

## 역유동층 생물막 반응기에서 수리학적 충격에 따른 아파트 오수의 처리

박영식 · 나영수 · 서정호 · 안갑환\* · 송승구  
부산대학교 화학공학과 · 지산전문대학교 환경관리과  
(1996년 1월 4일 접수)

## Hydraulic Shock of Apartment Sewage in Inverse Fluidized Bed Biofilm Reactor

Young-Seek Park, Young-Soo Na, Jung-Ho Suh,  
Kab-Hwan Ahn\*, and Seung-Koo Song  
*Dept. of Chem. Eng., Pusan National University*  
*\*Dept. of Environ. Sci. & Tech, Jisan Junior College*  
(Manuscript received 4 January 1996)

The objective of this study was to examine the transient response to hydraulic shocks in an inverse fluidized bed biofilm reactor(IFBBR) for the treatment of apartment sewage. The hydraulic shock experiments, when the system were reached at steady state with each HRT 12, 7, and 4hr, were conducted by changing twice HRT per day during 3days. The SCOD, SS, DO, and pH of the effluent stream were increased with hydraulic shock, but easily recovered to the steady state of pre-hydraulic shock condition. In spite of hydraulic shock, there were not much variation of biomass concentration, biofilm thickness, and biofilm dry density.

**Key words :** hydraulic shock, inverse fluidized bed biofilm reactor, sewage

### 1. 서 론

산업의 발전, 인구의 도시 집중화 및 생활양식의 다양화로 인하여 물의 수요가 대량으로 필요하게 되었다. 특히, 최근에는 대규모의 아파트가 건설되면서 일정 지역에서 집중적으로 오염부하량이 증가되고 있는 실정이다.

이들 아파트에서 유출되는 생활오수를 관리하는 가장 효과적인 방법은 가정에서 배출되는 오염물질을 하수처리장으로 이동시켜 하수종말처리장에서 적절한 처리과정을 거치게 한 후 방류수역으로 배출하는 것이다. 그러나 현재 대도시 지역에 설치되어 있는 몇몇 하수종말처리시설만은 배출되는 전체 생활오수의 일부 분만을 처리할 수 있을 따름이다. 뿐만 아니라

락스, 수세식 변기 세정제 등의 과다 사용으로 생활오수 자체도 생물학적으로 분해되기 어려운 물질이 다량 함유되어 배출되고 있어 기존 재래식의 활성 슬러지 공법으로 처리할 경우 벌킹, 부유물질의 증가 등이 주기적으로 발생되어 효율적인 폐수처리에 어려움이 많다.

위에 기술한 문제점들을 보완하기 위하여 여러가지 공정이 개발되고 있는데, 생물막 공정(biofilm process)중의 하나인 역유동층 생물막 반응기는 반응기의 설계를 수직적으로 하여 설치부지가 작게 요구되고, 생물막을 형성함으로써 유기물의 부하변동에 강하며, 생물막이 부착된 bioparticle이 유동을 함으로써, 고정층 반응기에 비해 생물막 내로 쉽게 유기물이 물

질전달될 수 있고, 크기가 작은 입자를 미디어로 선택할 수 있어 높은 미생물 농도를 유지할 수 있으며 필요에 따라 bioparticle을 손쉽게 반응기 내외로 유출입할 수 있으므로 생물막 공정중에서 제일 효율적이고 경제적인 장치로 평가받고 있다.

그러나 간접 폭기 방식의 유동층 생물막 반응기(김동석, 1991)는 반응기내 미생물 농도가 증가함에 따라 반응기내 용존산소농도를 호기성상태로 유지하기가 곤란하고, 비중이 1보다 큰 media를 유동시키기 위하여 펌프가 연속적으로 가동됨으로써 전력비가 과다하게 소요되며, 고정화된 biomass가 증식을 함에 따라 각 bioparticle과 전체 유동층의 수리학적 특성이 변화되고 생물막 내로의 기질의

한 생물막을 유지시킬 수 있는 장점이 있다 (Nikolv, 1987).

일반적으로 생활계 하수의 배출은 비정상 형태로서 시간에 따라 변동하나, 요일에 따른 변화는 거의 없으며, 변동상태를 보면 일반적으로 아침에 증가하기 시작하여 2 ~ 3시간 동안 피크를 이루며, 오후에 제2의 피크를 이루는 패턴을 보이고 있어(김용판, 1985) 부하량 변동과 같은 순간적인 충격부하시 처리장의 안정적 운전조건은 상당히 중요하다고 판단되었다.

본 연구에서는 역유동층 생물막 반응기에 유입되는 합성 아파트오수에 수리학적 충격을 주었을 때 반응기에 미치는 영향과 충격전후, 충격기간동안 유출수의 성상을 조사하여 역 유동층 생물막 반응기 운전 중 충격부하에 대한 민

Table 1. Characteristics of wastewaters

Items	Raw Wastewater(mg/L)	Sysentic Wastewater(mg/L)
TCOD	335 ~ 420	230
SCOD	160 ~ 205	200
LAS concentration	16 ~ 26	25
Suspended Solid	70 ~ 170	
TKN	26 ~ 57	41
TP	3.5 ~ 7.3	5.4
Na	26 ~ 52.6	39.3
K	10.4 ~ 24.2	17.3
Ca	7.4 ~ 17.5	12.5
Mg	4.6 ~ 12.3	8.5
Cl	29 ~ 77	53

물질전달이 제한되므로, 반응기내 생물막의 두께를 일정하게 유지하기 위하여 별도의 생물막 분리장치를 설치해야 하는 문제점이 있다.

역유동층 생물막 반응기는 역 유동층과 air-lift 반응기의 복합적인 형태로서, 유동층 생물막 반응기의 장점외에도 물보다 가벼운 입자를 미디어로 사용하여 입자의 흐름이 상부에서 하부로 형성되며, 공기의 공급만으로 충분한 산소의 공급과 draft tube 내의 기체 부피분율의 증가로 인한 액체 순환으로 반응기내 입자의 유동을 유발시킬 수 있어, 전력비에 있어 상당한 절감을 가져올 수 있고, 과도성장한 bioparticle은 반응기 하부로부터 draft tube 내로 흡입됨으로써, 기포와의 직접적인 접촉을 통해 입자 외부의 미생물이 탈리되므로 일정

감도를 실험적으로 검토하고, 처리한계성에 따른 처리효율과 후정상상태로의 회복기간을 도출하여 실제 현장적용의 기초자료로 이용하고자 하였다.

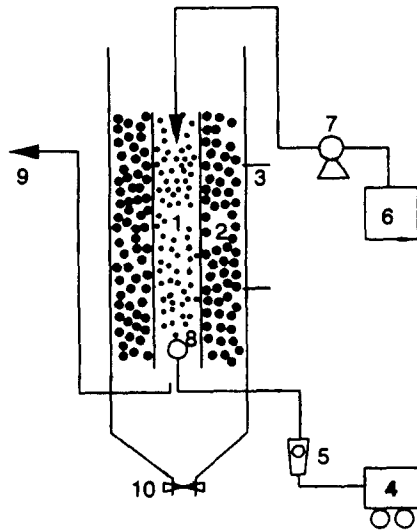
## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1. 폐수 및 미생물

본 실험에 사용한 폐수는 부산광역시 소재의 C 아파트에서 채취한 생활오수와 실험실에서 생활오수와 성분이 같게 제조한 합성오수를 모두 사용하였으며 Table 1에 원 폐수와 합성폐수의 성상을 나타내었다.

유량을 증가시킴으로써 오수의 수리학적 부하량을 증가시켰으며, 초기 미생물의 식종 (seeding)은 양산시 종합하수처리장의 반송슬

## 역유동층 생물막 반응기에서 수리학적 충격에 따른 아파트 오수의 처리



- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 1. Draft tube region | 6. Feed tank       |
| 2. Downcomer region  | 7. Feed inlet pump |
| 3. Sampling port     | 8. Air sparger     |
| 4. Air pump          | 9. Outlet          |
| 5. Rotameter         | 10. Drain valve    |

Fig.1. Schematic diagram of an IFBBR.

러지를 이용하여 합성폐수로 생물막을 형성시킨 후 본 실험에 사용하였다.

### 2.2. 실험 장치

본 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같다. 반응기는 단면적이  $66\text{cm}^2$ 이고 높이 100cm, 운전 부피가 5L이며 아크릴로 제작되었다. Bioparticle을 채취할 수 있는 시료채취구를 25cm 간격으로 3개 설치하였고, 반응기 바닥에 폐슬러지를 제거할 수 있도록 밸브를 설치하였다.

실험에 사용된 media는 EPS(expandable polystyrene)를 팽창시킨 것으로, 평균 직경이 0.85mm이고, 평균 밀도가  $0.23\text{g}/\text{cm}^3$ 이다. 미생물의 부착을 촉진시키기 위하여 media 표면에 진주암(perlite)을 도포 하였고(김동석, 1993), media 충전율은 반응기 운전부피의 18.4%가 되게 하였다.

### 2.3. 반응기 운전

반응기 온도는  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 수리학적 체류시간을 24, 12, 7, 4, 및 2시간으로 낮추어 수리학적 부하량을 0.3, 0.7, 1.4, 2.4, 및 4.

$5\text{kgCOD}/\text{m}^3\text{day}$ 로 증가시키면서 실험을 수행하였으며 정상상태에 도달한 후 충격부하 실험을 행하였다. 충격부하는 12시간의 체류시간에서 정상상태에 도달하였을 때 체류시간을 7시간으로 바꾸어 3시간 씩, 하루에 2번 3일간 충격을 주고 실험이 끝난 후 체류시간을 7시간으로 변화시켜 정상상태에 도달되게 하였다. 체류시간 7시간에서 정상상태에 도달한 후는 4시간, 체류시간이 4시간일 때는 2시간으로 체류시간을 변화시켜 충격을 주었다. 수리학적 체류시간을 제외한 모든 조건을 일정하게 하였으며, 충팽창을 위해 반응기내로 공급되는 기체 유량은  $3\text{L}/\text{min}$ 으로 일정하게 유지하였다. Table 2는 충격실험 조건을 나타낸 것으로 각 체류시간의 정상상태에서의 반응기 상태를 나타내었다.

충격을 주는 동안 SCOD, SS, DO 및 pH를 측정하였다. 충격 중에는 30분에서 1시간 간격으로 샘플을 채취하였고, 충격 후에는 1시간에서 4시간 간격으로 채취하였다. DO, pH는 반응기에 기기를 설치하여 연속적으로 관찰하였고, 유출수의 COD와 SS는 5시간마다 측정하였다.

### 2.4. 분석 및 측정방법

COD, MLSS, biofilm thickness, 및 biofilm dry density 등이 측정되어졌으며, 반응기내 용존산소와 pH는 annular tube 영역의 상부 10cm 지점에서 측정되었다. 실험의 모든 분석은 Standard Methods<sup>5)</sup>를 기준으로 행하였다.

#### 2.4.1. Biomass 농도

반응기 내의 biomass 농도는 반응기 상부에서 40cm 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(APHA, AWWA, WPCF, 1992)에 의해 측정하였다. 측정된 값에 NaOH 희석비율을 곱하여 biomass 농도로 환산하였다. 채취된 media는 측정 후 폐기시켰고, 폐기시킨 media양만큼 새로운 media를 반응기에 투입하여 반응기내의 media 양을 항상 일정하게 유지시켰다.

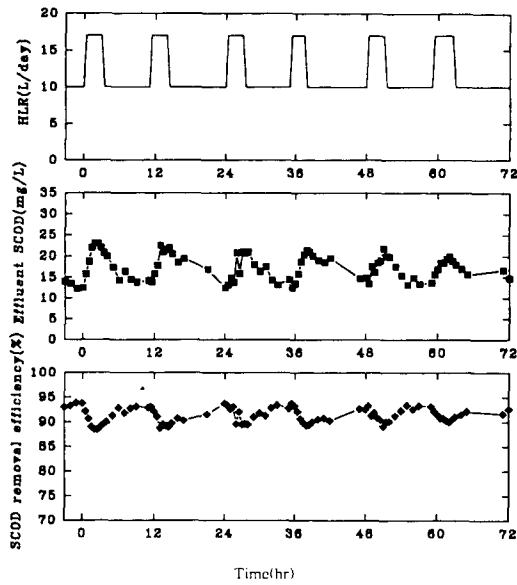


Fig.2. Variation of effluent SCOD and SCOD removal efficiency with hydraulic shock at HRT 12hr.

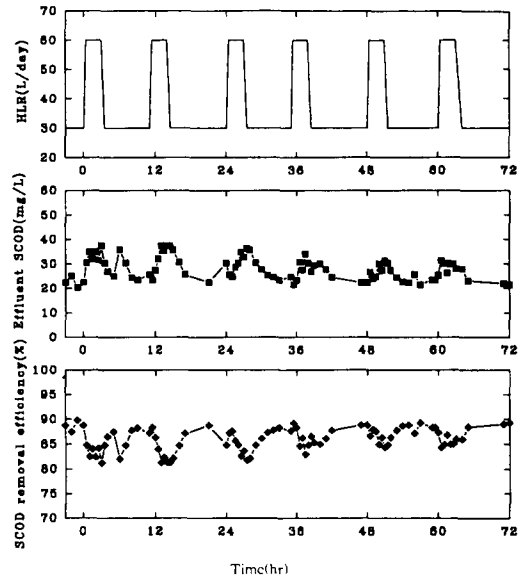


Fig.4. Variation of effluent SCOD and SCOD removal efficiency with hydraulic shock at HRT 4hr.

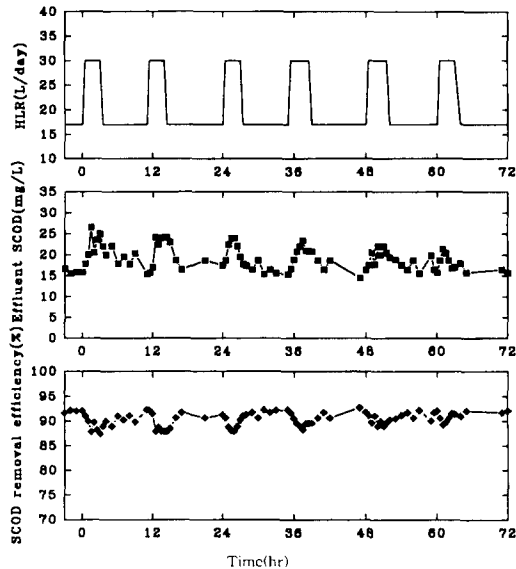


Fig.3. Variation of effluent SCOD and SCOD removal efficiency with hydraulic shock at HRT 7hr.

#### 2.4.2. 생물막 두께(biofilm thickness)

Bioparticle의 직경은 현미경(Nikon Labophot-2A 40X)에 부착된 눈금자를 이용

하여 50개 이상 직접 측정하고, 이를 평균하여 구하였다.

유동층 생물막 반응기에서 모래를 media로 하여 형성되는 bioparticle은 타원형에 가까우나, 역유동층 생물막 반응기에서 styrofoam을 media로 하여 형성되는 bioparticle은 거의 구형에 가깝다(김동석, 1994). 그러나 실험의 정밀성을 높이기 위하여 bioparticle의 장축과 단축을 측정하여 volume-equivalent(등가부피) 직경으로 전환하였으며, 평균 입자 직경은 Sauter mean diameter(Bailey, 1986)로 구하였다.

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

#### 2.4.3. 생물막 건조밀도(biofilm dry density)

생물막 건조밀도(biofilm dry density),  $\rho_{bd}$ 는 생물막 부피에 대한 건조무게의 비로 정의하며, 미생물이 부착되지 않았을 때의 입자(styrofoam)에 대한 bioparticle의 크기 비( $\gamma$ )와 초기 입자질량에 대한 부착된 생물막의 질량비( $X$ )에 의해 구하였다(Ro, 1991).

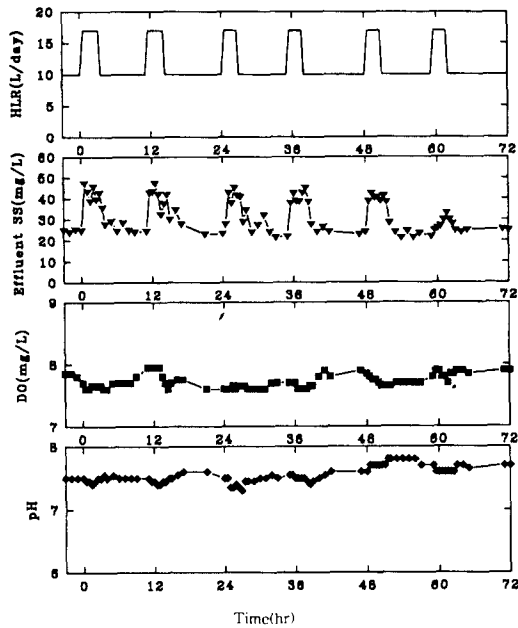


Fig.5. Variation of effluent SS, DO, and pH with hydraulic shock at HRT 12hr.

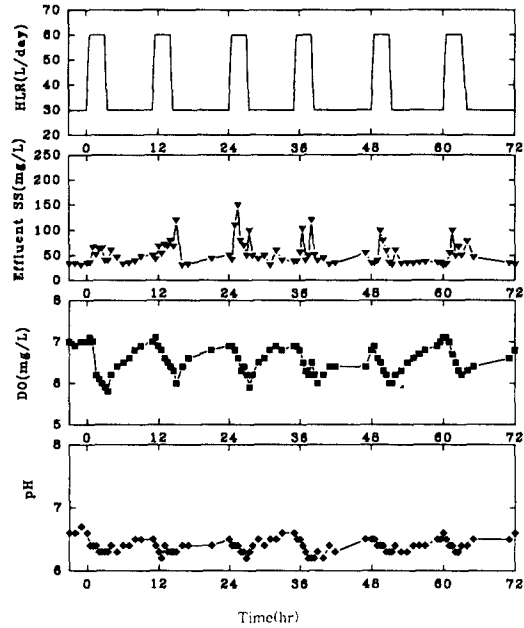


Fig.4. Variation of effluent SS, DO, and HP with hydraulic shock at HRT 4hr.

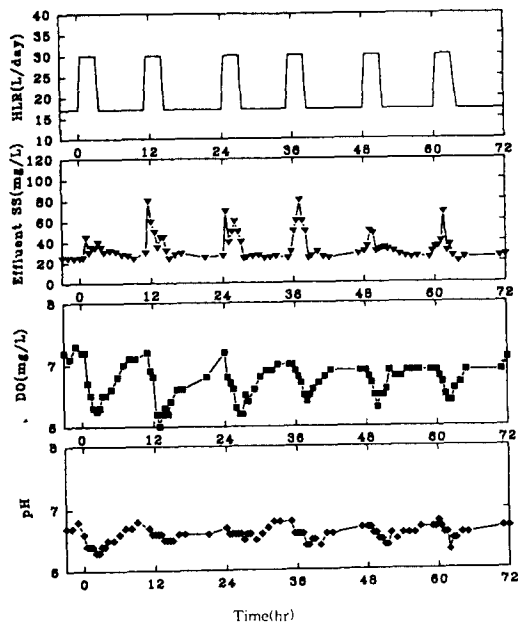


Fig.3. Variation of effluent SS, DO, and pH with hydraulic shock at HRT 7hr.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 수리학적 충격에 따른 유출수 변화

유입 SCOD를 200mg/L, 체류시간이 12시간일 때 정상상태에서 체류시간을 7시간으로 한 수리학적 부하를 0.5kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 0.86kgCOD/m<sup>3</sup>day로 3시간 씩 하루에 두 번 3일간 충격을 주었을 때 유출수의 SCOD와 SCOD제거효율을 Fig. 2에 나타내었다. 충격 전 정상상태에서 유출수의 평균 SCOD는 13mg/L로 나타났으나 충격기간중 유출수의 SCOD는 충격 초기에는 23mg/L로 나타났으며, 충격의 횟수가 증가함에 따라서 SCOD는 22, 21, 20mg/L로 서서히 감소하였고, 충격이 끝날때 마다 유출수의 평균 수질도 13 ~ 14mg/L로써 충격 전과 거의 유사한 수질을 얻었다. SCOD 제거효율은 충격을 주기 전 93.7%의 제거효율에서 최저 88.5%까지 떨어지나 충격이 끝난후 93%의 제거효율을 보여주었으며 시간이 지날수록 제거효율은 서서히 증가하였다.

체류시간이 7시간 일 때 정상상태에서 체류시간을 4시간으로 변화시켜 수리학적 부하를 0.86kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 1.5kgCOD/m<sup>3</sup>day로

Table 2. Values at steady state with various HRT

Operating Conditions	
HRT : 12hr at steady state	Influent SCOD : 200mg/L MLSS : 3200mg/L Biofilm thickness : 100µm Biofilm dry density : 0.018g/cm <sup>3</sup> Effluent SCOD : 13mg/L Effluent SS : 24.5mg/L Effluent DO : 7.2mg/L Effluent pH : 7.2
HRT : 7hr at steady state	Influent SCOD : 200mg/L MLSS : 5000mg/L Biofilm thickness : 120µm Biofilm dry density : 0.015g/cm <sup>3</sup> Effluent SCOD : 16mg/L Effluent SS : 25mg/L Effluent DO : 7.2mg/L Effluent pH : 6.6
HRT : 4hr at steady state	Influent SCOD : 200mg/L MLSS : 7560mg/L Biofilm thickness : 177µm Biofilm dry density : 0.011g/cm <sup>3</sup> Effluent SCOD : 22.5mg/L Effluent SS : 35mg/L Effluent DO : 7.2mg/L Effluent pH : 6.6

하루 두차례 3시간 동안 충격을 주었을 때 유출수 SCOD와 SCOD제거효율을 Fig. 3에 나타내었다. 수리학적 부하를 가하기 전 정상상태에서 유출수의 평균 SCOD는 16mg/L이며, 충격을 주었을 때 첫 피크에서 SCOD는 26.5mg/L, 6번째 충격시 피크에서 SCOD는 21.4mg/L로 나타나 점점 감소하였다. 충격이 끝난 후 정상상태에서 SCOD는 충격을 주기 전과 같은 농도였다.

충격을 주기 전 92.1%의 제거효율에서 최초의 충격시 SCOD 제거효율은 87.5%까지 감소하였으나 충격이 끝난 후 92%로 효율이 충격을 주기 전과 같았다.

4시간의 체류시간에서 2시간의 충격부하 즉 수리학적 부하를 1.5kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 3kgCOD/m<sup>3</sup>day로 변화시켰을 때 유출수 SCOD와 SCOD 제거효율을 Fig. 4에 나타내었다. 충격 전 정상상태에서 유출수 SCOD는 22.5mg/L였으며 충격후 피크에서의 SCOD는 37.5mg/L로써 충격전 정상상태에서의 1.67배로서 체류시간 12시간에서 충격을 주었을 때의 1.76배와 비슷하였다. 6번째 충격중

피크에서의 SCOD는 31.4mg/L로 나타나 충격이 가해질수록 피크 값이 감소하였다. 위의 결과로부터 실험범위에서 역유동층 생물막 반응기는 충격부하에 강한 것을 알 수 있었다.

### 3.2. 수리학적 충격에 따른 유출수 SS, DO 및 pH 변화

체류시간이 12시간일 때 정상상태에서 체류시간을 7시간으로 변화시켜 수리학적 부하를 0.5kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 0.86kgCOD/m<sup>3</sup>day로 충격 주었을 때 유출수의 SS, DO 및 pH를 Fig. 5에 나타내었다. SS는 충격전 정상상태에서 24.5mg/L이었고, 최초 충격시 SS는 37mg/L로 정상상태 SS값의 1.51배였다. SCOD와 마찬가지로 충격이 계속될수록 유출수의 SS는 서서히 감소하였다. DO는 충격 전 정상상태에서는 20℃의 포화 DO농도인 9.09mg/L의 79.2%인 7.2mg/L이었으며, 최초 충격시 6.8mg/L까지 감소한다. 충격을 준 후 DO 변화폭은 적으며 후정상상태에서 DO농도는 7.0mg/L이었다.

pH는 체류시간 12시간에서 7.2였으며, 6.

8까지 감소하였다가 후정상상태에서 7.0으로 되었으며 충격이 계속될수록 DO와 같이 피크 값이 감소하였다. Fig.6.은 체류시간이 7시간 일 때 정상상태에서 체류시간을 4시간으로 변화시켜 수리학적 부하가 0.86kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 1.5kgCOD/m<sup>3</sup>day로 변할 때 SS, DO 및 pH를 나타내었다. 체류시간 7시간 일 때 정상상태에서 SS농도는 체류시간 12시간일 때 유출수 SS농도와 비슷한 25mg/L이었다. 최대 피크는 두 번째 충격 때 나타났고, 농도는 80mg/L였다. 네 번째 충격을 제외하고 SS는 대체로 감소하는 경향이며, 후정상상태에서 25mg/L였다. 체류시간 12시간에서의 충격 실험과는 다르게 충격시 피크농도는 높아지지만 피크의 폭은 줄어든다. 이것은 미생물 농도가 체류시간 12시간일 때보다 더 높아서 충격에 대한 영향은 적어지나 bioparticle에 약하게 부착되어 있던 미생물이 탈착되기 때문에 피크의 농도가 높아지는 것으로 판단되었다. DO와 pH는 수리학적 부하 증가 때문에 체류시간 12시간에서 충격 때보다 감소 폭이 더 컸다.

Fig.7.은 체류시간 4시간에서 충격을 주었을 때이며 SS는 체류시간 7시간일 때와 유사한 경향을 보이며 충격 전 정상상태에서의 SS는 35mg/L였다. 최대 피크는 세 번째 충격시에 나타나며 최대 농도는 110mg/L였다. DO와 pH도 체류시간 7시간에서의와 유사한 경향을 보인다.

### 3.3. 수리학적 충격이 미생물에 미치는 영향.

본 실험조건에서는 체류시간이 12시간일 때 수리학적 충격이 미생물 농도, 생물막 건조밀도 및 생물막 두께에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단되었다. 그러나, 체류시간이 7시간 이하에서는 약하게 부착되어 있던 미생물이 탈착되는 경향이 있으나, 생물막 두께나 미생물 농도를 측정할 결과 본 실험조건에서의 충격이 생물막 두께나 미생물농도에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다.

## 5. 결 론

아파트처럼 유량이 시간에 따라 변하는 곳에서 오수를 효율적으로 처리하기 위하여 역유동층 생물막 반응기로 수리학적 충격 부하

실험을 통하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 체류시간 12, 7, 4시간일 때 정상상태에서 유기물 부하 2배의 충격을 주었을 때 정상상태 농도의 1.7배 정도로 증가하지만 충격이 끝나고 후정상상태에서는 충격전과 같은 SCOD 제거효율을 보여주며, 충격이 거듭될수록 충격의 영향이 감소하였다.

2. 유출수 SS는 체류시간이 12, 7, 및 4시간으로 감소할수록 피크에서 나타나는 유출수 SS는 증가하였으나 충격전 정상상태와 충격 후 정상상태에서 같은 값을 보였다. DO 및 pH도 같은 경향을 나타내었다.

3. 수리학적 충격이 미생물 농도, 생물막 건조밀도, 및 생물막 두께에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다.

따라서 아파트오수에서 유량이 비정상적으로 변하더라도 역유동층 생물막 반응기는 별 무리 없이 과부하된 폐수를 처리할 수 있다고 판단되었다.

## 감사의 글

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 대하여 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김동석, 안갑환, 이민규, 송승구, 1991, 생물막 유동층 반응기에서 미생물 성장에 관한 연구, 한국생물공학회지, 6(2), 115-121.
- Nikolo, L.N., and Karamanev, D., 1987, "The inverse Fluidized Bed Biofilm Reactor", Canadian J. Chem. Eng., 65, 214-217.
- 김용판, 1985, 생활계 하수의 부하변동에 관한 연구, 부산대학교, 석사학위논문, 26.
- 김동석, 최운찬, 송승구, 1993, 미생물 부착을 촉진시키는 입자의 제조방법", 특허, 93-19912.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992, 17th Ed, APHA, AWWA, WPCF, Washington D. C.
- 김동석 박영식, 윤준영, 송승구, 1994, 역 유동층 생물막 반응기에서 형성되는 저밀도 bioparticle의 자유부상특성", 대한환경공

- 학회지, 16(7), 877-884.
- Bailey, J.E. and Ollis, D.F., 1986, Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd Ed., McGraw-Hill, 482.
- Ro, K. S., and Neething, J B., 1991, Biofilm density for Biological Fluidized Beds", J. WPCF, 63(5), 815-819.