

삼상유동층 반응기에서 토양미생물에 의한 유기성 폐수처리에 관한 연구

An Experimental Study on the Treatment of Organic Wastewater by
Soil Microbes Using Three-phase Fluidized Bed

정연규* · 전양근**

Chung, Youn Kyoo · Chun, Yang Kun

Abstract

In this study, isolated and cultured nitrogen fixed microbes were seeded in the three-phase fluidized bed in which gas, solid and liquid were contacted directly. Input velocity was varied from 8.12 cm/hr to 16.32 cm/hr. And upflow gas pressure was fixed to 80 psi. Return ratios were from 0.2 to 0.6 with the each experimental condition. According to these condition, movement of media, growth of biofilm and removal efficiency were measured. As the results, in case of briquette ash, biofilm was developed to 170 μm when velocity was 8.12 cm/hr and return ratio was 0.6. In this condition, COD removal efficiency was 97% and $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiency was 83%. At the same condition, biofilm thickness of glass bead was 17.59 μm and its COD and $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiency was 83% and 72%.

Nitrogen fixed microbes have following characters: it formed dark-brownish sludge, excellent adhesive force, easy solid-liquid separation and low oxygen uptake ratio, but sensitive to DO concentration. Not only it endured shock loading, but required short time to steady state.

요 지

본 연구에서는 기체 · 액체 · 고체의 직접접촉이 일어나는 3상 유동층 반응기를 이용하여 유입상승 유속에 의한 공극률의 변화와 생물막의 두께 및 밀도를 관측하였다. COD의 용적부하율은 반송비($r=0.2, 0.4, 0.6$)로 조절하여 201.12-1150.8 $\text{g/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 하였으며, 고체매질로는 연탄재입자(평균유효입경: 1.34 mm)와 유리비드(3 mm)를 사용하여, 매질의 차이에 따른 반응기의 효율에 대하여 비교하였다. 그 결과 반송비를 일정하게 고정시킨 경우, 연탄재 매질에 의한 생물막의 두께가 유리비드를 사용한 것보다 약 4.8배 두꺼우며, COD 제거효율은 두 매질사이에는 변화가 거의 없으나, 암모니아성 질소의 제거에는 연탄재의 경우가 약간 높았다. 반응조내의 식종균으로는 합성폐수와 유사한 배지에서 동정 분리하여낸 토양미생물을 이용하였다. 이 토양미생물은 기존의 활성슬러지균 보다 점착력과 침강성이 뛰어났다.

* 정회원 · 연세대학교 토목공학과 부교수

** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 대학원

1. 서 론

자연의 자정작용에 의한 정화는 긴 시간을 요구하므로 단기간에 걸쳐서 정화할 수 있는 여러 공법이 1900년대초부터 시도되기 시작하였다. 부착미생물을 이용한 살수여상법과 부유현탁상태의 활성슬러지법, 토양의 자정정화능력을 이용한 토양처리법 등이 생물학적 처리법으로 개발이 되었으나, 살수여상법의 경우, 탈리된 미생물에 의한 폐색현상으로 운영의 효율이 떨어지므로 매질사이의 적당한 공극유지가 필요하며, 활성슬러지의 경우는 타공법에 비해 수량이나, 수질의 변동이 극심한 지역이나 소규모의 가정하수의 처리에는 설치유지가 곤란하다. 또한, BOD₅가 50-70 mg/l 정도인 저농도의 폐수처리에는 적합하지 않으며 100-200 um의 부정형 floc으로 수많은 세균이 응집된 형태이므로, 연속식 반응기에서는 이 floc이 폐수와 함께 유출이 되기 때문에 발아시기가 늦은 것이나 증식속도가 느린 미생물들은 그대로 씻겨나간다. 이에 반해서, 생물학적 유동층반응기는 부착매질로 해서 증식속도가 느린 미생물도 증식할 수 있는 장점이 있다. 또한, 반응조의 단위체적당 미생물이 증식하는 표면적이 매우 커서 높은 미생물 농도(8-40 g/l)로 운전이 될 수 있기 때문에 다른 공정 보다도 적은 면적과 짧은 체류시간, 낮은 건설비로 높은 효율을 얻을 수가 있다.

1.1 연구목적

본 연구에서는 3상 유동층 반응기로 실험하였으며, 유기성폐수분해에 적합한 토양미생물을 동정, 증식 및 매질에 부착시켜 유기물과 암모니아성 질소의 처리정도를 측정하고 제반인자들은 변화시킴으로써, 토양미생물 및 3상 유동층 반응기의 특성을 파악하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구동향

이미 60년 전부터 화학공업에서는 유동층 반응기를 이용하였으며, 1950년대에 이르러 유동층의 동수역학이 규명됨에 따라 생물학적인 유동층 반응기가 발전하게 되었다. 1977년 Jeris 등이 유기탄소원 및 질소제거에 유동층 반응기를 이용하였다. 그 결과에 따르면, 생물학적 유동층공법은 활성슬러지

와 살수여상을 조합한 공정으로 평가하였으며, Sehic는 유동층 반응기에 순환공정을 도입하여 실험하여 Total BOD₅의 85% 제거효율을 얻었으며, Nutt 등은 코우크스 공장폐수의 질소제거공정에서 2단계 생물학적 유동층 반응기를 이용하였으나, 유기탄소원의 공급과 순산소의 이용에 문제가 있음을 제시하였다. 1980년에는 B. Chatib가 생물학적 3상 유동층 반응기를 이용하면 기체, 액체, 고체가 접촉할 수 있다는 것을 제시하였고, 같은 해에 Nigan은 상내에서 입자의 운동상태를 고려하여 기질농도의 변화에 따른 반응조 상태를 연구한 model을 개발하였으며 유체 유속과 상의 공극률관계를 실험으로 규명하였다. 1991년 F. Tinet와 R. Heine는 3상 유동층 반응기를 이용하여 생물막 및 반응기 특성치를 제시하였다. Sutton은 생물학적 유동층 반응기로 옥수수 가공공장에 적용하여 95%의 BOD 제거율을 얻었으며, 이때의 MLVSS가 1200-2000 mg/l였고 이것이 활성슬러지와 비교될 수 있다고 보고하였다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 배양기에서 우점종으로 나타난 토양미생물을 동정 배양하여 분말형태의 연탄재 입자와 유리비드를 이용한 3상 유동층 반응기에 식종하여 연속식(CFSTR)으로 실험하였다. 상송공기압은 80 psi로 고정하였으며 이에 따른 유입유속을 4단계로 변환시켰으며, 반송조를 운영하여 유속과 반송비에 따른 생물막의 성장 및 유기물, 암모니아성 질소의 제거정도를 측정하였다. 그리고, 유입유속의 변화에 따른 유동층 반응기의 팽창정도를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 미생물막의 비탈리율

비탈리율(b_s)는 매질의 농도와 유입기질의 농도와 연관이 있다. 반응기 내에서는 기체의 유속과 액체의 유속에 의해서 조절이 가능하다. b_s 값이 크면 생물막의 균락이 적어지고 생물체 순환과정에 변환을 일으킨다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$b_s = \frac{Q \cdot X_c}{W_{pt} \cdot X_{pt}} \quad (1)$$

여기서,

Q : 유출유량(l/d), X_c : 유출수의 SS량(mg/l),
 W_{pt} : 매질의 전체무게, X_{pt} : 매질에 부착된 미생물의
 량(mg vs g 매질)

즉, 생물막으로부터 부착된 미생물체와 매질입자에
 서 탈리되어 유출수중에 있는 미생물체의 비이다.
 기질의 농도와 매질의 농도의 함수로 b_s 를 나타내면,

$$b_s = 17.47 - 0.0258 C_p + 0.948 P_s \quad (2)$$

여기서, C_p : 매질의 농도(g/l), P_s : 기질의 농도
 (mg/l)

P_s 는 간접적으로 기포에 의한 난류의 효과와 표
 면부하율을 나타낸다. 높은 b_s 는 낮은 매질의 농도와
 높은 기질함량을 통해서 얻을 수 있다. 또한, 높은
 기질함량은 박테리아의 부착성을 개선시킨다. 낮은
 C_p 는 높은 유체상속속도를 얻을 수 있으며 낮은 P_s 는
 낮은 기포의 상승속도를 통해서 얻는다. 최적의 상
 태는 높은 C_p 와 낮은 P_s 가 바람직하다고 할 수 있다.

2.2 유동층 반응기

2.2.1 유동공극과 압력강하

상향류의 흐름이 낮은 유속으로 흐르면, 충전된
 입자들은 정지된 상태로 머물게 되나 속도가 증가
 함에 따라 압력강하량도 증가하게 된다. 공극률(ϵ)와
 압력강하량(ΔP)의 관계는 식 (3)과 같다.

$$\Delta P = \frac{150\mu V' \Delta L}{D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} + \frac{1.75\rho V' \Delta L}{D_p} \cdot \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \quad (3)$$

D_p : 입자의 유효반경, ϵ : 공극율, V' : 표면유속
 계속적으로 유속이 증가하게 되면 증력에 의한
 입자무게에 대해서 유동점에 이르게 된다. 이 점을
 최소유동점이라 하며, 이때의 유동공극을 최소유동
 공극이라 한다. 유동점에 이르기 전까지는 기체의
 유속이 증가하면 압력의 강하도 증가하지만, 이 점을
 지나면 일정한 확장상태를 유지하게 된다. 상의 높
 이의 공극율의 변화는 다음의 관계를 갖는다.

$$L_1 A(1-\epsilon_1) = L_2 A(1-\epsilon_2) \quad (4)$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{1-\epsilon_2}{1-\epsilon_1} \quad (5)$$

여기서, ϵ_1, ϵ_2 : 공극율

단면적에 대한 압력강하로부터 얻어지는 힘은 입
 자의 무게에서 부력을 감한 중력과 같으므로 식 (6)
 으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta P \cdot A = L_{mf} \cdot A \cdot (1-\epsilon_{mf}) (\rho_p - \rho) g \quad (6)$$

$$\frac{\Delta P \cdot A}{L_{mf}} = (1-\epsilon_{mf}) (\rho_p - \rho) g \quad (7)$$

상내의 균질하지 않은 입자의 경우 형상계수를 이
 용하여 식 (3)으로부터 D_p 대신에 ΦD_p 를 대입한다.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu V'}{\Phi_s^2 \cdot D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} + \frac{1.75\rho V'}{\Phi_s \cdot D_p} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \quad (8)$$

Wen과 Yu는 ϵ_{mf} 와 Φ_s 의 근사식을 다음과 같이 제
 안했다.⁽⁵⁴⁾

$$\Phi_s \epsilon_{mf}^3 \approx 1/14, (1-\epsilon_{mf})/\Phi_s^2 \epsilon_{mf}^3 \approx 11 \quad (9)$$

$$N_{Re, mf} = \frac{D_p \cdot V'_{mf} \cdot \rho}{\mu} \quad (10)$$

2.2.2 상의 높이와 생물막의 밀도

$\epsilon_g + \epsilon_1 + \epsilon_s = 1$ 여기서, $\epsilon_g, \epsilon_1, \epsilon_s$ 는 전체부피에서
 기체, 액체, 고체가 차지하는 분율이다. 반응기내의
 상의공극 ϵ 은 전체부피에 대한 매질이 차지하는 부
 피를 감한 것으로 나타낸다.

$$\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_1 = 1 - \epsilon_g \quad (11)$$

Chang 등은 유동상내의 동수역학에 대한 계산에
 다음 식을 제안했다.

$$\epsilon_g = \frac{U_g}{U_g + U_b + U_1} \quad (12)$$

여기서,

U_g : 기체의 표면유속, U_1 : 액체의 표면유속
 U_b : 액체와 3상유동층 반응기내의 고체의 점성과
 밀도가 대등한 점성과 밀도가 있는 액체내의 정체
 상태하에서 기포의 상승속도
 ϵ_s 는 상의 높이와 미생물막의 밀도 및 두께와 상
 관이 있다.

$$H = \frac{W_{pt}}{\epsilon_s \cdot \rho_p \cdot A} \left(1 + \frac{L_f}{r_p}\right)^3 \quad (13)$$

여기서,

H : 유동층의 높이(m), ρ_p : 매질입자의 밀도(g/m^3),
 W_p : 매질입자의 총 무게(kg), A : 반응조의 단면적(m^2), r_p : 매질입자의 반경(m), L_t : 생물막의 두께(m)

2.2.3 산소의 전달

기체의 겹보기 유속이 10 cm/sec 이상이면 큰 기포가 생성이 되고 상전체의 흐름은 난류가 된다. 난류에 의한 과격한 유동은 매질입자의 표면에 생물막을 유지시키는데 불리한 면이 있다. 반응기의 산소의 전달효과를 측정하기 위해서 상수를 주입한 주 반응기의 시간에 따른 용존산소의 농도를 반대 수용기에 나타낸 후 직선의 기울기로부터 산소의 전달계수를 구한다. 이러한 산소의 전달계수는 표준상태로 전환을 시켜야 한다.

$$K_{La20} = K_{La} \cdot \theta^{(20-t)} \quad (14)$$

여기서, θ : 경험적 온도보정상수로 1.024를 취한다.
 표준산소의 전달율(SOTR)은 다음과 같다.

$$SOTR = K_{La} \cdot C^*_{20} \cdot V \quad (15)$$

여기서, C^*_{20} : 20°C에서의 포화용존산소
 V : 반응조의 체적

3. 실험재료 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에서 사용한 반응기는 직경 8 cm, 두께 5 mm이고, 높이가 100 cm인 투명아크릴 원추형 튜브를 사용하였고, 반응조는 직경이 12 cm이고 높이가 60 cm인 원추형 튜브를 사용하였다. 보편적으로, 유동상의 반응기는 원통형 튜브를 사용하지만, 최근에는 유효속도의 급격한 변화로 인한 반응기내 생체입자의 충돌에 의한 과도한 파손을 방지하기 위하여 원추형 반응기를 사용한다.

입자를 유동시키기 위한 공기압은 공기압축기를 이용하여 80 psi로 유지시켰으며, 폐수의 순환을 위해 Master flex tubing pump를 부착했다. 상향류의 흐름을 이용함으로써, 주 반응조의 상부에 유출구를 설치하여 자연유하식으로 침전조에 유입되도록 하였으며, 반응기내에서 기포가 과대해지는 것을 막기 위해 원판형 baffle을 설치하였다. 반응기와는 별도로

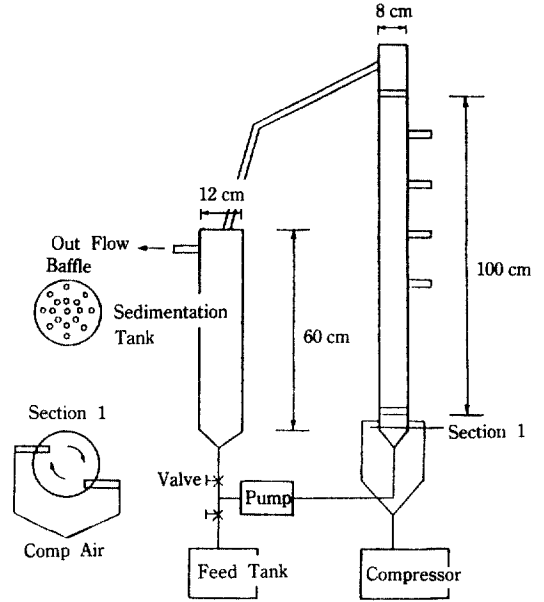


그림 1. 실험장치

슬러지의 유실을 막기 위해서 제 2폭기조를 운영하였다.

매질입자로 연탄재 분말을 0.7-2.0 mm로 체가름한 후에 사용하였고, 유리비드는 직경이 3 mm인 것으로 실험하였다. 실험장치는 그림 1과 같다.

3.2 실험방법

3.2.1 운전조건

본 실험에서는 고체, 액체, 기체가 직접 접촉하는 3상 유동층 주반응기와 침전조에 의한 순환공정으로 구분하고, 두 공정을 펌프로 연결하였다. 수리적 부하율과 반응비의 변화에 따른 각 조건별 안정상태의 도달기간을 약 2주로 보고 결과치의 변화가 $\pm 20\%$ 이내의 허용범위에 들 때를 안정상태로 보았다. 시료는 합성폐수를 이용하여 유입유속을 각 조건별로 일정하게 8.12-16.32 cm/hr로 유지하였고 반응유량비는 0.2, 0.4, 0.6으로 구분하였다. 분석 및 측정항목은 11개 항목으로 선정하여 반응기의 성능 및 토양미생물의 활성도를 관찰하였다. 실험방법 및 사용기기는 표 1과 같다.

3.2.2 생물막의 측정

미생물막의 두께=

미생물이 부착된 젖은 매질의 무게 - 부착전의 매질무게
 물의 단위중량 × 매질입자의 표면적

표 1. 실험방법 및 사용기기

항 목	분석방법 및 기기	세부사항
pH	Hanna HI 8418	
COD _{cr}	Titric method	"Standard method 16ed."
NH ₄ ⁺ -N	Colormetric method	Spectrophotometer
DO	YSI 51P	Oxygen meter
SS	GF/C	"Standard method 16ed."
TS	Sample weight 105°C	"Standard method 16ed."
VS	Sample weight 550°C	"Standard method 16ed."

앞 식은 매질에 부착한 미생물의 비중이 물의 비중과 거의 같다고 가정하였다. 미생물막의 밀도는 매질의 입자를 2시간 이상 105°C 항온조에서 건조시킨 후 항냉하여 그 무게를 계량하여 산출하였다.

미생물막의 밀도=

$$\frac{\text{미생물과 매질입자의 젖은무게} - \text{매질만의 무게}}{\text{미생물과 매질입자의 건조무게} - \text{매질만의 무게}}$$

3.2.3 시료토양의 측정

시료토양의 수분 및 유기물의 함량은 원토양을 48시간 동안 풍건시킨 후 105°C에서 4시간 가량 건조시켜 수분의 함량을 측정하였고, 수분이 제거된 시료토양을 550°C 회화로에서 30분간 작열시킴으로써 유기물의 함량을 측정하였다.

수분함량=

$$\frac{(\text{용기의 무게} + \text{젖은토양}) - (\text{용기의 무게} + \text{건조토양})}{(\text{용기} + \text{건조토양}) - (\text{용기의 무게})} \times 100$$

유기물의 함량=

$$\frac{(\text{용기} + \text{건조토양}) - (\text{용기} + \text{작열된 토양})}{(\text{용기} + \text{건조토양}) - (\text{용기의 무게})} \times 100$$

시료토양의 pH 측정은 풍건시료 20g을 300 ml 용량의 삼각플라스크에 넣고 0.01 N의 NaOH로 pH를 7.0으로 조정된 중류수 50 ml를 넣어서 토양 : 물 = 1 : 2.5가 되도록 하고 magnetic stirrer를 이용하여 24시간 동안 진탕시킨 후 측정하였다. 윗 식에 의해 측정된 결과 토양의 pH는 6.2였고, 수분 함량은 17.187%, 유기물함량은 4.467%였다.

3.3 시료 및 재료

본 실험에서 사용한 합성폐수는 탄소원으로 글루

코오스, 질소원으로는 염화암모늄을 사용하였으며, 미량의 필수요소를 첨가하였다. 단일 탄소원과 질소원을 이용함으로 반응기내 토양미생물의 특성을 파악하고자 하였다. 합성폐수는 유입유속에 따라 제조량을 조절하였으며, 조성표는 표 2와 같다. 표 3에는 열단체매질의 화학적조성을, 표 4에는 연탄 재입자와 유리비드의 특성을 나타내었다.

매질의 재료는 일반가정용 22공탄 연탄재를 파쇄한 후, 체거름을 하여 0.7-2.0 mm인 것을 사용하였으며 입자의 유효평균입경은 (16)식으로 계산하였다.

$$D_{pm} = 6/a_{vm} = \frac{6}{\sum X_i(6\Phi_s D_{pi})} = \frac{1}{\sum X_i / (\Phi_s D_{pi})} \quad (16)$$

여기서, a_{vm} : 평균비표면적(=ΣX_ia_{vi}), X_i : 입자의 체적분율, a_v : 입자의 비표면적

유리비드는 반응조에 주입하기 전에 불화수소(H₂F)로 표면을 거칠게하여 부착성을 증가시켰으며 토양은 토양미생물의 서식조건이 좋은 양지바른 초지에서 시료를 채취하였다.

표 2. 합성폐수의 조성표

항 목	농 도
Glucose	600 mg/l
NaHCO ₃	600 mg/l
NH ₄ Cl	200 mg/l
KH ₂ PO ₄	300 mg/l
MgSO ₄	4 mg/l
FeCl ₃	4 mg/l
NaCl	300 mg/l
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	30 mg/l

표 3. 연탄재 매질의 화학조성표

조 성	범 위(%)
SiO ₂	43-65
Al ₂ O ₃	20-42
Fe ₂ O ₃	7-12
CaO	0.3-3.9
MgO	0.2-2.5
Na ₂ O	0.0-0.65
P	0.1-0.3
N	0.5-1.5

표 4. 매질의 비교

	연탄재 입자	유리비드
매질전체의 무게(kg)	2.0	0.5
매질입자의 밀도(t/m ³)	1.20	2.75
입자의수	1.89×10 ⁵	14451
형상계수(Φ _v)	0.73	1.0
입자의 평균체적(m ³)	1.77×10 ⁻⁹	1.43×10 ⁻⁸
입자의 표면적(m ²)	5.73×10 ⁻⁶	2.83×10 ⁻⁵
입자의 침강속도(cm/s)	8.8	39.4
공극비(%)	31.00	44.28
최소 유동층높이(m)	0.617	0.06154
압력강하(Pa)	3897	970
N _{RE,mf}	106.25	748.17
최소유동속도(m/s)	0.225	0.6717

4. 결과 및 분석

4.1 입자공극의 변화

상승기압을 80 psi로 고정하여 상향 유입유속에 따른 입자간 공극의 증분은 그림 2와 같다. 연탄재 매질입자의 공극의 변화는 유입유속을 8.12, 9.64, 13, 16.32 cm/hr로 조정함에 따라 Δε은 0.018에서 0.71로 변화하였는데, 반송비의 변화로 인한 생물막의 성장으로 미생물이 부착하지 않은 매질과는 상당한 차이를 보였다. 유입유속의 증가로 인해, 입자간의 마찰로 매질이 마모되고, 생물막이 탈리되어 유출수의 TS가 증가하는 것을 보였다. 그림 3은 동일한 조건에서 매질로 유리비드를 이용하여 유입유속을 변화시킨 결과 공극률의 증분은 0.00049에서 0.00052까지의 변화를 보였다. 이는 유리비드의 단위중량이 연탄재입자의 단위중량보다 무겁기 때문이다. 연탄재 입자의 경우는 압력의 강하량이 유리비드보다 상대적으로 크며 상내의 흐름도 더 안정적이었다.

4.2 생물막의 성장할 탈리

연탄재의 경우, 미생물의 부착 전에는 slugging 현상이 우세하게 나타났으나, 부착 후에는 미생물의 점착력에 의한 부분적인 유동현상이 발생하는 channeling 현상이 발생하였다. 용적부하율에 따른 미생물막의 성장은 글루코오스 부하율이 201.12-1150.8

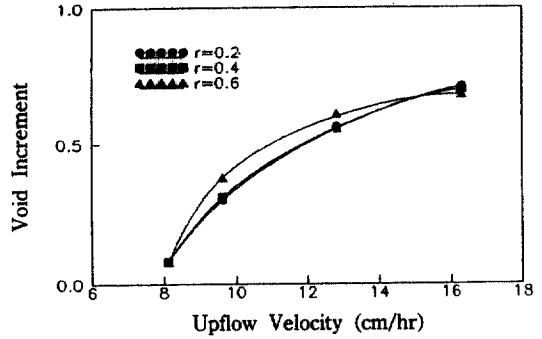


그림 2. 연탄재 입자의 유입유속의 증가에 따른 공극의 증가

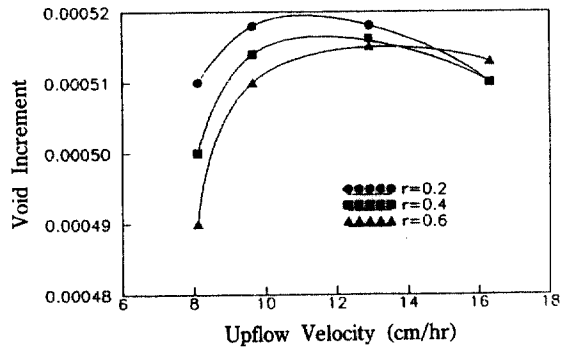


그림 3. 유리입자의 유입유속의 증가에 따른 공극의 증가

g/m³·d로 변화시킨 결과 연탄재 입자의 경우 최고 179 μm까지 성장했지만, 유리비드의 경우는 39.9 μm까지 성장했다. 그 이상 증가시에는 입자의 내부가 혐기성화되어 점착력이 떨어지므로 탈리율이 증가했다.

그림 4와 5에는 연탄재 매질과 유리비드의 부하율 변동에 따른 생물막의 두께를 나타냈다. 생물막의 탈리가 상승기체압을 고정시킨 상태에서는 유입유속에 의한 것으로 볼 수 있다. 그림 6과 7에는 연탄재 입자와 유리비드에서 유입유속에 따른 생물막의 두께의 변화를 나타냈다. 유입유속이 8.12 cm/hr에서 9.64 cm/hr로 변하면서 급격히 생물막의 두께가 줄었으나 그 후에는 유입유속에 대해서 완만하게 감소하였다. 생물막 탈리율과 생물막 밀도와의 관계는 상승유속에 의해서 지배되는데 탈리율이 높을수록, 미생물막의 밀도는 커지며 두께는 작아지는 경향을 보인다. 연탄재 매질의 경우 같은 상승유속하에서는

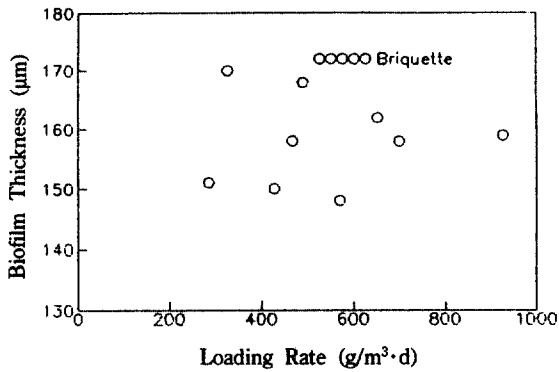


그림 4. 연탄재매질의 COD 용적부하율에 따른 생물막의 두께

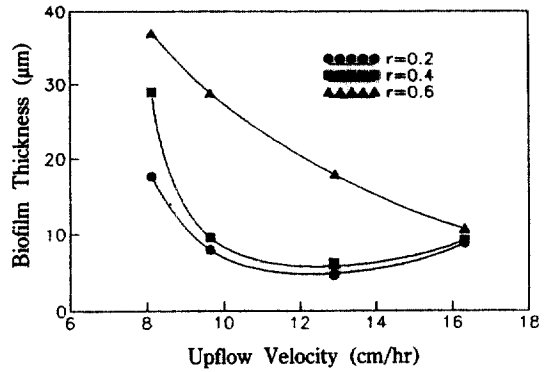


그림 7. 유리비드의 상향유속에 의한 생물막의 두께

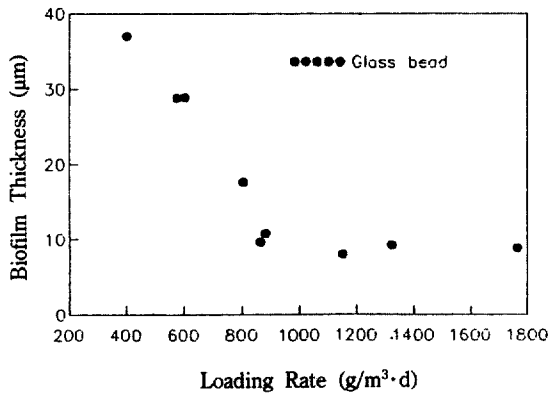


그림 5. 유리비드의 COD 용적부하율에 따른 미생물막의 두께

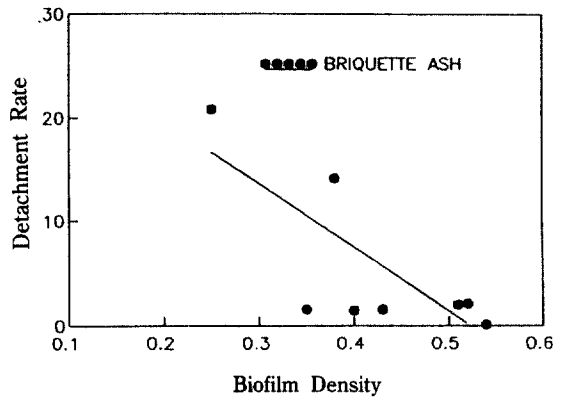


그림 8. 연탄재매질의 비탈리율과 미생물막의 밀도

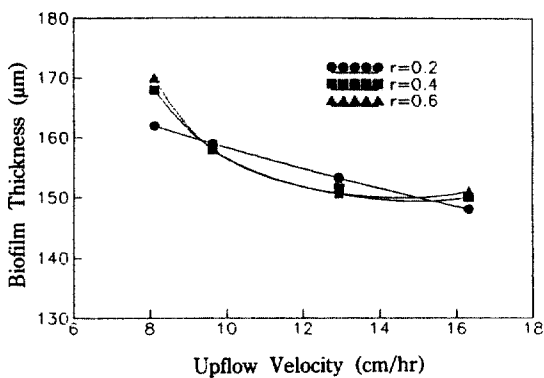


그림 6. 연탄재매질의 상향유속에 의한 생물막의 두께

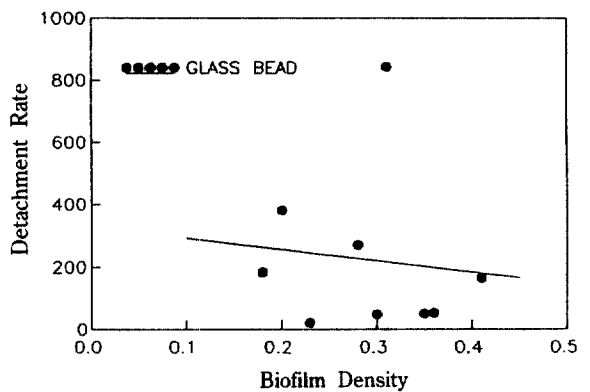


그림 9. 유리비드의 비탈리율과 미생물막의 밀도

탈리율이 최고 20.825/d에 이르는데 비해 유리비드의 경우는 843.03/d를 보여 탈리율이 연탄재 입자의 약 40배에 이른다고 하겠다. 이의 영향인자로는 형상계수와 연탄재 입자 자체의 흡착능 때문이라고 할 수 있다.

4.3 유기물의 제거

유기물의 제거특성은 주반응조내의 체류시간과 반송비($r=0.2, 0.4, 0.6$)를 조절함으로써 제거효율의 변화를 가져왔다. 유리비드의 경우는 그림 10과 11에서 나타난 것과 같이 연탄재 매질보다 낮게 나타났다. 이는 부착된 미생물량의 차이 때문이다. 체류시간과 COD 제거효율은 비례관계를 보였으나, 암모니아성 질소의 제거효율과는 별다른 차이를 나타내지 못하였다.

그림 12와 13에서 토양미생물은 COD 부하율 변동에 대해서 제거효율은 큰 변화를 보이지 않는다는

것을 알 수 있다. 유리비드의 경우는 부하량이 증가하면서 수류에 의한 탈리량의 증가로 미생물농도가 감소하여 효율의 저하를 가져왔다.

4.4 산소의 전달과 산소소모율

반응기내에서 상수로 실험한 산소의 전달계수 $K_{La}=4.45 \text{ hr}^{-1}$ 이며 이때의 측정온도가 18°C 이므로 표준상태로 바꾸면, $K_{La}=4.66 \text{ hr}^{-1}$ 이다. 미생물의 농도가 2200 mg/l 에서 3600 mg/l 로 변하면서 토양 미생물의 산소섭취율(R)은 3.4 mg/l/hr 에서 6.3 mg/l/hr 까지 증가했다.

그림 22와 활성슬러지조건의 내생호흡율과 합성호흡율을 나타낸 것으로 내생호흡율은 9 mg/l/hr 이고 합성호흡율은 25 mg/l/hr 이므로 총산소 섭취율은 (TOUR)은 34 mg/l/hr 이지만 그림 23에서 나타난 토양미생물의 내생호흡율과 합성호흡율은 각각 5 mg/l/hr 과 11 mg/l/hr 이므로 총산소 섭취율은 16

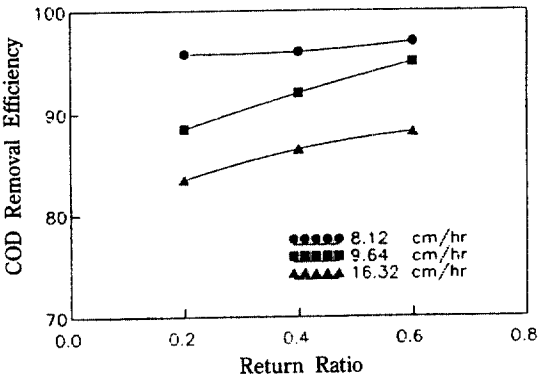


그림 10. 연탄재입자의 반송비에 따른 COD 제거율

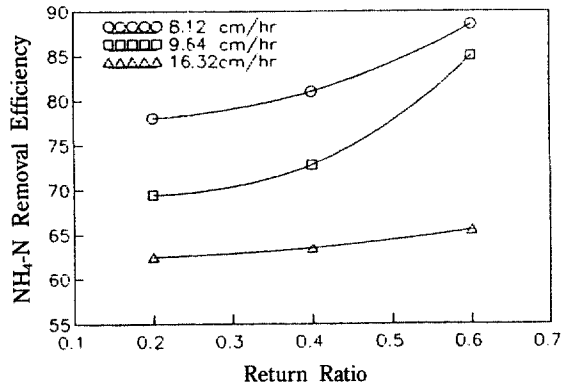


그림 12. 연탄재입자의 반송비에 따른 NH₄⁺-N 제거율

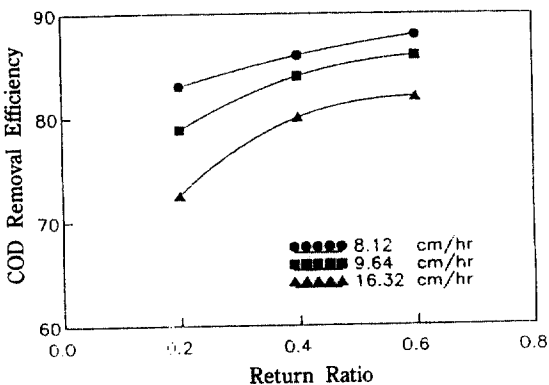


그림 11. 유리비드의 반송비에 따른 COD 제거율

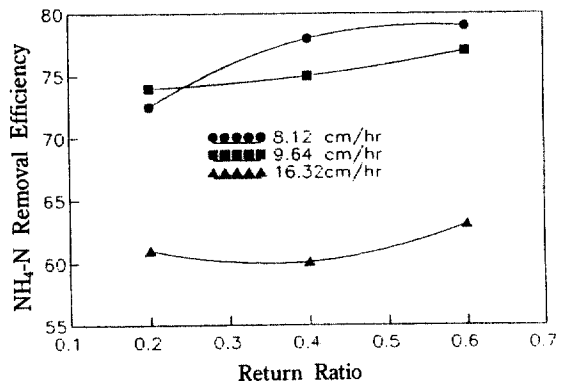


그림 13. 유리비드의 반송비에 따른 NH₄⁺-N 제거율

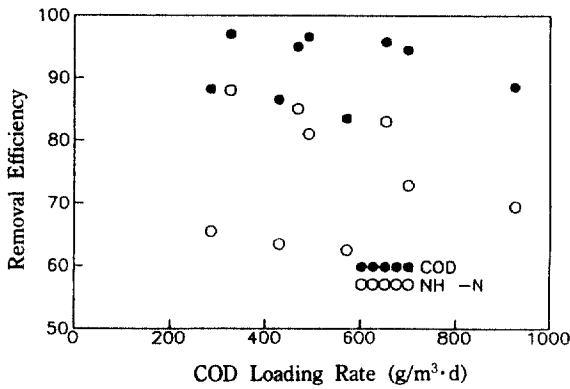


그림 14. 연탄재입자의 COD 부하율에 따른 유기물 제거율

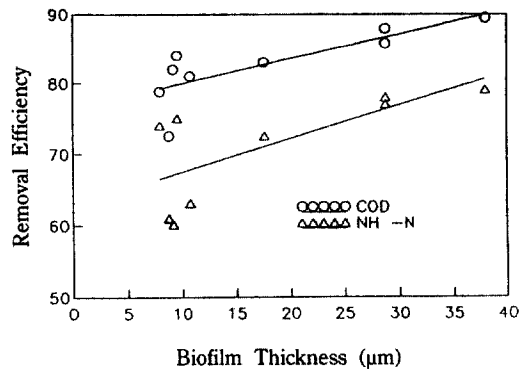


그림 17. 유리비드의 미생물막 성장에 따른 유기물 제거율

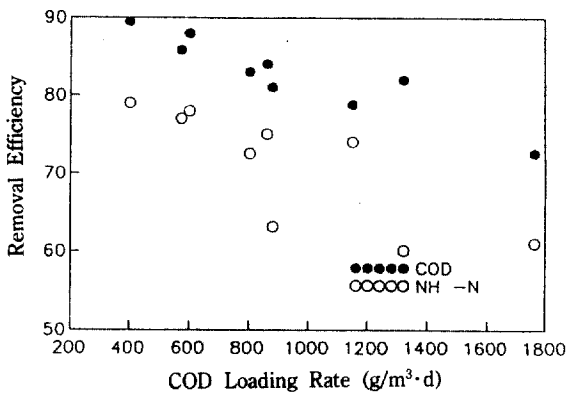


그림 15. 유리비드의 COD 부하율에 따른 유기물 제거율

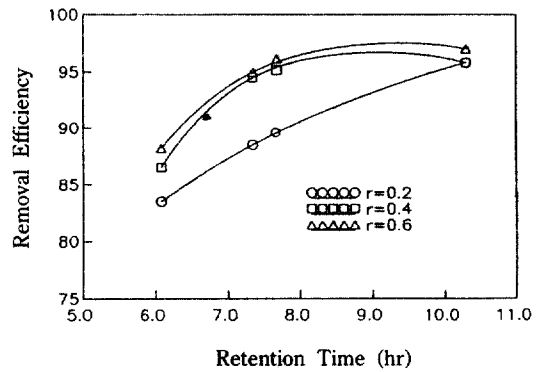


그림 18. 연탄재입자의 체류시간에 따른 COD 제거율

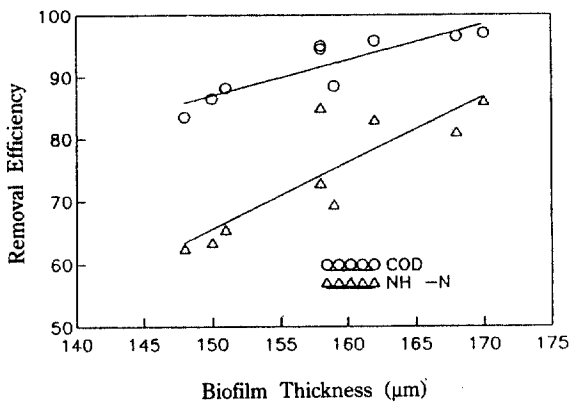


그림 16. 연탄재입자의 미생물막 성장에 따른 유기물 제거효율

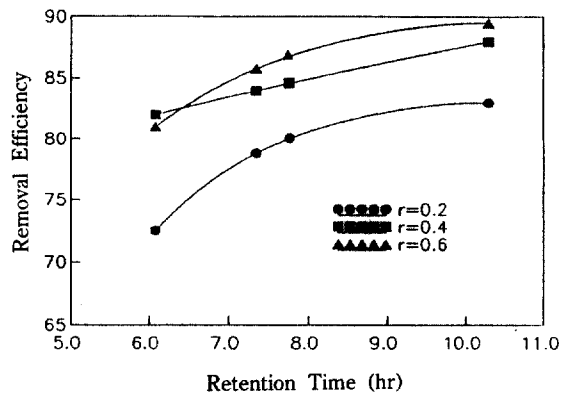


그림 19. 유리비드의 체류시간에 따른 COD 제거율

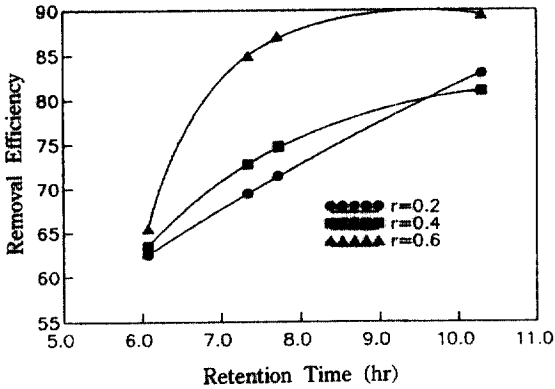


그림 20. 연탄재입자의 체류시간에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거율

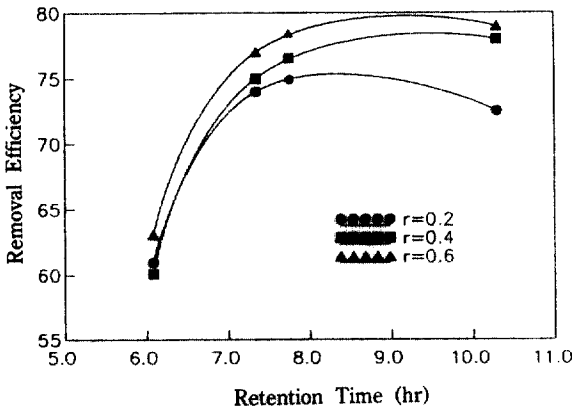


그림 21. 유리비드의 체류시간에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거율

mg//hr이다. 이 결과에서 토양미생물은 활성슬러지보다 낮은 산소농도에서도 생존할 수가 있으며 비슷한 제거율 하에서도 낮은 폭기비로 운전할 수 있으므로 더 경제적으로 운영이 될 수 있다고 사려된다.

5. 결 론

3상 유동층 반응기로 토양미생물을 식종하여 연탄재 매질과 유리비드를 이용한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 생물막의 성장과 상향 유입유속과의 관계에서 연탄재 매질의 경우 상향유입유속이 5.6 cm/hr이고 반송비가 0.6일 때 170 μm 까지 성장했으며, 최소 88 μm 까지 성장할 수 있었다. 이는 연탄재 매질의 형

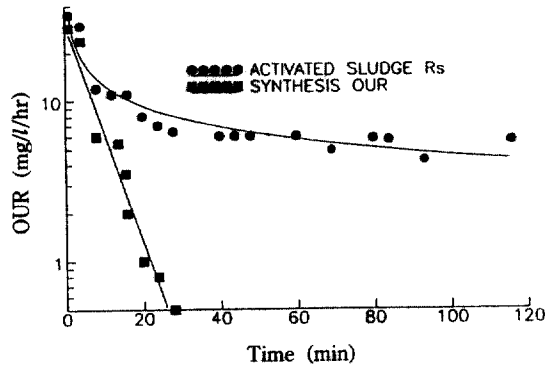


그림 22. 활성슬러지의 내생호흡율과 합성호흡율

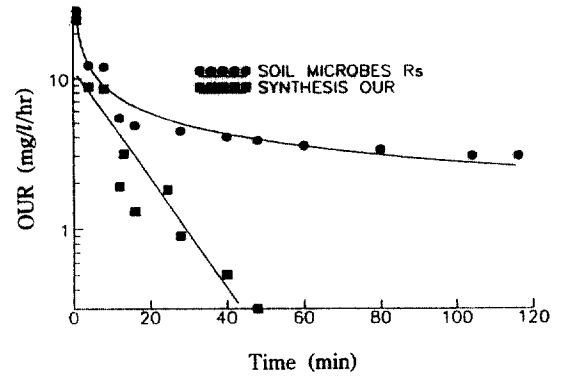


그림 23. 토양미생물의 내생호흡율과 합성호흡율

상계수와 흡착능 때문이었다.

(2) 연탄재 매질의 경우 상향유입유속이 16.32 cm/hr과 같이 커지면 유출수의 TS값이 커져 최고 3400 mg/l에 이르며, 입자간의 마모가 심해지고, 매질전체의 부피가 감소하였다.

(3) 연탄재 매질의 경우 생물막의 두께가 증가하면서 비탈리온은 최대 1.55/d였고 유리비드의 경우 843.03/d로 증가하였으나 생물막의 밀도는 0.54에서 0.20까지 감소하였다.

(4) 유출된 슬러지는 축중합 반응으로 flocc이 형성되어 침강성이 뛰어나며(SVI=70), 고-액의 경계면이 명확하여, 이의 분리가 용이하였으며, 총산소의 섭취율 16 mg/l/hr로 활성슬러지의 34 mg/l/hr보다 18 mg/l/hr 정도 작았다.

참 고 문 헌

1. Theodore, D. Stathis, "Fluidised Beds for Biological wastewater Treatment" *J. ASCE, EE1*, Vol. 106, Feb. 1980, pp.227-243.
2. Jeris, J.S., Owen, R.W. and R. Hickey, "Biological Fluidised Beds for BOD & Nitrogen Removal", *J. WPCF*, 1977, pp.816-831.
3. B. Chatib, *Biological Wastewater Treatment in a Three-Phase Fluidised Beds Reactor*, The'se de Docteur-Inge'neur, Montpellier, 1980.
4. K.F. Nigan and W.R.B. Martin, "Biologically Activate Fluidized Beds: Mechanistic Consideration", *J. Biotec. & Bioeng.* Vol.22, 1980, pp.1007-1014.
5. S.W. Hermanowics and J.J. Ganczarczyk, *Mathematical Modelling of Biological Packed and Fluidized Beds Reactor*, University of Toronto, Canada, 1985, M5S 1A4.
6. F. Tinet, R. Heim, D. Amar, H.T. Chang, "Study of Biofilm and Fluidization of Bioparticle in a Three-Phase Liquid fluidized Reactor", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.23, Kyoto, 1991, pp.1347-1357.
7. Matin, J.P. and Focht, D.D., "Biological Property of Soils, in soil for Management of Organic Waste and Wastewaters", *American Society of Agronomy*, Madison Wisconsin, 1977, p.115.
8. W.H. Fyller and A.W. Warrick, *Soil wastewater Treatment and Utilization*, University of Arizona, CRC Press Inc., Florida, 1985, pp.24-68.
9. E.A. Paul and F.E. Clark, *Soil Microbiology & Biochemistry*, Academic Press Inc., 1989, pp.50-72.
10. Michael, G., Trulear, and William, G. Characklis, "Dynamics of Biofilm Processes", *J. WPCF*, Vol. 54, No.9, 1982, pp.1288-1299.
11. Rittman, B.E., McCarty, P.L., "Substrate flux into Biofilm of Any thickness", *J. EED, ASCE EE4*, Vol.107, 1981, p.831.

(接受 : 1991. 9. 4)