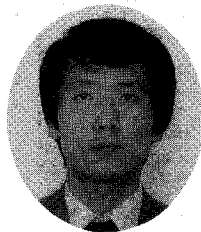


# 실무자를 위한 용·폐수 처리기술

## 〈5〉

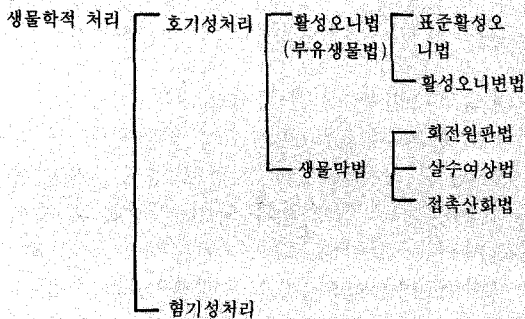


全炳俊  
((株)한수·기술부)

### V. 생물학적 처리중의 문제점과 대책

생물학적 처리는 폐수중의 유기물을 미생물(원생동물, Bacteria 등)을 이용하여 분해시킴으로써 오염물을 제거하고 물을 정화시키는 방법이다.

#### 1. 생물학적 처리의 개요



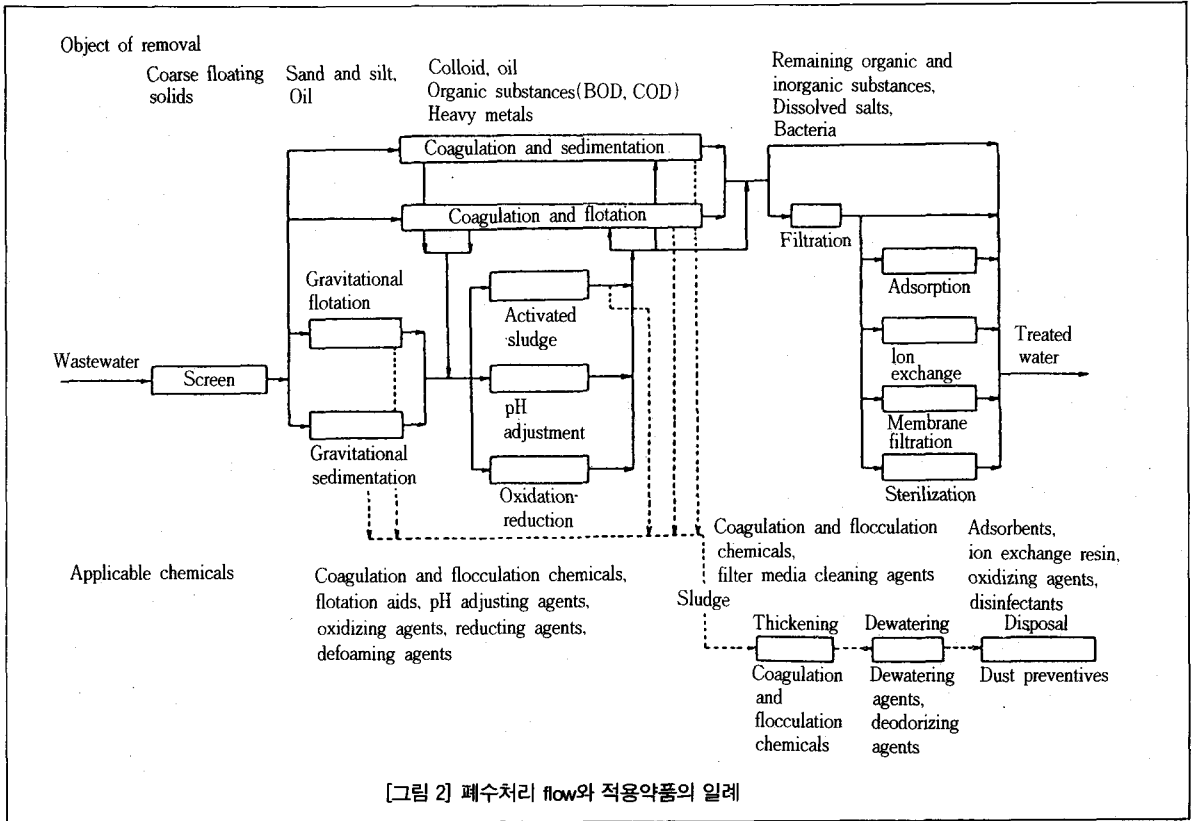
[그림 1] 생물학적 처리방법의 분류

생물학적 처리방법은 호기성처리와 혐기성처리로 크게 구분된다.

혐기성처리는 고농도의 유기성폐수(BOD 10,000ppm 이상정도)에서만 이용되며 일반적으로 호기성 처리방법중 활성오니 처리가 가장 보편화되어 있는 실정이다. 아울러 활성오니의 제반이론에 관하여는 잘 알려져 있으므로 주요 사항만을 언급하고자 한다.

#### [표]. 미생물 처리가능 여부의 개략적인 판단지표

- A)  $COD_{Mn}$ 을 이용하는 경우
  - $BOD > COD$ : 미생물 처리 가능
  - $BOD = COD$ : 폐수중에 분해가 어려운 유기물 존재, 오니 배양 등 별도방안 필요
  - $BOD < COD$ : 미생물 처리 곤란, 물리적, 화학적처리 필요
- B)  $COD_C$ 을 이용하는 경우
  - $BOD / COD$ 가 0.6이상 : 미생물 처리 가능
  - $BOD / COD$ 가 0.6이하 : 미생물 처리 곤란



## 2. 활성오니 처리법

### 가. 활성오니 처리법의 개요

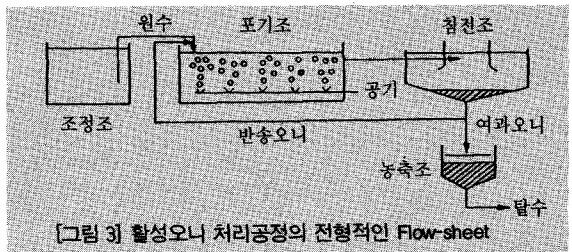
생물학적 처리는 근본적으로 폐수중의 유기물 성분을 미생물이 분해 섭취함으로써 미생물 세포증식의 형태로 전환되고 동시에 미생물의 대사에너지로 활용되는 과정을 이용하는 것이다.

즉 폐수중의 유기물은 미생물에 의해 분해 섭취됨으로써 대부분, 미생물의 세포의 형태로 전환하게 되고 일부는 대사에너지로 활용하게 된다.

이처럼 생물학적 처리는 폐수중의 유기물을 미생물이라는 매체를 통하여 분리가 가능한 현탁입자로 전환하는 과정을 의미하므로 생물학적 처리에서는 중간매체인 미생물의 생육에 보다 양호한 환경조건을 조성하는 것이 가장 중요한 것이다.

생물학적 처리중 공업 폐수처리에 가장 널리

사용하는 것은 역시 활성오니법으로써 호기성 미생물을 매체로 하여 처리하는 방법이다.



활성오니법은 상기 모식도에 나타난 바와 같이 미생물과 폐수를 포기조에 혼합하여 공기(산소공급)를 계속적으로 보급해 줌으로써, 유기물이 미생물의 영양원이 되어 미생물의 증식을 촉진시키는 것이다.

이처럼 미생물의 증식형태로 전환된 유기물의 고액분리(침전분리)를 통하여 처리수를 얻게 된다.

이와 같이 포기조에서 처리된 폐수는 침전조에서 고액분리가 되고, 침전된 슬러지의 일부는 다시 포기조로 반송되어(반송슬러지 또는 반송오니로 통칭됨) 포기조내의 미생물 농도를 안정하게 유지시키는 역할을 하게 되며, 나머지 대부분의 슬러지는 모두 농축탈수 되게 된다(농축탈수 처리관계 세부사항은 탈수처리 기술란 참조).

활성오니 처리에서는 미생물이 활동하는데 최적의 환경조건을 유지하는 것이 중요하다. 만일 환경이 악화되면 미생물의 활동이 둔화되어 유기물의 제거효율이 저하되거나, 활성오니가 Bulking 상태에 이르게 되어 고액분리가 어렵게 된다.

나. 활성오니에 영향을 미치는 인자

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.

2) 온도

미생물의 활동도는 온도(수온)가 10°C 이하이거나 40°C 이상에서는 감소하게 된다. 활성오니 처리의 일반적인 온도관리 범위는 15-30°C이다.

3) 용존산소

포기조 내에서의 용존산소 농도는 표준 활성오니법에서는 반드시 0.5-1ppm 이상을 유지하여야 한다. 통상 BOD 1kg당 40m<sup>3</sup> 정도의 공기가 필요하다. 또한 소화를 위해서는 용존산소 농도가 높은 편이 좋다(2-3ppm).

4) 영양 Balance와 부하량

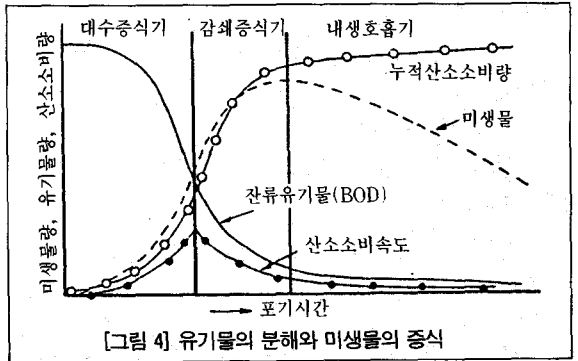
미생물에 있어서 가장 중요한 3대 영양소는 유기물(BOD)과 질소(N), 인(P)으로써, 일반적으로 요구되는 비율은 BOD:N:P=100:5:1이다.

5) 저해물질

미생물의 활성을 저해하는 물질에는 효소반응을 저해하는 물질(동, 크롬, 염소, 시안, 페

놀 등)이나 표면에 부착하여 산소호흡을 방해하는 유지류 등이 있다.

저해물질의 종류와 한계농도는 별첨 참조



다. 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.

1) 오니 용량지표(SVI; Sludge Volume Index)

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

$$= \frac{30\text{분후 침전후의 오니부피(ml/ℓ)}}{\text{MLSS(mg/ℓ)}} \times 1,000$$

\* 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.

2) 오니밀도 지표(SDI; Sludge Density Index)

$$= \frac{\text{MLSS(ppm)}}{\text{포기조혼합액 1ℓ에서의 30분 침전후의 오니량(%)}}$$

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

\* 슬러지 반송률 결정과 침강성 판단에 이용되는 지표

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

3) 반송오니량의 결정

반송오니의 량은 MLSS의 량에 근거하여 산출하다.

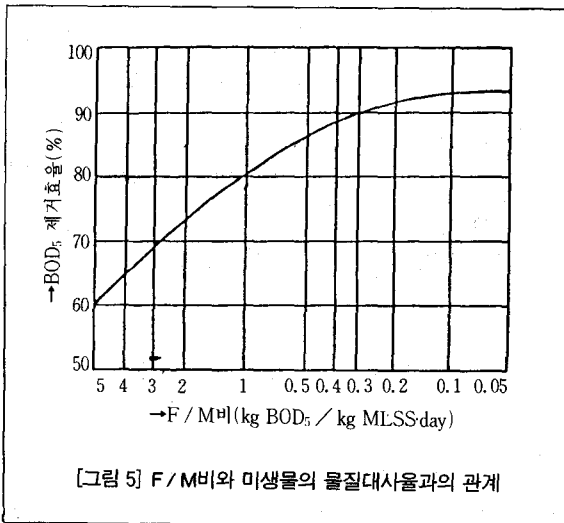
$$R(\%) = \frac{(MLSS-ISS) \times 100}{RSS-MLSS}$$

R:오니 반송율(%), ISS:유입수의 SS(ppm)

RSS:반송오니의 SS(ppm)

\* MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid):포기조내 혼합액중의 활성오니량

4) F/M비



\* F/M비 : 폐수내의 유기물량(Food)과 활성오니량(Micro organism)의 비

\* F/M비가 작을수록 BOD 제거효율은 좋으나 침전성이 나쁘다.

\* 대부분의 경우 F/M비가 0.2-0.5의 범위에서 운전되는 것으로 알려져 있다.

\* F/M비가 높을수록 용존산소 농도는 높

사상균은 대개 선형의 모양을 가지고 있어

미생물(flocformer) flock과 밀착되어

밀도가 낮은 미생물 flock을

형성하는 것으로 알려져 있다.

따라서 사상균 증가시에는

침전조에서 침전이 대단히 불량하게 됨은 물론

Sludge가 부상되어

결국은 carry over를 야기시키는 것으로

알려져 있다.

게 유지해 주어야 하며, 용존산소 농도가 낮을 경우에는 Bulking의 원인이 된다(F/M비 0.5의 경우 용존산소 2ppm 이상이 일반적으로 안정영역)

라. Bulking의 원인과 대책

Bulking(팽화) 현상은 포기조내의 사상세균(Sphaerotilus, Gestrichum, Bacillus 등)이 증가됨으로써 발생하게 되는 것이 일반적이다. 사상균은 대개 선형의 모양을 가지고 있어 미생물(flocformer) flock과 밀착되어 밀도가 낮은 미생물 flock을 형성하는 것으로 알려져 있다. 따라서 사상균 증가시에는 침전조에서 침전이 대단히 불량하게 됨은 물론 Sludge가 부상되어 결국은 carry over를 야기시키는 것으로 알려져 있다. Bulking이 발생하게 되면 침강성이 불량하여 양호한 처리효과를 기대하기 어렵다.

Bulking의 원인은 주로 다음과 같은 것들이 있다.

1) 유기물의 부하량에 대한 용존산소의 부족 또는 과잉

2) 질소(N) 또는 인(P)과 같은 필수 영양원소의 결핍

3) 유기물 부하량의 부족 또는 과잉

4) 특수한 저해물질의 존재로 호기성 균의 활동도 저하

Bulking이 발생되면 SVI치는 300-400까지 올라가며, 50이하에서는 오니가 해체되어 오히려 혼탁액이 된다.

Bulking 현상을 억제하기 위해서는 다음과 같은 방안들이 추천되어 진다.

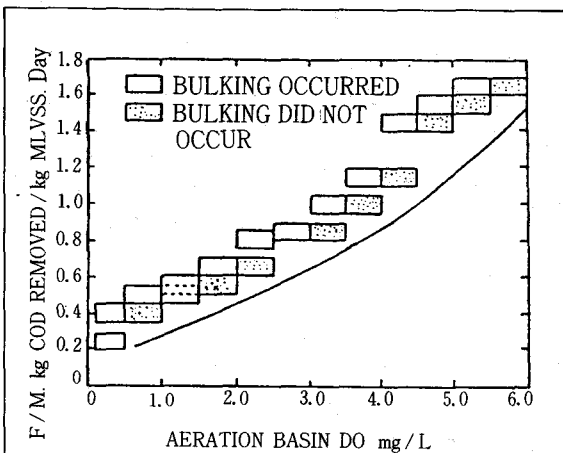
1) 사상균보다 활성이 높거나 사상균을 분해 또는 포식하는 균주의 투입

-Arthrobacter sp., Pseudomonas sp., Trithogomostoma cucullus 등의 균주를 이용한 방법

2) 오니의 생육 환경인자를 제어하는 방법

-Bulking의 원인이 용존산소의 부족이나 필수 영양원소의 부족에 기인할 경우에는 용존산소 공급을 늘리거나, 영양 Balance를 적절히 조절하는 방법으로 pH, F/M 비율 등의 제반 환경인자 역시 안정관리 영역으로 유도하는 방법

-유기물 농도가 낮은 경우에는 포기조 분리 운영 등의 별도 해결방안 검토가 바람직함.



[그림 6] F/M비에 따른 안정 DO 관리범위 영역\*주1.

\* 주1. 출전 : 활성슬러지 팽화원인과 해결방안, 이상은 : Bulking 원인파 대책중에서

3) 살균제에 의한 살균방법

-통상 염소나 과산화수소가 사용되며, 염소제 살균제는 무차별적인 살균력을 갖는 것에 반하여, 과산화수소는 혐기성 균류만을 선택적으로 살균하는 것으로 알려져 있다. 공업적으로 처리비용이 낮은 염소제가 많이 사용되는 편이다.

-통상 지속적으로 SVI 값이 높게 나타날 경우에 적용함.

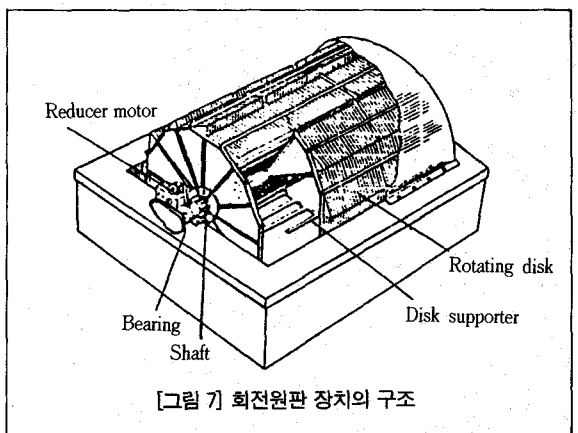
살균제 투입시는 제반여건을 신중히 고려하여 실시하여야 하며, 미생물과의 혼합이 잘 이루어지는 지점에 투입한다(염소제 투입시는 반응슬러지에 대하여 0.7-7.0ppm 이내의 범위가 바람직하다. 과산화수소 적용시는 용존산소를 높이고 포기조 부하를 낮추는 것이 보다 효과적이라고 알려져 있으며, 투입량은 반응오니에 대하여 20-40ppm으로 수일~10일 정도 투입이나, 200-300ppm을 24시간 정도 연속 투입하고 수일 간격으로 2-3회 반복하는 방법이 소개되고 있다. 400ppm 이상의 고농도는 악영향을 일으킬 수 있으므로 주의한다).

4). 약제첨가의 방법

최근 소개되고 있는 방법으로서, 특수한 반응을 가지고 있는 유기응결제를 적용함으로써 flocc의 침강성 및 밀도를 높이는 방법이다. 적절한 사용에서는 즉각적인 처리효과를 보이며, 과도한 사용은 오히려 과도한 flocc을 형성시키는 등 처리효과를 감소시킬 수 있다. 대표적인 약제로는 ANTIPOLE CL-101 등이 있다.

3. 기타 처리방법

기타의 호기성 처리방법에는 회전원판법, 살수여상법, 접촉산화법 등이 있으며 이들은 모두 활성오니 처리방법과 유사한 방법으로 미생물을 회전원판이나 충전재(괴석, Plastic제의



[그림 7] 회전원판 장치의 구조

약제첨가는 최근 소개되고 있는 방법으로서, 특수한 반응기를 가지고 있는 유기응결제를 적용함으로써 floc의 침강성 및 밀도를 높이는 방법이다. 적절한 사용에서는 즉각적인 처리효과를 보이며, 과도한 사용은 오히려 과도한 floc을 형성시키는 등 처리효과를 감소시킬 수 있다. 대표적인 약제로는 ANTIPOL CL-101 등이 있다.

합섬 가공품 등) 등 고체표면에 미생물을 부착시켜 미생물과 폐수, 산소의 접촉을 유도함으로써 폐수를 처리토록 하는 방법이다.

또한 혐기성 처리방법으로는 메탄발효법과 같은 소화조법 등이 있다.

#### 4. 활성오니 처리중의 Trouble Shooting 방법

[표 2] 활성오니 처리중 발생될 수 있는 각종 Trouble에 대응하는 적절한 조치의 일례

	운전조건 항목	원인 및 조치
조점조	• 유입수의 pH가 과도하게 높거나 낮은 경우	• 원인 : pH가 4이하이거나 9이상이면 공정중에서 산이나 알칼리 성분이 유입된 것이 대부분임 • 조치 : 황산이나 가성소다로 중화시켜 관리 pH 범위로 맞춘다. (단, MLSS가 6000ppm을 넘고 F/M비가 0.1 이하일 때는 관계 없음)
	• 악취발생이 심한 경우	• 원인 : 용존산소의 부족 • 조치 : 조정조 blower를 늘려 aeration을 강화
포기조	• 탁도가 정상운전시보다 심할 경우	• 원인 : 과부하이거나 포기가 너무 적음 • 조치 : 부하를 줄이거나 포기를 적당히 강화
	• 흰거품이 많아졌다(세제 등에 의한 것이 아닐 경우).	• 원인 : 과부하이거나 MLSS가 너무 낮다 • 조치 : MLSS를 높이거나 원수유입량을 감소시킨다(유입량을 고정시킬 수 밖에 없고 원수 BOD가 높을 때는 침전지 수심이 허락하는 한

	운전조건 항목	원인 및 조치
침전조	• 갈색 거품이 많아졌다. (foaming 현상이 비교적 심하게 나타나는 경우).	MLSS를 늘린다). • 원인 : SRT가 너무 길거나 과포기에 의하여 슬러지가 해제되는 현상임 • 조치 : 탈수를 하여 MLSS를 줄이고 포기도 줄인다. • 원인 : 원수의 pH가 너무 높거나 낮은 때임 • 조치 : 포기조에서의 pH는 즉시 황산이나 가성소다로 중화시킨다.
	• 포기조내의 pH가 높거나 낮은 경우	• 원인 : F/M비가 높다. • 조치 : 유량감소, 원수 BOD 감소가 1차적으로 해야 할 일이나 유량을 줄일 수 없는 경우는 MLSS를 높여 주어야 한다. • 원인 : F/M비가 적거나 과포기이다. 현상으로는 상등액은 맑고 침전지에 뜬 floc에 기포가 붙어 있음 SVI가 나빠진다. • 조치 : 1차로 포기를 줄이고 F/M비를 높인다.
침전조	• 침전지 상등액이 부영다.	• 원인 : 침전지 바닥의 scraper가 바닥을 제대로 긁어주지 못하여 dead space 생겼음. 현상으로는 scum의 일부분의 검은색을 띠
	• 침전지 상등액에 pin point floc이 많이 뜬다.	• 조치 : scraper 수리 • 원인 : F/M가 높으면서 과포기이다. 현상으로는 cylinder에 떠 놓은 것의 중간이 갈라지며 SVI가 나빠져서 침전지 수심 상승. • 조치 : 1차적으로 포기를 감소, 2차적으로 F/M비 감소
	• 침전지 위 표면에 scum이 뜬다.	• 원인 : 과포기이거나 공정중에서 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 가 많이 나옴 현상으로는 cylinder에 떠 놓은 것의 상등부에 둥그란 기포가 잘 꺼지지 않는다. SVI가 나빠져서 침전지 수심이 상승한다. • 조치 : 포기를 줄임.
침전조	• 침전지 위 표면에 scum이 뜬다.	• 원인 : F/M가 높으면서 과포기이다. 현상으로는 cylinder에 떠 놓은 것의 중간이 갈라지며 SVI가 나빠져서 침전지 수심 상승.
	• 침전지 위 표면에 pin point scum이 뜬다.	• 원인 : 과포기이거나 공정중에서 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 가 많이 나옴 현상으로는 cylinder에 떠 놓은 것의 상등부에 둥그란 기포가 잘 꺼지지 않는다. SVI가 나빠져서 침전지 수심이 상승한다. • 조치 : 포기를 줄임.

(출전 : 폐수처리 방법의 표준화 및 DATA 해석에 관한 연구-이용재, Bulking 원인과 대책(II)중에서)

\* Pin point floc : 장기 포기시나 과도한 난류등의 원인으로 미생물의 floc 형성이 이루어지지 않아 밀도가 낮은 floc을 형성하는 현상으로 SVI 값이 나빠진다.

[각종 활성오니법의 조작 조건]

[표 2] 포기조의 크기는 BOD 총량과 유지오니 농도에 따라 다르지만, 오투부하 0.2-0.4kg BOD/kg-MLSS. 일, 오투농도 4,000-6,000mg/l, 단 위용적 부하는 0.6-1.6kg BOD/m<sup>3</sup>. 일을 산업폐수 처리의 표준으로 하고 있다.

처리방법	BOD 부하		포기조내 혼합액의 부유물 농도 (MLSS)	오니경 (일)	송기량(폐수량)의 배수	포기시간 (시)	오니 반 송비 (%)	SVI (ml/g)	BOD 제거율 (%)
	BOD-SS 부하 (kg/kg SS 일)	BOD 용적 부하 (kg/m <sup>3</sup> 일)							
표준법	0.2	0.3	1,500	2-4	3-7	6-8	20-30	60	95
단계 포기법	-0.4	-0.8	-2,000	2-4	3-7	4-6	29-30	-120	95
	0.2	0.4	2,000					100	
접촉안정화법	-0.4	-1.4	-3,000	4	12이상	5이상	50-100	-200	90
	0.2	0.8	2,000					50	
정시간포기법	-1.4	-8,000	3,000	15-30	15이상	16-24	50-150	-100	75-90
	0.03	0.15						3,000	
Modified 포기법	-0.06	-0.25	-6,000	0.3-0.5	2-4	1.5-2.5	5-10	-60	70
	1.5	0.6	400					50	
고속포기침전법	-3.0	-2.4	-800	2-4	5-8	2-3	50-150	-	-
	0.2	0.6	3,000					-	
산화 Ditch 법	-0.4	-2.4	-6,000	15-30	-	24-48	50-150	-	-
	0.03	0.1	3,000					-	
포기식 리군법	-0.05	-0.2	-4,000	-	-	5-10일	-	170-240	98
	0.02	0.1	2,000					-	
	-0.2	-0.5	-4,000						

기술메모 HS-890817-1

제 목 유해물질의 활성오니에 대한 한계 농도(I) 내용

유기물질의 종류	활성오니*1(mg/l)	Vorticella*4에 대한 LC50*2(mg/l)	Vorticella*4에 대한 ILm*3(mg/l)
산	pH 5	-	-
알칼리	pH 9-9.5	-	-
황화물(S)	5-25	11	-
염화물(Cl)	5000-6000	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
시안화합물(CN)	1-1.6	3	-
포름알데히드	800	-	-
페놀	250	26	-
ABS	50	17	-
알킬설페이트	-	28	-
알루미늄(Al)	-	-	0.52
납(Pb)	-	15	-

- \* 1. 활성오니법의 처리수에 영향이 나타나는 농도
- \* 2. Vorticella에 4시간 접촉하여 반수가 사멸하는 농도 (lethal concentration)

- \* 3. Vorticella의 비증식속도가 50%로 저하하는 농도 (median inhibitory concentration)
- \* 4. Vorticella는 민물이나 잔물에서 사는 종벌레임

기술메모 HS-890829-2

제 목 생물처리에 대한 저해물질의 한계 농도(Liebman) (II) (단위 ppm) 내용

유기물질명	기준	오니처리	활성오니법	살수여상법
시아나화합물	CN	2~10	1~1.6	1~2
크롬화합물	Cr	200	2~5	10
동화합물	Cu	약 1000	1	1
니켈화합물	Ni	200~500	6	-
납화합물	Pb	-	-	5
아연화합물	Zn	-	1-3	-
철화합물	Fe	-	100	>35
식염	NaOCl	5-10g/l	8-9g/l	10g/l
염소	Cl <sub>2</sub>	-	0	-
포름알데히드	HCHO	100	800	-
메탄올	CH <sub>3</sub> OH	800	-	-
에틸알코올	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1.6g/l	15g/l	-
페놀	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	-	>250	>50
알킬알릴설포산	-	500	7~9.5	9.5
양이온성세제	활성물질	100	-	10
비이온성세제	활성물질	500	9~100	5
모타오일	-	725g/l	-	100
황화수소, 황화물	S <sup>-2</sup>	70~200	5~25	>100

출 전 순릉강일, 활성오니법, 사고사, 1989 년