บทที่ 2

วิธีการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กันสิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียโดยปกติของแข็งหรือตะกอนแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำเสียมักบำบัดออกได้ด้วยวิธีทางกายภาพ ส่วนตะกอนขนาดเล็กหรือสารละลายในน้ำเสียต้องบำบัดออกโดยใช้วิธีเคมีหรือชีวภาพซึ่งสามารถทำให้ตะกอนขนาดเล็กหรือสารละลายกลายเป็นตะกอนแขวนลอยที่รวมกันเป็นก้อนใหญ่จนสามารถบำบัดออกจากน้ำเสียได้โดยวิธีทางกายภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียอาจจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

- กระบวนการทางกายภาพ
- กระบวนการทางเคมี
- กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการทางกายภาพส่วนใหญ่มีหน้าที่กำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ซึ่งตกตะกอนด้วยตัวเองได้ง่ายส่วนกระบวนการทางเคมีส่วนใหญ่มีหน้าที่กำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กหรือของแข็งที่ตกตะกอนได้ด้วยตัวเองได้ช้า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีอาจมีความสกปรกหลงเหลืออยู่ในรูปของสารละลายจึงต้องนำไปผ่านกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป ในกรณีที่น้ำเสียมีความสกปรกอยู่ในรูปของสารละลายอนินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โลหะหนักหรือสารพิษ การบำบัดน้ำเสียมักใช้กระบวนการทางเคมีเสมอ กระบวนการทางชีวภาพไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักหรือสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าของการลงทุน

2.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียทางเคมี

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเคมีใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- มีกรดหรือด่างสูงเกินไป
- มีโลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น สังกะสี ดีบุก ฯลฯ
- มีตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก
- มีสารประกอบอนินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ เช่น ซัลไฟต์
- มีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ

2.1.1 <u>กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีหลายประเภท</u> ดังนี้

- โคแอกกูเลชัน (Coagulation)
- การตกผลึก (Precipitation)
- การปรับพีเอช (pH adjustment)
- การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)
- ออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation – Reduction)

2.1.1.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

ในบางครั้งน้ำเสียมีของแข็งแขวนลอยสูงมากจนเห็นเป็นน้ำขุ่น ๆ ของแข็ง ดังกล่าวอาจตกตะกอนได้ง่ายในระยะเวลาอันสั้น แต่บางครั้งก็แทบไม่ตกตะกอนเลยแม้จะตั้งทิ้งไว้หลายชั่วโมง การบำบัดน้ำเสียที่มีของแข็งแขวนลอยสูงด้วยวิธีชีวภาพจะก่อปัญหาในทางควบคุมและอาจทำให้ระบบบำบัดล้มเหลวได้ การกำจัดของแข็งแขวนลอยจึงเป็นสิ่งแรกที่ควรกระทำในการบำบัดน้ำเสีย

โคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยซึ่ง ตกตะกอนด้วยตนเองได้ยากของแข็งเช่นนี้มักเรียกว่า คอลลอยด์ (Colloid) คอลลอยด์มีขนาดเล็กและเบามากจนแทบไม่ตกตะกอนภายในเวลานับชั่วโมงหรือนับวัน หลักการของโคแอกกูเลชัน ได้แก่การเติมสารบางอย่าง เช่นสารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์เป็นต้น ลงไปในน้ำเสียที่มีคอลลอยด์สารดังกล่าวจะช่วยทำให้อนุภาคต่าง ๆ ของคอลลอยด์จับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและน้ำหนักมากขึ้น ผลของการทำโคแอกกูเลชัน คือของแข็งแขวนลอยจะตกตะกอนภายในระยะเวลาอันสั้นทำให้ได้น้ำใส

น้ำเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานชุบโลหะต่าง ๆ อาจมีของแข็งแขวนลอยต่ำจนดูเหมือนใส น้ำเสียอาจมีสีเหลืองหรือสีอื่น ๆ แม้จะใสแต่ก็ยังสกปรกเนื่องจากมีโลหะหนักต่าง ๆ เช่น โครเมียม สังกะสี ตะกั่ว หรืออาจมีสารพิษต่าง ๆ เช่น ไซยาไนด์ ปรอท เป็นต้น สารต่าง ๆ ดังกล่าวละลายอยู่ในน้ำจึงไม่เห็นเป็นความขุ่น (แต่อาจเห็นเป็นสีต่าง ๆ ได้) การเติมสารเคมีบางอย่าง เช่นปูนขาวหรือโซดาไฟในปริมาณพอเพียงสามารถทำให้สารพิษต่าง ๆ สร้างตะกอนแข็งกลายเป็นของแข็งซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และการตกตะกอนเพียงอย่างเดียวนี่คือหลักการของกระบวนการสร้างตะกอนแข็ง

ปฏิกิริยาสร้างตะกอนแข็ง หมายถึงปฏิกิริยาที่ทำให้ไอออนประจุบวกและลบ รวมกันเป็นตะกอนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ยกตัวอย่างไอออนตะกั่วในน้ำเสียรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เกิดปฏิกิริยาสร้างตะกอนแข็งกลายเป็นตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$)ซึ่งไม่ละลายน้ำ

โลหะหนักจะเป็นปัญหาเฉพาะกับน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำเนื่องจากโลหะหนักสามารถละลายน้ำได้ดีที่พีเอชต่ำ การเพิ่มพีเอชจะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนักลดลงโลหะหนักแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน ส่วนใหญ่แล้วโลหะหนักจัดเป็นสารที่ละลายได้ในภาวะที่เป็นทั้งกรดและเบส (Amphoteric) กล่าวคือโลหะหนักละลายน้ำได้น้อยที่สุดที่พีเอชช่วงหนึ่ง เช่น สังกะสี (Zn) ละลายน้ำได้น้อยที่สุดที่พีเอชประมาณ 8 -11 แต่สังกะสีจะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าสูงถึง 11 หรือต่ำกว่า 8 ปฏิกิริยาที่ทำให้โลหะหนักกลายเป็นตะกอนแข็งนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาสร้างตะกอนแข็ง (Precipitation)

การเพิ่มพีเอชให้น้ำเสียเพื่อกำจัดโลหะหนักด้วยปฏิกิริยาสร้างตะกอนแข็งสามารถกระทำได้โดยการเติมสารเคมีประเภทเบส (Base) หรือด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาวให้กับน้ำเสีย ปริมาณปูนขาวหรือโซดาไฟที่ต้องการใช้อาจคำนวณคร่าว ๆ ได้จากสมการเคมีของปฏิกิริยาสร้างตะกอนแข็ง แต่ทางที่ดีควรทำการทดสอบกำจัดโลหะหนักในห้องปฏิบัติการเพื่อหาระดับพีเอชที่เหมาะสมและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับกำจัดโลหะหนัก งานทดสอบที่มักต้องทำ ได้แก่การหา Titration Curve ที่เกิดจากการเติมปูนขาวหรือโซดาไฟปริมาณต่าง ๆ และการทำ Jar Test เพื่อหาระดับพีเอชและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด

ในการใช้ปูนขาวหรือโซดาไฟในการเพิ่มพีเอชของน้ำเสียนั้น เมื่อพิจารณาในด้านผลกระทบที่เกิดขึ้น ปูนขาวจะทำให้เกิดสลัดจ์มากกว่าการใช้โซดาไฟมาก นั่นคือต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดสลัดจ์ของปูนขาวมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงเฉพาะงานการกำจัดโลหะหนัก การใช้ปูนขาวจะทำให้ได้ตะกอนแข็งหรือฟล้อคขนาดใหญ่กว่าการใช้โซดาไฟ มักมีผลทำให้การกำจัดโลหะหนักด้วยปูนขาวได้ผลดีกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปูนขาวทำให้เกิดฟล้อคของหินปูน ($CaCO_3$) หรือสารประกอบแคลเซียมอื่น ๆ ที่ช่วยให้เกิดการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation) ในการกำจัดโลหะหนัก

2.1.1.2 การปรับพีเอช

ระดับพีเอชมีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการบำบัดน้ำเสียรวมทั้งกระบวนการทำความสะอาดน้ำดีด้วย ดังตารางที่ 1 การเติมกรดหรือด่างเพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ปูนขาวหรือโซดาไฟใช้ในการเพิ่มระดับพีเอชให้สูงขึ้น ส่วนกรดกำมะถันหรือกรดอื่น ๆ รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ในการลดระดับพีเอชให้ต่ำลง

2.1.1.3 การแลกเปลี่ยนไอออน

ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้วิธีสร้างตะกอนแข็งกำจัดโลหะหนักต่าง ๆ อาจใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนแทนได้ วิธีนี้ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) บรรจุอยู่ในถังและปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่าน โลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของไอออนที่มีประจุบวก เช่น โครเมียม (Cr^{3+}), สังกะสี (Zn^{2+}) เป็นต้น จะถูกแลกเปลี่ยนกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของเรซิน น้ำที่ผ่านเรซินจึงปราศจากโลหะหนัก

ตารางที่ 2.1 ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการหรือระบบต่าง ๆ

กระบวนการหรือระบบ	ระดับพีเอชที่เหมาะสม	หลักการ
1. โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	6-7	
2. โคแอกกูเลชันด้วยสารประกอบเหล็ก	5-7	
3. ดีแอเรชันกำจัดแอมโมเนีย	สูงกว่า 11	$NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+$
4. ดีแอเรชันกำจัด HCN	ต่ำกว่า 5 หรือ 6	$H^+ + CN^- \rightarrow HCN$
5. ดีแอเรชันกำจัด H_2S	ต่ำกว่า 3 หรือ 4	$2H^+ + S^- \rightarrow H_2S$
6. แอเรชันกำจัดเหล็ก	7.5	
7. แอเรชันกำจัดแมงกานีส	ประมาณ 9.5	
8. การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	พีเอชต่ำ	
9. รีคาร์บอเนชัน	8.6	
10. การกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวหรือโซดาแอช	สูงกว่า 10 หรือ 11	
11. การปรุงแต่งน้ำเพื่อป้องกันการกัดกร่อน	เท่ากับหรือสูงกว่า pHs เล็กน้อย	ดูค่าดัชนีแลงเกียร์ (Langlier Index)
12. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ	6-8	

2.1.1.4 ออกซิเดชัน – รีดักชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน หมายถึงปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้และรับอิเลคตรอนในขณะที่ปฏิกิริยากรด - ด่าง หมายถึงปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้หรือรับโปรตอน (H^+) อันที่จริงแล้วการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพทุกแบบรวมทั้งแบบเคมีบางชนิดเกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน (บางครั้งเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ - Redox) ซึ่งเป็นคำย่อของปฏิกิริยาสารอินทรีย์มักเป็นตัวให้อิเลคตรอน (ทำให้เกิดพลังงานได้) และจะมีสารรับอิเลคตรอนต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน (O_2), ไนเตรต

(NO^-_3), ซัลเฟต (SO^{2-}_4) หรือสารอินทรีย์บางอย่างเป็นต้น ปฏิกิริยารีดอกซ์จะเกิดได้สมบูรณ์จะต้องมีการรับอิเลคตรอนเสมอ

สารเคมีที่มักใช้มีดังนี้

ตัวออกซิไดส์ (Oxidant) :ออกซิเจน, คลอรีนในรูปต่าง ๆ, ด่างทับทิม, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ตัวรีดิวซ์ (Reductant) : เกลือซัลไฟต์, เหล็กซัลเฟต

ในกรณีที่ต้องการกำจัดมลพิษที่ละลายอยู่ในน้ำแต่ไม่สามารถใช้วิธีสร้างตะกอนแข็งได้ก็อาจใช้กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันเปลี่ยนมลพิษให้เป็นสารที่ไม่มีพิษ กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน ได้แก่การเติมสารเคมีซึ่งอาจเป็นออกซิไดส์ (Oxidant) หรือตัวรีดิวซ์ (Reductant) อย่างใดอย่างหนึ่งไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับสารมลพิษทำให้ได้ผลปฏิกิริยาเป็นสารที่ไม่สร้างปัญหา

2.1.2 <u>อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี</u>

แม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีจะแบ่งแยกออกได้เป็นหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่มักจะมีอุปกรณ์หลัก ซึ่งได้แก่ถังเคมีที่ใช้ผสมสารเคมีกับน้ำเสียเหมือนกัน ทั้งนี้เพราะต้องมีการเติมสารเคมีชนิดต่าง ๆ ให้กับน้ำเสียในกรณีที่มีตะกอนเกิดขึ้น ดังเช่นกระบวนการโคแอกกูเลชันและการสร้างตะกอนแข็งก็มักต้องใช้ถังกวนช้าและถังตกตะกอนด้วยเสมอ บางครั้งก็ต้องกรองน้ำที่ตกตะกอนแล้วด้วยถังกรองทรายเพื่อกำจัดความขุ่นที่เล็ดลอดผ่านถังตกตะกอน

2.1.2.1 ถังผสมหรือถังกวนเร็ว

สิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี คือ ถังผสมหรือถังกวนเร็ว ถังนี้อาจทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมหรือพลาสติกหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ทนสารเคมี ใบพัดกวนน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการกระจายสารเคมีไปยังทุก ๆ ส่วนของถัง ขนาดของถังกวนขึ้นอยู่กับประเภทของกระบวนการที่ใช้ กระบวนการสร้างตะกอนแข็งมักต้องการถังขนาดใหญ่ซึ่งมีเวลากักน้ำไม่น้อยกว่า 15 นาที ส่วนถังกวนที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันหรือปรับพีเอชมักต้องการถังเล็กซึ่งมีเวลากักน้ำประมาณ 1 – 3 นาที ใบพัดกวนน้ำต้องสามารถสร้างความปั่นป่วนหรือความเร็วเกรเดียน (Velocity Gradient, G) ให้กับน้ำในถังได้ประมาณ 300 ถึง 1000 วินาที $^{-1}$ ใบพัดมักเป็นแบบใบพัดเรือหางยาว (Propeller) หรืออาจใช้แบบเทอร์ไบน์ก็ได้

2.1.2.2 ถังกวนช้า

ในกรณีที่ต้องการสร้างตะกอนเม็ดใหญ่จำเป็นต้องใช้ถังกวนช้า ถังกวนช้ามักมีเวลากักน้ำประมาณ 30 – 60 นาที ดังนั้นจึงต้องมีขนาดใหญ่กว่าถังกวนเร็วเสมอ ถังใบนี้มีความปั่นป่วน (G) ต่ำประมาณ 20 – 80 วินาที$^{-1}$ ใบพัดกวนช้ามักเป็นแบบแพดเดิล (Paddle) หรือเทอร์ไบน์ (Turbine)

2.1.2.3 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนควรมีระยะเวลากักน้ำประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง ความลึกโดยเฉลี่ยไม่ควรน้อยกว่า 3 เมตร นอกจากนี้พื้นที่ผิวน้ำควรมีขนาดพอเพียงจนทำให้อัตราน้ำล้นผิวไม่สูงกว่า 1.5 - 3 เมตรต่อชั่วโมง ถังตกตะกอนอาจเป็นแบบกลมหรือแบบผืนผ้าก็ได้