

## เคมีของน้ำในธรรมชาติและมลพิษทางน้ำ

9.1 - 9.10 เคมีของน้ำในธรรมชาติ

9.11 มลพิษทางน้ำ

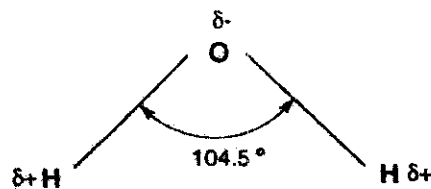
9.12 การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

### บทนำ

น้ำครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดในโลกนี้ 71 % โดยพบว่า 97 % ของน้ำทั้งหมดให้โลกนี้เป็นน้ำในมหาสมุทร ที่เหลือประมาณ 3 % จะเป็นพวกแม่น้ำ ทะเลสาบและอื่นๆที่มนุษย์สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคและพบว่าการใช้ น้ำของมนุษย์ก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพน้ำต่างๆขึ้น เช่น การนำเสีย สารปนเปื้อน

### 9.1 สมบัติทางฟิสิกส์เคมีของน้ำ

น้ำมีโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญคือเป็นโมเลกุลของ  $H_2O$  ที่เป็นรูปแบน (planar) โดยทำมุมเป็น  $104.5^\circ$  ระหว่างพันธะ O-H ดังในรูป 9.1



รูปที่ 9.1 ไดอะแกรมแสดงโมเลกุลของน้ำ

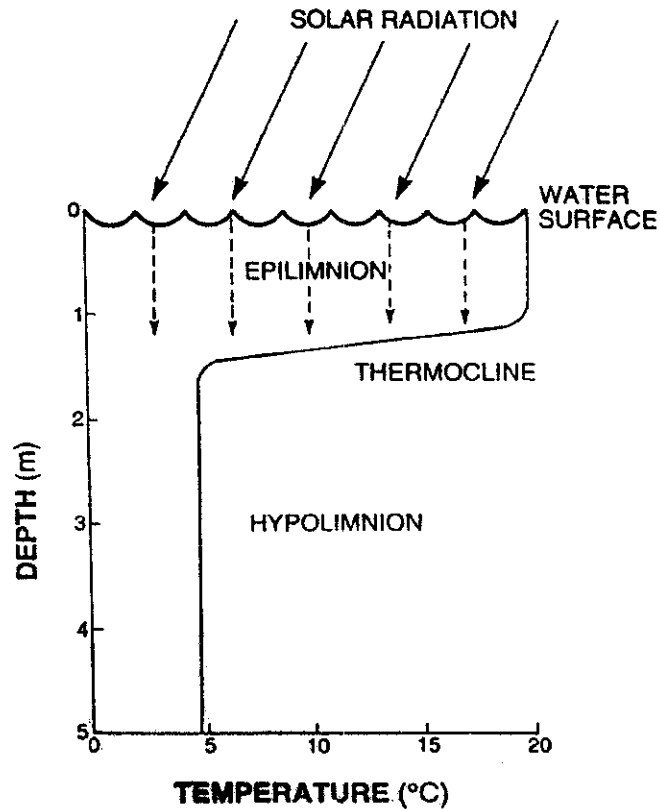
พบว่าพันธะ O-H จะมีขั้วและมีค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) โดยจะแสดงประจุบวกที่อะตอมของไฮโดรเจน เนื่องจากค่าสภาพไฟฟ้าลบ (electronegativity) ของออกซิเจนเท่ากับ 3.5 และ 2.1 ตามลำดับ ค่าสภาพมีขั้วของน้ำ (polarity) รวมจะมีค่าเท่ากับ 1.84 เดบีส ทำให้น้ำมีสมบัติที่สำคัญพอสรุปได้ดังนี้

1. มีค่าจุดเดือดและความดันไอที่สูงกว่าโมเลกุลใกล้เคียงกันทำให้ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว
2. มีสมบัติพิเศษในการเป็นน้ำแข็ง กล่าวคือ ในสภาพเป็นน้ำแข็งจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่ 4 °C ทำให้น้ำแข็งที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่า 4 °C สามารถลอยขึ้นบนผิวน้ำได้และมีชั้นน้ำที่ไม่กลายเป็นน้ำแข็งอยู่ด้านล่างที่สิ่งมีชีวิตในน้ำจะสามารถอาศัยอยู่ในช่วงฤดูหนาว
3. เป็นตัวทำละลายที่ดีมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายสารอาหารและพืคพาพวกของเสีย อีกทั้งยังเป็นตัวกลางที่ช่วยพาสารอาหารให้เคลื่อนย้ายในระบบของสิ่งมีชีวิต
4. มีค่าความร้อนจำเพาะที่สูงกว่าของเหลวอื่นยกเว้นแอมโมเนีย และมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูงกว่าสารอื่นๆ ทำให้เป็นกลไกทางธรรมชาติที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิของโลกและอวัยวะภายในสิ่งมีชีวิต กล่าวคือ สามารถที่จะเก็บพลังงานสูงและเปลี่ยนพลังงานได้ช้า
5. สมบัติที่ยอมให้แสงที่มองด้วยตาเปล่าและอัลตราไวโอเลตช่วงความยาวคลื่นสูงส่องผ่านได้ จึงทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงได้

## 9.2 ประเภทของน้ำ

น้ำที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์อยู่ทุกวันนี้ได้แก่ น้ำใต้ดิน (Ground water) และน้ำบนผิวดิน (surface water) ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ทะเลสาบ และแหล่งน้ำอื่นๆ เช่น ทะเลสาบ สำหรับน้ำในทะเลสาบอาจแบ่งได้ตามชนิดของสารอาหารที่มีอยู่ได้ดังนี้

1. Oligotrophic lakes เป็นทะเลสาบลึก น้ำมักจะใสเนื่องจากมีสารอาหาร (nutrient) และสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่น้อย
  2. Eutrophic lakes เป็นทะเลสาบน้ำนิ่ง น้ำมักจะขุ่นเนื่องจากมีสารอาหารมาก จึงมีสิ่งมีชีวิตอันได้แก่ สาหร่ายและพืชน้ำขนาดใหญ่
  3. Dystrophic lakes เป็นทะเลสาบน้ำตื้น มีพืชอาศัยอยู่และมักจะมีสีเมื่ออยู่ในภาวะพีเอชต่ำ
- น้ำอาจแบ่งได้ 3 ชั้น โดยอาศัยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ (Thermal stratification) ดังแสดงในรูป 9.2



รูปที่ 9.2 การแบ่งชั้นน้ำตามอุณหภูมิ

ในแต่ละชั้นมีลักษณะสำคัญดังนี้

1. อีพิลิมเนียม (Epilimnion) เป็นชั้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดเนื่องจากมีโอกาสดูดแสงแดดมากที่สุด และมีความหนาแน่นต่ำกว่าชั้นอื่น เป็นชั้นที่มีสาหร่ายเจริญเติบโตมากมาเนื่องจากได้รับแสงแดด สารเคมีที่จะอยู่ในรูปออกไซด์ เป็นชั้นที่มีออกซิเจนละลายได้สูงสุด
2. เทอร์โมไคลน์ (Thermocline) เป็นชั้นที่น้ำมีอุณหภูมิและความหนาแน่นที่แตกต่างกัน
3. ไฮโปลิมเนียม (Hypolimnion) เป็นชั้นที่มีอุณหภูมิต่ำสุดและความหนาแน่นสูงสุดมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อยมาก สารเคมีจะอยู่ในรูปรีดิวซ์

### 9.3 การละลายของแก๊สในน้ำ

แก๊สจากอากาศ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ สามารถละลายในน้ำได้และส่งผลกระทบต่อสารเคมีและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ แก๊สเหล่านี้มีค่าความสามารถในการละลายน้อยที่ต่างกันโดยจะขึ้นกับเงื่อนไขหลายชนิด

ออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศ 20.95 % สามารถละลายลงสู่น้ำในรูปของสารละลายที่เรียกว่า Dissolved oxygen หรือ DO หรืออาจจะได้จากปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของพืชที่มีสีเขียวในน้ำ เช่น สาหร่ายด้วย ออกซิเจนที่ละลายในน้ำนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการย่อยสลายและการหายใจของพืชสีเขียวในน้ำ

ค่าการละลายของออกซิเจนที่สภาวะ 20° C 1 บรรยากาศ จะมีค่าเท่า 8.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าขีดจำกัดของน้ำที่จะละลายได้ในน้ำ กล่าวคือ ถ้ามีสารอินทรีย์จำนวน 8.11 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร ก็จะทำให้ให้ออกซิเจนหมดไป ถ้าไม่มีการเติมออกซิเจนเข้าในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในสภาวะธรรมชาติจริงๆ แล้วพบว่าม็อดค์ประกอบหลายอย่างส่งผลต่อปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำดังสรุป ได้ดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำจะเป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิของน้ำ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการละลายของแก๊สจะลดลง ดังแสดงในตาราง 9.1

2. ความดันของบรรยากาศ ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำจะแปรผันตามความดันของบรรยากาศ กล่าวคือ ถ้าความดันบรรยากาศสูงขึ้น ออกซิเจนก็จะสามารถละลายในน้ำได้มากขึ้น

ตารางที่ 9.1 ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำที่แปรค่าตามอุณหภูมิ (ที่ความดัน 760 mm)

อุณหภูมิ (°C)	Oxygen (mgL <sup>-1</sup> )
0	14.16
5	12.06
10	10.92
15	9.76
20	8.84
25	8.11
30	7.53
35	7.04

3. ความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ออกซิเจนจะละลายได้น้อยลงถ้าน้ำมีความเข้มข้นของเกลือแร่มากขึ้น หรือปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ

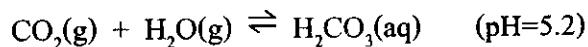
4. ค่าพีเอชในแหล่งน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะแปรผันตามค่าพีเอชของแหล่งน้ำ

ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ของน้ำในประเทศเขตร้อนทั่วไปไม่ควรจะต่ำกว่า 5 ppm นั่นคือ ค่า DO เป็นตัวเลขที่จะบอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาที่เกิดในแหล่งนี้โดยแบคทีเรียซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบใช้ออกซิเจน (aerobic system) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic system) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำเพื่อให้เหมาะสมแก่ความเป็นอยู่ของสัตว์ในน้ำ หรือกับระบบที่จะใช้กับการบำบัดน้ำเสีย

#### 9.4 ระบบคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอเนตในน้ำ

ระบบคาร์บอเนตมีผลต่อความเป็นกรด-เบสของแหล่งน้ำธรรมชาติมากเนื่องจากมีสปีชีส์ในรูปแบบต่างๆ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปสารละลาย ( $\text{CO}_2(\text{aq})$ ) กรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) ไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) และคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

ปฏิกิริยาระหว่างสปีชีส์ที่กล่าวนี้แต่ละชนิดในน้ำมีผลอย่างมากต่อความเป็นกรดเบสของแหล่งน้ำธรรมชาติต่างกันซึ่งทำให้น้ำแทบจะไม่พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 7 เลย เช่น กรดคาร์บอนิกจะละลายในน้ำทั่วไปโดยได้จากการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศลงสู่น้ำและยังได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ทำให้น้ำปกติทั่วไปมีค่าพีเอชใกล้เคียงกรดนี้ดังสมการ

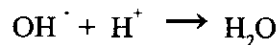


Carbonic acid

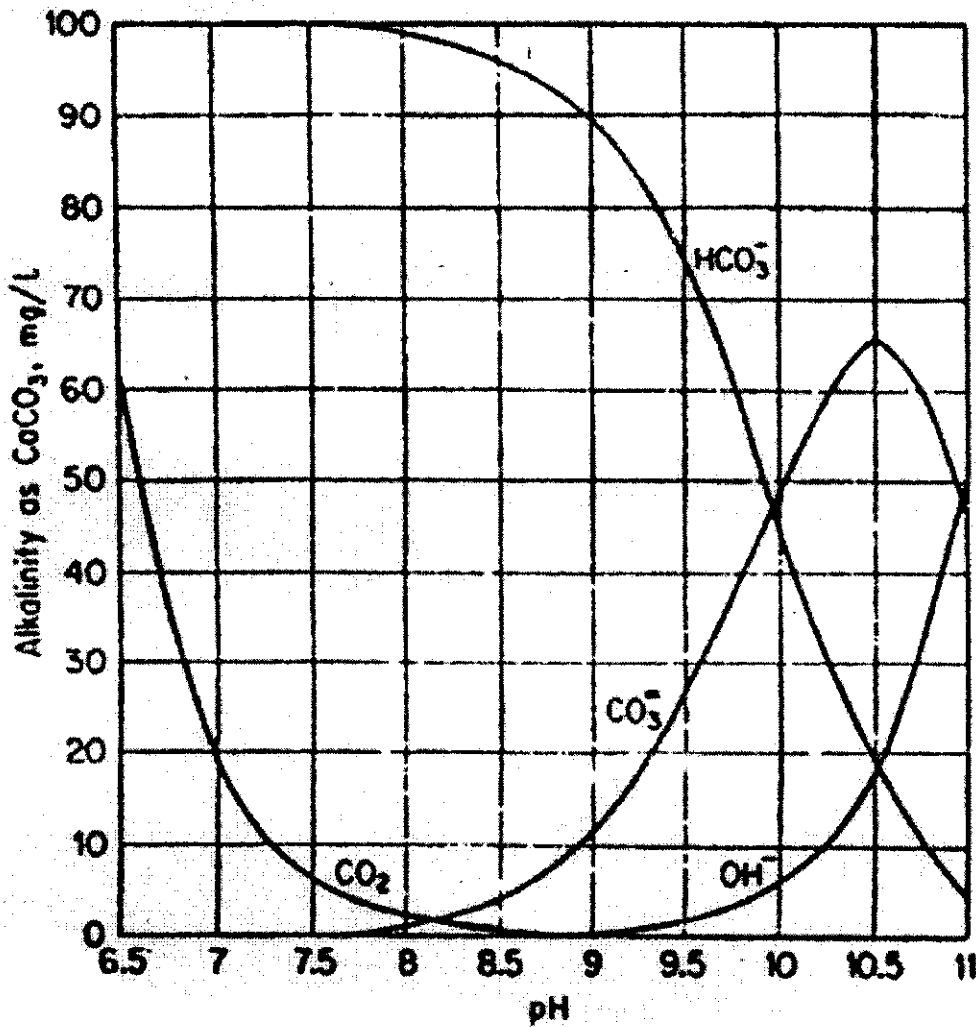
แต่ถ้าเป็นสปีชีส์อื่นก็จะมีผลต่อพีเอชน้ำต่างไปในแม่น้ำและทะเลสาบต่างๆ ฝนที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ถ้ามีคาร์บอนไดออกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่อิ่มตัว น้ำจะมีค่าก่อนไปทางด่าง โดยมีค่าพีเอชประมาณ 8.3 น้ำที่เป็นแคลคาเรียม (ละลายหินปูน) มักจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7-9 ส่วนน้ำที่ไม่เป็นแคลคาเรียมก็จะมีไบคาร์บอเนตน้อย ทำให้อ่าพีเอชจะค่อนข้างใกล้เคียงกับ 7 ยิ่งกรณีที่เป็นฝนกรด (acid rain ซึ่งมีพีเอชน้อยกว่า 5.2) ปริมาณของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตก็ยิ่งลดน้อยลงเนื่องจากถูกทำให้เป็นกลางด้วยกรดซึ่งมาจากกรดซัลฟูริกและกรดไนตริก ดังกล่าวถึงในเรื่องมลพิษทางอากาศ

## 9.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างของน้ำหมายถึง ความสามารถของน้ำในการรับโปรตอน ( $H^+$ ) เป็นค่าสำคัญที่ใช้ในเรื่องการบำบัดน้ำทิ้ง กระบวนการทางเคมีและทางชีววิทยาของแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปถ้าพบว่าน้ำมีความเป็นด่างสูงก็มักจะเป็นน้ำที่มีค่าพีเอชสูงและมีของแข็งละลายอยู่ในปริมาณมาก จึงจัดเป็นค่าที่จะบอกถึงคุณภาพของน้ำที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ได้หรือไม่อย่างไร เช่น ในกระบวนการผลิตในหม้อน้ำ หรือระบบน้ำเพื่อชุมชน สปีชีส์ทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการให้ความเป็นด่างของน้ำคือ  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  และ  $OH^-$  โดยเกิดการรับโปรตอนได้ดังสมการ



ผลของสปีชีส์ทั้ง 3 ที่ก่อให้เกิดความเป็นด่างของน้ำสามารถเขียนความสัมพันธ์กับค่าพีเอชได้ดังรูป 9.3



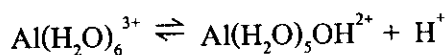
รูปที่ 9.3 การเกิดของ CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> และ CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ในน้ำที่ค่า pH ต่างๆ

### 9.6 ความเป็นกรด (acidity)

ค่าความเป็นกรดของน้ำหมายถึง ค่าที่บอกถึงความจุของน้ำที่จะสะเทินด้วย OH<sup>-</sup> ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเกิดจากกรดอ่อนได้แก่ H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O โพรตีน กรดไขมัน และ ไอออนของโลหะบางประเภทโดยเฉพาะ Fe<sup>3+</sup> แต่โดยทั่วไปแล้ว จะพบว่าภาวะน้ำที่มีค่าความเป็นกรดนี้จะพบไม่บ่อยนัก ยกเว้นกรณีที่มีปัญหามลพิษทางน้ำอย่างรุนแรง อันเกิด

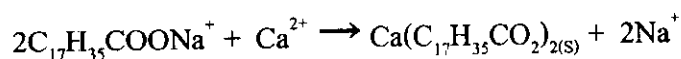


จากพวก free mineral acid (อาจเรียกว่า กรดแก่) เช่น  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HCl}$  ในน้ำ ที่ถูกปล่อยออกมาจากเหมืองแร่ นอกจากนี้ยังพบว่าพวกไอออนของโลหะที่อยู่ในน้ำก็มีผลต่อการเพิ่มความเป็นกรดของน้ำดั่งสมการ



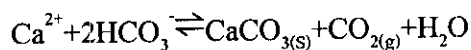
## 9.7 ความกระด้าง (Hardness)

เป็นสภาพที่น้ำไม่เกิดฟองกับสบู่และเกิดตะกอนเมื่อให้ความร้อน ซึ่งเกิดเนื่องมาจากเกลือ  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  ของ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (และบางครั้ง  $\text{Fe}^{2+}$ ) ละลายอยู่ในน้ำ โดยสภาพที่ไม่เกิดฟองกับสบู่ นั้นพบว่าจะให้ปฏิกิริยาหลักที่เป็นตะกอนจากปฏิกิริยาเกลือโซเดียมของสบู่ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca}^{2+}$  ในน้ำดั่งตัวอย่างนี้



การแสดงปริมาณของความกระด้างของน้ำนั้นจะแสดงในรูป  $\text{CaCO}_3$  โดยแบ่งประเภทของความกระด้างของน้ำได้ตามชนิดแอนไอออนที่มีอยู่เป็น 2 ประเภท คือ

1. ความกระด้างชั่วคราว (Temporary or Carbonate Hardness) เป็นความกระด้างที่เกิดเนื่องจากในน้ำมี  $\text{HCO}_3^-$  ของโลหะ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  กำจัดออกได้โดยกระบวนการต้มซึ่งเป็นกระบวนการผันกลับได้ดังนี้



และเกิดเป็นตะกอนสีขาวของ  $\text{CaCO}_{3(s)}$

2. ความกระด้างถาวร (Permanent or Non-Carbonate Hardness) เป็นความกระด้างที่เกิดเนื่องจากในน้ำมี  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{NO}_3^-$  ของโลหะ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ละลายอยู่ซึ่งจะไม่สามารถกำจัดออกได้โดยการต้ม จะต้องอาศัยสารเคมี

## เกณฑ์ที่ใช้บอกความกระด้างของน้ำมีดังนี้

ช่วงความกระด้าง (ppm CaCO <sub>3</sub> )	สภาพความกระด้าง
0-50	น้ำอ่อน
51-100	น้ำค่อนข้างอ่อน
101-150	น้ำกระด้างเล็กน้อย
151-200	น้ำกระด้างปานกลาง
201-300	น้ำกระด้าง
มากกว่า 300	น้ำกระด้างมาก

## 9.8 สารประกอบอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ

สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายของพืชและสัตว์ที่ตายลง ซึ่งได้แก่ กรดอะมิโนและโมโนแซคคาไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ที่มีเป็นส่วนน้อยคือ กรดไขมัน ไนมัน ไฮโดรคาร์บอนและสารอื่นๆ

ในซากพืชและสัตว์ที่ตายและอยู่ในน้ำจะพบว่ามีการที่อยู่ในตัวในน้ำเนื่องจากยากแก่การย่อยสลายอันได้แก่กลุ่มโพลีแซคคาไรด์ (เซลลูโลส) โปรตีน และโพลีเปปไทด์

## 9.9 สารประกอบไนโตรเจน

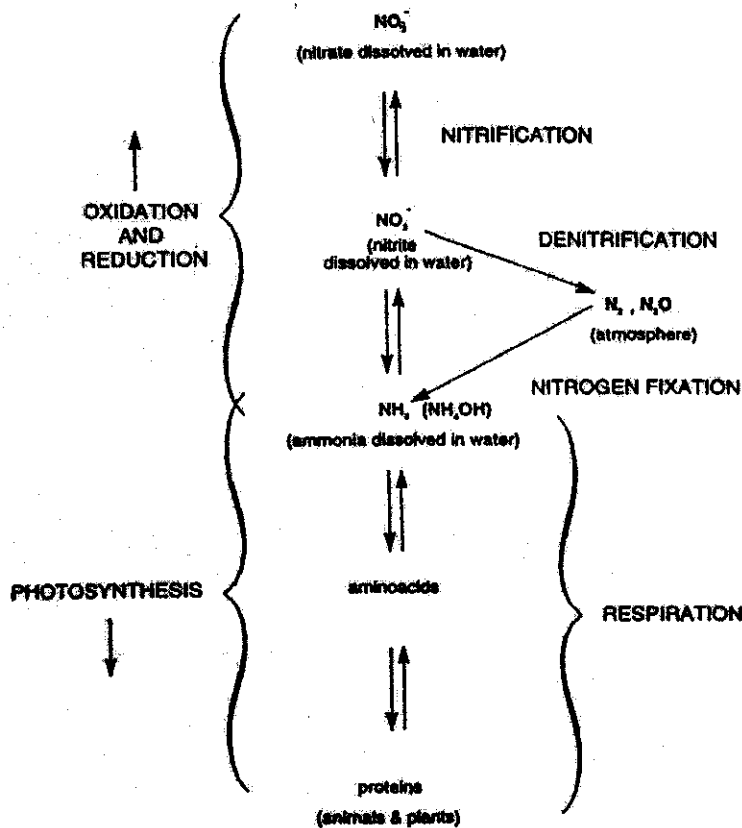
ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่ใช้ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพจำเป็นต้องมีธาตุไนโตรเจนมากพอที่ให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ โดยปริมาณที่มีของไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับค่าอื่นดังนี้คือ BOD : N : P = 100 : 5 : 1 หรือ COD : N : P = 150 : 5 : 1 ถ้าไนโตรเจนมากเกินไปก็จะก่อให้เกิดปัญหาการเติบโตของสาหร่ายที่มากเกินไป (Algae bloom) จึงจำเป็นจะต้องควบคุม

คุมให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนประเภทที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ กรดอะมิโน และ ยูเรีย

2. สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  และ  $\text{NO}_3^-$

โดยสารทั้งสองประเภทนี้ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีความสัมพันธ์ต่อกันดังสรุป ในรูปที่ 9.4 ปฏิริยาออกซิเดชันของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นเกลือไนโตรเจนจะเรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ส่วนดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) จะเกิดในทางกลับกัน และในที่สุดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ทั้งหมด



รูปที่ 9.4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบแหล่งน้ำทั่วไป

## 9.10 จุลินทรีย์ในน้ำ (Microorganisms in water)

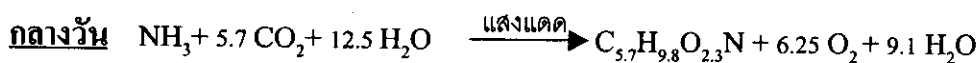
จุลินทรีย์เป็นกลุ่มของซึ่งประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ โดยจะมองเห็นได้โดยกล้องจุลทรรศน์ กลุ่มจุลินทรีย์ในน้ำมีทั้งสัตว์ พืช และพวกโปรทิสตา ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรีย (Bacteria) สาหร่าย (Algae) ฟังไจ (Fungi) และโปรโตซัว (Protozoa) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแบคทีเรีย สาหร่าย และฟังไจ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในเรื่องของน้ำมากที่สุด

แบคทีเรีย แบ่งตามความต้องการออกซิเจนแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. Aerobic bacteria เป็นพวกที่ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต
2. Anaerobic bacteria เป็นพวกที่เจริญเติบโตในที่ไม่มีออกซิเจนโดยไอออนไนเตรทและไอออนซัลเฟตแทนการใช้ออกซิเจน
3. Facultative bacteria เจริญเติบโตได้ทั้งภาวะที่มีออกซิเจนและในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยสารที่มีสมบัติเป็นตัวออกซิเดนต์อื่นๆ
4. Microaerophiles เจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีออกซิเจนเล็กน้อย แต่ไม่เจริญเติบโตเลยในที่ไม่มีออกซิเจน
5. Aerotolerant anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถใช้ออกซิเจนช่วยในการเจริญเติบโต

### สาหร่าย

มีสูตรเคมีอย่างง่าย  $C_5H_9O_2N$  เป็นประเภทเซลล์เดียวและหลายเซลล์ ให้ออกซิเจนในระบบที่มีการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยออกซิเจน ปฏิกริยาชีวเคมีที่เกิดจากสาหร่ายมีดังนี้



## ฟังใจ

ช่วยบำบัดน้ำเสียได้เหมือนแบคทีเรียแต่ย่อยสลายเฉพาะสารอินทรีย์ที่ตายแล้ว มีหลายเซลล์ซึ่งไม่มีการสังเคราะห์แสง ขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย เจริญเติบโตได้ในที่ที่มีอาหารน้อย พิเศษและความชื้นต่ำ

### 9.11 สารมลพิษทางน้ำ (water pollutants)

ชนิดของ water pollutants แบ่งได้เป็นหลายแบบในที่นี้จะแบ่งเป็น 10 ชนิด ดังนี้

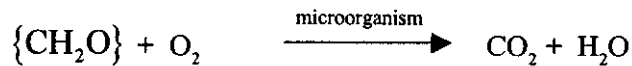
- 9.11.1 สารที่ใช้ออกซิเจนในน้ำ
- 9.11.2 เชื้อโรค
- 9.11.3 ดินตะกอน
- 9.11.4 สารอาหารของพืช
- 9.11.5 ฟิซีบีและไดออกซิน
- 9.11.6 สบู่และผงซักฟอก
- 9.11.7 น้ำมัน
- 9.11.8 สารอนินทรีย์และแร่ธาตุ
- 9.11.9 สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์
- 9.11.10 สารกัมมันตรังสีและความร้อน

#### 9.11.1 สารที่ใช้ออกซิเจนในน้ำ (Oxygen demand Substances is water )

ความต้องการออกซิเจน (Oxygen demand)

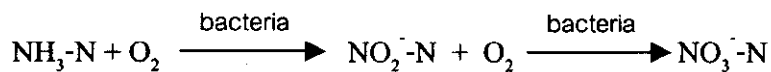
สารประกอบที่ปนเปื้อนมากับน้ำมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ไม่เสถียร จึงต้องอาศัยหรือใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำเพื่อให้สารเหล่านี้กลายเป็นสารที่อยู่ต่อหรือเสถียรมากขึ้น สิ่งปนเปื้อนที่ต้องใช้ออกซิเจนในน้ำแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. สารอินทรีย์คาร์บอน ได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน น้ำมัน และไขมัน ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและใช้ออกซิเจนดังสมการ การย่อยสลายที่เขียนทั่วไปของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต

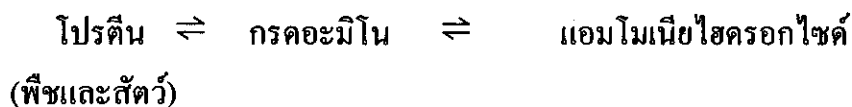


โดยพบว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนนี้จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพวกน้ำมันและไขมัน สารอินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนทั่วไปนั้นมาจากพืชหรือสัตว์ที่ตายและสลายเป็นซากพืชและสัตว์ (detritus) ในแหล่งน้ำซึ่งต้องการออกซิเจนในการสลายตัวดังสมการ

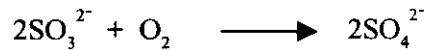
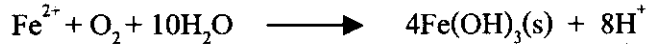
2. สารประกอบไนโตรเจน ในแหล่งน้ำจะมีสารประกอบไนโตรเจนทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่โปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งมีในแหล่งน้ำได้แก่ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) โดยพบว่าในสภาพของน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่มาก แอมโมเนียจะใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ในสภาวะที่มีไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนไนเตรตไอออน นิยมเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Nitrification ซึ่งเกิดดังนี้



สารประกอบไนโตรเจนแอมโมเนียในแหล่งน้ำจะอยู่รูปแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) พบว่าส่วนหนึ่งที่พบในแหล่งน้ำคือได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของสารประกอบโปรตีนที่มีในซากพืชและสัตว์ที่ตายในน้ำกลายเป็นกรดอะมิโน (amino acid) และสลายตัวเป็นสารประกอบแอมโมเนียไฮดรอกไซด์สรุปได้ดังนี้

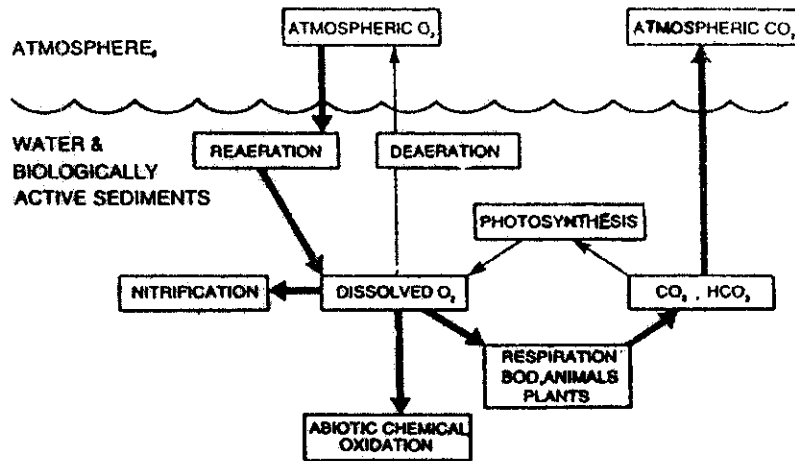


3. สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำที่อยู่ในรูปที่จะสามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น เหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) และซัลไฟท์ ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) ซึ่งจะใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้



ในกรณีนี้จะเกิดเฉพาะในเงื่อนไขที่มีออกซิเจนเพียงพอและมีจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่เรียกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic conditions)

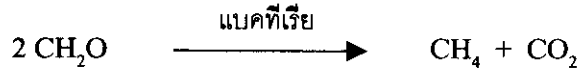
อิทธิพลของสารเคมีในแหล่งน้ำโดยเฉพาะ 3 ประเภทแรกมีผลต่อการลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยตรง ดังสรุปในรูป 9.5



รูปที่ 9.5 การเปลี่ยนรูปของออกซิเจนในแหล่งน้ำ

ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำตัวอย่างที่ชัดเจนเช่นที่ได้ที่ท้องทะเลสาบลึกก็จะเป็นสภาวะที่เรียกว่าไร้ออกซิเจน (Anaerobic conditions) ถ้ามีสารอินทรีย์ที่ละลาย

ตงสู่แหล่งน้ำแบบที่เรียกที่มีอยู่ในเงื่อนไขนี้ก็จะเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และในที่สุดจะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนดังสมการ



เนื่องจากมีเทนไม่ละลายน้ำ จึงกลายเป็นฟองแก๊ส แล้วระเหยเป็นไอก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ที่เรียกว่าภาวะการเน่าเสียของน้ำนั่นเอง

ปกติแล้วในท้องน้ำของทะเลสาบจะพบว่ามีอุณหภูมิร้อนน้ำจะอยู่ในเงื่อนไขที่เป็นทั้งแบบมีและไร้ออกซิเจน กล่าวคือน้ำชั้นบนจะอุ่นกว่าและมีออกซิเจนมากกว่าจึงเป็นแบบมีออกซิเจน ส่วนชั้นล่างจะเย็นกว่าและมีออกซิเจนน้อยจึงเป็นสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งพบว่านอกจากจะให้สารมีกลิ่นคังมีเทนยังก่อให้เกิดสารในแบบอื่น ๆ สรุปเปรียบเทียบรูปแบบน้ำที่อยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนได้ดังนี้

ชนิดของธาตุ	ภาวะที่มีออกซิเจน (รูปออกซิไดส์)	ภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (รูปรีดิวส์)
ธาตุคาร์บอน	$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{CO}_3, \text{HCO}_3^-$	$\text{CH}_4$
ธาตุกำมะถัน	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{S}$
ธาตุไนโตรเจน	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_3, \text{NH}_4^+$
ธาตุเหล็ก	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

BOD (Biochemical oxygen demand) คือปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ย่อยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยทั่วไปจะใช้เป็นตัววัดความสกปรกของแหล่งน้ำ จากการทดลองหาปริมาณออกซิเจนที่น้ำเสียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ  $20^\circ \text{C}$  5 วัน หรือเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\text{BOD}_5^{20} = \text{DO}_0 - \text{DO}_5$$

$\text{BOD}_5^{20}$  ค่าการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่อุณหภูมิ  $20^\circ \text{C}$  เป็นเวลา 5 วัน

$\text{DO}_0$  ค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำเมื่อเริ่มต้น

$\text{DO}_5$  ค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำเมื่อผ่านไป 5 วัน



ถ้าค่า BOD นี้ต่ำ น้ำที่วัดจะเป็นน้ำสะอาด แต่ถ้าค่า BOD สูง แสดงว่าเป็นน้ำที่สกปรก ค่าน้ำดีทั่วไป BOD ประมาณ 1 ppm ส่วนน้ำบริโภคน้ำ BOD ประมาณ 3 ppm ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะกำหนดให้มีค่าไม่มากกว่า 20 ppm

ในแหล่งน้ำทั่ว ๆ ไป จะศึกษาการลดลงของออกซิเจนในน้ำ (Deoxygenation) ได้เมื่อมีการเติมสารชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นกราฟที่เรียกว่า Oxygen sag curve ดังรูปที่ 9.6 ซึ่งภายหลังจากที่มีการปนเปื้อนแล้วค่าน้ำจะแบ่งเป็นตามเวลาหรือระยะทางได้เป็น 5 ระยะ คือ

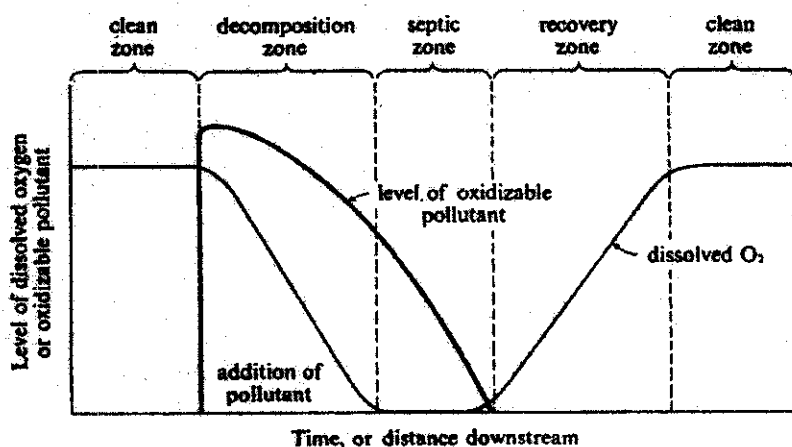
ระยะแรก ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved  $O_2$ ; DO) จะมีค่าสูงและคงที่เรียกว่า Clean zone

ระยะสอง สารเริ่มมีการใช้ออกซิเจนในกระบวนการออกซิเดชัน ทำให้ค่า DO เริ่มลดลง เนื่องจากไม่สามารถรับออกซิเจนใหม่ได้ เรียกระยะนี้ว่า Decomposition zone

ระยะสาม เรียกว่า Septic zone แยกที่เรียกจะสูงและระดับค่า DO จะต่ำมากที่สุด และสารที่ถูกออกซิไดส์ก็จะถูกย่อยหมดไป

ระยะสี่ Recovery zone ปริมาณ DO เริ่มเพิ่มขึ้น แยกที่เรียกเริ่มทำงานน้อยลง

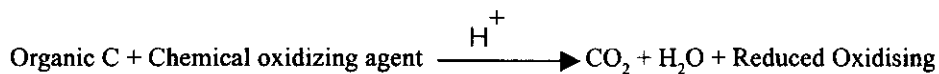
ระยะห้า Clean zone เป็นการเพิ่มของ DO กลับเท่ากับตอนเริ่มต้นอีก



รูป 9.6 Oxygen sag curve resulting from the addition of oxidizable pollutant

**COD (Chemical oxygen demand)** คือค่าที่ใช้วัดความสกปรกของน้ำ โดยบอกเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถที่จะถูกออกซิไดส์ได้โดยตัวออกซิไดส์อย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด พร้อมทั้งพวกกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจน และสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท

หลักการหาค่า COD จะเหมือน BOD ต่างที่ว่าการย่อยสลายสารกรณี BOD จะใช้แบคทีเรียซึ่งใช้เวลา 5 วัน อุณหภูมิ 20° ซ ส่วน COD จะใช้ตัวออกซิไดส์ที่แรงในสภาวะที่เป็นกรดและใช้เวลาน้อยกว่า คือ น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ดังสมการ



ปกติแล้ว ค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ COD สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนโดยไม่ต้องอาศัยการดูดซึมทางชีวะ ซึ่งใช้เวลาและเงื่อนไขมากกว่า ในการวัดค่าความสกปรกของน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ข้อมูลของ COD เป็นส่วนมาก เนื่องจากกระทำได้รวดเร็วและค่าที่ได้น่าเชื่อถือมากกว่า แต่ข้อเสียคือไม่สามารถใช้แยกค่าสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ทางชีวะได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูล COD อาจจะใช้บอกค่า BOD ได้อย่างคร่าว ๆ จากการพล็อตกราฟระหว่าง COD และ BOD เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง

### 9.11.2 เชื้อโรค (Disease)

คือพวกเชื้อโรคซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางชีววิทยา ได้แก่

1. Coliform เป็นตัวชี้ที่จะบอกได้ว่าน้ำมีการปนเปื้อนของอุจจาระหรือไม่ (โดยการตรวจเชื้อ E. Coli)
2. Pathagenic Bacteria คือพวกที่ทำให้เกิดโรคซึ่งมีในน้ำเสีย ได้แก่ Salmonella typhi ซึ่งทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ Shigella sp. ทำให้เกิดโรคบิด การตรวจสอบ

ทำได้ยุ่งยากเนื่องจากมีชีวิตสั้นและมีสปอร์ ถ้าตรวจสอบไม่พบในครั้งแรกควรทำการทิ้งไว้และตรวจสอบต่อภายหลัง

### 9.11.3 ดินตะกอน (Sediment)

ไม่ได้เกิดพิษแบบโลหะหนักหรือยาฆ่าแมลง แต่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่คุณภาพชีวิตของคนและสัตว์  
กิจกรรมมนุษย์ที่ก่อให้เกิด ได้แก่

1. การพัฒนาด้านการเกษตรกรรม
2. การสร้างถนนและสิ่งก่อสร้าง
3. การทำเหมืองเปิด

จากธรรมชาติ จะเกิดได้จากการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

ผลกระทบ

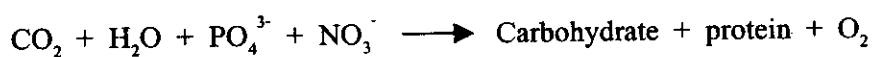
1. ทำให้แหล่งน้ำเกิดความตื้นเขิน
2. ทำอันตรายต่อสัตว์น้ำ ในแง่การทำลายแหล่งอาหารและที่พักไข่
3. ทำให้น้ำเกิดการขุ่น ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ
4. แสงสว่างที่จะส่องลงน้ำทำให้พืชสังเคราะห์แสงได้น้อยลง และมีผลต่อ

ปริมาณออกซิเจน

5. มีผลต่อการหาอาหารของสัตว์น้ำเนื่องจากมองไม่เห็น

### 9.11.4 สารอาหารของพืช (Plant Nutrients)

สารอาหารหลักที่สำคัญที่พืชน้ำจะต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงคือ



นอกจากนี้พืชยังต้องการสารอาหารอื่น ๆ อีก ได้แก่ K, Ca, Mg, S, P, N, C แต่ในแง่ที่เกี่ยวข้องกับสารพิษทางน้ำจะสนใจ ไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า Eutrophication ซึ่งเป็นสภาวะที่มีสารอาหารในน้ำโดย

เฉพาะ  $\text{PO}_4^{3-}$  และ  $\text{NO}_3^-$  เพิ่มมากทำให้พีชน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย เจริญเติบโตได้เร็วมากปกคลุมผิวน้ำอย่างรวดเร็ว เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดลงของ  $\text{O}_2$  จากอากาศ เนื่องจากคลุมผิวน้ำจึงเพิ่มการใช้  $\text{O}_2$  ในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดภาวะการขาด  $\text{O}_2$  ในแหล่งน้ำ ขัดขวางการสัญจร ฯลฯ

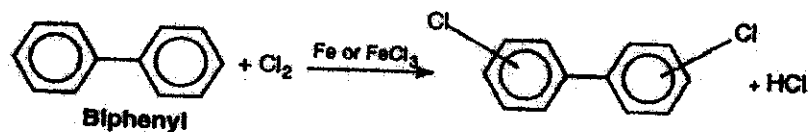
กรณีฟอสฟอรัสนั้นจะสามารถควบคุมปริมาณง่ายกว่าไนโตรเจนเนื่องจากส่วนใหญ่มาจากบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม(เช่น ผงซักฟอก) ซึ่งเป็นแบบจุด (Point sources) แต่ไนโตรเจน แหล่งใหญ่จะมาจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ปุ๋ย น้ำล้างจากกระบวนการผลิตนมซึ่งมีแหล่งปล่อยแบบไม่เป็นจุด (nonpoint sources) จึงควบคุมได้ยากกว่า

สารประกอบฟอสฟอรัสเข้าปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำโครกได้จาก

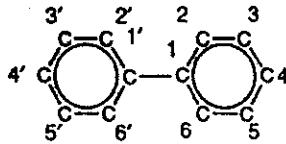
1. domestic sewage ได้แก่งจากบ้านเรือน ซึ่งมีการใช้ผงซักฟอก (ในรูปฟอสเฟตหรือโพลีฟอสเฟต)
2. industrial sewage ได้แก่งจากอุตสาหกรรม ได้แก่งจากโรงงานที่มีการใช้น้ำจากหม้อต้มน้ำที่มีการเติม complex phosphate เพื่อไม่ให้เกิดตะกรัน
3. agricultural sewage ได้แก่งจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร (ในรูปของออร์โธฟอสเฟต)

### 9.11.5 พีซีบีและไดออกซิน (Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Dioxins)

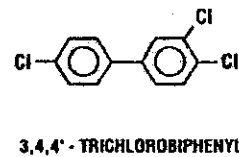
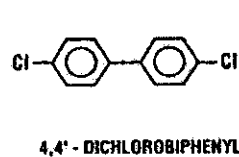
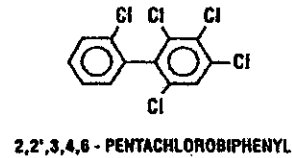
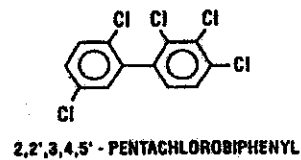
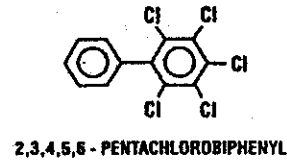
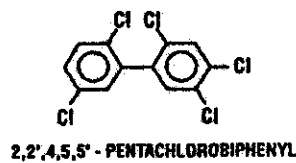
พีซีบี (PCBs) ถูกผลิตมาใช้โดยมีชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น Arochlor, chlophen, Kanechlor และ Fenclor มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก หมึกพิมพ์ โดยเริ่มทำการผลิตที่อเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1929 จนถึงปี 1960 และ 1970 พบว่าเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม การผลิต พีซีบีเกิดจากปฏิกิริยาของการเติมคลอรีนในไบฟีนิล (Biphenyl) โดยมีเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) เป็นตัวเร่งดังปฏิกิริยาดังนี้



ตำแหน่งของคลอรีนอะตอมจะถูกเรียกตามหมายเลขของคาร์บอนอะตอมที่อยู่ในวงของฟีนิล  
ดังนี้

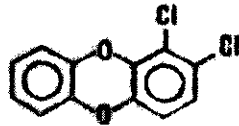


ตัวอย่างของสารพีซีบีในสิ่งแวดล้อมดังในรูปที่ 9.7

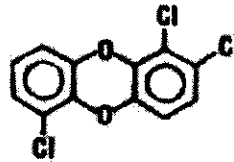


**รูปที่ 9.7** Molecular structures and names of some pentachlorobiphenyl isomers, and other PCB congeners.

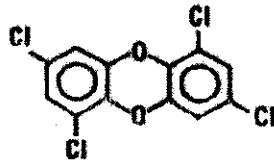
ไดออกซิน (Dioxin) เป็นชื่อทั่วไปที่ใช้เรียกรวมสารประกอบกลุ่ม polychlorinated dibenzodioxin (PCDDs) และรวมถึงหมู่สารที่เป็น polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) ดังแสดงในรูปที่ 9.8



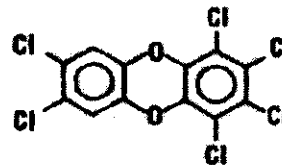
1,2 - DICHLORODIBENZO(1,4)DIOXIN



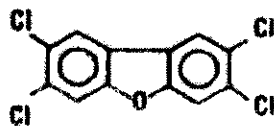
1,2,8 - TRICHLORODIBENZO(1,4)DIOXIN



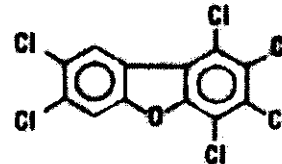
1,3,6,8 - TETRACHLORODIBENZO(1,4)DIOXIN



1,2,3,4,7,8 - HEXACHLORODIBENZO(1,4)DIOXIN



2,3,7,8 - TETRACHLORODIBENZOFURAN



1,2,3,4,7,8 - HEXACHLORODIBENZOFURAN

รูปที่ 9.8 Molecular structures and names of some dioxin and PCBF congeners.

แหล่งที่มาของไดออกซิน แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. จากกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวกับคลอรีน เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสารประกอบออร์แกโนคลอรีน (organochlorise)

2. จากกระบวนการเผาไหม้ เช่น การเผาขยะที่มีพวกถ่านหิน สารพีซีบี ยาปราบศัตรูพืชที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700° เซนติเกรด

การกระจายในสิ่งแวดล้อม

ทั้งพีซีบีและไดออกซินละลายน้ำได้น้อย และจะยิ่งละลายได้น้อยลงเมื่อมีจำนวนอะตอมของคลอรีนเพิ่มมากขึ้น นั่นคือเมื่อสารทั้งสองมีโอกาสลงสู่น้ำก็อาจจะมีโอกาสกระจายสู่สิ่งแวดล้อมในน้ำดังนี้

1. ดูดซับที่ดินที่อยู่ด้านใต้

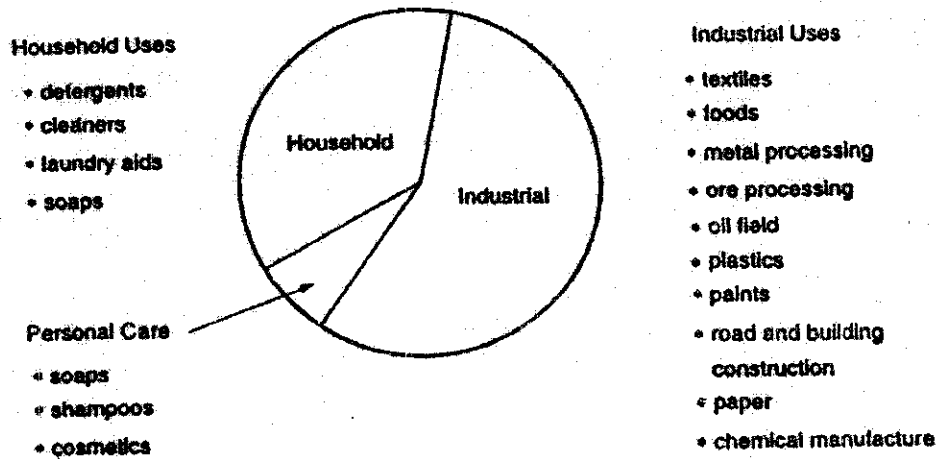
2. แฉวนลอยอยู่ในน้ำ

3. ระเหยจากน้ำไปสู่บรรยากาศแล้วเกิดการเปลี่ยนต่อโดยทำปฏิกิริยากับแสง  
พีซีบีมักพบว่ามีสารปนเปื้อนมากที่สุดในมหาสมุทร โดยพบว่า 60 % ของพีซีบีที่  
ถูกนำมาใช้ในโลกลงอยู่ในน้ำทั้งหมด ส่วนไดออกซินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแฉวนลอย  
รวมกับของแข็งและของเหลวในบรรยากาศ (particulates)

พิษของสารทั้งสองนี้มักเป็นแบบเรื้อรัง เช่น PCB ทำให้เกิดโรค chloracne คือเป็น  
เนื้องอกบนร่างกายมนุษย์ และเชื่อว่ามีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์มนุษย์และทำให้ภูมิคุ้มกันลดลง

### 9.11.6 สบู่และผงซักฟอก (Soaps and Detergents)

กระบวนการซักล้างของคนเราปัจจุบันประกอบด้วยการใช้ผงซักฟอก ถ้วยซักผ้าในบ้านและ  
อื่นๆ จะต้องพึ่งพาสารซักล้างต่างๆ ได้แก่ สบู่ ผงซักฟอก ในปี ค.ศ. 1994 ข้อมูลจากอเมริกาพบ  
ว่าในปริมาณสารซักล้างทั้งหมด  $4 \times 10^9$  กิโลกรัมจะมีใช้สบู่เป็น 5% ปริมาณการใช้ทั้งหมดคัง  
สรุปในรูปที่ 9.9

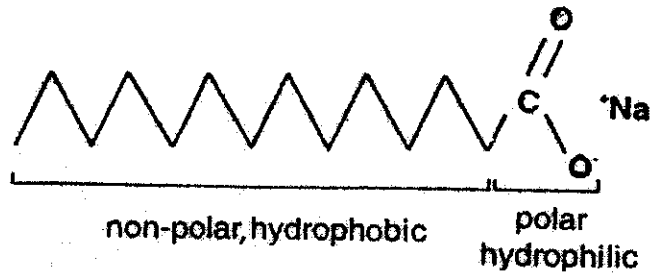


รูปที่ 9.9 แสดงสัดส่วนการใช้สารลดแรงตึงผิว

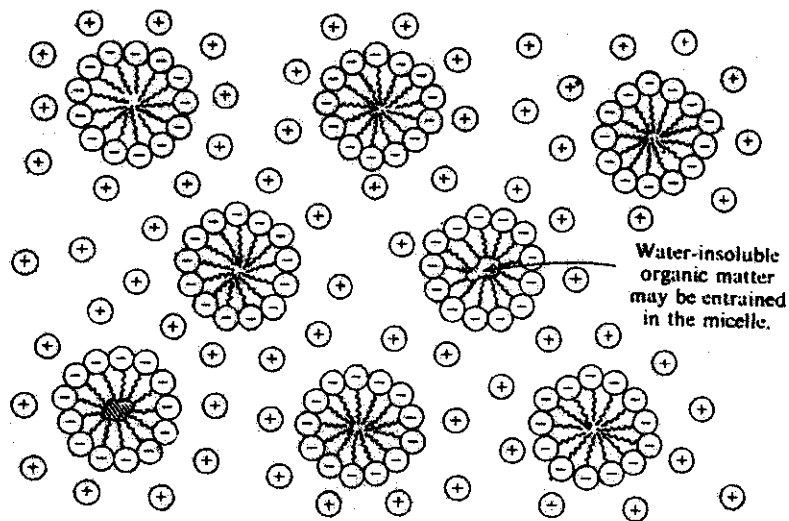
### สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

ทั้งสบู่และผงซักฟอกประกอบด้วยสารสำคัญที่มีผลต่อการซักล้างที่เรียกว่าสาร  
ลดแรงตึงผิว โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะมี 2 ส่วนซึ่งมีสมบัติต่างกัันดังรูป คือ  
ไฮโดรคาร์บอนที่ต่อกันเป็นโซ่ยาวเปิดเป็นส่วนหางกลุ่มไอออนิกคาร์บอกซิลจะเรียกว่า

ส่วนหัวซึ่งจะชอบน้ำ (hydrophilic) จึงจะอยู่ในน้ำ แต่ส่วนหาง (ไฮโดรคาร์บอน) ซึ่งไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จะชอบสารที่ไม่มีขั้ว เช่น สิ่งสกปรกที่เป็นไขมัน น้ำมัน ดังรูป



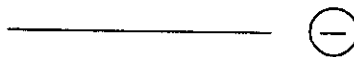
เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายได้หมดแล้วก็จะส่งผลให้เกิดเป็นไมเซลล์ (micells) ที่มีผลต่อการซักล้าง ดังรูปที่ 9.10 โดยหนึ่งไมเซลล์เล็กๆ นี้จะประกอบด้วยกลุ่มไอออนิกคาร์บอกซิล 50-100 หน่วย



รูป 9.10 Colloidal soap micelles

สารลดแรงตึงผิวแบ่งได้อย่างกว้างๆ เป็น 4 พวกตามประจุของส่วนที่เป็นขั้วที่ชอบน้ำเมื่อละลายน้ำ ดังนี้

1. แอนไอออนิก (Anionic) เมื่อละลายน้ำแล้วแสดงประจุลบได้แก่สบู่ ผงซักฟอกในรูปของแข็ง





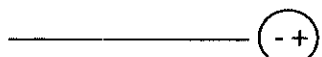
2. แคทไอออนิก (Cationic) เมื่อละลายน้ำแล้วแสดงประจุบวก เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้มากในน้ำยาปรับสีผ้านุ่ม ยาม่าเชียวโรคและครีมนวดผม



3. นอนไอออนิก (Nonionic) เมื่อละลายน้ำแล้วไม่แสดงประจุเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ทำผงซักฟอกประเภทที่เป็นของเหลว



4. แอมโฟเทริก (Amphterics) เมื่อละลายน้ำแล้วแสดงประจุทั้งบวกและลบ ใช้มากในเครื่องสำอาง แชมพูสระผม



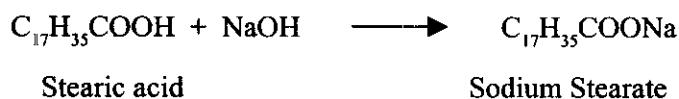
ตัวอย่าง ชนิดสารลดแรงตึงผิวทั้งสี่แบบแสดงในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงสารลดแรงตึงสังเคราะห์ทั้ง 4 แบบ

Common name	Structure	
<b>Anionics</b>		
Carboxylates (soaps)	$R-CH_2-COO^-Na^+$	$R = C_{10-18}$
Linear alkylbenzene sulfonates (LAS)	$R-\text{C}_6\text{H}_4-SO_3^-Na^+$	$R = C_{10-13}$
Alcohol sulfates	$R-CH_2-OSO_3^-Na^+$	$R = C_{11-17}$
Alcohol ether sulfates	$R-O(CH_2CH_2O)_nSO_3^-Na^+$	
<b>Nonionics</b>		
Fatty alcohol ethoxylates	$R-(OCH_2CH_2)_nOH$	$R = C_{8-18}$ $n = 9-70$
Alkyl glucosides		$R = C_{12-16}$ $n = 1-4$
<b>Cationics</b>		
A quaternary ammonium chloride		$R = C_{10-16}$
<b>Amphoterics</b>		
A sulfobetaine		$R = C_{11-15}$

สบู่

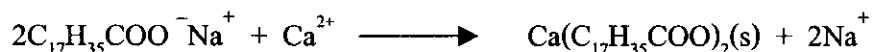
สบู่คือเกลือโซเดียมของกรดไขมันซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก ( $C_{17}H_{35}COOH$ ) กับด่างแก่เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



สบู่จัดเป็นสารลดแรงตึงผิวโดยมีไอออนสเตริยเรทเป็นส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ เนื่องจากไม่มีขั้ว และมีไอออนิกคาร์บอกซิลซึ่งมีประจุลบเป็นส่วนหัวที่ชอบน้ำเนื่องจากมีขั้ว จึงเรียกสารลดแรงตึงผิวจากสบู่ว่าเป็นกลุ่มสารลดแรงตึงผิวแอนไอออนิก (Anionic surfactant)

### ผงซักฟอก (Detergents)

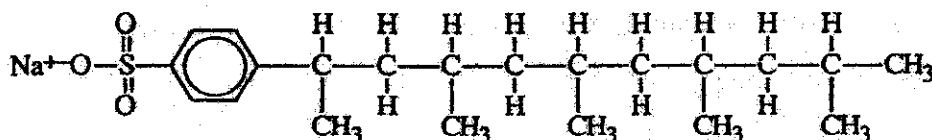
เนื่องจากสบู่มีข้อเสียในการใช้งานหลายประการ เช่น ในน้ำมีสภาพเป็นกรดจะเกิดเป็นกรดไขมันที่ไม่ละลายน้ำจึงไม่เกิดผลในแง่สารลดแรงตึงผิว หรือการละลายได้น้อยลงเมื่ออยู่ในน้ำทะเลซึ่งมีไอออนโซเดียมอยู่ ที่เกิดผลมากคือในน้ำกระด้างจะให้เกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมของกรดไขมันดังกล่าว



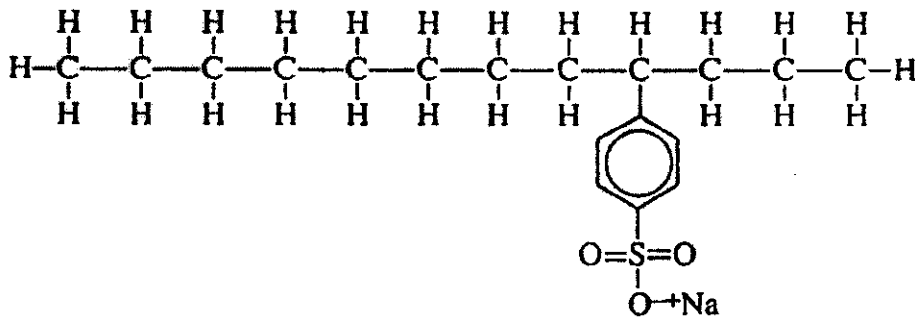
เกลือที่เกิดนี้มีผลทำให้ผลการซักล้างลดลงและยังก่อให้เกิดคราบติดในเสื้อผ้าและเครื่องซักผ้าด้วย จึงมีการสังเคราะห์ผงซักฟอกซึ่งมีข้อดีในการใช้มากกว่าสบู่ในรูปสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์

สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ชนิดที่ผลิตออกมาใช้กว้างขวาง คือ alkylbenzene sulfonates (ABS) โดยใช้ alkylbenzene เป็นสารตั้งต้น

สูตร ABS ทั่วไปเป็นดังนี้



จากสูตร ABS พบว่าเมื่อถูกนำมาใช้ในสิ่งแวดล้อมจะเกิดการย่อยสลายที่ช้ามาก ๆ ตามธรรมชาติเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นกิ่งก้าน ฟองของ ABS ที่อยู่ตัวมีผลทำให้ขัดขวางระบบการบำบัดน้ำเสียกล่าวคือไปลดแรงตึงผิวของน้ำจึงมีผลให้ของแข็งที่มากับน้ำเกิดการลอยตัวเกิดการแขวนลอยของน้ำมันและกรีซ อีกทั้งยังมีผลต่อระบบการทำงานของแบคทีเรียในน้ำด้วย จึงมีผลให้เกิดการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวกลุ่มใหม่คือ LAS (Linear alkylbenzene sulfonate) มีสูตรดังนี้



ข้อดีของ LAS คือจะสามารถเกิดกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติ (Biodegradation) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนที่เป็นขั้วที่ไม่ชอบน้ำก็จะเริ่มออกซิไดส์ที่คาร์บอนตัวริมสุดได้เป็นกลุ่มของคาร์บอกซิล โดยแต่ละครั้งของการออกซิเดชันคาร์บอนจะหลุดไปจากโซ่ครั้งละสองตัว จนในที่สุดวงแหวนจะถูกเปิดให้เป็นสารประกอบสุดท้ายคือ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  และ biomass

ผงซักฟอกมีสารประกอบหลักคือ สารลดแรงตึงผิว 50 % สารส่วนอื่นๆอีกประมาณ 50 % จะเป็นสารอนินทรีย์ที่ช่วยให้ผงซักฟอกทำงานได้ดีมากขึ้น สารอนินทรีย์อื่นๆที่เติมในผงซักฟอก ได้แก่

1. สารเติมแต่ง (builders) เติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการซักฟอกของผงซักฟอกคือ

- 1.1 แก้ความเป็นด่างของน้ำ โดยรวมตัวเป็น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  และ  $\text{Ba}^{2+}$  ในน้ำ

- 1.2 ทำให้สารละลายเป็นด่างเนื่องจากผงซักฟอกจะใช้งานได้ดีในสภาวะเป็นด่างที่มีค่าพีเอชมากกว่า 9

1.3 ช่วยทำให้สิ่งสกปรกแขวนลอยได้ดีและถูกกำจัดออกไปได้

สารหลักพวกนี้ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต หรือ STPP ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) ซึ่งมีฟอสฟอรัสอยู่ในสารประกอบจึงทำให้ผงซักฟอกมีผลต่อการเกิด Eutrophication ดังได้กล่าวไว้แล้ว

2. สารที่ใส่เพื่อให้ผ้าดูขาวมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารเคมีที่สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและปล่อยแสงสีฟ้าออกมาทำให้ผ้าดูขาวขึ้น สารเคมีพวกนี้ได้แก่ คอมเพลกซ์ สติลบิน (Complex Stilbene) ซึ่งจะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและปล่อยแสงสีฟ้าช่วงที่ตามองเห็นได้

3. สารที่ใส่เพื่อไม่ให้ความสกปรกกลับไปสู่ที่ผ้าอีก สารทั่วไปที่ใช้คือ Sodium carboxyl cellulose (CMC)

4. สารฟอกขาวที่ใช้มากได้แก่ Sodium perborate ( $\text{NaBO}_3$ ) อย่างอื่นที่ใช้บ่อยกว่าคือเกลือโซเดียมหรือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ( $\text{NaOCl}$  หรือ  $\text{Ca(OCl)}_2$ ) เนื่องจากทำลายเนื้อผ้าด้วยขณะใช้

5. เอนไซม์ใส่เพื่อทำลายคราบสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนเนื้อผ้าอย่างหนาแน่น เช่น proteases จะไฮโดรไลซ์คราบพวกโปรตีน amylases ใช้ไฮโดรไลซ์พวกคราบแป้ง lipases ใช้ไฮโดรไลซ์ไขมันและน้ำมัน

6. สารอื่นๆ ได้แก่ น้ำหอม สารเพิ่มฟอง ฯลฯ

### ผลของสบู่และผงซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม

สบู่และผงซักฟอกไม่มีผลต่อสัตว์เลื้อยถูกด้วยนม โดยเฉพาะคนในแง่ความเป็นพิษแบบกิน (oral toxicity) แต่จะมีผลในสัตว์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งพบว่าจะฆ่าพวกแบคทีเรียและสาหร่ายในน้ำได้ โดยเฉพาะประเภทแคทไอออนิก

แต่อย่างไรก็ตามผงซักฟอกจัดเป็นสารที่ปลดออกซิเจนในน้ำและก่อให้เกิดปัญหาของ Eutrophication ดังได้กล่าวก่อนหน้าแล้ว

### 9.11.7 น้ำมัน (Oil)

น้ำมันที่เป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อมคือปิโตรเลียม (Petroleum) เนื่องจากมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักทั้งยานพาหนะ เรือ และเครื่องบิน

#### สมบัติทางเคมีของปิโตรเลียม



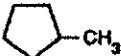
ปิโตรเลียมเหลวเกิดเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของพืชและสัตว์เป็นเวลานานเป็นล้านปี มีลักษณะเป็นน้ำมันติดไฟได้และสารประกอบหลักคือไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) ที่เหลือจะเป็นกลุ่มอื่นๆ (non-hydrocarbons)

กลุ่มไฮโดรคาร์บอน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบหรือปิโตรเลียม นั้นพบว่าค่อนข้างซับซ้อนและไม่แน่นอน แต่ทุกๆ ไปแล้วพบว่าประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน 50-90% โดยจะเป็นไฮโดรคาร์บอนประมาณ 200 ชนิด ส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (saturated hydrocarbon) ซึ่งได้แก่ n-alkanes, branched alkanes และ cycloalkanes ที่เหลือจะเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromatics) สำหรับไฮโดรคาร์บอนประเภทไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbons) นั้นมีน้อยมาก ดังรูปที่ 9.11


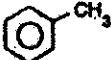

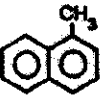

### ALKANES

Methane	$\text{CH}_4$
n - Hexane ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$
n - Triacontane ( $\text{C}_{30}\text{H}_{62}$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{28}\text{CH}_3$
2 - Methylpentane ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Phytane ( $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ )	$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_3 & \text{CH} & (\text{CH}_2)_2 & \text{CH} & (\text{CH}_2)_3 & \text{CH} & (\text{CH}_2)_2 & \text{CH} & \text{CH}_2 & \text{CH}_3 \\   & & &   & &   & &   & & \\ \text{CH}_3 & & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & & \text{CH}_3 & & \end{array}$

### CYCLOALKANES

Cyclopentane ( $\text{C}_5\text{H}_{10}$ )	
Cyclohexane ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ )	
Methylcyclopentane ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ )	

### AROMATICS

Benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )	
Toluene ( $\text{C}_7\text{H}_8$ )	
Tetrafin ( $\text{C}_{10}\text{H}_{12}$ )	
1 - Methylnaphthalene ( $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$ )	
Acenaphthene ( $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$ )	

รูปที่ 9.11 Structures of typical hydrocarbons found in petroleum samples.

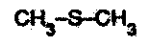
นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มอื่นๆ อีกดังแสดงในรูปที่ 9.12

## SULPHUR CONTAINING COMPOUNDS

Ethanthiol ( $C_2H_6S$ )



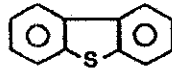
Dimethylsulphide ( $C_2H_6S$ )



Thiacyclohexane ( $C_5H_{10}S$ )



Dibenzothiophene ( $C_{12}H_8S$ )



## NITROGEN CONTAINING COMPOUNDS

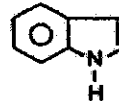
2-Methylpyridine ( $C_6H_7N$ )



Quinoline ( $C_9H_7N$ )



Indole ( $C_8H_7N$ )



## OXYGEN CONTAINING COMPOUNDS

Stearic acid ( $C_{18}H_{36}O_2$ )



Cyclopentanecarboxylic acid ( $C_6H_{10}O_2$ )



Phenol ( $C_6H_6O$ )



รูปที่ 9.12 สารประกอบที่มีกำมะถัน ไนโตรเจน และออกซิเจนในตัวอย่างน้ำมันปิโตรเลียม

### ผลของมลพิษจากน้ำมัน

1. ผลทางตรง ต่อนก หรือสัตว์ทะเล โดยฉันทกโอบมาติดน้ำมันทำให้เกิดการบินไม่ได้ หรือก่อให้เกิดพิษต่อสัตว์โดยตรง
2. ผลทางอ้อม คราบน้ำมันจะกั้นแสงไม่ให้ทะลุไปในทะเล ทำให้สิ่งมีชีวิตได้รับแสงน้อยลง เกิดการย้ายที่อยู่ทำให้ปริมาณลดลงและทำให้ปลาที่มนุษย์นำมาบริโภคกินได้

### 9.11.8 สารอนินทรีย์และแร่ธาตุโดยเฉพาะโลหะหนัก

โลหะ (Metal) แบ่งได้เป็น

1. โลหะเบา Light metal พวกนี้มีความหนาแน่นน้อยกว่า 5 gm/cc
2. โลหะหนัก (Heavy metal) พวกนี้จะมีมีความหนาแน่นมากกว่า 5 gm/cc

ตัวอย่างค่ามาตรฐานบางตัวของกลุ่มนี้ได้แก่

Zn	5.0	ppm
Cd	0.01	ppm
Hg	0.002	ppm

### สมบัติของโลหะในสิ่งแวดล้อม

1. โลหะบางชนิดมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตในปริมาณที่มีน้อยๆ โดยอาจจะอยู่ใน protein โดยทำหน้าที่เป็น Co-enzyme ช่วยในการสังเคราะห์ protein หรือกรณี Light metal บางประเภทเช่น Na,K ซึ่งมีในผนังเซลล์เพื่อช่วยในการรักษาสมดุล เช่น Mo,Co,Zn,Cu,Fe
2. โลหะบางชนิดจะก่อให้เกิดพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงมากเกินไป
3. เมื่อโลหะอยู่ในสิ่งแวดล้อมอาจจะอยู่ในรูปต่างๆ กันเช่น โลหะเกลือ (organometallic compound)



4. เป็นพวกที่ไม่ถูกย่อยสลายในสิ่งแวดล้อม (nondegradable) จึงทำให้เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการสะสมตามห่วงลูกโซ่อาหาร (biomagnification หรือ bioamplification)

โลหะหนักเป็นธาตุชนิดที่เป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด ธาตุพวกนี้ส่วนใหญ่จะเป็นธาตุอยู่ทางมุมขวามือด้านล่างของตารางธาตุ และรวมถึงเหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ธาตุพวกนี้ส่วนใหญ่แล้วสามารถที่จะเกิดพันธะกับซัลเฟอร์ในเอนไซม์เคลื่อนที่ไม่ได้ และยังเกิดพันธะได้อีกกับ protein carboxylic acid ( $-\text{CO}_2\text{H}$ ) และ amino ( $-\text{N}_2\text{H}$ ) ไอออนของแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงและปรอทจึงรวมกับเซลล์เมมเบรน และเคลื่อนตัวผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ได้ นอกจากนี้โลหะหนักยังสามารถตกตะกอนฟอสเฟตซึ่งเป็นสารประกอบในสิ่งมีชีวิต หรือไปเร่งการสลายตัวของสารประกอบบางชนิด

โรงงานอุตสาหกรรมอนินทรีย์เคมีมากมายที่ให้โลหะหนักในน้ำ เช่น โรงงานผลิตกรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไดโครเมท

โลหะหนักเมื่อถูกปนเปื้อนในน้ำจะอยู่ในหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูป 9.13 ในที่นี้จะกล่าวถึงโลหะหนักบางชนิดคือ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg)

After membrane filters						
After dialysis						
In solution						
Free hydrated ions	Inorganic ion pairs inorganic complexes	Organic complexes	Metals bound with high molecular organic substances	Metals in forms of dispersed colloids	Metals adsorbed on colloids	suspended solids particles debris of living organisms
Size	1 nm 0.001 μm	10 nm 0.01 μm			100 nm 0.1 μm	
Examples: (M = metal)						
Cu, aq <sup>2+</sup>	Cu(OH) <sup>2+</sup>	M-SR	M-lipids	FeOOH	M <sub>x</sub> (OH) <sub>y</sub>	
Fe, aq <sup>3+</sup>	Pb(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	M-OOCR	M-humic substances	Fe(OH) <sub>3</sub>	MCO <sub>3</sub>	
Pb, aq <sup>2+</sup>	CuCO <sub>3</sub>		M-poly-saccharides	Mn(IV)oxides	MS	
	AgSH			Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	M on clay particles	
	CdCl <sup>+</sup>			Na <sub>2</sub> Mn <sub>4</sub> O <sub>27</sub>	FeOOH	
	CoOH <sup>+</sup>			Ag <sub>2</sub> S		
	Zn(OH) <sub>2</sub> <sup>-</sup>					
	Ag <sub>2</sub> S <sub>7</sub> H <sub>2</sub> <sup>2-</sup>					

รูปที่ 9.13 รูปแบบต่างๆของโลหะในน้ำและชนิดและค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของพวกโลหะในแหล่งน้ำ

### สารหนู (Arsenic)

ระดับเฉลี่ยของปริมาณอาร์เซนิก อยู่ที่ 2-5 ppm แหล่งที่มนุษย์กระทำให้เกิดอาร์เซนิกคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งจะอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟตและส่วนมากแล้วอาร์เซนิกจะถูกปล่อยออกมาในรูปของ เลดอาร์เซนเตด (Pb<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) โซเดียมอาร์โซไนต์ (Na<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>) และคอปเปอร์อาร์เซนเตด (Cu<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)

### แคดเมียม (Cadmium)

แหล่งที่ปล่อยแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมคือเหมืองแร่และอุตสาหกรรม คุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับสังกะสี ฉะนั้นกลไกการเกิดพิษและผลต่อสิ่งแวดล้อมจึงคล้ายกัน โรคที่เกิดจากพิษแคดเมียมคือ อีไต อีไต

### ตะกั่ว (Lead)

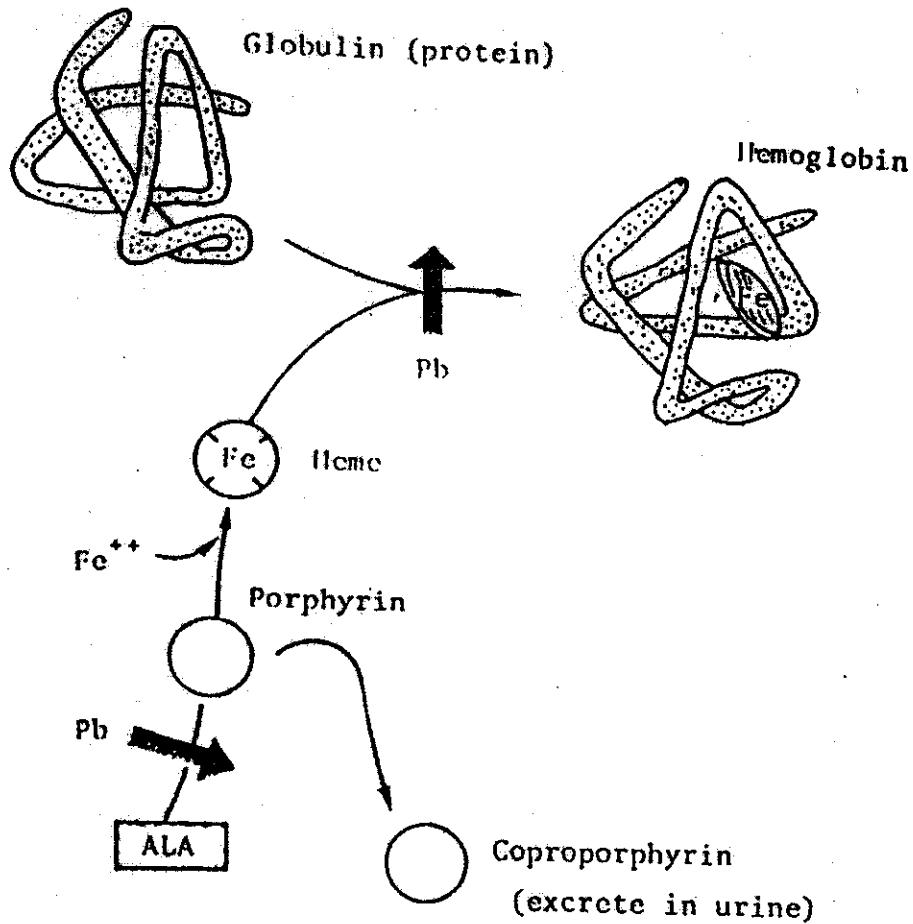
ตะกั่วที่อยู่ในน้ำจะมีค่าออกซิเดชันสเตรเท่ากับ 2 แหล่งส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมและเหมืองแร่ ส่วนตะกั่วในอากาศมาจากแก๊สโซลีนนั้นจะอยู่ในรูปของ tetraethyl lead แหล่งค่าของการรับสารตะกั่วของมนุษย์จากแหล่งต่างๆ คือ อาหาร น้ำ และอากาศ

รูปแบบของสารตะกั่วซึ่งอยู่ในรูปสารอินทรีย์ และอนินทรีย์นั้นพบว่ารูปที่เป็นสารอินทรีย์จะเข้าทางร่างกายโดยทางผิวหนังและหายใจ ส่วนรูปสารอนินทรีย์จะได้โดยการกินและหายใจ พบว่าตะกั่วที่ได้รับโดยการหายใจจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจึงเป็นโอกาสให้ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่า

เนื่องจากตะกั่วมีลักษณะคล้ายกับ  $Ca^{2+}$  เมื่อเข้าสู่ร่างกายจึงมักจะรวมอยู่กับ  $Ca^{2+}$  ถ้าร่างกายมีการทำ  $Ca^{2+}$  ที่มี  $Pb^{2+}$  ผสมอยู่ไปใช้ในภาวะที่จำเป็นก็จะก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้

พิษของตะกั่ว มี 2 แบบคือ แบบเฉียบพลัน เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อ ฯลฯ และแบบเรื้อรังที่สำคัญคือโรคโลหิตจาง

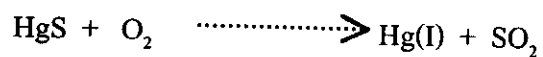
การเกิดโรคโลหิตจางเนื่องจากตะกั่วจะขัดขวางการสร้าง hemoglobin ของเม็ดเลือดแดง ซึ่งประกอบด้วย globulin protein และ heme ตะกั่วจะเกี่ยวข้องกับการสร้าง hemoglobin ใน 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 ขัดขวางการทำงานของ ALA (ที่จะทำให้เกิด porphyrin ซึ่งจะรวมกับเหล็กเกิดเป็น heme) ระยะที่ 2 คือขัดขวางการรวมตัวของ heme และ globulin ทำให้เกิดเป็น hemoglobin ดังแสดงในรูป 9.14



รูปที่ 9.14 แสดงการขัดขวางการสร้าง hemoglobin เนื่องจากตะกั่ว

### ปรอท (Hg)

มนุษย์เรารู้จักนำปรอทมาใช้ทำเป็นสีและยาฆ่าเชื้อโรคต่างๆ เมื่อประมาณ 2 พันปีแล้ว สารประกอบที่มีมากที่สุดในธรรมชาติคือ cinnabar (HgS) ซึ่งมีสีแดงและไม่ละลายน้ำ การสกัด Hg ออกมาโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผากับออกซิเจน ดังนี้



ปรอทมีสีเงินและลักษณะจะกลิ้งไปมาได้เหมือนน้ำ มนุษย์ในยุคก่อนจึงเรียกกันว่า “quicksilver” และนำมาใช้ประโยชน์ในแง่ของการชุบเคลือบผิวโลหะต่างๆ เช่น ทองแดง ทองคำ แต่คนในยุคก่อนไม่ค่อยมีใครนิยมใช้สารปรอทกันเนื่องจากตระหนักถึงพิษภัยของปรอทที่เกิดขึ้น

ในปี พ.ศ.2506 ที่อ่าวมิनाตะทางภาคใต้ของญี่ปุ่นได้ตรวจพบว่าชาวประมงแถบนั้นมีอาการผิดปกติคือสายตามัว เกิดอาการเหน็บชาและบางส่วนเป็นอัมพาต ความจำเสื่อม บางคนเสียชีวิต และในที่สุดก็ตาย จนถึงปี พ.ศ. 2508 พบว่ามีคนเกิดอาการนี้ถึง 40 คน จากการสอบสวนและศึกษาพบว่าสาเหตุของโรคนี้เกิดจากสารประกอบพวกปรอท ซึ่งมีปริมาณสูงที่อ่าวมินาตะ จึงเรียกโรคนี้ว่า “มิनाมาตะ” ซึ่งเกิดจาก  $Hg(II)$  ในรูป  $HgCl_2$  ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตพีวีซี

สมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีของปรอท ทำให้มีสมบัติที่ต่างจากโลหะอื่นๆ จึงทำให้มีการนำไปใช้ในกิจกรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งสมบัติที่ดีคือ

1. ปรอทที่บริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องจุดหลอมเหลว  $-38.87^{\circ}C$ .
2. มีการขยายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ
3. โลหะหลายๆ ชนิด เช่น  $Cu, Ag$  สามารถจะละลายได้ในปรอท (ยกเว้น  $Fe$  และ  $Pt$ ) ได้เป็นสารละลายของแข็งที่เรียกว่า amalgam
4. สามารถนำไฟฟ้าได้ดี

สารประกอบปรอทมีเลขออกซิเดชัน +1 และ +2 โดยสารประกอบเมอคิวรัส จะมี  $Hg$  สองอะตอมอยู่ด้วยกันเป็นลักษณะโคเมอร์เสมอ และเมื่อละลายน้ำจะอยู่ในรูปของ  $Hg_2^{2+}$  ซึ่งจะมีสมบัติทางเคมีคล้ายกับไอออนเดี่ยวๆ ไป เช่น  $Ag^+$  คือเกิดตะกอนกับคลอไรด์ได้ตะกอน  $Hg_2Cl_2$  ซึ่งเรียกทั่วไปว่าคาโลเมต (calomel) ใช้เป็นอิเล็กโทรดในเซลล์ไฟฟ้า  $Hg_2Cl_2$  เมื่อถูกแสงสว่างจะสลายให้  $Hg$  และ  $HgCl_2$  ซึ่งเป็นพิษร้ายแรง

### การใช้ประโยชน์ของปรอทมีหลายอย่าง ได้แก่

1. ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ หลอดไฟ สวิตช์ แบตเตอรี่ วิทยุ
2. อุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งมี Hg เป็นสารประกอบในอุตสาหกรรม ซึ่งใส่เพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษยุ่ยง่าย และฆ่าเชื้อรา
3. อุตสาหกรรม “chlor alkaline” ซึ่งผลิต NaOH และ  $Cl_2$
4. ใช้เป็นยาปราบศัตรูพืชและฆ่าเชื้อรา โดยอาจจะคลุกกับเมล็ดพืชเพื่อป้องกันเชื้อราหรือศัตรูพืช
5. อุตสาหกรรมสี เพื่อใช้ฆ่าเชื้อราหรือ fungi ในสีน้ำ
6. จะใช้ amalgam ของ Hg ในการอุดฟัน
7. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหรือโมโนเมอร์ในการผลิตพลาสติกพีวีซี

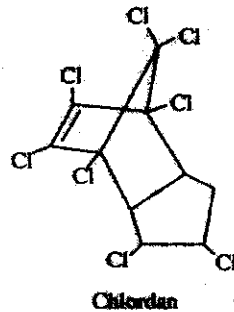
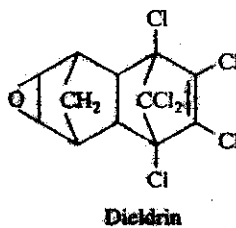
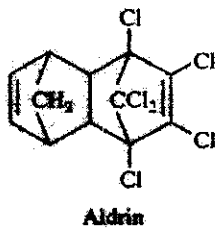
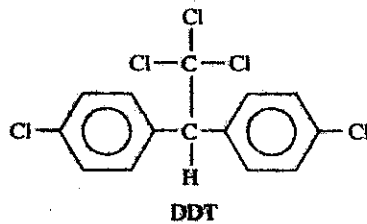
การนำปรอทมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ทำให้ปรอทมีโอกาสกระจายทั่วทุกหนทุกแห่งในสิ่งแวดล้อม เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาปรอทเป็นพิษ ซึ่งพบว่าปรอทในสถานะที่เป็นของเหลวเป็นพิษไม่มากนัก แต่ถ้าอยู่สถานะที่เป็นไอจะก่อให้เกิดพิษอย่างแรงและนอกจากอุตสาหกรรมดังกล่าวนี้แล้ว ยังพบว่าอุตสาหกรรมการทำเหมือง หรือการใช้ถ่านหิน หรือจากกระบวนการสีกร่อนของแร่ธาตุต่างๆ ในธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปของโลหะหรือซัลไฟด์ก็มีโอกาสที่จะปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

รูปปรอทที่อันตรายคือ รูปสารอินทรีย์ monomethyl mercury ( $CH_3Hg^+$ ) และ dimethyl mercury ( $(CH_3)_2Hg$ ) โดยจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อสมองของร่างกายมนุษย์

### 9.11.9 สารกำจัดวัชพืชและสัตว์

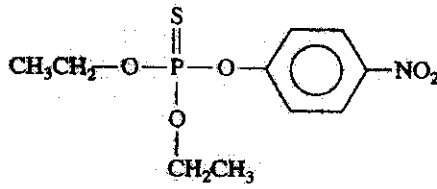
การจำแนกสารกำจัดวัชพืชและสัตว์ตามองค์ประกอบเคมี ได้เป็น 4 พวก

1. คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbon) เป็นสารเคมีที่มีอะตอมคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และคลอรีน (Cl) เป็นองค์ประกอบเป็นกลุ่มที่ใช้ในการกำจัดแมลง (insecticides) ได้แก่ ดีดีที (DDT) อัลดริน (aldrin) ดีลดริน (dieldrin) และคลอแดน (chlordan) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

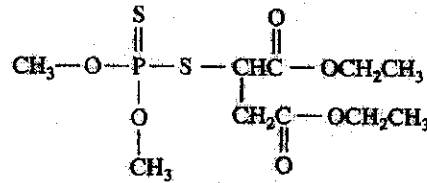


ระยะหลังนี้หลายประเทศได้กำจัดการใช้สารกลุ่มนี้เนื่องจากการย่อยสลายที่เกิดได้ยากเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อม และมีพิษต่อมนุษย์โดยจะสะสมเข้าในวงจรลูกโซ่อาหารเป็นส่วนใหญ่

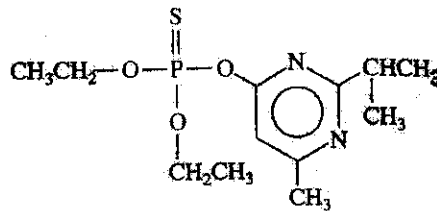
2. กลุ่มออร์แกนอพอสเฟต (Organophosphates) เป็นสารเคมีที่มีอะตอมของฟอสฟอรัส (P) ออกซิเจน (O) คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ จัดเป็นกลุ่มยาฆ่าแมลง เช่นเดียวกับกลุ่มแรก ได้แก่ พาราไธออน (Parathion) มาลาไธออน (Malathion) และไดอะซีนอน (Diazinon) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



Parathion



Malathion

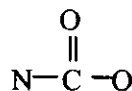


Diazinon

ข้อดีของยากุ่มนี้คือมีต้นทุนในการผลิตที่ถูกลงและให้ผลในการฆ่าแมลงได้ดี สลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือออกซิเดชัน หรือรีดักชันในสิ่งแวดล้อม แต่ปัญหาสำคัญของการใช้ยากุ่มนี้คือความเป็นพิษต่อมนุษย์ ตัวอย่างเช่น พาราไรออน ซึ่งมีพิษมากกว่า DDT ถึง 20 เท่า และบางครั้งจะเกิดสารใหม่จากการสลายในสิ่งแวดล้อมแล้วเป็นพิษกว่าสารตั้งต้นอีก พิษที่เกิดจะเป็นต่อระบบประสาท และถ้ากินเข้าไปจะผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น ระบบการเดินของหัวใจที่ผิดปกติ ถ้ามากก็อาจตายได้

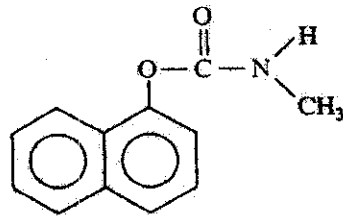
3. อินทรีย์วัตถุอื่นๆ เช่นคาร์บาเมต (Carbamate) โรติโนน (Rotenone) นิโคติน (Nicotin) และสารประกอบอินทรีย์ที่มีกำมะถัน

คาร์บาเมตสูตรโครงสร้างจะมีไนโตรเจน (N) คาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) เป็นตัวหลัก โดยจะต้องมีหมู่สำคัญคือ

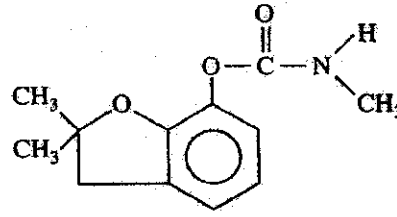




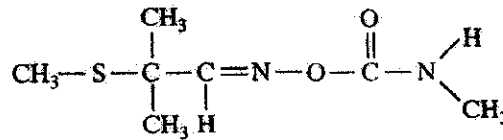
ตัวอย่าง คาร์บาเมต ได้แก่ คาร์บาริล (Carbaryl) คาร์โบฟูแรน (Carbofuran) และ อัลดิคาร์บ (aldicarb)



Carbaryl  
(Sevin)



Carbofuran  
(Furadan)



Aldicarb

คาร์บาเมตสลายตัวได้เร็วในสิ่งแวดล้อม และพบว่ามีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น มนุษย์น้อยกว่ากลุ่มออกเทนอเฟอสเฟต แต่พบว่ามีผลค่อนข้างมาก สำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา (EPA) จึงสั่งให้ต้องพึงระวังในการใช้

4. อนินทรีย์วัตถุอื่นๆ (CuSO<sub>4</sub>) ทองแดง (Cu) และออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO<sub>2</sub>)

#### 9.11.10 สารกัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสีลงสู่สิ่งแวดล้อม มี 2 ทาง คือ ธรรมชาติและมนุษย์ทำขึ้น

รังสีที่เกิดในธรรมชาติ มาจาก

สารแผ่รังสี (Radionuclides) ในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ น้ำ หิน ดิน อากาศ ฯลฯ ซึ่งเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เรียกว่าเป็นค่า back ground ดังแสดงในตาราง 9.3

ตารางที่ 9.3 ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารแผ่รังสีในธรรมชาติ

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต( $t_{1/2}$ )	ชนิดรังสีหรือ อนุภาค	ความเข้มข้นเฉลี่ย (คูรีต่อกรัม)	หน่วย คูรี
		ดิน		
$^{14}\text{C}$	5500	$\beta$	$4.46 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^8$
$^{40}\text{K}$	$1.3 \times 10^9$	$\beta, \gamma$	$1.69 \times 10^{-11}$	$1.5 \times 10^{15}$
$^{87}\text{Rb}$	$4.8 \times 10^{10}$	$\beta$	$7.25 \times 10^{-12}$	$6.5 \times 10^{14}$
$^{238}\text{U}$	$4.5 \times 10^9$	$\alpha, \gamma$	$1.65 \times 10^{-12}$	$1.5 \times 10^{14}$
$^{230}\text{Th}$	$8.0 \times 10^4$	$\alpha, \gamma$	$3.88 \times 10^{-12}$	$3.5 \times 10^{14}$
$^{210}\text{Pb}$	20	$\beta, \gamma$	$3.19 \times 10^{-12}$	$2.8 \times 10^{14}$
		ทะเล		
$^3\text{H}$	12.26	$\beta$	$1.0 \times 10^{-12}$	$1.37 \times 10^9$
$^{87}\text{Pb}$	$4.8 \times 10^{10}$	$\beta$	$2.8 \times 10^{-12}$	$3.8 \times 10^9$
$^{40}\text{K}$	$1.3 \times 10^9$	$\beta, \gamma$	$3.3 \times 10^{-10}$	$4.5 \times 10^{11}$
$^{238}\text{U}$	$4.5 \times 10^9$	$\alpha, \gamma$	$1.0 \times 10^{-12}$	$1.4 \times 10^9$
		อากาศ		
$^3\text{H}$	12.26	$\beta$	$5.0 \times 10^{-13}$	$3.0 \times 10^6$
$^{14}\text{C}$	5500	$\beta$	$1.1 \times 10^{-12}$	$4.0 \times 10^6$
$^{222}\text{Rn}$	3.825 days	$\alpha$	$1.0 \times 10^{-12}$	$\sim 5 \times 10^7$

สารแผ่รังสีในธรรมชาติจะให้รังสีชนิดที่ต่างกัน ไปขึ้นกับแหล่งที่เกิด ดังนี้

1. หิน ในหินแกรนิตที่พบบนผิวโลกจะมีธาตยูเรเนียม 3-4 ppm และ  
ทอเรียม 10-15 ppm โพแทสเซียม 2-6%

ยูเรเนียมในธรรมชาติจะประกอบด้วย 3 ไอโซโทป คือ

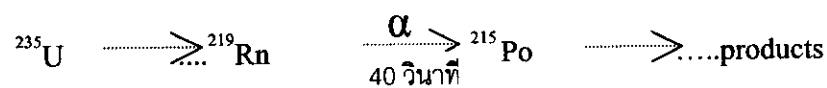
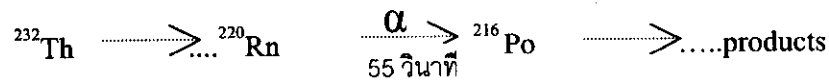
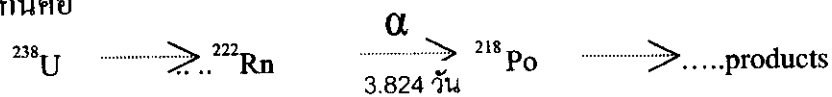
U-238 (99.274%) , U-235 (0.725%) และ U-234 (0.0056%)

- U-238 เป็น parent ของ Uranium series และ U-234 เป็นชนิดของ daughter ที่  
เกิดจาก U-238

- U-235 เป็น parent ของ Actinium series ซึ่งจะสลายตัวจนหมดสภาพกลายเป็น  
นาก Pb-207

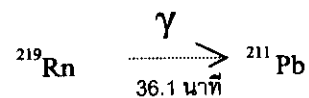
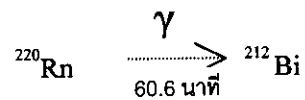
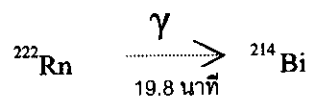
- Th-232 เป็น parent ของ Thorium series ซึ่งจะสลายตัวจนหมดสภาพกลายเป็น  
นาก Pb-208

การสลายของสารกัมมันตภาพรังสีทั้งสามแบบ จะให้ไอโซโทปเรดอนโดยใช้  
เวลาต่างกันคือ



เรดอน (เป็น noble gas) สามารถซึมผ่านช่องว่างของหินและดินออกสู่  
บรรยากาศ โดยเฉพาะ Ra-222 จะเข้าสู่บรรยากาศและน้ำในสิ่งแวดล้อม

2. ในดิน จะให้รังสีแกมมาที่ความลึกจากผิวดินครึ่งเมตร จากเรดอนซึ่งเกิด  
จากการสลายเกิดเป็นธาตุใหม่ เช่น



ในสภาวะปกติ daughter ทั้งหมดนี้จะลอยขึ้นมาบนผิวดินเป็นปริมาณมากซึ่ง  
สามารถจะตรวจพบได้ในบรรยากาศ

3. อากาศ สารกัมมันตรังสีที่สำคัญในอากาศคือ เรดอน ความเข้มข้นมาก  
น้อยของเรดอนนั้นขึ้นอยู่กับสถานที่และเงื่อนไขในบรรยากาศ ชนิดเรดอนที่สำคัญ คือ

$^{222}\text{Rn}$  มีโดยเฉลี่ย  $1.0 \times 10^{-12} \text{Ci/gm}$  และชนิดอื่นได้แก่  $^{222}\text{Rn}$  สำหรับ daughter ของเรดอน คือ Pb-210 และ Po-210 ซึ่งจะเกิดการจับตัวกันเองกลายเป็นอะตอมแล้วเกิดเป็นอนุภาคฝุ่นและถูกกำจัดออกจากอากาศโดยฝนในที่สุด

4. น้ำ นิวไคลด์ที่สำคัญในน้ำคือ Ra-226 และ daughters ที่ให้รังสีอัลฟาคือ Rn-222, Po-218, Po-214

5. อาหาร นิวไคลด์เกี่ยวข้อง คือ Ra-226 ซึ่งได้มาจากน้ำ 80-90 % จะให้รังสีอัลฟาเกิดเป็น daughter Po-210 ที่สำคัญและชนิดอื่น คือ R-228 ซึ่งจะให้อัลฟา กลายเป็น Po-210

นอกจากนี้พบว่าในอาหารจะให้รังสี  $\beta$  จาก K-40 ซึ่งมีอยู่เช่นปลา พบว่ามี 0.3 % โดย(น.น.) ของ K-40 และธาตุในเนื้อสัตว์ก็พบว่ามี C-14 ซึ่งจะให้รังสี  $\beta$  ด้วย

6. ในร่างกายมนุษย์ พบว่าในน้ำหนักมาตรฐาน 70 กิโลกรัม จะมีโปตัสเซียม (K) 140 กรัม และเรดอน (Ra)  $10^{-10}$ - $10^{-11}$  กรัม ซึ่งโดยเรดอนนี้จะมียอยู่ในส่วนที่เป็นกระดูก ในเนื้อเยื่ออ่อนภายในร่างกายนั้นจะได้รับรังสีเบต้าจาก K-40 ประมาณ 20 mrem/year และยังได้จาก C-14 ที่มีอยู่ในร่างกายมนุษย์เองแต่ในปริมาณที่น้อยกว่า

7. อวกาศ ได้แก่ รังสีคอสมิก ซึ่งพบว่าบริเวณขั้วโลกจะมีโอกาสได้รับมากที่สุด เนื่องจากผลของการดูดของสนามแม่เหล็กโลก รวมถึงมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในที่สูงๆ ก็มีโอกาสดูได้รับเช่นกัน เฉลี่ยแล้วมนุษย์เราจะได้รับ cosmic ray ประมาณ 0.001 roentgen ต่อวัน ซึ่งถ้าได้รับปริมาณมากก็จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครโมโซมและ mutation ได้

#### รังสีจากการกระทำของมนุษย์

1. วงการแพทย์ ใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคหรือรักษาโรค เช่น พบว่าในการที่ฉายรังสีเอกซ์ที่ปอด 1 ครั้ง ร่างกายจะได้รับรังสีประมาณ 200 มิลลิเรม หรือการตรวจคนที่ปอดคอกพอก โดยให้กิน I-131 ซึ่งจะให้รังสีเบต้ากับร่างกายได้ด้วย

2. จากโรงงานไฟฟ้าปรมาณู ให้รังสีที่เล็ดรอดออกมา หรือจากกากของเสีย นิวเคลียร์ เช่น U-235, Kr-85, Ba-136, Co-58 ฯลฯ

3. รังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ทำให้เกิดรังสีและอนุภาคกัมมันตรังสี เรียกว่า radioactive fall out เช่น Sr-90
4. รังสีจากแหล่งอื่นๆ เช่น จากโทรทัศน์, สารทอเรียม ซึ่งทำให้เกิดการเรืองแสงบนหน้าปัดนาฬิกา (ให้รังสีแกมมา)

### สมบัติของกัมมันตภาพรังสี

#### อนุภาคอัลฟา

- ก. **Nature** เป็นนิวเคลียสของ He มีประจุ +2 มีมวลเป็น 4 เท่า ของ H-atom ( ${}^4_2\text{He}$ )
- ข. **Velocity** ความเร็วจะเป็น 1/10 ของความเร็วแสง คือ  $3 \times 10^9$  cm/sec
- ค. **Penetration Power** (อำนาจการทะลุทะลวง) เนื่องจากมีขนาดใหญ่ ฉะนั้นจึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงไม่สูง โดยจะสามารถถูกดูดหรือกั้นได้โดยแผ่นอลูมิเนียมหนาเพียง 1/10 mm หรือของแข็งที่มีความบางมากๆ ได้ ส่วนในอากาศจะสามารถที่จะผ่านอากาศได้เพียง 5 ซม. เท่านั้น
- ง. **Ionization Gas** (การทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออน) มีอำนาจในการทำให้อิเลคตรอนของแก๊สในอากาศหลุดได้ง่าย ค่า Energy and Relative Biological Effectiveness (RBE) จึงมีค่าสูงมากประมาณ 20
- จ. **Action on Zinc sulfide and film** ทำให้เกิดการเรืองแสงบน และทำให้ฟิล์มดำ

#### อนุภาคเบตา

- ก. **Nature** เป็นอิเล็กตรอน (หรือโพสิตรอน) ที่มีความเร็วสูงประจุเป็นลบ
- ข. **Velocity** ความเร็วจะไม่เท่ากันอยู่ระหว่าง 33-99 % ของความเร็วแสง นั่นคือแสดงว่า  $\beta$  มีสมบัติที่ไม่สม่ำเสมอ

ก. **Penetration Power** อำนาจการทะลุทะลวงมากกว่า  $\alpha$  (เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า  $\alpha$ ) สามารถถูกดูดหรือกั้นโดยแผ่นอลูมิเนียมหนา 5 nm หรือของแข็งอื่นที่บางได้ และจะผ่านอากาศได้เพียง 3 ซม.

ง. **Ionization Gas** มีพลังจลน์น้อย (เนื่องจากมีมวลน้อย) อำนาจทะลุทะลวงจึงน้อยเมื่อเทียบกับอัลฟา ค่า RBE = 1

จ. **Action on Zinc sulfide and film** มีผลต่อ ZnS น้อยกว่า  $\alpha$  ส่วนผลต่อฟิล์มจะมากกว่า  $\alpha$  (เนื่องจากมักเกิดรังสี x-rays พร้อมกัน)

#### รังสีแกมมา ( $\gamma$ -rays)

ก. **Nature** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น (0.0001-0.01 Å) ไม่มีมวลประจุ ไม่หักเหสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ข. ความเร็วจะเท่ากับแสงคือ  $3 \times 10^{10}$  cm/sec

ค. **Prenetrating** มีพลังงานสูงมักจะเรียกว่า hard ray (สูงกว่ารังสี x) จะถูกดูดหรือกั้นโดยวัตถุที่หนามาก เช่นพบว่าจะผ่านแผ่นตะกั่วหนา 8 ซม. และผ่านแผ่นเหล็กหนา 25 ซม. ส่วนในอากาศจะผ่านได้ถึงประมาณ 4 เมตร

ง. **Ionization gas** เกิดได้น้อยพบว่าค่า RBE~1

จ. **Action on ZnS and film** จะมีผลต่อ ZnS และฟิล์มน้อย

#### นิวตรอน (Neutrons)

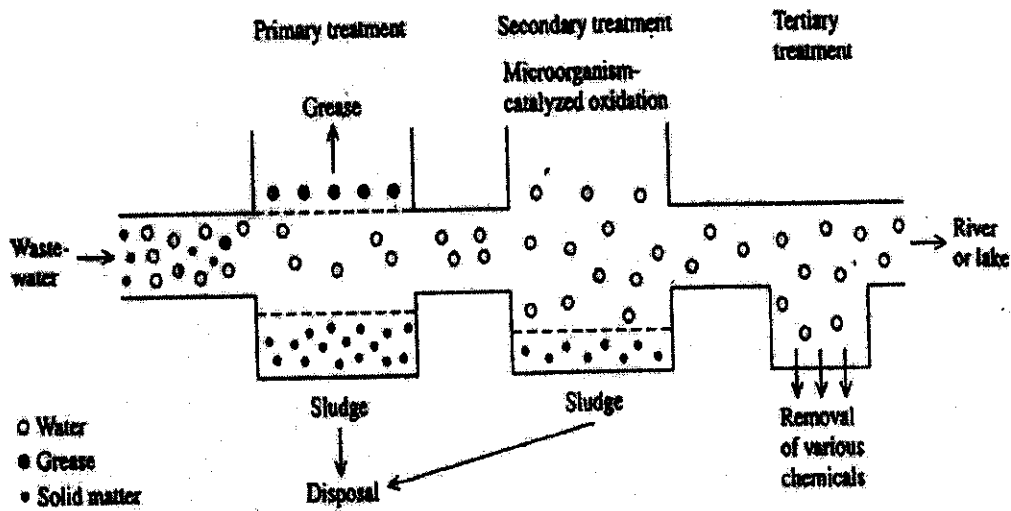
ก. **Nature** เป็นอนุภาคของสารที่ไม่ประจุ

ข. **Penetration Power** ผ่านอยู่ในอากาศได้ตลอด

ค. **Ionization gas** เกิดได้มากพอควร ค่า RBE~5

## 9.12 การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน

วิธีการกำจัดโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ primary treatment, secondary treatment และ tertiary treatment ดังสรุปไว้ในรูป 9.15



รูปที่ 9.15 ขั้นตอนทั่วไปของระบบการกำจัดน้ำเสีย

โดยรายละเอียดของการบำบัดน้ำเสียทุกขั้นตอนมีดังนี้

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

ก. screening วัตถุที่ลอยน้ำขนาดใหญ่จะถูกกำจัดโดยการผ่านน้ำทิ้งนั้นๆ ไปยังตะแกรงบางโรงงานอาจใช้เครื่องที่เรียกว่า communitor ในการดักไว้ด้วยตะแกรงแล้วยังบดวัตถุเหล่านั้นด้วย

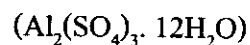
ข. grit removal สารพวกกรวด ทราย ก้อนหินเล็กๆ จะถูกปล่อยให้หนอนก้นใน grit chamber ขั้นนี้มีความสำคัญมากสำหรับน้ำทิ้งในเมืองที่มีการรวมท่อน้ำทิ้งกับท่อน้ำฝนเข้าด้วยกัน

ก. sediment removal น้ำทิ้งที่ผ่าน grit chamber แล้ว ยังมีของแข็งในรูปของสารแขวนลอยอยู่ด้วย ซึ่งจะตกตะกอนภายในแรงดึงดูดได้ ถ้าหากลดความเร็วของการไหลของน้ำทิ้งลงใน sedimentation tank ของแข็งที่ตกตะกอนนี้เรียกว่า raw sludge จากนั้นยังมีการฆ่าเชื้อโรคโดยผ่านแก๊ส  $Cl_2$  ลงไปในน้ำก่อนปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อม 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) เป็นการกำจัดสารมลพิษที่ยังเหลือละลายอยู่และกำจัดยาก แบ่งออกเป็น 4 หมู่ คือ

ก. ของแข็งที่แขวนลอย (suspended solid) เช่นการใช้สารส้ม



ข. สารอินทรีย์ที่ละลาย (dissolved organic compound)

ค. อาหารพืชอนินทรีย์ที่ละลาย (dissolved inorganic plant nutrients)

ง. แร่อนินทรีย์ที่ละลาย (dissolved inorganic minerals)

น้ำทิ้งที่ออกมาจากกระบวนการกำจัดขั้นที่สองมีของแข็งที่แขวนลอยอยู่ สิ่งเหล่านี้อาจเป็นอุปสรรคต่อบางวิธีที่ใช้ในกระบวนการกำจัดที่ใช้ในขั้นที่สามได้ เช่น electro dialysis และ reverse osmosis