

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาเกี่ยวกับโลหะหนักเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งทั้งนี้เพราะสารพิษดังกล่าวมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจด้วย ความเป็นพิษของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิตนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสิ่งมีชีวิตกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป การศึกษาของผลกระทบมีมานานแล้ว แต่ที่ได้รับการยอมรับ และเห็นผลชัดที่สุด คือ ประเทศญี่ปุ่นที่อ่าวมินามาตะเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่บริเวณ อ่าวปล่องน้ำเสียที่มีปรอทปนเปื้อนลงสู่อ่าว ทำให้เกิดการสะสมอยู่ในปลา เมื่อประชาชนในบริเวณ นั้นกินปลาที่มีปรอทสะสมอยู่ก็ทำให้มีการสะสมเอาไว้ในร่างกายจนถึงขีดที่เป็นอันตราย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าปรอทในสภาพของสารประกอบอินทรีย์ จะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลง ให้เป็นปรอทเมทิลและปรอทไดเมทิล ซึ่งสุดท้ายจะเกิดการตกตะกอนลงสู่ดินตะกอนใต้น้ำ แต่ ปรอทเมทิลจะไม่คงตัว เมื่อทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในดินตะกอนและจะละลายกลับไปใต้น้ำ ได้อีกและในที่สุดจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและสะสมอยู่ในปลาเป็นจำนวนมากเนื่องจากปรอท เมทิลจะถูกขับออกมาช้ามาก สำหรับโลหะหนักอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม โครเมียม สังกะสี และเหล็ก ก็สามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและสะสมในปลา และมนุษย์ได้เช่นเดียวกับ ปรอท (พรพิมล ห่อสุวรรณชัย, 2542)

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metal) หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะสูงตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไปโดยไม่รวม โลหะที่เป็นแอลคาไลน์และโลหะหนักแอลคาไลน์เอิร์ทซึ่ง โดยทั่วไปจะเป็นธาตุ ในตารางธาตุที่มีเลข อะตอมอยู่ในช่วง 23-92 และอยู่ในช่วง 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักจึงมีทั้งหมด 68 ธาตุ จากจำนวน ธาตุที่เป็นโลหะหนักทั้งหมด 83 ธาตุ โดยทั่วไปโลหะหนัก จะมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิเป็นปกติ มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือการนำไฟฟ้าและความร้อน ได้ดีมีความ มั่นเหนียวสามารถจะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะ อิสระ โดยเฉพาะเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (รัชดา บุญแก้ว และวรรณฤดี หวันแข่ง, 2545)

2.1.1 โครเมียม (Chromium)

เป็นธาตุเคมีในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์คือ Cr มีหมายเลขอะตอมเป็น 24 โครเมียมเป็น โลหะมันวาวสีเทา และมีจุดหลอมเหลวสูง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถตีขึ้นรูปได้ โครเมียม มีสูตรเคมี คือ Cr โดยที่สารโครเมียมนี้สามารถนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง นำมาผสมกับโลหะทำให้เกิดความแข็งแรงมีความเหนียวทนทานทำให้โลหะไม่เป็นสนิมทนต่อ

การผุกร่อน โลหะโครเมียมบริสุทธิ์ใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า สารประกอบของโครเมต (Chromate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมฟอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ เห็นได้ว่าประโยชน์ของโครเมียม และสารประกอบของโครเมียมมีประโยชน์มากมาย แต่อันตรายของโครเมียมก็มีอยู่ไม่น้อย เช่น สูดหายใจเอาฝุ่นละอองหรือควันของกรดโครมิก ก็จะทำให้ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นบริเวณจมูกโดยแผ่นกั้นระหว่างจมูกซึ่งเป็นกระดูกอ่อนทำลายและทำให้เป็นมะเร็งที่ปอด นอกจากนั้นการสัมผัสกับฝุ่นละออง หรือสารละลายของกรดโครมิกทำให้ผิวหนังอักเสบ โครเมียมในน้ำมีสองรูปคือ Cr^{+6} และ Cr^{+3} Cr^{+6} มีพิษมากกว่าและพบได้มากกว่า Cr^{+3} จะพบน้อยมาก อุตสาหกรรมหลายอย่างมีการใช้โครเมียมทั่วไปทั้งรูปโลหะและสารประกอบเช่น ในอุตสาหกรรมชุบโลหะใช้เป็นสารห้ามสนิมในหอระบายความร้อนเป็นต้น ดังนั้นโครเมียมจึงเข้าสู่แหล่งธรรมชาติได้โดยการระบายน้ำเสียของโรงงานพวกนี้ เนื่องจากโครเมียมมีพิษต่อร่างกายจึงกำหนดให้มีโครเมียม (Cr^{+3} และ Cr^{+6}) ในน้ำดื่มไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (ออนไลน์เข้าถึงได้จาก: <http://www.warehouse.mnre.go.th/portal/>)

ข้อมูลทั่วไปของโครเมียม (Cr – Chromium)

ชื่อธาตุ	: Chromium
สัญลักษณ์	: Cr
เลขอะตอม	: 24
Atomic Weight	: 51.9961
หมู่ที่	: 6
ชื่อหมู่	: -
คาบ	: 4
จุดหลอมเหลว	: 1863°C
จุดเดือด	: 2672°C
ความหนาแน่น (300K) g/cm^3	: 7.19
สี	: เงินแบบโลหะ
สถานะปกติ (ณ อุณหภูมิห้อง)	: ของแข็ง
Electronegativity	: 1.66
การจัดเรียงอะตอม	: $[Ar]3d^5$

2.1.2 แหล่งที่พบโครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุที่พบตามธรรมชาติในดิน หิน พืช สัตว์ ฝุ่นจากปล่องภูเขาไฟ แหล่งที่พบโครเมียมที่ดีที่สุด คือ ในยีสต์ (Brewer's yeast) นอกจากนั้นก็ยังพบใน เมล็ดธัญพืช และซีเรียล ซึ่งปกติจะถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการผลิตเบียร์บางยี่ห้อก็อาจจะมีโครเมียมในปริมาณมาก

(ออนไลน์เข้าถึงได้จาก : <http://www.chemtrack.org/News>)

2.1.3 คุณสมบัติเฉพาะตัวของโครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะมันวาวสีเทา ที่สามารถขัดเป็นใน ได้ดี และมีจุดหลอมเหลวสูง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและสามารถตีขึ้นรูปได้ ใช้เคลือบผิวโลหะอื่น ๆ ทำให้ผิวมันวาว ไม่เป็นรอยเปื้อน ใช้ในการทำเหล็กกล้า สแตนเลส ด้วยเหมือนกัน

สถานะออกซิเดชันที่ปรากฏมากที่สุดคือ +2+3 และ +6 โดยที่ +3 เสถียรที่สุด +1, +4 และ +5 ปรากฏน้อย สารประกอบโครเมียมที่มีสถานะ +6 เป็นตัวออกซิไดซ์ อนุภาคสูง

โครเมียมทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดชั้นออกไซด์บางๆที่ป้องกันการทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมกับโลหะที่อยู่ภายใต้ (ศศิเกษม ทองรงค์, 2520)

2.1.4 คุณสมบัติเชิงกลของโครเมียม

เนื่องจากการผลิตโครเมียมมีหลายขบวนการทำให้คุณสมบัติเชิงกลของโลหะโครเมียมแตกต่างกันมาก จากเอกสารอ้างอิงได้กล่าวถึงคุณสมบัติเชิงกลของโครเมียมดังนี้

โครเมียมผลิตโดยกรรมวิธีแยกด้วยไฟฟ้า มีความต้านทานแรงดึง 83 MPa อัตราการยืดตัว และ Reduction of area 0% โมดูลัส การยืดหยุ่น 0.248 GPa ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

โลหะโครเมียมผลิตโดยกรรมวิธีใช้ Iodide หรือ Iodide chromium ในสภาพตีอัดขึ้นรูปได้ เป็นแท่งที่อุณหภูมิห้อง มีความต้านทานแรงดึง 413 MPa จุดคลาก (0.2 %) 362 MPa อัตราการยืดตัว 44 % และ Reduction of area 78% ภายหลังเมื่ออบความร้อนให้เกิดการตกผลึกใหม่ (Recrystallized) ความต้านทานแรงดึงลดลงเหลือ 282 MPa ไม่สามารถยืดตัวได้ (% elongation และ Reduction of area 0%)(มนัส สติรจินดา, 2538)

2.1.5 การนำไปใช้ประโยชน์

1. งานโลหกรรมใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน และทำให้เกิดความมันวาว
2. ใช้เป็นส่วนผสมในสี
3. เป็นคาตาลิสต์
4. โครไมต์ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับการเผาอิฐ
5. เกลือโครเมียมใช้ในการเคลือบหนัง

6. โปแทสเซียมไดโครเมตเป็นสารทำปฏิกิริยาใช้ในการทำความสะอาดเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการและเป็นสารทำการไตเตรท นอกจากนี้ยังใช้ในการทำให้สีข้อมติค้ำ
7. โครเมียม (IV) ออกไซด์ ใช้ผลิตเทปแม่เหล็ก มีประสิทธิภาพสูงกว่าเทปที่ผลิตจากเหล็กออกไซด์
8. การป้องกันการกัดกร่อนในการเจาะบ่อ
9. อาหารเสริมหรือยาลดน้ำหนัก ส่วนใหญ่เป็น โครเมียม (III) คลอไรด์
10. โครเมียมเฮกซะคาร์บอนิล ($\text{Cr}(\text{CO})_6$) ใช้ผสมลงในเบนซิน
11. โครเมียมโบไรด์ใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าอุณหภูมิสูง
12. โครเมียม (III) ซัลเฟต ใช้เป็นสีเขียว ในสีเซอรัรัมิกวารีนซ์ และหมึกรวมทั้งการเคลือบโลหะ (ออนไลน์เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki>)

2.1.6 ประโยชน์ของโครเมียม

1. ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย จากหลักฐานการศึกษาวิจัยพบว่า โครเมียม (ทั้งในรูปแบบพิกโคลิเนตและอื่นๆ) พบว่ามีผลในการลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย โดยการมีบทบาทไปเพิ่ม HDL (High Density Lipoprotein) หรือคอเลสเตอรอลชนิดดีและลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมด

2. ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและโรคเบาหวาน ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน แบบที่ 2 โครเมียมมีส่วนในการช่วยรักษาปริมาณน้ำตาลในร่างกายให้คงที่ (ในขบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต) ในงานวิจัยพบว่าอินซูลินที่หลังจากตับอ่อนจะมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำตาลในเลือด แต่ปัญหาคือเซลล์ร่างกายผู้ป่วยไม่ตอบสนองต่ออินซูลิน โครเมียม เป็นส่วนประกอบของสารที่เรียกว่า GTF (Glucose tolerance factor) โดยทำงานร่วมกับในอาซิน และ กรดอะมิโนอีกหลายชนิดจะไปช่วยกระตุ้นให้เซลล์ร่างกายตอบสนองต่ออินซูลิน ได้ดียิ่งขึ้น ช่วยให้ระดับน้ำตาลเข้าสู่ระดับปกติ มีการทดลองซึ่งเป็นการทดลองแบบที่ทั้งผู้ทดสอบและผู้ถูกทดสอบจะไม่มีใครทราบเลยว่าได้ยาที่มีส่วนผสมของโครเมียม หรือไม่มี เพื่อตัดตัวแปรด้านความรู้สึกของผู้เข้าการทดลองที่อาจจะมีผลต่อการวัดผลในประสิทธิภาพของโครเมียม ซึ่งผลการทดลองสนับสนุนสรรพคุณด้านการลดน้ำตาลในเลือดของโครเมียม เนื่องจากโครเมียม ช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และช่วยในการทำให้ glucose tolerance ดีขึ้น ดังนั้นการได้รับ โครเมียมมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 คนที่มีอาการระดับน้ำตาลในเลือดต่ำก็มีอาการดีขึ้นเมื่อได้รับ โครเมียม 200 ไมโครกรัม

3. ช่วยลดน้ำหนักมีเพียงโครเมียมพิกโคลิเนตที่แสดงผลในเรื่องนี้คือมันไปช่วยเร่งการเผาผลาญไขมันในร่างกายและไปเพิ่มมวลกล้ามเนื้อมีการศึกษาเมื่อปี 1998 โดยมีอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 122 คนที่เป็นสมาชิกของเฮลท์คลับต่างๆ ในเทศซัสได้รับ โครเมียม จำนวน 400 ไมโครกรัม

ต่อวัน ของโครเมียมพิกโคลิเนตหรือยาหลอกเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3 เดือน คนที่ได้รับโครเมียมมีไขมันในร่างกายลดลง 2.72 กิโลกรัม (2.7 กิโลกรัม) ขณะที่คนที่ได้รับยาหลอกลดลงเพียง 3 ปอนด์ นอกจากนี้จากผลการทดลองดังกล่าวจึงมีการใช้โครเมียมพิกโคลิเนตในกลุ่มผู้รักษาอาการอ้วนกำลังกายเพื่อที่จะช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อและลดไขมันในร่างกายเมื่อรับประทานโครเมียมพิกโคลิเนต ร่วมกับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ (ออนไลน์เข้าถึงได้จาก : <http://health.deedeejang.com>)

2.1.7 อันตรายของโครเมียม

1. แผลที่เกิดจากโครเมียม (Chrome ulcers) เกิดจากสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มที่รอยถลอกของผิวหนัง พบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อนิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างบาง บวมเล็กน้อย ไม่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า มองดูคล้ายถูกตะปูเจาะ แม้ว่าแผลนั้นจะไม่เจ็บปวดแต่คันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลนั้นจะเกิดการติดเชื้อขึ้นทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงอาจต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูก อาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน
2. ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) บริเวณมือ แขน ใบหน้า และหน้าอก ผิวหนัง บริเวณนี้ จะเกิดอักเสบขึ้น หลังจากคนงานทำงานมาแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่เป็นมากจะมีสีแดงเข้มและบวมบริเวณที่อักเสบ จะคันมาก มีอาการเจ็บแสบด้วย
3. ผื่นคันในจมูกถูกเจาะทะลุ เมื่อสูดหายใจเอาควันของกรดโครมิกหรือฝุ่นของโครเมียมเป็นจมูก ถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุของแผ่นกั้นจมูกนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด แต่จะรู้ตัวเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือดังจมูกแบนลงแล้วเท่านั้น
4. มะเร็งของปอดมักจะเกิดกับคนที่สูดหายใจเอาโครเมียมเข้าไปทุกวันติดต่อกันเป็นเวลานานๆ เป็นอันตรายแก่ชีวิตเพราะไม่มียารักษาให้หาย

2.2 มาตรฐานโลหะหนัก

กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานของการปนเปื้อนโครเมียมดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางเคมี	โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
ทางเคมี	โครเมียม (Cr)	มก./ล.	2.0

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
ทางเคมี	โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์	มก./ล.	ต้องไม่เกิน 0.05

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
ทางเคมี	1)โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
	2)โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.

ที่มา : ออนไลน์เข้าถึงได้จาก : <http://www.pcd.go.th>

2.3. วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมีหลายวิธีดังนี้

2.3.1. การตกตะกอน (Precipitation) เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว โดยเติมสารเคมีลงไป ในน้ำทิ้ง เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ตัวอย่างเช่น การไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ คาร์บอเนต ซัลไฟด์ โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอชแตกต่างกัน เช่นตะกั่วตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่พีเอช 7.5-9.5 แคลเซียมสามารถตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ได้ดีที่ พีเอช 9.5-15.2.5 ตะกั่ว และสังกะสี ถ้าปรับพีเอชให้สูงมากเกินไป จะเกิดเป็นพอลิเมอร์ และซิงเกต ซึ่งสามารถกลับไปละลายน้ำได้อีก การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงจำเป็นต้องเลือกปรับพีเอช ให้เหมาะสม สำหรับโลหะแต่ละชนิดในน้ำเสีย

2.3.2. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) วิธีนี้อาศัยเรซินเป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลายโดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน ซึ่งเรซินเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายอาจเป็นพวกซัลโฟนิค หรือ

คาร์บอกซิลิกแอซิด วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนี้เหมาะสำหรับกำจัด โลหะหนักที่มีปริมาณน้อย และให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง มีข้อจำกัดคือถ้าน้ำเสียมีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่ต้องกำจัดก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่ ต้องกำจัดออกก่อน โดยผ่านคอลัมน์ถ่านกัมมันต์

2.3.3 การระเหย (Evaporation) เป็นวิธีง่ายๆ ที่ใช้กันมากวิธีหนึ่งโดยกำจัดน้ำออกจากน้ำเสียจะได้ผลดีในกรณีที่มีโลหะหนักในน้ำเสียมีปริมาณมากเท่านั้น

2.3.4 รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) วิธีนี้กำจัดโลหะหนักโดยใช้ความดันสูงผ่านเยื่อหุ้มกึ่งซึมผ่านได้ ซึ่งจะยอมให้ไอออนบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านได้และต้องใช้ความดันสูงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเยื่อหุ้มที่ใช้ได้แก่ เซลลูโลส อะซิเตท พอลิเอมีด พอลิฟูแรน วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนัก ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ ด้วยไฟฟ้า น้ำเสียจากกระบวนการล้างภาพ

2.3.5 การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีการที่แยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมตัวทำละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

2.3.6 อิเล็กโทรไลซิส วิธีการนี้ใช้กระแสไฟฟ้าแยกโลหะหนักออกโดยให้ผ่านเยื่อหุ้มกึ่งซึมผ่านได้ของวิธีการนี้คือ ราคาแพง

2.3.7 ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) ใช้มากในโรงงานชุบโลหะซึ่งสารประกอบโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัด ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกาเนต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ เฟอรัสซัลเฟต โซเดียมเมตาไบคาร์บอเนต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (สิริชื่น ตะนุสะ, 2543)

2.3.8 การใช้วิธีทางธรรมชาติ (Natural treatment) เป็นทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีววิทยาประกอบกันมาปรับสภาพน้ำเสียที่มีโลหะปนเปื้อนอยู่ให้น้อยลง โดยนำน้ำเสียมาผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งประกอบด้วย ดิน จุลินทรีย์ และบรรยากาศ โลหะหนักจะถูกจับไว้โดยอาศัยตัวดูดซับ การตกผลึก และการแลกเปลี่ยนประจุ โดยทั่วไปจะต้องมีค่าพีเอชของน้ำเสียหรือบริเวณพื้นที่บำบัดน้ำเสียมากกว่า 7 จึงจะได้ประสิทธิภาพของการบำบัดอยู่ในระดับสูง แต่ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7

จะเกิดปัญหาโลหะหนักละลายปนกับน้ำออกจากระบบได้ (จิราพร เพ็ญจรัส และพนอม แก้วพรัตน์, 2548)

2.4 การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียม

โดยทั่วไปโครเมียมมักถูกบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีช่วยให้เกิดการรวมตัวกันของโลหะและตกสู่ด้านล่างตามแรงของพันธะเคมีและแรงโน้มถ่วง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่สามารถลดความเข้มข้นของโครเมียมให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกฎหมายสิ่งแวดล้อม และการตกตะกอนยังมีปัญหาและผลเสียที่ตามมา เช่น เกิดการรวมตัวของตะกอนโลหะเหลือตะกอนหลังการบำบัด ใช้เวลาบำบัดนานและมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับหลุมฝังกลบ วิธีเมมเบรนฟิวเทรชันและอัลตราฟิวเทรชัน ก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดโครเมียม แต่เทคโนโลยีต้องการพลังงานสูง ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากเช่นกัน การแลกเปลี่ยนไอออนอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกิดปัญหาการเกิดตะกอนหลังการบำบัด แต่เป็นเทคโนโลยีสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว จากวิธีการบำบัดข้างต้นจึง สามารถสรุปได้ว่า ทุกวิธียังมีข้อจำกัดทางเศรษฐกิจมีค่าใช้จ่ายในระบบและการจัดการที่สูง ดังนั้นวิธีการต่างๆ เหล่านี้จึงไม่สามารถเป็นตัวเลือกที่ดีและตรงตามความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม

2.5 การบำบัดโครเมียมโดยวิธีการดูดซับ

การดูดซับเป็นระบบที่วัสดุชั้นเล็กๆ หรือ โมเลกุลต่างๆ ถูกดูดซับบริเวณพื้นผิวของตัวกลางตัวกลางที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการดูดซับคือถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล และอลูมินัมเนื่องจากเป็นตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมาก อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยความยากลำบากและระบบที่ซับซ้อนในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นมีราคาที่สูงอยู่ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับสสารชีวภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวกลางแทนที่ถ่านกัมมันต์ สสารชีวภาพเหล่านี้มีราคาต่ำ และส่วนใหญ่เป็นขยะเกษตรกรรม เช่นเปลือกกะลามะพร้าว ชานอ้อย และเปลือกกล้วย (ชวลิต ตันวิสุทธ์, 2549)

2.5.1 กระบวนการดูดซับ (Absorption)

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขั้นโมเลกุล ซึ่งไม่อาจจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือการกรองธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึง โมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ตัวที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียก ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับเรียก ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ปรากฏการณ์การดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (Surface) โดย

ที่ตัวดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่ พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์และโลหะดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้สารกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดินหรือดูดซับโลหะหนักจาก Landfill เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

2.5.2 ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent)

ตัวดูดซับแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์นี้สามารถจับ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิดทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้มีความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ผิวประมาณ 450-1500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10-10000 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน (สิริชิน ตะนุสะ, 2543)

3. ประเภทสารอินทรีย์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีความต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ แต่เรซินมีข้อได้เปรียบมากกว่าคือ สามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก เช่น เกลือแกง (สิริชิน ตะนุสะ, 2543)

2.5.3 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 การดูดซับทางเคมีนี้โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว เรียกว่า Monolayer (สิริชิน ตะนุสะ, 2543)

2.5.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1. สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

ก) ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูง จะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลาย และตัวทำละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถ เกิดการดูดซับ ได้

ข) น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และ โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นกิ่ง (Branched Chain) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นโซ่ตรง (Straight Chain)

ค) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) การดูดซับเกิดขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลงส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ที่พื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

ง) อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับอ่อนลง (สิริชิน ตะนุสะ, 2543)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินตนา สายวรรณ (2545) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม โดยใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก คือ พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10000 คาลคัล) จับกับสารโครเมียมซึ่งอยู่ในรูปโครเมตแอนไอออน เกิดเป็นสารเชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่ของพอลิอิเล็กโทรไลต์-โครเมตพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มการกรองโครเมตแบบอัลตราฟิว-เตรชัน เมื่อนำไปกรองด้วยอัลตราฟิวเตรชันที่ใช้เมมเบรนมีค่าการตัดทึงน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 10000 คาลคัล ให้ค่ารีเจกชันได้ดีถึง 99.78% เมื่อใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมต เท่ากับ 20:1 การกรองโครเมตจากโรงงานชุบโครเมียม ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตเริ่มต้นที่ 20:1 เพียงครั้งเดียว แต่การกรองได้ทำโดยเติมน้ำเสียลงไปเท่าปริมาตรเริ่มต้นถึง 4 ครั้ง นอกจากนี้การกรองอัลตราฟิวเตรชันของตัวอย่างน้ำเสียจริงไม่มีตะกอนของไอออนเกิดขึ้นเหมือนการศึกษาน้ำเสียสังเคราะห์ และซัลเฟตไอออน 60-77% ถูกจับอยู่ในรีเทนเทต แต่ไอออนอื่นถูกจับไว้น้อย เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียมีความเป็นกรมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์

นงพงา สุวพิศ และภาวิณี สุวรรณดี (2545) ทดสอบความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอมแดงและเปลือกหอมใหญ่ มาใช้ในการกำจัดโครเมียมที่มีปริมาณน้อยในน้ำตัวอย่าง โดยวิธีการผ่านคอลัมน์ โดยทำการทดสอบที่ระดับความสูงของชั้นตัวกลางที่ต่างกัน อัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ต่างกัน และความเข้มข้นที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ที่ความสูง 15, 30, 45 และ 50 เซนติเมตร เปลือกหอมแดงสามารถกำจัดโครเมียมได้ 77.1, 80.7, 80.8 และ 82.6 % ตามลำดับ และเปลือกหอมใหญ่สามารถกำจัดโครเมียมได้ 86.3, 87.5, 91.7 และ 92.4 % ตามลำดับ พบว่าที่ชั้นความสูงของชั้นตัวกรองที่ 50 เซนติเมตร สามารถกำจัดโครเมียมได้ดี ทั้งหอมแดงและหอมใหญ่ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 2 และ 3 มิลลิลิตรต่อนาที เปลือกหอมแดงสามารถกำจัดโครเมียมได้ 83.4 และ 78.7 % ตามลำดับ เปลือกหอมใหญ่สามารถกำจัดโครเมียมได้ 93.2 และ 91.8 % ตามลำดับ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเสียที่ 2 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดโครเมียมได้ดี และที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เปลือกหอมแดงสามารถกำจัดโครเมียมได้ 82.3, 81.7, 68.6, 51.3 และ 50.2 %ตามลำดับ เปลือกหอมใหญ่สามารถกำจัดโครเมียมได้ 92.5, 80.8, 77.9, 60.8 และ 54.7 %ตามลำดับพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเสียที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดโครเมียมได้ดี เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติที่ระดับความสูง มีค่าความสัมพันธ์ของเปลือกหอมแดงเท่ากับ 0.928 และเปลือกหอมใหญ่เท่ากับ 0.972 ที่อัตราการไหลมีค่าความสัมพันธ์ของเปลือกหอมแดงเท่ากับ -1.00 และเปลือกหอมใหญ่เท่ากับ 1.00 ที่ความเข้มข้นมีค่าความสัมพันธ์ของเปลือกหอมแดงเท่ากับ -0.888 และเปลือกหอมใหญ่เท่ากับ -0.912

ประสงค์ อมรสิริพาณิชย์ (2545) ได้ทำการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียมโดยการเติมผงถ่านกัมมันต์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยที่โครเมียมจะถูกพบมากในน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมฟอกหนังและอุตสาหกรรมวงจรไฟฟ้า โครเมียมเป็นโลหะหนักที่จัดว่าเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดทางเคมีกายภาพในเบื้องต้นก่อนที่จะนำน้ำเสียไปบำบัดทางชีววิทยา อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีความสามารถที่จะทนทานต่อปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียในระดับหนึ่ง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่ จากการทดลองแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า COD ประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีโครเมียมอยู่ในระดับเข้มข้น 2.5, 5.0 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไม่ได้รับผลกระทบมากนักเมื่อมีปริมาณโครเมียมถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะสูงขึ้นเมื่อมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงไปในระบบบำบัดน้ำเสีย และพบว่าเมื่อยังไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์ลงไป ในน้ำเสียที่มีโครเมียมผสมอยู่ สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 86, 89 และ 88 ตามลำดับ และกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 13, 9 และ 5 ตามลำดับ เมื่อมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 91, 92 และ 89 ตามลำดับ และกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 25, 17 และ 9 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณผงถ่านกัมมันต์เป็น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 93, 93 และ 91 และกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 29, 22 และ 15 ตามลำดับ

ปริณา หนูคง และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยใช้หมากและสาเกเป็นวัสดุดูดซับ โดยศึกษาถึงผลของค่าความเป็นกรด-เบส เริ่มต้นของน้ำเสีย ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม อุณหภูมิ เวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล ขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับ และหาค่าความจุการดูดซับของวัสดุดูดซับ ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับโครเมียมด้วยหมากและสาเกคือ 3.0 และ 5.0 ตามลำดับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียส เวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 24 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมคือ 60 เมช และค่าความจุการดูดซับโครเมียมของวัสดุหมากและสาเกมีค่าเท่ากับ 8.63 และ 7.85 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียพบว่าหมาก และสาเก สามารถกำจัดโครเมียมได้ ร้อยละ 81.90 และ 78.21 ตามลำดับ

วัลยา เพียรธนวันต์ และราตรี กภาพักดี (2546) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมโดยใช้ตัวกลางเศษเหล็ก การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องและการทดลองแบบแบตช์ โดยจะทำการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียโรงงาน จากการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องพบว่าความสูงของชั้นตัวกลางเศษเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และในน้ำเสียโรงงาน โดยที่ความสูง 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร ในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 42.12, 60.67, 75.53 และ 89.51 % ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียโรงงานมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 30.45, 47.54, 64.97 และ 78.24 % ตามลำดับ ส่วนอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ทั้งในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียโรงงาน โดยที่อัตราการไหล 0.53 BV/hr 1.06 BV/hr 1.59 BV/hr และ 2.12 BV/hr ในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 92.53, 89.55, 46.26 และ 27.96 % ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียโรงงานมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 84.79, 78.81, 24.06 และ 15.22 % ตามลำดับ สรุปว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์จะสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน เนื่องจากในน้ำเสียโรงงานมีการปนเปื้อนของโลหะหลายชนิด และมีความเข้มข้นของโครเมียมสูงกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ จากการทดลองแบบแบตช์ พบว่าที่พีเอชต่ำมากๆ เช่น พีเอช 3 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมจะต่ำเนื่องจากแยกไดรวาเลนที่โครเมียมออกจากน้ำเสียได้ยาก และที่พีเอชสูงกว่า 7 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมก็จะต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม คือ พีเอช 5 ผลของอ็อกอนลบทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และผลของอ็อกอนบวกทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ลดลงเล็กน้อย

เพ็ญประภา คำป้อม (2545) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโครเมียมไอออนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนด้วยซีดีแอลลอย โดยเป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของการกำจัดโครเมียมไอออนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนด้วยซีดีแอลลอย โดยใช้ปริมาณซีดีแอลลอยแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 1.25, 2.5, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ และทำการศึกษาที่พีเอช 7 ระดับคือ 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมไอออนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนด้วยซีดีแอลลอยที่พีเอช 9 ใช้ซีดีแอลลอย 1.25 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 95.79 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธีการตกตะกอนด้วยซีดีแอลลอยที่อุณหภูมิบรรยากาศ (24, 25, 27, 30, 33, 35, และ 37 องศาเซลเซียส) เปรียบเทียบกับ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้พีเอชเท่ากับ 11 และใช้ปริมาณซีดีแอลลอย 1 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิดังกล่าวข้างต้นทั้ง 7 ระดับ มีผลต่อการประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สุทธาทิพย์ วินทะไชย และอภิพงศ์ สัทธาพงศ์ (2545) ทำการศึกษาการดูดซับโครเมียมและแมงกานีสของตัวดูดซับที่เหลือใช้จากการเกษตร โดยเลือกใช้ชานอ้อยและเปลือกถั่วในการทดลอง เพื่อต้องการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมและแมงกานีส เมื่อวัสดุดูดซับแตกต่างกัน โดยกำหนดปริมาณของวัสดุดูดซับ 2 ค่า คือ 20 และ 40 กรัม ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมและแมงกานีส เมื่ออัตราการไหลแตกต่างกัน โดยกำหนดอัตราการไหลออกจากคอลัมน์ที่ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมและแมงกานีส เมื่อมีความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยกำหนดความเข้มข้นของโครเมียมและแมงกานีส ก่อนทำการกรอง คือ 1, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมและแมงกานีส เมื่อวัสดุดูดซับชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน ในการศึกษาครั้งนี้สารโครเมียมและแมงกานีสที่ใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ จะใช้สารละลายมาตรฐาน และวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโครเมียมและแมงกานีส เมื่อความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มข้นน้อย และวัสดุดูดซับมวลมาก จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีกว่าวัสดุดูดซับมวลน้อยที่มีความเข้มข้นมาก โดยที่ชานอ้อยสามารถดูดซับโครเมียมและแมงกานีสได้สูงสุด คือ 98.8 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองได้สรุปผลว่า วัสดุดูดซับที่สามารถดูดซับโครเมียมและแมงกานีสได้ดีที่สุดคือ ชานอ้อย

อัญชลี จันทวรรณกู (2546) ได้ศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมโดยวิธีการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดและสารทำให้เกิดตะกอนโครเมียม ไฮดรอกไซด์ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ คอลัมน์ที่ใช้ทดลองทำด้วยอริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 3.45 เมตร บรรจุด้วยทรายขนาด 0.8-1.2 มิลลิเมตร ความสูงเบด 1,1.5,2 เมตร ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมระดับพีเอช 8.5, 9.0, 9.5 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้มีความเข้มข้นโครเมียม 5 ระดับ คือ 5, 10, 50, 100, 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า ความสูงเบด, พีเอช จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการกำจัดโครเมียม พีเอชที่เหมาะสมคือ 9.0 ความสูงของเบดที่ทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีคือ 2 เมตร สามารถกำจัดโครเมียมได้ 45-60 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นความเข้มข้นของโครเมียม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไม่เพียงพอต่อการตกผลึก กลไกการกำจัดโครเมียมด้วยวิธีนี้จะเกิดกลไกการถ่ายเทมวลสารและการตกผลึกบนผิวเม็ดทราย สำหรับการใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการวิจัยนี้ จะทำให้เกิดตะกอนเบาอัดตัวไม่แน่นบนผิวเม็ดทราย ของแข็งแขวนลอยจึงมีมากในน้ำที่ผ่านการบำบัด

สิงหา รัชแก้ว (2540) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเคล็ดที่ทำจากกะลามะพร้าว โดยทำการศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นเริ่มต้น และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโครเมียมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมไอออน จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมไอออนคือ 2 กรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลายของโครเมียมที่เหมาะสมคือ 3 เมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโครเมียมไอออนจะลดลง

2.7 ขานอ้อย (bagasse)

หมายถึง เศษที่เหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกจากท่อนอ้อยแล้ว ขานอ้อยมีความชื้น 46-52 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 43-52 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล) 2-6 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโน ได้แก่ aspartic acid 13.25 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ threonine 5.58 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ methionine 7.84 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ valine 3.33 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ leucine 5.75 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ tyrosine 1.51 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ alanine 3.56 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ N ของโปรตีนทั้งหมดและยังมีสารที่สามารถยับยั้งการเจริญของเนื้องอก (Antotumor substances 0.1%) อาจเป็นสารพวก polysaccharides ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (hexose) และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม (pentose) มี 5, 7-dimethyl apigenin -4-O-β-D-glucopyranoside (สมศักดิ์ ทองศรี, 2547) และขานอ้อยมีลิกนิน (lignin) เซลลูโลส ชนิด Cross และ Bevan เป็นองค์ประกอบ (ออนไลน์เข้าถึงได้จาก : <http://www.sugarzone.in.th>)

2.7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ทั่วไปของอ้อย

อ้อย เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์หญ้า การจำแนกทางพืชจักรจัดเป็นพืชที่มีอายุหลายฤดู พันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูกในปัจจุบันเกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ปลูกกับพันธุ์ที่เป็นเครือญาติกัน ราก มีระบบรากฝอย (fibrous root system) ในระยะแรกที่ลำต้นอ้อยงอกจะได้รับน้ำและอาหารส่วนใหญ่จากท่อนพันธุ์ รากชุดแรกของท่อนพันธุ์เกิดขึ้นจากปุ่มรากในบริเวณเกิดราก ซึ่งจะช่วยดูดน้ำและธาตุอาหารจากดินให้แก่ต้นอ่อน เมื่อต้นอ่อนเจริญขึ้นจะเกิดข้อและปล้องสั้นๆ เป็นจำนวนมากได้ดิน บริเวณข้อของลำต้นได้ดินจะปรากฏปุ่มรากที่จะเกิดเป็นรากของต้นอ้อยส่วนตาของลำต้นได้ดินจะเจริญเติบโตแทงโผล่พ้นเหนือดินเป็นหน่อชุดที่ 2 และหน่อชุดที่ 3 ซึ่งเกิดจากตาของหน่อชุดที่ 2 ตามลำดับ รากของหน่ออ้อยเหล่านี้ จะเจริญเติบโตขึ้นมาทดแทนรากของท่อนพันธุ์ รากจะเจริญเติบโตแตกสาขามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และรากจะหยั่งลึกลงดินได้มากขึ้นในกรณีที่หน้าดินลึกหรือการไถดินลึกได้เพียงพอ

ลำต้น อ้อยสามารถขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้ส่วนของลำต้น ลำต้นอ้อยมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่อยู่ใต้ดินและเหนือดิน ส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่า คอหรือเหง้า ส่วนที่อยู่เหนือดินมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นส่วนที่รองรับใบและช่อดอก บริเวณลำต้นหรือเหนือดินจะสังเกตเห็นข้อและข้อปล้องอย่างชัดเจน จำนวนข้อและปล้องจะแตกต่างกันตามพันธุ์ อายุ สภาพดินและอากาศ ข้อเป็นส่วนรองรับใบเมื่อใบหลุดจะปรากฏรอยกาบใบให้เห็น ความยาวระหว่างปล้องกับรอยกาบใบหนึ่งถึงรอยกาบใบถัดไป เรียกรวมกันว่า ข้อปล้อง อ้อยแต่ละพันธุ์มีรูปร่างปล้องและการจัดเรียงแตกต่างกัน

ใบ เกิดเรียงสลับกันบนลำต้น บางพันธุ์อาจเกิดเวียนรอบลำต้น ใบติดกับข้อของลำต้นตรงส่วนของฐานใบ โครงสร้างของใบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือกาบใบและแผ่นใบ กาบใบไม่มีเส้นกลางใบ มักมีสีเขียวอ่อนหรือสีม่วงแดง การที่กาบใบมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเม็ดสีในกาบใบของอ้อยแต่ละพันธุ์สีของแผ่นใบมีตั้งแต่สีเขียวแกมเหลืองจนถึงเขียวเข้มแตกต่างกันตามพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ตามดิน ขอบแผ่นใบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยเล็กจนใบอ้อยมีความคมมาก รอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบด้านในมีลิ้นใบ เป็นแผ่นบางยื่นออกจากใบและมีหูใบยื่นแหลมออกมาเหนือส่วนของกาบใบ ด้านหลังรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีพื้นที่คล้ายสามเหลี่ยมทั้งสองด้านเรียกว่า dewlap

ดอก ช่อดอกอ้อยเรียกว่า arrow หรือ tassel เป็นแบบ panicle เกิดที่ปลายยอดของลำต้น ลักษณะของช่อดอกมีแกนกลาง ก้านแขนงแรกแตกออกจากแกนกลาง และก้านแขนงที่ 2 แตกออกจากก้านแขนงแรก ก้านแขนงที่สองนี้เป็นตำแหน่งของกลุ่มดอกย่อยที่เกิดเป็นคู่ ประกอบด้วยกลุ่มดอกมีก้านและกลุ่มดอกไม่มีก้าน ขณะที่กลุ่มดอกบานเต็มที่ที่ฐานของกลุ่มดอกจะมีขนยาวสีขาวภายในกลุ่มดอกทั้งสองแบบประกอบไปด้วยดอกย่อยสองดอก อับเกสรจะแตกออกมีละอองเกสรตัวผู้สีเหลืองเนื่องจากอ้อยเป็นพืชที่ไวต่อช่วงแสง ถูกจัดเป็นพืชวันสั้น จะออกดอกเมื่อเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน อ้อยที่ปลูกในประเทศไทยจึงจะออกดอกในช่วงเวลาเดือนตุลาคมจนถึงเดือนมกราคม อ้อยบางพันธุ์ต้องการเวลากลางคืนที่ยาวมากจึงไม่ออกดอกเลย นอกจากปัจจัยด้านพันธุ์ อ้อยและช่วงแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกของอ้อยได้แก่ อายุอ้อย อุณหภูมิ และความชื้น การชักนำของปัจจัยสภาพแวดล้อมเหล่านี้ จะทำให้ตาส่วนยอดของอ้อยที่ปกติเจริญเป็นใบและลำต้นเปลี่ยนแปลงเป็นตาที่ให้กำเนิดดอก ซึ่งเป็นระยะที่ต้องเตรียมการหลายสัปดาห์ก่อนที่ช่อดอกจะแทงโผล่พ้นจากยอดออกมาให้เห็นปล้องและกาบใบที่เป็นฐานของช่อดอกมีความยาวปกติ ในระยะสุดท้ายจะมีใบห่อหุ้มช่อดอกมีขนาดเล็กและสั้นกว่าใบอื่นๆ เรียกว่า ใบธง (สมศักดิ์ทองศรี, 2547)

2.7.2 การใช้ประโยชน์และการแปรรูปจากชานอ้อย

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ภายในโรงงานน้ำตาล ชานอ้อยสามารถใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel oil) ได้ดี ชานอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ 50หนัก 3 ตัน เมื่อเผาจะให้พลังงานใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก 1 ตัน

2. ใช้ผลิตวัสดุก่อสร้างโดยอาศัยกาว เช่นอัดเป็นแผ่น (particle board) ไม้อัดผิวเส้นใย (fiber-overlaid plywood) และแผ่นกันความร้อน (insulating board) เป็นต้น

3. ใช้ผลิตเยื่อกระดาษ (pulp) และกระดาษชนิดต่างๆ ชานอ้อยส่วนใหญ่ประกอบด้วยลิกนิน (lignin) และมีเซลลูโลสอยู่บ้างเล็กน้อย ไฟเบอร์ของชานอ้อยค่อนข้างสั้น คือ มีความยาวเฉลี่ยเพียง 1.4 มิลลิเมตรเท่านั้น ในขณะที่เยื่อใยของไม้ไม้เฉลี่ย 2.5-0.40 เซนติเมตร

4. ใช้เป็นอาหารสัตว์ ชานอ้อยถ้าให้สัตว์กินโดยตรงมักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพย่อยของสัตว์ ตลอดจนมีอัตราส่วนค่าระหว่างอาหารที่สัตว์กินกับน้ำหนักตัวที่เพิ่ม วิธีที่ดีก็คือ นำมาหมักก่อนที่จะให้สัตว์กิน วัสดุที่หมักประกอบด้วยชานอ้อย 1 ตัน (ความชื้นร้อยละ 55.3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้ง กากน้ำตาลร้อยละ 15 ยูเรียร้อยละ 0.8 และข้าวโพดร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ผสมแล้วทำให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 60 หมักไว้ 4-6 สัปดาห์ จึงให้สัตว์กิน

5. ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมผลิต furfural, furfuryl alcohol และ xylitol

6. ใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยหมักร่วมกับปุ๋ยคอก กากตะกอน หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังใช้ปลูกสัตว์เพื่อรองรับมูลสัตว์ และทำปุ๋ยหมักต่อไป

7. ใช้เป็นวัตถุดิบดินเพื่อรักษาความชื้นของดินและป้องกันวัชพืช
ที่มา : ออนไลน์เข้าถึงได้จาก : <http://guru.sanook.com>

2.8 เปลือกหอมใหญ่ (Onion shells)

หมายถึง เปลือกที่หุ้มหอมหัวใหญ่ จะอุดมไปด้วยธาตุแคลเซียม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน ซีลีเนียม บีตาแคโรทีน กรดโฟลิก และฟลาโวนอยด์เคอเซทิน หอมหัวใหญ่เป็นพืชล้มลุก ส่วนที่สะสมอาหารเรียกว่า “หัว” หอมใหญ่หนึ่งต้นมี 1 หัว หัวมีลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกบางสีน้ำตาลอมส้ม หรือน้ำตาลอมเหลือง (ระพีพรรณ ใจภักดี, 2544)

หอมหัวใหญ่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Allium cepa* linn. ชื่อพื้นเมืองอื่นๆ cebolla, lunu, bulb onion, oignons ถิ่นกำเนิดของหอมหัวใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียบริเวณตะวันออกกลาง ปัจจุบันปลูกกันอย่างกว้างขวางในประเทศเม็กซิโก บราซิล โคลัมเบีย เปรู อิรัก เลบานอน ซีเรีย ตุรกี อินเดีย ปากีสถาน ไทย และกานา ในประเทศที่กล่าวข้างต้นส่วนใหญ่จะปลูกหอมเพื่อเก็บหัวตากแห้ง หอมหัวใหญ่เป็นพืชตระกูลเดียวกับหอมแดง มีรากสะสมอาหารเรียกว่า “หัว” ส่วนที่อยู่เหนือดินประกอบด้วยกากใบและใบ หอมใหญ่มีทั้งชนิดหัวใหญ่และหัวเล็ก ชนิดผิวเปลือก

สีน้ำตาลอมเหลือง ผิวเปลือกสีน้ำตาลอมส้มหรือผิวเปลือกสีแดง ชนิดที่นิยมปลูก คือ ชนิดผิวเปลือกสีน้ำตาลอมเหลือง หอมหัวใหญ่มีเนื้อใสสีขาว กรอบชุ่มน้ำ เส้นใยน้อย ให้ผลผลิตมากในฤดูหนาว ระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 120-150 วันหอมใหญ่กินได้ทั้งสุก และสดนำไปประกอบเป็นอาหาร นำไปแปรรูปเป็นหอมหัวใหญ่ชนิดผง หอมหัวใหญ่มีน้ำมันหอมระเหยชื่อ อัลลิลซัลไฟด์ (Allyl sulphide) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษที่ระเหยเร็วมากสรรพคุณของหอมหัวใหญ่ช่วยเพิ่มคอเลสเตอรอลชนิดดีหรือ HDL (High Density Lipoprotein) ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคเส้นเลือดในสมองอุดตัน ช่วยป้องกันโรคเบาหวาน โรคหัวใจ น้ำหอมหัวใหญ่ใช้ทำรักษาผิวหนังที่ถูกน้ำร้อนลวกหรือไฟไหม้ ชื่ออื่นๆของหอมหัวใหญ่ คือ หอมใหญ่ หอมฝรั่ง (กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์, 2531)

2.8.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหอมใหญ่

ต้นหอมจัดอยู่ใน Family Amaryllidaceae ส่วนที่จัดเป็นต้นหอมแท้จริงจะอยู่ตรงฐานของหัว หัวหอมซึ่งเป็นส่วนที่สะสมอาหารจะประกอบด้วย กาบใบ ส่วนของใบที่ไม่เจริญ และส่วนของต้น ส่วนของใบรวมตัวกันเข้าซึ่งมีลักษณะของรูปทรงกระบอกอยู่ระหว่างหัวหอมกับใบ เรียกว่า คอหอม หากอยู่ในภาวะอากาศเย็นนานๆ ส่วนยอดตรงจุดเจริญจะเปลี่ยนสภาพจากการสร้างใบมาเป็นการสร้างดอก ลักษณะของก้านดอกจะกลมและกลวง และมีกลุ่มของดอกที่ส่วนยอด (นพพร สายัมผล, 2542)

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการของหอมหัวใหญ่หนัก 100 กรัม

องค์ประกอบของหอมหัวใหญ่	ปริมาณสารอาหาร
พลังงาน (Energy)	38 แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	9.0 กรัม
เส้นใย (Fiber)	0.7 กรัม
โปรตีน (Protein)	1.6 กรัม
แคลเซียม (Calcium)	30 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	44 มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	1.0 มิลลิกรัม
ไนอะซิน (Niacin)	0.2 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1 (vitamin B1)	0.06 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (vitamin B2)	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินซี (vitamin C)	9 มิลลิกรัม

ที่มา : ระพีพรรณ ใจภักดี, 2544

2.9. อะตอมมิคซ์แอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจะต้องทำการย่อยสลายโลหะหนักด้วยกรดเข้มข้นภายใต้อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ แล้วจึงอ่านค่าความเข้มข้นด้วยวิธี AAS

เทคนิคทาง AAS เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีความไวสูง และเป็นเทคนิคเฉพาะที่ดีมาก สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2539)

2.9.1. หลักการของอะตอมมิคซ์แอบซอร์พชัน (Principles of Atomic Absorption)

อะตอมมิคซ์แอบซอร์พชัน เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตรเพราะความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น spectroscopic line ของอะตอม มีสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการที่จะทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นสารอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งจะอยู่ในรูปต่างๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือพลังงาน ความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว หรือเปลี่ยนเป็นไอ หรืออาจจะแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นหรืออาจกลายเป็นอะตอมก็ได้

การเกิดอะตอมมิคซ์แอบซอร์พชัน อิมิสชัน และฟลูออเรสเซนซ์นั้นมีลักษณะการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนระดับพลังงานสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิคซ์แอบซอร์พชัน

แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อนทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าอะตอมมิคซ์อิมิสชัน

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นเมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่า เป็นการเกิดอะตอมมิคซ์ฟลูออเรสเซนซ์

2.9.2 เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี AAS นั้น สามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้ Flame Atomization Technique ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame)

2. ใช้ Flame Technique หรือ Non - Flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากเปลวไฟ (Electro thermal atomizer หรือ graphite turnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆ กันและใช้เวลาต่างกันได้

3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดซึ่งเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้ แต่จะต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮโดรไนด์แล้วให้ไฮโดรไนด์ผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

2.9.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของ AAS

1. Hollow Cathode Lamp ใช้เป็น light source ใน Atomic Absorption Analysis lamp ทำด้วยโลหะชนิดเดียวกับธาตุ ที่ต้องการศึกษา

2. Flame Atomizer ใช้ spray sample solution ให้เป็นฝอยเล็ก เพื่อลดการรบกวนที่เกิดจากสารอื่นรบกวนเข้ามาและทำให้สารตัวอย่างดูดกลืน thermal energy จาก flame กลายเป็น vapor atom ได้ง่ายขึ้น flame ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างกันจะทำให้อุณหภูมิต่างกันไปด้วย เช่น

Air acetylene	ให้อุณหภูมิประมาณ	2300 องศาเซลเซียส
Air /propene	ให้อุณหภูมิประมาณ	1900 องศาเซลเซียส
Nitrous oxide/acetalene	ให้อุณหภูมิ ประมาณ	3000 องศาเซลเซียส

3. Wavelength selection แบ่งเป็น 2 ชนิด

3.1. Chopper ใช้เลือก Wavelength ที่เหมาะสมในการวัดธาตุหนึ่งเพื่อให้ Absorp radiant Energy มากที่สุดในการวัดหาปริมาณของสาร

3.2. Monochromator มีหน้าที่ทำให้แสงจาก source ที่กระจายทุกทิศทางเป็นลำแสงขนานเพื่อผ่านเข้าไปยัง path cell ของ sample

4. Detector ใช้วัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกจาก sample

5. Read out system เป็นส่วนแสดงค่า absorbance



2.9.4 ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี Application of AAS

เนื่องจากเทคนิคทาง AAS เป็นที่นิยมกันมากในการวิเคราะห์ธาตุ ในแทบทุกชนิดของสารตัวอย่าง ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

1. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการเกษตร (agricultural analysis) เช่น การวิเคราะห์ดิน พืช ปุ๋ย เป็นต้น
2. ใช้ในงานวิเคราะห์เพื่อการแพทย์และชีวเคมี (clinical and biochemistry) เช่น การหาปริมาณของธาตุ และอื่นๆ ในเลือด ปัสสาวะ และเนื้อเยื่อ
3. ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการโลหะวิทยา (oil and petroleum) เช่น การวิเคราะห์โลหะผสมต่างๆ เช่น หาปริมาณของสารเจือปนต่างๆ ในโลหะบริสุทธิ์
4. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกน้ำมันและปิโตรเลียม เช่น การหาองค์ประกอบที่เป็นโลหะของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันปิโตรเลียม และน้ำมันเชื้อเพลิง
5. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกแร่และวัสดุต่างๆ
6. ใช้ในงานวิเคราะห์น้ำจากแหล่งต่างๆ เช่น น้ำเสีย น้ำทิ้ง น้ำแร่ เป็นต้น
7. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม
8. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางอาหารและยา (จิราพร เฟ็งจำรัส และพนอม แก้วนพรัตน์, 2548)