

생물학적 폐수 처리의 원리

조 영 일

연세대학교 공과대학 화학공학과

Fundamentals of Biological Wastewater Treatment Process

Yung-Il Joe

Department of Chemical Engineering, College of Engineering,
Yonsei University, Seoul 120, Korea

1. 폐수 처리 개요

1-1 환경 오염 지표

사람의 일상 생활이나 산업 활동에서 쓰고 버리는 물, 즉 廢水 중에는 여러가지 환경 오염 성분이 들어 있게 된다. 이들이 배출 환경에 미치는 영향을 요약하면 다음과 같다.

가. 용해성 유기물 : 하천이나 바다에 生分解性 유기물이 소량 도입되면 水棲生物의 영양분으로 이용되므로 오히려 바람직하다. 그러나 다량 배출되면 好氣性 微生物에 의하여 분해되면서 水域의 溶存酸素(dissolved oxygen, DO)를 고갈시키게 되며, 마침내 生態系(ecosystem) 자체를 파괴하기에 이른다.

나. 현탁 고형물(suspended solid, SS) : 水域에 퇴적하여 생물의 생활 환경에 영향을 준다. 有機性 슬러지 퇴적층(sludge blanket)은 嫌氣的으로 분해되면 유해 가스가 발생되며 다시 好氣的으로 분해되면 옹존 산소를 고갈시켜서, 결과적으로 수중 생태계를 해치게 된다.

다. 미량 유기물 : phenol과 같은 유기물은 미량이 들어 있어도 맛과 냄새의 원인이 된다.

라. 독성 물질 : 수은, 카드뮴, 비소, 납 등의 重金屬, 유기 수은, 유기 인, 살충제 등의 유기물, 시안화합물 등의 독성 유기 및 무기물은 1차적으로 水棲 生物을 해치며, 먹이 사슬(food chain)을 거쳐서 인체에 해를 미친다.

마. 着色物 : 유독성이 아니더라도 환경의 美觀을 해친다.

바. 榮養鹽 : 磷酸鹽 및 窒酸鹽은 水域의 富榮養化(eutrophication)의 원인이 되며, 결과적으로 DO를 고갈시켜서 생태계를 파괴한다.

사. 부유물 : 油分은 생물의 생활환경을 해치며, 부유 고형물(floating solid)도 환경을 오염한다.

아. 抵抗性 물질(refractory materials) : Alkyl benzene sulfonate 등은 생물 難分解性이며, 깨지지 않는 거품을 이룬다.

자. 휘발 물질, 방사성 물질, 미생물, 熱, 기 다.

1-2 폐수 처리 공정

폐수 중의 오염 성분의 구성과 양에 따라서 적절한 처리 방법을 선택하여 처리 공정을 구성하여야 할 것이다. 전형적 폐수 처리 시스템의 구성과 처리 조건의 대체 방법을 그림 1에 나

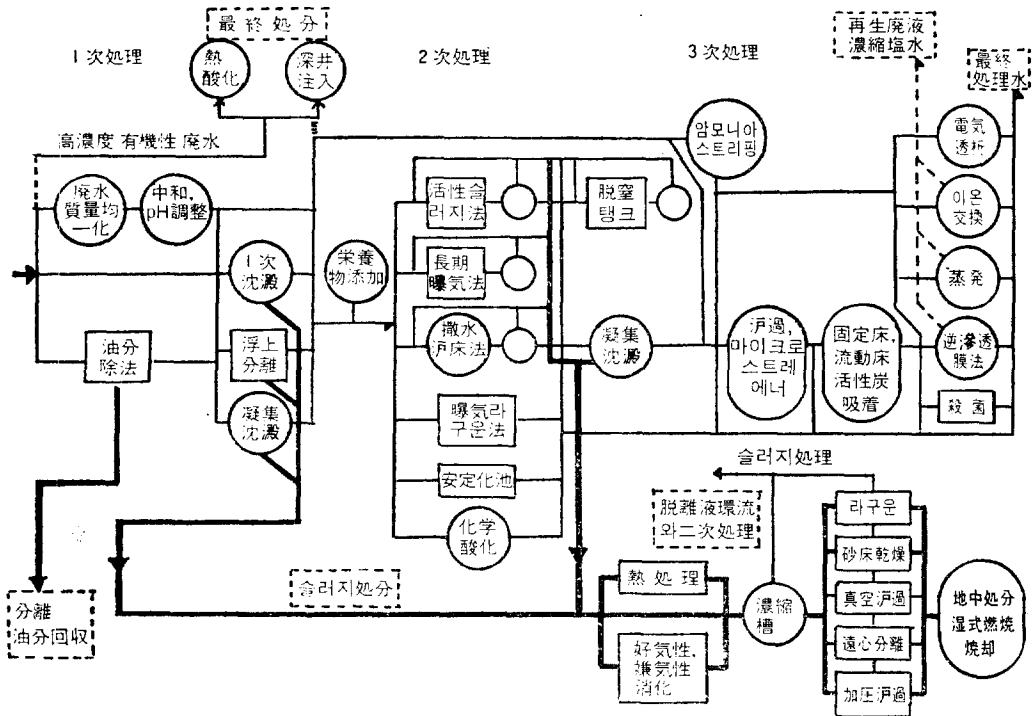


그림 1. 폐수 처리 시스템의 구성.

2. 미생물의 대사 작용

타내었다. 일반적으로 폐수처리 공정은, 1차, 2차 및 3차 처리와 슬러지 처리의 순으로 구성한다.

생물학적 처리는 주로 2차 처리와 슬러지 처리에서 생분해성 유기물의 제거에 이용되는 방법으로, 이때 자연 발생적 從屬營養型 미생물의代謝作用(metabolism)을 활용한다. 무기 영양염은 光合成 미생물의 작용을 이용하여 제거한다. 때로는 폐수 중의 유기물을 이용하여 효모와 같은 특정 균체를 생산하기도 하며, 폐물이나 합성 세제 등 일반적으로 생물 분해가 어려운 물질을 특정 미생물을 사용하여 제거하기도 한다.

생물학적 폐수 처리 방법은 미생물의 自淨作用을 인위적으로 관리하고자 하는 것이다. 生態系의 구조적 구성 요소를 無生物, 生産者, 消費者, 分解者로 나누어 생각한다면²⁾, 폐수 처리에 이용되는 藻類 등의 獨立營養 미생물은 생산자에 속하며, 박테리아 등의 從屬 미생물은 분해자에 해당한다.

生産者는 무기물과 태양에너지를 이용하여 유기물을 생산한다. 消費者는 이 유기물을 이용하며, 생산자, 소비자가 죽으면, 분해자에 의하여 분해되어 無機化되어 다시 이용된다. 이러한 자연계의 물질 순환 과정에 인위적 오염물이 다량 투입되면 생태계는 평형을 파괴당하여 無生物的 상태가 되어 버린다. 물고기가 살 수 없는 강,

富營養化에 의한 Erie 湖의 죽음 등은 파괴당한 생태계의 예이다.

生分解性 有機物 및 無機 營養鹽類를 인공적으로 제거함으로써, 이들이 생태계에 미치는 충격을 완화할 수 있으며, 여기에 생물학적 폐수 처리 방법이 활용되는 것이다.

2-1 미생물의 종류

오늘날 미생물은 표 1에 보인 바와 같이 세 부류로 크게 나눈다. 어느 것이나 細胞가 생명의 단위를 이루며, 그 모형은 그림 2와 같다.

세포가 정상적 기능을 나타내려면, 영양분이 적절하고 환경 조건이 맞아야 한다. 기본 영양분으로서는 炭素源과 에너지源을 들 수 있으며, 미생물이 이용하는 영양분에 따라서 표 2와 같이 구분한다.

표 1. 미생물의 분류³⁾

분류	예	특 성
동물	輪虫類(rotifers) 甲殼類(crustaceans)	多細胞, 組織分化
식물	蘚類(mosses) 羊齒類(ferns) 種子植物	
原生生物(protoista)		單細胞 또는 多細胞, 組織分化가 없음
고등*	藻類(algae) 原生動物(protozoa) 眞菌類(fungi) 變形菌類(slime molds)	
하등**	靑綠藻類(blue-green algae) 細菌類(bacteria)	

* 眞核이 있음(eucaryotic cells)⁴⁾

** 核膜이 없음(procaryotic cells)

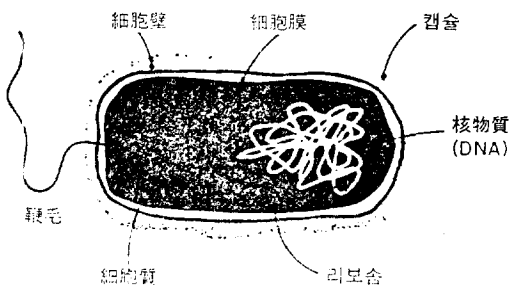


그림 2. 박테리아 세포의 모형

표 2. 에너지源 및 炭素源 基質*(substrate)에 따른 미생물의 분류**.

분 류	에너지원	탄 소 원	질 소 원
독립영양형			
光合成	光	CO ₂	무기질소
化學合成	무기물의 산화-환원	CO ₂	무기질소
종속영양형	유기물의 산화-환원	유기 탄소	무기 및 유기질소

* 物質 代謝의 出發 물질

** CO₂ 및 유기탄소를 동시에 탄소원으로 이용할 수 있는 미생물은 通性獨立 營養型(facultative autotrophs)이라고 한다

표 3. 미생물의 적정 생육 온도.

형 태	온도범위(°C)	최적온도(°C)
好冷性(cryophilic)	-2 ~ 30	12~18
中溫性(mesophilic)	20 ~ 45	25~40
好熱性(thermophilic)	45 ~ 75	55~65

미생물 중에, 산소가 있는 환경에서 만 살 수 있는 것을 好氣性 미생물(aerobes), 산소가 없는 환경에서만 생존할 수 있는 것을 嫌氣性 미생물(anaerobes)이라고 하며, 어느 환경에서 적응할 수 있는 것을 通性(facultative)이라고 한다. 박테리아는 대개 통성이다.

미생물은 또 좋아하는 온도가 있으며, 표 3에 서와 같이 구분한다.

폐수 처리에 나타나는 미생물의 예를 들면, 그림 3과 같다.

2-2 미생물의 대사

생물이 무생물과 다른 점은 代謝作用이다. 외부에서 영양분을 성취하여 세포성분을 합성하는 경우를 同化(anabolism 또는 assimilation)라고 하며, 보다 간단한 물질로 분해하는 경우를 異化(catabolism 또는 dissimilation)라고 하며 自由에너지의 손실을 동반하는 과정이다. 생체가 유기물을 異化하여 에너지를 얻을 때 이를 呼吸(respiration)이라고도 한다. 呼吸은 산화과정으로 수소 수용체가 필요하다. 호기성 미생물인 경우 분자 산소가 수소 수용체가 되며, 혐기성 미생물인 경우에는 황산염, 질산염, 2 산화탄소,

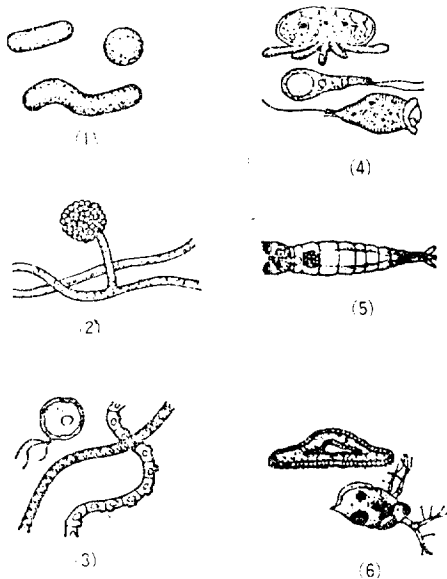


그림 3. 생물 처리에 관여되는 대표적 미생물.

- (1) 박테리아: 단세포이며 용해성 영양분을 이용한다. 대개 통성이다.
- (2) 眞菌類: 다세포이며 박테리아와 경쟁적으로 용해성 영양분을 섭취하나, 생물 처리에서 지배적인 미생물은 아니다. 호기성이며, 적정 pH는 4.5~6.5정도.
- (3) 藻類: 단세포 또는 다세포이며, 독립영양형이다. 酸化池 처리법에서 산소의 발생원이 되나, 조류가 너무 많이 증식하면 오히려 水域을 오염시킨다(富栄養化).
- (4) 원생동물: 단세포로서 不溶性 또는 固形 영양분을 섭취할 수 있고, 박테리아나 조류도 먹는다.
- (5) 輪虫類: 다세포 동물이며, 주로 박테리아와 조류를 먹는다. BOD 성분이 아주 낮은 全酸化 상태에서 출현한다.
- (6) 甲殼類 및 線虫類(nematodes): 고등 동물이며 호기성 조건에서 나타나므로, 이들 동물이 보이지 않으면 산소 결핍 상태에 있음을 의미한다.

기타 유기 화합물을 수소 수용체로서 이용한다.

(표 4)

외부 기질이 부족하면, 세포구성 성분 자체를 산화하여 에너지를 얻으며, 이를 內生呼吸

표 4. 최종호흡 생성물

	호기성 환경	혐기성 환경
유기 C	CO ₂	CO ₂ , CH ₄
유기 N	NO ₂ ⁻	NH ₃
유기 S	SO ₄ ⁻	H ₂ S

(endogenous respiration)이라고 한다. 군체 질량의 약 80%정도가 감소할 때까지 내생 호흡이 진행된다.

呼吸에 의하여 생성되는 에너지를 세포 합성이나 생명 유지 활동에 이용하기 위하여서는 일단 화학 에너지로 고정된다. 이때 ATP(adenosine triphosphate) ~ADP 사이클에 의하여 에너지가 전달되며⁶⁾, 이를 개념적으로 나타내면 그림 4와 같다.

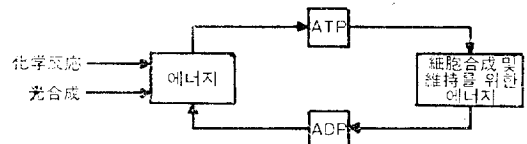


그림 4. ADP-ATP 에너지 전달시스템.

2-3 미생물의 증식

가. 回分系

폐쇄 환경계에서 미생물의 농도(질량 기준)는 세포의 합성에 의하여 증가하며 내생 호흡에 의하여 감소된다.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - k_d X \quad (1)$$

X : 군체의 질량 농도(ML^{-3})

μ : 군체의 비증식속도 $= \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \Big|_{\text{증식}} \quad (\theta^{-1})$

k_d : 군체의 비사멸 속도 $= \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \Big|_{\text{사멸}} \quad (\theta^{-1})$

M : 질량, L : 길이, θ : 시간

비증식속도와 비사멸속도 k_d 는 미생물 종류, 영양 및 환경 조건에 따라서 변한다.

성장제한 기질 외의 다른 모든 영양분이 충분하고 환경 조건이 일정할 때, 성장제한 기질의 질량 농도 $S(ML^{-3})$ 와 비증식속도 μ 는 다음 관계식으로 나타낼 수 있다⁷⁾.

$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K_S + S} \quad (2)$$

$\hat{\mu}$: 군체의 최대비증식속도 (θ^{-1})

K_S : 포화상수, $\mu=0.5\hat{\mu}$ 일 때의 S 의 값과 같음.

이 Monod 식은 효소 반응에 관한 Michaelis-Menten 식과 본질적으로 같은 것이다⁸⁾.

$\hat{\mu}$ 는 미생물의 종류, 영양 및 환경조건에 따라 달라지며, 온도에 따른 $\hat{\mu}$ 의 변화는 다음 식으로 보정할 수 있다.

$$\hat{\mu} = \hat{\mu}_0 C^{(T-T_0)} \quad (3)$$

C : 온도 보정 계수 = 1.03~1.07

pH는 6~9에서 미생물의 증식이 좋으며, 이 범위를 벗어나면, 증식속도가 현저하게 감소한다.

일반적으로 영양분(food)에 비하여 미생물(microorganism)이 적으면, 즉 F/M 비 (S/X 비)가 크면 $\mu \cong \hat{\mu}$ 로서, $\mu \gg k_d$ 이며, F/M 비가 적으면, 영양분의 고갈로 내생 호흡을 하게 되므로 $\mu < k_d$ 가 되며 사멸하여 없어져 버린다. 전형적

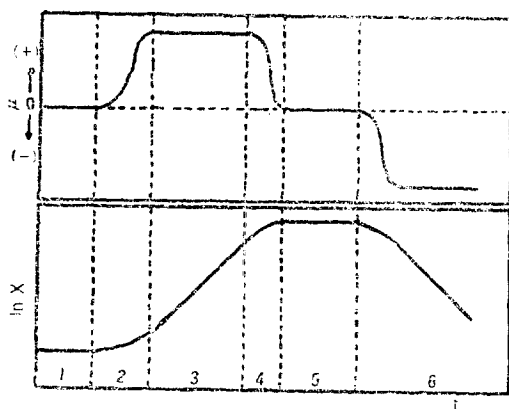


그림 5. 미생물의 증식 곡선(회분계).

1. 유도기: 비증식 속도가 0으로 군체가 주어진 환경에 적응하는 기간.
2. 촉진기: 비증식 속도가 증가.
3. 로그 증식기: 비증식 속도가 일정.
4. 감속기: 비증식 속도가 감소하기 시작하며 내생 호흡 단계가 시작된다.
5. 정상기: 비증식 속도가 0으로, $\mu = k_d$.
6. 사멸기: 비증식속도가 -로서 내생 호흡 단계이다.

회분 배양 실험 결과를 나타내면 그림 5와 같다⁹⁾.

군체의 증식속도는 영양분의 이용 속도에 비례한다고 볼 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} \quad (4)$$

이 식에서 비례상수 Y 를 기질에 대한 군체의 收量 계수라고 한다. 실제로는, 섭취되는 영양분은 세포 성분의 합성과 유지 대사에 이용되므로, 이를 고려하면,

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_G} \frac{dX}{dt} + mX \quad (5)$$

Y_G : 증식 수량계수 = $\Delta X / (-\Delta S)$ | 증식

m : 유지 대사(호흡)를 위한 기질의 비소비 속도 = $-\left(\frac{1}{X}\right)\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{유지}}$ (θ^{-1})

따라서,

$$\frac{1}{Y} = \frac{m}{\mu} + \frac{1}{Y_G} \quad (6)$$

한편 호기성 미생물의 호흡에서는 물속의 용존 산소를 이용하게 되며, 이를 生物化學的 酸素要求量(biochemical oxygen demand, BOD)라고 한다. BOD는 산화 대상이 되는 유기물의 양에 비례할 것이므로, 生分解性 유기물의 농도를 BOD로 대신 나타내고 있다. 이에 비하여 $K_2Cr_2O_7$ 이나 $KMnO_4$ 등의 산화제로 오염성분을 산화하는데 필요한 산소의 필요량을 化學的 酸素要求量(chemical oxygen demand, COD)라고 함은 다 아는 일이다.

회분계에서 BOD의 시간적 변화는 그림 6에 나타낸 바와 같다. 이 곡선의 제 1 단계는,

$$\frac{dL_1}{dt} = -k_1 L_1 \quad (7)$$

L_1 : 제 1 단계 BOD (ML^{-3})

k_1 : 제 1 단계 산소 이용 속도 상수 (θ^{-1})

BOD 제거율로 나타내면,

$$y_1 = L_{10} (1 - e^{-k_1 t}) \quad (8)$$

L_{10} : 제 1 단계 극한 BOD (ML^{-3})

제 1 단계 BOD는 유기물의 분해에 관한 것으로, 제 2 단계 BOD는 질소화합물의 산화(니트로화)에 의한 것으로 해석한다. BOD는 대개 5일간

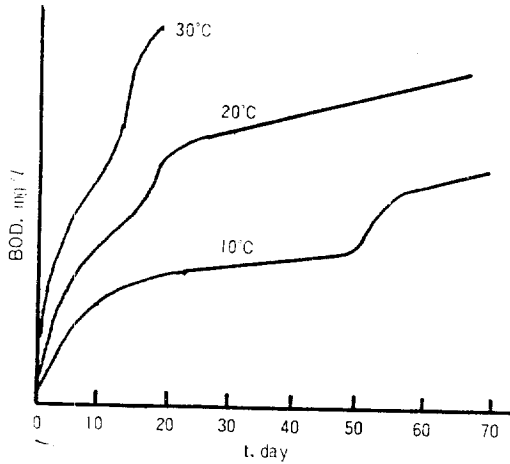


그림 6. BOD의 시간적 변화(최분계).

의 BOD (BOD_5)로 나타내며, 여기에는 제 2 단계 BOD가 포함되지 않는다. 온도에 따른 L_1 과 k_1 의 변화는 다음 식으로 보정한다.

$$k_1(t) = k_1(t_0) C^{(t-t_0)} \quad C=1.05 \quad (9)$$

$$L_1(t) = L_1(t_0) C^{(t-t_0)} \quad C=1.27 \quad (10)$$

가정 폐수인 경우 $k_1(20^\circ\text{C}) = 0.23$ 정도이다.

나. 연속계¹⁰⁾

CSTR에 관하여 균체 질량 수지를 취하면,

$$V \frac{dX_1}{dt} = QX_0 - QX_1 + V\mu X_1 - V k_d X_1 \quad (11)$$

V : 반응계 부피 (L^3) Q : 부피유속 ($L^3\theta^{-1}$)

증식제한 기질의 수지는,

$$V \frac{dS_1}{dt} = QS_0 - QS_1 - V \frac{\mu X_1}{Y_1} \quad (12)$$

정상 상태에서

$$\frac{1}{\theta} = \mu - k_d = \hat{\mu} \frac{S_1}{K_S + S_1} - k_d \quad (13)$$

$$X_1 = \frac{Y_1(S_0 - S_1)}{1 + \theta k_d} \quad (14)$$

$$\theta: \text{체류(공간)시간} = \frac{V}{Q} = \frac{1}{D} \quad (15)$$

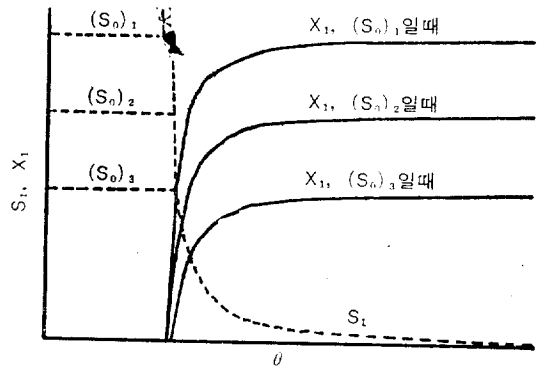
D : 희석(공간)속도 (θ^{-1})

$$S_1 = \frac{K_S(1 + \theta k_d)}{\theta(\mu - k_d)^{-1}} \quad (16)$$

$\hat{\mu} \gg k_d$ 이면,

$$\mu = \frac{1}{\theta} \quad (17)$$

$$X_1 = Y_1(S_0 - S_1) \quad (18)$$

그림 7. 정상상태 CSTR에서 S_0 에 따른 S_1 , X_1 및 θ 의 관계 ($\mu \gg k_d$).

$$S_1 = \frac{K_S}{\theta \hat{\mu} - 1} \quad (18)$$

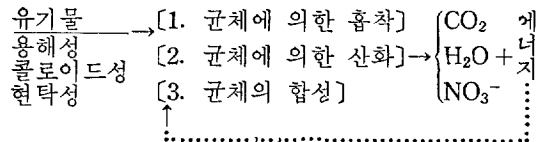
이들 관계를 나타내면, 그림 7과 같다. $\hat{\mu}$, K_S , k_d , Y 등의 파라미터는 식 (13), (14)를 이용하여 CSTR 실험에서 구할 수 있다.

이상의 식들은 본래 단일 미생물의 CSTR 배양에만 이용할 수 있는 것이나, 폐수 처리와 같은 혼합 미생물계에도 활용할 수 있다. 또 실제의 폐수 처리 공정은 대개 배출 균체를 순환시켜서 조업함으로, 이에 관하여 고려하여야 한다. 이는 뒤에서 언급하기로 한다.

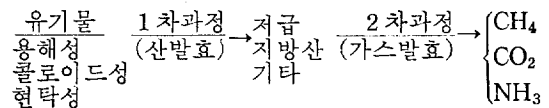
3. 호기성 처리방법

생물학적 폐수 처리방법은 호기성 처리방법과 혐기성 처리방법으로 크게 나눌 수 있다.

호기성 생물처리



혐기성 생물처리



3-1 活性 슬러지 법

호기성 처리방법에는 활성 슬러지(activated sludge)법, 撒水濾過床(trickling filter)법, 酸化

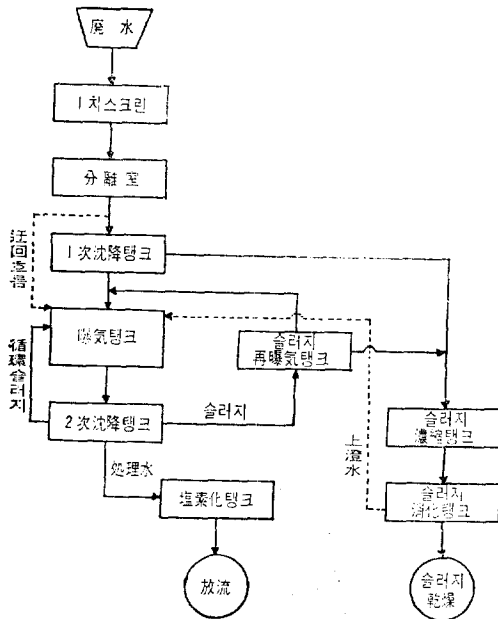


그림 8. 활성 슬러지 시스템.

池법, 기타 방법 등이 있다.

활성 슬러지법 처리 공정의 일반적 구성을 그림 8에 보였다.

원 폐수 중의 대형 부유 및 현탁 고형물은 우선 걸러낸 다음, 침강성 고형물을 침강 분리하여 曝氣 탱크(aeration tank)에 도입한다. 이때 BOD : N : P=100 : 5 : 1 정도로 하며, pH, 온도 조건 등을 적절히 조절하여야 한다. 폭기 탱크는 폐수에馴致시킨 혼합 미생물 군이 대사 작용을 영위하고 있는 곳이다. 미생물군을 현탁 상태로 유지하는 동시에 산소를 공급하기 위하여 機械式 또는 散氣式 방법으로 폭기한다. 미생물 군을 生體 觸媒라고 보면, 폭기 탱크는 일종의 流動化 촉매 반응기라고 생각할 수 있다.

1차 처리한 폐수를 폭기 탱크에 도입하면, 유기물은 일단 세포 표면에 吸着된다. 이러한 세포의 흡착활성을 고려하여 균체 혼합물을 活性 슬러지라고 부르게 된 것이다. 표면에 흡착된 영양분은 세포 안으로 흡수되어 폭기탱크에 체류하는 동안에 同化 및 異化 대사가 진행되며 세포가 증가하는 동시에 CO₂, H₂O 등 대사 생성물이 세포 밖으로 배출된다(그림 9).

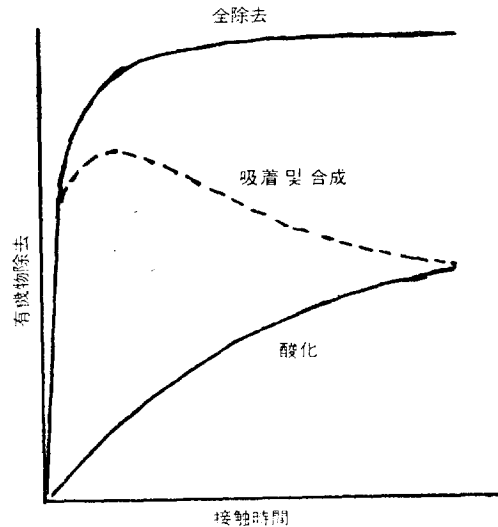


그림 9. 회분 폭기 탱크에서의 유기물의 제거 경위

폐수와 활성 슬러지의 혼합액 중의 현탁 슬러지를 MLSS (mixed liquor suspended solid)라고 부른다. MLSS 중의 휘발성 성분(강열감량)을 MLVSS (mixed liquor volatile suspended solid)라고 하며, 이는 활성 슬러지 및 흡착 유기물에 해당한다^{11,12}.

폭기 탱크 유출수 중의 슬러지를 쉽게 중력에 의하여 침강분리하려면, 슬러지가 floc를 형성하여 침강성이 좋아야 한다. 슬러지의 응집이 좋지 않아서 침강성이 나빠지는 것을 膨化(bulking)라고 한다. 보통 30분 침강시켰을 때 단위 질량의 MLSS가 점하는 부피(cm³/g), 즉 SVI (sludge-volume index)로서 슬러지의 침강성을 나타낸다.

$$SVI = \frac{v}{CV} \quad (19)$$

V : ML의 부피(L³) C : MLSS 농도(ML⁻³)

v : MLSS의 30분 침강부피(L³)

정상적 상태에서 SVI=50~150, 팽화가 일어나면, SVI=300~400 정도가 된다.

침강시킨 슬러지 중에서, 증식량에 해당하는 잉여슬러지는 더욱 농축시켜서 消化하여 탈수, 건조한다(혐기성 소화법 참고). 나머지는 다시 폭기하거나 또는 그대로 폭기 탱크로 순환시킨다.

재래식 활성 슬러지법 폭기 탱크에서의 흐름

은 준플러그흐름(quasi-plug flow)이다. 원폐수의 도입부는 유기물의 흡착이 주로 일어나는 곳으로 接觸단계 (contact stage)라고 하며, 나머지 부분에서는 유기물이 합성에 이용되거나 또는 산화되어 안정한 산화물이 되므로, 이를 安定化 단계(stabilization)라고 한다. 이 두 단계를 효율적으로 조합함과 동시에 BOD 성분의 제거율을 개선하기 위하여, 표준법을 비롯한 여러가지 활성슬러지 법이 시행되고 있다. PLI (process loading intensity, kg BOD₅/day·kg VSS)와 처리효율 (BOD₅ 제거율)을 비교하면 표 5와 같다.

가. 표준 활성 슬러지법(그림10)

좁은 폭기조(길이 3~4.5m, 깊이 30~120m) 4~8hr 정도 체류시키나, MLSS는 1.2~3.0g/l 정도로하며, 잉여 슬러지 생성량은 0.4~0.5kg/kg BOD(제거량)이다. 순환 슬러지흐름(Q_R)은 도입 폐수흐름Q의 10~30%(순환비 $\omega=0.1\sim0.3$) 정도로 하며, 이중의 SS는 MLSS의 4~5배가 된다.

PLI는 다음식으로 계산한다. (그림10참고)

$$L = QC_o / X_a V \quad (18)$$

표 5. 활성슬러지 법의 PLI와 처리효율¹³⁾.

형식	PLI*	처리효율**
표준법 (conventional)	0.20~0.50	90~95
長期폭기법 (extended aeration)	0.05~0.20	75~85
段階폭기법 (step aeration)	0.20~0.50	90~95
接觸安定化법 (contact-stabilization)	0.20~0.50	85~95
高辛法 (high-rate)	0.50~5.00	60~85

* kg BOD₅ (20°C)/kg VSS·day

** BOD₅ (20°C) 제거율

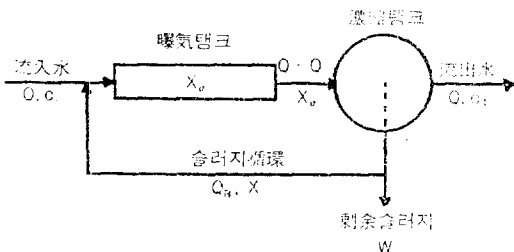


그림 10. 표준 활성 슬러지법

$$L : PLI (\theta^{-1})$$

폭기조 부피와 체류시간은,

$$V = QC_o / LX_a \quad (19)$$

$$\theta = V / (Q + Q_a) \quad (20)$$

유출수와 잉여 슬러지 흐름에 의한 VSS의 손실을 무시하면, 순환비 $w = Q_R / Q$ 일때,

$$X_a(Q + Q_R) = X_R Q_R \quad (21)$$

$$X_a = X_R \left(\frac{w}{1+w} \right), \quad Q_R = \frac{X_a Q}{X_R - X_a} \quad (22)$$

슬러지의 실질 생성속도는,

$$W = Y_N Q (C_0 - C_1) \quad (23)$$

W : 실질 슬러지 생성속도 (Mθ⁻¹)

Y_N : 실질 수량 계수 (kg슬러지/kg 제거BOD)

공기의 필요량은 가정 폐수인 경우, 4~12m³/m³ 폐수이다^{1,14,15)}.

나. 단계폭기법(그림 11, 12).

유입수를 분할하여 도입함으로써 증식과 산화가 폭기조 전반에 걸쳐서 일어나게 하는 방법이다. 이렇게 유기물 부하를 분산시키면, 체류시간을 짧게 할수 있으며, MLSS 농도가 낮아도 좋다.

다. 점측—안정화법(그림13)

표준법에서의 점측 단계와 안정화 단계를 분

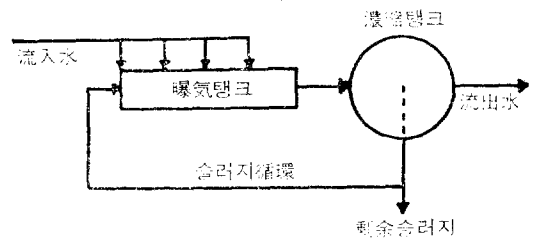


그림 11. 단계 폭기법

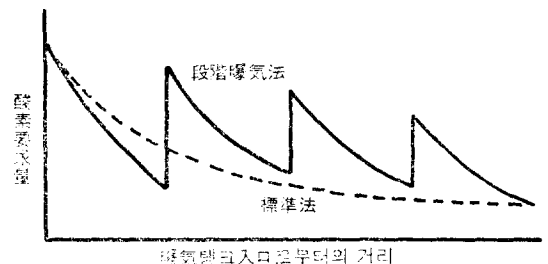


그림 12. 표준법과 단계 폭기법에서의 산소 요구량의 비교

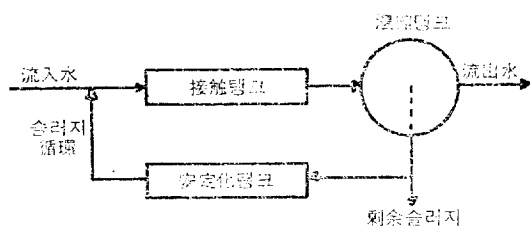


그림 13. 접촉-안정화법.

리한 것으로, 체류시간은 각각 15~30min 및 1.5~5hr이다. 처리조의 용량을 줄일 수 있다.

다. 장기폭기법

폭기시간을 30~36hr 정도로 길게하여 유기물을 全酸化하고자 하는 것이다. 처리 효율은 나쁘나 소규모 시설에서 자주 이용된다.

마. 고율법

순환 슬러지 흐름의 비율 10~15%로 적게하고, 체류시간을 2~3hr로 한다. PLI가 크므로 슬러지 증식속도는 크나 처리 효율이 나쁘다.

바. 완전혼합 활성슬러지법(그림14)

유기물 농도가 클 때는 유입수를 완전 혼합함으로써 활성 슬러지에 대한 유기물의 충격부하를 줄일 수 있다.

정상 상태에서 폭기탱크의 수지로 부터¹⁶⁾,

$$\mu = \frac{1}{\theta} \left\{ 1 + w \left(1 - \frac{X_R}{X_a} \right) \right\} \quad (24)$$

농축 탱크의 수지를 취하면,

$$\frac{X_R}{X_a} = \frac{(Q + Q_R) - (Q - Q_w)(X_e/X_a)}{Q_w + Q_R} \quad (25)$$

$X_e/X = 0$ 인 경우,

$$\mu = \frac{1}{\theta} \left\{ 1 + w \left(1 - \frac{1+w}{w + \frac{Q_w}{Q}} \right) \right\} \quad (26)$$

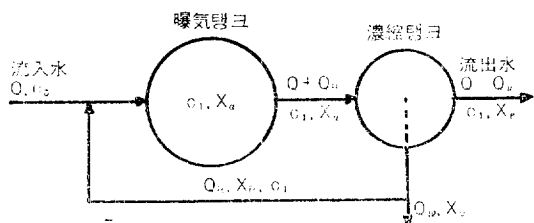


그림 14. 완전 혼합 활성 슬러지법.

이들 식에서 X 는 순수 균체만을 나타낸 것이며 $k_d=0$ 으로 보았다. 완전 용해성 폐수인 경우 VSS는 활성 균체와 같으나, 일반가정 폐수인 경우 VSS는 생물학적 활성 균체의 2~5배나 된다.

3-2 撒水 濾過床法

固定層 生物 觸媒 반응기에 비할 수 있는 것이 이 방법이다. 알고 지름이 큰 원형탱크(그림 15)에 채운 돌 조각이나 플라스틱 媒體 表면에 부착시킨 균체의 피막에 폐수를 흐르게 하여 유기물을 제거하는 방법이다. 여과상(filter)이란 말은 잘못된 것으로, 生物 슬러임(slime)의 대사 작용에 의하여 유기물이 제거되며 여과에 의하여 제거되는 것은 아니다(그림16). 생물 슬러임의 구성은 활성 슬러지의 경우와 비슷하다. 폐수는 표면에 살수하여 호기성 조건이 유지되게 하며, 떨어져 나오는 슬러임은 침강 분리하며, 그대로 배출시키거나 순환시킨다. ($w=0.5 \sim 3.0$).

이 방법의 원리를 이용한 것에 bio-disk 법이 있으며, 소규모 폐수 처리에 많이 이용된다.

3-3 기타 호기성 처리방법

기타 호기성 처리방법으로서는 酸化池(oxidation pond)법, 산화도랑(oxidation ditch)법, 안정화 라구온(stabilization lagoon)법, 호기성消化法등이 활용되고 있다.

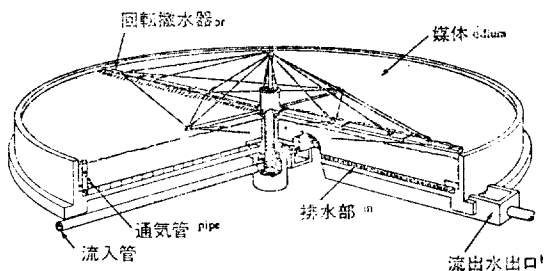


그림 15. 살수 여과상의 단면.

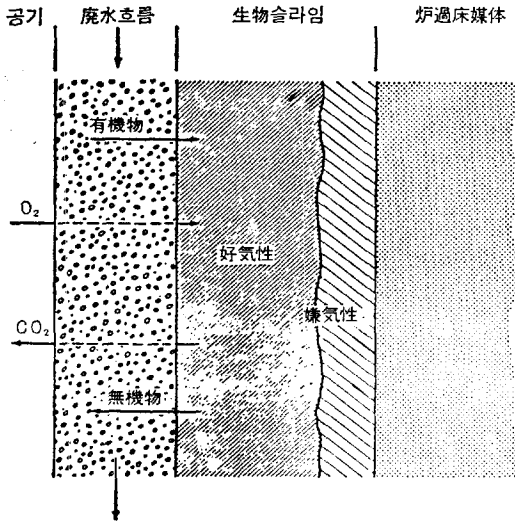


그림 16. 생물 슬라임 표면에서의 물질교환 모형.

4. 嫌氣性 處理方法

嫌氣性 消化(anaerobic digestion)에는 酸生成 미생물과 메탄 생성 미생물이 관여하며, 생성 가스는 CH_4 , CO_2 , NH_3 등이 95~98%고, H_2S , H_2 등이 소량 함유된다.

이 방법은 유기물 농도가 큰 폐수(분뇨 등)나 유기성 슬러지의 분해에 이용된다. 농촌에서 가축의 분뇨를 “썩혀서” 메탄을 생성시키는 것이나 淨化槽는 이 방법을 응용한 것이다.

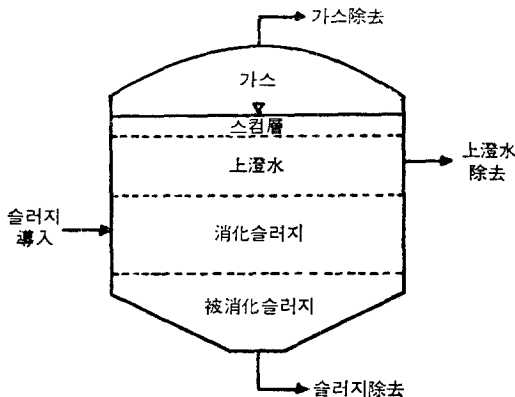


그림 17. 표준 소화탱크.

4-1 표준법

30~35°C의 폐쇄 탱크에 슬러지를 도입하여 교반하지 않고 처리하는 방법이다. 체류시간을 30~50 day로 한다. 표준 소화 탱크에서의 성층(stvatification)현상은 그림 17과 같다.

4-2 고율법

이 방법에서는 도입 슬러지를 완전 혼합시키며, 32~35°C, 체류시간 10~15 day 정도로 한다. 도입 슬러지 농도를 높여서 처리 용량을 줄일 수 있으나, 6% 이상이 되면 혼합이 곤란해진다. 혼합은 기계식, 순환가스 散氣式, 가스 리프트 펌프식 등으로 행한다.

이상의 혐기성 소화법은 고농도의 폐수를 처리하면서도 잉여 슬러지의 생성량이 적고, 유용한 BOD 가스가 생성되나, 처리수 중에는 아직도 상당한 BOD 및 COD가 잔존하므로 그대로 방류할 수 없고 다시 처리하여야 한다.

이상에서 생물학적 폐수 처리방법의 원리를 아주 간단히 소개하였다. 실제의 활용방법과 설계, 특수 방법 등에 관하여서는 다음 기회로 미루고저 한다.

참고 문헌

1. W. W. Eckenfelder and D. L. Ford, "Water Pollution control," Jenkins Pub. Co., 1970.
2. E. P. Odum, "Fundamentals of Ecology," 3rd ed., 1971, p. 13.
3. Metcalf and Eddy, Inc., "Wastewater Engineering," TATA McGraw-Hill Pub. Co., Ltd., 1974, p. 374.
4. S. T. Lyles, "Biology of Microorganisms," The C. V. Mosby, Co., 1969, pp. 145~205.
5. Chem. Eng., Deskbook Issue, April 27, 1970, p. 67.
6. A. L. Lehninger, "Bioenergetics," W. A. Benjamin, Inc., 1965.
7. J. Monod, "Recherches sur la Croissance

- des Cultures Bactérienne," Herman and Cie, 1942.
8. K.J. Laidler and P.S. Bunting, "The Chemical Kinetics of Enzyme Action," 2nd ed., Oxford Univ. Press, 1973, p. 72.
9. J. Monod, *Ann. Rev. Microb.*, **3** (1949) 371.
10. H.D. Elsworth *et al.*, *J. gen. Microbiol.*, **14** (1956) 601.
11. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 13th ed., APHA, 1971.
12. KS M 0111, "공장폐수시험방법," 한국 규격 협회, 1975.
13. L.G. Rich, "Environmental Systems Engineering," McGraw-Hill, Inc., 1973, p. 355
14. W.W. Eckenfolder, Jr. and D.J. O'Connor, "Biological Waste Treatment," Pergamon Press, 1961.
15. T.K. Ghose *et al.*, ed., "Advances in Biochemical Engineering," Vol. 2, Springer-Verlag, 1972.
16. A. Aiba *et al.*, "Biochemical Engineering", 2nd ed., Univ. of Tokyo press, 1973, p. 133.
17. L.G. Rich, *ibid.*, p. 365, p. 416.