

## 고농도 유기 폐수 처리를 위한 펄스 유동식 혐기성 Biofilter의 설계 및 시운전

김동진\* · 선용호\*\* · 황경엽†

\*선경건설(주) 연구소

\*\*상지대학교 환경학과

한국과학기술연구원 환경연구센터

(1993년 9월 6일 접수, 1994년 5월 10일 채택)

## Pulsewise-Fluidized Anaerobic Biofilter Design and Start-up for High Concentration Organic Wastewater Treatment

Dong-Jin Kim\*, Yong-Ho Seon\*\* and Kyung-Yub Hwang†

\*R & D Technology Center, Sunkyong Engineering & Construction Ltd.

\*\*Dept. of Environmental Science, Sang Ji University

Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 6 September 1993; accepted 10 May 1994)

### 요 약

고농도 유기 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물을 담체에 고정하여 운전하는 생물반응기를 개발하였다. 이 반응기는 상승된 액체의 위치에너지를 이용하여 액체의 낙하시 turbulence를 유발하여 혼합을 시킨다. 미생물을 고정하는 담체로는 carbon black이 포함된 폴리우레탄 다공성 담체를 사용하였다. 폐수의 반응기내 체류시간을 초기의 15일에서 1.5일까지 변화시키면서 100일 동안 실험한 결과 용존 COD 기준 제거율이 86-95%의 효율을 보였다. COD 부하면에서 볼 때 폴리우레탄 다공성 담체에 고정된 경우 11 kg COD/m<sup>3</sup>·d에서도 90% 이상의 제거율을 보여 안정된 처리 성능을 보였다. 이것은 기존의 혐기성 소화조의 COD 제거 성능에 비해서 10배 이상 향상된 것이다.

**Abstract**—A new bioreactor(biofilter) which uses immobilized microorganisms was developed for the biological treatment of high concentration organic wastewater. Polyurethane foams with carbon black were used for the support of microorganisms. The content in the biofilter is mixed by the turbulence generated by the falling wastewater which has potential energy. During the 100 days experiment wastewater residence time was varied from 15 day to 1.5 day and soluble COD removals were 86-95%. In terms of COD load polyurethane foams showed 11 kg COD/m<sup>3</sup>·d, with 90% COD removal. This biofilter showed more than 10 times performance in COD removal than conventional anaerobic digestion.

### 1. 서 론

현대의 산업사회에서 발생하는 폐하수는 대부분 미

생물의 대사작용을 이용하는 생물학적인 방법으로 처리하고 있으며 생물학적 처리 방법중 주로 호기성 미생물에 의한 처리 방법을 이용하고 있다. 그러나 일부

산업폐수중 유기물 농도가 아주 높은 경우는 호기성 처리를 할 경우 슬러지의 발생량이 너무 많거나 포기를 위한 에너지 비용의 증가로 경제적이지 못하여 혐기성 처리 방법을 선택하게 된다[1, 2].

생물학적 혐기성 폐수처리 공정에서는 호기성 공정에 비해 운전비가 적게 들고 슬러지 생산량이 적어 슬러지 후처리 문제가 격감될 뿐 아니라 부산물로 가연성인 메탄 가스를 얻을 수 있어 경제적으로 훨씬 유리할 수 있으나 혐기성 소화조와 같은 기존의 생물반응기에서는 반응속도가 느리고 반응이 불안정하여 반응기의 용적이 커야 하는 관계로 투자비가 많이 드는 반대급부가 따른다. 미생물의 활성은 pH와 온도에 따라 크게 영향을 받는다. 메탄 발효의 적절한 pH값은 대개 6.5와 7.4 사이에 놓여 있다. 미생물의 혐기성 대사 작용에 의해 유기물이 분해되는데 분해는 산 생성균과 산을 소비하는 메탄 생성균의 자연적 공생 관계에 의하여 이루어 진다 [1]. 그러나 만일 산 생성균과 산을 소비하는 균 사이에 평형이 깨어져 반응기내에 유기산이 축적되며 그 결과 반응기내의 pH가 낮아져서 메탄 생성균의 활동을 저해하게 되어 미생물 간의 균형이 깨어지면서 혐기성 공정에 장애가 발생된다. 한편 pH가 8 이상 올라가면 예로써 단백질 분해시의 경우와 같이 유리 암모니아가 많이 발생하여 공정에 장애를 초래하게 된다. 대개 산과 암모니아의 생성폭이 크게 변하지 않으면 반응기내에서의 pH는 완충작용을 하는 이산화탄소와 carbonate에 의해 거의 일정하게 유지된다. 그러므로 pH 값이 떨어지고 산농도가 증가하며 생성 가스에 탄산가스 함량이 증가하는 것은 공정의 불안정을 나타낸다.

혐기성 공정에서의 낮은 반응속도는 일차적으로 혐기성 미생물의 낮은 성장속도에 기인된다. 그러므로 여러 가지 형태의 새로운 반응기들은 기질이 포함된 폐수와 미생물과의 체류시간을 분리하여 반응기내의 미생물 농도를 높이는 방법에 그 개발의 초점을 모아 왔으며 대표적인 예로는 미생물을 반응기 외부 또는 내부에서 기질과 분리하여 반응부위로 반응시키거나 담체에 미생물을 고정화하여 반응기에 잔류시키는 방법이 있다. 그러나 미생물을 고정화함으로써 나타나는 물질 전달 저항의 증가와 담체의 충전으로 발생하는 단락(channeling) 현상은 이 방법이 안고 있는 큰 단점이기도 하다[3-8].

또한 미생물의 혐기성 유기물 분해 대사에 의해 생성되는 바이오 가스가 미생물의 표면에 부착되면 기질의 물질전달이 저해된다. 물질전달은 바이오 가스가 붙지 않은 쪽으로만 이루어지므로 이 저해현상은 미생물막의 경우 더욱 심하게 나타날 수 있는데 이는 미생물이 담체와 기포에 의해 외부와 완전히 차단될 수 있기 때문

이다. 'Hwang'의 실험[10]에 의하면 맥동탐과 유사한 실린더 모양의 내부에 교반장치가 설치되어 있는 pulsed reactor에서 교반장치를 정상적으로 가동시키다가 한시점부터 전혀 가동시키지 않았을 때 이 기포 집적에 의한 물질전달의 저해로 처리 효율이 현격히 떨어졌다. 그러므로 특히 담체를 사용할 경우 미생물 표면에 붙은 기포는 될수록 신속히 제거되어야 한다.

지금까지 고찰하여 본 혐기성 공정과 반응기의 특성들에 대해서 요약해 보면 혐기성 반응기의 성능도 반응기내 활성화된 미생물의 농도가 높으면 호기성 반응기에서의 성능에 유사할 수 있다. 혐기성 공정에서 이 조건이 맞추어 지려면 우선 생물학적인 측면에서 기질과 주변 조건이 미생물의 성장조건에 최적이 되어야 하겠고 [1, 2] 미생물과 기질의 체류시간을 분리하여야 한다. 반응기내에서 미생물로의 물질전달이 원활해야 하며 이를 위하여는 기질과 미생물과의 접촉 계면적이 될수록 커야 한다. 그러므로 미생물은 반응기내에 될수록 균일하게 분포되어 있어야 한다.

미생물을 고정화할 경우 미생물의 균일한 분포를 위하여는 미생물의 부착면이 균일하게 분포되어 있어야 하며 이 면을 향한 유체흐름이 강하고 균일하여야 한다. 미생물에 붙은 기포는 될수록 신속히 제거되어야 한다. 반응기의 성능과 아울러 마무리 효과가 좋으려면 반응기는 다단식 연속교반기 형태나 관형반응기의 형태이어야 한다.

본 연구에서는 혐기성 공정용 고성능 생물반응기를 개발하기 위하여 새로 고안된 실험실 규모의 펄스 유동식 혐기성 biofilter를 제작하여 고농도 쌀보리 주정 폐수를 사용하여 이 생물반응기의 성능을 실험하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1. 펄스 유동식 Biofilter의 구조 및 작동 방법

본 실험에 사용하기 위하여 개발된 혐기성 biofilter는 미생물을 고정화하기 위하여 carbon black이 첨가된 폴리우레탄 담체가 충전되었으며 고정화된 미생물로의 물질전달을 원활히 하기 위해 반응기내의 내용물이 일정한 시간 간격으로 빠른 속도로 낙하하도록 하여 담체 표면에 강한 turbulence가 일어나도록 하였다.

Fig. 1은 본 실험에 사용한 biofilter 장치를 개략적으로 나타낸 것이다. Biofilter의 주요 구성 성분은 반응기(9)와 완충조(3), 기질을 완충조로부터 반응기로 운반하는 펌프(4)와 개폐 장치가 달린 밸브(5)이다. 반응기의 기체층은 액체 유동시 발생하는 압력 변화를 막기 위해 완충조와 아크릴로 만든 연결관으로 연결되어 있어 평형 수면(8)을 알 수 있으며 콘트롤박스(6)는 펌프와

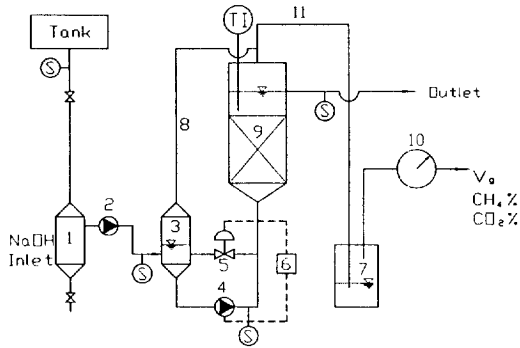


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup.

- Tank : Wastewater tank TI : Temperature  
S : Sampling valve indicator  
1. Wastewater storage  $V_g$  : Gas composition  
2. Inlet pump 8. Equilibrium state  
3. Buffer vessel level  
4. Pump 9. Reactor  
5. Solenoid valve 10. Wet gas meter  
6. Control box 11. Gas tubing  
7. Safety device

개폐 발브의 작동을 조절한다.

생물반응기 몸체는 내경이 185 mm인 아크릴 원통으로 되어 있으며 직경과 높이의 비는 약 1:7.5이다. 내부에는 미생물을 고정화시키기 위하여 세개의 단으로 담체를 충전하였다. 한 단의 높이는 400 mm로서 반응기 직경의 약 2배이며 한 단내의 담체 겹보기 충전율은 80 %로 하였다. 한편 유체 흐름시 반응기내의 압력강하를 줄이기 위하여 유출구의 직경은 25.4 mm로 하였다.

폐수 저장조(1)에서 유입수 펌프(2)에 의해 완충조(3)로 운반된 폐수는 이곳에서 어느 정도 희석된 후 운반펌프(4)가 작동될 때 반응기(9)로 운반되며 상부의 유출구로 나간다. 반응기(9)는 항온순환조에 의해 등온상태로 유지된다. 발생된 가스는 가스관(11)을 통하여 안전장치(7)를 거쳐 가스저장조(10)에 저장된다.

Fig. 2에 나타난 반응기에서 낙하하는 유체는 완충조(1)에 채워진 후 연결관(7)으로 상승하여 Fig. 2의 (B) 상태에서와 같이 반응기와 연결관 양쪽의 수면은 평형을 이룬다. 이 평형면과 유출구의 높이 차는 15 cm로 하였다. Fig. 2의 (B)의 상태에서 개폐발브(4)가 닫히고 펌프(2)가 작동되면 어느 정도 시간이 지난 후 다시 (A)의 상태가 된다. 즉 전 공정은 이 두개의 상태 사이에서 반복된다. 실험에서는 펌프(2)의 작동시간을 10분으로 하여 (A)의 상태가 되게 하였고 이 상태에서 10분간 정지 후 발브(4)가 열려서 (B)의 상태가 되게 하였으며 이 상태에서 5초 후에 다시 발브가 잠기면 펌프가 작

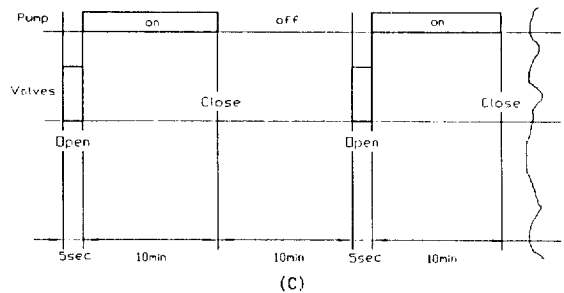
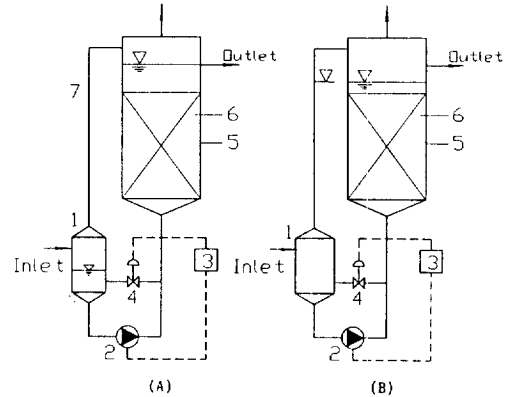


Fig. 2. Wastewater levels in the biofilter after the pumping (A) and after the falling (B), and time cycle (C).

1. Buffer vessel 5. Reactor  
2. Pump 6. Packing  
3. Control box 7. Equilibrium state level  
4. Solenoid valve

동되도록 하였다. Fig. 2의 (C)는 본 실험에서 사용된 펌프(2)와 발브(4)의 작동시간을 나타낸 것이다.

실험 기간중 반응기의 온도는 36°C로 맞추었다. 쌀 보리 폐수의 pH값은 약 3.8 정도이어서 가성소다 0.1 N로 pH를 약 6.5로 조절한 상태에서 새로이 고안된 반응기의 성능을 실험하였다. 반응기는 중량천에서 가져온 슬러지로 seeding 하였다.

## 2-2. 담체

Fig. 3은 충전된 폴리우레탄 다공성(polyurethane foam) 담체의 사진이며 Table 1에는 이 담체들의 성상을 나타내었다. 폴리우레탄 담체에는 carbon black을 첨가하여 비중을 약 1.4 g/ml 정도로 유지하였다.

## 2-3. 사용폐수 성상

실험에 사용한 주정 폐수는 만월공단내의 (주)진로 식품에서 발생하는 쌀보리 폐수의 belt press 여액이다. 주정공장에서 발생하는 여러 가지 폐수중 쌀보리 폐수는



Fig. 3. Polyurethane foams with carbon black for the support of microorganisms.

Table 1. Specifications of the polyurethane foam

	Polyurethane foam
Size(mm)	$\phi 20 \times \phi 6 \times 20$
Apparent density(g/L)	0.03
Density(g/L)	1.40
Porosity(%)	98
Specific surface area(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	1200

Table 2. Characteristics of the wastewater

pH	3.8
COD(K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	22,000-30,000 mg/l
COD(KMnO <sub>4</sub> )	5,400-7,100 mg/l
Suspended solid	3,500-5,000 mg/l
Temperature	70-80°C
Color	Brown

현장근무자 경험에 의하면 가장 문제가 되는 것으로서 타 폐수의 경우 체류시간 약 15일에 대해 제거율 80%가 가능하나 썰보리 폐수의 경우는 제거율이 이 값에 훨씬 못 미치는 것으로 알려져 있다. Table 2는 실험에 사용한 (주)진로식품에서 발생하는 주정 폐수의 성상을 나타낸 것이다.

## 2-4. 측정 항목 및 방법

### 2-4-1. 기포 제거율

기포 제거율 측정 실험방법은 다음과 같다[10]. (1) 패킹(packing)내의 공기 기포를 완전히 뽑아낸다. 이 때 패킹 길이 측정( $h_1$ ), (2) 위 컬럼(column)의 밑에서 공기 기포를 보내준다. 컬럼의 패킹내에 공기 기포가 차 어느 정도 정상상태가 되면 이 때 패킹 길이( $h_2$ )를 측정한다.

$$h_{g0} = h_2 - h_1$$

(3) 이것을 일정한 유속으로 하강시킨다. 정해진 위치에 도달하면 이 때 패킹 길이( $h_3$ )를 측정하면

$$h_g = h_3 - h_1$$

이 때 기포 제거율( $\epsilon_g$ )은 다음과 같다.

$$\epsilon_g = \frac{V_{g0} - h_g}{V_{g0}} = \frac{h_{g0} - h_g}{h_{g0}}$$

여기서,  $V_{g0}$ : 처음 패킹내 기포 부피

$V_g$ : 정상상태에서의 패킹내 기포 부피

### 2-4-2. 가스 분석

배출되는 가스량은 수상치환법을 이용하여 측정하고 가스 조성은 가스량 측정장치에서 일정량의 가스를 샘플링병(sampling bottle)으로 채취하여 이것을 실린지(syringe)를 이용하여 gas chromatograph에 주입한다. 분석에는 Yanaco G 1800 gas chromatograph에 1/8 inch stainless steel의 Porapak Q(A/W 100/120 mesh) 컬럼(column)을 사용하였다. 열전도 검출기(thermal conductivity detector)를 사용하여 분석하고 운전 온도는 컬럼 60°C, 인젝터(injector) 100°C, 검출기(detector) 100°C였다. Carrier gas로는 He(30 ml/min)를 사용하였다.

### 2-4-3. 온도, pH, COD, 고형물 함량 분석

생물반응기 내부 용액의 온도는 박테리아의 증식과 부산물인 바이오 가스의 생산에 큰 영향을 끼치므로 용액 온도의 정확한 제어가 필요하며 따라서 정확한 온도 측정이 요구된다. 온도는 열전쌍(thermocouple)에 의한 디지털(digital) 온도계로 측정하였고 반응기의 온도는 일정하게 온도가 유지되는 워터 자켓(water jacket)에 의하여 일정하게 유지하였다.

시료의 pH값은 pH 측정기(WTW, pH 91)로 측정하였다. 용존 COD(이하 COD) 측정은 시료를 2,000 rpm으로 10분 원심분리한 후 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>에 의한 Dr. Lange Cuvette Test법[12]에 의하여 수행하였다. 고형물(total solids) 함량은 Standard Methods 방법[11]으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 검토

### 3-1. Pulse 유동에 의한 Biofilter에서의 기포 분리 특성

반응기에서의 교반효과는 Fig. 2에 나타나 있듯이 유체의 낙차에 의해 이루어 진다. (A)의 상태에서와 같이 유체의 위치에너지가 저장된 상태에서 발브(4)를 열면

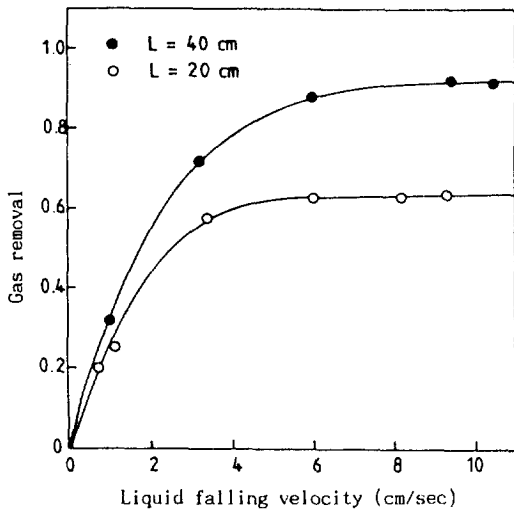


Fig. 4. Effect of liquid falling velocity on gas removal.

Table 3. Total solids contents in polyurethane foam

Reactor position	Total solids (g/L)	Volatile solids (g/L)
Influent	29.0	24.5
Top	136.5	78.4
Intermediate	153.3	88.0
Bottom	182.0	104.4

유체는 반응기(6)내에서 빠른 속도로 낙하하여 (B)의 상태로 된다. 유체의 낙하시 담체에 발생하는 강한 turbulence에 의해 교반 효과와 함께 담체에 붙어 있던 기포도 떨어지게 된다.

Fig. 4는 유체의 낙하속도와 낙하길이(시간)에 따른 기포의 제거율을 나타낸 것이다. 20 cm 패키징을 하강시키는 경우, 유속이 증가하면  $\epsilon_g$ 도 증가하다가 유속이 6 cm/sec 이상에서는 거의 일정한 값을 갖는다. 이 때  $\epsilon_g$ 는 약 0.62이다. 40 cm 패키징을 하강시키는 경우, 유속의 증가에 따라  $\epsilon_g$ 가 증가하다가 유속이 8 cm/sec 이상에서는 거의 일정한 값을 가지며 이 때  $\epsilon_g$ 는 약 0.9이다. 또한 40 cm의 경우가 20 cm의 경우보다 각각의 유속에서  $\epsilon_g$ 값이 더 크다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 같은 양의 에너지가 투입되었을 때 기포 제거율은 약 6 cm/sec까지 낙하 속도가 클수록 또한 속도가 같은 경우 낙하 길이가 길수록, 즉 낙하 시간이 길수록 증가한다. 본 실험장치에서는 유체의 낙하 속도를 약 7 cm/sec가 되게 하였다.

### 3-2. 담체에 고정화된 고형물 농도 및 미생물 전자현미경 사진

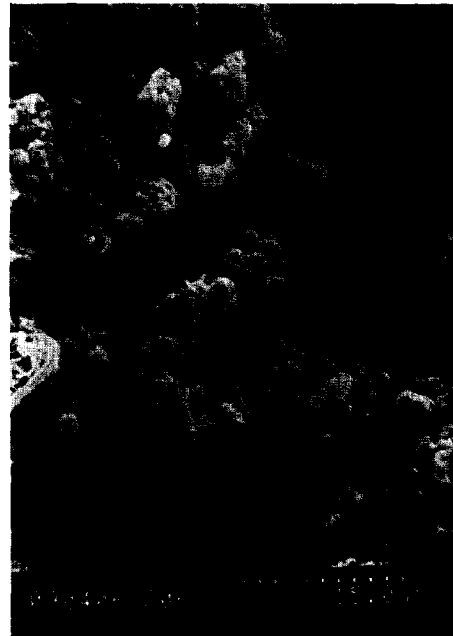


Fig. 5. Scanning electron microscope of immobilized microorganisms on the polyurethane support.

Table 3은 원폐수의 고형물 농도와 폐수의 체류시간 1.5일에서의 담체(polyurethane foam)에 고정화된 고형물(total solids) 농도를 나타내었다. 균이 고정화된 스폰지의 무게에서 균이 고정화되지 않은 새로운 담체의 무게를 비교하여 고형물 농도를 구하였으며 담체에서의 휘발성 고형물 농도(담체 단위 부피당)는 biofilter 하부에서 104.4 g/l, 중간층에서 88.0 g/l, 상부에서 78.4 g/l로 농도 구배를 나타내고 있다. 이는 유입구에 가까운 하부에 기질의 농도가 높아 미생물의 증식 속도가 높고 상부에서는 대부분의 기질이 분해되어 미생물 농도가 낮은 것으로 생각된다. 반응기 부피당 미생물 농도를 추산하면 다음과 같다. 담체의 휘발성 고형물 농도에서도 입 폐수의 그것을 제외하고 또한 반응기내에 약 80%가 담체로 충전되었고 충전층 사이의 공극률이 약 30%로 볼 때 반응기 하부에서의 단위 부피당 미생물 농도는  $44.8 \text{ g/l} / [(104.4 - 24.5) \times 0.8 \times 0.7 = 44.8]$ 로 추산된다.

Fig. 5는 담체에 부착된 미생물의 전자현미경(Scanning Electron Microscopy) 사진의 모습을 보여 준다.

### 3-3. 폐수의 COD 농도 및 제거율

Fig. 6은 유동성 혐기성 biofilter 공정에서의 유출 및 유입수의  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 법에 의한 COD 농도 및 폐수의 반

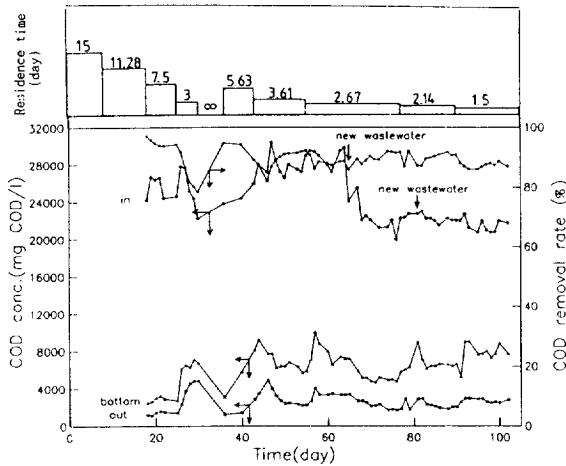


Fig. 6. COD concentration profiles and COD removal rate during the experiment.

용기내 체류시간에 따른 COD의 제거율을 나타낸 것이다. 중화시 유입수의 COD 값은 원폐수 보다 낮아지며 감소량은 약 10%까지 달한다. 이와같은 감소는 가성소다액의 희석 효과와 함께 가성소다 투입으로 인한 침전물 형성에서 기인하는 것으로 추정된다. 유입수 농도에 편차가 있는 것은 (주)진로식품에서 발생하는 폐수의 농도가 일정하지 않음을 나타내는 것이며 원폐수 농도가 서서히 줄어드는 것은 폐수 저장 탱크내에서 진행되는 산발효에 의한 것이다.

초기 체류시간은 (주)진로식품의 체류시간에 맞추어 초기 가동시에는 15일로 하였고 공정의 진행에 따라 차츰 줄었다. 전체 흐름에서 우선 나타난 것은 체류시간을 줄인 후에는 제거율이 일단 떨어졌다가 다시 상승하는데 이는 한편으로는 반응기내의 미생물이 포화되지 않은 상태를 의미하며 다른 한편으로는 미생물이 새로 높아진 부하 속도에 적응하는 시간이 필요함에 따라 나타난 것으로 추정된다. 정상상태에 이르렀을 때 제거율은 각각의 조작 조건에 따라 조금씩 달라지지만 거의 모든 체류시간에서 약 86-95%의 범위에 있다.

반응기에 도입되는 부유고형물(SS)은 3,500-5,000 mg/L이고 반응기에서 약 65% 제거되어 배출되었다. 별도의 침전지가 반응기 뒤에 설치되어 침전물을 반응시키면 침전지 배출수에서의 총 COD는 용존 COD와 거의 같다. 따라서 이러한 처리 system에서의 총 COD 제거율은 용존 COD 제거율(86-95%)보다 더 높게 된다.

### 3-4. 가스 생성량 및 조성

Fig. 7은 체류시간에 대한 가스 1일 생성량 및 생성된 바이오 가스중 메탄 함량을 나타낸 것이다. 가스 생성

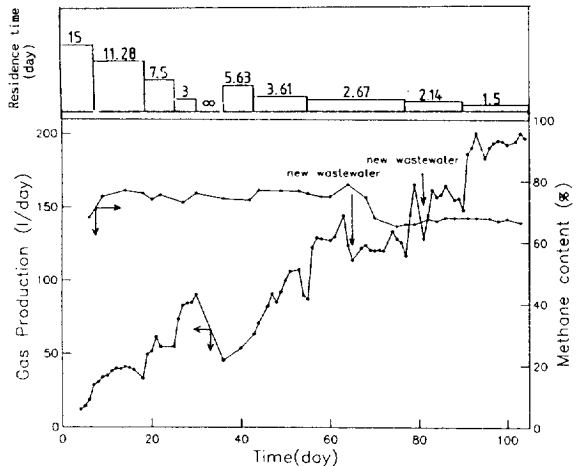


Fig. 7. Biogas production and methane content of biogas during the experiment.

량은 체류시간이 줄어감에 따라 계속 상승됨을 알 수 있다. 그러나 체류시간 1.5일에서의 가스 생성량에 나타나 있듯이 체류시간이 같아도 가스 생성량의 차이가 나타나는 것은 유입수의 농도가 다른데 기인하는 것이다. 가스중 메탄의 함량은 초기에는 약 75%까지 달하였으나 체류시간이 짧아짐에 따라 약 65%로 낮아졌으며 이는 짧은 체류시간에 의해 메탄 발효가 완전히 진행되지 못한 때문으로 사료된다. 메탄을 제외한 나머지는 거의 탄산가스이며 1% 정도는 다른 성분이다.

Fig. 8은 부하속도에 대한 가스 생성율과 제거율을 나타낸 것이다. 이 값들은 공정이 각각 정상상태에 도달하였을 때의 값을 취한 것이며 여기서 부하속도와 가스 생성율은 다음과 같이 정의되었다.

$$\text{부하속도} = \frac{\text{하루당 반응기에 유입된 COD량}}{\text{반응기 용적}}$$

$$\text{가스 생성율} = \frac{\text{하루당 생성된 가스량}}{\text{반응기 용적}}$$

이 그림의 값들은 폴리우레탄을 담체로 사용한 전 실험 기간에 걸쳐 측정된 것이다. 모든 값들이 부하속도에 대하여 일정한 함수관계에서 벗어나지 않는 것은 담체, 기포에 의한 단락현상 등 물질전달 저항에 대한 영향이 거의 없음을 나타낸다. 폴리우레탄을 담체로 사용하였을 때 제거율은 부하속도가 약 11 kg COD/m<sup>3</sup>/d가 될 때까지 약 90% 선에서 거의 변하지 않다가 부하속도가 약 14.5 kg COD/m<sup>3</sup>/d일 때 약간 감소하여 약 88%를 나타냈다.

가스 생성율은 부하속도와 거의 선형관계로 증가하여

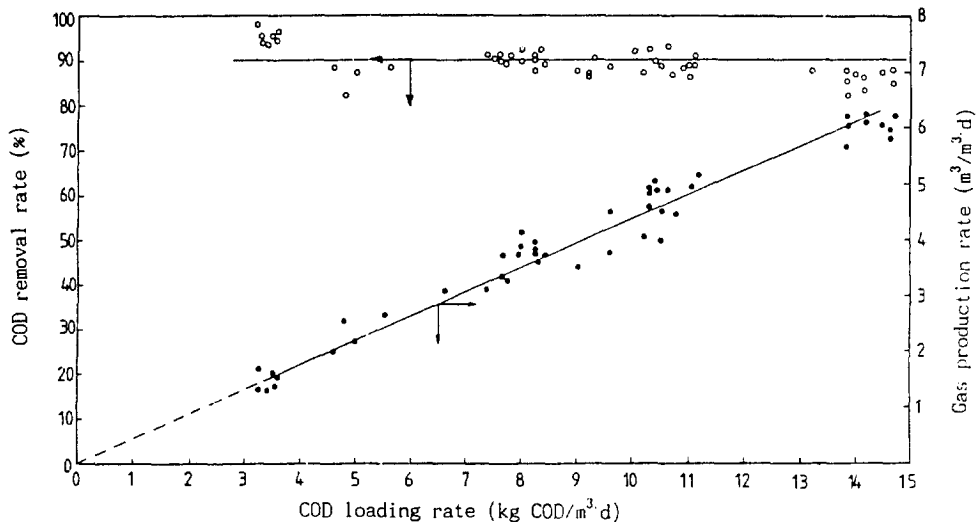


Fig. 8. Effect of COD loading rate on COD removal and gas production rate.

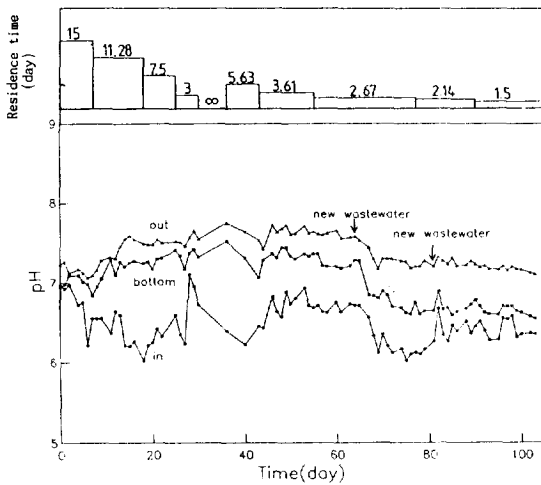


Fig. 9. pH variations during the experiment.

부하속도가  $14.5 \text{ kg COD/m}^3/\text{d}$ 에서는 약  $6.2 \text{ l/l/d}$ 에 달하였다. 반응기에 도입된 COD kg당 생성된 가스의 양을 Fig. 8의 기울기로부터 구하면 이는  $0.43 \text{ m}^3/\text{kg COD}$ 이고 혐기성 분해된 COD kg당 가스의 양은  $0.43/0.9=0.48 \text{ m}^3/\text{kg COD}$ 이다. 메탄 가스의 생산량으로 보면 가스중 메탄 함량이 평균 70%라고 보면 제거 COD kg당  $0.34 \text{ m}^3$ 의 메탄이 생성된다.

### 3-5. pH 변화

Fig. 9는 유입수 및 반응기 하부(bottom), 유출수의 pH값을 나타내었다. 유입수의 pH값이 서로 편차를 보

Table 4. Sludge volume indices(SVI) of the wastewater at the reactor bottom and the effluent

Time(day)	SVI <sub>Bot</sub>	SVI <sub>Eff</sub>
30	91	251
42	50	260
123	57	55
155	56	55

이는 것은 사용한 폐수가 유입수 저장조에서 산발효되고 있음에 기인한다. Fig. 9에서 보면 이 현상은 새 폐수의 경우에 더욱 두드러지게 나타나는데 그 이유는 64일까지 사용한 폐수는 반응기내 폐수의 긴 체류시간에 따라 여름에 저장탱크에서 장기간 머물러 있어서 산발효가 많이 된 상태이었고 새 폐수는 (주)진로식품에서 운반되어 온 기간이 짧아 산발효가 아직 거의 안된 상태이기 때문이다. 이에 따라 유출수의 pH값도 체류시간보다는 첫번째 폐수와 새 폐수에 따른 차이에 의해 더 크게 나타난다. 유출수와 반응기 하부 시료의 pH값의 거동은 거의 비슷한 경향을 보이나 그 차이는 체류시간이 감소함에 따라 더 크게 나타나며 특히 새 폐수일 때 차이가 더 크게 나는데 이는 체류시간이 짧아질수록 반응기 하부에서 산발효가 더 왕성하게 일어나기 때문으로 추정된다.

### 3-6. Sludge Volume Index(SVI)

Table 4는 반응기 하부와 유출수의 Sludge Volume Index(SVI)를 나타낸 것이다. 실험이 진행됨에 따라 SVI는 점차 낮아지며 우선 반응기 하부에 침전성이 좋은

미생물이 집결한 후에 유출수의 SVI도 낮아진다. 이때의 SVI는 약 55로서 아주 높은 침전성을 나타내고 있다. 본 반응기에서 SVI가 이와 같이 낮은 것은 pulse에 의하여 반응기내에 주기적으로 높은 유속이 발생함에 따라 부착성이 좋은 미생물만 선별적으로 반응기에 잔존함에 기인하는 것으로 추정된다.

#### 4. 결 론

짧은 체류시간에 높은 처리 효율을 가지는 혐기성 생물반응기가 갖춰야 할 조건들을 고찰하여 새로운 형태의 유동성 생물반응기(biofilter)를 고안하였다. 본 biofilter의 특성은 반응기내에서 높은 미생물 농도를 유지하고 그에 따른 신속한 물질전달이 일어나게 하는 것이다. 본 실험에서 개발되어 사용된 펄스 유동식 혐기성 biofilter는 쌀보리 주정폐수를 사용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 쌀보리 주정폐수를 희석하지 않고 폴리우레탄 다공성 담체에 미생물이 고정화된 biofilter에 직접 투입하여 약 100일 동안 안정적으로 운전하였으며 폐수 체류시간 1.5일, COD 부하속도  $11 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 제거율이 약 90%에 달하였다.

(2) 쌀보리 주정폐수의 혐기성 처리 결과로 COD 부하로  $14.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서 가스의 생성율은  $6.2 \text{ l STP/l/d}$ 에 달하였고 이 중 메탄의 함량은 전체 실험 기간을 통하여 65-75% 정도로 유지하였다.

(3) Biofilter내에 존재하거나 반응기로부터 유출되는 미생물군의 침전성이 높아 반응기의 성능 유지와 슬러

지의 처리에 유리하다.

#### 참고문헌

1. Ghosh, S. and Klass, D. L.: *Process Biochem.*, **64**, 15(1978).
2. Zitomer, D. H. and Speece, R. E.: *Environ. Sci. Technol.*, **27**, 226(1993).
3. Young, J. C. and McCarty, P. L.: *J. Water Poll. Contrl. Fed.*, **41**, 160(1969).
4. Young, J. C. and Yang, B. S.: *J. Water Poll. Contrl. Fed.*, **61**, 1576(1989).
5. Switzenbaum, M. S.: *J. water Poll. Contrl. Fed.*, **54**, 592(1982).
6. Howerton, D. E. and Young, J. C.: *J. Water Poll. Contrl. Fed.*, **59**, 788(1987).
7. Nakhla, G. F. and Suldan, M. T.: *J. Environ. Eng.*, **118**, 495(1992).
8. Kennedy, K. J., Hamoda, M. F. and Droste, R. L.: *J. Water. Poll. Contrl. Fed.*, **59**, 212(1987).
9. Jewell, W. J., Nelson, Y. M. and Wilson, M. S.: *Water Environ. Research*, **64**, 756(1992).
10. Hwang, K. Y.: *Doktor-Ingenieur*, Berlin(1986).
11. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Trussell R. R.: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", American Public Health Association(1989).
12. Dr. Lange: "Handbuch Manuel Digital-Photometer LP1W", Dr. Bruno Lange GmbH-Berlin(1987).