

## 유동층 생물반응기의 구조변화에 따른 하수처리

### Sewage Disposal by Different Structure of Fluidized Bed Biofilm Reactor

박종만<sup>1</sup> · 이재용<sup>1</sup> · 김철경<sup>2</sup> · 고창웅<sup>3</sup> · \* · 김남기<sup>1</sup>

Park, Jong-Man<sup>1</sup> · Lee, Jae-Yong<sup>1</sup> · Kim, Chul-Kyoung<sup>2</sup>  
Koh, Chang-Woong<sup>3</sup> · Kim, Nam-Ki<sup>1</sup>

1 성균관대학교 화학공학과  
2 목원대학교 응용화학과  
3 삼척대학교 화학공학과

(2004년 1월 12일 접수 ; 2004년 3월 22일 최종수정논문채택)

#### Abstract

The purpose of this study is to investigate the biofilm reactors capable of doing high efficiency treatment. Vertical fluidized bed biofilm reactor(VFBBR) and spiral fluidized bed biofilm reactor(SFBBR) was used for their performance in biodegradation of artificial sewage. The factors influencing the efficiency of those reactors were compared with difference of physical condition. They had same size but different structure to gain access of its unique characteristics. When recycle solution with flow rate of 22 mL/min and artificial sewage with flow rate of 2~10 mL/min were fed into two reactors in aerobic state, the average COD<sub>Cr</sub> removal rate for biodegradation of SFBBR was greater than VFBBR. After reactor feed sewage was constantly maintained as flow rate of 4 mL/min and the recycle solution were changed to 10~32 mL/min respectively, the average COD<sub>Cr</sub> removal rate of artificial sewage in SFBBR was greater than VFBBR. In this experiment for addition of support media into two reactors SFBBR was 4.1% excellent than VFBBR. Above all, SFBBR excelled VFBBR in biodegradation of organic matter in sewage.

**Key words:** Biofilm reactor, Fluidized bed biofilm reactor

**주제어:** 생물반응기, 유동층 생물반응기

#### 1. 서론

인구증가와 더불어 산업이 발달하면서 하수의 배

출량이 늘고 농도가 높아 미생물에 의한 기존 처리 방식으로는 처리 용량이 부족하여 수질오염이 확산되면서 점차 물 부족 현상이 나타나고 있다(Ministry of environment, 2001). 이 처리 시설의 신·증설은 부지

\* Corresponding author Tel: +82-33-570-6541, E-mail:cwkoh@samcheok.ac.kr (Koh, C. W.)

확보 난과 막대한 건설비가 소요되어 적기에 이루어지지 않고 있으므로 우선 처리공정의 효율을 높이는 대안이 절실한 상황이다.

이에 따라 활발하게 연구되고 있는 공정 중에 수직관 유동층 생물 반응기에서 산업폐수를 처리하여 95%의 생분해 효과를 나타낸 호기성에 대한 연구결과가 보고된 바가 있다(Park 등, 1993). 활성탄을 담체로 하여 혐기성으로 유기물을 분해한 반응기, 반응기 내부를 2상과 3상으로 한 상변화에 관한 연구(Shim, 1995; Kim 등, 1993; Choi 등, 1994), 역유동층 반응기로 동력비를 절감하고 80%~95% 생분해 효과를 이룬 유로변경에 대한 연구 및 섬유상 담체와 가공한 담체를 이용하여 고농도 폐수를 93% 생분해시킨 담체 종류에 관한 연구 등이 모두 수직형 반응기에서 수행되었다(Kim 등, 1994; Park 등, 1997; Lee 등, 1995).

각 연구 결과를 보면 유동층 생물 반응기는 다른 형태의 미생물을 이용하는 공정에 비해 설치면적이 적고 고농도 폐수처리와 부하변동에 탄력적이며 처리시간이 단축되는 장점이 있다. 그러나 이런 형태의 반응기를 중수도용을 포함한 소규모에 사용하여 보다 효율이 높은 폐수처리를 하기에는 규모면에서 부적합한 부분이 있다(Lee 등, 1995). 본 연구에서는 유동층 생물반응기에서 유기물질의 생분해능을 향상시켜 장치규모를 더 적게 하여 고부하 처리를 가능하게 함으로써 좁은 설치면적에 적용할 수 있는 반응기 개발에 착안하였다. 대부분인 수직형 반응기내에서 수직으로 올라가는 상향유체가 담체와 빈번한 접촉을 가능하게 하기 위하여 반응기 구조에 따라 상향유로가 변경되도록 나선형 구조를 고안하였다. 지금까지 사용하고 있는 수직형 반응기와 동일 규격의 나선형 반응기를 같은 조건으로 운전하여 그 차이점을 서로 비교함으로써 고효율 반응기의 설계에 필요한 자료를 얻고자 실험을 수행하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 담체

본 연구에서 반응기내에 충전한 유동 담체로는 Table 1에서 보는 바와 같은 동해안 석호에서 생산한 모래를 사용하였다.

Table 1. Physical characteristics of support media

Specific gravity	2.57g/cm <sup>3</sup>
Diameter	246-426 $\mu$ m(+35/-60mesh)
Specific surface area	193.6cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
Voidage	0.42cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
Frictional loss	0.3

Table 2. Composition of artificial sewage

Component	Concentration(g/L)
Corn Starch	3
Nutrient Broth(beef)	0.01
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1
KCl	0.14
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	0.5
NaCl	0.3
MgSO <sub>4</sub>	0.1
CaCl <sub>2</sub>	0.14
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.5
MnSO <sub>4</sub>	0.1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.1
FeCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.1

### 2.2. 합성하수

Table 2와 같이 조제한 합성하수를 실험에 사용하였다. 미생물의 증식에 적절한 pH 7.0-7.5를 유지하기 위하여 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 첨가하였다(Park 등, 1981).

### 2.3. 실험장치와 반응기

본 실험에 사용한 두 가지 유동층 반응기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 높이 150cm, 안지름이 0.95cm 인 투명 PVC관을 사용하였으며 유입관(안지름 0.8 cm, Masterflex tube 9640-13, Cole-Parlmer Co., IL, USA)은 펌프 배출관과 연결하였다. 반응기로부터의 유출관은 effluent tank(지름 = 25cm, 높이 = 25cm)로 연결하였다. Feed tank(지름 = 25cm, 높이 = 25cm)에서 나온 합성하수를 공기가 주입되게 설치한 influent tank(지름 = 25cm, 높이 = 25cm) 유출수와 합쳐 recycle pump(Peristaltic Pump, Model No. 7522-10, Cole-Parlmer Co.)로 들어가서 pump 배출관(안지름 0.48cm, Masterflex tube 9640-15, IL, USA)을 통해 반응기에 공급되도록 연결하였고, 펌프 회전수로 필요한

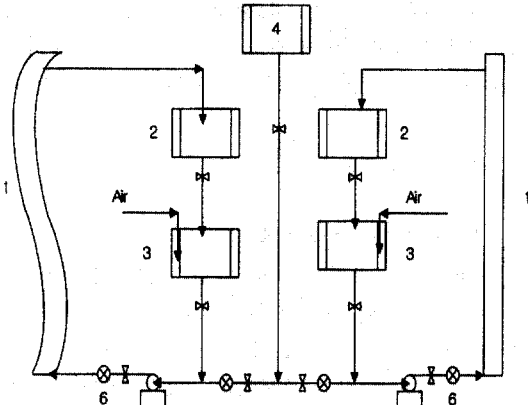


Fig. 1. Schem using a VFBR

유량이 조절되도록 하였다. 반응기에서 비말동반으로 인하여 감소한 담체와 유출수는 effluent tank에 들어가며 회수한 담체는 0.1N NaOH로 처리하여 생물막을 제거한 후 증류수로 세척하고 다시 사용하였다 (Jung, 1994; Xing 등, 1995). 또 수직형 반응기 하부에서 위로 30cm, 70cm, 110cm 및 150cm 지점에 시료 채취구를 설치하고 반응기 하부에는 안지름 0.8cm 인 회수용 배출관을 설치하였다. Influent tank 바닥에 모인 담체와 슬러지는 바닥에서부터 높이 1mm 이상 쌓이면 수시로 하부로 회수하고 회수액은 재 순환시켰다.

나선형 반응기로 들어온 상향 유체는 담체와 접촉하기 시작하고 동시에 부상하면서 일차 관벽에 따라 유로가 변경되었다. 팽창한 담체층 사이로 올라가는 유체는 반응기의 2차 나선형 굴곡 벽에서 다시 유로를 변경하게 되며 이로 인하여 담체와 기질의 접촉이 반복되었다. 나선형 반응기는 상당높이 28.2cm, 65.8cm, 103.4cm 및 유출구와 같은 위치인 141cm 지점에 시료 채취구를 설치하고 반응기 하부에는 회수

용 배출관을 달았다.

반응기 내부에 담체를 넣지 않고 유체만 흐를 때 평균 유량이 117.6L/min(선형유속 = 2,767cm/sec,  $N_{Re} = 262,865$ )이므로 난류가 형성되고 펌프의 최대 토출 유량은 609mL/min(선형유속 = 14.34cm/sec,  $N_{Re} = 1,362$ )이었으므로 반응기와 pump는 실험에 충분한 조건이 되었다.

반응기와 두 tank 상부는 개방하였으며 실험실 내부온도는 22°C를 유지하였고 낮과 밤의 광도차에 의하여 미생물의 대사변화를 고려하여 40 Watt 형광등 4개로 24시간 계속 조명하였다.

실험 초기 두 종류 반응기에 공급한 유체의 유량과 담체 부상높이 변화는 Table 3과 같다. 모래를 가지고 증류수만을 순환시켰을 때 feed flow rate 140 mL/min에서 담체 부상높이는 수직형 반응기에서 80cm, 나선 회수 3회로 감은 나선형 반응기에서 47cm를 나타내었다. 나선형 반응기내의 담체 부상높이를 80cm로 올리는 데에 316mL/min를 공급하였으므로 수직형 반응기보다 176mL/min 더 많은 양이 공급되었다. 이 나선 구조가 수직형 반응기와 같은 용량이면서 반응기에 공급되는 유량이 2.26배 증가된 결과를 보여주었으나 유속이 빨라 미생물막이 형성되지 않았다. 그러므로 나선회수를 1회로 줄이고 유량을 감소시켰을 때 나선 반지름이 7.5cm인 구조에서 미생물막이 형성되었다. 이후 미생물막이 형성된 담체는 직경이 증가하고 총괄 밀도가 감소하여 점차 모래만의 부상높이 보다 상승하므로 공급유량을 줄이면서 부상높이가 유지되도록 하였다. 이 때 feed flow rate 28mL/min 공급에서 두 반응기는 bed height가 각각 140cm, 127cm를 나타내었으므로 나선형 반응기는 수직형 반응기의 0.91배 위치에 부상하였다. 이 결과로 미루어 보면 두 반응기에서 미생물이 고정된 담체 부상높이가 같을 때 나선형 반응기의 유량이 더 많이

Table 3. Relation of feed flow rate and bed height in two type reactors

Reactor	Feed flow rate (mL/min)	$N_{Re}$	Bed height (cm)	Spiral time	Remarks
Vertical	140	313	80	0	Sands
	28	7.8	140	0	Bioparticles
Spiral	140	313	47	3	Sands
	316	706	80	3	Sands
	28	7.8	127	1	Bioparticles

공급되고 있으므로 높이 200cm인 앵글에 PVC관의 지름 크기가 변하지 않도록 원만하게 나선으로 감아 상당높이(150cm 길이의 관을 수직 철주에 나선으로 감아 세웠을 때의 최대높이)가 141cm로 되게 고정하였다.

#### 2.4. 미생물의 고정 및 분석

**Table 1**의 모래를 수돗물과 증류수로 세척하고 건조시킨 후 30mL를 취하여 반응기 상단으로 주입하고 증류수를 유량 140mL/min(상향유속 = 3.29cm/sec)로 유지되게 서서히 하루로 주입시켰다. 반응기에 합성하수를 임의 최소 유량 2mL/min(상향유속 = 0.047 cm/sec)로 일정하게 공급하면서 식중 미생물인 K시 하수처리장 순환 슬러지 30mL를 첨가하였으며 30일간 미생물이 증식되는 동안 유량은 점차 감소되었다. 미생물막이 형성된 담체 10mL를 취하여 0.1NaOH에 세척하고 모래를 분리한 다음 세척용액을 원심분리하여 잔유분의 무게를 측정하였다. 이 잔유분을 건조한 후 무게도 측정하였으며 생물막 건조밀도는 기 연구한 결과와 같은 범위였다(Kim 등, 1993). 담체의 직경은 SEM으로 나타난 모래 50개의 평균값을 취하였으며 그 결과는 **Table 4**에 나타내었다. **Table 4**와 같은 유동층이 형성된 상태에서 반응기에 들어가는 용액의 COD<sub>Cr</sub>는 983mg/L, 유출액의 COD<sub>Cr</sub>는 180.72 ± 20mg/L이므로 미생물 고정이 더 진행되지 않는다 고 생각되었다(Kim 등, 1991). 이 실험을 통하여 합

성하수 유량은 2~10mL/min, 순환용액 유량은 10~34mL/min를 측정범위로 하였다. 필요한 분석방법은 Standard Method(APHA 등, 1992)에 의거하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 합성하수 유량 변화

**Table 5**에서 보면 수직형 반응기에서 합성하수의 유량이 증가함에 따라 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 감소하고 있다. 순환용액 유량을 22mL/min(상향유속 0.52cm/sec)로 일정하게 하고 합성하수 유량 2mL/min를 반응기에 공급하였을 때 생분해 반응에 의한 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 92%이었고 4mL/min일 때 88%이었으며 점차 증가시키에 따라 계속 감소하여 10mL/min에서 76%를 나타내었다(Kim 등, 1995). 합성하수의 유량이 증가하면 반응기로 유입되는 용액중의 COD<sub>Cr</sub> 농도는 증가하게 되며 미생물의 분해 가능한 최적량 이상에서 과량은 분해되지 못하고 그대로 배출된 현상이라고 생각되었다. 미생물이 신진대사를 하고나서 생긴 유기물 분해물과 산소소비로 생긴 용존산소 부족으로 인하여 활동이 둔화된다는 연구결과(Sim, 1995)와 같은 현상으로 보였으며 그 결과 생분해 반응이 점차 감소하는 현상이 생기므로 합성하수 생분해 반응은 공급량이 증가하더라도 분해율은 감소하고 있다.

나선형 반응기에서 합성하수의 유량이 증가하면

**Table 4.** Physical characteristics of bioparticles

Microorganism concentration	Density (biofilm)	Thickness(mean)	Diameter(mean)
2.5g/L	0.072g/cm <sup>3</sup>	75μm	485μm

**Table 5.** Relationship between flow rate of feed solution, feed COD<sub>Cr</sub> concentration, and effluent concentration in a VFBBR and SFBBR

Flow rate of feed solution(mL/min)	Feed COD <sub>Cr</sub> concentration(mg/L)	Effluent COD <sub>Cr</sub> concentration(mg/L)		Removal(%)	
		VFBBR	SFBBR	VFBBR	SFBBR
2	272.7	21.8	16.4	92	94
4	545.4	65.4	38.1	88	93
6	818.2	147.3	81.9	82	90
8	1090.9	229.1	152.7	79	86
10	1363.6	327.3	272.7	76	80

그에 따라 제거량은 증가하나 제거율은 수직관 반응기와 유사하게 서서히 감소하였다. 두 반응기에서 합성하수의 유량이 2mL/min일 때 나선형 반응기의 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 94%로 나타났으며 이 유량에서 나선형 반응기는 수직관 반응기보다 2%의 증가에서 5.4mg/L의 COD<sub>Cr</sub>를 더 제거하고 있다. 또한 5% 증가에서 27.3mg/L, 8% 증가에서 65.4mg/L, 7% 증가에서 76.4mg/L 및 4% 증가에서 54.6mg/L의 COD<sub>Cr</sub>를 더 제거하였으므로 나선형 반응기는 수직형 반응기보다 평균 5.2% 우수한 처리 효율을 나타내었다. 이것은 같은 공급유량에서 유체의 나선흐름이 유로 변경에 의하여 미생물이 고정된 입자의 관성력과 원심력에 의한 상호충돌이 생겼고 그로 인한 부분적인 소용돌이 생성이 수직형 흐름보다 미생물과 기질의 접촉을 더 원활하게 하여 물질전달이 잘 이루어진 결과로 생각되었다. 따라서 반응기 처리효율이 향상된 만큼 공급유량과 pump load가 증가되었다.

### 3.2. 순환용액 유량변화

수직형 반응기에서 순환용액의 유량을 증가시키면 반응기 내의 기질의 농도가 감소하며 이 때 합성하수의 농도가 낮을 경우 많은 순환용액량은 전 용액을 희박용액으로 만들어 농도 측정에 오차가 생기기 쉽다. 그러므로 합성하수의 유량을 4mL/min로 일정하게 유지하고 순환용액 유량을 10mL/min, 16mL/min, 22mL/min, 28mL/min 및 34mL/min로 변화시키면서 유량 증가에 따른 COD<sub>Cr</sub> 제거율을 측정 한 결과는 Excel추세선으로 나타낸 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 순환용액 유량이 10 mL/min일 때 미생물이 고정된 유동층의 상단이 아래로 하강하고 담체간 서로 간격이 좁게 되어 담체표면적과 활성이 작아지므로 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 저조하였다. 순환용액 유량 16mL/min에서 유동층이 부상하여 담체가 서로 분산된 것으로 보이는 시점에서 측정 한 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 83%, 22mL/min로 증가시켰을 때는 82%, 28mL/min에서는 73%로 점차로 감소경향을 나타내다가 34mL/min에서는 급격히 30%로 감소하였다. 유량이 34mL/min로 증가되었을 때 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 급격히 저하된 이유는 담체의 일부가 비탈 동반되어 유출 저장조로 넘어가 반응기내에 존재하는 담체량이 감소된 것과 많은 유량으로 인하여 담체에

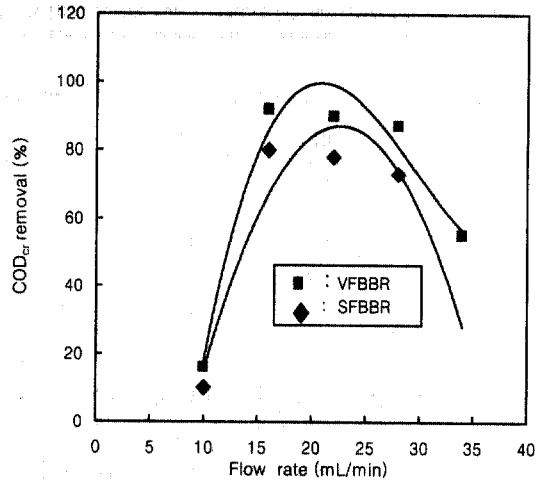


Fig. 2. Relation to flow rate of recycle solution with COD<sub>Cr</sub> removal in a SFBBR and VFBBR.

고정된 생물막이 탈리되어 발생한 현상이라 사료되었다. 수직관 반응기와 같은 조건으로 조작한 나선형 반응기에서 순환용액의 유량 변화에 따른 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 유량이 증가함에 따라 생분해 반응율이 급격히 증가하였다가 서서히 감소하고 있다. 순환용액 유량이 10mL/min 일 때 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 16%로 낮은 값을 나타냈으나 16mL/min에서 92%, 22mL/min에서 90%, 28mL/min에서 87%, 그리고 34mL/min에서 55%를 나타내고 있다. 각각의 유량에서 나선형 반응기의 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 수직관 반응기보다 6%, 9%, 8%, 14% 및 25%씩 더 큰 값을 나타냈으므로 실험치 평균 12.4% 더 향상된 결과를 나타냈다. 이 실험에서 반응기 내부로의 유입유량은 수직관 반응기에서 순환유량 18mL/min(상향유속 0.42 cm/sec,  $N_{Re} = 5.9$ )와 27mL/min(상향유속 0.64 cm/sec,  $N_{Re} = 9.0$ )사이에서 80% 이상의 COD<sub>Cr</sub> 제거율을 보였다. 또한 나선형 반응기에서 생분해 반응은 담체에 고정된 미생물이 유기물을 안정되게 섭취하며 서식할 수 있는 유량 15mL/min(상향유속 0.35cm/sec,  $N_{Re} = 4.9$ )와 28.5mL/min(상향유속 0.67cm/sec, 9.4)사이에서 역시 80% 이상의 COD<sub>Cr</sub> 제거율을 나타내고 있다. 순환용액 유량을 34mL/min로 증가시키면 그에 따라 부유하는 미생물이 고정된 담체 입자의 부상높이가 증가하고 입자간 거리가 넓어지지만 생물막의 탈리로 인하여 반응기내 부유물이 증가하였으며 담체 일부가 유

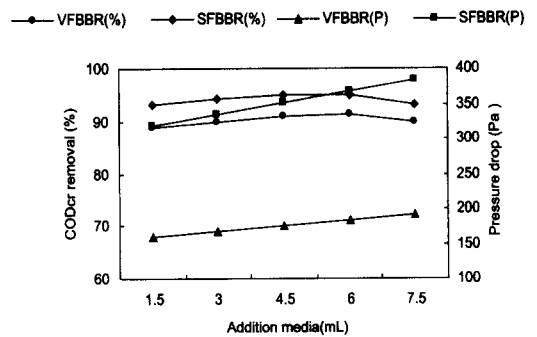
**Table 6.** Relationship between addition media volume and COD<sub>Cr</sub> removal in a VFBBR and SFBBR

Additioin media			Voidage(ε)	-ΔP(Pa)		COD <sub>Cr</sub> Removal(%)	
Volume(mL)	Height(cm)			VFBBR	SFBBR	VFBBR	SFBBR
	VFBBR	SFBBR					
1.5	44.5	41.8	0.83	160	320	89	93.4
3	46.6	43.8	0.82	168	336	89.7	94.3
4.5	48.7	45.8	0.81	176	352	90.6	95.1
6	50.8	47.8	0.80	184	368	91.2	95.3
7.5	53	49.8	0.79	192	384	90.3	93.4

출되면서 미생물량이 줄어들어 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 급격히 감소한 것으로 사료되었다. 또한 각각의 유량 변화로 생물막의 두께가 영향을 받아 실험조건이 매번 같을 수 없으나 두 반응기의 동일한 유량 변화에 따른 효율을 비교하는 데에 우선 중점을 두었다.

### 3.3. 담체량 변화

유동층 반응기에서 담체량 추가에 의한 영향을 조사하여 Table 6에 나타내었다. 두 반응기에서 담체의 부피와 높이가 증가하고 공극률이 감소하며 유동층 상하에 미치는 압력차가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 예상한 대로 유체와 담체와의 마찰저항이 작용하는 현상이며 나선형 반응기에서의 압력차는 관벽에서의 저항이 더 작용하여 수직형 반응기보다 약 2배에 달한다는 이론과 일치하고 있다. 두 반응기에서의 COD<sub>Cr</sub> 제거량은 초기에 담체 추가 첨가와 비례하여 증가하고 있으나 6mL 이상에서는 감소 추세를 보이고 있으며 특히 나선형 반응기의 COD<sub>Cr</sub> 제거량은 수직형 반응기보다 각 조건에서 평균 4.1% 더 우수하게 반응율이 향상되었음을 보이고 있다. Fig. 3에서 반응율의 경향을 보면 수직형 반응기에서 담체가 1.5mL씩 추가됨에 따라 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 서서히 증가하다가 4.5mL와 6mL 추가 지점에서 일정한 값을 유지하였으며 7.5mL에서는 감소추세를 보였다. 나선형 반응기는 6mL 추가 지점에서부터 감소현상을 나타내고 있는데 이 현상은 반응기내에서의 담체 첨가는 미생물 농도가 증가하고 상호 접촉 빈도가 높아 보다 활발한 물질전달이 이루어지므로 생분해 반응이 더 잘 이루어질 수 있다고 볼 수 있다. 그러나 과도한 담체의 존재는 입자끼리의 접촉으로 인하여 생물막이 탈리하여 막 두께가 얇아지므로 오히려 생



**Fig. 3.** Relationship between COD<sub>Cr</sub> removal, pressure drop and addition media in a VFBBR and SFBBR.

분해 반응이 감소할 수 있다는 연구결과와 같다고 판단되었다(Xing 등, 1995).

## 4. 결론

수직형과 나선형 유동층 생물반응기에 합성하수를 공급하고 미생물이 고정된 유동층에 의해 유기물이 생분해되도록 하였다. 두 반응기의 조작 조건이 같으므로 수직형 반응기와 구조를 달리한 나선형 반응기의 처리효율을 비교하기 위하여 조사한 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 두 반응기에 공급되는 순환용액 유량을 고정하고 합성하수를 2~10mL/min로 공급하였을 때와 합성하수의 유량을 4mL/min로 고정하고 순환용액 유량을 10~34mL/min로 변화시켰을 때 나선형 반응기가 수직형 반응기보다 COD<sub>Cr</sub> 제거율은 각각 실험치로 5.2%와 12.4% 향상되었다.
- 2) COD<sub>Cr</sub> 제거율이 80% 이상에서 순환용액의 유량 변화폭이 수직형 반응기에서 18mL/min(상향유속

0.42cm/sec,  $N_{Re} = 5.9$ ) ~ 27mL/min (상향 유속 0.64cm/sec,  $N_{Re} = 9.0$ ) 이므로, 15mL/min (상향 유속 0.35cm/sec,  $N_{Re} = 4.9$ ) ~ 28mL/min (상향 유속 0.67cm/sec,  $N_{Re} = 9.4$ ) 로 나타낸 나선형 반응기가 더 넓고 높은 유량변화폭을 나타내었다.

3) 두 반응기에 담체를 추가하였을 때 나선형 반응기의  $COD_{Cr}$  제거율이 수직형 반응기보다 4.1% 우수한 효과를 나타내었다.

## 감사의 글

이 논문은 삼척대학교 2001학년도 자체 학술연구비에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- APHA, AWWA, and WEF (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., pp.5-13, APHA, Washington, D.C.
- Choi, K.S., M.W. Choi, C.W. Kim and G.B. Han (1994) Development of Aerobic 3-Phase Fluidized Bed Biofilm Reactor for Industrial Wastewater Treatment, *J. KSEE*, **16**(6), pp.745-754.
- Chung, J.C. (1994) Microbial Aspects of Biofilm, *J. KSEE*, **16**(5), pp.589-600.
- Kim, C.W. and J.E. Park (1993) Characteristics of Nonsteady Biofilm and Biofilm Detachment Rate in Two-Phase Fluidized Bed Reactor, *J. KSEE*, **15**(3), pp.583-591.
- Kim, D. S., K. H. An, M. G. Suh, T. J. Park and S. K. Song (1991) Biomass Characteristics and Substrate Removal Efficiency Using High Concentrated Synthetic Wastewater in FBFR, *J. KICbE*, **29**(4), pp.448-456.
- Kim, D. S., Y. S. Park, K. K. Park and S. K. Song (1994) Variation of Biofilm Characteristics According to the Variance of Organic Loading in a Inverse Fluidized Bed Biofilm Reactor, *J. KSEE*, **16**(8), pp.943-952.
- Lee, S. K., B. R. Lim, C. H. Cho and M. B. Chae (1995) A study on Biological Wastewater Treatment using Fibrous Media (II), *J. KSEE*, **17**(10), pp.941-951.
- Ministry of environment (2000), Environmental report, pp.487-488.
- Park, Y.S., Kim, D.S., Ahn, K.H., Suh, K.H., Song, S.K. (1995) A study on an Aerobic Fluidized-Bed Biofilm for Treating Industrial Wastewaters, *J. KSEE*, **15**(6), pp.821-828.
- Park, Y. S., K.H. Ahn, J. H. Suh, Y.C. Choi, S.R. Choo and S.K. Song (1997) *J. KICbE*, **35**(1), pp.8-13.
- Shim, J.J. (1995) Treatment of High Concentration Wastewater by Fluidized-Bed Bioreactor, *J. KSEE*, **17**(12), pp.1211-1220.
- Park, K.D., Lee, Y.T., Oh, S.H., Ha, Y.C. (1981) *The New Microbiology*, pp.35-50, Tamgudang, Seoul.
- Xing, X.H., N.H. Shiragami and H.J. Unno (1995) A Model Analysis of Microbial Retainment Process in Porous Support Particles in Fluidized - Bed Wastewater Treatment Reactor, *J. Chem. Eng. Japan*, **28**(5), pp.525-530.