

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของปรอท

ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงินมีมวลโมเลกุล 200.6 ในสภาพที่มีความบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิปกติจะมีสถานะเป็นของเหลว ปรอทมีจุดหลอมเหลว -38.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 356.72 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 13.59 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายน้ำได้เล็กน้อย และสามารถละลายเป็นอมัลกัมกับโลหะได้หลายชนิด จัดเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง คนโบราณเรียกปรอทว่า “เงินที่ไหลได้” (fluid silver หรือ quick silver) เพราะลักษณะภายนอกเป็นสีเงิน แต่สามารถไหลหรือกลิ้งไปมาได้ สัญลักษณ์ทางเคมีคือ Hg มาจากคำละติน hydrargyrum มีความหมายว่าเงินเหลว (liquid silver)

สารประกอบของปรอทแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) และปรอทอินทรีย์ (organic mercury) ซึ่งปรอทอนินทรีย์นั้นจะอยู่ในรูปที่มี mercurous ion (Hg^+) หรือ mercuric ion (Hg^{++}) เป็นองค์ประกอบ ส่วนปรอทอินทรีย์ จะอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมที่ถูกยึดเหนี่ยวล้อมรอบด้วยอะตอมของปรอทโดยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) นอกจากนี้ปรอทอินทรีย์ยังแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อยได้อีก คือ สารปรอทเอริด และสารปรอทอัลคิล ซึ่งสารปรอทอัลคิลนี้มีผลในด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารปรอทเอริด และปรอทอนินทรีย์

2.2 ประโยชน์ของปรอท

ปรอทสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางการแพทย์ วิทยาศาสตร์ การเกษตร และอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในขบวนการทางเคมีอีกด้วย

2. ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ คือ เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิด ใช้เป็นวัสดุในการอุดฟัน และเป็นองค์ประกอบในเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องมือที่ใช้วัดความดันของเลือด (blood pressure) เป็นต้น

3. ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและโซดาไฟ เป็นต้น

4. ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร คือ สารประกอบของปรอททั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืชและยาฆ่าเชื้อราในพืช ทำให้ป้องกันเชื้อราที่จะเกิดกับเมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้นานๆ ได้

5. ใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตพลังงานนิวเคลียร์ โดยใช้เป็นสารป้องกันและสารหล่อเย็นในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในการดูดนิวตรอน และใช้ในการแยกไอโซโทปลิเทียม 6 และ 7 ออกจากกัน (ซึ่งลิเทียม 6 ใช้ในการผลิตลิเทียมไตรโทดซึ่งเป็นสารสำคัญในระเบิดไฮโดรเจน)

2.3 ปรอทในสิ่งแวดล้อม

ปรอทสามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อมเกือบทุกแห่ง ในธรรมชาติส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นในรูปของสารประกอบซัลไฟด์ และพบว่าเกิดขึ้นในปริมาณค่อนข้างสูงอยู่ในแร่ต่างๆ มากกว่า 30 ชนิด แหล่งที่ปลดปล่อยปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมี 2 แหล่งใหญ่ คือ จากแหล่งธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์

ปรอทในธรรมชาติมีปรากฏอยู่ในรูปของธาตุซึ่งปกติพบอยู่ในสินแร่ หิน ดิน น้ำ ตลอดจนพบในสิ่งมีชีวิตทั้งในพืชและสัตว์ แหล่งกำเนิดใหญ่ของปรอทในสิ่งแวดล้อมได้มาจากการกัดเซาะ (erosion) และการชะล้าง (leaching) โดยน้ำฝน ซึ่งจะนำปรอทที่เกิดขึ้นเองด้วยขบวนการทางธรณีวิทยาตามธรรมชาติไหลลงสู่ถ้ำธาร ทะเลสาบ และซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

จากการกระทำของมนุษย์ทำให้ปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมหลายทางด้วยกัน ได้แก่ การใช้ยาปราบศัตรูพืช โรงงานผลิตสารเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งโซดาไฟและคลอรีน การเผาเชื้อเพลิง การถลุงแร่ การกำจัดน้ำโสโครก การเผาขยะมูลฝอย การผลิตสีและการใช้สี การชำระดูแลหายของอุปกรณ์ที่มีสารปรอทประกอบอยู่ด้วย (Lambou, 1972 อ้างถึงใน เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2536)

ปรอทในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ไม่ว่าจากการกระทำของมนุษย์ หรือจากธรรมชาติจะกลายเป็นมลพิษในแหล่งน้ำเป็นส่วนมาก สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจะได้รับปรอทโดยตรงจากน้ำ และจากการสะสมตามลำดับขั้นในห่วงโซ่อาหาร เมื่อปรอทมีความเข้มข้นมากกว่า 10-20 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) จะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปรอทจะถูกดูดซึมและสะสมต่อไปตามลำดับขั้นของสิ่งมีชีวิต (D' Itri, 1975 อ้างถึงใน มาลี เลาสุทแสน, 2528)

การใช้ปรอทกันอย่างกว้างขวางและเป็นจำนวนมากไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดการสะสมของปรอทในแหล่งน้ำเท่านั้น ในบรรยากาศและชั้นของดินก็มีสารปรอทสะสมอยู่ ซึ่งในที่สุดก็จะเข้าสู่ตัวคนได้โดยขบวนการต่างๆ ที่ซับซ้อนและมีความสัมพันธ์กับอากาศ น้ำ ดิน การบริโภคผลผลิต และอาหาร เป็นต้น

2.4 ความเป็นพิษของปรอท

ความเป็นพิษของปรอทในแต่ละรูปจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบปรอท ปรอทที่เป็นพิษร้ายแรง คือ สารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอทที่อยู่ในรูปเมทิล (methyl) และเอทิล (ethyl) จะมีความเป็นพิษมากที่สุด เพราะสามารถที่จะทำลายระบบประสาทส่วนกลางได้ รองลงมาได้แก่ ปรอทในรูปโลหะ และที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด ได้แก่ ปรอทในรูปของสารประกอบอนินทรีย์

ปรอทรูปที่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์มากที่สุด คือในรูปของไอระเหยของธาตุปรอท โดยมีอาการของการได้รับพิษ เช่น อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรง ท้องร่วง เหงือกและต่อมน้ำลายไหม้เกรียม และเกิดความผิดปกติของระบบประสาท เป็นต้น ส่วนกลุ่มของสารปรอทที่เป็นอันตรายน้อย คือ กลุ่มของโมโนวาเลนซ์ของปรอท เพราะเกลือของปรอทกลุ่มนี้ละลายน้ำได้ค่อนข้างยาก ส่วนปรอทอินทรีย์ เช่น เมทิลเมอร์คิวรี นับว่าเป็นสารปรอทที่เป็นพิษมากต่อสิ่งมีชีวิตเช่นกัน เพราะสามารถสะสมตัวในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ดี

ปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทางด้วยกัน ได้แก่

1. ทางการสัมผัสหรือทางผิวหนัง

สารประกอบของปรอทสามารถซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ ทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังหรือกล้ามเนื้อบริเวณนั้น อาการเริ่มแรกจะรู้สึกระคายเคือง คัน และอักเสบ ในบริเวณที่สัมผัสกับสารประกอบของปรอท ต้องรีบล้างออก มิฉะนั้นจะเป็นอันตรายต่อกล้ามเนื้อ

เนื้อ ถ้าสารประกอบโปรตีนเข้าไปมากๆ กล้ามเนื้อส่วนนั้นอาจตายได้ สำหรับพวกที่ต้องสัมผัสกับสารนี้อยู่เสมออาจจะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับไขข้อและกล้ามเนื้ออักเสบ

2. ทางการรับประทานหรือทางปาก

การเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีนี้ก็คือโดยที่มีโปรตีนปะปนมากับอาหารหรือยาที่มีสารประกอบของโปรตีนผสมอยู่ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปเกินความต้านทานของร่างกาย จะเป็นโทษต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้ระบบทางเดินอาหารอักเสบ ปวดกระเพาะ อาเจียนบ่อยครั้ง และมีเลือดปนออกมาด้วย

3. ทางการหายใจหรือทางจมูก

โดยการหายใจเอาไอโปรตีนที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะเข้าสู่ปอดแล้วซึมผ่านไปอยู่ในกระแสโลหิตและสะสมอยู่ตามอวัยวะต่างๆ ส่วนใหญ่มักสะสมที่ไต เพราะไตเป็นส่วนที่มีเลือดผ่านมากที่สุด ถ้ามีมากเกินไปเกินความต้านทานของร่างกายก็จะทำให้เกิดพิษขึ้น อาจถึงตายได้ ถ้าไตไม่ทำงาน เนื่องจากไม่สามารถขับปัสสาวะออกมาได้ ส่วนโปรตีนที่สะสมอยู่ในสมองก็จะอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง อาจทำให้เป็นอัมพาตได้

ถ้าร่างกายได้รับโปรตีนเข้ามาโดยผ่านทางช่องปากลงมาพร้อมกับอาหาร จะทำให้เกิดการแพร่กระจายของโปรตีนในร่างกาย แต่ร่างกายก็สามารถขับโปรตีนออกมาได้บ้าง ถ้าได้รับในปริมาณไม่สูงนัก โปรตีนถูกขับถ่ายโดยไตทางปัสสาวะ โดยดับทางน้ำดี โดยลำไส้ทางอุจจาระ โดยต่อมเหงื่อและต่อมน้ำลาย โดยขับถ่ายมากที่สุดในปัสสาวะและอุจจาระ

เมื่อร่างกายได้รับโปรตีนจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่างๆ โดยความเป็นพิษของโปรตีนมี 2 แบบ คือ ความเป็นพิษเฉียบพลัน และความเป็นพิษเรื้อรัง

2.4.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน

ความเป็นพิษเฉียบพลันเกิดจากการได้รับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของโปรตีน ในปริมาณที่สูงหรือการสูดไอโปรตีนในรูปของโลหะโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูง ก่อให้เกิดอาการที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ เซลล์เยื่อเมือกเกิดการระคายเคือง ปากคอไหม้ มีรสโลหะติดปาก ทำให้ปากพองแดงอักเสบ ร่างกายพยายามขับโปรตีนออกจากร่างกายและมีเนื้อเยื่อหลุดออกมา

เป็นชั้นๆ ซึ่พบรต้นเร็วแต่ไม่สม่ำเสมอ หายใจตื้นๆ ท้องเสีย อุจจาระเป็นเลือด อาเจียนมากถึงกับเป็นลมหมดสติ และถึงตายได้

2.4.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง

การได้รับปรอทที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากแต่ได้รับเป็นระยะเวลานาน จะก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ แต่เป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆในร่างกายดังนี้

1. ผลทางระบบประสาท พิษของปรอทมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดการสลายของเซลล์ ทำให้การประสานงานของกล้ามเนื้อเปลี่ยนไป เกิดอัมพาต ปัสสาวะขัด การมองเห็นแคบลง หูหนวกและอื่นๆ
2. ผลทางเอนไซม์ พบว่าปรอทเป็นสาเหตุในการลดความสามารถในการนำพาออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือด
3. ผลทางกรรมพันธุ์ สารประกอบของปรอทสามารถทำให้โครโมโซมแตกออกได้ และยังมีผลทางการแบ่งเซลล์ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโครโมโซมเดี่ยวที่ผิดปกติ

จากผลความเป็นพิษต่อระบบของร่างกาย จะทำให้เกิดอาการของโรคได้ดังนี้

1. อาการทางจิต โดยทั่วไป มักจะพบเป็นอาการนำมาก่อนอาการอื่นๆ โดยเฉพาะชนิดที่เป็นเรื้อรัง อาจจะเริ่มตั้งแต่มีความรู้สึกหวั่นไหว ประหม่าง่าย ขาดความเชื่อมั่นในตัวเอง ทั้งๆ ที่เคยมีสภาพจิตปกติ ขาดความสนใจต่อสิ่งแวดล้อม และในที่สุดจะมีอาการของสติปัญญาเสื่อมโทรม และมีอาการโรคจิตได้
2. อาการทางสมองและประสาท อาการสั้นเป็นอาการที่พบน้อย ระยะแรกจะมีมือสั่น ระยะต่อมาอาจจะสั่นทั้งตัว เดินเซ มีอาการชาตามปลายมือ ปลายเท้า เนื่องจากปลายประสาทถูกทำลาย แขนขาอ่อนแรง พูดไม่ชัด ถ้าเป็นรุนแรง หูอาจจะหนวก และมีอาการอัมพาตครึ่งซีก
3. อาการทางสายตา สภาพการมองเห็นอาจจะลดน้อยกว่าปกติ อาจจะตาบอดจากผลของการเป็นพิษต่อประสาทตาโดยตรง
4. อาการทางผิวหนัง อาจจะพบในลักษณะของผื่นคัน ซึ่งแยกจากโรคผิวหนังอย่างอื่นลำบาก
5. อาการทางระบบทางเดินอาหาร เริ่มตั้งแต่ปากและเหงือกอักเสบ ภาวะอาหารและลำไส้อักเสบ ทำให้มีอาการท้องเดินและปวดท้อง

6. อาการทางระบบขับถ่ายปัสสาวะ เป็นอาการสำคัญและอาจทำให้ผู้ได้รับพิษถึงแก่ความตายได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในรายที่มีไตวายอย่างเฉียบพลัน ซึ่งมักจะเกิดหลังจากได้รับปรอทในปริมาณที่สูง และแม้ว่าจะได้รับการรักษาให้ดีขึ้นแล้ว ก็จะมีอาการของไตพิการเรื้อรังเกิดแทรกซ้อนได้ภายหลัง กรณีที่อาการไม่รุนแรงอาจพบอาการบวมทั้งตัว และมีไขขาวออกมาทางปัสสาวะ

2.5 วิธีการกำจัดโลหะหนัก

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดสารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียจะมาจากแหล่งต่างๆ ทำให้การบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องใช้หลายวิธีและหลายกระบวนการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นกระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการทางกายภาพ-เคมี

- กระบวนการทางกายภาพ คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การตกด้วยตะแกรง การคัดย่อย การกวาด การกวน การทำให้ลอย การตกตะกอน การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง การกรอง การกำจัดตะกอนหนัก เป็นต้น

- กระบวนการทางเคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อแยกเอามลสารต่างๆ ออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน การทำให้เป็นกลาง หรือการสะเทิน การฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น

- กระบวนการทางชีวภาพ คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลชีพที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศและได้จุลชีพเพิ่มจำนวนขึ้น ได้แก่ ระบบแอส (activated sludge) ระบบโปรยกรอง (trickling filter) ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (anaerobic treatment system) ระบบบ่อธรรมชาติ (natural pond) เป็นต้น

- กระบวนการทางกายภาพ-เคมี คือ วิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางกายภาพและทางเคมีมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ออสโมซิสผกกลับ (reverse osmosis) การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง (electrodialysis) เป็นต้น

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมักจะใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีต่างๆ เติมลงไป ในน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ที่ทำให้เกิดการแยกสาร

ปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยกระบวนการทางเคมี มีวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียหลายประการได้แก่ ปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมกับความต้องการ สร้างตะกอนเล็กๆ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย ทำให้มีผลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก เป็นมลสารที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธีการแต่จะใช้วิธีการใดจึงจะเหมาะสมสำหรับการบำบัดจำเป็นจะต้องพิจารณาในด้านต่างๆ เช่น ความต้องการในการกำจัดสารต่างๆ ในน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น วิธีการกำจัดโลหะหนักก็มีหลายวิธีด้วยกัน สามารถจำแนกได้ดังนี้

2.5.1 การตกตะกอนทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โลหะหนักในน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีตกตะกอนหรือกรองเพียงอย่างเดียว จึงจำเป็นต้องทำให้เกิดการตกตะกอนของแข็งก่อน จากนั้นจึงทำให้ตะกอนของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก (floc) เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีตกตะกอนและวิธีกรอง

ในการตกตะกอนต้องพิจารณาค่าพีเอช (pH) หลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว โดยทั่วไปต้องมีพีเอชสูงกว่า 7 จึงจะได้ผลดี ตารางที่ 2.1 ได้แสดงค่าพีเอชที่เหมาะสมและชนิดของสารเคมีที่เติมผสมลงไปเพื่อกำจัดหรือแยกมลสารออกจากน้ำเสีย ซึ่งพบว่าแต่ละมลสารจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังนั้นในการตกตะกอนโลหะหนักแต่ละชนิด จะต้องคำนึงถึงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำเสีย

สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับพีเอช ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แคลเซียมออกไซด์เป็นสารเคมีที่ราคาถูก แต่ละลายน้ำได้น้อย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการตกผลึกในรูปหินปูน ซึ่งจะทำให้เกิดตะกอนสูง ส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีราคาแพงกว่า และเกิดอันตรายได้ง่ายกว่าแคลเซียมออกไซด์แต่ในการใช้งานจะใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าจึงทำให้เกิดตะกอนน้อยกว่า

ตารางที่ 2.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดมลสารออกจากรน้ำเสียด้วยสารเคมีต่างๆ
(เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539)

มลสารที่ละลาย อยู่ในน้ำเสีย	สารเคมีที่เติม ผสมลงไป	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	สารเคมีที่ ตกตะกอนได้
Aluminum	Lime	5	$Al(OH)_3$
Arsenic	Ferric chloride	8	$AsCl_2$
Barium	Sodium sulfate	10	$BaSO_4$
Cadmium	Lime	9.5 - 12	$Cd(OH)_2$
Chromic	Lime	8.0 - 9.5	$Cr(OH)_3$
Cupric	Lime	9 - 10	$Cu(OH)_2$
Ferric	Lime	7	$Fe(OH)_3$
Fluoride	Lime	12	CaF_2
Manganese	Lime	10	$Mn(OH)_2$
Mercury	Sodium sulfide	8.5	HgS
Nickel	Lime	10	$Ni(OH)_2$
Phosphorus	Ferric chloride	7	$FePO_4$
Plumbic	Lime	6 - 10	$Pb(OH)_2$
Selenium	Sodium sulfide	6.5	SeS_2
Silver	Sodium chloride	8	$AgCl$
Stannic	Lime	4 - 4.5	$Sn(OH)_2$
Zinc	Lime	5 - 6	$Zn(OH)_2$

2.5.2 ออกซิเดชันและรีดักชัน

เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันก่อน แล้วจึงนำไปกำจัดด้วยวิธีอื่นร่วมด้วย เช่น วิธีการทำให้ตกตะกอน วิธีการนี้จะเปลี่ยนรูปของโลหะหนักที่อยู่ในรูปที่เป็นพิษ หรือรูปที่ตกตะกอนได้ยาก ให้กลายเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ง่ายขึ้น เช่น ออกซิเดชัน Zn ไปเป็น Zn^{2+} หรือรีดักชัน Cu^{2+} ไปเป็น Cu เพื่อลดความเป็นพิษให้น้อยลง สารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา

ออกซิเดชัน ได้แก่ อากาศหรือออกซิเจน โอโซน โพแทสเซียมเปอร์มังกานेट (KMnO_4) คลอรีนหรือพวกลไฮโปคลอไรต์ คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เป็นต้น ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ โซเดียมบอโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) เป็นต้น

สารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีออกซิเดชัน ได้แก่ Zn , CN^- , Fe^{2+} , S^{2-} , SO_3^{2-} , Mn^{2+} , Phenols, Amines, Humic acids เป็นต้น สำหรับสารพิษที่สามารถถูกกำจัดด้วยวิธีรีดักชัน ได้แก่ Cr^{6+} , ทองแดง, ปรีอท และเงิน เป็นต้น

2.5.3 การแลกเปลี่ยนประจุ

เทคนิคนี้จะอาศัยเรซิน (resin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน เรซินที่ใช้เป็นแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน (cation exchange resin) เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble organic acid) ซึ่งอาจจะเป็นกรดซัลโฟนิกหรือกรดคาร์บอกซิลิก (sulfonic or carboxylic acid) วิธีการนี้เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย เนื่องจากเรซินมีความเฉพาะเจาะจง แต่จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงชุบไฟฟ้า แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และจะต้องมีการล้างเรซินด้วยกรด เพื่อที่จะนำเรซินกลับมาใช้ใหม่ได้ (Manahan, 1993 อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539)

2.5.4 อิเล็กโทรไลซิส

อิเล็กโทรไลซิสเป็นกระบวนการแยกสลายสารด้วยไฟฟ้า โดยที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ถูกลดอิเล็กตรอนและอีกขั้วให้อิเล็กตรอนเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่ และจะมีการรวมตัวกับออกซิเจนที่นี้ ในของเสียอันตราย มีการใช้การแยกสลายด้วยไฟฟ้ากันมาก เช่น แคดเมียม ทองแดง ทองคำ ตะกั่ว เงิน และสังกะสี ในกรณีที่โลหะมีสารประกอบพวกไฮยาไนด์เป็นองค์ประกอบจะนำกลับโดยวิธีการแยกสารด้วยไฟฟ้าค่อนข้างยาก เพราะสารมีความซับซ้อนมาก เช่น $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$

2.5.5 การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง

วิธีนี้สามารถแยกสารปนเปื้อนขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 1×10^{-4} มิลลิเมตร จะนิยมใช้สำหรับการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล และเป็นวิธีที่สามารถกำจัดพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียได้ วิธีนี้ยังสามารถใช้ในการแยกไอออนโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยให้ผ่านเพอมีเอเบิลเมมเบรน (permeable membrane) เยื่อกรองนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ เยื่อกรองประจุบวก (cation membrane) ซึ่งจะจับสารปนเปื้อนที่มีประจุลบและปล่อยให้สารที่มีประจุบวกผ่านไป และเยื่อกรองประจุลบ (anion membrane) ซึ่งจะจับสารปนเปื้อนที่มีประจุลบและปล่อยให้สารที่มีประจุบวกผ่านไป วิธีนี้ค่อนข้างนิยมใช้ในกรณีที่ในสารละลายมีปริมาณโลหะหนักน้อยชนิด และมีค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน แต่วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าในการแยกโลหะหนัก

2.5.6 ออสโมซิสผันกลับ

เป็นกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเสีย วิธีนี้สามารถแยกสารปนเปื้อนขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร โดยใช้การอัดความดันสูงผ่านเซมิเพอมีเอเบิลเมมเบรน (semipermeable membrane) แทนการใช้กระแสไฟฟ้า โดยเมมเบรนจะยอมให้อิออนบางชนิดเท่านั้นที่แพร่ผ่านไป และจะต้องใช้ความดันสูงมาก ตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึง 6,900 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร วิธีนี้จะต้องใช้พลังงานมาก แต่ก็ทำให้ได้น้ำที่มีความสะอาดและน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ยังนำไปใช้บำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐานสูงหรือนำน้ำทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่ได้อีกสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด

2.5.7 การดูดซับด้วยถ่าน

วิธีนี้ใช้หลักการดูดซับด้วยคาร์บอน เพื่อต้องการแยกสารที่เป็นเป็นละลายอยู่ในน้ำทิ้ง พวกถ่านที่ใช้กันมี 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ดๆ (granular carbon) และแบบคาร์บอนเป็นผง (powdered carbon) ซึ่งนิยมเรียกรวมกันว่า activated carbon คาร์บอนพวกนี้จะมีรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสีย จะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุน ทำให้น้ำทิ้งสะอาด (แต่คาร์บอนที่ใช้งานแล้วไม่ควรกำจัดโดยการเผา) วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักได้ ซึ่งพบว่า activated carbon สามารถดูดซับปรอทซึ่งมีความ

เข้มข้น 10 กรัม/ลิตรให้มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ (Murphy, Henry และ Eisele, 1987)

2.6 การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีการที่ใช้อิเล็กตรอนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน แทนการใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยา ประโยชน์จากการนำวิธีการนี้มาใช้ในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การเตรียมธาตุและทำให้บริสุทธิ์ การชุบฉาบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการบำบัดน้ำเสีย เช่น การกำจัดอ็อกซิเจนของโลหะหนัก การกำจัดเชื้อโรค การกำจัดสี การแยกสารโดยการทำให้ลอยหรือตกตะกอน เป็นต้น

2.6.1 หลักการทำงานของ การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ซึ่งเกิดทั้งๆ ที่สารซึ่งทำปฏิกิริยากันมิได้สัมผัสกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดออกซิเดชันไปยังสารที่เกิดรีดักชันโดยผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม เช่น ลวดตัวนำไฟฟ้า เป็นต้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ คือ การไหลของกระแสไฟฟ้านั่นเอง (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2528 อ้างถึงใน กัญจมาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2539)

ในปฏิกิริยารีดอกซ์จะมีสารหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน เรียกสารนี้ว่าเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และอีกสารหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกสารนี้ว่าเป็นตัวออกซิไดส์ (oxidising agent) ถ้าแบ่งปฏิกิริยารีดอกซ์ออกเป็น 2 ส่วน จะได้ครึ่งปฏิกิริยา (half reaction) สองปฏิกิริยา คือ ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน) และครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน) (สุภชัย ใช้เทียมวงศ์, 2536) จะกล่าวโดยสรุป สามารถเขียนย่อๆ ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



เมื่อรวมครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองเข้าด้วยกันโดยอาศัยการทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่ให้และรับเท่ากัน จะได้ปฏิกิริยารีดอกซ์



เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตรงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใดๆ ก็ตาม จะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นเสมอ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอก เรียกว่าอิเล็กโทรไลซิส ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส หรือการแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือ แหล่งให้พลังงาน ขั้วไฟฟ้า (electrode) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในส่วนของขั้วไฟฟ้า และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วมักถูกเรียกรวมเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้า

ในเซลล์เคมีไฟฟ้า 1 เซลล์ ต้องประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์เดียวกันหรือต่างกันได้ ขั้วไฟฟ้า 1 ขั้วในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นเพียงครึ่งเซลล์ (half-cell) ของเซลล์เคมีไฟฟ้าหนึ่งๆ แต่ละครึ่งเซลล์ต้องเกิดปฏิกิริยารับหรือคายอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยมีขั้วไฟฟ้าเป็นตัวนำในการรับหรือส่งอิเล็กตรอนนั้น ครึ่งเซลล์ที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น (คายอิเล็กตรอน) เรียกเป็นขั้วแอโนด (anode) และขั้วไฟฟ้าของอีกครึ่งเซลล์ที่มีปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นเป็น ขั้วแคโทด (cathode) (เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ, 2539)

ขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วนี้มีหน้าที่แตกต่างกัน โดยขั้วไฟฟ้าหนึ่งจะถูกใช้เพียงขั้วที่ต่อเพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้าเท่านั้น ขั้วนี้มักถูกต่อไว้ทางด้านแอโนด และเรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่า “ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง” (reference electrode) ลักษณะเฉพาะของขั้วไฟฟ้าอ้างอิง คือ ค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้ามีค่าเฉพาะที่ไม่แปรตามการไหลของกระแสในวงจร การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในสารละลายซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารตัวอย่างจะไปมีผลต่อค่าศักย์ของอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดของเซลล์และเรียกชื่อว่า “ขั้วไฟฟ้าใช้งาน” (working electrode) หรือ “ขั้วไฟฟ้าชี้บอก” (indicating electrode) (เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ, 2539)

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าเป็นการแยกสารตัวอย่างออกจากสารละลายโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดการพอกพูนสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้า เนื่องจากกลไกทางไฟฟ้าที่ปรับเหมาะสมกับเฉพาะสารที่ต้องการวิเคราะห์จึงทำให้การแยกสลายด้วยไฟฟ้ามีความจำเพาะเจาะจงสูง ไม่มีการรบกวนหรือปะปนของสารที่ไม่ต้องการ ทั้งคำนวณปริมาณสารตัวอย่างได้โดยตรงจากน้ำหนักที่พอกพูนขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะการพอกพูนของผลปฏิกิริยา ได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการวิเคราะห์ โดยทั่วไปพลังงานศักย์ที่ให้กับเซลล์ไม่ควรมาจนทำให้ความหนาแน่นของกระแสมากกว่า 0.1 แอมแปร์/ตารางเซนติเมตร การเกิดกระแสมากเกินไปเหมือนเป็นการเร่งการพอกพูนของสารทำให้การพอกพูนไม่เรียบ การที่อ็อกซิเจนในสารละลายมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาด้วยแรงกวนสารละลายหรือการหมุนของขั้วไฟฟ้า มีส่วนช่วยให้การพอกพูนของสารเป็นไปได้ดี และสม่ำเสมอ การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายในระหว่างการวิเคราะห์ มีส่วนช่วยการเคลื่อนไหวของอ็อกซิเจนในสารละลาย เร่งการพอกพูนของสารที่ขั้วไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะและสภาวะการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละสารตัวอย่างด้วย

สาเหตุหนึ่งของการทำให้การพอกพูนสารไม่เรียบ หลุดง่าย เป็นเพราะเกิดก๊าซขึ้นระหว่างการวิเคราะห์ การเกิดรีดักชันของน้ำให้ก๊าซไฮโดรเจน หรือการเกิดออกซิเดชันของน้ำให้ก๊าซออกซิเจนในระหว่างการพอกพูนสารวิเคราะห์ ถึงแม้ฟองก๊าซทำให้เกิดการเคลื่อนพาอ็อกซิเจน แต่ขณะเดียวกัน ก็สกัดกั้นการพอกพูนของสารบนขั้วไฟฟ้า ทำให้การเกาะตัวของสารไม่เรียบ และหลุดออกได้ง่ายขณะล้างขั้วไฟฟ้าก่อนชั่งน้ำหนัก (เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ, 2539)

2.6.2 การประยุกต์ใช้วิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าได้รับความสนใจในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีและหลักการของวิธีการนี้ คือ การใช้อิเล็กตรอนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน แทนการใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีการนี้ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียในหลายๆ รูปแบบ เช่น การกำจัดอ็อกซิเจนต่างๆ ในน้ำเสีย การกำจัดสีของน้ำเสีย การกำจัดฟีนอลในน้ำเสีย การแยกสารโดยทำให้ลอย การกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำเสีย เป็นต้น

- การกำจัดอออนต่างๆในน้ำเสีย

ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอออนปนเปื้อนต่างๆ ต้องอาศัยวิธีการบำบัดหลายขั้นตอน เช่น การปรับพีเอชให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ต้องการ การเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี การทำให้เป็นกลางเพื่อแยกตะกอนออกจากสารละลาย เป็นต้น แต่วิธีการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้าใช้หลักการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของอออนให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง เช่น การกำจัด Cr^{6+} จากน้ำหล่อเย็น โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า วิธีนี้จะเกิดตะกอนเบาของเหล็กที่ไม่ละลายน้ำ และ Cr^{6+} จะถูกเปลี่ยนให้เป็น Cr^{3+} ซึ่งอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า จากนั้นอออนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าจะรวมตัวกับตะกอนเบาของเหล็กในทางกายภาพหรือทางเคมีเพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อน และถูกกำจัดโดยการตกตะกอน วิธีการนี้ไม่ต้องมีการปรับค่าพีเอช และไม่ต้องเติมสารเคมีในการกำจัดอออนต่างๆ

- การกำจัดสีของน้ำเสีย

โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีปัญหาในการกำจัดสีของน้ำเสีย เนื่องจากยังไม่มีวิธีบำบัดที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารที่ก่อให้เกิดสี ในการกำจัดสีมีการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดสีของน้ำเสีย เช่น คลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ เป็นต้น แต่ก็จะมีปัญหากับสารเคมีที่เติมลงไป จึงได้พยายามหาวิธีที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น วิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนรูปอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสีโดยอาศัยการถ่ายเทอิเล็กตรอนในระบบ ซึ่งทำให้เลขออกซิเดชันของอออนของโลหะเปลี่ยนไป และสามารถดูดซับสารแขวนลอยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น (Molina, Rigal และ Lacoste, 1991 อ้างถึงใน กัญจมาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2539)

- การกำจัดฟีนอลในน้ำเสีย

ในการเกิดปฏิกิริยาของออกซิเดชันของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งขึ้นกับความว่องไวของสารอินทรีย์กับตัวทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ฟีนอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ก็สามารถใช้วิธีนี้ในการกำจัดออกจากน้ำเสียได้ โดยการเลือกชนิดของขั้วไฟฟ้าให้เหมาะสมกับน้ำเสียด้วย

- การแยกสารโดยทำให้ลอย

วิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถนำมาใช้แยกสารโดยทำให้ลอยได้ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีส่วนในการทำปฏิกิริยา เช่น อลูมิเนียม เป็นต้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในเซลล์อิเล็กโทรไลต์แล้ว ขั้วไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นแอโนดจะละลายเป็นไอออนในน้ำเสียน้ำ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดตะกอนเบา ขณะที่แคโทดจะเกิดฟองก๊าซที่ช่วยในการลอยตัวของสาร ซึ่งเป็นการแยกสารโดยทำให้ลอยด้วยไฟฟ้านั่นเอง วิธีนี้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันโดยพัฒนาให้ระบบการบำบัดมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่หนึ่งเป็นการทำให้เกิดตะกอนเบาด้วยไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการรวมตัวของน้ำมัน ขั้นที่สองเป็นการทำให้ลอยด้วยไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย

- การกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำเสีย

ในการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่จะต้องพิจารณาปริมาณของแบคทีเรียในน้ำด้วย การเติมสารเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการกำจัดเชื้อโรคหรือแบคทีเรียในน้ำ แต่ปัญหาที่ตามมา คือ เมื่อใช้สารเคมีมากเกินไปทำให้มีฤทธิ์ของสารเคมีตกค้างอยู่ในน้ำ ดังนั้นวิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบเสถียร เพื่อทำให้เกิดก๊าซคลอรีน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ก๊าซคลอรีนนี้ใช้กำจัดแบคทีเรียในน้ำเสีย แต่จะต้องมีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณคลอรีนสูงเกินไป

2.6.3 วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบของแต่ละครึ่งเซลล์ไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ต่อเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามส่วนประกอบที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้า คือ ขั้วไฟฟ้าโลหะ (metal electrodes) และขั้วไฟฟ้าแบบเยื่อ (membrane electrodes)

วัสดุที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้ามีหลายชนิด เช่น ไททานเนียม แพลทินัม เหล็ก อลูมิเนียม และแกรไฟต์ เป็นต้น

- ไททาเนียม

เป็นธาตุหมู่เดียวกับเซอร์โคเนียมและฮาฟเนียม ไททาเนียมเป็นโลหะทรานซิชัน มีลักษณะขาวคล้ายเงิน แข็ง ไม่เปราะ และในบรรดาโลหะทรานซิชันทั้งหมดไททาเนียมมีความหนาแน่นน้อยที่สุด ธาตุนี้ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิธรรมดา แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส จะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับอโลหะ เกิดสารประกอบ เช่น $TiCl_4$, TiO_2 เป็นต้น และทำปฏิกิริยากับไอน้ำให้ได้ออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจน ไททาเนียมมีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง +2, +3 และ +4 เลขออกซิเดชันที่สามัญที่สุดและเสถียรที่สุดภายใต้สภาวะต่างๆ คือ +4 เนื่องจากไททาเนียมเป็นโลหะที่แข็งและมีจุดหลอมเหลวสูง ดังนั้นจึงใช้ในการทำเครื่องยนตร์ไอพ่น

- แพลทินัม

มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงมาก คือมีจุดเดือด 3,827 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,770 องศาเซลเซียส แพลทินัมเป็นโลหะที่มีลักษณะเป็นเงามันสีขาว อ่อนกว่าธาตุอื่นๆ จึงสามารถดัดให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้คล้ายกับเงินและทอง มีเลขออกซิเดชันหลายค่าตั้งแต่ +2 ถึง +8 แต่ที่สำคัญคือ +2 ถึง +4 เท่านั้น แพลทินัมอาจพบในรูปของธาตุอิสระในธรรมชาติอยู่บ้าง นอกจากจะเกิดเป็นสินแร่กับธาตุอื่นๆ และมักจะพบอยู่ร่วมกันหลายธาตุเป็นโลหะเจือ และยังปรากฏรวมอยู่กับพวกธาตุทองแดง เงิน และทองคำอีกด้วย แพลทินัมมีน้อยมาก จึงมีราคาแพงมาก เนื่องจากมีสมบัติในการนำความร้อนและไฟฟ้าดีมาก และไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา จึงมีประโยชน์ในการทำขั้วไฟฟ้า เบ้าทนไฟ และภาชนะสำหรับงานที่อุณหภูมิสูง และต้องการความต้านทานกัดกร่อนสูง

- เหล็ก

เป็นโลหะที่มีอยู่ในเปลือกโลกประมาณ 4.7% มากเป็นที่สองรองจากอลูมิเนียม เหล็กเป็นโลหะแข็ง มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาปานกลาง สารประกอบของเหล็กมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 เลขออกซิเดชันสูงๆ มีบ้างแต่ไม่เสถียรและเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้นมักจะกลายเป็นสนิมที่เรียกว่าสนิมเหล็ก เหล็กทำปฏิกิริยารวมตัวกับอโลหะทั้งหลายได้เกือบทั้งหมดเมื่อทำให้ร้อนเล็กน้อย แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน เมื่ออยู่ในสารละลาย เหล็กมักอยู่ในรูปของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ปน

กัน เหล็กที่มีเลขออกซิเดชัน +2 นั้นเสถียรมาก และสามารถเกิดเกลือต่างๆ กับแอนไอออนที่เสถียรได้ สารประกอบที่ปราศจากน้ำของ Fe^{2+} ไม่มีสี แต่ถ้ามีน้ำหรืออยู่ในสารละลายจะมีสีเขียวอ่อนของไอออน $(Fe(H_2O)_6)^{2+}$ สารละลาย Fe^{2+} นี้ถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศกลายเป็น Fe^{3+} ได้ Fe^{3+} อยู่ในสารละลายของน้ำเป็น hydrated ion เนื่องจาก Fe^{3+} มีขนาดไอออนเล็กและมีประจุมากจึงแสดงสมบัติเป็นกรด ทั้ง Fe^{2+} และ Fe^{3+} ทำปฏิกิริยากับสารที่ให้อิเล็กตรอนเกิดสารเชิงซ้อนได้

- อลูมิเนียม

ในเปลือกโลก อลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีมากเป็นที่สาม และเป็นโลหะที่มีมากที่สุด อลูมิเนียมเป็นโลหะหมู่เดียวกับแกลเลียม อินเดียม และเทลลูเรียม อลูมิเนียมเป็นโลหะสีขาวเบา และแข็งมาก แต่ไม่เปราะ สามารถทำให้มีรูปร่างต่างๆ ได้ตามความต้องการ จึงนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา อลูมิเนียมจัดว่า่องไวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะอื่นๆ ได้ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 อิเล็กตรอน Al^{3+} มีขนาดเล็กมาก สารประกอบของโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน +3 มักจะเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ เมื่ออยู่ในน้ำ Al^{3+} จะเกิดไฮดรอกไซด์และไฮโดรไลซิส เกลือซัลเฟต, ไนเตรต และเฮไลด์ของอลูมิเนียมละลายน้ำได้ดี แต่ไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียมไม่ละลายในน้ำ

- แกรไฟต์

แกรไฟต์ เป็นอีกรูปหนึ่งของคาร์บอนซึ่งเกิดตามธรรมชาติ อะตอมของแกรไฟต์จะจัดตัวเป็นระนาบเป็นชั้นๆ อะตอมคาร์บอนในแต่ละชั้นจะอยู่ที่มุมของรูป regular hexagon การยึดกันระหว่างระนาบนั้นไม่ได้ยึดกันด้วยโคเวเลนต์บอนด์ แต่ยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ระยะห่างระหว่างอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเท่ากับ 1.415 Å ซึ่งสั้นพอสมควรจึงทำให้เชื่อว่าอะตอมคาร์บอนน่าจะยึดกับอะตอมข้างเคียงด้วยพันธะแกรไฟต์มีลักษณะทึบแสงและเป็นเงามันเหมือนโลหะเล็กน้อย นำไฟฟ้าได้มากในทิศทางที่ขนานกับระนาบของอะตอม แต่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบของอะตอมจะนำไฟฟ้าได้น้อย

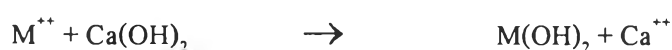
2.7 วิธีการตกตะกอน (Freeman, 1989)

การตกตะกอนเป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพของสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายให้เป็นสารที่อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำโดยการเติมสารเคมีลงไปลงในน้ำเสียซึ่งเมื่อผสมเข้ากันดีแล้วจะเกิดการจับตัวกันระหว่างสารเคมีกับสารละลาย ทำให้สามารถแยกมลสารที่ไม่ต้องการออกจากน้ำเสียได้ การตกตะกอนโดยทั่วๆ ไป จะใช้เพื่อลดความกระด้างของน้ำโดยกำจัดแคลเซียมและแมกนีเซียม แต่ในการบำบัดของเสียอันตราย กระบวนการนี้ก็สามารถนำไปใช้เพื่อกำจัดโลหะอันตรายออกจากน้ำเสียได้ โลหะอันตรายที่สามารถกำจัดโดยวิธีการตกตะกอนได้แก่ อาร์ซีนิก แบเรียม แคลเซียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่วปรอท นิกเกิล ซีลีเนียม เงิน และสังกะสี

การตกตะกอนสามารถทำได้โดยเติมสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยลง เช่น ในการกำจัดสังกะสีที่ละลายน้ำ (Zn^{2+}) จะต้องเติมโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ซึ่งละลายน้ำได้ดี เกิดปฏิกิริยาได้สารประกอบซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก นอกจากนี้การเปลี่ยนสมดุลของการละลาย (solubility equilibrium) ก็สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนได้ โดยการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของโลหะละลายจะต่ำลง และโลหะส่วนเกินจะอยู่ในรูปตะกอนสามารถจมตัวได้ดี เช่น ในการกำจัดสังกะสีสามารถตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ได้ สำหรับการตกตะกอนโดยการเปลี่ยนอุณหภูมิ จะเป็นการลดค่าความสามารถในการละลายให้น้อยลง แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก (สารโรซ บุญกิจสมบัติ, 2536) การตกตะกอนมีหลายแบบ เช่น การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ การตกตะกอนซัลไฟด์ การตกตะกอนคาร์บอเนต การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เป็นต้น

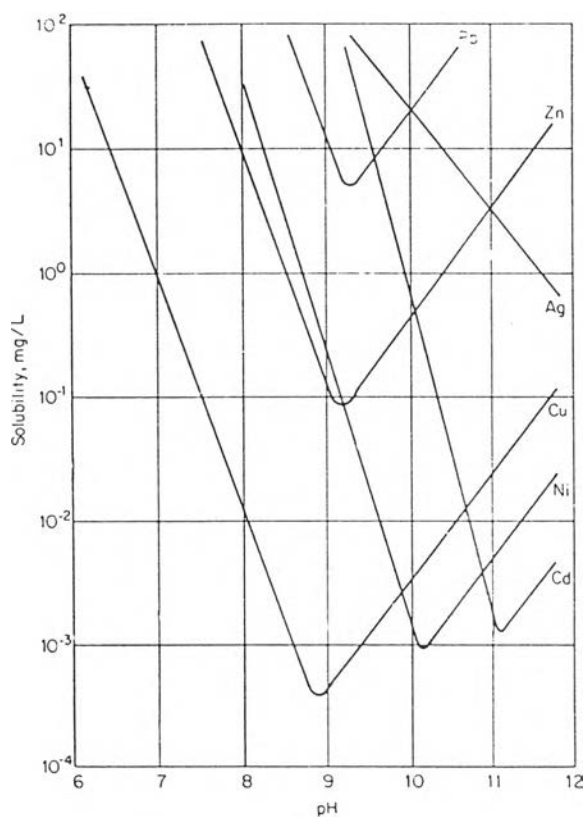
- การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอนโดยกำจัดโลหะให้อยู่ในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ ปฏิกิริยาของการตกตะกอนโลหะโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการนี้



การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณโลหะหนัก ชนิดของตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ สภาพที่เกิดปฏิกิริยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพีเอช สารอื่นๆ ที่มีอยู่ ซึ่งอาจเป็นตัวที่ยับยั้งการตกตะกอน เป็นต้น

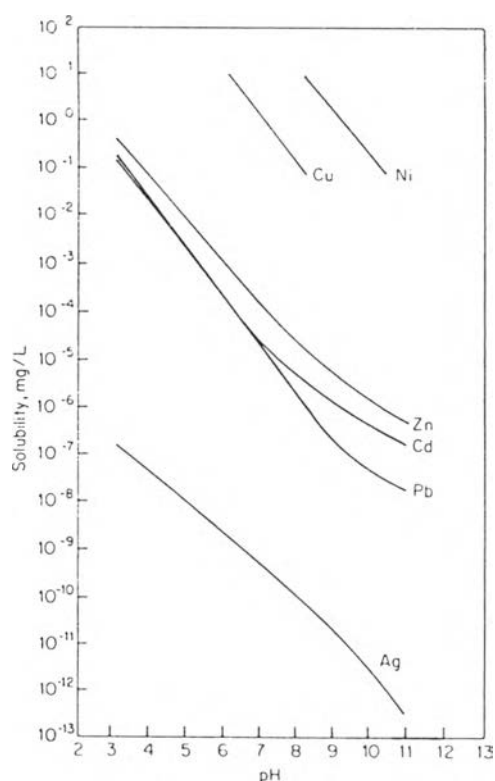
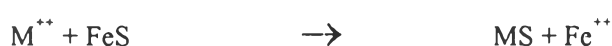
ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์แสดงในรูปที่ 2.1 โลหะไฮดรอกไซด์เป็นพวกแอมโฟเทอริก (amphoteric) เช่น การละลายสามารถเพิ่มขึ้นได้ที่พีเอชสูงและต่ำ และสำหรับโลหะชนิดต่างๆ จะมีจุดที่มีการละลายต่ำสุด (พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน) ที่ระดับพีเอชแตกต่างกัน ที่ระดับพีเอชหนึ่งความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ตัวหนึ่งอาจสูงกว่าโลหะตัวอื่น สำหรับน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดปะปนกันอยู่ อาจมีระยะในการตกตะกอนของโลหะแต่ละชนิดด้วยพีเอชที่แตกต่างกัน ในการที่จะกำจัดโลหะทุกตัวให้อยู่ในระดับที่ต้องการอาจจะใช้ตัวช่วยตกตะกอนอื่นๆ ร่วมกันได้



รูปที่ 2.1 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ (Freeman, 1989)

- การตกตะกอนซัลไฟด์

การตกตะกอนซัลไฟด์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเห็นได้ว่าโลหะซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะซัลไฟด์ไม่มีคุณสมบัติแอมโฟเทอริก การตกตะกอนซัลไฟด์เกี่ยวข้องกับการรวมอออนโลหะหนักด้วยซัลไฟด์เรดิคอลลซึ่งแสดงปฏิกิริยาดังสมการนี้



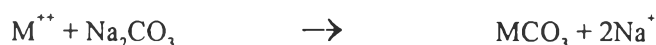
รูปที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ (Freeman, 1989)

แหล่งของซัลไฟด์ที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ($NaHS$) ซึ่งสามารถละลายได้ ส่วน เฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) สามารถละลายได้เล็กน้อย

ข้อเสียของการตกตะกอนซัลไฟด์ คือ จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีความเป็นพิษ จึงต้องรักษาระดับพีเอชให้มากกว่า 8 เพื่อป้องกันการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ข้อเสียอีกอย่าง คือ ภายหลังจากตกตะกอนซัลไฟด์แล้ว ในน้ำที่จะปล่อยออกจะมีปริมาณซัลไฟด์มากเกินไป จึงต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นตอนสุดท้ายก่อนปล่อยทิ้งด้วย

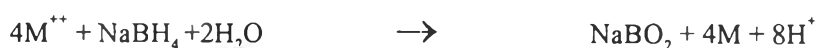
- การตกตะกอนคาร์บอเนต

สำหรับโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียมและตะกั่ว การตกตะกอนคาร์บอเนตทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และสามารถตกตะกอนได้มากกว่า การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของตะกั่วและแคลเซียมต้องปรับให้มีพีเอช 10 หรือมากกว่า แต่สำหรับการตกตะกอนคาร์บอเนต ปรับให้มีพีเอชประมาณ 7.5 - 8.5 การตกตะกอนโดยโซเดียมคาร์บอเนต แสดงปฏิกิริยาดังสมการ



- การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ซึ่งสามารถใช้ตกตะกอนโลหะในสารละลายให้เป็นโลหะที่ไม่ละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับพีเอช แสดงปฏิกิริยาดังสมการ



วิธีการนี้มีประสิทธิภาพสูงในช่วงพีเอช 8-11 ที่พีเอชต่ำกว่า 8 ต้องใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากไฮโดรไลซิสของโบโรไฮไดรด์ ขณะที่พีเอชมากกว่า 11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง พีเอชที่เหมาะสมถูกกำหนดโดยการทดสอบความสมดุลย์การใช้โบโรไฮไดรด์กับระยะเวลาทำปฏิกิริยาและคุณภาพน้ำที่ปล่อยออก

การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ มีประโยชน์ในการนำโลหะกลับมาจากน้ำเสีย และสามารถกำจัดโลหะต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ตะกั่ว พรอท นิกเกิล ทองแดง แคลเซียม และโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน และแพลทินัม

การตกตะกอนในแต่ละประเภทดังที่กล่าวมาแล้วนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ (ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539)

ชนิดของการตกตะกอน	ข้อดี	ข้อเสีย
การตกตะกอนไฮดรอกไซด์	1. ราคาถูก	1. มีคุณสมบัติกึ่งโลหะไฮดรอกไซด์ ละลายกลับได้เมื่อพีเอชเปลี่ยน 2. เกิดตะกอนมาก 3. ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพวก chelating agent ได้
การตกตะกอนซัลไฟด์	1. โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายน้ำต่ำ 2. สามารถตกตะกอน Cr^{6+} โดยไม่ต้องผ่านรีดักชัน 3. ตกตะกอนพวก chelating agent ได้ 4. เอน้ำออกจากตะกอนได้มากกว่าไฮดรอกไซด์	1. เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 2. มีอิมูนของซัลไฟด์เกิดขึ้น 3. โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์
การตกตะกอนคาร์บอเนต	1. เมื่อใช้กับแคดเมียมและตะกั่วทำปฏิกิริยาที่พีเอชต่ำกว่าไฮดรอกไซด์ 2. สามารถกรองตะกอนได้มากกว่า	1. ใช้กับโลหะได้ไม่ทุกชนิด 2. เกิดตะกอนมากกว่า
การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์	1. ใช้กับการนำกลับของโลหะ 2. ตะกอนน้อยกว่าไฮดรอกไซด์	1. ใช้ได้กับช่วงพีเอชสั้น คือ 8-11 เท่านั้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดปรอทโดยการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ยังมีการศึกษาไม่มากนัก และเป็นการกำจัดปรอทที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก แต่สำหรับการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนมีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

Atkinson, Murphy และ Eisels (1983) ศึกษาการนำโลหะปรอทจากปรอทซัลไฟด์กลับมาใช้ใหม่โดยการชะล้างปรอทด้วยสารละลายคิวปริคคลอไรด์ (cupric chloride) และใช้การแยกสลายด้วยไฟฟ้า เพื่อแยกปรอทออกจากสารละลาย การศึกษานี้ทดลองในอุปกรณ์ที่สามารถชะล้างและแยกสลายด้วยไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้าใช้ปรอทเป็นแคโทด และแกรไฟต์เป็นแอโนด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยแคลเซียม ทองแดง เหล็ก และปรอท การแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะทำให้ได้โลหะปรอทที่แคโทดและเกิดคลอรีนที่แอโนด แต่ทองแดงเป็นสาเหตุให้เกิดกากตะกอน (sludge) ที่บริเวณแคโทด และลดประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า 30% จึงต้องปรับพีเอชด้วยแคลเซียมหรือโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อให้ทองแดงตกตะกอนก่อนที่จะนำเข้ากระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Murphy, Henry และ Eisels, 1987)

Dyvik และ Borve (1987) ศึกษาวิธีการทำก๊าซที่มีปรอทให้บริสุทธิ์และนำปรอทกลับคืนมาในรูปของโลหะปรอทโดยผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ปรอทที่อยู่ในก๊าซจะอยู่ในรูปไอปรอท จึงใช้สารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$) ทำปฏิกิริยากับไอปรอทเกิดเป็นเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2) หลังจากนั้นเติมคลอรีนเพื่อออกซิไดส์เมอร์คิวรัสคลอไรด์ ให้เป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ และนำสารละลายที่ได้เข้ากระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ซึ่งใช้นิกเกิลหรือโลหะปรอทเป็นแคโทดและคาร์บอนหรือโลหะออกไซด์ที่คงตัวเป็นแอโนด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยปรอท กรดซัลฟูริก และคลอรีน จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าจะเกิดโลหะปรอทที่ขั้วแคโทด และเกิดคลอรีนที่แอโนด

ในการแยกปรอทจากเมอร์คิวรัสคลอไรด์สามารถใช้วิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ซึ่งใช้เมทานอลและกรดไฮโดรคลอริกเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่มีประสิทธิผลต่ำและมีสารมลทินปนเปื้อน ส่วนการแยกปรอทออกจากเมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO) สามารถใช้ความร้อนสูงแยกได้โดยมีอุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส แต่ปรอทที่ได้มีสารมลทินปนเปื้อน และอาจมีอันตรายจากไอระเหยต่อผู้ทดลองได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้น Grossman

และ George (1989) จึงได้ศึกษาการนำปรอทกลับมาใช้ใหม่โดยนำออกจากเมอร์คิวรัสคลอไรด์ และเมอร์คิวริกออกไซด์ โดยใช้วิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ในการแยกปรอทออกจากเมอร์คิวรัสคลอไรด์ ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น น้ำ และเติมเมอร์คิวรัสคลอไรด์ ลงไป ซึ่งจะเกิดการแตกตัวเป็นเมอร์คิวรัสไอออน (mercurous ion) เมอร์คิวรัสไอออนนี้จะถูกเติมลงไปจนกระทั่งอิ่มตัว และในขณะที่ทดลองจะต้องกวนสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เมอร์คิวรัสคลอไรด์แตกตัว ส่วนการแยกปรอทออกจากเมอร์คิวริกออกไซด์ ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยกรดอะซิติก น้ำ และเติมเมอร์คิวริกออกไซด์ ลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเกิดการแตกตัวได้เมอร์คิวริกไอออน (mercuric ion) ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้าใช้แพลทินัมเป็นแอโนดและปรอทเป็นแคโทด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจากแอโนดเข้ามาในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะทำให้เมอร์คิวรัสไอออนถูกรีดิวซ์และเกิดปรอทที่แคโทด สำหรับเมอร์คิวริกไอออนก็จะถูกรีดิวซ์และเกิดปรอทที่แคโทดเช่นกัน ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการทดลองมีค่า 0.9 โวลต์หรือมากกว่า แต่ที่ค่าความต่างศักย์ 0.9 โวลต์ เมอร์คิวรัสไอออนจะเริ่มถูกรีดิวซ์

Dietz และ Kuhn (1989) ศึกษาวิธีการตกตะกอนโลหะปรอทด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ประกอบด้วยเมอร์คิวรัสคลอไรด์ กรดซัลฟูริก และคลอไรด์ ใช้เหล็ก เงิน นิกเกิล ทองแดง แคดเมียม อลูมิเนียม สังกะสี ดีบุก หรืออัลลอยด์ของโลหะเหล่านี้ เป็นแคโทด แอโนดและแคโทดมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 300 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เนื่องจากโลหะที่ใช้เป็นแผ่นกว้าง ค่านี้จะหมายถึงพื้นที่ทั้งหมดซึ่งรวมช่องว่างด้วย จากกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดคลอรีนที่แอโนด คลอรีนนี้จะทำปฏิกิริยาทันทีกับเมอร์คิวรัสคลอไรด์ แล้วเกิดเป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งเมอร์คิวริกคลอไรด์นี้จะถูกรีดิวซ์ที่แคโทด กลายเป็นโลหะปรอท

Polcaro, Slavik และ Palmas (1995) ได้ทำการศึกษาโดยใช้วิธีโวลแทมเมตรี (voltammetry) ในการทำให้เกิดการพอกพูนของปรอทที่ขั้วไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้สามารถทำให้ได้โลหะกลับคืนมาในรูปที่บริสุทธิ์ จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ในการกำจัดปรอทออกจากสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากแกรไฟต์มีความคงทนต่อกรดซัลฟูริกเข้มข้น และทำหน้าที่เป็นตัวนำพาไอออนในสารละลายที่ดี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาโบลเมทัลลัมเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง จากผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดปรอทได้ง่าย เนื่องจากปรอทจะมารวมตัวกันอยู่ในบริเวณด้านล่างของขั้วไฟฟ้า วิธีนี้สามารถกำจัด

ปรอทที่อยู่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ให้เหลือ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

Dean และคณะ, 1971 อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539 ศึกษาการกำจัดปรอทออกจากน้ำเสีย โดยนำมาปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พร้อมกับกวนให้ความร้อน ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่ามากกว่า 10 หลังจากนั้นเติมโซเดียมไรโอซัลเฟต เพื่อให้เกิดการตกตะกอนผลึกของปรอทในรูปตะกอนซัลไฟด์ แยกน้ำใสออกจากตะกอนซัลไฟด์ นำตะกอนมาล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เพื่อให้เกิดโซเดียมซัลเฟต เพื่อกำจัดซัลเฟตออก จากนั้นทำตะกอนให้แห้ง โดยอบที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และนำไปกำจัดต่อไป

Kurikami (1975) ศึกษาวิธีการกำจัดปรอทออกจากกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นสูงมาก โดยการเติมไอโอไดด์เพื่อให้ปรอทตกตะกอนในรูปของปรอทไอโอไดด์ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกอยู่ในช่วง 80-90% และมีปริมาณปรอทอยู่เล็กน้อยซึ่งอยู่ในรูปของโลหะและอออน ปริมาณไอโอไดด์ที่ใช้เติมจะมีผลต่อการตกตะกอนของปรอทไอโอไดด์แตกต่างกัน ตะกอนของปรอทไอโอไดด์ที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกโดยวิธีการกรอง และปรอทไอโอไดด์ที่ถูกแยกออกมานี้อาจจะนำเข้าสู่กระบวนการนำไอโอไดด์กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะนำไปสู่การนำปรอทกลับมาใช้ใหม่ด้วย

Lanouete, 1977 อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539 ได้กล่าวถึงการตกตะกอนปรอทโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปของตะกอนซัลไฟด์ โดยนำน้ำเสียมารับปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 5-6 ด้วยกรดซัลฟูริก จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์ให้มีปริมาณมากเกินไป จะเกิดตะกอนซัลไฟด์ขึ้น แยกออกจากสารละลายโดยการกรอง วิธีนี้สามารถกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียได้ดี โดยมีความเข้มข้นของปรอทเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดประมาณ 10 - 20 ไมโครกรัม/ลิตร

Findlay และ Ronald (1979) ศึกษาการกำจัดปรอทออกจากตัวกลางที่เป็นน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ โดยการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วงระหว่าง 7 - 13 แต่พบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ 9 - 12 และเติมโซเดียมโพลีซัลไฟด์ และโซเดียมซัลไฟด์ ในปริมาณที่เพียงพอในการที่จะรวมตัวกับปรอทแล้วเกิดเป็นปรอทซัลไฟด์ จากการทดลองพบว่าปฏิกิริยาการเกิดปรอทซัลไฟด์ขึ้นกับพีเอช และจำนวนของซัลไฟด์อออนที่มากเกินไป ตะกอน

ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกทันทีด้วยวิธีการกรองเพื่อป้องกันสารละลายของปรอทซัลไฟด์ในสารละลาย

Dotson และ Carr (1981) ศึกษาวิธีการทำสารละลายไฮดรอกไซด์ให้บริสุทธิ์ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้ปรอทตกตะกอนเป็นปรอทซัลไฟด์ ซึ่งจะแยกออกจากสารละลายโดยวิธีการกรอง สารละลายที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วจะประกอบด้วยน้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณปรอทน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร จากปรอทเข้มข้น 3.1 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อปรอทอยู่ในช่วง 8:1 ถึง 20:1

Flynn, Camahan และ Lindstrom (1981) ศึกษาวิธีการกำจัดปรอทออกจากสารละลายไซยาไนด์ด้วยวิธีการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ คือ โลหะซัลไฟด์ ได้แก่ ซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และเหล็กซัลไฟด์ (FeS) สารละลายที่ใช้ในการทดลองมีพีเอช 10 จากการทดลองพบว่าปริมาณและชนิดของตัวช่วยตกตะกอนมีผลต่อการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์แตกต่างกัน ตะกอนปรอทซัลไฟด์จะถูกแยกออกจากสารละลายไซยาไนด์ โดยการกรองหรือเซนตริฟิวจ์

Sund, 1986 อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539 ได้กล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีปรอทรวมอยู่ด้วยโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ในปริมาณที่มากกว่าคำนวณจากปฏิกิริยาเคมีร้อยละ 30 จากนั้นเติมคอปเปอร์ซัลเฟต โดยปริมาณที่เติมมากกว่าปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ประมาณร้อยละ 15 เพื่อป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ปรอทจะตกตะกอนลงมาได้ ตะกอนปรอทจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์

Murphy และคณะ (1987) ศึกษาถึงการกำจัดปรอทออกจากร้ำเสียโดยใช้ผงเหล็ก ผอยโลหะหรือสังกะสี การตกตะกอนด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือโซเดียมซัลไฟด์ และการดูดซับด้วย activated carbon ซึ่งพบว่าผงเหล็ก สังกะสี ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ activated carbon สามารถลดความเข้มข้นของปรอทให้ต่ำกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร แต่การตกตะกอนด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์ น่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากตะกอนปรอทซัลไฟด์สามารถนำกลับมาชะล้างด้วยคิวปริคคลอไรด์และนำมาเข้ากระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้าได้อีก สำหรับไฮเหล็กนั้น ถ้าเพิ่มเวลาในการบำบัดและเพิ่มปริมาณของไฮเหล็กก็สามารถลดความเข้มข้นของ

ปรอทเป็น 0.01 มิลลิกรัม/ลิตรได้ ดังนั้นการใช้เหล็กในการกำจัดปรอทจึงน่าจะเป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูก

Fresenius และ Schneider, 1988 อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์, 2539 ศึกษาการกำจัดปรอทและเงินออกจากน้ำที่เหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดี โดยนำเสียหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีแล้วจะนำมาเติมโซเดียมไฮโอซัลเฟต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรอทและเงินจะถูกกำจัดออกมาในรูปซัลไฟด์ ส่วนโครเมียมจะถูกกำจัดออกมาในรูปไฮดรอกไซด์ ซึ่งปรอทที่เหลืออยู่จะมีค่าน้อยกว่า 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร เงินเหลือน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตรและโครเมียมเหลือต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

Moore และคณะ (1994) ศึกษาวิธีการกำจัดปรอทออกจากสารละลายไฮดรอกซิล-แอมโมเนียมไนเตรต (hydroxyl - ammonium nitrate) โดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ในการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ ในการทดลองต้องเติมไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) ลงในสารละลายก่อนเพื่อไปแยกไฮดรอกซิล-แอมโมเนียมไนเตรต และเคมีรีดิวซ์ซิงเอเจนต์ (reducing agent) เพื่อกำจัดไฮโปคลอไรต์ ก่อนที่จะเติมโซเดียมซัลไฟด์ต้องปรับพีเอชให้น้อยกว่า 7 โดยการเติมกรดแก่ ปริมาณตัวช่วยตกตะกอนที่เติมในสารละลายมีอัตราส่วนประมาณ 1:1 ถึง 2:1 ของปริมาณตัวช่วยตกตะกอนต่อปรอท ตะกอนปรอทซัลไฟด์จะแยกออกจากสารละลายโดยวิธีการกรอง วิธีนี้สามารถลดปริมาณปรอทที่มีความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/ลิตร ให้เหลือน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2531) ได้ประกาศเรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์กำจัด ฟุ้ง ทิ้ง เคลื่อนย้าย และการขนส่งถึงปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2531 ในเรื่องการทำลายฤทธิ์กากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน ให้นำกากตะกอนมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม

ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์ (2539) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยวิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี ในน้ำทิ้งจะมีปรอท โครเมียม เงิน และเหล็ก ตกตะกอนโดยใช้สารเคมี 4 ชนิด คือ โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ โซเดียม

ไรโอซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการทดลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ การตกตะกอนด้วยโซเดียมไรโอซัลเฟต 10 กรัม และปรับพีเอชเป็น 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% น้ำหนักโดยปริมาตรต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร และทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 1 วัน ซึ่งจะมีปริมาณปรอท โครเมียม เงิน และเหล็ก ที่เหลือในน้ำเท่ากับ 0.001, 0.01, 0.50 และ 1.32 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ