

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อนด้วยการใช้เปลือกไข่ไก่ และเปลือกถุงขาว ซึ่งเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529) และในเปลือกถุงขาวมีสารไฮดีนและไฮโดรเจนซึ่งมีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้คุณชั้นและจับตะกอนต่างๆ ในสารละลายได้ (สิริชัน ตะนุสา, 2543) เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่และเปลือกถุงขาวในการดูดซับแคดเมียมที่ละลายในน้ำมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

#### 2.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่เกิดจากการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติโดยเกิดจากกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งโลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความต่ำกว่าเพาเวอร์ฟัลต์ 5 ชั้นไปโดยไม่รวมโลหะหนักที่เป็นแอลคาไลน์ (Alkali) และโลหะหนักแอลคาไลน์เอิร์ธ (Alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 และอยู่ในช่วง 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักจึงมีทั้งหมด 68 ธาตุ จากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะหนักทั้งหมด 83 ธาตุ โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นprotoที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การนำไปไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมั่นคง เนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้ และถูกตัดง่ายด้วยมีด มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวดหรือเป็นผงเล็กๆ และในอากาศชื้นแคดเมียมจะถูกออกซิไดส์ให้เป็นแคดเมียมออกไซด์ รวมถึงแคดเมียมบัมบัลลายไดท์ ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ รวมถึงยังมีลักษณะเหนียว สามารถจะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงช้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่า โลหะอิสระ โดยเฉพาะเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (รัชดา บุญญาแก้ว และ วรรณาฤทธิ์ หวั่น เช่น, 2545)

แคดเมียม เป็นธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 48 และมีสัญลักษณ์คือ Cd รวมถึงเป็นโลหะอ่อน มีสีเงิน มีจุดหลอมตัว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 769 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่น 8.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่ 20 องศาเซลเซียส) ละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ เนื่องจากแคดเมียม มีโครงสร้างอะตอมและคุณสมบัติทางเคมีคล้ายสังกะสี จึงมักพบแคดเมียมในแหล่งแร่สังกะสีและแร่โลหะอื่นๆ แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ ซึ่งมักจะพบแคดเมียมอยู่ในรูปชัลไฟล์ (Cds) โดยปกติพบบ่อยในโลกประมาณ 0.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยฤทธิ์ ชัยยะ, 2542) ในน้ำจีดอยู่ประมาณ 0.001-0.1 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำทะเลมีประมาณ 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร (Mc.Neely et. al, 1979 อ้างถึงใน เปี้ยนศักดิ์, 2539) นอกจากนี้แคดเมียมบัมบัลลายไดท์ (Cds) ออกจากรากไม้และหินอ่อน

ด้วยอนุภาคคินเนี่ยว่าให้ตกลงกัน ทั้งนี้ปริมาณแอดเมีย์มในคินจะเปลี่ยนไปตามลักษณะและกำเนิดของคินด้วยเช่นกัน โดยคินที่เกิดจากหินชั้นจะมีปริมาณแอดเมีย์มสูงกว่าคินที่เกิดจากหินอัคนีหรือหินแปร (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชีวะ, 2542)

ประโยชน์ของการนำแอดเมีย์มมาใช้ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากข้อมูลการใช้ทั่วโลกในปี 1960 มีปริมาณ 11,000 ตัน เพิ่มเป็น 19,000 ตัน ในปี 1985 (Alloway, 1990 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชีวะ, 2542) โดยมีการนำมาใช้ในหลายด้าน คือ ใช้ร่วมกับนิกเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่ ใช้ทำโลหะผสม ใช้ผสมสีบางชนิด ยางและพลาสติก ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมพีวีซี ใช้ในร้านทันตกรรม ซึ่งเป็นส่วนผสมของยาลักษ์ (Amalgam) ใช้ในอุตสาหกรรมของเด็กเล่น รวมถึงการใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อร้าและปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งมีแอดเมีย์มเจือปนมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่น

แอดเมีย์มเป็นโลหะที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและยังก่อให้เกิดพิษต่อร่างกาย แอดเมีย์มเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหารและการหายใจ การคุณค่า ภาระสม และการกำจัดแอดเมีย์ม ออกจากร่างกายจะขึ้นอยู่กับทางที่ได้รับแอดเมีย์มเข้าไป คุณสมบัติทางเคมีหรือคุณภาพของแอดเมีย์ม ทั้งนี้พบว่าการคุณค่าที่บริเวณทางเดินอาหารจะต่ำกว่าปริมาณร้อยละ 2-8 ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารอันได้แก่ โปรตีน วิตามิน แคลเซียม ส่วนการได้รับแอดเมีย์มทางลมหายใจจะขึ้นอยู่กับขนาด และการละลายของแอดเมีย์ม โดยร่างกายจะคุณค่าร้อยละ 10.5 ของปริมาณที่หายใจเข้าไป (Elinder. 1982 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชีวะ, 2542) สำหรับคนที่สูบบุหรี่นั้น จะได้รับแอดเมีย์มประมาณ 30-35 ไมโครกรัม/วัน

ความเป็นพิษของแอดเมีย์มนั้น จากรายงานของ Berman (1980) อ้างถึงในศูนย์ชัยกิจวัฒน์, 2547 กล่าวว่าถ้าร่างกายได้รับแอดเมีย์มจากอาหารในปริมาณสูงหรือได้รับ 10-15 มิลลิกรัม จากเครื่องดื่มจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดหัว เป็นตะคริว ปวดท้อง ท้องร่วงอย่างรุนแรง และอาจช็อกตายได้ ส่วนการหายใจเอาอากาศที่มีแอดเมีย์มออกไซด์ เข้มข้น 15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือมีความเข้มข้นสูงกว่าในระยะเวลาหนึ่งจะเกิดอาการคอแห้ง ระคายคอด แน่นหน้าอก หายใจไม่ออ ก ปวดหัว เป็นตะคริว ในที่สุดจะเป็นโรคปอดบวม ปอดอักเสบ และตายได้ใน 4-7 วันในวันที่ได้รับ nokjanin ขึ้นทำให้เกิด ไตอักเสบและการทำงานของตับเสื่อมลง (Elinder, 1982 อ้างถึงใน ไชยยุทธ ชีวะ, 2542) ในกรณีที่ร่างกายได้รับแอดเมีย์มเป็นเวลานานจะทำให้กระดูกผุกร่อนเสียรูปแบบทำให้เจ็บปวดมากที่เรียกว่าอิ-อิ-อิ แอดเมีย์มที่เข้าสู่ร่างกายแล้ว ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นที่ถูกขับออกจากร่างกาย ส่วนที่เหลือสะสมอยู่ตามอวัยวะต่างๆ โดยสะสมอยู่ที่ตับและไตมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 50-70

## 2.2 กระบวนการกรุดซับ

กระบวนการกรุดซับ (Adsorption) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้นโมเลกุล ซึ่งไม่อาจกำจัดได้โดยวิธีการตกรอกอน หรือการกรองธรรมชาติ โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลของสารปนเปื้อน ให้มาเกาะที่ผิวของตัวกรุดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการกรุดซับ (Adsorption) ตัวที่ทำหน้าที่กรุดซับเรียกว่า ตัวกรุดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิwtัวกรุดซับ เรียกว่าตัวกรุดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์การกรุดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดยที่ตัวกรุดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวกรุดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก้าช พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลว กับของแข็ง กระบวนการกรุดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์และโลหะกรุดซับ ในดินหรือตกรอกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการกรุดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้สารกัมมันต์ในการกรุดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการกรุดซับนี้ มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้คินเนนิยา กรุดซับยาฆ่าแมลงในดินหรือกรุดซับโลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษ ที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

### 2.2.1 ประเภทของตัวกรุดซับ

ตัวกรุดซับแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- สารอินทรีย์ ได้แก่ คินเนนิยาชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวกรุดซับประเภทสารอินทรีย์นี้สามารถจับโมเลกุลหรือคลออลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์จากสารกรุดซับประเภทนินทรีย์มีจำกัดมาก (สิริชัณ ตะนุสา, 2543)

- ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวกรุดซับ ที่ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้มีความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวจำเพาะในสูงโดยทั่วไปมีพื้นที่ผิวประมาณ 450-1500 ตารางเมตรต่อกรัม (Weber, 1981) และมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10-10,000 Å ขึ้นไป (Hessler, 1963) ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

- ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์

แต่เรซินมีข้อได้เปรียบมากกว่าคือสามารถปรับสภาพน้ำมาใช้ใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง (มั่นสิน, 2438 ถึงในสิริชั่น ตะนุสะ, 2543 )

### 2.2.2 รูปแบบของการดูดซับ

#### การดูดซับมี 2 รูปแบบ ดังนี้

1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ยึดติดกับผิwtัวดูดซับ (Adsorbent) โดยแรงวนเดอร์วัลท์ที่อ่อน (Weak Van Der Waal's force) เรียกกระบวนการการดูดติดผิwtัวดูดซับนี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการการแบบผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิwtัวดูดซับ เรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่บนผิwtัวดูดซับในลักษณะซ้อนกันเป็นหลายชั้นเรียกว่า Multilayer

2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิwtองตัวดูดซับ โดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงวนเดอร์วัลท์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้ โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะอยู่บนผิwtัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว เรียกว่า Monolayer

### 2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

#### (1) สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุนหากรูพรุนมีมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวดูดซับมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้เมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนขนาดใหญ่ แต่ปากรูพรุนขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

#### (2) สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

ก) ความสามารถในการละลายสารที่มีความสามารถในการละลายสูง จะถูกดูดซับได้น้อย เมื่อจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

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

ค) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) การดูดซับเกิดขึ้นกับสภาพความเป็นกรดด่างของพื้นผิwtัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเจนไอออน ( $H_3O^+$ ) ที่พื้นผิwtัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับไฮอนลนเกิดได้มากขึ้น

ง) อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงบิดเหนี่ยวยกระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับอ่อนลง

## 2.3 การประยุกต์ใช้วัสดุในการดูดซับโลหะหนัก

### 2.3.1 การใช้เปลือกไข่ (Egg Shell) ในการดูดซับ

โดยเปลือกไข่หนานประมาณ 300 ใบ โคลมิลเดียมตอร หนักประมาณ 5 กรัม(สุวรรณี สินะกรพินธ์, 2542) ไข่ที่ออกมาใหม่ๆ เปลือกไข่ค่อนข้างโปร่งแสง ต่อมากจะค่อยๆ ชุ่นทึบแสงลง ถ้าใช้เครื่องส่งคุณภาพน้ำดักจับตามที่แสงผ่านเป็นจุดเล็กๆ ในบริเวณได้เปลือก หันนี้เนื่องจากการรวมตัวโปรตีนในเป็นชั้นเป็นแผ่นๆ ซึ่งทำหน้าที่ช่วยเก็บรักษาความชื้นและยังเป็นส่วนที่แสงผ่านได้สะดวกกว่าส่วนอื่นๆ (สุวรรณี เกษตรสุวรรณ, 2529)

เปลือกไข่ประกอบด้วยสารแคดเมียมคาร์บอนเนตเป็นส่วนใหญ่ ที่ผิวของเปลือกไข่มีรูเล็กๆ อยู่มากกว่า 17,000 รู ช่วยระบายน้ำดักจับความชื้นและรับอากาศเข้าไป ซึ่งสำคัญมากต่อการพัฒนาของลูกไก่ และมีสารเคลือบที่สามารถป้องกันเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เข้าไปในไข่ได้ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ขึ้นกับอายุและการกินอาหารของแม่ไก่ ส่วนใหญ่แม่ไก่ที่ตัวใหญ่จะให้ไข่ไก่ขนาดใหญ่และมีเปลือกบาง

ส่วนต่างๆ ของไข่	สัดส่วน%	น้ำ%	โปรตีน%	ไขมัน%	เต้า%
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: สุวรรณี เกษตรสุวรรณ, 2529.

จากการศึกษาช่วงของ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด คือช่วง 4-6 และ 5-6 ตามลำดับ ขนาดของเปลือกไข่ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียม คือ 0.300-0.850 มม. และอัตราการกรองที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมสำหรับเปลือกไข่หั้งสองชนิด คือ 1.5 ลบ.ม./ตร.ม. ต่อชั่วโมง ชนิดของเปลือกไข่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการกำจัดแคดเมียม คือเปลือกไข่ไก่ โดยเปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 89.58% และ 73.62% ตามลำดับ (นัตรสินี สุรเสน, 2545)

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เปลือกไช่ ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ พิอे�ชของน้ำเสีย ซึ่งค่าที่เหมาะสมของการใช้เปลือกไช่ เป็นสารคุณติดผิวในการกำจัดแอดเมิร์มอยู่ที่ pH 5-6 เปเลือกไช่ไก่คุดซับแอดเมิร์มสูงถึงร้อยละ 99.75% เมื่อใช้เปลือกไช่ 3.2 กิโลกรัม (อัจฉรา ดวงเดือน, 2545)

### 2.3.2 การใช้เปลือกกุ้ง (Crustaceans Shell) ในการคุ้ดซับ

ไคติน (chitin) เป็นสารอินทรีที่ประกอบ成กรอบไขกระดูกและกระดองหอย แมลง และพืชในผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีความคล้ายคลึงกับเซลล์โลสของผนังเซลล์ของพืชเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงมีการสกัดสารไคตินจากสิ่งมีชีวิตมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย จากการสกัด ไคตินจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูพบว่า เปลือกกุ้งมีไคติน 14-27% ส่วนเปลือกปูมีไคตินประมาณ 13-15% ที่บนน้ำหนักแห้ง (วิสูตร และวันทนนี้ย์, 2535)

ไคติน-ไโคโตชาน เป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มสาร์โนไไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีในตอเรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่เด่นและหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพ และยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม สาร ไคติน-ไโคโตชานนี้มีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้คุ้ดซับและจับตะกอนต่างๆ ในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามธรรมชาติ (สิริชั่น ตะนุสະ, 2543)

โครงสร้างทางเคมีของไคติน คล้ายคลึงกับเซลล์โลส คือเป็นเส้นใยที่ยาว ไคตินที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรงมีการจัดตัวของรูปแบบของผลึกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ แอลฟ้าไคติน บีต้าไคติน และแกรมม่าไคติน ไคตินที่เกิดในเปลือกกุ้งและปู ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอลฟ้าไคติน ส่วนไคตินที่อยู่ในปลาหมึกพบว่าส่วนใหญ่เป็นบีต้าไคตินในการจัดเรียงตัวของโครงสร้างตามธรรมชาติพบว่าแอลฟ้าไคตินมีคุณลักษณะของสตีรภาพทางเคมีสูงกว่าบีต้าไคติน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่บีต้าไคตินสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นแอลฟ้าไคตินได้ในสารละลายของกรดแก่ เช่น กรดเกลือ เป็นต้น ส่วนแกรมมาไคตินเป็นโครงสร้างพสมระห่วงแอลฟ้า และบีต้าไคติน

โดยธรรมชาติแล้วไโคโตชานจะไม่ละลายน้ำเข่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไปแต่ไโคโตชานจะละลายได้เมื่อใช้กรดอินทรีเป็นตัวทำละลาย สารละลายไโคโตชานจะมีความเข้มข้นหนึ่งiyat เต้ไสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆเป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย

สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ไก่โต查นยังขับถ่ายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อกินเข้าไปและมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไปในน้ำหรือในดินเพื่อการเกษตร

จากการศึกษาการดูดซับทองแดงด้วยไก่โต查นที่เตรียมจากเปลือกหุ้ง ค่า% DD ด้วยเทคนิค อินฟารेडสเปกโตรสโคป และเทคนิคการไทยเกรต จะได้ค่า 83.07% และ 82.20% ตามลำดับ ดังนั้น ความสามารถในการดูดซับทองแดง ( $Cu^{2+}$ ) ของไก่โต查นมาตรฐาน ไก่โต查นจากเปลือกหุ้งจะได้ค่า KL เท่ากับ 24.62 mg/g ตามลำดับ (ดร.สุดาพร ตั้งวนิช และคณะ, 2535)

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียม (III) ด้วยไก่โตแซนที่เตรียมจากเปลือกหุ้ง- กุลาดำ ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไก่โตแซน ที่ค่า pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ไก่โตแซนมีความสามารถในการดูดซับโครเมียมเท่ากับ 0.45, 1.24, 2.01, 10.92, 12.36 และ 21.50 มิลลิกรัมโครเมียมต่อกรัมไก่โตแซน ตามลำดับ (เบญจกรรณ ประเทืองมาศ, 2544)

จากการศึกษาการกำจัดโลหะหนักมาตรฐาน สังกะสี และแคนเดเมียม ด้วยไก่โต查นพอร์สบีด ที่ผลิตจากเปลือกหุ้ง ปรากฏว่าไก่โต查นพอร์สบีดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคนเดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 95.50% และประสิทธิภาพในการดูดซับสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 92.48% ที่ปริมาณไก่โต查นพอร์สบีดเท่ากับ 60 กรัม ส่วนอัตราการดูดซับสังกะสีได้สูงสุด เท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมสังกะสี ต่อกรัมไก่โต查นพอร์สบีด และอัตราการดูดซับแคนเดเมียมได้สูงสุดเท่ากับ 2.58 มิลลิกรัมแคนเดเมียม ต่อกรัมไก่โต查นพอร์สบีด (นิรันดร์ สัพพวิญญา และปีระบุตร วนิชพงษ์พันธุ์, 2546)

ศุภชัย ชัยกิจวัฒน์ (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เม็ดแมงลักษณ์นำเสียสังเคราะห์ แคนเดเมียม โดยทำการศึกษาวิเคราะห์โดยเทอนของเม็ดแมงลักษณ์ในการดูดซับแคนเดเมียมทางชีวะ นำเสียสังเคราะห์โดยจะควบคุมค่า pH และทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และแปรเปลี่ยน ความเข้มข้นแคนเดเมียมของสารละลายน้ำ 2-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณตัวดูดซับ เม็ดแมงลักษณ์ระหว่าง 1- 20 กรัม และศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแคนเดเมียมของเม็ดแมงลักษณ์ ที่เวลาสัมผัสต่างๆ กัน

ผลการวิจัยพบว่า อัตราการดูดซับทางชีวะ จะเพิ่มขึ้นเป็นนัยสำคัญประมาณเวลาสัมผัส โดยเวลาสัมผัสที่ 60 นาที เป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ซึ่งระยะเวลาสัมผัสขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของสารละลายน้ำที่จะดูดซับและประมาณตัวดูดซับน้อย ผลการทดลองสามารถนำมาทำนาย ความจุของเม็ดแมงลักษณ์ ในการจัดแคนเดเมียมในน้ำเสีย จนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทึ้ง

ผลการทดลองศึกษาพื้นฟูสภาพการ และนำเม็ดแมงลักษณ์มาใช้ใหม่พบว่าเหมาะสมที่จะนำมาดูดซับ เพียงครั้งเดียวและถ้าต้องการสกัดแคนเดเมียมออกจากเม็ดแมงลักษณ์พบร่วมกับสารละลายน้ำที่ใส่ไว้ในตัวดูดซับ 0.01 โนมลต่อลิตร มีความเหมาะสมที่สุด โดยสามารถสกัดแคนเดเมียมออกจากเม็ดแมงลักษณ์ได้เฉลี่ยประมาณ 70 %

สิริชื่น ตะนุสา (2543) ได้อ้างอิงถึง Okieimen and Onyenikpa (1988) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัด  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  ในน้ำเสียโดยใช้เปลือกเมล็ดแตงโม ทำการทดสอบทั้งแบบ Batch และ Column ขนาดของเปลือกเมล็ดแตงโม 300-425 ไมโครเมตร การทดสอบแบบ Batch ใช้กำจัด  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  และ  $Ni^{2+}$  ความเข้มข้นเริ่มต้น 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเปลือกเมล็ดแตงโมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี เปรียบเทียบกับเปลือกเมล็ดแตงโมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย EDTA พนวจว่าเปลือกเมล็ดแตงโมที่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทางเคมี สามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าและในการทดสอบแบบคอลัมน์ใช้กำจัด  $Pb^{2+}$  ด้วยเปลือกเมล็ดแตงโมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมี โดยใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตรติมตร ยาว 35 เมตรอัตราเริ่มน้ำผ่านคอลัมน์ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พนวจว่า สามารถกำจัด  $Pb^{2+}$  ได้ 62-92 เปอร์เซ็นต์ และสามารถ Recovery  $Pb^{2+}$  ได้ 70 เปอร์เซ็นต์

## 2.4 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

**2.4.1 การตกตะกอน (Precipitation)** เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว โดยเติมสารเคมีลงไปในน้ำทึบเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ตัวอย่าง เช่น การใช้ไฮดรอกไซด์ออกไซด์, คาร์บอนเนตชัลไฟด์ โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอชแตกต่างกัน เช่น ตะกั่วตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ที่พีเอช 7.5-9.5 แอดเมียร์สามารถตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ที่พีเอช 9.5 – 12.5 ตะกั่ว ( $Pb$ ) และสังกะสี (Zinc) ถ้าปรับพีเอชให้สูงมากเกินไปจะเกิดเป็นพลัมเบทและซิงเคท ซึ่งสามารถกลับไปละลายน้ำได้อีก การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงต้องเลือกปรับพีเอชให้เหมาะสมสำหรับโลหะแต่ละชนิดในน้ำเสีย

**2.4.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)** วิธีนี้อาศัยเรซิน เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน ซึ่งเรซินที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นพลาครดอินทรีที่ไม่ละลายจากเป็นพลาซ์โโนนิก การกำจัดตะกั่วอยู่ในรูปของเตตราเอทธิลेटด้วยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนเป็นประจุบวกพลาคร์บอชิลิก-แอซิด พนวจว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วจาก 126.7 มิลลิกรัมต่อลิตรคงเหลือ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแอดเมียร์มีการใช้วิธีนี้ในการกำจัดน้ำ แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากต้องใช้เรซินที่มีความจำเพาะเจาะจง วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนี้เหมาะสมสำหรับกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีบปนอยู่ ต้องกำจัดออกก่อนโดยผ่านเข้าไปในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์

**2.4.3 การระเหย (Evaporation)** เป็นวิธีง่ายๆ ที่ใช้กันมากวิธีหนึ่ง โดยการกำจัดน้ำออกจากน้ำเสีย จะใช้ได้ผลในกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียมีปริมาณมากเท่านั้น

**2.4.4 รีเวิร์สօสโมซิส (Reverse Osmosis)** วิธีนี้กำจัดโลหะหนักโดยใช้ความดันสูงผ่านชิ้นเพอเมโนเบล เมมเบรน ซึ่งจะขอน้ำให้อ่อนบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านได้และต้องใช้ความดันสูงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเมมเบรนที่จะต้องให้ทนต่อความดัน ความเป็นกรดและด่าง ตัวอย่าง เมมเบรนที่ใช้ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตท พอลิเออมีด พอลิฟูแรนวิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุมโลหะด้วยไฟฟ้า, นำเสียจากกระบวนการถังก๊าซ

**2.4.5 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)** เป็นวิธีการที่แยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมตัวทำละลายซึ่งจะสามารถถลอกสารโลหะหนักได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

**2.4.6 อิเลคโทรไดอะลิซิส (Electrodialysis )** วิธีการนี้ใช้กระแสไฟฟ้าแยกโลหะหนักออกโดยให้ผ่านเพอเมโนเบล เมมเบรนข้อเสียของวิธีนี้คือ ราคาแพง

**2.4.7 ออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation – Reduction)** ใช้มากในโรงงานชุมโลหะซึ่งมีสารประกอบโลหะหนักต่างๆที่เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัด ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกลงกันได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน, โอโซน, คลอริน, ไฮโดรคลอโรริด佩อร์แมกานेट ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ เฟอรัสซัลเฟต, โซเดียมเมตาไบแซลไฟต์, แซลเฟอร์ไดออกไซด์

ตัวอย่างวิธีออกซิเดชัน – รีดักชัน และการทำให้ตกลงกันในระบบการกำจัดโลหะหนักสำหรับโรงงานชุม เคลื่อนขนาดกลางและเล็กกำหนดโดยกรรมแรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำแบบ Batch Process และเป็นวิธีการที่ใช้กันมากในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียในประเทศไทย การตกลงกันเป็นวิธีที่ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ในกรณีที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนอยู่ด้วยกันในน้ำเสียตกลงกันโลหะหนักพร้อมๆกัน นอกจากการเกิดตกลงกันได้ช้าแล้วยังไม่สามารถแยกตกลงกันน้ำที่จะทิ้งได้อย่างเด็ดขาด การแก้ปัญหาอาจกระทำได้ 2 วิธีคือ ส่งเสริมการวิจัยใหม่การนำเอาโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ หรือหาวิธีการกำจัดโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่คงตัวในธรรมชาติ เพื่อไม่ให้กลับมากระทบท่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตแต่จะเลือกใช้วิธีใดต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต การดูแลรักษาและที่สำคัญ คือ วิธีในการบำบัดต้องสะท้อนและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีให้มากที่สุด

## 2.5 ອະດົມນິກແບ່ນຂອ້ພັນສເປັກໂກຣສໂກປີ

อะตอมมิกแอบซอร์ฟชั่นสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) เป็นเทคนิควิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ที่ในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ปัจจุบัน เทคนิคทาง AAS เป็นที่นิยมมากวิธีหนึ่งเนื่องจากเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่น มีสภาพไวสูง ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงนัก และเป็นเทคนิคเฉพาะที่ดีมาก สามารถใช้ในการ วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ (แม่น อมรสิทธิ์ และ อนร เพชรสุน, 2534)

#### 2.5.1 หลักการของเทคนิค อะตอมนิกแอบชอร์พชันสเปกโตรสโคปี (AAS)

หลักการของเทคนิคทาง AAS เป็นกระบวนการที่เกิดจากอัตโนมัติ อาศัยการดูดซึ�บของชุดแก้วและหัวจ่ายแก๊ส ที่ความเร็วคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการคุณภาพลักษณะที่แตกต่างกันด้วย เช่น อะตอมของทองแดงจะคุณภาพลักษณะที่ดีกว่า ความเร็วคลื่น 324.8 นาโนเมตร หมายความว่า แสงที่ความเร็วคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีเหมาะสมที่จะทำให้อิเล็กตรอนของทองแดง อะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะเร้าซึ่งปริมาณเกิดแสงที่คุณภาพลักษณะเข้าไปจะเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร ค่าที่วัดได้คือ ค่าแอบซอร์บแบนซ์ (absorbance) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสาร

#### 2.5.2 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

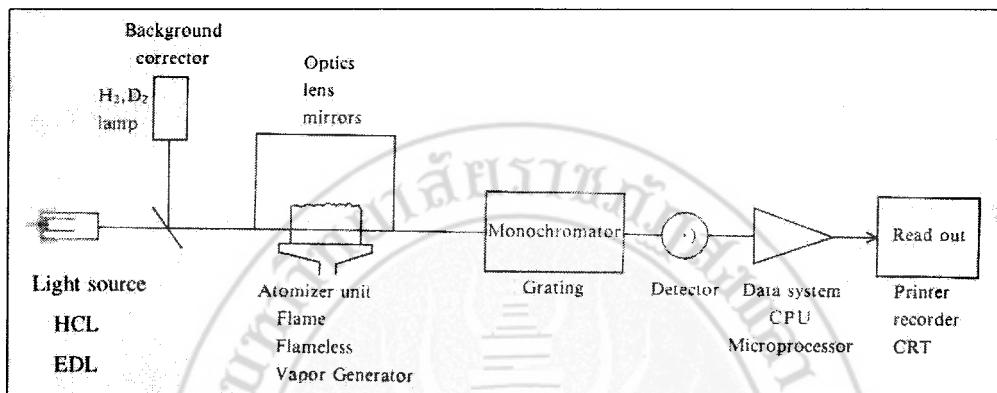
สัมพันธ์ พลันสังเกตุ และคณะ (2544) ได้สรุปเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์มาตรฐานนี้ สามารถทำได้หลายวิธี คือ

1.ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟที่เหมาะสม

2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non – Flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์กระบวนการทำให้สารตัวอย่างลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากการกระแสไฟฟ้า (Electrothermal atomizer หรือ Graphite furnaces) โดยสามารถตั้งโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่างกันได้

3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดซึ่งเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไออย่างๆที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวช์ให้เป็นไฮโดรเจน และไฮโดรเจนนั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลอยเป็นอะตอมเสร็จได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

4. ใช้เป็น Cold Vapor Generation technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ ซึ่งได้แก่การวิเคราะห์protoที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคทาง AAS คือ อะตอมมิกแอบชอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบชอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสน, 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 ให้เป็นฟองเล็กๆเพื่อลดการรบกวนที่เกิดจากสารอื่นปนเข้ามา และทำให้สารตัวอย่างดูดกลืน thermal energy จาก Flame กลายเป็น vapor atom ได้ง่ายขึ้น Flame ที่เกิดจากการเผาไหม้มีของเชื้อเพลิงต่างกันจะทำให้อุณหภูมิต่างกันไปด้วย 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 ที่เหมาะสมในการวัดธาตุโดยธาตุหนึ่งเพื่อให้ Absorbed radiant energy มากที่สุดในการวัดหาปริมาณของสาร

3.2 Monochromator มีหน้าที่ทำให้แสงจาก source ที่กระจายทุกทิศทางเป็นลำแสง ขนาดเพียงพอเข้าไปใน path cell ของ sample

4. Detector ใช้วัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกจากรายการ sample

### 5. Read out system เป็นส่วนแสดงค่า absorbance

#### 2.5.4 ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี

เทคนิคทาง AAS สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง ได้กว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นตัวอย่างของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ (วรรณภा ตันยืนยังค์, 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 โคบล็อก อะลูมิเนียม ชีโอลีด์ โคโลไมต์ หินปูน บอกไซต์ เป็นต้น

3. การวิเคราะห์น้ำ เช่น น้ำจากแหล่งธรรมชาติ น้ำสำหรับบริโภค น้ำทิ้ง เป็นต้น

4. การวิเคราะห์อากาศ เช่น อากาศจากแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม จากแหล่ง-ชุมชน จากแหล่งที่มีการจราจรหนาแน่น ควันพิษ 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. การวิเคราะห์ทางชีวเคมีและพิมพ์วิทยา เช่น การหาปริมาณ Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Cu, Zn ในเลือด ปัสสาวะและเนื้อเยื่อ และในกรณีทางพิมพ์วิทยาใช้วิเคราะห์ 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