

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ เช่น ตะกั่ว นิกเกิล ปรีท แคดเมียม สังกะสี เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักแต่ละชนิดจะถูกปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างชนิดกัน (Dean และคณะ, 1972) โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว สามารถตีเป็นแผ่นบางได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร และเมื่อโลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร ก็จะทำให้สู่อ่างกายมนุษย์และมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งโลหะหนักต่าง ๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ เป็น 4 ประเภทคือ

1. โลหะหนักที่ให้คุณประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก และทองแดง เป็นต้น
2. โลหะที่ไม่ก่อประโยชน์และโทษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อลูมิเนียม
3. โลหะหนักที่สะสมในสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดโทษ เช่น ปรีท ตะกั่ว และสารหนู
4. โลหะที่ก่อประโยชน์ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับเพียงเล็กน้อย แต่ให้โทษถ้าได้รับในปริมาณมาก

2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่ง มีน้ำหนักอะตอม 207.2 เลขอะตอม 82 ในตารางธาตุ (Periodic Table) ตะกั่วจัดเป็นธาตุทรานสิชัน (Transition) ซึ่งเป็นโลหะหนัก ความถ่วงจำเพาะ 11.34

ตารางที่ 2.2 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท(Patterson , 1985 อ้างถึงใน ปรีดา, 2544)

ประเภทโรงงาน	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	5-48
สารละลาย	0.5-25
การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	0.4-66.5
สารละลาย	2.6-5.1
การผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วจะอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	40.3-319.4
สารละลาย	11.7
การชุบโลหะ	2-140
การผลิตหลอดโทรทัศน์	380-400
การผลิตตัวพิมพ์	1.65
การผลิตแก้ว	0.43-100
การเคลือบลายคราม	2.9
การทำเหมืองแร่	0.018-0.098
การผลิตวัตถุระเบิด	6.5
การกลั่นน้ำมัน	
ตะกั่วอินทรีย์	126.7-144.8
ตะกั่วอนินทรีย์	66.1-84.9
การผลิตสี	1.1-10.0
การผลิตเหล็กกล้า	0.47-1.39
การหล่อโลหะ	29-170
การผลิตวงแหวนลูกสูบ	94.6

จุดหลอมเหลว 327.5°C และจุดเดือด 1740°C ที่ความดันปกติ ในธรรมชาติที่พบมากมีอยู่ 4 ไอโซโทป ได้แก่ 208, 206, 207 และ 204 (World Health Organization, 1977) มีสมบัติโดยทั่วไปคือ อ่อนหลอมเหลวได้ ทำให้อ่อนและดัดแปลงให้มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ โดยการรีดัด หรือตีได้ตามต้องการและสามารถกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ (กองชีวอนามัย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2522) ตะกั่วมีสีเทาหรือสีดำเมื่ออยู่ในรูปไดออกไซด์ และมีสีเหลืองหรือสีส้มเมื่ออยู่ในรูปออกไซด์ แต่โดยทั่วไปจะมีสีขาวหรือไม่มีสี พบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ แร่ตะกั่วที่สำคัญคือ ตะกั่วซัลไฟด์ (Galena) สูตรเคมี PbS รองลงมา คือ ตะกั่วคาร์บอเนต (Cerussite) สูตรเคมี PbCO_3 และตะกั่วซัลเฟต (Anglesite) สูตรเคมี PbSO_4 สำหรับแร่ตะกั่วซัลไฟด์ มีปริมาณตะกั่วถึงร้อยละ 86.6 กำมะถันร้อยละ 13.4 ถ้าเป็นผลึกมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกเต๋า และแตกออกเป็นรูปลูกเต๋าลึก ๆ ถ้าผลึกเล็กละเอียดมากจะแลดูระยิบระยับ มีสีม่วงละเอียด สีเทาตะกั่วเนื้อค่อนข้างอ่อนมีความแข็งประมาณ 2.5-3

สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Pb^{2+}) พบตะกั่วซัลไฟด์ และตะกั่วออกไซด์ มักไม่ละลายน้ำยกเว้นอยู่ในรูปของไนเตรต คลอเรต และคลอไรด์ นอกจากนี้เกลือของตะกั่วบางชนิดจะอยู่ในรูปกรดอินทรีย์ เช่น Lead Oxalate ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ (World Health Organization, 1981) ในเปลือกโลกตะกั่วในพื้นดิน อาจเกิดตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจากภาวะมลพิษดินที่มีสภาพเป็นกรด จะมีสารตะกั่วน้อยกว่าดินที่เป็นด่าง เนื่องจากอินทรีย์สารในดินอาจทำปฏิกิริยากับสารตะกั่วที่มีอยู่ สารตะกั่วที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ไนเตรต คลอเรต และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งใช้เป็นสารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น เบนซิน สารตะกั่วในบรรยากาศมาจากตะกั่วที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อใช้ในการจุดระเบิดของน้ำมัน

2.2.1 พิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง เพราะการดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกายเป็นไปอย่างช้ามาก และการขับถ่ายออกจากร่างกายก็ช้าด้วย โดยตะกั่วจะถูกสะสมตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ พิษของตะกั่วแบบเรื้อรังที่สำคัญได้แก่โรคโลหิตจาง ซึ่งเกิดจากการเจือปนของตะกั่วในร่างกาย ทั้งนี้ตะกั่วจะไปยับยั้งการสังเคราะห์ฮีโม (heme) ในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮีโม เช่น δ -aminolevulinic acid (ALA) dehydratase (PBG synthetase) และตะกั่วจะรบกวนการสังเคราะห์โปรตีนโกลบิน โดยจะเข้าไปจับกับหมู่ไทออลในโมเลกุลของเอนไซม์ การวัดเอนไซม์ ALA dehydratase ในเลือดเพื่อตรวจหาปริมาณตะกั่วพบว่าเมื่อมีระดับตะกั่วในร่างกายเพิ่มขึ้นจะทำให้เอนไซม์นี้ลดลง เมื่อเกิดภาวะโลหิตจางรุนแรงขึ้นจะทำให้เกิดความผิดปกติที่ระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ความสามารถในการเรียนรู้ช้าลง ไอคิวต่ำ

ความจำเสื่อม ควบคุมการทรงตัวไม่ได้ ปวดศีรษะ วิดกกังวล หากเกิดความเป็นพิษรุนแรงมากโต จะวาย ชัก โคม่าและเสียชีวิตได้ ส่วนอาการเป็นพิษเนื่องจากตะกั่วแบบเฉียบพลันมีอยู่หลายแบบด้วยกันเช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียนอาการระตุกของกล้ามเนื้อและอาการอื่น ๆ โดยอาการพิษของตะกั่วจะผันแปรตามระดับของตะกั่ว

2.2.2 ประโยชน์ของตะกั่ว (ทองชิวอนามัย, 2522)

1. ใช้ในทางโลหกรรม โดยผสมกับโลหะต่าง ๆ เป็นโลหะผสมเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ทำหัวลูกปืน ทำระฆัง แบตเตอรี่ ตะกั่วบัดกรี และใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น
2. ใช้ในอุตสาหกรรมทำสีต่าง ๆ โดยใช้ตะกั่วออกไซด์เป็นส่วนประกอบ, อุตสาหกรรมเคมีและใช้ในการเคลือบภาชนะดินเผาให้สวยงาม
3. ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตท่อส่งน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะท่อพีวีซี
4. ใช้ในการเกษตรกรรม โดยผสมในยาปราบศัตรูพืช

2.3 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีลักษณะสามารถอ่อนตัวได้ มีสีเงินปนขาว และสามารถรับประจุไฟฟ้าบวก มีน้ำหนักอะตอม 112.41 มีวาเลนซ์ 0, 2 และมีจุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 765 องศาเซลเซียส โดยแคดเมียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยในธรรมชาติส่วนมากมักเกิดปนกับแร่สังกะสี ทองแดง และดีบุก ปกติในธรรมชาติจะรวมตัวกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ในทางอุตสาหกรรม โดยปกติแคดเมียมจะละลายกรดโดยเฉพาะกรดซัลฟิวริก แม้ว่าแคดเมียมจะมีน้อยในธรรมชาติแต่ว่าเป็นพิษอย่างมากกับสิ่งมีชีวิตแค่ปริมาณน้อย ๆ ก็มีอันตรายแล้ว โดยในอากาศไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อสูดแคดเมียมไปในปริมาณมากจะมีผลกระทบต่อระบบหายใจและไต แคดเมียมมีความสำคัญและมีประโยชน์หลายประการ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำและทนการกัดกร่อน ในทางการค้าแคดเมียมเป็นผลพลอยได้จากการหลอมทองเหลืองตะกั่ว และสังกะสี แคดเมียมใช้ในงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ทำอัลลอยด์ ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมทำสี เป็นตัวคงสภาพและสารให้สีในอุตสาหกรรมพลาสติก ใช้ทำแบตเตอรี่ ใช้ในการผลิตฟิล์มถ่ายรูปและเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมียหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใด นั้น ขึ้นอยู่กับ ความเหมาะสมในหลาย ๆ ด้าน ดังนี้คือ

- คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด
- คุณภาพของน้ำที่ต้องการ
- พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย
- ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่

ซึ่งสามารถสรุปวิธีการกำจัดโลหะหนักได้ดังนี้

2.4.1 การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว ทำโดยการเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อทำปฏิกิริยากับ โลหะหนักที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกได้ ซึ่งการตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมคือการตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์จัดเป็นการตกตะกอนแบบดั้งเดิม ทำโดยการเติมปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



โดย M^{++} คือ โลหะอิกอน

การตกตะกอนผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้น้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัดคือโลหะไฮดรอกไซด์จะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนในช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอชประมาณ 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถละลายกลับมาได้อีกถ้าพีเอชเปลี่ยนไปจากค่าพีเอชที่ตกตะกอน

การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์

การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์จะใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) หรือเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



โดย M^{++} คือ โลหะไอออน

ข้อดีของการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์คือการละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์มีข้อจำกัดคือเรื่องกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการนำเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2.4.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับด้วยเรซินได้ไม่เท่ากัน ซึ่งเรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งได้จากธรรมชาติและชนิดที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งเรซินนี้จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และจะถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกัน ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกันนี้เป็นไอออนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย

วิธีนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงนิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะเข้าถังเรซินเพื่อทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด และยังมีข้อเสียที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการสูง

2.4.3 การรีเวิร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีการนี้เป็นการแยกโลหะออกจากน้ำเสีย โดยหลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลสอะซีเตตและโพลีเอไมด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable Membrane) ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่านเพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 ความดันบรรยากาศ ดังนั้นแผ่น

เมมเบรนจึงต้องทนความดันสูง และต้องมีการบำบัดขั้นต้นโดยการปรับพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออกและกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักจากอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า และน้ำเสียจากการล้างภาพ

2.4.4 การออกซิเดชันและการรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

วิธีการนี้เป็นวิธีทางเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิเดชันได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกาเนต โครเมต และไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชันได้แก่ เหล็ก(II)ซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สำหรับตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการออกซิเดชันได้แก่การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะโดยใช้คลอรีนหรือไฮโปคลอไรต์ ส่วนตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีรีดักชันได้แก่ การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิกเจือปนอยู่โดยใช้เหล็ก(II)ซัลเฟต โดยต้องทำปฏิกิริยาที่พีเอชต่ำกว่า 3 หลังจากนั้นเติมปูนโลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการบำบัดด้วยวิธีนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับพีเอชให้มีค่าที่เหมาะสม ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.4.5 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด (ขั้วบวก) และเกิดออกซิเจนที่ขั้วแอโนด (ขั้วลบ) ตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเพราะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

2.4.6 การระเหย (Evaporation)

เป็นการระเหยเอาน้ำออกซึ่งเป็นวิธีง่าย ๆ ที่ใช้ในการทำให้สารมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งการระเหยที่บรรยากาศธรรมดา และระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูง แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้ทุนในการดำเนินงานสูง

2.4.7 การอิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีนี้เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของกระบวนการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออน ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีข้อเสียตรงมีค่าต้นทุนการก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดไอออนที่ต้องการได้

2.4.8 การดูดติดผิว (Adsorption)

การดูดติดผิวเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมความเข้มข้นของอนุภาคที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิวของสารสองสถานะ ไม่ว่าจะเป็นสถานะของแข็งหรือของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นที่ผิวเป็นที่เกาะจับของสารดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent)

1) กลไกการดูดซับ (Adsorption Mechanism)

กระบวนการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแรงที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

การดูดซับทางกายภาพบนของแข็งเชื่อว่าเป็นคุณสมบัติของแรงระหว่างผิวหน้าของแข็งกับโมเลกุลของสารถูกดูดซับ ซึ่งเรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) แรงดังกล่าวเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและนิวคลีไอของระบบ ซึ่งได้แก่แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) และแรงกระจาย (dispersion forces) แรงกระจายจะมีอยู่ทั่วไปในวัตถุทุกชนิดและเป็นแรงดึงดูดระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การดูดซับจะเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (multilayers) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับ หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น

การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบทางเคมีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและการเปลี่ยนรูปของพันธะเคมีระหว่างสารถูกดูดซับกับผิวหน้าของของแข็งเนื่องจากการดูดซับทางเคมีเกี่ยวข้องกับพันธะเคมี จึงมักจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและมีความสัมพันธ์กับพลังงานกระตุ้น (activation energy) ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลที่ถูกดูดซับติดอยู่ที่ใดที่หนึ่งเฉพาะที่ และไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้บนพื้นผิวดังกล่าว จึงอาจกล่าวได้ว่าการดูดซับทางเคมีเป็นปฏิกิริยาแบบไม่ย้อนกลับและเป็น การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)

การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) สามารถแยกแยะออกจากการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) ได้เมื่อเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งหรือมากกว่าตามที่กล่าวต่อไปนี้

1. การดูดซับทางกายภาพเป็นแรงที่เกี่ยวกับสสารชนิดเดียวที่สามารถเกิดย้อนกลับได้ กล่าวคือ สามารถเกิดการคายสารออก (desorption) ได้ที่อุณหภูมิเดียวกัน แม้กระบวนการที่เกิดจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการแพร่ โดยไม่มีความเกี่ยวข้องกับการแบ่งหรือการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งการดูดซับทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับพันธะเคมีและไม่สามารถเกิดการย้อนกลับได้ (irreversible)
2. การดูดซับทางกายภาพไม่เจาะจงบริเวณที่จะเกิดการดูดซับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีอิสระที่จะเคลื่อนย้ายตัวเองได้ตลอดทั้งพื้นผิว และสามารถวัดพื้นที่ของของแข็งของสารดูดซับได้ ในทางตรงกันข้าม การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับเฉพาะที่ โมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมีจะติดอยู่กับบริเวณที่เจาะจงให้เกิดการดูดซับนั้น
3. ความร้อนที่เกิดขึ้นของการดูดซับทางกายภาพจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางเคมี ซึ่งขีดจำกัดบนสุดของการดูดซับทางกายภาพอาจสูงกว่า 20 kcal/mol ของสารดูดซับที่มีรูพรุนเล็กมาก ๆ ส่วนความร้อนจากการดูดซับทางเคมีอยู่ในช่วงค่าที่สูงกว่า 100 kcal/mol และต่ำกว่า 20 kcal/mol

การเคลื่อนที่ของการดูดซับ (Adsorption Kinetics)

การเคลื่อนที่ของการดูดซับเกี่ยวข้องกับอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecular Transfer) ซึ่งมีความสำคัญต่อการดูดซับ การดูดซับสารละลายโดยสารดูดซับที่มีรูพรุน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การดูดซับขั้นแรกเป็นการขนส่งสารถูกดูดซับทั้งก้อน (Bulk Transport) โดยวิธีการแพร่ของโมเลกุลจากสารละลายไปยังพื้นผิวภายนอกของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวของสารดูดซับ เรียกว่าการแพร่ภายนอก (External or film diffusion)
2. การดูดซับขั้นที่สอง เป็นการแพร่ภายใน (internal diffusion) เกี่ยวข้องกับการขนส่งชั้นฟิล์มของสารถูกดูดซับจากผิวหน้าของอนุภาคเข้าสู่พื้นผิวภายใน (Film Transport) โดยวิธีการแพร่เข้าไปในรูพรุนที่เต็มไปด้วยของเหลวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ และเคลื่อนที่ไปตลอดพื้นผิวรูพรุนของของแข็งนั้น (surface diffusion)
3. การดูดซับขั้นที่สามเป็นการดูดซับของสารละลายที่อยู่ภายในพื้นที่ผิวของรูพรุน ซึ่งมีการแพร่เข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) กล่าวได้ว่าเป็นการขนส่งกันภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) การดูดซับในขั้นนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากจึงไม่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่โดยรวม

อัตราการดูดซับทั้งหมดควบคุมโดยขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุดซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง internal diffusion และ External or film diffusion อย่างไรก็ตามการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาในบางระบบอาจเกิดขึ้นระหว่าง Intraparticle Transport และ External or film diffusion

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

(1) ธรรมชาติของสารดูดซับ (Nature of the Adsorbent)

(1.1) พื้นผิวและโครงสร้างของรูพรุน

เนื่องจากกระบวนการดูดซับเป็นผลของความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิว จึงเห็นได้ชัดว่าพื้นผิวมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับโดยการดูดซับสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นผิว 500 - 2000 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนความพรุนโดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์ทั่วไปมีความพรุนอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ลักษณะของรูพรุนจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ มาโครพอร์ (Macropores) ทรานซิชันนอลพอร์ (Transitional Pores) และ ไมโครพอร์ (Micropores) (อิทธิชัย นพแก้ว, 2539)

(1.2) ขนาดของอนุภาค

พื้นผิวของสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นหากเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคลดลง อย่างไรก็ตามสำหรับการดูดซับที่มีรูพรุนสูง พื้นผิวส่วนใหญ่ที่อยู่ในโครงสร้างของรูพรุนดังกล่าว ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นอยู่กัขนาดของอนุภาค

(1.3) สภาพทางเคมีของพื้นผิว

หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของสารดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยการเปลี่ยนแปลงของข้อัประจุบนผิวหน้าระหว่างการดูดซับทางเคมีจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายหลายชนิด

(2) ธรรมชาติของสารถูกดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นหากคุณสมบัติของสารถูกดูดซับได้แก่ความยาวของสายโซ่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้โมเลกุลมีการไม่ชอบน้ำมากขึ้นและมีความสามารถในการละลายได้ลดลง นอกจากนี้มวลโมเลกุลที่มีค่าสูงจะทำให้ขนาดของสารถูกดูดซับใหญ่ขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

(3) ผลของไฮโดรเจนไอออน

อาจกล่าวได้เป็นค่าพีเอช เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ในกรณีของสารอินทรีย์ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลงและบางครั้งก็แข่งขันกับสารที่ถูกดูดซับมีผลทำให้การดูดซับมีค่าน้อยลง

(4) ผลของไอออนตัวอื่น ๆ ในน้ำ

องค์ประกอบอนินทรีย์ในน้ำ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} สามารถส่งผลกระทบต่อการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำได้ เช่น การมีแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำ จะเพิ่มเนื้อที่ในการดูดซับของกรดฟัลลิก เป็นต้น

(5) ผลของอุณหภูมิ

เนื่องจากกระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงในทางตรงกันข้าม ถ้าหากอุณหภูมิลดลง ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

3) สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibria)

การดูดซับของสารละลายเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของตัวถูกละลายที่อยู่บนผิวหน้าของสารดูดซับ เมื่อกระบวนการดูดซับเกิดขึ้น ตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับจะมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลายอีกครั้งหนึ่ง ตัวถูกละลายจะเกิดการถูกดูดซับและหลุดออกมาในจำนวนที่เท่า ๆ กันที่เวลาเดียวกัน จนกว่าจะเกิดสภาวะสมดุลซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายในสารละลายอีกต่อไป

การแสดงผลปริมาณสารที่ถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับในแง่ของความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่เรียกว่า Adsorption Isotherm สมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของการดูดซับที่ใช้กันมากได้แก่

(1) Langmuir Adsorption Isotherm

สมการของ Langmuir เป็นสมการที่อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียว ที่มีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลจะถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวที่จำกัดของสารดูดซับ
2. แต่ละพื้นที่ที่ถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer)
3. พื้นที่ในแต่ละแห่งจะถูกจำกัดปริมาณของสารที่ถูกดูดซับด้วยสภาพทางเรขาคณิตของพื้นผิวนั้น ๆ
4. พลังงานในการดูดซับจะมีค่าเท่ากันในทุกบริเวณพื้นผิวของสารดูดซับ นอกจากนี้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระตลอดพื้นผิวสารดูดซับหรือข้ามไปยังโมเลกุลอื่นได้

สมการการดูดซับของ Langmuir แสดงได้ดังนี้

$$X = X_m b C_e / (1 + b C_e)$$

โดยที่ $X = x/m$ หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ (x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (m) (Adsorption Capacity)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับความสามารถในการเกิด monolayer

b = ค่าคงที่ของระบบ

(2) Freundlich Adsorption Isotherm

สมการของ Freundlich เป็นสมการการดูดซับทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดที่มีความสัมพันธ์แสดงดังนี้

$$x/m = KC_e^{1/n}$$

โดยที่ x = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ

m = น้ำหนักของสารดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของตัวถูกละลาย

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

(3) BET Adsorption Isotherm

เป็นสมการที่ได้รับการพัฒนาโดย Brunauer Emmett และ Teller (BET) ในการอธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) ซึ่งพัฒนามาจากสมการของแลงมัวร์ มีสมมติฐานว่าแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่โมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดติด เช่นเดียวกับชั้นต่อ ๆ ไป สมการการดูดซับของ BET แสดงได้ดังนี้

$$X = X_m BC / (C_s - C_e) \{1 + (B-1) C_e / C_s\}$$

โดยที่ $X = x/m$ หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ (x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (m)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล

C_s = ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับ

ความสามารถในการเกิด monolayer

B, C = ค่าคงที่ของระบบ

2.5 ถ่านกระดูก (Bone Charcoal)

ถ่านกระดูกเป็นสารดูดติดผิวที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันของกระดูกสัตว์ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง แต่จากการศึกษาของ Phatumvanit และ Legeros (1997) ซึ่งประสิทธิภาพถ่านกระดูกสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิการเตรียมที่ 400 องศาเซลเซียส ในการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพดีกว่าถ่านกระดูกที่เผาที่อุณหภูมิสูงด้วยซ้ำ และการศึกษาของ อุบลรัตน์ (2544) ศึกษาการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมออกจากน้ำเสียซึ่งประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ที่ 600 องศาเซลเซียส ถ่านกระดูกนี้จะแตกต่างกับสารดูดติดผิวที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ เนื่องจากถ่านกระดูกมิได้มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแต่เพียงชนิดเดียว ถ่านกระดูก

ประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ คาร์บอน และ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ก็คือแคลเซียมฟอสเฟตรูปแบบหนึ่งที่มีสูตรเคมีเป็น $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5(\text{OH})_2$ ซึ่งก็เป็นส่วนประกอบอินทรีย์ของกระดูกนั่นเอง

ถ่านกระดูกมีคุณสมบัติในการดูดซับสารปนเปื้อนที่สามารถละลายได้ออกจากสารละลาย และยึดเข้าไปในโครงสร้างของรูพรุนของถ่านกระดูก และเนื่องจากถ่านกระดูกประกอบด้วย 2 องค์ประกอบด้วยกันทำให้มีความสามารถการดูดซับทั้งส่วนของแอนไอออนิก และแคทไอออนิกในสารละลาย และนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติคือ เมื่อทำการดูดซับด้วยถ่านกระดูกแล้ว ตัวที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดทางเคมีภายในโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ และไม่สามารถหลุดออกจากสารดูดติดผิวได้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า เคมิซอร์ปชัน (Chemisorption) ซึ่งไม่พบคุณสมบัตินี้ในสารที่มีองค์ประกอบคาร์บอนทั่วไป แต่จะพบคุณสมบัตินี้ในตัวแลกเปลี่ยนไอออนบางชนิดเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ในถ่านกระดูก เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ถ่านกระดูกมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด นอกจากนี้ถ่านกระดูกยังสามารถดูดซับ สี กลิ่น รส คลอรีน ฟลูออรีน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในน้ำได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของถ่านกระดูกเชิงการค้าชื่อ Brimac216 (Irvine, G.D. และ Knowles, M.J., 1997)

คุณสมบัติของถ่านกระดูก	ค่าที่วัดได้
Carbon	9 to 11 %
Moisture	5 % max
Hydroxyapatite	70 to 76 %
Calcium carbonate	7 to 9 %
Calcium sulphate	0.1 to 0.2 %
Total surface area	100 m ² /g
Iron - as Fe ₂ O ₃	< 0.3 %
Pore size distribution	7.5 to 60,000 nm
Pore volume	0.225 cm ³ /g

ปัจจุบันมีการนำถ่านกระดูกมาใช้งานดังต่อไปนี้คือ

1. ใช้เป็นสารดูดซับพิษในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล ซึ่งนำถ่านกระดูกมาใช้ในการกำจัดสีของน้ำตาล
2. ใช้ในการกรองน้ำเพื่อลดระดับของโลหะหนัก คลอไรด์ โบรไมด์ ฟลูออไรด์ รวมทั้งยาฆ่าแมลง
3. ใช้เป็นสารดูดซับพิษสำหรับการกรองน้ำที่ใช้หมุนเวียนในสระว่ายน้ำ

2.6 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

Yoshiharu, H. และคณะ, 1987 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียด้วยถ่านกระดูกและถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองโดยใช้สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_4$) ที่ความเข้มข้น 100 ppm. ผสมกับถ่านกระดูกหรือถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีพบว่าพีเอชสุดท้ายของสารละลายมีค่าระหว่าง 1-7 เมื่อพีเอชของสารละลายเริ่มต้นอยู่ในช่วงระหว่าง 1-3 และพีเอชสุดท้ายมีค่าระหว่าง 7-10 เมื่อพีเอชเริ่มต้นมีค่ามากกว่า 3 และประสิทธิภาพการดูดซับของ Cr^{6+} จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชสุดท้ายของสารละลายหลังทำการทดลองคือสำหรับถ่านกัมมันต์ค่าพีเอชสุดท้ายจะอยู่ระหว่าง 3.5-5.5 และสำหรับถ่านกระดูกจะมีค่าพีเอชประมาณ 1 จะทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด โดยจะมีโครเมียมทั้งหมดเหลืออยู่ประมาณ 10 และ 46 เปอร์เซ็นต์สำหรับถ่านกัมมันต์และถ่านกระดูกตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่าพีเอชสุดท้ายน้อยกว่า 3.5 Cr^{6+} จะถูกลดรูปเป็น Cr^{3+} และจะค่อย ๆ ถูกดูดซับด้วยสารดูดซับพิษ

Azab, M.S. และ Peterson, P.J., 1989 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับพิษทางชีวภาพชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองโดยใช้สารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 100 ppm. ให้ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุสารดูดซับพิษทางชีวภาพชนิดต่าง ๆ ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และพีเอชเป็น 5.2 พบว่ากระดูกสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

Maycock, K.R. และคณะ, 1996 ทำการศึกษากำจัดโลหะจากน้ำเกลือจากการผลิตคลอรีนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยถ่านกระดูก ทำการทดลองโดยใช้สารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งมีอะลูมิเนียม ตะกั่ว แมงกานีสและนิกเกิล เจอปนอยู่ประมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับถ่านกระดูก 1.5 กรัม ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 70 ชั่วโมง ผลที่ได้พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับอะลูมิเนียม แต่จะมีผลยับยั้งการดูดซับตะกั่วและ

แมงกานีสเพียงเล็กน้อยที่ความเข้มข้นของเกลือในสารละลายสูง ๆ ผลที่ได้พอสรุปได้ว่า ถ่าน
กระดูกสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ได้ และปริมาณเกลือที่เข้ปนอยู่ใน
น้ำไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของถ่านกระดูก

Lewis J., 1995 ทำการศึกษาการใช้ถ่านกระดูกเป็นตัวกรองซ้ำ เพื่อกำจัดสีในการผลิต
น้ำสำหรับใช้ในชนบท โดยทำการศึกษาจำลองการใช้งานจริงเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการกรอง
โดยใช้ อัตราการไหลต่ำผ่านถ่านกระดูก ทำให้ได้น้ำที่ผ่านการกรองมีสีและความเข้มข้นของไตรแฮ
โลมีเทนเป็นที่ยอมรับของมาตรฐานของอีซี (EC Standard) และยังพบว่าถ่านกระดูกสามารถรองรับ
กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบอย่างรวดเร็ว

Phatumvanit P. และ Legeros RX., 1997 ศึกษาถึงลักษณะของถ่านกระดูกที่มีความ
สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์จากน้ำที่มีฟลูออไรด์เจือปนอยู่สูง ซึ่งจุดมุ่งหมายใน
การทำการศึกษาทดลองคือศึกษาตัวแปรที่ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์จากน้ำที่มีฟลูออ
ไรด์เจือปนอยู่สูง ซึ่งจุดมุ่งหมายในการทำการศึกษาทดลองคือศึกษาตัวแปรที่ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพใน
การกำจัดฟลูออไรด์ จึงทำการศึกษาโดยเตรียมถ่านกระดูกโดยการเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ
800 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการกำจัดฟลูออไรด์จากน้ำธรรมชาติในประเทศไทยที่มีฟลูออไรด์เจือ
ปนอยู่และทำการฟื้นฟูสภาพถ่านกระดูกหลังการใช้งานแล้วด้วยกรดหรือด่าง ผลการทดลองพบว่า
ถ่านกระดูกที่เตรียมอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 600 องศาเซลเซียส) และฟื้นฟูสภาพโดยใช้ด่างจะให้
ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดและพบว่า ความสามารถในการกำจัดฟลูออไรด์ด้วยถ่านกระดูก
มีความสัมพันธ์กับขนาดของผลึกของอะพาไทต์ในโครงสร้างถ่านกระดูก (วิเคราะห์ด้วยวิธีXRD)
ซึ่งก็มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเผาด้วยกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในการเผาถ่านกระดูกสูงขึ้น จะ
ทำให้ ขนาดของผลึกอะพาไทต์เพิ่มขึ้นแต่กลับทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง

อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ, 2544 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว
แคดเมียม และโครเมียมด้วยถ่านกระดูกที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้สรุปว่าเวลาในการเผาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ
การดูดซับสามารถกำจัดตะกั่ว และแคดเมียมได้ดีด้วยถ่านกระดูกที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600 องศา
เซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีที่สุดที่พีเอช 5 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมดีที่สุดที่
พีเอช 6 และไม่สามารถกำจัดโครเมียมได้