

역유동층 생물막 반응기를 이용한 아파트 오수 처리

박영식 · 안갑환* · 서정호 · 최윤찬 · 추석열 · 송승구[†]

부산대학교 화학공학과

*지산전문대학교 환경관리과

(1995년 8월 11일 접수, 1996년 7월 23일 채택)

Wastewater Treatment of Apartment Using an Inverse Fluidized Bed Biofilm Reactor

Young-Seek Park, Kab-Hwan Ahn*, Jung-Ho Suh, Yoon-Chan Choi, Suck-Ruel Choo and Seung-Koo Song[†]

Dept. of Chem. Eng., Pusan National University

*Dept. of Environ. Sci. & Tech., Jisan Junior College

(Received 11 August 1995; accepted 23 July 1996)

요 약

역유동층 생물막 반응기를 이용하여 아파트 오수를 처리하였다. 평균 유입 TCOD는 380 mg/L, SCOD는 182 mg/L였으며, HRT를 바꾸어 주면서 실험하였다. 수리학적 부하량을 0.3 kgCOD/m³·day에서 4.5 kgCOD/m³·day로 높여주었을 때 SCOD 농도는 12.0 mg/L에서 44.0 mg/L, 미생물 농도는 3272 mg/L에서 10556 mg/L, 생물막 두께는 40.0 μm에서 132.7 μm로 두꺼워졌다. 그러나 생물막 건조밀도는 0.060 g/mL에서 0.024 g/mL로 낮아졌다. 오수에 함유되어 있는 LAS농도는 16.0 mg/L에서 26.0 mg/L의 범위였으며, 수리학적 부하량 4.5 kgCOD/m³·day에서도 LAS는 95 % 이상이 제거되었다. 반응 속도식을 1차로 가정한 유출 SCOD 예측은 실험값과 5 %의 상대오차로 잘 일치하였다.

Abstract—Wastewater of an apartment was treated in an inverse fluidized bed biofilm reactor to investigate the variation of effluent TCOD(influent mean value; 380 mg/L) and SCOD(influent mean value; 182 mg/L) for various HRT at 22 °C. When the hydraulic loading rate was increased from 0.3 kgCOD/m³·day to 4.5 kgCOD/m³·day, the effluent SCOD, the biomass concentration, and the biofilm thickness increased from 12.0 mg/L to 44.0 mg/L, from 3272 mg/L to 10556 mg/L, and from 40.0 μm to 132.7 μm, respectively. But the biofilm dry density was decreased from 0.060 g/mL to 0.024 g/mL. The influent concentration of LAS ranged from 16.0 mg/L to 26.0 mg/L in the wastewater of this apartment. LAS removal efficiency was higher than 95 % this system, even at a hydraulic loading rate of 4.5 kgCOD/m³·day. Prediction of the effluent SCOD value by using the mathematical model well agreed to the observed values within 5 % of error.

Key words : Inverse Fluidized Bed, Biofilm Reactor, Sewage, Apartment, LAS

1. 서 론

산업의 발전, 인구의 도시 집중화, 생활양식의 다양화 및 위생에 대한 관심 고조 등으로 인하여 물의 수요가 크게 증가되었다. 따라서 인구가 집중되어 있는 도시에서는 막대한 양의 생활오수가 발생하게 되었고, 이것이 산업폐수와 함께 주요한 수질오염원이 되었다. 특히 최근에는 대규모의 아파트가 건설되면서 일정 지역에서 집중적으로 오염 부하량이 증가하고 있는 실정이다.

현재 대도시 영역에 설치되어 있는 몇몇 하수종말 처리시설만으로는 배출되는 전체 생활오수를 모두 처리할 수는 없다. 뿐만 아니라 탁도, 수세식 변기 세정제 등의 과다 사용으로 생활오수의 성상 자체도 생물학적으로 분해되기 어려운 물질이 다량 함유된 채 배출되고 있어 기존의 재래식 활성슬러지 공법으로 처리할 경우 벌킹, 부유물질의 증가 등이 주기적으로 발생되어 효율적인 폐수처리에

어려움이 많다.

수질오염방지를 위한 생활오수를 가장 적절히 처리하는 방법은 가정에서 배출되는 오염물질을 하수처리장으로 이송시켜 하수종말 처리장에서 적절한 처리과정을 거치게 한 후 방류수역으로 배출하는 것이다.

그러나 하수도를 도시건설 초기에 건설하는 것은 그렇게 어렵지 않으나 우리 나라와 같이 이미 건설된 도시의 경우에는 대단히 많은 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라, 도시교통 등의 실제 상황을 감안하면 비용이 확보된다 하더라도 지극히 어려운 문제라 생각된다. 따라서 국내와 같은 상황에서는 개별건축물별에 따른 수질오염 방지시설을 설치하여 효과적으로 수질오염에 대처함이 바람직하다.

특히 각종 소비재의 다양화, 지나친 위생에 대한 인식 및 물 사용량의 증가 등으로 인하여 오수 배출량 및 농도가 높아져 기존 시설이 완료된 오수정화시설은 대부분 처리용량이 초과되어 배출허용기

준 이하로 방류하기 어려울 뿐만 아니라, 허용기준치 또한 1996년도부터 대폭 강화되는 추세에 있다.

위에 기술한 여러 가지 문제점들을 보완하기 위해서는 수질오염 방지시설의 처리용량을 늘려야 하지만 아파트 오수 처리장의 대부분이 한정된 지하공간에 건설되어 있어 부지확보가 어렵다. 따라서 공정을 적절히 변화시켜 처리효율을 극대화시키는 연구가 절실히 요구되며, 최근에는 수질오염 방지시설을 생물막 공정으로 개선하기 위한 방법이 많이 연구되고 있다.

생물막 공정(biofilm process)은 부유하는 상태의 미생물을 이용하는 활성슬러지공법과는 달리 media에 미생물을 부착시켜 운전하는 방법으로서 살수여상법[1], 회전생물접촉법, 유동층 생물막 반응기[2,3] 및 역유동층 생물막 반응기[4] 등이 있다.

일반적인 유동층에서는 물보다 밀도가 큰 입자를 유동시키기 위하여 하부에서 상부로 유체가 공급되는데 반하여, 역유동층에서는 물보다 가벼운 입자를 유동시키게 되므로 층상부에서 하부로 유체의 공급을 발생시켜, 통상적인 유동층의 유체흐름과 정반대 방향의 흐름을 가지게 되므로 “역유동층”이라고 부르고 있다.

역유동층 생물막 반응기는 역유동층과 air-lift 반응기의 복합적인 형태로서, draft tube내에 공기가 직접 공급되므로 충분한 산소가 공급되고 draft tube내의 기체 부피 분율의 증가로 인한 액체 순환으로 반응기내 입자의 유동을 유발시킬 수 있어, 동력비가 상당히 절감되며, 과도성장한 bioparticle은 반응기 하부로부터 draft tube내로 흡입됨으로써, 기포와의 직접적인 접촉을 통해 입자 외부의 미생물이 탈리되므로 일정한 생물막을 유지시킬 수 있는 장점이 있다[4].

Ramsay[5]는 역유동층 생물막 반응기에서 물보다 가벼운 폴리스티렌 입자를 media로 하여 페니실린 생산에 관한 연구를 발표하였다. Karamanev와 Nikolov[6]는 draft tube가 있는 air-lift 반응기에서 *Thiobacillus ferrooxidans*를 이용한 철 이온 산화에 대한 연구를 하였다.

본 연구에서는 이처럼 생물막 두께를 일정하게 유지할 수 있어 장기운전이 가능하고 동력비가 저렴하게 요구되는 역유동층 생물막 반응기를 사용하여 실제 아파트에서 발생하는 오수를 수리학적 부하량의 증가에 따른 유기물 처리효율, 미생물의 성장 및 LAS(linear alkylbenzene sulfonate)의 제거효율을 고찰하고 수학적 모델을 통한 유출수의 수질을 예측하고자 하였다.

2. 이 론

2-1. 역유동층 생물막 반응기의 수학적 해석

역유동층 생물막 반응기는 추적자로 KCl을 사용하여 체류시간 분포를 측정한 결과 반응기의 HRT, 기체유량 변화에 관계없이 이상적인 완전혼합 반응기 형태를 나타내었다[7].

폐수의 유입과 유출이 연속적으로 이루어지는 Fig.1과 같은 반응기에서 상층부의 물질 수지는 다음과 같으며

$$FS_0 + QS_d = S_r(F+Q) \quad (1)$$

반응기의 환형부분인 하강부에서 미생물에 의한 반응이 이루어진다고 가정하면 물질수지는 다음과 같다.

$$QS_r = QS_d + V_d r_i \quad (2)$$

미생물이 지지매체에 부착되는 형태는 기질이 지지 매체까지 침투되지 못하여 미생물막 내부가 일부 혐기화되는 형태와 기질이 지지 매체까지 도달되는 두 가지 형태를 가정할 수 있다[8]. 생물막 두께가 너무 비대해져 지지 매체 내부까지 기질이 침투하지 못하고 생물막 안쪽부분이 일부 혐기화되었을 때는 0차 반응, 폐수가 생물막

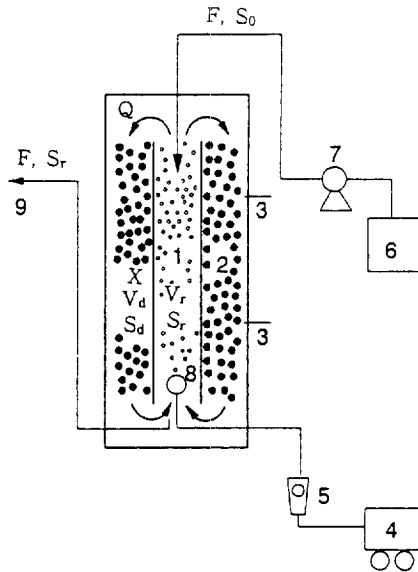


Fig. 1. Schematic diagram of an IFBBR.

- | | |
|---------------------|----------------|
| 1. Riser region | 6. Feed tank |
| 2. Downcomer region | 7. Feed pump |
| 3. Sampling port | 8. Air sparger |
| 4. Air pump | 9. Effluent |
| 5. Rotameter | |

을 통과하여 media까지 완전히 침투되면 1차 반응으로 가정된다[9]. 생물막에 의한 기질 이용속도는 생물막 두께가 거의 200.0 μm까지 선형적으로 증가하다가 200.0 μm 이상에서는 일정하며[10], ATP측정을 이용한 생물막의 활성도 측정에서는 활성적인 생물막 두께는 320.0 μm이라고 보고되었다[11].

본 실험에서는 생물막 두께가 100.0 μm 정도이므로 유기물과 산소가 media 표면까지 침투된다고 가정하면 역유동층 반응기내의 반응속도는 유효인자[12]를 도입한 다음 식으로 표현된다.

$$r_i = \eta k_1 \times S_{d0} \quad (3)$$

식 (1)과 (2)를 정리하면 유출수의 폐수농도는 다음과 같이 유도되어진다.

$$S_r = \frac{S_0(1 + \eta k_1 \times \theta)}{[1 + (1 + R_r) \eta k_1 \times \theta]} \quad (4)$$

따라서 미생물 농도와 반응속도 상수가 결정되면 유출수의 폐수농도는 유입 폐수농도, 미생물 농도 및 반응기 체류시간의 함수로 표현되어 산술적 계산이 가능해진다.

3. 실험

3-1. 폐수 및 미생물

본 실험에 사용된 폐수는 부산광역시 소재의 C 아파트에서 채취한 생활오수이며 Table 1에 원 폐수의 성상을 나타내었다. 아파트 오수의 TCOD, SCOD 및 SS의 평균은 각각 380 mg/L, 182 mg/L 및 120 mg/L이며 pH는 6.8-7.3의 범위에 있었다.

큰 부유 입자는 100.0 μm 체로 여과한 후 정량펄프를 사용하여 반응기 상부에 유입하였다. 유기물의 농도가 높지 않으므로 유량을 증가시켜 폐수의 수리학적 부하량을 가중시켰으며, 초기 미생물의 식종(seeding)은 양산시 폐수처리장의 반응슬러지를 이용하였으며, 반응기내에서 합성폐수로 생물막을 형성시킨 후, 약 2개월 동안 아파

Table 1. Characteristics of raw wastewater

Items	Value
TCOD	335-420(mg/L)
SCOD	160-205(mg/L)
LAS concentration	16-26(mg/L)
pH	6.8-7.3
Suspended solid	70-170(mg/L)

Table 2. Major instruments used for analyzing wastewater

Item	Method and instrument
DO	Dissolved oxygen meter(Orion 840)
COD	Open reflux method
MLSS, VSS	(Whatman, 47 mm, Glass microfibre filters, Cat. No. 1822047) (Fisher, Glass microanalysis holders, 47 mm, 09-753-1E) (Mettler Aj 100 balance)
Microbe & biofilm thickness	Nikon Labophot-2A photomicrographic microscope
Biofilm dry density	Eq. (6)
LAS	MBAS UV(shimadzu-1200)

트 오수로 순화시켜 본 실험에 사용하였다.

3-2. 실험장치

본 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같다. 반응기는 단면적이 121.0 cm²이고 높이 120.0 cm, 운전 부피가 9.8 L이며 아크릴로 제작되었다. Bioparticle을 채취할 수 있는 시료 채취구는 40.0 cm 간격으로 2개 설치되었고, 반응기 바닥에 폐슬러지를 제거하는 밸브가 설치되었다.

실험에 사용된 media는 EPS(expandable polystyrene)를 팽창시킨 것으로, 평균 직경이 0.85 mm이고, 평균 밀도가 0.23 g/cm³이다. 미생물 부착을 촉진시키기 위해 media 표면에 진주암(perlite)을 도포하였고[13], media 충전율은 반응기 운전부피의 18.4%가 되게 하였다.

온도는 20±1 °C, 수리학적 체류시간을 24, 12, 7, 4 및 2시간으로 낮추어 수리학적 부하량을 0.3, 0.7, 1.4, 2.4 및 4.5 kgCOD/m³·day로 증가시켰다. 수리학적 체류시간을 제외한 모든 조건을 일정하게 하였으며, 반응기 상순부내로 공급되는 기체유량은 8 L/min으로 일정하게 유지하였다.

3-3. 분석 및 측정방법

모든 분석방법은 Standard Methods[14]를 기준으로 행하였다. 측정항목, 측정방법 및 측정기기를 Table 2에 나타내었다. 반응기내 용존산소는 DO-meter(Orion 840)를 사용하여 하강부 영역의 상부 40.0 cm 지점에서 측정되었다. LAS분석은 UV(Shimadzu-1200)를 사용하여 MBAS(methylene blue active substances)법으로 이루어졌다.

3-3-1. Biomass 농도와 폐슬러지

Biomass 농도는 반응기 상부에서 40.0 cm 지점의 시료 채취구에서 시료(폐수+부유 biomass+bioparticle)를 채취하여, 0.1 % NaOH 용액을 일정량 섞은 후, 교반기로 급속 교반하여 media로부터 biomass를 완전히 탈착시킨 다음, Standard Methods[14]에 의해 측정되었다. 측정된 값에 NaOH 회석비율을 곱하여 biomass 농도를 결정하였다.

반응기내의 폐슬러지는 HRT가 24 및 12시간일 때 400 mL, HRT가 7 및 4시간일 때 700 mL, HRT가 2시간일 때 1000 mL씩 매일 반

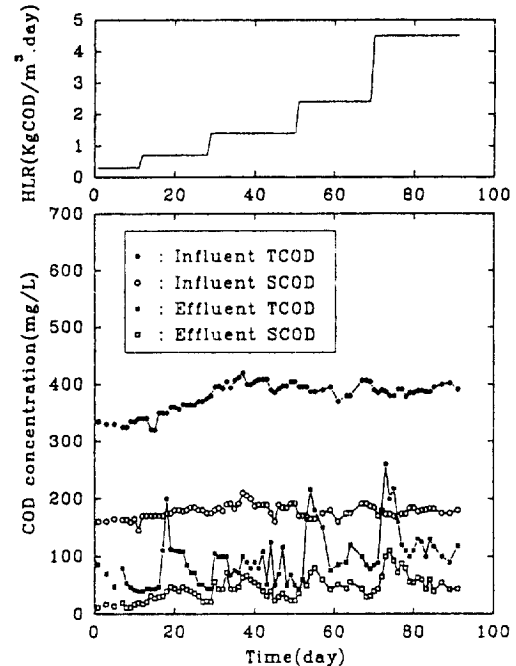


Fig. 2. Effect of hydraulic loading rate on the effluent COD variation.

응기 하부에서 폐기하여 농도를 측정하여 폐슬러지 양을 구하였다.

3-3-2. 생물막 두께

Bioparticle의 직경은 현미경(Nikon Labophot-2A 40X)에 부착된 눈금자를 이용하여 50개 이상의 입자를 직접 장축과 단축을 측정하여 volume-equivalent(등가부피) 직경으로 전환하였으며, 평균 입자 직경은 Sauter mean diameter[15]로 구하였다.

평균 생물막 두께, δ 는 위에서 구한 bioparticle 직경(d_p)에서 media의 직경(d_m)을 뺀 값으로 계산하였다.

$$\delta = \frac{d_p - d_m}{2} \quad (5)$$

3-3-3. 생물막 건조밀도

생물막 건조밀도(biofilm dry density), ρ_{hd} 는 생물막 부피에 대한 건조무게의 비로 정의하며, 미생물이 부착되지 않았을 때의 입자(styrofoam)에 대한 bioparticle의 크기비(γ)와 초기 입자질량에 대한 부착된 생물막의 질량비(X_1)에 의해 아래의 식으로 구하였다[16].

$$\rho_{hd} = \frac{X_1 \rho_m}{\gamma - 1} \quad (6)$$

4. 결과 및 고찰

4-1. 아파트 오수의 수리학적 부하에 따른 유기물의 변화

가정 하수나 아파트 오수 등은 산업폐수에 비해 유기물의 부하가 낮고 유출수의 수질이 배출시간에 따라 변하지만, 유량 조정조를 거치기 때문에 일일 유량 및 유기물 농도가 비교적 일정하다.

본 실험에서는 수리학적 체류시간(HRT)에 따른 유기물 제거 영향을 살펴보았다. HRT가 짧아짐에 따라 유입유량은 (9.8, 19.6, 33.6, 58.8 및 117.6 L/day)로 증가하고, 수리학적 부하는 0.3 kgCOD/m³·day에서 4.5 kgCOD/m³·day로 높아졌다. Fig. 2는 media에 미생물이 안정적으로 부착된 후 유입 TCOD, SCOD의 증가에 따른 유출 TCOD, SCOD의 변화를 나타내고 있다. 유량 조정조를 통과한 폐수를 채취하여 유입하였으므로 COD, SS 등의 농도가 비교적 일정하

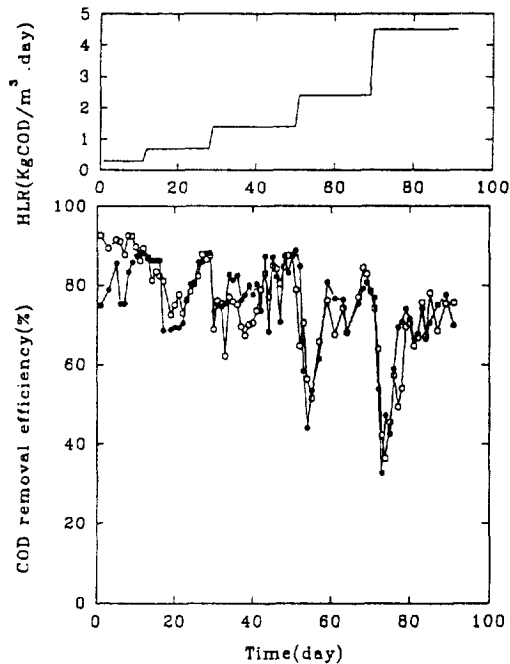


Fig. 3. Effect of hydraulic loading rate on the COD removal efficiency.

였으나, 실험초기(TCOD 335 mg/L)인 2월을 지나 3월(TCOD 397 mg/L)부터는 TCOD가 약간 높게 유출되어졌다. 이러한 점은 계절의 영향으로 사료되었다. 또한 아파트 오수는 SS를 많이 함유(70-170 mg/L)하고 있어 TCOD가 SCOD보다 약 2배 정도 높았으며, HRT의 변화에 따라 유출 TCOD의 변동 폭이 크게 나타났다.

아파트 오수의 평균 유기물농도는 TCOD 380 mg/L, SCOD 182 mg/L였으며, HRT 24시간으로 운전하였을 때 10일만에 정상상태에 도달하였다. 이때 유출수의 SCOD는 12.0 mg/L이었으나 TCOD는 40.0 mg/L으로 TCOD와 SCOD의 차이가 약 3배 정도로 비교적 크게 나타났다. HRT 12시간, 7시간 및 4시간에서 약 2주일간의 비정상상태를 경과하여 유출수의 수질이 좋아지기 시작하였고 20일이 경과한 후 정상상태에 도달되었다. 정상상태에서 SCOD 농도는 각각 22.0, 28.0 및 32.0 mg/L였으나 TCOD는 45.0, 50.0 및 78.0 mg/L로 나타났다. HRT 2시간의 운전에서 유출 SCOD는 44.0 mg/L로 비교적 양호한 수질을 보여주었으나 TCOD는 100-110 mg/L로 되어 부유물질 제거용의 침전조 설치가 필요한 것으로 나타났다. Manickam과 Gaudy[17]가 활성슬러지 공정에서 충격부하를 가하면 유출 부유물질의 증가로 인하여 TCOD 제거효율의 변화 폭은 커진다고 보고한 일반적인 현상이 본 실험에서도 같이 나타났다.

Fig. 3은 수리학적 부하량을 $0.3 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 에서 $4.5 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 증가하였을 때의 COD제거효율을 보여주고 있다. HRT 24시간, 수리학적 부하량 $0.3 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 이었을 때 TCOD 제거효율은 85.9%였고, SCOD제거효율은 92.4%였다. 그러나 HRT를 12시간으로 단축하여 $0.7 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 수리학적 부하가 2배 증가되었을 때 TCOD와 SCOD의 제거효율은 비정상상태에서 TCOD는 68.8%, SCOD는 72.5%로 되었다. 2주가 경과한 후 생물막이 완전히 회복되어 정상상태에 도달되었을 때, TCOD는 87.8%, SCOD는 87.4%의 제거효율을 보였다. HRT가 7시간에서 TCOD는 68.0%, SCOD는 70.0%까지 처리효율이 떨어졌다가 정상상태에서는 각각 87.4%와 84.7%였다. HRT가 4시간으로 짧아졌을 때 수리학적 부하량은 $2.4 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 증가하였고 TCOD는 53.4%, SCOD의 경우는 51.5%로 처리효율이 떨어졌으나 2주가 지난 후 유출수의

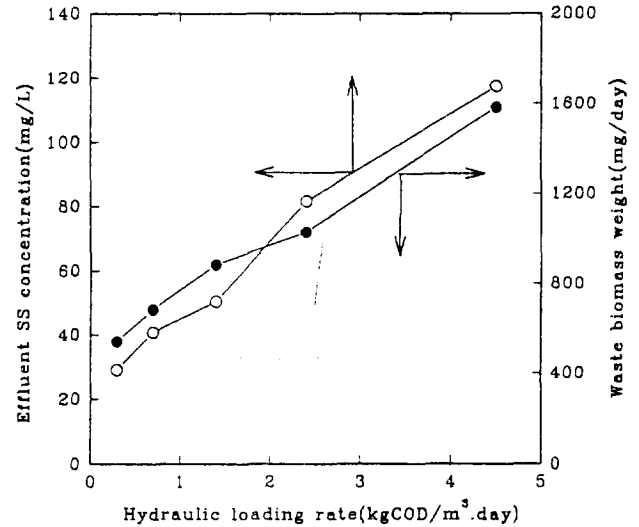


Fig. 4. Effect of hydraulic loading rate on the effluent SS concentration and waste biomass weight.

수질이 양호해지기 시작하여 TCOD는 80.4%, SCOD는 82.0%까지 처리효율이 증가하였다.

수리학적 부하량이 높아짐에 따라 처리효율은 떨어지는 경향은 있으나 $2.4 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 까지는 비교적 안정적인 처리가 가능하였다. 그러나 $4.5 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 에서는 TCOD 및 SCOD의 제거효율은 75.0%로 낮아졌다.

아파트 오수는 SS가 많은 폐수이기 때문에 SS의 일부는 유출수로 배출되고, 일부는 생물막에 흡착되어 처리되며, 나머지는 반응기 내에 침전되어 폐기된다. Fig. 4는 수리학적 부하량의 증가에 따른 정상상태에서 유출수의 SS 양과 폐슬러지 양을 나타낸 것이다. $0.3 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 부하에서 초기 유출되는 SS양은 70.0 mg/L였으나 정상상태에 도달하여 40.0 mg/L로 낮아졌다. 수리학적 부하량이 증가함에 따라 비정상상태에서의 유출 SS농도 변동 폭이 증가하였고, 정상상태에 이르는 시간이 길어졌다. 이는 수리학적 부하량의 증가로 인하여 부착 생물막의 성장속도와 생물막 탈착속도가 빨라져 단위시간당 SS양이 높아졌기 때문으로 보여진다. 따라서 SS양이 증가하면 반응기 하부에 침전되는 폐슬러지의 양이 증가하는데 부하량이 $0.3 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 에서의 폐슬러지 발생량은 416 mg/day였으나, $2.4 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 으로 증가함에 따라 폐슬러지 발생량은 1166 mg/day로 나타났으며, 수리학적 부하량이 $0.3\text{-}4.5 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 범위에서 유출 SS양 및 폐슬러지 발생량은 선형적인 증가를 보였다.

이는 수리학적 부하량이 증가할수록 유입되는 SS양의 증가와 반응기 내 미생물에 의한 SS 제거에 따른 시간제한 등으로 침전에 의한 폐슬러지 발생량이 증가하고 미처리된 유입 SS가 그대로 배출되기 때문으로 사료되었다.

4.2. 수리학적 부하량이 미생물에 미치는 영향

Fig. 5는 수리학적 부하량의 증가에 따른 생물막 건조 밀도와 생물막 두께에 미치는 영향을 관찰한 것으로 생물막 두께가 두꺼워짐에 따라 생물막 건조 밀도가 감소하는 것을 볼 수가 있다. 수리학적 부하량 변화에 따른 생물막 건조 밀도의 변화는 생물막 두께와 관련되어 있으며, 생물막이 얇을 때에는 생물막 내부 전체에 쉽게 기질이 침투되어 미생물 성장이 활발히 촉진되어 생물막 건조 밀도가 높아진다. 그러나 생물막 두께가 두꺼워짐에 따라 세공을 통한 기질 농도의 확산 속도가 상대적으로 둔화되어 생물막내 미생물 성장은 억

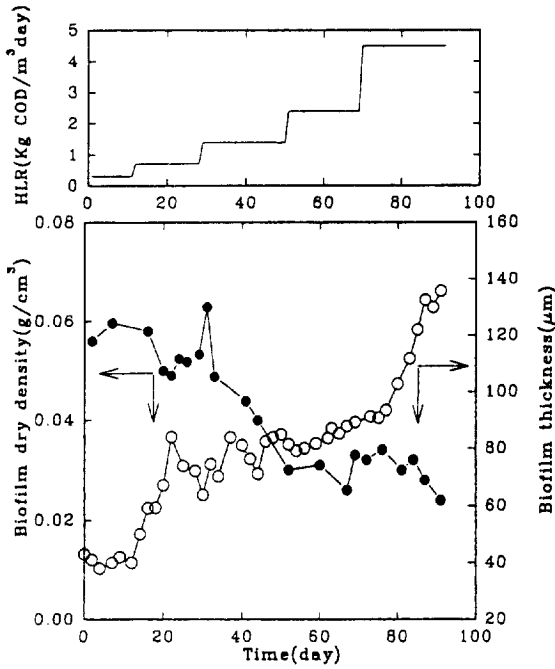


Fig. 5. Effect of hydraulic loading rate on the biofilm dry density and biofilm thickness.

제되고 물질전달 제한 상태에 도달되어 생물막 내부는 내 호흡 상태에 있게 되어 건조 밀도는 감소하게 된다. 따라서 과도한 생물막 두께의 성장은 bioparticle 전체 밀도를 감소시키므로 적절한 생물막 두께로 유지하는 것이 유기물 처리에 중요하다. Fig. 5에서 아파트 오수처럼 독성물질이 함유되지 않는 폐수는 부하량이 증가하면 생물막 두께도 선형적으로 증가되는데 0.3 kgCOD/m³·day에서 생물막 두께가 40.0 μm였으나, 4.5 kgCOD/m³·day로 증가하면 두께가 약 3배 정도 두꺼워져 132.0 μm에 이르게 되었다. 그러나 생물막 건조 밀도는 0.060 g/mL에서 0.024 g/mL로 감소되었다. 생물막 두께가 두꺼워지면서 생물막 건조밀도가 감소된 bioparticle이 커지면서 외부에 미생물이 느슨하게 부착되므로 전체 밀도가 감소되는 것으로 사료되었다.

또한 Fig. 6을 보면 생물막 건조 밀도가 감소되어도 미생물 농도는 부하량 증가에 따라 선형적으로 증가됨을 알 수 있었고, 초기 미생물 농도 3237 mg/L로부터 수리학적 부하량을 4.5 kgCOD/m³·day로 높였을 때 10556 mg/L까지 증가하였다.

4-3. 아파트 오수 중의 LAS 처리율

아파트 오수 중에는 합성세제인 LAS가 함유되어 있다. SS를 제거하고 난 후 유입 LAS 농도를 측정된 결과 16.0-26.0 mg/L의 범위로 나타났고 Fig. 7에서 보여주듯이 수리학적 부하량이 증가함에 따라 유출 LAS는 조금씩 높게 나타났으나 2.4 kgCOD/m³·day에서 0.5 mg/L의 LAS가 유출되어 98 % 이상의 높은 제거효율을 보였다. 4.5 kgCOD/m³·day에서도 1.1 mg/L의 LAS가 유출되어 역유동층 생물막 반응기가 비교적 LAS를 잘 제거함을 알 수가 있었다. 이러한 현상은 역유동층 생물막 반응기에서는 미생물이 부착되어 있으므로 반응기내의 미생물 성상이 다양하고, 활성슬러지공법에 비해 미생물 농도가 4-5배 높게 유지되고 있기 때문으로 사료되었다.

4-4. 역유동층 생물막 반응기의 수학적 해석

식 (4)를 이용하여 유입폐수의 수리학적 부하량에 따른 유출 SCOD의 실험치 및 예측치를 Fig. 8에 나타내었다. 식 (4)에서 1차 반응속

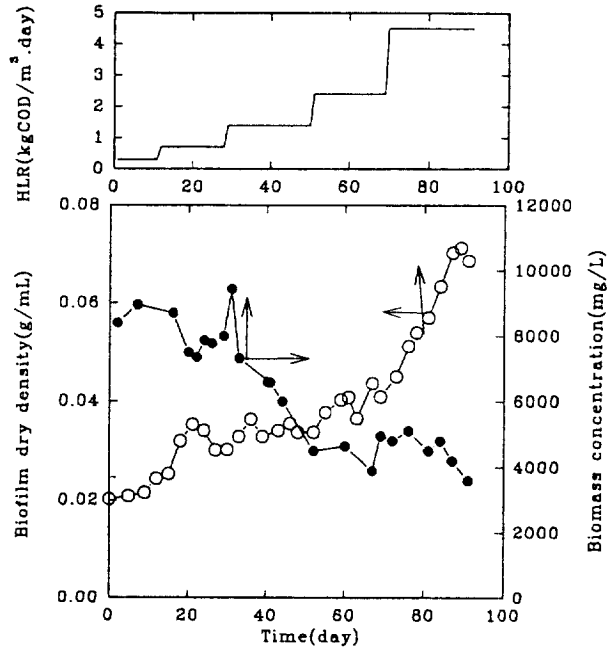


Fig. 6. Effect of hydraulic loading rate on the biomass concentration and biofilm dry density.

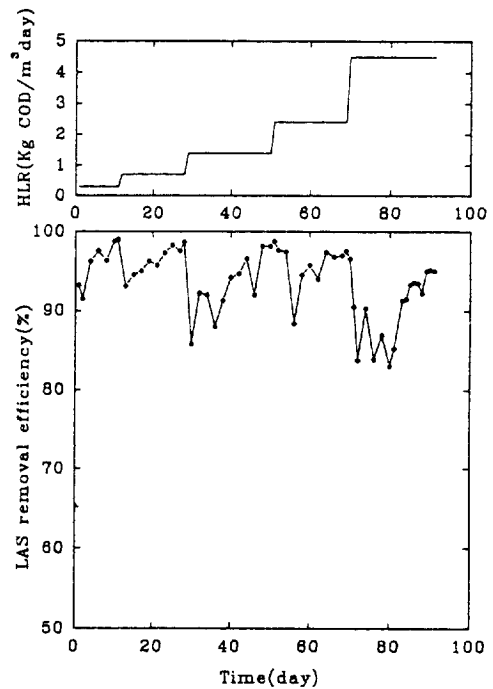


Fig. 7. Effect of hydraulic loading rate on the LAS removal efficiency.

도 상수 k_1 은 시행오차법으로 6.4×10^{-6} cm³/mg·sec를 얻었다. Fig. 8을 보면 수리학적 부하량 0.3-4.5 kgCOD/m³·day의 범위에서 실험치의 유출 SCOD와 계산치의 SCOD 차이가 6 mg/L 이하, 상대오차는 5%로 나타나 비교적 식 (4)와 잘 부합되었다. 따라서 폐수가 생물막을 통하여 media에까지 침투되었다고 가정한 1차 반응속도식이 본 실험 범위에서 비교적 잘 일치하므로 0.3-4.5 kgCOD/m³·day의 범위에서 유입 폐수농도, 미생물 농도 및 반응기의 체류시간의 함수로부터 유출수의 수질을 예측할 수 있었다.

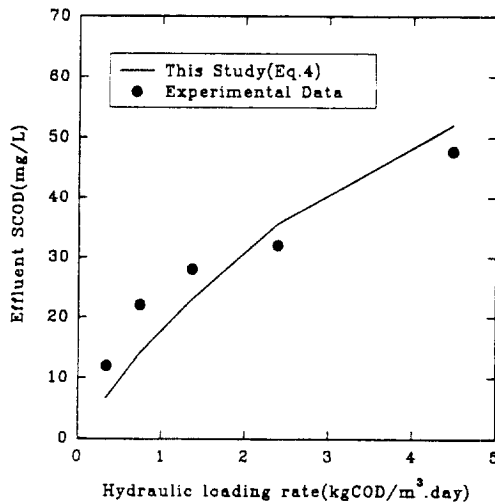


Fig. 8. Comparison between the experimental and the calculated effluent SCOD.

4. 결 론

아파트 오수를 효율적으로 처리하기 위하여 역유동층 생물막 반응기로 부산광역시 소재 C 아파트의 생활오수를 처리하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 유입 TCOD 및 SCOD가 각각 335-398 mg/L, 163-184 mg/L의 범위일 때 0.3, 0.7, 1.4, 2.4 및 4.5 kgCOD/m³·day의 수리학적 부하량을 높여주었을 때 유출 SCOD는 12.0 mg/L에서 32.0 mg/L의 범위로 얻어졌다. 그러나 TCOD는 40.0 mg/L에서 100.0 mg/L로 나타나 HRT가 2시간 정도로 짧을 때에는 SS제거용의 침전조 설치가 요구되었다.

(2) 수리학적 부하량을 0.3 kgCOD/m³·day에서 4.5 kgCOD/m³·day로 높여주었을 때 미생물 농도는 3272 mg/L에서 10556 mg/L, 생물막 두께는 40.0 μm에서 132.7 μm로 두꺼워졌다. 그러나 생물막 건조밀도는 0.060 g/mL에서 0.024 g/mL로 낮아졌다. 수리학적 부하량의 증가에 따라 유량증가에 따른 유입 SS양의 증가, 미생물에 의한 SS의 제거에 따른 시간제한 등으로 침전에 의한 폐슬러지 발생 증가와 미처리된 SS가 배출되는 현상이 나타났다.

(3) 본 실험에 사용된 아파트 오수 중에 포함되어 있는 LAS의 농도는 16.0 mg/L에서 26.0 mg/L의 범위였으며, 수리학적 부하량 4.5 kgCOD/m³·day에서도 LAS는 95 % 이상이 제거되었다.

사용기호

COD : chemical oxygen demand
 d_p : bioparticle diameter [μm]
 d_m : media diameter [μm]
 F : influent flow rate of wastewater [mL/min]
 HRT : hydraulic retention time [hr]
 k_1 : intrinsic 1st rate constant [cm³/mg·sec]
 LAS : linear alkylbenzene sulfonate
 Q : circulation flow rate from downcomer to riser [mL/min]
 $R_r = Q/F$
 $SCOD$: soluble chemical oxygen demand
 S_0 : wastewater concentration at a influent [mg/L]
 S_d : wastewater concentration at a downcomer [mg/L]

S_r : wastewater concentration at a riser [mg/L]
 $TCOD$: total chemical oxygen demand
 V_d : volume of downcomer [L]
 X : biomass concentration [mg/L]
 X_1 : ratio of bioparticle weight to initial raw media weight

그리스 문자

δ : mean bioparticle thickness [μm]
 ρ_{bd} : biofilm dry density [g/cm³]
 θ : V_d/Q
 γ : ratio of bioparticle size to raw media size
 η : effectiveness factor

하첨자

d : downcomer
 m : media
 p : bioparticle
 r : riser

감 사

본 연구는 동일산업과 학술진흥재단의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Iwai, S. and Kitao, T.: "Wastewater Treatment with Microbial Films", Technomic, USA(1994).
- Gorris, L.M.G., van Deursen, J.M.A., van der Drift, C. and Vogel, G.D.: *Biotechnol. Bioeng.*, **33**, 687(1989).
- 김동석, 안갑환, 이민규, 송승구: *한국생물공학회지*, **6**, 116(1991).
- Nikolo, L.N. and Karamanev, D.: *Canadian J. Chem. Eng.*, **65**, 214(1987).
- Ramsay, B.R., Wang, D., Chavaric, C., Rouleau, D. and Ramsay, J.A.: *J. of Ferment. Bioeng.*, **72**, 495(1991).
- Karamanev, D. and Nikolo, L.N.: *Biotechnol. Bioeng.*, **31**, 295(1988).
- Kim, D.S.: Ph. D. Dissertation, Pusan National Univ., Pusan, Korea(1994).
- Elmaleh, S. and Grasmick, A.: "Mathematical Models for Biological Aerobic Fluidized-Bed Reactors", Elsevier(1985).
- Shieh, W.K. and Keenan, J.D.: *Advances in Biological Engineering Biotechnology*, **33**, 141(1986).
- Hoehn, R.C. and Ray, A.D.: *J. WPCF*, **45**, 2308(1973).
- LaMotta, E.J.: Ph.D. Dissertation, University of North Carolina at Chapel Hill(1976).
- Fogler, H.S.: "Elements of Chemical Reaction Engineering", 2nd ed., PTR Prentice Hall, USA(1992).
- 김동석, 최윤찬, 송승구: *대한민국 특허*, 93-19912(1993).
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed., APHA, AWWA, WPCF, Washington D.C.(1989).
- Bailey, J.E. and Ollis, D.F.: *Biochemical Engineering Fundamentals*, 2nd ed., McGraw-Hill(1986).
- Ro, K.S. and Neething, J.B.: *J. WPCF*, **62**, 903(1990).
- Manickam, T.S. and Gaudy, A.F.: *J. WPCF*, **57**, 250(1985).