

소규모 사업장에 있어서 유기성 폐수의 고도처리 기술개발연구

— 本協會 개발부제공 —

이 글은 일본의 재단법인 구주환경관리협회와 산업공해방지협회가 공동 개발 연구한 것이다. 이 글의 목적은 유기성폐수처리에 대해 활성오니법은 적절한 관리하에서는 우수한 처리기능을 발휘하고 있었지만 탈질등의 고도폐수처리를 실시하기 위한 유지관리는 어렵기 때문에 소규모 사업장에서도 채택 이용할 수 있도록 유지관리의 용이함과 탈질처리를 포함한 고도폐수처리 기술을 확립시키기 위해 이 글을 번역 게재한다.

— 편집자註 —

4. 분석·검사

4-1. BOD, COD의 제거기능

각 치료조건에서 BOD, COD의 제거율과 반송율의 관계를 나타낸 것이<그림3>과<그림4>이다.

제1기 실험은 (BOD용적부하를 $0.2 \text{ kg BOD} / \text{m}^3 \cdot \text{d}$)로서 반송율을 유입 원수에 대해 2, 4, 8

배로 변화시킨 것이다. 그림 3의 BOD 제거율에 대해 살펴보면, 이 반송율에서는 제거율의 커다란 차이는 관찰할 수 없었고 방류수의 BOD 평균값은 각각 1.6, 2.0, $2.8 \text{ mg} / \ell$ 이고, BOD에 대해서는 고도처리가 되었다.<그림 4>의 COD에 대해서는 반송율에 의한 제거율의 차이는 적고, 방류수의 COD평균값은 각각 6.8, 6.7, $7.4 \text{ mg} / \ell$ 을 얻었고 COD에 대해서도 고도처

리가 되었다. 제 2기 실험은 용적부하를 제 1기 실험의 약 2배인 $0.45(kg-BOD/m^3 \cdot d)$ 로 하여, 반송율을 2.8배로 변화시킨 것이다. 그리고 이제까지 실험을 행한 탈질조를 포함한 처리 System과 일반적으로 이용되고 있는 전근 호기성 처리 System과의 비교를 행할 목적으로 동일 부하조건하에서 제 1조도 호기성 처리로 하여 무순환 운전을 행하여, 처리기능과 효과를 비교한 것이다.

무순환의 경우와 반송율을 2배로 한 경우에 대하여 처리기능과 효과를 비교하면 <그림3>과 <그림4>에서 BOD 제거율은 99%, COD 제거율은 94%로 제거율에서는 거의 차이가 없었다. 이때 방류수의 BOD 평균치는 $5.5, 4.5 mg/l$ COD 평균치는 $13.2 mg/l$ 였다. 한편 반송율을 2배에서 8배로 한 처리조건에서는 BOD

<표 - 12> 생물상 (제 I 기 실험)

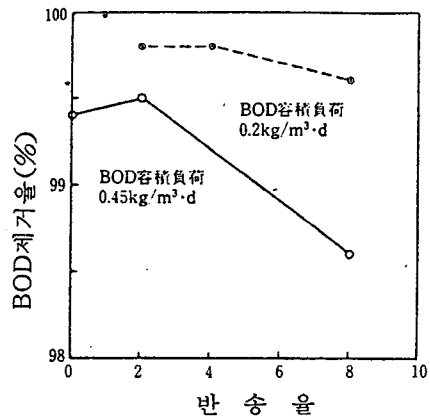
생물상	제 1조 (미호기성)	제 2조 (호기성)	제 3조 (호기성)
Spaerotilus sp (세)	+	+	+
Zoogloea filipendula (세)	+	+	+
Z. ramigera (세)	+	+	
Beggiatoa albo (세)	++		
Podophya sp. (원)		+	+
Vorticella sp. (원)		++	+
Paramecium sp. (원)	+++	+	
Euglypha sp. (원)			+
Arcella vulgaris (원)		+	+
Spieostomum sp. (원)		+	
Litonotus sp. (원)	+		
Centropyxis aculeate (원)		+	
Microbiotus sp. (후)		+	
Philodina sp. (후)		++	+
Chaetonotus (후)	+		+
Alona sp. (후)			+

(주) +++ : 다량출현, ++ : 보통출현, + : 조금출현, (세) : 세균액, (원) : 원생동물, (후) : 후생동물

제거율이 99%에서 98%, COD 제거율에 94%에서 92%로 저하하고 방류수의 BOD 및 COD의 평균치는 $13.3 mg/l, 24.7 mg/l$ 였다.

<표 - 13> 생물상 (제 II 기 실험)

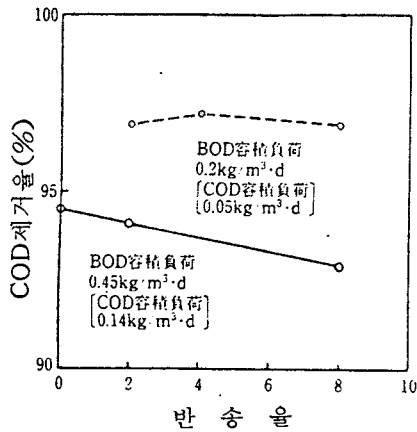
생물상	제 1조 (미호기성)	제 2조 (호기성)	제 3조 (호기성)
Sphacrotilus sp. (세)		+++	+
Zoogloea filipendula (세)	+	++	+
Z. ramigera (세)	+	+	+
Beggiatoa albo (세)	+++	++	
Podophrya sp. (원)	+	+	++
Vorticella sp. (원)		+	+
Paramecium sp. (원)	++	+++	+
Euglypha sp. (원)			+
Amocba spp. (원)		+	++
Arcella vulgaris (원)		+	+
Stentor sp. (원)			++
Spirostomum sp. (원)			+
Litonotus sp. (원)	+++	+	
Dero sp. (후)		+	+
Macrobiotus sp. (후)		+	+
Philodina sp. (후)			+



<그림 - 3> 반송율과 BOD 제거율의 관계

4 - 2. 질소제거기능

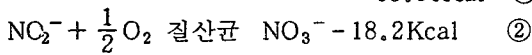
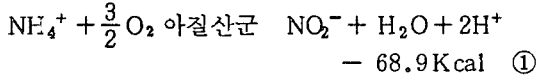
폐수중의 유기성 질소 (org-N)는 탈아미노 반응에 의해 암모니아성 질소로 분해되어 그후 소화 및 탈질의 각 반응을 지나 최종적으로 안정된 N_2 로 된다고 사료되며 일반적으로 식(1)- 식



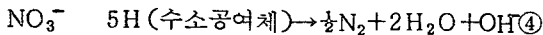
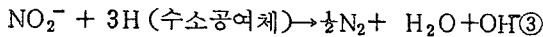
〈그림 - 4〉 반송율과 COD 제거율의 관계

(4)와 같이 나타낸다.

(질화반응)



(탈질반응)



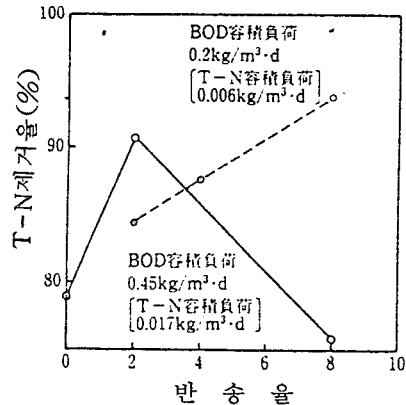
질화반응에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1g을 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 산화하기 위해서는 7.07g의 알카리도가 감소하고, 또한 탈질반응에서는 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 1g을 N_2 로 환원할때는 3.57g의 알카리도가 감소하게 되고 그 감소분의 보충용 등으로는 일반적으로 수산화나트륨 등이 이용되고 있다.

또한 탈질반응에서 수소공여체로서는 메탄올 등이 쓰이고 있지만 이러한 약품의 첨가량 제어에는 고도의 운전관리기술이 요구된다.

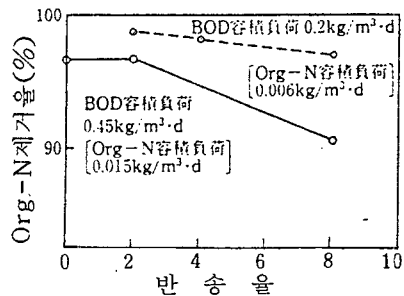
본 실험에서는 이상과 같은 약품첨가는 행하지 않고, 질화공정에서의 알카리도 저하의 대책으로서 질화조(제 3조)에 여재량의 거의 30%에 상당하는 석회석을 첨가하고, 이것에 의한 중화작용을 기대하고, 폐수의 PH에 대한 완충능을 가지도록 하였다. 또한 탈질공정에 필요할 수소공여체는 탈질조(제 1조)를 앞에 설치하는 것으로서 원수중의 BOD성분을 이용하는 방식을 채택하였다. 또한 본장치는 탈질조에 여재를 이용하고 있기 때문에 조내 교반은 조저부에 부착된 산기관에서 공기(유효용적 1m^3

당 $0.5\text{Nm}^3/\text{h}$)를 주입하여 교반하는 방식으로 하였다. 그리고 탈질조의 DO(용존산소량)은 $0.2\text{-}1.1\text{mg}/\ell$ 와 미호기성을 유지하였다.

실험기간중 원수에 포함된 총질소(T-N)는 $16\text{-}81\text{mg}/\ell$ 의 범위이고, 그중 org-N의 비율은 83-97%로 나머지 대부분은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이었다. 반송율과 T-N 제거율의 관계는 그림 5에 반송율과 org-N 제거율의 관계를 그림 6에 나타내었다. BOD용적부하 $0.2\text{kg BOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ (T-N 용적부하 $0.006\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$)의 처리조건하에서는 그림 5와 그림 6에서 반송율이 크게 됨에 따라 org-N 제거율도 약간 낮게



〈그림 - 5〉 반송율 T-N 제거율의 관계



〈그림 - 6〉 반송율과 Org-N 제거율의 관계

되므로 T-N 제거율은 향상되고 있다. 반송율이 8배로 T-N 제거율 93% 방류수의 T-N은 평균 $1.97\text{mg}/\ell$ 의 값을 얻었고 높은 탈질 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

이 조건하에서 방류수의 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대해보면 대부분으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이다. 또한 질화공정에서는 일반적으로 PH의 저하가 나타나고, 금회 실험에서는 방류수의 PH는 8.2-8.3

을 유지하였다. 이것은 석회석의 효과에 의한 것으로 생각된다.

BOD용적부하 $0.45 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ (T-N 용적부하 $0.017 \text{ kg-N}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)의 처리조건하에서 탈질조를 이용한 System과 탈질조를 이용하지 않은 처리 System (무순환, 전조호기성)에 대해서 질소제거율의 비교를 행하였다. org-N의 제거율에 대해서는 모두 96%와 전술한 BOD와 COD제거율과 같이 차이는 볼수 없었다. 그러나, T-N제거율에 대해보면 탈질조를 이용한 처리 system(반송율 2배)의 T-N 제거율이 90%인 것에 대해 탈질조를 이용하지 않은 처리 system의 T-N제거율은 79%이고, 탈질조를 이용한 system의 유용성을 밝혔다. 이 BOD 용적부하에서 반송율의 변화에 의한 처리기능과 효과의 변화를 보면, 반송율을 8배(수량부하 $4.2 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)로 할 경우는 2배(수량부하 $1.4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)의 경우와 비교해서 org-N 제거율과 T-N 제거율 모두 저하하고, BOD와 COD 제거율과 같은 경향을 나타내고 있다. 또한 오니중의 질소농도는 2.5%였다. 이것으로 유입원수에 포함된 질소의 오니동화율을 구하면 약 10%가 된다.

4-3. 잉여오니 생량

제 1기~제 3기 실험종료시에 각처리조 하부에 설치된 오니조 및 침전조에서 오니를 각각 전량을 채취하여 전 오니량을 측정하였다.

잉여오니발생량은 표 14에 나타내고 있다. 제 1 제 3의 BOD 용적부하는 $0.2 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 이고, 이때의 제거 BOD 1 kg당 잉여오니 발생량을 구하면 각각 0.09 kg , 0.12 kg 였다 또한 제 2기 실험에서는 BOD용적부하 0.45 kg BOD

$/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 에 대해 제거 BOD 1 kg당 0.15 kg 의 잉여오니 발생량이었다. 일반 접촉산화법에 의한 잉여오니발생량은 BOD 용적부하가 $0.3 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 로 $0.4-0.6 \text{ kg-SS}/\text{제거 kg-BOD}$ 정도가 되지만, 이것에 비해 금회실험에서는 매우 적은 결과가 나왔다. 이것은 실험을 개시하면서 측정기간이 40~69일로 짧았기 때문에 미생물의 여재로의 부착이 진행하고 있는 기간에 따라 많아지게 되고, 그 결과로서 잉여오니발생량이 적게된 것이라 생각된다.

그러므로, 잉여오니발생량에 대해서는 장기간의 측정을 실시 파악하는 것이 바람직하다.

4-4. 수온의 영향

폐수를 생물처리할 경우 수온이 처리기능에 미치는 영향은 매우 크다. 또한 동계에서는 일반적으로 이용되고 있는 생물처리장치의 수온은 10°C 전후까지 저하하는 것이 보통이다.

그리고 제 3기 실험은 동계이지만 10°C 전후의 수온을 목표로서 실험을 행한 처리기능과 효과의 실태를 보는 것으로 하였다.

처리조건은 하계실험으로 처리수의 BOD값 $10 \text{ mg}/\ell$ 이하, 질소제거율 90% 이상의 성적을 얻을때의 조건(BOD용적부하 $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 반송율 8배)으로 하였다.

제 3기 실험에서 수질실험 결과(평균치)는 표 15에 나타내고 있다. 또한 동일조건하에서의 하계실험(제 1기실험)의 수질실험결과는 표 16에 나타내고 있다. 제 3기 실험에서 수온은 약 6°C 이고, 목표로 한 10°C 수온보다 상당히 낮게 되었다. 이것은 실험장치가 강판제로 지상식이므로, 기온의 영향이 크게 작용하므로 장치에 보

< 표 - 14 > 잉여오니발생량

구별 처리조	제 I기실험 (57일간)(kg)	제 II기실험 (40일간)(kg)	제 III기실험 (69일간)(kg)
제 1조	0.74	1.96	1.62
제 2조	0.89	2.88	1.77
제 3조	0.58	1.32	1.87
침전조	0.84	2.53	0.74
계	3.05	8.69	6.00

< 표 - 15 > 제 III기실험의 수질실험결과

(평균치)

구분	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	BOD (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)
원 수	6.1	4.6	1,115	535	548	55.4
방류수	6.1	7.5	178	189	192	37.2
제거율	(-)	(-)	84%	65%	65%	33%

(주) 반송율 $R/Q=8$, $Q=0.73 \text{ m}^3/\text{d}$

온재를 부착하고 Blower 압축공기에 의한 가온 효과를 기대하였지만 10℃까지 상승하는 것으로 그쳤다.

〈표 - 16〉 제 I기실험의 수질시험결과 (평균치)

항목 구분	수온 (°C)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)
원 수	20.4	5.0	766	238	192	32.0
방류수	18.3	8.2	2.8	7.4	5이하	1.97
제거율	-	-	99%	96%	97% 이상	93%

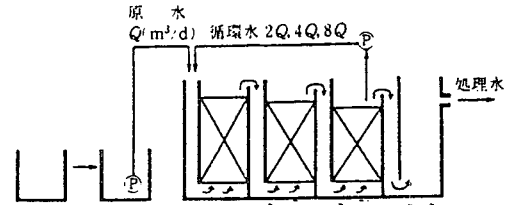
(주) 반송율 $R/Q = 8$, $Q = 0.73 \text{ m}^3/\text{d}$

방류수의 BOD와 SS는 각각 178 mg/l 및 192 mg/l 로 표 16의 하계에서 처리성적과 비교하여 처리기능과 효과를 극도로 저하하고 있다. 이같이 제 3기 실험에서는 10℃ 부근의 수온에서 처리기능을 확인할 수 없었다. 그러나 제 2기 실험에서 BOD 용적부하가 $0.45 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 이라는 침적여상법에서는 비교적 고부하하여 처리조건하(무순환, 전조호기성)로 수온이 11.7℃까지 저하하더라도 관계 없으며, 방류수의 BOD는 7.0 mg/l 라는 고도처리기능과 효과가 나타났다. 또한 탈질기능에서는 5℃의 저온하에서 반송할 경우 $\text{NO}_3\text{-N}$ 100 mg/l 이상의 것을 1.0 mg/l 이하로 탈질 처리할 수 있다는 보고가 있으므로 급회회 탈질조를 이용한 처리 System에서 11.7℃ 부근의 온도에서도 탈질을 포함한 고도처리기능과 효과가 얻어지지 않았나 사료된다.

4 - 5. 경제성

급회실험에 의해 얻어진 결과를 기초로 경제성 검토를 실시하였다. 장치는 그림 7에서와 같이 1조를 3개조로 구분하여 2차처리 및 탈질을 포함한 고도처리를 효율적으로 실시하기 위하여 장치의 구조가 간단하다.

또한 기계류는 원수 pump, 순환 pump 및 산기장치이다. 제 1조를 미호기성으로 유지한 탈질로서의 본처리방식과 제 1조에도 충분한 공기를 주입하여 전조호기성으로 하는 일반적인 처리방식에 대해 처리기능을 비교한 것이 표 17이다.



유수 유량 제1조 제2조 제3조 침전조
분리조 조정조(미호기성)(호기성)(호기성)

〈그림 - 7〉 실험장치의 개략도

BOD, COD 및 SS의 제거효율을 보면 거의 같은 값을 나타내고 있지만, T-N 제거율에 대해서는 전조호기성으로 하는 처리방식의 T-N 제거율 76%인 것에 대해 본처리방식은 90%라는 양호한 처리수를 얻었다. 그러므로 동일용적으로 할 경우 일반적으로 이용되는 전조호기성으로 하는 처리방식에 비해 본처리방식은 BOD, SS 등의 고도처리에 더불어 높은 T-N 제거율을 기대할 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한 본처리 방식은 전조호기성으로 하는 처리방식에 비해 제 1조 송풍량을 약 1/5로 적게 할 수 있고 전체적으로는 약 2/3의 송풍량으로도 고도처리가 가능하다. 질화공정에는 수산화나트륨 등의 pH 조정용 약품을 사용하지 않고 질화조(제 3조) 일부에 석회석을 첨가하여 처리를 행한 결과 질화반응에 따른 pH 저하는 억제되고 방류수의 pH는 7.5 ~ 8.2였다.

〈표 - 17〉 처리기능의 비교

		본처리방식	일반처리방식
BOD 제거율		99%	99%
COD 제거율		94%	94%
SS 제거율		97%이상	97%이상
T-N 제거율		90%	79%
폭기 장도	제 1조	$0.5 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$3.3 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
	제 2조	$2.5 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$2.5 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
	제 3조	$2.0 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$2.0 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
비 고		제 II기실험 반송율 2배	제 II기실험 무순환전조호기성

그것으로부터 pH 조정용의약품첨가장치는 불필요하다. 또한, 탈질공정에서는 원수중의 BOD 성분을 수소공여체로서 이용하기 때문에 메탄을 등은약품첨가장치도 불필요하다.

5. 결 과

3개조 1조의 접촉폭기장치(침전여상법)에 의한 탈질을 포함한 고도 폐수처리에 대해 연구하여 유기성폐수의 탈질 또는 고도처리에 대해 소기의 효과를 얻는 소규모 사업장을 대상으로 한 처리장치로서 공업화의 전망이 밝다는 것을 알았다.

1) 접촉폭기법은 일반적으로 전조호기성으로 처리하지만 금번 연구를 실시한 장치는 제1조를 미호기성으로 하여 탈질조로서 이용하고 2차 처리기능과 탈질을 포함한 고도처리기능을 동시에 포함한 것이 특징이다. 그리고 BOD 용적부하 $0.2 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 반송을 8배의 처리조건하에서 BOD 제거율 99%, COD 제거율 96% 및 질소제거율 93%와 고도처리기능을 가진 것이라 확신할 수 있었다.

2) BOD 용적부하 $0.45 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 라는 접촉 폭기법으로서는 비교적 부하가 높은 처리조건으로 반송율을 2배로 할때, BOD 제거율 99% COD 제거율 94% 및 T-N 제거율 90%의 고도처리 효과를 얻었다.

3) 접촉 폭기법에 의한 전조호기성으로 한 처리방식과 비교하여 제1조 송풍량을 감소하여 전체의 약 $2/3$ 의 송풍량으로 높은 제거기능이 있다는 것이 확인되었다.

4) 활성오니법에 탈질기능을 가진 처리방식

과 비교해서 본장치는 오니반송 등의 복잡한 관리의 필요가 없는 동시에 높은 질소제거율을 얻을 수 있으며 소규모 사업장에도 적용할 수 있는 효과가 있다고 사료된다.

5) 수소공여체는 메탄올등의 약품을 사용하지 않고 원수중의 BOD성분을 이용하여 탈질처리를 행할 수 있다.

6) 질화공정에서 수산화나트륨 등의 pH 조정용 약품을 사용하지 않고 질화조(제3조)의 일부에 석회석을 첨가하여 처리를 행한결과 질화반응에 따른 pH저하는 억제되고 BOD 용적부하 $0.2 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 의 처리조건하에서의 방류수 pH는 $8.2 \sim 8.3$ 이고 BOD 용적부하 $0.4 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 의 처리조건하에서는 방류수의 pH가 $7.5 \sim 7.6$ 이고, 석회석의 효과가 확인되었다.

7) 탈질조(제1조)에도 여재를 충전하였기 때문에 교반은 공기에 의해 행하였다. 그리고 BOD가 $0.8 \text{ mg}/\text{l}$ 이하의 미호기성 조건하에서 탈질처리가 행해지고 있다는 것이 확인되었다.

8) 수온 11.7°C (전조호기성처리)로 BOD에 대해 고도처리기능이 확인되었고, 탈질조를 가진 처리 System 에서도 이 온도부근에서 질소를 포함할 고도처리기능을 가지고 있다고 추정된다.

오염되고 후회말고

늦기전에 환경보전

환경의식 드높일 때

나라힘도 강해진다