

เลขทะเบียน .....

หนังสือยินยอมการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการบนเว็บไซต์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

เลขที่รับ 54103654

วันที่ 25 ต.ค. 2554

ตามที่ข้าพเจ้า ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ (คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี)

ได้ส่งผลงานทางวิชาการ รายงานการวิจัย เรื่อง การเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยแอมไบโอไลท์เอ็กเอคทีที่เกิดคิเลตก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรเมตรี

ปีที่พิมพ์ 2551

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานทางวิชาการเป็นลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้า แต่เพียงผู้เดียว เพื่อให้ผลงานทางวิชาการของข้าพเจ้าได้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสาธารณชน จึงอนุญาตให้เผยแพร่ผลงาน ดังนี้

- อนุญาตให้เผยแพร่เฉพาะบทคัดย่อ
- อนุญาตให้เผยแพร่ฉบับเต็ม (Full text)
- ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ เนื่องจาก .....

กำหนดระยะเวลาในการเผยแพร่

- 3 ปี
- ตลอดไป

ลงชื่อ .....

( ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ )

วันที่ 25 ต.ค. 54

หมายเหตุ ลิขสิทธิ์ใด ๆ ที่ปรากฏอยู่ในผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน ไม่ใช่ของสำนักหอสมุด

อภิธาน์นทนาการ  
รายงานการวิจัย



เรื่อง

การเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยแอมไบไลท์เอ็กซ์เอ็ดที  
เกิดคิเลตก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  
เฟลมอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปคโตรเมตรี

Preconcentration of Lead with Amberlite XAD Based  
Chelating Resin before Determination by Flame Atomic  
Absorption Spectrometric Technique

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน..... 13 JUL 2011.....
เลขทะเบียน..... 15638539.....
เลขเรียกหนังสือ..... 9 TP.....

245  
-24  
24428  
2551

ทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ประจำปีงบประมาณ 2551

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ของคณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปี 2551 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์  
สถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ผศ. ดร. จินตนา กล้าเทศ

หัวหน้าโครงการวิจัย



ชื่อเรื่อง : การเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยแอมโบไลต์เอ็กเซดีที่เกิดคิเลตก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลม อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรเมตรี

หัวหน้าโครงการวิจัย : ผศ. ดร.จินตนา กล้าเทศ

### บทคัดย่อ

ศึกษาหาสภาวะในการเตรียมเรซินแอมโบไลต์ เอ็กเซดี -4 และ 7 ที่เกิดคิเลตกับ 4-(2-ไพริดีลอะโซ)รีซอซินอล ที่ใช้เพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว (+2) ก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรเมตรี ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยใช้คอลัมน์ เช่น ปริมาตรของตัวอย่างและกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะ และความเข้มข้นของกรดไนตริกเป็นต้น วิธีการนี้มีค่าร้อยละการคืนกลับเท่ากับ 95% ความแม่นยำและความถูกต้องของมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5% และมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์เท่ากับ 0.0151 และ 0.0181 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเรซินแอมโบไลต์เอ็กเซดี-4 และ 7 ตามลำดับ วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว (+2) ในน้ำดื่มและน้ำธรรมชาติรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรได้

Title : Preconcentration of Lead with Amberlite XAD Based Chelating Resin before Determination by Flame Atomic Absorption Spectrometric Technique

Researcher : Assist. Prof. Dr.Jintana Klamtet

#### Abstract

The chelating resins, 4-(2-pyridylazo)resorcinol (PAR) coated Amberlite XAD-4 and Amberlite XAD-7, were prepared and used for preconcentration of Pb(II) prior of its determination by flame atomic absorption spectrometry. The optimum values for column operation such as pH, sample and eluent volume, and concentration of HNO<sub>3</sub> were optimized. The recoveries for the analytes under the optimum working condition were 95%. The relative standard deviation of the determinations was below 5%. The limits of detection (3S, n=5) for analyte were found to be 0.0151 and 0.0181 mg L<sup>-1</sup> for Amberlite XAD-4 and Amberlite XAD-7, respectively. The proposed method was applied to the analysis of lead(II) in drinking water around Naresuan University.

## สารบัญ

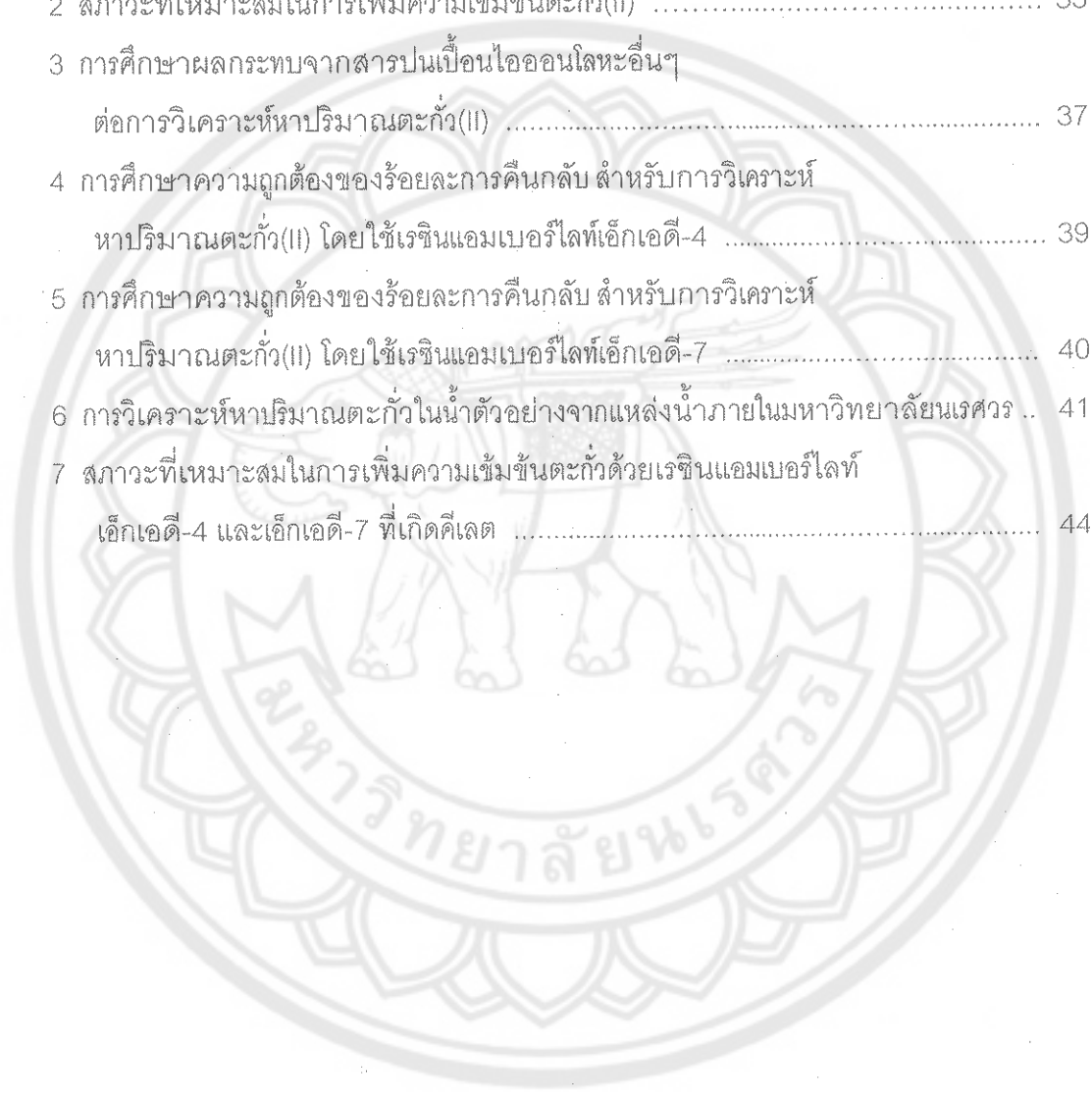
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญภาพ .....	ฉ
อักษรย่อ .....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
ความสำคัญและแหล่งที่มาของน้ำ .....	1
ลักษณะคุณภาพของน้ำ .....	4
คุณค่าและประโยชน์ของน้ำ .....	7
ปัญหาน้ำเสีย .....	8
โลหะหนัก .....	9
ตะกั่ว .....	10
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในน้ำ .....	17
หลักการและทฤษฎีของเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโทรสโกปี.....	19
ชนิดของเรซินที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	22
<b>บทที่ 2 วิธีการทดลอง</b> .....	<b>25</b>
อุปกรณ์และสารเคมี .....	25
การเตรียมสารละลาย .....	26
การหาสภาวะที่เหมาะสม .....	27
<b>บทที่ 3 ผลการทดลอง</b> .....	<b>28</b>
การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการคนเรซินกับสารละลาย PAR .....	28
การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR .....	30
การศึกษาหาชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ .....	30
การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว(II) .....	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริก .....	32
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration) .....	33
การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง .....	33
การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือ .....	34
การศึกษาความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) .....	34
การทำกราฟมาตรฐาน .....	35
การศึกษาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ .....	36
การศึกษามลจากสารปนเปื้อน .....	36
การศึกษาค่าความถูกต้องของวิธี .....	39
การศึกษา Preconcentration factor .....	40
การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจริง .....	41
บทที่ 4 บทสรุป .....	43
สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว ด้วยเรตินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4 และเอ็กเอดี-7 ที่เกิดคีเลต .....	43
ข้อเสนอแนะ .....	44
บรรณานุกรม .....	45
ภาคผนวก .....	48
ภาคผนวก ก สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง .....	49

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 สภาวะที่เริ่มต้นในการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว .....	28
2 สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II) .....	33
3 การศึกษาผลกระทบจากสารปนเปื้อนไอออนโลหะอื่นๆ ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) .....	37
4 การศึกษาความถูกต้องของร้อยละการคืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์ หาปริมาณตะกั่ว(II) โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กเจดี-4 .....	39
5 การศึกษาความถูกต้องของร้อยละการคืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์ หาปริมาณตะกั่ว(II) โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กเจดี-7 .....	40
6 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ..	41
7 สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์ เอ็กเจดี-4 และเอ็กเจดี-7 ที่เกิดคิเลต .....	44





## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ส่วนประกอบของ Atomic Absorption Spectrophotometer .....	19
2 flame atomization process .....	21
3 โครงสร้างของ Amberlite XAD-4 resin .....	22
4 โครงสร้างของ Amberlite XAD-7 resin .....	23
5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซินกับสารละลาย PAR .....	29
6 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิด สารประกอบเชิงซ้อน .....	30
7 การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว(II) .....	31
8 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริก .....	32
9 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) .....	34
1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 .....	35
11 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-7 .....	36
12 แผนที่สถานที่เก็บน้ำตัวอย่างรอบมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ .....	50

## อักษรย่อ

pH	= power of hydrogen ion concentration
UV-VIS	= Ultraviolet and visible
FAAS	= Flame Atomic Absorption Spectrometry
PAR	= 4-(2-pyridylazo) resorcinol Monosodium Hydrate
$\text{mol L}^{-1}$	= โมลต่อลิตร
$\text{mg L}^{-1}$	= มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	= มิลลิลิตร
cm	= เซนติเมตร
$\text{Abs/mg L}^{-1}$	= ค่าการดูดกลืนแสงต่อมิลลิกรัมต่อลิตร



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและแหล่งที่มาของน้ำ <sup>(1)</sup>

โลกของเราประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยส่วนที่เป็นผิวน้ำนั้น มีอยู่ประมาณ 3 ส่วน (75%) และเป็นพื้นดิน 1 ส่วน (25%) น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์บนโลก รวมทั้งมนุษย์เราด้วย น้ำเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีการหมุนเวียนเคลื่อนที่จากที่แห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง และเปลี่ยนสถานะหนึ่งไปเป็นสถานะหนึ่งของแข็ง ของเหลว ไอ น้ำ ส่วนนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ได้แก่ น้ำผิวดินที่ปรากฏอยู่ตาม แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ น้ำใต้ดินและน้ำในบรรยากาศ

น้ำในโลกสามารถจัดแบ่งได้ดังนี้

น้ำเค็มหรือน้ำทะเล	97.137%
น้ำจืด	2.863%
น้ำแข็งตามขั้วโลกและหิมะที่จับอยู่ตามยอดเขาสูง	2.240%
น้ำภายใต้พื้นดิน เช่น น้ำในดิน ความชื้นในดิน	0.612%
น้ำตามหนอง บึง และทะเลสาบ	0.009%
น้ำในแม่น้ำลำคลอง	0.0001%
น้ำในบรรยากาศ	0.0001%

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างมาก ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และการรักษาความสมดุลของโลก เมื่อขาดน้ำ มนุษย์และสิ่งมีชีวิตก็ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เพราะน้ำเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งคน สัตว์ และพืช มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ในร่างกายของมนุษย์มีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 70 ในพืชบกมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 50-75 ในพืชน้ำมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 95-99 เรามีน้ำอยู่ประมาณสองในสามของร่างกาย และน้ำยังเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศอีกด้วย

น้ำเป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดหมุนเวียนได้เรื่อย ๆ ไม่มีวันหมดสิ้น เมื่อแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเลและมหาสมุทรก็จะระเหยเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบนเนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละออง

**MISSING**



น้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำกระบวนการเช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรน้ำทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอยู่เสมอ<sup>[2]</sup>

วัฏจักรของน้ำ คือ น้ำเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะระเหยเป็นไอ ลอยขึ้นไปในอากาศ เมื่ออากาศนี้ลอยสูงขึ้นและเย็นลง ไอน้ำก็จะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ กลายเป็นเมฆที่เราเห็นลอยอยู่ในท้องฟ้า ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้มารวมตัวกันมากขึ้นก็จะกลายเป็นเม็ดฝนตกลงมายังพื้นดิน การหมุนเวียนเปลี่ยนไปจากน้ำเป็นไอน้ำแล้วเปลี่ยนกลับเป็นหยดน้ำ ตกกลับสู่พื้นดินเช่นนี้เรียกว่า " วัฏจักรของน้ำ " <sup>[3]</sup>

ทุก ๆ วัน น้ำในทะเล ทะเลสาบ และมหาสมุทรซึ่งปกคลุมพื้นผิวของโลกอยู่มากกว่า 70% จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปในอากาศอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดเมฆและวกกลับลงมาเป็นฝนยังพื้นดินไหลซึมลงไปในดินเป็นน้ำใต้ดินและไหลบ่าไปบนพื้นดินเป็นลำธารและแม่น้ำ ไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทรอีกวนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา โดยปกติน้ำในบรรยากาศมีอยู่ประมาณ 0.01% ของน้ำทั้งหมดบนโลก และประมาณ 97% อยู่ในน้ำทะเลและมหาสมุทร

## 1.2 ลักษณะคุณภาพ ประโยชน์ และปัญหาน้ำเสียของน้ำ

### 1.2.1 คุณภาพน้ำ

ในการพิจารณาคุณภาพของน้ำนั้น มาตรฐานที่เป็นเครื่องบอกคุณภาพน้ำ กำหนดจากคุณลักษณะของน้ำดังต่อไปนี้

#### 1) ลักษณะสมบัติทางกายภาพ <sup>[4]</sup>

คือ ลักษณะทางภายนอกที่แตกต่างกัน เช่นความใส ความขุ่น กลิ่น สี เป็นต้น

(1) อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

(2) สี (color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติจะมีสีเหลืองซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ น้ำในแหล่งน้ำที่มีใบไม้ทับถมจะมีสีน้ำตาล หรือถ้ามีตะไคร่น้ำก็จะมีสีเขียว

(3) กลิ่นและรส กลิ่นและรสของน้ำจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยหรือสารในกลุ่มของฟีนอล เกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งจะทำให้ น้ำมีรสกร่อยหรือเค็ม

(4) ความขุ่น (turbidity) เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ดิน ซากพืช ซากสัตว์

(5) การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) บอกลักษณะความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิออนโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า

(6) ของแข็งทั้งหมด (total solid: TS) คือ ปริมาณของแข็งในน้ำ สามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐาน คำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไป ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักน้ำที่ชั่งหลังการกรองลดด้วยน้ำหนักหลังจากการเผา น้ำหนักที่ได้คือของแข็งส่วนที่ระเหยไป

## 2) สมบัติทางด้านเคมีของน้ำ

คือ ลักษณะทางเคมีของน้ำ เช่น ความเป็นกรด - เบส ความกระด้าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ เป็นต้น

(1) pH แสดงความเป็นกรดหรือเบสของน้ำ (น้ำดื่มควรมีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.3) โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ที่ต่ำ ( $\text{pH} < 7$ ) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูงมีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด-เบส ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ  $[\text{H}^+]$  หรือการวัดโดยใช้ pH meter เมื่อต้องการให้ความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (alkalinity) คือสภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นเบสสูงจะประกอบด้วยไอออนของ  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพเบสนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ด้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำ ทั้ง สภาพกรด (acidity) โดยทั่วไปน้ำที่จากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพเบสจึงไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป แต่น้ำที่จากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก  $\text{CO}_2$  ที่ละลายน้ำ

(2) ความกระด้าง (hardness) เป็นการไม่เกิดฟองกับสบู่และเมื่อต้มน้ำกระด้างนี้จะเกิดตะกอน น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารไบคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) รวมตัวกับ ไอออนของโลหะเช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการต้ม นอกจากนี้แล้วยังมีความกระด้างถาวรซึ่งเกิดจากอิออน

ของโลหะและสารที่ไม่ใช่พวกคาร์บอเนต เช่น  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  รวมตัวกับ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น ความกระด้างจึงเป็นข้อเสียในด้านการสิ้นเปลืองทรัพยากร คือต้องใช้ปริมาณสบู่หรือผงซักฟอกในการซักผ้าในปริมาณมาก ซึ่งก็จะเกิดตะกอนมากเช่นกัน

(3) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) แบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่า DO สูง และน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 ppm หรือปริมาณ  $\text{O}_2$  ละลายอยู่ปริมาณ 5-8 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 5-8 ppm. น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm. ค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่

(4) บีโอดี (biological oxygen demand) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาค่าบีโอดีหาได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สารซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานหลายสัปดาห์ ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาบีโอดีมา 2 ขวดขวดหนึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าออกซิเจนทันที 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

(5) COD (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณ  $\text{O}_2$  ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ในปริมาณมากเกินไปในสารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งซึ่งแสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

(6) ทีโอดี (Total Organic Carbon: TOC) คือ ปริมาณคาร์บอนในน้ำ

(7) ไนโตรเจน เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนเตรต ยิ่งถ้าในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

(8) ฟอสฟอรัส ในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) เช่นสาร  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$  และ  $H_3PO_4$  นอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟอสเฟต

(9) ซัลเฟอร์ มีอยู่ในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบภายในของสิ่งมีชีวิต สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำจะอยู่ในรูปของ organic sulfur เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า เช่น ที่เรียกว่าก๊าซไข่เน่า และนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมได้

(10) โลหะหนัก มีทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ ถ้ามากเกินไปจะเป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี บางชนิดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่วปรอทและนิกเกิล

### 1.2.2 คุณค่าและประโยชน์ <sup>(5)</sup>

ประโยชน์ของน้ำ สามารถกล่าวอ้างพอสังเขปได้ดังนี้

1. มนุษย์ใช้น้ำดื่ม น้ำชนิดนี้ต้องสะอาดปลอดภัย สิ่งเหล่านี้เริ่มสำคัญและจำเป็นมากขึ้นเมื่อตอนรู้จักว่าน้ำไม่สะอาดนั้นเปรียบเสมือนยาพิษ
2. มนุษย์ใช้ในบ้านเรือน เช่น ใช้อาบ ใช้ซักฟอก ใช้ปรุงอาหาร ชำระล้าง ถ้ายาของเสียจะกันว่าคนหนึ่ง ๆ ถ้าจะใช้น้ำให้พอดีคนหนึ่ง ๆ จะต้องใช้น้ำ 100 ลิตรต่อวัน
3. ใช้ในด้านอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมทุกชนิดต้องใช้น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการกลึงเหล็ก ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก คือจะใช้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุตสาหกรรมแต่ละชนิด บางครั้งถ้าโรงงานอุตสาหกรรมขาดแคลนนํ้ามากเข้าก็อาจเลิกกิจการ การอุตสาหกรรมใช้น้ำดังนี้
  - 3.1 ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์
  - 3.2 ใช้เป็นตัวละลายวัตถุที่ใช้ในอุตสาหกรรม
  - 3.3 ใช้เป็นตัวทำความสะอาดล้างวัตถุดิบ
  - 3.4 ใช้กำจัดของเสียของโรงงานอุตสาหกรรม
4. น้ำเป็นที่อยู่อาศัยของปลา และสัตว์น้ำ
5. ใช้เป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ เช่น ว่ายน้ำ พายเรือ และอื่น ๆ
6. ใช้เป็นทางคมนาคม การขนส่งทางน้ำมีความสำคัญมาก เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
7. น้ำให้พลังงาน อาจจะนำพลังงานไปใช้ในโรงงานโดยตรง หรือนำไปเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้า
8. ใช้ในการเกษตรเป็นเรื่องสำคัญ เพราะน้ำจำเป็นสำหรับความเจริญงอกงามของพืชซึ่งหมายถึงพืชที่มนุษย์เพาะปลูกด้วยน้ำที่ใช้ในการนี้มีมากกว่าการใช้น้ำประเภทอื่น ๆ



### 1.2.3 ปัญหาน้ำเสีย<sup>[3]</sup>

น้ำเสียเป็นผลมาจากการใช้น้ำ เพื่อการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ ทั้งในกิจวัตรประจำวัน อุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม

แหล่งกำเนิดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. น้ำเสียจากแหล่งชุมชน ประกอบด้วยชุมชนขนาดใหญ่และขนาดย่อม ได้แก่ ย่านชุมชน และพาณิชยกรรม โรงแรม สถานบริการ สถานที่ราชการ ตลาดสด ตลอดจนบ้านเรือนของราษฎร ที่ปลูกรุกกล้าในคลองชลประทาน

2. น้ำเสียจากโครงการอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นโรงงานประเภทอุตสาหกรรมเกษตร และโรงงานผลิตสุรา โรงงานส่วนใหญ่ยังไม่มี การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย หรือมีแต่ไม่ได้เปิดใช้งาน เพราะต้องการประหยัดค่ากระแสไฟฟ้า ทำให้โรงงานปล่อยน้ำเสียลงในแม่น้ำลำคลอง

3. น้ำเสียจากเกษตรกรรม เนื่องจากมีพื้นที่เพื่อการเกษตรประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดมีการตรวจพบวัฏภูมิพิษสารเคมีในกลุ่มออกาโนคลอรีน ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและผู้ใช้น้ำอุปโภค-บริโภค น้ำเสียจากเกษตรกรรมแบ่งได้ดังนี้

3.1 น้ำเสียจากกสิกรรม

3.2 น้ำเสียจากปศุสัตว์

3.3 น้ำเสียจากการประมง

จากการสำรวจ และประเมินความสกปรกจากแหล่งกำเนิดของเสียแต่ละกิจกรรม ซึ่งระบายลงสู่แม่น้ำมีดังนี้

แหล่งกำเนิดของเสีย เกษตรกรรม ปริมาณของเสีย 15,000 กก./วัน

แหล่งกำเนิดของเสีย แหล่งชุมชน ปริมาณของเสีย 11,000 กก./วัน

แหล่งกำเนิดของเสีย โรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณของเสีย 270 กก./วัน

4. น้ำเสียที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิด ได้แก่ น้ำฝน และน้ำหลากที่ไหลผ่านและชะล้างความสกปรกต่าง ๆ เช่น กองขยะมูลฝอย แหล่งเก็บสารเคมี ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และคลองระบายน้ำ

ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

1. เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด ท้องเสีย

2. เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรคต่าง ๆ

3. ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อดิน น้ำ และอากาศ

4. ทำให้เกิดเหตุรำคาญ เช่น กลิ่นเหม็นของน้ำโสโครก

5. ทำให้เกิดการสูญเสียทัศนียภาพ เกิดสภาพที่ไม่น่าดู เช่น สภาพน้ำที่มีสีดำคล้ำไปด้วยขยะและสิ่งปฏิกูล

6. ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เช่น การสูญเสียพันธุ์ปลาบางชนิดจำนวนสัตว์น้ำลดลง
7. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในระยะยาว

### องค์ประกอบของสารมลพิษในน้ำเสีย <sup>[2]</sup>

สารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำมีมากมายหลายอย่าง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 1. ประเภทที่ต้องการออกซิเจน ได้แก่

- ชยะและมูลสัตว์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ ทำให้เกิดแบคทีเรียและไวรัส
- ปุ๋ยและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นสารอินทรีย์เช่นเดียวกัน ทำให้เกิดสารไนเตรทและสารฟอสเฟต
- สารซักฟอก สารฆ่าแมลง สารฆ่าวัชพืช จัดเป็นพวกสารอินทรีย์ เช่นเดียวกัน

#### 2. ประเภทอื่นๆ

- กรด ด่าง เกลือ ซึ่งได้จากน้ำทิ้งจากเหมืองแร่ และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สารเหล่านี้เป็นสารอนินทรีย์
- สารกัมมันตรังสีจากเหมืองแร่ และสถานที่ซึ่งใช้สารกัมมันตภาพรังสี
- ความร้อนจากโรงงานที่ปล่อยน้ำร้อนออกมา เช่น โรงไฟฟ้าบางแห่ง

### 1.3 โลหะหนัก <sup>[6]</sup>

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 23-92 อยู่ในคาบ 4-7 ในตารางธาตุ มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม / ลบ.ซม. โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไลน์ (Alkali) และอัลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth) ปกติโลหะหนักเมื่ออยู่ในรูปของธาตุบริสุทธิ์จะมีความเป็นพิษเล็กน้อย แต่ถ้าอยู่ในสารประกอบบางตัวจะเป็นอันตรายมาก โลหะหนักมีทั้งหมด 86 ธาตุ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท โคบอลต์ สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส สารหนู เป็นต้น โลหะที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู มนุษย์ที่ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย อาจเกิดจากการที่โลหะหนักสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารและในกระบวนการชีวภาพมนุษย์ อาจจะเกิดจากการบริโภคเข้าไปโดยตรง สัมผัส หรือได้รับโดยทางอ้อม แหล่งของสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม คือ จากสารเคมีในการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานถลุงแร่ ของเหลือใช้ที่เกิดจากโรงงานและชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลือที่อยู่ในรูปของน้ำทิ้งจัดเป็นแหล่งที่มีสารมลพิษที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ความเป็นพิษของโลหะหนักต่อร่างกาย เกิดจากโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบ

ต่าง ๆ ของร่างกายไปรบกวนการทำงานของระบบเอ็นไซม์ของเซลล์ และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้ การควบคุมการลำเลียงของสารชนิดต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อ สมบัติทางด้านโครงสร้าง หรือเคมีไฟฟ้าของเซลล์ ความเป็นพิษของโลหะหนัก ขึ้นอยู่กับรูปแบบทาง เคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบ หายใจ ระบบทางเดินอาหาร ผิวหนัง

ผลของความเป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเกิดจากกลไกระดับเซลล์ 5 แบบคือ

1. ทำให้เซลล์ตาย
2. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
3. เป็นตัวการชักนำให้เกิดมะเร็ง
4. เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
5. ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

สถานะของโลหะในน้ำมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ไอออนอิสระ เช่น  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  เป็นต้น สารเชิงซ้อนพวกโลหะไฮดรอกไซด์ สารเชิงซ้อนโลหะลิแกนด์ ซึ่งเกิดจากการจับตัวกับลิแกนด์ที่ อาจจะเป็นสารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ก็ได้กลายเป็นสารเชิงซ้อนที่ขจัดได้ยาก นอกจากนี้ยังอาจอยู่ใน รูปของโลหะติดตัว เช่น ทราบ คาร์บอน หรืออยู่ในรูปของสารประกอบโลหะก็ได้

#### 1.4 ตะกั่ว (Lead) <sup>[7]</sup>

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่สมัย โบราณ มีหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่ 4,000 ปีก่อน คริสต์ศักราช

##### 1.4.1 สมบัติทางกายภาพ <sup>[8]</sup>

ตะกั่ว(อังกฤษ :Lead) คือ ธาตุเคมีที่ 5 ของหมู่ IVA ในตารางธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 82 และมีน้ำหนักอะตอม 207.19 amu จุดหลอมเหลว 327 °Cจุดเดือด 1737 °C ความหนาแน่น 11.34 g/cc ที่ 20 °C มีเลขออกซิเดชันสามัญเท่ากับ +2, +4 ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่ม สามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา การนำ ไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วจะอยู่ในรูป  $PbO$ ,  $Pb_3O_4$ , และ  $PbO_2$

##### 1.4.2 สมบัติทางเคมี

โดยปกติแล้วในธรรมชาติจะพบตะกั่วอยู่ 2 รูป คือ

## 1. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

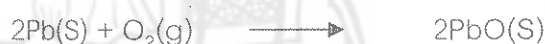
1.1 โลหะตะกั่ว ใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ

1.2 ออกไซด์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วโมโนออกไซด์ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน ตะกั่วไดออกไซด์ใช้ทำเป็น วัสดุเคลือบของแบตเตอรี่ ตะกั่วออกไซด์หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อ กันสนิม

1.3 สารประกอบของเกลือตะกั่ว เช่น ตะกั่วอาซีเนต ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช ตะกั่วซิลิเกตใช้ผสมในกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิคให้เกิดความเงางามและมีผิวเรียบ

2. ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วเตตระเอทิลและตะกั่วเตตระเมทิล ซึ่งตะกั่วทั้งสองชนิดนี้ ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ซึ่งสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ค่อนข้างเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอินทรีย์เพราะสามารถระเหยและกระจายไปในอากาศได้ดี

2.1 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วในอากาศ ตะกั่วเข้าสู่บรรยากาศในรูปของ ตะกั่วออกไซด์ ( $PbO$ ,  $PbO_2$ ,  $Pb_3O_4$ ) ตะกั่วซัลไฟด์ ( $PbS$ ) ตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ ) ตะกั่วอัลคิล ( $Pb(CH_3)_4$ ,  $Pb(C_2H_5)_4$ ) และตะกั่วเฮไลด์ ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับออกซิเจนในอากาศ



2.2 การเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เนื่องจากที่ผิวหน้าของตะกั่วจะเคลือบด้วยชั้นบาง ๆ ของเลดออกไซด์ ( $PbO$ ) ส่งผลให้ตะกั่วไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำในสภาวะปกติ

2.3 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับธาตุฮาโลเจนพบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีจะมีความเป็นพิษ โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ซึ่งตะกั่วสามารถทำปฏิกิริยากับฟลูออรีนได้ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนได้ดี

2.4 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับกรด โดยตะกั่วนั้นจะละลายอย่างช้า ๆ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) และกรดไนตริก ( $HNO_3$ )

2.5 การเกิดปฏิกิริยาของตะกั่วกับเบส ซึ่งตะกั่วสามารถละลายได้อย่างช้า ๆ ในสารละลายเบสที่เป็น

### 1.4.3 ประโยชน์ของตะกั่ว<sup>[9]</sup>

ตะกั่วเป็นหนึ่งในบรรดาโลหะชนิดแรก ๆ ที่มนุษย์รู้จักใช้กัน ดังโบราณวัตถุหลายอย่าง เช่น รูปแกะสลักท่อน้ำสมัยโรมัน หลังคาตึกโบราณ ซึ่งยังปรากฏถึงปัจจุบัน ตะกั่วเป็นโลหะชนิด

หนึ่งที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อมนุษย์ ทั้งนี้จากการลำดับปริมาณการใช้โลหะนอกกลุ่มเหล็กของโลกพบว่าตะกั่วมีปริมาณการใช้เป็นอันดับสี่รองจากอะลูมิเนียม ทองแดง และสังกะสี โลหะตะกั่วส่วนใหญ่ใช้ในผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่ วัสดุสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง และประโยชน์อื่น ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ การทำกระสุนปืน สี และเปลือกเคเบิล นอกจากนี้ตะกัวยังใช้กันแพร่หลายในการเชื่อมกับโลหะอื่น เช่น พลวง และดีบุก เป็นโลหะเชื่อมพลวง-ตะกั่ว หรือตะกั่วแข็ง โลหะขาว โลหะเชื่อมจุด หลอมตัวต่ำ และทองเหลืองตะกั่ว หรือบรอนซ์ การนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งสภาพโลหะและสารเคมีที่สำคัญ ได้แก่

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

2) เปลือกเคเบิล ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและใต้น้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้น การกัดกร่อน และการกัดแทะของหนู ทำให้ไม่เกิดการรั่วซึมในระบบไฟฟ้าและสื่อสาร

3) ตะกั่วแผ่น เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน จึงใช้ตะกั่วแผ่นเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี นอกจากนี้ยังใช้ในการก่อสร้างอาคาร เช่น หลังคาและส่วนเชื่อมต่อระหว่างหลังคาบ้านกับผนัง (Flashing) ตะกั่วแผ่นร่วมกับแอสเบสทอสและเหล็กกล้ายังใช้ปูใต้ฐานตึกเพื่อป้องกันการรั่วซึมและควบคุมเสียงสำหรับรถไฟใต้ดิน แผ่นกันเอ็กซ์เรย์และแกมมาเรย์ ทั้งนี้เพราะตะกั่วไม่ยอมให้รังสีเหล่านี้ผ่าน

4) ท่อตะกั่ว ท่อไร้ตะเข็บทำจากตะกั่ว ง่ายต่อการแปรรูปในการอัดรีด เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน และติดตั้งง่าย จึงใช้ท่อตะกั่วในอุตสาหกรรมเคมีและระบบท่อเพื่อส่งจ่ายน้ำ

5) โลหะบัดกรี จากคุณสมบัติของตะกั่วที่มีจุดหลอมตัวต่ำ และราคาถูกจึงใช้เชื่อมกับดีบุก เป็นโลหะบัดกรีคือเป็นโลหะเติมในการเชื่อมชิ้นงานโลหะให้ติดกัน จึงใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์ อาหารกระป๋อง ก่อสร้าง และการผลิตรถยนต์ โลหะบัดกรีโดยทั่วไปมักหมายถึงโลหะเชื่อมดีบุก-ตะกั่ว ส่วนมากผสมในอัตราส่วน 60-40 หรือ 70-30 แต่โลหะบัดกรีบางชนิดมีธาตุอื่น เช่น พลวงและเงิน เชื่อมเข้าไปเพื่อเพิ่มความแกร่งและต้านการกัดกร่อน

6) โลหะตัวพิมพ์ เป็นกลุ่มโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นโลหะเชื่อมระหว่างตะกั่ว พลวง และดีบุก การที่มีตะกั่วอยู่ในโลหะตัวพิมพ์ทำให้ราคาถูก จุดหลอมตัวต่ำและหล่อได้ง่าย

พลวงช่วยเพิ่มความแข็งแรงกด และต้านการสึก ทั้งยังลดอุณหภูมิหล่อ และลดการหดตัวขณะเย็นตัว ส่วนดีบุกช่วยเพิ่มคุณสมบัติการไหล หล่อง่าย ลดความเปราะและให้หลวลายละเอียด

7) โลหะรองเพลลา ด้วยคุณสมบัติด้านความลื่นและต้านการสึกตามธรรมชาติ จึงใช้ตะกั่วทำโลหะรองเพลลาหรือแบร็งก์ในรถยนต์และรถไฟ

8) โลหะตะกั่ว-ดีบุก เป็นโลหะเจือตะกั่ว-ดีบุก (ปกติมีดีบุกร้อยละ 8-12) ใช้ในการเคลือบผิวแผ่นเหล็กกล้าเพื่อผลิตแผ่นเหล็กอาบตะกั่ว-ดีบุก ซึ่งมีความแข็งแกร่งและต้านการกัดกร่อนสูง จึงใช้ทำถังบรรจุน้ำมันรถยนต์ ฝาปิด อุปกรณ์กรอง นอกจากนี้ยังใช้มุ่งหลังคาอีกด้วย

9) ตะกั่วเปลว ตะกั่วเปลวหรือรู้จักกันว่า โลหะเปลวประกอบ (Composition Metal Foil) ทำขึ้นจากการรีดตะกั่วที่มีดีบุกสองแผ่นประกบ จึงได้ผลิตภัณฑ์โลหะเปลวประกบที่แน่น ตะกั่วเปลวใช้ในการป้องกันความชื้นในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และสำหรับประดับขวดไวน์และแชมเปญ

10) โลหะเจือหลอมตัวต่ำ โลหะเจือตะกั่วหลายชนิดหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำจึงใช้สำหรับทำฟิวส์ระบบตัดไฟอัตโนมัติ และปลั๊กหม้อน้ำ ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติที่ตะกั่วมีจุดหลอมต่ำ จึงหลอมละลายเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากเกินไปที่กำหนดไว้ในระบบ

11) แอโนด ใช้ตะกั่วทำเป็นแท่งหรือแผ่นแอโนด เพื่อใช้ในกิจการทำโลหะให้สะอาดด้วยไฟฟ้าหรือในการชุบโลหะ เช่น แมงกานีสและสังกะสี ตะกั่วมีข้อดีเหนือกว่าโลหะอื่น ๆ เพื่อใช้ในที่นี้เพราะตะกั่วมีความต้านการกัดกร่อนสูงจากกรดกำมะถันที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้แอโนดตะกั่วมีคุณสมบัติต้านการกัดกร่อนจากน้ำทะเลสูง จึงนิยมใช้ตะกั่วในระบบป้องกันเรือและแท่นเจาะในทะเลจากการกัดกร่อนของน้ำทะเล

12) วัสดุควบคุมเสียง ตะกั่วมีคุณสมบัติดีเลิศในด้านกันเสียง เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง ความแข็งน้อย และเสียงผ่านเข้าไปไม่ได้ นอกจากนั้นตะกั่ว และแผ่นตะกั่วประกอบก็ยังมีคุณสมบัติรับการสั่นภายในสูง จึงมีประสิทธิภาพในการควบคุมเสียง

13) รงควัตถุ สีตะกั่ว เช่น ตะกั่วแดง ( $\text{Red lead-Pb}_3\text{O}_4$ ) ตะกั่วโครเมต ตะกั่วซิลิโครเมต และตะกั่วซิลิเกต เหล่านี้เป็นสีป้องกันการผุกร่อน ตะกั่วแดงเป็นสีพื้นและสีเคลือบที่สำคัญที่สุดในบรรดารงควัตถุที่ใช้ป้องกันสนิมโลหะพวกเหล็กและเหล็กกล้า ส่วนสีขาวกันสนิมที่สำคัญทางการค้าคือเบสิกเลดคาร์บอเนต ไดเบสิกเลดคาร์บอเนต ไดเบสิกเลดฟอสไฟต์ ไดเบสิกเลดฟอสฟอซิลิเกต และเบสิกเลดซิลิเกต รงควัตถุที่สำคัญที่สุดคือไตรเบสิกเลดโครโมซิลิเกต ซึ่งให้สีแดง-ส้ม เบสิกซิลิโคโครเมต ให้สีเหลืองธรรมดา และนอร์มัลเลดซิลิโคโครเมต ที่ใช้ทำเป็นเครื่องหมายบนบาทวิถี

14) ในด้านอื่น ๆ มีการใช้ตะกั่วเปลวและแผ่นในการบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีเพื่อการขนส่งและเก็บรักษาหลอดบีบทำจากตะกั่วใช้บรรจุสีสำหรับงานศิลปะ และสารเหลวที่มีการกัดกร่อนสูง โลหะเจือตะกั่วจุดหลอมตัวต่ำใช้ในการบ่ออ่อนโลหะต่าง ๆ ออกไซด์ของตะกั่วใช้เป็นสาร

ออกซิไดซ์ในการผลิตสีข้อม ไม้ขีดไฟ ยางเทียม กลั่นน้ำมัน กาว ตะกั่วออกไซด์เป็นเชื้อปะทุในการระเบิด ตะกั่วอาร์เซนเตเป็นยาฆ่าแมลงในการเกษตร สารประกอบตะกั่วอื่น ๆ ใช้เป็นตัวคงรูปไวโอลพลาสติก ใช้ตะกั่วเป็นสารท่วง เช่น ลูกเหในอุปกรณ์ประมงและในเรือดำน้ำ ในเครื่องถ้วยชามเคลือบและเซรามิกสีผิวเคลือบ เพื่อเพิ่มความวาวและความคงทน เป็นธาตุเจือในเหล็กกล้าและทองแดงเจือ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงไสให้ง่ายขึ้น

#### 1.4.4 ผลกระทบของตะกั่วต่อสิ่งแวดล้อม<sup>[10]</sup>

ตะกั่วเป็นโลหะที่มนุษย์นำมาใช้เป็นประโยชน์มากเป็นเวลาหลายพันปีและใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ตามวิทยาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่จนทำให้ตะกั่วเป็นสารที่ใกล้มนุษย์มากยิ่งขึ้น ทั้ง ๆ ที่ตะกั่วเป็นสารพิษก่ออันตรายต่อร่างกายโดยสามารถทำลายประสาทสำคัญต่าง ๆ ของร่างกายได้ หากได้รับในปริมาณที่เกินขีดความสามารถของร่างกายจะรับได้ แต่เนื่องจากตะกั่วใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น การทำแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน เคลือบสายเคเบิล อุตสาหกรรมหลอมตะกั่ว การผลิตสี อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา อุตสาหกรรมตัวพิมพ์ การผลิตกระสุน การเชื่อมแผงวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์ ยาฆ่าแมลง มนุษย์จึงจำเป็นต้องสัมผัสกับตะกั่ว เราอาจพบตะกั่วได้ในสิ่งแวดล้อมทุกรูปแบบใน อากาศ ดิน น้ำ พืช เครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน เป็นเหตุให้มีผู้ป่วยรับพิษจากสารตะกั่วได้ง่ายยิ่งขึ้น

#### 1.4.5 การดูดซึมของสารตะกั่วในร่างกาย<sup>[11]</sup>

การเข้าสู่ร่างกายและการกระจายของตะกั่วในร่างกาย

1. ทางหายใจโดยการหายใจเอาควันหรือฟุ้งตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไปซึ่งสามารถดูดซึมได้ดีกว่าการหายใจเอาตะกั่วที่เป็นอนุภาคเล็ก ๆ เข้าไป
2. ทางปาก โดยพฤติกรรมนิสัยการกินที่ไม่ถูกต้อง คือรับประทานอาหารเช้าโดยไม่ได้ล้างมือหรือชำระล้างร่างกายก่อน และจากตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหาร น้ำดื่ม หรือภาชนะ
3. ทางผิวหนัง มักจะเกิดกับผู้ที่ทำงานปั้นน้ำมันหรือช่างซ่อมรถยนต์ เนื่องจากตะกั่วอินทรีย์ในน้ำมันเบนซินที่สามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้ ส่วนตะกั่วอินทรีย์สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ในกรณีที่ผิวหนังมีแผลหรือรอยถลอก ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกลำเลียงไปยังอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายผ่านทางระบบไหลเวียนเลือด โดยกว่าร้อยละ 90 จะรวมตัวกับเม็ดเลือดแดง ส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเหลือง ค่าครึ่งชีวิต(half life) ของตะกั่วในเลือดประมาณ 2-4 สัปดาห์ จากนั้นจะไปสะสมอยู่ที่เนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue) คือ กระดูก ไขมัน เส้นเอ็น และเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) คือ ไชกระดูก ระบบประสาท ตับไต ประมาณร้อยละ 90 ของตะกั่วในร่างกายจะสะสมอยู่ในกระดูกและมีค่าครึ่งชีวิต16-20 ปีการที่จะเกิดพิษตะกั่วหรือไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณตะกั่วที่อยู่ใน

เนื้อเยื่ออ่อน นอกจากนี้ตะกั่วจะออกมาจากกระดูกไปที่เนื้อเยื่ออ่อนได้มากขึ้นในภาวะที่ร่างกายมีการติดเชื้อ ต้มสุรา หรือภาวะที่เลือดมีสภาพเป็นกรด (pH ต่ำลง) ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยที่ไม่มีอาการเกิดเป็นโรคพิษตะกั่วขึ้นมาได้

การขับถ่าย ตะกั่วจะถูกขับออกทางปัสสาวะหรือน้ำดี เป็นการกรองผ่านโกลเมอูลัสของไตเป็นส่วนใหญ่ สำหรับตะกั่วที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณเยื่อเมือ (epithelial tissue) ของระบบทางเดินอาหาร และที่สะสมในนมจะถูกขับออกโดยการหลั่งออกของเยื่อเมือ

#### 1.4.6 ความเป็นพิษของตะกั่ว <sup>[10]</sup>

อาการพิษของตะกั่วต่อร่างกายมี 4 ระบบ คือ

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

#### 1.4.7 พิษของตะกั่วต่อร่างกาย <sup>[10]</sup>

พิษเฉียบพลัน ผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วเป็นปริมาณมากในระยะเวลาดั้งๆ จะแสดงอาการ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง อาการทางประสาท ได้แก่ ความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานกัน ชัก หมดสติ โดยส่วนใหญ่ระดับตะกั่วในเลือดสูงขึ้นมากว่า 100 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร

พิษเรื้อรัง อาการแสดงทางคลินิกที่พบในระบบต่างๆ มีดังนี้

1. อาการทางระบบประสาทส่วนกลาง อาจเริ่มด้วยอาการซึม คิดช้า ปวดศีรษะ มีนึ้ศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี หงุดหงิด และถ้ารุนแรงขึ้นอาจมีอาการสั่นเวลาเคลื่อนไหว ชัก และหมดสติ
2. อาการทางระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อ มีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและข้อ มีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อที่ข้อข้อมือ เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมืออ่อนแรงทำให้ข้อมือตก (wrist drop) และอาจมีอาการชา ปลายประสาทอักเสบ
3. อาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายอาจท้องเสีย อาการที่สำคัญ คือ ปวดท้องอย่างรุนแรง



4. อาการทางระบบโลหิต ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีด เลือดจาง อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรังพบว่ามีอาการตาเหลือง ตัวเหลืองด้วย

5. ลักษณะอื่น ๆ ได้แก่ อาจพบแนวเส้นตะกั่ว (lead line) สีน้ำเงินดำจันอยู่ที่ขอบเหงือก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว และอาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วสะสมเป็นเวลานาน ๆ

#### 1.4.8 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว<sup>(11)</sup>

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 นอกจากนั้นสถานีบริการน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดทำให้อากาศปนเปื้อนตะกั่วได้

3. แหล่งจากดินและฝุ่น ดินและฝุ่นได้รับตะกั่วโดยการสะสมจากตะกั่วในอากาศที่ได้รับจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งอื่น ๆ รวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดสะสมในดินโดยตะกั่วที่สะสมมักจะอยู่บนบริเวณผิวดินพบมากในเด็กที่มีพฤติกรรมชอบสำรวจจึงทำให้เด็กเหล่านี้มักมีโอกาสได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่นโดยการกิน

4. แหล่งอาหารและน้ำดื่ม พืชผลที่เจริญเติบโตบริเวณสถานีบริการน้ำมันหรือใกล้ทางสัญจร จะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วในอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่วสามารถสะสมในอาหารระหว่างกระบวนการผลิตการขนส่ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ตะกั่วในน้ำดื่มส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่ โดยเฉพาะถ้าน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย

5. แหล่งจากเครื่องถ้วยชามที่เคลือบปนด้วยสารตะกั่ว ในสหรัฐอเมริกามีการรายงานการเป็นพิษของตะกั่วอยู่หลายครั้ง จากแหล่งเครื่องถ้วยชามนี้ เพราะเครื่องถ้วยชามสามารถปล่อย

ตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้ โดยเฉพาะขึ้นที่มีการแตกร้าว หรือแม้แต่มีการใช้มากและล้างขัดมาก

6. แหล่งสีที่มีตะกั่วเป็นพื้น เป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูงโดยน้ำหนักของสีชนิดนี้ เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยสีที่มีตะกั่ว ทั้งสีภายในและภายนอกเป็นเด็กที่เสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ยิ่งถ้าสีเหล่านั้นเก่าและมีการหลุดลอกออกจะเกิดขึ้นเล็ก ๆ และมีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นทำให้ได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายได้

7. สีจากแหล่งอื่น ๆ ตะกั่วสามารถพบในยาแผนโบราณ เช่นยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่วจำนวนมาก ๆ ต่อครั้งได้ อาจได้จากการสูดดมน้ำมันก๊าดโซลิน การเผาน้ำมันที่ทิ้งแล้ว จากกระดาษหนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ ซึ่งเคยมีรายงานในประเทศไทย พ.ศ.2514 ในเครื่องสำอาง ที่ผลิตขึ้นอย่างไม่เหมาะสมบางชนิด การใช้น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดที่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 30

#### 1.5 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในน้ำ

จากการศึกษาการหาปริมาณของโลหะที่ทำให้เข้มข้นมากขึ้นในน้ำธรรมชาติมีรายงานพบว่า

ในปี 2001 Tewari และคณะ<sup>[13]</sup> ได้ทำการศึกษากการทำให้ไอออนโลหะเข้มข้นมากขึ้น โดยใช้ pyrocatechal (dihydroxybenzene) เชื่อมต่อกับ Amberlite XAD-2 และใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอบชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นเครื่องตรวจวัดในการวิเคราะห์ไอออนโลหะ Cd(II), Co(II), Fe(II), Ni(II) และ ZN(II) พบว่าค่าความจุของการดูดซับอยู่ในช่วงระหว่าง 0.023 – 0.092 mmol g<sup>-1</sup> ของเรซิน ตามลำดับ ค่า enrichment factors คือ 200 ยกเว้นเหล็ก และทองแดงที่มีค่า 80 และ 100 ตามลำดับ

ในปี 2002 Tewari และคณะ<sup>[14]</sup> ได้ทำการศึกษากการเตรียม chelating matrices 4 ชนิด เชื่อมต่อกับ 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 ซึ่งทำให้อิ่มตัวด้วย Xylenol organge (AXAD-7-XO or 4) และใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอบชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นเครื่องตรวจวัด เพื่อศึกษาการเพิ่มค่าไอออนของ Pb(II) และทำการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับไอออนของ 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<sup>-1</sup> ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเรซินชนิดที่ 3 ซึ่งเตรียมโดยใช้ thiosalicycic (AXAD-2-TSA) ให้ผลประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด โดยงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ Pb(II) โดยใช้สารตัวอย่างจากแม่น้ำ ค่า RSD ที่ได้คือ 2.6 – 12.8%

สำหรับงานวิจัยที่ทำการศึกษากาววิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้การทำให้ง่ายอย่างมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในหลายงานวิจัยด้วยกัน โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

ในปี 2004 Hayati และคณะ<sup>[15]</sup> ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยการเพิ่มความเข้มข้นของ Vanadium (V/IV) ซึ่งทำการเตรียม palmitoyl quinolin-8-ol เชื่อมต่อกับ Amberlite XAD-2 ทำให้อิมมูด้วย 4-(2-pyridylazo)resorcinol (PAR) ซึ่งทำการเพิ่มความเข้มข้นและดูดซับด้วยเรซิน และทำการตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อศึกษาการเพิ่มค่าไอออนของ Vanadium (V/IV) และทำการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับของไอออนของ Vanadium (V/IV) จากเรซินโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในการชะไอออนของ (V/IV) จาก chelating resin พบว่าสามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตมิตรี ได้ที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร และทำการเปรียบเทียบผลด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) พบว่ามีขีดจำกัดของการตรวจวัดอยู่ในช่วงระหว่าง 1.6 และ 0.9  $\mu\text{gL}^{-1}$  ตามลำดับ โดยในการวิเคราะห์ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เช่น ค่า pH อัตราการไหล ปริมาณของตัวชะ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของ V(IV) และ V(V) ในเรซินเป็นต้น

ในปี 2007 Umit และคณะ<sup>[16]</sup> ได้ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วในน้ำธรรมชาติ โดยเตรียม chelates คือ p-xyleneol blue เชื่อมต่อกับ Amberlite XAD-7 โดยใช้เฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นเครื่องตรวจวัด ซึ่งใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1  $\text{molL}^{-1}$  เป็นตัวชะ โดยในการวิเคราะห์ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทดลอง เช่น รีเอเจนต์ ค่า pH ประเภทของตัวชะ และปริมาณของตัวชะ เป็นต้น และพบว่ามีขีดจำกัดของการตรวจวัดของ Fe, Pb และ Cr อยู่ในช่วงระหว่าง 3.07, 18.6 และ 3.27  $\mu\text{gL}^{-1}$  ตามลำดับ และสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ electrolytic copper wire sample และมีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 5%, ร้อยละการกลับคืน มากกว่า 95% และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 10%

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ อาจเกิดการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายรีเอเจนต์ก่อนและใช้ชนิดของตัวดูดซับที่แตกต่างกันในการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะ ก่อนทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS) เป็นดีเทคเตอร์ ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณที่นิยมใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นงานทางการแพทย์ เกษตรกรรม เกษตรกรรม งานวิเคราะห์ เคมีของดิน โลหะวิทยา สิ่งแวดล้อม พลังงาน นิติวิทยาศาสตร์ และงานเชิงอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีการวิเคราะห์ธาตุ

ในปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาทั้งในเรื่องของวิธีการและเครื่องมือทำให้เป็นเทคนิคที่มีความเฉพาะมากขึ้น มีความไวมากขึ้น ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วขึ้น มีความแม่นยำสูง ใช้งาน

และทำมาตรฐานได้ง่าย และค่าใช้จ่ายต่อการวิเคราะห์ก็ไม่สูงมากนัก ดังนั้น โครงการนี้จึงทำการศึกษากการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) ในน้ำ โดยอาศัยการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) ในคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วยแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์โอดี-4 และแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์โอดี-7 ก่อนการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายรีเอเจนต์แล้วจึงทำการตรวจวัดด้วยเครื่องเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FAAS)

#### 1.6 หลักการและทฤษฎีเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (FAAS)<sup>[17], [18]</sup>

อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy หรือเรียกโดยทั่วไปว่า AAS) เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานที่แตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกันซึ่งจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงยูวีหรือวิสิเบิลโดยอะตอมที่เป็นแก๊ส สารตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอะตอมโดยการพ่น (spray) สารละลายเข้าไปในเปลวไฟ กลายเป็นอะตอมอิสระวัดจำนวนรังสีซึ่งอะตอมที่สถานะพื้นดูดกลืนจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) จะถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น

##### Flame atomization technique

เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม สำหรับสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่



ภาพ 1 ส่วนประกอบของ Atomic Absorption Spectrophotometer

##### 1.6.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงใช้เป็น hollow cathode lamps (HCLs) และ electrodeless discharge lamps (EDLs) ซึ่งใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น

###### 1) Hollow cathode lamps (HCLs)

ลักษณะเฉพาะของ HCLs จะประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลวงหรือรูปถ้วย (cup) แล้วฉาบด้วยโลหะหรือผงของโลหะที่ต้องการให้ถูกกระตุ้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มี resonance line ส่วนขั้วแอโนดทำด้วยโลหะนิกเกิลหรือทังสเตน หรือเซอร์โคเนียมเป็นแท่งเล็ก ๆ ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนีออนหรืออาร์กอนที่มีความดันประมาณ 4-10 torr

ส่วน window อาจเป็นแก้วไฟเร็กซ์หรือควออร์ต ถ้าสเปกตรัมอยู่ในช่วงยูวี window ต้องทำด้วยควออร์ตหรือซิลิกา แต่ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงวิสิเบิลก็อาจจะใช้แก้วไฟเร็กซ์หรือควออร์ตได้

การเกิดสเปกตรัมของ HCLs เมื่อใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 300-600 โวลต์ จะทำให้แก๊สเฉื่อยที่บรรจุอยู่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ ไอออนบวก แล้วไอออนบวกจะวิ่งเข้าไปชนธาตุที่ฉาบอยู่ที่แคโทด ทำให้อะตอมของธาตุนั้น ๆ ถูกกระตุ้นและเปล่งแสงออกมาเป็นสเปกตรัมเฉพาะของธาตุนั้น

## 2) Electrodeless Discharge Lamps (EDLs)

ใช้ในการหาปริมาณของธาตุบางอย่างได้แก่ Bi, Cd, Hg, As, P, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Ti และ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดนี้ได้รับการแนะนำให้ใช้หาปริมาณของ As, Se และ Hg เพราะให้ sensitivity ดีกว่า นอกจากนี้ EDLs ยังให้ความเข้มของแสงสูงกว่า ซึ่งทำให้เพิ่มขีดจำกัดของการตรวจหาได้อีกด้วย

### 1.6.2 ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (The Atomization Process หรือ Atomizer)

กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization) สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization แบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

(1) Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ (mist) ด้วยเครื่องที่เรียกว่า nebulizer

(2) Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายโต ไม่สามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกมาทางท่อน้ำทิ้ง (drain)

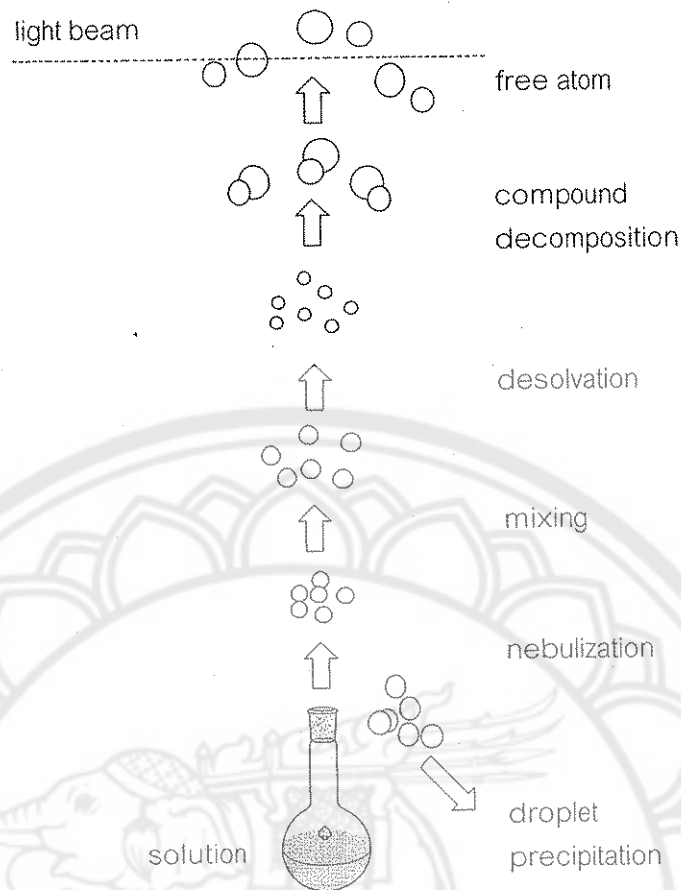
(3) Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิแดนซ์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nebulizer

(4) Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสารประกอบ

(5) Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมเสรี

### 1.6.3 โมโนโครเมเตอร์

แสงจากแหล่งกำเนิดจะตกลงบนตัวอย่างแล้วผ่านมายังโมโนโครเมเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ในการกระจายแสงออกตามค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ ให้ไปตกยังเครื่องตรวจวัด



ภาพ 2 flame atomization process

#### 1.6.4 เครื่องตรวจวัด

เครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ในเทคนิค AAS นี้คือ photomultiplier tube (PMT) เนื่องจากให้ผลการตรวจวัดที่รวดเร็ว มีความไวสูง สามารถตรวจวัดปริมาณแสงที่มีความเข้มต่ำได้ดี แต่ผู้ผลิตบางรายก็เลือกที่จะใช้ solid state เป็นเครื่องตรวจวัดเพราะให้ขีดจำกัดการตรวจวัดที่ดีกว่า

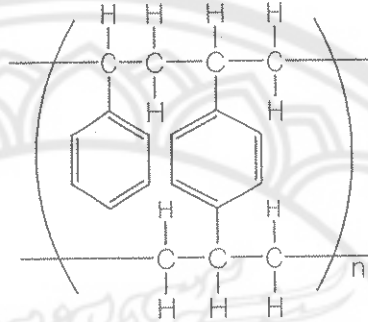
#### 1.6.5 เครื่องประมวลผลและอ่านผล

สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องตรวจวัดมักจะมีค่าความแรงต่ำจึงมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยขยายสัญญาณและแปลงให้เป็นค่า absorbance แล้วอ่านผลที่ได้ด้วย scale meter, digital meter, recorder/printer หรือคอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที และด้วยการพัฒนาทางซอฟต์แวร์ช่วยให้ได้รับข้อมูลในการวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น

## 1.7 ชนิดของเรซินที่ใช้ในการวิเคราะห์

### 1.7.1 แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอ็ด-4 (Amberlite XAD-4)<sup>[19]</sup>

แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอ็ด-4 เป็นตัวดูดซับพอลิเมอร์ มีลักษณะเป็นเม็ดบีตส์สีขาวที่ไม่ละลายน้ำ ชนิด nonionic crosslinked polymer คุณสมบัติของเรซินชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับ เพราะมีโครงสร้างเป็น macroporous ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูง ภายในโครงสร้างมีวงอะโรมาติกบริเวณพื้นผิว

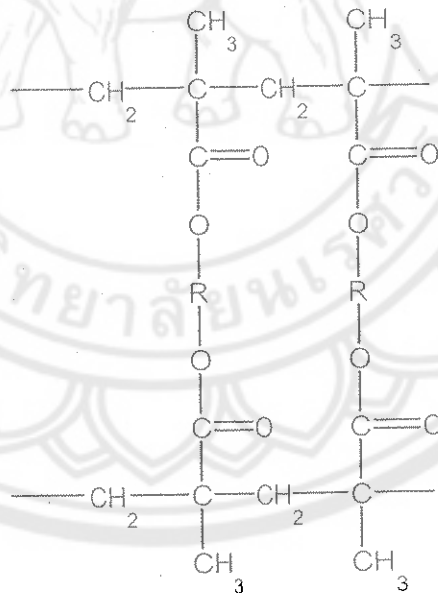


ภาพ 3 โครงสร้างของ Amberlite XAD-4 resin<sup>[19]</sup>

### 1.7.2 แอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอ็ด-7 (Amberlite XAD-7)<sup>[20]</sup>

ซึ่งเป็นเรซินที่มีโครงสร้างเป็น Acrylic ester ดังแสดงในภาพ 4 เรซินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ โครงสร้างที่มีประจุไฟฟ้า (Function group) และโครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้า โครงสร้างของเรซินส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่าง และคงรูปอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและไม่แตกหักง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกัน เป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งทำหน้าที่คอยประสานเพื่อให้เกิดรูปลงสามมิติ ที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวและการประสาน (Degree of crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (Exchange capacity) และกำหนดลักษณะอื่น ๆ ของเรซินด้วย เช่นความชื้นในเรซิน เป็นต้น กล่าวคือเรซินจะต้องมีความพรุนเพียงพอที่จะให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้าออกอย่างสะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มี degree of crosslinkage สูงเกินไป จะมีความพรุนต่ำ ทำให้น้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย นอกจากนี้ยังแตกหักง่ายอีกด้วย เรซินชนิดที่มี degree of crosslinkage ต่ำเกินไป จะมีความพรุนมาก ทำให้อมน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงประสานต่ำ นอกจากนี้ยังมีข้อเสียอีกคือ ทำให้ไอออนที่มีขนาดใหญ่ (เช่น โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีประจุไฟฟ้า)

สามารถเข้าถึงภายในโครงร่าง และทำให้เรซินเสียได้ในเวลาต่อมา การบวมน้ำหรือพองน้ำของเรซินที่มี degree of crosslinkage ต่ำ ๆ จะทำให้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตร (เช่น meq/ml) จึงมีค่าลดหรือเพิ่มของ degree of crosslinkage สรุปได้ว่า เรซินมีไฮโดรคาร์บอนหลาย ๆ โมเลกุลประสานต่อกันเป็นโครงสร้างทำให้เรซินคงสภาพดังที่เห็นได้ แต่ส่วนที่ทำให้เรซินมีอำนาจในการเปลี่ยนไอออนในน้ำได้นั้น เป็นหมู่ไอออนที่มีส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนเป็นไอออนที่เคลื่อนที่ได้ และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่กับที่ในน้ำ โดย Amberlite XAD-7 เป็นเรซินแบบ Acrylic ester ชนิด nonionic macroticular aliphatic crosslinked polymer โดย Non-ionic resin ยังสามารถแบ่งย่อยได้ 3 ชนิด คือ ชนิดที่เป็นเจล มีลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยโครงสร้างของเรซินชนิดนี้ไม่มีรู โดยจะขยายตัวได้ดีในสารละลายที่สามารถทำให้สายของ monomers ที่อยู่ในโครงร่างแตกตัวได้ ซึ่งเรซินชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับที่ต่ำและถูกนำมาใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย ส่วนชนิดที่สอง คือ Hypercrosslinked resin ซึ่งเป็นเรซินอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษจากแหล่งน้ำต่าง ๆ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งสารพวก Heterocyclic compound ส่วน Non-ionic resin ชนิดที่สาม คือ Macroporous resin ซึ่งจะมีลักษณะทรงกลม มีความเหนียว แข็งแรง และมีความทนทาน



ภาพ 4 โครงสร้างของ Amberlite XAD-7 resin <sup>[20]</sup>

นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากและประสิทธิภาพในการดูดซับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่น เช่น Activated carbon ซึ่ง Amberlite XAD-7 จัดเป็น



Macroporous resin ชนิดหนึ่ง ที่มีขนาดเล็ก มีความเป็นรูพรุนสูง โดยเรซินชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เสถียรและมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับไอออนของโลหะได้ สำหรับ Macroporous resin ชนิดอื่น ๆ เช่น Amberlite XAD-2 หรือ 4 จะมีความแตกต่างจาก Amberlite XAD-7 มีพื้นที่ผิว  $450 \text{ m}^2/\text{g}$  ขนาด 20-60 mesh อัตราส่วนความชื้นเป็นปริมาตร 55 % โดยเรซินชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เสถียร สำหรับเรซินแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่ผิวที่ต่างกัน และมีอัตราส่วนความชื้นที่ต่างกัน เป็นต้น ตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับของเรซิน คือ อนุภาคของวัตถุ ค่า dipole moment ความจุของเรซิน ค่า pH ที่ใช้ และอุณหภูมิ เป็นต้น

### 1.8 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

1. เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ตะกั่วปริมาณน้อย ๆ ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้ซีเลตเรซินที่เตรียมขึ้นก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแอมโบไลต์เอ็กเอ็ดดีซีเลตเรซิน
3. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วด้วยแอมโบไลต์เอ็กเอ็ดดีซีเลตเรซิน
4. เพื่อศึกษาหาปริมาณของตะกั่วในตัวอย่างจริง

### 1.9 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซีเลตเรซิน และการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี
2. หาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างจริง



วิธีการทดลอง

13 JUL 2011

5638537

การศึกษากการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วตัวอย่างธรรมชาติ ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (FAAS) มีอุปกรณ์ สารเคมี และขั้นตอนการดำเนินโครงการ ดังนี้

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 อุปกรณ์

- 1) Flame Atomic Absorption Spectrometer รุ่น spectra 220 บริษัท Varian, U.S.A.
- 2) UV/Visible Double beam spectrophotometer รุ่น unicam 8625 บริษัท Varian, U.S.A.
- 3) เครื่องชั่งแบบละเอียด (4 ตำแหน่ง) รุ่น Analytical AC 2105 บริษัทไซแอนติฟิคไปโมชั่น
- 4) เครื่องชั่งแบบหยาบ (2 ตำแหน่ง) รุ่น Analytical AC 2105 บริษัทไซแอนติฟิคไปโมชั่น
- 5) คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 10 cm
- 6) ขวดเก็บน้ำตัวอย่าง (Polyethylene)
- 7) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และ 42 บริษัท Whatman Internatoinal, England

2.1.2 สารเคมี

- 1) 4-(2-pyridylazo) resorcinol Monosodium Hydrate ( $C_{11}H_8N_3NaO_2 \cdot H_2O$ ) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 2) Lead(II) Nitrate ( $Pb(NO_3)_2$ ) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand
- 3) Hydrochloric acid 36:0%(HCl) Analytical Grade บริษัท J.T. beaker, U.S.A.
- 4) Methanol ( $CH_3OH$ ) Analytical Grade บริษัท Fisher chemicals, UK
- 5) Sodium tetraborate ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand

- 6) Di-sodium Hydrogen orthophosphate dodecahydrate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand
- 7) Citric acid ( $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, New Zealand
- 8) Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ ) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 9) Nitric acid 65% ( $\text{HNO}_3$ ) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 10) Iron (II) sulfate heptahydrate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) Analytical Grade บริษัท Merck, Germany
- 11) Manganese(II) sulfate monohydrate ( $\text{MnO}_4\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 12) Zinc nitrate hexahydrate ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) Analytical Grade บริษัท Ajax Finchem, Australia
- 13) Cadmium sulfate ( $\text{Cd}(\text{SO}_4)$ ) Analytical Grade บริษัท Fluka, Switzerland
- 14) Amberlite XAD-4 resin, Analytical Grade บริษัท Acros Organics, U.S.A.
- 15) Amberlite XAD-7 resin, Analytical Grade บริษัท Acros Organics, U.S.A.

## 2.2 การเตรียมสารละลาย

### 2.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

1) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II)  $50 \text{ mg L}^{-1}$  ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เตรียมโดยชั่ง 0.0200 กรัม Lead(II) Nitrate ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) นำมาละลายแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) 0.20, 0.40, 0.80 และ  $1.00 \text{ mg L}^{-1}$  เตรียมโดยนำ สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II)  $50 \text{ mg L}^{-1}$  มาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้ง เพื่อให้เป็น สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.20, 0.40, 0.80 และ  $1.00 \text{ mg L}^{-1}$  ตามลำดับ

### 2.2.2 การเตรียมเรซิน

1) ล้าง resin Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 โดยใช้  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$  NaOH, HCl และ methanol

2) นำเรซินที่ได้ไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนประมาณ 2-3 ครั้ง

3) แช่เรซินไว้ในน้ำปราศจากไอออน

### 2.2.3 การเตรียมสารละลายรีเอเจนต์

1) การเตรียมสารละลาย 4-(2-pyridylazo) resorcinol monosodium hydrate (PAR) ความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร โดยชั่ง PAR 0.0593 กรัม นำมาละลายแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน นำมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนให้มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

2) การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36% V/V แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3) การเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60 และ 0.70 จากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65% แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

### 2.3 การหาสภาวะที่เหมาะสม

1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเรซิน

1.1 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซิน

1.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้น

2.1 การศึกษาชนิดของตัวชะ

2.2 การศึกษาปริมาตรของสารละลายตะกั่ว

2.3 การศึกษาความเข้มข้นของตัวชะ

2.4 การศึกษาปริมาตรตัวชะ

2.5 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

2.6 การศึกษาความแม่นยำทางเครื่องมือ

2.7 การศึกษาความแม่นยำทางเทคนิค

2.8 การศึกษาขีดจำกัดของการวิเคราะห์

### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

การเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วโดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 ที่เกิดคือเลตก่อนการวิเคราะห์ด้วยเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรเมตรี โดยการนำสารละลายตะกั่วผ่านเรซินที่เคลือบด้วย PAR ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ขนาดเล็ก ตะกั่วที่ผ่านเรซินจะถูกดูดซับเอาไว้ จากนั้นทำการผ่านสารละลายกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะไหลผ่านคอลัมน์เพื่อที่จะชะตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้ออกมา แล้วนำสารละลายตะกั่วที่ชะออกมาทำการปรับปริมาตรแล้วนำไปวัดด้วยเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรมิเตอร์

#### 3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเรซิน

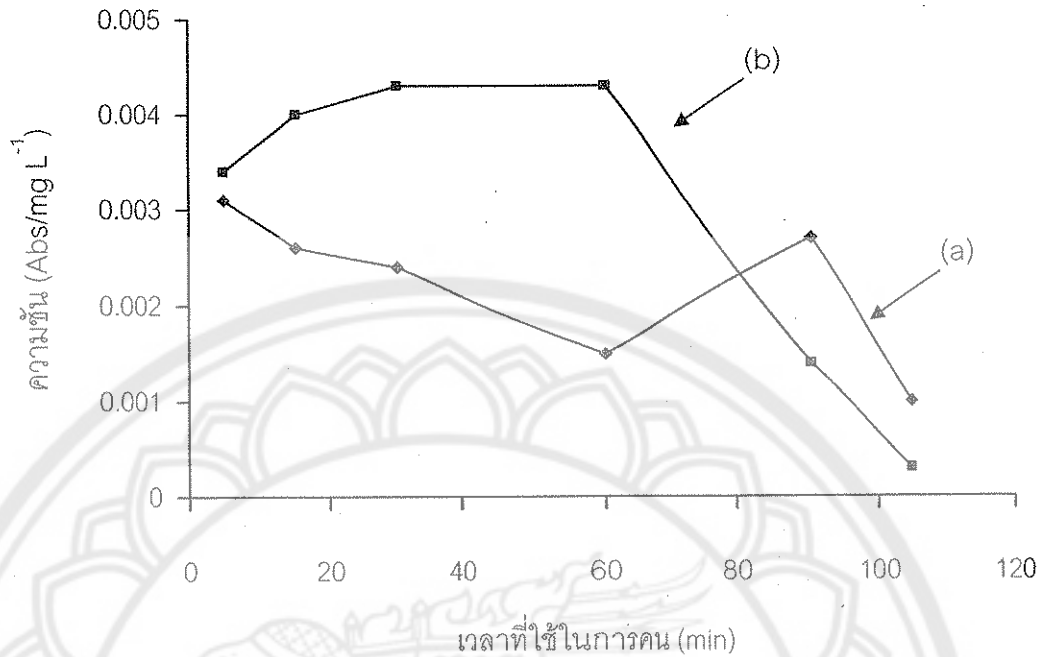
ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ศึกษาครั้งละ 1 สภาวะและควบคุมสภาวะอื่น ๆ ให้คงที่ สภาวะเริ่มต้นของการทดลองแสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 สภาวะเริ่มต้นในการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่ใช้
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR ( $\text{mol L}^{-1}$ )	$0.10 \times 10^{-3}$
ชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	HCl
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ตัวชะ)	0.10
ปริมาตรของสารละลายตะกั่ว (ml)	50.00
ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ตัวชะ) (ml)	20.00

#### 3.1.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการคนเรซินกับสารละลาย PAR

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซิน Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 กับสารละลาย PAR ในช่วงเวลา 5-105 นาที เพื่อให้ได้เวลาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพ 5

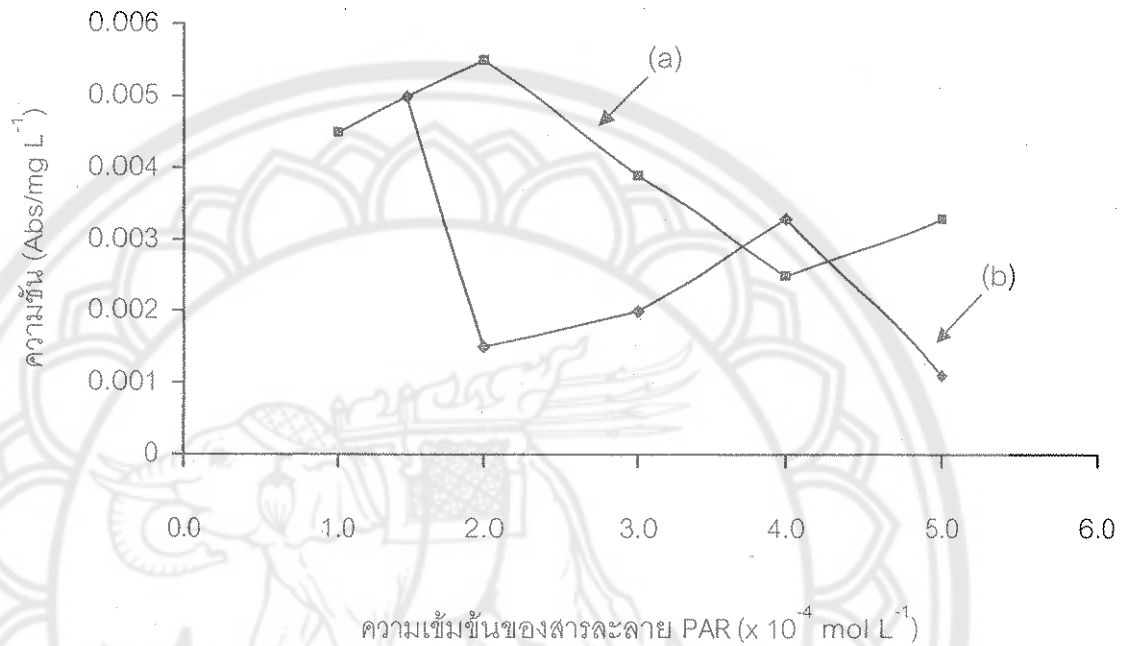


ภาพ 5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซินกับสารละลาย PAR a) คือ Amberlite XAD-4, b) คือ Amberlite XAD-7

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการคนเรซินกับสารละลาย PAR เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซิน Amberlite XAD-4 พบว่าที่เวลา 5 และ 15 นาที ให้ค่าความชันสูง แต่เนื่องจากว่าที่เวลา 5 และ 15 นาทีนั้น เมื่อนำสารละลาย PAR ที่ได้จากการกรองเรซินออกไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer พบพีคของสารละลาย PAR ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่าที่เวลา 5 และ 15 นาที สารละลาย PAR เกิดคีเลตกับเรซิน Amberlite XAD-4 ได้ไม่สมบูรณ์เพราะเวลาในการคนน้อยเกินไป จึงทำให้สารละลาย PAR หลุดออกมา ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 90 นาที ซึ่งมี sensitivity ในการวิเคราะห์ดีและเหมาะสม และเวลาในการคนเรซิน Amberlite XAD-7 ที่ 30 และ 60 นาที ให้ค่าความชันเท่ากัน แต่ที่เวลา 30 นาที สารละลาย PAR ที่ได้จากการกรองเรซิน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-Visible spectrophotometer พบพีคของสารละลาย PAR แสดงว่า สารละลาย PAR ไม่ได้เกิดคีเลตกับเรซินหมดเนื่องจากใช้เวลาในการคนน้อยเกินไป ดังนั้น จึงเลือกเวลาที่ 60 นาที ซึ่งมีค่าความชันเท่ากันแต่ไม่พบพีคของสารละลาย PAR จึงมี sensitivity ในการวิเคราะห์ดีที่สุด ซึ่งเป็นเวลาที่ทำให้เรซินทั้งสองชนิดดูดซับสารละลาย PAR ได้เหมาะสม ดังนั้น จึงเลือกใช้เวลาที่ใช้ในการคนเรซิน Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 เท่ากับ 90 และ 60 นาที ตามลำดับในการทำการทดลองเพื่อหาสภาวะอื่นต่อไป

### 3.1.2 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ทำการศึกษาค้นหาความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่ใช้เป็นลิแกนด์กับสารละลายตะกั่ว โดยเตรียมสารละลาย PAR ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาค้นหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่ว(II) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR ที่ใช้ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน a) คือ Amberlite XAD-4, b) คือ Amberlite XAD-7

จากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PAR เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซิน Amberlite XAD-4 พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่เหมาะสม คือ  $0.20 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  ซึ่งให้ค่าความชันสูงสุด จึงมี sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด และเมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซิน Amberlite XAD-7 พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย PAR ที่เหมาะสม คือ  $0.15 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  ซึ่งให้ค่าความชันสูงสุด จึงมี sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ

## 3.2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้น

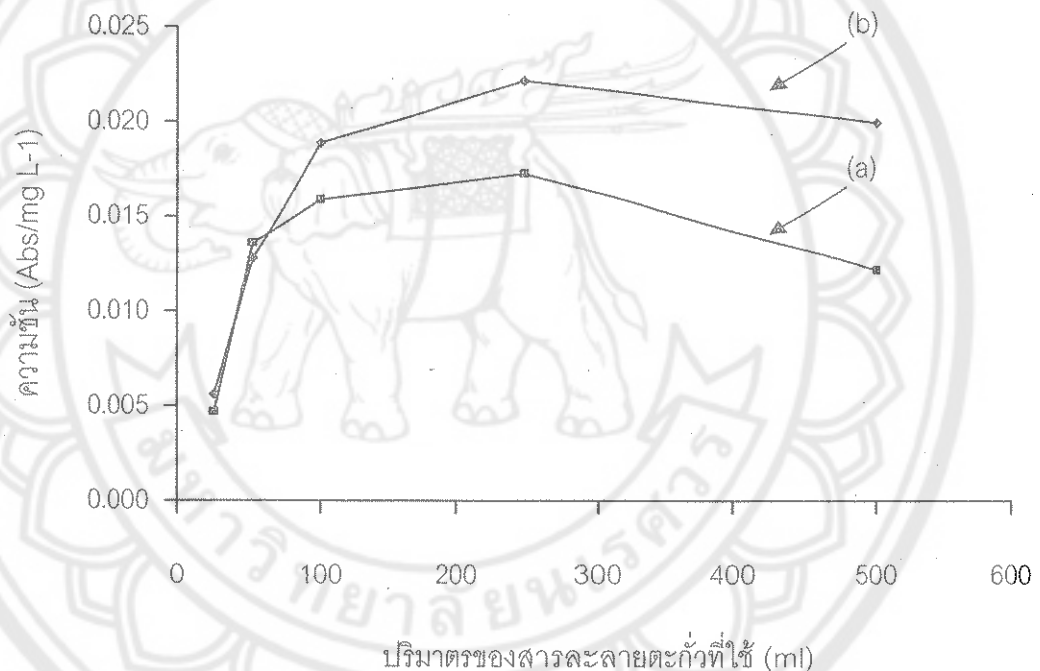
### 3.2.1 การศึกษาหาชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ

ทำการศึกษาค้นหาชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะโดยเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริกที่ความเข้มข้น  $0.10 \text{ mol L}^{-1}$  เพื่อศึกษาถึงชนิดของกรดที่เหมาะสมในการชะสารละลายตะกั่ว(II) ที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของเรซินทั้งสองชนิด

จากการศึกษาพบว่า สารละลายกรดไนตริกมีความสามารถในการชะสารออกมาได้ดีกว่า สารละลายกรดไฮโดรคลอริก จึงมี sensitivity ในการวิเคราะห์สูงกว่า โดยอาจเกิดจากสารละลาย กรดไฮโดรคลอริกเกิดไอออนในเซชัน จึงทำให้สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์หามีค่าลดลง ดังนั้นจึง เลือกสารละลายกรดไนตริกเป็นตัวชะตะกั่วออกจากเรซินทั้งสองชนิดในการทำการทดลองเพื่อหา สภาวะอื่น ๆ ต่อไป

### 3.2.2 การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว(II)

ทำการศึกษานหาปริมาตรของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมในการผ่านตัวดูดซับ โดยเตรียม สารละลายตะกั่ว(II) ที่ปริมาตรต่าง ๆ กัน คือ 25, 50, 100, 250 และ 500 ml ผลการทดลองที่ได้ แสดงดังภาพ 7



ภาพ 7 การศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว (II) a) คือ Amberlite XAD-4, b) คือ Amberlite XAD-7

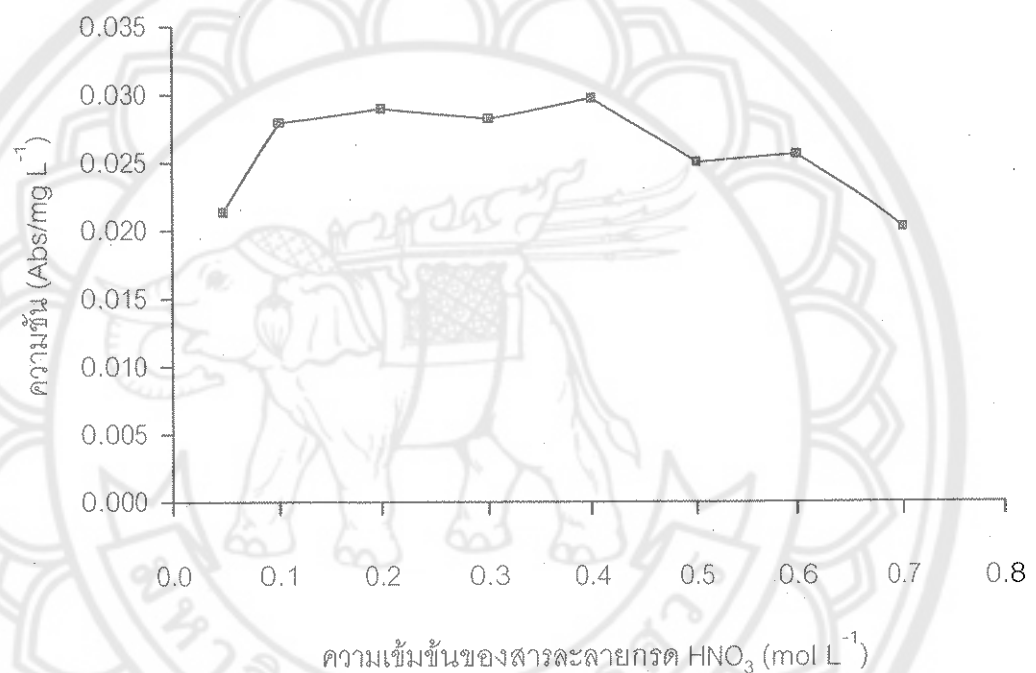
จากการศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายตะกั่ว เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซิน Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 พบว่าเมื่อปริมาตรของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้นค่า ความชันก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เหมาะสมค่าก็จะลดลง เนื่องจากว่าเมื่อปริมาตรของสารละลาย ตะกั่วมากเกินไปจะทำให้การดูดซับของเรซินน้อยลง ทำให้ค่าความชันที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย ปริมาตรของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสม คือ 250.00 ml เนื่องจากเป็นปริมาตรที่ให้ค่าความชันสูง



ที่สุด จึงมี sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายตะกั่ว(II) ปริมาตรอื่น ดังนั้น จึงเลือกปริมาตรของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 250.00 ml เป็นปริมาตรที่เหมาะสมในการทดลอง เพื่อหาสภาวะอื่น ๆ ต่อไป

### 3.2.3 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริก

ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริกที่ใช้เป็นตัวชะสารละลายตะกั่ว(II) ออกจากตัวดูดซับทั้งสองชนิด โดยเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.6 และ 0.70 mol L<sup>-1</sup> เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้ดังภาพ 8



ภาพ 8 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไนตริก

จากการศึกษาพบว่า เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซิน Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก 0.20 และ 0.40 mol L<sup>-1</sup> มีความสามารถในการชะใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีค่า sensitivity น่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น จึงเลือกความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก 0.20 mol L<sup>-1</sup> เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับชะสารละลายตะกั่วออกจากตัวดูดซับในการทำการทดลองเพื่อหาสภาวะอื่น เนื่องจากมี sensitivity ในการวิเคราะห์สูง สามารถชะสารละลายตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้ที่ผิวของเรซินได้ดีและไม่เปลืองสารเคมีในการวิเคราะห์

### 3.2.4 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น (Preconcentration)

จากการศึกษาในข้อ 1-2 สามารถสรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และเอ็กซ์เอดี-7 ที่เกิดคิเลตก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรเมตรี ดังตาราง 2

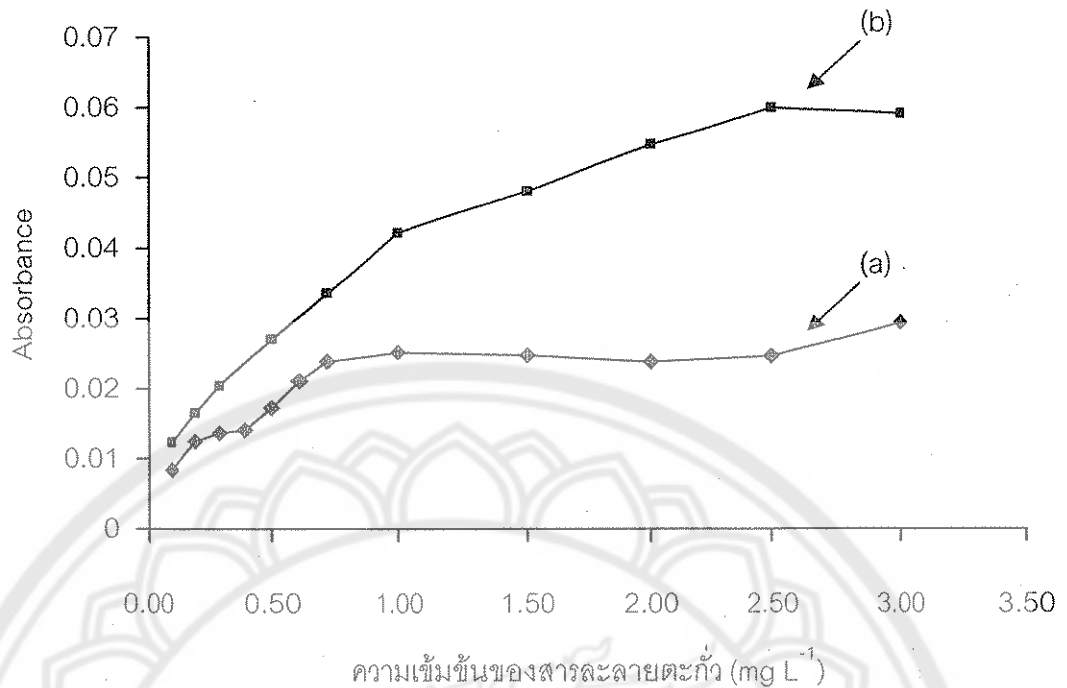
ตาราง 2 สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II)

ลักษณะสภาวะ	สภาวะที่เหมาะสม	
	Amberlite XAD-4	Amberlite XAD-7
เวลาที่ใช้ในการคนเรซิน (min)	60	90
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR ( $\text{mol L}^{-1}$ )	$0.20 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$
ชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	$\text{HNO}_3$	$\text{HNO}_3$
ปริมาตรของสารละลายตะกั่ว (ml)	250.00	250.00
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{mol L}^{-1}$ )	0.20	0.20
ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ml)	20.00	20.00

### 3.3 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง

ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่สนใจในสารละลายตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ช่วงความเข้มข้น  $0.10\text{-}3.00 \text{ mg L}^{-1}$  โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 2 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพ 9

จากผลการศึกษา เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) มี 2 ช่วง คือ  $0.20\text{-}0.40 \text{ mg L}^{-1}$  และ  $0.40\text{-}0.70 \text{ mg L}^{-1}$  และในเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 นั้น พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) มี 2 ช่วง คือ  $0.10\text{-}1.00 \text{ mg L}^{-1}$  และ  $0.10\text{-}2.50 \text{ mg L}^{-1}$



ภาพ.9 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) a) คือ Amberlite XAD-4, b) คือ Amberlite XAD-7

### 3.4 การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือ

การศึกษาคความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ ทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ชุดเดียวกัน และทำการทดลองในสภาวะแบบเดียวกัน สำหรับการทดลองนี้ใช้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่มีความเข้มข้น 0.20 และ 0.40 mg L<sup>-1</sup> โดยใช้สภาวะดังตาราง 9 ทำการทดลองในแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 5 ครั้ง

ผลการทดลองพบว่าเมื่อสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันผ่านเข้าไปใน Amberlite XAD-4 และ Amberlite XAD-7 ให้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณในการวิเคราะห์ไม่เกิน 0.03 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 2 และเมื่อคำนวณหาความสามารถในการทำซ้ำ (%Repeatability) เท่ากับ 1.65 และ 1.04 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำสูง

### 3.5 การศึกษาคความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II)

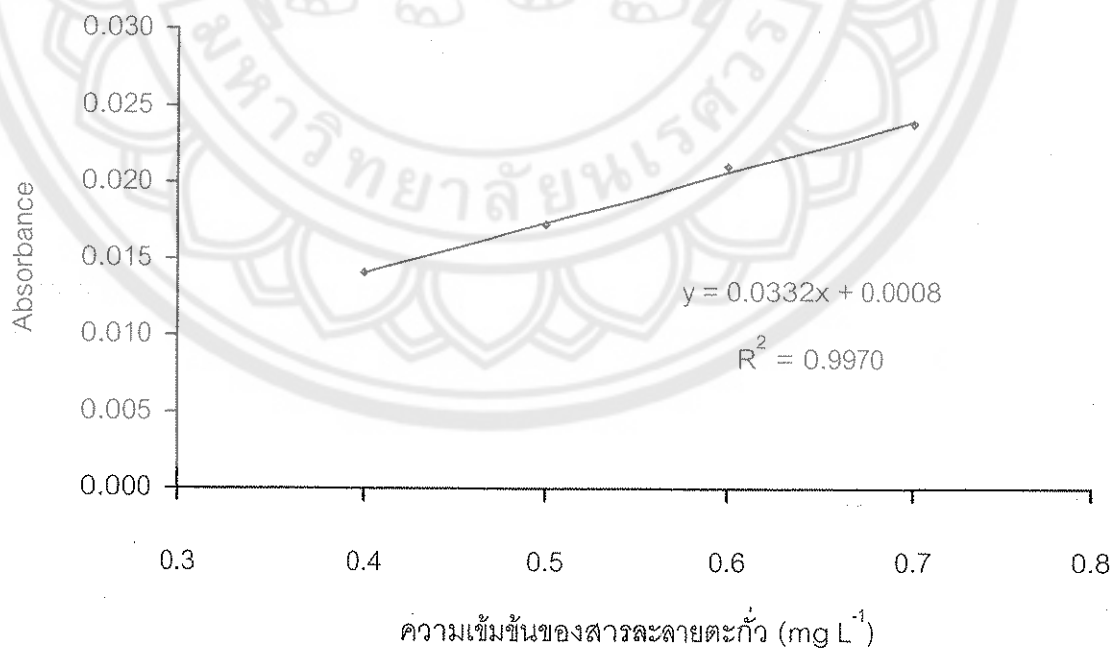
เป็นการศึกษาคความแม่นยำที่เกี่ยวข้องกับผู้ทำการทดลองและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน(II) ที่ความเข้มข้น 0.20 และ 0.40 mg L<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นละ 5 ขวด จากนั้นผ่านสารละลายตัวอย่างไปบนตัวดูดซับ ทำการวัดซ้ำขวดละ 5 ครั้ง โดยใช้สภาวะในการทดลองดังตาราง 2

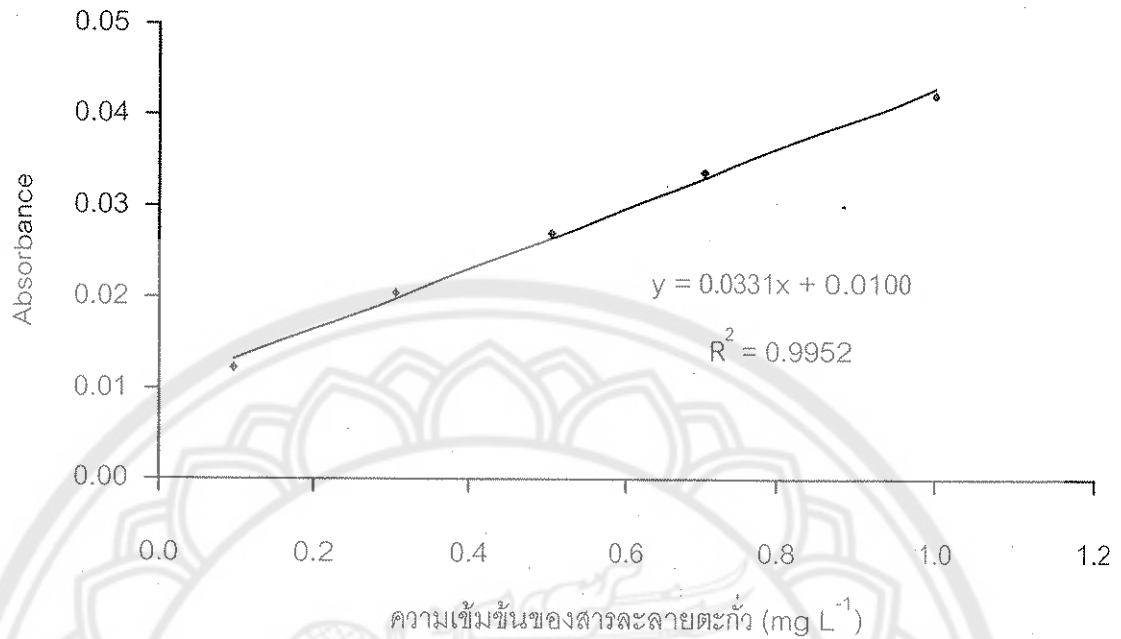
จากการทดลองพบว่า เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กเซดี-4 และแอมเบอร์ไลต์เอ็กเซดี-7 สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างกัน ค่า %RSD ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (%Accuracy) เท่ากับ 4.35 และ 2.31 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์สูง

### 3.6 การทำกราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานเป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่ได้ โดยกราฟมาตรฐานที่ได้จะสามารถใช้ได้เฉพาะในการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เนื่องจากในการวิเคราะห์แต่ละวิธีหรือแต่ละเครื่องมือ จะมีช่วงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพราะตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองอาจมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กเซดี-4 และแอมเบอร์ไลต์เอ็กเซดี-7 ผลการทดลองแสดงดังภาพ 10 และ 11



ภาพ 10 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้เรซิน Amberlite XAD-4



ภาพ 11 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยใช้เรซิน Amberlite XAD-7

### 3.7 การศึกษาขีดจำกัดในการวิเคราะห์

ทำการศึกษาขีดจำกัดของการหาปริมาณตะกั่ว(II) โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว(II) ความเข้มข้น 0.20 mg L<sup>-1</sup> แล้วผ่านสารละลายไปบนตัวดูดซับทั้งสองชนิด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 5 ครั้ง โดยใช้สภาวะดังตาราง 2

จากการทดลองพบว่าค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 0.0151 และ 0.0181 mg L<sup>-1</sup> สำหรับเอ็กเอดี-4 และเอ็กเอดี-7 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(II) สามารถตรวจวัดได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ

### 3.8 การศึกษาผลจากสารปนเปื้อน

ทำการศึกษาผลของโลหะไอออนชนิดอื่น ๆ คือ Fe (II), Mn (II), Zn (II) และ Cd (II) ที่อาจ มีผลในการเพิ่มหรือลดสัญญาณที่ได้จากไอออนของตะกั่วที่ต้องการวิเคราะห์ได้ โดยทำการเตรียม สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1.00 mg L<sup>-1</sup> ในทุก ๆ ขวดและเติมสารละลายมาตรฐานของ ไอออนโลหะทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไปนำไปผ่านเรซินที่บรรจุในคอลัมน์ขนาดเล็ก ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 3

ตาราง 15 การศึกษาผลกระทบบจากสารปนเปื้อนไอออนโลหะอื่น ๆ ต่อการวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว(II) (ดูการคำนวณในภาคผนวก ค)

ชนิดของเรซิน	ชนิดของไอออนโลหะปนเปื้อน	ความเข้มข้นของตะกั่ว(II) : ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ค่าการดูดกลืนแสง	% Deviation
Amberlite XAD-4	Fe (II)	1.00 : 0	0.0504	-
		1.00 : 0.05	0.0525	-4.17
		1.00 : 0.10	0.0450	10.71
		1.00 : 1.00	0.0270	46.43
		1.00 : 5.00	0.0200	60.32
		1.00 : 10.00	0.0171	66.07
		1.00 : 15.00	0.0158	68.65
	Mn (II)	1.00 : 0	0.0504	-
		1.00 : 0.10	0.0524	-3.97
		1.00 : 1.00	0.0503	0.20
		1.00 : 3.00	0.0486	3.57
		1.00 : 5.00	0.0391	22.42
		1.00 : 10.00	0.0370	26.59
		1.00 : 15.00	0.0377	25.20
	Zn (II)	1.00 : 0	0.0504	-
		1.00 : 0.10	0.0510	-1.19
		1.00 : 1.00	0.0408	1.90
		1.00 : 3.00	0.0409	18.85
		1.00 : 5.00	0.0303	39.88
		1.00 : 10.00	0.0257	49.01
		1.00 : 15.00	0.0252	50.00

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดของเรซิน	ชนิดของไอออนโลหะปนเปื้อน	ความเข้มข้นของตะกั่ว(II) : ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ค่าการดูดกลืนแสง	% Deviation
Amberlite XAD-4	Cd (II)	1.00 : 0	0.0504	-
		1.00 : 0.10	0.0512	-15.87
		1.00 : 1.00	0.0451	10.52
		1.00 : 5.00	0.0386	23.41
		1.00 : 10.00	0.0302	40.08
		1.00 : 15.00	0.0298	40.87
Amberlite XAD-7	Fe (II)	1.00 : 0	0.0352	-
		1.00 : 0.10	0.0716	-103.41
		1.00 : 1.00	0.0565	-60.51
		1.00 : 5.00	0.0372	-5.68
		1.00 : 10.00	0.0342	2.84
		1.00 : 15.00	0.0271	23.01
	Mn (II)	1.00 : 0	0.0352	-
		1.00 : 0.05	0.0512	-45.45
		1.00 : 0.10	0.0460	-30.68
		1.00 : 1.00	0.0390	-10.80
		1.00 : 5.00	0.0356	-1.14
		1.00 : 10.00	0.0314	10.80
	Zn (II)	1.00 : 0	0.0352	-
		1.00 : 0.10	0.0793	-125.25
1.00 : 1.00		0.0612	-73.86	
1.00 : 3.00		0.0546	-55.11	
1.00 : 5.00		0.0405	15.06	
1.00 : 10.00		0.0346	1.70	
	1.00 : 15.00	0.0301	14.49	

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดของเรซิน	ชนิดของไอออนโลหะปนเปื้อน	ความเข้มข้นของตะกั่ว(II) : ความเข้มข้นของไอออนโลหะที่ปนเปื้อน	ค่าการดูดกลืนแสง	% Deviation
Amberlite XAD - 7	Cd (II)	1.00 : 0	0.0352	-
		1.00 : 0.05	0.0472	-34.09
		1.00 : 0.10	0.0343	2.56
		1.00 : 1.00	0.0330	5.40
		1.00 : 5.00	0.0296	15.91
		1.00 : 10.00	0.0281	20.17
		1.00 : 15.00	0.0256	27.27

จากการศึกษาพบว่า เมื่อผ่านสารละลายตะกั่วที่มีไอออนของโลหะชนิดอื่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผ่านลงไปในตัวดูดซับทั้งสองชนิดแล้วทำให้สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่จากการที่ใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อธาตุที่จะวิเคราะห์จึงไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่แท้จริง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำมากขึ้นและลดผลกระทบจากสารปนเปื้อน ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) จากน้ำตัวอย่างจริง จึงใช้วิธี calibration method

### 3.9 การศึกษาค่าความถูกต้องของวิธี

ทำการศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ด้วยวิธี standard addition โดยใช้น้ำตัวอย่างนำมาเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) ที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 mg L<sup>-1</sup> ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 4 และ 5

ตาราง 4 การศึกษาความถูกต้องของร้อยละการคืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 (ดูการคำนวณในภาคผนวก ง)

สารตัวอย่าง ชนิดที่	ความเข้มข้น (mg L <sup>-1</sup> )		% recovery
	Added	Detected	
1	0	0.1536	-
2	0.50	0.6777	104.82



ตาราง 4 (ต่อ)

สารตัวอย่าง ชนิดที่	ความเข้มข้น (mg L <sup>-1</sup> )		% recovery
	Added	Detected	
3	1.00	1.1054	95.18
4	1.50	1.5422	92.57
5	2.00	1.9066	87.65
X		95.06	

ตาราง 5 การศึกษาความถูกต้องของร้อยละการคืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) โดยใช้เรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 (ดูการคำนวณในภาคผนวก ง)

สารตัวอย่าง ชนิดที่	ความเข้มข้น (mg L <sup>-1</sup> )		% recovery
	Added	Detected	
1	0	0	-
2	0.50	0.3595	71.90
3	1.00	0.4592	45.92
4	1.50	0.9003	60.02
5	2.00	1.4653	73.27
X		62.78	

จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการคืนกลับคืนของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว(II) มีค่าเท่ากับ 95.06 และ 62.78 สำหรับแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และเอ็กซ์เอดี-7 ตามลำดับ

### 3.10 การศึกษา Preconcentration factor

ทำการศึกษาค่า Preconcentration factor เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ผ่านการเพิ่มความเข้มข้นแล้วกับตะกั่วที่ยังไม่ได้เพิ่มความเข้มข้น จากการศึกษาพบว่าในโครงการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น โดยใช้เรซิน Amberlite XAD-4 กราฟมาตรฐาน คือ  $y = 0.0069x + 0.0013$ ,  $R^2 = 0.9971$  แต่ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่เพิ่มความเข้มข้นแล้วมีกราฟมาตรฐานคือ  $y = 0.0332x + 0.0008$ ,  $R^2 = 0.9970$  ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการ

เพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่เพิ่มความเข้มข้นมีค่า Preconcentration factor เท่ากับ 4.8 เท่า และเมื่อใช้เรซิน Amberlite XAD-7 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น คือ  $y = 0.0078x + 0.0016$ ,  $R^2 = 0.9818$  แต่ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่เพิ่มความเข้มข้นแล้วมีกราฟมาตรฐานคือ  $y = 0.0331x + 0.0100$ ,  $R^2 = 0.9952$  ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) พบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ที่เพิ่มความเข้มข้นมีค่า Preconcentration factor เท่ากับ 4.2 เท่า แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่ำได้ เพื่อให้สามารถทำการตรวจวัดแล้วได้สัญญาณในการวิเคราะห์ที่ดีขึ้น

### 3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจริง

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในน้ำตัวอย่างจริง ที่เก็บจากแหล่งน้ำรอบภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์จำนวน 5 แห่ง (ดูแผนที่ในภาคผนวก ก) ระหว่างวันที่ 23-30 มกราคม 2551 โดยใช้สภาวะการทดลองดังตาราง 9 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในตัวอย่างน้ำจริงแสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว * ( $\text{mg L}^{-1}$ )	
	Amberlite XAD-4	Amberlite XAD-7
1. น้ำดื่มใต้ตึกพิสิทธ์	0.0164	N.D.
2. หอพักหญิงแสนสุข	0.0112	N.D.
3. ศูนย์วิจัย	0.0136	N.D.
4. โภชนาคาร 2	0.0108	N.D.
5. อ่างเก็บน้ำ	0.0108	N.D.

หมายเหตุ : \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง, N.D. คือ Non detection

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) ในตัวอย่างน้ำ เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-4 พบว่ามีปริมาณตะกั่วในช่วง  $0.0108-0.0164 \text{ mg L}^{-1}$  เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลต์เอ็กซ์เอดี-7 ไม่สามารถตรวจพบตะกั่วที่ความเข้มข้นต่ำได้ เนื่องจากเรซินเอ็กซ์เอดี-7 มีขนาดใหญ่กว่าเอ็กซ์เอดี-4 จึงมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าทำให้การดูดซับตะกั่วได้น้อยกว่าเอ็กซ์เอดี-4

จากมาตรฐานกำหนดสำหรับผู้บริโภคน้ำ กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในน้ำได้ไม่เกิน  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$  ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ที่นำมาทำการศึกษา พบว่าปริมาณตะกั่วไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับอุปโภคและบริโภค ที่ผ่านกระบวนการทำให้น้ำบริสุทธิ์แล้ว แต่ถ้าวินิจฉัยไปเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดการสะสมอยู่ในร่างกายซึ่งจะส่งผลให้เป็นอันตรายได้



## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ทำการศึกษากการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่ว(II) ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4 และแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-7 ที่เกิดคีเลตกับ 4-(2-ไพริดีลอะโซ)รีซอซินอลโมโนไฮเดรต (PAR) ก่อนที่จะตรวจวัดด้วยเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโทรมิเตอร์

การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) นั้นต้องทำการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลกับการทดลอง โดยพิจารณาจากค่าความชันที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นทำการศึกษาคูณลักษณะต่าง ๆ เช่น ความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำของเครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ผลจากสารปนเปื้อน ค่าความถูกต้องในรูปของร้อยละการกลับคืน และค่า preconcentration factor ซึ่งสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมและคุณลักษณะของการวิเคราะห์ทั้งหมดแสดงได้ดังตาราง 7

กราฟมาตรฐานเป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับสัญญาณที่ได้ ในการศึกษากกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว(II) เมื่อบรรจุคอลัมน์ด้วยแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4 ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.40-0.70 mg L<sup>-1</sup> ได้สมการเส้นตรงคือ  $y = 0.0332x + 0.0008$ ,  $R^2 = 0.9970$  และที่ความเข้มข้นในช่วง 0.10-1.00 mg L<sup>-1</sup> ได้สมการเส้นตรงคือ  $y = 0.0331x + 0.0100$ ,  $R^2 = 0.9952$  สำหรับเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-7 นอกจากนี้สามารถนำวิธีที่ศึกษาขั้นนี้ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่างจริงรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวรด้วยวิธี calibration method พบว่ามีปริมาณตะกั่ว(II) อยู่ในช่วง 0.1084-0.1627 mg L<sup>-1</sup> สำหรับเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4 แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-7 ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างน้ำจริงที่ทำการเก็บมาได้ เนื่องจากแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-7 เป็นเรซินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย จึงทำให้การดูดซับตะกั่วที่มีความเข้มข้นน้อยเป็นไปได้ยาก เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กเอดี-4

ตาราง 7 สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และเอ็กซ์เอดี-7 ที่เกิดคิเลต

สภาวะที่ใช้	สภาวะที่เหมาะสม	
	Amberlite XAD-4	Amberlite XAD-7
เวลาที่ใช้ในการคนเรซิน (min)	60	90
ความเข้มข้นของสารละลาย PAR ( $\text{mol L}^{-1}$ )	$0.20 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$
ชนิดของกรดที่ใช้เป็นตัวชะ	$\text{HNO}_3$	$\text{HNO}_3$
ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{mol L}^{-1}$ )	0.20	0.20
ปริมาตรของสารละลายตะกั่ว (ml)	250.00	250.00
ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ตัวชะ) (ml)	20.00	20.00
ช่วงความเป็นเส้นตรง ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.2-0.4, 0.4-0.7	0.1-1.0, 1.0-2.5
ค่าความชัน	0.0332	0.0331
ค่าความถูกต้อง (%Accuracy)	4.35	2.31
ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (%Repeatability)	1.65	1.04
ค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.0151	0.0181
ค่าร้อยละการกลับคืน (%recovery)	95.06	62.78
Preconcentration factor	4.8	4.2

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้คอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วได้ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำ และให้ sensitivity ในการวิเคราะห์สูง

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการกรองน้ำตัวอย่างที่นำมาทำการทดลอง เพื่อไม่ให้สารแขวนลอยไปอุดตัน nebulizer ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องมือ และผลของการวิเคราะห์ได้
2. สารละลายมาตรฐานควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่มีการวัด เพราะอาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่วิเคราะห์ได้
3. ควรทำการแช่เรซินแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-4 และแอมเบอร์ไลท์เอ็กซ์เอดี-7 ที่เตรียมไว้ใน น้ำปราศจากไอออนเสมอ เพื่อไม่ให้เรซินแห้ง เพราะอาจส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วได้

### บรรณานุกรม

1. องค์การการจัดการน้ำเสีย. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ปัญหาน้ำเสีย**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 21 มกราคม 2551. จาก <http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/5-4/no02-44/water.html>
2. ประโยชน์ของน้ำ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **วัฏจักรน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 มกราคม 2551. จาก [http://www.prachinhealthylife.net/text/dof\\_text2.htm](http://www.prachinhealthylife.net/text/dof_text2.htm)
3. วัฏจักรของน้ำ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **วัฏจักรของน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 มกราคม 2551. จาก <http://www.techno.obec.go.th/content/www.water.com/index.html>
4. คุณภาพน้ำ. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ลักษณะสมบัติทางกายภาพ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2551. จาก [http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter3/chapter3\\_water2.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter3/chapter3_water2.htm)
5. การจัดการน้ำเสีย. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ประโยชน์ของน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.geocities.com/e21oca/water.html>
6. กรมมลพิษและสิ่งแวดล้อม. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **โลหะหนัก**. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK15/chapter7/t15-7-12.htm#sect1>
7. สารานุกรมเสรี. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **ตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.th.wikipedia.org/wiki/%>
8. ความรู้เกี่ยวกับตะกั่ว. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **สมบัติของตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://web.ku.ac.th/scho.olnet/snet5/topic2/Pb.html>
9. 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](http://industrial.uru.ac.th/pdf_book_aj/%CD.%E4%BE%E2%C3%A8%B9%EC/%A.pdf)
10. กองอาชีพอนามัย. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปี ที่เผยแพร่). **พิษตะกั่ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2551. จาก <http://www.dpim.go.th/dt/pper/000001122433753.pdf>

11. สลิลดา ยรรยงสวัสดิ์ (2548), *ภาวะการประกอบโลหกรรมของประเทศ ปี 2547, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.*
12. ชาคกริต สุขเจริญ (2547), *อุตสาหกรรมการผลิตโลหะตะกั่วจากเศษแบตเตอรี่และการกำจัดดูแล, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.*
13. P.K Tewari. & A.K Singh. (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.
14. P.K Tewari. & A.K Singh. (2002). "Amberlite XAD-7 impregnated with Xylenol 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.
15. Hayati F., Kadriye I., Nuray B. & Resat A. (2004). "Simultaneous preconcentration of vanadium(V/IV) species with palmitoyl quinolin-8-ol bonded to amberlite XAD-2 and their separate spectrophotometric determination with 4-(2-pyridylazo)resorcinol using CDTA as masking agent." *Anal.Chim Acta*. 518 : 173-179.
16. Umit D., Abdullah A., Mustafa S. & Latif E. (2007). "Solid-phase extraction of Fe(III), Pb(II) and Cr(III) in environmental sample on amberlite XAD-7 and their determinations by flame atomic absorption spectrometry." *J. Hazard. Mater.* 149 : 331-337.
17. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม . (2539) . *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.*
18. ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. (2546). *เคมีวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*
19. Rohm and Hass company. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). *Amberlite XAD-4. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2551. จาก [http://www.ionexchanger.com/Pharmaceuticals/Bioprocessing\\_doc/us\\_english/xad4.pdf](http://www.ionexchanger.com/Pharmaceuticals/Bioprocessing_doc/us_english/xad4.pdf)*

20. 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.







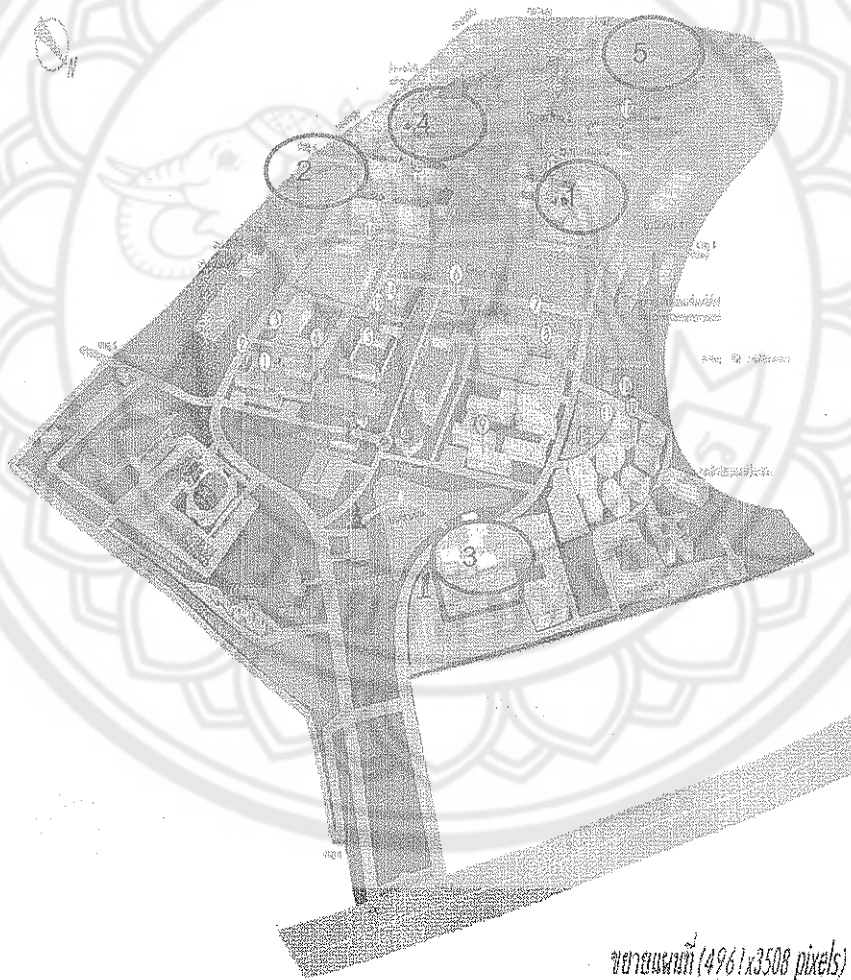


## ภาคผนวก ก

## สถานที่เก็บน้ำตัวอย่าง

เก็บน้ำตัวอย่างภายในและรอบ ๆ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยเก็บระหว่างวันที่ 23-30 มกราคม 2551 ทั้งหมด 5 แหล่ง ดังภาพ 12

○ บริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่างภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร



ขยายแผนที่ (4961x3508 pixels)

ภาพ 12 แผนที่สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร