

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เช่น ใช้สำหรับการดื่มกิน การประกอบอาหาร ชำระร่างกาย เป็นแหล่งพลังงาน ทำเขื่อนผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและมีมากที่สุดของโลก โดยคิดเป็น 3 ใน 4 ส่วน (75%) ของส่วนประกอบของโลกทั้งหมด ที่สำคัญน้ำยังเป็นแหล่งกำเนิดชีวิตของสัตว์และพืช มนุษย์มีชีวิตอยู่โดยขาดน้ำได้ไม่เกิน 3 วัน และน้ำยังมีความจำเป็นทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำมีประโยชน์อย่างมหาศาลต่อทุกชีวิตบนโลก แต่ในทางกลับกันน้ำก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการก่อปัญหามลพิษทางสภาวะแวดล้อม เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ถ้าหากว่าน้ำมีสารพิษละลายปนอยู่ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้ น้ำมีคุณภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านของการอุปโภคและบริโภค ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำมาใช้อุปโภคบริโภคจำเป็นต้องมีการทดสอบว่าน้ำนั้นมีคุณภาพที่เหมาะสมในระดับไหน มีสารพิษปนเปื้อนอยู่มากหรือน้อยแค่ไหนในแหล่งน้ำนั้น พร้อมทั้งมีสารพิษที่ชนิดในแหล่งน้ำ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยี การขยายตัวของ ภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีการนำสิ่งอำนวยความสะดวกมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข หนึ่งในผลกระทบนั้นคือการรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนัก⁽¹⁾ จัดอยู่ในกลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไป และส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม Transition metals ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นวัตถุอันตรายที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ในด้านอุตสาหกรรม มีการใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย สำหรับทางด้านการเกษตรใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ และ

เครื่องสำอาง น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ

1.2 แคดเมียม (Cadmium : Cd)

แคดเมียม⁽²⁾ เป็นโลหะที่พบในสินแร่สังกะสี ตะกั่วและทองแดง โดยแคดเมียมเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่ดังกล่าว แคดเมียมเป็นโลหะสีขาวเทา มีลักษณะอ่อนดัดได้ ภาวะพิษจากแคดเมียมเป็นภาวะพิษที่มีความสำคัญทางสาธารณสุขชนิดหนึ่ง เพราะโลหะชนิดนี้อาจมีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน หิน น้ำ และปุ๋ยจากดินแร่ (mineral fertilizers) เป็นต้น และส่งผลกระทบต่อประชากรเป็นวงกว้าง

การสัมผัสแคดเมียมจากสิ่งแวดล้อม

- แคดเมียมเข้าสู่อากาศได้จากการทำเหมืองแร่ การอุตสาหกรรม การเผาถ่านหิน และการเผาขยะตามบ้านเรือน
- อนุภาคแคดเมียมในอากาศสามารถเดินทางไปในระยะไกลกว่าที่จะตกลงบนพื้นดินหรือน้ำ
- อนุภาคแคดเมียมปนเปื้อนน้ำและดินจากการทิ้งขยะ และการรั่วไหลของสารพิษจากสถานที่เก็บ
- อนุภาคแคดเมียมเกาะกับดินได้ดี
- แคดเมียมบางรูปละลายน้ำได้
- แคดเมียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อม แต่เปลี่ยนรูปได้
- ปลา พืช และสัตว์ ได้รับแคดเมียมจากสิ่งแวดล้อม
- แคดเมียมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานมาก และสะสมเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีจากการรับเข้ามาทีละน้อย ๆ

คนทั่วไปได้รับแคดเมียมจากอาหาร เพราะแคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมแล้วกระจายอยู่ในบรรยากาศ แคดเมียมรั่วไหลจากการทำเหมือง แคดเมียมจากปุ๋ยเคมีหรือของเสียที่นำมาทำปุ๋ยหมักต่างก็ปนเปื้อนลงสู่ดิน น้ำถูกดูดซึมโดยพืชที่เป็นอาหารทั้งของคนและสัตว์ หรือเข้าสู่สัตว์ที่เป็นอาหารโดยตรง อาหารที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่มากได้แก่ หอย ปู ปลาหมึก เครื่องในสัตว์

โดยเฉพาะดับ ใต้ ส่วนพืชที่มีแคดเมียมสูงได้แก่ ธัญพืชเช่น ข้าว ข้าวสาลี โดยเฉพาะส่วนของรำข้าว ผักใบเขียว มันฝรั่งและผักประเภทหัว เช่น แครอท แคดเมียมจากน้ำดื่มและอากาศนับเป็นเปอร์เซ็นต์ที่น้อยมากสำหรับแคดเมียมที่คนได้รับเข้าไปทั้งหมด

อาการเป็นพิษเนื่องจากได้รับ แคดเมียมมากๆ จะทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ตะคริว จนถึงท้องร่วง การได้รับแคดเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ แต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคดเมียมมักเป็นชนิดเรื้อรังโดยการได้รับแคดเมียมติดต่อกันเป็นเวลานาน โรคที่เกิดอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. โรคปอดเรื้อรัง
2. โรคไตอักเสบ
3. โรคกระดูก
4. โรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ
5. โรคมะเร็ง

1.3 นิกเกิล (Nickel : Ni)

นิกเกิล^(3,4) เป็นโลหะที่มีความมันวาวคล้ายเงิน ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกับเหล็ก มีความแข็งแรงสามารถนำมาตีเป็นแผ่นได้ นิกเกิลมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและการนำไฟฟ้าต่ำ แต่มีความทนทานต่อการสึกกร่อนและความร้อนสูง นิกเกิลที่สำคัญมีอยู่สองชนิดคือ แร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิ ซึ่งแร่ปฐมภูมิได้แก่ เพนทแลนด์ (pentlandite) เป็นแร่โลหะมีลักษณะสีบรอนซ์ซีด อยู่ในระบบไอโซเมตริก มักจะพบว่าแร่นิกเกิลชนิดนี้เกิดในลักษณะเป็นมวลเมล็ดเนื้อแน่น ส่วนแร่ทุติยภูมิได้แก่ การ์เนียไรต์ (garnierite) มีสีเขียวหรือสีขาว ไม่มีรูปผลึก มีรูปร่างลักษณะคล้ายดิน

โลหะนิกเกิลได้มาจากการถลุงแร่ nickliferous limonite และ pentlandite แล้วผ่านกระบวนการสกัดให้ได้นิกเกิลที่บริสุทธิ์ขึ้นด้วย Mond's process ซึ่งในกระบวนการนี้มีการใช้นิกเกิลคาร์บอนิล ซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ระคายเคืองและระเหยได้ดี (จุดเดือด 44 องศาเซลเซียส) Mond's process เป็นกระบวนการที่มีความเสี่ยงกับการรับสัมผัสนิกเกิลและเกิดอันตรายต่อคนงาน

ความเป็นพิษของนิเกิล⁽⁵⁾

นิเกิลอาจถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ทางการหายใจ ทางผิวหนัง และจากทางเดินอาหาร ภาวะพิษของนิเกิล เกิดจากการสัมผัสทางการหายใจและจากอาชีพเป็นหลัก โดยความสามารถในการดูดซึมขึ้นกับความสามารถในการละลายในน้ำของสารประกอบนิเกิล สารที่ละลายน้ำได้ดี ได้แก่ นิเกิลคาร์บอนิล เป็นสารประกอบที่ถูกดูดซึมได้ดีกว่าสารประกอบที่ละลายในน้ำได้ไม่ดี เช่น นิเกิลออกไซด์และนิเกิลซัลไฟด์ นิเกิลถูกกำจัดจากร่างกายทางปัสสาวะ

การสัมผัสนิเกิลคาร์บอนิลทางการหายใจจะทำให้เกิดการไข้ ไอ เจ็บหน้าอก หายใจลำบาก ปวดศีรษะ หลังจากนั้น 12-36 ชั่วโมงอาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตจากภาวะการหายใจล้มเหลว การฟื้นตัวจากภาวะปอดอักเสบนี้ใช้เวลาหลายสัปดาห์ถึงหลายเดือน ซึ่งผู้ป่วยจะยังคงมีอาการอ่อนเพลียและเหนื่อยง่ายในระยะยาว

การสัมผัสนิเกิลที่ผิวหนัง อาจทำให้เกิดภาวะผิวหนังอักเสบเป็นผื่นสัมผัส (Contact dermatitis) หรือเป็นผื่นแพ้ในส่วนต่างๆของร่างกาย ผู้ที่ดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนนิเกิล อาจมีการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดมวนท้อง และท้องเสีย

1.4 ตะกั่ว (Lead : Pb)

ตะกั่ว⁽⁶⁾ เป็นโลหะสีเทาเงิน หรือแกมม่น้ำเงินเกิดขึ้นตามธรรมชาติในเปลือกโลก ตะกั่วในพื้นที่ดินอาจเกิดตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากภาวะมลพิษในดินที่มีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะมีตะกั่วอยู่มากเพราะว่าอินทรีย์สารในดินอาจทำปฏิกิริยากับสารตะกั่ว สารตะกั่วที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ในเตรค คลอเรท และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งใช้เป็นสารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น เบนซิน ซึ่งสารตะกั่วที่อยู่ในบรรยากาศมาจากตะกั่วที่ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อใช้ในการจุดระเบิดของน้ำมัน สารประกอบของตะกั่วในน้ำมันนั้นอาจทำให้สิ่งแวดล้อมในบริเวณที่อยู่ห่างไกลความเจริญเกิดการปนเปื้อนได้ นอกจากนี้สารตะกั่วสามารถถูกชะล้างออกจากบรรยากาศได้โดยฝน และสารตะกั่วยังสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ด้วยการบริโภคอาหาร น้ำ หรือหายใจเอาอากาศที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป ในบางกรณีร่างกายอาจดูดซึมตะกั่วอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารตะกั่วในบรรยากาศเข้าทางผิวหนังได้

ตะกั่วจะถูกใช้ในแง่ของอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งตะกั่วเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี นอกจากนี้ยังใช้โลหะตะกั่วในโรงชุบเคลือบเหล็กด้วยสังกะสี ลูกแห ลูกอมที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมง ใช้ในการทำกระดาษตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระสุนปืน สะพานไฟฟ้า ทำผนังกันรังสีในเครื่องหรือห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปฏิกิริยาปรมาณู ใช้ตะกั่วในการทำสี และทำผงตะกั่วแดง ตะกั่วเหลือง สำหรับเคลือบภาชนะต่างๆ

ความเป็นพิษของตะกั่ว

ความเป็นพิษของสารตะกั่วจะพบบ่อยมากที่สุดเพราะสารตะกั่วที่ได้นำไปใช้สารตะกั่วถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ น้ำมัน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิง จากการที่เชื้อเพลิงได้ถูกเผาผลาญออกมาทำให้สารตะกั่วเกิดการปนเปื้อนอยู่ในชั้นบรรยากาศจึงส่งผลให้ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยง่าย และเมื่อสารตะกั่วถูกสะสมอยู่ในร่างกายมากๆ เข้าจะทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายดังนี้

- สารตะกั่วจะมีผลเสียต่อสมองและการติดต่อของเซลล์ประสาท โดยสารตะกั่วจะไปจับกับเซลล์แทนที่แคลเซียม พบว่าหากมีสารตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร จะทำให้ IQ ลดลง 1-3 จุด
- ผลต่อเม็ดเลือดแดงจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายเป็นโรคโลหิตจาง และมีผลต่อการทำงานของไต
- ส่งผลต่อการตั้งครรภ์และทารก หากมีสารตะกั่วเป็นปริมาณมากอาจทำให้เกิดการแท้งคลอดก่อนกำหนด เด็กที่เกิดมาจะมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ การทำงานของสมองจะพัฒนาช้า ปัญญาอ่อน และมีอาการชัก

ดังนั้นจึงได้มีการควบคุมปริมาณของแคดเมียมในแหล่งน้ำผิวดินซึ่งเกณฑ์กำหนดสูงสุดอยู่ที่ 0.005 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ภาคผนวก ค)

1.5 เยื่อเปลือกไข่ (ESMs) ^(7,8,9)

เปลือกไข่ (eggshell) มีส่วนประกอบเกือบทั้งหมดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) มีลักษณะเป็นแท่งๆ มาต่อกัน ตรงรอยต่อระหว่างแท่งจะไม่สนิท มีช่องว่างหรือรูพรุน (pores) เกิดขึ้นจำนวนมากบนเปลือกไข่ มีประโยชน์เพื่อการแลกเปลี่ยนแก๊สและการระเหยของน้ำออกจากฟองไข่ ในขณะที่ฟองไข่ไก่แต่ละฟองจะมีรูพรุนเหล่านี้ประมาณ 6,000-8,000 รู เปลือกไข่ด้านในจะติดสนิทอยู่กับเยื่อเปลือกไข่ โครงสร้างชั้นในสุดเรียกว่า basal cap ผังติดอยู่ในเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอก ชั้นนอกสุดของเปลือกไข่จะมีสารอินทรีย์ (organic material) ซึ่งเรียกว่า cuticle เคลือบที่ผิวของฟองไข่ทั้งหมด ในการสร้างเปลือกไข่แต่ละฟองนั้นจะใช้แคลเซียมประมาณ 2 กรัม เปลือกไข่จึงประกอบด้วย 3 ส่วนคือ cuticle, spongy (calcareous) layer และ mammillare layer โครงสร้างของเปลือกไข่เป็นโครงสร้างที่พิเศษมาก ซึ่งโครงสร้างแบบนี้เรียกว่า โคมเชปรูฟ (Dome - Shaped roofs) หรือเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นหลังคาโค้ง เยื่อเปลือกไข่ของไข่ไก่และไข่เป็ด เป็นตัวดูดซับจากธรรมชาติ (Biosorbent) ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการเพิ่มความเข้มข้นสำหรับโลหะหนักบางตัว ซึ่งจากการค้นคว้าเอกสารงานวิจัย⁽⁹⁾ ที่ใช้เยื่อเปลือกไข่ เป็นวัสดุดูดซับและเพิ่มความเข้มข้นของโลหะเป็นที่ทราบว่ายื่อเปลือกไข่มีหมู่ Amines, Amides และ Carboxylic ซึ่งสามารถจับกับไอออนของโลหะได้ โดยต้องมีการปรับสภาวะต่างๆ ให้จำเพาะเจาะจงกับไอออนของโลหะแต่ละชนิดด้วย

1.6 อะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) ^(10,11,12)

การวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนักในน้ำ โดยการใช้อะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว มีความเที่ยงความแม่นยำ มีสภาพไวสูง และเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะหนักที่มีจำนวนน้อยๆ ในน้ำได้ และไม่ต้องผ่านกรรมวิธีหลายขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงมาก ความสามารถของเทคนิคนี้สูงมากเพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี AAS

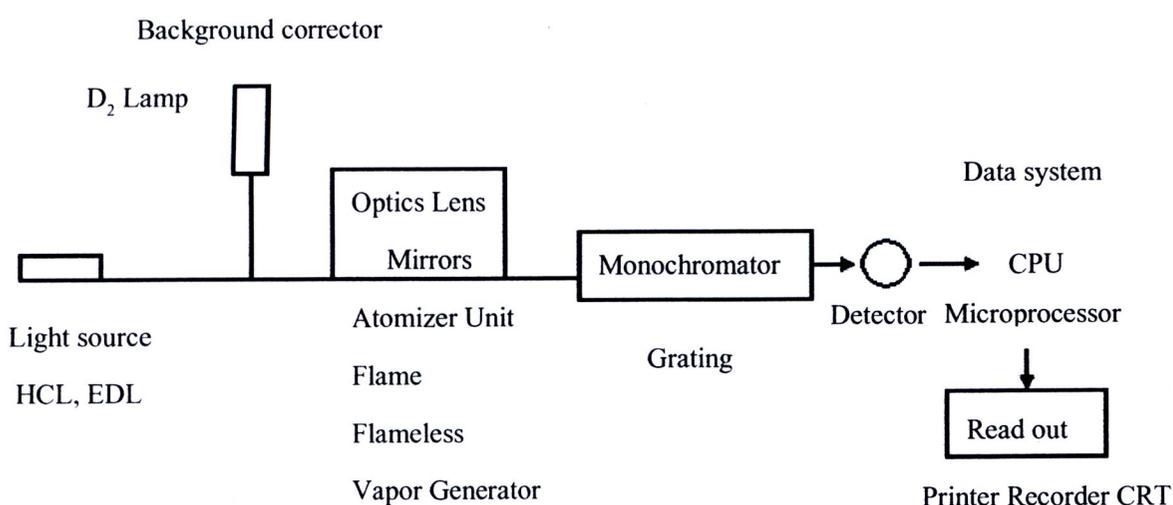
1. Flame Atomization Technique คือการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ

2. Flameless Technique คือการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า

3. Hydride Generation Technique เนื่องจากธาตุบางชนิดเปลี่ยนให้เป็นอะตอมเสรีโดยตรงไม่ได้ จำเป็นต้องทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับ O_2 โดยทำให้กลายเป็นไอที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์เป็นไฮไดรด์ จากนั้นจึงผ่านไฮไดรด์เข้าไปในเปลวไฟไฮไดรเจนจะกลายเป็นอะตอมเสรีในหลอดควอดซ์รูปตัว T เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi, Sb, Tl และ Pb

4. Cold Vapor Generation Technique ใช้วิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่าย เช่นปรอท แคดเมียม เมื่อทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ เช่น ทิน(II) คลอไรด์ ($SnCl_2$) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$)

เพื่อความเข้าใจถึงขั้นตอนของเทคนิคการวิเคราะห์ตลอดทั้งหน้าที่ของส่วนต่างๆ ของเครื่อง AAS จะอธิบายพอสังเขป ดังต่อไปนี้



รูป 1.1 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer⁽¹¹⁾

องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง AAS (รูป 1.1)

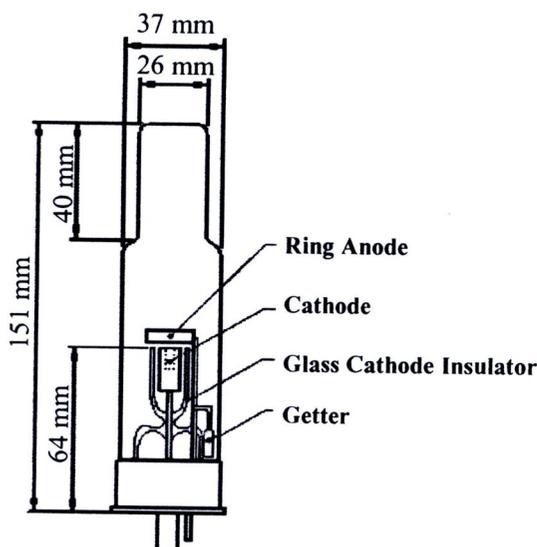
ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี
3. โมโนโครมาเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ
4. เครื่องตรวจวัด
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

แหล่งกำเนิดแสง

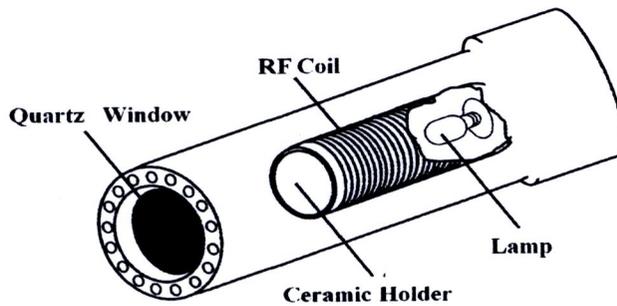
โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงใช้เป็น hollow cathode lamps (HCL) และ electrodeless discharge lamps (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น ทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ดังนี้

1. Hollow Cathode lamps (HCL) (รูป 1.2) ลักษณะของ HCL ประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะที่เป็นรูปทรงกระบอกกลวงหรือรูปถ้วยฉาบด้วยโลหะหรือเป็นผงโลหะที่ต้องการให้ถูกกระตุ้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มี resonance lines ส่วนขั้วแอโนด anode ทำด้วยโลหะนิเกิล หรือ ทังสเตน หรือ โซโคเนียมเป็นแท่งเล็กๆ ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนีออน หรืออาร์กอนที่ความดันประมาณ 4-10 torr ในการใช้หลอด HCL window จะต้องสะอาด



รูป 1.2 ลักษณะของ Hollow Cathode Lamp⁽¹³⁾

2. **Electrodeless Discharge Lamps (รูป 1.3)** ใช้ในการหาปริมาณของธาตุบางอย่างได้แก่ Bi, Cd, Hg, As, P, Pb, Sb, Se, Te, Tl และ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดนี้ได้รับการแนะนำให้ใช้หาปริมาณของ As, Se และ Hg เพราะให้ sensitivity ดีกว่า นอกจากนี้ EDL ยังให้ความเข้มของแสงสูงกว่า ซึ่งทำให้เพิ่มขีดจำกัดของการตรวจหาได้คืออีกด้วย



รูป 1.3 ลักษณะของ Electrodeless Discharge Lamps⁽¹⁴⁾

กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization)

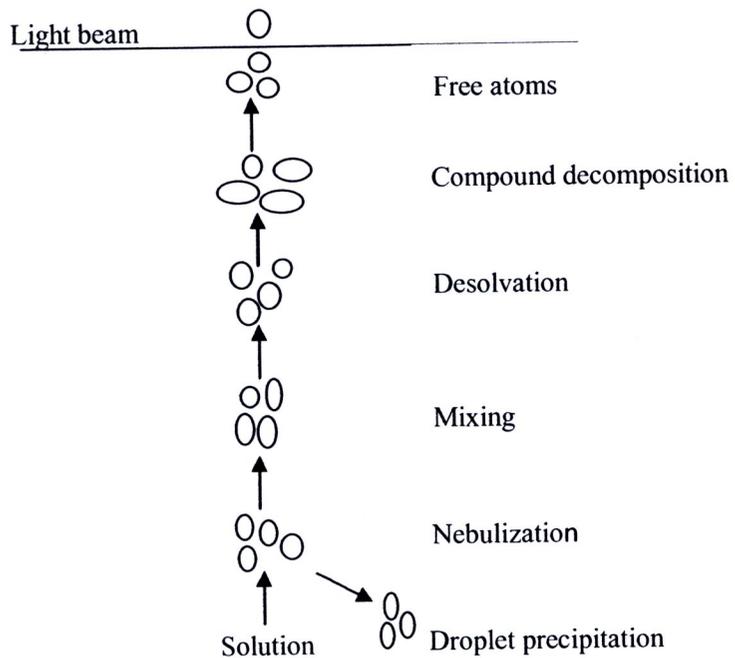
กระบวนการนี้สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization มี 5 ขั้นตอน (รูป 1.4) คือ

1. Nebulization เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ (mist) ด้วยเครื่องเรียกว่า nebulizer
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยด สารละลายใดไม่สามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (drain)
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิเจนใน spray chamber ของ nebulizer
4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดไปทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุล และเป็นอะตอมเสรีบางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการไอออไนเซชันต่อไปได้

ชนิดของเปลวไฟ

ควรเลือกให้เหมาะสมเพราะเปลวไฟแต่ละชนิดมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ถ้าเป็น Air - C₂H₂ Flame นิยมใช้มาก สามารถวิเคราะห์ได้ 30 ธาตุ ส่วน N₂O-C₂H₂ Flame เป็นเปลวไฟที่ร้อนที่สุดสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ เช่น Al, V, Si และ Ti รวมทั้งพวก rare earth elements ถึงแม้ว่าธาตุเหล่านี้เมื่ออยู่ในเปลวไฟจะเกิดการรวมตัวเป็นสารทนไฟ (refractory compounds) หรือออกไซด์ที่เสถียรมากก็ตาม เปลวไฟนี้ก็สามารถทำให้สลายตัวเป็นอะตอมได้ ดังนั้น เปลวไฟชนิดนี้จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้ถึง 67 ธาตุ ส่วน Air - H₂ Flame เป็นเปลวไฟที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง บางครั้งอาจเรียกว่า entrained air flame คือแก๊สไฮโดรเจนเองติดไฟโดยมีอากาศช่วย เปลวไฟนี้จะใช้ในกรณีที่ใช้ Hydride generation technique หรือใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Zn, Pb, Cd และ Sn ซึ่งใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น background absorption จะต้องต่ำ Ar-H₂ Flame จึงเหมาะที่สุด แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการแทรกสอดมากขึ้น



รูป 1.4 Flame Atomization process⁽¹¹⁾

1.7 เทคนิคอตราโซนิกเอซิดไดเจสชัน (Ultrasonic acid digestion) ⁽¹⁵⁾

เครื่อง Ultrasonic นั้น ใช้ระบบเสียง Ultrasound ซึ่งเป็นเสียงที่อยู่ในระดับความถี่ 15-400 KHz ที่ถูกสร้างโดย Transducer ซึ่งมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเป็น Crystal มีหลักการทำงานคือส่งคลื่นความถี่สูงลงสู่สารละลายที่ใช้ชะล้าง การส่งคลื่นความถี่สูงลงไปของเหลว ส่งผลให้โมเลกุลของของเหลวเกิดการบีบอัดและคลายตัวเป็นจังหวะ เป็นผลให้มีฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากผุดขึ้น เรียกลักษณะดังกล่าวว่ากระบวนการคอดักของเหลว (Cavitation) แต่เนื่องจากฟองอากาศดังกล่าวไม่ใช่ฟองอากาศที่เกิดจากการต้มน้ำธรรมดา เพราะเกิดจากคลื่นความถี่สูง เพราะฉะนั้นฟองอากาศเล็ก ๆ ดังกล่าวจึงมีพลังงานแฝงอยู่ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการชะล้างคราบหรือสิ่งฝังที่อยู่บนผิวอุปกรณ์ได้โดยไม่ทำลายชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากฟองอากาศมีเป็นจำนวนมาก จึงสามารถเข้าซอกซอนในทุกซอกมุมเล็ก ๆ ได้ เครื่องที่สามารถผลิตคลื่นความถี่ได้สูงเท่าไร มีผลให้เกิดฟองอากาศดังกล่าวได้มากและพลังแฝงมาก ซึ่งก็จะมีผลให้การทำความสะอาดดีขึ้นด้วย โดยเครื่อง Ultrasonic นี้สามารถนำมาใช้ในการสกัดหรือย่อยสารตัวอย่างได้ซึ่งต้องมีการใช้ร่วมกับสารละลายผสมของกรดกับ oxidizing agent อื่นๆ ให้เหมาะสม

1.8 การเก็บและการนำส่งตัวอย่างน้ำ⁽¹⁶⁾

การเก็บและการนำส่งตัวอย่างน้ำไปยังห้องปฏิบัติการที่ถูกต้องมีความสำคัญมาก ต้องทำด้วยความระมัดระวังเพื่อให้ได้ตัวแทนที่แท้จริงของน้ำ เพราะหากการเก็บและนำส่งตัวอย่างไม่ถูกต้อง จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่ถูกต้องด้วย ตัวอย่างที่เก็บควรมีการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ครบถ้วนตามสมควร ถ้าไม่มีรายละเอียดเพียงพอแล้วการวินิจฉัยเบื้องต้นก็อาจจะไม่ครอบคลุม หรือถ้าตัวอย่างไม่เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำที่แท้จริงก็อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ การเก็บตัวอย่างที่ดีและถูกต้อง ควรพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

1. ภาชนะที่บรรจุตัวอย่าง (container)
2. ขนาดหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ต้องการ (sample size)
3. จุดเก็บและความถี่ของการเก็บตัวอย่าง (sampling site and frequency)
4. เทคนิคการเก็บตัวอย่างของแต่ละพารามิเตอร์ (sampling technique / sampling procedure)
5. การรักษาสภาพตัวอย่าง (sample pretreatment / sample preservation)
6. การเก็บรักษาตัวอย่างขณะขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ (sample transportation)

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์คุณลักษณะกายภาพ เคมีและสารเป็นพิษ⁽¹⁷⁾

1. ภาชนะบรรจุ

นิยมใช้ขวดแก้วหรือพลาสติก ความจุไม่น้อยกว่า 4 ลิตร ซึ่งล้างให้สะอาดแล้วนำไปแช่กรดไนตริกเข้มข้น 12% ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 คืนก่อนนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและทำให้แห้ง โดยก่อนเก็บตัวอย่างน้ำให้ใช้น้ำที่จะเก็บล้างขวด 2-3 ครั้ง ห้ามนำภาชนะที่เคยบรรจุยา สารเคมี หรือน้ำมัน หรือสิ่งอื่นที่ไม่สามารถล้างออกได้หมดมาใช้เก็บตัวอย่างน้ำ เพราะสิ่งที่เปื้อนอยู่บนภาชนะอาจทำให้ผลการวิเคราะห์น้ำไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง

2. วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

น้ำผิวดิน การเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ลำคลอง หรือแม่น้ำ ควรเก็บที่กึ่งกลางลำน้ำ ลึกจากผิวน้ำอย่างน้อย 30 เซนติเมตร (ไม่ควรเก็บใกล้ฝั่ง) ให้หย่อนขวดเก็บน้ำแล้วรอสักครู่ เพื่อให้สภาพน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการหย่อนขวดเก็บน้ำกลับสู่สภาพเดิมก่อน จึงเปิดจุกขวดให้น้ำไหลเข้าขวด

3. การเขียนฉลากปิดขวดตัวอย่างน้ำควรระบุดังต่อไปนี้

- 3.1 ชนิดของน้ำ เช่น น้ำบาดาล แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ หรืออื่นๆ
- 3.2 สถานที่เก็บ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล หมู่บ้าน
- 3.3 วัน เดือน ปี และเวลาที่เก็บตัวอย่าง

4. ระยะเวลาในการเก็บและนำส่งตัวอย่างน้ำจะระบุดังต่อไปนี้

นำส่งตัวอย่างน้ำไปยังห้องปฏิบัติการ โดยเร็วที่สุด เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ทันที เนื่องจากคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในระหว่างขนส่งระวังอย่าให้ตัวอย่างโดนแสง ควรมีอลูมิเนียมฟรอย (aluminium foil) ปิดครอบปากขวดตัวอย่างไว้ และตัวอย่างต้องแช่เย็นในภาชนะแช่เย็นที่เป็นกระติกน้ำแข็งหรือโฟม

1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2008 Shabani และคณะ⁽¹⁸⁾ ได้ทำการศึกษาการแยกและเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมไอออนในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ octadecyl silica membrane disks ในการเพิ่มความเข้มข้นและตรวจวัดโดยเทคนิคเฟลอมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี การสกัดด้วยเฟส



ของแข็งจะขึ้นอยู่กับ การดูดซับของแคดเมียมในรูปของ CdL_4^{2-} บน octadecyl silica membrane disk และทำการชะแคดเมียมโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 1 M ในเอธานอล พบว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดแคดเมียมเท่ากับ 0.014 ng/mL

ในปี ค.ศ. 2009 Mahmoud และคณะ⁽¹⁹⁾ ได้ทำการวิเคราะห์ไอออนของธาตุ Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd และ Pb ในน้ำตัวอย่างโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี หลังจากการเพิ่มความเข้มข้นผ่านทาง ion exchanger โดยใช้ silica gel N-(1-carboxy-6-hydroxy)benzylidene propylamine และใช้ HNO_3 เข้มข้น 1-2 M เป็นตัวชะ พบว่าค่าร้อยละการกลับคืน เท่ากับ 98.5%-99.5% และ ค่าขีดจำกัดต่ำสุด เท่ากับ 0.07-0.14 ng/mL ความเชื่อมั่นของวิธีนี้ ยืนยันโดยเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานคือการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

ในปี ค.ศ. 2010 Orala และคณะ⁽²⁰⁾ ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้น ของ Cu(II) และ Cd(II) โดยใช้ 1,6-bis(2-carboxy aldehyde phenoxy)butane ซึ่งถูก functionalized บน Amberlite XAD-16 ก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี ในการเพิ่มความเข้มข้นทำโดย load สารละลายตัวอย่างที่มี Cu(II) และ Cd(II) ผ่านเรซินที่สังเคราะห์ขึ้น โดยสารละลาย Cu(II) มีค่า pH 4 และสารละลาย Cd(II) มีค่า pH 6 และใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.5 M ปริมาตร 5 mL เป็นตัวชะ ค่าร้อยละการกลับคืนของ Cu(II) และ Cd(II) ที่พบ คือ 100 ± 2.15 และ 100 ± 1.40 (ซ้ำ 5 ครั้ง) ขีดจำกัดต่ำสุดของ Cu(II) และ Cd(II) เท่ากับ 0.33 และ 1.19 $\mu g/L$ ค่า %RSD ของ Cu(II) และ Cd(II) เท่ากับ 0.7 และค่า LOQ ของ Cu(II) คือ 1.1-80 ng/mL และ Cd(II) คือ 4-30 ng/mL

ในปี ค.ศ. 2011 Ghanemi และคณะ⁽²¹⁾ ได้ทำการศึกษา Sulfur-nanoparticle-based method ในการแยกและเพิ่มความเข้มข้นของ Cd, Zn, Cu, และ Pb ในตัวอย่างน้ำทะเลก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้อัตราการไหล เท่ากับ 15 mL/min pH 8.5 สำหรับสารละลายตัวอย่างและตัวชะประกอบด้วย 3.0 M ของกรดไนตริกในเอธานอล ซึ่งขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดโดยวิธีนี้สำหรับ Cd, Zn, Cu, และ Pb มีค่าเท่ากับ 0.30, 0.21, 0.24 และ 0.63 g/L (n=10) ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2007 Kenduzlera และคณะ⁽²²⁾ ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำตัวอย่างโดยการสกัดด้วยเฟสของแข็งซึ่งใช้ Amberlyst 36 และใช้ FAAS ในการตรวจวัด พบว่ามีค่า RSD เท่ากับ 1.8% โดยมีค่าขีดจำกัดต่ำสุด เท่ากับ 0.86 $\mu g/L$



ในปี ค.ศ. 2007 Baytak และคณะ⁽²³⁾ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว เหล็กและนิกเกิลในน้ำหลังจากเพิ่มความเข้มข้นด้วย *Aspergillus niger* จากนั้นตรวจวัดด้วย FAAS พบว่าร้อยละการกลับคืนของ Fe(III), Pb(II) และ Ni(II) เท่ากับ 98% 98% และ 99% ตามลำดับ และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของ Fe(III), Pb(II) และ Ni(II) เท่ากับ 1.7, 5.2 และ 1.6 ng/mL ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2010 Pourreza และคณะ⁽²⁴⁾ ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นของ Cd (II), Ni (II), Co (II) และ Cu (II) ในตัวอย่างน้ำชาโดยใช้ Dithizone ซึ่งโหลดในสารแนฟธาระลินและใช้กรดไนตริกเป็นตัวชะ พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.5-75.0 ng/mL สำหรับ Cd(II), 1.0-150.0 ng/mL สำหรับ Ni(II) และ 1.0-150.0 ng/mL สำหรับ Co(II) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเท่ากับ 0.13 ng/mL, 0.32 ng/mL, 0.33 ng/mL และ 0.43 ng/mL ค่า RSD เท่ากับ 3.46%, 2.43%, 2.45% และ 3.26% สำหรับ Cd(II), Ni(II), Co(II) และ Cu(II) ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2010 Pourreza และคณะ⁽²⁵⁾ ได้ใช้ Silica gel-polyethylene glycol เป็นตัวดูดซับในการเพิ่มความเข้มข้นของโคบอลต์และนิกเกิลในน้ำตัวอย่างน้ำประปาและน้ำจากแม่น้ำ สำหรับนิกเกิลมีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงของ 2.0-100.0 ng/mL มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.71 ng/mL

ในปี ค.ศ. 2008 Ensafi และคณะ⁽²⁶⁾ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) โดยใช้เทคนิค Solid phase extraction ร่วมกับเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชั่นสเปกโตรโฟโตเมตรี ในเทคนิคนี้จะใช้ถ่านกัมมันต์เป็นของแข็งดูดซับตะกั่ว(II) จากนั้นจึงทำการชะสารตะกั่ว(II)โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ในงานวิจัยนี้พบว่าถ่านกัมมันต์ 1 กรัมสามารถดูดซับตะกั่ว(II) ได้ 0.2 mg และค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัดตะกั่ว(II) เท่ากับ 0.4 ng/mL

ในปี ค.ศ. 2010 Zhang และคณะ⁽²⁷⁾ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู (As^{5+}) โดยใช้เทคนิค Solid phase extraction ร่วมกับเทคนิคไฮโครเจนเนอร์เรชัน อะตอมมิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรี โดยใช้เยื่อใยเป็นของแข็งดูดซับในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นสารหนูและใช้กรดไนตริกเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร เป็นตัวชะ ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัดสารหนูเท่ากับ 0.001 $\mu\text{g/L}$ และได้ค่า enrichment factor เท่ากับ 33.3

ในปี ค.ศ. 2010 Ezoddin และคณะ⁽²⁸⁾ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม(II) และตะกั่ว(II) ในสิ่งแวดล้อมโดยใช้อะลูมินาขนาดนาโนเป็นวัสดุดูดซับในเทคนิค Solid phase

extraction และใช้กรดไนตริกเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร เป็นตัวชะและใช้วิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี ในงานวิจัยนี้พบว่าอะลูมินาขนาดนาโนสามารถดูดซับแคดเมียมและตะกั่วได้เท่ากับ 11.1 และ 16.4 mg/g ตามลำดับและมีค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดแคดเมียมและตะกั่วเท่ากับ 0.15 และ 0.17 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2011 Ayata และคณะ⁽²⁹⁾ ได้ทำการศึกษาการแยก และการเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่ว(II) ในสิ่งแวดล้อมโดยใช้ ionic liquid-modified silica เป็นวัสดุดูดซับ และวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี และใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร เป็นตัวชะ ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัดตะกั่ว(II) เท่ากับ 0.7 $\mu\text{g/mL}$ นอกจากนี้ยังได้ค่า preconcentration factor สูงถึง 185

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ในหลายๆ งานวิจัยมักจะใช้สารเคมีที่อันตรายในการจับตัวกับโลหะในน้ำเพื่อใช้ในการดูดซับและสารที่มีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์หาไอออนของโลหะหนัก

1.10 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักปริมาณน้อยที่ปนเปื้อนในแม่น้ำน่านในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยที่ไหลผ่านจังหวัดอุดรดิตถ์ จังหวัดพิจิตร และ นครสวรรค์
2. เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเฝ้าระวังและติดตามคุณภาพน้ำ และเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการคุณภาพของแม่น้ำน่านต่อไป

1.11 ขอบเขต

1. ศึกษาชนิดของเยื่อเปลือกไข่สำหรับใช้เป็นวัสดุในการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนัก
2. ศึกษาและพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว
3. วิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว ในแม่น้ำน่าน โดยใช้เทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นด้วยเยื่อเปลือกไข่ร่วมกับเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี

1.12 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถพัฒนาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียม นิกเกิล และตะกั่ว โดยใช้วัสดุธรรมชาติที่หาง่าย ราคาถูก และข้อมูลน่าจะเป็นประโยชน์ในการเฝ้าระวังและติดตามคุณภาพน้ำ