



สำนักหอสมุด

อภิธานทนาการ

รายงานการวิจัย
เรื่อง

ระบบฟลิวอินเจคชันอะนาลิซิสร่วมกับเทคนิคทางสเปคโตรสโกปีในการหา
ปริมาณตะกั่วที่ทำให้เข้มข้นขึ้นหลังจากการสกัดด้วยเฟสของแข็ง
ชนิดแอมไบไลต์ เอ็กเอดี-4

A Flow Injection System for the Spectrophotometric Determination of Lead
after Preconcentration with Solid Phase Extraction onto Amberlite XAD-4

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน... 5 JUL 2011...
เลขทะเบียน 15648415
เลขเรียกหนังสือ 9 TP

24
244 28
2550

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์
ประจำปี 2550

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณ
รายได้ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปี 2550

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์
เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ พร้อมทั้งสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สริน ศรีปรางค์และดร. นิมิตร ศรีปรางค์ ที่ได้เสียสละเวลาใน
การให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ



- ชื่อโครงการ : ระบบฟลูอิดอินเจคชันอะนาลิซิสร่วมกับเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีในการหาปริมาณตะกั่วที่ทำให้เข้มข้นขึ้นหลังจากการสกัดด้วยเฟสของแข็งชนิดแอมโบไลต์ เอ็กซ์เอดี-4
- : A Flow Injection System for the Spectrophotometric Determination of Lead after Preconcentration with Solid Phase Extraction onto Amberlite XAD-4
- ชื่อผู้วิจัย : ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ
- หน่วยงาน : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
- หมายเลขโทรศัพท์ : 055-261000-4 ต่อ 3422
- ได้รับทุนวิจัยจาก : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
- งบประมาณรายได้ : ประจำปี 2550
- จำนวนเงิน : 50,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี
- ตั้งแต่ : 1 ธันวาคม 2549 - 30 พฤศจิกายน 2550

บทคัดย่อ

ทำการศึกษากการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) ในน้ำตัวอย่างด้วยระบบฟลูอิดอินเจคชันอะนาลิซิสแบบออนไลน์ ร่วมกับเทคนิคทางสเปกโทรโฟโตเมตรี โดยอาศัยการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II) ในคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วยแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ 4-(2-ไพริดีลอะโซ) รีซอซินอล โมโนโซเดียมไฮเดรตกับตะกั่ว(II) ที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร ทำการศึกษาศาสตร์เคมีและตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรง คือ 0.01 - 0.40 และ 0.40 - 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราเร็วในการวิเคราะห์เท่ากับ 16 ตัวอย่างต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์ได้ 9.3 เท่า และมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์เท่ากับ 7 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำการศึกษาค่าความถูกต้องของการวิเคราะห์ในรูปของร้อยละการคืนกลับ พบว่ามีค่าเท่ากับ 104% ความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5% ได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำตัวอย่างและเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอพ

ชั้นสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าผลการทดลองทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความมั่นใจ 95%

Abstract

A on-line Flow Injection Analysis (FIA) system for determination of lead(II) in water samples with a preconcentration step and spectrophotometric detection is investigated. The system is based on preconcentration of lead(II) on a minicolumn containing Amberlite XAD-4 resin and 4-(2-pyridylazo) resorcinol monosodium hydrate (PAR)-lead complex formation with maximum adsorption at 523 nm. The chemical agents and FIA variables influencing the performance of the system were optimized. Two linear calibration curves with a range of 0.01 - 0.40 and 0.40 - 0.80 mg L⁻¹ were obtained. The developed system allows sampling rates of 16 samples h⁻¹ with a 9.3-fold enrichment factor and a detection limit of 7 µg L⁻¹. The performance of the proposed method was also assessed by carrying out recovery trails, which provide results of 104%. The precision and accuracy of the methodology developed have never been over 5% regarding RSD. The procedure was successfully applied to the determination of lead(II) in water samples, and the results were statistically compared with atomic absorption spectrophotometry techniques. The determination results of samples are in good agreement between the proposed method and AAS.

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ ปัจจุบันมนุษย์ให้ความสนใจกับความเป็นพิษของตะกั่วกันมาก เนื่องจากมีการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่รถยนต์ เรือดำน้ำ ซึ่งใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลผลิตตะกั่วทั้งหมด นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมสี โดยใช้สารประกอบตะกั่วผสมกับสีทาอาคาร ผสมในสีของเล่นสำหรับเด็ก สีวาดภาพ สีที่ใช้พิมพ์ในวารสาร หนังสือพิมพ์ ดังนั้นตะกั่วจะเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งทางอากาศ น้ำและดิน เนื่องจากการนำตะกั่วมาใช้ทั้งในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน ทำให้คนมีโอกาสที่จะสัมผัสกับตะกั่วและมีโอกาสรับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้มาก ซึ่งถ้าปริมาณตะกั่วที่นำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันมาก ก็ย่อมส่งผลให้มีตะกั่วสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเท่านั้น และจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยตรงเมื่อสะสมอยู่ในปริมาณที่มากเกินไป โดยเฉพาะในแหล่งน้ำต่าง ๆ เมื่อมีตะกั่วเจือปนอยู่ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและเมื่อมนุษย์นำมาบริโภคจะส่งผลให้ตะกั่วตกค้างอยู่ในร่างกาย และเมื่อสะสมอยู่ในปริมาณที่มากเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ [ปิยะรัตน์, มปท] สัตว์ได้รับสารตะกั่วจากพืชที่เป็นอาหารและสะสมได้เป็นจำนวนมากในบริเวณ ดิบ ไต น้ำนม หากได้รับมากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสมและถ้ามากเกินไปร่างกายจะทนได้จะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคโลหิตจาง เพราะตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง โรคไตวายเนื่องจากตะกั่วไปสะสมที่ไตมาก ทำให้เกิดอาการแข็งกระด้างทำให้คุณสมบัติการกรองหมดไปและทำให้มีการขับกรดอะมิโน น้ำตาล และฟอสฟอรัส ออกไปกับปัสสาวะมากผิดปกติ หลังจากดูดซึมตะกั่วจะถูกลำเลียงไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายผ่านทางระบบไหลเวียนเลือดโดยกว่าร้อยละ 90 จะรวมตัวกับเม็ดเลือดแดง และส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเลือด [ทวิวงศ์, 2541]

สถาบัน Environmental Protection Agency (EPA) ได้ประมาณว่ามนุษย์ผู้ใหญ่ได้รับตะกั่วจากน้ำที่ใช้ในการบริโภค 10-20 % ส่วนเด็กทารกได้รับถึง 40-60 % ซึ่งมาตรฐานของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมที่องค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดไว้ คือ ตะกั่วในอากาศ ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตะกั่วในน้ำ กำหนดไว้ไม่

คอลัมน์ที่บรรจุด้วย Amberlite XAD-4 จากนั้นนำสารที่อีลิวต์ออกมาทำการตรวจวัดด้วยอะตอมมิคแอนบอสอฟชั่นสเปคโตรมิเตอร์ ได้ทำการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้น และนำไปทดสอบกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงพบว่ามีความไวการคืนกลับ 95 % ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดอยู่ในช่วง $4-23 \text{ ng L}^{-1}$

Yebra และคณะ[Yebra, 2002] ทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมโดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วย Amberlite XAD-4 ที่ผ่านการเตรียมกับ 4-(2-pyridylazo resorcinol) โดยใช้เทคนิคโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสที่มีอะตอมมิคแอนบอสอฟชั่นสเปคโตรมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด วิธีนี้สามารถทำการเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมได้ 1053 เท่าในเวลา 57 นาทีเมื่อใช้สารละลายตัวอย่าง 200 ml งานวิจัยนี้ให้ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ 6 ng L^{-1} .

Gladis และ Rao [Gladis, 2002] สังเคราะห์ Amberlite XAD-4 เชื่อมต่อกับ 5-aminoquinoline-8-ol มาใช้ในการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของยูเรนิลไอออน จากสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มความเข้มข้นพบว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นของยูเรเนียมได้ 200 เท่า และได้นำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของยูเรนิลในตะกอนดินและในดินโดยใช้เทคนิคทางสเปคโตรโฟโตเมตรี

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่ามีกัรนำ Amberlite XAD-4 ทั้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมและไม่ผ่านกระบวนการเตรียมมาใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะต่าง ๆ กัน ก่อนจะทำการวัดด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอนบอสอฟชั่นสเปคโตรโฟโตเมตรี หรือใช้เทคนิคโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส แต่จากการศึกษาดังกล่าวต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน สารตัวอย่างในปริมาณมากและยังต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงด้วย นอกจากนี้ยังไม่มีกัรนำ Amberlite XAD-4 ที่ไม่ผ่านการเตรียมกับรีเอเจนต์มาบรรจุในคอลัมน์ขนาดเล็กและต่อเข้ากับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส ซึ่งมีสเปคโตรโฟโตเมตรีเป็นเครื่องตรวจวัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วย Amberlite XAD-4 ต่อกับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสที่พัฒนาขึ้น เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วก่อนเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 4-(2-Pyridylazo)resorcinol และทำการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปคโตรโฟโตเมตรีต่อไป

สมมติฐานการวิจัย (ถ้ามี)

สามารถเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างได้โดยใช้ Amberlite XAD-4 ได้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสสำหรับการวิเคราะห์หาตะกั่วที่ต่อด้วยคอลัมน์ขนาดเล็ก
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและสภาวะที่เหมาะสมของระบบ FIA ที่ออกแบบขึ้น เช่น อัตราเร็วในการไหล และความเข้มข้นของรีเอเจนต์ที่ใช้ เป็นต้น
3. ศึกษาหาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ระบบที่ออกแบบขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วแบบออนไลน์ ที่มีความรวดเร็ว แม่นยำ และถูกต้องในการวิเคราะห์หาตะกั่วที่มีปริมาณน้อย ๆ
2. สามารถนำระบบที่ออกแบบขึ้นนี้ไปใช้ในการหาปริมาณตะกั่วที่มีปริมาณน้อยในน้ำตัวอย่างได้

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสที่ต่อด้วยคอลัมน์ขนาดเล็ก
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส
4. ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนาขึ้น
5. ศึกษาผลของตัวรบกวน
6. วิเคราะห์ตัวอย่างจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส
2. ศึกษาขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ต่อกับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว และสภาวะที่เหมาะสมในระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส เช่น อัตราเร็วในการไหล ความเข้มข้นของรีเอเจนต์ที่ใช้ และความไวของระบบที่ออกแบบขึ้น เป็นต้น และสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว

4. เก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติและทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสที่พัฒนาขึ้น
5. วิเคราะห์ผลที่ได้และนำเสนอผลงาน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญและแหล่งที่มาของน้ำ

นักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณไว้ว่า น้ำทั้งหมดบนโลกมีปริมาณประมาณ 1.36×10^{21} ลิตร และกระจัดกระจายอยู่ตามแหล่งน้ำที่สำคัญ 4 แห่ง ดังรายละเอียดที่แสดงในตาราง 1 ในบรรดา น้ำทั้งหมดนี้ มีเพียงประมาณร้อยละ 0.64 เท่านั้น ที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ใช้ได้โดยตรง น้ำส่วนนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ได้แก่ น้ำผิวดินที่ปรากฏอยู่ตาม แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ น้ำใต้ดินและน้ำในบรรยากาศ

ตาราง 1 การกระจายของปริมาณน้ำในแหล่งต่าง ๆ บนโลก [มันลินและคณะ, 2545]

ประเภทของแหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ	ปริมาณน้ำ	
		10^{15} ลิตร	%
1. น้ำผิวดิน	ทะเลสาบน้ำจืด	125	0.0090
	แม่น้ำ, ลำธาร	1	0.0001
	รวม	126	0.0091
2. น้ำในบรรยากาศ		13	0.0010
3. น้ำใต้ดิน	บ่อดิน	4,237	0.3200
	บ่อบาดาล	4,170	0.3100
	รวม	8,407	0.6300
4. น้ำเค็ม	ภูเขาและธารน้ำแข็ง	29,000	2.1500
	มหาสมุทรและทะเล	1,320,000	97.2000
	ทะเลสาบน้ำเค็ม	104	0.0080
	รวม	1,349,104	99.3580
รวมทั้งหมด		1.36×10^{21}	100%

น้ำนับเป็นปัจจัยหลักของมวลมนุษย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เมื่อขาดน้ำ มนุษย์และสิ่งมีชีวิตก็ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เพราะน้ำเป็นสื่อหรือปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิต และเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิตทั้งมวล ตลอดจนยังเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศอีกด้วย

น้ำเป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดหมุนเวียนได้เรื่อย ๆ ไม่มีวันหมดสิ้น เมื่อมีแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเลและมหาสมุทรก็จะระเหยเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบน เนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ กระบวนการเช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา ดังนั้น น้ำที่มนุษย์ใช้แล้ว มิได้สูญหายไปไหน แต่จะหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงกลับมาใช้อีกได้ โดยกระบวนการกลั่น การระเหยของน้ำบนผิวโลก และการรวมตัวในบรรยากาศที่เรียกกันว่า วัฏจักรของน้ำ

วัฏจักรของน้ำ คือ การหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้อย่างง่าย ๆ คือ เมื่อน้ำตามที่แตกต่างกัน ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็จะระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบน เมื่อไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้น และกระทบกับความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีก เมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเมื่อได้รับความเย็น กระบวนการเช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา ทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอยู่เสมอ [มันสินและคณะ, 2545]

ลักษณะคุณภาพ ประโยชน์ และปัญหาน้ำเสียของน้ำ

คุณภาพน้ำ [ชัยยุทธ, 2543]

ในการพิจารณาคูณภาพของน้ำนั้น มาตรฐานที่เป็นเครื่องบอกคุณภาพน้ำ กำหนดจากคุณลักษณะของน้ำดังต่อไปนี้

ลักษณะทางกายภาพ

1. อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อคุณภาพน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปสิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ และยังส่งผลทำให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง
2. กลิ่นและรส (Test and Oder) น้ำบริสุทธิ์โดยปกติจะไม่มีกลิ่นและรส
3. สี (Colour) สีของน้ำอาจเกิดจากการสะท้อนของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำหรืออาจเกิดจากการละลายของสารประกอบบางอย่างในน้ำก็ได้
4. ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากปริมาณของสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น ดิน โคลนตม สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แผลงตอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ ที่ไม่ตกตะกอน
5. ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total dissolved solids) เป็นของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ มีทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ และเมื่อนำน้ำไประเหยก็จะมีของแข็งเหลืออยู่
6. สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้

ลักษณะทางเคมี

1. พีเอช (pH) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจน (H^+) ในน้ำ
2. สภาพกรด (Acidity) หรือความเป็นกรดของน้ำเกิดจากน้ำนั้นมีค่า H^+ สูง ค่าความเป็นกรดจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ
3. สภาพด่าง (Alkalinity) หรือความเป็นด่างของน้ำหรือความสามารถของน้ำในการรับโปรตอน H^+
4. ความกระด้างของน้ำ (Hardness) ความกระด้างของน้ำเกิดจากแหล่งน้ำมีไอออนของธาตุที่มีประจุ +2 ละลายอยู่ในน้ำ
5. สารละลายออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) คือ การวัดปริมาณของออกซิเจน (O_2) ที่ละลายในน้ำ ซึ่งปริมาณจะลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น DO ในน้ำตัวอย่างต่ำกว่า 3 mg L^{-1} ถือว่าเป็นน้ำเสีย
6. BOD (Biochemical Oxygen demand) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ถ้า BOD มีค่าสูงแสดงว่าน้ำนั้นมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำมากกว่า น้ำที่มี BOD ต่ำ แสดงว่ามีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำมากกว่า 100 mg L^{-1} ถือว่าเป็นน้ำเสีย
7. COD (Chemical Oxygen demand) คือปริมาณออกซิเจนที่สารเคมี ($Cr_2O_7^{2-}$) ใช้ในการออกซิไดซ์สารในน้ำทิ้ง ถ้า COD มีค่าสูง แสดงว่าน้ำนั้นมีคุณภาพไม่ดี เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ O_2 ย่อยสลายสารอินทรีย์พวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและไพรีนในน้ำได้ ดังนั้นจึงวัดค่า BOD ได้ต่ำกว่า COD เสมอ

ปัญหาน้ำเสีย [องค์การจัดการน้ำเสีย, 2549]

เนื่องจากน้ำหมุนเวียนเป็นวัฏจักร ไม่สูญหาย แต่จะอยู่ในลักษณะที่แตกต่างกันไป มนุษย์จึงใช้น้ำกันอย่างสะดวกสบาย และค่อนข้างฟุ่มเฟือย ด้วยความรู้สึกรู้สึกที่ว่าน้ำไม่มีวันหมดสิ้น จึงทำให้มนุษย์ละเลยและมองข้ามคุณค่าของน้ำ ซึ่งนอกจากจะไม่สงวนรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีแล้ว ยังกลับทำลายโดยการทิ้งสิ่งโสโครกต่าง ๆ ทำให้น้ำเน่าเสีย จนกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอยู่ในขณะนี้ในบางแห่ง

น้ำเสียเป็นผลมาจากการใช้น้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ ทั้งในกิจวัตรประจำวัน อุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม ฯลฯ แหล่งกำเนิดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อาศัยในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคาร ที่พักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ร้านค้า อาคารสำนักงาน เป็นต้น น้ำเสียชุมชนนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเป็นสาเหตุสำคัญของการทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง

2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้ จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต รวมทั้งระบบควบคุมและบำรุงรักษา องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรก ที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matter) สารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) อาทิ สารเคมี โลหะหนัก เป็นต้น

3. น้ำเสียจากเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ การขับถ่าย และสารเคมีต่าง ๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูก จะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจการการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

4. น้ำเสียที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิด (Nonpoint Source Wastewater) ได้แก่ น้ำฝน และ

น้ำหลากที่ไหลผ่านและชะล้างความสกปรกต่าง ๆ เช่น กองขยะมูลฝอย แหล่งเก็บสารเคมี ฟาร์มเลี้ยงสัตว์และคลองระบายน้ำ

องค์ประกอบของสารมลพิษในน้ำเสีย [ชัยยุทธ, 2543]

1. สารมลพิษทางเคมี ได้แก่ สารอินทรีย์ เช่น น้ำมัน สี ผงซักฟอก ไฮโดรคาร์บอน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โลหะหนัก และยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น ส่วนสารอนินทรีย์ ได้แก่ กรด เบสเกลือของโลหะ ไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต เป็นต้น
2. สารมลพิษทางกายภาพ เช่น สารที่ลอยน้ำ ได้แก่ ฟอง เศษไม้ ใบไม้ หรือของลอยน้ำทุกชนิด และสารแขวนลอย ได้แก่ โคลนตม ดินทราย ยาง พลาสติก ของโสโครกที่เป็นของแข็งลอยน้ำ
3. สารมลพิษทางชีววิทยา ได้แก่ วัชพืช หรือวัชพืชน้ำอื่น ๆ สิ่งที่เกิดโรค เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว ไวรัส และพยาธิต่าง ๆ
4. ความร้อน ผลจากความร้อนของน้ำเย็นจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในน้ำตายได้
5. สารกัมมันตรังสี เป็นสารมลพิษจากเหมืองแร่ โรงไฟฟ้า พลังงานนิวเคลียร์ เชื้อเพลิงปรมาณู ที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี แล้วปล่อยสารมลพิษหรือกากของเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำ

โลหะหนัก [ศรีนครินทร์วิโรฒ, มปท.]

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง โลหะธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23-92 อยู่ในคาบ 4-7 ในตารางธาตุ และความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 g/cm^3 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไลน์ (Alkali) และอัลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth) ปกติโลหะหนักเมื่ออยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์ก็มีความเป็นพิษเล็กน้อย แต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบบางตัวจะเป็นอันตรายมาก โลหะหนักมีทั้งหมด 68 ธาตุ เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ สารหนู เป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู มนุษย์ได้รับโลหะหนักเข้าไปในร่างกาย อาจจะเนื่องมาจากโลหะหนักสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารและในกระบวนการทางชีวภาพมนุษย์อาจจะบริโภคเข้าไปโดยตรง หรือได้สัมผัส หรือได้รับโดยทางอ้อม แหล่งของสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม คือ จากสารเคมีในการเกษตร เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เป็นต้น โรงงานถลุงแร่ โรงงานอุตสาหกรรม ของเหลือใช้จากโรงงานและชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลือที่อยู่ในรูปของน้ำทิ้งจัดเป็นแหล่งที่มีสารมลพิษที่สำคัญ ความ

เป็นพิษของโลหะหนักต่อร่างกาย เกิดจากการที่ร่างกายได้รับทางระบบต่าง ๆ แล้วส่งผลให้เกิดการรบกวนการทำงานของระบบเอนไซม์ของเซลล์และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงสารต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบโลหะหนักแต่ละชนิดและระบบที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ทางเดินอาหาร ผิวหนัง

ผลของความเป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเกิดจากกลไกระดับเซลล์ 5 แบบ คือ

1. ทำให้เซลล์ตาย
2. เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3. เป็นตัวการที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง
4. เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
5. ทำความเสียหายต่อโครโมโซม

สถานะของโลหะในน้ำมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ไอออนอิสระ เช่น Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} เป็นต้น สารเชิงซ้อนพวกโลหะ-ไฮดรอกไซด์ สารเชิงซ้อนโลหะ-ลิแกนด์ซึ่งเกิดจากการจับตัวกับลิแกนด์ที่อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้กลายเป็นสารเชิงซ้อนที่จัดได้ยาก นอกจากนี้ยังอาจอยู่ในรูปของโลหะติดผิว เช่น ทราาย คาร์บอน หรืออยู่ในรูปของสารประกอบโลหะก็ได้

ตะกั่ว (Lead) [ทองนามัยสังเวดล้อม, 2549], [ชัยวัฒน์, 2549]

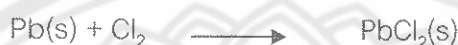
ตะกั่วเป็นโลหะหนึ่งที่มีมนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณ มีหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ 4,000 ปีก่อนคริสตศักราช ตะกั่วมีสัญลักษณ์ Pb จากชื่อลาติน plumbum ในธรรมชาติจะพบตะกั่วอยู่ 2 รูป คือ รูปของสารอนินทรีย์ (Inorganic lead) อยู่ในรูปของเกลือหรือออกไซด์ของตะกั่วและรูปของสารอินทรีย์ (Organic lead) พบมาก ได้แก่ tetraethyl lead และ tetra methyl lead สารเหล่านี้มาจากน้ำมันที่มีสารตะกั่วผสมอยู่ ตะกั่วที่มาจากน้ำมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอนจึงทำให้สารตะกั่วนี้สามารถกระจายไปได้ไกลกว่า 30 กิโลเมตร ถึงแม้ในปัจจุบันจะเลิกใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่วผสมแล้วก็ตามแต่ปริมาณของฝุ่นตะกั่วที่พบก็ยังคงมีอยู่ไม่น้อย

1. การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วในอากาศ ตะกั่วเข้าสู่บรรยากาศในรูปของ ตะกั่วออกไซด์ (PbO , PbO_2 , Pb_xO_y) ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ตะกั่วซัลไฟต์ (PbS) ตะกั่วอัลคิล ($Pb(CH_3)_4$, $Pb(C_2H_5)_4$) และตะกั่วเฮไลด์ ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับออกซิเจนในอากาศ



2. การเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เนื่องจากที่ผิวหน้าของตะกั่วจะเคลือบด้วยชั้นบาง ๆ ของเลดออกไซด์ (PbO) ส่งผลให้ตะกั่วไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำในสภาวะปกติ

3. การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับธาตุฮาโลเจน พบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีจะมีความเป็นพิษ โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ซึ่งตะกั่วสามารถทำปฏิกิริยากับฟลูออรีนได้ที่อุณหภูมิห้องและเมื่อใช้อุณหภูมิสูงชันก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนได้ดี

4. การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับกรด โดยตะกั่วนั้นจะละลายอย่างช้า ๆ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และไนตริก (HNO₃)

5. การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับเบส ซึ่งตะกั่วสามารถละลายได้อย่างช้า ๆ ในสารละลายเบสที่เย็น

3. ประโยชน์ของตะกั่ว

ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักโลหะหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีเพียงไม่กี่โลหะเท่านั้นที่มีปริมาณการใช้มากกว่าตะกั่ว โลหะเหล่านี้ได้แก่ เหล็ก(Fe), ทองแดง(Cu), สังกะสี(Zn) และอะลูมิเนียม(Al) ทั่วโลกใช้ตะกั่วประมาณ 3 ล้านตันต่อปี (ประมาณการของปี 1970) และเฉพาะในสหรัฐอเมริกาก็ใช้มากถึง 1.25 ล้านตัน ส่วนในสหราชอาณาจักรใช้ประมาณ 0.5 ล้านตัน [ชัยยุทธ, 2543]

ตะกั่วใช้ประโยชน์มากที่สุดในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่และใช้ในรูปของเตตระเอทิลเลดซึ่งใช้เติมใส่น้ำมันเพื่อเพิ่มเลขออกเทนของน้ำมัน

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ที่สำคัญของตะกั่วมีดังนี้

1. ใช้ในการสังเคราะห์สารเตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead เขียนย่อว่า TEL) ซึ่งเป็นสารที่ใช้เติมใส่แก๊สโซลีนเพื่อเพิ่มเลขออกเทน (octane number) ของแก๊สโซลีน สาร TEL เตรียมจากเอทิลคลอไรด์ (ethyl chloride) และโลหะเจือของตะกั่ว

2. ใช้ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้ทั่วไปเป็นเซลล์กัลวานิกที่ใช้โลหะตะกั่วเป็นอานอดและออกไซด์ของโลหะตะกั่ว (PbO₂) เป็นคาโทด เนื่องจากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่เป็นอุตสาหกรรมหลักชนิดหนึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่ มีอายุการใช้งานจำกัด อุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์จึงเป็นแหล่งที่มีการใช้ตะกั่วในปริมาณมหาศาลแหล่งหนึ่ง

3. การใช้งานอื่นๆ ได้แก่

- ใช้งานบัดกรีเนื่องจากคุณสมบัติของตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและราคาถูกจึงใช้เชื่อมกับดีบุกเป็นโลหะบัดกรี คือ เป็นโลหะเติมในการเชื่อมชิ้นงานโลหะให้ติดกัน ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์ อาหารกระป๋อง ก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์

- เปลือกเคเบิล ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและได้นำป้องกันความเสียหายจากความชื้นและการกัดกร่อน

- โลหะเชื่อมลอมตัวต่ำ สำหรับทำฟิวส์ระบบตัดไฟอัตโนมัติและปลั๊กหม้อน้ำ โดยอาศัยคุณสมบัติที่ตะกั่วมีจุดหลอมตัวต่ำซึ่งจะหลอมละลายเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านมากเกินไปที่กำหนดไว้ในระบบ

- กระจกวัตถุสีตะกั่ว เช่น ตะกั่วแดง (Pb_3O_4) ตะกั่วโครเมต ตะกั่วซิลิเกตเหล่านี้ ป้องกันการผุกร่อน ดังนั้นตะกั่วแดงเป็นสีพื้นและสีเคลือบที่สำคัญที่สุดในบรรดากระจกวัตถุที่ใช้ป้องกันสนิมพวกเหล็กกล้า

4. ผลกระทบของตะกั่วต่อสิ่งแวดล้อม

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่พบว่าการปนเปื้อนทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากมีการนำเอามาใช้ประโยชน์กันอย่างมากมาย โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม แบตเตอรี่รถยนต์ ใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลผลิตตะกั่วทั้งหมดและยังใช้ในรูปแบบของตะกั่วอินทรีย์เป็นสารเคมีที่ใช้เติมในน้ำมันเบนซินเพื่อป้องกันเครื่องยนต์เดินสะดุด แต่ปัจจุบันหันมาใช้สารชนิดอื่นทดแทน นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมสี สารเคมีที่ใช้เป็นสารประกอบตะกั่วมาก เช่น สีแดงของตะกั่วออกไซด์ สีเหลืองจากตะกั่วโครเมต เป็นต้น ซึ่งอาจผสมในสีของเล่นสำหรับเด็ก สีวาดภาพ สีที่ใช้ตีพิมพ์ เป็นเหตุให้ตะกั่วเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ น้ำและ ดินมากขึ้น ส่งผลให้บุคคลที่สัมผัสมีโอกาสได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้สูง ส่งผลกระทบโดยตรงเมื่อสะสมอยู่ในร่างกายมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น โดยเฉพาะในแหล่งน้ำต่าง ๆ การสะสมของตะกั่วในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อสุขภาพทำให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายเกิดความผิดปกติ

5. การดูดซึมของสารตะกั่วในร่างกาย [มลิวรอน, 2545]

ตะกั่วในรูปแบบของสารอินทรีย์จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินหายใจมากที่สุด ในขณะที่ตะกั่วในรูปแบบสารอินทรีย์ เช่น alkyl lead จะถูกดูดซึมทางผิวหนังเป็นส่วนใหญ่ แต่ความเป็นพิษของตะกั่วที่เข้าทางปากจะสูงกว่าที่เข้าทางผิวหนังถึง 6 เท่า

การดูดซึมของสารตะกั่วในระบบทางเดินอาหารจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหารที่รับประทานเข้าไปด้วย สำหรับทางเดินหายใจสารตะกั่วจะทำให้เกิดโรคพิษตะกั่ว (Lead poisoning) แต่เนื่องจากฝุ่นของตะกั่วในอากาศเป็นสารประกอบหลายรูป ซึ่งจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้แตกต่างกัน

สารตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายจะกระจายและเข้าไปสะสมในกระดูกได้อย่างรวดเร็ว ตะกั่วจะถูกขับออกมาเมื่อร่างกายหยุดรับสาร ซึ่งอัตราการขับสารตะกั่วจะลดลงตามเวลาและปริมาณ ตะกั่วที่ถูกขับออกมาข้างนี้เนื่องจากว่าถูกสะสมอยู่ในกระดูกส่วนลึกเข้าไป ทำให้ระยะเวลาที่ตะกั่วจะหลุดออกจากกระดูกนานขึ้น โดยปกติพบว่าประมาณ 90% ของตะกั่วในร่างกายจะสะสมอยู่ในกระดูก รองลงมาคือ ตับและไตซึ่งมีโปรตีนอยู่มาก สำหรับในไตตะกั่วจะสะสมอยู่ในส่วนของพวกริโบโซมที่มีโปรตีนอยู่ ตะกั่วสามารถเกาะกับโปรตีนแล้วอยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษจึงไม่เป็นอันตรายต่อไต ส่วนในตับนั้นตะกั่วอยู่ในรูปสารอินทรีย์ เช่น tetramethyl lead และ เปลี่ยนเป็น triakyl lead ซึ่งเป็นตัวกลางที่มีความเป็นพิษสูง สารตัวนี้จะถูกเมตาบอลไลต์ต่อไปอีกอย่างช้า ๆ และกลายเป็นตะกั่วในรูปสารอินทรีย์

การขับถ่าย ตะกั่วจะถูกขับออกทางปัสสาวะหรือน้ำดี เป็นการกรองผ่านโกลเมอูลัสของไตเป็นส่วนใหญ่ สำหรับตะกั่วที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณเยื่อเมือก (epithelial tissue) ของระบบทางเดินอาหารและที่สะสมในนมจะถูกขับออกโดยการหลุดออกของเยื่อเมือก

6. ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นพิษต่อร่างกายถึง 4 ระบบ คือ

ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system)

ระบบประสาทส่วนขอบ (Peripheral nervous system)

ระบบเลือด (Hemopoietic system) และไต

ระบบประสาทส่วนกลาง

ตะกั่วในรูปของสารอินทรีย์ทั้งที่รับเข้าไปแบบเรื้อรังและกึ่งเฉียบพลันทำให้เกิดอาการสมองเสื่อม (lead encephalopathy) ผู้ป่วยจะมีอาการมึนงง นอนไม่หลับ ตื่นตระหนก ปวดศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อน และความจำเสื่อม ถ้าเป็นมากผู้ป่วยจะชักและตายได้ ส่วนพิษตกค้างจะทำให้เกิดน้ำขังในสมอง เป็นลมบ้าหมู และปัญญาทึบ การศึกษาในเด็กที่ได้รับสารตะกั่วถึงแม้จะในปริมาณไม่สูงจนทำให้เกิดอาการสมองเสื่อม แต่พบว่าเด็กที่มีปริมาณตะกั่วในเลือดตั้งแต่ 40-80 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ จะเรียนรู้อาช และคิดช้า

สำหรับผลของตะกั่วที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์นั้น มีผลต่อจิตใจ คือ ผู้ป่วยจะมีอาการทางประสาทหลอน ตื่นเต้นและหลงผิด การศึกษาผลของตะกั่วต่อระบบประสาทส่วนกลางนั้นมีมากมาย แต่การอธิบายกลไกที่ตะกั่วมีต่อระบบประสาทส่วนกลางยังไม่ชัดเจน เพียงแต่อธิบายว่าตะกั่วสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พวกโคลินเนอจิกและอะเซรอนเนอจิกที่มีหน้าที่ปล่อยสัญญาณความรู้สึกของเซลล์ประสาทนั้นและการทำงานของตะกั่วนี้จะถูกเคลือบขัดขวางได้ด้วยระบบประสาทส่วนขอบ

ตะกั่วทำให้กล้ามเนื้อไม่มีแรง (lead palsy) เกิดอาการเพ้อฝันและทำให้ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ประสาทผิดไป เช่น myelin sheath ของเนื้อเยื่อประสาทขาดเป็นช่วง ๆ และแกนยื่นของเซลล์ประสาท (axon) เสียหาย

ระบบเลือด

อาการเริ่มแรกของคนที่ได้รับพิษจากตะกั่ว คือ อาการโลหิตจาง ต้นเหตุที่ทำให้เกิดอาการนี้ คือ เม็ดเลือดมีอายุสั้นลงและการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินของร่างกายถูกขัดขวาง การที่เม็ดเลือดแดงมีอายุสั้นลงเพราะตะกั่วไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่ควบคุมการถ่ายเทของโปรตีนฮีโมและไซโตเคียมที่ผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์บางลง เซลล์เม็ดเลือดแดงจึงแตกและถูกฉีกขาดได้

สำหรับผลของตะกั่วต่อการสังเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดงนั้นค่อนข้างซับซ้อนและขึ้นกับปริมาณของตะกั่วที่เข้าร่างกายด้วย ขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์เม็ดเลือดแดงเกิดขึ้นในส่วนของไมโทคอนเดรีย โดยภายในไมโทคอนเดรียมีการสร้างกรดแอสซอลูติก (ALA หรือ δ -aminolevulinic acid) ขึ้น ALA ที่สร้างขึ้นนี้จะถูกสังเคราะห์ต่อไปเป็นพorphobilinogen (porphobilinogen) และโพโทพไพริน (portophophyrin ix) ที่ไซโตพลาซึมของเซลล์ในที่สุด จากนั้นอนุภาคของเหล็กจึงเข้าจับกับ portophophyrin ix ได้เซลล์เม็ดเลือดแดง เมื่อร่างกายมีเซลล์เม็ดเลือดแดงพอเพียงแล้ว เซลล์เม็ดเลือดแดงจะเป็นตัวยับยั้งการสร้าง ALA ทำให้วงจรการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงหยุดแดง

สำหรับร่างกายของคนที่ได้รับตะกั่วเข้าไปคาดว่ากลไกที่เกิดขึ้น คือ ตะกั่วสามารถเข้าไปขัดขวางในขบวนการสร้างเม็ดเลือดแดงในส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ALA Synthetase
2. ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ALA dehydrase
3. ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล็กซึ่งจะเคลื่อนที่จากไซโตพลาซึมเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)
4. ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ferro chelatase

เมื่อกลไกการสังเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดงถูกรบกวน จำนวนเม็ดเลือดแดงจึงมีน้อยลง และทำให้ผู้ป่วยมีอาการโลหิตจางได้

ไต

ตะกั่วจะเข้าสะสมในส่วนของพรอกซิมอลทิบูลในไตเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่ร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปมาก ๆ ทิบูลจะเสียหายได้ และถ้าทิบูลถูกทำลาย กลูโคส กรดอะมิโน และ ฟอสเฟตจะไม่ถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ตามปกติทำให้ร่างกายสูญเสียสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายไปได้ แต่อย่างไรก็ดีอาการนี้สามารถหายได้ถ้าได้รับยาถอนพิษ ส่วนผลของตะกั่วต่อไตที่สำคัญอีกเรื่องหนึ่ง คือ ตะกั่วสามารถทำให้ส่วนของทิบูลและโกลเมอรูลัสเป็นพังผืด อาการนี้มักเกิดกับคนที่ดื่มเหล้าจัดโดยเฉพาะกับคนที่ดื่มเหล้าเถื่อน การเกิดพังผืดนี้จะทำให้ไตวายและตายได้

อาการอื่นๆ

ตะกั่วทำให้เกิดอาการเสียดท้องและเกิดความผิดปกติของโครโมโซม นอกจากนี้บางครั้งยังทำให้สเปิร์มมีรูปร่างผิดปกติด้วย มีการวิจัยพบว่าคนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด 0.25 ppm โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างไร แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใดเช่นในเลือดมีมากกว่า 0.8 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างฉับพลัน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก PbS ในอุจจาระ) เกิดอาการ shock ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต อาการพิษตะกั่วอย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในกระบวนการการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น

การรักษาโรคพิษจากตะกั่ว

โดยการทำให้สารเข้าไปจับกับตะกั่ว เช่น เกลือของแคลเซียมอีดีทีเอ (Ca-EDTA) ตะกั่วในร่างกายจะเปลี่ยนที่อยู่กับแคลเซียมและถูกขับออกมาพร้อมอีดีทีเอทางไต ซึ่งวิธีนี้ใช้สำหรับกำจัดตะกั่วที่สะสมในกระดูกเป็นส่วนใหญ่

งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในน้ำ

จากการศึกษาการหาปริมาณของโลหะที่ทำให้เข้มข้นมากขึ้นในน้ำธรรมชาติมีรายงานพบว่า

ในปี 1999 Hirata และคณะ [Hirata et. al. , 1999] ศึกษาการทำให้ไอออนโลหะมีความเข้มข้นมากขึ้นด้วย Flow Injection Analysis ซึ่งมี chemiluminescence เป็น Detector โดยใช้

Amberlite XAD-4 ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของ Fe(II) และเหล็กทั้งหมดที่อยู่ในน้ำโดยได้พัฒนาให้มี sensitivity ที่สูงขึ้น ซึ่งมี brilliant sulflavine และ hydrogen peroxide เป็นรีเอเจนต์ตัวรบกวนที่เกิดขึ้นสามารถกำจัดได้โดยการเติมสารละลาย defferioxamine B วิธีนี้มีขีดจำกัดของการตรวจวัดของ Fe(II) และเหล็กทั้งหมดที่อยู่ในน้ำจากสิ่งแวดล้อม คือ 0.80 และ 0.86 mmol ตามลำดับ ค่า RSD ของสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดมีค่าน้อยกว่า $\pm 4\%$

ในปี 2001 Tewari และคณะ [Tewari et.al. , 2001] ศึกษาการทำให้ไอออนโลหะเข้มข้นมากขึ้น โดยใช้ pyrocatechal (dihydroxybenzene) เชื่อมต่อกับ Amberlite XAD-2 และใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นเครื่องตรวจวัดในการวิเคราะห์ไอออนโลหะ Cd(II), Co(II), Fe(II), Ni(II) และ Zn(II) พบว่าค่าความจุของการดูดซับอยู่ในช่วงระหว่าง 0.023 - 0.092 mmol g⁻¹ ของเรซิน ตามลำดับค่า enrichment factors คือ 200 ยกเว้นเหล็ก และทองแดงที่มีค่า 80 และ 100 ตามลำดับ

ในปี 2002 Tewari และคณะ [Tewari et.al. , 2002] ศึกษาการเตรียม chelating matrices 4 ชนิดเชื่อมต่อกับ Amberlite XAD-2 คือใช้ chromotopic acid (AXAD-2-CA or 1), pyrocatechol (AXAD-2-PC or 2) , thiosalicycic (AXAD-2-TSA or 3), Amberlite XAD-7 ซึ่งทำให้ลิมิตด้วย Xylenol orange (AXAD-7-XO or 4) และใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นเครื่องตรวจวัด เพื่อศึกษาการเพิ่มค่าไอออนของ Pb(II) และทำการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับของไอออนของ Pb(II) จากเรซินทั้ง 4 ชนิด ใช้กรดไนตริกที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.5-4.0 mol L⁻¹ ในการชะไอออนของ Pb(II) จาก chelating resin ทั้ง 4 ชนิดพบว่า detection limit และ limit of quantification ที่พบจะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.44-7.87 และ 2.76-8.64 ng ml⁻¹ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเรซินชนิดที่ 3 ซึ่งเตรียมโดยใช้ thiosalicycic (AXAD-2-TSA or 3) ให้ผลประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด โดยงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ Pb(II) โดยใช้สารตัวอย่างจากแม่น้ำ ค่า RSD ที่ได้คือ 2.6-12.8%

สำหรับงานวิจัยที่นำระบบ FIA มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้การทำให้ตัวอย่างมีความเข้มข้นแบบออนไลน์ในหลายงานวิจัยด้วยกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะให้การต่อคอลัมน์ที่มีขนาดเล็กเข้ากับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ในปี 2000 Elci และคณะ [Elci et.al. , 2002] ได้ทำการพัฒนาระบบ FIA สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำและดินโดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เป็นดีเทคเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการต่อคอลัมน์ขนาดเล็กเข้ากับระบบ FIA โดยการทำให้สารละลายตะกั่วเกิดเป็นคอมเพล็กซ์ diethyldithiocarbamate ที่ pH 9 โดยมี Chromosorb 102

เป็นตัวดูดซับ และใช้สารละลายเอทานอลเป็นตัวชะ โดยในการวิเคราะห์ที่ได้ทำการศึกษาถึง ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เช่น อัตราการไหล ค่า pH และปริมาณของตัวชะ เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด เท่ากับ 2 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราเร็วในการไหล 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที และเปอร์เซ็นต์ RSD ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 4 ค่าร้อยละการคืนกลับที่ได้รับอยู่ในช่วง 95.6-103%

ในปี 2002 Zachariadis และคณะ [Zachariadis et.al., 2002] ได้ทำการพัฒนาระบบไหลอินเจคชันอะนาลิซิสให้มีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม โดยมีเครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นดีเทคเตอร์ สำหรับในกระบวนการทำให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นขึ้นใช้การต่อคอลัมน์ขนาดเล็กเข้ากับระบบไหลอินเจคชันอะนาลิซิส ที่มี Polytetrafluoroethylene (PTFE) เป็น Packing material โดยทำให้สารละลายตะกั่วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ammonium pyroldine dithiocarbamate (APDC) และใช้ Isobutyl methyl ketone (IBMK) เป็นตัวชะแล้วพาเข้าสู่ดีเทคเตอร์ พบว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเปอร์เซ็นต์ RSD มีค่าเท่ากับ 2.6% โดยมีอัตราในการตรวจวัดเท่ากับ 15 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และ Calibration curve อยู่ในช่วงความเข้มข้น 1.6 -100 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้นำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม โดยในการทดลองนี้ได้นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐาน พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความแม่นยำสูง

ในปี 2004 Di Nezio และคณะ [Di Nezio et.al., 2004] ได้ทำการศึกษาระบบปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติ โดยใช้คอลัมน์เข้ากับระบบไหลอินเจคชันอะนาลิซิส โดยมียูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด ภายในคอลัมน์บรรจุด้วยโคโคซานและใช้ Dithizone เป็นรีเอเจนต์ ซึ่งได้พัฒนาระบบให้มีความง่าย และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ โดยมีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 25-250 ไมโครกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 5 นาโนกรัมต่อลิตร และอัตราเร็วในการวิเคราะห์ของระบบเท่ากับ 15 ตัวอย่างต่อชั่วโมง โดยผลของการวิเคราะห์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับ ICP-AES

ในปี 2006 สุรรัตน์ แสงอุทัย [สุรรัตน์, 2549] ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยระบบไหลอินเจคชันอะนาลิซิส 2 แบบ คือ แบบธรรมดาและแบบออนไลน์ที่มีคอลัมน์ขนาดเล็กบรรจุด้วย แอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 และใช้ยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 4-(2-pyridylazo)resorcinol ในสารละลาย

บัฟเฟอร์ pH 9 ซึ่งพบว่ามีความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.50-2.00 และ 0.05-0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เท่ากับ 0.22 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าร้อยละการกลับคืนเท่ากับ 96 และ 102% สำหรับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสแบบธรรมดาและแบบออนไลน์ ตามลำดับ ระบบทั้งสองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำของเครื่องมือและเทคนิคในการวิเคราะห์สูง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 4% อัตราเร็วในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเท่ากับ 120 และ 12 ตัวอย่างต่อชั่วโมง สำหรับในระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสแบบออนไลน์มีค่าพีคคอนเซนเทรชันเท่ากับ 2.4

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ อาศัยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายรีเอเจนต์ก่อนและใช้ชนิดของตัวดูดซับที่แตกต่างกันในการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะ ก่อนทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นดีเทคเตอร์ ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มักใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน สิ้นเปลืองรีเอเจนต์ เครื่องมือที่ใช้เป็นดีเทคเตอร์มีราคาแพงและต้องอาศัยทักษะในการใช้มากกว่าการใช้เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังนั้น โครงการนี้จึงทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) ในน้ำด้วยระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสแบบออนไลน์ เพื่อให้ประหยัดทั้งเวลาในการวิเคราะห์และสารละลายรีเอเจนต์ โดยอาศัยการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II) ในคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วยแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 ก่อนการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายรีเอเจนต์แล้วจึงทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

งานวิจัยนี้สนใจวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ทำให้เข้มข้นมากขึ้นแบบออนไลน์กับระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิส(FIA) โดยการต่อคอลัมน์ขนาดเล็กเข้ากับระบบ FIA เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วให้มากขึ้นก่อนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ 4-(2-pyridylazo) resorcinol และทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

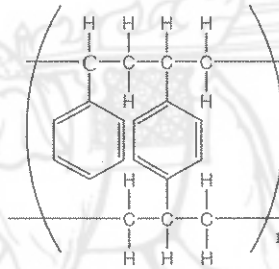
การหาปริมาณสารตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นขึ้น (Preconcentration) แบบออนไลน์ โดยการต่อคอลัมน์ขนาดเล็กเข้ากับระบบ FIA

จากการศึกษาพบว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ แม้ว่าจะมีปริมาณน้อย แต่เมื่อเกิดการสะสมมากขึ้นก็จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ แต่การหาปริมาณตะกั่วโดยตรงอาจทำได้ยาก โครงการนี้จึงสนใจเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) ของตะกั่ว โดยใช้คอลัมน์ที่มีขนาดเล็กบรรจุด้วยแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี -4 เข้ากับระบบ FIA ซึ่งแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์

เอดี-4 สามารถดูดซับตะกั่วได้ เนื่องจากเป็นสารที่มีคุณสมบัติมีความเป็นรูพรุน และมีพื้นที่สัมผัสสูง

ชนิดของเรซินที่ใช้ในการวิเคราะห์ [Rohm and Hass company, 2549]
แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 (Amberlite XAD-4)

แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 เป็นตัวดูดซับพอลิเมอร์ มีลักษณะเป็นเม็ดปิดสัขาวที่ไม่ละลายน้ำ ชนิด nonionic crosslinked polymer คุณสมบัติของเรซินชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับ เพราะมีโครงสร้างเป็น macroreticular ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงภายในโครงสร้างมีวงอะโรมาติกบริเวณพื้นผิว ดังภาพ 2



ภาพ 2 โครงสร้างของ Amberlite XAD-4 resin [Rohm and Hass company, 2549]

พอลิเมอร์ชนิดนี้ถูกใช้เป็นตัวดูดซับเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและมีความเสถียรทางความร้อน นอกจากนี้แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 ยังสามารถที่จะนำมาใช้ซ้ำได้อีกในคอลัมน์หรือแบบแบชท์ เพื่อดูดซับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว จากสารละลายที่มีขั้วหรือสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายออกจากไอน้ำที่ระเหย ลักษณะการกระจายตัวของรูภายในโครงสร้าง ทำให้แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในกระบวนการดูดซับของสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

Matrix	Macroreticular crosslinked aromatic polymer
Physical form	White translucent beads
Moisture holding capacity	54-60%
Shipping weight	680 g/L

Specific gravity	1.01-1.03
Particle size	
Harmonic mean size	0.49-0.69 mm
Uniformity coefficient	≤ 2.0
Fine content	< 0.350 mm: 5.0%max
Coarse beads	> 1.18 mm: 5.0%max
Maximum reversible swelling	ตาราง 2
Surface area	$\geq 750 \text{ m}^2/\text{g}$
Porosity (รูพรุน)	$\geq 0.50 \text{ ml/ml}$

ตาราง 2 ร้อยละของการบวมของแอมเบอไรท์เอ็กซ์เอดี-4 ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน
[Rohm and Hass company, 2549]

ชนิดของตัวทำละลาย	ร้อยละที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตร ที่มีอยู่เดิม
เมทานอล	20
2-โพรพานอล	20
อะซีโตน	20
พาราไซลีน	25

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาระบบโฟลอิโนเจคชันอะนาลิซิสสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติ มีอุปกรณ์ สารเคมีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์

- 1.1 FIAS-UV/Visible Spectrophotometer Lamda 2s บริษัท Perkin Elmer, Germany
- 1.2 Flame Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น Spectra 220 บริษัท Varian, U.S.A
- 1.3 Ultrasonic bath รุ่น Transsonic 460/H บริษัท Elma, Germany
- 1.4 เครื่องชั่งแบบละเอียด (4 ตำแหน่ง) รุ่น Analytical AC 210s บริษัท ไชแอนติฟิค โพรโมชัน
- 1.5 คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 mm ยาว 1.30 cm
- 1.6 ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง (Polyethylene)
- 1.7 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และ 42 บริษัท Whatman International, England

2. สารเคมี

- 2.1 4-(2-pyridylazo) resorcinol Monosodium Hydrate ($C_{11}H_8N_3NaO_2 \cdot H_2O$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 2.2 Lead (II) Nitrate ($Pb(NO_3)_2$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 2.3 Hydrochloric acid 36.0% (HCl) Analytical Grade บริษัท J.T.Baker, U.S.A

2.4 Sodium Tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand

2.5 Methanol (CH_3OH) Analytical Grade บริษัท Fisher chemicals, UK

2.6 Sodium Hydroxide (NaOH) Analytical Grade บริษัท Merck , Germany

2.7 Nitric acid 65% (HNO_3) Analytical Grade บริษัท Merck , Germany

2.8 Hydrogen peroxide (H_2O_2) Analytical Grade บริษัท Carlo erba reagenti, Italy

2.9 Iron(II) sulfate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) Analytical Grade บริษัท Merck , Germany

2.10 Manganese(II) sulfate monohydrate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland

2.11 Zinc nitrate hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, Australia

2.12 Calcium Chloride Hydrate ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland

2.13 Cadmium sulfate ($\text{Cd}(\text{SO}_4)$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland

2.14 Copper sulfate ($\text{Cu}(\text{SO}_4)$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland

2.15 Amberlite XAD-4 resin Analytical Grade บริษัท Acros Organics, U.S.A

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

1.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 100 mg L^{-1} เตรียมโดยชั่ง 0.1598 กรัม Lead (II) Nitrate ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.2 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 0.10, 0.30, 0.50 และ 0.70 mg L^{-1} เตรียมโดยนำสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 100 mg L^{-1} มาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 10 mg L^{-1} หลังจากนั้นมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้ง เพื่อให้เป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.30, 0.50 และ 0.70 mg L^{-1} ตามลำดับ

2. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 โดยชั่ง Sodium Tetraborate 19.07 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

3. การเตรียมสารละลายรีเอเจนต์

3.1 การเตรียมสารละลาย 4-(2-pyridylazo) resorcinol monosodium hydrate (PAR) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร โดยชั่ง PAR 0.2372 กรัม นำมาละลายแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้เป็น 100 มิลลิลิตร นำมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนให้มีความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิโมลต่อลิตร

3.2 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.20 และ 0.30 โมลต่อลิตร จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36% V/V แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

การหาสภาวะที่เหมาะสมในระบบ FIA

การหาสภาวะที่เหมาะสมในระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการหาปริมาณตะกั่วแบบออนไลน์ โดยได้ทำการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA
2. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการชะ
3. การศึกษาอัตราเร็วในการไหลของสารตัวอย่าง
4. การศึกษาอัตราเร็วในการไหลของสารละลายรีเอเจนต์ และบัฟเฟอร์
5. การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
6. การศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน
7. การศึกษาขนาดและความยาวของ reaction coil
8. การศึกษาขนาดและความยาวของคอลัมน์

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้นสำหรับหาปริมาณตะกั่วแบบออนไลน์ สามารถสรุปรายละเอียดของผลการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ดังผลการทดลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1- 4.8 และจากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระบบ FIA แบบออนไลน์ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างบริเวณรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ว ๓๒
๒๕๕
-๕๕
๑๕๖๖
๒๕๕๐



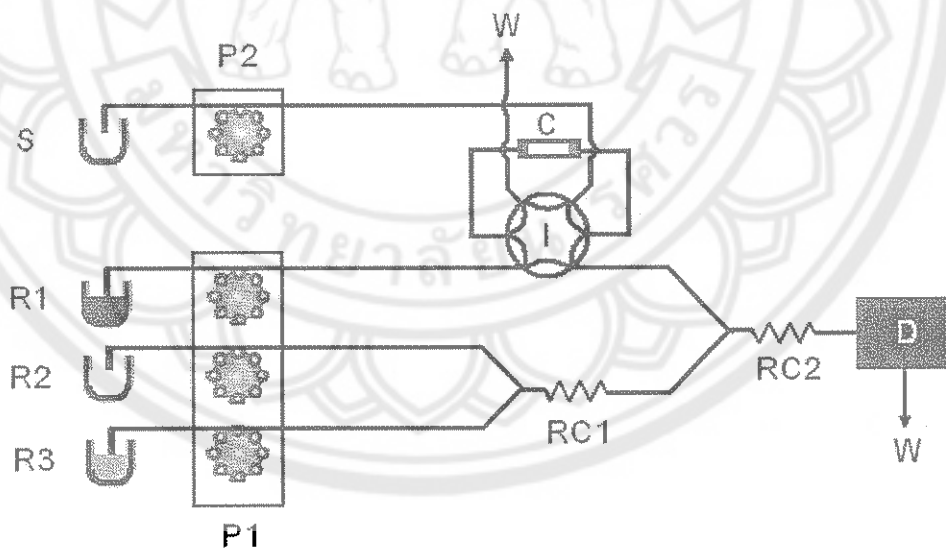
สำนักหอสมุด

บทที่ 4

5 JUL 2011

ผลการทดลอง

การพัฒนาระบบโพลีอินเจคชันอะนาลิซิสสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบออนไลน์ โดยการต่อคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์โอดี-4 เข้ากับระบบ FIA หลักการทำงานของระบบคือ ฉีดสารละลายตะกั่ว(II) เข้าไปเก็บไว้ในคอลัมน์ จากนั้นทำการสลับวาล์ว เพื่อให้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นตัวชะไหลผ่านคอลัมน์ เพื่อชะตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้ออกมา โดยสารละลายตัวอย่างตะกั่ว(II) จะเกิดการผสมและทำปฏิกิริยากับสารละลายบัฟเฟอร์ และสารละลาย PAR ซึ่งไหลอย่างต่อเนื่องในระบบ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านท่อที่มีขนาดเล็กเข้าไปยังเครื่องตรวจวัด แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ส่วนสารละลายที่ไหลผ่านเครื่องตรวจวัดแล้วจะไหลออกสู่ waste โดยระบบ FIA ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วย PAR แบบออนไลน์ แสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 Manifold ของระบบ FIA สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ด้วย PAR ในระบบออนไลน์: P คือ peristaltic pump, I คือ injection valve, S คือ สารละลายตัวอย่าง, R1 คือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก, R2 คือ สารละลายบัฟเฟอร์, R3 คือ สารละลาย PAR, RC1 คือ reaction coil 1, RC2 คือ reaction coil 2, D คือ detector, C คือ คอลัมน์, W คือ waste

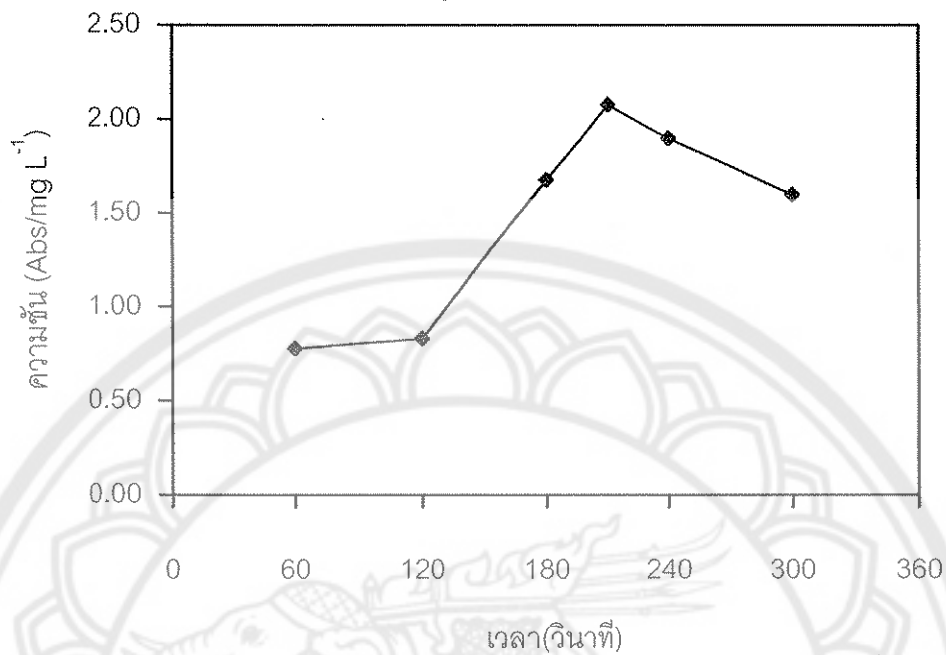
จากระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้น ดังภาพ 3 ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ศึกษาครั้งละ 1 สภาวะ และควบคุมสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่ สภาวะเริ่มต้นของระบบ FIA แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 สภาวะเริ่มต้นในระบบ FIA แบบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้น สำหรับการหาปริมาณตะกั่ว

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่ใช้
ความยาวคลื่น(nm)	523
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (mol L^{-1})	0.20
สารละลายบัฟเฟอร์	pH 9
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR (mol L^{-1})	3.0×10^{-4}
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว(II) (mg L^{-1})	0.10, 0.30, 0.50 และ 0.70
อัตราเร็วในการไหล (mL min^{-1}) ของ	
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก(ตัวชะ)	2.2
สารละลายบัฟเฟอร์	0.9
สารละลาย PAR	0.8
สารละลายตะกั่ว(II)	2.0
Reaction coil (เส้นผ่าศูนย์กลาง/ความยาว) (mm)	
RC1	1.0/400
RC2	0.7/300
ขนาดของคอลัมน์ (cm)	
เส้นผ่าศูนย์กลาง	0.10
ความยาว	1.30

1. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการผ่านสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) เข้าสู่คอลัมน์ในช่วงเวลา 60-300 วินาที เพื่อให้ได้เวลาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดลอง แสดงดังภาพ 4 โดยใช้อัตราเร็วในการไหลของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที

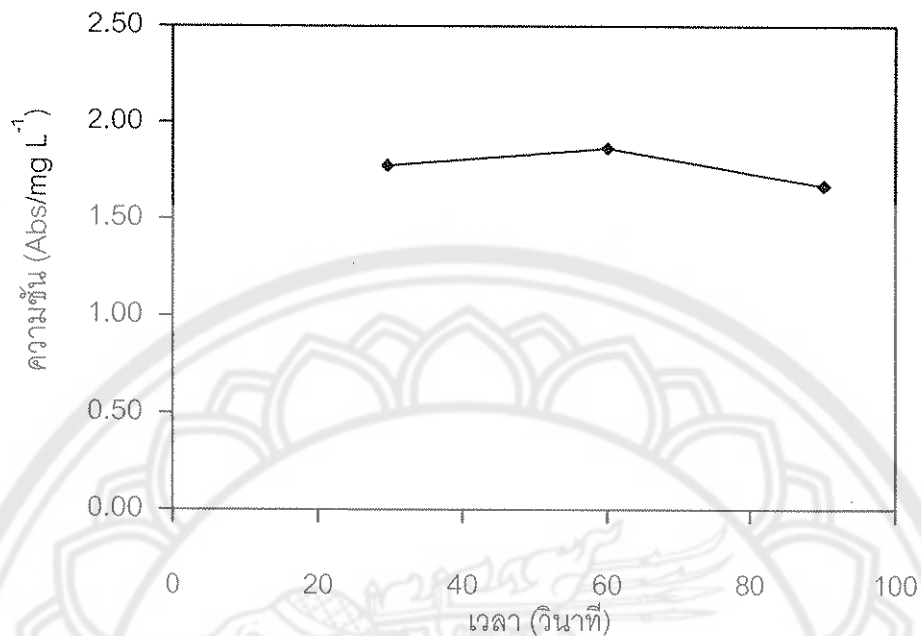


ภาพ 4 เวลาที่ใช้ในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA พบว่าเวลา 210 วินาที เป็นเวลาที่ให้ค่าความเข้มข้นมากที่สุด แสดงถึงการมี sensitivity ที่ดีในการวิเคราะห์และเหมาะสมที่สุด ถ้าใช้ระยะเวลาในการผ่านสารตัวอย่างนานเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานและสิ้นเปลืองรีเอเจนต์ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเลือกใช้เวลา 210 วินาทีเป็นเวลาที่ผ่านสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์

2. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการชะ

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการชะสารละลายตัวอย่างตะกั่ว(II) ที่จับอยู่กับเรซินภายในคอลัมน์ให้หลุดออกมา โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.20 mol L^{-1} ที่มีอัตราเร็วในการไหล 2.2 mL min^{-1} เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีและไม่สิ้นเปลืองรีเอเจนต์มากเกินไป ผลการทดลองที่ได้แสดงดัง ภาพ 5

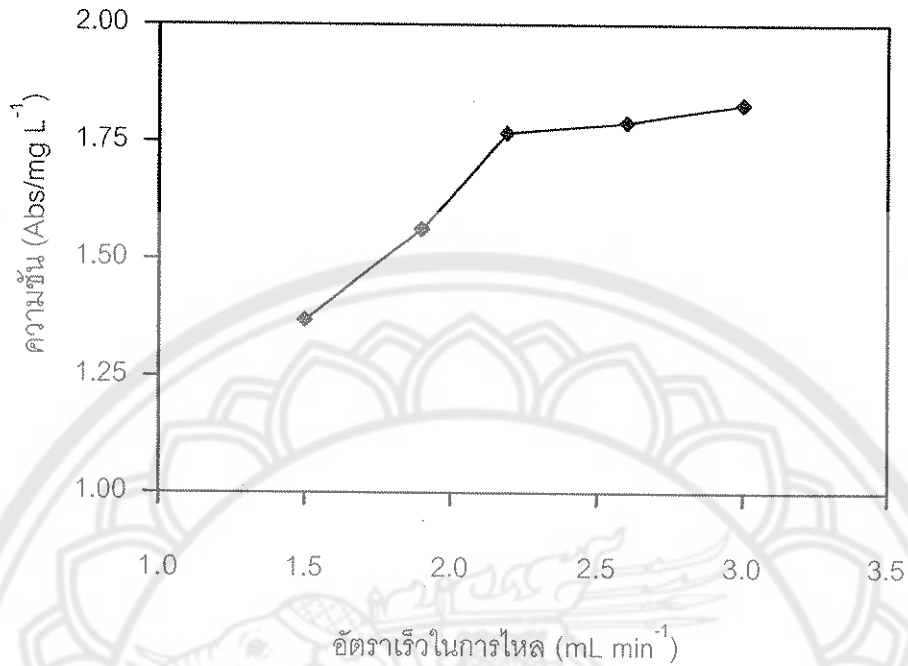


ภาพ 5 เวลาที่เหมาะสมสำหรับการชะสลายตัวอย่างตะกั่ว(II) ออกจากคอลัมน์

จากการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการชะสลายตัวอย่างตะกั่ว(II) ออกจากคอลัมน์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณ พบว่าเวลาที่เหมาะสมและให้ sensitivity ที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ คือ 60 วินาที เนื่องจาก ถ้าใช้เวลาในการชะสลายตะกั่ว(II) น้อยกว่า 60 วินาที สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะพาสารละลายตัวอย่างตะกั่วออกมาเร็ว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเวลาในการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างตะกั่ว(II) กับ PAR เกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควรหรือสารอาจจะยังไม่ทันทำปฏิกิริยากันก็ถูกนำเข้าสู่เครื่องตรวจวัดจึงทำให้สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อย แต่ถ้าใช้เวลาในการชะมากกว่า 60 วินาที สารละลายตัวอย่างตะกั่ว(II) ที่ชะออกมาอาจจะไหลออกไปสู่เครื่องตรวจวัดก่อนที่เครื่องจะทำการตรวจวัดทำให้สัญญาณในการวิเคราะห์ลดลง ดังนั้น เวลาในการชะ 60 วินาที เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการชะสลายตัวอย่างตะกั่ว(II) ออกจากคอลัมน์

3. การศึกษาอัตราเร็วในการไหลของสารตัวอย่าง

ทำการศึกษาอัตราเร็วในการพาสารละลายตัวอย่างตะกั่ว(II) เข้าสู่คอลัมน์ โดยทำการเปลี่ยนอัตราเร็วในการไหลของสารตัวอย่างโดยการเปลี่ยนความเร็วของปั๊มปีจาก 50-90 รอบต่อนาที ผลการทดลองที่ได้แสดงดัง ภาพ 6

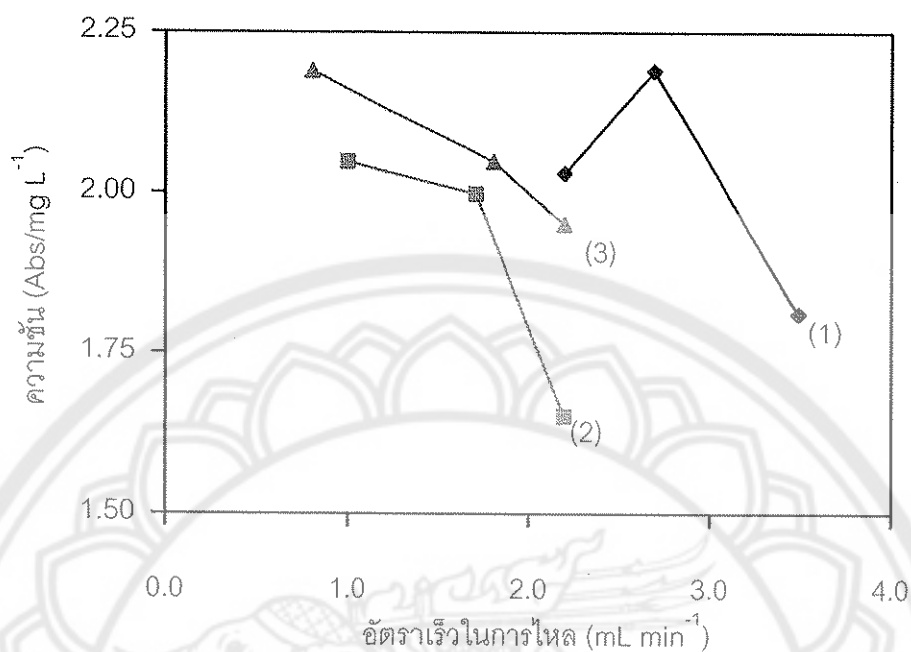


ภาพ 6 อัตราเร็วในการไหลของสารละลายตัวอย่างตะกั่ว (II) ผ่านคอลัมน์ขนาดเล็ก

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการไหลจาก 1.5 ถึง 2.2 mL min⁻¹ จะทำให้ sensitivity ที่ได้ในการวิเคราะห์สูงขึ้น แต่เมื่ออัตราเร็วในการไหลมากกว่า 2.2 mL min⁻¹ ส่งผลให้ค่า sensitivity มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากเรซินที่บรรจุในคอลัมน์ปริมาณเท่ากัน เมื่อปริมาณตะกั่ว(II) เพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับตะกั่ว(II) ของเรซินมีจำกัดจึงทำให้สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงเลือกใช้อัตราเร็วในการไหลที่ 2.2 mL min⁻¹ เป็นอัตราเร็วในการไหลที่เหมาะสมสำหรับพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์

4. การศึกษาอัตราเร็วในการไหลของสารละลายรีเอเจนต์และบัฟเฟอร์

การศึกษาอัตราเร็วในการไหลของสารละลายรีเอเจนต์และบัฟเฟอร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาของสารและมีผลต่อการแพร่กระจายตัวของสาร ซึ่งอัตราการไหลที่เหมาะสมจะทำให้สารสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ดี และให้ sensitivity ในการวิเคราะห์สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาอัตราการไหลของสารละลายรีเอเจนต์และบัฟเฟอร์ โดยการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อสารละลายรีเอเจนต์และบัฟเฟอร์ที่ขนาดต่าง ๆ กัน และควบคุมอัตราเร็วการหมุนปั๊ม 80 รอบต่อนาที ผลการทดลองที่ได้ดัง ภาพ 7

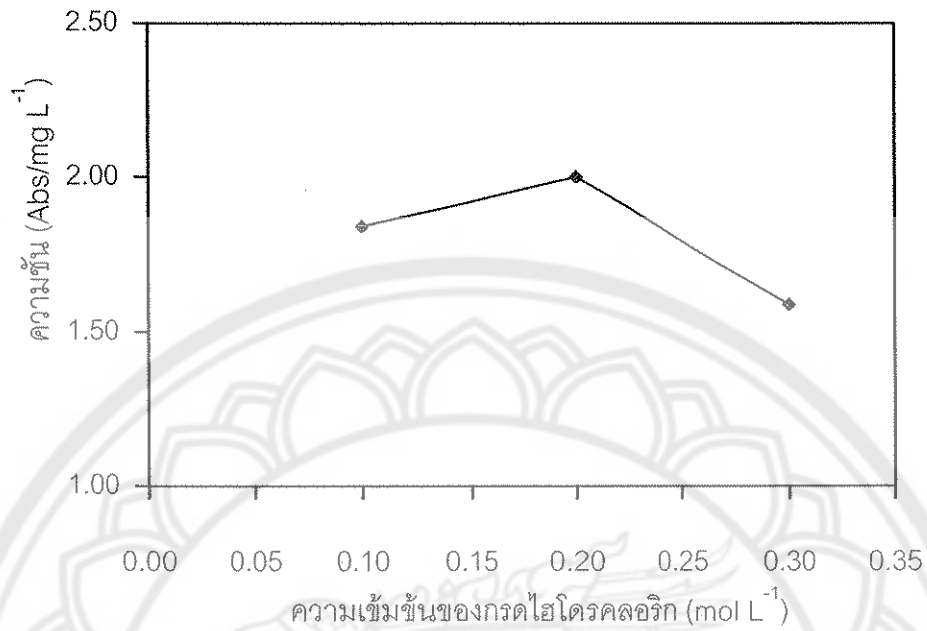


ภาพ 7 อัตราเร็วในการไหลของ 1) HCl 2) buffer และ 3) 4-(2-pyridylazo resorcinol monosodium hydrate (PAR)

จากการศึกษาพบว่าอัตราเร็วในการไหลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก สารละลายบัฟเฟอร์และสารละลาย PAR ที่เหมาะสม คือ 2.7, 1.0 และ 1.8 mL min⁻¹ ตามลำดับ เนื่องจากอัตราเร็วในการไหลดังกล่าวให้สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ดี เกิดการแพร่กระจายได้ปานกลาง ทำให้พีคที่ได้ฐานไม่กว้างเกินไป ไม่เกิดการแตกของพีค ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้อัตราเร็วในการไหลของสารละลายดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป

5. การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้เป็นตัวชะสารละลายตะกั่ว(II) เข้าสู่ระบบ FIA โดยเตรียมให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.10, 0.20 และ 0.30 mol L⁻¹ ผลการทดลองที่ได้แสดงดัง ภาพ 8

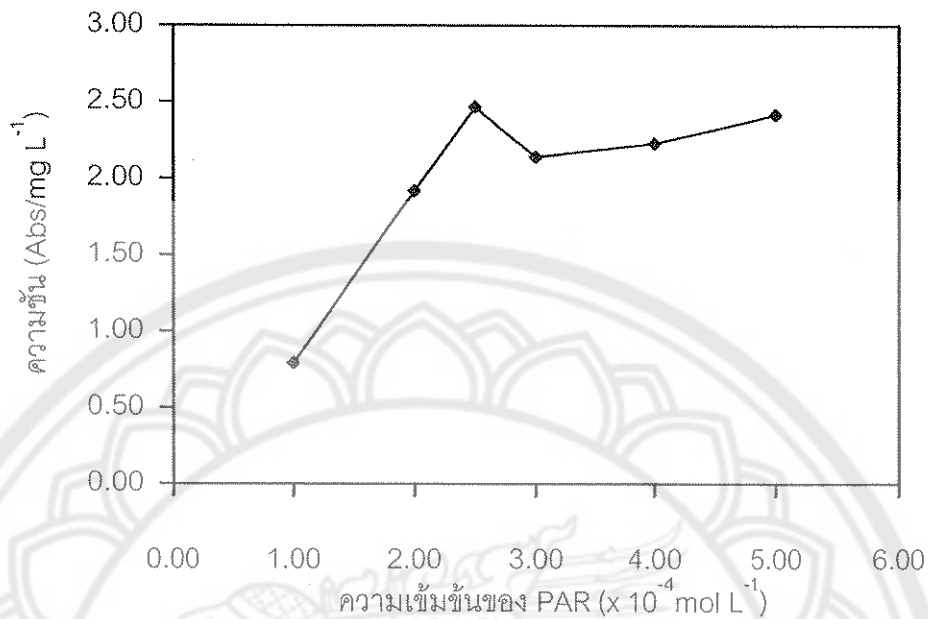


ภาพ 8 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II)

จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.20 mol L⁻¹ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากว่ามี sensitivity ในการวิเคราะห์สูง โดยเกิดจากการที่ sample zone กระจายตัวปานกลาง ทำให้ได้พีคที่มีลักษณะฐานไม่กว้างมากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ ซึ่งถ้าใช้ความเข้มข้นที่น้อยหรือมากกว่านี้ จะทำให้สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าลดลง ดังนั้น จึงเลือกความเข้มข้น 0.20 mol L⁻¹ ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในการทำการทดลอง เพื่อหาสถานะอื่น ๆ ต่อไป

6. การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ทำการศึกษาค้นหาความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่ใช้เป็นลิแกนด์กับสารละลายตะกั่ว โดยเตรียมสารละลาย PAR ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 1.00, 2.00, 2.50, 3.00, 4.00 และ 5.00 ($\times 10^{-4}$ mol L⁻¹) เพื่อศึกษาค้นหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่ว(II) ผลการทดลองที่ได้ แสดงดัง ภาพ 9



ภาพ 9 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II)

จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลาย PAR $3.00 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ โดยพิจารณาจากลักษณะพีคที่ได้มีความสมมาตรและไม่เกิดการแตกของพีค เนื่องจากลักษณะของ sample zone ที่ได้เกิดการกระจายตัวได้เหมาะสม และเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่านี้ จะเกิดการแตกของพีคขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลาย PAR ที่ความเข้มข้นนี้ในการศึกษาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป

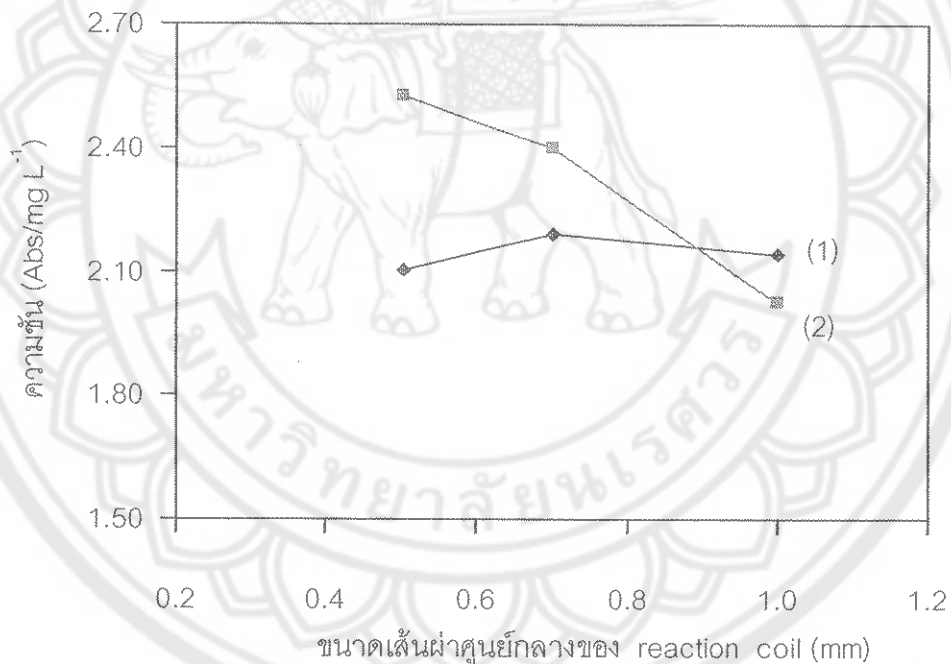
7. การศึกษาขนาดและความยาวของ reaction coil

ทำการศึกษานาณเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของ reaction coil 2 ส่วน คือ ส่วนแรก (RC1) เป็นจุดที่สารละลายบัฟเฟอร์และสารละลาย PAR เกิดการผสมกัน และในส่วนที่สอง (RC2) เป็นจุดที่สารละลายตะกั่ว(II) เกิดการผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลาย PAR แล้วไหลเข้าสู่ดีเทคเตอร์ โดยเริ่มจากการกำหนดให้ความยาวของ reaction coil คงที่ เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม จากนั้นทำการศึกษาโดยกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมที่ได้นั้นคงที่ เพื่อหาความยาวที่เหมาะสม ผลจากการศึกษาแสดงดัง ภาพ 10 และ 11

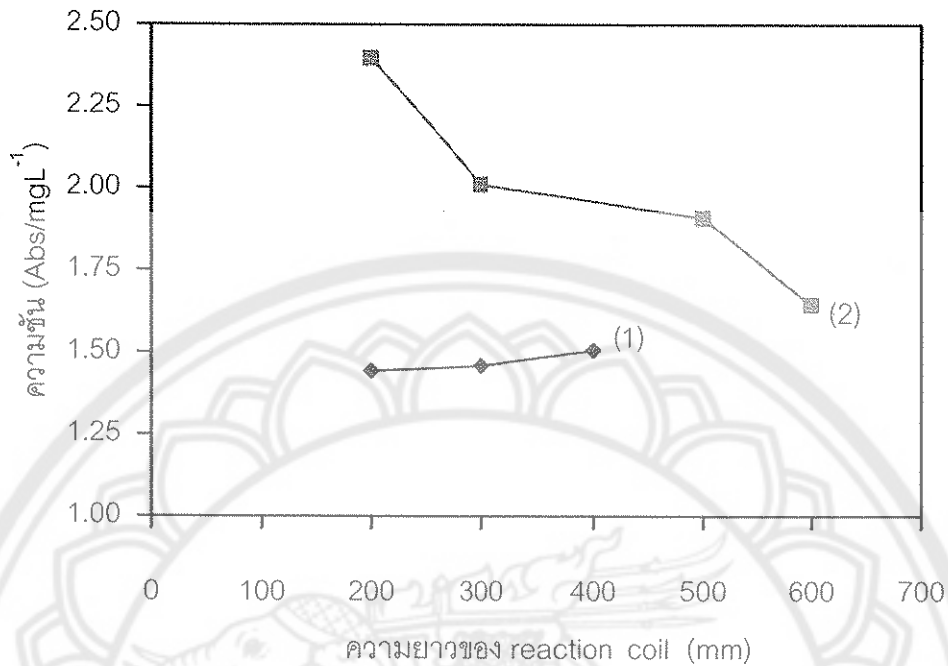
จากการศึกษานาณเส้นผ่านศูนย์กลางพบว่าทั้ง RC1 และ RC2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม คือ 0.7 mm เนื่องจากว่า sample zone เกิดการแพร่กระจายในระดับปานกลาง ทำให้มี sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดี โดยในการศึกษาความยาวของ RC1 ซึ่งเป็นจุดที่สารละลาย

บัพเฟอร์และสารละลาย PAR เกิดการผสมกัน พบว่าที่ความยาว 400 mm ให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม sensitivity ในการวิเคราะห์สูงที่สุด เกิดการแพร่กระจายได้เหมาะสม ฐานของพีคไม่กว้างเกินไป

ส่วนความยาวของ RC2 ที่เหมาะสม คือ 200 mm เนื่องจากสารละลายตะกั่ว (II) กับสารละลายผสมจาก RC1 สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ดี ทำให้สัญญาณการวิเคราะห์สูงที่สุด โดยเมื่อความยาว RC2 เพิ่มมากขึ้น สัญญาณการวิเคราะห์ที่ได้จะลดต่ำลง เพราะ sample zone เกิดการแพร่กระจายมาก ดังนั้น จึงเลือกใช้ความยาว RC1 และ RC2 เท่ากับ 400 และ 200 mm ตามลำดับ โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 mm ในการทำการทดลองเพื่อหาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป



ภาพ 10 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ reaction coil ที่เหมาะสม 1) RC1 เป็นจุดที่สารละลายบัพเฟอร์และสารละลาย PAR เกิดการผสมกัน 2) RC2 เป็นจุดที่สารละลายตะกั่ว (II) เกิดการผสมกับสารละลายบัพเฟอร์และสารละลาย PAR



ภาพ 11 ความยาวของ reaction coil ที่เหมาะสม 1) RC1 เป็นจุดที่สารละลายบัพเฟอร์และสารละลาย PAR เกิดการผสมกัน 2) RC2 เป็นจุดที่สารละลายตะกั่ว(II) เกิดการผสมกับสารละลายบัพเฟอร์และสารละลาย PAR

8. การศึกษาขนาดและความยาวของคอลัมน์

ทำการศึกษานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของคอลัมน์ที่ใช้ในการบรรจุเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เฮดี-4 สำหรับดูดซับสารละลายตะกั่ว(II) โดยใช้การเปลี่ยนขนาดและความยาวของคอลัมน์ทั้งหมด 4 คอลัมน์ ผลการทดลองดังตาราง 4

จากการศึกษานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของคอลัมน์ พบว่าเมื่อใช้คอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน คอลัมน์ที่มีขนาดยาวจะมีปริมาณของเรซินที่บรรจุภายในคอลัมน์มากกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับตะกั่วมากขึ้น ส่งผลให้มี sensitivity ที่สูงกว่าคอลัมน์ที่มีขนาดสั้น และถ้าใช้คอลัมน์ที่มีความยาวเท่ากันแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน เมื่อสารละลายตะกั่ว(II) ไหลผ่านคอลัมน์ในอัตราเร็วที่เท่ากันและภายในระยะเวลาเท่ากัน คอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า ถึงแม้จะมีปริมาตรคอลัมน์มากกว่าแต่ความสามารถในการดูดซับตะกั่ว(II) ใวนคอลัมน์ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ sensitivity ของการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน และถ้าใช้คอลัมน์ที่มีปริมาตรเท่ากันแต่มีขนาดสั้นลง พบว่าทำให้ sensitivity ในการวิเคราะห์ลดลง เนื่องจากคอลัมน์มีขนาดสั้นทำให้สารละลายตะกั่ว(II) ไหลผ่านคอลัมน์เร็วมากเกินไป โอกาสที่

ตะกั่วจะถูกดูดซับจึงลดลง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.10 cm ยาว 1.30 cm ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในระบบ FIA

ตาราง 4 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของคอลัมน์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว(II) ในระบบ FIA

เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในคอลัมน์ (cm)	ความยาวคอลัมน์ (cm)	Cell volume (cm ³)	ความชัน (Abs/mg L ⁻¹)
0.10	1.00	0.008	1.623
0.10	1.30	0.010	2.280
0.20	0.40	0.012	1.648
0.20	1.30	0.041	2.343

9. สภาพที่เหมาะสมของระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) แบบออนไลน์

จากการศึกษาในข้อ 1-8 สามารถสรุปผลการศึกษาสภาพที่เหมาะสมของระบบ FIA สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) แบบออนไลน์ โดยการต่อคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วย แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอที-4 เข้ากับระบบ ดังตาราง 5

ตาราง 5 สภาพที่เหมาะสมของระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) แบบออนไลน์

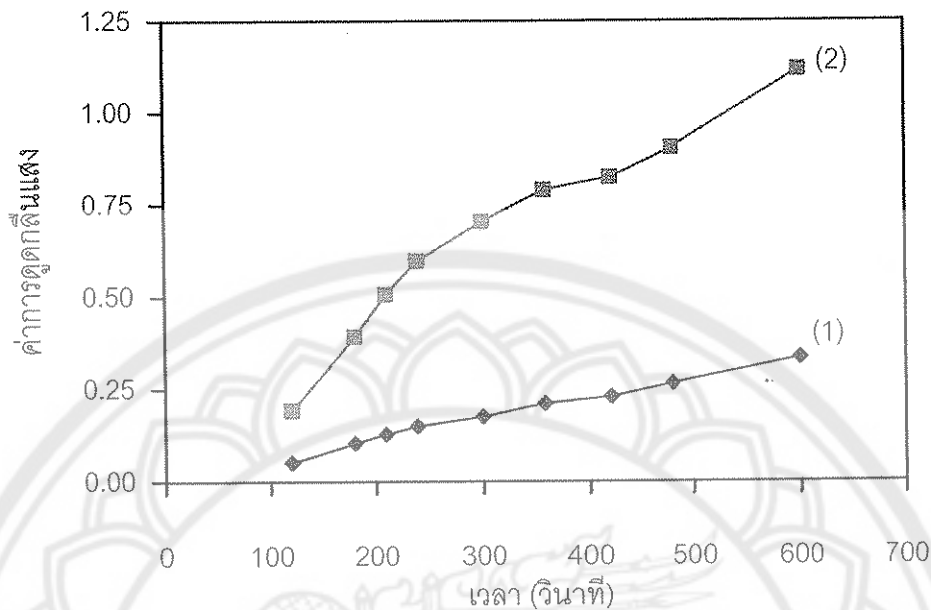
ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม
ความยาวคลื่น(nm)	523
เวลาในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ (วินาที)	210
เวลาในการชะสารตัวอย่าง (วินาที)	60
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (mol L ⁻¹)	0.20
สารละลายบัฟเฟอร์	pH 9

ตาราง 5(ต่อ)

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR (mol L^{-1})	3.0×10^{-4}
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (II) (mg L^{-1})	0.01, 0.05, 0.15, 0.25 และ 0.35
อัตราเร็วในการไหล (mL min^{-1}) ของ	
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก(ตัวชะ)	2.7
สารละลายบัฟเฟอร์	1.0
สารละลาย PAR	1.8
สารละลายตะกั่ว(II)	2.2
Reaction coil (เส้นผ่าศูนย์กลาง/ความยาว) (mm)	
RC1	0.7/400
RC2	0.7/200
ขนาดของคอลัมน์ (cm)	
เส้นผ่าศูนย์กลาง	0.10
ความยาว	1.30

10. การศึกษาความจุของคอลัมน์

การศึกษาความจุของคอลัมน์ โดยให้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) เข้มข้น 0.05 และ 0.20 mg L^{-1} ไหลผ่านคอลัมน์ ในช่วงเวลา 120-600 วินาที ก่อนทำการชะออก เพื่อบอกถึงปริมาณสูงสุดของตะกั่ว(II) ที่สามารถดูดซับอยู่ที่เรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์ไฮดี-4 ในคอลัมน์ที่มีขนาดเล็ก ได้ผลการทดลองแสดงดัง ภาพ 12



ภาพ 12 ความจุของคอลัมน์ โดยการทำให้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) เข้มข้น

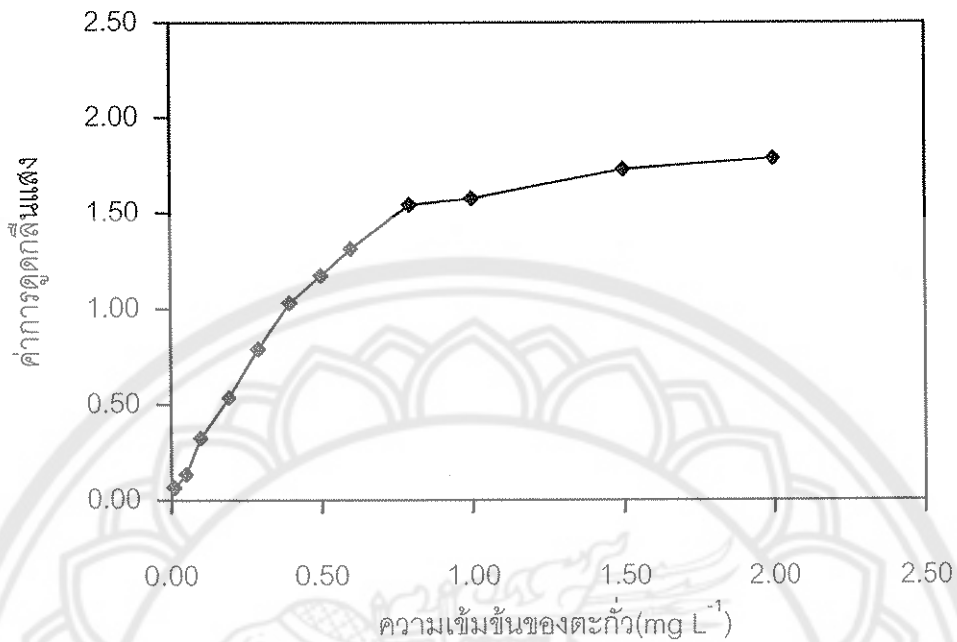
1) 0.05 mg L⁻¹ และ 2) 0.20 mg L⁻¹ ไหลผ่านคอลัมน์ ในช่วงเวลา 120-600 วินาที

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการผ่านสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่มีความเข้มข้น 0.05 และ 0.20 mg L⁻¹ เข้าสู่คอลัมน์มากขึ้น สัญญาณที่ได้ในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นและเมื่อเวลามากกว่า 360 วินาที สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณตะกั่ว (II) ที่ถูกดูดซับไว้ในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เฮด-4 ได้เท่ากับ 0.0007 และ 0.0026 mg ต่อน้ำหนักเรซิน 0.05 g ตามลำดับ (ดูการคำนวณในภาคผนวก ข)

ผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับบนเรซินแตกต่างกัน เนื่องจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกตะกั่วออกจากคอลัมน์ได้ไม่หมด เพราะความเข้มข้นตะกั่วมีค่าสูง ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงแตกต่างกัน

11. การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่สนใจในสารละลายตัวอย่าง ในการศึกษานี้ใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ช่วงความเข้มข้น 0.01-2.00 mg L⁻¹ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 5 ผลการทดลองที่ได้แสดงดัง ภาพ 13



ภาพ 13 ช่วงความเป็นเส้นตรง สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเตทราไซคลิน (II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์

จากผลการศึกษา พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานเตทราไซคลิน (II) ในระบบ FIA ที่พัฒนาขึ้นมี 2 ช่วง คือ 0.01-0.40 mg L⁻¹ และ 0.40-0.80 mg L⁻¹

12. การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือ

การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ ทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานเตทราไซคลิน (II) เดียวกันและทำการทดลองในสภาวะแบบเดียวกัน สำหรับการทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานเตทราไซคลิน (II) ที่มีความเข้มข้น 0.05 และ 0.25 mg L⁻¹ เข้าสู่ระบบ FIA โดยใช้สภาวะดังตาราง 5 ทำการทดลองในแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 10 ครั้ง ผลการทดลองดังตาราง 6

จากการทดลองพบว่าสารละลายมาตรฐานเตทราไซคลิน (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน ค่า %RSD ไม่แตกต่างกันมากนัก แม้ว่าที่ความเข้มข้น 0.05 mg L⁻¹ จะมี %RSD สูงกว่าความเข้มข้น 0.25 mg L⁻¹ เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ มีปริมาณไอออนของเตทราไซคลินที่ผ่านเข้าสู่คอลัมน์น้อยกว่าที่ความเข้มข้นสูง ๆ จึงทำให้ไอออนของเตทราไซคลินถูกดูดซับที่เรซินน้อยกว่า ทำให้สัญญาณในการวิเคราะห์มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ค่า %RSD ที่ได้สูงกว่าความเข้มข้น 0.25 mg L⁻¹ ความสามารถ

ในการทำซ้ำ (%Repeatability) เท่ากับ 2.74 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หมี
ความแม่นยำสูง

ตาราง 6 ความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA
แบบออนไลน์

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ความเข้มข้น 0.05 mg L ⁻¹	ความเข้มข้น 0.25 mg L ⁻¹
1	0.182	0.682
2	0.192	0.676
3	0.186	0.679
4	0.197	0.676
5	0.188	0.713
6	0.196	0.696
7	0.189	0.702
8	0.190	0.684
9	0.178	0.705
10	0.178	0.724
\bar{x}	0.188	0.694
SD	0.006	0.016
%RSD	3.19	2.30
%Repeatability	2.74	

หมายเหตุ : \bar{x} = ค่าการดูดกลืนแสง, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, %RSD = ค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานสัมพัทธ์, %Repeatability = ความสามารถในการทำซ้ำ

13. การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

เป็นการศึกษาความแม่นยำที่เกี่ยวข้องกับผู้ทำการทดลองและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่ความเข้มข้น 0.05 mg L^{-1} และ 0.25 mg L^{-1} ความเข้มข้นละ 3 ขวด จากนั้นผ่านสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ FIA ทำซ้ำขวดละ 10 ครั้ง โดยใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 5 ได้ผลการทดลองดังตาราง 7

ตาราง 7 ความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์

ขวดที่	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย (n=10)	
	ความเข้มข้น 0.05 mg L^{-1}	ความเข้มข้น 0.25 mg L^{-1}
1	0.188	0.637
2	0.170	0.674
3	0.170	0.694
\bar{x}	0.176	0.668
SD	0.010	0.029
%RSD	5.68	4.34
%Accuracy	5.01	

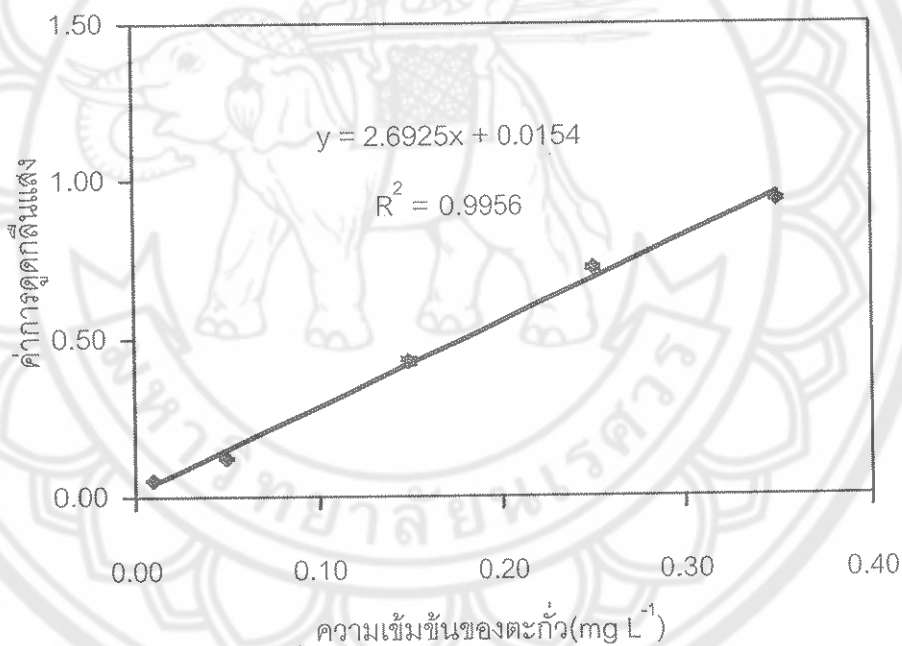
หมายเหตุ : \bar{x} = ค่าการดูดกลืนแสง, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน,

%RSD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์, %Accuracy = %ความถูกต้อง

จากการทดลองพบว่า เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณในการวิเคราะห์เท่ากับ 0.176 และ 0.668 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.010 และ 0.029 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 5.68 และ 4.34 สำหรับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ความเข้มข้น 0.05 mg L^{-1} และ 0.25 mg L^{-1} เมื่อดำเนินการหา %ความถูกต้อง (%Accuracy) เท่ากับ 5.01 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์สูง

14. การทำกราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานเป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่ได้ โดยกราฟมาตรฐานที่ได้จะสามารถใช้ได้เฉพาะในการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เนื่องจากในการวิเคราะห์แต่ละวิธีหรือแต่ละเครื่องมือ จะมีช่วงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพราะตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองอาจมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์ การทำกราฟมาตรฐานทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.15, 0.25 และ 0.35 mg L⁻¹ ผ่านเข้าสู่ระบบเพื่อดูความสัมพันธ์ของสัญญาณในการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงดัง ภาพ 14



ภาพ 14 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์

15. การศึกษาขีดจำกัดในการวิเคราะห์

ทำการศึกษาขีดจำกัดของการหาปริมาณตะกั่ว(II) โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) ความเข้มข้น 0.05 mg L⁻¹ แล้วผ่านสารละลายเข้าสู่ระบบ FIA จำนวน 10 ครั้ง โดยใช้สภาวะดังตาราง 5 ผลการทดลองที่ได้ แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 ซีดจำกัดในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.182	6	0.196
2	0.192	7	0.189
3	0.186	8	0.190
4	0.197	9	0.178
5	0.188	10	0.178
\bar{x}		0.188	
SD		0.006	
%RSD		3.19	

จากการทดลองพบว่าค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ $7 \mu\text{g L}^{-1}$ (ดูการคำนวณในภาคผนวก ค) แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว(II) สามารถตรวจวัดได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ

16. การศึกษาผลจากสารปนเปื้อน

ทำการศึกษามลของโลหะไอออนชนิดอื่น ๆ คือ Zn(II), Cd(II), Mn(II), Fe(II), Ca(II) และ Cu(II) ที่อาจมีผลในการเพิ่มหรือลดสัญญาณที่ได้จากไอออนของตะกั่วที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 0.25 mg L^{-1} ในทุก ๆ ชนิด และให้มีสารละลายมาตรฐานของไอออนโลหะทั้ง 6 ชนิด ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ผ่านเข้าไปในระบบ FIA ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 9

จากการศึกษาพบว่า เมื่อผ่านสารละลายตะกั่วที่มีไอออนของโลหะชนิดอื่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เข้าไปในคอลัมน์ส่วนใหญ่แล้วทำให้สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ส่งผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่แท้จริง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำมากขึ้นและลดผลกระทบจากสารปนเปื้อน ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) จากน้ำตัวอย่างจริง จึงใช้วิธี Standard addition

ตาราง 9 ผลกระทบจากสารปนเปื้อนไอออนโลหะอื่น ๆ ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (II)

ชนิดของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (II) : ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ค่าการดูดกลืนแสง	% Deviation
Zn (II)	0.25 : 0	0.715	-
	0.25 : 0.01	0.832	-16.36
	0.25 : 0.05	1.040	-45.45
	0.25 : 0.10	1.129	-57.90
	0.25 : 0.30	1.653	-131.19
	0.25 : 0.50	1.852	-159.02
Cd (II)	0.25 : 0	0.752	-
	0.25 : 0.01	0.839	-12.17
	0.25 : 0.05	1.354	-84.20
	0.25 : 0.10	1.249	-69.51
	0.25 : 0.30	0.891	-19.44
	0.25 : 0.50	0.582	23.78
Mn (II)	0.25 : 0	0.752	-
	0.25 : 0.01	1.178	-59.58
	0.25 : 0.05	1.004	-35.24
	0.25 : 0.10	0.715	5.17
	0.25 : 0.30	0.437	44.06
	0.25 : 0.50	0.366	53.99
Fe (II)	0.25 : 0	0.878	-
	0.25 : 0.01	0.771	14.97
	0.25 : 0.05	0.942	-8.95
	0.25 : 0.10	1.204	-45.59
	0.25 : 0.30	1.553	-94.41
	0.25 : 0.50	1.476	-83.64

ตาราง 9 (ต่อ)

ชนิดของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (II) : ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ค่าการดูดกลืนแสง	% Deviation
Ca (II)	0.25 : 0	0.878	-
	0.25 : 0.01	0.565	43.78
	0.25 : 0.05	0.605	38.18
	0.25 : 0.10	0.565	43.78
	0.25 : 0.30	0.682	27.41
	0.25 : 0.50	0.585	40.98
Cu (II)	0.25 : 0	0.878	-
	0.25 : 0.01	0.864	1.96
	0.25 : 0.05	1.086	-29.09
	0.25 : 0.10	1.015	-19.16
	0.25 : 0.30	0.656	31.05
	0.25 : 0.50	0.668	29.37

17. การศึกษาค่าความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น

ทำการศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ด้วยวิธี standard addition โดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์เข้มข้น 0.10 mg L^{-1} นำมาเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.15, 0.25 และ 0.35 mg L^{-1} ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 10

จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการคืนกลับของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) มีค่าเท่ากับ 104 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 5.13 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 4.93 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว นั้น มีค่าความถูกต้องสูง

ตาราง 10 ความถูกต้องของร้อยละการคืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์ (ดูการคำนวณในภาคผนวก ง)

สารตัวอย่างชนิดที่	ความเข้มข้น (mg L ⁻¹)		% recovery
	Added	Detected*	
1	0	0.10	-
2	0.05	0.15	100
3	0.10	0.20	100
4	0.15	0.26	107
5	0.25	0.38	112
6	0.35	0.46	103
\bar{x}		104	
SD		5.13	
% RSD		4.93	

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ยจากการทำการทดลอง 3 ครั้ง \bar{x} = % recovery โดยเฉลี่ย,
SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, % RSD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

18. การศึกษา Preconcentration factor

ทำการศึกษาค่า Preconcentration factor เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบออนไลน์กับแบบธรรมดาที่มีผู้ได้ทำการทดลองไว้แล้ว [สุรรัตน์,2549]

จากการศึกษาพบว่า ในงานวิจัยการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) แบบธรรมดา กราฟมาตรฐาน คือ $y = 0.2910x + 0.0541$, $R^2 = 0.9902$ [สุรรัตน์,2549] แต่ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) แบบออนไลน์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 5 มีกราฟมาตรฐาน คือ $y = 2.6925x + 0.0154$, $R^2 = 0.9956$ (ดังภาพ 14) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) แบบออนไลน์มีค่า Preconcentration factor กับ 9.3 [Eder, 2005] แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถเพิ่มความ

เข้มข้นของตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่ำได้ถึง 9.3 เท่า เพื่อให้สามารถทำการตรวจวัดแล้วได้สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ดีขึ้น

19. การศึกษาอัตราเร็วในการวิเคราะห์ (sample throughput)

การศึกษาอัตราเร็วในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ทำได้โดยการจับเวลาตั้งแต่สารตัวอย่างผ่านเข้าสู่ระบบ FIA จนกระทั่งเกิดพีค โดยใช้สภาวะการทดลองดังตาราง 5

จากการทดลองพบว่าสารละลายตัวอย่าง 1 ตัวอย่างใช้ระยะเวลารวมในการเพิ่มความเข้มข้นจนกระทั่งเกิดพีค เท่ากับ 219 วินาที ดังนั้น อัตราเร็วในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในระบบ FIA แบบออนไลน์ เท่ากับ 16 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

20. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำตัวอย่าง ที่เก็บจากแหล่งน้ำรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรจำนวน 5 แห่ง (ดูแผนที่ในภาคผนวก ก) ระหว่างวันที่ 13-19 ธันวาคม 2549 โดยใช้ระบบ FIA แบบออนไลน์ สภาวะการทดลองดังตาราง 5 และเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี (FAAS) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำธรรมชาติจากแหล่งต่าง ๆ แสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยระบบ FIA แบบออนไลน์และเทคนิค FAAS

แหล่งที่	ความเข้มข้นของตะกั่ว* (mg L ⁻¹)	
	FIA	FAAS
1	0.131	0.045
2	0.096	0.034
3	0.066	0.051
4	0.070	0.038
5	0.033	0.037

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำธรรมชาติ โดยระบบ FIA แบบออนไลน์ พบว่ามีปริมาณตะกั่ว(II) อยู่ในช่วง 0.033-0.131 mg L⁻¹ ส่วนเทคนิคเฟลลอะตอมมิคแอนซอพชั่นสเปคโตรโฟโตเมตรี (FAAS) พบปริมาณตะกั่ว อยู่ในช่วง 0.034-0.051 mg L⁻¹ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี โดยใช้การทดสอบแบบที (ดังภาคผนวก ฉ) จะได้ค่า t ในการคำนวณเท่ากับ 2.36 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า t จากตาราง t (2.78) [ศุภชัย, 2546] ที่ระดับความมั่นใจ 95% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี

จากมาตรฐานกำหนดสำหรับผู้บริโภคน้ำ กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในน้ำได้ไม่เกิน 0.05 mg L⁻¹ [กรมควบคุมมลพิษ, 2549] ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ที่นำมาทำการศึกษา พบว่าปริมาณตะกั่วเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ เนื่องจากอยู่ใกล้พื้นที่ทำการเกษตร และแหล่งชุมชน จึงทำให้ตะกั่วเกิดการปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำต่าง ๆ มากเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่วเป็นพิษต่อร่างกายทางด้านระบบ คือ ระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทส่วนรอง ระบบเลือดและไต ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป หรือเกิดการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นเวลานาน

บทที่ 5

บทสรุป

ทำการศึกษาและพัฒนาระบบ FIA สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบออนไลน์ โดยต่อคอลัมน์ที่มีขนาดเล็กที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เฮด-4 เข้ากับระบบ FIA เพื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II) และมียูวีวิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจจับ ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในระบบ FIA นั้นต้องทำการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลกับการทดลอง และเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินหาสภาวะที่เหมาะสม คือ ค่าความชันที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และคุณลักษณะอื่นที่ดีประกอบด้วย จากนั้นทำการศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ความจุของคอลัมน์ ช่วงความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำของเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ผลจากสารปนเปื้อน ค่าความถูกต้องในรูปของร้อยละการคืนกลับ ค่า preconcentration factor อัตราเร็วในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสม และคุณลักษณะของการวิเคราะห์ที่ได้ดังตาราง 25

ในการศึกษากราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว(II)ที่มีความเข้มข้น 0.01-0.35 mg L⁻¹ ได้สมการเส้นตรงดังนี้ $y = 2.6925x + 0.0154$, $R^2 = 0.9956$ นอกจากนี้ได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ด้วยวิธี Standard addition พบว่ามีปริมาณตะกั่ว(II) อยู่ในช่วง 0.033-0.131 mg L⁻¹ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างในเทคนิคโฟลอินเจกชันอะนาลิซิสกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้การทดสอบแบบที (ดังภาคผนวก ข) จะได้ค่า t ในการคำนวณเท่ากับ 2.36 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า t จากตาราง t ที่ระดับความมั่นใจ 95% (t = 2.78) [ศุภชัย, 2546] พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี

ตาราง 12 ลักษณะทางการวิเคราะห์สำหรับการหาปริมาณตะกั่วที่พัฒนาขึ้น

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม
ความยาวคลื่น(nm)	523
เวลาในการผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ (วินาที)	210
เวลาในการชะสารตัวอย่าง (วินาที)	60
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (mol L^{-1})	0.20
สารละลายบัฟเฟอร์	pH 9
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR (mol L^{-1})	3.0×10^{-4}
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว(II) (mg L^{-1})	0.01, 0.05, 0.15, 0.25 และ 0.35
อัตราเร็วในการไหล (mL min^{-1}) ของ	
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก(ตัวชะ)	2.7
สารละลายบัฟเฟอร์	1.0
สารละลาย PAR	1.8
สารละลายตะกั่ว(II)	2.2
Reaction coil (เส้นผ่าศูนย์กลาง/ความยาว) (mm)	
RC1	0.7/400
RC2	0.7/200
ขนาดของคอลัมน์ (cm)	
เส้นผ่าศูนย์กลาง	0.10
ความยาว	1.30
ช่วงความเป็นเส้นตรง (mg L^{-1})	0.01-0.40 และ 0.40-0.80
ค่าความชัน	2.6925
ค่าความถูกต้อง (%Accuracy)	5.01
ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (%Repeatability)	2.74
ค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	7
ค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	104
Preconcentration factor	9.3
อัตราเร็วในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (h^{-1})	16

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้คอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอ ดี-4 ต่อเข้ากับระบบ FIA แบบออนไลน์ สามารถทำการวิเคราะห์ตะกั่วได้ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำได้ถึง $7 \mu\text{g L}^{-1}$ และให้ sensitivity ในการวิเคราะห์สูง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการกรองน้ำตัวอย่างที่นำมาทดลอง เพื่อไม่ให้สารแขวนลอยอุดตันคอลัมน์และ วาล์วของระบบ FIA ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องมือ และผลของการวิเคราะห์ได้
2. ควรทำการตรวจสอบอัตราเร็วในการไหลของสารละลายในแต่ละท่อก่อนการทดลองทุกครั้ง เพื่อให้มีอัตราเร็วในการไหลคงที่
3. ควรทำการแช่เรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอ ดี-4 ที่เตรียมไว้ในน้ำกลั่นเสมอ เพื่อไม่ให้เรซินแห้ง เพราะอาจส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วได้
4. ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วอาจจะต้องทำการแยกโลหะชนิดอื่น ๆ ออกจากน้ำ ตัวอย่าง โดยอาจจะเปลี่ยนชนิดของสารรีเอเจนต์ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เพื่อลดผลจากสารปนเปื้อนก่อนนำไปวิเคราะห์
5. ในการใช้คอลัมน์ต่อเข้ากับระบบ FIA อาจทำการเปลี่ยนชนิดของเรซินหรือตัวดูดซับชนิดอื่น ๆ มาใช้ในการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ.(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). มาตรฐานคุณภาพน้ำ. สืบค้นเมื่อวันที่

25 ตุลาคม 2549 . จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html

การประปานครหลวง.(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). สถานการณ์น้ำ. สืบค้นเมื่อวันที่

27 ตุลาคม 2549. จาก <http://www.pwa.co.th/document/watersituation.html>

กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักงาน กทม. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). ตะกั่ว. สืบค้นเมื่อ

วันที่ 25 ตุลาคม 2549 .จาก <http://www.school.net.th/library/snet6/envi3/monpita/lead.htm>

จุลสารศูนย์ข้อมูล คปอส. ตะกั่ว . (เมษายน - กันยายน 2535) ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 :7 - 79.

ชัยยุทธ ช่างสารและเลิศณรงค์ ศรีพนม. (2543). เคมีประยุกต์. กรุงเทพฯ: หจก.เม็ดทรายพรีนติ้ง.

มันสิน ตันทุลเวศน์และมันรัก ตันทุลเวศน์. (2545). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.

พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มลิวรรณ บุญเสนอ. (2545). พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม :

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). ตะกั่ว. สืบค้นเมื่อวันที่

5 พฤศจิกายน 2549. จาก <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Pb.html>

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). โลหะวิทยาเบื้องต้น. สืบค้น

เมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน 2549. จาก <http://mylesson.swu.ac.th/line221/untitled2/lesson2-7.htm>

ปิยะรัตน์ ไตสุโขวงศ์. การเป็นพิษจากสารตะกั่ว. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่)

สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2549. จาก <http://cai.md.chula.ac.th>.

</lesson/lesson4613/lesson/main03.html>.

ทวีวงศ์ ศรีบุรี การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม , (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ :

สำนักพิมพ์มายด์ พับลิชชิง จำกัด กรุงเทพฯ ฯ , 2541.

- ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. (2546). **เคมีวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์ข้อมูล คอปส.(2535). "ตะกั่ว". **จุลสารศูนย์ข้อมูล คอปส. ปีที่ 2 ฉบับที่ 2** (เมษายน - กันยายน 2535) : 7 – 79.
- สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเรื่อง Flow Injection Analysis Part1. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุวีรัตน์ แสงอุทัย. (2549). "การเพิ่มความเข้มข้นและการหาปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติโดยวิธีโฟลอินเจกชันอะนาลิซิสร่วมกับวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- องค์การจจัดการน้ำเสีย. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). **ปัญหาน้ำเสีย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2549 . จาก <http://www.wma.mnre.go.th>
- Di Nezio M. S., Palomeque M.E.& Beatriz S. (2004). "A sensitive spectrophotometric method for lead determination by flow injection analysis with on-line preconcentration." *Talanta*. 63 : 405–409.
- Eder J. S., Amanda B.H., Aderson S.R. & Adilson Jose C. (2005). "Determination of Cd in biological samples by Flame AAS following on-line preconcentration by complexation with O,O-diethyldithiophosphate and solid phase extraction with Amberlite XAD-4." *Talanta*. 65: 593-597.
- Elci L., Arslan Z.& Tyson J.F.(2002). " Flow injection solid phase extraction with chromosorb 102 : determination of lead in soil and water by Flame Atomic Absorption ." *Spectrochim.Acta.Part B*. 55: 1109-1116.
- Gladis, J.M. and Rao, T.P. *Anal. Bioanal Chem.*, 2002, 373, 867-872.
- Hirata S.,Yoshihara H. & Aihar M. (1999). "Determination of Iron(II) and total Iron in environmental water sample by flow injection analysis with column preconcentration and determination of metal ions in with sample by Flame Atomic Absorption Spectrometry." *Talanta*. 43 : 1059-1067.
- Rohm and Hass company. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). **Amberlite XAD4**. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2549 . จาก <http://www.ionexchanger.com/Pharmaceuticals/>

Bioprocessing_doc/us_english/xad4.pdf

Tewari P.K. & Singh A.K. (2001). " Synthesis Characterization and Application of Pyrocatechol modified Amberlite XAD-2 resin for Preconcentration and Determination of metal ions in water sample by Flame Atomic Absorption Spectrometry." *Talanta*. 53 : 823-833.

Tewari P.K. & Singh A.K. (2002). "Amberlite XAD-7 impregnated with Xylénol Orange: a chelating collector for preconcentration of Cd(II), Ni(II), Zn(II), and Fe(II) ions prior to their determination by Flame Atomic Absorption." *Talanta*. 56 : 735-744.

Uzun, A. , Soylak, M. and Elci, L. *Talanta*, 2001, 54, 197-202.

Yebra, M.C., Salgado, J., Puig L. and Monreno-Cid, A. *Anal. Bioanal Chem.*, 2002, 374, 530-534.

Zachariadis G.A , Anthemidis A.N., Bettas P.G. & Stratis J.A. (2002). "Determination of lead by on- line solid phase extraction using PTFE microcolumn and Flame Atomic Absorption." *Talanta*. 57 : 919-927.



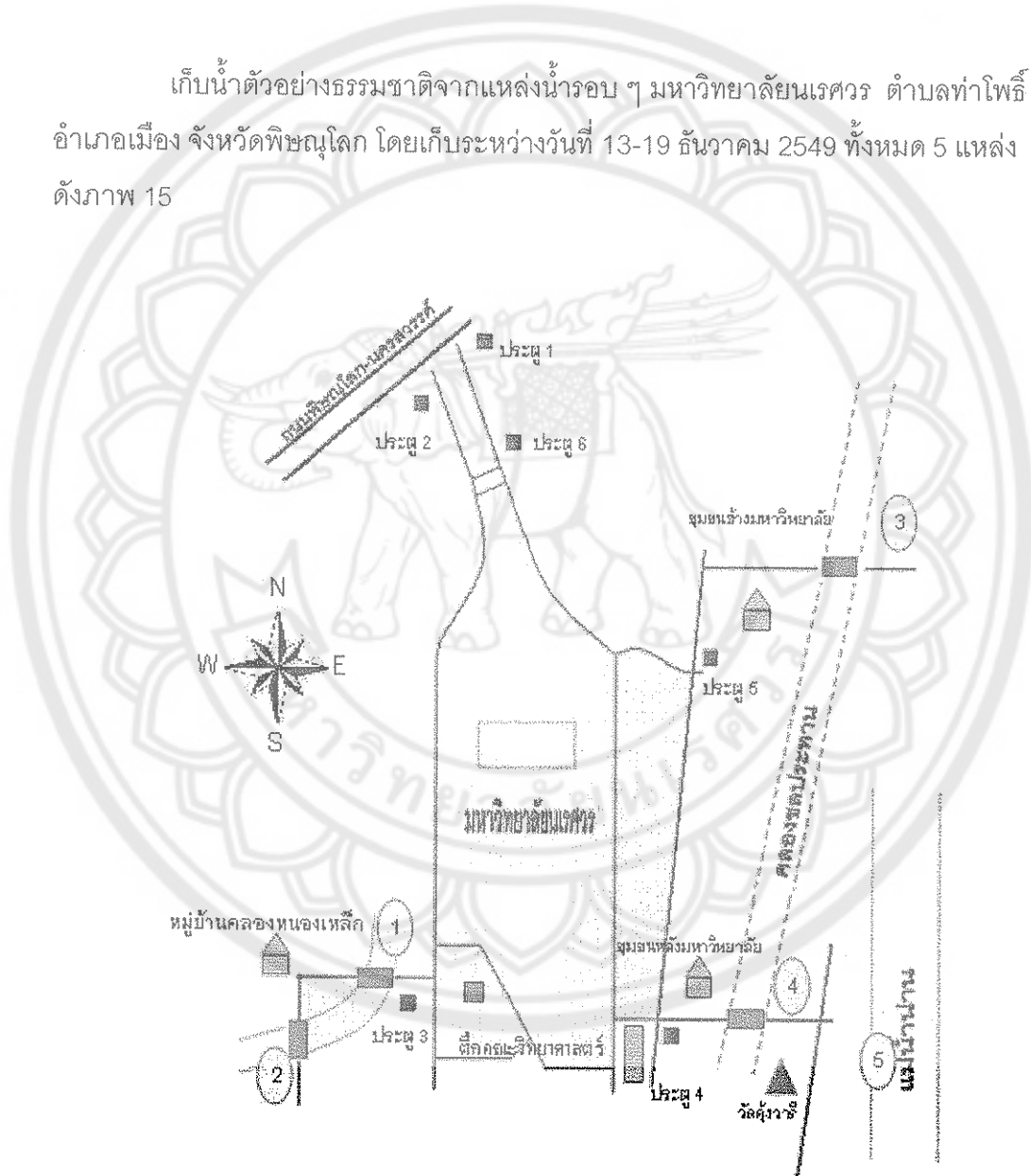




ภาคผนวก ก

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง

เก็บน้ำตัวอย่างธรรมชาติจากแหล่งน้ำรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยเก็บระหว่างวันที่ 13-19 ธันวาคม 2549 ทั้งหมด 5 แหล่ง ดังภาพ 15



ภาพ 15 แผนที่สถานที่เก็บน้ำตัวอย่างรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่างทั้งหมด 5 แห่ง มีดังนี้

แหล่งที่ 1 คือ คลองหนองเหล็ก บริเวณสะพานนอกหมู่บ้านคลองหนองเหล็ก

แหล่งที่ 2 คือ คลองหนองเหล็ก บริเวณสะพานในหมู่บ้านคลองหนองเหล็ก

แหล่งที่ 3 คือ คลองชลประทาน บริเวณสะพานข้างมหาวิทยาลัยนเรศวร

แหล่งที่ 4 คือ คลองชลประทาน บริเวณสะพานหลังมหาวิทยาลัยนเรศวร

แหล่งที่ 5 คือ แม่น้ำน่าน บริเวณหน้าวัดคู้งวารี





ภาคผนวก ข

การคำนวณความจุของคอลัมน์

จากการศึกษาความจุของคอลัมน์ โดยให้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (II) เข้มข้น 0.05 และ 0.20 mg L^{-1} ไหลผ่านคอลัมน์ในช่วงเวลา 120-600 วินาที ก่อนทำการชะออกโดยใช้ สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.20 mol L^{-1} พบว่า สัญญาณที่ได้ในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น และเมื่อเวลามากกว่า 360 วินาที สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถ คำนวณหาปริมาณตะกั่ว (II) ที่ถูกดูดซับที่เรซินในคอลัมน์ได้เท่ากับ 0.0007 และ 0.0026 mg ต่อน้ำหนักเรซิน 0.05 g ตามลำดับ

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความจุของคอลัมน์

ที่สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 0.05 mg L^{-1} อัตราเร็วในการไหล เท่ากับ 2.2 mL min^{-1}			
ที่เวลา 1 นาที	มีสารละลายมาตรฐานตะกั่วไหลผ่านคอลัมน์	2.2 mL	
ดังนั้น เมื่อเวลา 6 นาที	มีสารละลายมาตรฐานตะกั่วไหลผ่านคอลัมน์	$\frac{2.2 \times 6}{1} = 13.2 \text{ mL}$	
ในสารละลาย	1000 mL	มีปริมาณตะกั่ว	0.05 mg
ดังนั้น ถ้าในสารละลาย	13.2 mL	มีปริมาณตะกั่ว	$\frac{13.2 \times 0.05}{1000} = 0.0007 \text{ mg}$



ภาคผนวก ค

การคำนวณหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์

ขีดจำกัดของการวิเคราะห์สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$S_m = \bar{S}_{bl} + K S_{bl} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_m = \frac{S_m - \bar{S}_{bl}}{m} \dots\dots\dots (2)$$

- เมื่อ
- S_m = สัญญาณที่ต่ำที่สุดของการวิเคราะห์ที่สังเกตได้
 - \bar{S}_{bl} = ค่าเฉลี่ยของสัญญาณของความเข้มข้นที่ใช้วัด
 - S_{bl} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - K = 3 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)
 - m = ความชันของกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่าง การคำนวณขีดจำกัดของการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่ความเข้มข้น 0.05 mg L^{-1}

จากกราฟมาตรฐาน ภาพ 14 $y = 2.6925x + 0.0154$

จากข้อมูลตาราง 8 ได้ค่าต่าง ๆ ดังตาราง 13

ตาราง 13 ค่าการคำนวณขีดจำกัดของการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว

สัญลักษณ์	ค่าที่คำนวณได้
S_{bl}	0.006
\bar{S}_{bl}	0.188
S_m	0.206
m	2.6925
C_m	0.007

ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S_m = \bar{S}_{bl} + K S_{bl}$$

$$= 0.188 + (3 \times 0.006) = 0.206$$

$$C_m = \frac{S_m - \bar{S}_{bl}}{m}$$

$$C_m = \frac{0.206 - 0.188}{2.6925} = 7 \mu\text{g L}^{-1}$$

$$\text{Detection limit} = 7 \mu\text{g L}^{-1}$$

