควบคุมเพื่อกำจัดปริมาณการใช้อย่างเข้มงวด เนื่องจากความเป็นพิษของตะกั่วและแคดเมียมค่อนข้างมาก สามารถก่อให้เกิดอาการพิษทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง ดังนั้นปริมาณที่กำหนดในตัวอย่างตามมาตรฐานที่ยอมรับให้มีการปนเปื้อนได้จึงค่อนข้างต่ำมาก อยู่ในระดับส่วนในล้านส่วนถึงส่วนในพันล้านส่วน ขึ้นกับความสำคัญของสิ่งที่ตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนเข้าไป เช่นในอาหารหรือเครื่องดื่มจะกำหนดไว้ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสามารถแพร่เข้าสู่ร่างกายได้โดยตรงจากการกินเข้าไป ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งใช้ตะกั่วเชื่อมวงจรไฟฟ้าไม่ถูกกำหนด แต่ในขณะนี้กลุ่มสหภาพยุโรปกำลังกำหนดให้มีการควบคุมปริมาณตะกั่วในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกนำเข้า เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้

ในกรณีที่ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างมีน้อยมาก การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่มีน้อยๆต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ต้องมีความจำเพาะและความแม่นยำสูง นิยมใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic – Absorption Spectrophotometry , AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีราคาแพงมาก และถ้ายังปริมาณของตะกั่วในตัวอย่างมีน้อยและ/หรือตัวอย่าง มีปริมาณจำกัด ไม่สามารถวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเปลวไฟ(Flame technique) ได้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคแกรไฟต์ เฟอ์แนซ(graphite furnace) ยิ่งทำให้ต้นทุนการตรวจวิเคราะห์สูงมากขึ้น อีกทั้งผู้ทำการวิเคราะห์ต้องมีความชำนาญและประสบการณ์ในการวิเคราะห์สูง ผลที่ได้จึงจะมีความน่าเชื่อถือ ผลวิเคราะห์ที่ได้อาจจะส่งผลกระทบต่อการรักษาของแพทย์ ถ้าเป็นตัวอย่างทางอุตสาหกรรม หรือผลผลิตทางอุตสาหกรรมจะส่งผลถึงกระบวนการผลิตและวัตถุดิบ นอกจากนั้นยังส่งผลถึงการบังคับทางกฎหมาย ถ้ามีปริมาณตะกั่วเกินมาตรฐานที่กฎหมายหรือกฎกระทรวงกำหนด ส่งผลถึงสินค้าบางประเภทที่ประเทศหรือกลุ่มประเทศคู่

คำกำหนดการจำกัดการใช้สารอันตรายซึ่งครอบคลุมถึงตะกั่วด้วย คาดว่าในอนาคตจะส่งผลกระทบต่อแรงงานกับประเทศไทยโดยเฉพาะกลุ่มธุรกิจรายย่อย(SME) เป็นต้น ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี คือ มีความถูกต้องมีความจำเพาะและมีความไว ตลอดจนมีความแม่นยำมาก แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญยิ่งหลายประการ คือ

ประการแรกเครื่องมือชนิดนี้มีราคาแพงมากห้องปฏิบัติการที่ทำงานด้านนี้โดยตรงก็มีเพียงหนึ่งหรือสองเครื่องเท่านั้น ทั้งยังต้องใช้วิเคราะห์โลหะตัวอื่นด้วย ทำให้ปริมาณตัวอย่างมีสัดส่วนที่มากเกินไปกว่าเครื่องมือจะรองรับได้ ผลการวิเคราะห์จึงล่าช้า

ประการที่สองถูกจำกัดที่ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือชนิดนี้เป็นอย่างดี

ประการที่สาม เครื่องมือมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีระบบเกี่ยวกับแสงที่ละเอียดอ่อน ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานภาคสนามได้ จึงมีลักษณะการทำงานเป็นแบบตั้งรับ

ประการที่สี่ คือ ค่าบำรุงรักษาและราคาค่าตรวจวิเคราะห์ต่อตัวอย่างค่อนข้างสูง

จากข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ขึ้นมา โดยวิธีนี้ต้องมีความสะดวกในการวิเคราะห์ เครื่องมือที่ใช้ต้องมีราคาไม่แพง สามารถจัดหาและประกอบได้ง่าย มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย มีความไวและความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยระบบแสงแทบเป็นไปไม่ได้ในขณะนี้ เนื่องจากต้องใช้ทั้งอุปกรณ์เกี่ยวกับแสงที่ซับซ้อน และทีมงานที่เชี่ยวชาญทั้งระบบแสงและทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูงเฉพาะทาง ดังนั้นการใช้เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า(Electrochemical analysis) น่าจะเป็นทางเลือกทางหนึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบกวาด(Screening test) ก่อนจะทำการตรวจพิสูจน์ยืนยันด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์บชัน อีกทั้งยังเป็นการลดจำนวนตัวอย่างที่จะเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ โดยยินยอมลดประสิทธิภาพการวิเคราะห์ลงไปบ้าง แต่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้

ในส่วน of เทคนิควิเคราะห์เชิงไฟฟ้ามีหลายวิธีให้เลือกใช้เมื่อพิจารณาลักษณะของตัวอย่างที่ง่ายที่สุดจะเป็นน้ำ ทั้งน้ำตามธรรมชาติและน้ำที่จากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีไอออนของโลหะหลายชนิดปะปนอยู่ แต่ยังไม่มากพอที่จะใช้วิธีอิเล็กโตรไลซิส(Electrolysis) วิธีโวลแทมเมตรี(Voltametry) หรือโพลาโรกราฟี(Polarography) จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดแต่เครื่องมือมีความซับซ้อนมาก ต้องใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูงเพื่อจะวิเคราะห์ปริมาณกระแสไฟฟ้าในระดับไมโครแอมแปร์ถึงนาโนแอมแปร์(μA - nA) และตัวเครื่องมือมีราคาแพงมาก การซื้อมาใช้งานโดยการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นการไม่คุ้มค่าทั้งทางด้านการนำมาใช้งาน และการนำมาใช้การศึกษารวมทั้งใช้ในการถ่ายทอดความรู้

การใช้เทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี(Stripping Potentiometry) ซึ่งประยุกต์รวมจากเทคนิคอะโนดิก สตริปปีง โวลแทมเมตรี (Anodic Stripping Voltammetry) และโพเทนชิโอเมตรี (Potentiometry) จากเทคนิคทั้งสองที่ใช้หลักการที่ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะ และศักย์ไฟฟ้าที่โลหะเกิดการออกซิไดซ์(oxidize)ไปเป็นไอออนเป็นค่าเฉพาะตัวของโลหะแต่ละชนิด ณ สถานะนั้น ซึ่งวิธีวิเคราะห์นี้จะครอบคลุมทั้งปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ในเวลาเดียวกัน อีกทั้งเป็นวิธีที่สะดวก ตัวเครื่องมือไม่มีความซับซ้อนสามารถสร้างหรือจัดหาอุปกรณ์มาประกอบเป็นเครื่องมือได้ง่าย ราคาไม่แพงสามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานภาคสนามได้ สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับส่วนในล้านส่วน

การสร้างเครื่องสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรีอย่างง่ายขึ้นมา ซึ่งมีราคาถูก สามารถสร้างขึ้นได้เอง ถึงจะมีประสิทธิภาพด้อยลงไปบ้างแต่ยังสามารถใช้ในการตรวจวัดในเบื้องต้นได้ เช่น ในกรณีหมู่บ้านคลิตี้ที่มีระดับตะกั่วในน้ำสูงมาก นอกจากนั้นยังสามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนทำให้เกิดความเข้าใจ เกิดความเชื่อมั่นในความรู้ เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต

ภูมิหลัง

ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งมีน้ำหนักอะตอม 207.19 สีเทาเงิน หรือน้ำเงินแกมฟ้าตะกั่วในธรรมชาติมักจะอยู่ปนกับกำมะถัน สามารถแยกออกจากกันโดยนำมาเผาให้ร้อนจัด จากนั้นเป่าอากาศเข้าไป ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับตะกั่วและกำมะถัน เป็นตะกั่วออกไซด์ (Leadoxide) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulferdioxide)ตามลำดับ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำไปผลิตเป็นกรดกำมะถัน(Sulfuric acid)ต่อไป ส่วนตะกั่วออกไซด์ที่เหลือจะทำการรีดิวซ์ (reduce) ด้วยคาร์บอนโดยถ่านหินที่ร้อน จะได้โลหะตะกั่ว

นักประวัติศาสตร์ได้พบหลักฐานที่แสดงว่าประมาณ 5,000 ปีก่อนหน้านี้ ชาวกรีกโบราณได้รู้จักถลุงตะกั่วแล้ว มีการพบเหมืองตะกั่วที่บริเวณแคว้น Iberia ในยุคโรมันรุ่งเรืองมีการขุดหาตะกั่วบริเวณริมทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เหมืองเหล่านี้ผลิตตะกั่วได้ปีละ 50,000 ตัน จนถึงปีพ.ศ. 2370 ต่อมาเมื่อยุโรปก้าวเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรมความต้องการในการบริโภคตะกั่วได้เพิ่มมากขึ้น เหมืองตะกั่วในอังกฤษและเยอรมันจึงได้ดำเนินการขุดอีกครั้ง ได้พบหลักฐานแสดงว่า ตั้งแต่โลกได้รู้จักตะกั่วได้ผลิตตะกั่วออกมาทั้งสิ้น 260 ล้านตัน และ 85% ของตะกั่วที่ผลิตได้ถูกขุดออกมาในช่วง 200 ปี ที่ผ่านมานี้เอง

ช่วงเวลาที่มนุษย์ได้ปลดปล่อยตะกั่วซึ่งเป็นพิษออกสู่บรรยากาศนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 5 ช่วง คือ

- ช่วงแรก เป็นยุคที่มนุษย์มุ่งจัดหาแร่เงินมากกว่า ตะกั่วที่ถูกขุดติดมากับเงินจึงถูกเผาจนระเหยเป็นไอหมด ไอตะกั่วถูกความชื้นในอากาศทำให้ควบแน่นแล้วไปสะสมอยู่ในต้นไม้

- ยุคที่ 2 ปี พ.ศ. 1993 – 2293 เมื่อมีการพบวิธีสกัดเงินออกจากแร่ดิบที่มีโลหะอื่นๆ ผสมอยู่หลายชนิด การปลดปล่อยตะกั่วออกสู่บรรยากาศจึงน้อยลง

- ยุคที่ 3 มนุษย์นิยมใช้ถ่านหินในการเผาโลหะผสมแทนที่จะใช้ไม้ เป็นสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งของการปล่อยตะกั่วออกสู่บรรยากาศมาก เพราะตะกั่วที่มีในถ่านหินถูกเผาออกมาด้วย

- ยุคที่ 4 ปี พ.ศ. 2468 เป็นต้นมา เราเริ่มรู้จักใช้รถยนต์ เกิดเป็นต้นกำเนิดสำคัญที่ปลดปล่อยตะกั่วออกสู่บรรยากาศ

- ยุคที่ 5 ในปัจจุบันมีการควบคุมปริมาณตะกั่วในบรรยากาศของโลกอย่างจริงจัง

ประโยชน์ของตะกั่ว

ตะกั่วมีประโยชน์มากมาย ถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบสามารถสรุปว่า การใช้ตะกั่วในวงการอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารประกอบอนินทรีย์ตะกั่ว เช่น

1.1 โลหะตะกั่วใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ นำมาทำเป็นแผ่นหรือท่อโลหะใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน แผ่นกรองในอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำลูกปืน จากกันสารกัมมันตรังสี

1.2 ออกไซด์ของตะกั่ว ได้แก่ ตะกั่วโมนอกไซด์(Lead monoxide)ใช้ในอุตสาหกรรมสี โดยใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน ตะกั่วออกไซด์(Lead dioxide) ใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถยนต์และเครื่องจักร ตะกั่วทองแดง(Leadred oxide)ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ สีทาโลหะเพื่อกันสนิม เครื่องแก้ว ยาง และเครื่องเคลือบ

1.3 สารประกอบของเกลือตะกั่ว จากสมบัติที่สีต่างๆกัน จึงนิยมใช้เป็นแม่สี หรือสีผสมในอุตสาหกรรมสี เช่น ตะกั่วเหลือง(Lead chromate) ตะกั่วขาว(Lead carbonate) ตะกั่วซัลเฟต(Lead sulfate) ใช้ในอุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์ ตะกั่วอะซิเตต(Lead acetate)ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม

2. สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว ได้แก่ เตตราเอทิล เลด(Tetraethyl lead) และเตตราเมทิล เลด(Tetramethyl lead) ใช้เป็น “สารกันน็อก” หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ เวลาทำงาน โดยใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อให้เชื้อเพลิงมีค่าออกเทนสูงขึ้น

ตะกั่วจัดเป็นสารพิษในกลุ่มโลหะพิษ มีประโยชน์อย่างมากมาในทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และทางด้านวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ผลจากการถูกนำมาใช้อย่างมากมายทำให้มีการกระจายตัวของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม มีการปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่ม เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้น เกิดอาการเป็นพิษนานัปการทั้งอาการเป็นพิษแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง

ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง โดยตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าได้ที่ลำไส้เล็ก และอาจเข้าทางระบบทางเดินหายใจจากการสูดดมควันจากท่อไอเสียรถยนต์ จึงอาจพบตะกั่วอยู่ในของเหลวทั่วร่างกาย ตะกั่วจะถูกสะสมอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะสะสมที่ตับสูงกว่าที่อื่นๆ และสะสมไว้ที่กระดูกมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของกระดูก เมื่อสะสมไว้มากพอแล้วจึงจะไปอยู่ที่ส่วนของเนื้อกระดูก

การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ

1. การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร

แหล่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ยาสมุนไพรแผนโบราณและภาชนะเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อน พบว่าร้อยละ 70-75 ของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร การดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในระบบทางเดินอาหารจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- รูปของสารประกอบตะกั่ว ซึ่งหากอยู่ในรูปของสารอินทรีย์จะดูดซึมได้ดี ส่วนใหญ่จะไปสะสมที่กระดูก ส่วนที่เหลือจะไปสะสมที่ตับ ไต กล้ามเนื้อ และระบบประสาทส่วนกลาง ส่วนในรูปสารอนินทรีย์จะดูดซึมได้เพียง 5-10% เท่านั้น

- ปัจจัยของอาหาร อาหารที่มีแคลเซียมต่ำจะเพิ่มการดูดซึมตะกั่ว และหากร่างกายได้รับสังกะสีน้อยก็จะเพิ่มการดูดซึมตะกั่วเช่นเดียวกัน

2. การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ

การหายใจเอาควัน หรือไอ(fume)ของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น การหลอมเหลวตะกั่วหรือเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี ฯลฯ

3. การดูดซึมทางผิวหนัง

เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนังได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั๊มน้ำมัน ช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมันมีการเติม เตตราเอซิล เลด หรือเตตราเมทิล เลด ผสมในน้ำมันเบนซิน ดังนั้น เมื่อคนงานถูกน้ำมันเบนซินหกรดผิวหนังหรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เตตราเอซิล เลด สามารถละลายในชั้นไขมันของผิวหนังได้ ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอซิล เลด(triethyl lead) ตะกั่วถูกขับออกจากร่างกายได้ช้ามาก โดยมีครึ่งชีวิตเท่ากับ 200-350 วัน ตะกั่วจึงสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานาน

พิษของตะกั่วต่อร่างกาย

พิษตะกั่วในผู้ใหญ่

1. อาการทางระบบทางเดินอาหาร พบได้บ่อยในผู้ใหญ่ โดยเริ่มจากมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายมีอาการท้องเสีย อาการที่สำคัญ คือ ปวดท้องอย่างรุนแรงมาก ที่เรียกว่า “โคลิค” เป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยมาโรงพยาบาลผู้ป่วยอาจปวดท้องจนคืนตัวงอ อาการปวดท้องนี้อาจทำให้แพทย์วินิจฉัยโรคผิดว่าเป็นอาการปวดท้องเนื่องจากสาเหตุอื่นได้ เช่น ไล่ติ่งอักเสบ นอกจากนี้การดื่มสุรา หรือภาวะเจ็บป่วยอื่นๆจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากที่เก็บสะสมไว้ ออกมามากขึ้น และอาจตรวจพบแนวเส้นตะกั่วบริเวณเหงือก(Lead line) มีลักษณะเป็นเส้นสีน้ำเงิน – ดำ จับอยู่ที่ขอบเหงือกต่อกับฟันห่างจากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร พบบ่อยบริเวณฟันหน้ากราม และฟันกราม

2. อาการทางระบบประสาทส่วนปลาย ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา บางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่างๆ ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมากๆเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งมักจะเกิดกับกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อ มืออ่อนแรง ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ข้อมือตก หรือข้อเท้าตก การเป็นอัมพาตมักจะไม่ใช่ประสาทความรู้สึกเสียส่วนมากมักจะเป็นเฉพาะกล้ามเนื้อข้างใดข้างหนึ่งของแขนหรือขาเท่านั้น และมักจะมีอาการข้างที่ถนัดก่อน

3. อาการทางสมอง เป็นอาการแสดงที่พบว่ารุนแรงที่สุด มักพบในเด็กที่ได้รับตะกั่วอินทรีย์หรือสูดดมเอาไอและละอองฝุ่นตะกั่วเข้าไปมาก สำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อยโดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์

4. อาการทางโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเหลือง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้วผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรัง พบว่ามีอาการตัวเหลือง ตาเหลืองได้ด้วย

กลุ่มคนที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับสารตะกั่ว

1. คนงานที่ประกอบอาชีพสัมผัสสารตะกั่วได้แก่

1. คนงานทำเหมืองตะกั่ว
2. คนงานโรงงานถลุงแร่ตะกั่ว
3. คนงานโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์
4. คนงานโรงงานผลิตแบตเตอรี่
5. คนงานโรงงานผลิตสี
6. คนงานโรงงานชุบโลหะ
7. คนงานโรงงานทำเครื่องปั้นดินเผา / เซรามิก
8. คนงานโรงงานทำเครื่องปั้น
9. คนงานโรงงานทำเครื่องประดับโลหะ
10. คนงานบัดกรีตะกั่ว
11. คนงานเรียงพิมพ์ และหล่อตัวพิมพ์
12. คนงานโรงงานผลิตและบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช
13. คนงานทาสี หรือพ่นสีกันสนิม
14. คนงานโรงงานผลิตแก้ว

2. บุคคลทั่วไปได้แก่

1. เด็ก
2. บุคคลในครอบครัวของคนงานที่ประกอบอาชีพสัมผัสตะกั่ว

3. ทารกและเด็กที่ดื่มนมแม่

4. บุคคลที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการประกอบที่ใช้สารตะกั่ว เช่น ผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้โรงงานผลิตแบตเตอรี่

นอกจากกลุ่มเสี่ยงแล้วบุคคลทั่วไปอาจได้รับตะกั่วจากสิ่งแวดล้อมรอบตัวไม่ว่าจะเป็นน้ำ อากาศ อาหาร หรือโดยเหตุบังเอิญ

แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อน มีสีเงินเช่นเดียวกับตะกั่วและปรอท โลหะนี้ไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นพิษต่อร่างกาย แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากในธรรมชาติพบในรูปของซัลไฟด์ (CdS) แต่แหล่งแร่มีน้อยมาก แคดเมียมส่วนใหญ่พบ

ปะปนในปริมาณเล็กน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้น โลหะแคดเมียมส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงสินแร่สังกะสี

ได้มีการนำโลหะแคดเมียมใช้แทนอลูมิเนียม เหล็กสแตนเลส และสังกะสีในการฉาบวัสดุที่เป็นโลหะต่างๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ผลิตพลาสติกพีวีซี น้ำยาเคลือบไม้ โลหะผสมต่างๆ สีและน้ำยากันสนิม จากการนำเอาแคดเมียมมาใช้ประโยชน์นี้เองเป็นสาเหตุให้แคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉาะอย่างยิ่งแหล่งที่ทำเหมืองแร่ การทำเหมืองสังกะสี การเผาไหม้ขยะที่เป็นพลาสติก ยาง โรงงานทำโลหะเจือและชุบโลหะ

พิษของแคดเมียม

แคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสะสมและปริมาณการสะสมจะเพิ่มขึ้นตามอายุ มีการประมาณการว่าคนทั่วไปที่มีอายุ 50 ปี จะมีแคดเมียมสะสมในร่างกาย 10-60 มิลลิกรัม สุดแล้วแต่ว่าคนนั้นจะอยู่ในแถบใดของโลก เด็กที่เกิดใหม่มีแคดเมียมในร่างกายเพียง 1 ไมโครกรัม การสะสมแคดเมียมในร่างกายในปริมาณสูงทำให้คนและสัตว์เป็นหมันได้ นอกจากนี้ยังทำให้ไตพิการ เกิดโรคความดันโลหิตสูง ความเป็นพิษของแคดเมียมยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก แต่เชื่อว่ามีสาเหตุมาจากการเข้าแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิด ที่มีหมู่ -SH ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานหรือทำงานผิดปกติได้

พิษของแคดเมียมที่เกิดขึ้นและรู้จักกันครั้งแรกที่เมืองโทยามา ริมฝั่งแม่น้ำจินตซุ (Jintsu) ประเทศญี่ปุ่น ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 โรคนี้ชาวญี่ปุ่นเรียกว่าโรคอิไต-อิไต (Itai-Itai disease) ซึ่งแปลว่าโรคเจ็บปวดจนร้องไห้อี-อี เป็นโรคที่ก่อให้เกิดความทรมาณอย่างแสนสาหัส เนื่องจากพิษของแคดเมียมทำให้กระดูกและไตพิการ ทำให้ความดันโลหิตสูง สายตาผิดปกติ การปวดกระดูกจะเกิดขึ้นตามน่องตามข้อ ซี่โครงและสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกเชิงกราน และหัวไหล่ การปวดเจ็บคล้ายมีวัตถุแหลมเข้ามาทิ่มแทง กระดูกในร่างกายเริ่มสลายตัว แคดเมียมจะละลายออกจากกระดูก ในระยะที่เป็นรุนแรง ผู้ป่วยจะปวดมากจนเดินไม่ได้ ระยะนี้ใช้เวลาในการสะสมแคดเมียมนานถึง 20-30 ปี ในระยะสุดท้ายเป็นระยะที่รุนแรงมากที่สุด ผู้ป่วยจะสูญเสียแคลเซียมออกทางปัสสาวะมากมาย จนกระดูกผุกร่อน ผู้ป่วยจะกินไม่ได้ นอนไม่หลับ เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย หดแรงแและเสียชีวิตในที่สุด ผู้หญิงที่มีบุตรแล้วหลายคนหลังจากหมดประจำเดือนแล้วจะเป็นโรคนี้มากที่สุด จากการศึกษาในขณะนั้นสรุปได้ว่า อาการผิดปกติของกระดูกดังกล่าวมีสาเหตุมาจากแคดเมียมเป็นพิษ เพราะบริเวณแถบนั้นเป็นที่ทำเหมืองและถลุงโลหะของบริษัทมิตซู (Mitsui Mining and Smelting Company) ซึ่งผลิตโลหะทองแดง ตะกั่วและสังกะสี เป็นสาเหตุให้บริเวณนั้นมีแคดเมียมในปริมาณสูงทั้งในน้ำและอากาศ

การรักษาพิษของแคดเมียม

แม้ว่าแคดเมียมจะรวมอยู่กับหมู่ $-SH$ ของโปรตีนในร่างกาย แต่การใช้ยา BAL หรือ dimercaprol รักษากลับไม่ได้ผลและกลายเป็นพิษมากขึ้น เนื่องจาก Cd-BAL complex ที่เกิดขึ้นจะไปอยู่ที่ไตและแยกตัวออกจากกันทำให้เกิดแคดเมียมอิสระสะสมอยู่ที่ไตมากขึ้น ฉะนั้นการรักษาจึงไม่ได้ผล ทางที่ดีที่สุดต้องป้องกันไม่ให้มีแคดเมียมกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนเกินขีดอันตรายที่กำหนด

ความมุ่งหมายในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการประกอบเครื่องมือต้นแบบ สตรีปปีง โพเทนซิโอมิเตอร์ ที่ใช้วัสดุพื้นฐานต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เครื่องมือต้นแบบวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เครื่องมือต้นแบบวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำ
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตรวจวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเทคนิคเฟรมอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี
5. เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์และปรับปรุงเครื่องมือต้นแบบในอนาคต

ความสำคัญของการวิจัย

1. ทำให้ทราบรูปแบบที่ง่ายในการประกอบเครื่องมือต้นแบบ และชนิดของวัสดุที่มีผลกับประสิทธิภาพของเครื่องมือ
2. ทำให้ทราบว่าตะกั่วในน้ำสามารถวิเคราะห์ได้โดยเครื่องมือต้นแบบ
3. ทำให้ทราบประสิทธิภาพของวิธี เช่น ความไว (sensitivity) ช่วงการตอบสนองของสัญญาณกับปริมาณสารเป็นเส้นตรง (linearity)
4. ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสตรีปปีง โพเทนซิโอเมตรี
5. ทำให้ทราบแนวทางในการปรับปรุงเครื่องสตรีปปีง โพเทนซิโอมิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และรูปแบบที่สะดวกมากขึ้น
6. สามารถนำเครื่องสตรีปปีง โพเทนซิโอมิเตอร์ที่สร้างขึ้นไปใช้ประกอบการเรียนการสอน ลดการจัดซื้อครุภัณฑ์ในส่วนนี้ ซึ่งมีราคาแพงมาก
7. สามารถทำการพัฒนาต่อให้สามารถวิเคราะห์โลหะหนักชนิดอื่นได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้วัสดุพื้นฐานที่สามารถหาได้ภายในประเทศ และมีราคาถูกในการประกอบเครื่องมือ ยกเว้นสารเคมี
2. สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำ
3. หาประสิทธิภาพของวิธี โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี
4. สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลกระทบของตะกั่ว

จากการนำเอาตะกั่วไปใช้อย่างมากมาย โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม จึงทำให้มีการแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมอย่างมากมายไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำ อากาศ อาหาร และจากการประกอบอาชีพหลายประเภท เนื่องจากความเป็นพิษของตะกั่วค่อนข้างสูง และมีผลเรื้อรังจากการสะสมของตะกั่วในร่างกายจึงต้องมีการตรวจเฝ้าระวังทั้งในตัวอย่างอากาศ อาหาร น้ำ ดั้ม น้ำประปา เป็นต้น นอกจากนี้เป็นงานประจำของหน่วยงานที่ภาครัฐที่เกี่ยวข้องแล้ว ยังมีผู้ทำการศึกษาวิจัย วิเคราะห์หาปริมาณของตะกั่วในตัวอย่างต่าง ๆ ดังนี้

จากหนังสือพิมพ์มติชน 2 มิถุนายน 2547 หัวข้อเรื่องระวังภัยจากสาหร่ายทะเลแห้ง เนื่องจากคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ให้ข้อมูลว่า ได้ตรวจสอบสาหร่ายทะเลแห้งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดตรวจพบว่า บางตัวอย่างมีปริมาณของแคดเมียมเกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานที่หลายประเทศกำหนดไว้ ทั้งนี้โดยปกติสาหร่ายทะเลจัดเป็นพืชที่มีความสามารถในการดูดซับสารที่อยู่ในทะเลได้มาก ดังนั้น หากบริเวณที่สาหร่ายทะเลขึ้นอยู่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว แคดเมียม สารหนู หรือ โลหะหนักที่เป็นพิษสูง สาหร่ายก็จะดูดซับสารเหล่านั้นเข้ามาสะสมไว้ เมื่อนำมาบริโภคก็จะสามารถเข้าไปในร่างกายของมนุษย์ ถ้ามีการสะสมมากขึ้น จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถึงผลการตรวจจะพบว่าปริมาณของตะกั่วจะไม่เกินมาตรฐาน แต่ก็ยังต้องมีการควบคุมการใช้อย่างระมัดระวังต่อไป

จากหนังสือพิมพ์ ผู้จัดการ 8 สิงหาคม 2548 และหนังสือพิมพ์มติชน 29 ธันวาคม 2548 ในกรณีหมู่บ้านคลิตี้ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดกาญจนบุรี ได้รับน้ำสารเคมีที่ใช้ในการแต่งแร่จากโรงแต่งแร่ บริษัทตะกั่วคอนเซนเทรตส์ (ประเทศไทย) จำกัด ดำเนินกิจการเหมืองแร่ตะกั่ว บริเวณบ่องาม ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าน้ำโจน บ้านคลิตี้บน ต.ชะแล อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี หรือ "เหมืองคลิตี้" มากกว่า 20 ปี มีการปล่อยสารเคมีและตะกอนแร่จากโรงแต่งแร่ไหลลงสู่ลำห้วยคลิตี้ โดยมีการพบท่อน้ำทิ้งที่แหล่งน้ำจนทำให้ชาวบ้านผู้ใช้น้ำในลำห้วยล้มป่วยหลายคน คณะทำงานโครงการวิชาการเพื่อเสนอแนวทางการฟื้นฟูลำห้วยคลิตี้ นำโดย ดร.อาภา หวังเกียรติ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต พบการปนเปื้อนของตะกั่วในตะกอนธารน้ำในลำห้วยคลิตี้ได้โรงแต่งแร่ลงไปมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานตะกั่วในดิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 100 เท่า และยังพบว่าปริมาณตะกั่วที่อยู่ในลำน้ำยังสูงอยู่ ตัวเลขอยู่ระหว่างเป็นหมื่นถึงแสนพีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน) และการทดสอบอัตราการละลายของตะกั่วออกมา ก็พบว่ามีความเกินค่ามาตรฐานของ

กระทรวงอุตสาหกรรม โดยสรุปคือในตะกอนมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่มาก มีโอกาสที่สัตว์น้ำปนเปื้อนมาสู่ห่วงโซ่อาหารและในสิ่งมีชีวิตน้ำได้

ได้มีการเฝ้าระวังโดยการการศึกษาการปนเปื้อนของปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ในน้ำ และตะกอนดินคลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา วนิตตา อธิไกร (2539) โดยใช้เครื่อง ICP (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrophotometer) และเครื่อง Cold Vapour Generation ประกอบกับเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชัน เพื่อวิเคราะห์หาปรอท พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม ในน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณเฉลี่ยของปรอท ตะกั่ว และแคดเมียมในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วงของดินปกติทั่วไป แต่ในฤดูฝน (ตุลาคม และธันวาคม) จะมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำและตะกอนดินสูงกว่าฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์และเมษายน)

นิรชา และคณะ (2540) ได้รายงานความก้าวหน้าโครงการตรวจคุณภาพผลผลิตสัตว์น้ำกรมประมง โดยตรวจสอบโลหะหนัก แคดเมียม ปรอทและตะกั่วในหมึกกล้วย หมึกกระดอง และหมึกสายโดยแยกวิเคราะห์เป็นส่วนหนวด (tentacle) และตัว (mantel) จากสะพานปลากรุงเทพฯ สมุทรสาครระหว่างปี 2539 – 2540 ผลการศึกษายังอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายแต่ยังต้องเฝ้าระวังต่อไป

อภิรดี เมืองเดช (2545) ได้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม ปรอท และตะกั่วในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.90, 0.427, 0.312 และ 0.222 มก./กก. ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดระหว่างหอยแครงเลี้ยงกับหอยแครงจับได้ตามธรรมชาติ แต่ความแตกต่างระหว่างฤดูมีผลต่อการสะสมของโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 อย่างไรก็ตามอาจสรุปได้ว่าปริมาณโลหะหนักตะกั่ว สังกะสี และปรอทในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงอยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) ในกรณีการสะสมของแคดเมียมพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสากล (1มก./กก.)

จากบทความเรื่อง Toxic contamination in chinese Patent medicines ของ Jake Paul Fralkin ที่ได้ نابทสรุปจากงานวิจัยของ Richard Ko , และ คณะ แห่ง California Department of Health Services สาขาอาหารและยา ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าประมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในสมุนไพรจีน จำนวน 261 ตัวอย่าง พบว่า ประมาณร้อยละ 15 จะมีปริมาณของสารหนูและปรอทปนเปื้อนในปริมาณที่สูงแล้วยังมีตะกั่วปนเปื้อนที่ระดับ 5 -241 ส่วนในล้านส่วน จากข้อมูลนี้อาจทำให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) นำมาเป็นข้อพิจารณายกเลิกยาสมุนไพรที่ได้รับจดสิทธิบัตรทั้งหมด เนื่องจากไม่สามารถควบคุมทั้งหมดและประสบปัญหาเช่นเดียวกับสมุนไพรจีนในสหรัฐอเมริกาจดทะเบียนเช่นเดียวกับประเทศไทย ที่สมุนไพรจีนใน

สหรัฐอเมริกาจดทะเบียนเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplement) ทำให้การกำหนดระดับความเป็นพิษของสารปนเปื้อนในเภสัชกรรมควบคุมไม่ถึง สำหรับตะกั่วกำหนดไว้ที่ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน

ผลกระทบของตะกั่วในปัจจุบันนอกจากจะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพแล้วยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจด้วย เนื่องจากคณะกรรมการการยุโรปได้ออกร่างกฎหมายว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตราย (Restriction on Hazardous Substance RoHS) เมื่อเดือนมกราคม 2546 กำหนดให้ผู้ผลิตสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จำหน่ายในสหภาพยุโรป (European Union : EU) ต้องจำกัดปริมาณการใช้สารอันตราย 6 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท โครเมียม(Hexavalent Chromium) โพลีโบรมิเนต ไบฟีนิล (Polybrominated Biphenyls : PBB) และโพรลโบรมิเนต ไดฟีนิล อีเธอร์ (Polybrominated Diphenyl Ethers : PBDE) โดยหันไปใช้สารชนิดอื่นทดแทนเพื่อลดผลกระทบที่อาจมีต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ สมาชิก EU อยู่ระหว่างดำเนินการออกกฎหมายให้สอดคล้องกับร่างกฎหมายดังกล่าว ซึ่งคาดว่าจะเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 กฎหมายนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงกับผู้ส่งออกไทย โดยจะทำให้

ต้นทุนการผลิตปรับสูงขึ้น ทั้งในส่วนของ การปรับปรุงกระบวนการผลิต การทดสอบผลิตภัณฑ์ และการวิจัยและพัฒนาเพื่อคิดค้นสารชนิดใหม่สำหรับใช้ทดแทนสารอันตรายทั้ง 6 ชนิด

สูญเสียส่วนแบ่งตลาดให้กับคู่แข่ง หากไม่สามารถปรับตัวได้ทันภายในกำหนดเวลาเริ่มบังคับใช้กฎหมาย RoHs

เป็นที่คาดว่าผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จะเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและเงินทุนเมื่อเทียบกับผู้ประกอบการขนาดใหญ่

การวิเคราะห์ตะกั่ว

แจกเนอร์ (Jagner) และคณะ (1978) ได้ใช้เทคนิคสตริปปีง โพเทนชิโอเมตรีทำการรีดิวซ์โลหะหนักให้อยู่ในรูปอะมัลกัม จากนั้นทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลา โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter) เป็นเครื่องอ่านค่าศักย์ไฟฟ้า และเครื่องบันทึกสัญญาณทำการบันทึกสัญญาณระหว่างศักย์ไฟฟ้าเทียบกับเวลา พบว่า บิสมีส แคดเมียม ทอลเลียม ตะกั่ว ทองแดง และ สังกะสี มีค่าศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัวขณะที่เกิดการออกซิไดซ์ และ มีค่าเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (RSD) ประมาณ 6 %

แจกเนอร์ (1979) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะในตัวอย่างที่ถูกเตรียมให้อยู่ในสถานะที่สารละลายที่เป็นกรด โดยใช้เทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี ซึ่งใช้ฟิล์มของปรอทในการจับสะสมโลหะ สัญญาณที่เป็นสัญญาณต่อเนื่อง(analog signal) จะถูกส่งตรงไปยังเครื่องบันทึก (recorder) ทำการบันทึกสัญญาณระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลา (ใช้ระยะทางแทน) พบว่าสังกะสี รอลเลียม แคดเมียม ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นค่าเฉพาะตัว และสามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขึ้นกับความเข้มข้นของโลหะนั้นในสารละลาย

แจกเนอร์ และคณะ (1981) ได้พัฒนาเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี ที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณต่อเนื่องเป็นดิจิตอล (digital) แล้วต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล ทำให้สามารถทำการขยายสัญญาณได้มาก จึงทำให้สามารถหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOD) ของแคดเมียม และ ตะกั่ว อยู่ที่ 25 nM. ค่าเบี่ยงเบนของสารมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 4 และจากการใช้ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กมาก(micro - electrode) ทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาตรเพียง 25 ไมโครลิตรได้

วิกส์นา และลินด์เกรน(Viksna and Lindgren) (1997) ได้ทำการพัฒนาวิธีหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในเลือดของทารกและมารดา โดยใช้เทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรีที่ใช้ขั้วทำงานขนาดไมโครเป็นกลาสซีคาร์บอน(glassy carbon electrode) และขั้วอ้างอิงเป็นคาโลเมลชนิดอิ่มตัว(SCE) อ่านผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้วยคอมพิวเตอร์ ทำการวิเคราะห์เทียบกับเทคนิคกราไฟต์เฟอร์แนชอะตอมิก แอ็บซอร์ปชัน สเปกโตรเมตรี(Graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS)) พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในเลือดเด็กทารกและมารดาที่เป็นชาวโปแลนด์สูงกว่าทารกและมารดาที่เป็นชาวสวีเดนถึง 3 เท่า คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากสิ่งแวดล้อม

จากเอกสารการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า(Electrochemical analysis)โดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี น่าจะเป็นทางเลือกทางหนึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว จากการศึกษาพบว่า น่าจะสามารถสร้างเครื่องสตริปปีงโพเทนชิโอเมเตอร์อย่างง่าย แทนที่จะสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นการไม่คุ้มค่าทั้งทางด้านการนำมาใช้งาน และนำมาใช้การศึกษารวมทั้งใช้ในการถ่ายทอดความรู้ การสร้างเครื่องสตริปปีงโพเทนชิโอเมเตอร์อย่างง่ายขึ้นมา ซึ่งมีราคาถูก สามารถสร้างขึ้นได้เอง ถึงแม้ประสิทธิภาพด้อยลงไปบ้างแต่ยังสามารถใช้ในการถ่ายทอดความรู้และสามารถนำไปตรวจวัดในเบื้องต้นได้

บทที่ 3

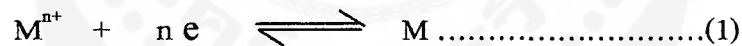
วิธีดำเนินการวิจัย

หาปริมาณตะกั่วในน้ำโดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. กรอบแนวความคิด
2. อุปกรณ์ สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย
3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน
4. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง
5. การวิเคราะห์ตัวอย่าง
6. การหาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์
7. การประมวลผลการวิเคราะห์

กรอบแนวความคิด

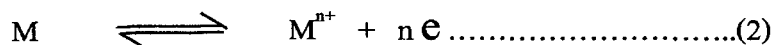
เซลล์เคมีไฟฟ้าจะประกอบด้วยขั้วทำงาน(Working electrode) และขั้วอ้างอิง(Reference electrode) ในขั้นแรก จะให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง และศักย์ไฟฟ้าที่ให้อาจเป็นลบมากพอ ที่ไอออนของโลหะในสารละลายสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชัน(Reduction) เข้ามาจับอิเล็กตรอนที่ขั้วทำงานไปเป็นโลหะเกาะอยู่ที่ผิวของขั้วทำงาน ดังสมการ



ระยะเวลาการให้ศักย์ไฟฟ้ากับขั้วทำงานขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย ถ้าสารละลายเจือจางมากจะเพิ่มเวลาในการให้ศักย์ไฟฟ้ากับขั้วทำงาน เพื่อให้มีการสะสมของโลหะที่ขั้วทำงานมากพอที่จะทำการวิเคราะห์ ถ้าขั้วทำงานเป็นปรอทโลหะที่มาเกาะจะอยู่ในรูปอะมัลกัม(Amalgam) ขั้นตอนที่มีการสะสมของโลหะนี้เรียกว่าพรีอิเล็กโทรไลซิส(Pre-electrolysis)

หลังจากมีการสะสมของโลหะที่มีขั้วมากพอแล้ว จะตัดกระแสไฟฟ้าที่ให้แก่วงจร โดยธรรมชาติโลหะส่วนมากมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้ว(Standard electrode potential , E^0) ในรูปรีดักชันเป็นลบ แสดงว่าในสภาวะปกติไม่มีแรงดันไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าภายนอกที่ป้อนให้กับขั้วทำงานให้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง โลหะจะไม่เสถียรจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation)กลับไปเป็นไอออนในสารละลายเหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเดิมที่ตกคร่อมอยู่

ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งซึ่งโลหะที่สะสมอยู่ที่ขั้วทำงานเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลับไปเป็นไอออนในสารละลาย



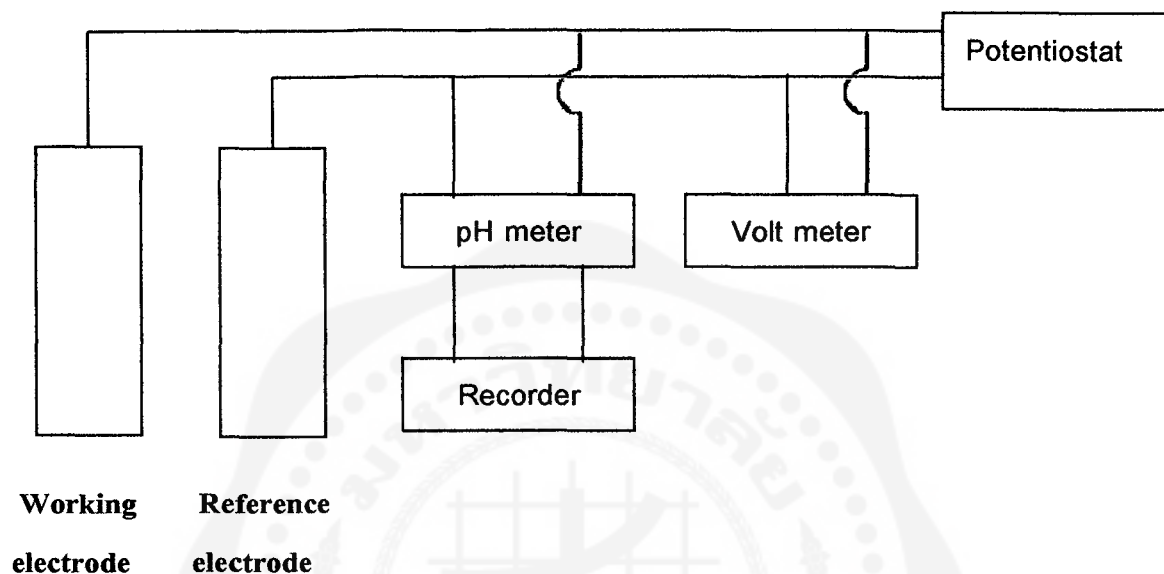
ในตอนนี้ค่าของศักย์ไฟฟ้าค่อนข้างจะคงที่หรือจะค่อยๆลดลงอย่างช้ามาก จนกระทั่งโลหะที่ผิวขั้วทำงานถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไอออนในสารละลายหมด ศักย์ไฟฟ้าจึงจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ลักษณะของเส้นเคิร์ฟ(Curve)ที่ได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าและเวลา(Potential – Time Curve) มีลักษณะเป็น Plateaus curve เวลาของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะที่สะสมอยู่ที่ขั้วทำงาน ซึ่งแปรผันโดยตรงตามความเข้มข้นของไอออนของโลหะในสารละลาย ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นค่าเฉพาะตัวของโลหะแต่ละชนิด ขึ้นกับความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนของโลหะนั้น ซึ่งเป็นไปตามค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้ว(E^0) โดยโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วในรูปรีดักชันเป็นลบมากกว่าจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไอออนในสารละลายก่อน ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันศักย์ไฟฟ้าเกือบจะคงที่หรือลดลงอย่างช้าๆ เมื่อโลหะตัวนั้นเกิดปฏิกิริยาจนหมดศักย์ไฟฟ้าจึงจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง เมื่อลดลงถึงศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งซึ่งจำเพาะกับโลหะอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วเป็นลบน้อยกว่า โลหะชนิดนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันศักย์ไฟฟ้าจะคงที่อีกครั้ง แล้วศักย์ไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้งเมื่อโลหะชนิดที่สองถูกออกซิไดซ์ไปจนหมด ลำดับการเกิดปฏิกิริยาของโลหะแต่ละชนิดถูกควบคุมเอาไว้แน่นอนด้วยศักย์ไฟฟ้าที่เป็นค่าจำเพาะของโลหะแต่ละชนิด ซึ่งในขั้นตอนที่สองที่มีการจับโลหะที่ขั้วทำงานกลับไปเป็นไอออนในสารละลายนี้เรียกว่า สตริปปีง(Stripping)

การระบุชนิดของตัวอย่างจะพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดการสตริปปีง เทียบกับสารมาตรฐาน ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกันจะเกิดการสตริปปีงที่ศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณจะเทียบช่วงเวลาที่เกิดการสตริปปีงระหว่างสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

อุปกรณ์ วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และวัสดุ

1. ออกแบบเครื่องสตริปปีง โพลีเทนิโอไมเตอร์ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามภาพที่ 1 แล้วทำการประกอบเครื่องมือ ดังภาพที่ 1

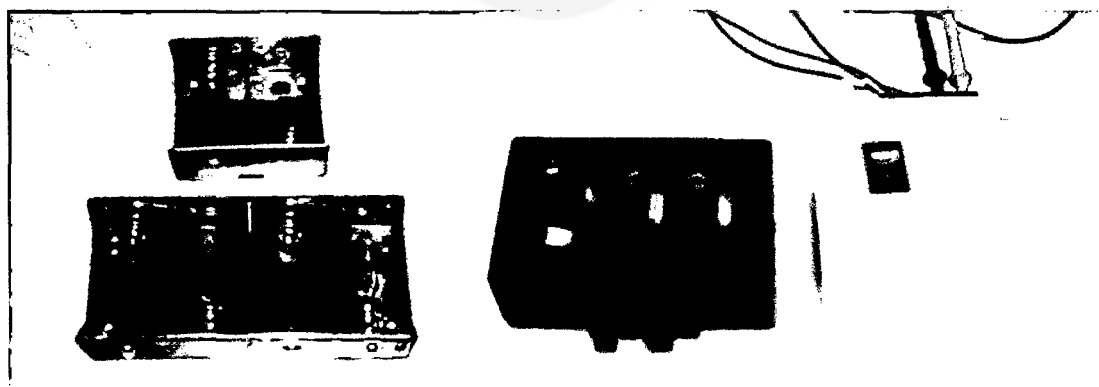


ภาพที่ 1 แสดงแบบวงจรของเครื่องสตริปปีง โพลีเทนิโอไมเตอร์

1.1 เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า (Potentiostat) ประกอบด้วย

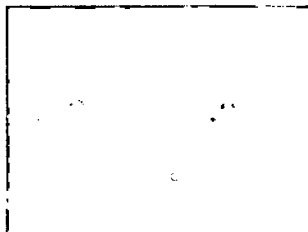
1.1.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นถ่านไฟฉายขนาด 1.5 โวลต์ อาจใช้ขนาด ก้อนเล็ก (AAA) ก้อนกลาง (AA) หรือก้อนใหญ่ (A) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของรังถ่านที่นำมา ประกอบ ในการทดลองนี้

1.1.2 รังถ่าน ที่สามารถบรรจุถ่านไฟฉายได้ 2-4 ก้อน



ภาพที่ 2 เป็นภาพรังถ่านที่ใช้ในการประกอบเครื่องและแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบเสร็จแล้ว

1.1.3 ตัวความต้านทานที่ปรับค่าได้ (Variable resistor) สามารถใช้ตัวปรับความดังของเสียง(Volume)ของเครื่องวิทยุได้ ใช้สำหรับปรับศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เซลล์เคมีไฟฟ้า เพื่อให้ขั้วทำงาน(working electrode) มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง(reference electrode) ตามต้องการ



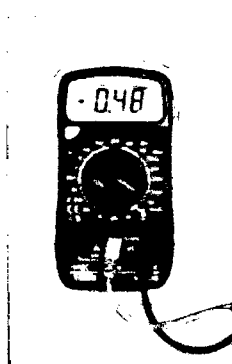
ภาพที่ 3 เป็นตัวความต้านทานที่ปรับค่าได้ ใช้ตัวปรับความดังของเสียงของเครื่องวิทยุ

1.1.4 สวิตช์ ใช้ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้า ระหว่างเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้ากับเซลล์เคมีไฟฟ้า เมื่อต่อวงจรใช้ควบคุมช่วงเวลาการทำปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส และเมื่อทำการตัดวงจรจะเกิดการสไตรปิง



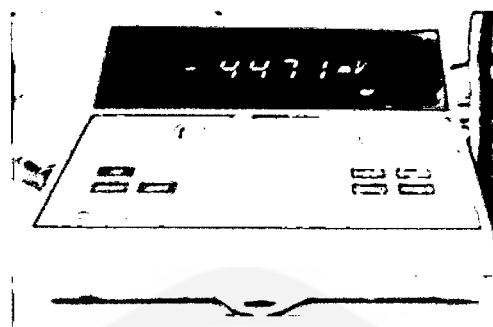
ภาพที่ 4 สวิตช์ ที่ใช้ตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้า

1.2 โวลต์มิเตอร์ (Volt meter) ใช้อ่านค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ระหว่างขั้วอ้างอิง และขั้วทำงาน ต้องเป็นชนิดที่แสดงผลเป็นตัวเลข ผลที่แสดงออกมาจะถูกเทียบกับเครื่องพีเอช-มิเตอร์ (pH meter) ซึ่งใช้เป็นเครื่องอ้างอิง



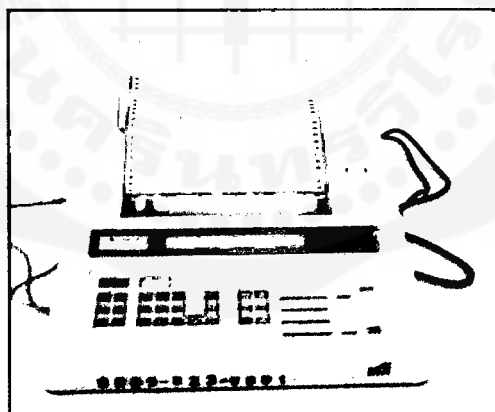
ภาพที่ 5 โวลต์มิเตอร์ที่สามารถแสดงผลเป็นตัวเลข

1.3 พีเอช-มิเตอร์(pH-Meter Metrohm 691) เครื่อง พีเอช-มิเตอร์ที่ใช้ถูกปรับให้แสดงผลเป็นศักย์ไฟฟ้า และใช้เป็นเครื่องอ้างอิงเพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของเครื่อง โวลต์มิเตอร์ ทั้งความถูกต้องและความไวในการตอบสนอง



ภาพที่ 6 เครื่อง พีเอช-มิเตอร์ที่ใช้ถูกปรับให้แสดงผลเป็นศักย์ไฟฟ้า

1.4 เครื่องบันทึกสัญญาณ เป็นของ Hitachi D 2500 Chromato – Integrator ใช้บันทึกสัญญาณของความต่างศักย์เทียบกับเวลาเป็น potential – time curve จะใช้สัญญาณที่อ่านได้ เป็นสัญญาณอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของการใช้นาฬิกาจับเวลาที่ใช้ในการจับเวลาการคงที่ของศักย์ไฟฟ้า ขณะที่มีการจับ (stripping) โลหะออกจากขั้วทำงาน



ภาพที่ 7 เครื่องบันทึกสัญญาณ Hitachi D 2500 Chromato – Integrator

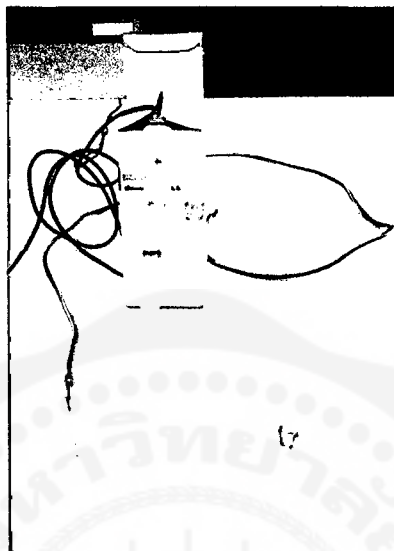
1.5 ขั้วอ้างอิง เป็นขั้วคาโลเมลอิ่มตัว (Saturated Calomel electrode : SCE)
ประกอบด้วย

1.5.1 โครง(housing)ของขั้วอ้างอิง

หลอดไมโครเซนตริฟิวส์ (micro-centrifuge tube)

- หลอดไมโครปิเปตต์(micro-pipette tip)
- ท่อพลาสติกขนาด 1.5 ซม.(id) x 15 เซนติเมตร นำมาจาก พีเอช-

อิเล็กโตรดที่เสียแล้ว



ภาพที่ 8 แสดงส่วนประกอบของขั้วอ้างอิงที่ใช้ท่อพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่นเป็นแท่ง และเส้นลวดแพลตินัมที่ต่อเชื่อมกับสายไฟ

1.5.2 ตัวนำไฟฟ้าของขั้วอ้างอิงใช้วัสดุหลายชนิดในการหาประสิทธิภาพ

- ลวดทองแดงเป็นสายทองแดงของสายไฟฟ้า ที่สอดอยู่ในหลอดพลาสติกป้องกันการสัมผัสกับสารละลาย โดยให้ส่วนปลายที่เปิดจุ่มลงในโลหะปรอท
- เส้นลวดทองแดงที่ใช้ในการพัฒนาเซลล์ไฟฟ้าซึ่งมีจำนวนเคลือบอยู่ ยกเว้นส่วนปลายที่ถูกตัด อีกส่วนจัดเอาจำนวนออกเพื่อใช้ในการต่อเชื่อมวงจรไฟฟ้า
- เส้นลวดแพลตินัม(platinum)

1.5.3 สารละลายอิ่มตัวโปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl)

1.5.4 โปแตสเซียมคลอไรด์

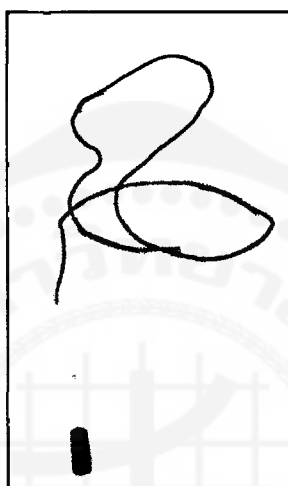
1.5.5 เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2)

1.5.6 โลหะปรอท (Hg)

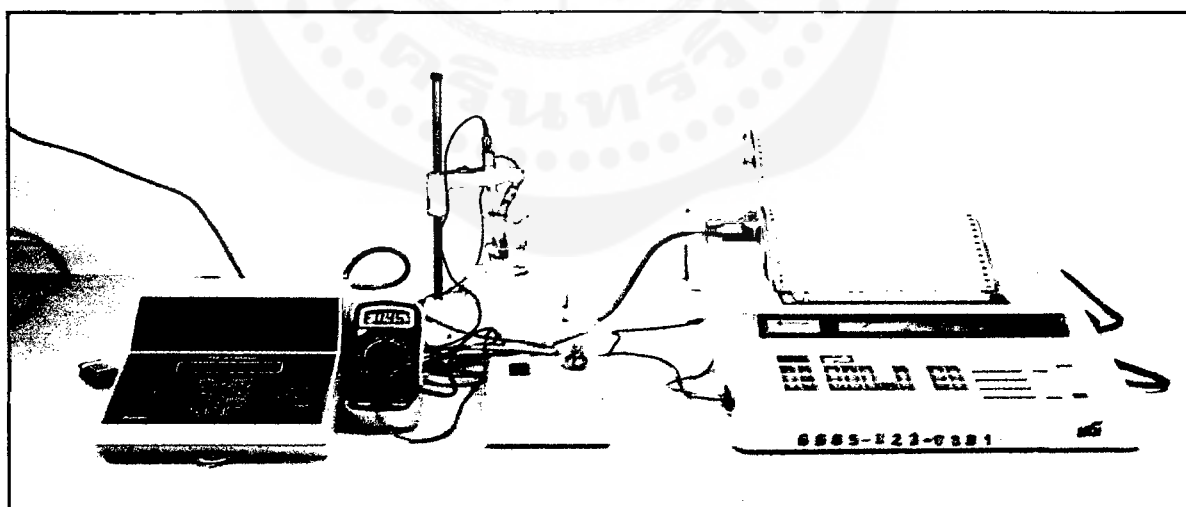
1.5.7 สะพานเกลือใช้วัสดุหลายชนิดเพื่อหาความเหมาะสมในการใช้งาน

- อาลจีนา(agar) จากบ.ซึกมา และผงวุ้นทรานางเงือก
- เส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ลำไส้ ไส้กรองของหนูหริ่ และเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่นเป็นแท่ง

1.6 ขั้วทำงาน เป็นแท่งคาร์บอนที่นำมาจากแกนกลางของถ่านไฟฉายขนาดใหญ่ นำไปขัดผิวรอบ ๆ ด้วยกระดาษทรายจนสะอาด แล้วนำไปล้างด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 10 ($10\% \text{HNO}_3$) ในเครื่องอัลตราโซนิก(Ultrasonic bath) ล้างด้วยน้ำกลั่นต่อ และปล่อยให้แห้ง จากนั้นนำไปสอดลงในท่ออย่างซิลิโคนที่มีขนาดเหมาะสม โดยที่น้ำต้องไม่สามารถซึมผ่านผิวสัมผัสระหว่างแท่งคาร์บอนกับท่อซิลิโคนได้ ปลายด้านหนึ่งต่อกับเส้นลวดตัวนำ ส่วนปลายอีกด้านจัดให้ผิวหน้าเรียบเสมอกับท่อซิลิโคนส่วนนี้ใช้สัมผัสกับสารละลาย

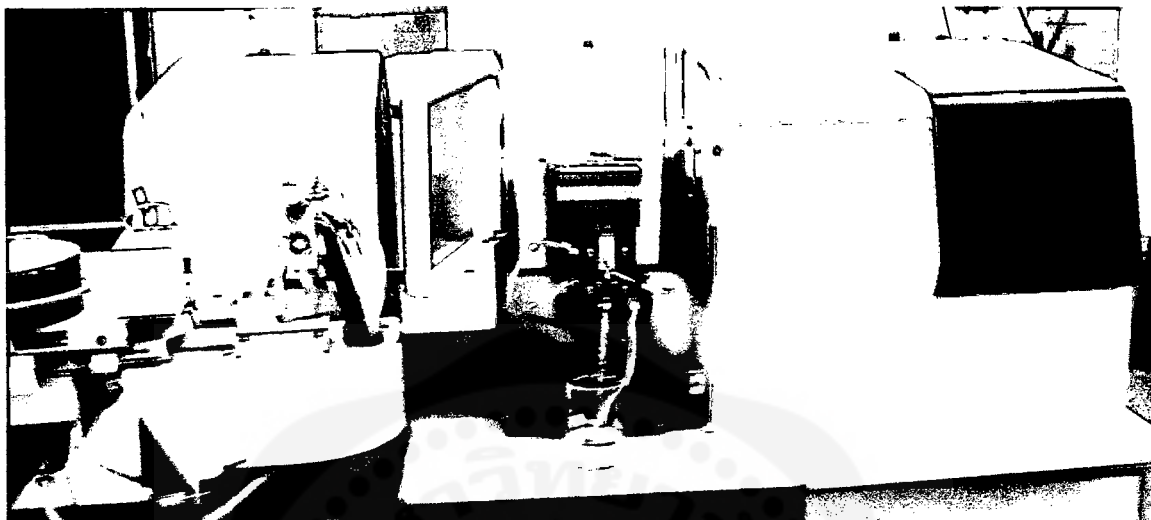


ภาพที่ 9 แสดงขั้วทำงานที่ประกอบด้วยแท่งคาร์บอน ท่ออย่างซิลิโคน และสายไฟ



ภาพที่ 10 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี

2. เครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption Spectrophotometer) Perkin - Elmer



ภาพที่ 10 เครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Perkin - Elmer) ที่ใช้ในการวิเคราะห์เทียบกับเครื่องสตริปิง โพเทนชิโอมิเตอร์

- แหล่งกำเนิดแสง เป็น Pb - Hollow Cathode Lamp
- ความยาวคลื่น 283.3 nm
- ความกว้างของ slit 0.7 นาโนเมตร
- เปลวไฟใช้อากาศกับอะเซทิลีน (acetylene) ปรับจนได้สีน้ำเงิน (clean blue)

3. อุปกรณ์อื่นที่เข้าร่วมในการประกอบเครื่องมือ เช่น หัวแรงขับเคลื่อน ตะกั่วขับเคลื่อน สายไฟ กล้องเอนกประสงค์ใช้เป็นโครงของเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ส่วนไฟฟ้า อุปกรณ์ที่เป็นช่องต่อ สายไฟ เป็นต้น

4. เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น เช่น ขวดเชิงปริมาตร (Volumetric flask) ,ปิเปตต์ (Pipette) ,เชิงปริมาตร (Volumetric pipette) , กระบอกตวง (Cylinder) , บีกเกอร์ (Beaker) เป็นต้น

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้เป็น เออาร์ เกรด (AR grade) ทั้งหมด ได้แก่

- 1.ปรอท (Hg)
2. เมอร์คิวริกไนเตรด ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$)
3. เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2)
4. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

5. ตะกั่วไนเตรด($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)

6. แคดเมียมไนเตรด($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$)

7. สารละลายมาตรฐานของตะกั่วสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน เข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน(ppm) ของ Carlo-erbar

8. สารละลายมาตรฐานของแคดเมียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน เข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน(ppm) ของ Carlo-erbar

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

การเตรียมสารละลายตะกั่วและแคดเมียม

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ชั่งตะกั่วไนเตรด 0.1299 กรัม(ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) นำไปละลายในกรดไนตริก เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน จากนั้นนำไปเจือจางเป็น 5-30 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำกลั่น ใช้สำหรับศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1000 ส่วนในล้านส่วน สำหรับเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน นำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 5-30 ส่วนในล้านส่วน ใช้สร้างกราฟของสารมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณ

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ชั่งแคดเมียมไนเตรด 0.1552 กรัม นำไปละลายในกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้สารละลายแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน จากนั้นนำไปเจือจางเป็น 5-30 ส่วนในล้านส่วนในน้ำกลั่น ใช้สำหรับศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม 1000 ส่วนในล้านส่วน สำหรับเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน นำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 5-30 ส่วนในล้านส่วน ใช้สร้างกราฟของสารมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณ

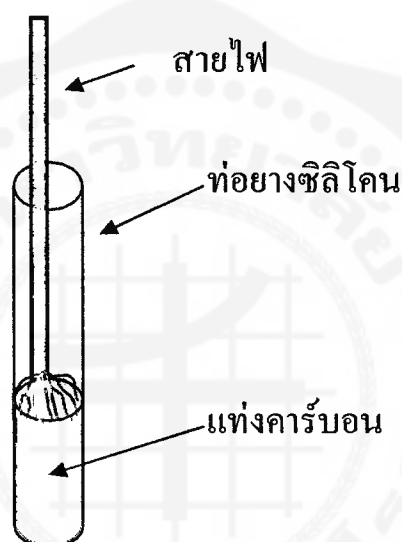
การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างเก็บจากทางระบายน้ำสาธารณะบริเวณภายนอกโรงงานอุตสาหกรรมที่รับน้ำทิ้งจากโรงงาน ได้แก่ โรงงานฟอกหนัง โรงงานย้อมผ้า โรงงานเบตเตอร์ โรงงานผลิตน้ำกรด ตัวอย่างน้ำจะถูกเก็บรักษาตามมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และน้ำตัวอย่างจะถูกกรองเพื่อขจัดสารแขวนลอยก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเตรียมขั้วทำงาน

นำแท่งคาร์บอนจากแกนกลางของถ่านไฟฉายที่จะใช้เป็นขั้วทำงานไปทำความสะอาด โดยขัดด้วยกระดาษทรายจนผิวหน้าเรียบเสมอกับท่ออย่างซิลิโคน จากนั้นล้างด้วยอะซิโตนอย่างระมัดระวัง เพื่อกำจัดเศษของกระดาษทรายที่ติดจากนิ้วมือ และสารอินทรีย์อื่นๆ ที่อาจจะติดอยู่ ล้างด้วยน้ำกลั่น และกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ แล้วเป่าล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง จากนั้นนำไปประกอบตามวงจรไฟฟ้าตามภาพที่ 1 (Stripping Potentiometer)



ภาพที่ 11 แสดงโครงสร้างของขั้วทำงาน

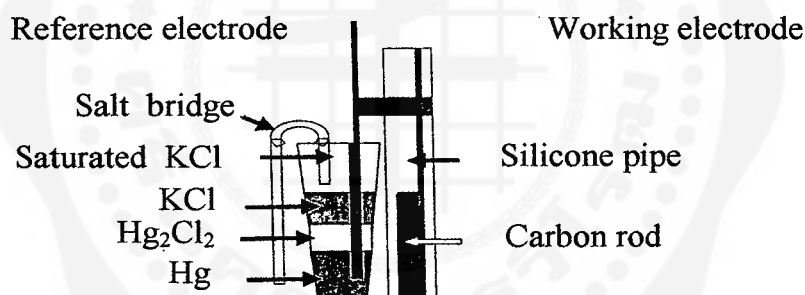
ทำการเคลือบเฉพาะผิวหน้าของขั้วทำงานด้วยปรอท โดยนำขั้วทำงานและสะพานเกลือของขั้วอ้างอิงจุ่มลงในสารละลายเมอร์คิวริกไนเตรดที่มีความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วนในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 ฟอรั่มาล (100 ppm Hg : $(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2)$ in 0.1 F HNO_3) ทำการเชื่อมต่อกับเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าปรับให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานเป็น -0.5 โวลต์ (-0.5 V เมื่อเทียบกับ SCE) เป็นเวลา 1 นาที แล้วทำการสตรippingโดยการตัดกระแสไฟฟ้าที่ให้แก่วงจร จากนั้นให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานอีกครั้ง ครั้งละ 1 นาที โดยค่อยๆ เพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าเป็น -0.6 V , -0.7 V , -0.8 V , -0.9 V และ -1.0 V เพื่อให้ไอออนของปรอท(Hg^{2+})ในสารละลายมาเคลือบเป็นฟิล์มโลหะปรอทที่ผิวหน้าขั้วทำงาน ต้องสตรippingเอาสารมลพิษออกจากขั้วทำงานทุกครั้ง เสร็จแล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่นรอนนำไปใช้งาน(ถ้าขั้วทำงานถูกใช้งานมานาน หรือจะเริ่มงานวิเคราะห์ใน

วันใหม่สามารถจัดผิวหน้าของขั้วทำงานด้วยกระดาษทรายล้างให้สะอาด ก่อนนำไปเคลือบด้วยปรอท)

การเตรียมขั้วอ้างอิง

การเตรียมขั้วอ้างอิงโดยใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์

นำหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์มาเจาะรูที่ฝาเปิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร จำนวน 2 รู นำตัวนำไฟฟ้าสอดผ่านรูฝาที่เจาะไว้แล้ว ให้ปลายด้านหนึ่งอยู่ที่ก้นหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ หยดโลหะปรอทลงไปหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ให้สูงประมาณ 0.5 เซนติเมตร เติมเมอร์คิวรัสคลอไรด์(Hg_2Cl_2)ลงไปเล็กน้อย(เป็นชั้นหนาประมาณ 0.1 เซนติเมตร) ตามด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์(KCl)หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายอิ่มตัวโปแตสเซียมคลอไรด์จนเกือบเต็ม(เว้นช่องว่างไว้สำหรับปิดฝา) ปิดฝาเคาะเบาให้สารละลายสัมผัสกับเมอร์คิวรัสคลอไรด์ เพื่อให้เกิดสมดุลการละลายของเมอร์คิวรัสคลอไรด์ในสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมคลอไรด์ นำปลายด้านหนึ่งของสะพานเกลือสอดลงในรูที่เหลือบนฝาจนสัมผัสกับสารละลายในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์

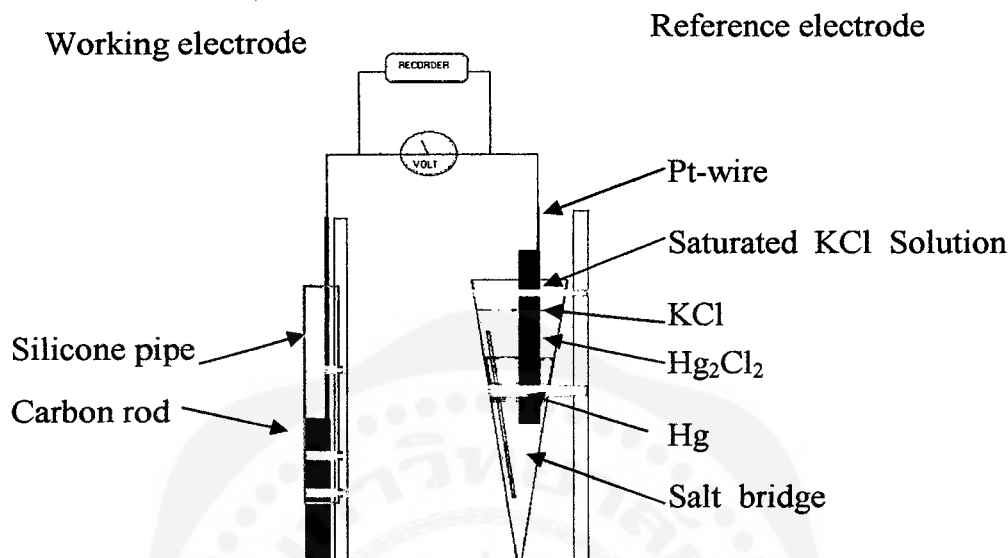


ภาพที่ 12 แสดงองค์ประกอบของขั้วทำงานและขั้วอ้างอิงที่ใช้ไมโครเซนตริฟิวจ์

การเตรียมขั้วอ้างอิงโดยใช้หลอดไมโครปิเปตต์

ต้มวุ้น(3% agar)ผสมสารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ อิ่มตัว บรรจุเข้าไปในปลายหลอดไมโครปิเปตต์ขนาด 1000 ไมโครลิตร ประมาณ 1/3 ของหลอด ใส่หลอดแคพิลลารีลงไปชั้นของวุ้นที่ใช้เป็นสะพานเกลือให้ปลายส่วนบนอยู่เหนือผิวของชั้นวุ้นประมาณ 2 เซนติเมตร นำปรอทใส่ลงไปอย่างระมัดระวังบนชั้นวุ้นให้สูงประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำเส้นลวดพลาตินัมที่บัดกรีกับสายไฟใส่ลงในปรอท ระวังอย่าให้ปลายของเส้นลวดพลาตินัมอยู่เหนือปรอท เติมผงเมอร์คิวรัสคลอไรด์(Hg_2Cl_2)โรยเหนือชั้นปรอทให้เป็นชั้นหนาประมาณ 0.1-0.2 เซนติเมตร แล้วตามด้วยผงโปแตสเซียมคลอไรด์หนาประมาณ 0.2-0.5 เซนติเมตร เติมสารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ที่

อิมมัลลงไป จนท่วมหลอดแคพิลลารี ปิดชั้นสารละลาย โปแตสเซียมคลอไรด์ ด้วยวุ้น แล้วพันด้วยแผ่นฟิล์มให้แน่นที่สุด ป้องกันการรั่วไหล



ภาพที่ 13 แสดงองค์ประกอบของขั้วทำงานและขั้วอ้างอิงที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์

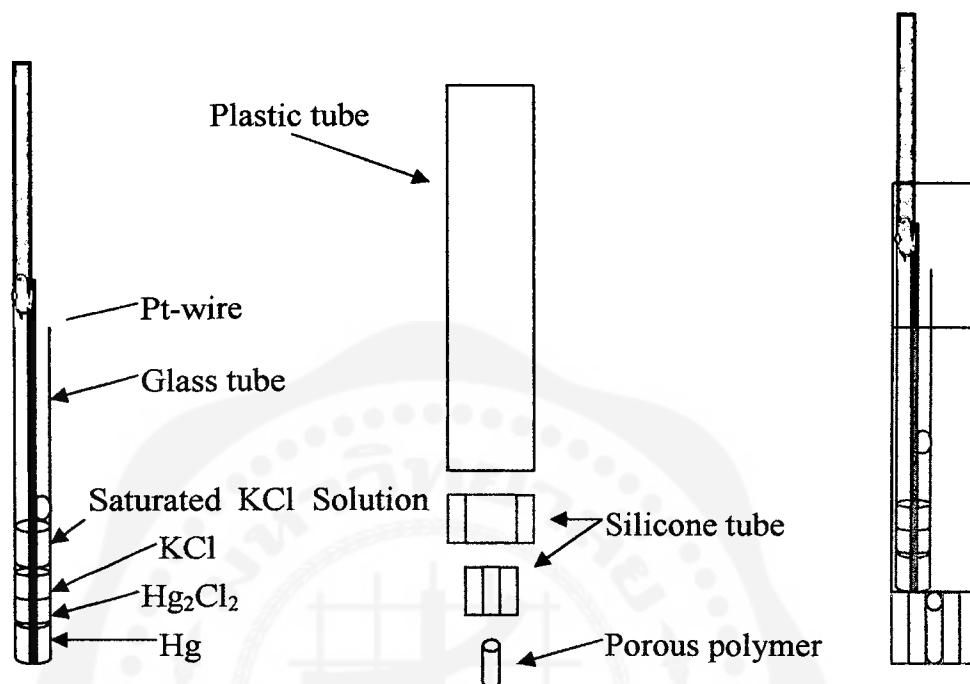
การเตรียมขั้วอ้างอิงโดยใช้ท่อพลาสติกจาก พีเอช-อิเล็กโตรดที่ชำรุดแล้ว

นำหลอดแก้วปลายเปิดทั้งสองข้างขนาดไม่เกิน 0.5 x 10 เซนติเมตร ที่สามารถสอดลงในท่อพลาสติกได้ นำไปปิดปลายด้านหนึ่งโดยใช้เปลวไฟหลอมแก้วเชื่อมปิดปลาย เจาะรูข้างผนังหลอดแก้วสูงขึ้นมาจากด้านปลายปิดของหลอดแก้วประมาณ 3 เซนติเมตร นำปรอทบรรจุลงในหลอดแก้วอย่างระมัดระวังให้สูงประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำเส้นลวดพลาตินัมยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร ซึ่งทำการบัดกรีกับสายไฟใส่ลงในปรอท โดยให้ปลายของเส้นลวดพลาตินัมอยู่ในชั้นของปรอท เติมน้ำเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์โรยเหนือชั้นปรอทให้เป็นชั้นหนาประมาณ 0.1-0.2 เซนติเมตร แล้วตามด้วยผงโปแตสเซียมคลอไรด์หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร เติมน้ำเกลือโพแตสเซียมคลอไรด์ที่อิมมัลลงไป จนถึงระดับรูที่เจาะเอาไว้

ส่วนท่อพลาสติกทำการลดขนาดช่องภายในด้วยท่อยางซิลิโคน 2 ชั้น โดยชั้นที่ 2 นอกจากจะใช้ในการลดขนาดช่องภายในจากการลดขนาดของชั้นแรกอีกครั้งแล้ว ยังใช้บรรจุเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น ใส่สารละลายโพแตสเซียมคลอไรด์ที่อิมมัลลงไปประมาณ 1/2 ของขนาดบรรจุทั้งหมด

จากนั้นสอดหลอดแก้วที่เตรียมเอาไว้แล้วลงในท่อพลาสติก ให้สารละลายโพแตสเซียมคลอไรด์ที่อิมมัลที่มีอยู่ในท่อพลาสติกกับสารละลายโพแตสเซียมคลอไรด์ที่อิมมัลในหลอดแก้ว

เชื่อมติดเป็นสารละลายเดียวกันทางช่องที่เจาะรูเอาไว้ทางด้านข้างของผนังหลอดแก้ว ปิดปลาย
ด้านบนกันการรั่วไหล



ภาพที่ 14 แสดงส่วนประกอบและการเตรียมขั้วอ้างอิงโดยใช้ท่อพลาสติก

ข้อควรระวัง

- ระดับสารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ที่อิมมัลชันควรสูงกว่าที่ผนังหลอดแก้ว
- สารละลายควรอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ทำการบัดกรีเชื่อมเส้นลวดพลาสติกนั้นที่ทำการบัดกรีกับสายไฟ
- ป้องกันไม่ให้สารละลายสัมผัสกับตำแหน่งที่ทำการบัดกรีหรือสายไฟที่เป็นส่วนของทองแดง

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจะทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ของเทคนิคนี้ก่อน จากนั้นทำการหาสภาวะและปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องมือ การตรวจวัดที่ใช้อุปกรณ์ต่างกัน ทำการตรวจสอบวิธีวิเคราะห์จนแน่ใจว่ามีความน่าเชื่อถือโดยการนำผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานมาประมวลผลทางสถิติ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ระยะที่ 1

ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตะกั่วในน้ำด้วยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตริก ช่วงแรกนี้เป็นช่วงของการทดลองแบบลองผิดลองถูก(Trial and error) ในช่วงนี้จะทำการศึกษาว่าสามารถจะจับตะกั่วที่ขั้วทำงานได้หรือไม่เท่านั้น โดยยังไม่ทำการหาประสิทธิภาพของวิธี

วิธีการวิเคราะห์ระยะที่ 1

1. นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายปรอทไนเตรท ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) เข้มข้น 540 ส่วนในล้านส่วนลงไป 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. นำขั้วทำงานที่เคลือบฟิล์มปรอทแล้ว และสะพานเกลือของขั้วอ้างอิงที่ใช้ไมโครเซนตริฟิวจ์ของสตริปปีงโพเทนชิโอมิเตอร์จุ่มลงในสารละลาย
3. เปิดสวิตช์เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ให้มีศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วทำงานเป็น -1.5 โวลต์ เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 5 นาที
4. ทำการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมกับทำการบันทึกสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องบันทึกสัญญาณทำการบันทึกศักย์ไฟฟ้าเทียบกับเวลา(potential – time curve)

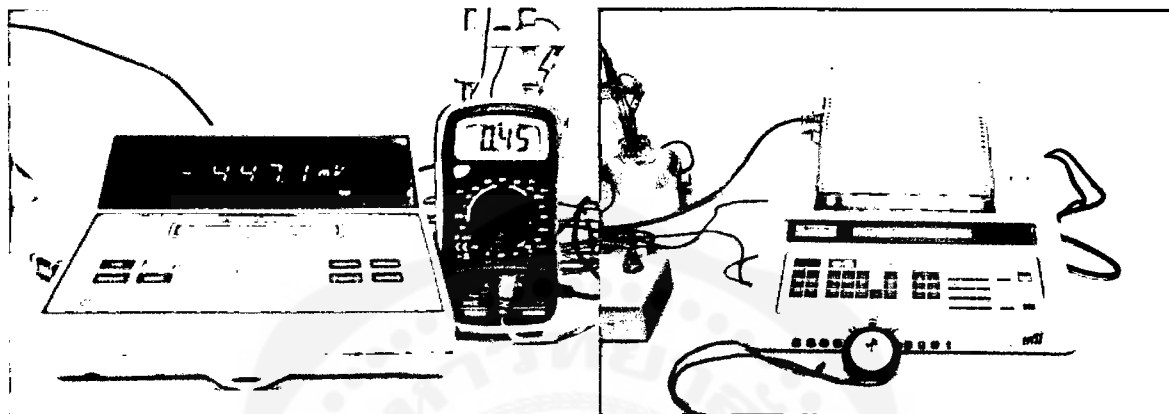
ในระยะที่ 1 นี้ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบเส้นลวดตัวนำที่ใช้ในขั้วอ้างอิงที่เป็นเส้นลวดทองแดงที่หุ้มฉนวน เส้นลวดทองแดงที่เคลือบฉนวนซึ่งใช้ในการพันมอเตอร์ไฟฟ้า และเส้นลวดพลาสติกนั้น โดยจะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้างต้นเพียงแต่เปลี่ยนเป็นขั้วอ้างอิงที่ใช้เส้นลวดตัวนำต่างกัน

ระยะที่ 2

ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีเพื่อใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการพัฒนาเครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์ต่อไป โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคแอมเพอเมตริก ทั้งในสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างพร้อมๆกัน นอกนั้นจะทำการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องอ่านสัญญาณ(Detector) ระหว่าง พีเอช-มิเตอร์(pH meter) กับโวลต์มิเตอร์(Volt meter) และเครื่องบันทึกสัญญาณ(Hitachi D 2500 Chromato- Integrator) กับนาฬิกาจับเวลา

ในช่วงนี้จะหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความเข้มข้นของสารละลายกับสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อนำมาสร้างเป็นสมการถดถอยแล้ว ได้ความเป็นเส้นตรง(linearity) ความจำเพาะ โดยใช้เทคนิคอะตอมมิก แอมเพอเมตริก สเปคโตรโฟโตเมตริกเป็นวิธีอ้างอิง ทั้งใน

สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างที่เป็นสารละลายเดียวกัน นอกจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านจากเครื่องโวลต์มิเตอร์ที่มีราคาถูกมากเทียบกับค่าที่อ่านจากเครื่อง พีเอช-มิเตอร์ซึ่งมีราคาแพง และการบันทึกสัญญาณ โดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์ที่มีราคาแพงกับการอ่านสัญญาณโดยใช้นาฬิกาจับเวลา



ภาพที่ 15 แสดงเครื่อง พีเอช-มิเตอร์กับเครื่องโวลต์มิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบกันและเครื่องอินทิเกรเตอร์กับนาฬิกาจับเวลาที่ใช้ในการวัดช่วงเวลาของการเกิดสตริปปีงเทียบกัน

วิธีการวิเคราะห์ระยะที่ 2

1. นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายปรอทไนเตรทเข้มข้น 540 ส่วนในล้านส่วน ลงไป 1.0 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
2. นำขั้วทำงานที่เคลือบฟิล์มปรอทแล้วและสะพานเกลือของขั้วอ้างอิงของสตริปปีงโพเทนชิโอเมเตอร์จุ่มลงในสารละลายมาตรฐาน
3. เปิดสวิตช์เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานเป็น -1.5 โวลต์เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 5 นาที
4. ทำการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมกับทำการบันทึกสัญญาณเป็น potential – time curve พร้อมกันนั้นใช้นาฬิกาจับเวลาเริ่มต้นทำการจับเวลาเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงมาเริ่มคงที่ และยุติการจับเวลาเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่คงที่เริ่มลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ทำการบันทึกเวลาที่คงที่
5. สังเกตค่าศักย์ไฟฟ้าที่พีเอช- มิเตอร์ เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่แสดงโดยโวลต์มิเตอร์
6. ทำการวิเคราะห์เช่นเดิมอีก 2 ขั้ว

7. ยกชิ้นงานและสะพานเกลือของชิ้นอ้างอิงออกจากสารละลายมาตรฐานแล้วนำไปจุ่มลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 นาที

8. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 15, 20, 25 และ 30 ส่วนในล้านส่วน รวมทั้งสารละลายตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ตามขั้นตอนข้อ 1 -7 สารละลายละ 3 ซ้ำ

9. ทำสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างซึ่งเป็นสารละลายเดิมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน

10. ทำการวิเคราะห์ครั้งใหม่โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วใหม่ และแบ่งตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์เช่นเดิมจนครบ

ระยะที่ 3

ทำการพัฒนาอุปกรณ์ โดยปรับเปลี่ยนวัสดุที่นำมาใช้ในการประกอบชิ้นไฟฟ้าอ้างอิง หลังจากได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ในระยะที่สองแล้ว โดยทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบส่วนที่เป็นสะพานเกลือ ทำการศึกษาประสิทธิภาพระหว่างชิ้นอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวกับชิ้นอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ และระหว่างชิ้นอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวเทียบกับชิ้นอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติกซึ่งผ่านการศึกษาเบื้องต้นของส่วนที่สัมผัสกับสารละลายภายนอกที่เป็นสำลี กันกรองบูห์ และเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น

วิธีการวิเคราะห์ระยะที่ 3

1. นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 10 โมลาร์ ลงไป 0.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน

2. นำชิ้นงานที่เคลือบฟิล์มปรอทแล้ว และสะพานเกลือของชิ้นอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวจุ่มลงในสารละลายมาตรฐาน

3. เปิดสวิตช์เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าของชิ้นงานเป็น - 1.5 โวลต์เมื่อเทียบกับชิ้นอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 5 นาที

4. ทำการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้แก่ชิ้นไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมกับทำการบันทึกสัญญาณเป็น potential – time curve โดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์

5. ทำการวิเคราะห์เช่นเดิมอีก 2 ซ้ำ

6. ยกชิ้นงานและสะพานเกลือของชิ้นอ้างอิงออกจากสารละลายมาตรฐานแล้วนำไปจุ่มลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 นาที

7. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 10 , 15, 20, 25 และ 30 ส่วนในล้านส่วน ตามขั้นตอนข้อ 1- 6 สารละลายละ 3 ซ้ำ

8. ทำสารละลายมาตรฐานซึ่งเป็นสารละลายเดิมไปวิเคราะห์ด้วยจั่วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์

9. ทำสารละลายมาตรฐานซึ่งเป็นสารละลายเดิมไปวิเคราะห์ด้วยจั่วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติก ที่ใช้ส่วนที่สัมผัสกับสารละลายภายนอกเป็นสำลี กันกรองบุหรี และเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น

10. ทำการวิเคราะห์ครั้งใหม่โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วใหม่

ระยะที่ 4

ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้จั่วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติกที่ใช้ส่วนที่สัมผัสกับสารละลายภายนอกเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน โดยทำการแปรค่าศักย์ไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการสะสมโลหะที่จั่วทำงาน(พรีอิเล็กโทรไลซิส (Pre-electrolysis))

วิธีการวิเคราะห์ระยะที่ 4

ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับจั่วไฟฟ้า

1. นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 50 มิลลิลิตร เดิมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 10 โมลาร์ ลงไป 0.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
2. นำจั่วทำงานที่เคลือบฟิล์มปรอทแล้ว และจั่วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติกจุ่มลงในสารละลายมาตรฐาน
3. เปิดสวิตช์เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าของจั่วทำงานเป็น -1.5 โวลต์เมื่อเทียบกับจั่วอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 5 นาที
4. ทำการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้แก่จั่วไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมกับทำการบันทึกสัญญาณเป็น potential – time curve โดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์
5. ทำการวิเคราะห์เช่นเดิมอีก 2 ซ้ำ
6. ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับศักย์ไฟฟ้าของจั่วทำงานเป็น -2 , -2.5 , -3 , -3.3 และ -3.5 โวลต์เมื่อเทียบกับจั่วอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 5 นาที
7. ทำการวิเคราะห์ซ้ำโดยใช้สารละลายแคดเมียมเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน

ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส(Pre-electrolysis)

1. นำสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่มีความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน จำนวน 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 10 โมลาร์ ลงไป 0.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
2. นำขั้วทำงานที่เคลือบฟิล์มปรอทแล้ว และขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติกจุ่มลงในสารละลายมาตรฐาน
3. เปิดสวิทช์เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานเป็น -3.3 โวลต์เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง (SCE) เป็นเวลา 1 นาที
4. ทำการตัดกระแสไฟที่ป้อนให้แก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง พร้อมกับทำการบันทึกสัญญาณเป็น potential – time curve โดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์
5. ทำการวิเคราะห์เช่นเดิมอีก 3 ขั้ว
6. ยกขั้วทำงานและขั้วอ้างอิงออกจากสารละลายมาตรฐานแล้วนำไปจุ่มลงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 นาที
7. ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเวลาที่ใช้ในการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานเป็น 3 , 5, 7 และ 9 นาที ตามลำดับ
8. ทำการวิเคราะห์ซ้ำโดยใช้สารละลายแคดเมียม

ระยะที่ 5

นำเอาสถานะที่เหมาะสมจากสถานะที่ 4 มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในและแคดเมียมในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาใหม่อีก 4 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรเมตรีเป็นวิธีอ้างอิง

การหาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์

การดำเนินการหาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมแล้วจะทำการวิเคราะห์ 7 ขั้ว เพื่อหาช่วงการตอบสนองของสัญญาณต่อความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง(linearity) ซึ่งจะพิจารณาในรูปสหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ ได้(LOD) ความจำเพาะ และที่สำคัญที่สุดคือผลของการวิเคราะห์เมื่อเทียบกับเทคนิคอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรีที่ใช้เป็นวิธีอ้างอิง นอกจากนั้นยังหาความถูกต้องของวิธีโดยใช้เทคนิคการเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในตัวอย่าง (Spiked method) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของการคืนกลับ(% Recovery)

การประมวลผลการวิเคราะห์

การประมวลผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการประมวลผลทางสถิติทั้งหมด ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวนต่างๆ ช่วงการตอบสนองของสัญญาณต่อความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง สมการถดถอย การหาค่าสหสัมพันธ์ ส่วนความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้จะใช้วิธี Slope method

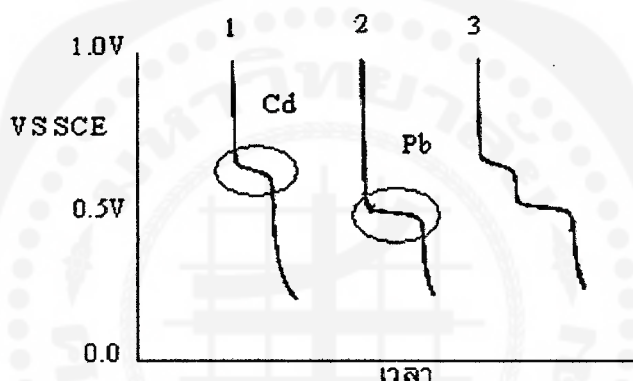


บทที่ 4

ผลการวิจัย

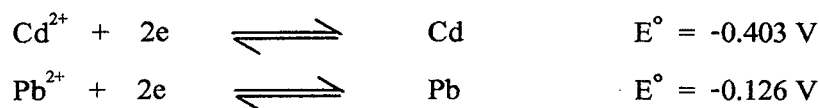
ผลการวิจัยในระยะที่ 1

ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของตะกั่วในน้ำด้วยเทคนิคสตริบปีงโพเทนชิโอเมตรี ช่วงแรกนี้จะทำการศึกษาว่าสามารถจะจับตะกั่วที่ขั้วทำงานได้หรือไม่เท่านั้น โดยยังไม่ทำการหาประสิทธิภาพของวิธี ขั้วอ้างอิงที่ใช้เป็นหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ ในขั้นแรกจะใช้เส้นลวดพลาทินัมเป็นเส้นลวดตัวนำที่ใช้ในขั้วอ้างอิง เพื่อตัดปัญหาการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของเส้นลวดตัวนำที่เป็นโลหะชนิดอื่น



ภาพที่ 16 แสดง Potential-time curve ของสารละลายแคดเมียม(1) สารละลายตะกั่ว(2)และสารละลายผสมตะกั่วและแคดเมียมตามลำดับ(3)

จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของตะกั่วและแคดเมียม พบความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้เทคนิคนี้ จากภาพที่ 15 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตะกั่วและแคดเมียมในช่วงเวลาที่ถูกออกซิไดซ์ คือศักย์ไฟฟ้าที่ถูกสตริบปีง มีค่าค่อนข้างคงที่(ลดลงอย่างช้าๆ)และมีค่าเฉพาะตัวโดยตะกั่วมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ถูกสตริบปีง (V) ≈ 0.498 โวลต์ เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง(VS SCE) และแคดเมียมมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ถูกสตริบปีง (V) ≈ 0.685 โวลต์ (VS SCE) ตามภาพที่ 3 เส้นที่ 1 และ 2 เป็นของแคดเมียมและตะกั่วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ตามลำดับ เส้นที่ 3 เป็นของสารละลายของสารผสม จาก Potential-time curve แสดงให้เห็นชัดเจนว่า เมื่อทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ของตะกั่วและแคดเมียมจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นโลหะสะสมอยู่ที่ขั้วทำงาน แต่เมื่อทำการตัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนแก่วงจร พบว่า แคดเมียมจะถูกออกซิไดซ์ก่อนตะกั่ว (ถูกออกซิไดซ์ด้วยศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบมากกว่าตะกั่ว)ซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้ว(Standard electrode potential E°)



และเกิดการออกซิไดซ์จนโลหะแคดเมียมที่สะสมอยู่ในขั้วทำงานกลับไปเป็นอออนในสารละลายจนหมด จากนั้นศักย์ไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าที่โลหะตะกั่วสามารถเกิดการออกซิไดซ์ ค่าศักย์ไฟฟ้าจะเริ่มคงที่แล้วลดลงอย่างช้ามากอีกครั้ง จนกระทั่งโลหะตะกั่วที่สะสมอยู่ในขั้วทำงานถูกออกซิไดซ์ไปเป็นอออนในสารละลายจนหมด ศักย์ไฟฟ้าจึงจะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง เห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ขั้วทำงานเพียงพอที่อออนของโลหะทั้งแคดเมียมและตะกั่วถูกรีดวซ์ไปสะสมที่ขั้วทำงาน แต่ในช่วงที่ทำการสตรipping โลหะแต่ละชนิดมีลำดับและศักย์ไฟฟ้าที่ถูกออกซิไดซ์แน่นอน แสดงถึงความจำเพาะของวิธีสามารถใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์เพื่อระบุชนิดของสารตัวอย่าง และการที่โลหะแต่ละชนิดจะต้องถูกออกซิไดซ์จนหมด โลหะตัวต่อไปถึงจะถูกออกซิไดซ์ตามมา แสดงว่าทั้งโลหะตะกั่วและแคดเมียมไม่รบกวนซึ่งกันและกันสามารถทำการวิเคราะห์พร้อมๆ กันได้ เป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาหาปริมาณต่อไป

ผลการเปรียบเทียบเมื่อใช้เส้นลวดตัวนำในขั้วอ้างอิง เมื่อใช้เส้นลวดทองแดงที่นำมาจากสายไฟแล้วนำมาหุ้มฉนวนเอง พบว่าจะใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งประมาณ 72 ชั่วโมง จะเกิดการรั่วซึมของสารละลายในขั้วอ้างอิงไปสัมผัสกับเส้นลวดทองแดง เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงมีการปนเปื้อนของไอออนทองแดงในสารละลายทำให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิงไม่คงที่ สูญเสียสภาพการเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงไม่สามารถนำไปใช้งานได้อีก

ผลของเส้นลวดตัวนำที่เป็นทองแดงเคลือบฉนวนไฟฟ้าที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องไฟฟ้า มีเสถียรภาพมากกว่าเส้นลวดทองแดง สามารถใช้งานได้ประมาณ 5-7 วัน ขึ้นกับคุณภาพในการเคลือบฉนวน พบว่าการเสื่อมสภาพเกิดจากการละลายตัวของฉนวนไฟฟ้าที่เคลือบเส้นลวดทองแดง ทำให้สารละลายสัมผัสกับทองแดงเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิงไม่คงที่ สูญเสียสภาพการเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงไม่สามารถนำไปใช้งานได้อีก

ส่วนเส้นลวดพลาสติกนั้นให้ผลดีที่สุดมีความเสถียร เมื่อสัมผัสสารละลายในขั้วอ้างอิงไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ไม่จำเป็นต้องทำฉนวนหุ้ม แต่มีข้อเสียคือมีราคาแพงมาก

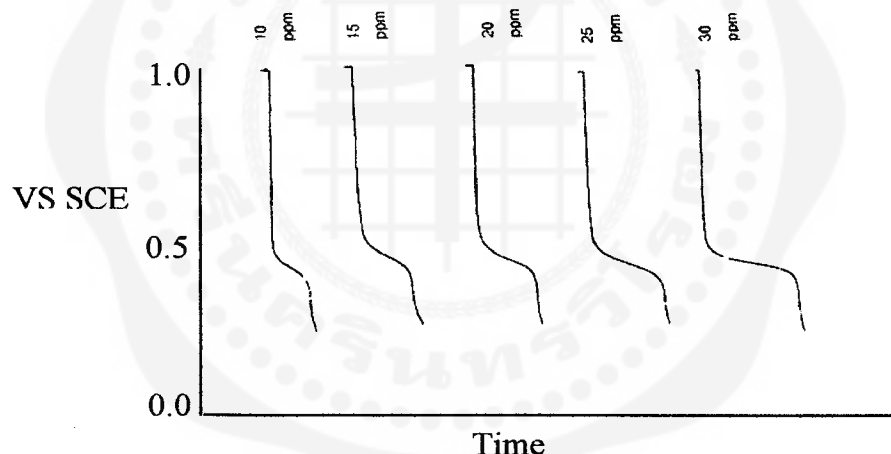
ผลการวิจัยในระยะที่ 2

ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีเพื่อใช้เป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการพัฒนาเครื่องมือ และวิธีวิเคราะห์ต่อไป โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคแอมป์มอมิเตอร์ ทั้งในสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างพร้อมๆ กัน นอกนั้นจะทำการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องอ่านสัญญาณ(Detector)

ระหว่าง พีเอช-มิเตอร์(pH meter) กับโวลต์มิเตอร์(Volt meter) และเครื่องบันทึกสัญญาณ (Hitachi D 2500 Chromato- Integrator) กับนาฬิกาจับเวลา

ในช่วงนี้จะใช้ข้ออ้างอิงที่เป็นหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ หาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความเข้มข้นของสารละลายกับสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งจะนำมาสร้างเป็นสมการถดถอยแล้ว จะหาช่วงความเป็นเส้นตรง(linearity) พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ โดยใช้เทคนิคอะตอมมิก แอ็บซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตริกเป็นวิธีอ้างอิง ทั้งในสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างที่เป็นสารละลายเดียวกัน

นอกจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านจากเครื่องโวลต์มิเตอร์เทียบกับค่าที่อ่านจากเครื่อง พีเอช-มิเตอร์ และการบันทึกสัญญาณโดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์กับการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลา การบันทึกสัญญาณโดยใช้เครื่องอินทิเกรเตอร์ที่กำหนดให้มีอัตราการเคลื่อนที่ของกระดาษที่ใช้บันทึกสัญญาณเป็น 60 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้สัญญาณในรูปที่เป็น Potential-time curve ช่วงเวลาที่เกิดการสตริบปิ้งนั้นจะใช้วิธีวัดระยะ(หน่วยเป็นมิลลิเมตร)



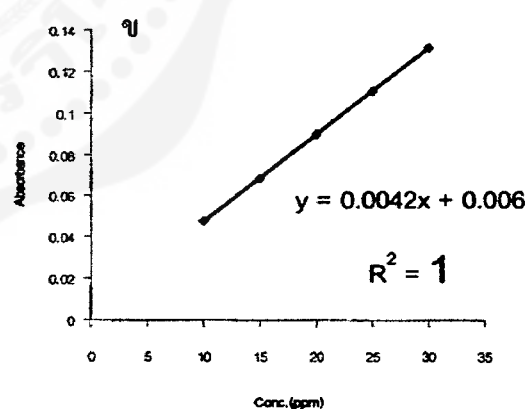
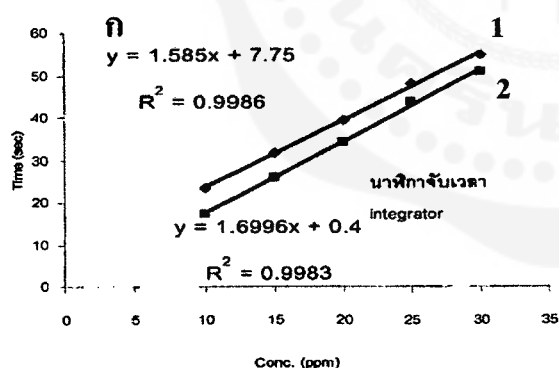
ภาพที่ 17 แสดง Potential- time curve ของสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 10-30 ppm

ภาพที่ 17 แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการสตริบปิ้งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไอออนตะกั่วในสารละลายโดยตรง เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น โอกาสที่ไอออนจะไปรับอิเล็กตรอนที่ผิวของขั้วทำงานมีมากขึ้น การสะสมของโลหะที่ขั้วทำงานของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจึงมีมาก ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในการสตริบปิ้งจึงต้องใช้นานตามไปด้วย จากการตรวจวัดพบว่าช่วงเวลาของการสตริบปิ้งแปรตามความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย จึงน่าจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้ โดยนำสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างไปเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

เมื่อทำการอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องโวลต์มิเตอร์กับเครื่องพีเอช-มิเตอร์ มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าที่แสดงออกมาแตกต่างกันประมาณ $\pm 0.001V$ ดังนั้นสามารถใช้เครื่องโวลต์ มิเตอร์ ที่สามารถแสดงผลเป็นตัวเลขและมีราคาถูก(~ 500 บาท)แทนเครื่อง พีเอช- มิเตอร์ที่มีราคาสูง

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าและการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สารละลาย ตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อใช้ตรวจวัดด้วยอินทิเกรเตอร์ นาฬิกาจับเวลา และเทคนิคอะตอม มิคแอปซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (ASS)

ความเข้มข้น (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	อินทิเกรเตอร์ (วินาที)	นาฬิกาจับเวลา (วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (AAS)
10	-0.499	23.25	17.23	0.048
15	-0.497	31.75	25.99	0.072
20	-0.495	39.5	34.13	0.096
25	-0.497	48	43.79	0.122
30	-0.499	54.75	50.82	0.144



ภาพที่ 18 ก. แสดงตัวอย่าง Regression line ของการวิเคราะห์ตะกั่วด้วยเทคนิค สตรีปิง โฟเทนซิโอเมตรี (1) อินทิเกรเตอร์ (2) นาฬิกาจับเวลา

ข. แสดงตัวอย่าง Regression line ของการวิเคราะห์ตะกั่วด้วยเทคนิค อะตอมมิคแอปซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (ASS)

จากตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานของตะกั่วที่ความเข้มข้น 10-30 ppm จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดการสตริปปีงมีค่าค่อนข้างคงที่ขึ้นกับชนิดของโลหะไม่ขึ้นกับความเข้มข้น

เมื่อทำการตรวจวัดด้วยเครื่องอินทิเกรเตอร์ เทียบกับนาฬิกาจับเวลามีค่าที่ต่างกัน เนื่องจากการวัดด้วยเครื่องอินทิเกรเตอร์เป็นการวัดจากภาพ Potential-time curve ทำการวัดระยะทางกลับมาเป็นหน่วยเวลา(สัมพันธ์กับอัตราการเคลื่อนที่ของกระดาศที่ใช้บันทึกสัญญาณ) ส่วนการวัดช่วงของการเกิดการสตริปปีงด้วยนาฬิกาจับเวลาจะเริ่มจับเวลาเมื่อศักย์ไฟฟ้าเริ่มคงที่ และหยุดเมื่อศักย์ไฟฟ้าเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ค่าที่ได้จะน้อยกว่าการวัดด้วยเครื่องอินทิเกรเตอร์ เพราะจะเริ่มจับเวลาช้ากว่าความเป็นจริง และหยุดจับเวลาเร็วเกินไป แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟโดยใช้สมการถดถอย พบว่าค่าสหสัมพันธ์(r^2)และความชันมีค่าใกล้เคียงกันต่างกันที่จุดตัดแกนเล็กน้อย

และเมื่อนำสารละลายเดิมนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรีซึ่งใช้เป็นวิธีอ้างอิงผลที่ได้ดีกว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 1 และจุดตัดแกนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก

ผลจากตารางที่ 1 และภาพที่ 17 และ 18 จะเห็นได้ว่าสามารถนำเอาเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรีมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำได้ การตอบสนองของสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ต่อความเข้มข้นของไอออนตะกั่วเป็นเส้นตรง ได้ผลที่สอดคล้องกับเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรีที่นำมาใช้เป็นวิธีอ้างอิง ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ 7 ซ้ำจะได้ผลดังตารางที่ 2

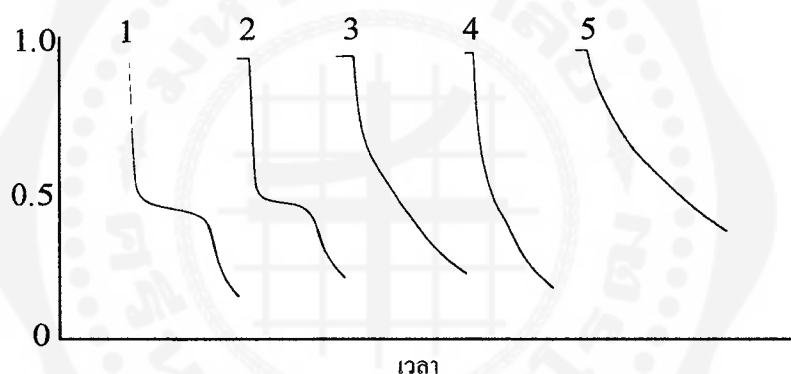
ตารางที่ 2 แสดงค่าสหสัมพันธ์(Correlation coefficient (r^2)) เมื่อ $n = 7$

n	Stripping Potentiometry (r^2)		AAS(r^2)
	Integrator	Stop clock watch	
1	0.9942	0.9873	0.9995
2	0.9985	0.9980	0.9984
3	0.9964	0.9957	0.9992
4	0.9982	0.9963	0.9986
5	0.9949	0.9947	0.9961
6	0.9978	0.9988	1.0000
7	0.9964	0.9887	0.9998

ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วระหว่างเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (ASS) และเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี โดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี บันทึกเวลาที่ถูกละลายด้วยเครื่องอินทีเกรเตอร์ และนาฬิกาจับเวลาเปรียบเทียบกันผลการวิเคราะห์แสดงดัง ตารางที่ 2 เมื่อ $n=7$

จากค่าสหสัมพันธ์ทั้งของเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี (ที่ใช้อินทีเกรเตอร์และนาฬิกาจับเวลา) และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (AAS) ที่ใช้ในการอ้างอิงมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี มีความถูกต้องและแม่นยำใกล้เคียงกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี และสามารถใช้นาฬิกาจับเวลาแทนอินทีเกรเตอร์ ได้โดยที่ยังคงมีความแม่นยำและความถูกต้องใกล้เคียงกัน

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณทางน้ำสาธารณะข้างโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 19 แสดง potential time curve ของสารละลาย (1) ตะกั่ว 20 ppm (2) โรงงานแบตเตอรี่ (นำไปเจือจางก่อนทำการวิเคราะห์) (3) โรงงานย้อมผ้า (4) โรงงานทอผ้า (5) โรงงานฟอกหนัง

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณตะกั่ว(ppm)	
	Stripping Potentiometry	AAS
โรงงานฟอกหนัง	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานย้อมผ้า	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานทอผ้า	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานแบตเตอรี่	178	179.7

* ทั้งเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี ตรวจไม่พบแคดเมียมในน้ำทั้ง 4 ตัวอย่าง

ผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตริมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคที่วิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตริ มีเฉพาะตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากทางน้ำสาธารณะข้างโรงงานแบตเตอรี่เท่านั้นที่พบตะกั่ว คาดว่าน่าจะมาจากการรั่วไหลออกมาจากภายในโรงงาน แต่ในตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างตรวจไม่พบแคดเมียม เนื่องจากในธรรมชาติโลหะแคดเมียมมักจะอยู่ปะปนกับสังกะสี ดังนั้นจึงมักจะพบแคดเมียมในน้ำใกล้บริเวณเหมืองที่ขุดหาสังกะสีหรือโรงงานแต่งแร่สังกะสี

ผลการวิจัยในระยะที่ 3

ทำการพัฒนาอุปกรณ์ โดยปรับเปลี่ยนวัสดุที่นำมาใช้ในการประกอบขั้วไฟฟ้าอ้างอิง หลังจากได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ในระยะที่สองแล้ว โดยทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบส่วนที่เป็นสะพานเกลือ ทำการศึกษาประสิทธิภาพระหว่างขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวกับขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ และระหว่างขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวเทียบกับขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติก ซึ่งผ่านการศึกษาเบื้องต้นของส่วนที่สัมผัสกับสารละลายภายนอกที่เป็นสำลี กั้นกรองนุหรี และเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น

ผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวกับขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ พบว่ามีประสิทธิภาพเท่าเทียมกันตามที่คาดเนื่องจากมีองค์ประกอบวัสดุที่เหมือนกันแต่แตกต่างที่รูปแบบของการนำมาประกอบเท่านั้น สามารถสรุปข้อดีข้อด้อยของขั้วอ้างอิงทั้งสองชนิดเมื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ดังนี้

ขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิว

ข้อดี

- มีอายุการใช้งานนานกว่าแบบใช้หลอดไมโครปิเปตต์
- สามารถทำการถอดเปลี่ยนสะพานเกลือได้ง่าย โดยใช้สะพานเกลือที่เตรียมสำรองเอาไว้
- ตัวขั้วไฟฟ้ามีขนาดเล็ก
- ใช้สารเคมีน้อย

ข้อด้อย

- ขั้นตอนการประกอบมีความยุ่งยากมากกว่า
- การเตรียมสะพานเกลือต้องใช้หลอดแคพิลลารี ซึ่งมีขั้นตอนและต้องใช้ความชำนาญในการเตรียมมาก
- มีอายุการใช้งานจำกัด

- ปนเปื้อนได้ง่ายขณะทำการวิเคราะห์
- ต้องเปลี่ยนสะพานเกลือบ่อยๆ เนื่องจากสะพานเกลือมีขนาดเล็ก และการคืนตัวของ
วุ้น

ข้ออ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์

ข้อดี

- เตรียมได้ง่ายข้ออ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์
- ใช้สารเคมีน้อย
- สามารถใช้ใบมีดเลื่อนปลดปลายหลอดหลอดไมโครปิเปตต์เพื่อให้สารละลายที่ต้อง
ตรวจวิเคราะห์สัมผัสกับผิวสะพานเกลือที่สะอาดกว่าเดิมได้
- มีขนาดเล็ก

ข้อด้อย

- ไม่สามารถเปลี่ยนสะพานเกลือได้
- เมื่อวุ้นที่ใช้ทำสะพานเกลือคืนรูปกลับไปเป็นของเหลว สารเคมีที่บรรจุอยู่ภายในจะ
ไหลออกมาทำให้มีอายุการใช้งานจำกัด
- เมื่อเกิดการรั่วไหลจะมีปัญหาเรื่องการรวบรวมกำจัดโลหะปรอทที่ไหลออกมาด้วย

ผลการทดสอบสะพานเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ที่ทำด้วยอการ์(agar) และผงวุ้นทรานาง
เจือกที่จัดหาจากร้านค้าทั่วไปให้ผลที่ดีเทียบเท่ากัน ไม่พบความแตกต่างหรือการรบกวนขณะทำ
การวิเคราะห์

จากการศึกษาข้ออ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ กับข้ออ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไม
โครปิเปตต์มีข้อจำกัด พบว่าปัญหาที่สำคัญคือเสถียรภาพของข้ออ้างอิงที่ส่งผลถึงอายุการใช้งาน
ส่วนที่ส่งผลมากที่สุดคือสะพานเกลือ โปแตสเซียมคลอไรด์ที่ทำจากวุ้นจะเสถียรภาพเมื่อวุ้นมีการคืน
รูปกลับไปเป็นของเหลว การใช้วัสดุที่เสถียรซึ่งไอออนของโปแตสเซียมและ/หรือไอออนของ
คลอไรด์สามารถแพร่ผ่านไปได้ แต่ตัวทำละลายคือน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านไปได้ จะทำให้อายุ
การใช้งานของข้ออ้างอิงยืดยาวขึ้น ดังนั้นจึงทำการทดสอบข้ออ้างอิงที่ทำด้วยหลอดพลาสติกที่ใช้
เส้นใยสังเคราะห์ โดยครั้งแรกใช้สำลิตำหน้ำที่เป็นตัวกลางระหว่างสารละลายภายในข้ออ้างอิง
กับสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ พบว่าสามารถจับตะกั่วที่ขั้วทำงานได้
(ดูจาก potential-time curve เมื่อทำการสตริบิง) แสดงว่าแนวทางการพัฒนาเป็นไปได้ แต่พบ
การรั่วไหลของสารละลายภายในข้อไฟฟ้าอ้างอิงออกมาภายนอก ต่อมาใช้ไส้กรองนุหรีที่อัด
ตัวแทนสำลี ผลของการใช้ไส้กรองนุหรีให้ผลที่ดีเช่นกันแต่ยังคงพบการรั่วไหลของสารละลาย
น้อยกว่าเดิม จึงทำการเปลี่ยนตัวกลางใหม่โดยใช้เส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น เมื่อทำการ

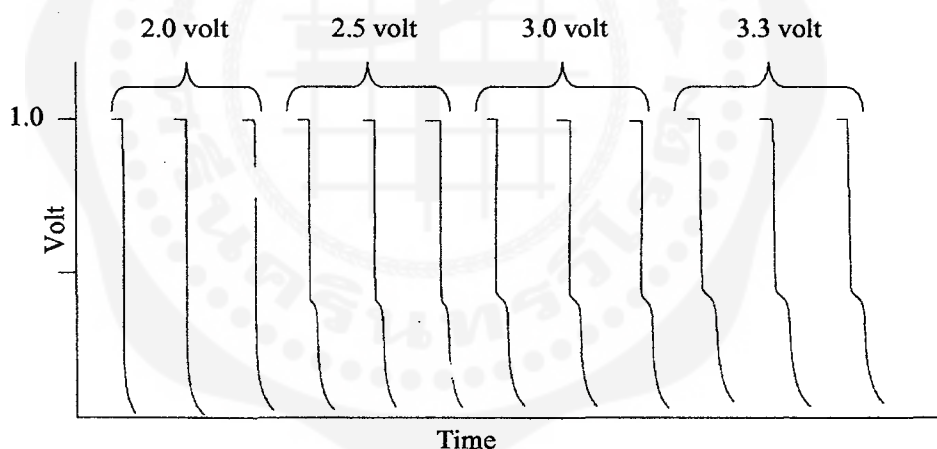
ทดสอบไม่พบการรั่วไหลของสารละลาย แต่ผลจากการวิเคราะห์พบว่าไม่สามารถจับตะกั่วที่ขั้วทำงานได้ อาจเป็นไปได้ว่าไฮดรอกไซด์ที่ใช้อัดตัวกันแน่นมากจนสารละลายไม่สามารถรั่วไหลออกไปรวมทั้งทำให้ความสามารถการเคลื่อนที่ไอออนลดลงไปด้วย ซึ่งถ้าเกิดจากปัญหานี้จะแก้ไขโดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในขั้นตอนการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส

ผลการวิจัยในระยะที่ 4

ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดพลาสติกที่ใช้ส่วนที่สัมผัสกับสารละลายภายนอกเป็นเส้นไฮดรอกไซด์ที่อัดตัวกันแน่น ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน โดยทำการแปรค่าศักย์ไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการสะสมโลหะที่ขั้วทำงาน(พรีอิเล็กโทรไลซิส (Pre-electrolysis))

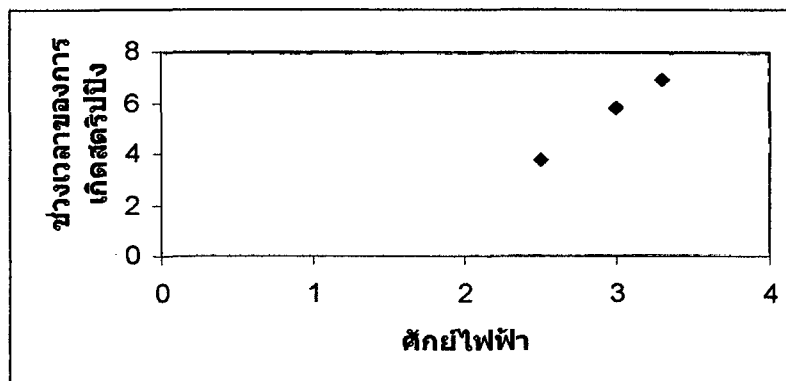
ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้า

จากการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้าได้ผลดังรูปที่ 18



ภาพที่ 20 แสดง potential-time curve ของสารละลายตะกั่วเข้มข้น 5 ppm ที่สัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์สารละลายตะกั่วจำนวน 5 ครั้งๆละ 3 ชั่วโมง พบว่าในสารละลายเดียวกัน เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นในช่วงการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส จะมีโลหะมาสะสมที่ขั้วทำงานมากขึ้นมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 21



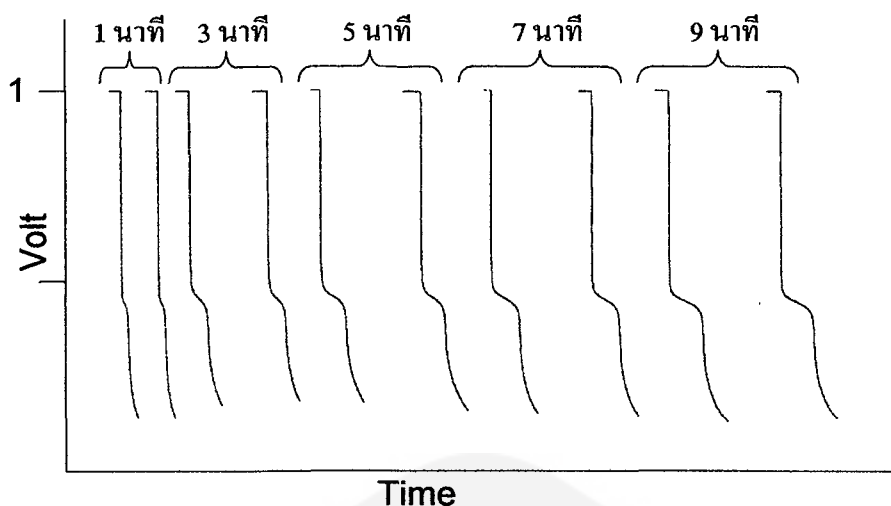
ภาพที่ 21 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้า(volt) ที่ป้อนให้แก่ขั้วทำงานเทียบกับชั่วอั้งซึ่งสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการเกิดสไตรปิง

จากการวิเคราะห์พบว่า การให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานน้อยกว่า 2.5 โวลต์ จะไม่เกิดการพรีอิเล็กโทรไลซิสที่ขั้วทำงาน และเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2.5 โวลต์ขึ้นไปจะมีโลหะมาสะสมอยู่ที่ขั้วทำงานมากขึ้น ตามลักษณะการเพิ่มขึ้นของสัญญาณตามภาพที่ 19 แต่การเพิ่มศักย์ไฟฟ้ามีค่าจำกัด ถ้าเพิ่มมากกว่า 3.3 โวลต์ จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ที่ศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 3.3 โวลต์จะเกิดการแตกตัวของน้ำเป็นแก๊สที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยที่ขั้วทำงานจะเกิดแก๊สไฮโดรเจน และที่ขั้วอ้างอิงเกิดแก๊สออกซิเจน มีผลทำให้การเกิดพรีอิเล็กโทรไลซิสไม่สม่ำเสมอมีการรบกวนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าจากฟองแก๊ส ผลวิเคราะห์ที่ได้เมื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำๆ มีค่าความแปรปรวนมาก ดังนั้นจึงเลือกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดทำให้มีความไวในการวิเคราะห์สูงที่สุด โดยที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำ

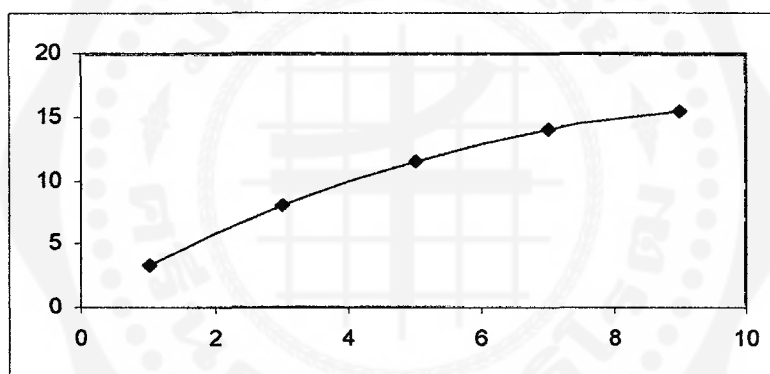
การวิเคราะห์หาศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมของการวิเคราะห์แคดเมียมได้ผลเช่นเดียวกับการหาศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมของตะกั่วข้างต้น

ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส

โดยการป้อนศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วทำงานเป็น 3.3 โวลต์ เมื่อเทียบกับขั้วอ้างอิง แล้วแปรเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส เป็น 1, 3, 5, 7, และ 9 นาที เพื่อศึกษาว่าเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิสมีผลกับสัญญาณการตรวจวิเคราะห์อย่างไร ผลจากการวิเคราะห์ได้ผลดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แสดง Potential-time curve ที่ทำการวิเคราะห์สารละลายตะกั่วเข้มข้น 5 ppm โดยใช้เวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส เป็น 1, 3, 5, 7, และ 9 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 1, 3, 5, 7 และ 9 นาที กับเวลาที่เกิดการสตรipping ของสารละลายตะกั่ว 5 ppm

จากภาพที่ 23 เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ 5 ครั้งๆละ 3 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส เป็นการเพิ่มโอกาสให้ไอออนของโลหะมาสะสมอยู่ที่ขั้วทำงานมากขึ้น สัญญาณการตรวจวิเคราะห์จะเพิ่มขึ้นตามกันเป็นการเพิ่มความไวในการตรวจวิเคราะห์ เป็นข้อดีของเทคนิคนี้คือเมื่อสารละลายตัวอย่างมีความเจือจางมากๆสามารถใช้วิธีเพิ่มเวลาในการสะสมโลหะที่ขั้วทำงาน ทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเจือจางมากๆได้ แต่จะต้องใช้เวลาในการตรวจวิเคราะห์มากขึ้นไปด้วย

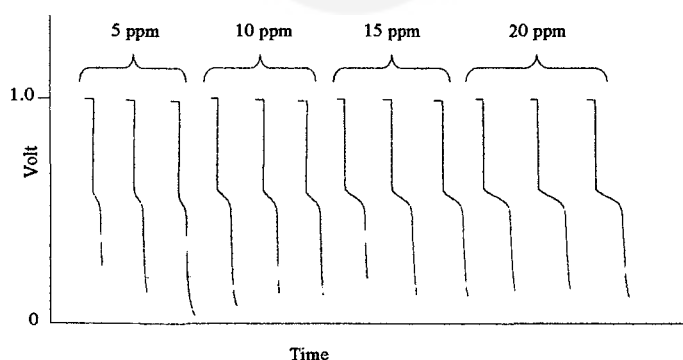
การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการสะสมโลหะแคดเมียมที่ขั้วทำงานได้ผลเช่นเดียวกับในการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในสารละลายตะกั่วข้างต้น

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดที่ทำจากหลอดพลาสติกที่ใช้ตัวกลางเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่อัดตัวกันแน่น พบข้อแตกต่างที่ชัดเจนคือศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรที่ใช้ขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวกับขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ การป้อนศักย์ไฟฟ้าเพียง 1 โวลต์ก็สามารถทำให้เกิดพรีโอเลโทโรไลซิสที่ขั้วทำงานได้ การใช้ศักย์ไฟฟ้า 1.5 โวลต์ เพื่อต้องการเพิ่มสัญญาณการตรวจวิเคราะห์ แต่ขั้วอ้างอิงที่ทำจากหลอดพลาสติกต้องใช้ศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 2.5 โวลต์ถึงจะเกิดพรีโอเลโทโรไลซิส(เลือกใช้ 3.3 โวลต์) ความไวในการตรวจวิเคราะห์ของขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวและขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์มีความไวสูงกว่า คาดว่าน่าจะเกิดจากการที่ไอออนของโปแตสเซียมและไอออนของคลอไรด์มีความสามารถเคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นรู้นมากกว่า แต่ส่วนที่ดีที่สุดของขั้วอ้างอิงที่ทำจากหลอดพลาสติกคืออายุการใช้งานยาวนานมาก(คาดว่าน่าจะมียุการใช้งานมากกว่า 1 ปี) ผลที่ได้มีความแม่นยำ และที่สำคัญคือมีแนวทางที่สามารถทำการพัฒนาให้มีความไวสูงขึ้นในอนาคตได้ง่าย

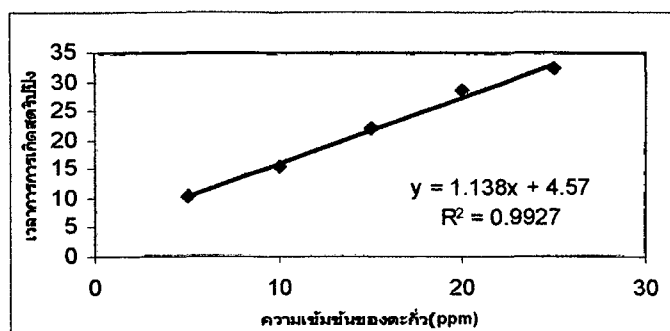
ผลการวิเคราะห์ระยะที่ 5

นำเอาสภาวะที่เหมาะสมจากสภาวะในระยะที่ 4 มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในและแคดเมียมในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาใหม่อีก 4 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตริเป็นวิธีอ้างอิง

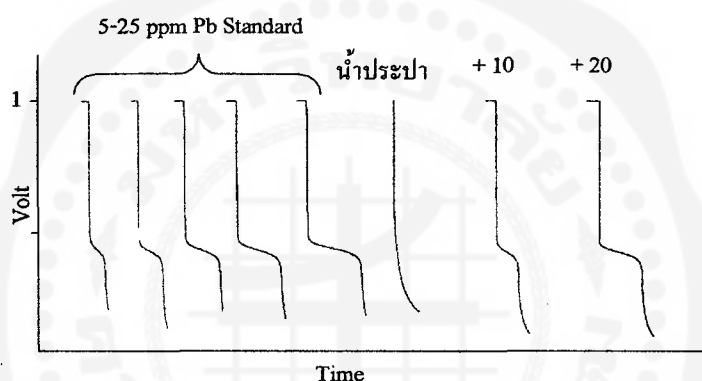
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทำการทดสอบวิธีวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของทั้งของตะกั่วและแคดเมียม โดยการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาที่ใช้ในการทำพรีโอเลโทโรไลซิส เป็น 2 , 3 และ 5 นาที โดยใช้สารละลายมาตรฐานของโลหะทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่จะป้อนศักย์ไฟฟ้าให้ที่ 3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ดีที่สุดของระบบที่กำลังศึกษา



ภาพที่ 24 แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่ว 5-20 ppm ใช้เวลาทำพรีโอเลโทโรไลซิส 2 นาที

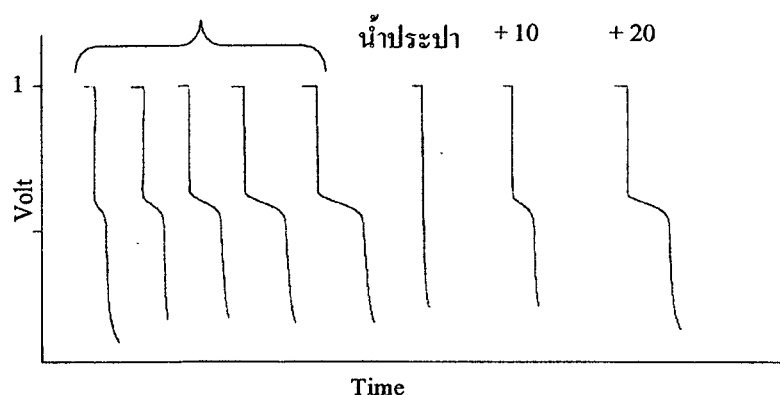


ภาพที่ 25 แสดงตัวอย่าง Regression line ของสารละลายตะกั่ว 5-25 ppm ใช้เวลาทำ ฟรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที

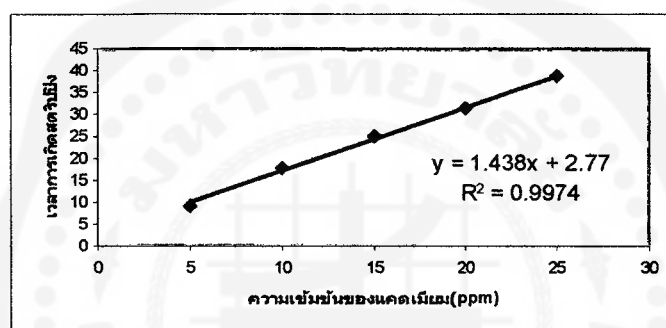


ภาพที่ 26 แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่ว 5-25 ppm ใช้เวลาทำฟรีอิเล็กโทรไลซิส 2 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำประปา และน้ำประปาที่ทำการ spiked สารมาตรฐานตะกั่ว 10 และ 20 ppm

ภาพที่ 24 จะแสดงความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ที่ทำการวิเคราะห์สารละลายละ 3 ซ้ำ จะเห็นว่าเวลาที่ได้ในช่วงการเกิดสตรปีปิงมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนภาพที่ 26 แสดงวิธีการหาความถูกต้องของวิธี โดยการเติมสารมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในตัวอย่าง (Spiked) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ทราบประสิทธิภาพของวิธีจากร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) จากค่าร้อยละของการคืนกลับจะทำให้ทราบว่ามีการรบกวนจากตัววิเคราะห์หรือไม่



ภาพที่ 27 แสดง Potential-time curve ของสารละลายแคดเมียม 5-25 ppm ใช้เวลาทำพรีโอเลคโทรไลซิส 2 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำประปา และน้ำประปาที่ทำการ spiked สารมาตรฐาน แคดเมียม 10 และ 20 ppm



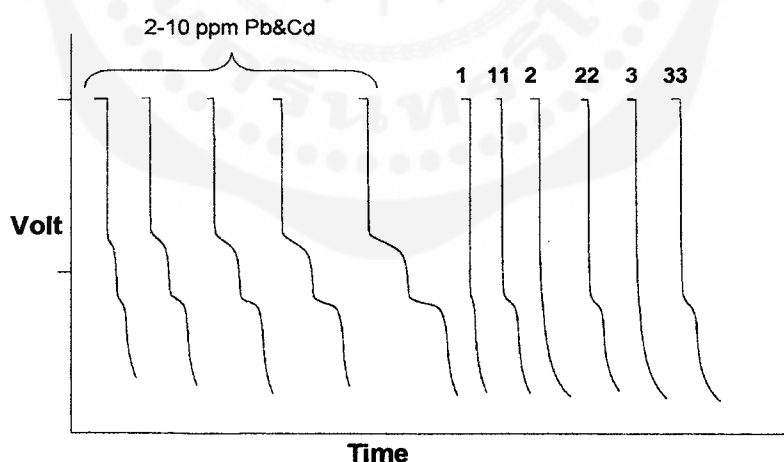
ภาพที่ 28 แสดงตัวอย่าง Regression line ของสารละลายแคดเมียม 5-25 ppm ใช้เวลาทำพรีโอเลคโทรไลซิส 2 นาที

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient (r^2)) เมื่อ $n = 7$ ที่สภาวะต่าง

สารละลาย	ความเข้มข้น (ppm)	เวลาทำพรีโอเลคโทรไลซิส(นาท)	Correlation coefficient (r^2)	LOD (ppm)
ตะกั่ว	2-10	3	0.9982	0.7
	2-10	5	0.9967	0.5
	5-20	3	0.9986	1.0
	5-25	2	0.9973	1.2
แคดเมียม	2-10	3	0.9981	0.6
	2-10	5	0.9972	0.4
	5-20	3	0.9979	1.0
	5-25	2	0.9967	1.2

จากตารางที่ 4 แสดงผลของสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารละลาย ทำการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้น 5-30 ppm แต่พบว่า เมื่อใช้เวลาการทำพรีอิเล็กโทรไลซิส ที่ 2 นาที สัญญาณการตรวจวิเคราะห์ของสารละลายที่เข้มข้น 30 ppm เริ่มเบี่ยงเบนจากเส้นตรง และถ้าเพิ่มเวลาการทำพรีอิเล็กโทรไลซิสเป็น 3 นาที จะได้ช่วงการตอบสนองของสัญญาณการตรวจวิเคราะห์กับความเข้มข้นเป็นเส้นตรงในช่วง 5-20 ppm ผลจากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเวลาที่ใช้ในการทำพรีอิเล็กโทรไลซิสมากเท่าไร ช่วงของความเข้มข้นยิ่งแคบลงในขณะที่การตอบสนองของสัญญาณการตรวจวิเคราะห์กับความเข้มข้นมีค่ามากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของโลหะไปสะสมที่ขั้วทำงานมากขึ้น ในส่วนของความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถจะวิเคราะห์ได้(LOD) นั้นคาดว่าน่าจะมีค่าเกินจริงค่อนข้างมาก เพราะข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกันจะมีความแม่นยำมาก(พิจารณาจากค่า r^2) แต่ข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ระหว่างวันมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก นอกจากสาเหตุทางเทคนิคในการเตรียมสารละลายแล้ว สาเหตุใหญ่น่าจะมาจากการที่ไม่สามารถควบคุมการเคลือบแผ่นฟิล์มปรอทที่ขั้วทำงานในแต่ละวันให้มีความหนาเท่ากันทุกครั้ง แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ภายในช่วงเวลาเดียวกันยังคงมีความแม่นยำสูงมาก

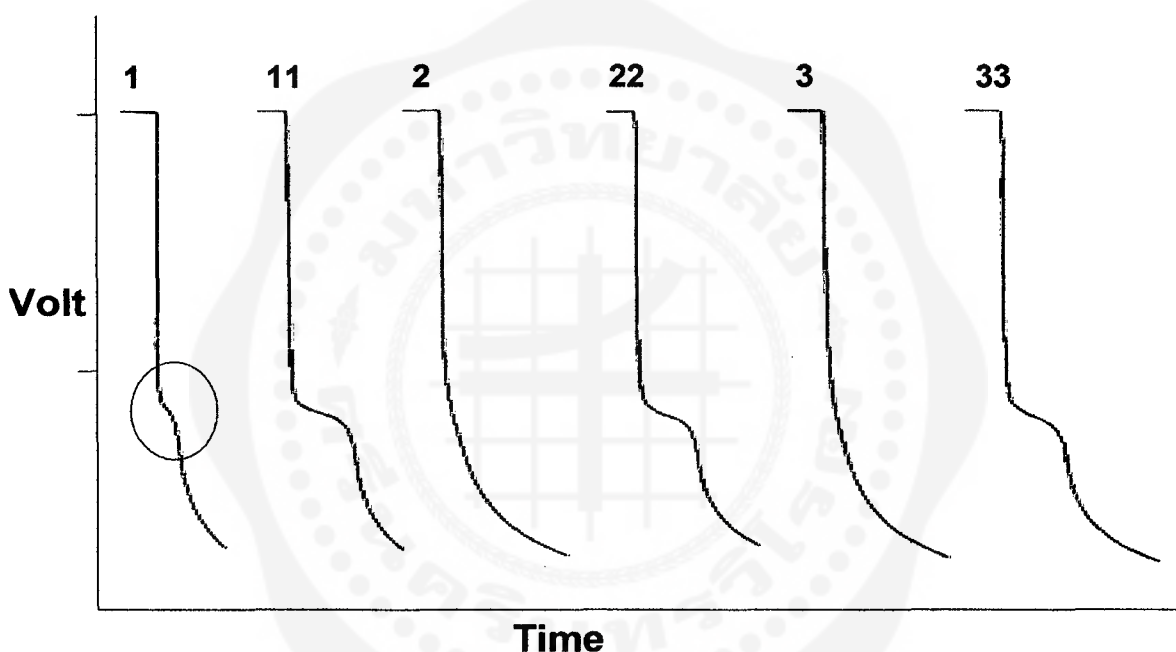
ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ถูกเก็บมาจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างทุกตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ บางส่วนนำไปวิเคราะห์ แต่บางส่วนจะถูกเติม (spiked) ด้วยสารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการหาความถูกต้องของวิธี



ภาพที่ 29 แสดง Potential-time curve ของสารละลายตะกั่วและแคดเมียม 2-10 ppm ใช้เวลาทำพรีอิเล็กโทรไลซิส 5 นาที พร้อมตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างน้ำที่ทำการ spiked สารมาตรฐานตะกั่ว 4 ppm

- 1 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานผลิตเบตอร์(โรงงานที่2)
- 11 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานผลิตเบตอร์ที่มีสารตะกั่ว 4 ppm
- 2 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานผลิตน้ำกรด
- 22 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานผลิตน้ำกรดที่มีสารตะกั่ว 4 ppm
- 3 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานย้อมผ้า
- 33 คือ ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานย้อมผ้าที่มีสารตะกั่ว 4 ppm

ตรวจพบตะกั่วในตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะข้างโรงงานผลิตเบตอร์ แต่มีปริมาณน้อยมาก จึงใช้วิธีเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปรีอิเล็กโทรไลซิส 5 นาที



ภาพที่ 30 แสดงภาพที่ขยายมาจากภาพที่ 29

จากภาพที่ 30 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าในตัวอย่างทั้งหมดไม่มีแคดเมียมแต่ตรวจพบตะกั่วในตัวอย่างที่ 1 จากนั้นนำเอาตัวอย่างทั้งหมดไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี(AAS) ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณตะกั่ว(ppm)	
	Stripping Potentiometry	AAS
น้ำประปา	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานย้อมผ้า(โรงที่2)	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานผลิตน้ำกรด	ไม่พบ	ไม่พบ
โรงงานแบตเตอรี่(โรงที่2)	1.2	0.85

* ทั้งเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี ตรวจไม่พบแคดเมียมในน้ำทั้ง 4 ตัวอย่าง

ตารางที่ 6 แสดงร้อยละของการคืนกลับในน้ำตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำ	ร้อยละของการคืนกลับ(% Recovery)			
	Pb		Cd	
	4 ppm	8 ppm	4 ppm	8 ppm
น้ำประปา	105	106	102.5	101.2
โรงงานย้อมผ้า(โรงที่2)	97.5	97.5	97.3	100.3
โรงงานผลิตน้ำกรด	97	99	99.7	100.1
โรงงานแบตเตอรี่(โรงที่2)	95	97	96.4	98.8

การหาค่าร้อยละของการคืนกลับทำโดยใช้สภาวะที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง จากตารางที่5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างที่เก็บข้าง โรงงานแบตเตอรี่มีค่าน้อยผิดปกติ อาจเนื่องมาจากในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างมีฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวัน หรืออาจเป็นเพราะโรงงานมีระบบป้องกันที่ดี แต่จัดเป็นเรื่องที่ดีเพราะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคนิคนี้ที่สามารถปรับให้เข้ากับปริมาณสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างได้ดี

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์พบว่าเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตริก มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่มีความจำเพาะต่อโลหะแต่ละชนิด มีลำดับในการออกซิไดซ์ตามค่า E° ช่วงเวลาที่ใช้ในการสตริปปีงขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย สามารถจะวิเคราะห์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพวิเคราะห์ได้ในเวลาเดียวกัน โดยเฉพาะในสารละลายผสมไม่ต้องใช้เทคนิคการแยกในการเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ ทำให้ลดเวลาและขั้นตอนในการวิเคราะห์ ผลการเปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตเมตริก พบว่ามีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งยังสามารถใช้โวลต์มิเตอร์เป็นตัวตรวจวัดแทนพีเอช-มิเตอร์ (โวลต์มิเตอร์แบบแสดงผลเป็นตัวเลขราคาประมาณ 500 บาท) และสามารถใช้นาฬิกาจับเวลาแทนอินทีเกรเตอร์

จากการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์อย่างง่าย เมื่อใช้ขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวกับขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ พบว่าสามารถตรวจวิเคราะห์ตะกั่วได้ในระดับ ppm เท่านั้น ไม่สามารถตรวจหาที่ระดับต่ำกว่า 0.5 ppm เมื่อใช้สภาวะในการทดลองนี้ ที่ความเข้มข้น 10-30 ppm มีค่าสหสัมพันธ์เฉลี่ยเมื่อใช้อินทีเกรเตอร์และนาฬิกาจับเวลาเป็น 0.9966 และ 0.9946 ตามลำดับ การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วของงานวิจัยนี้ สามารถวิเคราะห์ตะกั่วในรูปไอออนอิสระ (free ion) เท่านั้น คาดว่าถ้ามีสารที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่ว อาจจะทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ส่วนเส้นลวดตัวนำที่ใช้ในขั้วอ้างอิงจำเป็นต้องใช้เส้นลวดพลาสติกนม เส้นลวดทองแดงที่พยายามป้องกันแล้วยังไม่สามารถป้องกันมิให้สัมผัสสารละลายได้ เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ทำให้ขั้วอ้างอิงมีศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ อนึ่งการใช้ฟิล์มทองคำแทนฟิล์มปรอทที่ขั้วทำงานน่าจะเป็นแนวทางที่น่าสนใจศึกษาต่อไป

การปรับเปลี่ยนขั้วอ้างอิงเป็นแบบใช้หลอดพลาสติกแทนขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครเซนตริฟิวและขั้วอ้างอิงแบบที่ใช้หลอดไมโครปิเปตต์ (ซึ่งมีอายุการทำงานสั้นมาก) พบว่าขั้วอ้างอิงแบบใช้หลอดพลาสติกมีความคงตัว คาดว่าน่าจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า แต่มีความไวในการตรวจวิเคราะห์ต่ำกว่าเมื่อเทียบขนาดของสัญญาณการตรวจวิเคราะห์กับความเข้มข้น แต่การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาความเป็นไปได้ในความพยายามที่จะวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมืออย่างง่าย ไม่ซับซ้อน ดังนั้น จึงไม่อาจเทียบได้กับเครื่องมือวิเคราะห์ทางไฟฟ้าที่มีราคาแพงที่

สามารถวัดได้ในระดับ ส่วนในพันล้านส่วน แต่ในกรณีที่หมูบ้านคลิตี้ที่มีการเจ็บป่วยจากพิษตะกั่ว จะมีปริมาณตะกั่วในตัวอย่างเป็นจำนวนมากสารก่อกำเนิดวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคนี้ได้

สำหรับแนวทางการศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้ต่อไป มีหัวข้อที่น่าสนใจหลายประการดังนี้

- การอ่านผลวิเคราะห์ไม่ว่าจะใช้เครื่องอินทีเกรเตอร์หรือนาฬิกาจับเวลามีข้อผิดพลาดทั้งจากการวัด และการเริ่ม-หยุดจับเวลา หน่วยที่วัดเป็นวินาทีซึ่งน้อยมาก ความคลาดเคลื่อนในส่วนนี้นำไปสู่ความแปรปรวนของข้อมูลมาก นำที่จะทำการแก้ไขโดยแปลงสัญญาณต่อเนื่อง (analog) เป็นสัญญาณตัวเลข(digital)เข้าสู่โปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์ จะทำให้อ่านสัญญาณได้ถูกต้อง ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างการดำเนินการไปบ้างแล้ว

- การปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในหัวอ้างอิงเพื่อเพิ่มความไวในการวิเคราะห์
- การพยายามหาวัสดุอื่นที่มีราคาถูกแทนเส้นลวดตัวนำพลาสติกที่มีราคาแพง
- การศึกษาการใช้ฟิล์มทองคำ(ใช้แผ่นทองคำเปลวที่ใช้ในการปิดองค์พระ)แทนฟิล์มปรอทที่ชั่วทำงาน

- การวิเคราะห์โลหะชนิดอื่นๆ

โดยสรุปการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบรูปแบบที่ง่ายในการประกอบเครื่องมือต้นแบบ และชนิดของวัสดุที่มีผลกับประสิทธิภาพของเครื่องมือ สามารถวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมได้โดยเครื่องมือต้นแบบ ยังทราบประสิทธิภาพของวิธี เช่น ความไว (sensitivity) ช่วงการตอบสนองของสัญญาณกับปริมาณสารเป็นเส้นตรง (linearity) ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสตริปปีงโพเทนชิโอเมตรี ที่เป็นวิธีวิเคราะห์ที่สามารถปรับตามปริมาณสารที่จะวิเคราะห์ซึ่งมีอยู่ในตัวอย่าง แล้วยังทำให้ทราบแนวทางในการปรับปรุงเครื่องสตริปปีง โพเทนชิโอเมตรีที่มี ประสิทธิภาพมากขึ้น และรูปแบบที่สะดวกมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องมือต้นแบบนี้ไปใช้ประกอบการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษาได้ ลดการจัดซื้อครุภัณฑ์ในส่วนนี้ ถ้าพิจารณาตามค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้ว คาดว่าสามารถพัฒนาต่อให้สามารถวิเคราะห์โลหะหนักชนิดอื่นได้ เช่น สังกะสี และทองแดง เป็นต้น

บรรณานุกรม

- สุทัศน์ ยกส้าน. มนุษย์กับการบริโภคตะกั่ว. วิทยาศาสตร์น่ารู้ สถาบันส่งเสริมการสอน
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี([http://www.school.net.th/library/
snet6/envi3/tatua/tatuan.htm](http://www.school.net.th/library/snet6/envi3/tatua/tatuan.htm))
- มติชน. 2547. ระวังภัยจากสาหร่ายทะเลแห้ง หนังสือพิมพ์, 2 มิถุนายน 2547
- ผู้จัดการ . 2547 “ชีวิตคน 2548 . คลื่นภัยเสี่ยงตายวิจัยพบตะกั่วสูงเกินมาตรฐาน.
หนังสือพิมพ์, 8 สิงหาคม 2548 และ 29 ธันวาคม 2548
- มติชน . 2548. เหมืองตะกั่วคลิตี้-เค็มโก บนความทุกข์ยาก ชาวเมืองกาญจน์. หนังสือพิมพ์,
29 ธันวาคม 2548.
- วนิดตา อธิไกรสิน. 2539. “การศึกษาการปนเปื้อนของปรอท ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำ
และตะกอนดิน คลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา” วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นิรชา และคณะ. 2540. “รายงานความก้าวหน้าโครงการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตสัตว์น้ำ”
กรมประมง
- อภิรดี เมืองเดช. 2549. “ปริมาณโลหะในหอยแครง(*Anadra granosa*) บริเวณปากน้ำบาง
ประกง” วารสารวิทยาศาสตร์ กันยายน-ตุลาคม 2549 หน้า 312-323
- Jakner , D. (1978). Instrumental Approach to Potentiometric Stripping Analysis of
Some Heavy Metals. *Anal.Chem*, 50:1924-1929.
- Jakner , D. (1979). Potentiometric Stripping Analysis in Non-Deaerated Sample.
Anal.Chem, 51:342-345.
- Jagner, D., et al. (1981). Simultaneous Determination of Cadmium and Lead Whole
Blood and in Serum by Computerized Potentiometric Stripping Analysis.
Anal.Chem; 53:1406-1410.
- Viksna, A. & Lingrend, E.S. (1997). Determination of lead and cadmium in whole
blood of mothers and their babies. *Analytical Chemica Acta*; 353: 307-311.

ภาคผนวก

ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน

Anodic - exhibits greater tendency to lose electrons			
Reduction Reaction	E° (V)	Oxidation Reaction	E° (V)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.04	$\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$	3.04
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.92	$\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + \text{e}^-$	2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	-2.90	$\text{Ba} \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^-$	2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.87	$\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^-$	2.87
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.71	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$	2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.37	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	1.66
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1.18	$\text{Mn} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^-$	1.18
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	0.83
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.76
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.74	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.74
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.44
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.41	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	0.41
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.40	$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.28	$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.25	$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14	$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.13	$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	0.13
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.04	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$	0.04
Arbitrary Neutral : H_2			
Reduction Reaction	E° (V)	Oxidation Reaction	E° (V)
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0.00
Cathodic - exhibits greater tendency to gain electrons			
Reduction Reaction	E° (V)	Oxidation Reaction	E° (V)
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	0.14	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-0.14
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	0.15	$\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^-$	-0.15
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	0.16	$\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{e}^-$	-0.16
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0.17	$\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-0.17
$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22	$\text{Ag} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} + \text{e}^-$	-0.22
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.34	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.34
$\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0.35	$\text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	-0.35
$2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	0.40	$4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$	-0.40
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.52	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{e}^-$	-0.52
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	0.54	$2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$	-0.54
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	0.68	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-0.68
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0.77	$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	-0.77
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0.78	$\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^-$	-0.78
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	0.78	$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.78
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0.80	$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	-0.80
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.96	$\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^-$	-0.96
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	1.06	$2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}^-$	-1.06
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.23	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	-1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.28	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-1.28
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33	$2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^-$	-1.33
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	1.36	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	-1.36
$\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{3+}$	1.44	$\text{Ce}^{3+} \rightarrow \text{Ce}^{4+} + \text{e}^-$	-1.44
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	1.50	$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	-1.50
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.52	$\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^-$	-1.52
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.78	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-1.78
$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}$	1.82	$\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{Co}^{3+} + \text{e}^-$	-1.82
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$	2.01	$2\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^-$	-2.01
$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2.07	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-2.07
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	2.87	$2\text{F}^- \rightarrow \text{F}_2 + 2\text{e}^-$	-2.87

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ นายวราดุล ฉัตรทอง

Mr.Waradoon Chutrtong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

3. หน่วยงานที่อยู่

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10100

โทรศัพท์ ที่ทำงาน 02-6641000 ต่อ 8213

ที่บ้าน 02-4471142

โทรสาร 02-2592097

E-mail waradoon@swu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

1. ปริญญาตรี วท.บ.(เคมี) มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี 2527

2. ปริญญาโท วท.ม.(เคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2538

5. ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

1. การหาปริมาณเปปเปอร์มินท์ในยาสีฟันชนิดเจล วท.ท. ครั้งที่ 18 (2535)

2. การสอบสวนโรคอาหารเป็นพิษในโรงเรียนพาณิชยการแห่งหนึ่ง กรุงเทพมหานคร วันที่ 2-3 ธันวาคม 2535 รายงานการเฝ้าระวังโรคประจำสัปดาห์ กองระบาดวิทยา สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข เล่มที่ 24 เลขที่ 41 15 ตุลาคม 2536

3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนิลทอยนีนในเซรุ่ม วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เล่มที่ 36(3) ปีที่ 2537

4. การวิเคราะห์หาปริมาณทีโอฟิลลีนในเซรุ่มอย่างง่ายและรวดเร็วโดยเอชพีแอลซี วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เล่มที่ 37(3) ปี 2538

5. การวิเคราะห์หาปริมาณสารพาราควอตอย่างง่ายในซีรัม วท.ท. ครั้งที่ 22(2539)

6. การวิเคราะห์หาปริมาณแคเฟอีนในเครื่องดื่มชูกำลังและกาแฟสำเร็จรูปพร้อมดื่ม วท.ท. ครั้งที่ 30(2547)

7. การวิเคราะห์หาเรสเวอราทอลในไวน์ วท.ท. ครั้งที่ 30(2547)

8. การศึกษานิโคตินในวัฏภาคที่เป็นแก๊ส วท.ท. ครั้งที่ 30(2547)

9. การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำผลไม้โดยโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง วท.ท. ครั้งที่ 33(2549)