

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แคดเมียม

##### คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

แคดเมียม (cadmium) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม IIB มีน้ำหนักอะตอม 112.41 มีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดเท่ากับ 321 และ 767 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นโลหะสีน้ำเงิน เนื้ออ่อนเมื่อถูกอากาศหรือน้ำจะทำให้ผิวโลหะนั้นหมอง แคดเมียมมีค่าออกซิเดชันเท่ากับ 0, +1 และ +2 แต่ที่พบเห็นโดยทั่วไปจะอยู่ในสถานะที่เลขออกซิเดชันเป็น +2 ซึ่งแคดเมียมสามารถเกิดสารประกอบเป็นพันธะคู่ เช่น สารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซีลีไนด์ (selenides) เทลลูไรด์ (tellurides) และเฮไลด์ (halides) แคดเมียมจะสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดี เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีไอออนลบพวกกลุ่มเฮไลด์ และในสารละลายที่มีไอออนบวกพวกแอมโมเนีย และเอมีน แต่สารประกอบที่เกิดขึ้นนั้นไม่เสถียรเมื่ออยู่ในน้ำและอากาศ (ทรรศนีย์ เจดน์วิทยาชาญ, 2539)

##### แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายปนกับแร่ชนิดอื่น ไม่ใช่แร่ที่แยกเป็นเอกเทศ และมักปนอยู่กับแร่สังกะสีในปริมาณ 0.1-5% เช่น Greenockite ( $\text{CdS}$ ) และ Otavite ( $\text{CdCO}_3$ ) (ทรรศนีย์ เจดน์วิทยาชาญ, 2539) ซึ่งปริมาณแคดเมียมจะมีมากจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ที่กล่าวคือ ถ้าแร่มีปริมาณสังกะสีสูงปริมาณแคดเมียมจะสูงตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนแคดเมียมและสังกะสีในแร่จะมีค่าตั้งแต่ 1:350 จนถึง 1:100 นอกจากจะพบแร่แคดเมียมปนอยู่ในแร่สังกะสีแล้ว ยังพบอยู่ในแร่ตะกั่วและทองแดงแต่พบในปริมาณน้อยกว่า (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2541)

##### การผลิต

แคดเมียมส่วนใหญ่ได้จากการหลอมแร่สังกะสีและตะกอนที่เกิดจากการอิเล็กโตรไลซ์สังกะสีให้บริสุทธิ์ ซึ่งแคดเมียมจะถูกออกมาเป็นผลพลอยได้ ซึ่งในปี 1973 พบว่า มีปริมาณการผลิตแคดเมียมทั่วโลกถึง 17 ล้านกิโลกรัม ในขณะที่สหรัฐอเมริกาผลิต 3.36 กิโลกรัม และในการหลอมแร่สังกะสีที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบด้วยนั้น โลหะทั้ง 2 ชนิด จะรีดิวซ์ซึ่งกันและกัน ซึ่ง

แคดเมียมจะเป็นสารระเหยเร็วกว่าสังกะสี ดังนั้นจึงสามารถแยกเอาแคดเมียมออกจากสังกะสีได้ โดยการกลั่นแยก นอกจากนี้แคดเมียมเป็นธาตุที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยา น้อยกว่าสังกะสี ดังนั้นการแยกโดยใช้ไฟฟ้า (electrolysis) ก็สามารถนำไปใช้ได้ (ทรรศนีย์ เจตนวิทธาชาญ, 2539)

การนำมาใช้ประโยชน์

สารประกอบแคดเมียมสามารถนำมาใช้ประกอบได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประโยชน์ของสารประกอบแคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

| ชนิดของสารประกอบ        | ประเภทของอุตสาหกรรม                                                                                                      |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Cadmium acetate      | เครื่องเคลือบ ชุบโลหะ สีย้อม และสิ่งทอ การทำเมอร์แคปแทน (mercaptans) บริสุทธิ์จากน้ำมันดิบและก๊าซโซลีน                   |
| 2. Cadmium carbonate    | สารฆ่าเชื้อราในสนามหญ้า                                                                                                  |
| 3. Cadmium chloride     | สารฆ่าแมลง สารฆ่าเชื้อรา สารในการอัดรูป การเคลือบในหลอดสุญญากาศ อุตสาหกรรมกระจกและสารหล่อลื่น อุตสาหกรรมสีย้อม และสิ่งทอ |
| 4. Cadmium fluoroborate | ชุบโลหะ                                                                                                                  |
| 5. Cadmium fluoride     | แก้วและแท่งควบคุมปฏิกิริยา นิวเคลียร์                                                                                    |
| 6. Cadmium nitrate      | แบตเตอรี่ (นิเกิล-แคดเมียม) สารฆ่าเชื้อรา                                                                                |
| 7. Cadmium oxide        | แบตเตอรี่ (อัลคาไลด์) สังกะสี สารประกอบแคดเมียม                                                                          |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

| ชนิดของสารประกอบ   | ประเภทของอุตสาหกรรม                                                                                                                                                         |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8. Cadmium sulfate | พลาสติกพีวีซี และเม็คซี                                                                                                                                                     |
| 9. Cadmium sulfide | ใช้เป็นเม็คซี (สีเหลือง สีเลื้อนกับน้ำตาล)<br>ผสมในพลาสติกอุตสาหกรรมยาง และ<br>อีพอกซีซี (Epoxy) เรซิน ใช้เป็นหมึกพิมพ์ใช้<br>ทาเคลือบในหลอดคาโทด และหลอดฟลูออ-<br>เรสเซนท์ |

ที่มา : วรรณีย์ เจตนวิทยา (2539)

การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมเกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ การมีแคดเมียมอยู่แล้วตามธรรมชาติและเกิดจากมนุษย์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2541) ได้จำแนกแหล่งที่แพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม ดังต่อไปนี้คือ

1. จากอุตสาหกรรมตะกั่ว เหล็ก และสังกะสี ได้แก่ การทำเหมือง การหลอมและการถลุงซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่นไอ น้ำเสีย กากตะกอนที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา
2. จากการเผาของเสีย (incineration) การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่เช่น พลาสติก เม็คซี โลหะเคลือบ เศษเหล็ก เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูป cadmium aerosols เช่น cadmium oxide (CdO)
3. จากขารถยนต์ดีเซลหรือ ขารถยนต์จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ 20-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเป็นสิ่งเจือปนใน zinc oxide ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง
4. จากปุ๋ยฟอสเฟต เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมประมาณ 2- 170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
5. จากการใช้ถ่านหินและน้ำมัน (heating oil) เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้แคดเมียมจะ

ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอ และถ้าปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25 – 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยในน้ำมัน (heating oil) มีประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

6. จากการตะกอนของน้ำทิ้ง พบว่ากากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง ได้มีการศึกษาพบว่ากากตะกอนของน้ำทิ้ง จำนวน 2-3 ตันต่อปี (ปริมาณแคดเมียมประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือมากกว่า) ใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีการปนเปื้อน (polluted agriculture soils) ซึ่งมีแคดเมียมน้อยกว่า 0.1 – 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

7. การสีกร่อนของสังกะสี

8. จากโรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100 – 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

9. การสูบบุหรี่ พบว่ามีแคดเมียมออกสู่บรรยากาศ 1.4 ไมโครกรัมต่อบุหรี่ 1 มวน

#### การเข้าสู่ร่างกายของแคดเมียม

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายมี 2 ทางด้วยกัน

1. ทางปาก โดยการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม เช่นอาหารทะเล
2. ทางจมูก โดยการหายใจเอาควัน หรือฝุ่นแคดเมียมเข้าไป เช่นเหมืองสังกะสี

#### พิษจากแคดเมียม

ตามธรรมชาติจะพบแคดเมียมในแหล่งสังกะสี และตะกั่ว นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ โลหะผสมในอุตสาหกรรมเพชร พลอย แคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ อาหาร และในยาสูบเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ แม้ได้รับปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่องแคดเมียมจะถูกสะสมไว้ที่ไต จากการที่หนูบริโภคน้ำที่มีแคดเมียมพบว่าหนูมีอาการ hyperglycemia และลดระดับของอินซูลิน ในตับอ่อน ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ กรณีของคนการบริโภคอาหารหรือฝุ่นที่ปนเปื้อนแคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้หายใจติดขัด เยื่อปอดถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย เจ็บหน้าอก โลหิตจางเรื้อรัง ไตพิการ ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจเสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai disease)

อาหารทั่วไปมีแคดเมียมน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไตของสัตว์บก เช่นวัว ควาย ไก่ หมู มีการปนเปื้อนแคดเมียมสูงประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม องค์การอนามัยโลก องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ(1989) ได้กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่ร่างกายรับได้ไว้ที่

7 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อคน (สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม) แต่ในส่วนของมาตรฐานสากล(Codex) โดยการประชุมคณะกรรมการวิชาการพิจารณามาตรฐานสารเจือปนและสารปนเปื้อนครั้งที่ 33 พ.ศ. 2545 มีมติให้คณะผู้เชี่ยวชาญด้านสารเจือปน (Joint Expert Committee on Food Additives) ดำเนินการประเมินการได้รับสัมผัสและการประเมินความเสี่ยงระดับของแคดเมียมที่เป็นไปได้ในอาหารหลักต่อการได้รับสัมผัสของอาหารหลัก ได้แก่ ัณพืช ผลไม้ ผัก เนื้อ และสัตว์น้ำกลุ่มหอย และหมีก (molluscs) ต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(กองควบคุมอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2545)

### ปริมาณของแคดเมียม

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 22 โดย นายแพทย์ณรงค์ศักดิ์ อังคะสุวพลา และคณะ กล่าวว่าปริมาณของแคดเมียมในร่างกายมนุษย์จะตรวจพบแคดเมียมในเลือดในปริมาณที่ต่ำกว่า 0.5 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ค่าสูงสุด ที่ยอมให้มีได้คือ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร

ปริมาณของแคดเมียมที่มีพิษต่อร่างกาย

1. ปริมาณแคดเมียมต่ำสุดเพียง 10 มิลลิกรัม จะทำให้การพิษแคดเมียมแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน

2. ปริมาณแคดเมียมมากกว่า 300 มิลลิกรัม อาจทำให้คนกินตายได้

3. ในบรรยากาศฝุ่นหรือควันแคดเมียมออกไซด์ ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์

เมตร

4. สัตว์น้ำมีเปลือก เช่น กุ้ง ยกเว้นล็อบสเตอร์ และเนื้ปูที่มีสีแดง (ส่วนก้ามปู) ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. กลุ่มมอลลัสค์ส เช่นหอย และหมีกต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

6. มาตรฐานแคดเมียมในหมีกส่งออกไปยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย คือ 1.0, 4.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

### ปลาหมึก (Cephalopod)

ปลาหมึกแม้จะเป็นสัตว์น้ำที่ถูกจัดให้เป็นพวกเดียวกับหอย แต่ก็ป็นหอยที่มีลักษณะการดำรงชีวิตแตกต่างจากหอยชนิดอื่นเป็นอย่างมาก ปลาหมึกเป็นหอยในทางกายวิภาคเท่านั้นในขณะที่เดียวกันก็มีพฤติกรรมทำนองเดียวกับปลา และมีระดับสติปัญญาและอวัยวะรับสัมผัสใกล้เคียงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม(จารุวัฒน์, 2538) ปลาหมึกไม่ใช่ปลา แต่ความหมายในพจนานุกรม ฉบับ

ราชบัณฑิตยสถาน 2525 ให้ความหมายว่า “ชื่อสัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลัง ที่มีขาซึ่งเรียกว่าหนวดอยู่ที่บริเวณหัว อาศัยอยู่ในทะเล มีถุงบรรจุน้ำสีดำอย่างหมึกพ่นเพื่อพรางตัว มีหลายสกุล”

### ประเภทของปลาหมึก

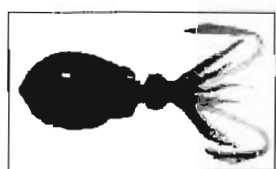
ชนิดของปลาหมึกในอ่าวไทย หมึกจัดอยู่ใน phylum Mollusca จากการศึกษาชนิดของปลาหมึกที่พบบริเวณน่านน้ำไทยมีประมาณ 20 ชนิด แต่ละชนิดที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และมีผู้นิยมบริโภคแพร่หลาย มี 4 ชนิดได้แก่

1. หมึกกระดอง : Rainbow (Sepia pharaonis) มีลำตัวเป็นทรงรูปไข่ มีกริบลักษณะเป็นแผ่น กล้ามเนื้อคลุมลำตัว เกือบทั้งหมด และมีกระดองรูปคล้ายใบหอกเรียกว่า ลิ่นทะเล หมึกกระดองจะหากินบริเวณผิวน้ำเวลากลางคืนพบทั่วไป ในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ความยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร (แสดงดังในรูปที่ 2.1)

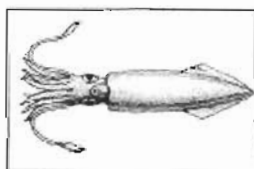
2. หมึกกล้วย : Splendid squid (Loligo duvauceli) รูปร่างยาวเรียว ลำตัวกลม ครีบเป็นสามเหลี่ยม อยู่ด้านหลังลำตัวมีกระดองใสเหมือนแผ่นพลาสติก พบทั่วไปในอ่าวไทย ความยาวประมาณ 20-35 เซนติเมตร(แสดงดังในรูปที่ 2.2)

3. หมึกยักษ์ หรือหมึกสาย : Dollfus' octopus (Octopus dollfusi) ลำตัวกลมคล้ายลูกโป่ง ไม่มีกระดอง มีหนวด 8 เส้น ซ่อนตัวอยู่ตามพื้นที่เป็นโคลนหรือโคลนปนทราย พบมากบริเวณชายทะเลทั่วไป ความยาวประมาณ 6 – 12 เซนติเมตร หมึกสายบางชนิด มีต่อมพิษ ที่สามารถทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้(แสดงดังในรูปที่ 2.3)

4. หมึกหอม หมึกตะเกา : Soft cuttlefish (Sepistenthis lessoniana) คือลำตัวรูปทรงกระบอก ครีบข้างลำตัวทั้ง 2 ด้านมี ลักษณะกว้างและแบนยาวเกือบตลอดลำตัวคล้ายหมึกกระดอง ต่างกันที่กระดองหมึกหอมจะเป็นแผ่นใสเห็นเส้นกลาง กระดองได้ชัดเจน หนวดรอบปากมี 10 เส้น ลำตัวคูโสมีสีน้ำตาลเข้มอมแดงประเป็นจุดอยู่ทั่วไปไข่หมึกมีลักษณะคล้ายนิ้วมือ ความยาวสูงสุดที่เคยพบ เพศผู้ 29 เซนติเมตร เพศเมีย 26 เซนติเมตร(แสดงดังในรูปที่ 2.4)



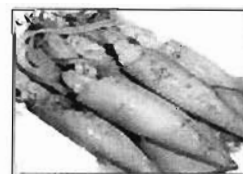
รูปที่ 2.1 หมึกกระดอง



รูปที่ 2.2 หมึกกล้วย



รูปที่ 2.3 หมึกสาย



รูปที่ 2.4 หมึกหอม

หลักการของเครื่องเฟลมอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์  
(Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)

เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ที่ได้รับความนิยม และใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความถูกต้อง และความไวในการทดสอบสูง และใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้มากกว่า 60 ธาตุ (แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม, 2535)

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุ ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่ความยาวคลื่น คลื่นหนึ่งที่เฉพาะกับธาตุนั้น จึงทำให้อะตอมของธาตุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะพื้น ไปสู่สถานะกระตุ้นทำให้ได้ Spectroscopic line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะของธาตุแต่ละชนิดออกมา

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจอยู่ในรูปต่างๆ กันเช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้าเป็นต้น โดยปริมาณแสงหรือพลังงานที่ถูกดูดกลืนนี้จะเพิ่มตามปริมาณของอะตอมที่อยู่ในช่องทางเดินแสง ซึ่งปริมาณของอะตอมจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารเป็นไปตามหลักของ Beer – Lambert Law

$$P_t = P_o e^{-\epsilon bc}$$

$$\ln (P_o/P_t) = \epsilon bc = \text{absorbance} = A$$

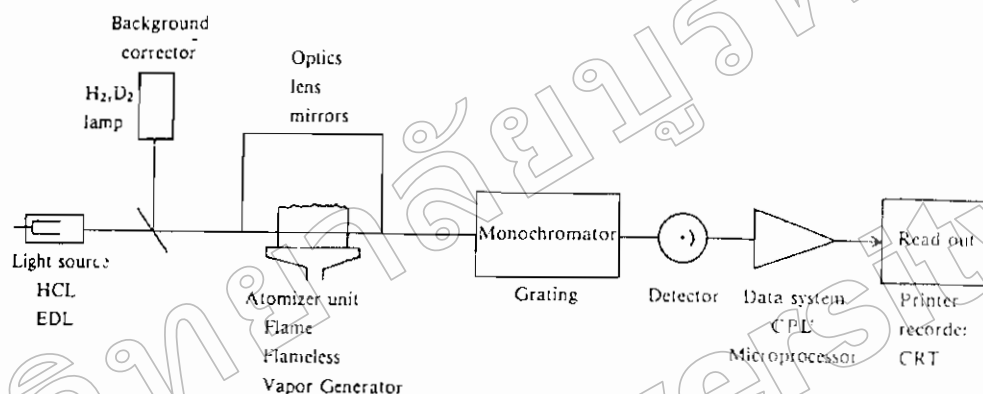
|                     |                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| เมื่อ $P_o$ หมายถึง | ความเข้มข้นของแสงที่ผ่านเข้าไป                  |
| $P_t$ หมายถึง       | ความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกมา                   |
| $\epsilon$ หมายถึง  | โมลาร์แอบซอร์บติวิตี ( $L\ cm^{-1}\ mol^{-1}$ ) |
| $b$ หมายถึง         | ความหนาของตัวกลาง (cm)                          |
| $c$ หมายถึง         | ความเข้มข้นของสาร (mol /L)                      |
| $A$ หมายถึง         | ค่าการดูดกลืนแสง                                |

เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ ในการทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมองค์ประกอบของเครื่อง มี 5 ส่วน ด้วยกันดังนี้

- 1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)
- 2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (Flame atomizer)

3. โมโนโครเมเตอร์ (monochromater)
4. ดีเทคเตอร์ (detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านค่า (data system and read – out unit)

ส่วนประกอบของเครื่อง AAS แสดงดังรูปที่ 2.5



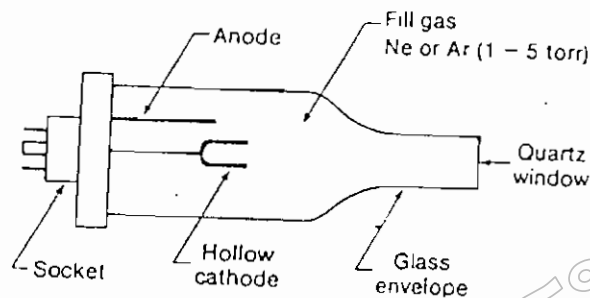
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่อง AAS(แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

### 1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)

เครื่อง AAS โดยทั่วไปมีแหล่งกำเนิดแสง 2 ชนิด คือ hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL)

#### 1.1 Hollow cathode lamp (HCL)

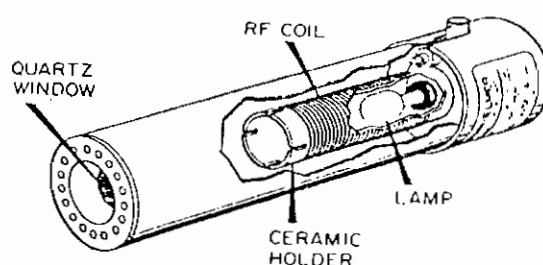
ประกอบด้วย ขั้วบวก (anode) ที่ทำจากหลอดทั้งสแตน และขั้วลบ (cathode) ซึ่งประกอบด้วยธาตุเดี่ยวหรือธาตุผสม (เมื่อต้องการใช้หลอด 1 อันสำหรับวิเคราะห์หลายๆ ธาตุ) ชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ขั้วทั้งสองบรรจุอยู่ในกระบอกแก้วปิดที่มีแก๊สเฉื่อยซึ่งอาจเป็นแก๊ส นีออน แก๊สอาร์กอน หรือแก๊สฮีเลียม มีความดันประมาณ 1-5 ทอร์ เมื่อขั้วทั้งสองได้รับความต่าง ศักย์ ประมาณ 200-400 โวลต์ แก๊สเฉื่อยจะแตกตัวเป็นไอออน (ionize) และเกิดกระแสอิเล็กตรอน ระหว่างขั้วทั้งสองประมาณ 5 - 10 มิลลิแอมแปร์ ความต่างศักย์ที่สูงจะทำให้อะตอมของแก๊สที่มี ประจุบวก (gaseous cation) วิ่งชนแคโทด ทำให้เกิดกลุ่มอะตอม (atomic cloud) ในสถานะกระตุ้น (excited state) เมื่อพลังงานลดลงจะปล่อยคลื่นแสงที่มีความจำเพาะสำหรับแต่ละธาตุออกมา อะตอมส่วนใหญ่จะกลับไปเกาะที่แคโทดและส่วนน้อยเกาะที่ผิวแก้ว อายุการใช้งานของหลอดอยู่ใน ช่วง 100 – 300 ชั่วโมง รูปร่างลักษณะของ HCL แสดงดังในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปร่างลักษณะของ HCL (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

### 1.2 electrodeless discharge lamp (EDL)

ภายในหลอดแก้วบรรจุไว้ด้วยเกลือของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ และขดลวดเหนี่ยวนำ (RF coil) ซึ่งพันอยู่บนแท่งเซรามิก เมื่อขดลวดได้รับกระแสไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดไอของธาตุ กลายเป็นไอ และแตกตัวเป็นไอออนขณะที่พลังงานลดลงจะปล่อยแสงที่สว่างและมีความยาวคลื่นจำเพาะสำหรับแต่ละธาตุออกมา หลังจากนั้นความต่างศักย์จะลดลงอยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการรักษาความคงที่ของการแตกตัวของไอของธาตุและความเข้มของแสง ความต่างศักย์ที่สูงขึ้นจะทำให้แสงเข้มข้น แต่ความกว้างของความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจะกว้างขึ้น เป็นผลให้ความไวในการวิเคราะห์ลดลงหลอดชนิดนี้มีข้อดีกว่าหลอด HCL คืออายุการใช้งานนานกว่า ปล่อยแสงที่มีความเข้มมากกว่า มีความไวดีกว่า และมีขีดจำกัดการวิเคราะห์ต่ำกว่า สำหรับหลอดชนิด As, Bi, Cd, Ge, Hg, Pb, Sn, Te, Tl และ Zn รูปร่างลักษณะของ EDL ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปร่างลักษณะของ EDL (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

## 2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (atomizer)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอิสระ (free atom) โดยใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ

### 2.1 การสร้างอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame atomization)

ทำงานโดยเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองขนาดเล็กด้วยตัวสร้างละออง (nebulizer) ซึ่งอาศัยแรงดึงดูดสุญญากาศ (แก๊ส) ไหลผ่านเหนือหลอดรูเล็กอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นละอองจะถูกฉีดเข้าสู่ตัวเผา (burner) ที่มีอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับเกิดอะตอมอิสระของธาตุแต่ละชนิด

### 2.2 การสร้างอะตอมด้วยไฟฟ้า (electrodeless atomization หรือ flameless atomization)

สร้างอะตอมโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปบนตัวทำความร้อน (heating element) ใช้แก๊สอาร์กอนไหลผ่านตัวทำความร้อนเพื่อลดการเกิดออกซิเดชันของตัวทำความร้อน และใช้น้ำเย็นไหลผ่านรอบๆ ตัวทำความร้อนเพื่อป้องกันอุณหภูมิที่สูงมาก (3000 องศาเซลเซียส) ทำลายเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยอะตอม

### 2.3 การสร้างสารประกอบไฮไดรด์ (hydride generation)

เป็นเทคนิคที่ใช้ปฏิกิริยาเคมี แยกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากตัวอย่าง โดยการเปลี่ยนธาตุนั้นๆ ให้อยู่ในรูปของไฮไดรด์ ซึ่งระเหยได้ง่าย หลังจากนั้นจึงถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือกระแสไฟฟ้าต่อไป วิธีการดังกล่าวทำให้ขีดจำกัดการวิเคราะห์ช่วงต่ำ (lower detection limit) เพิ่มขึ้น จึงเหมาะสำหรับตรวจพิสูจน์หลักฐานทางนิติเวชวิทยา และการตรวจของระดับสารพิษในน้ำดื่ม หรืออาหาร

## 3. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

ทำหน้าที่แยก line ของ spectrum ให้เป็น atomic resonance line

## 4. ดีเทคเตอร์ (detector)

วัดความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกจากเปลวไฟ หรือความเข้มข้นของแสงที่เหลือจากการดูดกลืนแสงเป็น photomultiplier tube

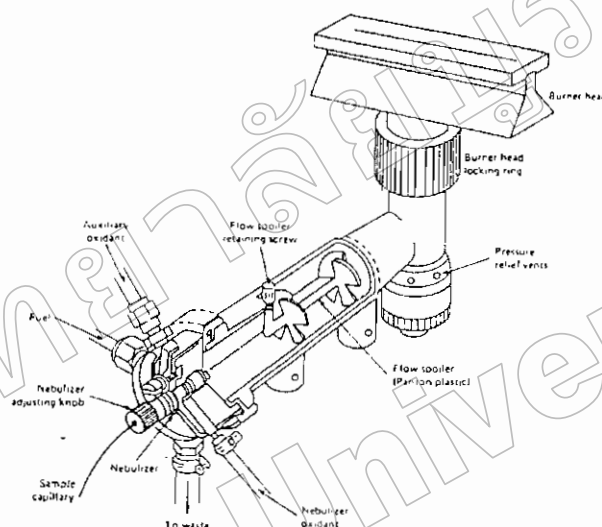
## 5. เครื่องประมวลผลและอ่านค่า (data system and read-out unit)

เป็นเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จาก photomultiplier ซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของ resonance line วัดออกมาเป็นเข็ม สเกล หรือ recorder

## เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectroscopy

เป็นเทคนิคที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ สารตัวอย่างจะต้องเป็นเนื้อเดียวกันตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการนี้แบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

5.1 Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ด้วยเครื่องที่เรียกว่า Nebulizer ซึ่งอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าก่อนถึง burner head ดังแสดงในรูปที่ 2.8



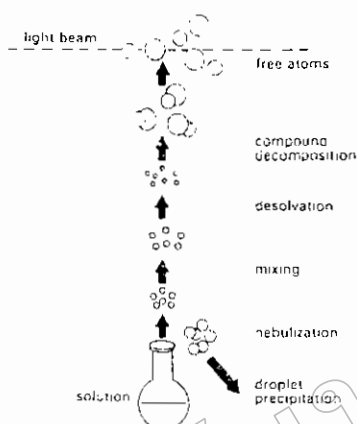
รูปที่ 2.8 ระบบ flame atomizer (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

5.2 Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดสารละลายโค ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วระบายออกไปทางท่อน้ำทิ้ง

5.3 Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel) และออกซิเจน (oxidant) ใน spray chamber ของ Nebulizer

5.4 Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้น ถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

5.5 Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ จะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็นโมเลกุล และอะตอมเสรีกระบวนการทั้ง 5 ขั้นตอน แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการเกิดอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (หมั่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

### ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี (Application of AAS)

เนื่องจากเทคนิค AAS นั้นเป็นที่นิยมนักมากในการวิเคราะห์ธาตุแทบทุกชนิดของสารตัวอย่างไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการเกษตร (agricultural analysis) เช่น การวิเคราะห์ ดิน พืช และปุ๋ย เป็นต้น
2. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการแพทย์ และชีวเคมี (clinical and biochemistry) เช่นการหาปริมาณของธาตุ Ca, Mg, Cu, Pb, Na, K, Fe, Zn, As และอื่นๆ หรือในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ เป็นต้น
3. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการโลหะวิทยา (metallurgy) เช่น การวิเคราะห์โลหะผสมต่างๆ หาปริมาณของสารเจือปนต่างๆ ในโลหะบริสุทธิ์ เป็นต้น
4. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกน้ำมัน และเพื่อการปิโตรเลียม (oil and petroleum) เช่นการหาองค์ประกอบที่เป็นโลหะของน้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเครื่อง น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น
5. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกแร่ และวัสดุต่างๆ (minerals and materials)
6. ใช้ในงานวิเคราะห์น้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ เช่น น้ำบาดาล น้ำเสีย น้ำทิ้ง น้ำแร่ หรือน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น
7. ใช้ในการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม
8. ใช้ในการวิเคราะห์ทางอาหารและยา
9. ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ ในสารอื่นๆ

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แววตา ทองระอา และคณะ (2535) ได้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และปรอทในสัตว์ทะเลคือ ปลา ปู กุ้ง กุ้งดักแดน หอย และปลาหมึกจากบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกที่เป็นเขตอุตสาหกรรม โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปี จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด) ของตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และปรอท ในปลามีค่า 2.631, 0.017, 5.404, 0.734 และ 0.0353 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปลาหมึกมีค่า 2.535, 0.124, 12.938, 2.404, และ 0.025 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปูมีค่า 1.610, 0.246, 25.201, 9.866 และ 0.021 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกุ้งดักแดนมีค่า 3.442, 1.225, 25.531, 17.234 และ 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหอยนางรมมีค่า 5.296, 0.849, 160.221, 47.831 และ 0.017 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในกุ้งมีค่า 0.960, 0.074, 13.464, 1.963 และ 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับจากการศึกษาพบว่าการสะสมปริมาณของสังกะสีมีอยู่สูงสุดในสัตว์ทะเลทุกชนิด รองลงมาคือทองแดง และปรอท มีการสะสมน้อยที่สุด(ยกเว้นในปลามีแคดเมียมน้อยที่สุด)

อริยา กังสุวรรณ (2540) ศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักในหมึกสาย และหมึกกระดอง ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ด้วยวิธี wet ashing โดยใช้เทคนิค Flame – AAS พบว่าปริมาณของโลหะหนักที่สะสมอยู่มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ในหมึกสายและหมึกกระดองพบปริมาณปรอทมีค่าเฉลี่ย 0.02- 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.03-0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่ว 0.66-0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.05-0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสารหนู 0.11-0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ น้อยกว่า 0.1 – 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม 0.12 – 0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.06 – 0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ชัยสิทธิ์ จินคนานูช และอนัตติพงษ์ กะเชนทนต์ (2542) ศึกษาปริมาณโลหะหนัก Pb Cd และ Hg ในเนื้อปลาที่อาศัยอยู่ในบ่อบำบัดน้ำเสีย บึงห้วยทะเล อำเภอเมืองจังหวัดนครราชสีมา โดยเปรียบเทียบวิธีการย่อยสลายตัวอย่าง สองวิธี คือย่อยสลายตัวอย่างด้วยไฟฟ้า(hot plate) และย่อยสลายตัวอย่างด้วยชุดย่อยสลายโปรตีนแบบเจลดาล์ (Kjeldahl) แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าย่อยสลายตัวอย่างด้วยเตาไฟฟ้า มีปริมาณ Pb, Cd และ Hg ดังนี้ ปลาช่อน 10.300 0.212 0.169 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลานิล 7.920 0.110 ND มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาหมอเทศ 3.161 0.096 0.045 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ย่อยสลายตัวอย่างด้วยชุดย่อยสลายโปรตีน แบบเจลดาล์ ปลาช่อน 11.831 0.657 0.196 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลานิล 7.770 0.631 0.153 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลา

หมีเทศ 3.478 0.312 0.067 มิลลิกรัมต่อกรัม โลหะหนัก ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ONE – WAY ANOVA พบว่าปริมาณโลหะหนักในปลาตัวอย่างสามชนิดแตกต่างกัน ปลาช่อนมีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มปลาตัวอย่าง ส่วนในปลานิล และปลาหมอตัวอย่างสามชนิดแตกต่างกัน ปลาช่อนมีปริมาณมากที่สุดในกลุ่มปลาตัวอย่าง ส่วนในปลานิล และปลาหมอเทศมีปริมาณใกล้เคียงกัน และเปรียบเทียบการย่อยสลายตัวอย่างทั้งสองวิธีโดย t-test ปรากฏว่าการย่อยสลายตัวอย่างโดยชุดย่อยโปรตีนแบบเจลคาลล์ ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่า ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิรัช เรืองศรีตระกูล และคณะ (2548) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในยาแผนไทย โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ได้เก็บตัวอย่างยาแผนไทยจำนวน 63 ตัวอย่างมาจากภายในเขตอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 3.0 กรัม หรือ 20.0 มิลลิกรัม วิธีการย่อยตัวอย่างจะใช้กรดไนตริกเข้มข้น 30 % ปริมาตรโดยปริมาตร และให้ความร้อนโดยใช้เตาความร้อนเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบปริมาณตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในตัวอย่างยาแผนไทยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-11.90, 0.01-0.23, 0.01-54.12 และ 0.02-99.37 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

พิพัฒน์ นพคุณ และคณะ (2550) ได้ศึกษาปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลระหว่างปีพ.ศ. 2534 – 2548 จำนวน 3,759 ตัวอย่าง ประกอบด้วยปลาแช่แข็ง ปลากระป๋อง อาหารทะเลรวม ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง ปลาหมึกสาย และกุ้งแช่แข็ง จำนวน 516, 2,091, 413, 103, 137, 122 และ 377 ตัวอย่าง ตามลำดับ โดยใช้เทคนิค dry-ashing และวิเคราะห์ปริมาณด้วย Flame-Atomic Absorption Spectrophotometer พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลคือ <0.01 – 0.86 (ปลาแช่แข็ง), <0.01 – 0.32 (ปลากระป๋อง), <0.01 – 1.80 (อาหารทะเลรวม), <0.01 – 2.47 (ปลาหมึกกล้วย), <0.01 – 3.17 (ปลาหมึกกระดอง), <0.01 – 5.15 (ปลาหมึกสาย) และ <0.01 – 0.71 (กุ้งแช่แข็ง) มิลลิกรัมต่อกรัม โลหะหนักตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

วิชุดา สังข์แก้ว (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในปลาหมึกเพื่อการส่งออก ปลาหมึกที่ใช้คือ ปลาหมึกกล้วย ปลาหมึกกระดอง และปลาหมึกสาย ที่จับจาก 5 เขตการประมง ในช่วงการจับ 3 ช่วงตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2547 พบว่าเขตการจับมีผลต่อปริมาณแคดเมียมโดยปลาหมึกที่จับจากเขต 4 คือ ชายฝั่งทะเลด้านจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส มีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุด และพบว่าช่วงระยะเวลาการจับไม่มีผลต่อปริมาณแคดเมียมในปลาหมึกกระดอง แต่พบว่าปลาหมึกกล้วย และปลาหมึกสายที่จับระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน 2547 มีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าช่วงการจับอื่น การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในอวัยวะส่วนต่างๆ ของปลาหมึกทั้ง 3 ชนิด พบว่าส่วนหางปลาหมึกชั้นใน และ

ทางปลาหมึกชั้นนอกของปลาหมึกกล้วย และหมึกกระดองมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าส่วนเขี้ยว ส่วนหัว และหนวด สำหรับปลาหมึกสายพบว่าส่วนลำตัวมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าเขี้ยว ส่วนหัว และหนวด การศึกษาวิธีการล้างหมึกกระดอง พบว่าปลาหมึกที่ล้างโดยวิธีให้น้ำไหลผ่าน และวิธี กวนในน้ำ มีปริมาณแคดเมียมไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณแคดเมียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่ม เวลาในการล้างให้นานขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University