

선회류 생물학적 유동상의 최적 미디어 충전량에 관한 연구

최두형 · 김환기

전북대학교 토목 · 환경공학부

(1999년 5월 20일 접수, 1999년 11월 12일 채택)

A Study on Optimal Packing Volume of Media in Swirl Flow Biological Fluidized Bed

Doo-Hyoung Choi · Hwan-Gi Kim

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

The existing two-phase biological fluidized bed has some problems such as limit of oxygen transfer and blockade of fluidized distributor. In this study, three-phase swirl flow biological fluidized bed has designed to solve the problems and to investigate its running characteristics. TOC of influent synthetic wastewater was approximately 70 mg/ℓ. HRT of reactor was 1.6 hours. Mean particle size of sand, as packing media, was 0.397mm and packing volume was varied from 200 mℓ/ℓ to 600 mℓ/ℓ by stages in the bed. The amount of biomass and effluent water quality was thoroughly investigated in the bed.

Showing experiment results from the above conditions, it was possible to solve the problems of existing fluidized bed and to keep DO of 3 mg/ℓ or more. And it was also TOC removal rate of 91 to 94 %, MLVSS of 2,360 to 3,860 mg/ℓ, MLVSS per g-media of 8.4 to 17.3 mg/g, F/M ratio of 0.59 to 1.04 kg-TOC/kg-MLVSS · day, biofilm thickness of 35~71 μm and sludge productivity of 1.03 to 2.35 kg-SS/m³ · day. Optimal conditions in this experimental were as follows.: those were biofilm thickness of approximately 54 μm, MLVSS per g-media of 13 mg and media packing volume of 350 to 400 mℓ/ℓ when F/M ratio was low, treatment efficiency was high and sludge productivity was low. Showing the media with optics microscope in this optimal condition, attached microbes such as *Epistylis sp.* were observed. From SEM photographs, it showed that *Coccus* adhere to and grow on the media surface.

Key Words : Swirl Flow, Fluidized Bed, Packing Volume, Biofilm, Media

요 약 문

기존의 2상 생물학적 유동상은 산소 공급의 한계 및 유동 분산판 폐쇄 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 3상의 선회류 유동상을 고안하여 그 운전특성을 연구하였다. 합성 폐수의 평균 TOC농도는 약 70 mg/ℓ (62~84 mg-TOC/ℓ)이었고, HRT는 1.6시간, 평균입경이 0.397 mm인 모래의 충전량을 200에서 600 ml/ℓ 까지 단계적으로 변화시키며, 미생물의 농도 및 처리 수질을 측정하였다. 실험 결과 기존 유동상 반응기의 분산장치의 폐색과 산소공급의 제한 등 연속운전에 지장을 주는 단점을 보완할 수 있었다. 실험 기간 중에 반응조의 DO의 농도는 3 mg/ℓ 이상을 유지할 수 있었으며, TOC 제거율은 91~94%, MLVSS 농도는 2,360~3,860 mg/ℓ, F/M 비는 0.59~1.04 kg-TOC/kg-MLVSS·day, 생물막의 두께는 35~71 μm, Media-g당 MLVSS는 8.4~17.3 mg/g, 그리고 슬러지 발생량은 1.03~2.35 kg-SS/m³·day의 변화를 보였다. 충전량에 따른 MLVSS농도 변화를 분석한 결과 충전량이 400~450 ml/ℓ 일 때 MLVSS농도를 가장 높게 유지할 수 있었고, Media-g당 MLVSS농도 측면에서는 충전량이 250 ml/ℓ 일 때 가장 높은 농도를 유지할 수 있었다. 유출수의 SS는 350~450 ml/ℓ 에서 낮게 나타났다. 적정 처리효율에서 F/M 비가 낮고, 슬러지 발생량이 적은 최적조건에서의 생물막의 두께는 약 54 μm, g-Media당 MLVSS의 농도는 13 mg이었으며, 충전량은 350~400 ml/ℓ (35~40%)임을 알 수 있었다. 최적 충전 상태에서 광학 현미경으로 Media를 관찰할 때 *Epistylis sp.*의 고착성미생물을 일부 관찰할 수 있었으며, Media 표면을 전자현미경으로 촬영한 결과 구균류가 부착 성장하는 것을 알 수 있었다.

주제어 : 선회류, 유동상, 충전량, 생물막, 미디어

1. 서 론

유동상 생물막 공법에 대한 연구는 고정상 반응조의 폐색 현상과 수두 손실 문제를 해결하기 위하여 Amnant와 McCarty에 의하여 1960년대 말에 시작되었다.¹⁾ 1970년대의 Jeris 등²⁾, 그리고 Jeris와 Owens³⁾의 질소 제거에 관한 기초적 연구가 수행되었고, Ecolotrol사의 반응기 개발로 활발한 연구가 시작되었다.⁴⁾ 유동상 생물막 공법은 Attached growth process의 안정성과 운전의 편의성 및 Suspended growth process의 처리 효율성을 가지고 있다.⁵⁾ 그러므로, 부하 변동에 강하고 상의 폐색 현상이나 역세척 문제가 발생하지 않는 효과적인 처리 방법으로 알려져 있다. 유동상 생물막 공법의 단위 용적당 미생물 농도는 8,000~40,000 mg/ℓ⁶⁾ 정도로 활성 슬러지법의 3,000~6,000 mg/ℓ 이나 순산소 포기법(Pure oxygen system)의 6,000~8,000 mg/ℓ⁷⁾에 비해 월등히 크고 미생물을 부착 성장시키는데 제공될 수 있는 단위 용적당 표면적의

크기 역시 3,290 m²/m³으로⁶⁾ 살수여상의 82 m²/m³이나 회전원판법의 165 m²/m³에 비해 월등히 큰 것으로 알려져 있다. 국내에서는 김 등⁸⁾이 저 회색 분뇨처리를 위하여 생물학적 유동층으로 유입 BOD 농도가 2,000~5,000 mg/ℓ 인 분뇨를 17~24시간의 체류시간으로 95% 이상의 BOD 제거율을 얻었으며, 기존의 활성 슬러지법에 비해서 반응조의 부피를 약 70% 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 김 등⁹⁾은 심층포기장치를 이용한 생물학적 유동층의 산소 전달 특성, 산소 이동 및 질산화 반응에 대한 연구를 하였으며, 도시 하수는 물론 그농도 유기성 폐수 및 산소 함유 폐수처리에서 일반 활성 슬러지 보다 처리 효율이 우수하다고 보고한 바 있다.

이러한 유동상 생물막 공법에 의한 폐수 처리시 영향을 미치는 주요 인자는 온도, 용존 산소, 미생물 농도, 미생물 막의 두께, 부하율, Media의 충전량, Media의 크기 및 종류, 순환-유속, 폐수의 종류 및 pH 등으로 산소의 공급방식, 폐수의 종류, 산소원의 종류, Media의 종류 등을 변화시키면서 연구가

진행된 예가 있다.

그러나 기존의 유동상의 경우 Media를 유동화 시키는 방법이 어렵고, 유동 분산판의 폐쇄 및 미생물 농도를 높게 유지시키기 때문에 산소 공급에 제한을 가지는 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 Media 유동을 위하여 특별한 설비가 필요치 않는 선회류의 장점과 산소의 공급에 제한을 받지 않는 직접 포기식 3상 유동상의 장점을 이용하여 충전량을 단계적으로 변화시키면서, 처리수질, 미생물의 농도 변화 등을 분석하여 선회류식 3상 유동상 생물막법이 실제 적용시 요구되는 최적 Media 충전량의 도출을 목적으로 하고 있다.

2. 실험장치 및 재료

2.1. 실험장치

실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 주요 구성요소는 선회류 유동상 반응기와 feed tank로 주 반응기는 용적이 2 ℓ로 높이가 1 m, 내경이 7 cm, 두께 0.5 cm인 아크릴 원통관을 이용하여 제작하였다. 기타 부속장치로는 선회류를 발생시키기 위한 순환펌프, 순환유량 및 주입공기량을 측정하기 위한 flow-meter와 주입공기량을 일정하게 하기 위한 Regulator, Air compressor, Manometer 그리고 시료 주입을 위한 정량펌프, Media를 인출하기 위한 시료 채취구가 있고 Media의 유출을 방지하기

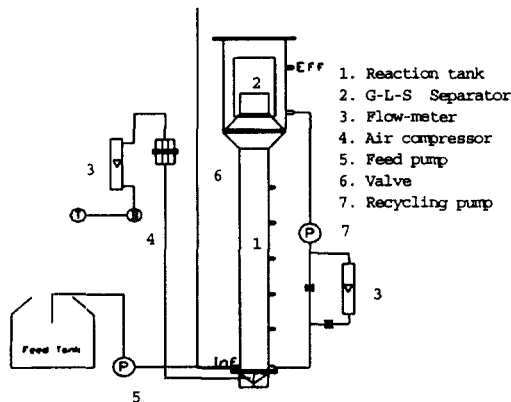


Fig. 1. Schematic diagram for biological fluidized bed.

위하여 고안한 G-L-S 분리장치로 구성되어 있다.

2.2. 시료 및 Media

실험에 사용된 폐수의 성분함량은 Table 1에 나타낸 바와 같다. 유기 탄소원으로 탈지분유를 주성분으로 하고 기타 미생물의 성장에 요구되는 미량원소와 완충제를 첨가하였다. 합성폐수 원액의 BOD₅는 112,000 mg/ℓ, COD_{Cr} 132,000 mg/ℓ, TOC 35,000 mg/ℓ였다. 합성 폐수는 약 500배 희석하여 정량펌프로 반응기에 공급되었다. 사용된 Media는 평균입경이 0.397 mm인 모래를 이용하였으며 Media의 특성은 Table 2와 같다.

3. 실험방법

실험은 실내에서 항온상태로 진행되었다. Media 표면에 부착된 유·무기물을 제거하기 위하여 수세하고, 생물막 형성이 유리하도록 회화로서 550±50 ℃로 회화한 후, 상온으로 식혀 공극수를 제거하였다.

Table 1. Composition of synthetic wastewater

Composition	Concentration(g/ℓ)
Skim milk	100.0
Urea, (NH ₂) ₂ CO	10.0
Sodium Chloride, NaCl	3.0
Sodium Phosphate, Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	10.0
Potassium Chloride, KCl	1.4
Calcium Chloride, CaCl ₂ ·2H ₂ O	1.4
Magnesium Sulfate, MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0

Table 2. Characteristics of support media

Properties	Sand
Specific gravity(g/cm ³)	2.65
Diameter(mm)	0.074~2.0
Mean diameter(mm)	0.397
Voidage	0.42
Uniformity coefficient	2.0
Coefficient of curvature	1.023

예비실험으로 선회류식 3상 유동상 반응기의 유동특성을 파악하기 위하여, Media 충전량을 변화시키며 실험이 진행되었고, Media로 이용한 0.397 mm의 모래가 선회 유동할 수 있는 최소 순환 유속이 분당 5.4 ℓ (공탑 상향 유속 2.34 cm/sec) 임을 알 수 있었다. 생물막을 형성시키기 위하여 전주시 하수처리 시설의 VSS가 5,000 mg/ℓ인 반응 슬러지를 Media와 혼합하여 반응기에 충전하고, 실험에 이용한 합성폐수로 15일 정도 순양을 실시하여 생물막을 형성시켰다. MLVSS 농도의 변화가 없는 정상상태로부터 Media의 충전량을 200 ml/ℓ에서부터 50 ml/ℓ씩 단계적으로 변화시키며 실험을 수행하였다. 각각의 단계에서 운전조건을 변화시킨 후 3~4일 이내에 처리수질 및 미생물의 농도가 일정하게 유지되었으나 보다 정확한 실험을 위하여 1주일간의 순양을 실시한 후 시료를 채취하는 방법으로 600 ml/ℓ까지 운전을 실시하였다. 실험을 수행한 물리적 조건은 수온 28.5 °C, pH는 6.5~7.5, HRT는 1.6시간이었다.

반응기의 수처리 특성을 파악하기 위하여 Standard methods¹⁰⁾에 의하여 유입수, 유출수의 TOC, DOC, DO, SS를 측정하였다. TOC, DOC 측정을 위하여 이용한 측정장비는 Combustion method의 SIMAZU-5000A이었고, TOA-20A의 격막 전극법으로 충전층내의 DO를 측정하였다. 충전층내의 Media의 분포 및 미생물량, 생물막의 두께를 측정하기 위하여 총별 시료 채취구로부터 미생물이 부착된 Media를 물이 함유된 상태에서 채취하여 MLVSS와 모래량, 생물막의 두께 등을 측정하였다. 시료는 채취 후 105±5°C에서 4시간 이상 수분을 건조한 다음 데시케이터에서 방냉하여 그 무게를 측정하고, 550±50°C에서 1시간 이상 항량이 될 때까지 작열시킨 시료를 데시케이터에서 방냉 후 그 무게를 측정하여 아래 식 (1)과 같은 방법으로 MLVSS를 측정하였다.¹¹⁾

생물막의 두께 측정방법은 Media를 채취한 후 식 (2)와 (3)를 이용하여 Sauter mean diameter 방법으로 측정하였다.¹²⁾

동체적의 구로 환산한 각 입자의 직경 d_i 는

$$d_i = \sqrt[3]{a_i b_i^2} \quad (2)$$

a_i : 입자의 장경, b_i : 입자의 단경

$$\text{MLVSS농도} = \frac{[(\text{미생물} + \text{Media})\text{의 건조후무게} - (\text{미생물} + \text{Media})\text{의 회화후무게}](\text{mg})}{[(\text{미생물} \text{ 부착 Media} + \text{물})\text{의 시료량}](\ell)} \quad (1)$$

생물막의 평균두께 σ 는

$$\sigma = \frac{d_p - d_m}{2} \quad (3)$$

d_p : bioparticle의 평균직경, d_m : Media의 평균직경이다.

생물막을 관찰하기 위하여 NIKON사의 광학 현미경을 이용하였고, Media 표면에 부착 성장하는 세균류와 Media 표면을 관찰하기 위하여 주사 전자현미경(Scanning electron microscope, SEM)을 이용하였다. 전자현미경으로 Media 표면을 관찰하기 위하여 시편을 pH 7.2, 0.1M Calcium Carolyate 완충액으로 두 번 세척하고, 0.1M Calcium Carolyate 완충액에 2.5 % 농도로 녹인 다음, Glutar-aldehyde 용액으로 4 °C에서 72시간 동안 고정하였다. 그후 시료를 물과 에탄올의 혼합액(50~100 %)으로 각각 45분 동안 단계적으로 탈수하고 100 % 에탄올로 16시간 처리하였다.¹³⁾ 최종적으로 액체 CO₂로 임계점 건조를 행한 후 금도금하여 HITACHI X-650 주사 전자 현미경(20~25KV)으로 관찰하고 촬영하였다.

4. 결과 및 분석

4.1. 충전량에 따른 Media 체류량의 변화

충전량에 따른 Media 체류량의 변화를 파악하기 위하여 주입 공기량을 분당 1 ℓ로 하고, 순환유량을 Media가 선회류내에서 최소 유동하는 5.4 ℓ/분(공탑 상향 유속 2.34 cm/sec)으로 한 상태에서 Media 충전량을 반응기 용적의 200 ml/ℓ에서 600 ml/ℓ까지 단계적으로 증가시켰다. Media의 충전층내 체류량은 Fig. 2와 같았다. Media 충전비를 증가시킬수록 충전층내 Media 체류량은 증가하였으나, 600 ml/ℓ 이상 충전시에는 반응기의 실질적인 체류량은 더 이상 증가하지 않는 경향을 보였다. 즉, 본 반응기의 접선주입 방식 선회류 유동상에서 입경이 0.397 mm인 모래를 충전할 때 충전비가 반

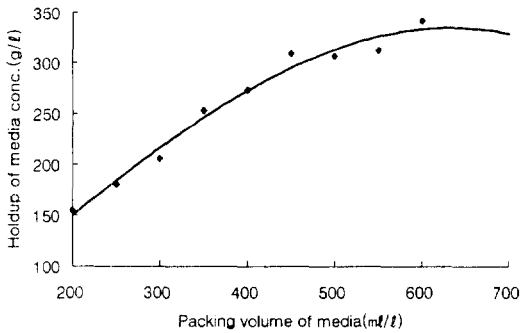


Fig. 2. Holdup of media with packing volume.

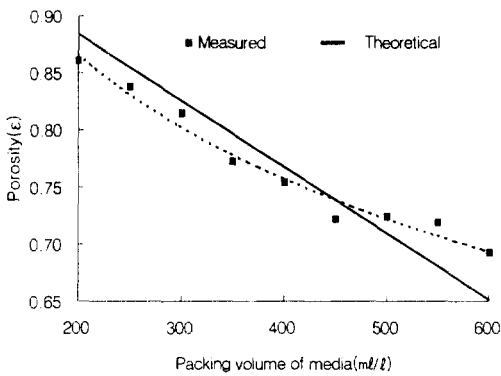


Fig. 3. Variation of porosity with packing volume.

용기 용적의 600 ml/l 이내에서 선회류식 유동상의 운전이 가능함을 알 수 있었다.

이때 공극율의 변화를 Fig. 3에 나타냈다. 이론적 공극율 변화와 실제 측정된 공극율은 비교적 유사한 경향을 보였는데, Media 충전량이 적을 때는 공극율이 이론적 공극율 보다 다소 낮은 경향을 보였으며, Media 충전량이 많을 때는 이론적 공극율 보다 다소 높은 경향을 보였다. 그 이유는 Media 충전량이 많을 때는 반응조 상단의 G-L-S Separator 부위에 Media가 일부 체류함으로써 실질적인 유동에 참여하는 Media가 다소 적어졌기 때문이다.

4.2. 충전량 변화에 따른 MLVSS 농도 및 생물막 두께의 변화

미생물을 부착시킨 상태에서 Media 충전량을 200 ml/l에서 600 ml/l까지 단계적으로 변화시키며 MLVSS 및 생물막의 두께변화를 측정하여 그 결과

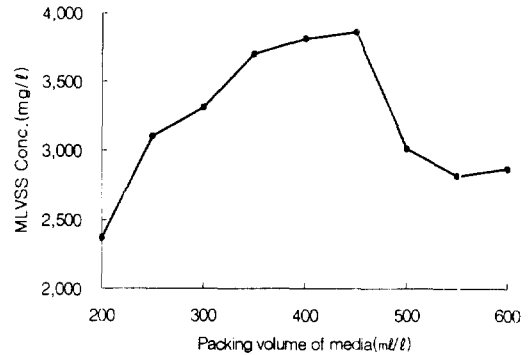


Fig. 4. MLVSS with packing volume.

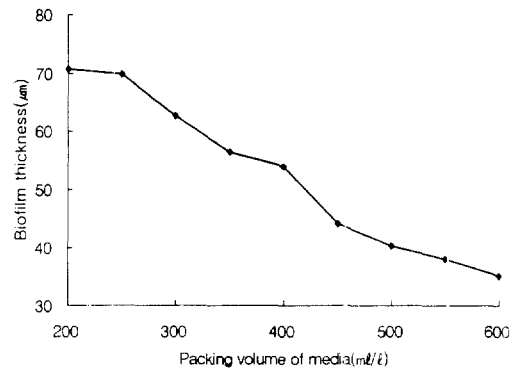


Fig. 5. Variation of biofilm thickness by packing volume.

를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타냈다. 충전량 200~250 ml/l에서 탈리된 현탁상의 미생물을 육안으로 관측할 수 있었으며, MLVSS의 농도 변화 범위는 2,400~3,900 mg-MLVSS/l였고, 평균농도는 3,200 mg/l이었다. MLVSS 농도는 충전량이 증가됨에 따라 증가하다가 충전량이 450 ml/l에서 가장 높은 농도인 3,900 mg-MLVSS/l가 유지되었으나, 계속해서 충전량이 증가함에 따라 다시 감소하는 경향을 보였다. 생물막의 두께 변화 범위는 35~71 μm였고, 평균 52 μm였다. 이러한 결과는 Media 충전율이 적을 때는 미생물이 부착하는 비표면적의 감소에 따라 MLVSS의 농도가 낮아지고 충전율이 과다하게 높을 때는 미생물이 부착할 수 있는 Media의 비표면적은 증가하나 단위 용적당 Media 수가 많아져서 Media간 충돌횟수가 많아지고, 반응기내를 상항하는 실제 수류의 hydrodynamic forces가 증가되기 때문에¹⁴⁾ 미생물이 탈리되어 농도가 감소하고, 또한

250 ml/ℓ 이하에서는 미생물 막의 두께에 커다란 변화가 없기 때문이었다.

4.3. 충전량 변화에 따른 Media-g당 MLVSS 농도 변화

Media 충전량이 200 ml/ℓ에서 600 ml/ℓ까지 단계적으로 변화된 상태의 Media-g당 MLVSS 농도 변화를 측정하여 Fig. 6에 나타내었다. Media-g당 미생물 농도는 8.4~17.3 mg이었고, 평균농도는 13.0 mg이었다. Media 충전량이 적을 때 Media-g당 MLVSS농도는 높게 나타나 충전량이 250 ml/ℓ 일 때 가장 높은 농도인 17.3 mg-MLVSS/g-Media였다. 이러한 결과는 막 미생물의 농도가 지나치게 증가하면, 이 등¹⁴⁾과 안¹⁵⁾의 연구결과와 같이 미생물 막의 두께가 두꺼워져 내부활성을 잃거나 탈리되

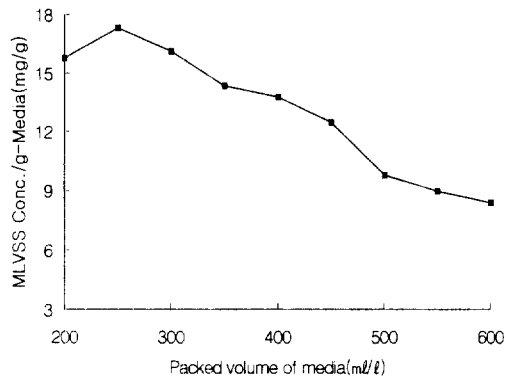


Fig. 6. MLVSS conc./g-media with packing volume.

는 단계(sloughing phase)가 발생되어 감소하는 것으로 사료된다.

4.4. Media-g당 미생물 농도에 따른 F/M 비의 변화

충전량이 변화함에 따라 Media-g당 미생물의 농도가 변화되었다. 유기물 부하와 미생물 농도와의 상관관계를 알아보기 위하여 유기물의 농도를 kg-TOC 단위로 미생물의 농도를 kg-MLVSS로 환산하여 Table 3과 Fig. 7에 나타내었고, 충전량에 따른 F/M비의 변화를 Fig. 8에 나타냈다. F/M비는 0.59~1.04 kg-TOC/kg-MLVSS · day의 범위였으며, 평균 0.76 kg-TOC/kg-MLVSS · day였다.

Fig. 7에 나타낸 것과 같이 Media-g당 MLVSS 농도가 증가함에 따라 F/M비는 점차 감소하다가

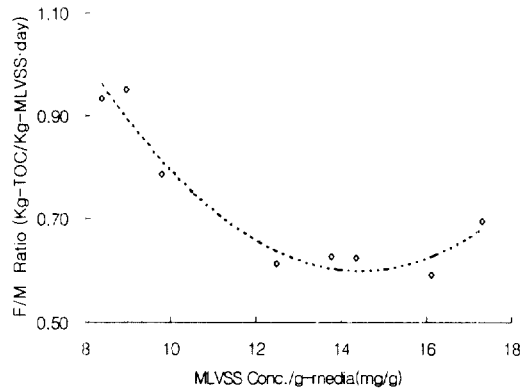


Fig. 7. Variation of F/M ratio by MLVSS conc./g-media.

Table. 3 Variation of F/M ratio with packing volume

Packed volume (ml/ℓ)	Inf. TOC conc. (mg/ℓ)	MLVSS (mg/ℓ)	MLVSS conc./g-media (mg-MLVSS/g-Media)	F/M Ratio (kg-TOC/kg-MLVSS · day)
200	77.4	2,364	15.78	1.04
250	67.8	3,103	17.30	0.70
300	61.6	3,309	16.12	0.59
350	72.6	3,698	14.34	0.62
400	75.1	3,810	13.76	0.63
450	74.5	3,860	12.48	0.61
500	74.5	3,015	9.79	0.79
550	84.3	2,817	8.96	0.95
600	84.3	2,870	8.39	0.93

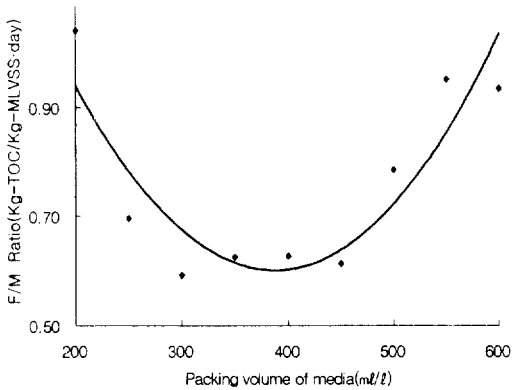


Fig. 8. Variation of F/M ratio by packing volume.

14 mg-MLVSS/g-Media 이후부터 다시 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 Media-g당 MLVSS농도의 과도한 증가는 오히려 막 미생물을 탈리시켜 조외로 유출시킴으로써 F/M비를 증가시키는 원인을 제공하는 것으로 추정되었고, 14 mg-MLVSS/g-Media 정도에서 가장 낮은 F/M비를 유지할 수 있었으며, 이때 충전량은 350 ml/l (35%) 정도임을 알 수 있었다. 또한 평균 TOC 용적부하는 2.37 kg-TOC/m³·day (1.96~2.68)이었다.

4.5. 충전량에 따른 슬러지 발생량 변화

Table 4에 유출수의 SS농도를 나타냈는데, SS의 농도는 평균 42.0 mg/l이었다. SS 농도는 평균 MLVSS농도 3,200 mg/l에 비하여 적은 양으로 측정된 MLVSS 대부분이 Media에 부착된 막 미생물임을 알 수 있었다. 충전량에 따른 슬러지 발생량을 계산하면 Fig. 9와 같은 결과를 얻을 수 있다. 슬러지 생산량은 단위 용적당 1.03~2.35 kg-SS/m³·day 범위였으며, 평균 1.58 kg-SS/m³·day이었다. Media 충전량에 따라 슬러지 발생량 변화를 분석하여 보면 충전율이 낮을 때와 충전율이 높을 때 슬러지 발생량이 높았고, 충전율이 350~450 ml/l 일 때 1.00~1.20 kg-SS/m³·day값을 나타내어 슬러지 생산량이 가장 낮음을 알 수 있었다. 이러한 슬러지 발생량의 변화는 Media 충전율이 높을 때는 Media의 상대적 거리가 가까워 서로 충돌이 과다하게 일어남으로써 막 미생물이 탈리되고, Media 충

Table 4. Variation of effluent SS concentration with packing volume

Packed Volume(ml/ℓ)	Eff. SS Conc.(mg/ℓ)
200	62.4
250	55.8
300	33.7
350	36.7
400	29.0
450	27.4
500	36.6
550	45.0
600	51.0

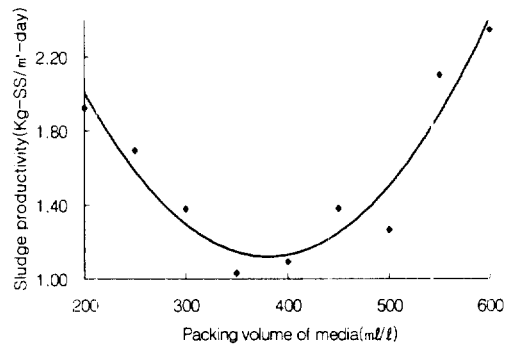


Fig. 9. Sludge productivity with packing volume.

전율이 낮을 때는 미생물 막의 두께가 두꺼워져 내부활성을 잃거나 탈리되는 단계(sloughing phase)가 이루어져 부착성 감소로 인한 탈리 현상을 유발하여 슬러지 발생량이 증가되었다. 그러나, 250 ml/l에서 Media-g당 MLVSS농도가 가장 높았던 이유는 일부 탈리된 미생물이 Media-g 당 MLVSS로 환산되었기 때문이며, Fig. 5에서 생물막의 두께 변화가 완만해진 것이 이 사실을 뒷받침해 주었다.

4.6. 충전율에 따른 처리율 변화

Media 충전율에 따른 처리율의 변화는 매우 적었는데, Fig. 10에 나타낸 것과 같이 최소 91%에서 최대 94%의 처리 효율을 보여서 전반적으로 양호한 수질을 나타냈고, 유기물의 평균처리 효율은 92.4%를 나타냈다. 충전율이 증가함에 따라 처리 효율 변화의 폭은 점차로 줄어들어 가는 경향을 보여서

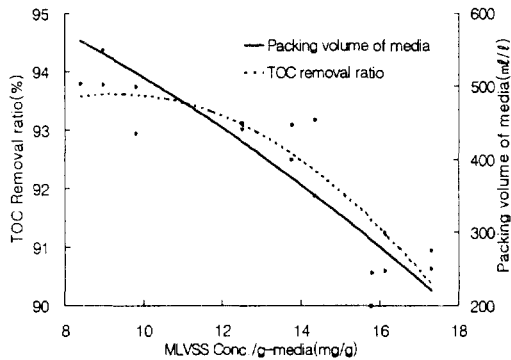


Fig. 10. Variation of removal ratio and packing volume with MLVSS conc./g-media.

더 이상 좋은 효율을 기대할 수 없었다.

Media-g당 MLVSS의 농도변화는 충전량의 변화에 따라서 선형변화에 가까운 변화를 보였으나, 처리효율의 변화는 약간 다른 경향을 나타내었다. Fig. 11¹¹⁾과 같이 막 미생물의 두께가 얇아수록 막 미생물 내부로 기질과 산소 전달율이 높아서 유기물 처리 효율이 높을 것인데, Hoehn과 Ray¹⁶⁾는 미생물막의 두께와 기질의 제거에 대하여 실험한 결과 50~100 μm 사이에서는 막의 두께와 기질의 제거율이 비례한다고 하였다. 그러나 본 유동상은 100 μm 이내에서 운전되었기 때문에 생물막의 두께에 따른 영향은 직접적으로 받지 않았으나, 4.2절에서와 같이 기질 제거에 기여하는 MLVSS가 높았기 때문에 사료된다.

또한 Fig. 12에서 MLVSS에서 유출수의 농도를 제외한 Attached biomass로 환산한 농도와 Media-g당 MLVSS는 비례관계가 유지되어야 하나 약 13 mg-MLVSS/g-Media 이상부터는 Attached biomass가 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 4.2절에서 육안으로 관측할 수 있었던 현탁상 미생물로 인한 Media-g당 MLVSS 측정에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

따라서 적절한 막 미생물을 유지하여 처리효율도 만족할 수 있고 슬러지 발생량도 가장 적은 범위인 Media-g당 미생물의 농도가 13 mg-MLVSS/g-Media 정도의 미생물을 유지하여 처리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 이때의 생물막의 두께는 54 μm로서, 이 등¹⁴⁾의 연구결과인 87 μm와 안¹⁵⁾의

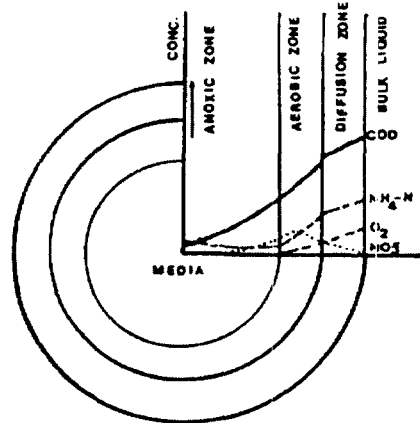


Fig. 11. Mass transfer in bioparticle.

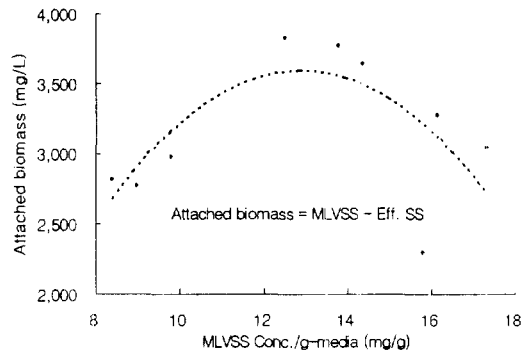


Fig. 12. Comparison between attached biomass and MLVSS conc./g-media.

주정폐수 처리 연구결과인 80 μm보다 얇은 이유는 선회류의 원심효과에 의한 마찰과 직접포기에 의한 탈리 영향 및 안¹⁵⁾의 연구에서 충전율 254 ml/l, 이 등¹⁴⁾의 최적충전율 180 ml/l 보다 충전율이 높았고, 안¹⁵⁾의 연구결과에서 공압 상승 유속 0.44~0.70 cm/sec, 이 등¹⁴⁾의 연구결과에서 최적유속 1.17~1.32 cm/sec 보다 상대적으로 빨랐기 때문에 사료된다. 처리효율과 슬러지 발생량, 미생물의 농도, 생물막의 두께 등을 종합적으로 고려할 때 본 실험조건에서 최적 Media 충전량은 350~400 ml/l (35~40%)임을 알 수 있었다.

4.7. 미생물 상의 조사

광학 현미경을 통하여 생물막 표면을 관찰한 결과 Fig. 13과 같이 *Epistylis sp.*¹⁷⁾의 고착상 미생물의 출현을 볼 수 있었다. 생물막 내부에 존재할 것으로

생각되는 세균류의 관찰을 위하여 Media를 전처리 후 주사 전자 현미경을 이용하여 Media 표면에 부착된 미생물을 관찰한 결과, 박 등¹⁸⁾의 연구 결과에서 나타난 구균과 간균 중 Fig. 14에서 보이는 바와 같이 구균류가 주로 부착 성장하는 것을 알 수 있었다. 또한 전자현미경을 이용한 Media 자체적인 변화의 관찰결과 미생물 부착 전에 모래의 모서리가

날카로웠던 것이 선회유동중 Media간 충돌 등에 의하여 미생물 부착 후에는 다소 둥글게 변화되었음을 알 수 있었다.

5. 결 론

3상의 선회류 유동상을 고안하여 합성 폐수의 평균 TOC 농도는 70 mg/ℓ, HRT는 1.6시간으로 하고, 평균 입경이 0.397 mm인 모래의 충전량을 200에서 600 ml/ℓ 까지 단계적으로 변화시키며, 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선회류 생물학적 유동상 반응기는 기존의 유동상 반응기의 분산장치(Distributor)의 폐색 등으로 인하여 연속운전에 지장을 주는 점과 산소 공급의 한계 등의 단점을 보완할 수 있었다.
- 2) 미생물을 부착하지 않은 상태에서 Media 충전량과 충전층내 Media 체류량 변화에 대하여 분석한 결과, 반응기 용적비로 600 ml/ℓ 이상의 충전은 본 반응기에서 정상적인 유동을 할 수 없음을 알 수 있었다.
- 3) TOC 제거율은 91~94 %였고, 반응층내 DO는 3 mg/ℓ 이상을 유지할 수 있었으며, F/M 비는 0.59~1.04 kg-TOC/kg-MLVSS·day, 생물막의 두께는 35~71 μm, MLVSS 농도는 2,360~3,860 mg/ℓ, Media-g당 MLVSS는 8.4~17.3 mg/g, 슬러지 발생량은 1.03~2.35 kg-SS/m³·day의 변화를 보였다.
- 4) 충전량에 따른 MLVSS 농도 및 Media-g당 MLVSS 농도 변화를 분석한 결과 MLVSS의 경우 충전량비가 450 ml/ℓ일 때 가장 높은 농도인 3,900 mg/ℓ를 나타내었으나, Media-g당 MLVSS는 충전량이 250 ml/ℓ일 때 가장 높은 농도를 유지할 수 있었으며, 유출수의 SS는 350~450 ml/ℓ에서 가장 낮게 나타났다.
- 5) 적정 처리효율에서 F/M 비가 낮고 슬러지 발생량이 적은 최적조건에서의 생물막의 두께는 54 μm, g-Media당 MLVSS의 농도는 13 mg이었으며, 충전량은 350~400 ml/ℓ (35~40 %)임을 알 수 있었다.

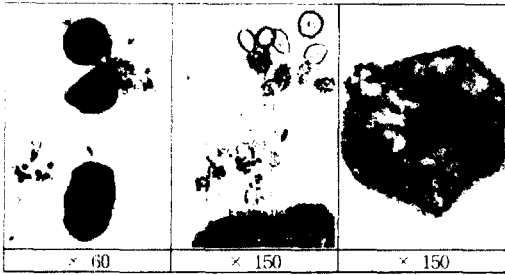


Fig. 13. Photographs of optics microscope (×60, ×150).

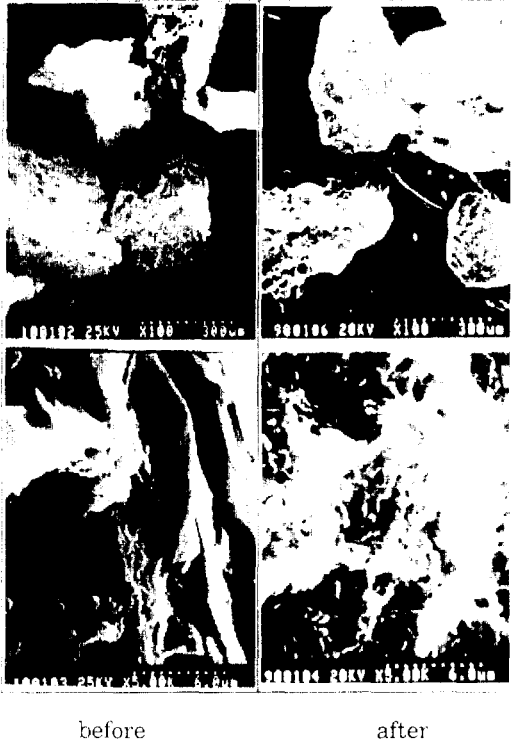


Fig. 14. SEM photographs before and after microbes attaching on media surface.

6) 광학 현미경을 이용하여 생물막 표면을 관찰한 결과 *Epistylis sp.*의 고착성 미생물의 출현을 관찰할 수 있었고, 전자 현미경을 이용하여 Media 표면을 관찰한 결과 구균류가 부착 성장하는 것을 알 수 있었다.

사 사

이 연구는 전북대학교 공업기술연구소의 지원에 의하여 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Amnant, P. P. and McCarty, P. L., "Treatment of high nitrate waters," *J. AWWA*, **61**(6), 659~662(1969).
2. Jeris, J. S., Beer, C. and Muller, J. A., "High rate biological denitrification using a granular fluidized bed," *J. WPCF*, **46**(9) 2118~2128(1974).
3. Jeris, J. S. and Owens, R. W., "Pilot-Scale high-rate biological denitrification," *J. WPCF*, **47**(8), 2043~2057(1975).
4. Sutton, P. M. and Mishra, P. N., "Biological fluidized beds for water and wastewater treatment," *Wat. Env. & Tech.*, **3**(8), 52~56(1989).
5. Theodore, C. Stathis, "Fluidized Bed for biological Wastewater Treatment," *J. of Env. Eng. Division*, 227~241(1980).
6. Jeris, J. S., Owens, R. W., Hickey, R. and Flood, F., "Secondary Treatment and Nitrogen Removal using Biological Fluidized bed Technology," *Presented at the Annual Conference of the Water Pollution Control Federation*(1975).
7. Jackson, R., "Convective Instability in uniform Fluidized Beds," *Fluidization Technology*, Vol. 1, Dale L. Kearns (Ed.), Hemisphere publishing Corp. in association with McGraw-Hill Inc., New York(1976).
8. 김환기, 이영동, "BFB에 의한 분노처리의 연구," *대한토목학회논문집*, **3**(2), 1~15(1983).
9. 김환기, 이복열, 라덕관, 이기완, "심층포기공정을 이용한 생물학적 유동층에 있어서의 질산화 반응," *대한환경공학회지*, **9**(3), 23~36 (1987).
10. APHA-AWWA-WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, 18th, Ed.(1995).
11. 전양근, 삼상유동층 반응기에서 토양미생물에 의한 유기성 폐수처리에 관한 실험적 연구, 연세대학교 석사학위논문(1991).
12. Bailey, J. E. and Ollis, D. F., *Biochemical Engineering Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, N. Y., p. 438(1987).
13. 서용기, 양재경, 황기, 이성택, "고온 호기법에 의한 음식물 쓰레기 처리용 최적 균주의 탐색," *대한환경공학회지*, **20**(8), 1061~1072(1998).
14. 이정수, 김환기, "간접포기식 유동층법에 의한 폐수 처리 특성에 관한 실험적 연구," *대한토목학회논문집*, **14**(2), 367~378(1994).
15. 안갑환, 생물막 유동층 반응기를 이용한 호기성 폐수 처리에 관한 연구, 부산대학교 대학원, 박사학위논문(1993).
16. R. E. Hoehn, A. D. Ray, "Effect of thickness on Bacterial film," *J. WPCF*, **154**(11), 2302~2320(1973).
17. 이문호, 구영환, 김명규, 차지영, 폐수처리 미생물 사진집, (주)화랑환경, 2nd Ed(1997).
18. 박영규, 윤태한, 박영서, 양용운, 이지호, "폴리우레탄 유동상 생물막 공정에 의한 염색 종합 폐수처리," *대한환경공학회지*, **18**(3), 327~332(1996).