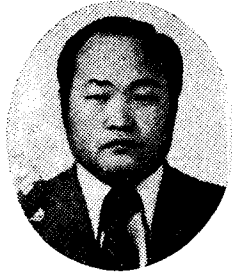


〈技術解説〉



심층폭기법에 의한 무희석 분뇨처리 및 탈질에 관하여

국제기술개발(주)

상무이사 関 誠 基*

목 차

- 1. 개 요
- 2. 심층폭기법에 의한 분뇨의 무희석 처리
- 3. 심층폭기조의 구조와 원리
- 4. 심층폭기법에 의한 분뇨처리 설비구성
- 5. 심층폭기법에 있어서 소화탈질
- 6. 심층폭 기법에 의한 분뇨 처리의 특징 및 결론

1. 개 요

심층폭 기법의 2단 활성오니법에 의한 분뇨처리법은 소위 일본에서 분뇨처리 시설구조 지침으로 불리우는 저희석 2단 활성오니법의 제 1 교반조에 상당하는 장치 대신으로 심층폭기조를 사용한 것이다.

분처리법은 SS의 제거와 고도 처리를 위하여 2차처리 설비로서 응집분리 Process를 조합하였으며 Fig.-1에 기본처리 계통도를 나타내었다 현재 국내에서는 20배 희석처리를 하고 일본에서는 10배의 희석을 표준으로 하고 있으나 본법은 1.5배 정도의 거의 무희석에 가까운 희석 배율로서 활성오니 농도를 10,000 mg/l 이상의 고농도로 유지해서 운전하는 것이다.

심층폭 기법에 의한 분뇨의 정화는 소화액 순환에 의하여 저희석 2단 활성오니법과 같은 형식의 원리에 의해 알카리제 첨가없이 심층폭 기조에서 BOD 98% 이상 총질소 90% 이상의 제

거울을 얻을 수 있다.

심층폭기조의 배출액 중에 남아 있는 무기성 질소는 오니분리조에서 고액분리되고 계속해서 소화조, 탈질조, 재폭기조의 순서로 점차 제거된다. 특히 탈질조에서는 심층폭기조의 질소 제거율이 높기 때문에 내생호흡형탈질소를 할 수 있게 되고 메탄올등의 유기탄소원의 첨가가 불필요하게 되는 이점이 있다.

2. 심층폭기법에 의한 분뇨의 무희석처리

분뇨는 BOD 성분과 함께 질소성분을 다량 함유하고 있다.

활성오니 처리에서 NH_4^+ 가 200-300 mg/l 이상 존재하면 활성오니 활동을 억제하기 때문에 현재의 분뇨처리는 청수로 20배 희석한 후 처리하여 왔다.

그러나 생물학적 소화탈질소법의 적용에 의해 분뇨중의 질소는 잘 제거될 수 있게되므로서 저희석화의 보급화가 가능하게 되었다.

* 環境管理技術士(水質管理)

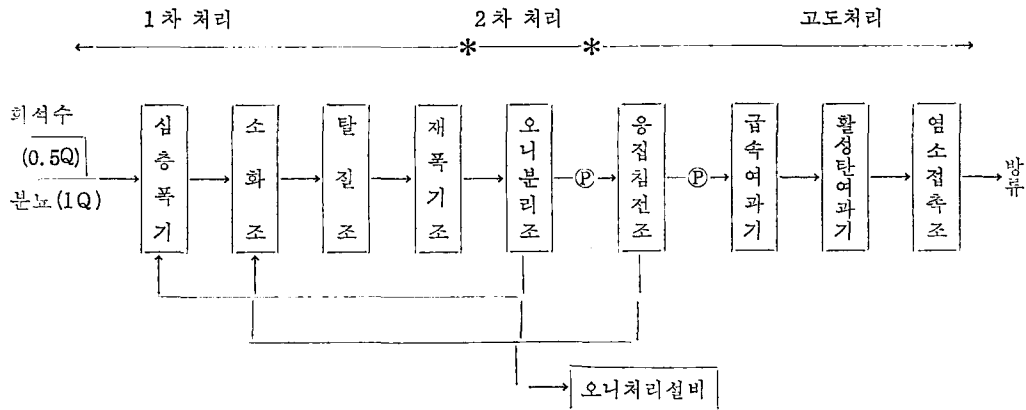


그림 1. 기본 FLOW SHEET

표 2. 처 리 성 적 표

상단
하단
평균치
표준편차

	공시분뇨	침 반 응 조	소 화 조	탈 질 조	오 니 분 리 조	응 집 전 조	활 성 탄 여 과 기	탄 수
PH	8.2 (0.21)	7.36 (0.25)	7.4 (0.23)	7.3 (0.18)	7.6 (0.31)	6.83 (0.75)	7.0 (0.3)	
BOD (mg/l)	7401 (1588)	33.6 (12)	16.2 (10.3)	24.2 (14.2)	30.3 (8.6)	8.7 (4.7)	2-5	
COD (mg/l)	6019 (502)	485 (50)	472 (50)	475 (49)	491 (52)	173 (25)	2-10	
SS (mg/l)	15125 (2234)	15588 (1861)	—	—	664 (284)	20.4 (7.6)	1	
Nj-N (mg/l)	3550 (275)	101 (21.6)	—	—	58.8 (11.9)	19.3 (3.6)	5-10	
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	2772 (252)	45.4 (19.5)	5.6 (3.3)	12.8 (7.6)	8.9 (6.6)	9.0 (6.5)	—	
NOX-N (mg/l)	0	17.5 (13.5)	35.2 (25.5)	3.6 (10.0)	0.3 (0.8)	0.3 (0.7)	—	
T-N mg/l)	—	116 (18.7)	—	—	58.8 (11.7)	19.6 (3.6)	5-10	
Or ₂ -N (mg/l)	778	55.6	—	—	49.9	10.3	1.4	
PO ₄ ⁻³ (mg//l)	1092 (225)	—	—	—	250 (107)	<1	<1	
Cr (mg/l)	3222 (244)	—	—	—	2874 (353)	2905 (360)	2509 (360)	

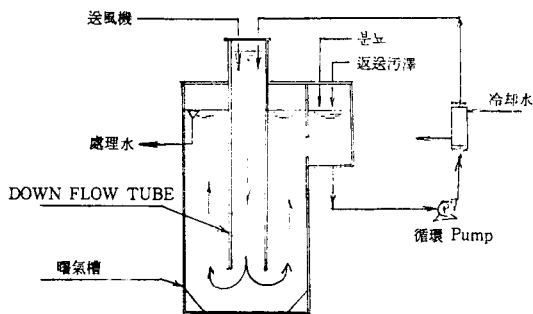
침층폭기조는 전술한 바와 같이 다량의 순환 되었다.
 액에 의해 조내의 충분한 혼합이 되기 때문에 조내 농도와 유출액 농도는 동일치를 나타낸
 BOD와 질소등의 수직농도 분포는 거의 균일화 다.

표-2는 기본 Flow Sheet (Fig-1)를 기초로 하여 분뇨처리 실험을 한 실증 실험처리수의 성적을 표시한 것으로 사용된 분뇨로 제사 분뇨의 공급을 받아 희석수는 전혀 사용하지 않고 운전한 DATA 에서 보듯이 침출액이 유출액이 NH_4^+ 는 평균 45.4 mg/l로서 NH_4^+ 의 독성 한계농도 200-300 mg/l 보다는 훨씬 낮은 농도까지 제거되었다.

이것이 분뇨의 무회석 처리를 가능케 한 중요한 요인이 된 것이다.

3. 침출액기조의 구조와 원리

침출액기조는 1958년 오란다에서 개발된 U-TUBE AERATION의 원리를 이용한 침출액기법으로 그 기본 구조는 FIG-2에 표시하였다.



(그림-2) 침출액기조 구조

그 원리는 기포의 종단 상승 속도로 부터 빠른 유속으로 하향으로 흐르는 원수중에 공기를 주입하면 공기는 주입전에서부터 미세한 기포로 되어 원수와 함께 하향하는 현상을 이용하는 것이다.

침출액기조는 FIG-2 에 표시한 것과 같이 반응조와 하향튜브로 구성되고 반응조내 혼합액은 순환에 PUMP 의해 하향튜브의 상부 입구로 양수되어 하향튜브에서 하향해서 반응조를 경유하여 순환펌프 까지로 순환류를 형성한다.

하향튜브 상부 입구에 주입된 공기중의 산소는 하향튜브 내에서의 격심한 교반 현상과 침출액에 의한 기액간의 산소 분압차의 증대에 따라 고속도로 용해된다.

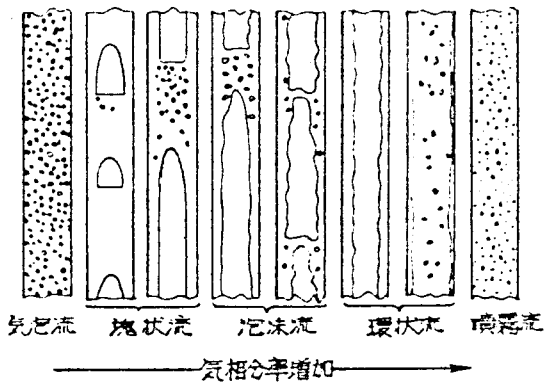
그 결과로 산소 용해율 및 산소 용해 동력 효

율이 대폭 향상이 가능하게 되는 것이다.

반응조 저부에 도달한 기포는 잔류산소를 다시 한번 액중에서 용해하면서 반응조를 상승하고 생물학적 탈질소 반응으로 생성한 질소가스, 탄산가스와 함께 대기로 방출되게 되는데 대기 방출전에 탈취장치에 의해 탈취후에 방출한다.

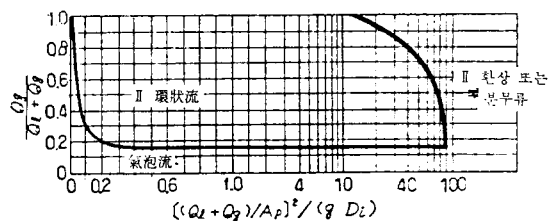
그리고 제사된 분뇨 및 반응오니는 순환펌프조에 유입하면 순간적으로 대량의 순환류와 혼합되어 하향튜브를 경유하여 반응조 저부에 도달하여 U-TURN 해서 반응조를 상승하고 그 일부는 다음 공정인 소화조로 월류된다.

하향 튜브내에서의 기액 혼상류는 기액비율 증가시킴에 따라 FIG-3에 표시한 것과 같은 패턴을 나타낸다.



(그림 3) 垂直管内 2相流의 樣式⁵⁾

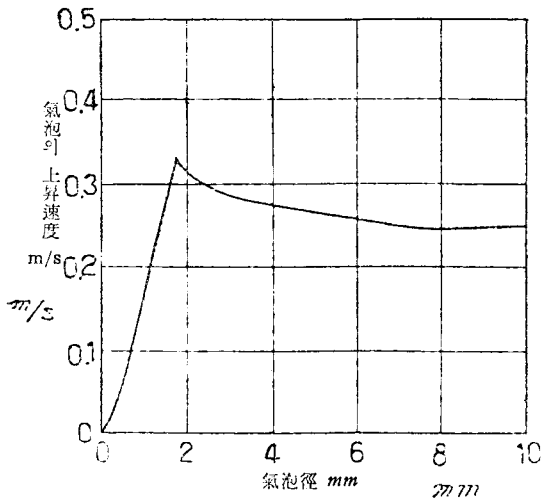
안정된 기포류는 Griffith & Wallis Fig-4에 따르면 기포비가 0.2 이하일 경우에 얻어지게 된다.



(그림 4) 垂直管内 2相流의 樣式的 推定⁶⁾

하향튜브내에서의 액의 유속은 하향 튜브 상부에 주입되는 공기를 기포류로서 액과 함께 하강되기 때문에 기포가 수중에서 종단 상승속도보다 빠르게 하지 않으면 안된다.

기포가 수중에 있어서의 종단 속도를 Fig-5에



(그림 5) 水中에 있어서 氣泡의 終端上昇速度

표시하였다.

Fig-5에 의하면 액유속은 0.3 m/sec 이상이면 좋으나 실장치에서는 안정된 기포류를 유지하기 위해 0.35 m/sec 이상으로 운전하게 된다.

심층폭기조에서 고속산소용해는 하강튜브에서 얻어지게 된다.

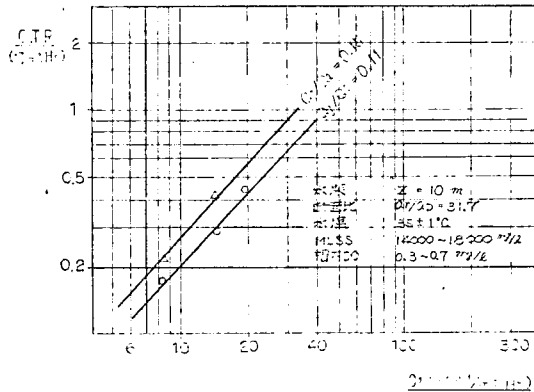
일반적으로 종래의 산기식 폭기장치로는 폭기 강도 ($m^3/m^3 \cdot h$)가 일정치를 초과하면 기포의 간섭이 일어나 산소용해 효율이 저하하기 때문에 폭기 강도는 증가하여도 산소이동 속도는 어느 한계까지만 증가하고 그 이상은 증가하지 않게 되며 그 한계는 50-100 mg/1.h 이 있었다. 그러나 심층폭기조에서는 하향 튜브의 기액비를 0.2 이하, 액유속을 0.35m/sec 이상의 범위로 설계하는 한 기포의 상호 간섭은 일어나지 않는다.

따라서 순환유량비를 증가시키에 따라 임의로 높은 산소용해 속도를 달성하게 되는 것이다.

심층폭기조의 산소용해 속도의 실측치는 Fig-6에 표시하였다.

Fig-6의 실측치는 정상적으로 분뇨를 처리하고 있는 상태하에서 반응조 Off-Gas의 산소농도를 측정해서 구한 값이다.

표 1에 심층폭기조 Off-Gas의 측정결과와 일례를 나타내었다. Off-Gas의 분석에 의해 구한 산소 용해 효율은 약 60%로서 종래의 산기폭기 장치의 약 10배에 상당한다.



(註) Q_1 : 循環流量
 Q_2 : 吹込空氣量
 V : 深層曝氣槽容量

(그림 6) 深層曝氣槽의 酸素移動速度 (O.T.R)

표 1 심층폭기조의 배가스 분석표

배가스 조성	농도
산소	8.2%
이산화탄소	11.0%
암모니아	1.0ppm
메틸 메카푸탄	0.013ppm
유화수소	0.005ppm 이하
유화메탄	0.0055ppm
2유화메탄	0.0053ppm
트리메틸아민	0.02ppm 이하
아세트 알데히드	0.005ppm 이하
스치렌	0.02ppm 이하

4. 심층폭기법에 의한 분뇨 처리 설비구성

- 1) 투입, 저류설비(Screening and Holding Tank) 재래식 설계요령 및 방식동일
- 2) 심층폭기조
 제사분뇨 및 반송오수를 심층폭기조의 양수하여 조내전체의 교반을 함과 동시에 산소공급을 한다.
 심층폭기조에서 98% 이상의 BOD 제거와 이상의 총질소 제거를 한다.
 조의 평면 형상은 정방형으로 하고 유효수심은 20m 이하로 한다 소포장치는 혼합액의 분사에 의한 방식으로 한다.

또 생물반응열로 인해 하계에는 액온이 상승하기 때문에 경우에 따라서는 35°C 이상 되지 않도록 냉각장치의 설치가 예상되기도 하며 동계에는 미생물의 반응열로 인한 액온은 20°C 전후까지 상승하기 때문에 가온장치가 불필요하다.

3) 소화조

심층폭기조 유출수는 소화조로 유입되어 산기식 폭기 장치에 의해 산소공급을 하면서 약간 남아있는 암모니아성 질소의 소화를 시작한다.

4) 탈질조

소화조 유출수는 탈질조에 유입되어 혐기성 조건하에서 산화태질소의 탈질을 하게 된다. 탈질반응은 암말등의 유기탄소원의 첨가는 하지 않고 환성오니의 내생 호흡을 이용한다

5) 재폭기조

탈질조 유출수는 재폭기조에 유입되어 오니 분리조에 있어서 고액분리성을 향상시키기 위해 산기식 폭기장치에 의해 조내의 교반을 하면서 탈기와 함께 오니의 활성화를 유도한다.

6) 오니분리조

재폭기조 유출수는 오니분리조에 유입되어서 고액분리와 함께 오니의 농축을 하여 고농도의 반송오니를 얻게 된다.

7) 응집 침전조

오니분리조 유출수에 응집제를 주입해서 SS, BOD, COD, PO₄⁻³, 색도 등을 응집침전 제거해서 BOD 30 mg/1 이하 SS 70 mg/1 이하의 2차처리수를 얻는다.

응집오니는 소화조 또는 탈질조에 반송하여 환성오니와 혼합한다.

8) 고도처리 설비

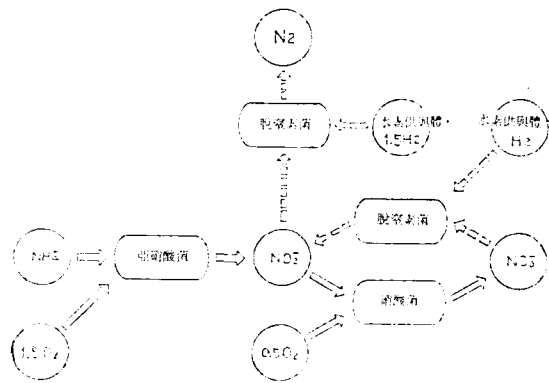
고도처리는 Sand Filter 및 활성탄 여과기를 통하여 SS, COD, 색도등을 제거하여 수도수의 같은 정도의 외관을 갖고 있는 고도 처리수를 얻는다.

5. 심층폭기조에 있어서 소화탈질

심층폭기조에 있어서 분뇨 처리의 원리는 저회석 2단 환성오니법과 같이 생물학적 소화 탈질소법에 의해 BOD 및 총질소의 제거를 하는 것이다. 일반적으로 생물학적 소화 탈질소법은 NH⁺를 소화균에 의해 NO₂⁻ 및 NO₃⁻로 산화하여 소화 반응과 생성한 NO₂⁻, NO₃⁻를 탈질소균에 의해 N₂ 가스로 환원 분해하는 탈질소 반응을 이용하는 것이다.

이러한 반응을 Fig-7의 도표로 표시하였다.

실선으로 표시한 Route 는 소화반응, 점선으로 표시한 Route 는 탈질소 반응을 나타내고 있다.



(그림 7) 生物學的脫窒素反應의 模式圖

아초산균은 NH₄⁻ 1분자에 대하여 1.2-1.8분자의 산소를 섭취해서 NH₄⁻를 NO₂⁻로 산화한다. 생성한 NO₂⁻는 초산균에 의해 NO₂⁻ 분자에 대하여 0.7 분자 이하의 산소를 소비해서 NO₃⁻로 산화시킨다.

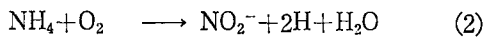
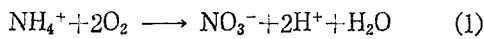
또한 탈질소균은 용존산소의 존재하에서는 산소호흡을 하고 용존산소 결핍하에서는 NO₂⁻ 또는 NO₃⁻로 결합되어 있는 산소의 섭취 즉 초산호흡을 하여 유기물을 CO₂와 H₂O로 분해한다

생물학적 탈질소법은 이 탈질소균의 초산호흡을 이용해서 NO₂⁻ 및 NO₃⁻를 N₂ 가스와 H₂O로 환원 분해하는 것이다.

종래의 생물학적 소화 탈질소 법으로는 소화 반응을 시킬때 호기적 Zone 과 탈질소 반응을 할 때에 산소 결핍 Zone 으로 구분하며 이 2개의

Zone 을 조합하므로써 총질소 제거를 하여 왔다 이에 대하여 심층폭기조에 의한 소화 탈질소법은 2개의 Zone 으로 분리하지 않고 단일조에서 소화반응과 탈질소 반응을 시간적이나 위치적이나 동시에 진행시켜서 총질소 제거를 하는 것을 특징으로 하고 있다. 생물학적 소화 탈질소 반응을 화학 반응식으로 표시하면 Fig-8 과 같이 나타낼 수 있다.

소화반응



탈질소 반응

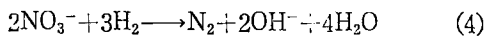
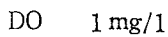
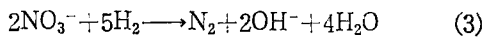
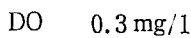


Fig-8 소화 탈질소 반응식

아초산형 소화 탈질소 반응 ($\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{N}_2$)

즉, Fig-8 의 반응식 (2) — (4) 를 선택적으로 진행을 시킬 수 있다면 소화반응에 필요한 산소량 탈질소 반응으로 소비되는 수소공여체량(유기물량) 공히 소화형 소화탈질소 반응($\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_3^- \longrightarrow \text{H}_2$)에 비교하여 경제적인 탈질소 처리가 가능하게 된다.

종래의 생물학적 소화탈질소법의 대부분은 초산형 소화탈질소반응 즉 Fig-8 의 반응식 (1) — (3)에 의해 총질소 제거를 하여왔다. 이에 반하여 심층폭기조에 있어서 소화탈질소는 아초산형 소화탈질소 반응에 의해 총질소의 제거를 하는 것이다.

아초산균의 작용에 의해 생성한 NO_2^- 가 NO_3^- 로 산화되는지 N_2 가스로 환원되는지는 계내의 용존산소 농도로 좌우된다.

Fig-8 로 표시한 바와 같이 NO_3^- 의 탈질소 반응은 용존산소 농도가 0.3 mg/l 정도 이하로 하지 않으면 진행하지 않지만 NO_2^- 의 탈질소 반응은 용존산소가 0.3 mg/l — 1 mg/l 정도 존재하여도 지체없이 진행된다.

한편 소화 반응에 있어서 용존산소 농도는 Fig-9 에 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 제거율과 DO 와의 관계를 표

시한 것과 같이 소화균이 존재하고 있으면 용존산소가 1 mg/l 이하로 하여도 소화반응은 지체없이 진행된다.

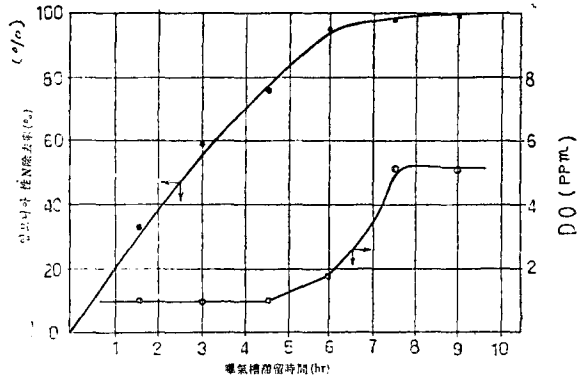


그림 9) $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 除去率과 DO 의 關係³⁾

심층폭기조 내의 용존산소 농도가 1 mg/l 이하로 되도록 산소 공급량을 제어한다면 존재하는 NH_4^+ 는 아초산균의 작용에 의해 NO_2^- 로 산

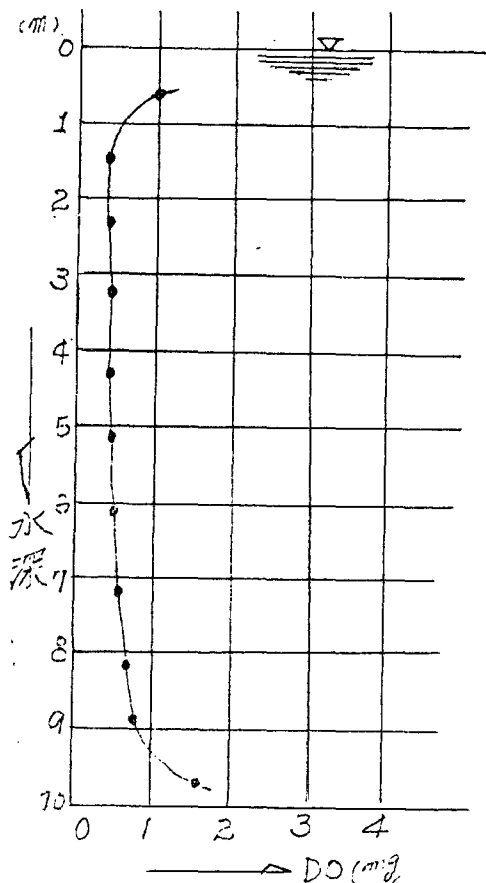


그림 10) 심층폭기조에 있어서 용존산소 수직 분포

화되고 생성된 NO_2^- 는 즉시 탈질소 균의 작용에 의해 분뇨중의 BOD 물질을 유기탄소원으로 해서 N_2 가스로 환원 분해될 수 있게 된다.

즉, 소화탈질소 반응은 $[\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2]$ 의 Route로 진행한다. Fig-10에 심층폭기조에 있어서 용존산소의 수직 분포를 표시하였다.

6. 심층폭기법에 의한 분뇨처리의 특징 및 결론

- 1) 심층폭기법에 의한 분뇨 처리는 1.5배의 회석처리 하기 때문에 무회석 폭기에 해당함으로써 회석수가 절감된다.
- 2) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 시설용량이 약 1/10 이상으로 적어짐으로 시설비의 절감은 물론 유지관리비가 절감된다.
- 3) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 처리장 건설 부지가 적게 소요되어 부지 선정이 용이하고 기존처리장의 증설이 용이하다.

4) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 BOD 제거율 98%, 암모니아성질소 90% 제거 가능하므로 처리 효율이 좋으며 N,P 공해해결이 가능하다.

5) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 처리 공정상으로부터 악취가스 발생량이 적고, 악취처리 대책이 용이하므로 부대 시설비가 적게 소요된다.

6) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 MLSS 농도가 10,000 mg/l 정도로 운전하므로 분뇨의 양적, 질적 변동에 유연성이 있다.

7) 심층폭기법에 의한 분뇨처리는 미생물의 반응열로 동기 운전이 용이하고, 미생물 배양 및 운전관리가 용이하다.

7. 참 고 자 료

영국 ICI 연구자료
구보다연구자료