

บทที่ 7

การกำจัดน้ำทิ้ง

การกำจัดน้ำทิ้งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต้องกระทำเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายหรือมีอยู่ในน้ำออกไป ได้แก่ สารอินทรีย์ โลหะที่เป็นพิษหรือพวกเชื้อโรค ฯลฯ กระบวนการกำจัดน้ำทิ้งที่จะเลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ต้องการและแหล่งที่มีการใช้น้ำนั้น เช่น กรณีน้ำเสียของชุมชนจะต้องมีการบำบัดเชื้อโรคก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อไม่ให้น้ำเกิดการเน่าเสียหรือเกิดความเดือดร้อนต่อคนทั่วไป โดยทั่วไปแล้วกระบวนการหรือวิธีการกำจัดน้ำทิ้งทั่วไปจะแบ่งได้อย่างกว้างๆ 3 แบบคือ การกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชน การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การกำจัดน้ำทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งต่างๆ ซึ่งต้องอาศัยวิธีการทางเคมี ชีววิทยา และกายภาพ-เคมี

7.1 กระบวนการในการกำจัดน้ำทิ้ง

กระบวนการกำจัดน้ำทิ้งโดยทั่วไปแล้วจะต้องประกอบด้วยกระบวนการย่อยๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ

1. กระบวนการทางกายภาพ (Physical process) ประกอบด้วย

- การคัดด้วยตะแกรงสูง (screening)
- การกวาด (skimming)
- การทำให้ลอยตัว (floating)
- การทำให้ตกตะกอน (sedimentation or precipitation)
- การแยกสารแขวนลอยโดยใช้แรงเหวี่ยง (centrifugation)
- การกรอง (filtration)

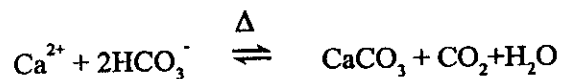
คำถามท้ายบท

1. กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนใช้ในการกำจัดความกระด้างของน้ำได้อย่างไร
2. Coagulation และ Flocculation หมายถึงอะไร เกี่ยวข้องกับระบบการบำบัดน้ำเสียอย่างไร
3. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ในสภาวะน้ำเป็นอย่างไร อธิบายโดยใช้สมการเคมีประกอบ
4. รูปแบบของสารประกอบคลอรีนที่ฆ่าเชื้อโรคเป็นอย่างไรให้ยกสมการและอธิบายประกอบด้วย
5. สาร THMs หมายถึงอะไร เกิดในน้ำได้อย่างไร และเกิดได้อย่างไร
6. ปฏิกิริยา Redox ใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทใดได้บ้าง
7. Facultative bacteria เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียอย่างไร
8. Activated sludge หมายถึงอะไร
9. Anaerobic lagoon เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใด
10. ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหรือชุมชนมีอะไรบ้าง

2. กระบวนการทางเคมี (chemical process) ประกอบด้วย
 - การทำให้เป็นกลางด้วยกรดหรือเบส (neutralization)
 - การทำให้ตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (precipitation)
 - รีดอกซ์ (redox)
 - การทำให้อนุภาคแขวนลอยรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่โดยวิธีเคมี (Chemical coagulation)
3. กระบวนการทางชีววิทยา (Biological process)
 - กระบวนการใช้ออกซิเจนหรืออากาศ (aerobic process) มีหลายวิธีได้แก่ oxidation pond , aerted lagoon , activated sludge trickling filters และ biological disc fibers เป็นต้น
 - กระบวนการไร้ออกซิเจนหรืออากาศ (anaerobic process) ได้แก่แบบบ่อพักไร้อากาศ (anaerobic lagoon) การย่อยแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) และการสัมผัสแบบไร้อากาศ (anaerobic contact)
4. กระบวนการทางฟิสิกัลเคมี (Physical –chemical process) ประกอบด้วย
 - การดูดซับโดยใช้ผงถ่าน (carbon adsorption)
 - การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)
 - ออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis)

7.2 การกำจัดความกระด้างของน้ำ

เกลือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่พบในน้ำธรรมชาติมักอยู่ในรูปของ HCO_3^- หรือ SO_4^{2-} ซึ่งเป็นสาเหตุของความกระด้างที่ก่อให้เกิดสารที่ไม่ละลายกับสบู่ได้แก่ เกลือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดลดลง ถ้านำน้ำกระด้างมาต้มหรือทำให้ร้อน Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะทำปฏิกิริยาเกิดตะกอน CaCO_3 ซึ่งไม่ละลายในน้ำและเกาะติดกับภาชนะที่ใช้ต้ม หรือจะไปเคลือบอยู่ด้านในของท่อน้ำร้อน ดังสมการ



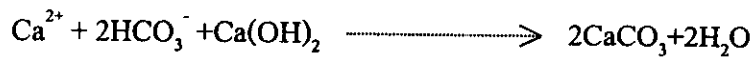
ตารางที่ 7.2 Approximate Value of Wastewater Parameters from the Rosemoust Minnesota
Physical-Chemical Treatment Plant

<i>Parameter</i>	<i>Concentration of value</i>	
	<i>influent</i>	<i>effluent</i>
Suspended solids	300 mg/L	10 mg/L
pH	6.5-8.5	8.5
Biological oxygen demand	300 mg/L	10 mg/L
Chemical oxygen demand	200-400 mg/L	10 mg/L
N (ammonia)	15-35 mg/L	1 mg/L
P (total)	5-15 mg/L	1 mg/L

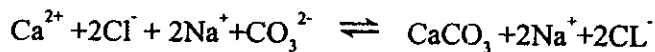
ตะกอนที่เกิดจะมีผลทำให้เกิดการอุดตันหรือไปลดประสิทธิภาพในการให้ความร้อนนอกจากนี้เกลือที่ละลายอยู่เช่น $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 และ MgSO_4 ซึ่งอาจทำลายหม้อต้มน้ำได้ด้วย ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำนั้นไปใช้อุปโภค บริโภค หรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องกำจัดความกระด้างเสียก่อน ซึ่งทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การตกตะกอน

โดยใช้สารเคมีซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} เกิดเป็นเกลือหรือสารที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอนออกมา ในกรณีที่มีน้ำมีปริมาณมากๆ อาจใช้กระบวนการที่เรียกว่า lime-soda process ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเติม slaked lime [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] และ soda ash (Na_2CO_3) ในกรณีที่น้ำนั้นมี Ca^{2+} อยู่ในรูปของ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ เป็นส่วนใหญ่ อาจกำจัด Ca^{2+} ออกได้โดยใช้ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพียงอย่างเดียว



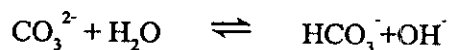
แต่ถ้ามี HCO_3^- ไม่มากนักจะนิยมเติม CO_3^{2-} ในรูปของ Na_2CO_3 ปริมาณมากลงไปด้วย เพื่อเติมค่า pH ของน้ำให้สูงพอที่จะป้องกัน CO_3^{2-} เปลี่ยนกลับเป็น HCO_3^- เช่น CaCl_2 อาจกำจัดออกจากน้ำโดยการเติม Na_2CO_3

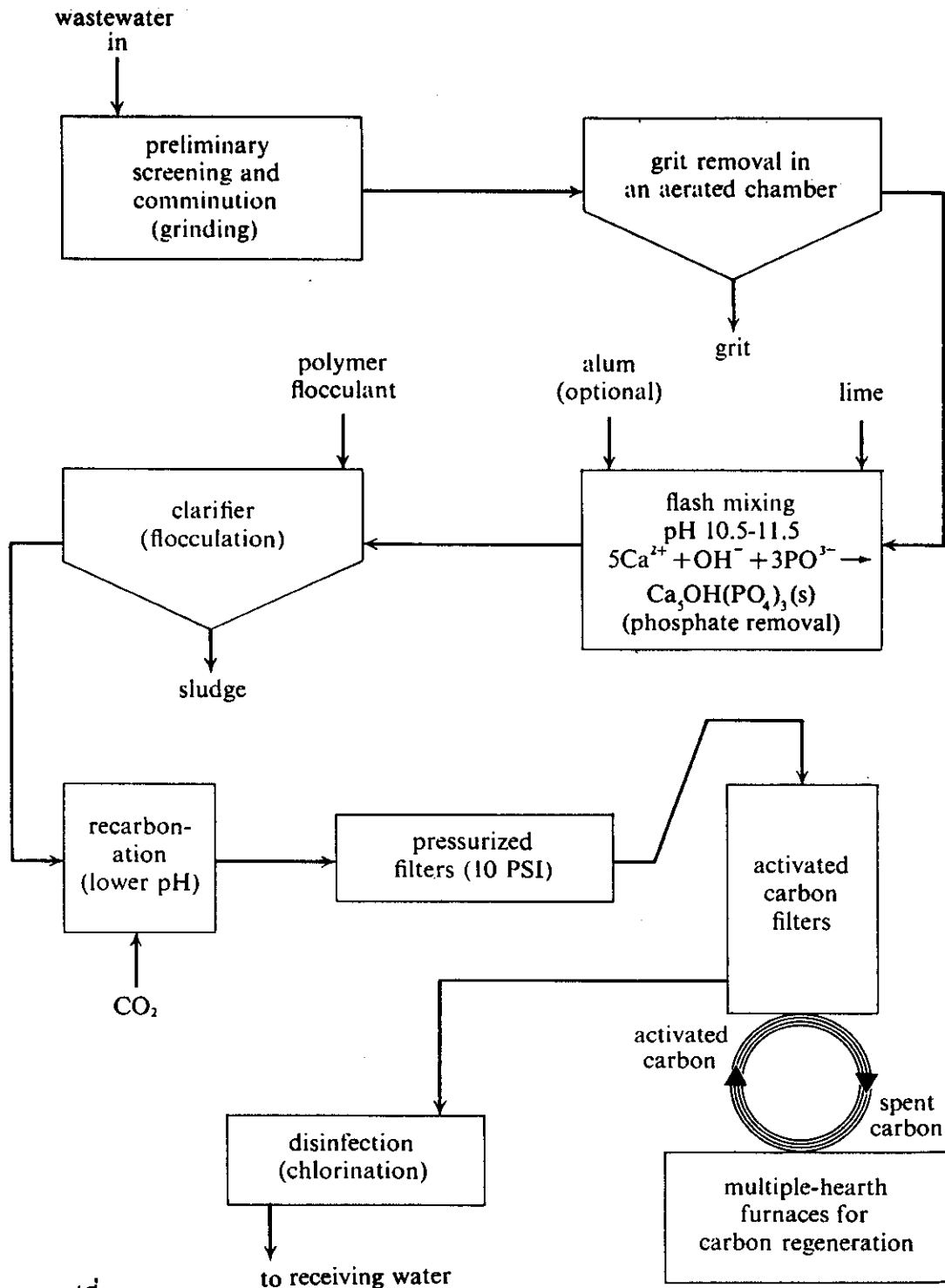


ในขณะเดียวกัน Mg^{2+} จะตกตะกอนเป็น $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ดังนี้



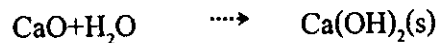
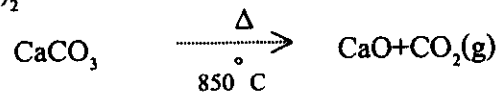
ปฏิกิริยาที่กล่าวนี้ต้องการ OH^- มากกว่า (pH สูงกว่า) การตกตะกอนของ Ca^{2+} ในรูปของ CaCO_3 ค่า pH สูงน้ำได้มาจากการเติม Na_2CO_3 นั้นเอง





รูปที่ 7.18 Major components of a complete physical-chemical treatment facility for wastewater

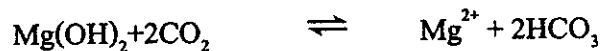
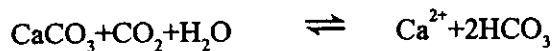
โรงงานที่ลดความกระด้างของน้ำโดย lime-soda process มักนำตะกอน CaCO_3 กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำ CaCO_3 ไปเผาที่อุณหภูมิสูงได้ CaO (quick-lime) แล้วนำ CaO ไปเติมน้ำจะได้ Ca(OH)_2



การกำจัดความกระด้างโดยกระบวนการ lime-soda process เป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลพอสมควร แต่มีข้อเสีย 2 ประการคือ

ก. ปัญหาการอิ่มตัวเกินขนาด (supersaturated) ในกรณีนี้จะมี CaCO_3 หรือ Mg(OH)_2 หลงเหลืออยู่ ซึ่งถ้าไม่กำจัดออกสารเหล่านี้จะตกตะกอนในเวลาต่อมาทำให้น้ำขุ่น

ข. น้ำมีสภาพเป็นเบสมาก (pH 11) เกิดจากการใช้ Na_2CO_3 มากไป เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนิยมเพิ่มอีกขั้นตอนหนึ่งเรียกว่า recarbonation โดยผ่าน CO_2 (ที่ได้จากการเผา CaCO_3) ลงไปในน้ำ โดย CO_2 จะไปทำปฏิกิริยากับ CaCO_3 และ Mg(OH)_2 ที่เหลือเกิดเป็น HCO_3^- ซึ่งละลายน้ำได้ดี



นอกจากนี้แล้ว CO_2 ยังไปสะเทิน OH^- ทำให้ pH ของน้ำนั้นลดต่ำลงถึงช่วง 7.5-8.5



การกำจัด Ca^{2+} ออกจากน้ำอาจใช้สารเคมีอื่นได้อีก เช่น orthophosphate ดังนี้



Physical-Chemical Treatment of Wastewater

ระบบนี้จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าระบบที่มีการบำบัดโดยวิธีทางชีววิทยาและใช้เนื้อเยื่อที่น้อยกว่า จึงมีการนำระบบนี้มาใช้กันในการบำบัดน้ำทิ้ง แต่พบว่าวิธีนี้จะต้องระมัดระวังในการควบคุมระบบมากกว่า

หลักการบำบัดโดยวิธีนี้ประกอบด้วยวิธีพื้นฐานดังนี้

1. การกำจัดฟลอคของแข็งไม่ละลาย
2. การตกตะกอนด้วย coagulant และสารเคมีอื่นๆ
3. การกรองเพื่อแยกของแข็งที่ได้
4. การดูดซับด้วย activated carbon
5. การฆ่าเชื้อโรค

ระบบนี้ใช้ครั้งแรกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ประเทศสหรัฐอเมริกาใน Minnesota plant ดังแสดงในรูป 7.18

2. กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

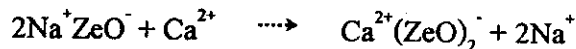
เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนแบบผันกลับ (reversible) ระหว่างไอออนในน้ำกับไอออนในสารที่เป็นของแข็งซึ่งสามารถเกิดพันธะเคมีกับไอออนได้ สารของแข็งที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มี 2 แบบ คือ

ก. Cationic exchanger สารของแข็งนี้เรียกว่า resin ซึ่งทั่วไปเป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่มีการเชื่อมโยง (cross linked) ระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์และมีหมู่ $-COOH$ หรือ $-SO_3H$ ในโมเลกุล ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยน H^+ กับไอออนบวก เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} หรือ Fe^{2+} ที่อยู่ในน้ำ

ข. Anionic exchanger สารของแข็งเป็น resin เช่นเดียวกันและมีหมู่ $-N^+H_3OH$ หรือ N^+R_3OH ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยน OH^- กับ ไอออนลบ เช่น Cl^- , CO_3^{2-} ที่มีอยู่ในน้ำ



ในทางปฏิบัติ การแก้ไขน้ำกระด้างโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดตัวถูกละลายที่เป็นไอออนทั้งหมดและทุกชนิด แต่จะกำจัดเฉพาะไอออนบวกที่ก่อให้เกิดความกระด้าง เช่น Ca^{2+} ดังนั้นจึงใช้เฉพาะ cation exchange ก็เพียงพอ และนิยมใช้ตัวแลกเปลี่ยนไอออนในรูปของ Na^+ เช่น zeolite (NaH_4AlSiO_4 หรือ Na^+ZeO^-) นอกจากนั้นอาจใช้ crosslinked polymer ที่ประกอบด้วยประจุบวกหรือลบได้ดังกล่าวมาแล้ว

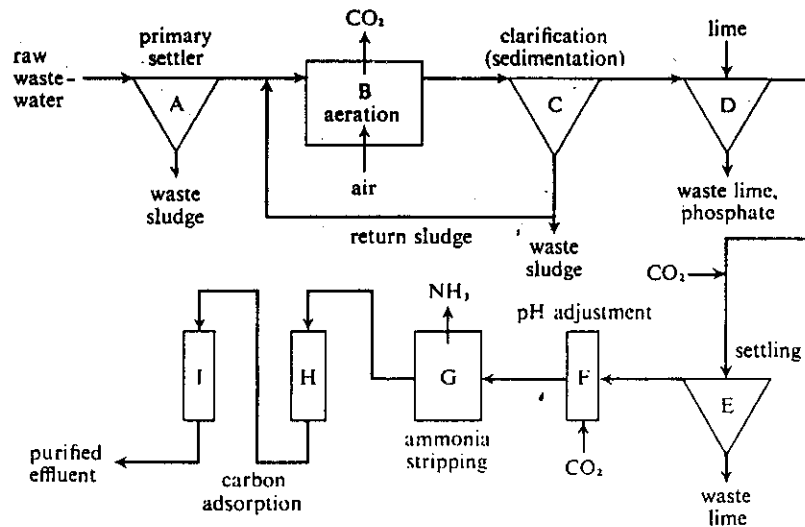


เมื่อใช้ซีโอไลต์ในการกำจัด Ca^{2+} ในน้ำกระด้างบ่อยครั้งเข้า ซีโอไลต์นั้นจะมีแต่ Ca^{2+} เกาะอยู่กับ ZeO^- ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน Ca^{2+} จะหมดไป แต่เราสามารถทำให้ซีโอไลต์ในรูปของ Ca^{2+} เปลี่ยนกลับไปเป็นซีโอไลต์ในรูป Na^+ ได้โดยใช้สารละลาย $NaCl$ เข้มข้นไหลผ่านซีโอไลต์นั้นซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า regeneration

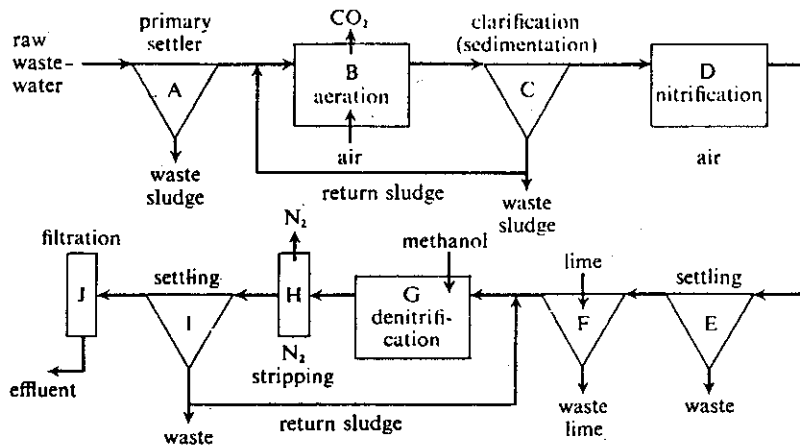


7.7 ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำทิ้งรวม

ตัวอย่างระบบบำบัดน้ำที่ใช้การบำบัดขั้นที่ 2 ที่เป็นชนิด conventional activated sludge ผสมกับการบำบัดขั้นที่ 3 ดังรูป 7.16 และ 7.17



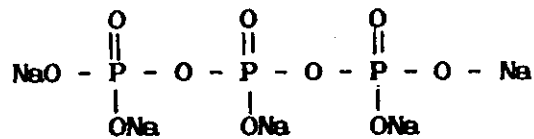
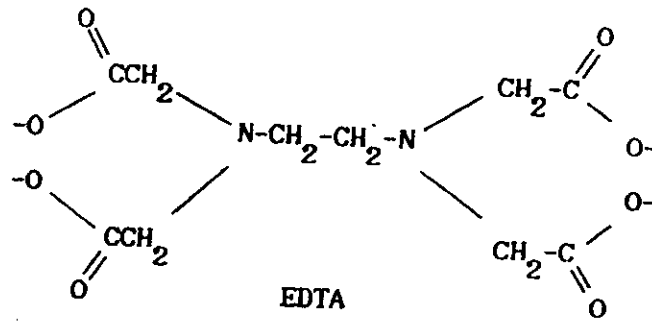
รูปที่ 7.16 A schematic diagram showing conventional tertiary treatment of sewage



รูปที่ 7.17 A schematic diagram showing a conventional nitrification-denitrification system and wastewater treatment

3. การทำให้เกิดสารคีเลต

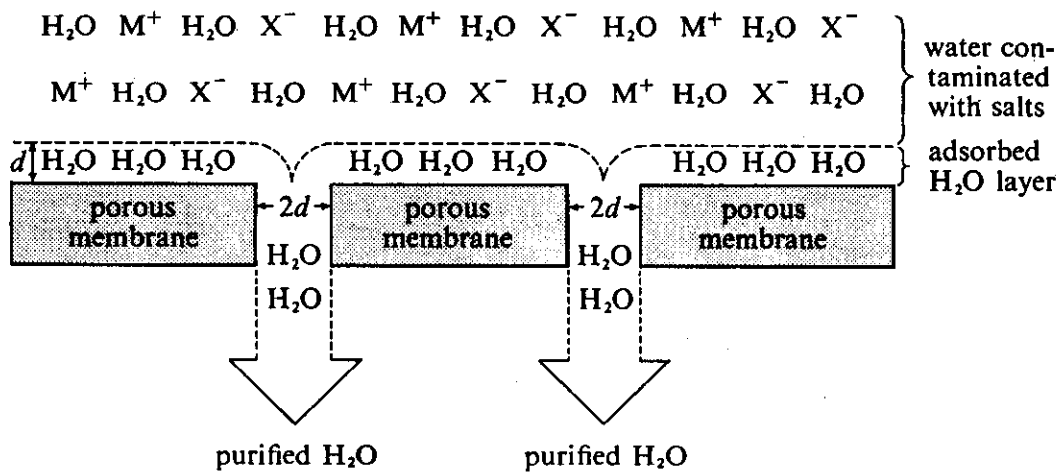
กระบวนการ chelation หรือ sequestration โดยการเติมสารเชิงซ้อน ซึ่งทำหน้าที่จับไอออนบวกไว้เกิดเป็นเชิงซ้อนไอออนบวก (cationic complex) สารเชิงซ้อนที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ poly-phosphate , EDTA และเกลือโซเดียมของ nitrilotriacetic acid (NTA)



Sodium tripolyphosphate

ปนมากับน้ำที่ซึ่งจะถูกเกาะที่เนื้อเยื่อทำให้ประสิทธิภาพลดลง และใช้ได้เฉพาะน้ำเกลือที่ไม่มีสีเท่านั้น

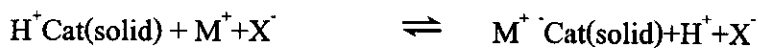
Reverse Osmosis เป็นวิธีแยกสาร 2 ชนิดที่มีความเข้มข้นต่างกันโดยผ่าน semipermeable membrane โดยใช้ความดันสูงอัดสารละลายที่เข้มข้นกว่าทำให้โมเลกุลของน้ำไหลออกจากสารละลายที่เข้มข้นกว่าไปยังสารละลายที่เจือจางกว่า จึงจัดว่าเป็นวิธีการดึงน้ำบริสุทธิ์ออกจากน้ำที่มากกว่าเนื่องจากแรงธาตุที่มีในน้ำไม่ผ่านออกไปยังเนื้อเยื่อดังรูป 7.15

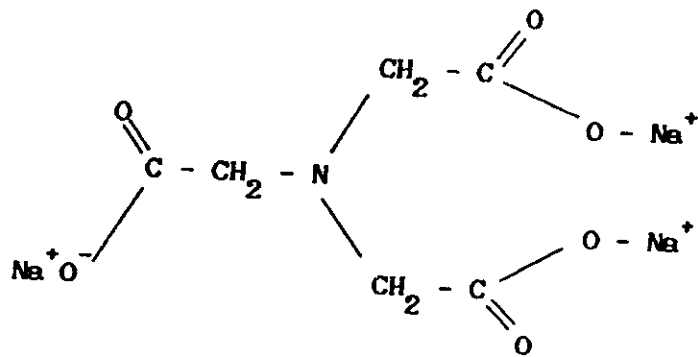


รูปที่ 7.15 แสดงการกำจัดตัวถูกละลายโดยระบบรีเวิร์สออสโมซิส

โดยทั่วไปแล้วพบว่าถ้าชั้นที่ดูดซับน้ำนั้นหนา = d จะต้องให้ขนาดช่องของเนื้อเยื่อมีค่า $2d$ การเกิด reverse osmosis จึงจะเกิดได้ดี

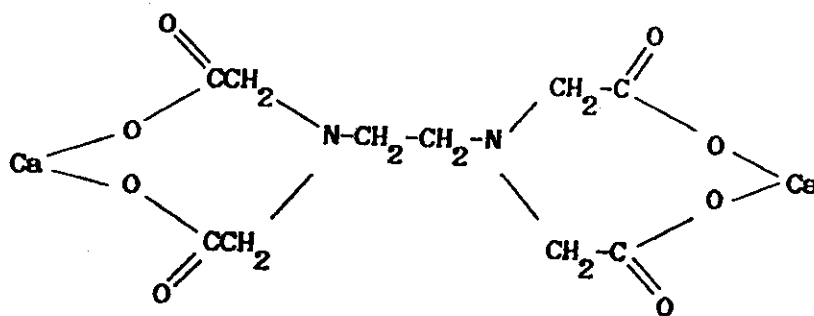
Ion Exchange เป็นกระบวนการในการกำจัดความกระด้างของน้ำได้ด้วย สำหรับการกำจัดสารอนินทรีย์นั้นจะให้น้ำผ่าน cation exchange และ anion exchange ซึ่งพบว่าสารอนินทรีย์จะเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนปฏิกิริยาที่เกิด



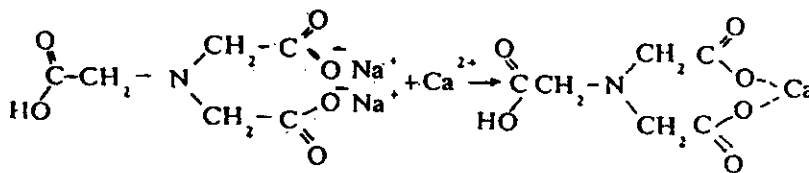


เกลือโซเดียมของ NTA

สาร EDTA สามารถจับไอออนบวก เช่น Ca^{2+} โดยไปจับกับ Ca^{2+} ไว้ดังนี้



สารที่เกิดขึ้นเรียกว่า chelate และปรากฏการณ์จับกับไอออนของโลหะของ EDTA นี้เรียกว่า chelate ion ในทางปฏิบัตินิยมใช้ polyphosphate ในการกำจัดเหล็ก และ monoprtonated NTA ในการกำจัด Ca^{2+} ดังนี้



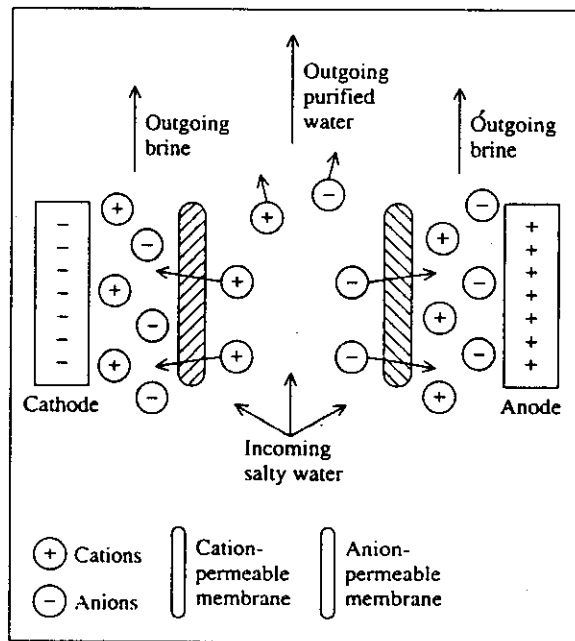
Monoprotonated NTA

chelate

การกำจัดแร่อนินทรีย์ที่ละลาย

สารประกอบอนินทรีย์อื่นๆ ที่พบในน้ำทิ้งหลังจากผ่านกระบวนการขั้นที่สองนอกเหนือจาก N และ P ได้แก่ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , และ SO_4^{2-} สารเหล่านี้แม้จะไม่มีโทษแต่ก็มีผลในการเพิ่มปริมาณแร่ หรือ salinity ของน้ำ และ หรือทำให้เกิดความกระด้างของน้ำ วิธีการกำจัดสารอนินทรีย์ในน้ำที่ใช้ในปัจจุบันคือ electrodialysis, ion exchange และ reverse osmosis

Electrodialysis ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้าตรงและเนื้อเยื่อที่ทำด้วยสารโพลิเมอร์ ดังรูป 7.14



รูปที่ 7.14 Electro-dialysis apparatus for the removal of ionic material from water

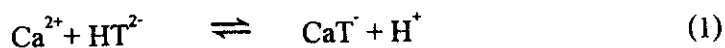
หลักการโดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโตรดที่เป็นแคโทดและแอโนดซึ่งแยกจากกันโดยเนื้อเยื่อ ไอออนในน้ำทิ้งจะถูกดูดไปยังขั้วที่ตรงข้ามกัน ข้ามผ่านเนื้อเยื่อออกไปให้น้ำที่สะอาดซึ่งอยู่ช่องตรงกลาง น้ำที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้ ปัญหาของวิธีนี้คือ ถ้ามีสารอินทรีย์

ตัวอย่าง ที่แสดงให้เห็นถึงผลของการ complex agent ที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนเนื่องจากไอออนที่อยู่ในน้ำกระด้าง เช่น ตัวอย่าง การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำที่มีแคลเซียมไอออน $40 \text{ mg/L} (1.00 \times 10^{-3} \text{ M})$ การหาความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออนที่จะใช้ตกตะกอนพอดีกับแคลเซียมได้จาก

$$[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = K_s = 7.2 \times 10^{-9}$$

$$\begin{aligned} [\text{CO}_3^{2-}] &= \frac{K_s}{[\text{Ca}^{2+}]} \\ &= \frac{7.2 \times 10^{-9}}{1.00 \times 10^{-3}} \\ &= 7.2 \times 10^{-6} \text{ M} \end{aligned}$$

กรณีที่มี NTA อยู่มากเกินไปพอที่จะรวมกับแคลเซียมที่พิเศษเท่ากับ 7.00 ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนที่จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจะสามารถคำนวณได้โดยให้ HT^{2-} แทน monoprotonated NTA species และ T^{3-} แทนสารป้องกันเชิงซ้อนของ monoprotonated NTA anion



$$K = \frac{[\text{CaT}^-][\text{H}^+]}{[\text{Ca}^{2+}][\text{HT}^{2-}]}$$

สมการที่ (1) ได้จากการรวมสองสมการดังต่อไปนี้คือ



ตัวอย่างวิธีอื่นดังในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 Common Processes for the Removal of Nitrogen from Wastewater

Process	Principles and conditions
Air stripping ammonia	Ammonium ion is the initial product of biodegradation of nitrogenous waste. It is removed by raising the pH to approximately 11 with lime and stripping ammonia gas from the water by air in a stripping tower. Scaling, icing, and air pollution are major disadvantages.
Ammonium ion exchange	This is an attractive alternative to air stripping, made possible by the development of clinoptilolite, a natural zeolite selective for ammonia: $\text{Na}^+(\text{clinoptilolite}) + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Na}^+ + \text{NH}_4^+(\text{clinoptilolite})$ Regenerated with sodium or calcium salts.
Biosynthesis	The production of biomass in the sewage treatment system and its subsequent removal from the sewage effluent result in a net loss of nitrogen from the system.
Nitrification-denitrification	Several schemes are based on the conversion of ammonium nitrogen to nitrate under aerobic conditions, $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 4\text{H}^+ + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $2\text{NO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2\text{NO}_3$ followed by production of elemental nitrogen (denitrification): $4\text{NO}_3 + 5\{\text{CH}_2\text{O}\} + 4\text{H}^+ \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{denitrifying}} 2\text{N}_2(\text{g}) + 5\text{CO}_2(\text{g}) + 7\text{H}_2\text{O}$ Denitrification may be accomplished in an anaerobic activated sludge system or in an anaerobic column. Sometimes additional organic matter (methanol) is added.
Chlorination	Reaction of ammonium ion and hypochlorite (from chlorine) results in denitrification by chemical reactions: $\text{NH}_4^+ + \text{HOCl} \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ $2\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}^+ + 3\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$

สมมติให้แคลเซียมไอออนทั้งหมดอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน

$$[\text{CaT}^-] = 1.00 \times 10^{-3} \text{ M}$$

เนื่องจาก NTA ที่เติมมีปริมาณมากเกินไปสำหรับแคลเซียม

$$[\text{HT}^{2-}] = [\text{CaT}^-] = 1.00 \times 10^{-3} \text{ M}$$

และที่พีเอชเท่ากับ 7.00 จะคำนวณหาค่าความเข้มข้นแคลเซียมไอออนได้

$$\begin{aligned} [\text{Ca}^{2+}] &= \frac{[\text{CaT}^-][\text{H}^+]}{K[\text{HT}^{2-}]} \\ &= \frac{1.00 \times 10^{-3} \times 1.00 \times 10^{-7}}{7.75 \times 10^{-3} \times 1.00 \times 10^{-3}} \\ &= 1.29 \times 10^{-5} \text{ M} \end{aligned}$$

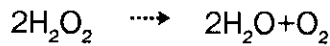
นั่นคือ จะสามารถหาคาร์บอเนตไอออนที่ต้องการใช้ในการตกตะกอนของ CaCO_3 ได้โดย

$$\begin{aligned} [\text{CO}_3^{2-}] &= \frac{K_s}{[\text{Ca}^{2+}]} \\ &= \frac{7.2 \times 10^{-9}}{1.29 \times 10^{-5}} \\ &= 5.58 \times 10^{-4} \text{ M} \end{aligned}$$

ซึ่งต้องการมากเป็น 100 เท่าของกรณีที่ไม่มี complexing agent ขณะที่มีการ complexing agent มากเกินไปที่จะเกิด chelate กับโลหะไอออน ความเข้มข้นของคาร์บอเนตที่จะตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีค่ามากขึ้น ฉะนั้นการเกิด chelation จึงเป็นวิธีในการบำบัดความกระด้างของน้ำ โดยไม่ต้องกำจัดแคลเซียมหรือแมกนีเซียมจากสารละลาย

การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลาย

สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำที่หลังจากผ่านกระบวนการขั้นที่สองแล้ว แม้ว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็ทำให้น้ำมีกลิ่น หรือสีได้ หรืออาจเป็นพิษต่อการอุปโภคบริโภคได้ ปัจจุบันนิยมใช้ activated carbon ไปดูดซับ (absorb) เอากลิ่นหรือสีออกจากน้ำ นอกจากนี้ยังอาจกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำที่ทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย H_2O_2 หรือ O_3 เป็นตัวออกซิไดซ์



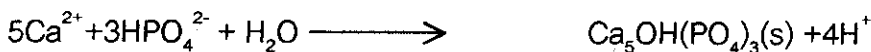
การกำจัดอาหารพืชอินทรีย์ที่ละลาย

อาหารพืชที่เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำประกอบด้วย N และ P ซึ่งจะเป็นตัวก่อให้เกิดภาวะ eutrophication หรือ algal bloom ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยาจึงต้องกำจัดน้ำทิ้งถ้ามีอยู่ในน้ำ

การกำจัด P โดยทั่วไปจะอยู่ในรูป PO_4^{3-} การกำจัดจะทำโดยใช้การตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น $Al_2(SO_4)_3$ (alum) จะเกิดเป็นตะกอน

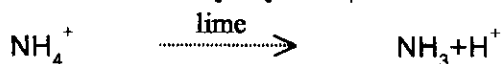


นอกจากนี้ยังอาจใช้สารเคมีอื่นๆ ได้อีก เช่น $Ca(OH)_2$, $Ca(OH)_2 + NaF$, $FeCl_3$ และ $MgSO_4$ เกิดเป็นตะกอน $Ca_2OH(PO_4)_3$ (hydroxyapatite), $Ca_5F(PO_4)_3$ (fluorapatite), $FePO_4$ และ $MgNH_4PO_4$ ตามลำดับ เช่น



จากนั้นค่อยกำจัดเอาตะกอนออก

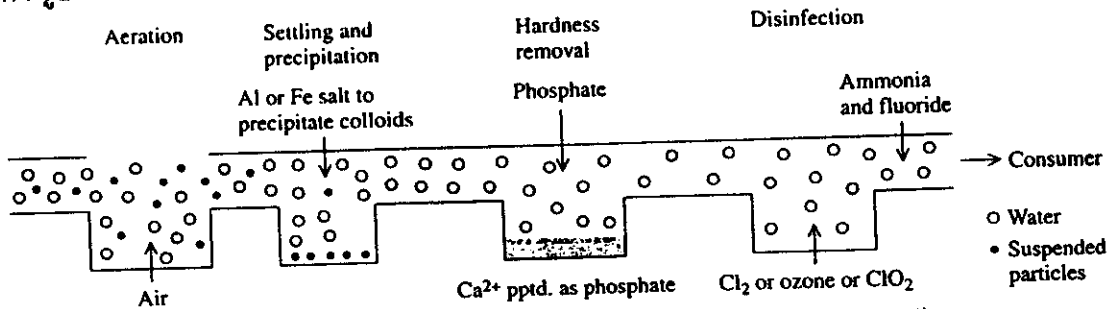
การกำจัด N การกำจัดไนโตรเจนนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของไนโตรเจนในน้ำ และ pH ในน้ำ เช่น ถ้าอยู่ในรูป NH_4^+ จะกำจัดได้โดยวิธี stripping



7.3 การทำน้ำประปา

การทำน้ำประปามีจุดประสงค์สำคัญคือ ทำให้น้ำดิบซึ่งมาจากน้ำบาดาล แม่น้ำ คลอง หรือทะเลสาบ มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยการกำจัดสารเคมี สี กลิ่น pH สารอินทรีย์ สารแขวนลอย หรือเชื้อโรคออกจากน้ำเพื่อให้อยู่ในระดับที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข วิธีบำบัดน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ของการทำเป็นน้ำดื่มทั่วไปมี

คัง รูป 7.1



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนทั่วไปในการบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการทำน้ำดื่ม

ชนิดของระบบผลิตน้ำประปา

การออกแบบผลิตน้ำประปาชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำดิบ ปริมาณการใช้น้ำ เงินลงทุน ผู้ควบคุม ฯลฯ ซึ่งแบ่งออกได้ 3 แบบใหญ่ๆ คือ

1. ระบบถังกรองช้า (slow sand filter) เหมาะกับชุมชนเล็กๆ และน้ำดิบมีความขุ่นไม่เกิน 50 JTU.
2. ระบบถังน้ำกรองเร็ว (rapid sand filter) ใช้ได้ทั่วไป โดยเฉพาะในกลุ่มชุมชนใหญ่ๆ และน้ำดิบมีความขุ่นมากแต่ต้องใช้ควบคุมที่มีความรู้ความชำนาญสูง
3. ระบบกำจัดน้ำกระด้าง (water softening plants) ใช้เมื่อน้ำดิบมีความกระด้างสูงกว่ามาตรฐาน ยังแยกออกได้อีกเป็น zeolite softening plants , limesoda plants , combined lime and softing plants

ก. sediment removal น้ำทิ้งที่ผ่าน grit chamber แล้ว ยังมีของแข็งในรูปของสารแขวนลอยอยู่ด้วย ซึ่งจะตกตะกอนภายในแรงดึงดูดได้ ถ้าหากลดความเร็วของการไหลของน้ำทิ้งลงใน sedimentation tank ของแข็งที่ตกตะกอนนี้เรียกว่า raw sludge จากนั้นยังมีการฆ่าเชื้อโรคโดยผ่านแก๊ส Cl_2 ลงไปในน้ำ ก่อนปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการกำจัดขั้นต้นนี้ลด BOD ลงประมาณ 35% (total N 20% และ P 10 %) ของแข็งที่แขวนลอยได้ประมาณ 60 % แต่ขั้นนี้ไม่สามารถกำจัดสารที่ละลายในน้ำ (dissolved minerals) ได้

2. กระบวนการกำจัดขั้นที่สอง (secondary treatment process) ในขั้นที่สองมีการใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการลดค่า BOD ของน้ำทิ้งและกำจัดของแข็งที่แขวนลอยที่เหลืออยู่อาศัยหลักการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาชีวเคมีของแบคทีเรีย อาจใช้ activated sludge หรือ trickling filters หรือเทคนิคของ Rotating Biological Contractors ดังกล่าวไว้แล้ว

3. กระบวนการกำจัดขั้นที่สามหรือกระบวนการก้ำวหน้า (tertiary or advanced treatment) เป็นการกำจัดสารมลพิษที่ยังเหลือละลายอยู่และกำจัดซาก แบ่งออกเป็น 4 หมู่คือ

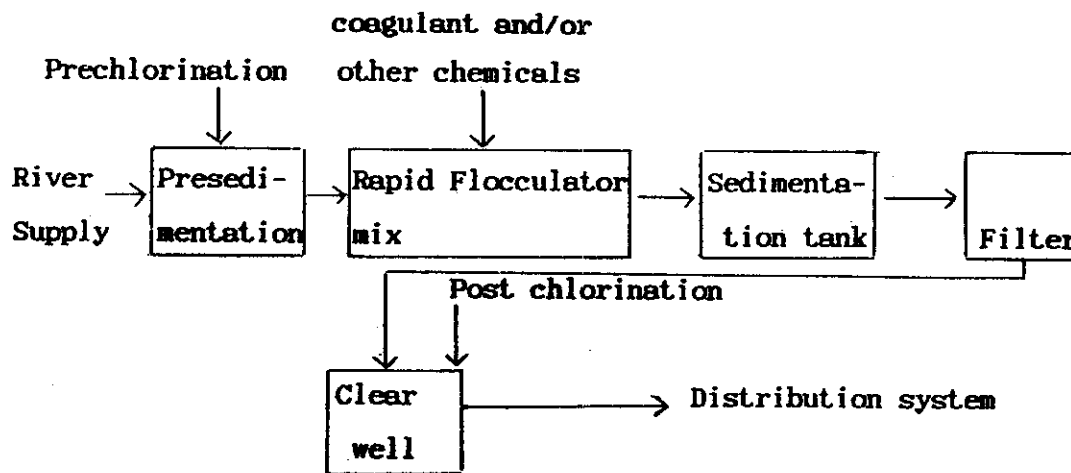
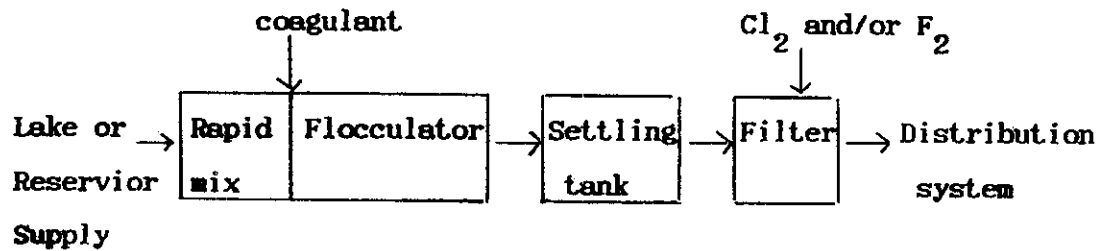
- ก. ของแข็งที่แขวนลอย (suspended solid)
- ข. สารอินทรีย์ที่ละลาย (dissolved organic compound)
- ค. อาหารพืชอนินทรีย์ที่ละลาย (dissolved inorganic plant nutrients)
- ง. แรอนินทรีย์ที่ละลาย (dissolved inorganic minerals)

น้ำทิ้งที่ออกมาจากกระบวนการกำจัดขั้นที่สองมีของแข็งที่แขวนลอยเหลืออยู่ สิ่งเหล่านี้ อาจเป็นอุปสรรคต่อบางวิธีที่ใช้ในกระบวนการกำจัดที่ใช้ในขั้นที่สามได้ เช่น electrodialysis และ reverse osmosis

การกำจัดของแข็งที่แขวนลอย

ในกระบวนการกำจัดขั้นที่สาม ของแข็งที่แขวนลอยอยู่กำจัดออกไปได้โดยใช้ Alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$) ทำให้ของแข็งที่แขวนลอยเกิด coagulation ก่อนแล้ว ตามด้วยการกรอง

โดยทั่วไป ระบบปรับปรุงคุณภาพที่มาจากน้ำผิวดินจะประกอบด้วย การเติมสารเคมี (coagulant) ทำให้ตะกอนรวมตัว การตกตะกอน (sedimentation) และการกรองดั่งในแผนผัง รูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 รูปแบบของระบบประปาสำหรับแหล่งน้ำผิวดิน

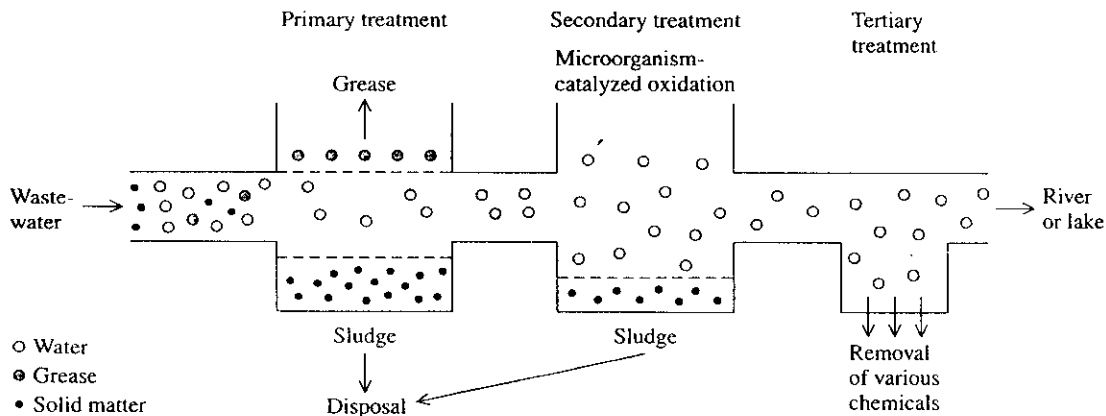
ขั้นตอนการทำน้ำประปาจากแหล่งน้ำทั่วไปประกอบด้วย

1. การปรับปรุงคุณภาพขั้นต้น (Pretreatment)

1. อ่างเก็บน้ำ (raw water storage) จะเกิดการฟอกตัวเองตามธรรมชาติ (self purification) ทำให้ปริมาณสารแขวนลอยและความกระด้างลดลง แบคทีเรียที่ทำให้เกิดสีจะถูกแสงแดดเผา ทำให้ปริมาณลดน้อยลง และพวก โปรโตซัว ซึ่งกินแบคทีเรียเป็นอาหารจะเจริญเติบโต และเป็นตัวช่วยให้การฟอกตัวเองของน้ำดีขึ้นระยะเก็บกัก 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 50° F หรือ 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 64.4° F จะขจัดแบคทีเรียได้เกือบทุกชนิด

7.6 การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน

วิธีการกำจัดโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ primary treatment, secondary treatment และ tertiary treatment ดังสรุปไว้ในรูป 7.13



รูปที่ 7.13 ขั้นตอนทั่วไปของระบบการกำจัดน้ำเสีย

โดยรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียทุกขั้นมีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการกำจัดขั้นต้น (primary treatment process) โดยการปล่อยของแข็งตกตะกอนลงไปโดยแรงดึงดูดของโลก (gravitation) และโดยการตัดด้วยตะแกรงแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

- ก. screening วัตถุที่ลอยน้ำขนาดใหญ่จะถูกกำจัดโดยการผ่านน้ำทิ้งนั้นๆ ไปยังตะแกรง บางโรงงานอาจใช้เครื่องที่เรียกว่า communitor ในการตัดไว้ด้วยตะแกรงแล้วยังบดวัตถุเหล่านั้นด้วย
- ข. grit removal สารพวกกรวด ทราย ก้อนหินเล็กๆ จะถูกปล่อยให้นอนก้นใน grit chamber ขั้นนี้มีความสำคัญมากสำหรับน้ำทิ้งในเมืองที่มีการรวมท่อน้ำทิ้งกับท่อน้ำฝนเข้าด้วยกัน

2. ตะแกรง (screening) ใช้กำจัดสิ่งปะปน เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ ถุงพลาสติก ตลอดจน สารแขวนลอยต่างๆ ที่เป็นต้นเหตุของความขุ่น

- ตะแกรงหยาบ (bar screen) เป็นเหล็กกลมหรือเหลี่ยมขนาด 2.5 มม. วางห่างกันจากจุดศูนย์กลางถึงศูนย์กลางประมาณ 1-2 นิ้ว เอียงเป็นมุม 45° กับแนวดิ่ง ใช้กำจัดวัตถุลอยขนาดโต ความเร็วสูงสุดที่ผ่านตะแกรงไม่เกิน 3 ฟุต / วินาที

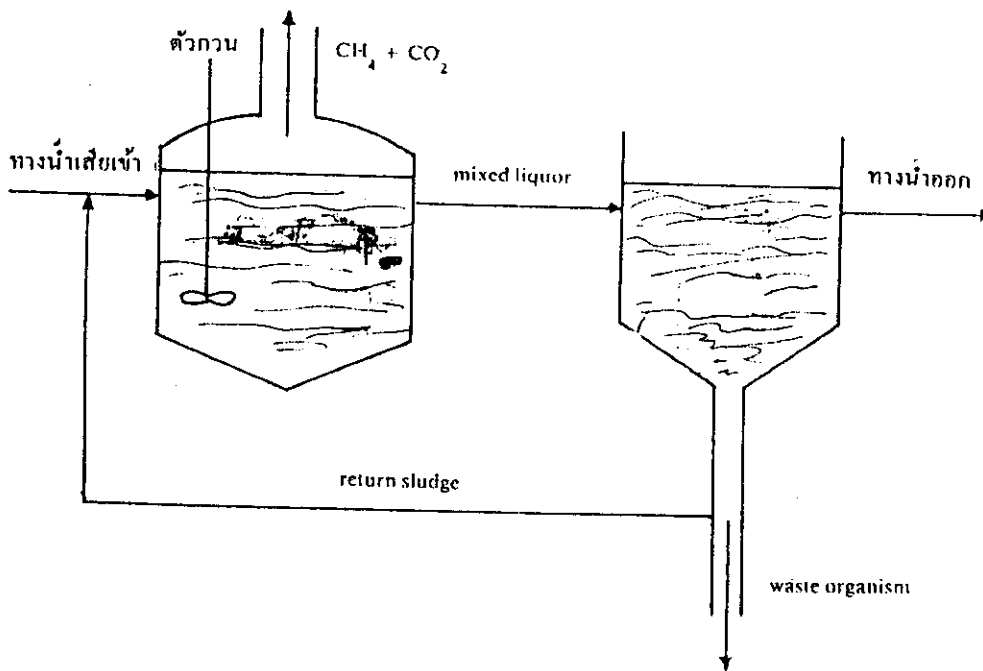
- ตะแกรงละเอียด (microstrainer) ทำด้วยเหล็กสแตนเลส มีขนาดของรูตะแกรงตั้งแต่ 23 ,35 และ 65 ไมครอน หมุนด้วยความเร็วแบบหมุนรอบตัว 1.5 ม./ วินาที อัตราการกรองส่วนมากอยู่ในช่วง 600-2,000 แกลลอน/ตร. ฟุต/ชั่วโมง

2. การสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอน (Coagulation and Flocculation)

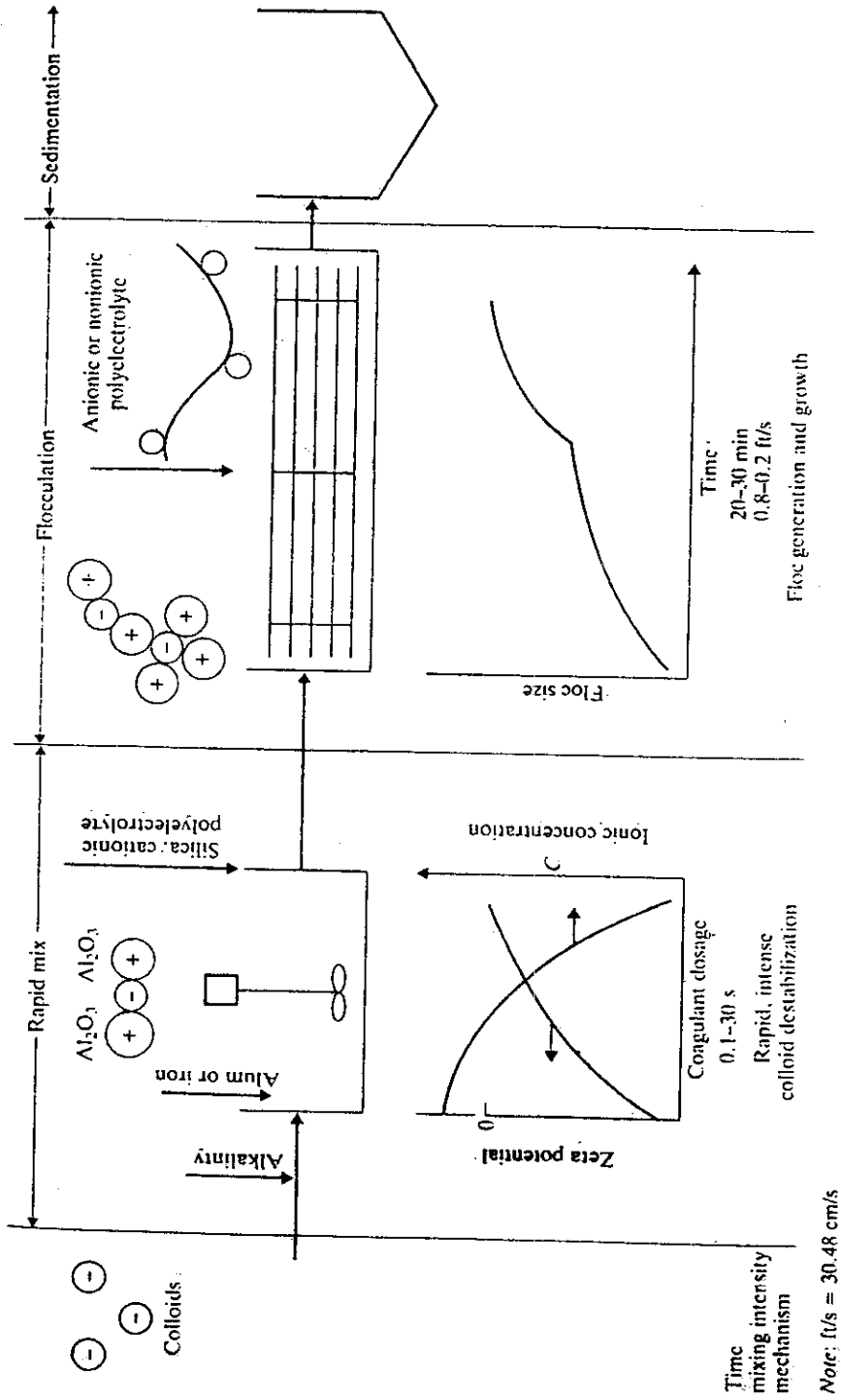
กระบวนการ coagulation เป็นกระบวนการทำให้สารแขวนลอยในรูปอนุภาคเล็กๆ มารวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นจนหนักพอที่จะตกตะกอนออกมา โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า coagulant กลไกการเกิดตะกอนจะเกิดโดยทำให้พวกสารแขวนลอยซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่มีประจุอยู่ (อาจเป็นบวกหรือลบ) เกิดการสูญเสียการอยู่ตัว (destabilized) หลังจากที่เติมสารเคมี (coagulant) อย่างรวดเร็วประมาณ 10 วินาที จะไปลดแรงที่ทำให้ประจุห่างกัน (Van der Waals attractive forces) ทำให้อนุภาคเข้ามาอยู่รวมกันได้มากขึ้น หลังจากนั้นจะเกิดกระบวนการตกตะกอนเบาเป็นกลุ่มปุย (flocculation) ขึ้น ซึ่งจะเกิดอย่างช้าๆ ประมาณ 20-30 นาที จึงต้องทำการผสมเบาๆ เพื่อจะได้เปลี่ยนขึ้นอนุภาคจากชั้นเล็กๆ ให้เป็นชั้นใหญ่ซึ่งมองเห็นได้และเกิดการตกตะกอนในที่สุด (sedimentation) ดังแสดงในรูป 7.3

Anaerobic contact

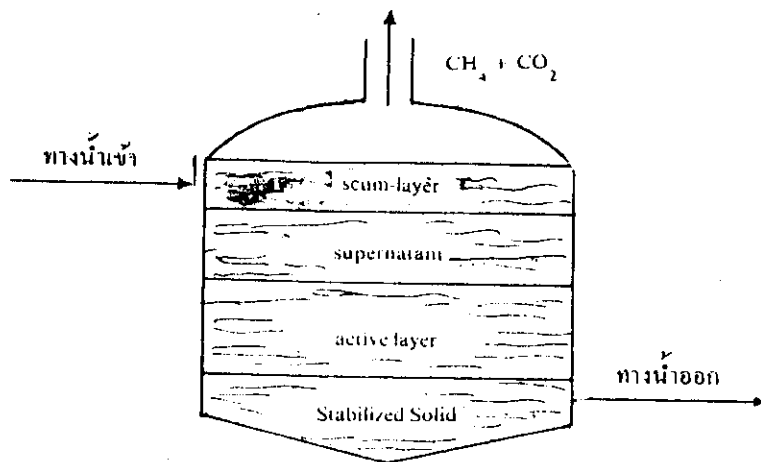
เนื่องจากแบคทีเรียแบบ methane former เจริญเติบโตช้า ระบบ anaerobic digestion ไม่เหมาะกับการกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD ต่ำและมีปริมาณมาก เพราะจะต้องสร้างถังขนาดใหญ่มาก ระบบ anaerobic contact แก้ปัญหาได้นี้ได้ และมีหลักการคล้ายระบบ AS คือ มีการแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์ฯ แล้วนำตะกอนกลับมาใช้ในการกำจัดได้อีก จึงทำให้ลดขนาดของถังลงได้



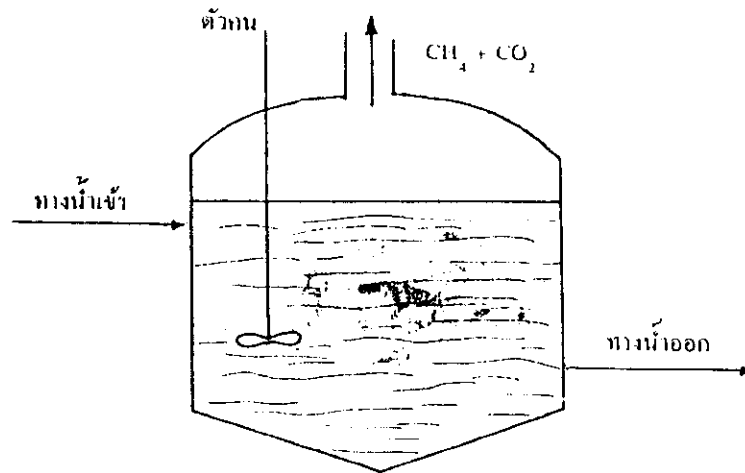
รูปที่ 7.12 ระบบ anaerobic contact



รูปที่ 7.3 แสดงกลไกการเกิด coagulation



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.11 ระบบ conventional anaerobic digestion

รูป (ก) อัตราต่ำ

รูป (ข) อัตราสูง

องค์ประกอบที่มีผลต่อการรวมตัวกันตกตะกอน

- ก. pH
- ข. เกลือของสาร
- ค. ความขุ่น
- ง. สารสร้างตะกอน (coagulants)
- จ. สภาพทางค่านกายภาพ เช่น อุณหภูมิ
- ฉ. การกวน (mixing)

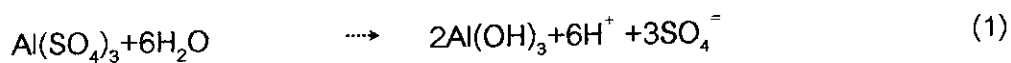
สารสร้างตะกอน (Coagulant) ที่ใช้กันมากในกิจการประปา

- ก. สารส้ม (Alum or Aluminum Sulfate) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
- ข. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
- ค. $Na_2Al_2O_2$
- ง. $FeCl_3$
- จ. $Fe(SO_4)_3$
- ฉ. $Ca(OH)_2$ (Hydrated lime)]

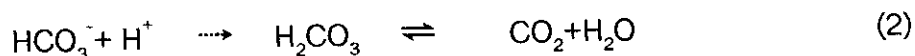
ปฏิกิริยาของอลูมิเนียมซัลเฟต

เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากที่สุดเนื่องจากราคาถูก และการทำให้เกิดการรวมตัวดี รมั้ควรวังในการขนส่ง น้ำที่จะให้ผลดีสำหรับการใช้สารส้ม ควรมีค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ประมาณ 6-10 ppm ต่อ grain / gal. ของสารส้มที่ใช้ ถ้าค่าความเป็นด่างไม่พอ ควรเติมปูนขาว 9.35 grain หรือ soda ash ปริมาณ 0.5 grain ต่อ grain ของสารส้มที่ใช้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงไปในน้ำจะเกิดปฏิกิริยา



H^+ ที่เกิดจะถูกกำจัดออกโดย HCO_3^- ในน้ำทำให้พีเอชไม่ลดลง (ซึ่งจะทำให้ $Al(OH)_3$ ไม่ตกตะกอน) ดังสมการ



Anaerobic lagoon

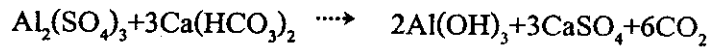
บ่อที่ใช้หมักเป็นบ่อดินลึกประมาณ 2-3 เมตร น้ำทิ้งจะใช้เวลาอยู่ในบ่อหลายวันก่อนจะไหลล้นออกไป ในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะถูกแบคทีเรียทำลายด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำทิ้งเน่าเหม็นมีสีดำและมีค่า BOD ลดลง ระบบนี้เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทิ้งที่มี BOD สูง จึงเหมาะสำหรับโรงงานทำเยื่อกระดาษ โรงงานสุรา เบียร์ น้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ oxidation pond ระบบนี้ใช้ที่ดินน้อยกว่า 10-30 เท่า แต่มีข้อเสียดังที่กล่าวมาแล้วคือ ให้อกลิ่นเหม็นมาก

Conventional Anaerobic digestion

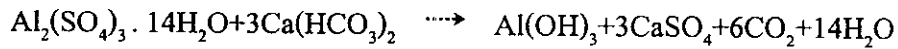
เป็นระบบที่มีการใช้เครื่องกลเพิ่มขึ้นระบบนี้ถ้าเป็นแบบอัตราต่ำ (low rate) จะประกอบด้วยถังปฏิกิริยาเป็นถังคอนกรีตกลมมีฝาปิด บนฝาถังมีทางระบายแก๊ส CH_4 และ CO_2 เพื่อนำไปเผาทิ้งหรือนำไปทำเป็นเชื้อเพลิง ส่วนอัตราแบบสูง (high rate) จะมีการกวนน้ำในถังตลอดเวลาโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบ screw pump หรืออัดแก๊ส CH_4 ที่ได้ลงไปใต้น้ำ ทำให้อแบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ในน้ำได้ทั่วถึง ระบบนี้นิยมใช้ในการกำจัดน้ำทิ้งที่มีค่า BOD สูง เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สุรา น้ำตาล น้ำส้มสายชู เป็นต้น ระบบการทำงานแสดงในรูป 7.11



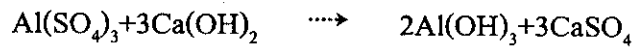
จาก (1) และ (2) สามารถเขียนในรูปของโมเลกุลได้ดังนี้



หรืออาจเขียนเป็นสมการในระบบบำบัดได้ชัดเจนในรูปของ



เมื่อเติม coagulant แล้วพีเอชน้ำจะลดลงและเกิด CaSO_4 ฉะนั้นถ้าความเป็นต่างของน้ำไม่พอจะต้องเติมเป็นปูนขาวหรือโซดาแอสที่ก็ได้ ปฏิกริยาที่เกิดคือ



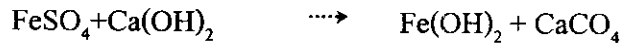
การตกตะกอนโดยใช้สารส้มนี้จะให้ผลดีที่สุดในช่วงค่าพีเอช 5-6.5

ปฏิกิริยาเฟอร์รัสซัลเฟต

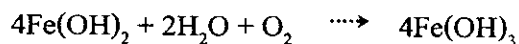
FeSO_4 เมื่ออยู่ในน้ำที่ความเป็นต่างมากพอจะทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นต่างในน้ำเกิดเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ซึ่งละลายน้ำได้ดี และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ โดยอาศัยออกซิเจนในน้ำ ซึ่งพบว่าในน้ำธรรมชาติทั่วไปจะมีความเป็นต่างไม่มากพอ FeSO_4 ส่วนมากจึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับปูนขาว โดยอาจเติมปูนขาวก่อนหรือหลังก็ได้ ปฏิกริยาที่เกิด

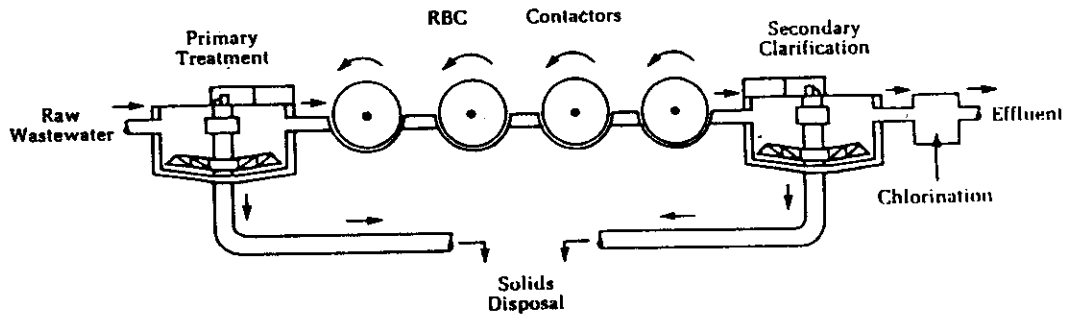


ถ้าเติมปูนขาวก่อนปฏิกิริยาจะเป็น



ทั้งสองกรณี FeSO_4 จะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในน้ำ





รูปที่ 7.10 แสดงการทำงานของระบบ RBCS

Anaerobic Wastewater Treatment

ระบบกำจัดนี้จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

- ก. อุณหภูมิที่เหมาะสมมี 2 ช่วง คือ $30-38^{\circ}\text{C}$ และ $48-57^{\circ}\text{C}$
- ข. สภาพที่ไร้ออกซิเจน น้ำทิ้งในถังต้องไม่มี O_2 ซึ่งเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย

จำพวก methaneformers

ก. อาหารเสริม อัตราส่วน $\text{BOD} : \text{N} : \text{P} = 100 : 1.1 : 0.2$ จะเห็นได้ว่า N และ P เป็น 1.1 % และ 2 % ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าวิธีที่ใช้ ออกซิเจน

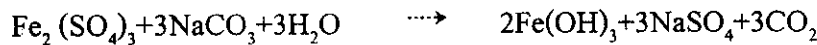
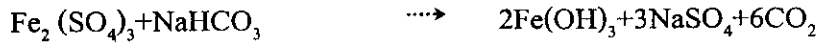
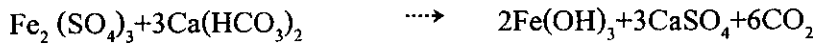
ง. pH ต้องอยู่ระหว่าง 6.6-7.6

จ. สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ได้แก่ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นสูงๆ

ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ anaerobic ที่ใช้ทั่วไปมี 3 แบบคือ anaerobic lagoons , anaerobic contact และ anaerobic digester

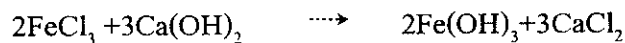
ปฏิกิริยาเฟอร์ริกซัลเฟต

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในช่วงของพีเอช 4.0-11.0 ใช้ตกตะกอนสีได้ดีในช่วงพีเอชต่ำ ถ้าใช้กำจัดเหล็กและแมงกานีสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี ในช่วงพีเอชสูง ปฏิกิริยาที่เกิด



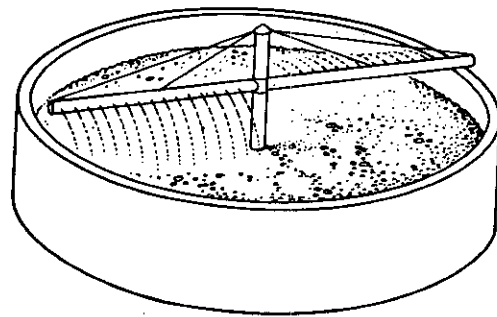
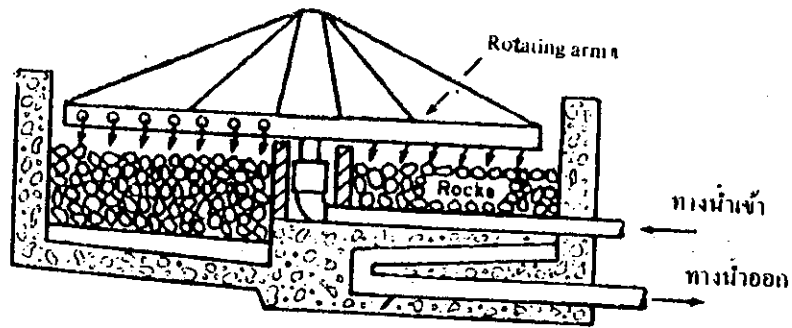
ปฏิกิริยาเฟอร์ริกคลอไรด์

เนื่องจากมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ความนิยมในการใช้จึงต่ำ ปฏิกิริยาทั่วไปเป็นดังสมการข้างล่างนี้



สารช่วยเร่งให้ตกตะกอน (Coagulant Aid) ได้แก่

- ก. lime , quick lime or hydrated lime ช่วยเพิ่มค่าความเป็นด่างให้น้ำ
- ข. Na_2CO_3 ใช้เพิ่มค่าความเป็นด่างของน้ำและลดความกระด้างถาวร
- ค. H_2SO_4 ใช้ลดพีเอช ในกรณีต้องการกำจัดสีในน้ำก่อนที่จะเติมสารสร้างตะกอน
- ง. NaOH หรือ caustic soda ละลายน้ำไม่ทำให้น้ำเพิ่มความกระด้าง



รูปที่ 7.9 Trickling filters

แบคทีเรียที่ใช้ในระบบ AS จะถูกเลี้ยงให้เกาะเป็นเมือกหนาประมาณ 2-3 มม. รอบตัวกลาง (medium) ซึ่งทำด้วยวัสดุบางอย่าง เช่น ก้อนหินขนาด 2-3.5 นิ้ว หรือแผ่นพลาสติก ถึงปฏิกิริยาของระบบเป็นดังกลมหรือสี่เหลี่ยมสูงไม่น้อยกว่า 2 เมตร น้ำทิ้งจะถูกโปรยลงบนผิวหน้าของถังปฏิกิริยาที่มีตัวกลางบรรจุอยู่เต็ม ในขณะที่น้ำทิ้งไหลผ่านตัวกลางลงสู่ก้นถัง แบคทีเรียรอบก้อนหินจะดูดซึมสารอินทรีย์เข้าไปและทำลายด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ O_2

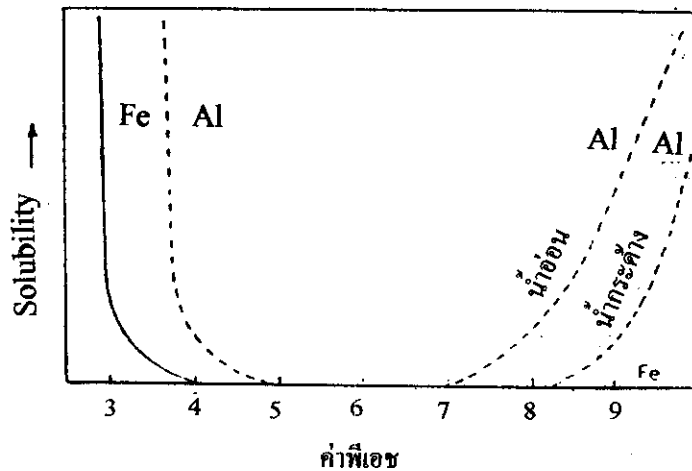
Rotating biological reactors (RBSC)

วิธีเหมือน TF แต่จะใช้ตัวยึดเกาะของแบคทีเรียซึ่งเป็นแผ่น polyethylene หรือ polystyrene ซึ่งมีการเคลื่อนที่ด้วย ฉะนั้นแบคทีเรียที่จับกับแผ่นพลาสติกจะถูกสัมผัสกับอากาศได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ดี ดังแสดงในรูป 7.10

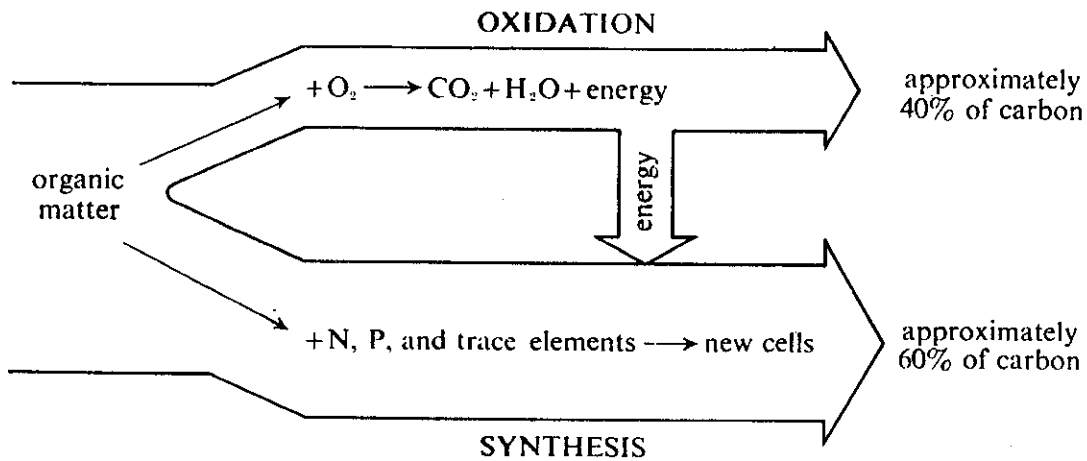
จ. Activated silica ช่วยให้น้ำที่มีความขุ่นน้อยตกตะกอนได้ดีขึ้น ช่วยให้ถังตกตะกอนมีประสิทธิภาพดีขึ้น และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของถังกรองทรายออกไปอีก การใช้ควรเติมก่อนหรือหลังการเติมสารตกตะกอนแล้ว

พีเอชที่เหมาะสม (optimum pH) สำหรับการตกตะกอน

พีเอชของน้ำมีความสำคัญในการควบคุมชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสของตัวตกตะกอนและประจุคอลลอยด์ ซึ่งพบว่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดคอลลอยด์ จะแปรผันตามชนิดของน้ำ เช่น กรณีที่ใช้เฟอร์ริกและอลูมิเนียมซัลเฟต ปกติจะอยู่ในช่วงพีเอช 5-6.5 เนื่องจากค่า $K_{sp} \text{Fe(OH)}_3 = 1.1 \times 10^{-35}$ และ $\text{Al(OH)}_3 = 1.9 \times 10^{-33}$ ซึ่งไอออนทั้งสองชนิดจะตกตะกอนสมบูรณ์ที่พีเอชเท่ากับ 5 เหลือ Fe^{3+} และ Al^{3+} เล็กน้อยในน้ำ พิจารณาจากรูปที่ 7.4 จะเห็นได้ว่าที่พีเอชต่ำกว่า 4 $[\text{OH}^-]$ จะมีไม่พอที่จะตกตะกอน Fe^{3+} และที่พีเอชต่ำกว่า 5 $[\text{OH}^-]$ ก็ไม่พอที่จะตกตะกอน Al^{3+} นั่นคือการตกตะกอนสมบูรณ์ของ coagulating ion จึงจำเป็นจะต้องรักษาพีเอชของน้ำในช่วงนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของความเป็น amphoteric solubility ของ Al(OH)_3 ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นไปอีกที่พีเอช 7-9 และมีแนวโน้มจะเกิด aluminate ion ที่พีเอชสูง ๆ ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 กราฟแสดงการละลายของ Fe(OH)_3 และ Al(OH)_3



รูปที่ 7.8 แสดงการออกซิเดชันของสารอินทรีย์

ระบบจะทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงภายใต้สภาวะดังนี้

1. ปริมาณ O_2 ใน mixed liquor ต้องไม่เกินกว่า 0.5 ppm
2. ต้องมีอาหารเสริมอย่างพอเพียงคือ $BOD : N : P = 100 : 5 : 1$ และต้องมีแร่ธาตุอื่นๆ เช่น K, Ca, Mg และ Fe อยู่ด้วย
3. ค่า pH ของน้ำควรอยู่ระหว่าง 6-9 ถ้าต่ำกว่า 6.5 เราจะเจริญเติบโตแข่งกับแบคทีเรีย ถ้า pH ลดลงถึง 4.5 ว่าจะมีมากกว่าแบคทีเรีย แต่ถ้า pH สูงกว่า 9 แบคทีเรียจะลดค่า BOD ซ้ำลง
4. อุณหภูมิของระบบไม่ควรเกิน $40^\circ C$ อัตราการทำลาย BOD จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่จะกลับลดลงถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป

Trickling filter (TF)

ระบบนี้มีข้อดีตรงค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายถูกกว่าระบบ AS และการควบคุมก็ง่ายกว่าด้วย จึงเหมาะสำหรับใช้กำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนเล็กๆ ข้อเสียของระบบนี้คือ มีกลิ่นเหม็นและมีแมลงหวี่ตอมมาก

3. การกวนเร็ว (Rapid Mixing)

จุดประสงค์เพื่อให้สารเคมีที่ใส่ลงไปกระจายเข้ากับน้ำดินได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้สารเคมีไปทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น hydraulic jump, flumes , in pipe line และ mechanical ช่วยทำให้เกิด turbulence ด้วยวิธีต่างๆ เป็นต้น

4. การรวมตัวของตะกอน (Flocculation)

คือการกวนน้ำที่ใส่สารสร้างตะกอนและผ่านขั้นตอนการกวนเร็วอย่างช้าๆ เพื่อให้สารนี้ในน้ำเกิดการรวมตัวให้ใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น จนสามารถตกตะกอนได้ดี หลักการทำงานแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบใช้เครื่องจักรกล (mechanical agitator) และแบบที่ใช้แผงกั้น (baffle) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

5. การตกตะกอน (Sedimentation)

ลักษณะของการตกตะกอนแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

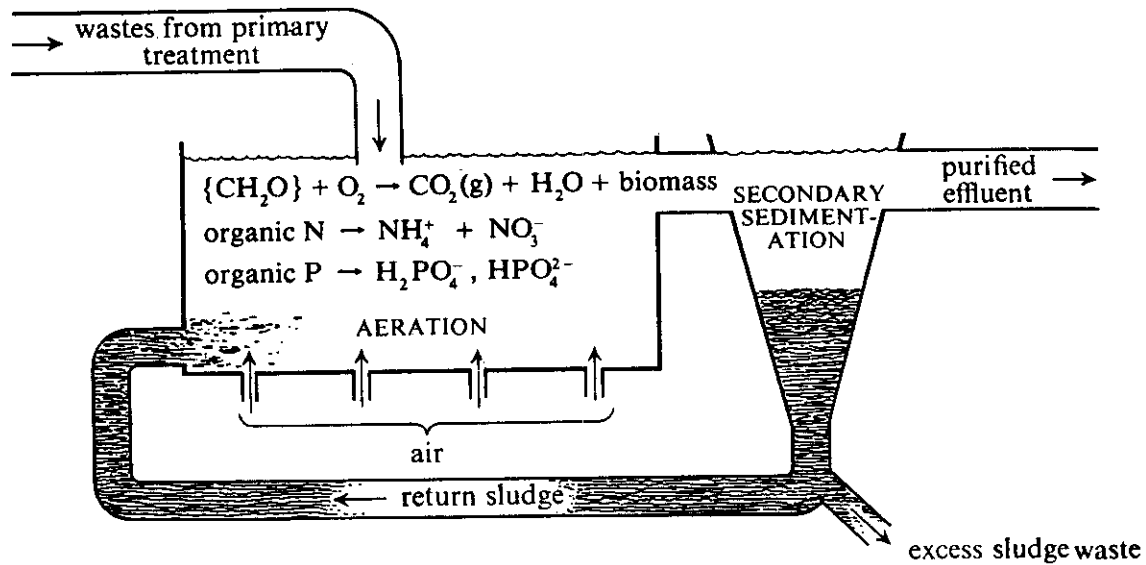
1. การจมตัวของอนุภาค โดค (discrete settling)
2. การจมตัวของกลุ่มตะกอน (flocculant setting)
3. การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (zone settling)

6. การกรอง (Filtration)

ถังกรองแบ่งได้ตามลักษณะการใช้งาน 3 แบบ คือ

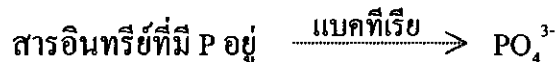
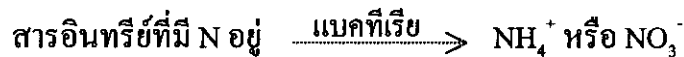
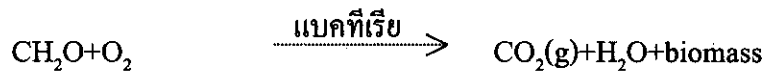
1. ถังกรองช้า (slow sand filter)
2. ถังกรองเร็ว (Rapid sand filter)
3. ถังกรองภายใต้ความดัน (Pressure filter)

การเลือกใช้แบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำดิบ การควบคุมการทำงานคุณภาพของน้ำที่ต้องการและวิจารณ์ของผู้ออกแบบ



รูปที่ 7.7 ระบบ activated sludge

ระบบประกอบด้วยตัวปฏิกริยาซึ่งเป็นตัวเติมอากาศ (aeration tank) และตัวตกตะกอน (sedimentation) หรือ clarifier tank หรือ setting tank น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้ามายังถังเติมอากาศเพื่อทำปฏิกริยากับแบคทีเรีย



อัตราการลดของ BOD โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นโดยการเพิ่มทั้งปริมาณ O_2 และปริมาณแบคทีเรียจะลดค่า BOD ในน้ำทิ้งโดยปฏิกริยาออกซิเดชัน และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (synthesis) ดังรูป 7.8 ปริมาณแบคทีเรียในตัวเติมอากาศจะมีมากจนจับกันเป็นตะกอนชั้นใหญ่ มีสีน้ำตาลเข้มเรียก activated sludge น้ำผสมของน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในตัวเติมอากาศเรียก mixed liquor

7. การฆ่าเชื้อ (Disinfection)

สารที่ใช้ฆ่าเชื้อ โรคในน้ำมีอยู่หลายชนิด เช่น

1. คลอรีน
2. คลอรีนและแอม โมเนีย
3. โอโซน
4. แสงอัลตราไวโอเลต
5. ความร้อน
6. ปูนขาว (เพราะที่ pH มากกว่า 9.5 *E.coli* จะตาย)
7. ไอโอดีนและโบรมีน

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ โรคในน้ำประปาขึ้นอยู่กับ

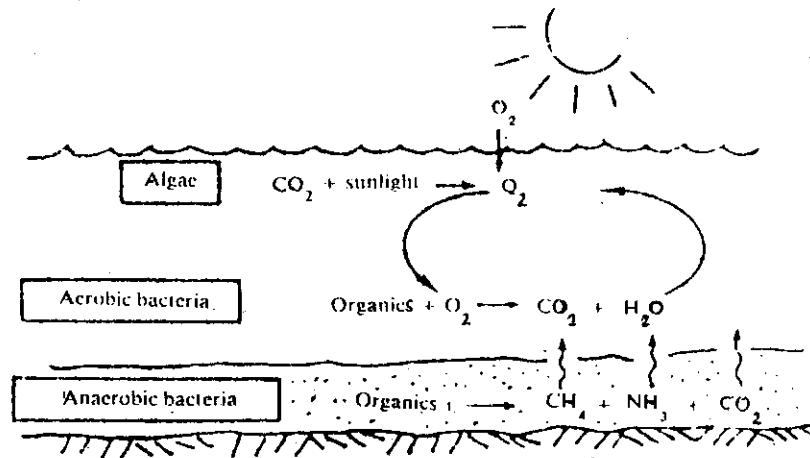
1. จำนวนความเข้มข้นและชนิดสารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โรค
2. ระยะเวลาที่อยู่ในน้ำ
3. อุณหภูมิของน้ำ
4. คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ
5. ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่ต้องการทำลาย

Chlorination

คลอรีนอิสระและคลอรีน ในน้ำ ที่ทำปฏิกิริยากับแอม โมเนียและ สารอินทรีย์ ในโตรเจน เกิดเป็นสารประกอบของคลอรีน ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายแบคทีเรียได้ อัตราความ สามารถในการทำลายแบคทีเรียขึ้นอยู่กับสารประกอบคลอรีนในรูปต่างๆ ดังนี้

1. Free chlorine คือคลอรีนที่อยู่ในรูปของ HOCl, OCl⁻, Cl₂
2. Combined chlorine คือคลอรีนที่อยู่ในน้ำในรูปของสารประกอบที่รวมตัวกับ แอม โมเนียหรือสารอินทรีย์ในโตรเจน เช่น monochloramine, dichloramine หรือ trichloramine
3. Residual chlorine คือคลอรีนที่เหลืออยู่ในน้ำภายหลังจากที่ทำปฏิกิริยาฆ่าเชื้อ โรคและสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำแล้ว อาจเป็น free residual หรือ combined residual

นี้ต้องใช้บ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก และใช้ได้ผลดีเฉพาะในบริเวณที่มีแสงแดด ระบบนี้แสดงดังรูป 7.6



รูปที่ 7.6 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระบบ oxidation pond

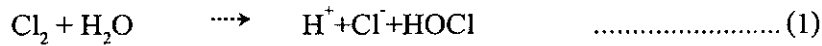
Aerated lagoons

ระบบนี้ประกอบด้วยบ่อขนาดใหญ่ลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร ปฏิกริยาการทำลาย BOD จะเร็วกว่า oxidation ponds เพราะมีการเติม O₂ ด้วยเครื่องมือกล จึงใช้พื้นที่น้อยกว่า oxidation pond 8-10 เท่า ข้อดีของระบบนี้คือ การควบคุมดูแลทำได้ง่ายค่าก่อสร้างต่ำ ไม่ใช้พื้นที่มาก จนเกินไป ไม่มีปัญหาในการกำจัดตะกอน ไม่มีกลิ่นรบกวน

Activated sludge (AS)

เป็นระบบกำจัดที่ใช้เครื่องกลมากที่สุด ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการกำจัดจึงสูงกว่าระบบอื่น แต่ใช้พื้นที่น้อยกว่ามาก ใช้กันแพร่หลายและเหมาะสมในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด หรือที่ดินมีราคาแพงมาก และต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ระบบ AS มีแบบปลักย่อยหลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกัน ดังรูป 7.7

อำนาจทำลายเชื้อโรคของคลอรีนจะลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น เนื่องจากกรดไฮโปคลอรัส น้อยลง สารอินทรีย์เคมีและความขุ่นในน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้อำนาจทำลายเชื้อของคลอรีนลดลง กลไกในการฆ่าพวกแบคทีเรียในน้ำของคลอรีน เมื่อเติมคลอรีนในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อย่างรวดเร็วดังสมการ



เมื่ออยู่ที่สมดุลจะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ที่สมดุลคือ

$$K_n = \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]}{\text{Cl}_2} = 4.5 \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots(2)$$

HOCl (hypochlorous acid) เป็นกรดอ่อน ฉะนั้นจะแตกตัวได้ดังนี้



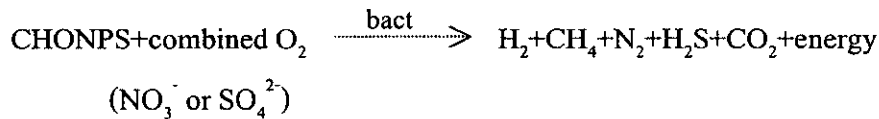
ค่า ionization constant = 2.7×10^{-8} จากสมการที่ (3) จะสามารถแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของคลอรีนแก๊ส (Cl_2) ที่สมดุลที่พีเอชสูงกว่า 3 เมื่อคลอรีนถูกเติมไปในน้ำระดับที่ต่ำกว่า 1.0 gm/L

บางครั้งมีการใช้เกลือ hypochlorite แทนแก๊สคลอรีน เช่น Calcium hypochlorite ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) ซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าคลอรีน

รูปของสารเคมีที่เกิดจากการใช้คลอรีนในน้ำมี 2 แบบ คือ HOCl และ OCl^- ซึ่งอาจเรียกว่า free (available) chlorine ซึ่งมีผลต่อการฆ่าแบคทีเรียมาก

ถ้าในน้ำเกิดมีแอมโมเนียด้วยก็จะเกิด monochloramine dichloramine และ trichloramine เกิดขึ้นดังนี้

ข. ปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic reaction) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีออกซิเจนอิสระ แบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจนจะเผาผลาญสารอินทรีย์โดยใช้ O_2 ที่มีอยู่ในสารประกอบ เช่น จาก NO_3^- หรือ SO_4^{2-} ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงานและสารประกอบอื่นที่มักมี กลิ่นเหม็น เช่น H_2S



Aerobic Wastewater Treatment

ในการกำจัดแบบใช้ออกซิเจน น้ำทิ้งจะต้องมีอาหารเสริมสร้างอย่างพอเพียงอัตรา ส่วน BOD : N : P สูงสุดประมาณ 100 : 5 : 1 นอกจากนี้ น้ำทิ้งจะต้องมีลักษณะที่ไม่ขัดต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ต้องมีอุณหภูมิและ pH ที่เหมาะสมและไม่มีสารที่เป็น พิษต่อแบคทีเรีย ที่สำคัญที่สุด คือ ต้องมีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำอย่างพอเพียง

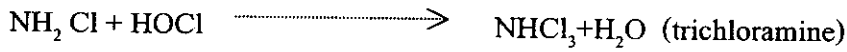
ระบบกำจัดน้ำแบบใช้ออกซิเจนแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ

ก. suspension ได้แก่ ระบบ oxidation ponds , aerated lagoon, activated sludge

ข. bacteria bed ได้แก่ ระบบ trickling filter ซึ่งตัวกลางอยู่กับที่ และ biological discs ซึ่งตัวกลางเคลื่อนที่

oxidation ponds

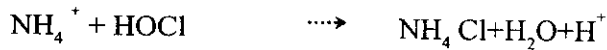
ระบบกำจัดแบบนี้เหมาะสมในกรณีที่ดินราคาถูก และเป็นระบบที่ประหยัดที่สุด oxidation pond เป็นบ่อดินธรรมดาที่มีความลึกตั้งแต่ 0.5-2 เมตร หรือบ่อดินลาดด้วยคาน คอนกรีตหรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การกำจัดเป็นแบบต่อเนื่อง คือ น้ำทิ้งจะไหลเข้าและ ออกจากบ่อกำจัดตลอดเวลา ในระหว่างนี้แบคทีเรียจะลดค่า O_2 ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกริยาแบบใช้ O_2 และ O_2 เกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย เนื่องจากอัตรา การเติม O_2 ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณ O_2 ระบบ



คลอรามินทั้งสามชนิดที่เกิดขึ้นนี้เรียก combined (available) chlorine ซึ่งจะให้ผลในแง่การฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยแต่น้อยกว่า free (available) chlorine ทำให้ต้องใช้ปริมาณคลอรีนเพิ่มมากขึ้น

สัดส่วนของ Cl ต่อ N molar ratio ที่มากเกินไปในน้ำที่มีแอมโมเนียจะทำให้ free (available) chlorine ยังคงไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย เรียกสัดส่วนนี้ว่า break point ซึ่งจะให้ผลในการฆ่าเชื้อได้ดีและในขณะเดียวกันก็ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ

ระดับที่พอดีของ $\text{NH}_3\text{-N}$ คือ ประมาณ 20 mg/L เมื่อ ฟีเอชอยู่ระหว่าง 5.0-8.0 คลอรีนเข้มข้นกับแอมโมเนียในสัดส่วน Cl กับ $\text{NH}_3\text{-N}$ จะให้ผลในการฆ่าเชื้อโรคได้พิจารณาจากสมการ



นั่นคือปฏิกิริยานี้ใช้ในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสียด้วย แต่พบว่าถ้ามีสารอินทรีย์อยู่ด้วย ก็จะก่อให้เกิดสารประกอบออร์แกโนคลอรีน เช่น chloroform ซึ่งจะกล่าวถึงตอนท้ายกรณีที่ในน้ำมีตัวรีดิวซ์อยู่ด้วย เช่น Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- หรือ H_2S จะทำให้ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคน้อยลง เนื่องจากคลอรีนเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอย่างอื่นด้วย เช่น

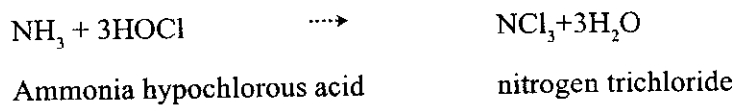


นอกจากคลอรีนจะถูกใช้ในการทำน้ำประปา ยังใช้ได้ใน Cooling towers ของแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้า และยังใช้ควบคุมจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตอาหารด้วย ซึ่งจริงๆ แล้วคลอรีนก็ยังเป็นสารที่ก่อให้เกิดพิษกับร่างกายคนด้วย แต่ก็ยังมีการใช้กันอยู่ปัจจุบัน

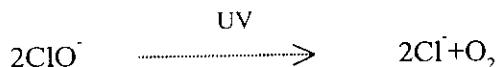
การฆ่าเชื้อโรคโดย Chlorination ในสระว่ายน้ำจะใช้กรดไฮโปคลอรัส ซึ่งเตรียมจาก $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ หรือใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) แทนเมื่อละลายในน้ำไฮออนไฮโปคลอไรต์จะถูกเปลี่ยนเป็น HOCl (กรดไฮโปคลอรัส) ดังสมการ



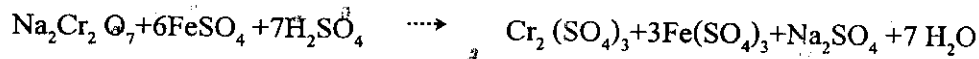
เนื่องจากปฏิกิริยานี้อยู่ในสมดุลฉะนั้นจะต้องคุมพีเอชของน้ำให้มากกว่า 7 มิฉะนั้นปฏิกิริยาจะผันกลับไปทางซ้ายมือซึ่งไม่ให้เกิดผลในการฆ่าเชื้อโรค และพบว่าข้อดีของการปรับพีเอชของน้ำให้มากกว่า 7 จะป้องกันไม่ให้เกิดสารคลอรามิน NH_2Cl , NHCl_2 และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง NCl_3 ซึ่งมีผลต่อการทำลายตาอย่างมากอันเกิดจากสมการ



เนื่องจากจุดสมดุลระหว่าง HOCl และ OCl^- จะเปลี่ยนได้เร็วมากในช่วงพีเอช 7 และ 9 ในสระว่ายน้ำจึงมีการปรับค่าพีเอชของโดยการเติมกรด NaHSO_4 หรือเติมเบส Na_2CO_3 หรืออาจจะใช้สาร buffer NaHCO_3 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคลอรีนในสระว่ายน้ำสามารถสลายตัวได้จาก UV-A และ UV-B ที่มาจากแสงอาทิตย์ดังสมการ



จึงต้องคุมปริมาณของคลอรีนให้คงที่ด้วยจากการสูญหาย



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดีที่ pH < 3 จึงต้องเติม H₂SO₄ ลงไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนขาวลงไปตกตะกอน Cr(SO₄)₃ และ Fe₂(SO₄)₃

ง. **Chlorination** ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคโดยการเฉพาะในการทำน้ำประปา นอกจากนี้ Cl₂ ยังช่วยขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ลดค่า BOD และกำจัดกลิ่นด้วย มักใช้ในรูปของก๊าซ Cl₂ หรือสารที่สามารถให้ Cl₂ ได้ เช่น Ca(OCl)₂ และ NaOCl

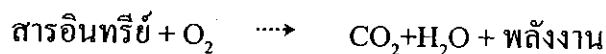
7.5 การกำจัดน้ำทิ้งโดยวิธีทางชีววิทยา

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุดในการช่วยกำจัดน้ำทิ้งโดยวิธีทางชีววิทยา แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับแหล่งของอาหารที่ใช้โดยแบคทีเรีย

1. **Heterotrophic bacteria** ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของธาตุคาร์บอน สำหรับการสังเคราะห์

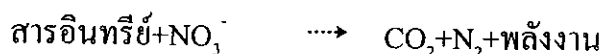
heterotrophic bacteria ยังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับการกระทำของมันที่มีต่อออกซิเจนอิสระ ดังนี้

ก. aerobic bacteria แบคทีเรียชนิดนี้ใช้ออกซิเจนอิสระ ไปสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์

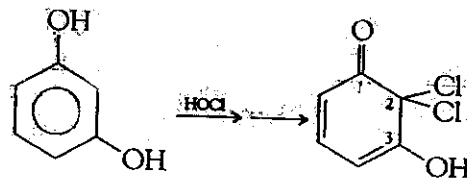


ข. anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระหรือ DO แต่ใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบอื่นๆ เช่น NO₃⁻ และ SO₄²⁻

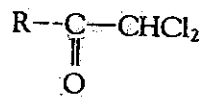
ค. facultative bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งแบบ aerobic และ anaerobic ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนอิสระหรือ DO



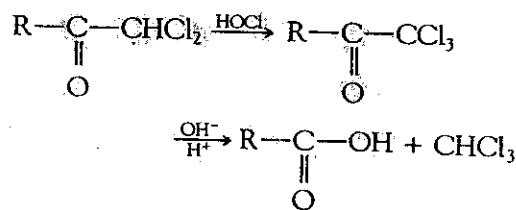
การใช้คลอรีนในรูป HOCl (hypochlorous acid) ในการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีข้อเสียที่ตามมาด้วย คือ นอกจากจะให้ผลในการทำลายเชื้อโรคจะให้ chlorinated organic substances ที่ก่อให้เกิดพิษหรือโรคกับมนุษย์ได้ ได้แก่ พวกสารประกอบ chlorinated phenols ซึ่งจะเกิดในกรณีที่มีการใช้คลอรีนในน้ำที่มีฟีนอล โดยอะตอมคลอรีนจะเข้าแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมของฟีนอล ตัวอย่างอื่นๆ ที่สำคัญคือ การให้สารกลุ่ม trihalomethanes (THMs) ชนิดหลักคือ คลอโรฟอร์ม (CHCl₃) ซึ่งเกิดจาก humic acid ทำปฏิกิริยากับ HOCl ซึ่งมีกลไกต่อไปนี้



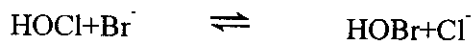
ring cleaves ระหว่าง C₂ และ C₃ ได้เป็น



และทำปฏิกิริยากับ HOCl และหลังจากนั้น OH จะเข้าแทนที่ OCl₂



กลไกชนิดนี้เกิดได้กับสารกลุ่มเดียวกับอื่นๆ เช่น ให้ bromoform (CHBr₃) และสารผสม Chlorine-bromine trihalomethanes ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารในดินทำปฏิกิริยากับ hypobromous acid ซึ่งเกิดได้ดังนี้

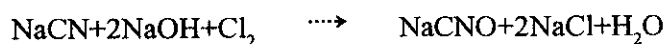


ข. **Precipitation and Coagulation** : precipitation เป็นการเติมสารลงไปใต้น้ำทิ้งเพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งเกิดเป็นตะกอนหนักซึ่งจมตัวลงได้ ส่วน coagulation เป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ ตัวอย่างการกำจัดน้ำทิ้งด้วยการทำให้ตะกอนได้แก่ การกำจัดฟอสเฟต สารละลายตะกั่วและสังกะสีด้วยปูนขาว

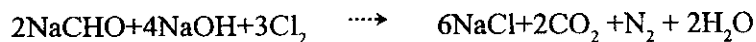
ค. **Oxidation – Reduction** ใช้กันมากในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่โดยการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยารีดอกซ์กับสารประกอบที่ต้องการกำจัด สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเติม O_2 ได้แก่ อากาศ, O_2 , O_3 , Cl_2 , MnO_4^- , $Cr_2O_7^{2-}$, NO_3^- , OCl^- สารเคมีที่ใช้เป็นตัวรีดอกซ์ เช่น $FeSO_4$, Na_2S , และ SO_2

ตัวอย่างปฏิกิริยา oxidation

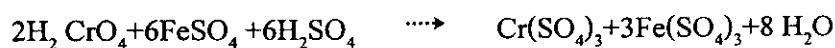
โดยใช้ Cl_2 หรือ ClO^- (C เปลี่ยนจาก +2 \rightarrow 4 และ N-3 \rightarrow 0)



80-90 % ของ CN^- เปลี่ยนเป็น CNO^- ภายในเวลา 2 นาที หากเติม Cl_2 มากเกินไป CNO^- จะเปลี่ยนเป็น N_2 ดังนี้



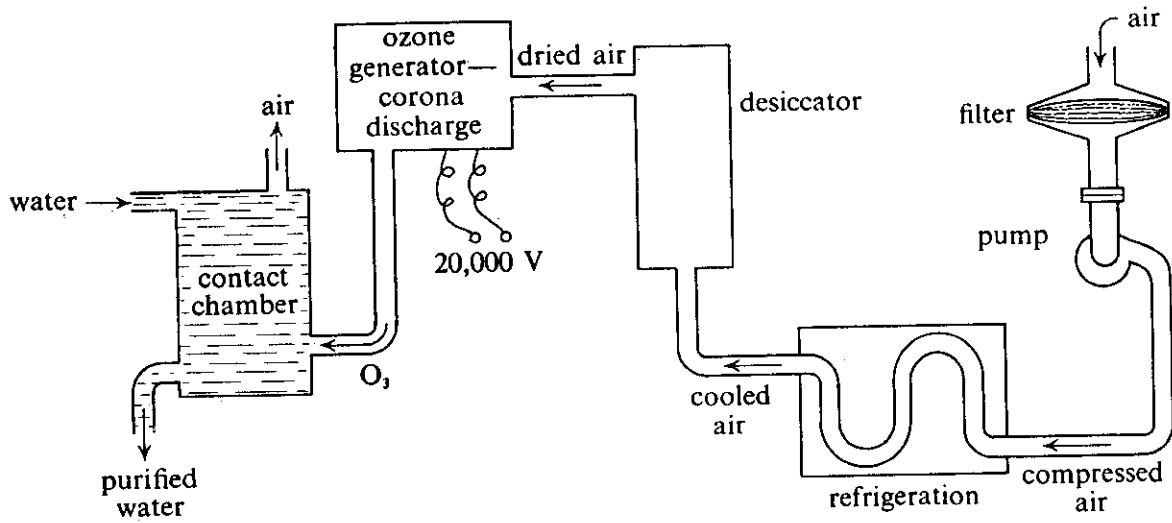
ตัวอย่างปฏิกิริยา reduction



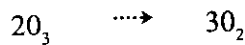
เนื่องจากคลอโรฟอร์มเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในตับได้และเกิดผลอื่นๆ ด้วยมาตรฐานน้ำดื่มอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานที่จำกัดปริมาณ THMs ไว้เท่ากับ 100 ppb แต่คลอรีนก็ยังคงเป็นสารที่นิยมใช้ เนื่องจากราคาถูกกว่าเทคนิคอื่นและความสามารถในการฆ่าเชื้อโรค โดยเฉพาะแบคทีเรียจะอยู่ได้นานกว่าแบบอื่น

โอโซน

นอกจากคลอรีนแล้วพบว่าในประเทศทางยุโรปก็นิยมใช้ O_3 ในการทำน้ำประปาเช่นกัน ระบบจะเป็นดังรูป



การพิจารณาปฏิกิริยาหลักของโอโซนคือ อัตราของการขยายตัวเองในน้ำซึ่งเกิดปฏิกิริยารวมเป็น



โดยพบว่าผลของการฆ่าเชื้อโรคที่ดีนั้นจะต้องผ่านโอโซนในน้ำอย่างน้อยต้องนานถึง 10 นาที

อัตราส่วนการสลายของโอโซนจะเป็นดังสมการ

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k_0[OH^\cdot]^{0.55}[O_3]^2$$

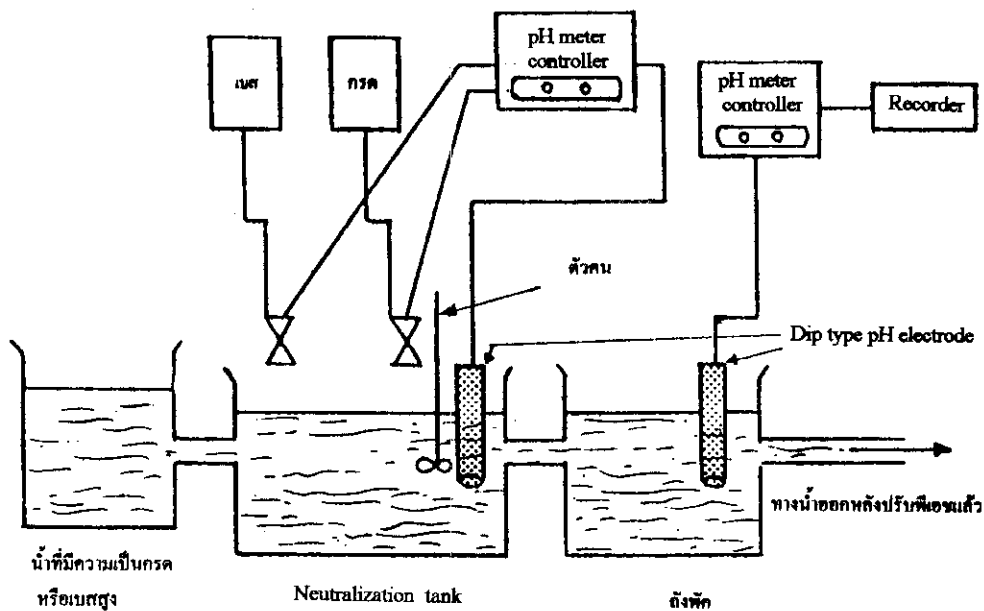
ข้อเสียของการใช้โอโซนคือการเก็บและการเคลื่อนย้ายทำได้ยากและราคาค่อนข้างแพงเนื่องจากต้องใช้ไฟฟ้าถึง 20,000 โวลต์ จึงไม่เป็นที่นิยมเมื่อเทียบกับการใช้คลอรีน อีกทั้งผลการฆ่าเชื้อโรคเฉพาะโอโซนเองอาจจะให้ผลได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากเป็นสารที่สลายตัวได้เร็วมาก

การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต

เป็นวิธีที่ฆ่าเชื้อโรคโดยการให้น้ำผ่านรังสี UV โดยการใช้หลอดไฟที่ให้ไอปรอทที่จะไปทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะเร็วและปล่อย UV-C ที่ความยาวคลื่น 254 nm ออกมาเหมาะสมสำหรับระบบการฆ่าเชื้อโรคในหน่วยเล็ก ๆ โดยการทำงานหลักที่ฆ่าพวกจุลินทรีย์ได้ก็คือ การที่แสง UV-C จะไปทำลาย DNA ของจุลินทรีย์

7.4 การกำจัดการนำทิ้งโดยวิธีทางเคมี

ก. Neutralization กรดที่ใช้ในการลด pH ได้แก่ conc.H₂SO₄, conc.HCl(35% ในน้ำ) ส่วนเบสที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ NaOH และปูนขาว (CaO)



รูปที่ 7.5 ระบบการปรับค่า pH