

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อนด้วยการใช้เปลือกไข่ไก่ และเปลือกกุ้งขาว ซึ่งเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529) และในเปลือกกุ้งขาวมีสารโคตินและโคโตซานซึ่งมีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายได้ (สิริชิน ตะนุสะ, 2543) เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่และเปลือกกุ้งขาวในการดูดซับแคดเมียมที่ละลายในน้ำ มีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

2.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่เกิดจากการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยเกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ซึ่งโลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะสูงตั้งแต่ 5 ขึ้นไปโดยไม่รวมโลหะหนักที่เป็นแอลคาไลน์ (Alkali) และโลหะหนักแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 และอยู่ในช่วง 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักจึงมีทั้งหมด 68 ธาตุ จากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะหนักทั้งหมด 83 ธาตุ โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว เนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้ และถูกตัดง่ายด้วยมีด มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวดหรือเป็นผงเล็กๆและในอากาศชั้นแคดเมียมจะถูกออกซิไดส์ให้เป็นแคดเมียมออกไซด์ รวมถึงแคดเมียมยังละลายได้ทั้งในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ รวมถึงยังมีลักษณะเหนียว สามารถจะรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (รัชดา บุญแก้ว และ วรณฤดี หวันชื่น, 2545)

แคดเมียม เป็นธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 48 และมีสัญลักษณ์ คือ Cd รวมถึงเป็นโลหะอ่อน มีสีเงิน มีจุดหลอมตัว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 769 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่น 8.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ เนื่องจากแคดเมียมมีโครงสร้างอะตอมและคุณสมบัติทางเคมีคล้ายสังกะสี จึงมักพบแคดเมียมในแหล่งแร่สังกะสีและแร่โลหะอื่นๆ แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ ซึ่งมักจะพบแคดเมียมอยู่ในรูปซัลไฟด์ (Cds) โดยปกติพบบนผิวโลกประมาณ 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชีวะยะ, 2542) ในน้ำจืดอยู่ประมาณ 0.001-0.1 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำทะเลมีประมาณ 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร (Mc.Neely et. al, 1979 อ้างถึงใน เปี่ยมศักดิ์, 2539) นอกจากนี้แคดเมียมยังถูกดูดซับ

ด้วยอนุภาคดินเหนียวให้ตกตะกอน ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมในดินจะเปลี่ยนไปตามลักษณะและกำเนิดของดินด้วยเช่นกัน โดยดินที่เกิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าดินที่เกิดจากหินอัคนีหรือหินแปร (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชิวยะ, 2542)

ประโยชน์ของการนำแคดเมียมมาใช้ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากข้อมูลการใช้ทั่วโลกในปี 1960 มีปริมาณ 11,000 ตัน เพิ่มขึ้น 19,000 ตัน ในปี 1985 (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชิวยะ, 2542) โดยมีการนำมาใช้ในหลายๆด้าน คือ ใช้ร่วมกับนิกเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่ ใช้ทำโลหะผสม ใช้ผสมสีบางชนิด ยางและพลาสติก ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมพีวีซี ใช้ในร้านทันตกรรม ซึ่งเป็นส่วนผสมของอมัลกัม (Amalgam) ใช้ในอุตสาหกรรมของเด็กเล่น รวมถึงการใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราและปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟต จะมีแคดเมียมเจือปนมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น

แคดเมียมเป็นโลหะที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและยังก่อให้เกิดพิษต่อร่างกาย แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหารและการหายใจ การดูดซึม การสะสม และการกำจัดแคดเมียม ออกจากร่างกายจะขึ้นอยู่กับทางที่ได้รับแคดเมียมเข้าไป คุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพของแคดเมียม ทั้งนี้พบว่า การดูดซึมที่บริเวณทางเดินอาหารจะต่ำมากประมาณร้อยละ 2-8 ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารอัน ได้แก่ โปรตีน วิตามิน แคลเซียม ส่วนการได้รับแคดเมียมทางลมหายใจจะขึ้นอยู่กับขนาดและการละลายของแคดเมียม โดยร่างกายจะดูดซึมร้อยละ 10.5 ของปริมาณที่หายใจเข้าไป (Elinder, 1982 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชิวยะ, 2542) สำหรับคนที่สูบบุหรี่นั้น จะได้รับแคดเมียมประมาณ 30-35 ไมโครกรัม/วัน

ความเป็นพิษของแคดเมียมนั้น จากรายงานของ Berman (1980) อ้างถึงใน สุกะชัย ชัยกิจวัฒน์, 2547 กล่าวว่าถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมจากอาหารในปริมาณสูงหรือได้รับ 10-15 มิลลิกรัม จากเครื่องสำอางทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดหัว เป็นตะกริว ปวดท้อง ท้องร่วงอย่างรุนแรง และอาจช็อคตายได้ ส่วนการหายใจเอาอากาศที่มีแคดเมียมออกไซด์ เข้มข้น 15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือมีความเข้มข้นสูงกว่าในระยะเวลานั้นจะเกิดอาการคอแห้ง ระคายคอ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออก ปวดหัว เป็นตะกริว ในที่สุดจะเป็นโรคปอดบวม ปอดอักเสบ และตายได้ใน 4-7 วันในวันที่ได้รับ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดไตอักเสบและการทำงานของตับเสื่อมลง (Elinder, 1982 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชิวยะ, 2542) ในกรณีที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานจะทำให้กระดูกพรุนเสียรูปแบบทำให้เจ็บปวดมากที่เรียกว่าอิตาลี-อิตาลี แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายแล้ว ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นที่ถูกขับออกจากร่างกาย ส่วนที่เหลือสะสมอยู่ตามอวัยวะต่างๆ โดยสะสมอยู่ที่ตับและไตมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 50-70

2.2 กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้นโมเลกุล ซึ่งไม่อาจกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือการกรองธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ตัวที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียก ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับเรียกตัวถูดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์การดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวถูดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์และโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้สารกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดินหรือดูดซับโลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

2.2.1 ประเภทของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์นี้สามารถจับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก (สิริชื่น ตะนุสะ, 2543)

2. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้มีความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูงโดยทั่วไปมีพื้นที่ผิวประมาณ 450-1500 ตารางเมตรต่อกรัม (Weber, 1981) และมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10-10,000 อังสตรอม (Hessler, 1963) ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์

แต่เรซินมีข้อได้เปรียบมากกว่าคือสามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง (มันลิน, 2438 อ้างถึงในสิริชื่น ตะนุสะ, 2543)

2.2.2 รูปแบบของการดูดซับ

การดูดซับมี 2 รูปแบบ ดังนี้

1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ยึดติดกับผิวตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน (Weak Van Der Waal's force) เรียกกระบวนการดูดติดผิวตัวดูดซับนี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการแบบผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนขบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับ เรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะซ้อนกันเป็นหลายชั้นเรียกว่า Multilayer

2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับโดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว เรียกว่า Monolayer

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

(1) สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวดูดซับมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้เมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนขนาดใหญ่ แต่ปากรูพรุนขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

(2) สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

ก) ความสามารถในการละลายสารที่มีความสามารถในการละลายสูง จะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถ เกิดการดูดซับได้

ข) น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (Branched Chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง (Straight Chain)

ค) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) การดูดซับเกิดขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ที่พื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับไฮดรอกไซด์เกิดได้มากขึ้น

ง) อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับอ่อนลง

2.3 การประยุกต์ใช้วัสดุในการดูดซับโลหะหนัก

2.3.1 การใช้เปลือกไข่ (Egg Shell) ในการดูดซับ

โดยเปลือกไข่หนาประมาณ 300 ไมโครมิลลิเมตร หนักประมาณ 5 กรัม (สุวรรณิ สิมะกรพินธุ์, 2542) ไข่ที่ออกมาใหม่ๆ เปลือกไข่ค่อนข้างโปร่งแสง ต่อมาจะค่อยๆ ขุ่นทึบแสงลง ถ้าใช้เครื่องส่งดู จะเห็นลักษณะตามที่แสงผ่านเป็นจุดเล็กๆ ในบริเวณใต้เปลือก ทั้งนี้เนื่องจากการรวมตัวโปรตีน จนเป็นชั้นเป็นแผ่นๆ ซึ่งทำหน้าที่ช่วยเก็บรักษาความชื้นและยังเป็นส่วนที่แสงผ่านได้สะดวกกว่าส่วนอื่นๆ (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529)

เปลือกไข่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ที่ผิวของเปลือกไข่มีรูเล็กๆ อยู่มากกว่า 17,000 รู ช่วยระบายความชื้นและรับอากาศเข้าไป ซึ่งสำคัญมากต่อการพัฒนาของลูกไก่ และมีสารเคลือบที่สามารถป้องกันเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เข้าไปในไข่ได้ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ขึ้นกับอายุและการกินอาหารของแม่ไก่ ส่วนใหญ่แม่ไก่ที่ตัวใหญ่จะให้ไข่ไก่ขนาดใหญ่และมีเปลือกบาง

ส่วนต่างๆของไข่	สัดส่วน%	น้ำ%	โปรตีน%	ไขมัน%	เถ้า%
เนื้อไข่ทั้งฟอง	100	65.5	11.8	11.0	11.7
ไข่ขาว	58	88.0	11.0	0.2	0.8
ไข่แดง	31	48.0	17.5	32.5	2.0
เปลือกไข่	11	94.0	1.0	1.0	4.0

ที่มา: สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529.

จากการศึกษาช่วงของ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด คือ ช่วง 4-6 และ 5-6 ตามลำดับ ขนาดของเปลือกไข่ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียม คือ 0.300-0.850 มม. และอัตราการกรองที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมสำหรับ เปลือกไข่ทั้งสองชนิด คือ 1.5 ลบ.ม./ตร.ม.ต่อชั่วโมง ชนิดของเปลือกไข่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการกำจัดแคดเมียม คือ เปลือกไข่ไก่ โดยเปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 89.58% และ 73.62% ตามลำดับ (ฉัตรสินี สุรเสน, 2545)

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เปลือกไข่ ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ พีเอชของน้ำเสีย ซึ่งค่าที่เหมาะสมของการใช้เปลือกไข่ เป็นสารดูดซับในการกำจัดแคดเมียมอยู่ที่ pH 5-6 เปลือกไข่ไก่ดูดซับแคดเมียมสูงถึงร้อยละ 99.75% เมื่อใช้เปลือกไข่ 3.2 กิโลกรัม (อัจฉรา ดวงเดือน, 2545)

2.3.2 การใช้เปลือกกุ้ง (Crustaceans Shell) ในการดูดซับ

ไคติน (chitin) เป็นสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งให้ความแข็งแรงแก่เปลือกสัตว์จำพวก กุ้ง หอย ปู แมลง และพบในผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีความคล้ายคลึงกับเซลล์ลูโลสของผนังเซลล์ของพืชเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการสกัดสารไคตินจากสิ่งมีชีวิตมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย จากการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูพบว่า เปลือกกุ้งมีไคติน 14-27% ส่วนเปลือกปูมีไคตินประมาณ 13-15% เทียบน้ำหนักแห้ง (วิสิฐ และวันทนี, 2535)

ไคติน-ไคโตซาน เป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม ที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีในโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่เด่น และหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพ และยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม สารไคติน-ไคโตซานนี้มีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามธรรมชาติ (สิริชื่น ตะนุสะ, 2543)

โครงสร้างทางเคมีของไคติน คล้ายคลึงกับเซลล์ลูโลส คือเป็นเส้นใยที่ยาว ไคตินที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรงมีการจัดตัวของรูปแบบของผลึกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ แอลฟาไคติน บีต้าไคติน และแกมมาไคติน ไคตินที่เกิดในเปลือกกุ้งและปู ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอลฟาไคติน ส่วนไคตินที่อยู่ในปลาหมึกพบว่าส่วนใหญ่เป็นบีต้าไคตินในการจัดเรียงตัวของโครงสร้างตามธรรมชาติพบว่าแอลฟาไคตินมีคุณลักษณะของเสถียรภาพทางเคมีสูงกว่าบีต้าไคติน ดังนั้นจึงมีโอกาที่บีต้าไคตินสามารถจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นแอลฟาไคตินได้ในสารละลายของกรดแก่ เช่น กรดเกลือ เป็นต้น ส่วนแกมมาไคตินเป็นโครงสร้างผสมระหว่างแอลฟาและบีต้าไคติน

โดยธรรมชาติแล้วไคโตซานจะไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย สารละลายไคโตซานจะมีความเข้มข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อต่างๆเป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย

สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อกินเข้าไปและมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไปใต้น้ำหรือในดินเพื่อการเกษตร

จากการศึกษาการดูดซับทองแดงด้วยไคโตซานที่เตรียมจากเปลือกกุ้ง ค่า% DD ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเทคนิคการไทเทรต จะได้ค่า 83.07% และ 82.20% ตามลำดับ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) ของไคโตซานมาตรฐาน ไคโตซานจากเปลือกกุ้งจะได้ค่า KL เท่ากับ 24.62 mg/g ตามลำดับ (ดร.สุดาพร ตั้งควนิช และคณะ, 2535)

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) ด้วยไคโตเซนที่เตรียมจากเปลือกกุ้ง-กุลาค่า ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไคโตเซน ที่ค่า pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ไคโตเซนมีความสามารถในการดูดซับโครเมียมเท่ากับ 0.45, 1.24, 2.01, 10.92, 12.36 และ 21.50 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกรัมไคโตเซน ตามลำดับ (เบญจภรณ์ ประเทืองมาศ, 2544)

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักมาตรฐาน สังกะสี และแคดเมียม ด้วยไคโตซานพอร์สปีด ที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง ปรากฏว่าไคโตซานพอร์สปีดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 95.50% และประสิทธิภาพในการดูดซับสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 92.48% ที่ปริมาณไคโตซานพอร์สปีดเท่ากับ 60 กรัม ส่วนอัตราการดูดซับสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัมไคโตซานพอร์สปีด และอัตราการดูดซับแคดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 2.58 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมไคโตซานพอร์สปีด (นิรันดร์ สัพพวิญญู และปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2546)

ศุภะชัย ชัยกิจวัฒน์ (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เมล็ดแมงลักนำน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม โดยทำการศึกษาวิเคราะห์ไอโซเทอมของเมล็ดแมงลักในการดูดซับแคดเมียมทางชีวจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยจะควบคุมค่า pH และทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นแคดเมียมของสารละลายระหว่าง 2-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตัวดูดซับเมล็ดแมงลัก ระหว่าง 1- 20 กรัม และศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแคดเมียมของเมล็ดแมงลักที่เวลาสัมผัสต่างๆกัน

ผลการวิจัยพบว่า อัตราการดูดซับทางชีวจะเพิ่มขึ้นเป็นนัยสำคัญแปรตามเวลาสัมผัส โดยเวลาสัมผัสที่ 60 นาที เป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ซึ่งระยะเวลาสัมผัสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่จะดูดซับและประมาณตัวดูดซับน้อย ผลการทดลองสามารถนำมาทำนายความจุของเมล็ดแมงลัก ในการขจัดแคดเมียมในน้ำเสีย จนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

ผลการทดลองศึกษาฟื้นฟูสภาพการ และนำเมล็ดแมงลักมาใช้ใหม่พบว่าเหมาะสมที่จะนำมาดูดซับเพียงครั้งเดียวและถ้าต้องการสกัดแคดเมียมออกจากเมล็ดแมงลักพบว่า สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลิตร มีความเหมาะสมที่สุด โดยสามารถสกัดแคดเมียมออกจากเมล็ดแมงลักได้เฉลี่ยประมาณ 70 %

สิริชิน ตะนุสะ (2543) ได้อ้างอิงถึง Okieimen and Onyenikpa (1988) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัด Cd^{2+} , Pb^{2+} ในน้ำเสียโดยใช้เปลือกเมล็ดแดงโม ทำการทดสอบทั้งแบบ Batch และ Column ขนาดของเปลือกเมล็ดแดงโม 300-425 ไมโครเมตร การทดสอบแบบ Batch ใช้กำจัด Cd^{2+} , Pb^{2+} และ Ni^{2+} ความเข้มข้นเริ่มต้น 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเปลือกเมล็ดแดงโมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี เปรียบเทียบกับเปลือกเมล็ดแดงโมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย EDTA พบว่าเปลือกเมล็ดแดงโมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทางเคมี สามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าและในการทดสอบแบบคอลัมน์ใช้กำจัด Pb^{2+} ด้วยเปลือกเมล็ดแดงโมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตรอัตราเร็วน้ำผ่านคอลัมน์ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สามารถกำจัด Pb^{2+} ได้ 62-92 เปอร์เซ็นต์ และสามารถ Recovery Pb^{2+} ได้ 70 เปอร์เซ็นต์

2.4 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

2.4.1 การตกตะกอน (Precipitation) เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว โดยเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้งเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ตัวอย่าง เช่น การใช้ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์, คาร์บอเนตซัลไฟด์ โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอชแตกต่างกัน เช่น ตะกั่วตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่พีเอช 7.5-9.5 แคลเซียมสามารถตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่พีเอช 9.5 – 12.5 ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zinc) ถ้าปรับพีเอชให้สูงมากเกินไปจะเกิดเป็นพอลิเมอร์และซิงเกต ซึ่งสามารถกลับไปละลายน้ำได้อีก การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงต้องเลือกปรับพีเอชให้เหมาะสมสำหรับโลหะแต่ละชนิดในน้ำเสีย

2.4.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) วิธีนี้อาศัยเรซิน เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน ซึ่งเรซินที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายอาจเป็นพวกซัลโฟนิก การกำจัดตะกั่วอยู่ในรูปของเตตราเอซิลเลตด้วยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนเป็นประจุบวกพวกคาร์บอกซิลิก-แอซิด พบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วจาก 126.7 มิลลิกรัมต่อลิตรลงเหลือ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแคลเซียมมีการใช้วิธีนี้ในการกำจัดบ้าง แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากต้องใช้เรซินที่มีความจำเพาะเจาะจง วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนี้เหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่ ต้องกำจัดออกก่อนโดยผ่านเข้าไปในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์

2.4.3 การระเหย (Evaporation) เป็นวิธีง่าย ๆ ที่ใช้กันมากวิธีหนึ่ง โดยการกำจัดน้ำออกจากน้ำเสีย จะใช้ได้ผลในกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียมีปริมาณมากเท่านั้น

2.4.4 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) วิธีนี้กำจัดโลหะหนักโดยใช้ความดันสูงผ่าน เซมิเพอมีเอเบิล เมมเบรน ซึ่งจะยอมให้อิออนบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านได้และต้องใช้ความดันสูงและต้อง เสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเมมเบรนที่จะต้องให้ทนต่อความดัน ความเป็นกรดและด่าง ตัวอย่าง เมมเบรน ที่ใช้ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตท พอลิเอมีด พอลิฟูแรนวิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า, น้ำเสียจากกระบวนการล้างภาพ

2.4.5 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นวิธีการที่แยกโลหะหนักออกจาก สารละลาย โดยการเติมตัวทำละลายซึ่งจะสามารถละลายโลหะหนักได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

2.4.6 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis) วิธีการนี้ใช้กระแสไฟฟ้าแยกโลหะหนักออก โดยให้ผ่านเพอมีเอเบิล เมมเบรนข้อเสียของวิธีนี้คือ ราคาแพง

2.4.7 ออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation – Reduction) ใช้มากในโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบโลหะหนักต่างๆที่เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำปฏิกิริยา ออกซิเดชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัด ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษ หรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน, โอโซน, คลอรีน, ไฮโปคลอไรต์เปอร์แมงกานีส ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ เฟอร์รัสซัลเฟต, โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตัวอย่างวิธีออกซิเดชัน – รีดักชัน และการทำให้ตกตะกอน ควบคู่กันในระบบการกำจัดโลหะหนัก สำหรับโรงงานชุบ เคลือบขนาดกลางและเล็กกำหนด โดยกรมแรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำแบบ Batch Process และเป็นวิธีการที่ใช้กันมากในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ในประเทศไทย การตกตะกอนเป็นวิธีที่ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ในกรณีที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนอยู่ ด้วยกันในน้ำเสียตกตะกอนโลหะหนักพร้อมๆกัน นอกจากการเกิดตะกอนได้ช้าแล้วยังไม่สามารถแยก ตะกอนกับน้ำที่จะทิ้งได้อย่างเด็ดขาด การแก้ปัญหาอาจกระทำได้ 2 วิธีคือ ส่งเสริมการวิจัยให้มีการ นำเอาโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ หรือหาวิธีการกำจัดโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่คงตัว ในธรรมชาติ เพื่อไม่ให้กลับมาระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตแต่จะเลือกใช้วิธีใดต้องคำนึงถึง ต้นทุนในการผลิต การดูแลรักษาและที่สำคัญ คือ วิธีในการบำบัดต้องสะดวกและหลีกเลี่ยงการใช้ สารเคมีให้มากที่สุด

2.5 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ปัจจุบันเทคนิคทาง AAS เป็นที่นิยมมากวิธีหนึ่งเนื่องจากเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงนัก และเป็นเทคนิคเฉพาะที่ดีมาก สามารถใช้ในการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534)

2.5.1 หลักการของเทคนิค อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS)

หลักการของเทคนิคทาง AAS เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกันด้วย เช่นอะตอมของทองแดงจะดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร หมายความว่า แสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอเหมาะที่จะทำให้อิเล็กตรอนของทองแดง อะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะเร้าซึ่งปริมาณเกิดแสงที่ดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร ค่าที่วัดได้ คือ ค่าแอบซอร์พแบนซ์ (absorbance) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสาร

2.5.2 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

สัมพันธ์ พลันสังเกตุ และคณะ (2544) ได้สรุปเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

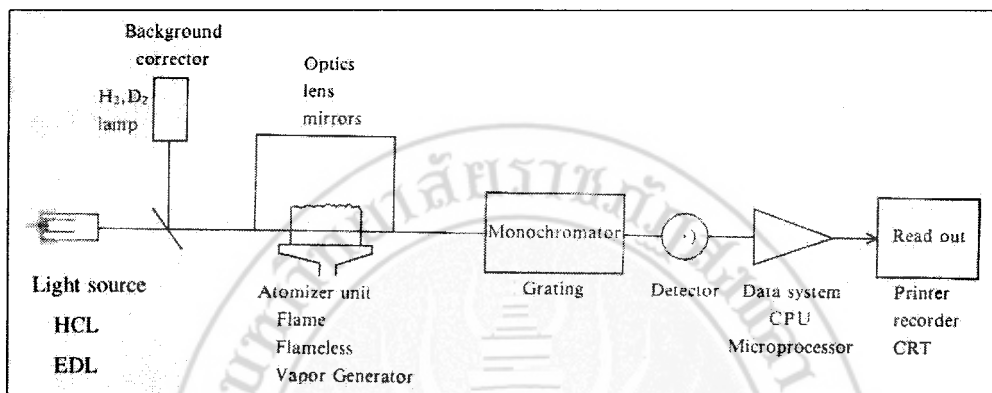
1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟที่เหมาะสม

2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non – Flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า

(Electrothermal atomizer หรือ Graphite furnaces) โดยสามารถตั้งโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆกันก็ได้

3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดซึ่งเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอง่ายๆที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ และไฮไดรเจนนั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮไดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮไดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

4. ใช้เป็น Cold Vapor Generation technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ ซึ่งได้แก่การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อย โดยเฉพาะเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคทาง AAS คือ อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534

2.5.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง AAS

1. Hollow Cathode Lamp ใช้เป็น light source ใน Atomic Absorption Analysis Lamp ทำด้วยโลหะชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการศึกษา

2. Frame atomizer ใช้ spray sample solution ให้เป็นฝอยเล็กๆ เพื่อลดการรบกวนที่เกิดจากสารอื่นปนเข้ามา และทำให้สารตัวอย่างดูดกลืน thermal energy จาก Flame กลายเป็น vapor atom ได้ง่ายขึ้น Flame ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างกันจะทำให้อุณหภูมิต่างกันไปด้วย เช่น

Air/acetylene ให้อุณหภูมิประมาณ 2,300 องศาเซลเซียส

Air/propene ให้อุณหภูมิประมาณ 1,900 องศาเซลเซียส

Nitrous oxide/acetalene ให้อุณหภูมิประมาณ 3,000 องศาเซลเซียส

3. Wavelength selection แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1 Chopper ใช้เลือก wavelength ที่เหมาะสมในการวัดธาตุใดธาตุหนึ่งเพื่อให้ Absorbed radiant energy มากที่สุดในการวัดหาปริมาณของสาร

3.2 Monochromator มีหน้าที่ทำให้แสงจาก source ที่กระจายทุกทิศทางเป็นลำแสงขนานเพื่อผ่านเข้าไปยัง path cell ของ sample

4. Detector ใช้วัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกจาก sample

5. Read out system เป็นส่วนแสดงค่า absorbance

2.5.4 ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี

เทคนิคทาง AAS สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้กว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ (วรรณภา ดันยีนยังค์, 2544) สามารถจำแนกชนิดของตัวอย่างเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์หินและดินเพื่อหาปริมาณธาตุต่าง ๆ

- Major elements เช่น Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Na, K, La
- Trace elements เช่น Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Rb, V, Zn
- Special treatment of elements เช่น Sb, As, Bi, B, Cd, Ga, Hg, Te, Tl

2. การวิเคราะห์แร่ เช่น แร่เหล็ก นิกเกิล แพลทินัม แมงกานีส ดีบุก ตะกั่ว พลวง ทอง โครเมียม โคบอลต์ อะลูมิเนียม ซีโอไลต์ โคลโลไมต์ หินปูน บอກไซต์ เป็นต้น

3. การวิเคราะห์น้ำ เช่น น้ำจากแหล่งธรรมชาติ น้ำสำหรับบริโภค น้ำทิ้ง เป็นต้น

4. การวิเคราะห์อากาศ เช่น อากาศจากแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม จากแหล่งชุมชน จากแหล่งที่มีการจราจรหนาแน่น ควันทัน เป็นต้น

5. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์จากพืช เช่น การหาปริมาณของธาตุต่าง ๆ

- Major elements เช่น Ca, Mg, K, Na, As
- Trace elements เช่น Cu, Zn, Fe, Mo, Sr, Mn, Co

6. การวิเคราะห์ทางชีวเคมีและพิษวิทยา เช่น การหาปริมาณ Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Cu, Zn ในเลือด ปัสสาวะและเนื้อเยื่อ และในกรณีทางพิษวิทยาใช้วิเคราะห์หา As, Cd, Cr, Co, Pb, Mn, Hg, Ni, Tl

7. การวิเคราะห์น้ำมันและผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม เช่น การหาองค์ประกอบที่เป็นโลหะของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

- น้ำมันเชื้อเพลิง หาปริมาณ V, Ca, Na, Pb, K, Ni, Al
- น้ำมันหล่อลื่น หาปริมาณ Zn, Pb, Ba, Ca, Mg
- น้ำมันที่ใช้แล้ว หาปริมาณ Cu, Cr, Fe, Pb, Ag
- น้ำมันกลั่น หาปริมาณ Pb