

전병준

(주)프라임텍 인터내셔널  
기술영업부장

# 효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술 <2>

## 목 차

### 01. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념

- (1) 현탁 입자의 제거방법
- (2) 슬러지의 침전 부상처리
- (3) 용해성 물질의 제거방법
- (4) 저농도 유기물의 제거방법
- (5) 무기성 오염물의 제거방법

### 2. 식유화학 공장의 폐수처리

### 3. 지·필프공장의 폐수처리

### 4. 합섬·염색공장의 폐수처리

### 5. 식물공장의 폐수처리

### 6. 제철·철강공장의 폐수처리

### 7. 미수·위생처리장의 폐수처리

### 8. 특정 오염물질의 처리기술

### 9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

### 10. 폐수 재활용 기술과 인성관리

## 2. 슬러지의 침전 부상처리

### 가. 슬러지의 침강(Sedimentation)

침전과 침강은 현탁입자 Floc과 처리수인 청등수를 분리하는 침전조에서 적용되며, 처리효율은 전술한 바와 같이 입자의 크기, 온도, 체류시간 등에 의해 다소의 차이는 있다.

#### (1) 독립침전

침전조에서 입자의 크기, 모양, 밀도 등이 동일하다고 가정할 때, 침전입자의 침강속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{4g(ps - p_l)D}{3Cd}}$$

Ps : 입자의 밀도   Pl : 물의 밀도   V : 입자의 침강속도  
D : 입자의 직경   Cd : drag coefficient

Cd와 Reynolds numver, Re,는 다음의 관계에 있다.

At	Re < 2	Cd = 24/Re
	2 < Re < 500	Cd = 18.5/Re <sup>0.6</sup>
	Re > 500	Cd = 0.4

침전조에서의 침강속도와 표면적간의 이론적 관계는 다음과 같다.

$$V_0 = Q/A$$

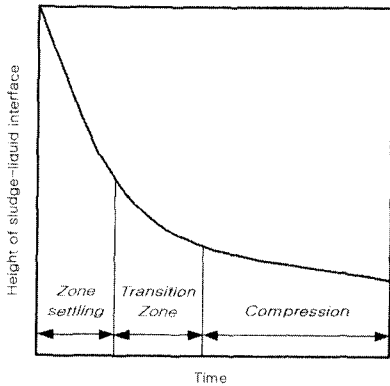
Q : 침전조 유입수량    A : 침전조 표면적

(2) 동반침전(Flocculant Setting)과 영역침전(Zone Setting)

침전조에서 응집된 입자들은 침전을 위한 중력에 의한 힘이 작용되고 동시에 유량에 의한 부력이 동시에 작용하게 된다. 따라서 입자들의 하부로 작용하는 중력과 상부로 작용하는 부력의 힘의 균형이 유지되는 영역에 floc들이 층(Zone)을 형성하게 되며 이러한 입자들의 동반하여 형성한 floc Zone은 미세한 입자들이 쉽게 통과할 수 없도록 filter의 역할을 하게 된다.

이처럼 floc들이 계속적으로 누적된 floc Zone은 입자의 누적에 따라 밀도가 상승하게 되고 결국 침전조 하부로 덩어리 형태로 동반침전을 하게 된다.

한편, 하부로 동반 침전된 floc들은 침전조 하부나 농축조에 이송되어 슬러지 층을 형성하고 중력에 의해 점차 부피가 감소하는 압밀 층전이 나타나게 되어 슬러지 농축이 일어나는 것이다. [그림-4]에 응집 슬러지의 부피변화와 단계를 나타내었다.



[그림-4. 슬러지의 농축과정과 각 단계]

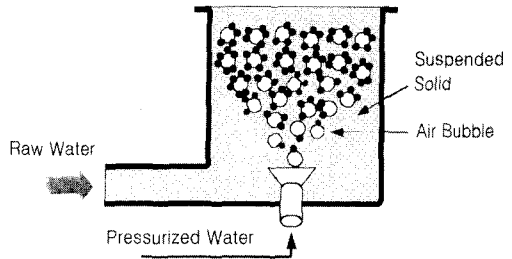
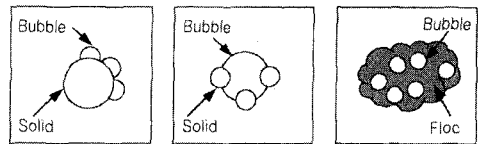
나. 부상처리(Flotation)

부상처리는 현탁입자가 보통 물보다 가벼운 밀도를 갖

는 제지 또는 유분 폐수 등의 경우에 적용되며, 입자표면에 기포를 부착시켜 그 부력에 의해 현탁입자들을 부상시키며 물과 분리시키는 처리방법이다. 부상처리에 이용되는 방법으로는 ①직접 공기를 주입하는 IAF(Induced Air Flotation)법과 ②공기를 가압수에 용해시킨 후 폐수와 함께 혼합시키는 DAF(Dissolved Air Flotation)법이 있으며 처리효율 측면에서는 DAF처리가 유리하다.

한편, 기포에 의해 입자가 부상되는 속도 역시 입자의 직경이 클수록 상승하며 이는 입자경의 증가에 따라 기포의 부착율과 이에 따른 부력의 증가에 기인한다.

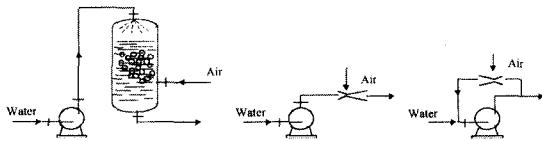
결국 입자의 크기에 의해 침전처리법과 부상처리법의 효율이 모두 지배된다는 것으로서 응집의 필요성은 침전처리나 부상처리 모두에게 중요한 인자가 된다는 것을 알 수 있다.



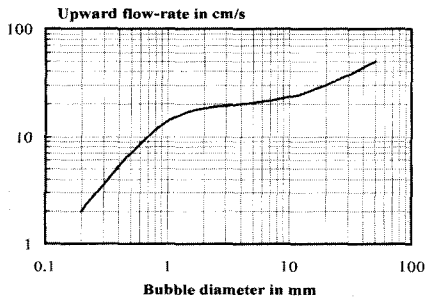
[그림-5. 부상처리 개념도]

DAF설비의 일반적인 설계기준은 가압수 탱크의 압력 3~5kgf/cm<sup>2</sup>, 체류시간 20~30분, 부상속도를 4~15m/hr로 하고 있는 것으로 알려지며, 온도에 따라 공기의 용해도가 달라지므로 가압수의 종류에 따라 이를 고려하여야 한다.

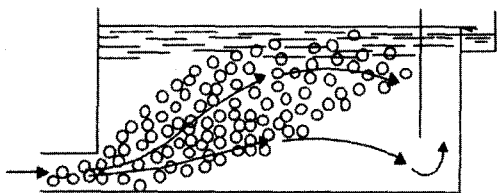
[그림-7]에 대기의 온도에 따른 용해도와 가압부상조의 구성도를 나타내었다.



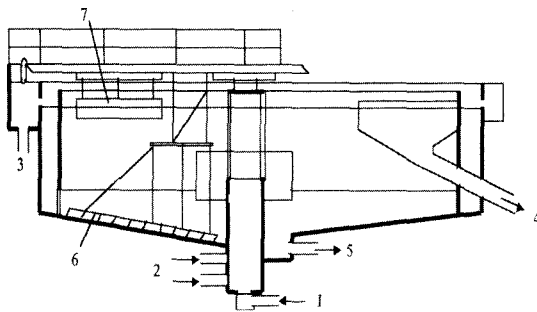
(a) 가압 Tank 구조



(b) Air bubble 크기



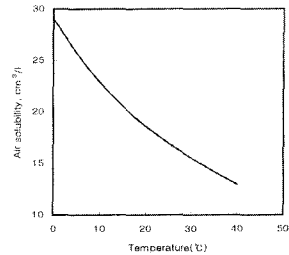
(c) 부상조 개념도



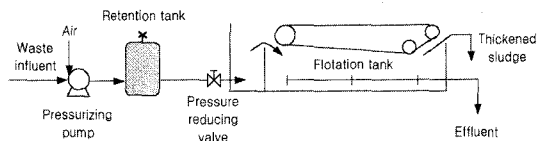
(d) 부상조 구조

- 1. Raw water inlet
- 2. Pressurized water inlet
- 3. Treated water outlet
- 4. Scum Discharge
- 5. Sludge extraction
- 6. Bottom Scraper
- 7. Surface Scraper

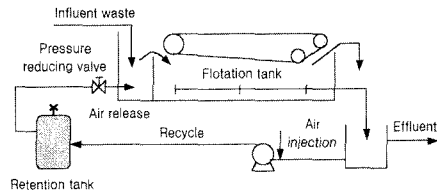
(그림-6. 가압부상 설비의 개념도)



(그림-7. 수온에 따른 공기의 용해도)

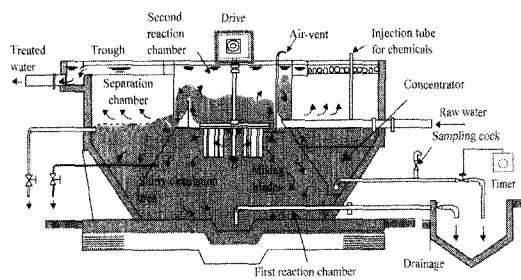


(a) 일과식 DAF설비



(b) 순환식 DAF설비

(그림-8. 일과식 DAF설비(a)와 순환식 DAF설비(b)의 Flow-Sheet)



(그림-9. Clarifier의 구조)

다. 여과처리 (Filtration)

물 속의 현탁성 입자를 제거하는 부가적 방법으로 일반적으로 사용되는 여과처리는 Sand filter나 Active Carbon filter가 대표적이며, 이들은 입자의 크기에 따라

여과방법이 선택되어 진다.

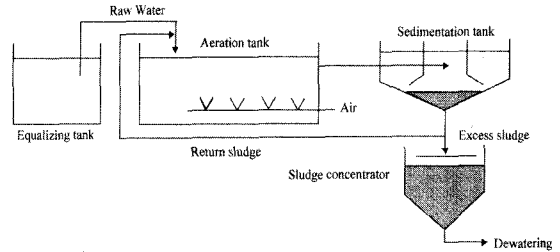
최근에는 여과막의 크기를 세밀하게 하여 Membrane 까지 발전한 추세에 있으며, 막의 크기(Pore size)가 미세할수록 연속운전이 어렵고, 고압력을 요구하는 특징을 갖는다.

### 3. 용해성물질의 제거방법

산업폐수 처리에서 전형적으로 채택하고 있는 용해성물질의 제거 방법은 표준활성오니법으로서 미생물에 의해 수중에 용존하는 유기물을 분해시키고 미생물의 개체수 증식과 함께 미생물 세포벽에 존재하는 다당류(Polysaccharose)의 점성에 의해 flocc되는 성질을 이용하여 자연 침전시켜

처리수와 미생물을 분리하는 것이다.

자연계의 미생물은 호기성 미생물이 혐기성 미생물에 비하여 생육우세에 있으므로 일반적인 표준활성오니처리에는 호기성 미생물을 이용하는 것으로, 생물학적 처리에서는 중간매체인 미생물의 생육에 적합한 환경조성이 처리효율과 안전관리의 핵심이라고 할 수 있다.



[그림-10. 전형적인 활성오니 처리 공정의 Flow-Sheet]

[표-8. 오염물 크기에 따른 적정 처리방법]

크기	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5 \sim 7m (10^{-9}m)$ $10^2 \sim 7m (10^{-6}m)$
		0.001	00.1	0.1	1	$10^1$	
Range	Ionic range	Macro molecule		Colloidal	Coarse Suspended Solid		
보기	Ion	염료, 잉크		박테리아 Bentonite	Micro sand		
(처리 방법)							
이온교환	Ion Exchange						
전기영동	Electro-Dialysis						
크기차이	Reverse Osmosis	Ultra Filter	Micro Filter		Fiber Filtration		
비중차이	Ultra Filter		Centrifuge				
중기입	분별침투						
용해도	흡착추출						
막의 Pore size							
• Reverse Osmosis		• 0.001 ~ 0.01 $\mu m$					
• Ultra Filter		• 0.001 ~ 0.05 $\mu m$					
• Micro Filter		• 0.02 ~ 10 $\mu m$					
Active Carbon		10 ~ 100Å					

가. 활성오니에 영향을 미치는 인자

활성오니 최적생육을 위한 환경조건중 중요한 인자로는 다음과 같은 것들이 있다.

#### 1) pH

일반적으로 최적의 pH 범위는 7.0~7.5 범위이며, 통상 6.0~8.0 범위에서 관리되는 것이 통례이다. 산이나 알칼리 폐수의 처리시 중화를 통하여 적정 pH범위로 조정하는 것은 가장 기본적 사항이며, 미생물의 호흡에 의하여 발생하는 CO<sub>2</sub>는 수중에서 탄산의 형태로 전환되므로 완충효과를 얻기 위해서 폭기조 유

입수는 pH=8.0 부근으로 사전에 조정하는 것도 바람직하다.

[표-9. 호기성·혐기성 미생물 처리의 비교]

호기성 미생물 처리	혐기성 미생물 처리
• 일반적인 생물학적 처리 방법	• 고농도 유기 폐수처리에 이용
• 관리가 용이 (생육 조건이 일반적 상황)	• 관리가 어려움 (생육조건이 까다로움)
BOD=2500 ppm	BOD=10만 정도까지 처리 가능
MLSS=2500 ppm	pH=6~8
pH=6~8	SRT=10~15day
F/M=0.2~1	• 슬러지 발생량
Temp.=20~40℃	유기물량의 20~30%
SRT=2~5 day	(Methane으로 Gas배출)
• 슬러지 발생량(Conversion rate) 유기물량의 50~60%	

는 반드시 0.5~1.0 ppm 이상을 유지하여야 한다. 통상 BOD 1kg당 40m<sup>3</sup> 정도의 공기가 필요하다. 또한 소화를 위해서는 용존산소 농도가 높은 편이 좋다(2~3ppm). 일반적인 관리지표는 1.0~2.0ppm정도이다.

폭기조 처리시의 산소요구량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

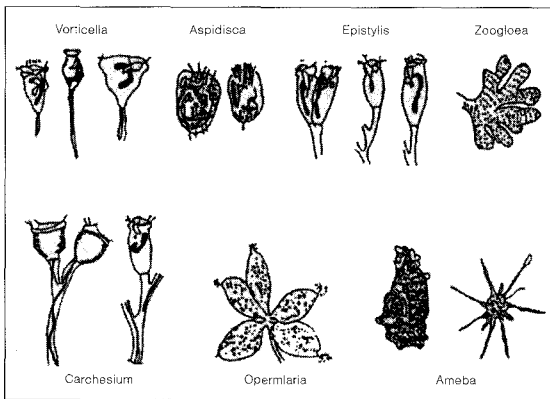
$$O_2 = a' Lr + b' S$$

$O_2$  : oxygen requirement (Kg-O<sub>2</sub>/d)  
 $Lr$  : removed BOD (Kg-BOD/d)  
 $S$  : biological solids (Kg)  
 $a'$  : fraction of organics consumed to supply energy for synthesis (-)  
 $b'$  : the autoxidation rate (1/d)

※  $a'$  와  $b'$  는 폐수의 성상에 따라 차이가 있으나 통상의 경우 다음과 같은 값을 갖는다.

$$a' = 0.35 \sim 0.55$$

$$b' = 0.05 \sim 0.20$$



[그림-11. 활성오니의 미생물]

[표-10. 폭기조 처리시 산소요구량]

4) 영양 Balance와 부하량

미생물에 있어서 가장 중요한 3대 영양소는 유기물(BOD)과 질소(N), 인(P)으로서, 일반적으로 요구되는 비율은 BOD : N : P = 100 : 5 : 1이다.

질소나 인의 농도가 요구되는 비율 이하일 경우에는 BOD제거율도 감소된다. 암모니아는 가장 전형적인 형태의 질소영양원이며 다른 질소화합물도 폭기조내에서 생화학적 반응에 의하여 암모니아로 전환되게 된다.

황산암모늄(Ammonium Sulfate), 요소(Urea), 아질산염(Nitrites)이나 질산염(Nitrates)도 질소영양원으로 사용된다.

5) 저해물질

미생물의 활성을 저해하는 물질에는 효소반응을 저해하는 물질(동, 크롬, 염소, 시안, 페놀 등)과 표면에 부착하여 산소호흡을 방해하는 유지류 등이 있다. 미생물에 대한

2) 온도

미생물의 활동도는 온도(수온)가 10℃이하 이거나 40℃이상에서는 감소하게 된다. 활성오니 처리의 일반적인 온도관리 범위는 15~30℃이다.

3) 용존산소

폭기조 내에서의 용존산소 농도는 표준 활성오니법에서

영향의 평가는 완전혼합조내에서 단일성분에 대한 미생물의 성장속도를 측정해 보거나 생분해가 가능한 유기물의 정도를 측정하여 예측하는 것이 가능하다.

한편, 독성이 없는 것으로 평가되는 무기염의 경우에도 고농도에서는 미생물의 생분해성을 저해하여 활성오니 처리효율 자체를 감소시킬 수 있으므로 과도한 염류의 유입은 피하는 것이 좋으며 필요시 희석 처리하는 것이 바람직하다. 일반적으로 알려진 활성오니에 대한 저해물질의 종류와 한계농도는 별첨에 언급하였다.

<p>미생물증식량 (<math>\Delta S</math>) = <math>a L_r - b S</math></p> <p><math>\Delta S</math> : Sludge produced (Kg/d)</p> <p><math>a</math> : Fraction of BOD converted to new cells (-)</p> <p><math>L_r</math> : BOD removed (Kg/d)</p> <p><math>b</math> : Fraction of autoxidized solids (1/d)</p> <p><math>S</math> : Biological solids (Kg)</p> <p>※ S는 MLVSS(Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)를 칭하며 통상 0.6~0.8의 범위임.</p> <p>※ a와 b의 값은 폐수성상에 따라 차이가 있으나 통상의 경우 다음과 같은 값을 갖는다.</p> <p style="text-align: center;"><math>a : 0.5 \sim 0.7</math> <math>b : 0.05 \sim 0.15</math></p>
---

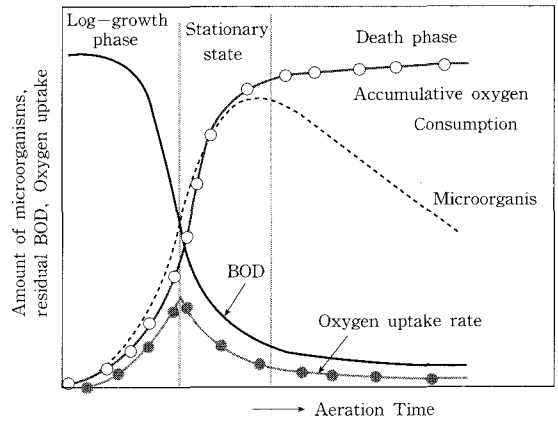
[표-11. 폭기조 처리시 슬러지 발생량]

<p style="text-align: center;"><math>\text{산소용해량} \frac{dc}{dt} = K_L a (C_s - C)</math></p> <p><math>C</math> : Concentration of dissolved oxygen (ppm)</p> <p><math>t</math> : Time (hr)</p> <p><math>K_L a</math> : Overall mass transfer coefficient for oxygen dissolution (1/hr)</p> <p><math>C_s</math> : 포화 용존산소 농도 (ppm)</p> <p>※ 산소용해량은 폭기시스템에 따라 차이가 있으며, <math>K_L a</math>는 기포의 크기에 따라 차이가 있으며, 기체~액체간의 접촉면적, 폭기조의 구조, 폐수의 성상, 교반의 강도에 따라 산소용해량은 다소간의 차이를 나타낸다.</p>
--

[표-12. 산소용해량]

온도(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70
포화 용존산소 $q(g/100g)(\times 10^3)$	6.95	5.37	4.34	3.59	3.08	2.66	2.27	1.86

[표-13. 온도에 따른 예상 포화 용존산소]



[그림-12. 유기물의 분해와 미생물의 증식]

상담 및 문의전화  
(02)554-6750