

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา
โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี

THE DETERMINATION OF ARSENIC AND HEAVY METALS
IN PRODUCTS OF SONGKHLA LAKE
BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY METHOD



ผู้วิจัย : นายประดิษฐ์ มีสุข
นายสัชญา เบญจกุล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี ๒๕๓๕-๒๕๓๖

มิถุนายน ๒๕๓๙

หนังสือนี้เห็นสมควรที่จะส่ง สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ตามระเบียบข้อบังคับโดยไม่มีอุปสรรค
ผู้แทนที่บรรจุหนังสือ สำนักหอสมุดด้วย อีกเป็นเอกสารอ้างอิง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.สัมพันธ์ พลันสังเกตุ คุณวรากร วิศพันธ์ และคุณ จตุรงค์ กิระนันท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาควบคุมดูแลในการปฏิบัติการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ไฮโดรด์เจเนอเรเตอร์ และขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้ ที่ช่วยสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย



บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา โดยเก็บตัวอย่าง ปลา กุ้ง หอย ปู และสาหร่าย จากทะเลสาบสงขลา ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538 จำนวน 24 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ด้วยเทคนิควิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยใช้แบบผันสารโดยตรง (direct aspiration) สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม แบบไอเย็น (cold vapor) สำหรับการวิเคราะห์ปรอทและแบบไฮไดรด์เจเนอเรชัน (hydride generation) สำหรับการวิเคราะห์สารหนู

ผลการวิเคราะห์พบว่ามีสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในปลากระพงขาว 0-0.250, 0.163-1.985, 0 - 0.107, 0.094 - 1.881 และ 0 - 0.010 ppm ($\mu\text{g/g}$) พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในกุ้งกุลาดำ 0-0.150, 0-2.625, 0-0.015, 0.129-4.819 และ 0-0.380 ppm ตามลำดับ พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในหอยแมลงภู่ 0-1.750, 1.548-1.985, 0-0.021, 2.634-4.573 และ 0.041-0.343 ppm. ตามลำดับ พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในปูทะเล 0.150-2.265, 1.260-2.008, 0-0.038, 0.311-0.719 และ 0.018-0.348 ppm ตามลำดับ พบสารหนู ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในสาหร่ายผมนาง 0-1.250, 1.260-3.313, 0-0.069, 0.072-6.807 และ 0-0.065 ppm ตามลำดับ



Abstract

The aim of this research was to analyze the amount of arsenic and heavy metals in products of Songkhla Lake. Twenty-four samples of fish, prawn, mussel, crab and seaweed were collected from Songkhla Lake in December 1995. The samples were analyzed for the quantity of arsenic and heavy metals by means of atomic absorption spectrophotometry : direct aspiration technique for determination of lead, zinc and cadmiums; cold vapour technique for determination of mercury; and hydride generation technique for determination of arsenic.

The findings revealed that there were arsenic, lead, mercury, zinc and cadmium in giant seaperch ranging between 0-0.250, 0.163-1.985, 0-0.107, 0.094-1.881 and 0-0.010 ppm ($\mu\text{g/g}$) respectively. There were arsenic, lead, mercury, zinc and cadmium in gaint tiger prawn ranging between 0 - 0.150, 0 - 2.625, 0-0.015, 0.129-4.819 and 0-0.380 ppm respectively. There were arsenic, lead, mercury, zinc and cadmium in green mussel ranging between 0-1.750,1.548-1.985,0-0.021,2.634-4.573 and 0.041-0.343 ppm respectively. There were arsenic, lead, mercury, zinc and cadmium in serrated mud crab ranging between 0.150-2.265,1.260-2.008,0-0.038,0.311-0.719 and 0.018-0.348 ppm respectively. There were arsenic, lead, mercury, zinc and cadmium in seaweed, *Gracilaria fisheri* ranging between 0-1.250, 1.260-3.313, 0-0.069, 0.072-6.807 and 0-0.065 ppm respectively.



สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ	1
ความนำ.....	1
วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
ความสำคัญของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
ความเป็นพิษของสารหนูและโลหะหนัก.....	4
บทที่ 2 การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี.....	11
หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน.....	11
เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย ASS	13
ลักษณะของเปลวไฟ.....	14
เครื่องมือที่ใช้ใน ASS	15
การวิเคราะห์หาปริมาณของปรอทด้วยวิธีเทคนิควิธีไอเย็น.....	19
เทคนิคไฮโดรด์เจเนอเรชัน.....	20
บทที่ 3 การทดลอง.....	21
สถานที่ทำการทดลองและเก็บตัวอย่าง.....	21
เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	24
วิธีการทดลอง.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	29
สารละลายมาตรฐาน.....	29
กราฟมาตรฐาน.....	30
ผลการทดลอง.....	33
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	36
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	36
กลุ่มตัวอย่าง.....	36
อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า.....	36
วิธีดำเนินการ.....	36
สรุปผลการศึกษาค้นคว้า.....	36
อภิปรายผล.....	37
ข้อเสนอแนะ.....	38
บรรณานุกรม.....	39

บทนำ

ความนำ

สารหนูและโลหะเป็นสิ่งเจือปนที่พบอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ทั้งในดิน ในแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลและในมหาสมุทร รวมทั้งในสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโลหะบางชนิด เช่น สังกะสี ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส จัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ แต่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย และการสะสมของโลหะในสิ่งมีชีวิตมิได้จำกัดเฉพาะธาตุที่จำเป็นต่อขบวนการทางชีวเคมีของร่างกายเท่านั้น ยังรวมถึงสารหนูและโลหะชนิดอื่น เช่น ตะกั่ว แคดเมียม หรือปรอท ซึ่งยังไม่พบว่ามีความสำคัญในขบวนการต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ถ้าร่างกายได้รับธาตุดังกล่าวจากสิ่งแวดล้อมสะสมถึงขนาดหนึ่งจะทำให้เกิดโรคพิษสารหนูและโลหะหนักดังกล่าวได้

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลานั้นเป็นทรัพยากรอันล้ำค่าของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของคาบสมุทรทางตอนใต้ของประเทศ มีเนื้อที่ประมาณ 9,000 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 1 ล้านไร่ ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา ทะเลสาบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ทะเลสาบตอนนอก ทะเลสาบตอนในและทะเลน้อย มีระบบนิเวศน์ที่ให้ผลผลิตทั้งพืชและสัตว์นานาชนิด สำหรับเลี้ยงชีวิตประชากรประมาณ 1.5 ล้านคน ที่อาศัยอยู่รอบลุ่มน้ำทะเลสาบแห่งนี้ ปัญหาของชาวทะเลสาบนับวันจะเพิ่มมากขึ้นทุกที เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น การขยายตัวของเมืองหลัก การสร้างท่าเรือน้ำลึก และการขยายตัวของอุตสาหกรรม ซึ่งล้วนก่อให้เกิดปัญหามลภาวะแก่ทะเลสาบเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีแหล่งน้ำเสียจากชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยลงสู่ทะเลสาบมากขึ้น จึงเกิดปัญหามลพิษเฉพาะบางบริเวณในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ประดิษฐ์ มีสุข และเสาวณี โพนกุล ได้วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา จุดที่มีน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและอุตสาหกรรม เมื่อปี พ.ศ. 2534 พบว่า มีสารหนู 0.003-0.015 ppm. มีทองแดง 0.003-0.020 ppm. มีตะกั่ว 0 - 0.10 ppm. มีสังกะสี 0.03-0.06 ppm. มีแมงกานีส 0.05-0.51 ppm. มีปรอท 0-0.05 ppm. และมีเซลเนียม 0.001-0.027 ppm. ทองแดง ตะกั่วและปรอทมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลสาบ

ปัจจุบันพบว่า การปนเปื้อนของสารหนูและโลหะในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และค่าความเข้มข้นของสารหนูและโลหะที่สะสมในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลหะตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสังกะสีในสัตว์ทะเลจำพวก ปลา กุ้ง หอย ปู น่าจะมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ปริมาณโลหะที่สะสมในสัตว์ทะเลที่ค่อนข้างสูง อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ผู้บริโภคสัตว์ทะเลนั้นเป็นอาหารได้ เพราะโลหะส่วนใหญ่จะมีผลต่อระบบการทำงานของร่างกาย ระบบหายใจ ระบบทำงานของอวัยวะภายในและระบบประสาทซึ่งจะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เป็นง่อย หรือเป็นอัมพาต และอาจเสียชีวิตได้ในที่สุด

ผลิตผลจากทะเลสาบสงขลาที่เป็นอาหารที่สำคัญ ได้แก่ กุ้ง หอย ปู ปลาและสาหร่าย โดยเฉพาะบริเวณเกาะขอมมีการเลี้ยงปลากระพงขาวจำนวนมาก มีการประกอบอาชีพประมงเป็นส่วนใหญ่ สัตว์น้ำที่เลี้ยงและจับได้นับเป็นอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญของประชากรในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และเมืองใกล้เคียง จึงควรศึกษาค้นคว้าหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา ว่าเกินมาตรฐานกำหนดหรือไม่ จะได้หาทางแก้ไขและระมัดระวังในการบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อันเป็นการป้องกันการเกิดโรคพิษโลหะหนักในประชาชนต่อไป

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ในปลา กุ้ง หอย ปู และสาหร่าย จากทะเลสาบสงขลา ว่าอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อการบริโภคหรือไม่

ความสำคัญของการศึกษา

1. จากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบระดับปริมาณสารหนูและโลหะหนักในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลาไว้เป็นข้อมูลอ้างอิงต่อไป
2. จากระดับปริมาณที่ศึกษา จะทำให้ทราบว่า มีระดับเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ เพื่อจะได้หาทางแก้ไขต่อไป เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษาครั้งนี้จะวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก 4 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ในผลผลิตจากทะเลสาบสงขลา
2. ผลผลิตจากทะเลสาบสงขลาจะศึกษาสัตว์น้ำ 4 ชนิด คือ ปลากะพงขาว 5 ตัวอย่าง กุ้ง 5 ตัวอย่าง ปู 4 ตัวอย่าง หอยแมลงภู่ 4 ตัวอย่าง รวมทั้งสาหร่ายนวมนาง 6 ตัวอย่าง
3. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุครั้งนี้ใช้เทคนิควิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี แบบพ่นโดยตรง สำหรับการวิเคราะห์ธาตุตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ใช้แบบไอเย็นสำหรับการวิเคราะห์ปรอท และใช้แบบไฮโดรเจนเออร์เจนสำหรับการวิเคราะห์สารหนู

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2526 ประกาย บริบูรณ์²และคณะ ได้ศึกษาปริมาณปรอทในสัตว์ทะเลบริเวณน่านน้ำไทย จำนวน 91 ชนิด รวม 1,526 ตัวอย่าง ตรวจพบปริมาณปรอทอยู่ระหว่าง 0.000-0.810 mg/kg พบตัวอย่างที่มีปริมาณปรอทสูงกว่า 0.1 mg/kg ร้อยละ 5.8

เมื่อปี พ.ศ. 2522 - 2524 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติร่วมกับกรมวิชาการการเกษตรและกรมประมง ได้วิจัยเพื่อประเมินระดับมูลฐานของธาตุพิษในปลาทะเลจากน่านน้ำไทย โดยใช้วิธีนิวตรอนแอคติเวชัน ธาตุที่ศึกษามี ปรอท เซเลเนียม โบรมีน โคบอลต์ และสังกะสี

ต่อมาในปี พ.ศ. 2525 สุพันธ์ นุชประมุข วรณา วิมลวัฒนาภักดิ์ และเนาวรัตน์ สีพะพันธุ์³ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ วิเคราะห์ปรอท เซเลเนียม โบรมีน โคบอลต์ และสังกะสีในหอยชนิดต่าง ๆ โดยการอาบนิวตรอน หอยที่ศึกษาได้แก่ หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยจากฟาร์มเลี้ยงและหลักเลี้ยงบริเวณอ่าวชะอำ จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 36 ตัวอย่าง พบว่ามีปรอทอยู่ 0.0084-0.0410 $\mu\text{g/g}$ มีเซเลเนียมอยู่ 0.1128-0.4279 $\mu\text{g/g}$ มีโบรมีนอยู่ 4.7466-45.5421 $\mu\text{g/g}$ มีโคบอลต์อยู่ 0.0360-0.5749 $\mu\text{g/g}$ และมีสังกะสีอยู่ 2.8797-93.4105 $\mu\text{g/g}$

ปี พ.ศ. 2526 มณฑล เดชกำแหง และเนาวรัตน์ สีนหะพันธ์⁴ ร่วมกับสถาบันวิจัยประมงทะเล กรมประมง วิเคราะห์ปริมาณสารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในหอยชนิดต่าง ๆ จากบริเวณเพชรบุรีและสมุทรสงคราม จำนวน 36 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน พบว่ามีสารหนูอยู่ 2.06-11.67 $\mu\text{g/g}$ มีแคดเมียมอยู่ 0.12-4.2 $\mu\text{g/g}$ มีทองแดงอยู่ 0.85-2.29 $\mu\text{g/g}$ และมีสังกะสีอยู่ 4.51-18.54 $\mu\text{g/g}$ ในปีเดียวกันนี้ สุนันท์ นุชประมุข⁵ และคณะได้ศึกษาปริมาณสารหนู โบรมีน แคดเมียม โคบอลต์ ทองแดง โปรท เซเลเนียม และสังกะสี ในตัวอย่างปลาและดินตะกอนในลุ่มแม่น้ำท่าจีนเพื่อประเมินคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในลุ่มแม่น้ำท่าจีน อันเนื่องจากการใช้สารพิษในกิจการเกษตรและอุตสาหกรรม พบว่าในปลามีสารหนูอยู่ 0.017-3.731 $\mu\text{g/g}$ มีโบรมีน 1.26-5.50 $\mu\text{g/g}$ มีแคดเมียมอยู่ 0.16-0.928 $\mu\text{g/g}$ มีโคบอลต์อยู่ 0.004-0.063 $\mu\text{g/g}$ มีทองแดงอยู่ 0.16-2.46 $\mu\text{g/g}$ มีโปรท 0.005-0.107 $\mu\text{g/g}$ มีเซเลเนียมอยู่ 0.013-0.286 $\mu\text{g/g}$ และมีสังกะสีอยู่ 1.41-13.27 $\mu\text{g/g}$

ต่อมาปี พ.ศ. 2528 เปี่ยมศักดิ์ มีนาเสวต และวรวีทย์ ชีวาพารานาพิวัฒน์⁶ วิเคราะห์หาระดับการสะสมตัวของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และปรอท ในหอยแมลงภู่ ปลากระบอก และดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ท่าจีน เจ้าพระยาและบางปะกง พบว่าบริเวณปากน้ำทั้งสี่สายมีโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด เจือปนในระดับต่างกันและพบตะกั่วสะสมในหอยแมลงภู่ ปลากระบอก และดินตะกอน ในระดับสูง การสะสมของโลหะอื่นอีกสี่ชนิดยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

เมื่อปี พ.ศ. 2529 Y. Yamaoka และ O. Takimura⁷ ศึกษาปริมาณสารหนูในสาหร่ายทะเล โดยทั่วไปน้ำทะเลจะมีสารหนูอยู่ระหว่าง 1 - 1.5 $\text{m}\mu\text{g/l}$ และพบว่าในสาหร่ายทะเลมีสารหนูมากกว่าในน้ำทะเลกว่า 100 เท่า

ปี พ.ศ. 2529 ณรงค์ ณ เชียงใหม่⁸ ได้วิเคราะห์หาปริมาณปรอทในสัตว์น้ำบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอนบอร์พชั่นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จำนวน 61 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนของสารปรอทในทุกตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละร้อย ระดับความเข้มข้นของสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเฉลี่ย 0.108 mg/kg และพบว่าปริมาณสารปรอทเกิน 0.1 mg/kg ร้อยละ 45 การศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของปรอทเกินมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก

ในปี พ.ศ. 2529-2530 พัทธา เพ็ชรพิรุณ⁹ ได้ศึกษาการสะสมของโลหะปริมาณน้อยในสัตว์ทะเลบางชนิดที่จับได้บริเวณอ่าวระยอง โดยใช้วิธีอะตอมมิคแอนบอร์พชั่นสเปกโทรโฟโตเมตรี ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการสะสมของโลหะทุกชนิดในกล้ามเนื้อปลาไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในแต่ละเดือนที่ทำการศึกษา โลหะสังกะสีจะมีปริมาณการสะสมสูงสุดในกล้ามเนื้อปลา รองลงมา ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม ตามลำดับ สำหรับในหมีก (หมีกกล้วยและหมีกกระตอง) พบว่า โลหะสังกะสีจะมีปริมาณการสะสมสูงสุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส แคดเมียมและตะกั่ว ตามลำดับ

ปี พ.ศ. 2530 แววดา ทองระอา¹⁰ และคณะ ศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก พบปริมาณโลหะตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และปรอท สะสมในปลา หมีก ปูม้า กุ้งก้ามเตน หอยนางรม และกุ้ง ฉลี่ยดังนี้

ชนิดของ สัตว์ทะเล	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (ไมโครกรัม/กรัม นน.สด)				
	ตะกั่ว	แคดเมียม	สังกะสี	ทองแดง	ปรอท
ปลา	2.631	0.017	5.404	0.734	0.035
ปลาหมึก	2.535	0.124	12.938	2.404	0.025
ปูม้า	1.610	0.246	25.201	9.866	0.021
กุ้งก้ามกราม	3.442	1.225	22.531	17.234	0.016
หอยนางรม	5.296	0.849	160.221	47.831	0.017
กุ้ง	0.960	0.074	13.464	1.963	0.010

ในปี พ.ศ. 2531 M.Jaffar, M.Ashaf และ A.Rasool¹¹ ศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำและในปลาน้ำจืดในบึงจางโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน โลหะที่ศึกษาคือ แมงกานีส สังกะสี เหล็ก ทองแดง โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสารหนู พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในแหล่งน้ำและในกล้ามเนื้อปลา พบปริมาณโลหะในกล้ามเนื้อปลาดังนี้ (หน่วย mg/kg) แมงกานีส 0.115-11.157 สังกะสี 1.875-50.650 เหล็ก 2.805-180.550 ทองแดง 0.193-7.200 โครเมียม 0.365-13.200 นิกเกิล 0.628-38.800 ตะกั่ว 0.765-45.316 ปรอท 0.020-26.800 แคดเมียม 0.004-1.500 และสารหนู 0.480-7.500

เมื่อปี พ.ศ. 2531 YB-Ho¹² ศึกษาระดับโลหะในสาหร่ายสีน้ำตาลบริเวณด้านใต้ของเกาะฮ่องกง พบปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายเป็นอนุกรมดังนี้ $Fe > Mn, Zn > Cu, Pb > Cd$

ในปี พ.ศ. 2533 TK. Ghosh¹³ และคณะ ศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสาหร่ายโปรโตซัวและแพลงก์ตอน พบว่ามีแคดเมียม เงิน และทองแดง 0.063-0.546, 0.038-0.370 และ 0.040-0.805 mg/l ตามลำดับ

ความเป็นพิษของสารหนูและโลหะหนัก

สารหนู

สารหนูหรืออาร์เซนิก เป็นธาตุกึ่งโลหะ พบในรูปสารประกอบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ แร่สารหนูที่สำคัญได้แก่ อาร์เซโนไพไรต์ (Arsenopyrite : $FeAsS$) สารหนูเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นสำหรับร่างกาย ตัวสารหนูเองและซัลไฟด์ของสารหนูไม่เป็นพิษ แต่สารประกอบอื่น ๆ ของสารหนูเป็นพิษอย่างแรงและก่อให้เกิดมะเร็งได้ เนื่องจากสารประกอบสารหนูเป็นพิษอย่างแรงจึงใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช เช่น แคลเซียมอาร์ซีเนต ฟอสแมลงที่ก่อความรำคาญแก่ต้นฝ้าย ใช้ลีสต์อาร์ซีเนต ฟอสแมลงที่ก่อความเสียหายให้แก่ต้นไม้ทั่วไป และใช้โซเดียมอาร์ซีเนต ฟอสหรือปราบวัชพืช เป็นต้น

โทษของสารหนูต่อร่างกายมีสองลักษณะ คือ พิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง

(1) พิษเฉียบพลัน ส่วนใหญ่เกิดจากการกินยาฆ่าแมลง มีอาการคอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดินอย่างรุนแรง ชีตและหิวลงอย่างรวดเร็ว ความดันโลหิตลดลง ปัสสาวะเป็นไขขาว ตัวเย็น ปวดตามมือเท้า ปวดศีรษะ และอ่อนเพลีย ผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 24 ชั่วโมง

(2) พิษเรื้อรัง มีอาการอ่อนเพลีย ปวดท้อง ท้องเดินและผูกสลับกัน ปัสสาวะเป็นไขขาว เปลือกตาล่างบวม ผอมลงและมีจุดสีเทาเกิดขึ้นตามผิวหนัง ผิวหนังแตก มีอาการทางประสาท และตับทำงานเสื่อมลง

แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีอยู่ตามธรรมชาติร่วมกับโลหะสังกะสี นอกจากนี้มีปนในปุ๋ย ฟอสเฟตและเป็นส่วนประกอบสำคัญของอัลลอยด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ จากการศึกษาโลหะหนักในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ พบว่า ในสัตว์ทะเลสามารถสะสมแคดเมียมไว้ได้สูง โดยเฉพาะสัตว์ทะเลบางชนิดสามารถสะสมแคดเมียมจากน้ำทะเลได้สูงกว่าปริมาณแคดเมียมที่มีในน้ำทะเลมากกว่า 4,000 เท่า เช่น ในหอยนางรมของนิวซีแลนด์ มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง $8 \mu\text{g/g}$ ส่วนในสัตว์น้ำที่มีเปลือก เช่น กุ้ง หอย และปู ก็พบแคดเมียมประมาณ $500-1,500 \mu\text{g/g}$ แคดเมียมสามารถสะสมในวงจรร่างกายการสะสมในคนมากกว่าร้อยละ 70 ของแคดเมียมที่ได้รับจะไหลเวียนอยู่ในกระแสโลหิต โดยจะสะสมอยู่ที่ ตับ และไต ค่าปกติของแคดเมียมในเลือดของคนไม่สูบบุหรี่ และไม่มีอาชีพเกี่ยวข้องกับการสัมผัสโลหะแคดเมียม มีค่าต่ำกว่า $5 \mu\text{g/l}$ แต่สำหรับคนที่สูบบุหรี่จะสูงกว่านี้ เนื่องจากการสูบบุหรี่เป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมเข้าสู่ปอดของผู้สูบบุหรี่ โดยที่ในบุหรี่ 1 มวน มีปริมาณแคดเมียม $0.9-2.3 \mu\text{g}$ และในการสูบบุหรี่แต่ละครั้งโลหะจะถูกสูดเข้าไปถึงร้อยละ 10

การเกิดพิษเฉียบพลันที่พบบ่อยเกิดจากการสูดดมควันของแคดเมียมออกไซด์ที่มีแคดเมียมอยู่ในบรรยากาศ 0.1 mg/m^3 โดยอาการแพ้พิษจะเกิดขึ้นที่ ผู้ที่ได้รับควันพิษนี้จะมีอาการจุก คออักเสบ เยื่อจมูกและปอดถูกทำลาย รู้สึกแน่นหน้าอก หายใจขัด เวลาไอจะมีเลือดไหลออกมาด้วย ปอดบวมและอาจตายได้ ในรายที่มีอาการไม่รุนแรง จะรู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน ทนทาน ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ไม่มีแรง

พิษเรื้อรังต่อมนุษย์ที่ได้รับผ่านการหายใจหรือได้รับประทานอาหารที่มีแคดเมียมปนอยู่ จะทำให้การทำงานของไตผิดปกติ และปอดถูกทำลายได้ นอกจากนั้นยังพบว่าแคดเมียมเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็งของต่อมลูกหมาก ความดันโลหิตสูง การแข็งตัวของหลอดเลือดที่หัวใจ ทำให้ทารกเจริญเติบโตช้า เป็นต้น

ในปี ค.ศ.1970 ที่ประเทศญี่ปุ่นเหตุการณ์ที่เรียกว่า โรค itai itai ถูกค้นพบจากการรวบรวมบันทึกผู้ป่วยจำนวน 200 คน ในเวลา 15 ปี ผู้ป่วยเหล่านี้ดื่มน้ำจากแม่น้ำในหุบเขาจินสุ (Jintsu River Valley) พบว่าจำนวนครึ่งหนึ่งตายไป ผู้ป่วยโรคนี้มีอาการเจ็บปวดในกระดูก และกระดูกจะเปราะบางลง เนื่องจากสารที่สร้างกระดูกถูกทำลายและเกิดการเจ็บป่วยเป็นอันตรายแก่ชีวิต

ตะกั่ว

มีการใช้ตะกั่วกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ยาง กระดาษเคลือบ เป็น stabilizer ในอุตสาหกรรมพลาสติก และที่สำคัญใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมและอาหาร เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง จากการสูดดมเข้าทางปอด จากการบริโภคผ่านทางหลอดอาหาร หรือแม้แต่ซึมผ่านทางผิวหนัง เมื่อตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต โดยร้อยละ 95 ของตะกั่วในเลือดจะเกาะอยู่กับเม็ดเลือดแดง ตะกั่วที่อยู่ในอวัยวะจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่คงตัว และส่วนที่ถ่ายเทได้ ส่วนที่ถ่ายเทได้จะอยู่ในกระแสโลหิตและในเนื้อเยื่อ ส่วนที่คงตัวอยู่ในกระดูกและฟัน ตะกั่วจะถูกถ่ายผ่านทางรกได้ ระดับตะกั่วในเลือดของทารกจะมีปริมาณเกือบเท่าของมารดา การขับถ่ายตะกั่วออกจากร่างกายส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 75-80 ทางปัสสาวะ มีบางส่วนเท่านั้นที่ถูกขับถ่ายทางน้ำนมมารดา

ตะกั่วมีพิษต่อระบบโลหิตของร่างกายเนื่องจากการยับยั้งการสร้างฮีโมโกลบินและลดอายุของเม็ดเลือดแดงให้สั้นลง ซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดโรคโลหิตจางได้ นอกจากการได้รับตะกั่วจากการประกอบอาชีพแล้ว ยังได้รับตะกั่วโดยการหายใจ ซึ่งถูกดูดซึมผ่านปอดเข้าร่างกายได้มากกว่าการดูดซึมของตะกั่วที่ได้รับจากการบริโภคอาหาร ผู้ใหญ่ที่อาศัยในเขตเหมืองได้รับตะกั่วจากอาหารและน้ำประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วที่ได้รับจากทุกแหล่งต่อวัน ($100-500 \mu\text{g}/\text{วัน}$) ร้อยละ 10 ของตะกั่วที่บริโภคเท่านั้นที่ถูกดูดซึม ในกรณีของเด็กส่วนใหญ่จะได้รับปริมาณตะกั่วต่ำกว่า แต่จะถูกดูดซึมได้ครึ่งหนึ่ง

อาการพิษของตะกั่วที่พบในผู้ใหญ่ คือ โลหิตจาง ปวดเกร็งลำไส้อย่างแรง เบื่ออาหารและอ่อนเพลีย มีอาการอัมพาต (โดยเฉพาะแขนและขา โดยอาการจะกำเริบอย่างช้า ๆ) ส่วนเด็กจะเกิดกับระบบสมอง คือ ทำให้สมองบวมและระบบอื่น ๆ ผิดปกติ เช่น เลือด ไต และกระดูก

ปรอท

ปรอทเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติเป็นโลหะหนักกว่าน้ำประมาณ 13.5 เท่า อยู่ในสภาพเป็นของเหลวในสภาวะอุณหภูมิบนพื้นโลก สามารถระเหยเป็นไอและกลั่นตัวได้ตามสภาพความดันและอุณหภูมิในสิ่งแวดล้อม มันอาจถูกดูดซึมและจับติดกับสารใด ๆ ได้ เช่น พืช สัตว์และดิน คุณสมบัติของปรอทเช่นเดียวกับโลหะอื่น ๆ ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์และอินทรีย์ต่าง ๆ เปลี่ยนเป็นสารประกอบปรอทซึ่งมีสูตรโมเลกุลง่าย ๆ เช่น สารประกอบปรอทซัลไฟด์ (Mercuric Sulfide) จนถึงสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (metallo organic complex) ปรอทและสารปรอทเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในน้ำ (water pollution) และสารเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม

สารประกอบปรอทในรูปต่าง ๆ กระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในหิน ดิน อากาศ น้ำ และสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นไปตามระบบการเปลี่ยนแปลงอันยุ่งยากซับซ้อนทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา สารประกอบปรอทที่ถูกถ่ายทอดเข้าไปในสิ่งมีชีวิตจนถึงคนได้เป็นไปตามวงจรอาหาร

แหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของปรอทที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตหลอดไฟ (mercury vapour lamp) ซึ่งเรียกทั่วไปว่า หลอดนีออน แบริดเตอร์ สวิตช์ไฟฟ้า และอุปกรณ์



เด็กญี่ปุ่นคนนี้สมองพิการเพราะพิษจากปรอท



เด็กญี่ปุ่นคนนี้เกิดในปี ค.ศ.1950 และเป็นโรคมินามาตะ (Minamata) หรือโรคพิษจากปรอท เด็กคนนี้มีชีวิตอยู่เหมือนพืชผัก เพราะสมองและระบบประสาทไม่ทำงานเลย

อิลคโตรนิกต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2480 มีการใช้ปรอทในอุตสาหกรรมการผลิตต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นมาก จนกระทั่งเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ปรอทสูงที่สุด และมีการใช้สารประกอบทั้งในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ในทางการเกษตรเป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เช่น phenyl mercury และ methyl ethyl mercury สารประกอบอนินทรีย์ของปรอทเมื่อถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จะเกิดสาร methyl mercury ซึ่งอาจสะสมในสิ่งมีชีวิตในทะเล และทำให้สัตว์ทะเลเป็นอาหารที่มีการปนเปื้อนของปรอทมากกว่าอาหารอื่น

ความเป็นพิษของปรอทขึ้นกับชนิดของสารประกอบและลักษณะการได้รับพิษ กลไกของปรอท mercurous ซึ่งมีคุณสมบัติการละลายต่ำกว่าปรอท mercuric จะมีพิษน้อยกว่า มีการค้นพบว่าจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยนรูปของสารประกอบปรอท ทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ให้เป็นรูปที่เป็นพิษมากขึ้น นั่นคือ methyl หรือ dimethyl mercury ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติสามารถเปลี่ยนสารประกอบอนินทรีย์ของปรอทให้เป็น methyl mercury ด้วยเช่นกัน ดังนั้น ไม่ว่าปรอทในรูปใดเมื่อปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งน้ำ ก็จะเกิดปฏิกิริยาทั้งผลจากการกระตุ้นของจุลินทรีย์ (microbial catalysed) และภาวะสมดุลทางเคมี (chemical equilibrium) จะทำให้ปรอทมีพิษสูงทั้งสิ้น

การระบาดของพิษปรอทที่อ่าวมินามาตะ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก่อให้เกิดโรคพิษของปรอท เรียกว่า โรคมินามาตะ (minamata disease) ซึ่งเรียกตามชื่ออ่าวมินามาตะ ซึ่งเป็นแหล่งเกิดของโรคนี้ โรคมินามาตะเกิดขึ้นกับคนที่รับประทานอาหารจำพวก ปลา หอย ในอ่าวมินามาตะ ซึ่งเป็นแหล่งที่สารปรอทเจือปน อาการของโรคมินามาตะที่เกิดจากการสะสมสารปรอท มีอาการทางระบบประสาท อารมณ์อ่อนไหวง่าย หงุดหงิด ความจำเลอะเลือน สายตาคิดปกติ มือสั่น เดินเซ เหนื่อย ปาก และผิวหนังอักเสบ ปวดตามข้อ ถ้าเป็นมากจะเกิดอาการชักกระตุก ตันทุรนทุราย พิการ และถึงตายได้

ปริมาณปรอทที่ตรวจพบในคนที่ไม่มีอาชีพเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปรอท มักพบว่าเกิดจากการบริโภคปลา คนที่ไม่ชอบบริโภคปลาและไม่ได้ทำงานเกี่ยวข้องกับปรอท จะมีปริมาณปรอทในเลือดต่ำกว่า $5 \mu\text{g} / \text{l}$ ผู้ที่บริโภคข้าวประมาณ $10 - 20 \mu\text{g} / \text{l}$ ส่วนผู้นิยมบริโภคปลามีสูงถึง $100-200 \mu\text{g} / \text{l}$

สังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะที่มีสีเทาปนขาวและมีแววคล้ายเงิน สารประกอบของสังกะสีที่ใช้มากในปัจจุบันมักอยู่ในรูปของสังกะสีคลอไรด์ ซัลเฟต ซิลิเกตและออกไซด์ แร่ชนิดนี้พบมากในธรรมชาติ การนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ใช้ผสมทำเป็นอัลลอยด์กับโลหะอื่น ๆ ใช้ทำฟิวส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า กลไกของสังกะสีมักใช้ทำสี เครื่องสำอาง แบตเตอรี่ กาวและปุ๋ย

สารสังกะสีเป็นอาหารอย่างหนึ่งที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยปกติในร่างกายจะมีสังกะสีเพียง $1-3 \text{ g}$ แต่เนื่องจากสังกะสีอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย เช่น ตับ ไต ปอด กล้ามเนื้อ กระดูก ตา ต่อมไทรอยด์ และสเปิร์ม เมื่อร่างกายขาดสังกะสีจึงมีผลต่อหลายระบบของร่างกาย อาการสำคัญได้แก่ ผมหงอก โลหิตจาง ภูมิคุ้มกันโรคต่ำ ผิวหนังผื่นคัน ความรู้สึกรับรู้รสและกลิ่นอาหารเปลี่ยนไป และทำให้เด็กไม่เติบโต ตัวเตี้ย แคระแกร็น

สังกะสีจำเป็นสำหรับการเผาผลาญอาหารในร่างกาย สารอาหารทุกตัวที่ให้พลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ต้องใช้สังกะสี นอกจากนั้นสังกะสียังจำเป็นสำหรับขบวนการทางเคมีหลายอย่างในร่างกาย ประมาณว่าสังกะสีเป็นตัวร่วมที่ทำให้เอนไซม์กว่า 70 ชนิด ทำงานได้ตามปกติ เป็นต้นว่า การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด การทำงานของไต การซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ชำรุด เป็นต้น

ถึงแม้ว่าสังกะสีจะมีความจำเป็นต่อร่างกายมากเพียงไรก็ตาม แต่ถ้าได้รับมากเกินไปก็มีอันตราย คือ เมื่อร่างกายได้รับสังกะสีมากเกินไปจะขัดขวางการดูดซึมทองแดง จึงทำให้ร่างกายขาดทองแดงมีผลทำให้โลหิตจาง เม็ดโลหิตขาวตัว ทั้งอาจมีอาการคลื่นไส้ วิงเวียน ปวดเมื่อย ข้อแข็งเกร็ง มือที่เคยใช้เขียนหนังสืออย่างคล่องแคล่ว กลับจับต้องดินสอไม่ถนัด ทั้งยังมีอาการหงอยเหงามและเศร้าซึม ไม่อยากเคลื่อนไหว

ค่ากำหนดโลหะและแร่ธาตุเป็นพิษในอาหารของไทย

ตาม พ.ร.บ.อาหาร พ.ศ. 2522 ได้กำหนดค่าโลหะในอาหารควบคุมพิเศษหลายประเภท ปริมาณโลหะแต่ละชนิดที่กำหนดควบคุมเฉพาะแต่ละประเภทจะแตกต่างกันดังนี้

อาหารทั่วไปมีค่ากำหนดโลหะ 6 ชนิด ดังนี้ (ประกาศ สธ 98/2529)

ดีบุก	250	mg/kg
สังกะสี	100	mg/kg
ทองแดง	20	mg/kg
ตะกั่ว*	1	mg/kg
สารหนู	2	mg/kg
ปรอท	0.5	mg/kg สำหรับอาหารทะเล
	0.2	mg/kg สำหรับอาหารอื่น

* กรณีอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูงและใช้เยียวน้ำ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 91/2535) ให้มีได้ตามความเห็นของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

การอ้างอิง

- ¹ ประดิษฐ์ มีสุข และเสาวณี โพนกุล. "การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา," ปาริชาติ : 7 (1) : 6-9 : กุมภาพันธ์-กันยายน 2536.
- ² ประกาย บริบูรณ์ และลัดดาวัลย์ ใจนพพรณทิพย์. "การปนเปื้อนของโลหะในน้ำปลา น้ำเกลือปรุงรส และเกลือ," โภชนาการสาร. 25 (2): 34-42 : กุมภาพันธ์ 2534.
- ³ สุนันท์ นุชประมุข และคณะ. "การวิเคราะห์ปรอท ซีลีเนียม โบรมีน โคบอลต์ และสังกะสีในหอยชนิดต่าง ๆ โดยการอบนิวตรอนไอ" ในรายงานวิชาการประจำปี 2525 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 35-36.
- ⁴ มณฑา เดชกำแหง และเนาวรัตน์ สีนหะพันธ์. "การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสารตัวอย่างหอยชนิดต่าง ๆ โดยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชัน." ในรายงานวิชาการประจำปี 2536 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 12-16.
- ⁵ สุนันท์ นุชประมุข และคณะ. "การศึกษาปริมาณวิตามินพีซีที่ใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมซึ่งตกค้างในสภาวะแวดล้อมในลุ่มน้ำท่าจีน." ในรายงานวิชาการประจำปี 2526 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 18-40.
- ⁶ เปี่ยมศักดิ์ มีนาเสวต และวรัญญู ชีวาพาราราพิวัฒน์. "การสะสมของโลหะหนัก, DDT และ PCBs ในหอยแมลงภู่ ปลากระบอก และดินตะกอนของปริมาณปากแม่น้ำทั้งสี่แห่งของประเทศไทย" วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 1 (1) : 37-47 : มิถุนายน 2528.
- ⁷ Yamaoka. Y and Takimura O, "Marine algae resistant to Inorganic arsenic." AGRIC. BIOL. CHEM. ; 50 (1), : 185-186 : 1986.
- ⁸ ณรงค์ ณ เชียงใหม่. "อุบัติการณ์ของปรอทในสัตว์น้ำในอ่าวไทยตอนล่าง." การอนามัยและสิ่งแวดล้อม 10 (1) : 35 - 43 : มกราคม 2530.
- ⁹ พัชรา เพ็ชรพริณ. "การสะสมของโลหะปริมาณน้อยในสัตว์ทะเลบางชนิดที่จับได้บริเวณอ่าวระยอง." วิจัยสภาวะแวดล้อม 10 (2) : 42-47 : กุมภาพันธ์ 2531.
- ¹⁰ แววดา ทองระอา. "การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก." ข่าวสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 33(357) : 10-11 : มีนาคม 2535.
- ¹¹ Jaffar M., Ashref. M. and Rasool. A. "Heavy metal contents in some selected local fresh water fish and relevant waters" PAR. J. SCI. INDRES. 31 (3) : 189-193 : 1988
- ¹² Ho-YB. "Metals in 19 intertidal macroalgae in Hong Kong water," AQUAT. BOT., 9 (4) : 367-372 : 1988.
- ¹³ Ghosh - TK. "Toxicity of selective metals to fresh water algae, ciliated protozoa and planktonic crustaceans." ENVIRON. ECOL. 8 (18) : 356-360 : 1990.

บทที่ 2

การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

Atomic Absorption Spectrophotometry

เทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หรือ AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุชนิดหนึ่งที่สามารถทำได้ทั้งเชิงคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ซึ่งได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง และเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ทันสมัยโดยทั่วไปจะมีเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีอยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของเทคนิคนี้มีสูงมาก เพราะสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ในสารตัวอย่างเกือบทุกชนิด ตัวอย่างธาตุเหล่านี้ได้แก่ Cu, Zn, Cd, Sb, Bi, Fe, Co, Mn, Ni, Ag, Au, Pb, Ca, Sn, As, Ge, Se, Te, Ru, Hg, Si, ฯลฯ นับว่าใช้งานได้กว้างขวางและมีประสิทธิภาพสูง

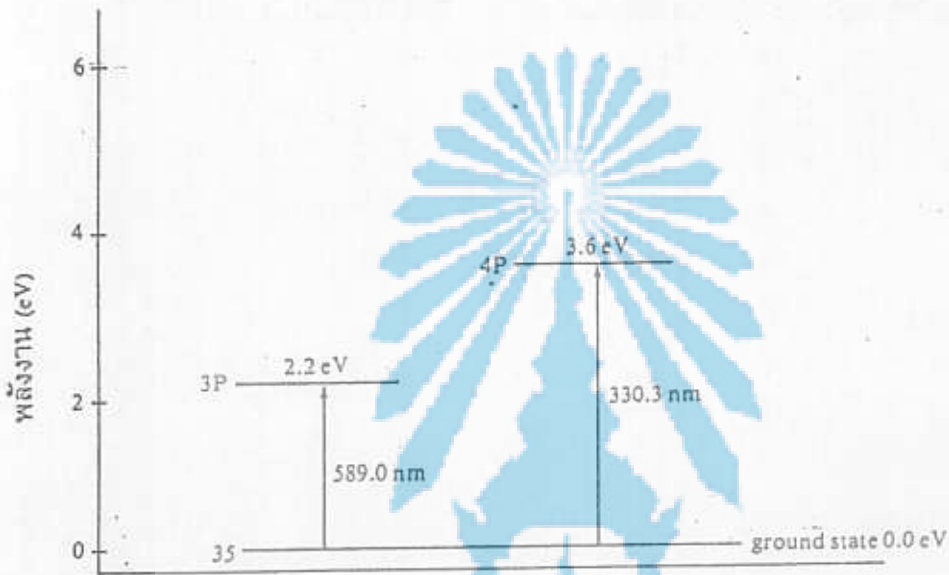
ปี ค.ศ. 1953 Walsh ได้สร้างความสนใจและแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีต่าง ๆ ของการใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปีเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโคปี ได้แก่ เทคนิคคัลเลอร์ิเมตรี (Colorimetry) และเทคนิคทางอะตอมมิกอิมิซชันสเปกโทรสโคปี (Atomic emission spectroscopy) และในปี ค.ศ. 1955 Walsh ได้พัฒนาเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปีขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีทางอะตอมมิกอิมิซชัน ที่ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

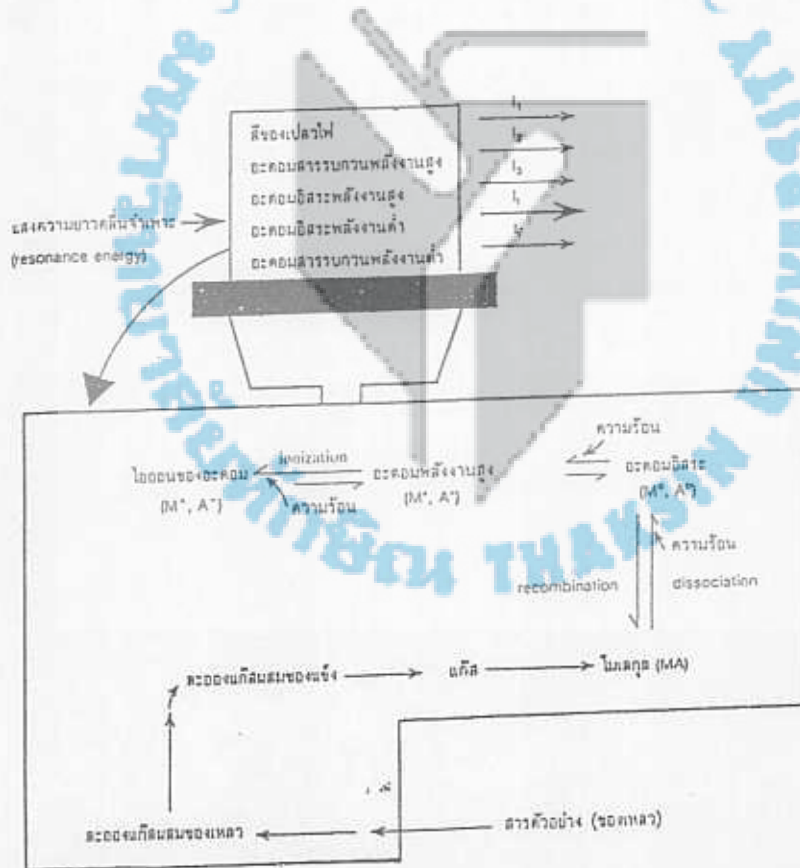
อะตอมมิกแอบซอร์พชัน เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่ความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมโซเดียมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ดังแสดงในรูป 2-1 ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็นเส้นสเปกโทรสโคปิก (spectroscopic line) ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องเกิดการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม (atomization) หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

จากรูปที่ 2-2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวถูกฉีดเข้าสู่เปลวไฟ ความร้อนจะทำให้ละอองของแก๊สผสมของเหลว (gas-liquid aerosol) กลายเป็นละอองของแก๊สผสมของแข็ง (solid-gas aerosol) แก๊สและโมเลกุลของสารตัวอย่าง (MA) ตามลำดับ เมื่อโมเลกุลได้รับความร้อนที่เหมาะสมจะแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (M^0, A^0) ซึ่งในขั้นตอนนี้ถ้าปล่อยพลังงานแสงจากแหล่งภายนอก



รูปที่ 2-1 แสดงระดับพลังงานของอะตอมโซเดียม (${}_{11}\text{Na}^{23}$) ($1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$)



รูปที่ 2-2 แสดงการดูดกลืนและและการเปล่งแสงของอะตอมในเปลวไฟ

ที่มีความยาวคลื่นจำเพาะสำหรับอะตอมนั้น ๆ ผ่านกลุ่มอะตอมอิสระ พลังงานแสงนี้จะถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมอิสระ ดังสมการ

$$A = \log I_0/I_t = knt$$

โดย A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

k = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient) ของอะตอม
ที่ความยาวคลื่นที่กำหนด

n = จำนวนอะตอมอิสระที่มีพลังงานต่ำ/มล.

t = ความกว้างของเปลวไฟที่แสงผ่าน (ซม.)

ดังนั้นเมื่อวัดความเข้มของแสงที่เหลือจากการดูดกลืนโดยอะตอม จึงสามารถหาความเข้มข้นของธาตุได้โดยวิธีการของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของเปลวไฟที่สูงเกินไปทำให้อะตอมอิสระบางส่วนกลายเป็นอะตอมพลังงานสูง (M^+ และ A^+) และแตกตัวเป็นไอออน (M^+ และ A^+) ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ยังมาจากแสงจากสีของเปลวไฟ แสงที่ปล่อยจากอะตอมของสารรบกวนแสงที่ปล่อยออกมาจากอะตอมอิสระพลังงานสูงตลอดจนการดูดกลืนแสงจำเพาะโดยสารรบกวนดังนั้นจึงต้องลดความผิดพลาดเหล่านี้โดยเทคนิคต่าง ๆ ตามความเหมาะสมต่อไป

✓ เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้เทคนิคเปลวอะตอมไมเซชัน (Flame Atomization Technique) เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม
2. ใช้เทคนิคอะตอมไมเซชันแบบไร้เปลวไฟ (Flameless Atomization Technique หรือ Non-Flame Atomization Technique) ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่าง ๆ กัน และใช้เวลาต่าง ๆ กันได้
3. ใช้เทคนิคไฮไดรด์เจเนอเรชัน (Hydride Generation Technique) เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่าย ๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb
4. ใช้เทคนิคไอเย็น (Cold Vapor Generation technique) สำหรับเทคนิคที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่าย เช่นปรอท จึงใช้วิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะ

ลักษณะของเปลวไฟ

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเปลวไฟค่อนข้างซับซ้อน ควรศึกษาถึงคุณลักษณะของเปลวไฟเพื่อใช้ประโยชน์ในการเลือกชนิดของเชื้อเพลิง อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิง ความสูงของเปลวไฟ เหนือตะเกียง (burner) ที่ใช้เป็นแหล่งของอะตอมอิสระ (atom reservoir) และชนิดของตะเกียง

เปลวไฟทำหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

1. ใช้ในการเปลี่ยนสารที่ต้องการวิเคราะห์จากของเหลว หรือของแข็งที่อยู่ในรูปซัสเพนชัน ไปเป็นแก๊ส
2. ใช้ในการสลายสารประกอบของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นอะตอมอิสระ
3. ใช้ในการผลิตอะตอมอิสระที่สภาวะเร็ว เช่น ใช้ในเฟลมโฟโตมิเตอร์

เปลวไฟที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุแต่ละอย่าง
2. เฟลมแบคกราวนด์ (flame background) ต้องไม่รบกวนในการวัดความยาวคลื่นที่สนใจ

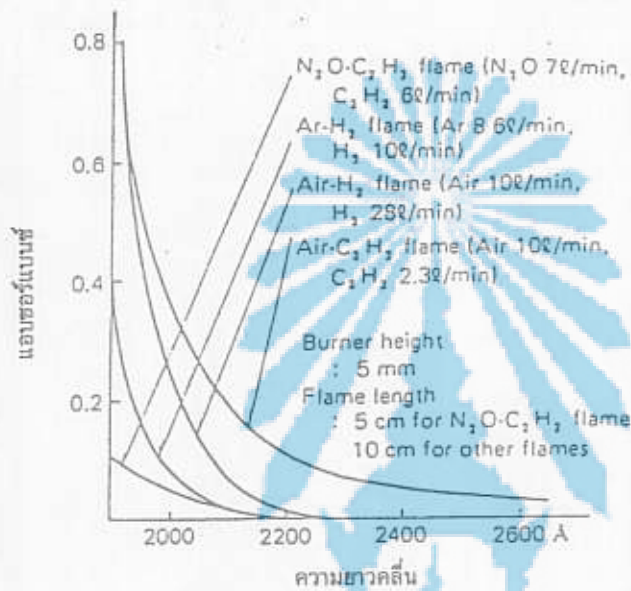
เปลวไฟที่ใช้กันโดยทั่วไปในเฟลมโฟโตมิเตอร์และอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี ได้แก่ อากาศ/ไพรเพน (อากาศ/บิวเทน) อากาศ/อะเซทีลีน ไนตรัสออกไซด์/อะเซทีลีน และอากาศ/ไฮโดรเจน (อาร์กอน/ไฮโดรเจน)

อากาศ/ไพรเพน ให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือ ประมาณ 1,900 องศาเซลเซียส ซึ่งร้อนพอที่จะทำให้เกิดอะตอมอิสระของธาตุได้หลายธาตุ เช่น Cu, Pb, K, Na และ Zn ถ้าธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ดำรงอยู่ในของผสมที่มีส่วนประกอบ หรือโครงสร้างซับซ้อน ธาตุนั้นอาจเกิดสารประกอบทนไฟ เช่น รีแฟรกทอรี ออกไซด์ (refractory oxide) อยู่ในเปลวไฟ เมื่อเปลวไฟนั้นร้อนไม่พอที่จะทำให้สารประกอบแตกตัวอย่างสมบูรณ์

อากาศ/อะเซทีลีน เป็นเปลวไฟที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใน ASS เปลวไฟชนิดนี้มีอุณหภูมิประมาณ 2,300 องศาเซลเซียส นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทรานซิชัน สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ประมาณ 30 ธาตุ

ไนตรัสออกไซด์/อะเซทีลีน เป็นเปลวไฟที่ให้ความร้อนมากที่สุด ที่อุณหภูมิประมาณ 3,000 องศาเซลเซียส นิยมใช้เปลวไฟชนิดนี้สำหรับการเกิดอะตอมอิสระของธาตุที่เปลี่ยนเป็นอะตอมได้ยาก เช่น Al, Si และธาตุหายาก (rare-earth element)

เปลวไฟที่เกิดจากอากาศและไฮโดรเจน (air-H₂ flame) หรือ อาร์กอน-ไฮโดรเจน (Ar-H₂ flame) เปลวไฟที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง แก๊สไฮโดรเจนเองติดไฟได้โดยมีอากาศช่วย เปลวไฟนี้จะใช้ในกรณีที่ใช้เทคนิคไฮโดรด์เจเนอเรชัน หรือใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Zn, Pb Cd และ Sn ซึ่งใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น แบคกราวนด์แอบซอร์พชัน (background absorption) จะต้องต่ำ เปลวไฟที่เกิดจากอากาศและไฮโดรเจนจึงเหมาะสมที่สุด เพราะเป็นรีดิวซิงสเฟลม (reducing flame) ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2-3 แต่ก็มีข้อเสียที่อุณหภูมิของเปลวไฟค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการแทรกสอดมากขึ้น



รูปที่ 2-3 แสดงการดูดกลืนของเปลวไฟต่าง ๆ

เครื่องมือที่ใช้ใน ASS

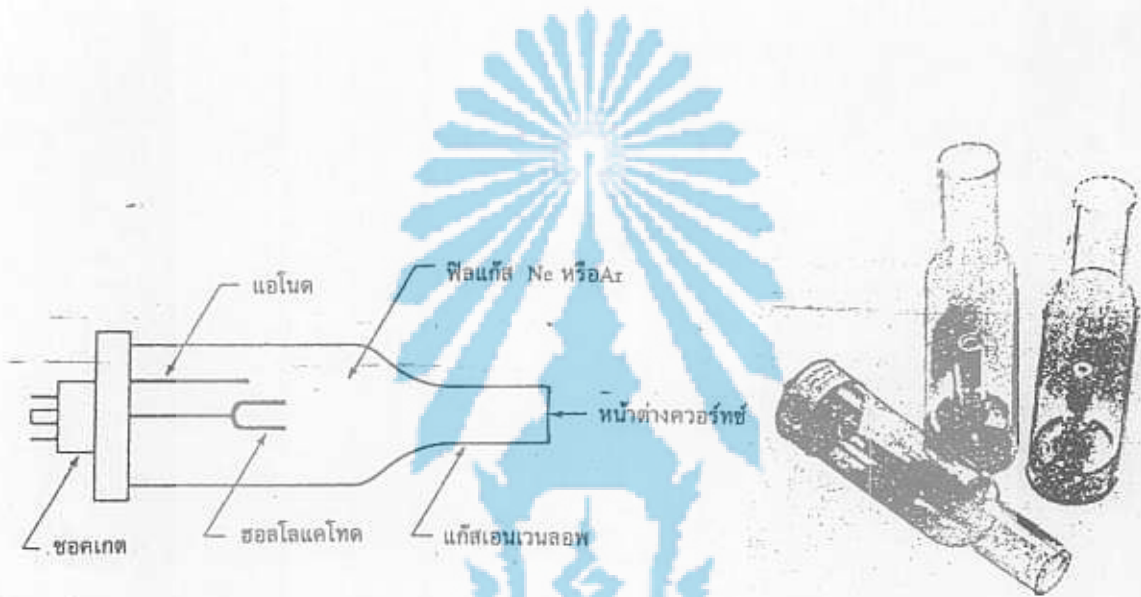
การวิเคราะห์ปริมาณโดยเครื่องอะตอมมิคแอมซอร์พชัน จะคล้ายกับเครื่องสเปกโทรแบบอื่น ๆ ซึ่งใช้กฎของเบียร์อธิบาย ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนกับจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอะตอมมิคแอมซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ได้แก่ แหล่งของแสงเฉพาะธาตุ ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ โมโนโครเมเตอร์ ดีเทคเตอร์ เครื่องประมวลผลและอ่านผล ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แหล่งของแสงเฉพาะธาตุ (light source)

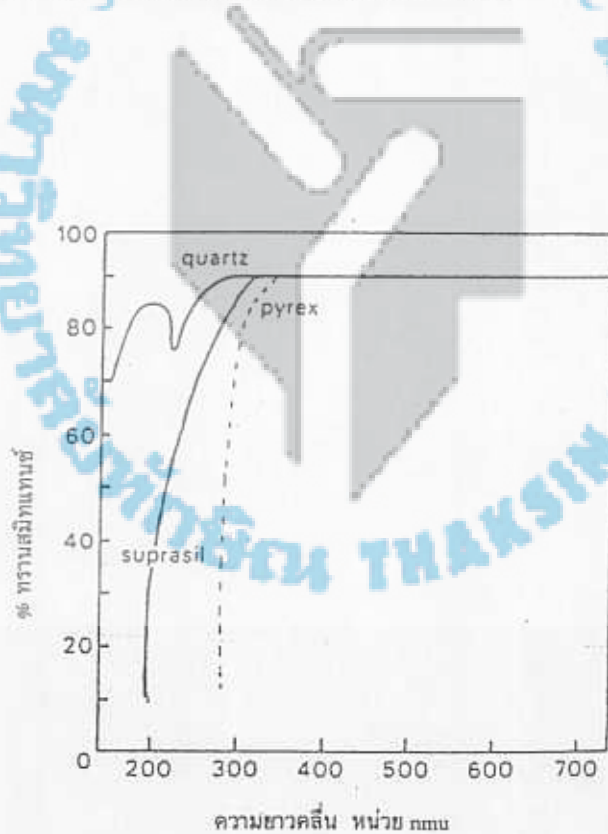
โดยการใช้แหล่งของคลื่นแสงที่คายเส้นสเปกตรัมซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับเส้นสเปกตรัมที่ถูกดูดกลืนโดยสารนั้น นอกจากนั้นความกว้างของแถบสเปกตรัมที่ได้จากแหล่งของแสงยังใกล้เคียงกับความกว้างของแถบสเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงของสารนั้น โมโนโครมาเตอร์ที่ใช้ในการกระจายแสงจึงไม่จำเป็นต้องมีความสามารถในการแยกคลื่นแสงสูง แหล่งของคลื่นแสงที่คิดค้นขึ้นโดย Walsh มีชื่อว่าหลอดซอลโลแคโทด (Hollow cathode lamps ; HCLs) ยังเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน มีลักษณะและส่วนประกอบต่าง ๆ ดังรูปที่ 2-4

ลักษณะของหลอดซอลโลแคโทด จะประกอบด้วยขั้วแคโทดซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลางหรือรูปถ้วย แล้วฉาบด้วยโลหะหรือผงโลหะที่ต้องการให้ถูกกระตุ้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มีเส้นเรโซแนนซ์ (resonance lines) ส่วนขั้วแอโนดทำด้วยโลหะนิกเกิลหรือทังสเตนหรือเซอร์โคเนียมเป็นแท่งเล็ก ๆ ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนีออนหรืออาร์กอนที่ความดันประมาณ 4-10 torr. ส่วนวินโดว์ (window) อาจเป็นแก้วไฟเร็กซ์หรือควอร์ต ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงยูวี วินโดว์ต้องทำด้วยควอร์ตหรือซิลิกา แต่ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงวิสิเบิลก็อาจใช้แก้วไฟเร็กซ์หรือควอร์ตได้ดังแสดงในรูปที่ 2-5

และที่สำคัญวินโดว์จะต้องสะอาดเสมอ การใช้หลอดซอลโลแคโทดควรจะใช้กระแสไฟฟ้าให้ถูกต้อง โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 3-30 mA ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ เมื่อใช้กระแสไฟฟ้ามาก ๆ จะทำให้อายุของหลอดสั้น แต่ได้แสงมีความเข้มสูง



รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะของหลอดซอลโลแคโทด



รูปที่ 2-5 แสดงสมบัติในเชิงทรานสมิตแทนซ์ของควอartz และไฟเร็กซ์

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุดกลายเป็นอะตอมอิสระ (The Atomization Process หรือ Atomizer)

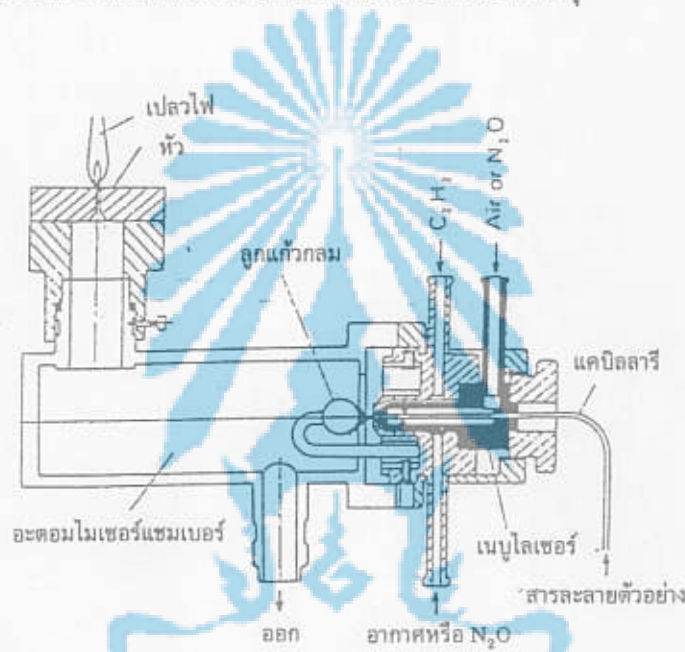
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง ASS นั้นจะประสบความสำเร็จอย่างดีมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ทำให้เกิดขึ้น เพราะอะตอมอิสระเป็นตัวดูดกลืนแสงที่จะทำการวัด โดยเลือกใช้ความยาวคลื่นของแสงที่เหมาะสมผ่านเข้าไป ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีนี้ได้ผลดีเพียงใดนั้น จึงขึ้นอยู่กับเกิดการอะตอมอิสระที่ดำรงอยู่ที่สภาวะพื้นโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ ขั้นตอนต่าง ๆ ของการเกิดอะตอมอิสระภายในเปลวไฟประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เนบิวไลเซชัน (Nebulization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ ด้วยเครื่องที่เรียกว่า เนบิวไลเซอร์ (nebulizer)
 2. ดรอปเพิลพรีซิพิตชัน (Droplet precipitation) เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายโตไม่สามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง
 3. มิกซิง (Mixing) เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงและออกซิแดนท์ (oxidant) ในสเปรย์แชมเบอร์ (spray chamber) ของเนบิวไลเซอร์
 4. ดีโซลเวชัน (Desolvation) เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ
 5. สารประกอบแตกตัว (Compound decomposition) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการไอออไนเซชันต่อไปได้
- กระบวนการทั้ง 5 ขั้นตอนดังกล่าวแสดงเป็นภาพประกอบดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แสดงกระบวนการเฟลมอะตอมไมเซชัน

โดยทั่วไปเมื่อเวลาใช้เครื่องแก๊สที่เป็นเชิงเพลิงและออกซิแดนที่จะผ่านเวนจูรี (venturi) เข้าไปในเนบิวไลเซอร์จะทำให้สารละลายถูกดูดเข้าไปด้วยอัตราความเร็วตามที่ต้องการได้ (1-4 ml/min) เพื่อให้สารละลายที่พ่นไปชนกับลูกแก้วกลม (glass bead) ดังรูป 2-7 ละอองเล็ก ๆ ซึ่งเป็นแบบเดียว (uniform) จะเข้าไปยังเปลวไฟเพื่อเผาให้สลายตัวเป็นอะตอมอิสระของธาตุ



รูปที่ 2-7 แสดงนิวเมติกเนบิวไลเซอร์และสเปรย์แชมเบอร์ (pneumatic nebulizer and spray chamber)

3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) หรือฟิลเตอร์ (Filter)

เครื่องมือที่ใช้ในเทคนิคนี้ต้องประกอบด้วยเครื่องกระจายแสงหรือแยกคลื่นแสงที่มีคุณภาพดีให้แถบคลื่นที่แคบสามารถแยกเส้นสเปกตรัมของแสงที่จะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระของธาตุที่จะวิเคราะห์ได้ ปกติมักใช้เกรตติ้งโมโนโครเมเตอร์ (grating monochromator) แต่ในการวิเคราะห์ธาตุอัลคาไลซึ่งมีเส้นสเปกตรัมที่แคบไม่กั้นเส้นปรากฏในช่วงวิสิเบิลอาจใช้ฟิลเตอร์ที่ทำด้วยแก้วแทนโมโนโครเมเตอร์ได้ และนิยมใช้ตัวกรองการสอดแทรก (interference filter) แบบเปลี่ยนได้

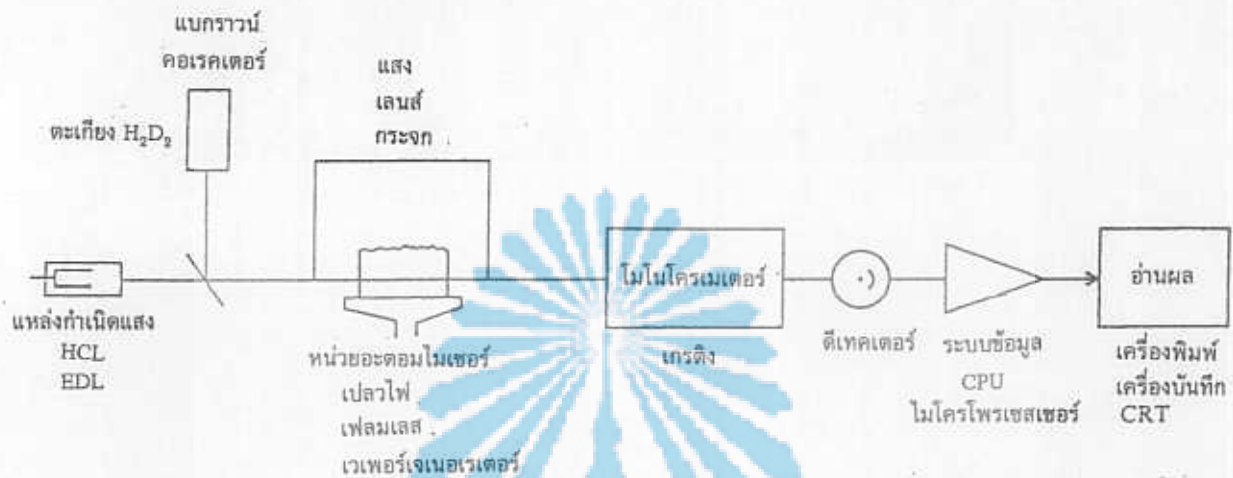
4. ดีเทคเตอร์ (Detector)

ใช้วัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกจากสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ มักนิยมใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ เป็นเครื่องวัดความเข้มแสง

5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (Data system and read - out units)

เป็นส่วนแสดงค่าแอบซอร์พแบนซ์ (absorbance) ที่วัดได้

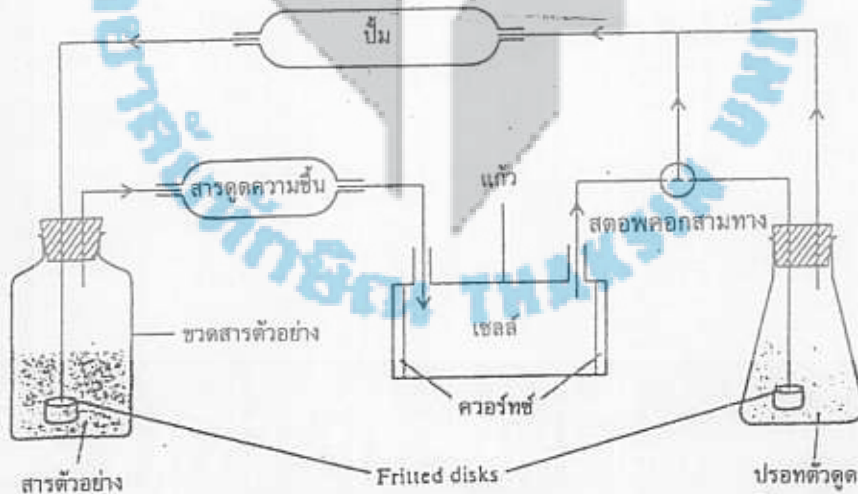
อุปกรณ์และลักษณะต่าง ๆ ของ ASS แสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แสดงแผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอะตอมไมกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

✓ การวิเคราะห์หาปริมาณของปรอทด้วยวิธีเทคนิคแบบไอเย็น (Cold Vapor Technique)

เทคนิคแบบไอเย็นเป็นเทคนิคอะตอมไมเซชันไร้เปลวไฟ แบบเวเพอ์เจเนอเรชัน (vapor generation) ซึ่งโดยหลักการแล้วใช้วิธีรีดักชันสารประกอบของปรอทด้วยสารละลาย SnCl_2 ในกรด Hg^{2+} จะถูกรีดิวซ์ออกมาเป็น Hg^0 แล้วป้อนไอของปรอทผ่านสารดูดความชื้น (desiccant) เพื่อนำเข้าไปในเซลล์ดูดกลืนที่ทำด้วยแก้ว แต่วินโดว์เป็นควอ์ตซ์ วัดแอมบซอร์พเม้นท์ที่ความยาวคลื่น 253.6 nm โดยใช้ Hg-HCl สำหรับการหาปริมาณของปรอทโดยวิธีนี้มีความไวดีกว่าใช้ AAS แบบเปลวไฟประมาณ 2,000 เท่า คือ สามารถหาปรอทได้ถึง $0.001 \mu\text{g/ml}$ ลักษณะของเครื่องมือเป็นดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 แสดงภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณของปรอทด้วยเทคนิคไอเย็น

ปัญหาและข้อแนะนำในการวิเคราะห์ปรอทโดยใช้เทคนิคไอเย็น มีดังนี้

1. หลีกเลี่ยงไม่ให้มี KI เพราะเมื่อมี I^- ปนอยู่เพียงเล็กน้อยจะทำให้การตอบสนองของการวิเคราะห์ลดลง ตรวจสอบให้แน่ใจว่าในระบบที่ใช้ไม่มีการปนเปื้อนไอโอดีน (I^-) โดยเฉพาะในระบบการแยกสายพลาสติกและเซลล์ควอร์ทซ์
2. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าสารละลายตัวอย่าง (Hg^{2+}) นั้น ทำให้เสถียรด้วยสารละลาย HNO_3 และ $K_2Cr_2O_7$
3. อาจใช้สารละลาย $NaBH_4$ หรือ $SnCl_2$ เป็นตัวรีดิวซ์ในการทำให้เกิดอะตอมของปรอท
4. ควรเลือกใช้ $SnCl_2$ เมื่อ
 - ก. สารละลายตัวอย่างอาจให้ฟองมาก เช่น ของไหลจากสิ่งมีชีวิต
 - ข. สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของธาตุต่อไปน้สูง ได้แก่ ธาตุ As, Se, Sb
5. ควรปล่อยให้เวลาผ่านไประยะหนึ่งก่อนวัดเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือสัญญาณถูกรบกวน และต้องตรวจสอบอัตราการปั๊ม (pumping rates) อยู่เสมอ รวมทั้งต้องตรวจสอบการวางเซลล์ควอร์ทซ์ให้ตรง

เทคนิคไฮโดรเจนเนอเรน (Hydride Generation Technique)

โลหะธาตุกลุ่มหนึ่ง คือ As, Se, Bi, Sb, Sn และ Te เมื่อถูกเปลี่ยนเป็นไอของสารประกอบไฮโดรเจนแล้วทำให้กลายเป็นไอของอะตอมของธาตุได้ง่าย การวัดปริมาณการดูดกลืนแสงของไอของอะตอมของธาตุเหล่านี้ โดยใช้เทคนิคนี้ทำได้ดีและมีความไวสูง

โดยการนำสารละลายตัวอย่างที่มีสภาพเป็นกรดมาทำปฏิกิริยากับ $NaBH_4$ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะรีดิวส์ธาตุดังกล่าวข้างต้นได้สารประกอบไฮโดรเจนของธาตุที่ระเหยได้ง่าย จากนั้นผ่านแก๊สไนโตรเจนพาไอสารประกอบไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์ควอร์ทซ์ แล้วให้ความร้อนสูงโดยใช้เฟลมเพื่อทำให้เกิดไออะตอมของธาตุที่ต้องการวัดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมดใช้เวลาสั้นมากวิธีนี้จึงมีความไวสูงมาก

๒๑๖.๙๒
๒๑๖.๕
๒๑๓.๙
๒.๑

๒๑๖.๙๒



บทที่ 3

การทดลอง

การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอทในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา คือ กุ้ง หอย ปู ปลา และสาหร่าย โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี มีขั้นตอนดังนี้

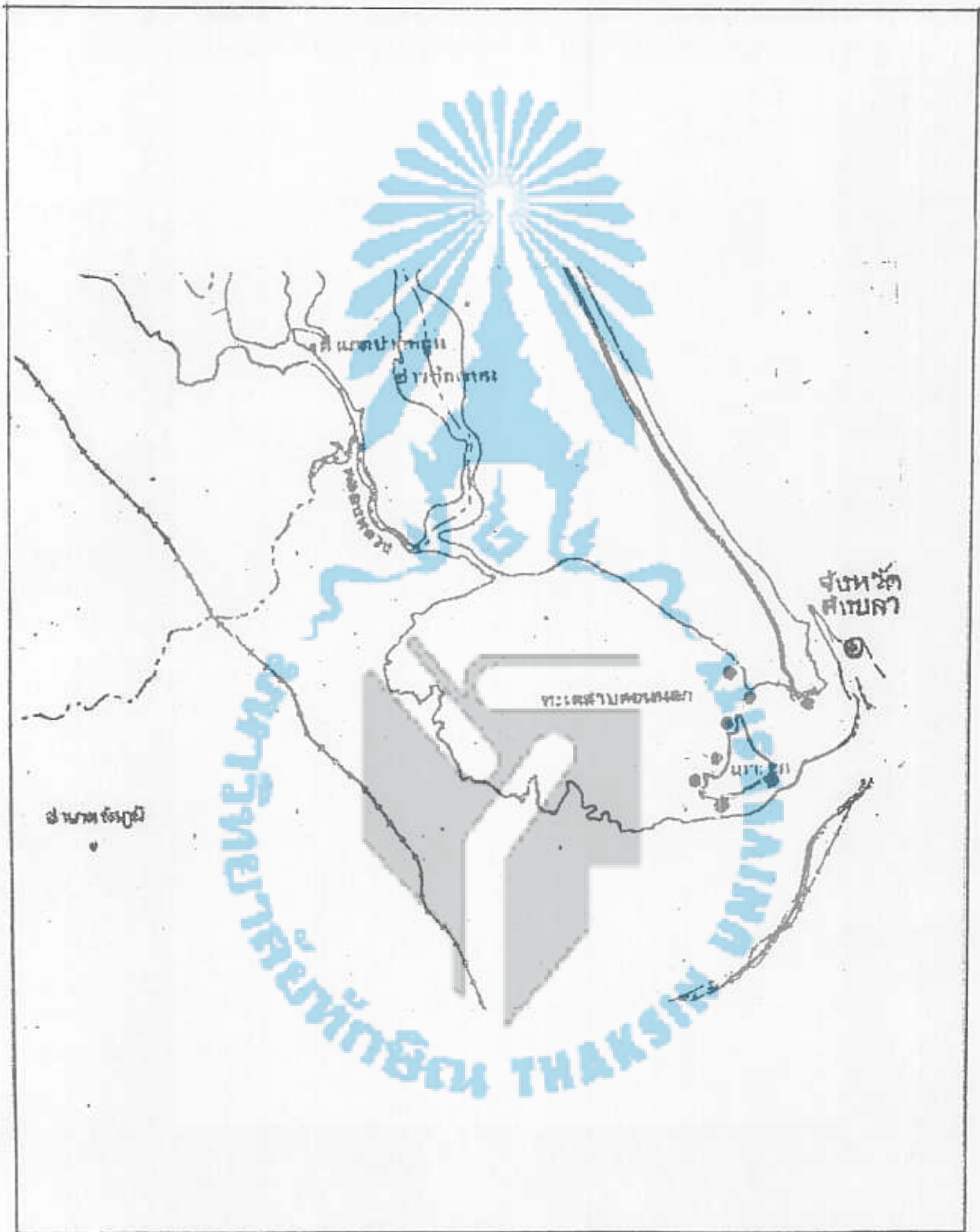
1. การเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง
3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีการทดลอง

สถานที่ทำการทดลองและเก็บตัวอย่าง

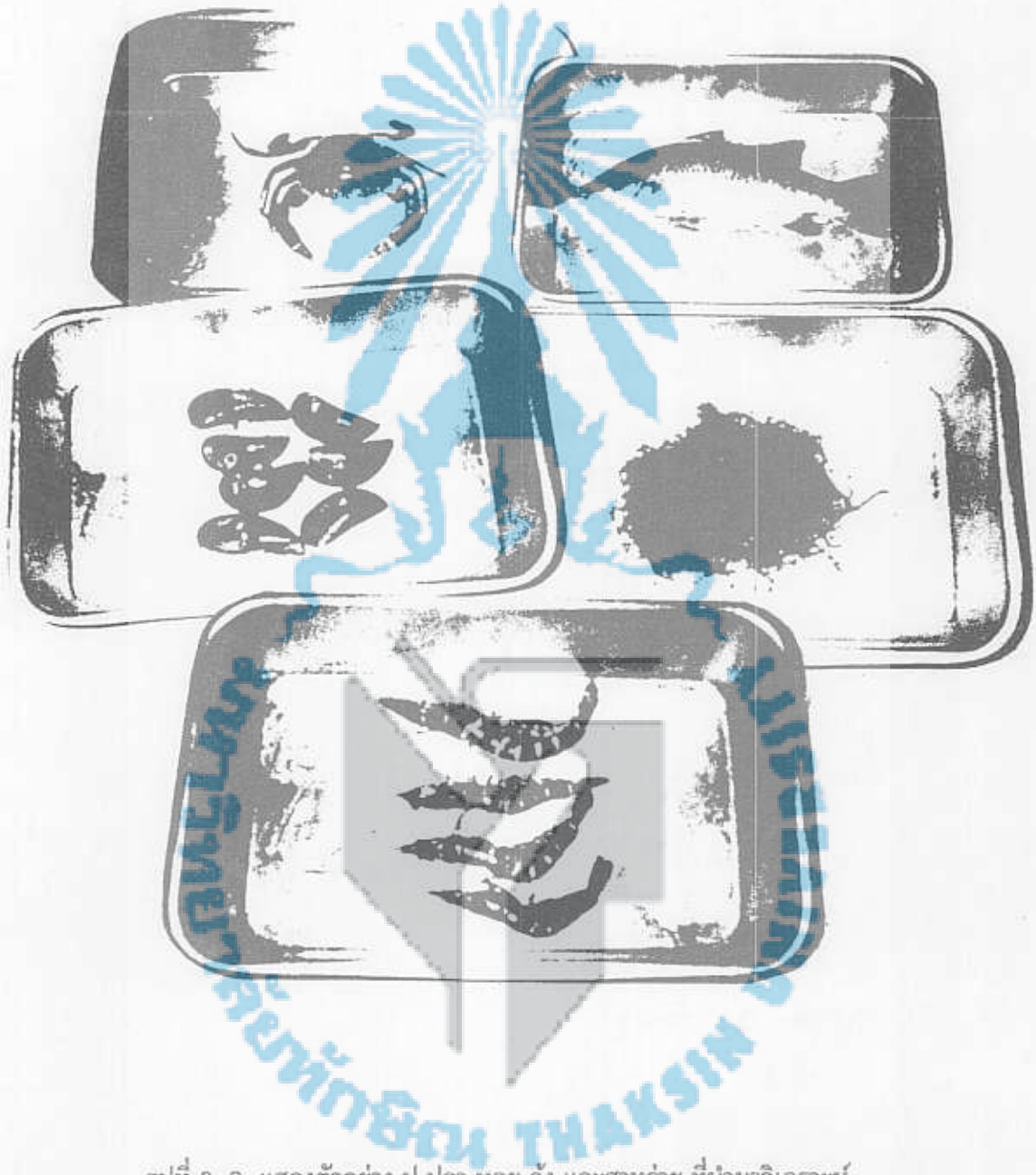
เก็บตัวอย่างปลากระพงขาวที่เลี้ยงที่บริเวณเกาะยอและสทิงหม้อ ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538 รวม 5 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างกุ้งที่จับได้จากทะเลสาบสงขลา 5 ตัวอย่าง ปู 4 ตัวอย่าง หอยแมลงภู่ 4 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างสาหร่ายผมนาง 6 ตัวอย่าง รวม 24 ตัวอย่าง แล้วนำมาทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนักที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิชา

ตาราง 3-1 แสดงบริเวณจุดเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

บริเวณ	ผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา				
	ปลากระพงขาว	กุ้ง	หอยแมลงภู่	ปู	สาหร่ายผมนาง
สวนใหม่	/	/	/	/	//
อ่าวทราย	/	/	/	/	/
บ่อหลา	/	/	/	/	/
ป่าไหนด	/	/	/	/	/
ท่าเสา	/	/	/	/	/
สวนทุเรียน	/	/	/	/	//
สะพานติณ ฯ	/	/	/	/	/
หัวเขา	/	/	/	//	/
รวม	5	5	4	4	6



รูปที่ 3-1 แสดงทะเลสาบสงขลาตอนล่างและปลายจุดที่เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ



รูปที่ 3-2 แสดงตัวอย่าง ปู ปลา หอย กุ้ง และสาหร่าย ที่นำมาวิเคราะห์

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โมเดล AA-680 ของ ชิมาดสึ (Shimadzu)
- ไฮโดรด์เจนเนอเรเตอร์ โมเดล HVG-1
- เตาอบ โมเดล 6-1350A
- แผ่นร้อน (Hot plate)
- กรวยแยก (Separatory funnel)
- ตะเกียงบุนเสน (Bunsen burner)
- ถ้วยกระเบื้อง (Poscelain crucible)
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาดต่าง ๆ

สารเคมี

- สารละลายแมกนีเซียมไนเตรต 50% w/v (50% w/v $Mg(NO_3)_2$) โดยชั่ง $Mg(NO_3)_2$ 125 g ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 ml
- กรดไนตริก 20% v/v (20% v/v HNO_3) เตรียมจากกรดไนตริกเข้มข้น (70%) 285.7 ml เติมน้ำ 400 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 ml ในขวดวัดปริมาตร
- สารละลายแอมโมเนียมฟอสฟอโรลิติบไดไฮดรอกไซด์ (APDC) 2% w/v โดยชั่ง APDC 5 g ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 ml ในขวดวัดปริมาตร
- สารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนซัลเฟต (DHC) 11.9% เตรียมชั่ง DHC 124g ละลายในน้ำ 500 ml เติม APDC 2% 12.5 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วสกัดด้วย $CHCl_3$ 25 ml และ 10 ml อีก 2 ครั้ง โดยไขแยกชั้น $CHCl_3$ ออกทุกครั้ง จากนั้นก็เก็บชั้นน้ำในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml เติมน้ำ NH_4OH เข้มข้น 80 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 ml
- กรดไฮโดรคลอริก 5 M (5 M HCl) เตรียมจาก HCl เข้มข้น 208.3 ml เติมน้ำ 200 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 500 ml ในขวดปริมาตร
- สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.4 % (0.4 % $NaBH_4$) เตรียมโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 g และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 2.0 g ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml ในขวดวัดปริมาตร
- สารละลายสแตนัสคลอไรด์ 0.5 M (0.5 M $SnCl_2$) เตรียมโดยชั่ง $SnCl_2$ 22.56 g ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 17 ml ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตร
- สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.5 M (0.5 M $KMnO_4$) เตรียมโดยชั่ง $KMnO_4$ 79 g ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml
- สารละลายไฮดรอกซีลามีเนอ ไฮโดรคลอไรด์ 0.5 M (0.5 M $OHNH_2 \cdot HCl$) เตรียมชั่ง $OHNH_2 \cdot HCl$ 6.95 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml



รูปที่ 3-3 แสดงเครื่อง Shimadzu model AA-680 Atomic absorption Spectrophotometer



รูปที่ 3-4 แสดง Muffle Furnace (NEY model 6 - 1350 A)

✓ วิธีการทดลอง

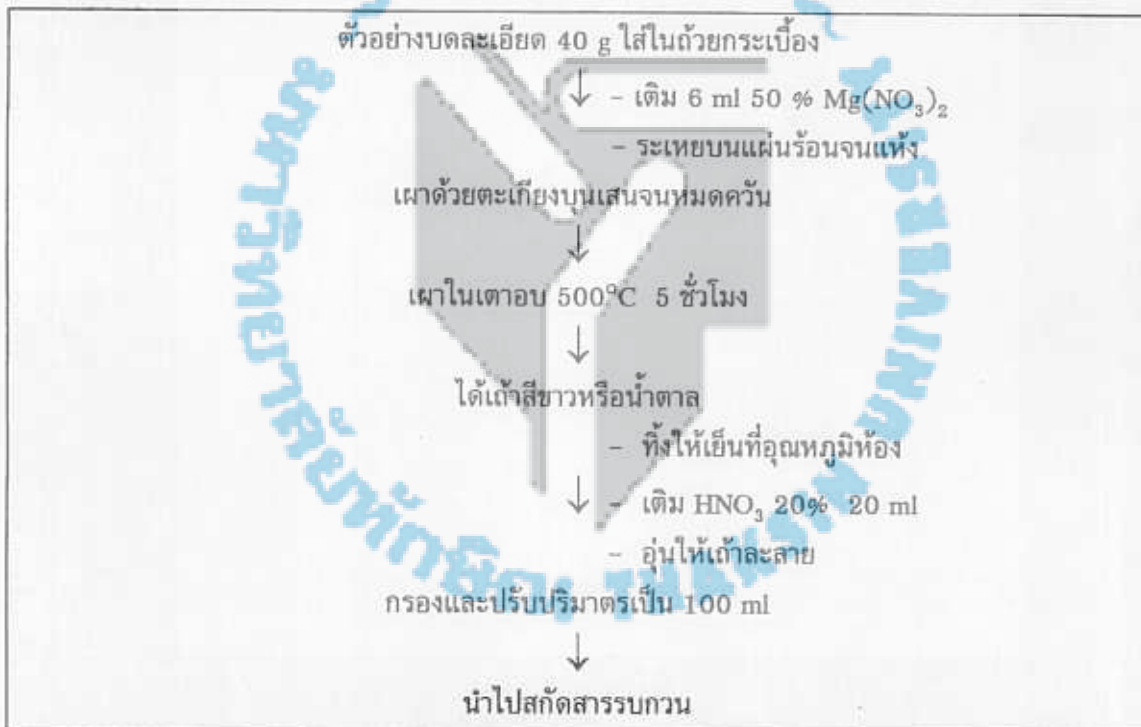
- การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องแก้ว

ใช้ของผสม HNO_3 1% เอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ในอัตราส่วน 1:1 ล้างเครื่องแก้วต่าง ๆ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง คว่ำให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

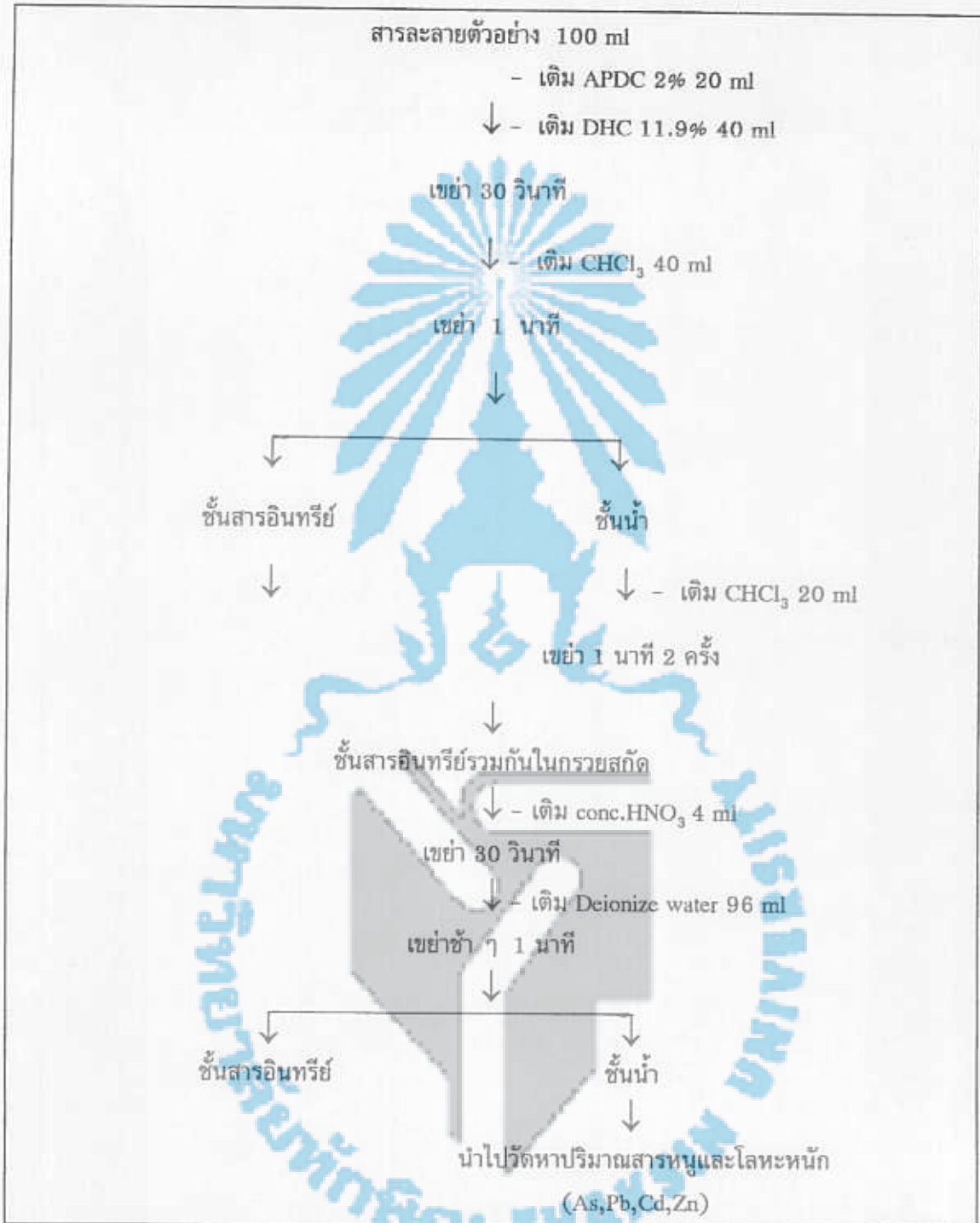
- การย่อยตัวอย่างโดยวิธีเถ้าแห้ง (dry ashing)

สำหรับการวิเคราะห์ Pb, Cd และ Zn มีวิธีการดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 40 g ลงในถ้วยกระเบื้อง
2. เติมสารละลายแมกนีเซียมไนเตรต 6 ml ผสมให้เข้ากัน
3. นำไประเหยบนแผ่นร้อนจนแห้ง แล้วจึงนำไปเผาต่อบนตะเกียงเบนเสนจนหมดควัน จากนั้นนำตัวอย่างไปเผาในเตาอบที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีขาว ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. เติม HNO_3 20% 20 ml อุ่นให้เถ้าละลาย แล้วกรองผ่านกระดาษกรองลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปสกัดสารรบกวนก่อนนำไปวัดหาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก



แผนภาพแสดงการย่อยตัวอย่างโดยวิธีเถ้าแห้ง (dry ashing)



แผนภาพแสดงการสกัดสารบกวน

- การย่อยตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปรอท
- 1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 4 g ใส่ในขวดรูปชมพู่
- 2. เติมกรดซัลฟูริก 5 ml แล้วนำไปให้ความร้อนบนแผ่นร้อนจนตัวอย่างย่อยจนหมด
- 3. เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจนตัวอย่างออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์
- 4. เติมสารละลายไฮดรอกซีลามีน ไฮโดรคลอไรด์เพื่อรีดิวซ์ เปอร์แมงกาเนตที่มากเกินไป
ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml
- 5. เติมสแตนด์สคโลไรด์ลงไปในการละลาย 2 ml
- 6. นำไปวัดหาปริมาณปรอทโดยให้เทคนิคแบบไอเย็น



แผนภาพแสดงการย่อยตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณปรอท

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท เพื่อนำไปเขียนกราฟมาตรฐาน แสดงผลตามตาราง 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

สารละลายมาตรฐาน

ตาราง 4-1 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายมาตรฐานสารหนูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.02	0.146
2	0.05	0.218
3	0.07	0.365

ตาราง 4-2 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	1.00	0.008
2	5.00	0.046
3	10.00	0.080
4	15.00	0.140
5	20.00	0.197

ตาราง 4-3 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.050	0.006
2	0.100	0.010
3	1.000	0.134
4	2.000	0.272

ตาราง 4-4 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.050	0.007
2	0.100	0.030
3	1.000	0.244
4	1.500	0.292

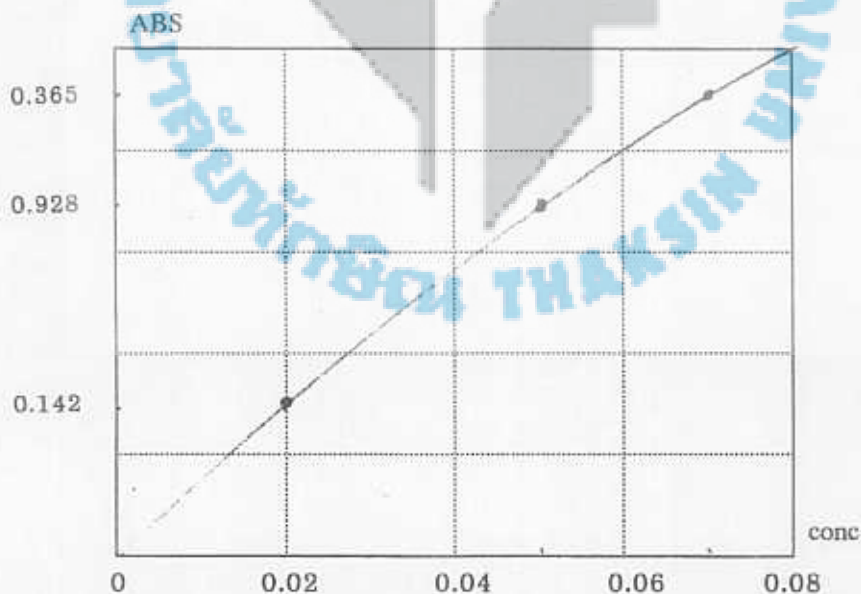
ตาราง 4-5 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	20	0.005
2	35	0.007
3	65	0.007
4	80	0.010

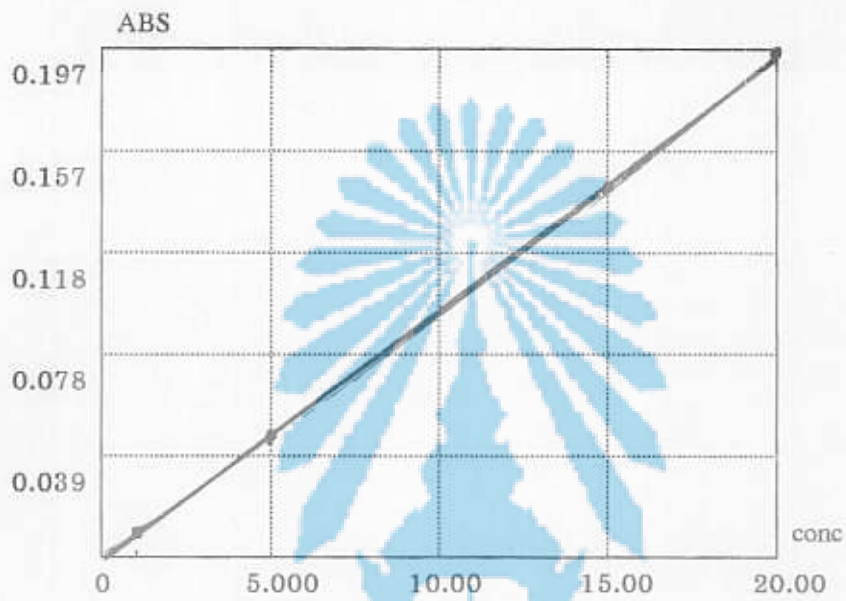
กราฟมาตรฐาน

จากค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่วัดได้สามารถนำไปสร้างเส้นกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของ As, Pb, Cd, Zn และ Hg ได้ดังรูป 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 และ 4-5 ตามลำดับ

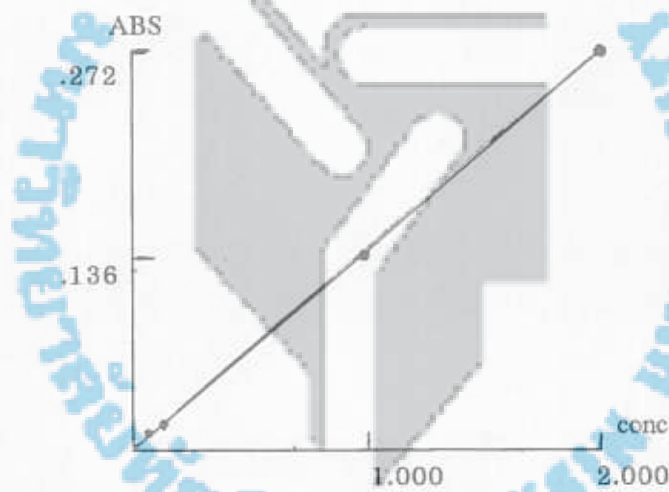
เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างแล้ว นำไปคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างได้จากสมการ



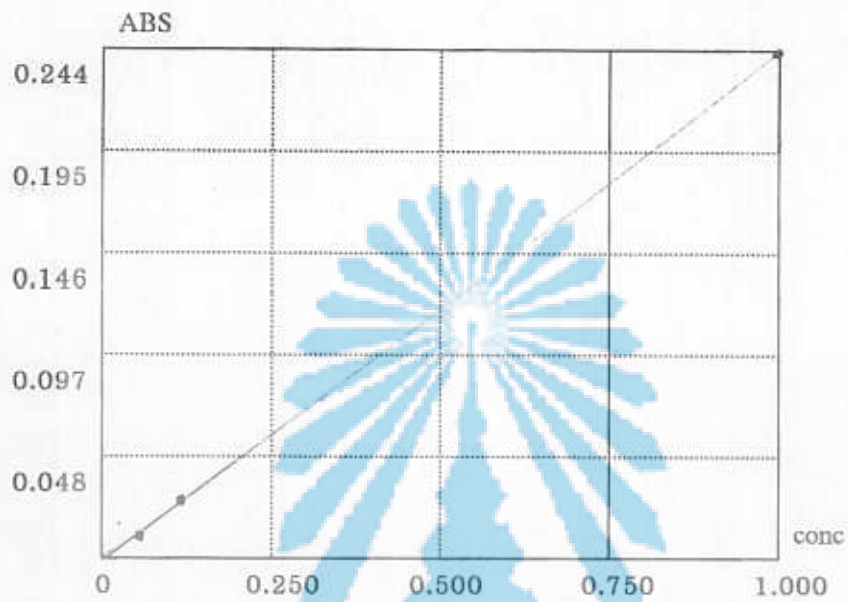
รูปที่ 4-1 แสดงเส้นกราฟมาตรฐานของสารละลายสารหนู



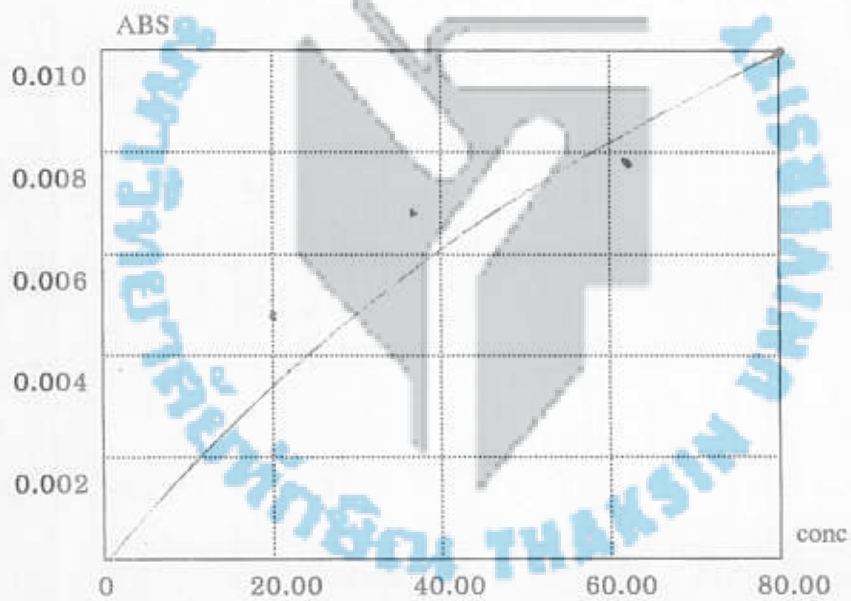
รูปที่ 4-2 แสดงเส้นกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว



รูปที่ 4-3 แสดงเส้นกราฟมาตรฐานของสารละลายแคดเมียม



รูปที่ 4-4 แสดงเส้นกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี



รูปที่ 4-5 แสดงเส้นกราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท

$$\text{Actual Conc. (ppm)} = \text{Conc. (ppm)} \times M \times L/W$$

เมื่อ Conc คือ ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

M คือ dilution factor

L คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (ml)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งมา (g)

ผลการทดลอง

ตาราง 4-6 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ในตัวอย่างปลากะพงขาวจากแหล่งต่าง ๆ หน่วย ppm

บริเวณ	As	Pb	Cd	Zn	Hg
สวนใหม่	ไม่พบ	0.163	ไม่พบ	1.221	0.050
อ่าวทราย	ไม่พบ	0.443	ไม่พบ	0.094	0.107
บ่อหลา	0.250	1.500	ไม่พบ	1.881	ไม่พบ
ป่าไหนด	0.150	1.305	ไม่พบ	1.465	0.085
ท่าเสา	ไม่พบ	1.985	0.010	0.329	0.016
ค่าเฉลี่ย	0.080	1.077	0.002	0.998	0.052

ตาราง 4-7 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ในตัวอย่างกุ้งจากแหล่งต่าง ๆ หน่วย ppm

บริเวณ	As	Pb	Cd	Zn	Hg
สวนใหม่	ไม่พบ	2.625	0.038	1.003	0.011
บ่อหลา	ไม่พบ	0.620	ไม่พบ	0.129	ไม่พบ
ป่าไหนด	0.150	0.535	0.018	4.819	ไม่พบ
สวนทุเรียน	0.150	ไม่พบ	0.023	0.299	0.015
สะพานหินฯ ช่วง 2	0.150	2.157	0.028	0.406	0.014
ค่าเฉลี่ย	0.090	1.187	0.021	1.332	0.008

ตาราง 4-8 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ใน ตัวอย่างสาหร่ายผมนางจากแหล่งต่าง ๆ หน่วย ppm

บริเวณ	As	Pb	Cd	Zn	Hg
สวนใหม่ (1)	0.150	1.260	ไม่พบ	1.278	0.069
สวนใหม่ (2)	ไม่พบ	2.383	0.065	0.240	0.023
สวนทุเรียน (1)	1.250	3.313	0.013	0.630	0.043
สวนทุเรียน (2)	0.250	1.700	ไม่พบ	0.072	ไม่พบ
หัวเขา	0.150	1.613	ไม่พบ	6.807	ไม่พบ
ป่าไทร	0.150	2.050	ไม่พบ	0.147	0.017
ค่าเฉลี่ย	0.325	2.053	0.013	0.529	0.025

() แสดงสถานที่เก็บตัวอย่างหมู่บ้านเดียวกันแต่จุดที่เก็บตัวอย่างต่างกัน

ตาราง 4-9 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ใน ตัวอย่างปูจากแหล่งต่าง ๆ หน่วย ppm

บริเวณ	As	Pb	Cd	Zn	Hg
หัวเขา (1)	0.150	2.008	0.348	0.311	0.038
หัวเขา (2)	2.265	1.298	0.115	0.719	0.026
อ่าวทราย	0.650	1.378	0.018	0.563	ไม่พบ
สะพานติณฯ ช่วง 2	3.325	1.260	0.040	0.323	ไม่พบ
ค่าเฉลี่ย	1.598	1.486	0.130	0.479	0.016

() แสดงสถานที่เก็บตัวอย่างหมู่บ้านเดียวกันแต่จุดที่เก็บตัวอย่างต่างกัน

ตาราง 4-10 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ใน ตัวอย่างหอยแมลงภู่จากแหล่งต่าง ๆ

บริเวณ	As	Pb	Cd	Zn	Hg
อ่าวทราย	1.750	1.548	0.343	4.573	0.021
หัวเขา	ไม่พบ	1.985	0.040	2.634	ไม่พบ
ท่าเสา	0.950	1.613	0.124	3.761	0.015
สะพานติณฯ (2)	0.760	1.817	0.213	3.142	0.017
ค่าเฉลี่ย	0.865	1.740	0.180	3.518	0.013

ตาราง 4-11 แสดงปริมาณของโลหะหนักในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากทะเลสาบสงขลา
หน่วย ppm

ผลิตภัณฑ์	As	Pb	Cd	Zn	Hg
ปลากระพงขาว	0-0.250 (0.080)	0.163-1.985 (1.077)	0-0.010 (0.002)	0.094-1.881 (0.998)	0-0.107 (0.052)
กุ้งกุลาดำ	0-0.150 (0.090)	0-2.625 (1.187)	0-0.380 (0.021)	0.129-4.819 (1.332)	0-0.015 (0.008)
หอยแมลงภู่	0-1.750 (0.865)	1.548-1.985 (1.740)	0.040-0.343 (0.180)	2.634-4.573 (3.518)	0-0.021 (0.013)
ปูทะเล	0.150-2.265 (1.598)	1.260-2.008 (1.486)	0.018-0.348 (0.130)	0.311-0.719 (0.479)	0-0.038 (0.016)
สาหร่ายผมนาง	0-1.250 (0.325)	1.260-3.313 (2.053)	0-0.065 (0.013)	0.072-6.807 (1.529)	0-0.069 (0.025)

(.) ค่าเฉลี่ย

สารหนู

พบปริมาณสะสมในปู 0.125-2.265 ppm ในหอยแมลงภู่ 0-1.750 ppm ในสาหร่ายผมนาง 0-1.250 ppm ในกุ้ง 0-0.150 ppm และในปลากระพงขาว 0-0.250 ppm

ตะกั่ว

พบปริมาณสะสมในสาหร่ายผมนาง 1.260-3.313 ppm ในหอยแมลงภู่ 1.548-1.985 ppm ในปู 1.260-2.008 ppm ในกุ้ง 0-2.625 ppm และในปลากระพงขาว 0.163-1.985 ppm

แคดเมียม

พบปริมาณสะสมในหอยแมลงภู่ 0.040-0.343 ppm ในปู 0.018-0.348 ppm ในสาหร่ายผมนาง 0-0.065 ppm ในกุ้ง 0-0.038 ppm และในปลากระพงขาว 0-0.010 ppm

สังกะสี

พบปริมาณสะสมในหอยแมลงภู่ 2.634-4.573 ppm ในสาหร่ายผมนาง 0.072-6.807 ppm ในกุ้ง 0.129-4.816 ppm ในปลากระพงขาว 0.094-1.881 ppm และในปู 0.311-0.719 ppm

ปรอท

พบปริมาณสะสมในปลากระพงขาว 0-0.107 ppm ในสาหร่ายผมนาง 0-0.069 ppm ในปู 0-0.038 ppm ในหอยแมลงภู่และกุ้ง 0-0.021 ppm

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และปรอท ในปลา กุ้ง หอย และสาหร่าย จากทะเลสาบสงขลา โดยวิธีอะตอมมิกแอนซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

กลุ่มตัวอย่าง

ใช้ปลา กุ้ง หอย ปู และสาหร่าย ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จากบริเวณรอบเกาะยอ และหัวเขาทะเลสาบสงขลา รวม 24 ตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

เครื่องอะตอมมิกแอนซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Shimadzu โมเดล AA-680 ไฮโดรด์เจเนอเรเตอร์ และเตาอบ NEY โมเดล 6-1350 A

วิธีดำเนินการ

นำตัวอย่างไปย่อยสลายโดยวิธีเถ้าแห้ง (dry ashing) แล้วสกัดสารรบกวน สำหรับวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี โดยใช้เทคนิคแบบพ่นสารโดยตรง และสลายตัวอย่างด้วย $KMnO_4$ สำหรับการวิเคราะห์สารหนู ด้วยเทคนิคไฮโดรด์เจเนอเรชัน และวิเคราะห์ปรอทด้วยเทคนิคไอเย็น

สรุปผลการศึกษาค้นคว้า

ผลการวิเคราะห์พบว่าในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา มีปริมาณสารหนูและโลหะหนัก หน่วย $\mu g/g$ หรือ ppm ของน้ำหนักสดดังนี้

ปลากะพงขาว มีสารหนู 0-0.25 ตะกั่ว 0.16-1.99 ปรอท 0-0.11 สังกะสี 0.09-1.88 และแคดเมียม 0-0.1

กุ้งกุลาดำ มีสารหนู 0-0.15 ตะกั่ว 0-2.62 ปรอท 0-0.02 สังกะสี 0.13-4.82 และแคดเมียม 0-0.04

หอยแมลงภู่ มีสารหนู 0-1.75 ตะกั่ว 1.55-1.99 ปรอท 0-0.02 สังกะสี 2.63-4.57 และแคดเมียม 0.04-0.34

ปูทะเล มีสารหนู 0.15-2.27 ตะกั่ว 1.26-2.01 ปรอท 0-0.44 สังกะสี 0.31-0.72 และแคดเมียม 0.02-0.35

สาหร่ายผมนาง มีสารหนู 0-1.25 ตะกั่ว 1.26-3.31 ปรอท 0.07 สังกะสี 0.07-6.81 และแคดเมียม 0-0.07

อภิปรายผล

1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสารหนูและโลหะหนักที่สะสมในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละประเภทพบว่า มีปริมาณแตกต่างกันดังนี้

ปลากระพงขาวและสาหร่ายผมนาง สะสมตะกั่ว สูงกว่าสังกะสี สารหนู โปรท และ แคดเมียม ตามลำดับ

กุ้งและหอยแมลงภู่ สะสมสังกะสีสูงกว่า ตะกั่ว สารหนู แคดเมียมและโปรทตามลำดับ ปูทะเลสะสมสารหนู ตะกั่ว ปริมาณใกล้เคียงกันซึ่งสูงกว่าสังกะสี แคดเมียม และโปรท

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารหนูและโลหะหนักที่สะสมในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างประเภทต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันดังนี้

สารหนูสะสมในปูทะเลสูงกว่าหอยแมลงภู่ สาหร่าย กุ้ง และปลากระพง ตามลำดับ

ตะกั่วสะสมในสาหร่ายสูงกว่าปูทะเล กุ้ง และปลากระพงขาว ตามลำดับ

สังกะสีสะสมในหอยแมลงภู่สูงกว่าสาหร่าย กุ้ง ปลากระพง และปูทะเล ตามลำดับ

โปรทสะสมในปลากระพงขาวสูงกว่าสาหร่าย ปูทะเล หอยแมลงภู่ และกุ้ง ตามลำดับ

แคดเมียมสะสมในหอยแมลงภู่สูงกว่าปูทะเล กุ้ง สาหร่าย และปลากระพงขาว ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะแต่ละชนิดที่สะสมในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละประเภทพบว่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีความสามารถในการสะสมโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างประเภทเดียวกัน มีปริมาณการสะสมโลหะหนักแตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างในเรื่องอายุ ลักษณะนิสัยการกินอาหาร ความสามารถในการดูดซึมเพื่อเก็บสะสมในกล้ามเนื้อ ตลอดจนความแตกต่างในสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของสารหนูและโลหะหนักในแหล่งนั้นในปริมาณแตกต่างกัน¹

3. เปรียบเทียบสารหนูและโลหะหนักที่สะสมในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลาประเภทต่าง ๆ กับค่ามาตรฐานกำหนด (ปริมาณ สังกะสีไม่เกิน 100 mg/kg สารหนูไม่เกิน 2 mg/kg ตะกั่วไม่เกิน 1 mg/kg และโปรทไม่เกิน 0.5 mg/kg) พบว่า ตะกั่ว มีปริมาณเกินค่ามาตรฐานกำหนดทั้งในสาหร่าย หอยแมลงภู่ ปูทะเล กุ้ง และปลากระพงบางตัวอย่าง ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ แวนดา ทองระอา² ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก พบว่าปริมาณตะกั่วเกินกว่ามาตรฐานกำหนด สารหนู มีปริมาณเกินค่ามาตรฐานกำหนดในปูทะเลบางตัวอย่าง ซึ่งไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค ส่วนโปรท สังกะสี และแคดเมียม มีปริมาณไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด จึงปลอดภัยต่อภาวะการบริโภคในปัจจุบัน

แหล่งของตะกั่วอาจมาจากแบตเตอรี่ หมึกพิมพ์ สารต้านการน็อคในน้ำมันเชื้อเพลิง รวมทั้งน้ำทิ้งจากชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม รอบทะเลสาบสงขลา ซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำและทะเลสาบเกินมาตรฐานกำหนด³ และสะสมในพืชและสัตว์น้ำได้ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลาทุกประเภทที่ศึกษาได้แก่ สาหร่าย หอยแมลงภู่ ปูทะเล กุ้ง และปลากระพงขาว มีปริมาณตะกั่วสะสมเกินมาตรฐานกำหนดเล็กน้อย (เกินกว่า 1 mg/kg) ต้องระมัดระวังในการบริโภค และควรได้รับการติดตามตรวจสอบอยู่เสมอ
2. ควรหาทางป้องกันการปนเปื้อนของสารหนูและโลหะหนักโดยเฉพาะตะกั่ว ด้วยการควบคุมหรือกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงเรียนอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง รวมทั้งอาจใช้วิธีเรซินดูดซับโลหะหรือการตกตะกอนเพื่อป้องกันการสะสมในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา
3. เนื่องจากทะเลสาบสงขลาเป็นลากูน มีทางออกสู่ทะเล ดังนั้นปริมาณโลหะหนักที่สะสมในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลาอาจมีผลกระทบมาจากปริมาณน้ำทะเลที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบสงขลาได้ จึงควรศึกษาปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ในบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยเพื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้
4. ควรศึกษาอย่างต่อเนื่องและเพิ่มชนิดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในการศึกษา เช่น ปลาทุกชนิด กุ้งทุกชนิด หอยทุกชนิด ปูทุกชนิด และสาหร่ายทุกชนิด ที่ใช้เป็นอาหารเพื่อเปรียบเทียบกันซึ่งได้ข้อมูลที่กว้างขวางมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มจุดเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเสนอแนะผู้บริโภคได้อย่างกว้างขวาง

การอ้างอิง

- ¹พัชรา เพ็ชรพริณ. "การสะสมของโลหะปริมาณน้อยในสัตว์ทะเลชนิดที่จับได้บริเวณอ่าวระยอง." วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม. 10(2) : 42-47 : กุมภาพันธ์ 2537.
- ²แววตา ทองระอา. "การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก." ข่าวสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 33(357) : 10-11 : มีนาคม 2535.
- ³ประดิษฐ์ มีสุข และเสาวณี โพนขุนกุล. "การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา." วารสารปาริชาติ. 7(1) : 6-9 : กุมภาพันธ์ - กันยายน 2536.

บรรณานุกรม

- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. ขอนแก่น : ศรีภักดิ์ออฟเซต, 2534.
- ณรงค์ ณ เชียงใหม่. "อุบัติเหตุของปรอทในอ่าวไทยตอนล่าง." การอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 10(1) : 35-43 : มกราคม 2530.
- ประกาย บริบูรณ์ และลัดดาวัลย์ โรจนพรพนทิพย์. "การปนเปื้อนของโลหะในน้ำปลา น้ำเกลือปรุงรสและเกลือ." โภชนาการ. 25(2) : 34-42 : กุมภาพันธ์ 2534.
- ประดิษฐ์ มีสุข และเสาวณี โพชนุกูล. "การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลสาบสงขลา." ปาริชาติ. 7(1) : 6-9 : กุมภาพันธ์-กันยายน 2536.
- เปี่ยมศักดิ์ มินาเสวด และวารวิทย์ ชิวพาราพิวัฒน์. "การสะสมของโลหะหนัก, DDT, และ PCBs ในหอยแมลงภู่ ปลากระบอก และดินตะกอนของบริเวณปากแม่น้ำทั้งสี่แห่งของประเทศไทย." วิทยาศาสตร์-มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 1(1) : 37-47 : มิถุนายน 2528.
- พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. เคมีสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โอเนเดียนส์โตร์, 2525.
- พัชรา เพ็ชรพิรุณ. "การสะสมของโลหะปริมาณน้อยในสัตว์ทะเลบางชนิดที่จับได้บริเวณอ่าวระยอง." วิจัยสภาวะแวดล้อม. 10(2) : 42-47 : กุมภาพันธ์ 2531.
- มณฑา เดชกำแหง และเนาวรัตน์ สีนหะพันธ์. "การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสารตัวอย่างหอยชนิดต่าง ๆ โดยเทคนิคนิวตรอนแอคทีเวชัน." ในรายงานวิชาการประจำปี 2536. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 12-16. 2536.
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, 2534.
- แววตา ทองระอา. "การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณฝั่งทะเลตะวันออก." ข่าวสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 33(357) : 10-11 : มีนาคม 2535.
- สุนันท์ นุชประมุข และคณะ. "การวิเคราะห์ปรอท ซีลีเนียม โบรมีน โคบอลต์ และสังกะสี ในหอยชนิดต่าง ๆ โดยการอบนิวตรอน." ในรายงานวิชาการประจำปี 2525. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 35-36. 2525.
- _____ "การศึกษาปริมาณวัดดุมมีพิชที่ใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมที่ตกค้างในสภาวะแวดล้อมในลุ่มน้ำท่าจีน." ในรายงานวิชาการประจำปี 2525. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และการพลังงาน หน้า 18-40. 2525.
- Danby R. and Shaw S. GBC H3000 Automatic Hydride Generator Operation Manual. Dandenong : GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., 1990.
- Ghosh-TK. "Toxicity of selection metals to fresh water algae, ciliated protozoa and planktonic crustaceans." ENVIRON. ECON. 8(18) : 356-360 : 1990.
- Ho-YB. "Metals in 19 Intertidal macroalgae in Hong Kong water." AQUAT. BOT. 29(4) : 367-372 : 1988.
- Jaffar M., Ashref. M. and Rasool. A. "Heavy metal contents in some selected local fresh water fish and relevant waters." PAR. J. SCI. INDRES. 31(3) : 189-193 : 1988.