



전 병준

(주)프라임텍인터내쇼날
사업지원본부장

효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술<15>

목차

1. 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. 석유화학 공장의 폐수처리

- (1) 정유공장의 폐수처리
- (2) 일반 석유화학 공장의 폐수처리

3. 제지·펄프공장의 폐수처리

4. 합섬·염색공장의 폐수처리

5. 식품공장의 폐수처리

6. 제철·철강공장의 폐수처리

7. 미수·위생처리장의 폐수처리

8. 특정 오염물질의 처리기술

9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

10. 폐수 재활용기술과 안정관리

마. 활성오니의 생육과 영향인자

활성오니 최적생육을 위한 환경조건중 중요한 인자로는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) pH

일반적으로 최적의 pH 범위는 7~7.5 범위이며, 통상 6~8 범위에서 관리되는 것이 통례이다.

산이나 알칼리 폐수의 처리시 중화를 통하여 적정 pH범위로 조정하는 것은 가장 기본적 사항이며, 미생물의 호흡에 의하여 발생하는 CO₂는 수중에서 탄산의 형태로 전환되므로 완충효과를 얻기 위해서 폭기조유입수는 pH = 8.0 부근으로 사전에 조정하는 것도 바람직하다.

(2) 온도

미생물의 활동도는 온도(수온)가 10℃ 이하이거나 40℃ 이상에서는 감소하게 된다.

활성오니 처리의 일반적인 온도관리 범위는 15~30℃이다.

(3) 용존산소

폭기조 내에서의 용존산소 농도는 표준 활성오니법에서는 반드시 0.5~1ppm 이상을 유지하여야 한다. 통상 BOD 1kg당 40m³ 정도의 공기가 필요하다. 또한 소화를 위해서는 용존산소 농도가 높은 편이 좋다(2~3ppm). 일반적인 관리지표는 1~2ppm정도이다.

폭기조처리시의 산소요구량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

《 표 7-3. 폭기조 처리시 산소요구량 》

$O_2 = a'Lr + b's$
O_2 : oxygen requirement (Kg- O_2 /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.
$a' = 0.35 \sim 0.55$ $b' = 0.05 \sim 0.20$

(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 호소반응을 저해하는 물질(동, 크롬, 염소, 시안, 페놀 등)과 표면에 부착하여 산소호흡을 방해하는 유지류 등이 있다.

미생물에 대한 영양의 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.

《 표 7-4. 폭기조 처리시 슬러지 발생량 》

$\Delta S = a Lr - b S$	
ΔS	: Sludge produced (Kg/d)
a	: Fraction of BOD converted to new cells (-)
Lr	: BOD removed (Kg/d)
b	: Fraction of autoxidized solids (1/d)
S	: Biological solids (Kg)
* S 는 MLVSS(Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)를 칭하며 통상 0.6~0.8의 범위임.	
* a 와 b 의 값은 폐수성상에 따라 차이가 있으나 통상의 경우 다음과 같은 값을 갖는다.	
$a : 0.5 \sim 0.7$ $b : 0.05 \sim 0.15$	

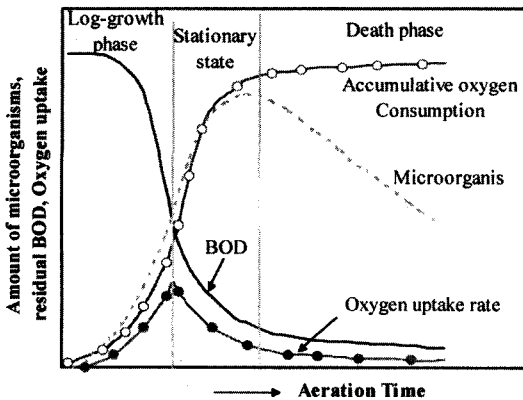
《 표 7-5. 산소용해량 》

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

《 표 7-6. 온도에 따른 예상 포화 용존산소 》

온도	0	10	20	30	40	50	60	70
포화 용존산소 q [g/100g] (× 103)	6.95	5.37	4.34	3.59	3.08	2.66	2.27	1.86

【 그림 7-5. 유기물의 분해와 미생물의 증식 】



바. 활성오니 처리시의 주요 관리항목

활성오니의 유기물에 대한 흡착 또는 흡착된 물질의 분해능력은 활성오니를 구성하는 미생물의 종류와 수에 좌우된다. 이들 종류와 수는 앞에서 언급한 바와도 같이 수질, 용존산소 농도, 수온 등의 영향을 받게 되므로 통상 SVI 값 등의 측정을 통하여 관리의 지표로 삼게 된다. 이와 함께 유기물의 부하량 등을 적절히 조절해 주어 처리수의 수질이 미처리수에 의하여 악화되지 않도록 하여야 한다.

(1) BOD부하 (F/M 비)

단위 미생물당 부여되는 유기물의 량을 말하며 미생물의 량 (MLVSS)에 기초하여 산출한다.

BOD부하는 폐수내의 유기물량(Food)과 활성오니량(Micro organism)의 비라는 의미이므로 F/M비로 나타내거나, 설계의

$$\text{BOD부하(MLVSS기준)} = \frac{dc}{dt}$$

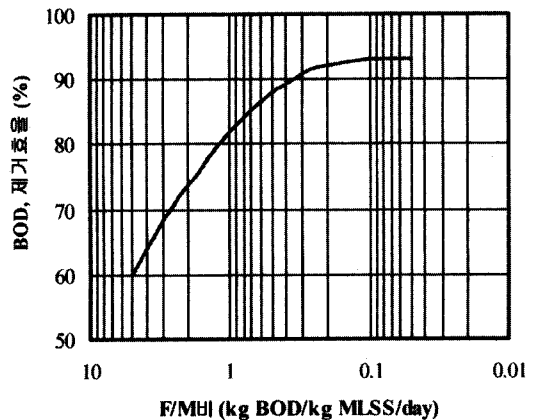
L: 1일당 부여되는 BOD량 (kg/day) S: 폭기조내 MLSS의 량(kg)

$$\text{BOD부하(MLVSS기준)} = \frac{dc}{dt}$$

V: 폭기조 Tank의 용량 (m³)

기본인자로 사용하며 대부분의 경우 F/M비(L/S)는 0.2~0.5(Kg BOD/kg MLSS)의 범위에서 운전되는 것으로 알려져 있다.

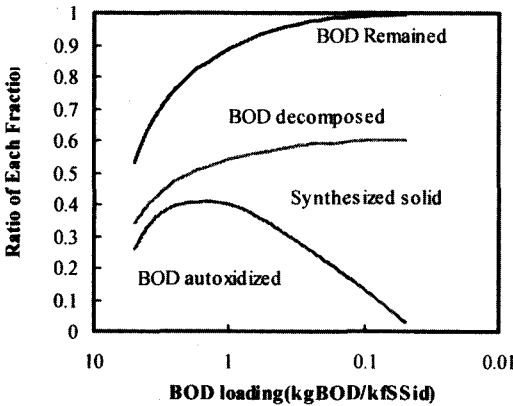
【 그림 7-6. F/M비와 미생물의 물질대사율과의 관계 】



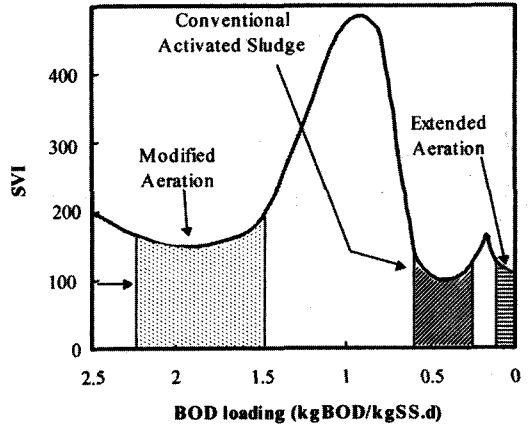
☞ F/M비가 작을수록 BOD제거효율은 좋으나 침전성이 나쁘다.

☞ F/M비가 높을수록 용존산소는 높게 유지해 주어야 하며, 용존산소농도가 낮을 경우에는 Bulking의 원인이 된다. (F/M 비 0.5의 경우 용존산소 2ppm이상이 일반적으로 안정영역)

【 그림 7-7. BOD부하와 세포의 합성 및 생분해 】



【 그림 7-8. BOD부하의 SVI 】



(2) 오니 용량지표 (SVI : Sludge Volume Index)

$$= \frac{\text{폭기조혼합액 1 l 의 30분 침전후 오니부피(ml)}}{\text{폭기조혼합액 1 l 중의 부유물질량(mg)}} \times 1,000$$

$$= \frac{\text{30분후 침전후의 오니부피(\%)}}{\text{MLSS(\%)}} \times 1,000$$

☞ SVI는 활성오니의 침전가능성을 나타내는 값으로, 슬러지의 Bulking의 여부를 확인하는 지표이다.

Bulking은 통상 사상균이 번식하거나, 미생물이 분산 성장단계에 있어 쉽게 침전되지 않는 것을 말한다. 통상 SVI의 관리치는 50~150이다.

SVI의 결정은 1 l의 폭기조 용액시료를 Cylinder에 넣고 30분간 정치시켜 침전된 부피를 측정하며, MLSS의 농도는 폭기조용액을 건조시켜 측정하며 이 값들로부터 SVI를 계산한다.

【 그림 7-8. 참조 】

(3) 오니밀도 지표 (SDI : Sludge Density Index)

$$= \frac{\text{MLSS(ppm)}}{\text{폭기조혼합액 1 l 에서의 30분 침전후의 오니량(\%)}}$$

$$= \frac{\text{MLSS(\%)} \times 100}{\text{30분 침전후의 슬러지량(\%)}}$$

· 슬러지 반응을 결정과 침강성 판단에 이용되는 지표

$$\text{SVI} = \frac{100}{\text{SDI}} \text{ 통상 SDI의 관리치는 1.67 ~ 0.83이다.}$$

(4) 반송오니량의 결정

반송오니의 양은 MLSS의 양에 근거하여 산출한다.

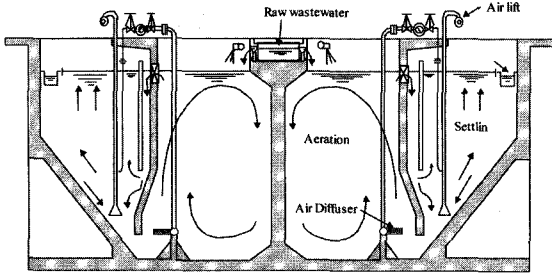
$$\text{R(\%)} = \frac{(\text{MLSS} - \text{RSS}) \times 100}{\text{RSS} - \text{MLSS}}$$

- R : 오니반송율 (%), ISS : 유입수의 SS(ppm)

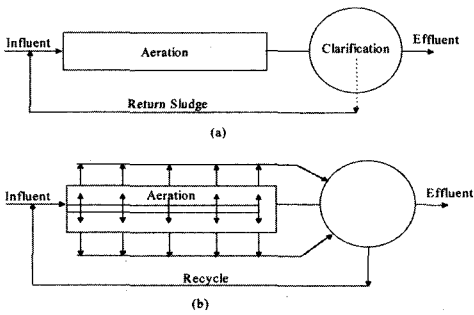
- RSS : 반송오니의 SS(ppm)

☞ MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) : 폭기조내 혼합액 중의 활성오니량

【 그림 7-9. Airjester 방식의 활성오니 폭기조 구조에 】



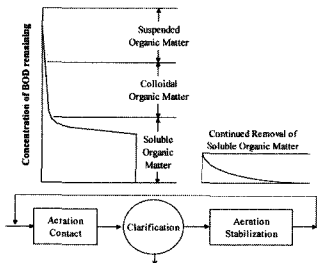
【 그림 7-10. a) 재래식 활성오니 폭기조 Flow
b) 완전 혼합방식의 활성오니 폭기조 Flow 】



사. 기타의 활성오니 처리법

활성오니법의 기타 방법으로는 접촉 안정조법(Contact Stabilization Process), 다단식 폭기법(Step Aeration Process), Modified Aeration(High rate) Process, Extended Aeration Process 등이 있다.

【 그림 7-11. 접촉안정조법의 Flow Sheet 】



《 표 7-7. 각종 활성오니 변법의 특징 》

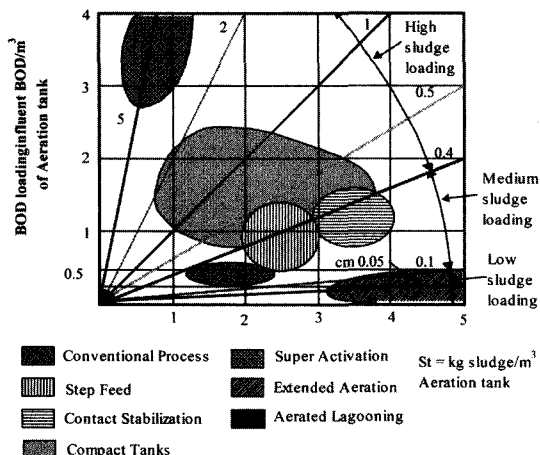
종류	개요	특기
접촉 안정조법	- BOD정분이 부유입자나 플로이드 형태가 주체일 경우에 주로 이용 - 미생물과 입자의 접촉이후 유기물 분해	- 안정조 경우 후 재순환 이송
다단식 폭기법	- 폐수를 분리 유입시켜 각각 폭기시킴으로 미생물의 초기 분해속도를 최대한 이용 - 유입구의 과분하나 충격의 완충효과 - MLSS의 산소 이용률의 균등화	- 폭기관(산기관)을 분리시킨 Tapered Aeration법도 있음
완전혼합 폭기법	- 연속 교반류 형식으로 유입되는 폐수를 폭기 교환하여 혼합 균등상태로 처리	- 미세거 유기물이 부분적으로 유입과 동시에 유출-단회로 현상
Modified Aeration (High rate)	- BOD부하를 높게 운전 - BOD제거 효율은 약 70% 정도로 감소	- MLSS의 농도가 비교적 낮은 상태에서 운전됨
Extended Aeration	- 폭기 시간을 연장시켜 BOD 제거 이후 내생대사에 의한 세포에너지 소모까지 유도하여 슬러지 부피 감소	- 처리시간의 연장으로 처리장 면적이 다소 넓게 소요됨.

《 표 7-8. 각종 활성오니법의 조작 조건 》

조 건	BOD 부하		폭기조내 혼합액의 유속도 (MLSS)	오니 농도 (일)	송기량 배수량의 배수	폭 기 시 간	오니 반송비 (%)	SVI (ml/g)	BOD 제거율 (%)
	BOD-SS 부하 (kg/kgSS/일)	BOD-용적 부하 (kg/m ³ /일)							
표 준 법	0.2-0.4	0.3-0.8	1,500-2,000	2-4	3-7	6-8	20-30	60-120	95
단 계 폭 기 법	0.2-0.4	0.4-1.4	2,000-3,000	2-4	3-7	4-6	20-30	100-200	95
접촉 안정조법	0.2	0.8-1.4	2,000-8,000	4	12이상	5이상	50-150	50-100	90
장 시간 폭 기 법	0.03-0.05	0.15-0.25	3,000-6,000	15-30	15이상	16-24	50-150	40-60	75-90
Modified 폭 기 법	1.5-3.0	0.6-2.4	400-800	0.3-0.5	2-4	1.5-2.5	5-10	50	70
고속폭기 잠전법	0.2-0.4	0.6-2.4	3,000-4,000	2-4	5-8	2-3	50-150	-	-
산 회 Ditch법	0.03-0.05	0.1-0.2	3,000-4,000	15-30	-	24-48	50-150	-	-
폭기식 락균법	0.02-0.2	0.1-0.5	2,000-4,000	-	-	5-10일	-	170-240	98

주. 폭기조의 크기는 BOD총량과 유지오니 농도에 따라 다르지만, 오타부하 0.2-0.4kg BOD/kg-MLSS/일, 오타농도 4,000-6,000mg/l (단위 용적부하는 0.6-1.6kgBOD/m³/일을 산업폐수처리의 표준으로 하고 있다).

【 그림 7-12. 활성오니폭기법에서 사용되는 각종 처리법의 BOD부하】



《 유해물질의 활성오니에 대한 한계농도 (I) 》

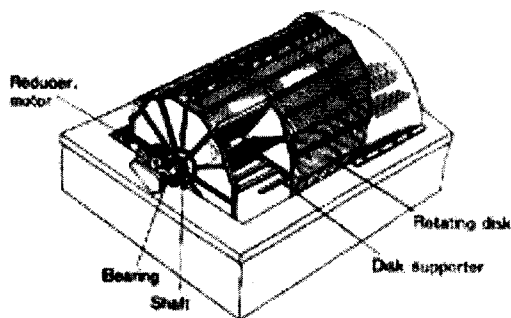
유기물질의 종류	활성오니 ⁽¹⁾ (mg/l)	Vorticella ⁽⁴⁾ 에 대한 LC 50 ⁽²⁾ (mg/l)	Vorticella ⁽⁴⁾ 에 대한 ILM ⁽³⁾ (mg/l)
산	ph 5	-	-
알카리	ph 9~9.5	-	-
황화물 (S)	5~25	11	-
염화물 (Cl)	5,000~6,000	8500	-
철 (Fe)	100	-	4.7
동 (Cu)	1	6	0.25
니켈 (Ni)	1~6	10	-
아연 (Zn)	5~13	18	0.90
크롬 (Cr)	2~10	68	0.53
카드뮴 (Cd)	1~5	8	0.49
시아니화물 (CN)	1~1.6	3	-
포름알데히드	800	-	-
페놀	250	26	-
ABS	20	17	-
알킬설페이트	50	28	-
알루미늄 (Al)	-	-	0.52
연 (Pb)	-	15	-

- ① 1. 활성오니법의 처리수에 영향을 나타내는 농도
- ② 2. Vorticella에 4시간 접촉하여 반수가 사멸하는 농도 (Lethal Concentration)
- ③ 3. Vorticella의 비증식 속도가 50%로 저하하는 농도 (Median Inhibitory Concentration)
- ④ 4. Vorticella는 민물이나 전물에서 사는 종벌레임.

아. 기타 처리방법

기타의 호기성 처리방법에는 회전원판법, 살수여상법, 접촉산화법 등이 있으며, 이들은 모두 활성오니 처리방법과 유사한 방법으로써 미생물을 회전원판이나 충전재 (괴석, Plastic제의 합성가공품 등) 등 고체 표면에 미생물을 부착시켜 미생물과 폐수, 산소의 접촉을 유도함으로써 폐수를 처리토록 하는 방법이다. 또한 혐기성 처리방법으로는 메탄 발효법과 같은 소화조법 등이 있다.

【 그림 7-13. 회전원판 장치의 구조】



《 생물처리에 대한 저해물질의 한계농도 (Liebman) (II) (단위 ppm) 》

유해물질명	기안	오니 처리법	활성 오니법	산수 여상법
시아니화합물	CN	2~10	1~1.6	1~2
크롬화합물	Cr	200	2~5	10
동 화합물	Cu	약 1000	1	1
니켈화합물	Ni	200~500	6	-
연 화합물	Pb	-	-	5
아연화합물	Zn	-	1~3	-
철 화합물	Fe	-	100	>35
식염	NaOCl	15~10 kg/l	8~9g/l	10g/l
염소	Cl ₂	-	0	-
포름알데히드	HCHO	100	800	-
메탄올	CH ₃ OH	800	-	-
에틸알코올	C ₂ H ₅ OH	1.6g/l	15g/l	-
페놀	C ₂ H ₅ OH	-	>250	>50
알킬알릴설포산	-	500	7~9.5	9.5
양이온성 세제	활성 물질	100	-	10
비이온성 세제	활성 물질	500	9~100	5
모타오일	-	725 g/l	-	100
황화수소 황화물	S ⁻²	70~200	5~25	>100

출 전 : 순릉강일(임), 활성오니법, 사고사, 1989년

다음호에 계속