

เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ ๒/๒๕๕๙



Extension Paper No. 2/2016

คู่มือการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ  
Manual on Heavy Metal Analysis in Aquatic Organism

ทัตวรรณ ขาวสีจัน  
สายหยุด ฤทธิชัย  
ศุภลักษณ์ แซ่มบาง  
สุภาวดี จุลนวล

Tasawan Khawsejan  
Saiyud Ritichuay  
Suppaluck Chambang  
Supawadee Junnual

กองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล  
กรมประมง  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Marine Fisheries Research and Development Division  
Department of Fisheries  
Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ ๒/๒๕๕๙



Extension Paper No. 2/2016

คู่มือการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ  
Manual on Heavy Metal Analysis in Aquatic Organism

ทศวรรณ ขาวสีจัน  
สายหยุด ฤทธิ์ช่วย  
ศุภลักษณ์ แซ่มบาง  
สุภาวดี จุลนวล

Tasawan Khawsejan  
Saiyud Ritchuay  
Suppaluck Chambang  
Supawadee Junnual

กลุ่มงานตรวจสอบคุณภาพแหล่งประมงทะเล  
สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเล

กองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล  
กรมประมง  
2559

Marine Fishing Ground Quality Inspection  
Marine Fisheries Research and Technological  
Development Institute

Marine Fisheries Research and Development Division  
Department of Fisheries

2016

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโลหะหนัก	1
1. ความหมายของโลหะหนัก	1
2. ประเภทของโลหะหนัก	1
3. การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำ	3
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมี	5
1. ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	5
2. การจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการ	6
2.1 ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี	6
2.2 ประเภทของสารเคมีอันตราย	7
2.3 การจัดเก็บสารเคมี	7
2.4 การจัดการเมื่อสารเคมีหกหล่นหรือรั่วไหล	9
2.5 การจัดการของเสียเคมีจากห้องปฏิบัติการ	9
3. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการเคมี	10
3.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	10
3.2 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ	17
3.3 สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	20
4. การเตรียมสารละลาย	23
4.1 นิยาม	23
4.2 การเตรียมสารละลายประเภทต่างๆ	23
4.3 หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย	24
บทที่ 3 การวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์ทะเล	26
1. ความสำคัญของการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ	26
2. มาตรฐานโลหะหนักในสัตว์น้ำ	26
3. หลักการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ	26
3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์	26
3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	27
3.3 การประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์	30
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ	31
4.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์	31
4.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	32
4.3 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง microwave digester	32
4.4 การคำนวณผล	33
เอกสารอ้างอิง	35

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้	8
2	ค่าความคลาดเคลื่อนของขวดวัดปริมาตร class A และ class B ที่ความจุต่างๆ กัน	13
3	คุณสมบัติทั่วไปของกรด	22
4	คุณสมบัติของกรดที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนัก	22

## สารบัญภาพ

ภาพที่		
1	การสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม	3
2	ลักษณะของผู้ป่วยโรคมินามาตะ	4
3	เครื่องหมายเพื่อความปลอดภัย (Safety Signs)	9
4	ตัวอย่างรายละเอียดคุณลักษณะเครื่องแก้ววัดปริมาตร	12
5	การอ่านค่าปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตร	12
6	ขวดแก้ววัดปริมาตรขนาดต่างๆ	14
7	ปิเปตชนิดต่างๆ	15
8	ไมโครปิเปตขนาดต่างๆ	16
9	บิวเรต	17
10	เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ก) และ ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ข)	18
11	ตุ่มน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องชั่ง	19
12	ตู้ดูดควัน	20
13	กรดไนตริกเข้มข้น (ก) และ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (ข) ประเภท suprapur grade	21
14	เครื่องมือที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างสัตว์ทะเลเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก : เตาเผาอุณหภูมิสูง (ก) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (ข) block digester (ค) และ เครื่องย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (ง)	28
15	เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในกลุ่ม AAS : Flame Atomic Absorption Spectrometer (ก) และ Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (ข)	29
16	เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในกลุ่ม AES : Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer : ICP-OES (ก) และ Inductively Couple Plasma-mass spectrometry:ICP-MS (ข)	30
17	ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material : CRM)	31
18	อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดตัวอย่างสัตว์ทะเล	33
19	แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ	34

## บทที่ 1

### ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโลหะหนัก

#### 1. ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metals) หมายถึง โลหะที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและนำความร้อนเหมือนโลหะอื่นทั่วไป เป็นกลุ่มของธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมอยู่ในช่วง 63.55-200.59 มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ 5 เท่า โลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน แต่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า จึงสามารถรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะหนักอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ โลหะหนักสามารถเปลี่ยนรูปได้ จากในรูปละลายน้ำ (dissolved forms) ไปเป็นสารละลายเชิงซ้อน (complex molecules) หรือเกิดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (colloid) และตกตะกอนรวมอยู่กับตะกอนพื้นท้องน้ำได้ (สุวรรณ และคณะ, 2544) โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายเป็นรูปแบบที่สัตว์น้ำสามารถนำเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย และเนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่มีความคงตัว ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้โลหะหนักสะสมและแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม โดยโลหะหนักสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ซึ่งลักษณะการสะสมในสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารแต่ละตัว เช่นปรอท และแคดเมียม สามารถถูกเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compounds) ซึ่งสามารถสะสมในเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดอันตรายหรือความผิดปกติได้ (มนูวดี, 2532)

#### 2. ประเภทของโลหะหนัก

โลหะหนักส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม transition metals ซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มธาตุที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ มีความเสถียร และสามารถสะสมอยู่ในอากาศ ดิน และแหล่งน้ำรวมถึงในสิ่งมีชีวิตอีกด้วย ธาตุที่จัดว่าเป็นโลหะหนักมีทั้งหมด 22 ชนิด แต่ชนิดที่เป็นพิษ และถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานสารปนเปื้อนในอาหาร ได้แก่

2.1 ปรอท (Mercury; Hg) เป็นธาตุในกลุ่มทรานซิชัน มีจุดเดือด 356.73 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลว -38.83 องศาเซลเซียส ปกติปรอทมีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง ปรอทถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ทอผ้าทำสี สวิตซ์ไฟฟ้า กระจก ชุบโลหะ ทำสารเคมี กระบวนการผลิตโซดาไฟและคลอรีน ใช้ในการแพทย์ การเกษตรกรรม โดยใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา การฉาบเมทัลลิกป้องกันแมลงและโรคพืช ปรอทที่อยู่ในรูป methyl และ ethyl เป็นรูปที่มีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมาได้แก่ ปรอทในรูปโลหะ ส่วนปรอทที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด ได้แก่ ปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ (เปี่ยมศักดิ์, 2543) สารปรอทที่อยู่ในรูปไอระเหยมีอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุด โดยจะทำให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง ท้องร่วง อาเจียน เหนื่อย และต่อมไทรอยด์อักเสบ เกิดความผิดปกติของระบบประสาท

2.2 แคดเมียม (Cadmium; Cd) เป็นโลหะอ่อนสีเงิน มีจุดเดือด 767 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 321.07 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ แคดเมียมมีคุณสมบัติทางโครงสร้างอะตอมและสมบัติทางเคมีคล้ายกับสังกะสี จึงมักพบปะปนอยู่กับแร่สังกะสี แคดเมียมมีการแพร่กระจายอยู่โดยทั่วไปบนพื้นผิวโลก ความเข้มข้นเฉลี่ยพบอยู่ที่ 0.1-0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (EC, 2000 อ้างตาม พัชวิมา, 2552) แคดเมียมในธรรมชาติสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมจากการระเบิดของภูเขาไฟ การพังทลายของหินต้นกำเนิด แต่อย่างน้อยกว่า

การกระทำของมนุษย์ แคลเดียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก แก้ว สี ปุ๋ย ใช้กำจัดเชื้อรา ทำเซลล์สุริยะ แบตเตอรี่ อุตสาหกรรมรถยนต์ และใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้พบแคลเดียมในฝุ่นละอองและดินบริเวณข้างถนนในปริมาณมาก นอกจากนี้แคลเดียมอาจแพร่กระจายมาจากแหล่งที่มีการทำเหมืองแร่สังกะสี รวมทั้งตะกั่ว และทองแดง การเผาไหม้ของพลาสติก และยาง โรงงานทำโลหะ และซูบโลหะ

2.3 ตะกั่ว (Lead; Pb) เป็นโลหะสีเงินปนเทา มีจุดเดือด 1,749 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 327.46 องศาเซลเซียส นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย สามารถทำให้อ่อน และดัดให้มีลักษณะตามต้องการได้ ทนต่อการผุกร่อนได้ดี กลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิสูง ตะกั่วที่อยู่ในรูปอิสระจะมีความไวในการทำปฏิกิริยา และตะกั่วรูปนี้ก็เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมากที่สุด ตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในธรรมชาติ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ลักษณะของดิน และน้ำ สมบัติทางกายภาพ และเคมี มนุษย์นำตะกั่วมาใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อุตสาหกรรมผลิตสี แบตเตอรี่ เชื่อมโลหะ ทำขั้วไฟฟ้า หมึกพิมพ์ เซรามิก ยากำจัดศัตรูพืช ทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมอย่างมาก อาการเป็นพิษเนื่องจากตะกั่วแบบเฉียบพลันมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อ และอาการอื่นๆ สำหรับพิษแบบเรื้อรังที่สำคัญ ได้แก่ โรคโลหิตจาง โดยตะกั่วจะเข้าไปขัดขวางการสร้าง เม็ดเลือดแดง

2.4 ทองแดง (Copper; Cu) เป็นโลหะที่มีสมบัติทนต่อการกัดกร่อน นำความร้อน และนำไฟฟ้า ได้ดีรองจากเงิน เป็นโลหะที่อ่อนดัดงอได้ง่าย และตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ดี มีจุดหลอมเหลว 1,084.62 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,562 องศาเซลเซียส ทองแดงในธรรมชาติมักพบปะปนอยู่กับธาตุสังกะสี รูปแบบสารประกอบเคมี ทองแดงมีหลายรูปแบบ ทั้งในรูปคลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรต มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ส่วนสารประกอบที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ และซัลไฟด์จะไม่ละลายน้ำ ทองแดงที่อยู่ในรูปซัลไฟด์มักพบเป็นจำนวนมาก สลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพกรด ทำให้ทองแดงถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของไอออน ทองแดงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมในรูปของโลหะทองแดง และสารประกอบทองแดง ได้แก่ การทอผ้า เม็ดสีในการผลิตเซรามิก และเส้นใย ทำลวดตัวนำไฟฟ้า ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เคลือบผิวโลหะ อุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นสีทากันตะไคร่น้ำ และใช้ผสมกับโลหะต่างๆ เช่น สังกะสี ดีบุก และเงิน นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในการทำยาปราบศัตรูพืช พวกยากันเชื้อรา อาการเป็นพิษเนื่องจากทองแดงที่มีปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร อาเจียน ทองแดงที่มีมากจะไปสะสมอยู่ในตับ และถูกขับออกมาจากตับสู่กระแสเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงเกิดการแตกตัว ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยเฉพาะในตับ ทำให้ขับทองแดงออกจากตับไม่ได้

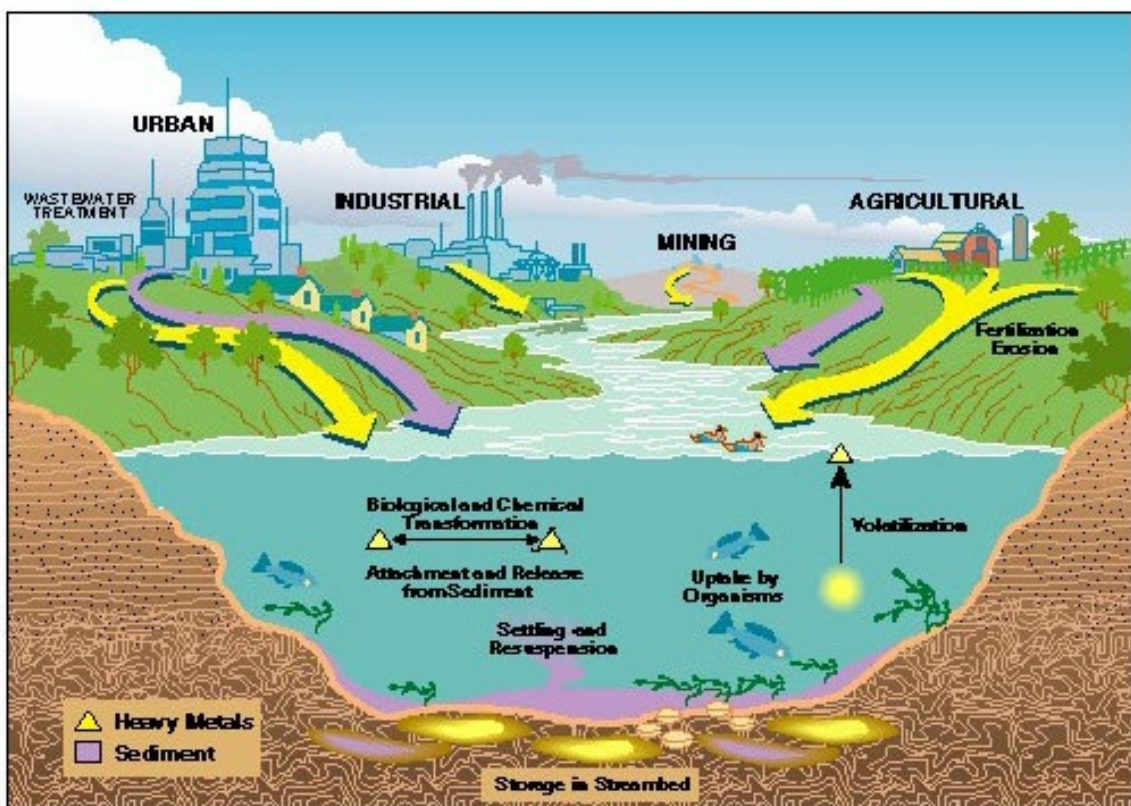
2.5 สังกะสี (Zinc; Zn) มีจุดหลอมเหลว 419.53 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส สังกะสีบริสุทธิ์มีสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย มีความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่เปราะ ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดเจือจาง เช่น กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้เป็นก๊าซไฮโดรเจน โดยปกติจะไม่พบสังกะสีในรูปอิสระ ในธรรมชาติพบในรูปแร่หรือสารประกอบ สังกะสีถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เช่น ฉาบผิวเหล็ก เพื่อให้เหล็กมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ พิวส์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย ยารักษาโรค กระดาษ ทำโลหะผสม ใช้ผสมในยาง สี เครื่องสำอาง คลุกเมล็ดพืชป้องกันเชื้อรา และทำเส้นใยสังเคราะห์ สังกะสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่ตับ และไต ถ้ามีสังกะสีอยู่มากจะไปทำลายอวัยวะภายใน ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง การทำงานของตับและไตล้มเหลว

2.6 สารหนู (Arsenic; As) เป็นธาตุที่มีจุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส จุดเดือด 614 องศาเซลเซียส สารหนูปกติจะมีสีเหลืองหรือสีเทา สารหนูเป็นสารที่รู้จักกันมานานกว่า 3,000 ปี โดยมีการใช้ในทางการแพทย์ และใช้เป็นยาพิษเช่นกัน รูปแบบของสารหนูจะพบร่วมกับแร่ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีซัลไฟด์ โดยพบอยู่ในรูปของ sulfide realgar หรือ orpiment โดยจะพบมากที่สุดในรูปแบบของ arsenopyrite (FeAsS) ออกไซด์ของสารหนู

ในรูป arsenic trioxide ส่วนใหญ่จะใช้ในทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าเชื้อรา เป็นต้น สารหนูในรูปของธาตุจะใช้เป็นส่วนผสมของโลหะอัลลอยด์ เช่น ผสมกับตะกั่วในแบตเตอรี่ หรือในรูปของ แกลเลียมอาร์เซไนด์ สำหรับเคลือบสีในนาฬิกาดิจิตอล หรือใช้เป็น light-emitting diode สำหรับเครื่องมือต่างๆ สารหนูโดยปกติสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทางการหายใจ การดูดซึมของลำไส้ และผ่านผิวหนัง ความเป็นพิษของ สารหนูอย่างรุนแรงเกิดขึ้นได้โดยการดูดซึมผ่านลำไส้ โดยจะมีอาการอย่างไรขึ้นอยู่กับรูปแบบ และปริมาณ ของสารหนู การได้รับสารหนูเป็นเวลานาน ทำให้เกิดอาการทางผิวหนัง จะเริ่มตั้งแต่เกิดอาการระคายเคือง กลายเป็นด้านหนาที่ผิวหนัง เม็ดสีที่ผิวเป็นสีดำเข้ม อาจพบเป็นรอยตกระตามร่างกาย แต่ที่ฝ่ามือจะเป็น จุดขาวๆ เต็มไปหมด ส่วนฝ่าเท้าจะเกิดจุดสีดำใหญ่ เห็นได้ชัดเจนทั้งสองฝ่าเท้า จนกระทั่งถึงกลายเป็นมะเร็ง ที่ผิวหนังได้

### 3. การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

การสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะ โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิต โลหะหนักเมื่อถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมก็จะเกิดการแพร่กระจายไปตามกระแส น้ำ โลหะหนักในน้ำจะพบอยู่ทั้งในรูปที่ละลายน้ำหรือเกาะติดกับอนุภาคขนาดเล็ก พวกสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์น้ำ ทำให้สัตว์น้ำได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายโดยตรงจากการดูดซึมน้ำ หรือจากการกรองกินอาหาร โลหะหนักที่สะสมอยู่ในสัตว์น้ำสามารถถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (ภาพที่ 1) ซึ่งปริมาณ และความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของห่วงโซ่อาหารได้ (ทศวรรณ, 2548)



ภาพที่ 1 การสะสมโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม (Heade, 1995)

เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังเช่นตัวอย่างเหตุการณ์พิษจากปรอทที่ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1956 เป็นภาวะมลพิษที่รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของประเทศญี่ปุ่น ชื่อโรค “มินามาตะ” ผู้ป่วยมีอาการเดินเซ ไม่สามารถยืนได้ด้วยตัวเอง ขาดตามแขนขา หูตึง มองเห็นภาพแคบลง พูดไม่ชัด มือสั่น กลืนอาหารลำบาก บางครั้งจะแสดงอาการคลุ้มคลั่ง และมักจะส่งเสียงดัง ตะโกนคล้ายคนบ้าตลอดเวลา มีอาการนอนไม่หลับ ชักบ่อยๆ แขนขาบิดเบี้ยวคล้ายคนพิการ (ภาพที่ 2) เพราะกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายทำงานไม่ประสานกัน อาการทุกอย่างจะรุนแรงขึ้นและเสียชีวิตในเวลาต่อมา



Children with Congenital Minamata Disease due to intrauterine methylmercury poisoning (Harada 1986).

ภาพที่ 2 ลักษณะของผู้ป่วยโรคมินามาตะ (จินทิม่า, 2555)

นอกจากพิษจากสารปรอทแล้ว ประเทศญี่ปุ่นยังเกิดเหตุการณ์พิษจากแคดเมียม เรียกว่า โรคอิไต-อิไต ซึ่งเกิดจากมีสารแคดเมียมตกค้างอยู่ในแม่น้ำจินสุ เขตโตยามา อันมีสาเหตุมาจากโรงงานทำเหมืองและถลุงโลหะจากการทำอุตสาหกรรมผลิตโลหะทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ได้แอบลักลอบนำกากโลหะจากโรงงานมาทิ้งลงแม่น้ำเป็นเวลานาน จนชาวบ้านที่อาศัยในแถบนั้นเกิดเป็นโรคไต กระดูกผุ เจ็บปวดบริเวณหลัง และเอวอย่างรุนแรงมาก และการมีเด็กพิการในอัตราสูงผิดปกติ

ในประเทศไทยพบการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น กรณีการปนเปื้อนสารตะกั่วในลำห้วยคลิตี้ ที่ ต.ชะแล อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี ที่มาจากโรงแต่งแร่ตะกั่ว ทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในลำห้วยคลิตี้ตลอดสาย ส่งผลให้ชาวกะเหรี่ยงที่อาศัยอยู่บริเวณดังกล่าวพบตะกั่วในเลือดสูง มีอาการถ่ายท้อง ปวดท้อง ปวดหัว ปวดกระดูก เจ็บตามข้อ ขาดตามร่างกาย บวมตามแขนขา มือเท้าไม่ค่อยมีแรง ผู้หญิงหลายคนแท้งลูก เด็กที่เกิดใหม่มีสุขภาพไม่แข็งแรง บางรายมีความผิดปกติทางด้านร่างกาย มีพัฒนาการทางสมองช้า และบางรายถึงขั้นเสียชีวิต และเหตุการณ์พิษจากสารหนูที่ ต.ร้อนพิบูลย์ อ.ร้อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ในช่วงประมาณปี 2530-2534 พบมีผู้ป่วยด้วยอาการประหลาด คือ ผิวหนังตามข้อนิ้วมือ ฝ่ามือ ฝ่าเท้า และบริเวณลำตัวเริ่มแข็งกระด้าง มีสีคล้ำดำ สลัดขูดขาว หรือเรียกว่า โรคใช้ดำ ทราบภายหลังว่าเป็นโรคที่เกิดจากพิษของสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งมีต้นตอจากกระบวนการทำเหมืองแร่ดีบุกที่มีสารหนูปนเปื้อนมากับสายแร่ในกระบวนการแยกแร่ธาตุ สารหนูจะถูกแยกไปกับหางแร่และถูกทิ้งไว้โดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ทำให้สารหนูปนเปื้อนไปยังแหล่งน้ำของชุมชนใกล้เคียง และในปี 2541 ได้เกิดเหตุการณ์ปนเปื้อนแคดเมียมในดินตะกอนที่ห้วยแม่ตาว ต.แม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก ซึ่งคาดว่าเกิดจากการทำเหมืองแร่สังกะสี ส่งผลให้มีแคดเมียมปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง

## บทที่ 2

### ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมี

#### 1. ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการจะเกิดขึ้นได้ต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ปฏิบัติงานเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้ห้องปฏิบัติการ เช่น รู้ระเบียบข้อบังคับ อันตรายของสารเคมี การใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเอง และควรปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด การทำงานในห้องปฏิบัติการเคมี นับเป็นสถานะที่มีความเสี่ยงอันตรายจากการเกิดอุบัติเหตุ ไม่ว่าจะเกิดการระเบิดของสารเคมี การเกิดเพลิงไหม้ อันตรายจากสารเคมีหกหล่น รวมทั้งการได้รับอันตรายที่มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานทั้งจากอุบัติเหตุ และพิษเรื้อรังในระยะยาว จากการรวบรวมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการเคมี โดยสำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง (2551) บุษยา และอมรรัตน์ (2553) คณะอนุกรรมการความปลอดภัยทางเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล (2555) สามารถประมวลข้อควรปฏิบัติเมื่ออยู่ในห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้

1. ผู้ปฏิบัติงานควรมีอุปกรณ์ป้องกันตัว เช่น เสื้อกาวน์ ถุงมือ แว่นตานิรภัย หน้ากากนิรภัย หน้ากากกันสารพิษ ควรสวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมขณะปฏิบัติงาน ปกคลุมร่างกายมิดชิดเพื่อป้องกันอันตรายจากอุบัติเหตุสารเคมีหกหรือหล่น ห้ามสวมกางเกงขาสั้น รองเท้าแตะ และไม่ควรมีเครื่องประดับ เช่น สร้อยคอ แหวน ต่างหู เพราะอาจเกี่ยวถูกของอื่นทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย
2. อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการต้องสะอาด ความสกปรกเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ ผิดพลาด
3. ห้ามรับประทานอาหาร เครื่องดื่ม ในห้องปฏิบัติการเพราะอาจมีสารเคมีปะปน ห้ามสูบบุหรี่ เพราะการสูบบุหรี่อาจทำให้สารที่ติดไฟง่ายติดไฟได้ และห้ามเก็บอาหาร เครื่องดื่มส่วนตัวในตู้เย็นที่ใช้เก็บตัวอย่างหรือเก็บสารเคมีในห้องปฏิบัติการ
4. ไม่ควรทำงานในห้องปฏิบัติการโดยลำพัง เพราะเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นจะไม่มีใครทราบ และไม่อาจช่วยเหลือได้ทันทั่วทั้งที่ ในกรณีต้องปฏิบัติงานตามลำพังควรระมัดระวังเป็นพิเศษ
5. ภาชนะบรรจุสารเคมีควรมีป้ายฉลากที่ชัดเจนทุกชิ้น เช่น ชื่อสารเคมี ความเข้มข้น วันที่เตรียม ผู้เตรียม เป็นต้น ถ้าสิ่งใดไวไฟหรือมีพิษต้องระบุให้ชัดเจน หากฉลากเก่าต้องรีบติดใหม่ก่อนชำรุด
6. ก่อนนำสารเคมีหรือสารละลายไปใช้ให้อ่านฉลากให้แน่ใจก่อนหยิบไปใช้
7. เมื่อต้องการนำสารเคมีหรือสารละลายไปใช้ ควรรินออกจากขวดตามปริมาณที่ต้องการใช้ลงในปิ๊กเกอร์ ไม่ควรจุ่มปิเปตลงในขวดโดยตรง ส่วนที่เหลือจากการใช้ให้เททิ้งไป ไม่ควรเทกลับลงไปในขวดเดิมอีกเพื่อป้องกันการปนเปื้อน
8. ห้ามใช้จุกยางปิดปากขวดที่บรรจุตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน เพราะตัวทำละลายอินทรีย์จะทำลายยาง ทำให้สารละลายสกปรกและจะเอาจุกยางออกได้ยากเพราะจุกยางส่วนล่างบวม ไม่ใช่จุกแก้วกับขวดบรรจุสารละลายต่าง เพราะจุกแก้วจะติดกับขวดจนเปิดไม่ได้
9. เมื่อต้องการเตรียมหรือใช้สารเคมีประเภทกรด ต่าง หรือสารระเหยควรทำในตู้ดูดควัน
10. ห้ามใช้ปากดูดปิเปตในการดูดสารเคมีหรือสารละลายทุกชนิด ควรใช้จุกยาง
11. ห้ามเทน้ำลงในกรดเข้มข้นใดๆ แต่ให้ค่อยๆ เทกรดเข้มข้นลงในน้ำอย่างช้าๆ พร้อมกับกวนตลอดเวลา

12. ห้ามสูดดมสารเคมีโดยตรง ควรถือขวดสารเคมีไว้ห่างตัวประมาณ 1 ฟุต แล้วใช้มือโบกพัด กลิ่นสารเคมีเข้าหาตัว อย่าสูดดมสารเคมีกลิ่นแรงๆ ห้ามชิมสารละลายหรือสารเคมีทุกชนิด เพราะสารเคมีส่วนใหญ่ มีความเป็นพิษอาจเกิดอันตรายได้

13. จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์เข้าที่หลังเลิกใช้งาน ทำความสะอาดโต๊ะปฏิบัติการและ ภาชนะทุกครั้ง ก่อนออกจากห้องปฏิบัติการต้องถอดถุงมือ เสื้อกาวน์ อุปกรณ์ป้องกันตัว และล้างมือให้สะอาด อย่างถูกวิธี

14. หากผิวหนังสัมผัสกับกรด ต่างหรือสารเคมีที่เป็นอันตราย ต้องรีบล้างออกด้วยน้ำประปา หรือน้ำสะอาดทันที

15. เมื่อเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการต้องรายงานผู้บังคับบัญชาทุกครั้ง ผู้ปฏิบัติงานพึงระลึก เสมอว่า ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการใช้ห้องปฏิบัติการที่มีสารเคมี ความประมาทเลินเล่ออาจทำให้เกิดอันตรายต่อตัวเอง และผู้อื่นได้

## 2. การจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการ

### 2.1 ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

ผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี และวัตถุอันตราย หรือ Material Safety Data Sheet (MSDS) ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติ และอันตราย ของสารเคมี การใช้ การจัดเก็บ การขนส่ง และการทิ้งของเสีย เพื่อใช้ในการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของสาร ความเป็นพิษและอันตรายต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งวิธีป้องกันอันตรายอย่างถูกต้อง ข้อมูล ใน MSDS โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 16 ข้อ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นส่วนสำคัญ 4 ส่วนใหญ่ คือ ข้อมูลพื้นฐาน เกี่ยวกับสารเคมี (1-3) ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากการใช้ (4-7) การป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น (8-10) ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อื่นๆ (11-16) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ร่วมกันจัดทำ คำแปลภาษาไทยทางข้อมูลความปลอดภัยโดยใช้ฐานข้อมูลของบริษัทเมอร์ค จำกัด ซึ่งสามารถสืบค้นข้อมูล ได้จาก [www.merck.co.th](http://www.merck.co.th) รายละเอียดข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีมีดังนี้

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย
2. องค์ประกอบและข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม CAS No.
3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย สัญลักษณ์อันตราย UN No.
4. มาตรการปฐมพยาบาล
5. มาตรการการผจญเพลิง
6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ และข้อปฏิบัติกรณีสารเคมีหกทั่วโลก
7. การควบคุมการสัมผัสสาร และการป้องกันส่วนบุคคล
8. การจัดการ และการเก็บรักษา
9. สมบัติทางเคมี และกายภาพ
10. ความเสถียร และความว่องไวต่อปฏิกิริยา
11. ข้อมูลทางพิษวิทยา
12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์
13. มาตรการการกำจัด
14. ข้อมูลการขนส่ง
15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดหรือระเบียบปฏิบัติอื่นๆ
16. ข้อมูลอื่นๆ

ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีแต่ละชนิดอาจจะมีไม่ครบทุกหัวข้อ แต่ข้อที่ 1-10 ต้องมีสำหรับทุกสารเคมี เอกสาร MSDS นั้น สามารถขอข้อมูลจากบริษัทที่จำหน่ายสารเคมี หรือสืบค้นจาก [www.chemtrack.org/asp](http://www.chemtrack.org/asp) หรือ <http://msds.pcd.go.th> หรือ <http://www.SIRI.org>

## 2.2 ประเภทของสารเคมีอันตราย

สารเคมีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ผู้ปฏิบัติงานควรศึกษาคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารเคมีแต่ละชนิด เพื่อที่จะสามารถใช้สารเคมีได้อย่างถูกต้อง และสามารถหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น จึงได้มีการกำหนดสัญลักษณ์แสดงอันตรายหรือเครื่องหมายเพื่อความปลอดภัย (Safety Signs) ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อใช้เป็นเครื่องหมายสากลที่เข้าใจตรงกัน โดยสัญลักษณ์ต่างๆ เหล่านี้สามารถพบได้ในคู่มือการใช้สารเคมีของบริษัทผู้ผลิต จากฉลากที่ติดบนภาชนะบรรจุ หรือในเอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี และวัตถุอันตราย (Material Safety Data Sheets : MNDS) โดยคุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

1. สารที่เข้ากันไม่ได้ หมายถึง สารเคมีที่หากสัมผัสกันจะเกิดอันตราย แต่ถ้าอยู่ตามลำพังอาจจะไม่มีอันตราย อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสารทำปฏิกิริยากันก่อให้เกิดความร้อนสูง จนลุกไหม้หรือระเบิด วิธีการจัดเก็บสารเหล่านี้ หากจำเป็นต้องเก็บไว้ในห้องเดียวกัน ควรเอาไว้คนละตู้ หรือคนละชั้นวาง และควรวางตู้ และชั้นวางเหล่านั้นห่างจากกัน (ตารางที่ 1)

2. สารไวไฟ หมายถึง ของแข็งหรือของเหลวที่ให้ไอระเหยออกมาเมื่อผสมกับอากาศจนมีความเข้มข้นพอเหมาะที่จะเกิดการลุกติดไฟได้เอง ลุกติดไฟเมื่อถูกจุด หรือเกิดการกระทบประกายไฟ อาจจะไหม้ต่อเนื้อหรืออาจจะลุกไหม้ต่อเนื้อ จุดวาบไฟ (flash point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่สารจะให้ไอระเหยออกมาได้มากพอที่จะลุกติดไฟเมื่อถูกจุด แต่ที่อุณหภูมิของจุดวาบไฟนี้สารจะไม่ลุกไหม้ต่อเนื้อจุดไหม้ไฟ (fire point) คือ อุณหภูมิที่สูงพอของสารที่จะให้ไอระเหยออกมาอย่างต่อเนื่องจนเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง จะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดวาบไฟ 10-20 องศาเซลเซียส และจุดลุกติดไฟ คือ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจนสามารถลุกติดไฟได้เองโดยไม่ต้องมีการจุด

3. สารกัดกร่อน หมายถึง สารเคมีที่สามารถกัดผิวหนังหรือทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อของร่างกายเมื่อสัมผัสทำให้เป็นรอยไหม้หรือคัน สารกัดกร่อนได้แก่ สารพวกกรด และด่างต่างๆ โดยเฉพาะกรด และด่างที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะแสดงคุณสมบัตินี้ได้ดี ดังนั้นในการเข้าห้องปฏิบัติการ จึงไม่ควรให้ร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายสัมผัสสารเหล่านี้ หากสัมผัสสารกัดกร่อนจะต้องรีบล้างออกด้วยน้ำทันที

4. สารเคมีที่ให้ไอระเหยเป็นพิษ หมายถึง สารเคมีที่ให้ไอระเหยซึ่งเมื่อสูดดมเข้าไปในร่างกายจะมีปริมาณมากพอจะเป็นอันตรายหรือเป็นพิษต่อร่างกายได้ แต่ความรุนแรง และลักษณะของการเกิดพิษนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของไอระเหยของสารเคมี สารเคมีที่มีไอระเหยเป็นพิษ เช่น เบนซีน (benzene) เมทานอล (methanol)

## 2.3 การจัดเก็บสารเคมี

การจัดเก็บสารเคมีอย่างถูกวิธี ช่วยให้ง่ายในการทำงาน และเกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ การเก็บสารเคมี มีข้อพึงปฏิบัติทั่วไป ดังนี้

1. จัดเก็บสารเคมีที่เป็นของแข็งแยกจากสารเคมีที่เป็นของเหลว
2. สารเคมีต้องเก็บในอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ไม่ควรเก็บใกล้แหล่งที่ให้ความร้อน และไม่ตั้งไว้ในที่ที่ถูกแสงโดยตรง หรือจัดเก็บตามฉลากที่ระบุ เช่น ที่อุณหภูมิเย็น เก็บในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส รวมทั้งตู้ควบคุมความชื้น สารเคมีไวไฟควรจัดเก็บในตู้เฉพาะที่มีระบบการป้องกันการระเบิด และไม่ควรใช้ตู้ดูดควันเป็นที่เก็บสารเคมี เป็นต้น
3. จัดทำรายการสารเคมี ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (MSDS) และบัญชีรับ-จ่ายสารเคมี

4. ชั้นวางสารเคมีต้องแข็งแรง และทำจากวัสดุที่ทนทานต่อสารเคมี และควรมีขอบกันเพื่อป้องกันการตก
5. ไม่ควรเก็บสารเคมีบนชั้นในระดับที่เหนือระดับสายตาขึ้นไป หรือซ้อนกันในแนวตั้ง
6. ควรตรวจสอบสารเคมีที่จัดเก็บเป็นประจำ เพื่อแยกสารเคมีที่เสื่อมสภาพออก เช่น เกิดตะกอน เยิ้มเหลว สีเปลี่ยน และภาชนะรั่ว
7. ไม่ควรเก็บสารเคมีในบริเวณทางเดิน บันได หรือวางบนพื้น ควรเก็บในพื้นที่ที่จัดไว้โดยเฉพาะ
8. สารเคมีทุกชนิดควรมีการบันทึก วันที่ได้รับเข้ามาในห้องปฏิบัติการ และวันที่เปิดใช้
9. ควรเก็บสารเคมีไว้ในห้องปฏิบัติการให้น้อยที่สุด สารเคมีจำนวนมากต้องแยกเก็บในห้องที่มีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี
10. การเคลื่อนย้ายสารเคมีที่มีภาชนะแตกง่ายต้องระมัดระวังที่ด้านล่างของภาชนะ หากต้องเคลื่อนย้ายสารเคมีจำนวนมากหรือในระยะไกล ต้องใช้รถเข็น หรือมีภาชนะรองรับ เพื่อป้องกันการกระจายของสารเคมีถ้ามีการแตกหรือหก

#### ตารางที่ 1 สารเคมีที่เข้ากันไม่ได้

สารเคมี	ไม่ควรจัดเก็บร่วมกับ
โลหะอัลคาไล	น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอน
แก๊สแอมโมเนีย	ปรอท ฮาโลเจน
แอมโมเนียมไนเตรท	กรด ผงโลหะ กำมะถัน ของเหลวไวไฟ สารอินทรีย์ที่เป็นผงละเอียด
โครเมียมเฮกซะออกไซด์	ของเหลวไวไฟ
ทองแดง	อะเซติลีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ไซยาไนด์	กรด
กรดไฮโดรฟลูออริก	แอมโมเนีย
ปรอท	อะเซติลีน แอมโมเนีย
กรดไนตริกเข้มข้น	กรดอะซิติก โครเมียมเฮกซะออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของเหลวไวไฟ และแก๊ส
กรดออกซาลิก	เงิน ปรอท
กรดเปอร์คลอริก	แอลกอฮอล์ กระจก ไม้ อะซิติกแอนไฮไดรด์
ฟอสฟอรัส	กำมะถัน คลอเรต
โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	กลีเซอรอล กรดซัลฟูริก แอทธีลีนไกลคอล
เงิน	อะเซติลีน กรดออกซาลิก กรดตาร์ตริก สารประกอบของแอมโมเนีย
โซเดียมเปอร์ออกไซด์	ของเหลวไวไฟ
กรดซัลฟูริกเข้มข้น	โปแทสเซียมคลอเรต โปแทสเซียมเปอร์คลอเรต โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต



ภาพที่ 3 เครื่องหมายเพื่อความปลอดภัย (Safety Signs)

#### 2.4 การจัดการเมื่อสารเคมีหกหล่นหรือรั่วไหล

อุบัติเหตุจากสารเคมีหกหรือรั่วไหลในห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา หากผู้ปฏิบัติงานขาดความระมัดระวัง แต่เมื่อสารเคมีหกหรือรั่วไหลจะต้องรีบทำความสะอาดอย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเหล่านั้น สารเคมีแต่ละชนิดมีสมบัติ และความเป็นอันตรายที่แตกต่างกัน ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการเมื่อเกิดเหตุ ซึ่งมีข้อแนะนำดังนี้

1. สารที่เป็นของแข็ง เมื่อสารเคมีที่เป็นของแข็งหก ควรใช้แปรงกวาดสารมารวมกันก่อน แล้วจึงนำไปใส่ในภาชนะสำหรับเก็บสารเคมีที่ไม่ใช้หรือนำไปทำลาย

2. สารเคมีที่เป็นกรด เมื่อกรดหกต้องรีบทำให้เจือจางด้วยน้ำก่อน แล้วโรยด้วยโซดาแอส หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต หรือสารละลายด่าง เพื่อทำให้กรดเป็นกลาง ต่อจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาด และควรระวังเมื่อเทน้ำลงบนกรดเข้มข้นที่หก เช่น กรดซัลฟูริกเข้มข้น จะมีความร้อนเกิดขึ้นมาก และกรดอาจกระเด็นออกมาจึงควรค่อยๆ เทน้ำลงไปมากๆ เพื่อให้กรดเจือจาง

3. สารเคมีที่เป็นด่าง เมื่อสารเคมีที่เป็นด่างหกจะต้องเทน้ำลงไปเพื่อลดความเข้มข้นของด่าง แล้วเช็ดให้แห้ง เนื่องจากสารละลายด่างจะทำให้พื้นลื่น เมื่อล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้งแล้วยังไม่หายควรใช้ทรายโรยบริเวณที่ด่างหกแล้วเก็บกวาดทรายออกไปจะช่วยเหลือแก้ปัญหานี้ได้

4. สารที่เป็นน้ำมัน สารพวกนี้เช็ดออกได้โดยใช้น้ำมากๆ เมื่อเช็ดออกแล้วพื้นบริเวณที่สารหกจะลื่นจึงต้องล้างด้วยผงซักฟอกอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้สารที่ติดอยู่ออกไปให้หมด

#### 2.5 การจัดการของเสียเคมีจากห้องปฏิบัติการ

ของเสียในห้องปฏิบัติการอาจเป็นสารเคมีที่เก็บไว้นาน เสื่อมสภาพ และไม่ต้องการใช้ หรือเป็นสารเคมีจากการวิเคราะห์หรือทดลอง หรือสารเคมีที่หกหล่นโดยบังเอิญการจัดการสารเคมีในแต่ละครั้ง

มีวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคมีที่ต้องการกำจัด ผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้เพียงพอในการดูแลรวบรวม จำแนกชนิดของเสีย และดำเนินการทำลายหรือส่งทำลาย ตามขั้นตอนที่ถูกต้องตามชนิดของเสียต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนทั่วไปในการปฏิบัติดังนี้

1. จำแนกประเภทของเสียเคมี ต้องระบุได้ว่าของเสียจากการวิเคราะห์ประกอบด้วยสารเคมีอะไรบ้าง ปริมาณมากน้อยเท่าใด และกำหนดว่าจะทิ้งเป็นสารประเภทใด

2. จัดเตรียมภาชนะบรรจุของเสียเคมี และบันทึกการทิ้งโดยติดฉลากที่ภาชนะบรรจุของเสียระบุประเภทของของเสียเคมี และเตรียมเอกสารบันทึกการทิ้งของเสีย

3. การทิ้งของเสียเคมี ต้องทิ้งของเสียลงในภาชนะที่จัดเตรียมไว้ให้ในห้องปฏิบัติการพร้อมทั้งบันทึกประเภทของของเสีย และปริมาณที่ทิ้งโดยมีแนวทางดังนี้

- สารเคมีที่เป็นกรด ต่าง ต้องทำปฏิกิริยาสะเทินเพื่อให้เป็นกลางก่อนทิ้ง หรือเจือจางให้มีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 โมลาร์ ก่อนทิ้งลงอ่างน้ำ และเปิดน้ำตามมากๆ ปริมาณที่ทิ้งลงอ่างน้ำต้องไม่เกิน 500 มิลลิลิตร ถ้าเป็นกรด ต่างที่แรง หรือมีความเข้มข้นสูงมากให้ทิ้งในภาชนะบรรจุ

- ไม่ทิ้งสารที่เข้ากันไม่ได้หรือทำปฏิกิริยากันรุนแรงลงไปด้วยกันในอ่างน้ำ

- ไม่ทิ้งสารที่ไม่ผสมกับน้ำหรือทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำลงในอ่างน้ำ เช่น อีเทอร์

- ไม่ทิ้งตัวทำละลายอินทรีย์ (solvent) ที่ไม่ละลายน้ำ หรือเป็นสารไวไฟลงในอ่างน้ำ

ให้ทิ้งลงในภาชนะบรรจุที่จัดไว้ พร้อมทั้งระบุชนิดและปริมาตรที่ทิ้งไว้ที่ฉลากข้างภาชนะให้ชัดเจน และต้องแน่ใจว่าสารที่ทิ้งลงในภาชนะเดียวกันไม่ทำปฏิกิริยากันสามารถรวมกันได้ ถ้าของเสียมีปริมาณมากให้ใช้ safety can

- ไม่ทิ้งสารชั้นเหนียว ของแข็ง หรือสารไวไฟ หรือโลหะหนักลงในอ่างน้ำทิ้ง

- ถ้าของเสียเป็นสารเคมีผสมของแข็งที่เป็นผงละเอียด และมีตัวทำละลายอินทรีย์ให้ระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ในตู้ดูดควันให้หมดก่อน และนำของแข็งมาทิ้งในถุงพลาสติกปิดให้มิดชิดก่อนทิ้งเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย

- ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดสารที่มีปริมาณมากอาจรวบรวมเก็บไว้ เพื่อนำมากลั่นกลับคืนสำหรับนำมาใช้ซ้ำได้

### 3. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการเคมี

ในกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมีมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี ซึ่งผลิตขึ้นโดยอาจมีคุณภาพในระดับที่แตกต่าง ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงจำเป็นต้องมีความรู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

#### 3.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 ชนิดของเครื่องแก้ว โดยปกติแล้วเครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. เครื่องแก้วทั่วไป (ordinary glassware) เป็นเครื่องแก้วที่ใช้งานทั่วไป ไม่ได้ใช้ในการวัดปริมาตร เช่น ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่

2. เครื่องแก้ววัดปริมาตร (volumetric glassware) เป็นเครื่องแก้วที่ใช้ในการวัดปริมาตรของสารละลาย เช่น ขวดวัดปริมาตร ปิเปต บิวเรต กระบอกตวง เนื่องจากเครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องถูกใช้ในการวัดปริมาตรของสารละลายหรือใช้ในการเตรียมสารละลาย เครื่องแก้วในกลุ่มนี้จึงผลิตขึ้นอย่างระมัดระวัง และต้องถูกสอบเทียบ (calibration) ก่อนนำมาใช้เพื่อให้มีความมั่นใจว่าปริมาตรของสารละลายที่ตวง

มีความถูกต้อง ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งถ้าใช้วิธีการสอบเทียบมาเป็นเกณฑ์การแบ่งชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตร จะแบ่งได้ 2 ชนิด

2.1 เครื่องแก้วสำหรับบรรจุ (To Contain) ใช้ตัวย่อ TC หรือ C หรือ In เป็น เครื่องแก้วที่ใช้สำหรับการบรรจุของเหลว เช่น ขวดวัดปริมาตร ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (ภาพที่ ๓)

2.2 เครื่องแก้วสำหรับถ่ายเท (To Deliver) ใช้ตัวย่อ TD หรือ D หรือ Ex เป็น เครื่องแก้วที่ใช้สำหรับถ่ายของเหลวจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่ง เช่น ปิเปต บิวเรต กระจบอกตวง

เครื่องแก้วบางประเภทมีทั้งแบบ To Contain และ To Deliver เช่น กระจบอกตวง ขวดวัดปริมาตร หรือเครื่องแก้วบางชิ้นผู้ผลิตออกแบบให้ใช้งานได้ทั้งสองแบบ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องดูให้แน่ใจ ก่อนนำไปใช้ นอกจากนี้หากแบ่งตามระดับชั้นคุณภาพ เครื่องแก้ววัดปริมาตรแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับชั้น ดังนี้

- ระดับชั้นคุณภาพ A (class A) ใช้สัญลักษณ์ A เป็นเครื่องแก้วที่ผลิตจากเนื้อแก้ว ชนิด borosilicate ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ทนต่อความร้อน และการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี ทำให้เครื่องแก้วในกลุ่มนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรต่ำ จึงเหมาะสำหรับงานทดสอบที่ต้องการ ความแม่นยำสูง เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐาน การทดสอบหาสารปริมาณน้อย

- ระดับชั้นคุณภาพ B (class B) ใช้สัญลักษณ์ B เป็นเครื่องแก้วที่ผลิตจากแก้ว ชนิด Alumina-borosilicate Soda-lime เนื่องจากเนื้อแก้วชนิดนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากกว่าเครื่องแก้ว ชนิด borosilicate เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ทำให้เครื่องแก้วในกลุ่มนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตร สูงกว่าเครื่องแก้วระดับชั้นคุณภาพ A

### 3.1.2 ข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

คุณภาพ และความน่าเชื่อถือของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ มีผลอย่างมากต่อความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากเครื่องแก้ววัดปริมาตร ถูกผลิตขึ้นโดยบริษัทต่างๆ จึงอาจทำให้มีคุณภาพที่แตกต่างกันไป และอาจส่งผลต่อความถูกต้อง แม่นยำ ของผลการวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรได้อย่างถูกต้องตามระดับคุณภาพ ของงาน องค์การมาตรฐานซึ่งเป็นที่น่าเชื่อถือและยอมรับในระดับชาติ เช่น องค์การ National Institute of Standards and Technology (NIST) American Society for Testing and Material (ASTM) British Standards Institution (BSI) Deutsches Institut für Normung (DIN) และยังมีองค์กรระดับนานาชาติได้แก่ International Organization for Standard (ISO) จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องแก้ววัดปริมาตรขึ้น เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตเครื่องแก้วทั้งหลายผลิตเครื่องแก้ววัดปริมาตร ตามคุณลักษณะเฉพาะที่เป็นมาตรฐานสากล (สุวรรณ, 2555) คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องแก้ววัดปริมาตรประกอบไปด้วย

1. หน่วยที่ใช้วัดปริมาตรของเหลวเป็นระบบ SI ได้แก่ ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ มิลลิลิตร
2. อุณหภูมิอ้างอิงในการใช้งานซึ่งส่วนใหญ่มักอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส
3. องค์ประกอบและคุณสมบัติของเครื่องแก้วที่ใช้ผลิตเครื่องแก้ววัดปริมาตร
4. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรแต่ละชนิด ความจุ และชั้นคุณภาพ
5. ความเสถียรของรูปทรง
6. ลักษณะ ความชัดเจน ความคงทน ความกว้างของขีดกำหนดปริมาตรของเครื่องแก้ว วัดปริมาตรทั้งแบบที่มีขีดกำหนดปริมาตรขีดเดียวและมากกว่า 1 ขีด
7. การใช้รหัสสีบนเครื่องแก้ว
8. รายละเอียดที่ต้องแสดงบนเครื่องแก้ว ตั้งแต่ชื่อบริษัทหรือผู้ผลิต อักษรย่อของ หน่วยงานมาตรฐานที่ให้การรับรองการผลิต ปริมาตรบรรจุของเครื่องแก้ว วิธีการสอบเทียบเครื่องแก้ว (TD หรือ TC) อุณหภูมิอ้างอิงในการใช้งานส่วนใหญ่มักอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนของ

ปริมาตรมักจะแสดงด้วยเครื่องหมาย  $\pm$  และระดับชั้นคุณภาพของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้เครื่องแก้วสามารถแยกชนิดของเครื่องแก้วได้อย่างถูกต้อง (ภาพที่ 4)

### 3.1.3 ความคลาดเคลื่อนของเครื่องแก้ววัดปริมาตร

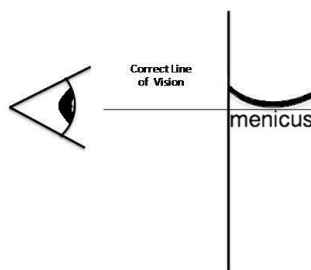
ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องแก้ววัดปริมาตร หรือค่า capacity tolerance เป็นค่าที่ใช้ในการบอกถึงความถูกต้อง (accuracy) ของปริมาตรบรรจุหรือปริมาตรที่เกิดจากการถ่ายของเหลว

### 3.1.4 การอ่านค่าปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตร

สิ่งสำคัญในการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรคือ การอ่านปริมาตรให้ถูกต้อง และเหมาะสม เมื่อบรรจุของเหลวหรือสารละลายลงในเครื่องแก้ววัดปริมาตรแล้ว การอ่านค่าปริมาตรที่ถูกต้องนั้นจะต้องให้สายตาดูอยู่ในระดับเดียวกันกับจุดต่ำสุดของส่วนโค้งเว้า (meniscus) และอยู่ในระนาบเดียวกับขีดบอกปริมาตรบนเครื่องแก้ว ทั้งนี้เนื่องจากหากระดับสายตาดูอยู่เหนือหรือสูงกว่าจุดโค้งเว้า จะทำให้อ่านค่าปริมาตรมากกว่าความเป็นจริง ในทางกลับกันหากระดับสายตาดูใต้หรืออยู่ต่ำกว่าจุดโค้งเว้า จะทำให้อ่านค่าปริมาตรต่ำกว่าความเป็นจริง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างรายละเอียดคุณลักษณะเครื่องแก้ววัดปริมาตร



ภาพที่ 5 การอ่านค่าปริมาตรของเหลวในเครื่องแก้ววัดปริมาตร

### 3.1.5 การเลือกใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร ปิเปต และบิวเรต ซึ่งจัดเป็นเครื่องแก้วหลักที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจ เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรให้ถูกต้องกับงานที่ต้องการวิเคราะห์

#### 1. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)

ขวดวัดปริมาตรมีลักษณะเป็นขวดคอแคบ (narrow neck) มีขีดแสดงปริมาตรกำกับอยู่รอบคอขวดเพียงขีดเดียว มีจุกปิดด้านบนเพื่อใช้ปิดเวลาเขย่าสารให้เข้ากัน (ภาพที่ 6) และมีหลายขนาด ตั้งแต่ 5 ml จนถึง 2 L ขวดวัดปริมาตรเป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความถูกต้องสูงจึงนิยมใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน รวมทั้งใช้เจือจางสารให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรที่ต้องการ ความผิดพลาดของขวดวัดปริมาตรขึ้นอยู่กับความจุของขวดและระดับคุณภาพ ขวดวัดปริมาตรที่มีความจุมากจะมีความผิดพลาดมากกว่าขวดวัดปริมาตรที่มีความจุน้อย และระดับชั้นคุณภาพ B มีความผิดพลาดมากกว่าระดับชั้นคุณภาพ A ถึง 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ค่าความคลาดเคลื่อนของขวดวัดปริมาตร class A และ class B ที่ความจุต่างๆ กัน

ความจุ (มิลลิลิตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน ( $\pm$ มิลลิลิตร)	
	Class A	Class B
5	0.02	0.04
10	0.02	0.04
25	0.03	0.06
50	0.05	0.10
100	0.08	0.16
200	0.10	0.20
250	0.12	0.24
500	0.20	0.40
1000	0.30	0.60
2000	0.50	1.00



ภาพที่ 6 ขวดแก้ววัดปริมาตรขนาดต่างๆ

## 2. ปิเปต (pipette)

ปิเปตมีลักษณะเป็นหลอดแก้วใส ยาว ปลายเปิด ใช้ในการวัดปริมาตรหรือใช้ถ่ายของเหลวที่รู้ปริมาตรจากภาชนะบรรจุไปยังภาชนะอื่น มีหลายขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิลิตร จนถึง 100 มิลลิลิตร ปิเปตที่ใช้กันอยู่ในห้องปฏิบัติการเคมี มี 2 ชนิด คือ

2.1 ปิเปตวัดปริมาตร (volumetric pipette) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลว ลักษณะเป็นท่อยาว ส่วนกลางเป็นกระเปาะ ด้านล่าง และบนของกระเปาะมีขนาดเล็ก มีขีดกำหนดปริมาตรขีดเดียวอยู่ด้านบนเหนือกระเปาะ สามารถบรรจุของเหลวได้ปริมาตรมาก ในขณะที่ส่วนที่อ่านปริมาตรมีขนาดเล็ก ใช้ในการถ่ายของเหลวจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่ง ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูง (อุมาพร, 2551)

2.2 ปิเปตแบบใช้ดวง (measuring or graduated pipette) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลวมีลักษณะเป็นท่อยาว ปลายท่มีขนาดเล็ก มีขีดกำหนดปริมาตรแบ่งย่อยหลายขีด ใช้ในการถ่ายของเหลวจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่ง (ภาพที่ 7) ผู้ใช้สามารถใช้ปิเปตชนิดนี้วัดปริมาตรและถ่ายของเหลวได้หลายปริมาตร แต่ปริมาตรจากปิเปตชนิดนี้มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าปิเปตแบบปริมาตร ปิเปตแบบใช้ดวงที่นิยมใช้ทั่วไปมี 2 ชนิด คือ

- Mohr pipette เป็นปิเปตที่มีขีดแบ่งปริมาตรบนตัวปิเปตแต่ไม่รวมปริมาตรที่ส่วนปลายปิเปต หรือปิเปตที่มีขีดบอกปริมาตรตั้งแต่ 0 ซึ่งอยู่ที่ด้านบนของปิเปต จนถึงปริมาตรสูงสุดของปิเปต ซึ่งขีดบอกปริมาตรสูงสุดจะอยู่ก่อนถึงปลายแหลมของปิเปต ปิเปตชนิดนี้ไม่มีการเป่า เวลาใช้ต้องระวังอย่าให้สารละลายไหลลงไปต่ำกว่าส่วนขีดแบ่งปริมาตรสุดท้าย ซึ่งจะทำให้การถ่ายปริมาตรได้มากกว่าที่เป็นจริง

- Serological pipette เป็นปิเปตที่มีขีดวัดปริมาตรตั้งแต่ 0 ซึ่งอยู่ที่ด้านบนของปิเปต ปริมาตรสูงสุดของปิเปตจะอยู่ที่ปลายสูงสุดของปิเปตซึ่งไม่มีขีดบอกปริมาตร ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้อง ผู้ใช้ปิเปตจึงต้องปล่อยของเหลวในปิเปตออกมาจนหมด ปิเปตชนิดนี้มีทั้งชนิดที่ต้องเป่าหยดสุดท้าย และ

ไม่ต้องเป่า ถ้าเป็นชนิดที่ต้องเป่าจะมีสัญลักษณ์เป็นวงฟ้าที่บออยู่ตรงปลายที่ใช้ดูด หรือมีขีดสี 2 วงรอบปลายปิเปต แต่ถ้าไม่มีสัญลักษณ์เหล่านี้เวลาใช้ต้องปล่อยให้สารละลายไหลออกไปจากปิเปตจนหมด โดยแต่ละปลายของปิเปตกับผิวด้านในของภาชนะที่รองรับ ห้ามเป่าถึงแม้จะมีสารละลายค้างอยู่ในส่วนปลายบ้างก็ตาม

นอกจากนี้ยังมีปิเปตอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ auto pipette หรือ micro pipette (ภาพที่ 8) เป็นปิเปตที่ใช้ในการดูดสารละลายเช่นเดียวกับปิเปตแก้ว แต่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ใช้สำหรับดูดของเหลวที่มีปริมาตรน้อยในระดับไมโครลิตร และมิลลิลิตร มีทั้งแบบที่มีปริมาตรจำเพาะค่าหนึ่ง เช่น 1, 10, 20, 50, 100, 200 และ 1000 ไมโครลิตร และแบบที่สามารถปรับปริมาตรได้ เช่น 0.1-2.0 ไมโครลิตร 1-10 ไมโครลิตร 10-200 ไมโครลิตร 100-1000 ไมโครลิตร 500-5000 ไมโครลิตร และ 1-10 มิลลิลิตร เป็นต้น มีความแม่นยำสูง ลักษณะเป็นด้ามดูดใช้คู่กับส่วนที่ดูดซึ่งเป็นท่อพลาสติก (pipette tip) ปิเปตแบบนี้เหมาะสำหรับงานประจำที่มีตัวอย่างจำนวนมาก เพราะใช้งานง่าย และสะดวกรวดเร็ว



ภาพที่ 7 ปิเปตชนิดต่างๆ



ภาพที่ 8 ไมโครปิเปตขนาดต่างๆ

### 3. บิวเรต (buret)

บิวเรต เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรของเหลวที่มีความแม่นยำสูง มีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่มีขีดบอกปริมาตรและมีวาล์วสำหรับเปิด-ปิด เพื่อควบคุมการปล่อยของเหลวให้ไหลออกทางปลายท่อตามต้องการ (ภาพที่ 9) จึงทำให้สามารถวัดปริมาตรสารที่ใช้ปล่อยไปได้อย่างแม่นยำ นิยมใช้ในการไตเตรท บิวเรตมีขนาดตั้งแต่ 10-50 มิลลิลิตร มีความละเอียด  $\pm 0.01$  มิลลิลิตร ขนาดที่นิยมใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการคือ 25 มิลลิลิตร หรือ 50 มิลลิลิตร



ภาพที่ 9 บิวเรต

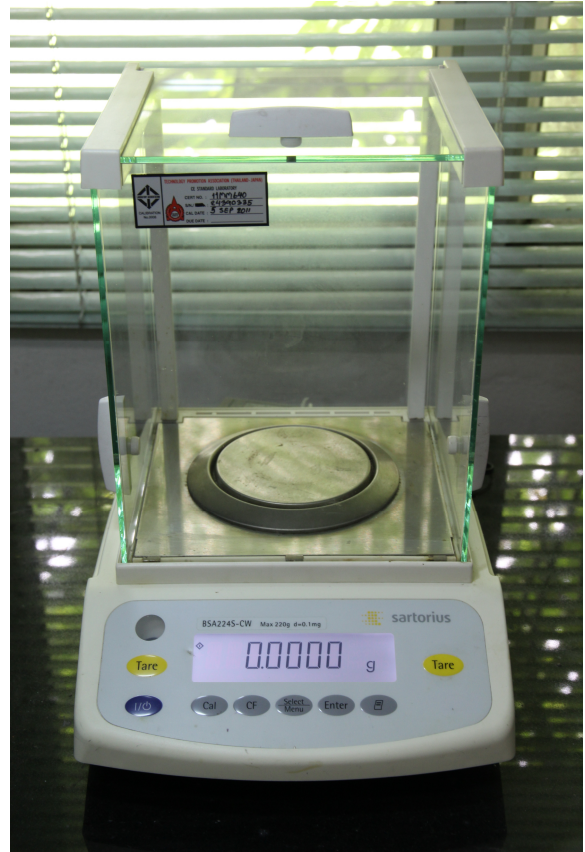
### 3.2 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

#### 3.2.1 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โลหะหนัก เนื่องจากในกระบวนการวิเคราะห์โลหะหนักมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งในกระบวนการต่างๆ เช่น การชั่งน้ำหนักตัวอย่างสัตว์ทะเล หรือแม้แต่การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นตามต้องการ ปัจจุบันเครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักจะเป็นเครื่องชั่งระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบจานเดียว (singer plan) ที่ทำงานด้วยไฟฟ้า และแสดงผลแบบดิจิทัล ซึ่งเครื่องชั่งแต่ละรุ่นจะมีความละเอียดของการวัดที่แตกต่างกันออกไป และเครื่องชั่งแต่ละเครื่องจะกำหนดพิสัยกำลังหรือน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถรับได้ เครื่องชั่งที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โลหะหนัก คือ เครื่องชั่งแบบหยาบ (top loading balance) มีความถูกต้องอยู่ในช่วง  $\pm 0.10$  กรัม ถึง  $\pm 0.01$  กรัม กับเครื่องชั่งแบบละเอียดหรือเครื่องชั่งวิเคราะห์ (analytical balance) เครื่องชั่งละเอียดเป็นเครื่องชั่งทศนิยม 4 หรือ 5 ตำแหน่ง มีความถูกต้องในการชั่งอยู่ในช่วง  $\pm 0.001$  กรัม ถึง  $\pm 0.00001$  กรัม การเลือกใช้เครื่องชั่งควรเลือกช่วงของการชั่งและความถูกต้องให้เหมาะสมกับงาน เช่น เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดของน้ำหนักที่จะชั่งที่ 0.1 กรัม พิกัดกำลัง 2,000 กรัม หรือเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม พิกัดกำลัง 200 กรัม เป็นต้น



(ก)



(ข)

### ภาพที่ 10 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ก) และทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ข)

การใช้เครื่องชั่งต้องระวังและรักษาให้ดี หากเกิดการชำรุดเสียหายการชั่งน้ำหนัก อาจคลาดเคลื่อนจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เครื่องชั่งควรวางแยกบริเวณจากเครื่องมืออื่นๆ บนโต๊ะที่มีการสั่นสะเทือนน้อย ฐานของเครื่องชั่งต้องอยู่ในแนวระนาบ ไม่ควรตั้งใกล้บริเวณที่มีแสงสว่างเพียงพอ และควรตั้งอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากการสั่นไหวหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อความถูกต้องของน้ำหนัก ที่ชั่งได้ ก่อนใช้เครื่องชั่งต้องตรวจสอบว่าฐานของเครื่องชั่งตั้งอยู่ในแนวระนาบพอดี โดยสามารถสังเกตได้จากลูกน้ำซึ่งต้องปรับให้อยู่ตรงกลางของวงกลม ควรเปิดสวิทช์เครื่องชั่งเพื่ออุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที ก่อนใช้เครื่อง สำหรับเครื่องชั่งที่ใช้งานประจำควรเสียบปลั๊กทิ้งไว้ทั้งวัน หากไม่ใช้เครื่องให้ใช้ tare bar ปิดเครื่องให้อยู่ใน mode standby เพื่อให้ระบบไฟฟ้าอุ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่อง เมื่อจะใช้งานอีกครั้งจะได้ไม่เสียเวลาในการอุ่นเครื่อง และสามารถเปิดเครื่องใช้ได้ทันที การชั่งจะต้องระวังไม่ชั่งมวลที่มีน้ำหนักเกินขีดความสามารถที่เครื่องชั่งจะรับได้ การกระทบกระเทือนเครื่องชั่งอย่างแรง อาจทำให้เครื่องชั่งเสียหายได้ โดยเฉพาะเครื่องชั่งความละเอียด การเคลื่อนย้ายหรือการซ่อมแซมเครื่องชั่งจะต้องกระทำโดยช่างผู้ชำนาญการ หรือช่างจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องชั่งเท่านั้น

วัสดุหรือสารเคมีที่นำมาชั่งต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง การชั่งสารเคมีทุกประเภท ต้องชั่งในขวดชั่งสาร หรือภาชนะอื่นๆ เช่น กระชกนาฬิกา หรือปิเกตอร์ ห้ามวางสารเคมีที่จะชั่งบนจานเครื่อง โดยตรง เพราะสารเคมีอาจทำให้งานชำรุดเสียหายได้ หลีกเลี่ยงการใช้ภาชนะพลาสติกสำหรับชั่งสาร ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้ว เพื่อลดการเกิดประจุไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นบนภาชนะดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีความชื้นในอากาศต่ำ ระวังไม่ให้น้ำหนักที่ต้องการชั่งเกินระดับพิกัดน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่งที่ใช้ เมื่อใช้เครื่องชั่งเสร็จต้องดูแลรักษาเครื่องชั่งให้สะอาดอยู่เสมอ หากมีสารเคมีหกอยู่ต้องรีบปิดออกด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วเช็ดด้วยผ้าสะอาดอีกครั้ง

ความถูกต้อง และน่าเชื่อถือของเครื่องชั่งเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่ง ดังนั้นก่อนการใช้งานเครื่องชั่งทุกวันจึงควรทำการสอบเทียบเครื่องชั่ง (calibration) ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (standard weight) ก่อน (ภาพที่ 11) และควรส่งเครื่องชั่งไปยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรอง เช่น สถาบันมาตรวิทยาอย่างต่ำปีละครั้ง เพื่อสอบเทียบ และปรับตั้งค่าน้ำหนักให้ถูกต้อง



ภาพที่ 11 ตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องชั่ง

### 3.2.2 ตู้ดูดควัน

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ดูดไอสารเคมีในห้องปฏิบัติการ เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานเอง และผู้อื่นด้วย มีลักษณะเป็นตู้ที่ด้านหน้ามีบานกระจกเลื่อนปิดเปิด ภายในติดตั้งพัดลมสำหรับดูดควันหรือไอของสารขึ้นสู่ด้านบนออกสู่ภายนอกผ่านท่อที่ติดตั้งไว้ ทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เช่น ไฟเบอร์กลาส หรือโลหะเคลือบสีอีพ็อกซี ตู้ดูดควันที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีอยู่หลายประเภท ผู้ปฏิบัติงานควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสารเคมีที่ใช้ เช่น หากใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถละลายน้ำได้ ต้องใช้ตู้ดูดควันประเภทที่มีชุดกำจัดไอนกรด หรือ scrubber เพื่อลดปริมาณไอของสารเคมีที่ออกสู่บรรยากาศ ส่วนสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงแต่ไม่ละลายน้ำ ควรใช้ตู้ดูดควันที่มีแผ่นกรองที่เรียกว่า คาร์บอนฟิลเตอร์เป็นตัวกรองก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ตู้ดูดควัน

### 3.3. สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

#### 3.3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีมีอยู่หลากหลายชนิด ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเลือกใช้สารเคมีให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการทำงานแต่ละประเภท ซึ่งเกรดของสารเคมีสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ เช่น

- ACS certified grade เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด มีคุณภาพตามมาตรฐาน American Chemical Society เหมาะสำหรับใช้ในงานวิเคราะห์
- Reagent grade เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูง มีมาตรฐานเทียบเท่า ACS certified grade เหมาะสำหรับใช้ในงานด้านการวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการทั่วไป
- Technical grade นิยมใช้ในงานทางอุตสาหกรรม
- Practical or Purified grade เป็นเกรดที่มีคุณภาพดีแต่ไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ มีสิ่งเจือปนบ้าง มักใช้เฉพาะงานทางการศึกษา และงานทางอินทรีย์เคมี (Inorganic chemical)
- Primary standard grade มีคุณภาพสูงใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน นอกจากนี้สารเคมีประเภทกรดสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ เช่น
- Omnitrace Grade Acids ใช้สำหรับวิเคราะห์ธาตุโลหะที่มีปริมาณน้อยๆ ในระดับ ppb
- Tracemetal จะมีธาตุโลหะเจือปนน้อยในระดับต่ำกว่า ppb
- Tracemetal plus ใช้ในงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียดมากๆ โดยจะมีการกลั่น 2 ครั้ง เพื่อให้มีโลหะเจือปนอยู่ในระดับต่ำกว่า ppb
- Suprapur grade acids ใช้กับเครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์ที่มีความไวสูง เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาธาตุโลหะในระดับต่ำกว่า ppb
- AR select ใช้วิเคราะห์หาธาตุโลหะที่มีปริมาณน้อยในระดับ 0.05-0.0005 ppm
- AR select plus ใช้วิเคราะห์หาธาตุโลหะที่มีปริมาณน้อยในระดับ 3.5-0.005 ppb

- Environmental grade เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยผ่านการกลั่น 1 ครั้ง
- Environmental grade plus เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด โดยผ่านการกลั่น 2 ครั้ง

ในการวิเคราะห์โลหะหนักมักจะใช้สารเคมีประเภทกรด ทั้งในขั้นตอนการล้างเครื่องแก้ว การเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง ตลอดจนเตรียมสารละลายมาตรฐาน เนื่องจากโลหะหนักที่พบเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมมักมีปริมาณค่อนข้างต่ำ กรดที่นำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง มีโลหะหนักเจือปนอยู่น้อย เช่น กรด suprapur grade, environment grade หรือ tracemetal grade (ภาพที่ 13) เนื่องจากกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีราคาค่อนข้างแพง การเลือกใช้กรดเพื่อนำมาวิเคราะห์โลหะหนัก ผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติโดยทั่วไปของกรดแต่ละประเภท ปกติกรดที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นกรดเข้มข้น เวลาใช้งานก็จะนำมาเจือจางตามคู่มือหรือวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดไว้ ซึ่งกรดเข้มข้นชนิดต่างๆ ก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมีร้อยละของกรดในสารละลายที่ร้อยละ 37 (ตารางที่ 3) ในขณะที่กรดไนตริกเข้มข้นมีร้อยละของกรดไนตริกในสารละลาย เท่ากับ 70 หรือในกรดหนัก 100 กรัม มีไนตริกหนัก 70 กรัม

นอกจากคุณสมบัติโดยทั่วไปของกรดแต่ละชนิดแล้ว ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของกรดแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานได้ เช่น กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก กรดเปอร์คลอริก เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี หรือกรดไฮโดรฟลูออริก (กรดกัดแก้ว) ห้ามนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นแก้วหรือมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 4)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 13 กรดไนตริกเข้มข้น (ก) และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (ข) ประเภท suprapur grade

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทั่วไปของกรด

ชื่อ	สูตรทางเคมี	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ร้อยละของน้ำหนัก
Hydrochloric acid	HCl	36.46	1.18	37
Hydrofluoric acid	HF	20.01	1.15	48
Nitric acid	HNO <sub>3</sub>	63.01	1.51	68
Perchloric acid	HClO <sub>4</sub>	100.46	1.67	70
Phosphoric acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.00	1.69	85
Sulfuric acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.07	1.83	95

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของกรดที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนัก

กรด	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลาย
Hydrochloric	110	- ใช้ย่อยเกลือของกรดอ่อนเช่น เกลือของคาร์บอเนตได้ดี - เป็นตัวรีดิวซ์อ่อนๆ - ไม่นิยมใช้ในการย่อยสารอินทรีย์
Sulfuric	338	- มีประโยชน์ในการปล่อยสาร releasing volatile product - เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี ใช้ละลายโลหะ โลหะผสม แร่หลายชนิด - ห้ามใช้กับภาชนะที่ทำด้วยวัสดุ TEFE
Nitric	122	- สามารถใช้ละลายโลหะอัลลอยด์และสารอินทรีย์ได้ดี
Perchloric	203	- เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ละลายเหล็กกล้าหรือโลหะผสมที่มีเหล็กได้ดี ทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารอินทรีย์ เกิดการระเบิดได้ง่ายและรุนแรง
Hydrofluoric	112	- ใช้กับการย่อยวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิกาได้ดี

### 3.3.2. น้ำบริสุทธิ์

น้ำที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนอกจากน้ำประปาซึ่งใช้สำหรับล้างอุปกรณ์แล้ว ในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เกือบทั้งหมดจำเป็นต้องใช้น้ำที่บริสุทธิ์ในเกือบทุกขั้นตอนการวิเคราะห์ เช่น เตรียมสารละลาย เตรียมแบลนด์ (blank) ตลอดจนจนถึงใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วในขั้นตอนสุดท้ายชนิดของน้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำกลั่น (distilled water) น้ำกลั่นเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่ได้จากการทำให้น้ำระเหยแยกตัวออกจากสิ่งเจือปนด้วยความร้อน แล้วจึงทำให้อุณหภูมิลดลงเป็นหยดน้ำด้วยความเย็น น้ำกลั่นที่ได้นี้อาจมีสิ่งเจือปนที่ระเหยได้ปะปนอยู่ เพื่อให้มีน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นอาจนำน้ำกลั่นที่ได้กลับไปกลั่นอีกหลายๆ ครั้ง น้ำกลั่นแบบนี้เรียกว่า redistilled water ซึ่งจะได้ความบริสุทธิ์มากขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนครั้งที่กลั่น
2. น้ำปราศจากไอออน (deionized water, DI) นอกจากน้ำกลั่นแล้วน้ำปราศจากไอออนเป็นน้ำบริสุทธิ์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ตามห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก น้ำบริสุทธิ์ชนิดนี้ได้จากการผ่านน้ำลงไปบน anion และ cation exchanger resin แต่น้ำที่ได้ยังมีสารอินทรีย์จุลชีพและสารที่ไม่ ionized ปนอยู่ ซึ่งต้องแก้ไขโดยการกรองน้ำนั้นด้วยถ่านก่อน หรือใช้น้ำที่กลั่นแล้วผ่านไปบนเรซิน

3. น้ำบริสุทธิ์ปราศจากสารอินทรีย์ (organically - free pure water) เป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด น้ำบริสุทธิ์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เครื่อง Gas Chromatography (GC) ตลอดจนใช้เป็นแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) หรือค่าบีโอดี (BOD)

#### 4. การเตรียมสารละลาย

##### 4.1 นิยาม

4.1.1 สารละลาย (solution) หมายถึง ของเหลวที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน อาจเป็นของผสมระหว่างของเหลวกับของเหลวหรือของเหลวกับของแข็ง ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป สารละลายประกอบด้วยตัวทำละลาย (solute) กับตัวถูกละลาย (solvent) ตัวทำละลายเป็นของเหลว เช่น น้ำกลั่น เฮกเซน เมทานอล เป็นต้น ส่วนตัวถูกละลายอาจเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้

4.1.2 ตัวถูกละลาย หมายถึง ของแข็งหรือของเหลวที่ละลายเข้ากับตัวทำละลายได้เป็นสารที่มีปริมาณน้อยกว่าตัวทำละลาย

4.1.3 ตัวทำละลาย หมายถึง สารที่ใช้เป็นตัวละลายหรือเป็นสารที่มีปริมาณมากกว่าตัวถูกละลาย น้ำบริสุทธิ์เป็นตัวทำละลายที่ใช้และรู้จักกันมากที่สุด

4.1.4 สารละลายอิ่มตัว (saturated solution) หมายถึง สารละลายที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายอยู่ในสถานะสมดุลระหว่างของเหลวกับของแข็ง โดยมีโมเลกุลที่ยังไม่ละลายเหลืออีกมาก เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการละลาย ดังนั้นปริมาณตัวถูกละลายในสารละลายอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่างกันจึงไม่เท่ากัน

4.1.5 สารละลายอิ่มตัวยวดยิ่ง (supersaturated solution) หมายถึง สารละลายที่ยังมีโมเลกุลของตัวถูกละลายอยู่มากกว่าสารละลายอิ่มตัว ณ ที่อุณหภูมิ และความดันเดียวกับโมเลกุลของตัวถูกละลายไม่อยู่ในสถานะสมดุลกับส่วนที่ยังไม่ละลาย

##### 4.2 การเตรียมสารละลายประเภทต่างๆ

ในกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมี ผู้วิเคราะห์มักจะต้องเตรียมสารละลายชนิดต่างๆ ให้มีความเข้มข้นตามที่ต้องการ โดยสารละลายที่เตรียมอาจจะถูกใช้เป็นสารละลายมาตรฐาน หรือสารละลายที่ใช้เป็นรีเอเจนท์ ซึ่งการเตรียมสารละลายแต่ละชนิดมีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันออกไป

4.2.1 สารละลายมาตรฐาน หมายถึง สารละลายที่มีธาตุหรือสารที่ทราบความเข้มข้นแน่ชัด สารละลายมาตรฐานถูกใช้ในการหาความเข้มข้นของสารอื่น

1. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ มักถูกใช้เป็นฐานในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายทุติยภูมิหรือของตัวอย่างน้ำ สารเคมีที่นำมาเตรียมจะต้องเป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลแน่นอน และมีความบริสุทธิ์สูง การเตรียมจึงต้องใช้ความระมัดระวังซึ่งเตรียมได้โดยนำสารเคมีที่จะใช้เตรียมไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-4 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ซึ่งสารเคมีที่อบแห้งแล้วลงในบีกเกอร์ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ค่อยๆ เติมตัวทำละลาย ใช้แท่งแก้วคนให้สารเคมีละลายจนหมด ถ่ายสารเคมีจากบีกเกอร์ลงขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่ต้องการ ตัดฉลากระบุชนิดของสารละลาย ความเข้มข้น วันที่เตรียมสาร และชื่อผู้เตรียมสาร เก็บรักษาไว้ในสภาพที่เหมาะสมของสารแต่ละชนิด

2. สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ นิยมใช้วิธีนี้ในกรณีที่ไม่สามารถหาสารมาตรฐานปฐมภูมิที่เหมาะสมได้ สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิมักมีระดับความบริสุทธิ์หรือเสถียรภาพต่ำกว่าสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ การเตรียมจึงไม่ต้องใช้ความละเอียด และความระมัดระวังมากเท่ากับการเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ ดังนั้น สารเคมีที่ใช้เตรียมจึงไม่จำเป็นต้องอบให้แห้งก่อนนำมาใช้ และเครื่องชั่งอาจจะใช้เครื่องชั่งทศนิยม 1 หรือ 2 ตำแหน่งก็เพียงพอ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายนี้ไม่ได้มาจากการคำนวณ

น้ำหนักที่ชั่ง แต่จะต้องถูกสอบเทียบค่าความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (standardization) ทุกครั้งก่อนใช้งาน

4.2.2 สารละลายเจือจาง การเตรียมสารละลายเจือจางเพื่อใช้งานในการวิเคราะห์สามารถเตรียมได้จากการเจือจางจากสารละลายเริ่มต้นที่มีความเข้มข้นสูงแล้วเติมตัวทำละลายจนได้ปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งในการคำนวณหาปริมาตรของสารละลายเริ่มต้นที่ต้องการโดยใช้สมการ

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

เมื่อ  $C_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น  
 $C_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายเจือจางที่ต้องการเตรียม  
 $V_1$  = ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น  
 $V_2$  = ปริมาตรของสารละลายเจือจางที่ต้องการเตรียม

#### 4.3 หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย

หน่วยของความเข้มข้นมีความสำคัญมากในการคำนวณผลและการรายงานผลการวิเคราะห์ ที่ถูกต้อง หน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีมีหลายหน่วย เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g) หนึ่งในล้านส่วน (part per million : ppm) หนึ่งในพันล้านส่วน (part per billion : ppb) เป็นต้น ผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้ความเข้าใจเพื่อที่จะได้ใช้อย่างถูกต้อง

4.3.1 มวลหรือน้ำหนักของสารต่อปริมาตรของตัวทำละลาย คือ มวลหรือน้ำหนักของสารต่อปริมาตรของตัวทำละลาย เช่น ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) เป็นหน่วยที่นิยมใช้ในการรายงานคุณภาพน้ำด้านสิ่งแวดล้อมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.3.2 หน่วยโมลาร์ (Molarity, M) หน่วยโมลาร์นี้มีความสัมพันธ์หน่วยโมล ซึ่งเป็นหน่วยของปริมาณสารในระบบหน่วยวัดมาตรฐานระหว่างชาติ ซึ่งหมายถึง น้ำหนักโมเลกุลหรืออะตอมในหน่วยเป็นกรัมของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร เช่น การเตรียมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 1 M ทำได้โดยการชั่งเกลือ NaCl หนัก 58.443 กรัม (NaCl มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 58.443 กรัม) ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมตัวทำละลายให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ก็จะได้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 M

4.3.3 หน่วยร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ เป็นหน่วยที่อยู่บนพื้นฐานของน้ำหนัก หรือปริมาตรของตัวถูกละลาย (ธาตุหรือสารประกอบ) ที่ละลายอยู่ในน้ำหนัก หรือปริมาตรของตัวทำละลาย

1. ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก (% wt/wt) หรือ ร้อยละโดยน้ำหนัก หมายถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนัก เช่น กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 70% (wt/wt) แสดงว่ามีกรดไนตริกอยู่ 70 กรัม ในสารละลาย 100 กรัม เป็นต้น

2. ร้อยละน้ำหนักต่อปริมาตร (% wt/vol) หมายถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายเป็นกรัมในปริมาตรของสารละลาย 100 มิลลิลิตร เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 3% (wt/vol) หมายความว่า ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ 3 กรัม

3. ร้อยละปริมาตรต่อปริมาตร (% vol/vol) หรือร้อยละโดยปริมาตร หมายถึง ปริมาตรตัวถูกละลายต่อปริมาตรของสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร เช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 3 โดยปริมาตร (% vol/vol) แสดงว่า มีกรดไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

4.3.4 หน่วยสัดส่วนของมวล เป็นการแสดงความเข้มข้นในลักษณะของสัดส่วนมวลหรือน้ำหนักของตัวถูกละลาย ต่อมวลหรือน้ำหนักของตัวทำละลาย การแสดงความเข้มข้นในลักษณะนี้สามารถแสดงได้ทั้งความเข้มข้นของสารในสารละลาย และความเข้มข้นของสารในของแข็ง เช่น น้ำทะเลมีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน

(ppt) หมายความว่า ในน้ำทะเลหนัก 1 กิโลกรัม มีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ทั้งหมด 30 กรัม หรือในดินตะกอนมีความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ 1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แสดงว่า ในดินตะกอนหนัก 1 กรัม มีแคดเมียมอยู่ 1 มิลลิกรัม (mg/kg)

## บทที่ 3

### การวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ

#### 1. ความสำคัญของการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ

ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพและความปลอดภัยในอาหารกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริโภคอาหารที่สะอาดปราศจากสารปนเปื้อน โลหะหนักเป็นสารพิษประเภทหนึ่งที่เป็นอันตรายในสัตว์น้ำ เนื่องจากการนำเอาโลหะหนักมาใช้ในอุตสาหกรรม เกษตรกรรมต่างๆ มากขึ้นส่งผลให้มีโลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และแพร่กระจายสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ นอกจากนี้ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำยังถูกนำมาใช้ในการกีดกันทางการค้า ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาองค์ความรู้ เทคนิคการวิเคราะห์หรือเครื่องมือต่างๆ และเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาหลายประการ เช่น การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การเลือกเทคนิคหรือวิธีการวิเคราะห์ หากมีการผิดพลาดเพียงขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ผู้วิเคราะห์ต้องให้ความสนใจในทุกขั้นตอนเสมอเมื่อจะลงมือวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### 2. มาตรฐานโลหะหนักในสัตว์น้ำ

ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน กำหนดให้อาหารต้องตรวจสอบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินข้อกำหนด โดยปรอทมีได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (สำหรับอาหาร) ตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทองแดง 20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สังกะสี 100 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ส่วนแคดเมียมเป็นสารปนเปื้อนที่แต่ละประเทศ กำหนดแตกต่างกันในสัตว์น้ำชนิดเดียวกัน และแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ระดับที่กำหนดอยู่ระหว่าง 0.05-2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (พูลทรัพย์, 2552)

#### 3. หลักการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ

##### 3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่างเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญต่อผลการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก หากเกิดการปนเปื้อนขึ้นย่อมทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด ซึ่งก่อนที่จะถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ บางพารามิเตอร์จะต้องเตรียมตัวอย่างก่อน เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมที่จะทำการวิเคราะห์

- เพื่อเปลี่ยนรูป (Form) ของสารที่สนใจไปอยู่ในรูปที่สามารถวัดหาปริมาณด้วยเครื่องมือ โดยการออกซิไดซ์หรือการรีดิวซ์ด้วยกรด เช่น การเปลี่ยนของแข็งให้กลายเป็นของเหลว
- เพื่อทำให้สารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่างมีความเข้มข้นสูงพอที่จะวัดได้ด้วยเครื่องมือ เช่น การระเหยตัวอย่าง การสกัดตัวอย่างน้ำทะเลสำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก เป็นต้น
- เพื่อแยกสารที่ต้องการวิเคราะห์จากส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีผลรบกวนต่อการวัดด้วยเครื่องมือ เช่น การกรอง เป็นต้น

สำหรับการเตรียมตัวอย่างสัตว์น้ำเพื่อวิเคราะห์โลหะหนักมีวิธีการหลักๆ เช่น การทำให้แห้ง (dry ashing) การย่อยแบบเปียก (wet digestion) และการย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave digestion)

- การทำให้แห้ง (dry ashing) เป็นการย่อยแบบแห้งเหมาะสำหรับตัวอย่างอินทรีย์ ใช้การเผาในการเปลี่ยนรูปของตัวอย่างให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ง่ายขึ้น โดยนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) เพื่อให้กลายเป็นเถ้า แล้วละลายเถ้าด้วยสารละลายที่เหมาะสม

- การย่อยแบบเปียก (wet digestion) เป็นการย่อยของแข็งให้ไปเป็นของเหลว โดยใช้สารที่มีความสามารถหรือมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ เช่น กรดแก่ หรือเปอร์ออกไซด์ การย่อยแบบเปียกสามารถใช้เครื่องมือได้หลายชนิด เช่น ย่อยด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) หรือเครื่อง Block digester (ภาพที่ 14 (ก-ค))

- การย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave digestion) เทคนิคการใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถย่อยสลายตัวอย่างทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำทั้งในภาชนะปิดและเปิด แต่นิยมใช้ภาชนะปิดมากกว่าเพราะจะได้ความดันที่สูง ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิสูงไปด้วย นอกจากนี้ยังใช้รีเอเจนต์ปริมาณน้อยกว่าเนื่องจากไม่มีการระเหยของรีเอเจนต์ ทำให้ลดการปนเปื้อนของสารที่ติดมากับรีเอเจนต์ ทั้งยังช่วยลดการระเหยของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ และสามารถย่อยในเวลาเดียวกันที่หลายๆ ตัวอย่าง (ภาพที่ 14 (ง))

### 3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ผู้วิเคราะห์จะต้องทราบข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น วิเคราะห์ตัวอย่างประเภทใด วิเคราะห์ธาตุใด ความเข้มข้นอยู่ในระดับใด ชนิด และปริมาณสารรบกวน เพื่อใช้พิจารณาการเลือกวิธีวิเคราะห์ (selection of method) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุด (อุมาพร, 2552) เพราะจะต้องพิจารณาหลายอย่าง เช่น

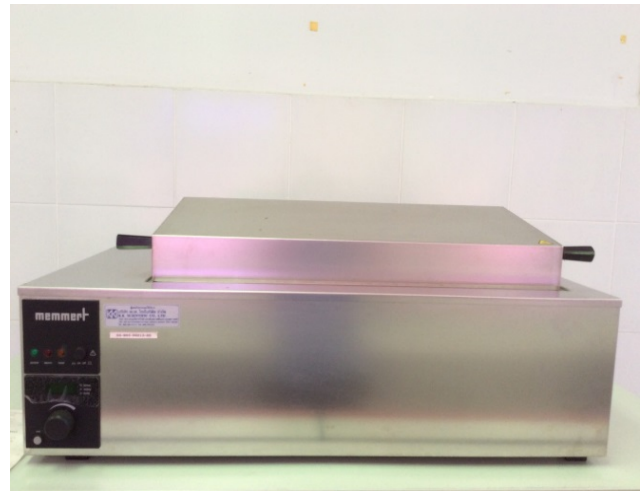
- Reliability สามารถทำแล้วได้ผลจริง
- Applicability สามารถใช้ได้กับตัวอย่างอื่นๆ ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน
- Economy ควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับตัวอย่างและประหยัดค่าใช้จ่ายให้มากที่สุด เช่น ถ้าต้องการวิเคราะห์ในระดับ ppm ควรเลือกใช้ Flame AAS ไม่จำเป็นต้องใช้ Graphite Furnace AAS เพราะสิ้นเปลืองกว่า

- Simplicity เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
- Safety มีความปลอดภัยสูง หลีกเลี่ยงสารอันตราย
- Sensitivity ความไวของวิธีวิเคราะห์
- Detection limit ขีดจำกัดของวิธีการวิเคราะห์และเครื่องมือวิเคราะห์
- Accuracy & Precision ความแม่นยำและความเที่ยงตรง
- Interferences สิ่งรบกวนการวิเคราะห์
- ความชำนาญของผู้วิเคราะห์

เทคนิค atomic absorption spectroscopy (AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพความไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงมาก สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ (แมน และคณะ, 2552) โดยมีหลักการคือ การดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของอะตอมของโลหะหนักแต่ละชนิดเมื่อโลหะหนักต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระโดยใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือจากไฟฟ้า



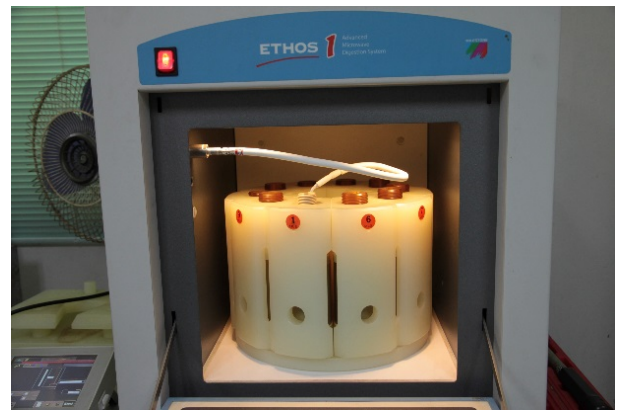
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 14 เครื่องมือที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างสัตว์น้ำเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก : เตาเผาอุณหภูมิสูง (ก) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (ข) block digester (ค) และ เครื่องย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (ง)

อะตอมอิสระเหล่านี้จะถูกพลังงานแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (hollow cathode lamp) ดูดกลืน ซึ่งธาตุโลหะหนักแต่ละตัวจะดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน อะตอมของธาตุโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักนั้นๆ ที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักที่ดูดกลืนแสงนั้น ซึ่งความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในสารละลายตัวอย่างจะหาได้โดยการเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก ด้วยเทคนิค AAS สามารถทำได้หลายวิธี คือ

- Flame Atomization Technique ใช้ในกระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (ภาพที่ 15 ก))

- Flameless Atomization Technique ใช้ในกระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) (ภาพที่ 15 ข))



ภาพที่ 15 เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในกลุ่ม AAS : Flame Atomic Absorption Spectrometer (ก) และ Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (ข)

นอกจากเทคนิค AAS แล้ว เทคนิค AES (Atomic Emission Spectroscopy) เป็นอีกเทคนิคหนึ่ง ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้ทั้งคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี ใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อยกว่าเทคนิค AAS วิเคราะห์ได้ครั้งละหลายธาตุพร้อมกัน แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยอาศัยหลักการทำให้สารที่วิเคราะห์เปลี่ยนจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้น สารที่วิเคราะห์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (Aerosol) แล้วถูกพาเข้า plasma ของ ICP torch โดยก๊าซอาร์กอน สารที่ได้รับพลังงานจะเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมแล้วถูกกระตุ้น จะเปล่งแสงออกมาซึ่งมีลักษณะเฉพาะ แสงที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าไปในเครื่อง spectrometer เพื่อแยกแสงที่ต้องการวิเคราะห์ให้ตรงกับความยาวคลื่นที่เลือกไว้ ผ่านเข้าไปยัง detector ซึ่งเป็น UV-Visible เพื่อวัดสัญญาณและเปลี่ยนเป็นความเข้มข้น

- ICP-OES เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นเพื่อให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นเปล่งแสงหรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงของยูวี-วิสิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว และวัดความเข้มของแสงนั้น (ภาพที่ 16 ก))

- ICP-MS เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกและวัดมวลของไอออนด้วยการใช้อัตราส่วนของมวล ต่อประจุของไอออนแต่ละชนิด โดยใช้ quadrupole หรือ magnetic sector analyzer โดยไอออนที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะมีค่า background ต่ำมาก จึงมี detection limit ที่ต่ำมากกับทุกๆ ธาตุ ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถวัดได้ถึงระดับ ppb ภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมที่ดี (ภาพที่ 16 ข))



(ก)



(ข)

ภาพที่ 16 เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในกลุ่ม AES : Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer : ICP-OES (ก) และ Inductively Couple Plasma-mass spectrometry : ICP-MS (ข)

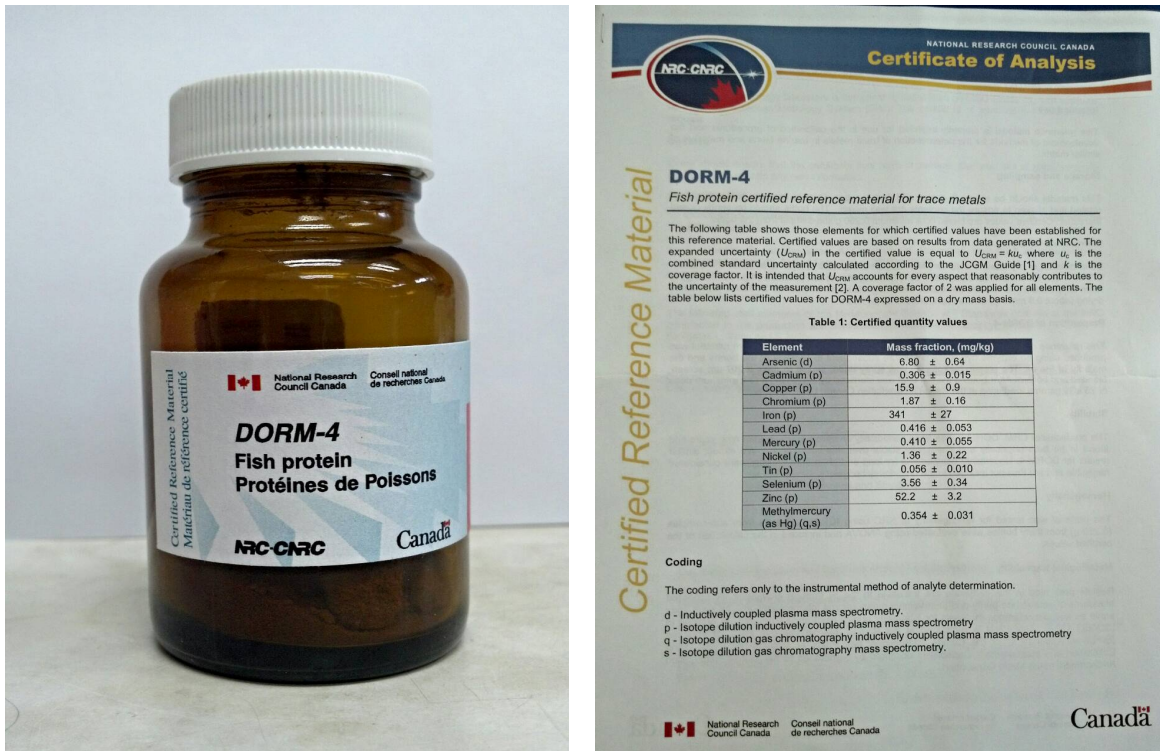
### 3.3 การประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบ และเฝ้าระวังขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างของห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เกิดการพัฒนา และรักษาไว้ซึ่งคุณภาพของผลการวิเคราะห์ และเพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนในห้องปฏิบัติการให้ดีขึ้นซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง (Accuracy) แม่นยำ (Precision) และน่าเชื่อถือ (Reliability) วัตถุประสงค์ของการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์เพื่อให้มั่นใจว่าขั้นตอนทั้งหมดในการวิเคราะห์ได้กระทำอย่างถูกต้อง ซึ่งจะทำได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องที่สุด และมีความผันแปรน้อยที่สุด (กนกพรรณ, 2552) ปัจจัยที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์ ได้แก่

3.3.1 บุคลากร ผลการวิเคราะห์ที่มีคุณภาพย่อมมาจากบุคลากรที่มีคุณภาพ ดังนั้นบุคลากรควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น การศึกษา ความรู้ ความสามารถพิเศษ ประสบการณ์ และผ่านการฝึกอบรมที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงาน ก่อนให้บุคลากรใหม่ปฏิบัติงานต้องมีการสอนงาน และฝึกอบรมในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงาน เพื่อให้มีทักษะและความชำนาญ สามารถทำงานที่รับผิดชอบได้เป็นอย่างดีก่อน และควรมีแผนการฝึกอบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ และประเมินผลการฝึกอบรม

3.3.2 สถานที่ และสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการควรตั้งอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของการวิเคราะห์การระบายอากาศที่ดี มีแสงสว่างเพียงพอ อุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการควรเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานของบุคลากร และการใช้งานของเครื่องมือ ควรมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ และลดการปนเปื้อน การจัดพื้นที่ภายในห้องปฏิบัติการต้องเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ ควรแยกพื้นที่ในการทำความสะอาดเครื่องแก้ว การเตรียมตัวอย่าง ออกจากพื้นที่สำหรับการตรวจวิเคราะห์ นอกจากนี้ควรมีพื้นที่ในการจัดเก็บสารเคมี และเครื่องแก้วอย่างเพียงพอ และควรมีการรักษาความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

3.3.3 วิธีวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการต้องเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม และมีการควบคุมคุณภาพ เพื่อเฝ้าระวังผลการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference materials, CRM) (ภาพที่ 17) การทดสอบตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานอ้างอิง เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีมาตรฐาน เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างห้องปฏิบัติการ การทดสอบซ้ำโดยวิธีการเดิมหรือต่างวิธี และการทดสอบซ้ำโดยใช้ตัวอย่างเดิมที่เก็บไว้



ภาพที่ 17 ตัวอย่างวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material : CRM)

3.3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ควรมีการสอบเทียบ และทวนสอบว่าเครื่องมือแต่ละชนิดเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน และทำให้แน่ใจว่าเครื่องมือมีประสิทธิภาพสูง วิเคราะห์ได้ถูกต้อง มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอตามคำแนะนำของผู้ผลิต ควรบันทึกการใช้งานเครื่องมือ รวมทั้งควรมีการดูแลรักษาเครื่องมือเป็นประจำ

#### 4. ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักในสัตว์น้ำ

4.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์ เป็นกระบวนการเบื้องต้นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ตัวอย่าง และช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนในการวิเคราะห์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อยๆ อุปกรณ์ที่ไม่สะอาดอาจทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ผิดไปจากความเป็นจริง

##### 4.1.1 การเตรียมสารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในการล้างทำความสะอาด

1. น้ำประปา
2. Detergent
3. กระจกตวง ขนาด 2000 มิลลิลิตร
4. น้ำกลั่น
5. แปรงล้างอุปกรณ์
6. ถังพลาสติกทนกรด-ด่าง
7. น้ำล้างเครื่องแก้ว ( $\text{HNO}_3$ ) 20% มีวิธีการเตรียมดังนี้

ค่อยๆ เท conc.  $\text{HNO}_3$  65% จำนวน 200 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ปลอ่ยให้เย็น นำไปเทใส่ถังพลาสติกทนกรดต่าง เติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร หากต้องการเตรียมน้ำล้างเครื่องแก้ว ( $\text{HNO}_3$ ) ปริมาตรมากกว่า 1000 มิลลิลิตร สามารถเตรียมได้ด้วยการคำนวณเทียบจากการเตรียมที่ 20% ของ  $\text{HNO}_3$  เป็นหลัก เช่น ต้องการน้ำล้างเครื่องแก้ว  $\text{HNO}_3$  5000 มิลลิลิตร คำนวณได้ดังนี้ สารละลาย 100 มิลลิลิตร ใช้ conc.  $\text{HNO}_3$  65% จำนวน 20 มิลลิลิตร ถ้าต้องการเตรียม 5000 มิลลิลิตรต้องใช้ conc.  $\text{HNO}_3$  65% จำนวน 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ได้ 5000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

#### 4.1.2 วิธีการ

1. ล้างอุปกรณ์ด้วยน้ำประปา
2. นำอุปกรณ์ไปล้างด้วยน้ำที่ผสม detergent
3. ล้าง detergent ออกให้หมดด้วยน้ำประปา และกลั้ว (rinse) ด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง
4. นำอุปกรณ์ไปแช่ในน้ำล้างเครื่องแก้ว ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
5. นำอุปกรณ์ที่แช่น้ำล้างเครื่องแก้วครบ 24 ชั่วโมงแล้ว กลั้วด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ แล้วกลั้วด้วยน้ำปราศจากไอออน 2 รอบ
6. นำไปผึ่งให้แห้งในตู้ปราศจากฝุ่น เก็บอุปกรณ์ที่แห้งแล้วใส่ถุงพลาสติกหรือกล่องพลาสติก เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

#### 4.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสัตว์น้ำ

- 4.2.1 นำตัวอย่างออกมาละลายโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำ DI
- 4.2.2 สุ่มตัวอย่างสัตว์น้ำ เพื่อทำการชั่งน้ำหนัก และความยาว พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลให้เรียบร้อย
- 4.2.3 สำหรับตัวอย่างปลาจะแลเอาเฉพาะส่วนเนื้อ ตัวอย่างหมึกใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อทั้งหมด และลำตัว ตัวอย่างหอยให้แกะเอาเฉพาะส่วนของเนื้อ จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า หรือสับด้วยมีดสแตนเลสบนเขียงพลาสติก (ภาพที่ 18) เพื่อป้องกันการปนเปื้อน (เมื่อจะบดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดยาล้างเครื่องบด มีด และเขียง ด้วยกรดไนตริก 10 % 2-3 รอบ จากนั้นฉีดยาล้างด้วยน้ำ DI อีก 2-3 รอบ)

- 4.2.4 บรรจุตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วใส่ในถุงซิปล พร้อมทั้งติดฉลากรายละเอียดให้เรียบร้อย

#### 4.3 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง microwave digester

- 4.3.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วประมาณ 1.5-2.0 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน teflon vessel พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
- 4.3.2 เติมกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เข้มข้นที่กลั่นแล้วหรือ supra pure grade 5 มิลลิลิตร และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 3 มิลลิลิตร เติมน้ำ DI 1 มิลลิลิตร
- 4.3.3 นำ teflon vessel เข้าเครื่อง microwave digester โดยปรับตั้งอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 50 นาที
- 4.3.4 เมื่อตัวอย่างย่อยสมบูรณ์แล้ว นำ teflon vessel ออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ่ายสารละลายที่ย่อยได้ลงในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 4.3.5 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Absorption Spectrophotometer หรือเครื่องมือในกลุ่ม Atomic Emission Spectroscopy โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะหนักแต่ละตัว หากความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายตัวอย่างเกินกว่าช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ให้เจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นแล้ววัดใหม่



ภาพที่ 18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดตัวอย่างสัตว์น้ำ

#### 4.4 การคำนวณผล

วิธีการคำนวณหาปริมาณโลหะหนักแต่ละตัว สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณโลหะหนัก มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม} = \frac{C \times V \times F}{M}$$

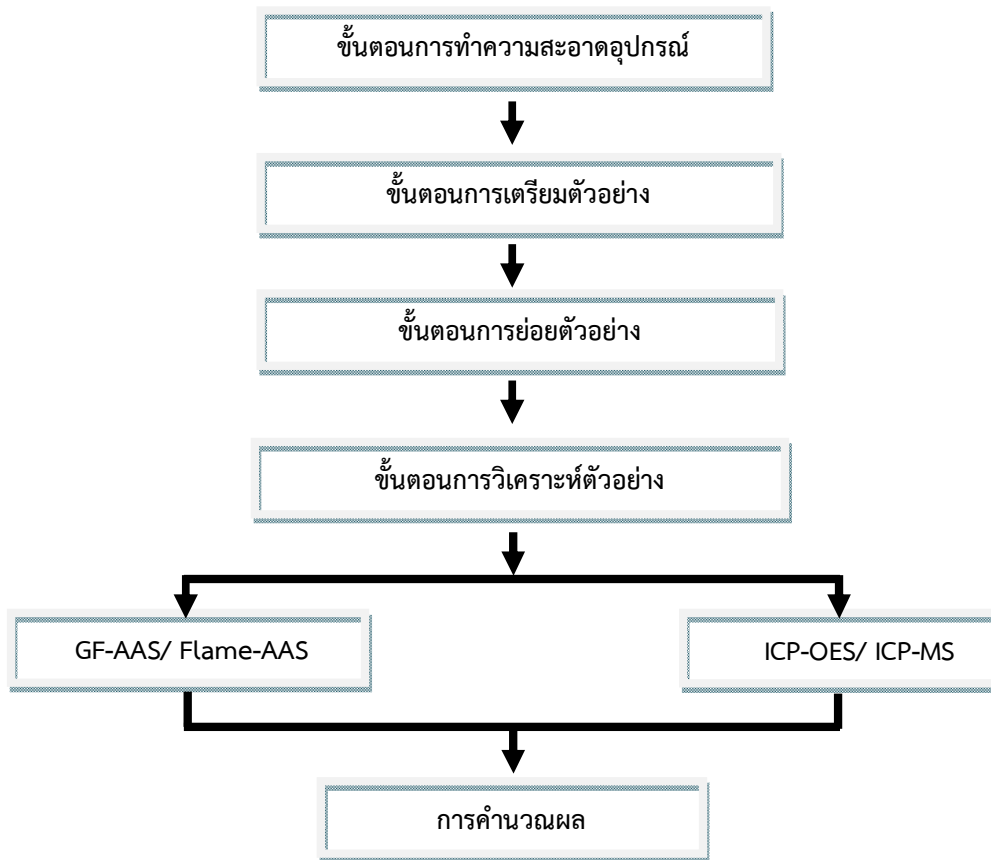
เมื่อ C = ความเข้มข้นที่วัดได้จากการเทียบกับสารละลายมาตรฐานเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

V = ปริมาตรของสารละลายที่เตรียมได้ เป็นมิลลิลิตร

F = จำนวนเท่าที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นเทียบกับปริมาตรเดิม เป็นเท่า

M = น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

ขั้นตอนต่างๆ ในการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ สรุปเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 19



ภาพที่ 19 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสัตว์น้ำ

## เอกสารอ้างอิง

- กนกพรรณ ศรีมโนภาส. 2552. การควบคุมคุณภาพการทดสอบของห้องปฏิบัติการทางจุลินทรีย์. กองตรวจสอบ  
รับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, กรมประมง. 3 หน้า.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2529. เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่มที่ 2.  
ตอนที่ 23. 2 หน้า.
- คณะอนุกรรมการความปลอดภัยทางเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล. 2555. แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางเคมี  
มหาวิทยาลัยมหิดล. ทองสุขพรินทร์, ปทุมธานี. 110 หน้า.
- จันทิมา เจริญผล. 2555. Top 10 Environmental Disasters. StatPress TopPosts.  
<http://www.mtp.rmutt.ac.th>. 2 กรกฎาคม 2558.
- ทัศนวรรณ ขาวสีงาน. 2548. ผลของฤดูกาลและวิธีการเลี้ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักและแบคทีเรียกลุ่ม  
Vibrio ในหอยนางรม บริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.  
มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 114 หน้า.
- บุษยา รัตนสุภา และ อมรรัตน์ สุนทรพงศ์. 2553. ความปลอดภัยในการทำงานในห้องปฏิบัติการเคมี.  
วารสารสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ 6(16-17) : 1-11.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
กรุงเทพมหานคร. 318 หน้า.
- พัชริมา หมั่นจิ้น. 2552. ระดับของแคดเมียมในทรัพยากรประมงจากทะเลอันดามันและทะเลเซเลเบสและการ  
ประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,  
สงขลา. 118 หน้า.
- พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล. 2552. โลหะหนัก : สถานภาพการปนเปื้อนในสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ของไทย.  
<http://www.fisheries.go.th>. 15 มกราคม 2556
- มนูวดี หังสพฤกษ์. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. 329 หน้า.
- แมน อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, ยุวดี เชี่ยววัฒนา, อติตยา ศิริภิญญานนท์, ศรีวิไล โอมอภิญาญญาณ และ  
อุมาพร สุขม่วง. 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. ขวนพิมพ์ 50 จำกัด,  
กรุงเทพมหานคร. 676 หน้า.
- สุวรรณภา ภาณุตระกูล. 2555. เอกสารประกอบคำสอนวิชา การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (Water Quality Analysis)  
ภาควิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 178 หน้า
- สุวรรณภา ภาณุตระกูล, ฉลวย มุสิกะ และ ไพฑูรย์ มกคงไผ่. 2544. พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดบริเวณ  
ปากแม่น้ำบางปะกง ชลบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 59 หน้า.
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 2551. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเคมีวิเคราะห์. ใน : กรมประมง กระทรวง  
เกษตรและสหกรณ์. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์  
การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพมหานคร. หน้า 1-30.
- อุมาพร สุขม่วง. 2551. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร การสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตร. สำนักพัฒนา  
ศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 106 หน้า.
- อุมาพร สุขม่วง. 2552. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบภายใน  
ทางเคมี. สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 48 หน้า.
- Heade, H, R. 1995. Contaminants in the Mississippi River. [http://pubs.usgs.gov/circ/circ1133/  
Heavy-metal.html](http://pubs.usgs.gov/circ/circ1133/Heavy-metal.html), 2 กรกฎาคม 2558.