



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยเฟสของแข็งและแบบดิสเพอซีฟ
ไมโครเอ็กซ์แทรกชันในการเพิ่มความเข้มข้นและหาปริมาณตะกั่ว
ในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยใช้เทคนิค
อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี

โดย

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ

พฤศจิกายน 2555

สัญญาเลขที่ R2554B075

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยเฟสของแข็งและแบบดิสเพอซีฟไมโครเอ็กซ์แทรกชัน
ในการเพิ่มความเข้มข้นและหาปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยใช้
เทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี

โดย

ผศ.ดร. จินตนา กล่ำเทศ

สังกัดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความสนับสนุนเงินทุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประจำปี 2554

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ

บทคัดย่อ

การพัฒนาตัวดูดซับโดยใช้แอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอที-4 เรซินเชื่อมต่อกับ 4-(2-ไพลีโดอะโซ) รีซอซินอล เพื่อนำไปประยุกต์ใช้หาปริมาณตะกั่วที่มีปริมาณน้อยในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมก่อนการวิเคราะห์ด้วยเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ทำการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 โดยใช้กรดไนตริก 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นตัวชะ ใช้เวลาในการดูดซับและชะตะกั่ว 45 นาที ชีตจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด มีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพรีคอนเซนเทรชัน แฟคเตอร์ เท่ากับ 1.3 สำหรับการศึกษาเทคนิคการสกัดระดับจุลภาควิภูภาคของเหลว โดยอาศัยการกระจายตัวของของเหลวสำหรับเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม ทำการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้สารละลายผสม 1.50 มิลลิลิตรที่ประกอบด้วยเตตระคลอโรเอทิลีน 100 ไมโครลิตร และ 4-(2-ไพลีโดอะโซ)รีซอซินอล 0.05 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตรละลายอยู่ในเมทานอล ฉีดลงไปในสารละลายตัวอย่างตะกั่ว ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตรอย่างรวดเร็ว ตะกั่วจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ 4-(2-ไพลีโดอะโซ)รีซอซินอล และถูกสกัดเข้าไปอยู่ในหยดขนาดเล็กของเตตระคลอโรเอทิลีน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที ที่อัตราเร็ว 3000 รอบต่อนาที และนำตกตะกอนที่ได้มาทำให้เป็นสารละลายด้วยกรดไนตริก 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี วิธีการนี้มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์เท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพรีคอนเซนเทรชัน แฟคเตอร์ เท่ากับ 2.4 ทั้งสองวิธีนี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 5 % และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรได้

Abstract

A chelating polymeric sorbent was developed by functionalizing Amberlite XAD-4 resin with 4-(2-pyridylazo) resorcinol ligand. The chelating resin was applied to preconcentrate trace level of Pb in environmental samples before flame atomic absorption detection. The optimum pH value for sorption of lead is 9 in 100 mL Pb solution, absorption time of Pb(II) was 30 min. The analytes retained were eluted from chelating resin by using 20 mL of 1.0 mol L⁻¹ HNO₃. The detection limits of Pb was found to be 0.06 mg L⁻¹ and the preconcentration factor was 1.3. The other method was Dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME). It was developed for extraction and preconcentration of Pb from environmental samples. In the preconcentration step, 1.50 mL mixtures containing 100 µL tetrachloroethylene and 1 mL of 0.05 mol L⁻¹ 4-(2-pyridylazo) resorcinol (chelating agent) in methanol were rapidly injected by syringe into the 25.00 mL of water sample. In this step, the lead ions reacted with the chelating agent and were extracted into the fine droplets of tetrachloroethylene. After centrifugation (5 min at 3000 rpm), the fine tetrachloroethylene droplets were sedimented at the bottom of the test tube. Then, 10 mL of 1.0 mol L⁻¹ nitric acid was added to the sedimented phase and finally the enriched analyte was determined by FAAS. The detection limit of this method was 0.2 mg L⁻¹ and the preconcentration factor was 2.4. The both methods showed the relative standard deviation (RSD) less than 5% and were successfully to apply for the recovery and determination of lead in different natural water samples around Naresuan University.

สารบัญ

บทที่	สารบัญ	หน้า
1	บทนำ.....	10
	ความสำคัญและที่มาเป็นมาของปัญหา.....	11
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
	ขอบเขตของการวิจัย.....	12
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	12
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
	ความสำคัญของน้ำ.....	13
	วัฏจักรของน้ำ.....	14
	ลักษณะคุณภาพของน้ำ.....	15
	โลหะหนัก.....	18
	ตะกั่ว.....	19
	การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำธรรมชาติ.....	25
3.	วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
	อุปกรณ์และสารเคมี.....	28
	การเตรียมสารละลาย.....	29
4.	ผลการทดลอง.....	32
	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธี SPE.....	32
	การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการคนเรซิน.....	32
	การศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายบัฟเฟอร์.....	33
	การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวชะ.....	34
	การศึกษาปริมาตรของตัวชะ.....	35
	การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว.....	35
	การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว.....	36
	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว.....	37
	การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง.....	37
	การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	38
	การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	38
	การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์.....	39
	การทำกราฟเทียบมาตรฐาน.....	39
	การศึกษา Preconcentration factor.....	9

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่าง.....	40
การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME.....	41
การศึกษาชนิดของตัวสกัด.....	41
การศึกษาชนิดตัวทำละลายแพร่กระจาย.....	41
การศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัด.....	42
การศึกษาปริมาตรตัวทำละลายแพร่กระจาย.....	43
การศึกษาความเข้มข้นของ PAR.....	43
การศึกษาเวลาและอัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยง.....	44
สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยวิธี DLLME	45
การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง.....	46
การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือ.....	46
การศึกษาความแม่นยำของเทคนิค.....	47
การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์.....	47
การทำกราฟเทียบมาตรฐาน.....	47
การศึกษา Enrichment factor.....	48
การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่าง.....	48
5 บทสรุป.....	49
บรรณานุกรม.....	50
Output ที่ได้จากโครงการ.....	53
ภาคผนวก.....	54

Executive Summary

ทำการศึกษการเพิ่มความเข้มข้นและการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วน้ำโดยใช้ Amberlite XAD-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol เป็นเฟสของแข็ง และการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาควิภาคของเหลวโดยอาศัยการกระจายตัวของของเหลว ก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรีโดยทำการศึกษหาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง โดยจะต้องเป็นค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้จากการวิเคราะห์ จากนั้นทำการศึกษาคุนลักษณะต่าง ๆ เช่น ความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำของเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ และค่า preconcentration factor แล้วจึงนำไปใช้กับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร

จากการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลองสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมและคุณลักษณะของการวิเคราะห์ทั้งหมดได้ดังตาราง A1 และ A2

ตาราง A1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยวิธีการสกัดด้วยเฟสของแข็ง

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม
เวลาที่ใช้ในการคนเรซิน (min)	45
pH ของสารละลายบัฟเฟอร์	9
ชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	HNO ₃
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก (mol L ⁻¹)	1.00
ปริมาตรของสารละลายกรดไนตริก (mL)	20
เวลาในการชะ (min)	20
ปริมาตรสารละลาย (mL)	100
ปริมาณเรซิน (กรัม)	0.50

ตาราง A2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยวิธี DLLME

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
ชนิดของตัวสกัด	Tetrachloroethylene
ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายสารตัวอย่าง	เมทานอล
ปริมาตรของตัวสกัด	100 μ L
ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายสารตัวอย่าง	1.5 mL
ความเข้มข้นของ PAR	0.05 M
เวลาในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย	5 นาที
อัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย	3000 รอบต่อนาที

ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ ของการวิเคราะห์ในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วทั้งสองวิธี ได้ผลการทดลองดังตาราง A3

ตาราง A2 คุณลักษณะต่าง ๆ ของการวิเคราะห์ในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว

	SPE	DLLME
ช่วงความเป็นเส้นตรง	0.20-3.00 mg L^{-1}	1.00-4.00 mg L^{-1} และ 6.00-10.00 mg L^{-1}
สมการกราฟมาตรฐาน	$Y = 0.033x + 0.004, R^2 = 0.998$	$Y = 0.027x + 0.007, R^2 = 0.998$
ขีดจำกัดในการวิเคราะห์	0.06 mg L^{-1}	0.20 mg L^{-1}
Preconcentration factor	1.3	2.4

ในการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นทั้งสองวิธีมีความแม่นยำของเครื่องมือและความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สูง นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจริงได้

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ปัญหาการปนเปื้อนและการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมนับว่าเป็นปัญหาสำคัญและเกิดขึ้นทั่วโลก เนื่องจากโลหะหนักเมื่อมีการสะสมในปริมาณมากจะก่อให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะมนุษย์ โลหะหนักเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ 2 ทาง คือการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจากน้ำมือมนุษย์ โดยการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากกระบวนการกัดกร่อนและผุพังจากตัวกลางเช่น น้ำ หรือสนามโน้มถ่วงของโลก พัดพามวลสารต่าง ๆ ไปทับถมบริเวณที่มีระดับความลาดชันต่ำลงมา ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดโลหะหนักจะอยู่ในรูปของไอออนอิสระที่สามารถละลายน้ำได้ หากค่าความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้นไอออนอิสระนี้จะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและตกตะกอนลงมา โลหะหนักสามารถเคลื่อนย้ายในรูปสารละลายได้ และถูกดูดซึมโดยรากพืชจะสะสมในต้นพืชนั้น เมื่อพืชถูกบริโภคโดยสัตว์หรือมนุษย์ตามระบบห่วงโซ่อาหารจะก่อให้เกิดการสะสมของโลหะหนักที่อวัยวะต่าง ๆ และก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดจากน้ำมือของมนุษย์ เนื่องจากมีการใช้โลหะหนักจำนวนมากทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และเหมืองแร่ โลหะหนักเหล่านี้ สามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหารได้เป็นระยะเวลานานทำให้มีสารพิษตกค้างในแหล่งน้ำ ดิน และอากาศสารเหล่านี้จะถูกสะสมในห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำและมีผลต่อมนุษย์ในภายหลัง^[1]

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และจัดเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษมากต่อสุขภาพมนุษย์ สามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น มนุษย์ใช้โลหะหนักเหล่านี้เป็นส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การชุบโลหะ การผลิตสี หมึกพิมพ์ ใช้เป็นส่วนประกอบของยาฆ่าแมลง และการปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการศึกษาพบว่าตะกั่วและแคดเมียมเป็นโลหะหนักที่พบได้ใน 3 แหล่ง ๆ ใหญ่คือ ดิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากทั้ง 3 แหล่งนี้มีความสัมพันธ์กันถ้าแหล่งใดแหล่งหนึ่งเกิดการปนเปื้อนก็ย่อมที่จะทำให้ส่งผลกระทบต่ออีก 2 แหล่งได้ ตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอาจเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยการรับประทานอาหาร หรือดื่มน้ำที่มีโลหะทั้งสองชนิดเจือปนอยู่เข้าไป และทางลมหายใจโดยการสูดเอาอากาศที่มีฝุ่นหรือไอระเหยเข้าไป ส่วนการได้รับโดยทางอ้อมเป็นไปตามวัฏจักรห่วงโซ่อาหาร ถ้าหากสัตว์ได้รับตะกั่วหรือแคดเมียมจากพืชที่นำมาใช้เป็นอาหารก็จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายของสัตว์ และเมื่อมนุษย์นำเนื้อสัตว์มารับประทานเป็นอาหารก็ย่อมที่จะส่งผลโลหะทั้งสองชนิดเกิดการสะสมในร่างกายมนุษย์ได้^[1]

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีพิษเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมมากในบริเวณตับ ไตและน้ำนม และหากได้รับมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ สารตะกั่วมีพิษมากโดยเฉพาะเด็ก ซึ่งอาจมีผลทำให้สมองพิการ ส่วน

ผู้ใหญ่อาจมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุสั้นลง ทำให้เป็นโรคเลือดจาง และเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ ตะกั่วเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง เพราะการดูดซึมตะกั่วเป็นไปอย่างช้ามาก การขับถ่ายออกจากร่างกายก็ช้าด้วย ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าที่ลำไส้เล็ก และระบบทางเดินหายใจจากการสูดดม โดยจะสะสมที่ตับสูงกว่าที่อื่นๆ และสะสมไว้ที่กระดูกมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของกระดูก^[2] อาการพิษของตะกั่วจะเกิดขึ้นเมื่อในเลือดมีระดับตะกั่วสูงประมาณ 0.06-0.10 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในน้ำธรรมชาติจะมีความเข้มข้นตะกั่วอยู่ระหว่าง 2-10 ng mL⁻¹ แต่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) กำหนดให้ปริมาณของสูงสุดของตะกั่วมีได้ไม่เกิน 10 ng mL⁻¹ ^[3]

การวิเคราะห์ปริมาณไอออนโลหะที่มีปริมาณน้อยเช่น ตะกั่ว ในสิ่งแวดล้อมมีหลายวิธี เช่น เพลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี^[4] (Flame Atomic Absorption Spectrophotometry) แกรฟไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี^[5] (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry) อินดักทีฟพลาสมาออปติคัลสเปกโตรเมตรี^[6] (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) เนื่องจากไอออนโลหะเหล่านี้ปริมาณน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นมากขึ้นก่อนนำไปวิเคราะห์ ซึ่งเทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างมีอยู่หลายวิธี เช่น เทคนิค solid phase extraction ^[3,7], solid phase microextraction ^[8], liquid liquid extraction ^[9], single drop microextraction ^[10] และ dispersive liquid liquid microextraction ^[5] เป็นต้น เทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างต่าง ๆ เหล่านี้มีความสำคัญเพราะช่วยกำจัดหรือลดปริมาณไอออนชนิดที่เป็นตัวรบกวนในการวิเคราะห์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยใช้เทคนิค solid phase extraction และ dispersive liquid liquid microextraction เนื่องจากเทคนิค solid phase extraction สามารถเลือกใช้เฟสของแข็งและสารที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้หลายชนิด ทำให้สามารถเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับโลหะที่ต้องการได้ ส่วนเทคนิค dispersive liquid liquid microextraction เป็นเทคนิคที่เพิ่งได้รับการพัฒนามาจากเทคนิค Liquid-liquid extraction จึงมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ยุ่งยาก แต่ใช้รีเอเจนต์ในการสกัดในปริมาณน้อยกว่าเทคนิค Liquid-liquid extraction ทำให้ช่วยลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่ผู้ทดลองและลดปริมาณของเสียที่อาจเกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้เทคนิคทั้งสองยังมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นโลหะได้ดี และยังช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมตัวอย่างด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วโดยใช้เทคนิค solid phase extraction เช่น ชนิดและปริมาณของเฟสของแข็ง ความเป็นกรด-เบส ปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้ เป็นต้น

2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วโดยใช้เทคนิค dispersive liquid liquid microextraction เช่น ปริมาตรของสารละลาย ความเข้มข้นของรีเอเจนต์ ความเป็นกรด-เบส อัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยง เป็นต้น
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นของเทคนิคทั้งสอง
4. ศึกษาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วที่มีปริมาณน้อยโดยใช้เทคนิคทั้งสองกับสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยใช้เทคนิค solid phase extraction
- 2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยใช้เทคนิค dispersive liquid liquid microextraction
- 3) ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์
- 4) ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่างจริงจากสิ่งแวดล้อม
- 5) เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้เทคนิค solid phase extraction และ dispersive liquid liquid microextraction ด้วยวิธีทางสถิติ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. วัฏจักรของน้ำ หมายถึง การหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงของน้ำซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเริ่มต้นจากน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น ทะเล มหาสมุทร แม่น้ำ จากการคายน้ำของพืช จากการขับถ่ายของเสียของสิ่งมีชีวิต และจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ระเหยขึ้นไปในบรรยากาศ กระทบความเย็นควบแน่นเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ เป็นก้อนเมฆ ตกลงมาเป็นฝนหรือลูกเห็บสู่พื้นดิน ไหลลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ หมุนเวียนอยู่เช่นนี้เรื่อยไป ^[11]

2. โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 g/cm^3 ขึ้นไปโดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไล (Alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (Atomic number) ในช่วง 23-29 และอยู่ในคาบที่ 4-7 เช่น โคบอลต์ (Cobalt-Co) ทองแดง (Copper-Cu) แมงกานีส (Manganese-Mn) โมลิบดีนัม (Molybdenum-Mo) แวนาเดียม (Vanadium-V) และสังกะสี (Zinc-Zn) เป็นต้น ^[12]

3. อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี หมายถึง กระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะเพื่อทำให้อะตอมอิสระที่อยู่ในสถานะพื้นขึ้นไปอยู่ในสถานะเร้าซึ่งปริมาณแสงที่ดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร ^[13]

4. กระบวนการเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) หมายถึง การทำให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นมากขึ้นก่อนนำไปวิเคราะห์ เช่น การใช้การสกัด หรือการตกตะกอนโครมาโทกราฟี ^[13]

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญของน้ำ

มนุษย์ดำรงชีพอยู่บนโลก โดยอาศัยทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่และหนึ่งในทรัพยากรธรรมชาติที่ดียิ่งต่อมนุษย์คือน้ำ โดยน้ำบนโลก 3 ใน 4 ส่วน นั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอุปโภค บริโภคเพียง 3 % ใน 3 % นี้ นำมาปรับปรุงคุณภาพแล้วใช้ได้จริง ๆ เพียง 25 % ซึ่งหมายความว่าน้ำบนโลกนำมาใช้อุปโภค บริโภคได้จริง ๆ เพียง 1 % มนุษย์บริโภคน้ำเข้าไปในร่างกายและปล่อยน้ำออกจากร่างกายมากกว่าสารอื่น ๆ น้ำเป็นส่วนสำคัญของเนื้อเยื่อเกือบทุกชนิด และทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับลำเลียงหรือถ่ายเทสารอาหาร และของเสีย ช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำประมาณ 70% ของน้ำหนักตัว การปล่อยหรือสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย ทางผิวหนังประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ทางปอดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ทางอุจจาระและสิ่งขับถ่ายอื่นอีกประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการชำระร่างกาย ประกอบอาหาร การเกษตร การเลี้ยงสัตว์ สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ การอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ การหาแหล่งน้ำธรรมชาติที่เหมาะสมไม่ใช่เรื่องง่าย ทั้งนี้เพราะน้ำในธรรมชาติย่อมมีสิ่งต่าง ๆ ละลายปะปนอยู่มากมาย ทั้งที่สามารถมองเห็นและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ถ้าหากว่าแหล่งน้ำดิบนั้นมีคุณภาพที่ไม่ดี ปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคหรือแร่ธาตุ สารเคมีที่เป็นพิษ ในน้ำที่จากอาคารบ้านเรือน โรงงาน อุตสาหกรรม การเพาะปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ อากาศเสีย ปนเปื้อนลงไปด้วยแล้วแหล่งน้ำที่สะอาดที่มนุษย์จะนำมาใช้ประโยชน์ก็ยิ่งจะลดน้อยลงไป รวมทั้งก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหาร โรคมะเร็ง โรคผิวหนัง ฯลฯ ตามมา ^[14]

ในธรรมชาติสิ่งมีชีวิตย่อมต้องการน้ำในการหล่อเลี้ยงร่างกายเช่นเดียวกัน ทั้งสัตว์บก สัตว์น้ำ ต้นไม้ที่สร้างความร่มรื่นและปกคลุมผืนโลกไม่ให้ร้อนจนเกินไป หากไม่มีน้ำย่อมต้องเฉาและตายในที่สุดเมื่อต้นไม้และผืนป่าหมดไปโลกก็จะมีแต่ความแห้งแล้ง ความร้อน ทะเลทราย สิ่งมีชีวิตก็ย่อมจะดำรงชีพอยู่ไม่ได้ ดังนั้นน้ำจึงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้เป็นอย่างยิ่ง ^[14]

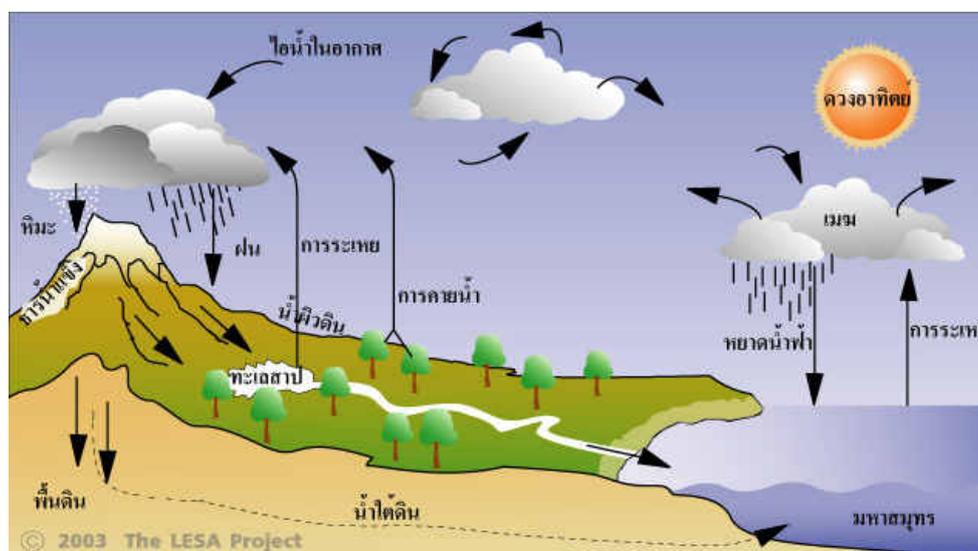
ตาราง 1 แหล่งน้ำและปริมาณน้ำแต่ละชนิดบนโลก ^[14]

แหล่งน้ำบนโลก	ปริมาณน้ำ (%)	แหล่งน้ำบนโลก	ปริมาณน้ำ (%)
มหาสมุทร	97.2	ทะเลสาบน้ำเค็ม	0.008
ธารน้ำแข็ง	2.15	ความชื้นของดิน	0.005
น้ำใต้ดิน	0.62	แม่น้ำ ลำธาร	0.00001
ทะเลสาบน้ำจืด	0.009	บรรยากาศ	0.001

1. วัฏจักรของน้ำ (hydrologic cycle) ^[11]

ปริมาณน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในทะเลและมหาสมุทร แต่น้ำก็มีอยู่ในทุกหนแห่งของโลก ไม่ว่าจะเป็นน้ำ แม่น้ำ น้ำใต้ดิน น้ำในบรรยากาศ รวมทั้งเมฆ และหมอก นอกจากนั้นในร่างกายของเรายังมีองค์ประกอบเป็น น้ำร้อยละ 65 ร่างกายของสัตว์น้ำบางชนิด เช่น แมงกะพรุน มีองค์ประกอบเป็นน้ำร้อยละ 98 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า น้ำ คือ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต เนื่องด้วยน้ำมีคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าสารประกอบอื่นๆ และมีปริมาณน้ำอยู่มาก น้ำจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงบนเปลือกโลกเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นต่อหิน ดิน บรรยากาศ หรือสิ่งมีชีวิต

แม้ว่าพื้นผิวโลกส่วนใหญ่จะปกคลุมไปด้วยน้ำ แต่ถ้าเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำ กับน้ำหนักของโลกทั้งดวงแล้ว น้ำมีน้ำหนักเพียงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักโลก อย่างไรก็ตามการหมุนเวียนของน้ำเป็นวัฏจักรก็ถือเป็นเรื่องสำคัญที่สุดเรื่องหนึ่งในการศึกษาระบบโลก ดวงอาทิตย์แผ่รังสีทำให้พื้นผิวโลกได้รับพลังงาน ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 22 ทำให้น้ำบนพื้นผิวโลกไม่ว่าจะในมหาสมุทร ทะเล แม่น้ำ หรือ ห้วย หนอง คลองบึง ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซคือ ไอน้ำ ลอยขึ้นสู่บรรยากาศ อุณหภูมิที่ลดลงเมื่อลอยตัวสูงขึ้น ทำให้เกิดภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 100% จึงควบแน่นเป็นละอองน้ำเล็กๆ ที่เราเรียกว่า เมฆ หรือ หมอก เมื่อหยดน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้รวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักพอที่จะชนะแรงต้านทานอากาศ ก็จะตกลงมากลายเป็น หิมะหรือน้ำฝน หิมะที่ตกค้างอยู่บนยอดเขาพอกพูนกันเป็นธารน้ำแข็ง น้ำฝนที่ตกลงถึงพื้นรวมตัวเป็นลำธาร ห้วย หนอง คลองบึง หรือไหลบ่ารวมกันเป็นแม่น้ำ ธารน้ำแข็งที่ละลายเพิ่มปริมาณน้ำให้แก่แม่น้ำ น้ำบนพื้นผิวโลกบางส่วนแทรกซึมตามรอยแตกของหิน ทำให้เกิดน้ำใต้ดิน และไหลไปรวมกันในท้องมหาสมุทร เป็นอันครบรอบวัฏจักรตามภาพที่ 1



ภาพ 1 การหมุนเวียนของวัฏจักรของน้ำ ^[11]

วัฏจักรน้ำไม่ว่าจะเป็นส่วนที่อยู่ในบรรยากาศ บนพื้นผิว หรือใต้ดิน ล้วนเป็นกลไกที่สำคัญของระบบโลก ไอน้ำที่ระเหยออกจากน้ำในมหาสมุทร ทั้งประจุแร่ธาตุต่างๆ ทำให้มหาสมุทรมีความเค็ม ไอน้ำที่ระเหยขึ้นไปนั้นเป็นน้ำจืดบริสุทธิ์ แต่เมื่อไอน้ำควบแน่นเป็นหยดน้ำและตกลงมาเป็นฝน น้ำฝนละลายก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ จึงมีสภาพเป็นกรดคาร์บอนิคอ่อนๆ ซึ่งทำปฏิกิริยากับหินบางชนิด โดยเฉพาะหินปูน ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้เกิดน้ำกรดต่าง เนื่องจากน้ำเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นไปตามอุณหภูมิ น้ำจึงทำให้หินแตกได้ น้ำเป็นตัวละลายที่ดี จึงนำพาแร่ธาตุสารอาหารไปกระจายตามส่วนต่างๆ ของพื้นผิวโลก และสะสมตัวในดิน ทำให้พืชพรรณอุดมสมบูรณ์ และเป็นแหล่งอาหารของสรรพสัตว์ ต้นไม้สังเคราะห์แสงเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอาหาร และปลดปล่อยออกซิเจนสู่บรรยากาศ พืชคายน้ำกลับคืนสู่บรรยากาศ สัตว์ควบคุมปริมาณต้นไม้ และปริมาณออกซิเจนโดยการหายใจ คายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แม่น้ำลำธารไหลพัดพาแร่ธาตุไปสะสมกันในท้องทะเลและมหาสมุทร ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของโลก กระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นกระบวนการสมดุลพลังงานของโลก

2. ลักษณะคุณภาพของน้ำธรรมชาติ ^[13]

น้ำจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารต่าง ๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ การที่มีสารต่าง ๆ ละลายปะปนอยู่ในน้ำคุณสมบัติของน้ำมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ คือ ลักษณะทางภายนอกที่แตกต่างกัน เช่นความใส ความขุ่น กลิ่น สี เป็นต้น

2.2.1 อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.2.2 สี(color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติจะมีสีเหลืองซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ น้ำในแหล่งน้ำที่มีใบไม้ทับถมจะมีสีน้ำตาล หรือถ้ามีตะไคร่น้ำก็จะมีสีเขียว

2.2.3 กลิ่นและรสของน้ำจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยหรือสารในกลุ่มของฟีนอล เกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งจะให้น้ำมีรสกร่อยหรือเค็ม

2.2.4 ความขุ่น(turbidity) เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ดิน ซากพืช ซากสัตว์

2.2.5 การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) บอถึงความสามารถของน้ำที่กระแส ไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า

2.2.6 ของแข็งทั้งหมด (total solid: TS) คือ ปริมาณของแข็งในน้ำ สามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐานคำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไปของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักน้ำที่ซึ่งหลังการกรองลดด้วยน้ำหนักหลังจากการเผาน้ำหนักที่ได้คือของแข็งส่วนที่ระเหยไป

2.2 สมบัติทางด้านเคมีของน้ำ คือ ลักษณะทางเคมีของน้ำ เช่น ความเป็นกรด - เบส ความกระด้าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ เป็นต้น

2.2.1 pH แสดงความเป็นกรดหรือเบสของน้ำ (น้ำดื่มควรมีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.3) โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ที่ต่ำ ($\text{PH} < 7$) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูง มีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด - เบส ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ $[\text{H}^+]$ หรือการวัดโดยใช้ pH meter เมื่อต้องการให้มีความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (alkalinity) คือสภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นเบสสูงจะประกอบด้วยไอออนของ OH^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3 ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพเบสนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ต้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง สภาพกรด (acidity) โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพเบสจึงไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป แต่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก CO_2 ที่ละลายน้ำ

2.2.2 ความกระด้าง (hardness) เป็นการไม่เกิดฟองกับสบู่และเมื่อต้มน้ำกระด้างนี้จะเกิดตะกอน น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารไบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) รวมตัวกับ ไอออนของโลหะเช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการต้ม นอกจากนี้แล้วยังมีความกระด้างถาวรซึ่งเกิดจากไอออนของโลหะและสารที่ไม่ใช่พวกคาร์บอเนต เช่น SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- รวมตัวกับ Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} เป็นต้น ความกระด้างจึงเป็นข้อเสียในด้านการสิ้นเปลืองทรัพยากร คือต้องใช้ปริมาณสบู่หรือผงซักฟอกในการซักผ้าในปริมาณมากซึ่งก็จะเกิดตะกอนมากเช่นกัน

2.2.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ(dissolved oxygen, DO) แบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่า DO สูง และน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 ppm หรือปริมาณ O_2 ละลายอยู่ประมาณ 5-8 มิลลิกรัม / ลิตร หรือ 5-8 ppm น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm ค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่

2.2.4 บีโอดี (biological oxygen demand, BOD) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาค่า บีโอดี หาได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สารซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานหลายสิบวัน ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสโดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาบีโอดีมา 2 ขวด ขวดหนึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าออกซิเจนทันที สมมุติว่ามีออกซิเจนอยู่ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำอีกขวดหนึ่งปิดจุกให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้า นำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสนาน 5 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน สมมุติได้ 0.47 มิลลิกรัม ต่อลิตร ดังนั้นจะได้ค่าซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจน ที่ถูกใช้ไป หรือ ค่าบีโอดี $6.5 - 0.47 = 5.03$ มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.5 COD (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ในปริมาณมากเกินไปในสารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ก็

จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อนโดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

2.2.6 ทีโอซี (Total Organic Carbon: TOC) คือปริมาณคาร์บอนในน้ำ

2.2.7 ไนโตรเจน เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์ ไนเตรต ยิ่งถ้าในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูงจะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

2.2.8 ฟอสฟอรัส ในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบพวก ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) เช่นสาร PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ และ H_3PO_4 นอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟอสเฟต

2.2.9 ซัลเฟอร์ มีอยู่ในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบภายในของสิ่งมีชีวิต สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำจะอยู่ในรูปของ organic sulfur เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า เช่น ที่เรียกว่าก๊าซไข่เน่า และนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมได้

2.2.10 โลหะหนัก มีทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ ถ้ามากเกินไปจะเป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี บางชนิดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคลเซียม ตะกั่ว พรอทและนิกเกิล

2.3 สมบัติทางชีวภาพของน้ำ

ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ คือ น้ำเสียที่มีส่วนประกอบทางชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย โปรโตซัว ไวรัส เป็นต้น

2.3.1 แบคทีเรีย คือจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว ขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีผนังหุ้มเซลล์ 2 ชั้นไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ส่วนใหญ่ไม่มีคลอโรพิลล์ พบอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ร่างกายของคนและสัตว์ มีรูปร่างได้หลายแบบ เช่น รูปแท่ง รูปทรงกลม รูปชดเป็นวง การดำรงชีวิตของแบคทีเรียต้องใช้พลังงานและสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ธาตุสำคัญในส่วนประกอบคือคาร์บอน โดยแบคทีเรียสามารถแบ่งตามแหล่งคาร์บอนที่ได้มาเป็น 2 ชนิด คือ

- ออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic bacteria หรือ Autotrophy) เป็นแบคทีเรียที่สร้างอาหารเองได้ โดยได้แหล่งคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์

- เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria หรือ Heterotrophy) เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ โดยได้แหล่งคาร์บอนมาจากสารอินทรีย์ และได้พลังงานจากแสงอาทิตย์

2.3.2 รา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ไม่มีคลอโรพิลล์ ลักษณะทั่วไปมักเป็นเส้นใยยาว ๆ และมีนิวเคลียสหลายอันราสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาวะที่พีเอชต่ำ หรือมีปริมาณไนโตรเจนน้อยสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตได้ดีและยังสามารถย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ดีกว่าแบคทีเรีย

2.3.3 สาหร่าย (Algae) เป็นจุลินทรีย์มีเซลล์เดียวมีนิวเคลียสเห็นได้ชัดขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย มีคลอโรพิลล์และรงควัตถุซึ่งอาจใช้จำแนกชนิดได้ พบอยู่ตามบริเวณที่มีความชื้นสูง ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

2.3.4 โปรโตซัว (Protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย บางชนิดอยู่เป็นกลุ่ม (Colony) เซลล์มักมีรูปร่างคงที่มีนิวเคลียสเห็นได้ชัดเจน

2.3.5 ไวรัส (Virus) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กที่สุด ไม่มีลักษณะเป็นเซลล์ ดำรงชีวิตแบบ
 ปรสิตรสามารถทำให้เกิดโรคแก่คน สัตว์ และพืช
 ตาราง 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบอุปโภคบริโภค ^[15]

พารามิเตอร์	ระดับมาตรฐาน
M.P.N ของโคลิฟอร์ม	เท่ามาตรฐานน้ำทิ้งท้องถิ่น
พีเอช	6.5-8.5
ออกซิเจนละลายน้ำ	มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารหนู	น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม	น้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไซนาไนต์	น้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารฟีนอล	น้อยกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอไรด์	น้อยกว่า 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	น้อยกว่า 4000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. โลหะหนัก (Heavy metal) ^{[12], [16]}

โลหะหนักจัดอยู่ในกลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไป และส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม
 Transition metals ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการ
 ธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ

โลหะหนักเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ในด้านอุตสาหกรรม เราใช้โลหะหนักใน
 การผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย สำหรับทางด้านการเกษตร โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและ
 ปุ๋ย ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง น้ำ
 ที่จากกระบวนการผลิตเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อ
 สิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ

ในชีวิตประจำวัน คนเรามีความเสี่ยงต่อการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคอาหาร
 หรือดื่มน้ำที่มีสารเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ โดยเฉพาะชุมชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโรงงานที่ขาดจิตสำนึก ซึ่งมักจะ
 ลักลอบเทของเสียลงดินหรือลงแม่น้ำ กำจัดกากของเสียอย่างผิดวิธี ทั้งนี้เนื่องจากการลดรายจ่าย โลหะ
 หนักบางชนิดสามารถให้ทั้งคุณและโทษต่อสิ่งมีชีวิต ขึ้นกับชนิดของสิ่งมีชีวิตและปริมาณที่ได้รับเข้าไป
 ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียต้องการ โคบอลท์ (Cobalt-Co) ทองแดง (Copper-Cu) แมงกานีส (Manganese-Mn)
 โมลิบดีนัม (Molybdenum-Mo) วาเนเดียม (Vanadium-V) และสังกะสี (Zinc-Zn) ในปริมาณที่พอเหมาะต่อ
 การเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะที่มากเกินไปจะสร้างสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์เหล่านี้ ส่งผล

ให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ สำหรับโลหะหนักบางชนิด เช่นปรอท (Mercury-Hg) และแคดเมียม (Cadmium-Cd) จัดเป็นสารพิษต่อร่างกาย และถูกจัดให้ขึ้นบัญชีดำ (black list) เนื่องจากมีพิษร้ายแรงมากต่อมนุษย์

ความเป็นพิษของโลหะหนัก

เกิดจากโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบต่าง ๆ ของร่างกายไปรบกวนการทำงานของระบบเอ็นไซม์ของเซลล์ และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางด้านโครงสร้าง หรือเคมีไฟฟ้าของเซลล์ ความเป็นพิษของโลหะหนัก ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจระบบทางเดินอาหารผิวหนัง

3.1 ตะกั่ว (Lead)^[17]

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่สมัยโบราณ มีหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ 4,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช

3.1.1 สมบัติทางกายภาพ^[18]

ตะกั่ว(อังกฤษ :Lead) คือ ธาตุเคมีที่ 5 ของหมู่ IVA ในตารางธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 82 และมีน้ำหนักอะตอม 207.19 amu จุดหลอมเหลว 327 °C จุดเดือด 1737 °C ความหนาแน่น 11.34 g/cc ที่ 20 °C มีเลขออกซิเดชันสามัญเท่ากับ +2, +4 ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่มสามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา การนำไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วจะอยู่ในรูป PbO, Pb₃O₄, และ PbO₂

3.1.2 สมบัติทางเคมี

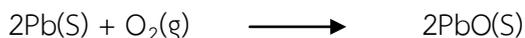
โดยปกติแล้วในธรรมชาติจะพบตะกั่วอยู่ 2 รูป คือ

1. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

- 1.1 โลหะตะกั่ว ใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ
- 1.2 ออกไซด์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วโมนอกไซด์ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน ตะกั่วไดออกไซด์ใช้ทำเป็น วัสดุอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ ตะกั่วออกไซด์หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อกันสนิม
- 1.3 สารประกอบของเกลือตะกั่ว เช่น ตะกั่วอะซิเนต ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช ตะกั่วซัลไฟด์ใช้ผสมในกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิกให้เกิดความเงางามและมีผิวเรียบ

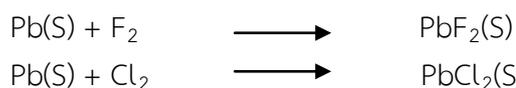
2. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วเตตระเอทิลและตะกั่วเตตระเมทิล ซึ่งตะกั่วทั้งสองชนิดนี้ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ซึ่งสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ค่อนข้างเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอินทรีย์เพราะสามารถระเหยและกระจายไปในอากาศได้ดี

2.1 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วในอากาศ ตะกั่วเข้าสู่บรรยากาศในรูปของ ตะกั่วออกไซด์ (PbO, PbO₂, Pb₃O₄) ตะกั่วซัลไฟต์ (PbS) ตะกั่วซัลเฟต (PbSO₄) ตะกั่วอัลคิล (Pb(CH₃)₄, Pb(C₂H₅)₄) และตะกั่วเฮไลต์ ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับออกซิเจนในอากาศ



2.2 การเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เนื่องจากที่ผิวหน้าของตะกั่วจะเคลือบด้วยชั้นบาง ๆ ของเลดออกไซด์ (PbO) ส่งผลให้ตะกั่วไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำในสภาวะปกติ

2.3 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับธาตุฮาโลเจนพบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีจะมีความเป็นพิษโดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ซึ่งตะกั่วสามารถทำปฏิกิริยากับฟลูออรีนได้ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนได้ดี

2.4 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับกรด โดยตะกั่วจะละลายอย่างช้า ๆ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO₃)

2.5 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับเบส ซึ่งตะกั่วสามารถละลายได้อย่างช้า ๆ ในสารละลายเบสที่เย็น

3.1.3 ประโยชน์ของตะกั่ว^[19]

ตะกั่วเป็นหนึ่งในบรรดาโลหะชนิดแรก ๆ ที่มนุษย์รู้จักใช้กัน ดังโบราณวัตถุหลายอย่าง เช่นรูปแกะสลักท่อน้ำสมัยโรมัน หลังคาตึกโบราณ ซึ่งยังปรากฏถึงปัจจุบัน ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อมนุษย์ ทั้งนี้จากการลำดับปริมาณการใช้โลหะนอกกลุ่มเหล็กของโลกพบว่าตะกั่วมีปริมาณการใช้เป็นอันดับสี่รองจากอะลูมิเนียม ทองแดง และสังกะสี โลหะตะกั่วส่วนใหญ่ใช้ในผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่ วัสดุสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง และประโยชน์อื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ การทำกระสุนปืน สี และเปลือกเคเบิล นอกจากนี้ตะกัวยังใช้กันแพร่หลายในการเจือกับโลหะอื่น เช่น พลวง และดีบุก เป็นโลหะเจือพลวง-ตะกั่ว หรือตะกั่วแข็ง โลหะขาว โลหะเจือจุดหลอมต่ำ และทองเหลืองตะกั่ว หรือบรอนซ์ การนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งสภาพโลหะและสารเคมีที่สำคัญ ได้แก่

1) แบตเตอรี่ โลหะตะกั่วใช้มากที่สุดในการผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบด้วย แผ่นขั้ว และห้วงยึดแบตเตอรี่ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ใช้ในกิจกรรมการขนส่ง การสื่อสาร และเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานสำรองยามฉุกเฉินในโรงพยาบาล โรงภาพยนตร์ โทรศัพท์ วิทยุ ฯลฯ และใช้ในอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ รถวางถุงกอล์ฟ เครื่องตัดหญ้าและสูบน้ำขนาดเล็ก แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์มีตะกั่วประมาณ 9 กิโลกรัม มีอายุการใช้งาน 2-3 ปี

2) เปลือกเคเบิล ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและใต้น้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้น การกัดกร่อน และการกัดแทะของหนู ทำให้ไม่เกิดการขัดข้องในระบบไฟฟ้าและสื่อสาร

3) ตะกั่วแผ่น เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติด้านด้านการกัดกร่อน จึงใช้ตะกั่วแผ่นเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี นอกจากนี้ยังใช้ในการก่อสร้างอาคาร เช่น หลังคาและส่วนเชื่อมต่อระหว่างหลังคา

บ้านกับผนัง (Flashing) ตะกั่วแผ่นร่วมกับแอสเบสทอสและเหล็กกล้ายังใช้ปูได้ฐานตึกเพื่อป้องกันการ สั่นสะเทือนและควบคุมเสียงสำหรับรถไฟใต้ดิน แผ่นกันเอ็กซ์เรย์และแกมมาเรย์ ทั้งนี้เพราะตะกั่วไม่ยอมให้ รังสีเหล่านี้ผ่าน

4) ท่อตะกั่ว ท่อไร้ตะเข็บทำจากตะกั่ว ง่ายต่อการแปรรูปในการอัดรีด เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติด้าน ด้านการกัดกร่อน และติดตั้งง่าย จึงใช้ท่อตะกั่วในอุตสาหกรรมเคมีและระบบท่อเพื่อส่งจ่ายน้ำ

5) โลหะบัดกรี จากคุณสมบัติของตะกั่วที่มีจุดหลอมตัวต่ำ และราคาถูกจึงใช้เชื่อมกับดีบุกเป็นโลหะ บัดกรีคือเป็นโลหะเติมในการเชื่อมชิ้นงานโลหะให้ติดกัน จึงใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์ อาหารกระป๋อง ก่อสร้าง และการผลิตรถยนต์ โลหะบัดกรีโดยทั่วไปมักหมายถึงโลหะเชื่อมดีบุก- ตะกั่ว ส่วนมากผสมในอัตราส่วน 60-40 หรือ 70-30 แต่โลหะบัดกรีบางชนิดมีธาตุอื่น เช่น พลวงและเงิน เจือ เข้าไปเพื่อเพิ่มความแกร่งและต้านการกัดกร่อน

6) โลหะตัวพิมพ์ เป็นกลุ่มโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นโลหะเจือระหว่างตะกั่ว พลวง และ ดีบุก การที่มีตะกั่วอยู่ในโลหะตัวพิมพ์ทำให้ราคาถูก จุดหลอมตัวต่ำและหล่อได้ง่าย พลวงช่วยเพิ่มความแข็ง ด้านแรงกด และต้านการสึก ทั้งยังลดอุณหภูมิหล่อ และลดการหดตัวขณะเย็นตัวส่วนดีบุกช่วยเพิ่มคุณสมบัติ การไหล หล่อง่าย ลดความเปราะและให้ลวดลายละเอียด

7) โลหะรองเพลลา ด้วยคุณสมบัติด้านความลื่นและต้านการสึกตามธรรมชาติ จึงใช้ตะกั่วทำโลหะรอง เพลลาหรือแบริ่งในรถยนต์และรถไฟ

8) โลหะตะกั่ว-ดีบุก เป็นโลหะเชื่อมตะกั่ว-ดีบุก (ปกติมีดีบุกร้อยละ 8-12) ใช้ในการเคลือบผิวแผ่น เหล็กกล้าเพื่อผลิตแผ่นเหล็กอาบตะกั่ว-ดีบุก ซึ่งมีความแข็งแรงและต้านการกัดกร่อนสูง จึงใช้ทำถังบรรจุ น้ำ มันรถยนต์ ฝาปิด อุปกรณ์กรอง นอกจากนี้ยังใช้มุงหลังคาอีกด้วย

9) ตะกั่วเปลว ตะกั่วเปลวหรือรู้จักกันว่า โลหะเปลวประกอบ (Composition Metal Foil) ทำขึ้น จากการรีดตะกั่วที่มีดีบุกสองแผ่นประกบ จึงได้ผลิตภัณฑ์โลหะเปลวประกบที่แน่น ตะกั่วเปลวใช้ในการป้องกัน ความชื้นในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และสำหรับประดับขวดไวน์และแชมเปญ

10) โลหะเจือหลอมตัวต่ำ โลหะเจือตะกั่วหลายชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำจึงใช้สำหรับทำ พิวส์ระบบ ตัดไฟอัตโนมัติ และปลั๊กหม้อน้ำ ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติที่ตะกั่วมีจุดหลอมต่ำ จึงหลอมละลายเมื่อมีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมากเกินไปที่กำหนดไว้ในระบบ

11) แอนโนด ใช้ตะกั่วทำเป็นแท่งหรือแผ่นแอนโนด เพื่อใช้ในกิจการทำโลหะให้สะอาดด้วยไฟฟ้าหรือใน การชุบโลหะ เช่น แมงกานีสและสังกะสี ตะกั่วมีข้อดีเหนือกว่าโลหะอื่น ๆ เพื่อใช้ในการนี้เพราะตะกั่วมีความ ด้านการกัดกร่อนสูงจากกรดกำมะถันที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้แอนโนดตะกั่วมีคุณสมบัติด้าน การกัดกร่อนจากน้ำทะเลสูง จึงนิยมใช้ตะกั่วในระบบป้องกันเรือและแท่นเจาะในทะเลจากการกัดกร่อนของน้ำ ทะเล

12) วัสดุควบคุมเสียง ตะกั่วมีคุณสมบัติเลิศในด้านกันเสียง เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง ความแข็งแรงน้อย และเสียงผ่านเข้าไปไม่ได้ นอกจากนั้นตะกั่ว และแผ่นตะกั่วประกอบก็ยังสามารถรับการสั่นภายในสูง จึงมีประสิทธิภาพในการควบคุมเสียง

13) รงค์วัตถุ สีตะกั่ว เช่น ตะกั่วแดง (Red lead-Pb₃O₄) ตะกั่วโครเมต ตะกั่วซิลิโครเมต และตะกั่วซิลิเกต เหล่านี้เป็นสีป้องกันการผุกร่อน ตะกั่วแดงเป็นสีพื้นและสีเคลือบที่สำคัญที่สุดในบรรดารงค์วัตถุที่ใช้ป้องกันสนิมโลหะพวกเหล็กและเหล็กกล้า ส่วนสีขาวกันสนิมที่สำคัญทางการค้าคือเบสิกเลดคาร์บอเนต ไตเบสิกเลดคาร์บอเนต ไตเบสิกเลดฟอสเฟต ไตเบสิกเลดฟอสฟอซิลิเกต และเบสิกเลดซิลิเกต รงค์วัตถุที่สำคัญที่สุดคือไตรเบสิกเลดโครโมซิลิเกต ซึ่งให้สีแดง-ส้ม เบสิกซิลิโคโครเมต ให้สีเหลืองธรรมดา และนอร์มัลเลดซิลิโคโครเมต ที่ใช้ทำเป็นเครื่องหมายบนบาทวิถี

14) ในด้านอื่น ๆ มีการใช้ตะกั่วเปลวและแผ่นในการบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีเพื่อการขนส่งและเก็บรักษาหลอดบีบทำจากตะกั่วใช้บรรจุสีสำหรับงานศิลปะ และสารเหลวที่มีการกักร้อนสูง โลหะเจือตะกั่วจุดหลอมตัวต่ำใช้ในการอบอ่อนโลหะต่าง ๆ ออกไซด์ของตะกั่วใช้เป็นสารออกซิไดซ์ในการผลิตสีย้อม ไม้ขีดไฟ ยางเทียม กลั่นน้ำมัน กาว ตะกั่วออกไซด์เป็นเชื้อปะทุในการระเบิด ตะกั่วอาร์เซนเตเป็นยาฆ่าแมลงในการเกษตร สารประกอบตะกั่วอื่น ๆ ใช้เป็นตัวคงรูปไวนิลพลาสติก ใช้ตะกั่วเป็นสารถ่วง เช่น ลูกแหในอุปกรณ์ประมงและในเรือดำน้ำ ในเครื่องถ้วยชามเคลือบและเซรามิกสีผิวเคลือบ เพื่อเพิ่มความวาวและความคงทนเป็นธาตุเจือในเหล็กกล้าและทองแดงเจือ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงไสให้ง่ายขึ้น

3.1.4 ผลกระทบของตะกั่วต่อสิ่งแวดล้อม^[20]

ตะกั่วเป็นโลหะที่มนุษย์นำมาใช้เป็นประโยชน์มากเป็นเวลายาวนานหลายพันปีและใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ตามวิทยาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่จนทำให้ตะกั่วเป็นสารที่ใกล้มนุษย์มากยิ่งขึ้น ทั้ง ๆ ที่ตะกั่วเป็นสารพิษก่ออันตรายต่อร่างกายโดยสามารถทำลายประสาทสำคัญต่าง ๆ ของร่างกายได้ หากได้รับในปริมาณที่เกินขีดความสามารถของร่างกายจะรับได้ แต่เนื่องจากตะกั่วใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น การทำแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน เคลือบสายเคเบิล อุตสาหกรรมหลอมตะกั่ว การผลิตสี อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาอุตสาหกรรมตัวพิมพ์ การผลิตกระสุน การเชื่อมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ยาฆ่าแมลง มนุษย์จึงจำเป็นต้องสัมผัสกับตะกั่ว เราอาจพบตะกั่วได้ในสิ่งแวดล้อมทุกรูปแบบใน อากาศ ดิน น้ำ พืช เครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน เป็นเหตุให้มีผู้ป่วยรับพิษจากสารตะกั่วได้ง่ายยิ่งขึ้น

3.1.5 การดูดซึมของสารตะกั่วในร่างกาย^[17]

การเข้าสู่ร่างกายและการกระจายของตะกั่วในร่างกาย

1. ทางหายใจโดยการหายใจเอาควันหรือฟุ้งตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไปซึ่งสามารถดูดซึมได้ดีกว่าการหายใจเอาตะกั่วที่เป็นอนุภาคเล็ก ๆ เข้าไป

2. ทางปาก โดยพฤติกรรมนิสัยการกินที่ไม่ถูกต้อง คือรับประทานอาหารขณะทำงานโดยไม่ล้างมือหรือชำระล้างร่างกายก่อน และจากตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหาร น้ำดื่ม หรือภาชนะ

3. ทางผิวหนัง มักจะเกิดกับผู้ที่ทำงานปั้มน้ำมันหรือช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากตะกั่วอินทรีย์ในน้ำมันเบนซินที่สามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้ ส่วนตะกั่วอินทรีย์สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ในกรณีที่ผิวหนังมีแผลหรือรอยถลอก ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกลำเลียงไปยังอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายผ่านทางระบบไหลเวียนเลือด โดยกว่าร้อยละ 90 จะรวมตัวกับเม็ดเลือดแดง ส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเหลือง ค่าครึ่งชีวิต (half life) ของตะกั่วในเลือดประมาณ 2-4 สัปดาห์ จากนั้นจะไปสะสมอยู่ที่เนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue) คือ กระดูก ฝม เล็บ ฟัน และเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) คือ ไชกระดูก ระบบประสาท ตับ ไต ประมาณร้อยละ 90 ของตะกั่วในร่างกายจะสะสมอยู่ในกระดูกและมีค่าครึ่งชีวิต 16-20 ปีการที่จะเกิดพิษตะกั่วหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณตะกั่วที่อยู่ในเนื้อเยื่ออ่อน นอกจากนี้ตะกั่วจะออกมาจากกระดูกไปที่เนื้อเยื่ออ่อนได้มากขึ้นในภาวะที่ร่างกายมีการติดเชื้อ ต่อมสุรา หรือภาวะที่เลือดมีสภาวะเป็นกรด (pH ต่ำลง) ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยที่ไม่มีอาการ เกิดเป็นโรคพิษตะกั่วขึ้นมาได้

การขับถ่าย ตะกั่วจะถูกขับออกทางปัสสาวะหรือน้ำดี เป็นการกรองผ่านโกลเมอูลัสของไตเป็นส่วนใหญ่ สำหรับตะกั่วที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณเยื่อผิว (epithelial tissue) ของระบบทางเดินอาหาร และที่สะสมในผมจะถูกขับออกโดยการหลุดออกของเยื่อผิว

3.1.6 ความเป็นพิษของตะกั่ว ^[20]

อาการพิษของตะกั่วต่อร่างกายมี 4 ระบบ คือ

- 1.ระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยจะเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก ปวดท้อง
- 2.ระบบประสาทส่วนปลาย ผู้ป่วยจะอ่อนแรง กล้ามเนื้อแขนขาเพ็ลยไม่มีแรง ปวดตามข้อมือ เท้า ห้อย อาจเป็นอัมพาตได้
- 3.อาการทางสมอง มักพบในเด็กที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่สูง เช่น จะเกิดอาการนอนไม่หลับ ฝันร้าย อารมณ์ฉุนเฉียว ไวต่อการถูกกระตุ้นมากกว่าปกติ สติคุ้มดีคุ้มร้าย ชัก หมดสติ
- 4.ระบบเลือด จะเกิดโรคโลหิตจาง ซีดอ่อนเพลีย ตัวเหลือง ตาเหลือง ตรวจพบการสะสมตะกั่วในร่างกายได้

3.1.7 พิษของตะกั่วต่อร่างกาย ^[20]

พิษเฉียบพลัน ผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วเป็นปริมาณมากในระยะเวลาดสั้นๆ จะแสดงอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง อาการทางประสาท ได้แก่ ความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานกัน ชัก หมดสติ โดยส่วนใหญ่ระดับตะกั่วในเลือดสูงขึ้นมากว่า 100 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร

พิษเรื้อรัง อาการแสดงทางคลินิกที่พบในระบบต่าง ๆ มีดังนี้

1. อาการทางระบบประสาทส่วนกลาง อาจเริ่มด้วยอาการซึม คิดช้า ปวดศีรษะ มึนศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี หงุดหงิด และถ้ารุนแรงขึ้นอาจมีอาการสั้นเวลาเคลื่อนไหว ชัก และหมดสติ
2. อาการทางระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อ มีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อ มีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ข้อข้อมือ เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมือนอ่อนแรงทำให้ข้อมือนตก (wrist drop) และอาจมีอาการชา ปลายประสาทอักเสบ

3. อาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายอาจต้องเสียอาการที่สำคัญ คือ ปวดท้องอย่างรุนแรง
4. อาการทางระบบโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีด เลือดจาง อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรังพบว่ามีอาการตาเหลือง ตัวเหลืองด้วย
5. ลักษณะอื่น ๆ ได้แก่ อาจพบแนวเส้นตะกั่ว (lead line) สีน้ำเงินดำจับอยู่ที่ขอบเหงือก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว และอาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วสะสมเป็นเวลานาน ๆ

3.1.8 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว ^[21]

1. แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่ การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรจุหรือขนถ่ายสิ่งของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผง และตะกั่วในรูปอื่น ๆ การผลิตแก้วที่มีตะกั่วปนอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผงผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา การทำและบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การเติมน้ำมัน การใช้น้ำมันเบนซินทำความสะอาดเครื่องยนต์กลไกต่าง ๆ ซึ่งแหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด
2. แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยทั่วไปแล้วการหายใจเอาตะกั่วในอากาศนั้นเป็นทางได้รับตะกั่วที่สำคัญ ที่พักอาศัยและการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของถนนสายสำคัญใกล้บ้าน นอกจากนี้สถานบริการน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดทำให้อากาศปนเปื้อนตะกั่วได้
3. แหล่งจากดินและฝุ่น ดินและฝุ่นได้รับตะกั่วโดยการสะสมจากตะกั่วในอากาศที่ได้รับจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งอื่น ๆ รวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดสะสมในดินโดยตะกั่วที่สะสมมักจะอยู่บนบริเวณผิวดินพบมากในเด็กที่มีพฤติกรรมชอบสำรวจจึงทำให้เด็กเหล่านี้มักมีโอกาสได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่นโดยการกิน
4. แหล่งอาหารและน้ำดื่ม พืชผลที่เจริญเติบโตบริเวณสถานบริการน้ำมันหรือใกล้ทางสัญจร จะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วในอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่วสามารถสะสมในอาหารระหว่างขบวนการผลิตการขนส่ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ตะกั่วในน้ำดื่มส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่ โดยเฉพาะถ่านน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย
5. แหล่งจากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว ในสหรัฐอเมริกามีการรายงานการเป็นพิษของตะกั่วอยู่หลายครั้ง จากแหล่งเครื่องถ้วยชามนี้ เพราะเครื่องถ้วยชามสามารถปล่อยตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้ โดยเฉพาะชิ้นที่มีการแตกร้าว หรือแม้แต่มักมีการใช้มากและล้างขัดมาก
6. แหล่งสีที่มีตะกั่วเป็นพื้น เป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูงโดยน้ำหนักของสีขณะแห้ง เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยสีที่มีตะกั่ว ทั้งสีภายในและภายนอกเป็นเด็กที่เสี่ยงต่อการได้รับ

ตะกั่ว ยิ่งถ้าสีเหล่านั้นแก่และมีการหลุดลอกออกจะเกิดขึ้นเล็ก ๆ และมีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นทำให้ได้รับ ตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายได้

7. สีจากแหล่งอื่น ๆ ตะกั่วสามารถพบในยาแผนโบราณ เช่นยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่ว จำนวนมาก ๆ ต่อครั้งได้ อาจได้รับจากการสูดดมน้ำมันก๊าดโซลีน การเผาน้ำมันที่ทิ้งแล้ว จากกระดาษ หนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ ซึ่งเคยมีรายงานในประเทศไทย พ.ศ.2514 ในเครื่องสำอาง ที่ผลิตขึ้น อย่างไม่เหมาะสมบางชนิด การใช้ น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 30

4. การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำธรรมชาติ

ได้มีผู้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมสารตัวอย่างและเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยใช้เทคนิค solid phase extraction และ dispersive liquid liquid microextraction ดังนี้

ในปี 2007 Seyhan และคณะ^[22] ทำการสังเคราะห์เรซินที่เชื่อมต่อกับ p-tert-butylcalix[4]arene-1,2-crown-4 สำหรับเพิ่มความเข้มข้นและแยก Cu(II), Cd(II), Co(II), Ni(II) และ Zn(II) ออกจากสารตัวอย่าง แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพของเรซินกับสารละลายมาตรฐาน (NIST SRM 2709 and NIST SRM 2711, San Joaquin Soil, Montana Soil) พบว่าเรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมีความจำเพาะจงในการ วิเคราะห์ไอออนโลหะและสามารถแยกไอออนโลหะที่ต้องการได้ โดยเรซินที่เตรียมขึ้นสามารถนำมาใช้ซ้ำได้ 12 ครั้ง มีค่า preconcentration factor อยู่ในช่วง 119–208 และขีดจำกัดของการตรวจวัดที่ได้อยู่ในช่วง 1.10–1.83 $\mu\text{g L}^{-1}$

ปี 2009 Shabani และคณะ^[23] ทำการศึกษาปริมาณ Co(II) และ Cu(II) ในตัวอย่างน้ำและ เส้นผม ของมนุษย์ โดยใช้ alumina ที่ตรึงด้วย 1,10 -phenanthroline และ sodium dodecyl sulfat (SDS) บรรจุในคอลัมน์ขนาดเล็กสำหรับเพิ่มความเข้มข้นต่อกับระบบโพลินเจคชันอะนาไลซิสที่มีเฟลอมอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด ในการวิเคราะห์ปริมาณ จากการทดลองนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความไวในการวิเคราะห์สูงและไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง และมีความจำเพาะ เจาะจงสูง ขีดจำกัดของการตรวจวัด Co(II) และ Cu(II) เท่ากับ 0.004 และ 0.14 $\mu\text{g L}^{-1}$ และค่า Preconcentration factor เท่ากับ 175 และ 116 ตามลำดับ

ปี 2009 Duran และคณะ^[24] ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Co(II), Ni(II), Cu(II) และ Cd(II) ในน้ำ และหีตตัวอย่าง โดยใช้เฟลอมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด โดยทำให้ ไอออนโลหะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ammonium Pyrrolidine dithiocarbamate (APDC) แล้วผ่านลง คอลัมน์ขนาดเล็กซึ่งบรรจุด้วย Amberlite XAD-2000 ไอออนโลหะจะถูกดูดซับอยู่ที่ sorbent ก่อนจะทำ การชะออกเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณต่อไป จากผลการทดลองพบว่าค่า Preconcentration factor เท่ากับ 200 และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0.07-0.23 $\mu\text{g L}^{-1}$ วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับกาวิเคราะห์โลหะ ที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำและหีตเป็นวิธีการที่ง่าย ให้ความถูกต้องของการวิเคราะห์สูงและสามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณโลหะที่มีปริมาณน้อยในแหล่งน้ำตัวอย่างจากธรรมชาติได้โดยเรซินAmberlite XAD-2000 สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในการทดลองได้ 200 ครั้ง โดยคุณสมบัติของการดูดซับของเรซิน เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ปี 2009 Li และคณะ^[25] ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III), Fe(III), Hg(II) และ Pb (II) ที่ทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้นด้วย activated carbon ซึ่งถูกปรับปรุงให้เชื่อมต่อกับ ethylenediamine(AC-EDA) ในสารตัวอย่างจากแม่น้ำ และน้ำประปา ก่อนตรวจวัดด้วยเทคนิคอินดักทีฟฟลูออโรเมตริก สเปกโตรเมตริก การทดลองนี้พบว่าตัวดูดซับที่เตรียมขึ้น มีความเร็วในการดูดซับและมีค่าความจุในการดูดซับสูง การเตรียมตัวดูดซับทำได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ไอออนโลหะที่มีปริมาณน้อยได้ดี โดยขีดจำกัดของการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0.09-0.28 ng mL⁻¹ และให้ค่า preconcentration factor เท่ากับ 133.3

ปี 2007 Jahromi, และคณะ^[5] ทำการแยกและเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมในสารตัวอย่างจากแม่น้ำ น้ำทะเล และน้ำประปาด้วยเทคนิค dispersive liquid-liquid microextraction ก่อนการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแกรฟิต์เฟอร์เนชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี (GFAAS) วิธีการสกัดมีเมทานอลเป็น disperser solvent และใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็น extraction solvent ในงานวิจัยนี้ทำให้แคดเมียมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ammonium pyrrolidine dithiocarbamate ก่อนทำการสกัด จากการศึกษาพบว่า ค่าร้อยละการคืนกลับของสารจากตัวอย่างจากแม่น้ำ น้ำทะเล และน้ำประปา มีค่าเท่ากับ 108, 95 และ 87 ตามลำดับ โดยขีดจำกัดของการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.6 ng L⁻¹ และค่า enrichment factor เท่ากับ 125 ในการศึกษาพบว่าเทคนิค dispersive liquid-liquid microextraction เป็นวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว และให้สภาพไวในการวิเคราะห์สูงสำหรับใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณ

ปี 2008 Farajzadeh และคณะ^[26] ทำการศึกษาปริมาณสังกะสีในน้ำโดยการเตรียมสาร ตัวอย่างด้วยเทคนิค dispersive liquid liquid microextraction ทำการวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี โดยในการศึกษานี้ทำให้สังกะสีเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ 8-Hydroxyquinolin มีเมทานอลเป็น disperser solvent และคลอโรฟอร์มเป็น extraction solvent จากการทดลองพบว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 3 µg L⁻¹ ค่า Enrichment factor ที่ได้มีเท่ากับ 42 และค่าร้อยละการคืนกลับมีค่าเท่ากับ 78 % ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และใช้สารในระดับไมโครลิตร

ปี 2008 Naseri และคณะ^[27] ได้นำเทคนิค dispersive liquid-liquid microextraction มาใช้ในขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำ โดยทำให้ตะกั่วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ Diethyldithiophosphoric acid (DDTP) มีเมทานอลเป็น disperser solvent และใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็น extraction solvent จากการทดลองพบว่า ค่า enrichment factor ที่ได้เท่ากับ 450 ขีดจำกัดของการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.5 µg L⁻¹ และค่าร้อยละการคืนกลับที่ได้อยู่ในช่วง 93.8-106.2% พบว่าการนำเทคนิค dispersive liquid-liquid microextraction มาใช้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเป็นวิธีการที่ง่าย ช่วยทำให้ทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น สิ้นเปลืองรีเอเจนต์น้อย และใช้สารในระดับไมโครลิตร

ปี 2009 Anthemidis และคณะ^[28] ทำการศึกษาปริมาณสังกะสีและตะกั่วในตัวอย่างน้ำโดยใช้เทคนิค dispersive liquid-liquid microextraction เชื่อมต่อกับระบบ sequential injection (SI) โดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เมทานอลเป็น disperser solvent และไซลีนเป็น extraction solvent โดยโลหะทั้งสองชนิดจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ammonium diethyldithiophosphate จากผลการทดลองพบว่า enhancement factor ของสังกะสีและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 560 และ 265 ตามลำดับ ขีดจำกัดของการตรวจวัดสังกะสี 0.04 µg L⁻¹ และ

ตะกั่วมีค่าเท่ากับ $30.0 \mu\text{g L}^{-1}$ โดยพบว่าวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสังกะสีและตะกั่วในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าการนำเทคนิค solid phase extraction มาใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นขึ้น มีการสังเคราะห์และเตรียมตัวดูดซับต่างชนิดกัน เช่น เรซิน alumina และ activated carbon ที่เชื่อมต่อกับรีเอเจนต์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงให้มีความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นไอออนของโลหะต่าง ๆ ชนิดกันที่มีปริมาณน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะปรับปรุงและพัฒนาชนิดของตัวดูดซับเพื่อให้มีประสิทธิภาพ และมีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะที่ต้องการในการเพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้น ส่วนการใช้ dispersive liquid-liquid microextraction นั้นพบว่าเป็นเทคนิคใหม่ที่มีผู้ทำการศึกษาจำนวนน้อย เป็นเทคนิคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใช้รีเอเจนต์ในปริมาณน้อยและช่วยลดปริมาณของเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาวิธีการสกัดให้มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น โดยการเลือกใช้รีเอเจนต์ที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ตะกั่วให้เหมาะสม

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การเพิ่มความเข้มข้นและการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำโดยใช้ Amberlite XAD-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol เป็นเฟสของแข็งและการสกัดระดับจุลภาควิฤภาคของเหลวก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี มีอุปกรณ์ สารเคมีและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์

- 1.1 Flame Atomic Absorption Spectrometer รุ่น spectra 220 บริษัท Varian,U.S.A.
- 1.2 UV/Visible Spectrophotometer Lamda 2S บริษัท Perkin Elmer,Germany
- 1.3 PH/ISE meter รุ่น Model 225 บริษัท Denver Instrument,U.S.A
- 1.4 Fisher stirrer บริษัท Fisher Scientific,U.S.A
- 1.5 เครื่องชั่งแบบละเอียด (4 ตำแหน่ง) รุ่น Analytical AC 210S บริษัท ไฮแอนติพิค

โพรโมชัน

- 1.6 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 บริษัท Whatman International,England
- 1.7 ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง (Polyethylene)
- 1.8 เครื่อง centrifuge
- 1.9 Syringe ขนาด 10 mL

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 Sodium Tetraborate ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand
- 2.3 Citric Acid ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, Australia
- 2.4 Di-Sodium Hydrogen Phosphate ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$) บริษัท Merck, Germany
- 2.5 Sodium Carbonate (Na_2CO_3) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 2.6 Hydrochloric 36 % (HCl) Analytical Grade บริษัท J.T.Baker, U.S.A.
- 2.7 Nitric Acid 65% (HNO_3) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 2.8 Sodium hydroxide (NaOH) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 2.9 Lead (II) Nitrate ($Pb(NO_3)_2$) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 2.10 Zinc nitrate Hexahydrate ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, Australia
- 2.11 Iron (II) sulfate heptahydrate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 2.12 Methanol Analytical Grade บริษัท RCI Labscan, Thailand

2.13 Tetrachloroethylene Analytical Grade บริษัท Ajax finechem, Auckland, Newzealand.

การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 100 mgL^{-1} เตรียมโดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 1000 mg/L แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.2 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) $0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50$ และ 3.00 mgL^{-1} เตรียมโดยนำสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 100 mgL^{-1} มาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน เพื่อให้เป็นสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น $0.50, 1.00, 1.50, 2.00$ และ 2.50 mgL^{-1} ตามลำดับ

2. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

2.1 เตรียมสารละลาย Citric Acid โดยชั่ง Citric Acid 21.00 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.2 เตรียมสารละลาย Di-Sodium Hydrogen Phosphate โดยชั่ง Di-Sodium Hydrogen Phosphate 71.60 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.3 เตรียมสารละลาย Sodium Tetraborate โดยชั่ง Sodium Tetraborate 19.07 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.4 เตรียมสารละลาย Sodium Carbonate โดยชั่ง Sodium Carbonate 5.30 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.5 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.1-2.4 มาผสมกันเพื่อเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ ตามอัตราส่วนในตาราง 3 และ 4

ตาราง 3 อัตราส่วนการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7-8 จากสารละลาย Citric Acid และ Di-Sodium Hydrogen Phosphate

pH	สารละลาย Citric Acid (ml)	สารละลาย Di-Sodium Hydrogen
7	5	30
8	4	150

ตาราง 4 อัตราส่วนการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9-11 จากสารละลาย Sodium Tetraborate และ Sodium Carbonate

pH	สารละลาย Citric Acid (ml)	สารละลาย Di-Sodium Hydrogen
9	50	-
10	50	200
11	-	50

3. การเตรียมเรซิน

3.1 ชั่งเรซิน Amberlite XAD-4 จำนวน 5 g เติมกรดไนตริก และกรดซัลฟิวริกจำนวน 10

และ 25 mL ตามลำดับ นำไปคนใน oil bath ที่อุณหภูมิ 60 C° เป็นเวลา 30 นาที

3.2 นำเรซินที่ผ่านการคนแล้วเทลงในน้ำเย็น กรอง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อปรับสภาพให้เรซินมีความเป็นกลาง

3.3 นำเรซินที่ได้เติมลงในของผสมระหว่าง SnCl₂ จำนวน 40 g, กรดไฮโดรคลอริก และ เอทานอล จำนวน 45 และ 50 ml ตามลำดับ แล้วนำไปทำการ refluxed ที่อุณหภูมิ 90 C° เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3.4 นำเรซินที่ได้จากการ refluxed มากรอง แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและสารละลาย NaOH 2 M ตามลำดับ

3.5 นำเรซินที่ได้มาทำการ treated ด้วย กรดไฮโดรคลอริก 2 M แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเทเรซินลงในน้ำเย็น

3.6 นำเรซินที่ได้มา treated ด้วย 1 M ไฮโดรคลอริก และ 1 M โซเดียมไนไตรท์ (NaNO₂) แล้วล้างเรซินด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.7 ในขั้นตอนสุดท้ายนำเรซินมาทำการ treated ด้วยสารละลาย 4-2-(pyridylazo)resorcinol เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0-5 C° เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ จากนั้นจึงกรอง ทิ้งไว้ให้แห้ง สำหรับเก็บไว้ทำการทดลองต่อไป

4. การเตรียมสารละลายรีเอเจนต์

4.1 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 2.00 โมลต่อลิตร จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 36% v/v แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

4.2 การเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 molL⁻¹ จากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65% v/v แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

5. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโดยใช้เฟสของแข็ง

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติ ได้ทำการศึกษาสภาวะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซิน
2. การศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายบัฟเฟอร์
3. การศึกษาชนิดของตัวชะ
4. การศึกษาความเข้มข้นของตัวชะ
5. การศึกษาปริมาตรของตัวชะ
6. การศึกษาเวลาที่ใช้ในการชะ
7. การศึกษาปริมาตรของสารละลายตะกั่ว
8. การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของเรซิน
9. การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง
10. การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
11. การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
12. การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์

6. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบ Dispersive liquid-liquid extraction

1. การศึกษา pH ของสารละลาย
2. การศึกษาชนิดและปริมาณของ extraction solvent
3. การศึกษาชนิดของ dispenser solvent
4. การศึกษาความเข้มข้นของของรีเอเจนต์
5. การศึกษาเวลาในการสกัด
6. การศึกษาอัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยง
7. การศึกษาปริมาณของสารละลายตะกั่ว
8. การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง
9. การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
10. การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
11. การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้น

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ศึกษาครั้งละ 1 สภาวะและควบคุมสภาวะอื่นๆให้คงที่ สภาวะเริ่มต้นของการทดลองแสดงดังตาราง 5

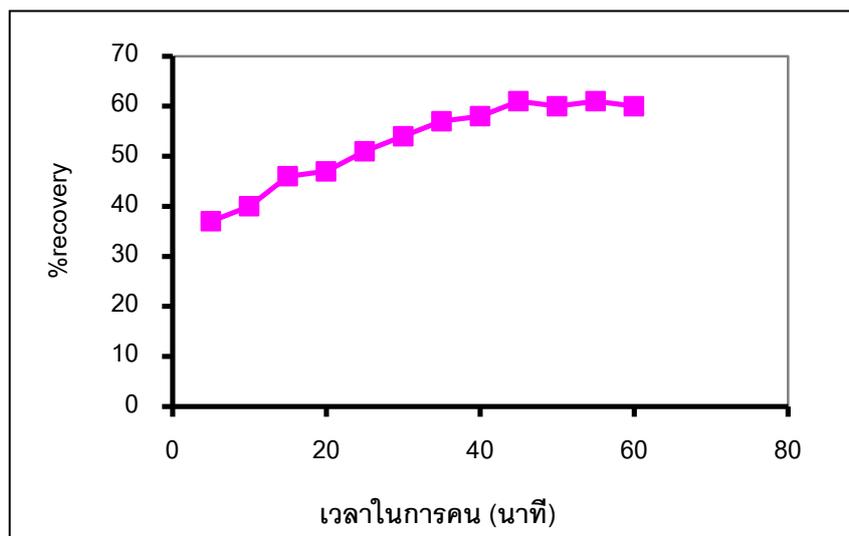
ตาราง 5 สภาวะเริ่มต้นในการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่ใช้
ชนิดกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	HNO ₃
ความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO ₃) (mol/L)	2.00
ปริมาตรกรดไนตริก (ตัวชะ) (mL)	10.00
สารละลายบัฟเฟอร์ pH 11 (mL)	10.00
ความเข้มข้นของสารละลาย (mg L ⁻¹)	3.00
ปริมาตรของสารละลาย (mL)	50.00

1.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการคนเรซิน

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซิน Amberlite XAD-4 ที่กับสารละลายตะกั่วในช่วงเวลา 5-60 นาทีเพื่อให้ได้เวลาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพ 2

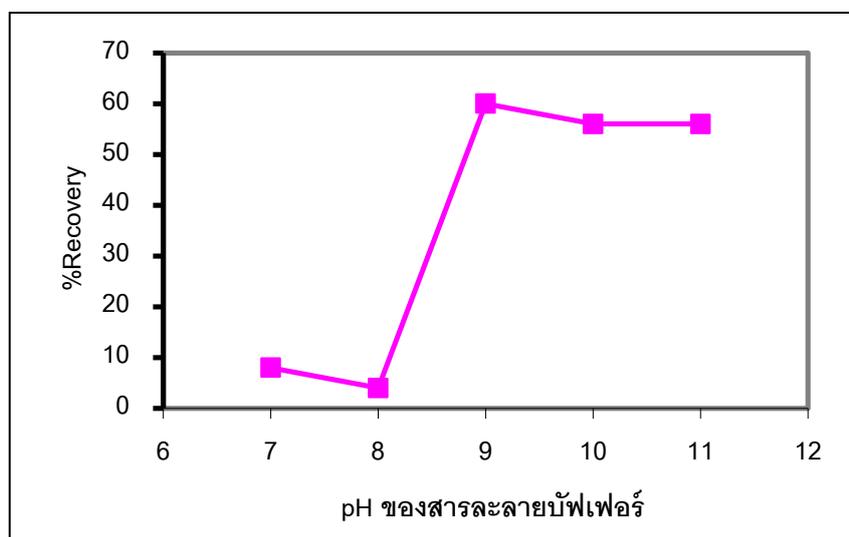
จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซินกับสารละลายตะกั่วพบว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับการคนตะกั่วเท่ากับ 45 นาที เนื่องจากให้ค่าร้อยละการกลับคืนมีค่ามาก ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลานี้ในการศึกษาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป



ภาพ 2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซินกับสารละลายตะกั่ว

1.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายบัฟเฟอร์

ทำการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ในช่วง pH 7-11 เพื่อทำการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของสารละลายบัฟเฟอร์ และใช้สภาวะเริ่มต้นดังตาราง 5 โดยผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมแสดงดังภาพ 3

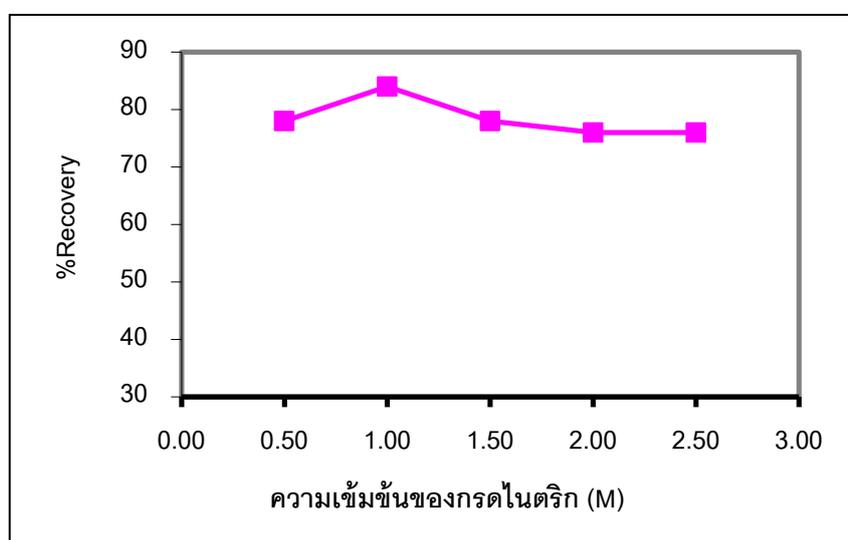


ภาพ 3 การศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายบัฟเฟอร์สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

จากการศึกษาช่วงของสารละลายบัฟเฟอร์ในช่วง pH 7-11 เพื่อใช้ในการปรับ pH ของสารละลาย ตัวอย่าง พบว่าสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 9 ค่าร้อยละการกลับคืนมากกว่าสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH อื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์ pH 9 เพื่อทำการทดลองหาสภาวะอื่นที่มีผลต่อการทดลองต่อไป

1.3 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะ

ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะสารละลายตะกั่วและแคดเมียมออกจากตัวดูดซับ โดยเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00 molL⁻¹ เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพ 4

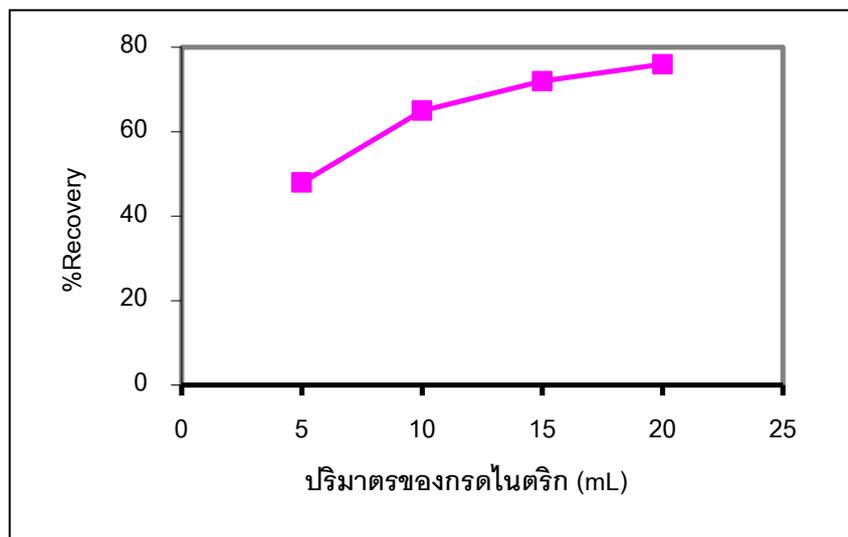


ภาพ 4 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริก

จากการศึกษาพบว่า สารละลายกรดไนตริก 1.0 molL⁻¹ ให้ sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด สามารถชะตะกั่วที่จับอยู่กับเรซินออกมาได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ และไม่สิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยถ้าใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป อาจส่งผลให้ค่า pH ที่ใช้ในการทดลองเปลี่ยนแปลงไป

1.4 การศึกษาปริมาณของสารละลายกรดไนตริกที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว

ทำการศึกษากำหนดปริมาณของสารละลายกรดไนตริกที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4 โดยเตรียมสารละลายกรดไนตริก 1.0 ให้มีปริมาตรต่าง ๆ กัน คือ 5.00, 10.00, 15.00 และ 20.00 mL ผลการทดลองแสดงดังภาพ 5



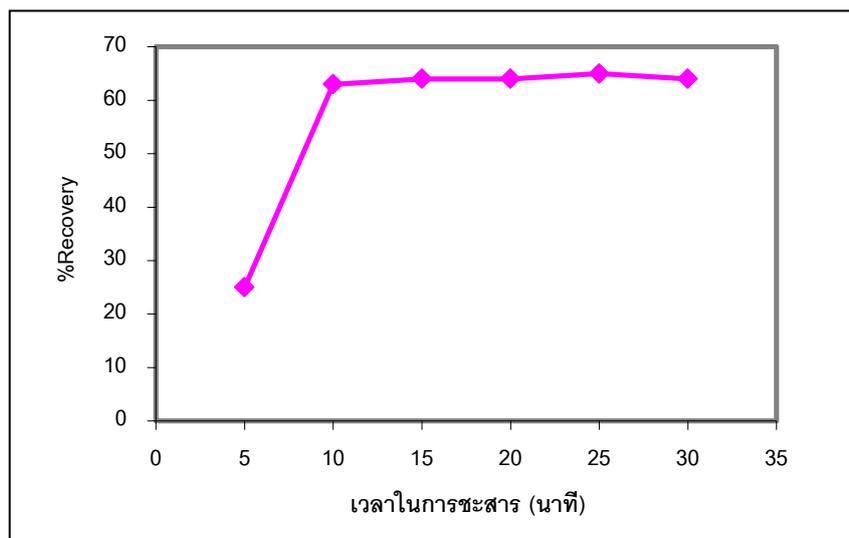
ภาพ 5 การศึกษาปริมาณของสารละลายกรดไนตริกที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว

จากการศึกษาปริมาณของกรดไนตริกเข้มข้น 1.0 mol/L ที่ใช้เป็นตัวชะไอออนตะกั่วออกจากเรซิน ในช่วงปริมาตร 5 – 20 mL พบว่าเมื่อปริมาตรของสารละลายกรดไนตริกเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการคืนกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถชะไอออนตะกั่วออกมาได้มากขึ้น ค่าร้อยละการคืนกลับที่ได้เริ่มมีค่าคงที่ที่ ปริมาตร 15-20 mL ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ปริมาตรของตัวชะที่ 20 mL เป็นตัวชะที่เหมาะสมสำหรับชะสารละลายตะกั่ว

1.5 การศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการชะสารละลายตะกั่วในช่วงเวลา 5-60 นาทีเพื่อให้ได้เวลาที่ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพ 6

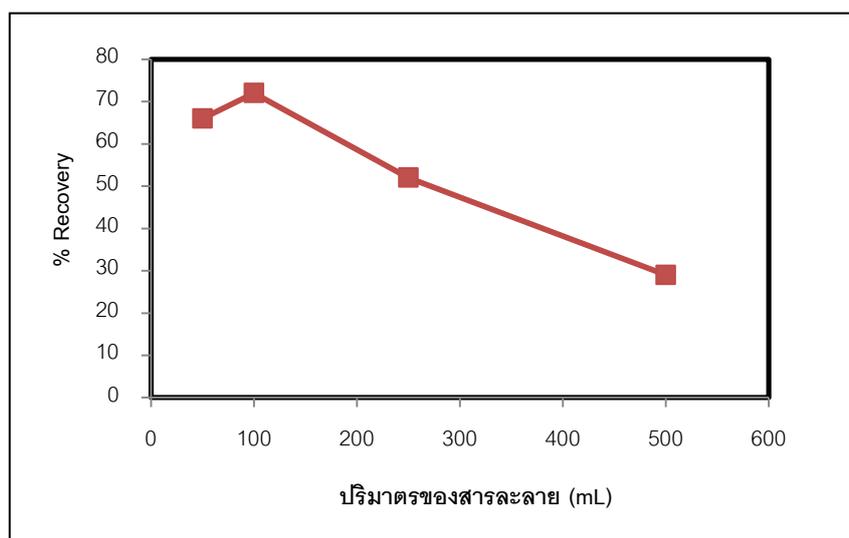
จากการศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่วออกจากเรซิน พบว่าเวลาที่ที่เหมาะสมและให้ค่าร้อยละการคืนกลับที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ ของสารละลายตะกั่ว คือ เวลามากกว่า 10 นาทีขึ้นไป เพราะเมื่อเวลาในการชะนานขึ้น ค่าร้อยละการคืนกลับไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการชะ 20 นาที สำหรับชะสารละลายตะกั่วออกจากตัวดูดซับ



ภาพ 6 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว

1.6 การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว

ทำการศึกษหาปริมาณของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสม โดยเตรียมสารละลายตะกั่วปริมาตรต่าง ๆ กันคือ 50, 100, 250 และ 500 mL ผลการทดลองแสดงดังภาพ 7



ภาพ 7 การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว

จากการศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรของสารละลายตะกั่ว จาก 50 เป็น 100 mL ค่าร้อยละการกลับคืนก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาตรเพิ่มมากกว่า 250 mL พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนจะลดลง ดังนั้นปริมาตรของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสม คือ 100 mL

1.7 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol

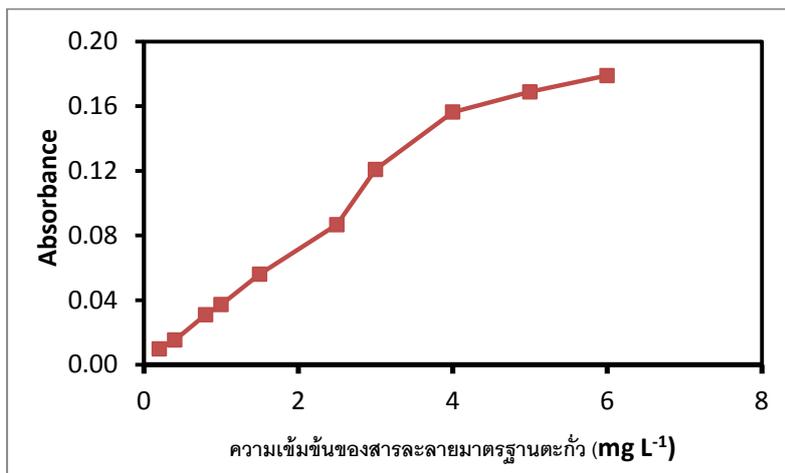
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol ก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี ดังตาราง 6

ตาราง 6 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม
เวลาที่ใช้ในการคนเรซิน (min)	45
pH ของสารละลายบัฟเฟอร์	9
ชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	HNO ₃
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก (mol L ⁻¹)	1.00
ปริมาตรของสารละลายกรดไนตริก (mL)	20
เวลาในการชะ (min)	20
ปริมาตรสารละลาย (mL)	100
ปริมาณเรซิน (กรัม)	0.50

1.8 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารละลายตัวอย่าง ในการศึกษาใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 0-6.00 mgL⁻¹ โดยใช้สภาวะดังตาราง 6 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพ 7



ภาพ 7 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

จากการศึกษา พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วอยู่ในช่วง 0.20-3.00 mg L⁻¹

1.9 การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 mg L⁻¹ ทำการทดลองในแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 10 ครั้ง และใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 6 จากการทดลองพบว่าสารละลายมาตรฐานตะกั่วให้ค่า %RSD 3.4 และ 1.4 % ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำสูง

1.10 การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

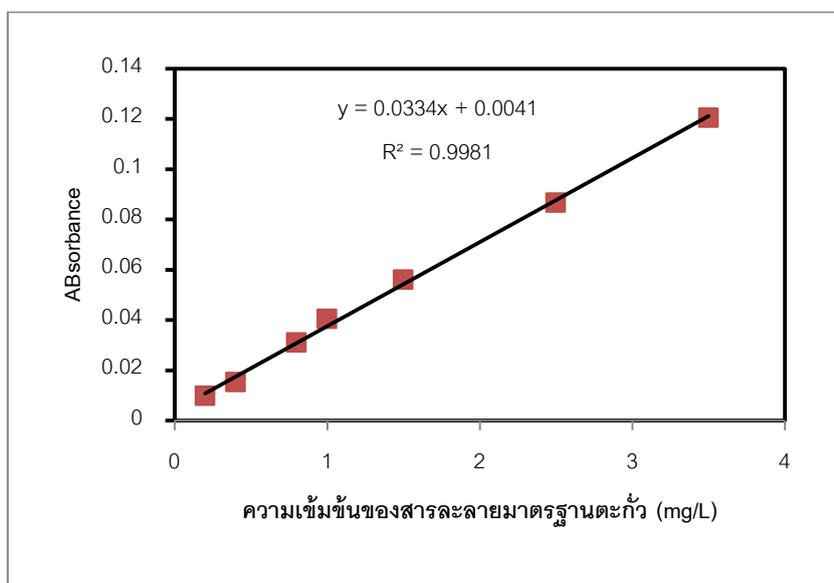
การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเกี่ยวข้องกับผู้ทำการทดลองและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 mg L⁻¹ ความเข้มข้นละ 3 ขวด ทำการวัดซ้ำขวดละ 10 ครั้ง โดยใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 6 จากการทดลองพบว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วมีค่า %RSD 4.9 และ 1.9 % ตามลำดับ ซึ่งค่า %RSD ที่มีค่าน้อยกว่า 5% แสดงว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง

1.11 การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธีการสกัดด้วยเฟสของแข็ง

ทำการศึกษาศักยภาพขีดจำกัดของการวิเคราะห์โดยใช้สารละลายตะกั่วเข้มข้น 0.20 mg L^{-1} มาวิเคราะห์ทั้งหมด 20 ครั้ง พบว่าค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ต่ำที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้คือ 0.06 mg L^{-1} (3σ)

1.12 การทำกราฟเทียบมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานเป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่ได้ โดยกราฟมาตรฐานที่ได้จะสามารถใช้ได้เฉพาะในการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เมื่อจะทำการวิเคราะห์ใหม่จะต้องเตรียมใหม่ เนื่องจากในการวิเคราะห์แต่ละวิธีหรือแต่ละเครื่องมือ จะมีช่วงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพราะตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองอาจมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วได้ผลการทดลองดังภาพ 8



ภาพ 8 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

1.13 การศึกษา Preconcentration factor

ทำการศึกษาค่า Preconcentration factor เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ผ่านการเพิ่มความเข้มข้นแล้วกับสารละลายตะกั่วที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น จากการศึกษาพบว่าปริมาณตะกั่วที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นกราฟมาตรฐานคือ $y = 0.026x + 0.003$, $R^2 = 0.998$ ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ผ่านการเพิ่มความเข้มข้นกราฟ

มาตรฐาน คือ $y = 0.033x + 0.004$, $R^2 = 0.998$ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้น ตะกั่วพบว่ามีความ Preconcentration factor 1.3

1.14 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรจำนวน 5 แหล่ง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2554 โดยใช้สภาวะดังตาราง 6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในน้ำตัวอย่างแสดงผลดังตาราง 7

ตาราง 7 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mgL^{-1})	
	Amberlite XAD-4	การย่อยแบบเปียก
1. อ่างเก็บน้ำ	ND	ND
2. คลองหนองเหล็ก	ND	ND
3. คลองชลประทาน	ND	ND
4. คลองหน้าคณะวิทยาศาสตร์	ND	ND
5. คลองหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์	ND	ND

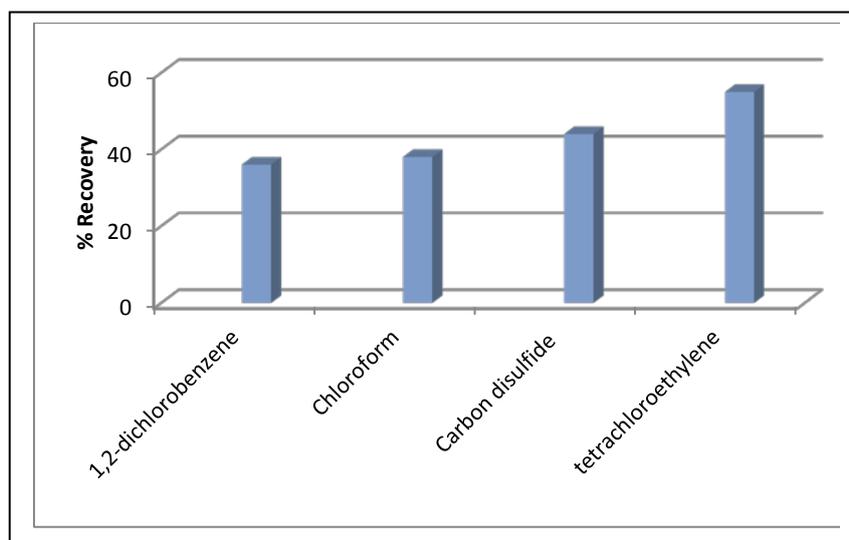
ND = ตรวจไม่พบ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างพบว่าไม่สามารถทำการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างได้ เนื่องจากเป็นฤดูฝนและมีปริมาณน้ำในแหล่งที่เก็บน้ำตัวอย่างมาก จึงอาจทำให้ปริมาณของตะกั่วที่เจือปนอยู่มีความเจือจางมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

2. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธีดีสเพอซีฟไมโครเอ็กแทรกชัน (DLLME)

2.1 การศึกษาชนิดของตัวสกัด

ทำการศึกษาตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัดตะกั่วออกจากสารตัวอย่าง ได้ผลการทดลองดัง
ภาพ 9



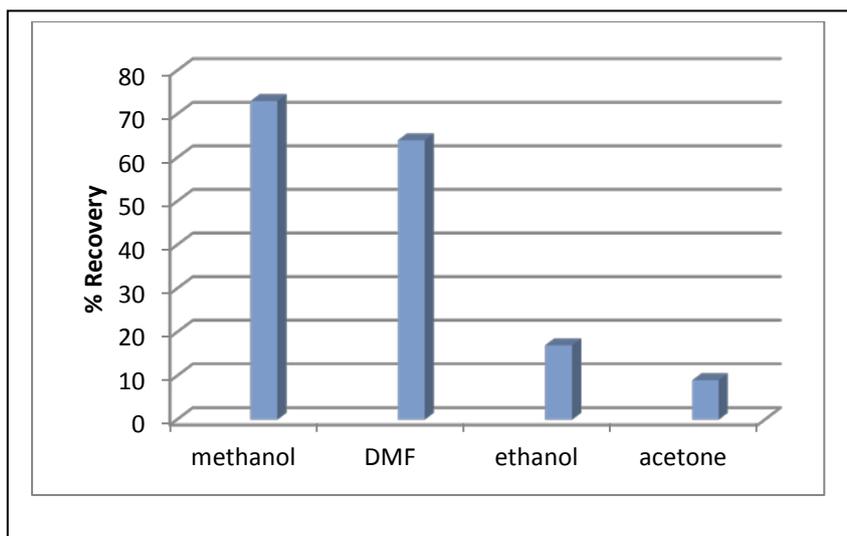
ภาพ 9 การศึกษาชนิดของตัวสกัด

จากภาพ 9 ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดตะกั่ว คือ tetrachloroethylene เนื่องจากเมื่อใช้สารนี้เป็นตัวสกัดสามารถสกัดตะกั่วออกมาได้ในปริมาณมากที่สุด

2.2 การศึกษาชนิดของตัวทำละลายแพร่กระจาย (Disperser solvent)

ทำการศึกษาตัวทำละลายแพร่กระจายชนิดต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การสกัดตะกั่วออกมาได้ดีที่สุด ได้ผลการทดลองดังภาพ 10

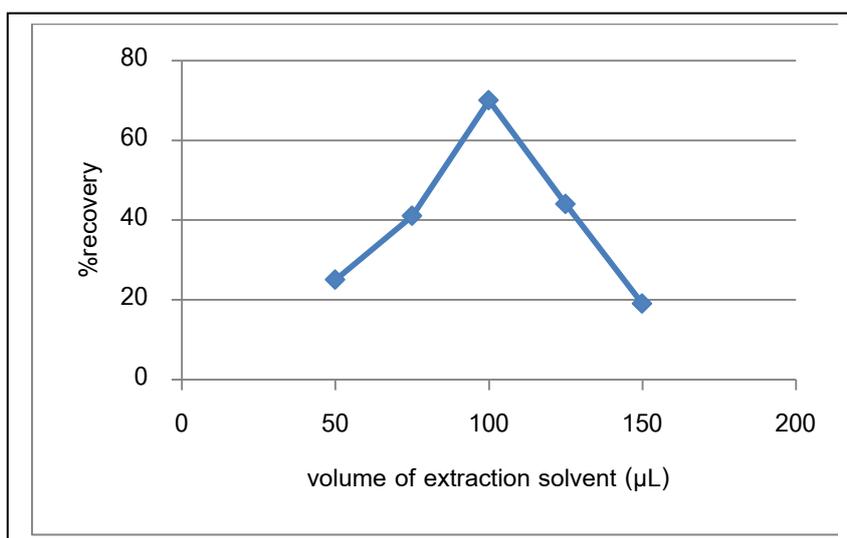
จากภาพ 10 พบว่าเมทานอล และ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ให้ค่าร้อยละการกลับคืนใกล้เคียงกัน แต่ในการทดลองนี้เลือกใช้ เมทานอลเป็นตัวทำละลายแพร่กระจาย เนื่องจาก ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ มีจุดเดือดสูงกว่า เมทานอล การทำให้ตัวทำละลายนี้ระเหยออกจากสารตัวอย่างจึงใช้เวลาในการทดลองมากกว่า และจากการศึกษาการเพิ่มปริมาณร้อยละการกลับคืนของตะกั่วโดยการทำการสกัดมากกว่า 1 ครั้ง พบว่าการสกัดสารตัวอย่างด้วยเมทานอล 2 ครั้งให้ค่าร้อยละการกลับคืนเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 73 % ดังนั้นการศึกษาสภาวะอื่นจะใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายแพร่กระจายตัวอย่างในการสกัด 2 ครั้ง



ภาพ 10 การศึกษาชนิดของตัวทำละลายแพร่กระจาย

2.3 การศึกษาปริมาณของตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัด

ทำการศึกษาปริมาณของ tetrachloroethylene ที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารตัวอย่างที่ปริมาณต่าง ๆ กัน ได้ผลการทดลองดังภาพ 11

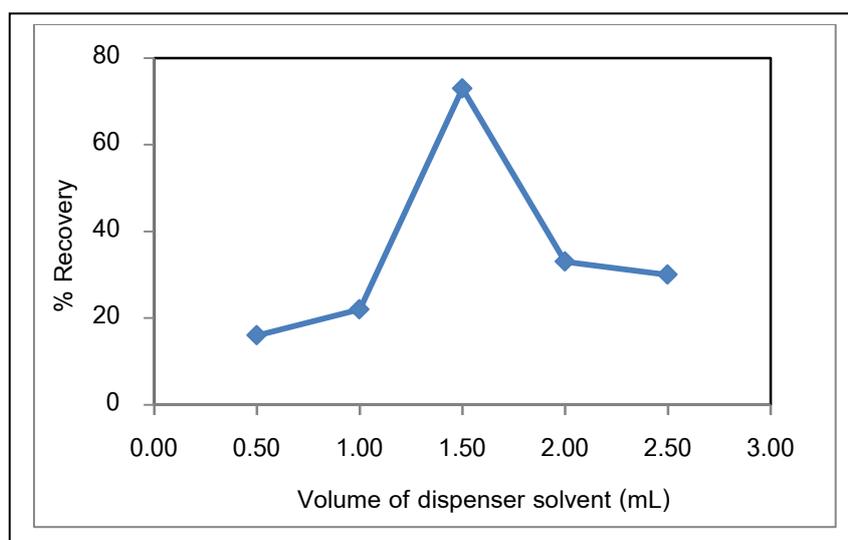


ภาพ 11 การศึกษาปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัด

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ปริมาตรของ tetrachloroethylene 100 μ L เป็นตัวสกัดสารตัวอย่างจะให้ค่าร้อยละการกลับคืนมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาตรนี้ในการทดลองต่อไป

2.4 การศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายแพร่กระจาย

ทำการศึกษาปริมาตรของเมทานอลที่ใช้เป็นตัวทำละลายแพร่กระจาย ได้ผลการทดลองดังภาพ 12



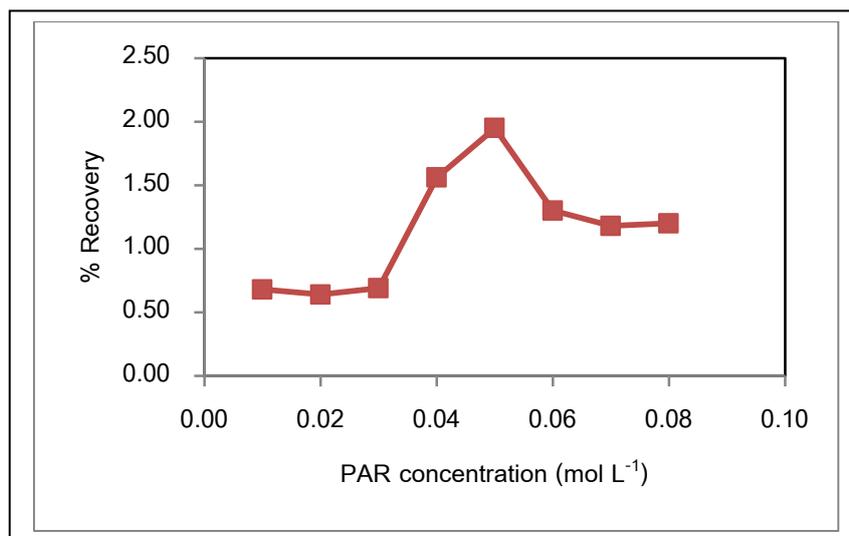
ภาพ 12 การศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายแพร่กระจาย

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ปริมาตรของเมทานอล 1.5 mL เป็นตัวทำละลายแพร่กระจายจะให้ค่าร้อยละการกลับคืนมากที่สุด ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ปริมาตรเมทานอล 1.5 mL

2.5 การศึกษาความเข้มข้นของ PAR ที่ใช้เป็น complexing agent

ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของ PAR ที่ใช้เป็น complexing agent ได้ผลการทดลองดังภาพ 13

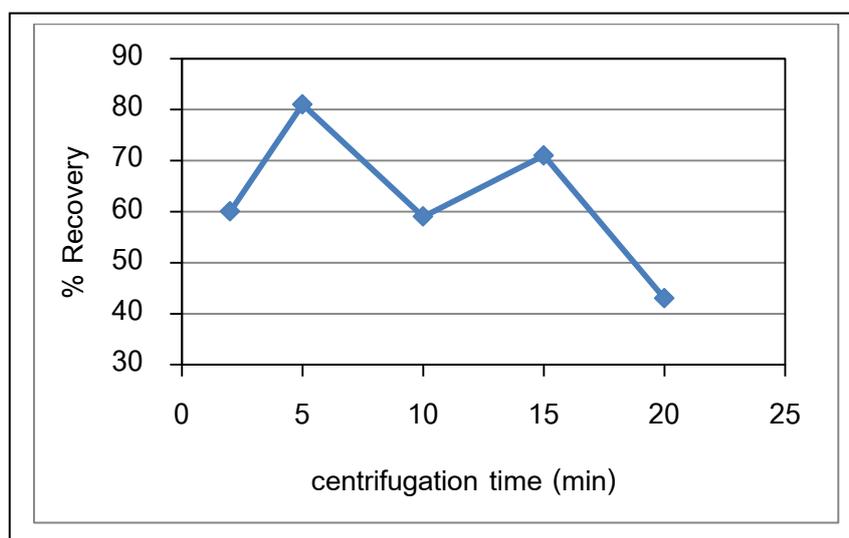
จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ PAR เพิ่มขึ้นค่าร้อยละการกลับคืนจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้น 0.05 M และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 0.05 M ค่าร้อยละการกลับคืนจะลดลง ดังนั้นจึงเลือกใช้ PAR ที่ความเข้มข้น 0.05 M ในการทดลองต่อไป



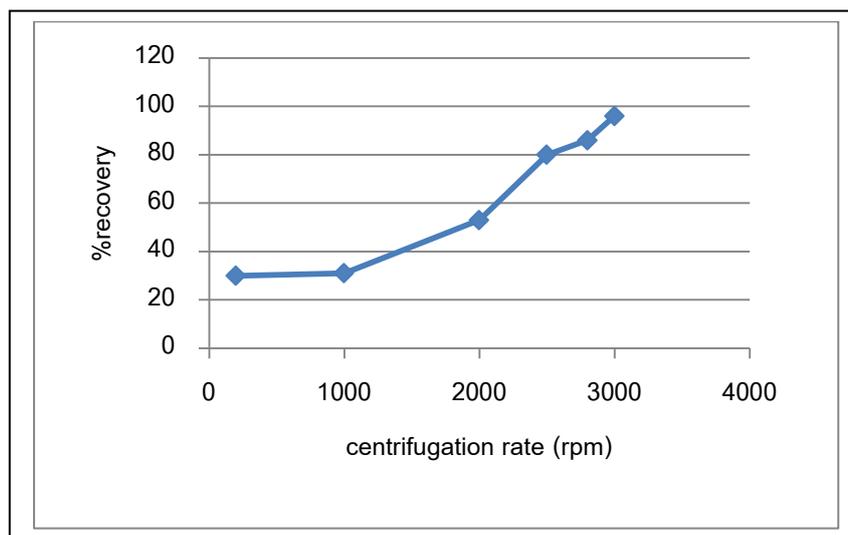
ภาพ 13 การศึกษาหาความเข้มข้นของ PAR ที่ใช้เป็น complexing agent

2.6 การศึกษาเวลาและอัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยง

ทำการศึกษาเวลาและอัตราเร็วที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยงสารละลายเพื่อให้เกิดการแยกชั้นได้อย่างสมบูรณ์ ได้ผลการทดลองดังภาพ 14 และ 15 ตามลำดับ



ภาพ 14 การศึกษาเวลาในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย



ภาพ 15 การศึกษาอัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย

จากภาพ 14 และ 15 พบว่า เวลาในการหมุนเหวี่ยงสารละลายที่เหมาะสม เท่ากับ 5 นาที และใช้อัตราเร็ว 3000 รอบต่อนาที ให้ค่าร้อยละการกลับคืนมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาวะนี้ในการทดลองต่อไป

2.7 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME

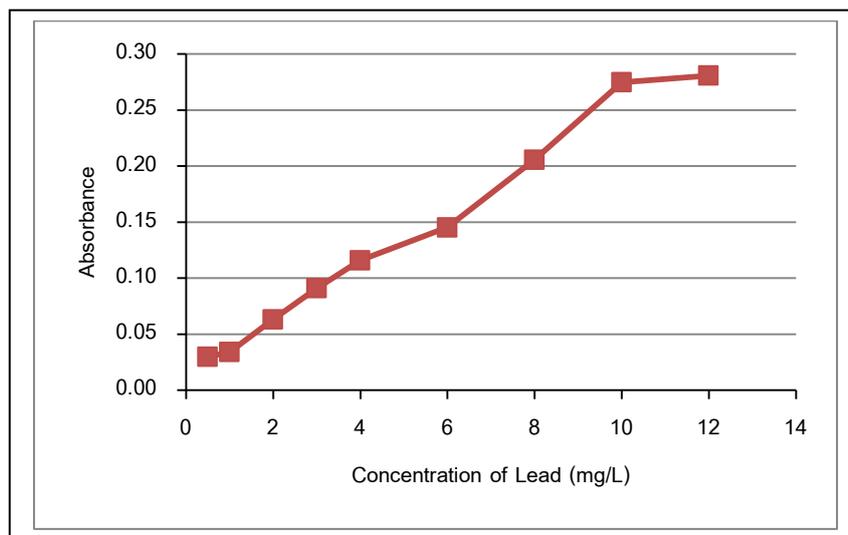
จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLMEดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตาราง 8

ตาราง 8 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
ชนิดของตัวสกัด	Tetrachloroethylene
ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายสารตัวอย่าง	เมทานอล
ปริมาตรของตัวสกัด	100 μ L
ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายสารตัวอย่าง	1.5 mL
ความเข้มข้นของ PAR	0.05 M
เวลาในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย	5 นาที
อัตราเร็วในการหมุนเหวี่ยงสารละลาย	3000 รอบต่อนาที

2.8 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารละลายตัวอย่างโดยวิธี DLLME ในการศึกษาใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 0.50-12.00 mgL⁻¹ โดยใช้สภาวะดังตาราง 8 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพ 16



ภาพ 16 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME

จากภาพ 16 พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME มี 2 ช่วง คือ ช่วงความเข้มข้นของตะกั่ว 1.00-4.00 mg L⁻¹ และ 6.00-10.00 mg L⁻¹ ดังนั้นจึงใช้ช่วงที่ศึกษาได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณตัวอย่างจริงต่อไป

2.9 การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1 และ 3 mgL⁻¹ ทำการทดลองในแต่ละความเข้มข้น 10 ครั้ง และใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 8 จากการทดลองพบว่าสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 mgL⁻¹ ให้ค่า %RSD เท่ากับ 2.85 และ 2.87% ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำสูง เนื่องจากมีค่า %RSD ต่ำ

2.10 การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

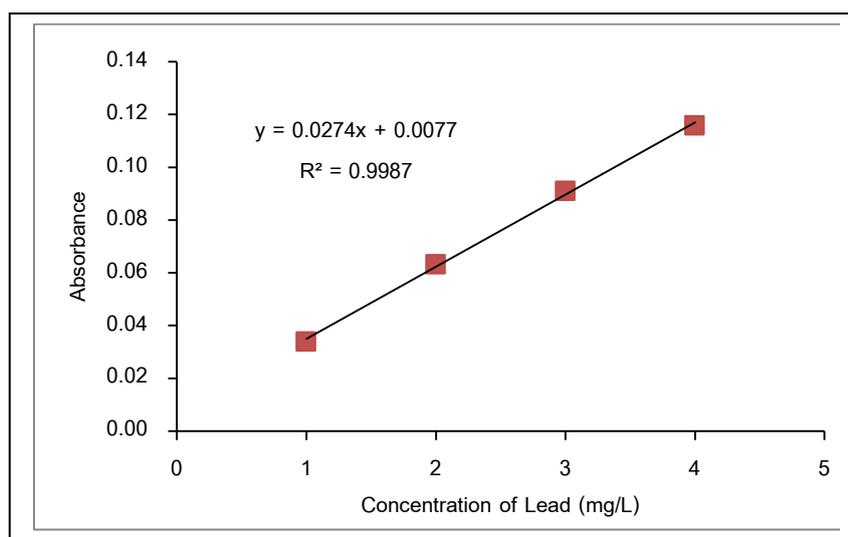
การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเกี่ยวข้องกับผู้ทำการทดลองและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 mgL⁻¹ ความเข้มข้นละ 3 ขวด ทำการวัดซ้ำขวดละ 3 ครั้ง โดยใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 8 จากการทดลองพบว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่วมีค่า %RSD 1.76 และ 2.75% ตามลำดับ ดังนั้นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สูงเนื่องจากในการวิเคราะห์มีค่า %RSD ไม่เกิน 5%

2.11 การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME

ทำการศึกษาหาขีดจำกัดของการวิเคราะห์ตะกั่วโดยวิธี DLLME โดยใช้สารละลายตะกั่วเข้มข้น 0.25 mg L⁻¹ มาวิเคราะห์ทั้งหมด 20 ครั้ง พบว่าค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ต่ำที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้คือ 0.20 mg L⁻¹ (3σ)

2.12 การทำกราฟเทียบมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานเป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่ได้ ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME ได้ผลการทดลองดังภาพ 17



ภาพ 17 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธี DLLME

2.12 การศึกษา Enrichment factor

ทำการศึกษาค่า Enrichment factor เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ผ่านการเพิ่มความเข้มข้นแล้ว กับสารละลายตะกั่วที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น จากการศึกษพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วก่อนการสกัดมีค่าเท่ากับ 3.0 mg L^{-1} และหลังจากการสกัดแล้วมีความเข้มข้นเป็น 7.2 mg L^{-1} ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วพบว่ามีค่า Enrichment factor 2.4

2.13 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรจำนวน 5 แหล่ง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2555 โดยใช้สภาวะดังตาราง 8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างแสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mgL^{-1})	
	DLLME	การย่อยแบบเปียก
1. อ่างเก็บน้ำ	ND	ND
2. คลองหนองเหล็ก	ND	ND
3. คลองชลประทาน	0.016	0.006
4. คลองหน้าคณะวิทยาศาสตร์	0.100	0.160
5. คลองหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์	ND	ND

ND = ตรวจไม่พบ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างพบว่าสามารถทำการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างได้ในบางแหล่ง และเมื่อทำการวิเคราะห์เทียบกับวิธีการย่อยแบบเปียกพบว่าผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้มีความน่าเชื่อถือ

บทที่ 5

บทสรุป

ทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นและการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำโดยใช้ Amberlite XAD-4/4-(2-pyridylazo) resorcinol เป็นเฟสของแข็งและใช้เทคนิคการสกัดระดับจุลภาคของเหลว ก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี โดยทำการศึกษาหาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง โดยจะต้องเป็นค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้จากการวิเคราะห์ จากนั้นทำการศึกษาคูณลักษณะต่าง ๆ เช่น ความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำของเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ และค่า preconcentration factor แล้วจึงนำไปใช้กับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลองสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมและคุณลักษณะต่าง ๆ ของการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงดังตาราง 6 และ 8 และทำการศึกษากฎมาตรฐานจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่วิเคราะห์ได้ พบว่าในเทคนิคการสกัดด้วยเฟสของแข็งตะกั่วมีความเป็นเส้นตรงในช่วง $0.20-3.00 \text{ mg L}^{-1}$ โดยมีสมการเส้นตรง คือ $y = 0.033x + 0.004$, $R^2 = 0.998$ ความแม่นยำของเครื่องมือใช้ในการวิเคราะห์และความแม่นยำของเทคนิคใช้ในการวิเคราะห์ตะกั่ว มีค่าไม่เกิน 5% มีค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ 0.06 mg L^{-1} และมีค่า preconcentration factor เท่ากับ 1.3 นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างด้วยวิธี calibration method พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำนั้นไม่สามารถตรวจไม่พบ เนื่องจากเป็นฤดูฝนและมีปริมาณน้ำมาก ทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ส่วนในการสกัดด้วยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคของเหลวพบที่ตะกั่วมีช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วงคือ $1.00-4.00 \text{ mg L}^{-1}$ และ $6.00-10.00 \text{ mg L}^{-1}$ โดยมีสมการเส้นตรง คือ $y = 0.027x + 0.007$, $R^2 = 0.998$ และ $y = 0.032x - 0.050$, $R^2 = 0.998$ ตามลำดับ มีค่าความแม่นยำของเครื่องมือและของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2.86 และ 2.26 % ตามลำดับ มีขีดจำกัดในการวิเคราะห์ 0.20 mg L^{-1} และมีค่า preconcentration factor เท่ากับ 2.4 นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง พบว่าสามารถตรวจพบปริมาณตะกั่วได้ในบางแหล่งน้ำเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากในบางแหล่งน้ำอาจจะมีปริมาณตะกั่วที่น้อยและมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการนี้กับวิธีการย่อยแบบเปียก พบว่าผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีความน่าเชื่อถือ

บรรณานุกรม

- 1) ตามรอยโครงการตามพระราชดำริเพื่อการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมเหมืองแร่. (2007) สืบค้นข้อมูลเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2552, จาก <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=devilmelody>
- 2) ทวีวงศ์ ศรีบุรี. (2541). การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มายด์พับลิชชิ่ง.
- 3) Ensafi, Ali A. and Zendegi Shiraz, A. (2008). On-line separation and preconcentration of lead(II) by solid phase extraction using activated carbon loaded with xylene orange and its determination by flame atomic absorption spectrometry, *J. Hazard Materials*. 150, 554-559.
- 4) Ghaedi, M., Niknam, K., Shokrollahi, A., Niknam, E., Rajabi H.R., and Soylak, M.(2008). Flame atomic absorption spectrometric determination of trace amounts of heavy metal ions after solid phase extraction using modified sodium dodecyl sulfate coated on alumina., *J. Hazard. Mater.* 155, 121–127.
- 5) Jahromi, E.Z., Bidari, A., Assadi, Y., Hosseini, M.R.M., Jamali, M.R. (2007). Dispersive liquid-liquid microextraction combined with graphite furnace atomic absorption spectrometry Ultra trace determination of cadmium in water samples., *Anal. Chim. Acta*. 585, 305-311
- 6) Chang, D., Hu, B., and Huang, C. (2009). Chitosan modified ordered mesoporous silica as micro-column packing materials for on-line flow injection-inductively coupled plasma optical emission spectrometry determination of trace heavy metals in environmental water samples., *Talanta*. 78, 491 – 497.
- 7) Ensafi, Ali A. and Ghaderi, Ali R. (2007). On-line solid phase selective separation and preconcentration of Cd(II) by solid-phase extraction using carbon active modified with methyl thymol blue., *J. Hazard. Mater.* 148, 319-325.
- 8) Ding, Tzuoo-Huei, Lin, Huang-Huei and Whang, Chen-Wen. (2005). Determination of chromium(III) in water by solid-phase microextraction with a polyimide-coated fiber and gas chromatography-flame photometric detection., *J. Chromatography A.*, 1062, 49-55.
- 9) Lee, Jin-young, Kumar, J.R., Kim, Joon-Soo, Park, Hyung-Kyu and Yoon, Ho-sung. (2009). Liquid-liquid extraction/separation of platinum(IV) and Phodium(II) from acidic chloride solutions using tri-iso-octylamine., *J. Hazard. Mater.* 169, 424-429.
- 10) Bagheri, H. and Naderi, M. (2009). Immersed single-drop microextraction–electrothermal vaporization atomic absorption spectroscopy for the trace determination of mercury in water samples., *J. Hazard. Mater.* 165, 353-358.

- 11) โครงการการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). วัฏจักรน้ำ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2553. จาก http://www.kanta.ac.th/media/sci/www.lesa.in.th/hydro/water_cycle/water_cycle.ht
- 12) สารโลหะหนัก. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **พิษจากสารโลหะหนัก**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2553. จาก www.look4thailand.com/healthy
- 13) สมคิด ปราบภัย .(2542) . **การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในผักต่างๆโดยเครื่องอะตอมมิค แอ็บซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์**. คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- 14) การจัดการคุณภาพน้ำ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ความสำคัญของน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2553. จาก <http://www.scphub.ac.th/LessonLearn/unit1.htm>
- 15) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **สมบัติของน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2553. จาก http://www3.ipst.ac.th/research/assets/web/.../chapter3_water2.htm
- 16) กรมมลพิษและสิ่งแวดล้อม. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **โลหะหนัก**. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2553. จาก <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK15/chapter/t15-7-12.htm#sect1>
- 17) สารานุกรมเสรี. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.th.wikipedia.org/wiki/%>
- 18) ความรู้เกี่ยวกับตะกั่ว. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **สมบัติของตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://web.ku.ac.th/scho.olnet/snet5/topic2/Pb.html>
- 19) ตะกั่ว. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ประโยชน์ของตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551. จาก http://industrial.uru.ac.th/pdf_book_aj/%CD.%E4%BE%E2%C3%A8%B9%EC/%A.pdf
- 20) กองอาชีวอนามัย. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **พิษตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.dpim.go.th/dt/pper/000001122433753.pdf>
- 21) สลิลลา ยรรยงสวัสดิ์ (2548), **ภาวะการประกอบโลหกรรมของประเทศ ปี 2547**, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- 22) Seyhan, S., Colak, M., Merdivan, M., and Demirel, N. (2007). Solid phase extractive preconcentration of trace metals using *p-tert-butylcalix[4]arene-1,2-crown-4-anchored chloromethylated polymeric resin beads.*, *Analytica Chimica Acta*. 584. 462-468.
- 23) Shabani, A. M. H., Dadfarnia, S., and Dehghani, Z. (2009). On-line solid phase extraction system using 1,10-phenanthroline immobilized on surfactant coated alumina for the flame atomic absorption spectrometric determination of copper and cadmium. *Talanta*. 79. 1066–1070.
- 24) Uran, C., Senturk, H. B., Elci, L., Soylakc, M., and Tufekci, M. (2009). Simultaneous

- preconcentration of Co(II), Ni(II), Cu(II), and Cd(II) from environmental samples on Amberlite XAD-2000 column and determination by FAAS., *J. Hazard. Mater.* 162, 292 – 299.
- 25) Li, Z., Chang, X., Zou, X., Zhu, X., Nie, R., Hua, Z., and Li, R. (2009). Chemically-modified activated carbon with ethylenediamine for selective solid-phase extraction and preconcentration of metal ions., *Anal.Chim.Acta.* 632, 272 – 277.
- 26) Farajadeh, M.A., Bahram, M., Mehr, B.G., Jonsson, J.A. (2008). Optimization of dispersive liquid–liquid microextraction of copper (II) by atomic absorption spectrometry as its oxinate chelate: Application to determination of copper in different water samples. *Talanta.* 75, 832-840.
- 27) Naseri, M.T., Hemmatkhah.M., Hosseini, M.R.M., Assadi, Y. (2008). Combination of dispersive liquid–liquid microextraction with flame atomic absorption spectrometry using microsample introduction for determination of lead in water samples. *Anal. Chim. Acta.* 610, 135-141.
- 28) Anthemidis, A.N., Ioannou, K.L.G. (2009). On-line sequential injection dispersive liquid–liquid microextraction system for flame atomic absorption spectrometric determination of copper and lead in water samples. *Talanta.* 79, 86-91.

Output ที่ได้จากโครงการ

1. สามารถเตรียมเรซินเพื่อใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วโดยวิธี solid phase extraction
2. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยวิธี solid phase extraction
3. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยวิธี DLLME
4. ได้วิธีการที่ง่าย และมีความแม่นยำในการวิเคราะห์
3. สามารถนำวิธีการเพิ่มความเข้มข้นทั้งสองวิธีไปวิเคราะห์กับตัวอย่างจริงได้

ภาคผนวก

