

산업폐수처리를 위한 호기성 생물막 유동층 반응기의 연구(II)

- 유기물 충격 부하가 미생물 성장에 미치는 영향 -

안갑환* · 박영식 · 최윤찬 · 김동석 · 송승구

부산대학교 공과대학 화학공학과, *지산전문대 환경관리과
(1993년 11월 2일 접수)

A Study on an Aerobic Fluidized-Bed Biofilm Reactor for Treating Industrial Wastewaters(II)

- Effect of Organic Shock Loading Rate on Biomass Characteristics -

Kab-Hwan Ahn*, Young-Sik Park, Yoon-Chan Choi,
Dong-Seog Kim and Seung-Koo Song

Dept. of Chem. Eng., Pusan National University
**Dept. of Environ. Sci. & Tech., Jisan Junior College*
(Manuscript received 2 November 1993)

Abstract

A number of experiments were conducted in order to investigate the organic removal efficiency and biomass characteristics according to the organic shock loading rate in a fluidized bed biofilm reactor. At the operation conditions of HRT, 8.44 hour, superficial upflow velocity, 0.9 cm/sec and temperature, 22 ± 1 °C, the removal efficiency of SCOD was founded to be 96.5, 92 and 90 % with the organic shock loading rate of 3.5, 10.8 and 33 kgCOD/m³·day, respectively.

Within the F/M ratio ranged 0.4 to 2.0 kgCOD/kgVSS·day, the SCOD removal efficiency was shown as 90% at F/M ratio of 2.0 kgCOD/kgVSS·day, but the TCOD removal efficiency was 72 % at F/M ratio of 1.8 kgCOD/kgVSS·day.

The average biomass concentrations were 7800, 14950 and 27532 mg/l on the organic shock loading rate of 3.5, 10.8 and 33 kgCOD/m³·day, respectively. This result was agreed with the fact that more biomass could be produced at high concentration of substrate, but some biomass was detached at the onset of shock and easily acclimated at the shock condition.

Key Words : fluidized-bed biofilm reactor, organic shock loading, biomass characteristics

1. 서 론

폐수처리장에서 종종 발생하는 갑작스런 부하변

동은 반응기의 안정성과 제거효율에 영향을 미치
지만, 폐수처리 공장 설계시 대부분 그 성능과 안
정성에 대한 동력학적 영향은 정상상태에서 이루

어진 결과를 이용한다. 그러나, 실제공정에서 배출되는 폐수는 수질이 계속적으로 변화하는 비정상 상태가 많으므로 순간적인 수질변동에 따른 안정적인 운전조건의 고찰은 중요하다. 현재 생물학적 처리법으로 많이 사용되고 있는 활성 슬러지법의 경우 충격 부하에 연관된 연구가 많이 이루어지고 있으나(Salvado and Gracia, 1993; Manickam and Gaudy, 1985), 반응기내의 미생물 농도가 낮아 운전상의 한계 부하량의 범위가 좁고, 유입되는 폐수의 여러가지 충격부하에서 공정의 안정성과 유기물 제거 효율에 많은 제약이 따르고 있는 실정이다(須藤隆一 와 稻森悠平 1985). 이를 해결하기 위한 방법으로 최근 여러가지 형태의 지지 매체에 미생물을 형성시켜 효과적으로 폐수를 처리하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Reiber and stensel, 1985; Ngian and Martin, 1980; Poncelet, 1990).

생물막 유동층 반응기는 지지 매체에 미생물이 부착되어 유동되므로 폐수와의 물질전달 속도가 증가되어 폐수의 처리 능력이 우수하고(Shieh and Keenan, 1986; Baek and Walker, 1980; Kargi and Park, 1982), 체류시간(HRT)과 미생물의 체류 시간(SRT)이 독립적으로 조절될 수 있으므로 반응기내의 미생물 농도가 높고, 미생물의 종이 다양하여 유기물 분해능력이 높은 미생물의 성장이 가능하므로 외부 환경조건의 변화에 비교적 안정적이라고 알려져 있다(Cooper, 1981)

본 연구에서는 생물막 유동층 반응기에 갑작스런 유기물 충격 부하를 주었을 때 미생물의 농도, 상태, 생물막 두께의 변화 및 부하에 따른 민감도 및 반응기의 회복 능력을 실험적으로 검토하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

반응기는 내경이 5 cm, 높이가 190 cm, 총 부피가 4ℓ인 아크릴 원형관으로 측면에 항온용 jacket이 설치되었으며, 전보[박영식외, 1993]에 그 구조와 상세한 운전 방법이 기술되어 있다. 지지매체로는 Table 1과 같은 동해안산 규사를 사용하였으며, 반응기내의 온도는 22±1 °C로 유지하였다.

Table 1. Characteristics of support media (fine sand)

Item	Value
Specific gravity	2.57 g/cm ³
Diameter	0.505 - 0.51 mm
Sphericity	0.861
Specific surface area	193.6 cm ² /cm ³
Voidage	0.42

본 실험에 사용된 합성폐수는 탄소원으로 글루코즈, 질소원으로 요소를 사용하고 여러가지 종류의 무기 염류를 첨가하여 Table 2와 같은 조성으로 하였다. 수질분석은 Standard Methods(1989)에 따랐고, 미생물 두께와 농도의 측정방법은 김 등(1991)의 방법을 따랐으며, 미생물 두께는 현미경 측정법으로, 농도는 biomass 무게를 측정하여 환산하였다.

Table 2. Composition of the synthetic wastewater (UNIT : g/ℓ)

Components	Concentration(g/ℓ)
CODcr	2.5
Glucose	4
Nutrient broth	0.1
Na ₂ HPO ₄	1
KCl	0.14
Urea	1
CaCl ₂	0.14
NaCl	0.3
MgSO ₄	0.1

3. 결과 및 고찰

3-1. 충격 부하

HRT, 8.44 시간, 상향유속, 0.9 cm/sec에서 유기물 농도를 각각 TCOD 1232, 3800, 11400 mg/ℓ로 갑자기 높여주었을때, 유기물 충격 부하에 따른 미생물 성장의 변화, 유기물 제거효율 및 유동층 반응 장치의 회복 능력을 조사하였다.

3-2. 충격부하에 따른 유기물 제거 효율

초기 유입농도를 TCOD, 1232 mg/ℓ (3.5 kgCOD

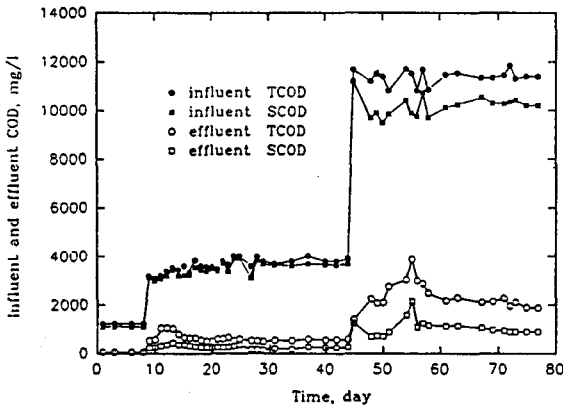


Fig. 1. Effect of organic loading rate on COD variation.

- HRT : 8.44 hour
- Temperature : 22°C
- Superficial upflow velocity : 0.9 cm/sec
- Organic loading rate 3.5 - 30 kgCOD/m³ · day

/m³·day)로 일정하게 유지하였을 때 유출수의 농도는 TCOD, 73 mg/l 이었다. 유입수의 농도를 갑자기 3배(TCOD, 3800 mg/l)로 높였을 때의 유출수의 농도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 하루가 경과하는 동안에 유출수의 농도는 TCOD, 535 mg/l로 증가하였으며 4일 경과 후의 농도는 TCOD, 1060 mg/l로 유출수의 농도가 최고에 달하였지만, 5일이 경과하자 유출수의 농도는 내려가기 시작하여, 9일 후에는 유출수의 농도가 560 mg/l로 새로운 정상상태에 도달하였다. 유기물 농도를 3800 mg/l로 올렸을 때는 미생물 농도에 비하여 유기물이 많지 않으므로 큰 충격없이 짧은 시간내에 새로운 평형상태에 도달하였다. 새로운 정상상태에 도달한 후 유입수의 농도를 3배 더 높여 TCOD 11400 mg/l를 유입시켰다. 유기물에 의한 충격으로 인하여 유출수의 농도는 계속적으로 높아져 10일 후에는 유출수의 농도는 TCOD, 3880 mg/l까지 증가하였으나, 27일 후에는 1960 mg/l로 새로운 정상상태에 도달하였다. 처음 1232 mg/l에서 3800 mg/l로 올려 주었을 때는 유출 TCOD의 변화 폭은 커졌지만, SCOD의 변화는 거의 없었고, 3800 mg/l에서 11400 mg/l로 높여 주었을 때에는 TCOD와 SCOD 모두 유출수의 변화 폭이 높아졌다. 이는 Manickam과 Gaudy(1985)가 활성슬러지 공정에서

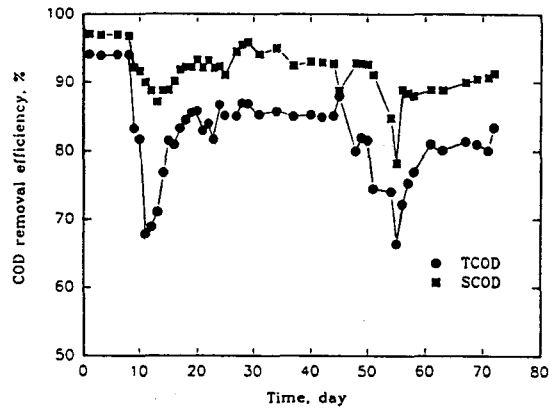


Fig. 2. Effect of organic loading rate on COD removal efficiency.

유기물 충격을 가하면 미생물의 성상이 바뀌어 부유물질이 증가한다고 보고한 바와 같이 지지매체에 부착된 미생물이 성상변화로 많이 유출되는 것으로 사료되었다. Fig. 2는 충격 부하에 따른 COD 제거 효율을 나타내고 있다. TCOD 1232 mg/l가 유입될 때 TCOD의 제거 효율은 94 % 였고, SCOD의 제거 효율은 96.5 % 였다. 그러나 농도가 3배 증가(10.8 kgCOD/m³·day)되었을 때 TCOD의 제거 효율은 떨어지기 시작하여 4일 후에는 TCOD는 71 %로 21 %의 효율이 감소되었으나, SCOD로는 9.7 %의 효율감소를 보여 TCOD의 제거효율 변화폭이 SCOD효율의 변화폭에 비하여 2배에 달하였다. 그러나 새로운 정상상태에 도달하였을 때 TCOD는 85 %, SCOD는 92 %로 다시 회복이 되었다. 농도를 3배(33kg COD/m³·day) 더 높여 주었을 때에는 처리효율이 계속 떨어져 6일 후에는 TCOD는 66 %, SCOD는 78 %로 되었으나, 27일 경과 후에는 새로운 정상상태에 도달하여 TCOD는 80 %, SCOD는 90 %로 되었다. 유기물 충격 부하량이 높아질수록 비정상상태의 미생물 회복 기간이 길어지고, TCOD와 SCOD의 처리효율 변화폭은 커졌다.

유기물의 충격부하량이 증가될수록 F/M비는 높아졌으며 COD 제거 효율은 Fig.3에서 보는 바와 같이 감소했다. 유기물 충격부하 실험 범위내에서 F/M비는 0.4-2.0 kgCOD/kgVSS·day였다. SCOD의 경우 F/M비가 2.0 kgCOD/kgVSS·day까지는 90 %의 제거효율을 보였지만, TCOD는 F/M비의

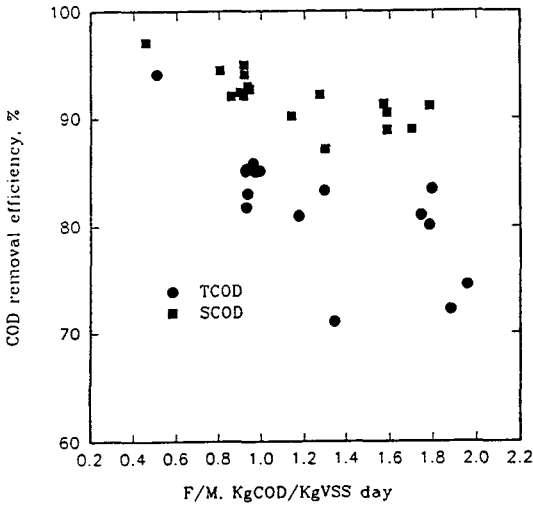


Fig. 3. Relationship between COD removal efficiency and F/M ratio.

증가에 따라 제거효율이 급격히 떨어져 F/M비가 1.88 kgCOD/kgVSS·day에서 72 %의 효율을 나타내었다. 폐수처리시 갑자기 유입 농도가 높아져 F/M비가 높아지는 경우, SCOD의 제거 효율면에서 별 문제는 없으나 TCOD의 경우 부유물질의 증가로 제거 효율이 감소하므로 이에 대한 대책이 필요한 것으로 사료 되었다. 그러나, 일반적인 활성 슬러지 공정에서는 유기물 부하를 10 kgCOD/m³·day 정도까지 증가하면 운전이 거의 불가능한 것을 비교해 보면, 생물막 유동층 반응기는 유기물의 충격부하 변동에도 안정적임을 알 수 있었다.

3-3. 유기물 충격부하가 미생물 농도에 미치는 영향

고농도 유기물 충격부하 실험에서 유기물의 농도가 증가할수록 미생물의 농도는 증가하였다. Fig. 4는 유기물 충격부하량의 증가에 따른 미생물 농도를 나타내고 있다. 정상상태에서 미생물 농도는 유기물 부하가 3.5 kgCOD/m³·day였을 때 미생물의 농도는 7800 mg/l였고, 10.8 kgCOD/m³·day에서 미생물의 농도는 14950 mg/l였으며, 미생물이 완전한 정상상태에 도달되는 기간은 14일 정도로 유기물 제거효율이 정상상태에 도달되

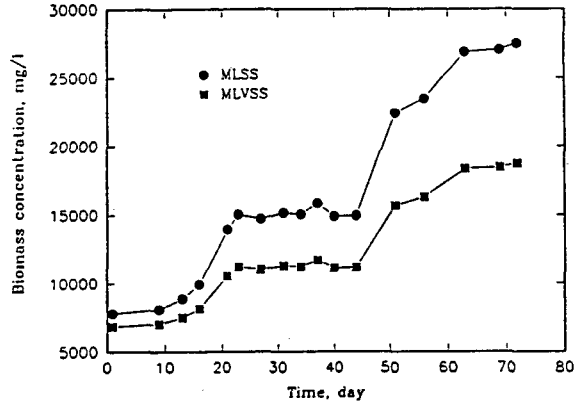


Fig. 4. Relationship between MLSS and MLVSS.

는 기간보다 5일 정도 늦었다. 유기물 부하량 32.5 kgCOD/m³·day에서 미생물 농도는 27532 mg/l 까지 증가하였으며, 정상상태에 도달되는 기간은 23일이 경과한 후였다. 유기물 부하량의 증가에 따라 반응기 내의 미생물 농도는 증가되어, 갑작스런 유기물 부하변동에 대하여도 미생물은 비교적 안정적으로 유지되었다.

Fig. 5는 유기물 충격 부하에 따른 생물막 두께를 나타내었다. 유기물 충격부하의 증가에 따라 미생물막 두께는 증가를 하였다. 유기물의 부하를 변화시킨 직후의 생물막은 약간의 탈착 현상을 보였으나 곧 회복이 되었다. 이때 Salvado와 Gracia (1993)는 유기물 충격 부하에 따라 미생물의 종이 바뀐다고 하였다. 유기물 부하량이 3.5kgCOD/m³·

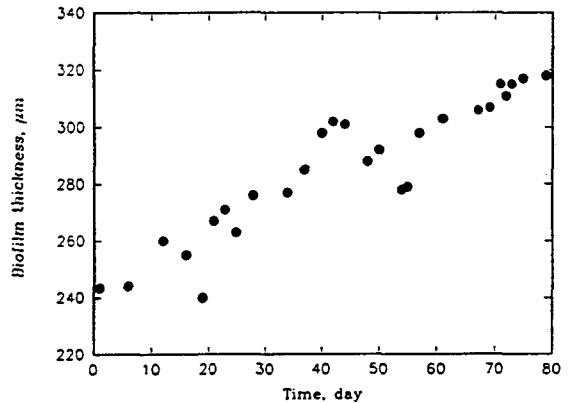


Fig. 5. Effect of organic loading rate on biofilm thickness.

day일 때에는 생물막 두께가 244 μm 였고, 유기물 부하량을 32.5 $\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 충격을 주었을 때에도 생물막 두께는 증가하여 318 μm 로 두꺼워 졌다.

4. 결 론

생물막 유동층 반응기를 이용하여 유기물 충격 부하에 따른 유기물 제거 효율 및 미생물의 성상을 고찰하였다. HRT 8.44 시간, 상향유속 0.9cm/sec, 온도 22 ± 1 °C에서 유입수의 유기물 농도 부하를 각각 3.5, 10.8 및 33 $\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 증가시킨 결과 SCOD의 제거효율은 96.5, 92 및 90%로 얻어졌다. 실험 범위내에서 F/M비는 0.4-2.0 $\text{kgCOD}/\text{kgVSS} \cdot \text{day}$ 였으며, SCOD의 경우 F/M비 2.0 $\text{kgCOD}/\text{kgVSS} \cdot \text{day}$ 에서 90%의 제거효율을 보였으나, TCOD는 1.8 $\text{kgCOD}/\text{kgVSS} \cdot \text{day}$ 에서 72 %의 효율을 나타내었다. 정상상태에서 미생물 농도는 유기물 부하가 3.5, 10.8 및 33 $\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 였을 때 각각 7800, 14950 및 27532 mg/ℓ 까지 증가하였다. 유기물의 농도가 갑자기 증가되면 생물막은 약간의 탈착이 발생하지만 곧 회복이 되어졌으며, 유기물 충격 부하량이 높아질수록 정상상태에 도달되는 기간은 길어졌다.

감사의 글

본 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술 연구조성비에 의하여 연구되었습니다. 이에 대하여 감사 드립니다.

참고문헌

김동석, 안갑환, 서명교, 박태주, 송승구, 1991, 생물막 유동층 반응기에서 고농도 합성폐수의 처리효율과 미생물성장, 화학공학, 29 (4).
 박영식, 김동석, 안갑환, 송승구, 1993, 산업폐수처리를 위한 호기성 생물막 유동층 반응기

의 연구(I), 대한환경공학회지, 15(6).
 須藤隆一, 稻森悠平, 1985, 生物相からみた処理機能の診断, 産業用水調査會, 251-254.
 Baek, N. H. and I. Walker, 1980, Studies on the Fluidized Bed Reactor for Wastewater Treatment, HWAHAK KONGHAK, 18 (2), 117-127.
 Cooper, P. F., 1981, The Use of Biological Fluidised Beds for the Treatment of Domestic and Industrial Wastewaters, The Chemical Engineer, August/September, 373-376.
 Kargi, F. and J. K. Park, 1982, Optimal Biofilm Thickness for Fluidized-Bed Biofilm Reactors, J. Chem. Tech. Biotechnol., 32, 744-748.
 Manickam, T. S. and A. F. Gaudy, 1985, Comparison of Activated Sludge Response to Quantitative, Hydraulic, and Combined Shock for the Same Increases in Mass Loading, J. WPCF., 57(3), 241- 252.
 Ngian, K. F. and W. R. B. Martin, 1980, Bed Expansion Characteristics of Liquid Fluidized Particles with Attached Microbial Growth, Biotechnol. Bioeng., 22, 1843-1856.
 Poncelet, D., H. Naveau and E. J. Nyns, 1990, Transient Response of a Solid-Liquid Model Biological Fluidized Bed to a Step Change in Fluid Superficial Velocity, J. Chem. Tech. Biotechnol., 48, 439-452.
 Reiber, S. and D. Stensel., 1985, Biologically Enhanced Oxygen Transfer in Fixed Film System, J. WPCF., 57(2), 135-142.
 Salvado, H. and N. P. Gracia, 1993, "Determination of Organic Loading Rate of Activated Sludge Plants based on Protozoan Analysis, Wat. Res., 27(5), 891-895.
 Shieh, W. K. and J. D. Keenan, 1986, Fluidized Bed Biofilm Reactor for Wastewater

Treatment, *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology*, 33, 131-169.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1989, APHA, AWWA, 17th Edition.