

## 담체 모양변화에 따른 유기물 처리 성능 고찰

박영식<sup>†</sup> · 안갑환<sup>\*</sup>

서봉리사이클링(주)

\* 부산가톨릭대학교 산업환경시스템학부

## Performance of Organic Treatment with Shape Modify of Ceramic Support Carrier

Young Seek Park<sup>†</sup> and Kab Hwan Ahn<sup>\*</sup>

Seobong Recycling Co., Ltd.

<sup>\*</sup>School of Ind. Hygiene & Environ. system. Eng., Catholic Univ. of Pusan

(Received 2 August 2001 ; Accepted 12 September 2001)

### ABSTRACT

This paper discussed the shape effect of ceramic support carrier in order to facilitate biomass immobilization. The shape of ceramic support carrier was modified hollow pipe type into hollow gear type. After seeding, microorganisms were attached in crevices where protection from shear forces or surfaces where easy to contact with support carrier surface. In case of hollow gear type carrier, initial attachment rate was faster than that of hollow pipe type and obtained thick biofilm. Synthetic wastewater(COD:75~880 mg/L, organic loading rate:0.36~4.22 kgCOD/m<sup>3</sup>.d) was treated aerobic fixed bed biofilm reactor where 100% of the volume was filled with the ceramic carrier. COD removal efficiency of reactor filled with gear type support carrier was a little high within 70 days, and then showed similar removal efficiency. It was found that highly loaded operation with up to 4.22 kgCOD/m<sup>3</sup>.d was possible in both reactor. Total biomass amounts of pipe type was higher than gear type, however, attached biomass of gear type was higher than that of pipe type.

**Keywords** : Ceramic support carrier, Shape modify, Organic wastewater, MLSS

### I. 서 론

생물학적 폐수처리 공정에서 널리 사용되는 활성슬러지 공정은 도시하수 처리에 적용된 후 축산폐수와 공장폐수 등의 처리에 널리 보급되어 있으나 포기조의 미생물 농도가 낮고, 넓은 부지가 요구되며, 슬러지와 처리수를 분리하기 위해 일정한 크기의 침전조가 요구되며 잉여슬러지가 많이 발생되고 포기조 상부가 외부로 노출되어 악취가 발생하는 등의 문제점을 지니고 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 생물막 공정이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 생물막 반응기에서는 사용되는 담체의 종류와 특성에 따라

처리효율이 크게 좌우되므로 생물막이 잘 부착되고 유지될 수 있는 담체를 선정하는 것이 생물막을 이용한 폐수처리 공정에서 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

담체에 미생물이 부착될 때 담체의 종류, 화학적 성질, 입자크기, 농도, 거칠기, 다공성, 표면적 등에 영향을 받는다.<sup>1~3)</sup>

Young과 Dahab<sup>4)</sup>은 생물막 반응기에서 유기물 처리 성능에 대한 담체의 영향을 연구하였는데 담체의 종류, 크기와 형상과 같은 물리적인 인자가 미생물 체류 특성에 영향을 미치고 폐수처리 성능에 영향을 미친다고 하였다. Anderson<sup>5)</sup>은 생물막 공정에서 담체의 특성을 연구하였는데 담체의 성능에 영향을 많이 미치는 인자는 표면적과 다공성이며, 넓은 표면적은

<sup>†</sup>Corresponding author : Seobong Recycling Co. Ltd.  
Tel : 051-518-4785, Fax : 051-518-4786  
E-mail : yhchang@mju.ac.kr

미생물의 부착을 증진시키고 반면 담체의 다공성은 총괄반응기 부피를 줄이는 역할을 하며, 다공성이 큰 담체는 고정층 반응기에서 clogging과 short-circuiting를 줄이는데 필수적이라고 보고하였다. Huysman 등<sup>6)</sup>은 다공성 담체와 비다공성 담체를 충전한 고정층 생물막 공정의 초기 생물막 형성에 대한 연구에서 비다공성 담체에 생물막이 형성될 때 주로 담체 표면에 있는 틈에서 형성되고 다공성 담체에서는 주로 공극의 크기와 공극율에 영향을 받는다고 보고하였다.

본 연구자는 속이 빈 파이프 형 담체를 제조하여 그 성능을 연구한 결과 2.5 kgCOD/m<sup>3</sup>.day의 유기물 부하에서 95% 이상의 COD 제거율을 나타내었는데,<sup>7)</sup> 담체의 성능을 높이기 위하여 담체의 모양을 기어형태로 변화시켜 모양과 표면적 변화에 따른 성능을 고찰하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 담체 제조

담체의 주원료로 fly ash와 황토를 사용하고, 기공용 재료로는 석탄을 사용하여 제조하였다. 석탄을 분쇄하고 fly ash와 황토를 혼합하고 함수율을 25% 내외로 조절하여 반죽하였다. 반죽된 원료를 압출기를 통하여 압출하고 상온에서 건조시키고 1,100°C로 유지되는 로에서 1시간동안 소성시킨 후 냉각시켜 담체를 제조하였다.

### 2. 실험장치 및 운전방법

반응용적이 3.6 L인 고정생물막 반응기를 사용하였으며 (Fig. 1), 농도가 2,000 mg/L인 반송슬러지를 seeding하였으며, 미생물을 용이하게 부착시키기 위해서 2일간 동안 폐수를 주입하지 않았고, 부착된 미생물에 과부하를 주지 않고 성장시키기 위해서 1주일간 HRT를 8시간으로 투입하였다. 1주일 뒤 HRT를 5시간으로 고정하였다. Glucose를 주성분으로 하는 Table 1과 같은 합성폐수를 단계적으로 [75(0.36 kgCOD/m<sup>3</sup>.day)~880 mg/L(4.22 kgCOD/m<sup>3</sup>.day)] 유입하였다. 공기는 공기펌프를 이용하여 산기관을

통해 반응기내의 DO가 5 mg/L이상 유지되도록 공급하였다. 반응기는 상온(17~29°C)에서 운전하였다.

속이 빈 파이프형 세라믹 담체(외경:16.3 mm, 내경:7 mm, 두께:4.65 mm, 길이:18~26 mm, Fig. 2(a))를 2,684 g를 반응용적 전체에 대해 충전하였다.

기어모양으로 개조된 담체(내경:7 mm, 길이:18~26 mm, Fig. 2(b))는 1,953 g을 충전하였다.

## 3. 분석 및 측정방법

### 3.1. 세라믹 담체의 물리적 성질 측정

세라믹 담체의 물리적 성질을 고찰하기 위하여 KS F 2503에 따라 비중 및 흡수율을 측정하였다.

절대 건조 비중(Absolute drying specific gravity) :

$$\frac{A}{B - C} \tag{1}$$

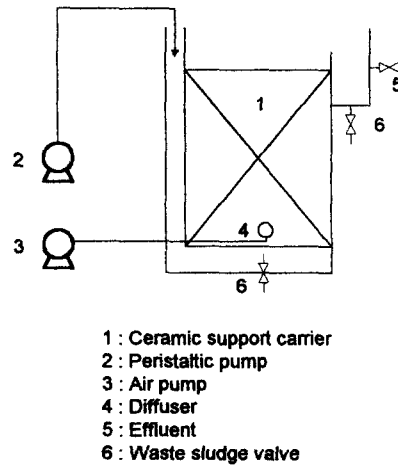
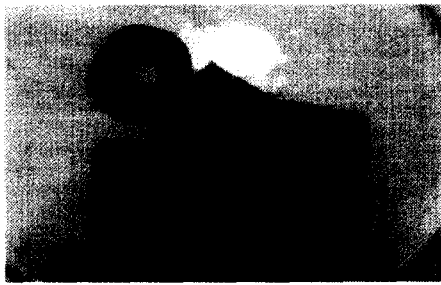


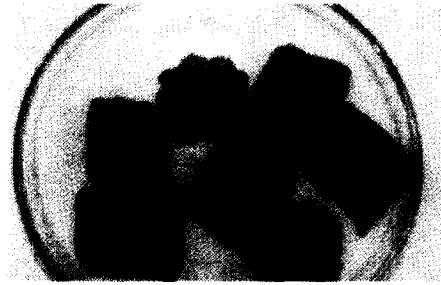
Fig. 1. Schematic drawing of experimental apparatus.

Table 1. Compositions of synthetic wastewater. (Basis:COD<sub>cr</sub>:300 mg/L)

Item	Concentration
Glucose	0.3g
Urea	0.09g
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.11g
MgSO <sub>4</sub>	0.02g
KCl	0.01g
CaCl <sub>2</sub>	0.01g
NaCl	0.03g



(a) pipe type ceramic carrier



(b) gear type ceramic carrier

Fig. 2. Two types of ceramic support carrier using experiment.

표면건조 포화상태의 비중 (saturated surface dry sp. gr.) :

$$\frac{B}{B - C} \quad (2)$$

흡수율 (absorption percent) :  $\frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3)$

- 여기서, A: 대기중 시료의 건조무게(g)
- B: 대기 중 시료의 표면 건조 포화 상태의 무게(g)
- C: 물 속에서의 시료의 무게(g)

담체의 공극율은 아래와 같이 측정하였다.  
담체에 물을 충분히 적셔서 담체 내부의 기공에 물을 함침시키고, 꺼내 표면을 닦는다. 1000 mL 메스실린더에 담체를 채워 놓고 부피를 아는 물을 투입하여 전체 부피를 측정하고 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{공극율} : \left[ 1 - \frac{E - D}{D} \right] \times 100 \quad (4)$$

- 여기서, D: 전체 부피
- E: 물 부피(공극부피)

3.2. 유기물 처리 실험  
고정생물막 반응기의 연속 처리실험은 유입수와 유출수를 채취하여 분석하였다. 각 항목별 실험은

Standard Methods<sup>(8)</sup>에 준하여 수행하였다.  
반응기내 미생물 농도는 실험 기간 중에는 반응기 상부에 있는 담체를 채취하여 초음파 세척기에서 60 분 동안 초음파 세척하여 미생물을 담체로부터 분리하고 분리된 미생물을 여과지로 여과하여 105℃에서 2시간동안 건조시키고 무게를 측정하고 담체를 건조시켜 담체 단위 g당 미생물 양을 계산하였다. 이를 총 전 담체 총량당 미생물로 환산하고 반응기 부피로 나누어 MLSS로 환산하였으며, 운전이 끝난 후에는 전체 담체를 반응기에서 채취하고 부유미생물과 담체에 부착된 미생물 량을 구하여 합산하였다. 반응기 내의 잉여슬러지는 반응기 하부와 유출구 쪽의 sludge chamber에 축적된 슬러지를 주기적으로 제거하여 MLSS를 측정하고 제거부피를 곱하여 잉여슬러지 양 (mg)을 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

1. 세라믹 담체의 물성  
속이 빈 파이프형 담체와 기어형 담체의 물리적 특성을 Table 2에 나타내었다.  
담체의 원료와 제조방법이 같으므로 두 담체의 물리적 특성이 유사하였으며, 담체 내부의 기공을 나타내는 흡수율은 30% 이상으로 나타났으며, 겉보기 비중은 1.70~1.74, 진비중은 2.28로 나타났다.  
기어 모양의 담체는 속이 빈 파이프형 담체 mold의 외부를 파내어 기어모양으로 개조하였으며, 원주 (OD:16.3 mm)에 길이가 4.1 mm인 면을 16면 추가

**Table 2.** Physical properties of ceramic support carrier

Item	Sp. gr. of saturated surface dry	Apparent specific gravity(-)	Specific gravity(-)	Water absorption percent(%)
Pipe type	1.97	1.74	2.28	32.6
Gear type	1.87	1.70	2.28	34.1

하여 기어 모양 끝의 원주는 20 mm로 증가하였다 (Fig. 2(b)).

담체 모양개조로 인하여 길이 20 mm인 담체 외부 면적이 10.24 cm<sup>2</sup>에서 13.12 cm<sup>2</sup>으로 증가하였다. 속이 빈 파이프형 담체를 반응기에 충전시 공극율은 50%였으나, 기어형 담체 충전시 55%로 나타났다. 이는 담체의 크기변화와 형상변화에 기인한 것으로 사료되었다. 속이 빈 파이프형 담체는 2,684 g, 기어형 담체는 1,953 g이 충전되어 기어형 담체는 27.2% 적게 충전되었다. 이는 담체의 모양을 개조하여 담체의 크기가 커졌기 때문에 충전량이 감소된 것으로 사료되었다.

2. 미생물 부착과 생물막 형성 비교

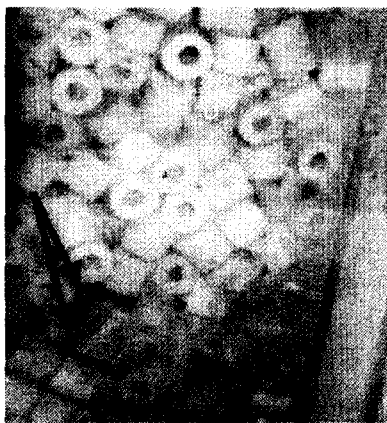
속이 빈 파이프형 담체의 경우 seeding한 후 몇 시간이 지나면서 미생물이 주로 담체와 담체사이, 담체와 반응기 벽 사이 및 파이프 내부에 끼이기 시작하였으며, 반응기 하부에 끼인 미생물이 반응기 중간과 상부에 끼인 미생물보다 많았다(Fig. 3(a)). 시

간이 지남에 따라 끼인 미생물과 공기에 의한 전단력을 잘 받지 않는 곳에서 부착하여 생물막을 형성하였다.

기어형 담체는 위의 장소 외에도 액체나 공기의 전단력을 받지 않는 기어의 날과 날 사이에서도 미생물이 끼이기 시작하였으며(Fig. 3(b)) 생물막 성장 과정은 파이프형 담체와 유사하였다.

Fig. 4에 seeding 30일 후의 반응기 상부의 담체를 사진 촬영하여 나타내었다. Fig. 4(a)에서 관찰되듯이 속이 빈 파이프형 담체는 생물막이 얇게 형성되어 있으나, 기어형 담체의 경우는 생물막이 두껍게 형성되어 있으며, Fig. 4(b)의 화살표와 같이 골과 골 사이에 생물막이 형성되어 있는 것이 관찰되었다.

Fig. 4로 볼 때 기어형 담체에 부착된 생물막이 두껍고, 골과 골 사이에 생물막이 형성된 것은 기어형 담체의 경우 표면의 부착점이 더 많고, 액체와 공기로부터 발생하는 전단력으로부터 미생물의 피난처가 되는 골이 담체 표면에 형성되어 있기 때문이라고 사료되었다.<sup>9-11)</sup>



(a) pipe type ceramic carrier



(b) gear type ceramic carrier

**Fig. 3.** Photographs of ceramic support carrier during biofilm formation.

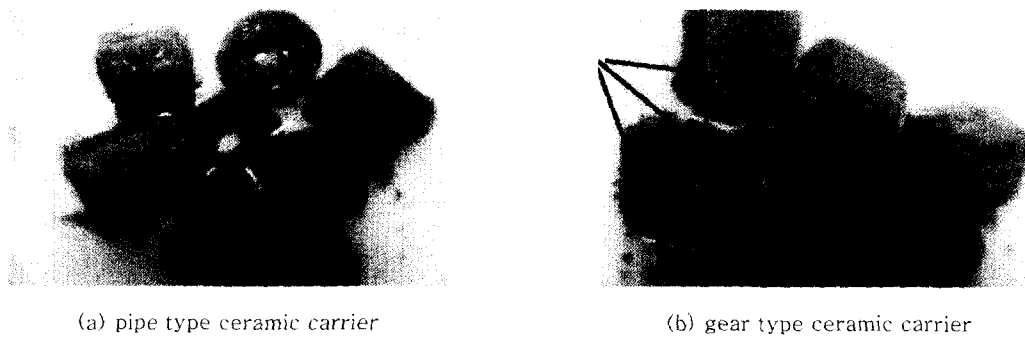


Fig. 4. Photographs of ceramic support carrier after biofilm formation.

3. 유기물 제거

두 담체를 충전하여 운전한 반응기 유입수와 유출수의 TCOD 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 초기 농도 75 mg/L (0.36 kgCOD/m<sup>3</sup>.d)이었으며, 유출수의 COD가 정상상태에 도달될 때 유입수의 농도를 올려 주었다.

정상상태에서 두 담체가 충전된 반응기의 유입수 COD와 유출수 COD 및 제거율을 Table 3에 나타내었다.

Fig. 5에서 보이듯이 COD가 75 mg/L와 155 mg/L

이었을 때 기어형 담체의 유출수 농도는 속이 빈 파이프형 담체의 유출수보다 1.6 mg/L, 5.0 mg/L 낮게 나타났다. COD 처리율은 1.9~3.8% 정도 높게 나타났다. 340 mg/L 이상의 유입 COD농도에서는 두 담체 모두 농도 변화시 유출수 농도 변화 폭이 컸으나 10일~2주가 지나면 정상상태에 도달되었다.

운전시작 후 70일 정도까지 기어형 담체의 유출수 COD 농도가 비교적 낮은 편이었으나 그 이후에서는 두 반응기의 유출수 농도가 비슷해졌다. 유입수 COD 농도가 880 mg/L(kgCOD/m<sup>3</sup>.day)일 경우 기어형

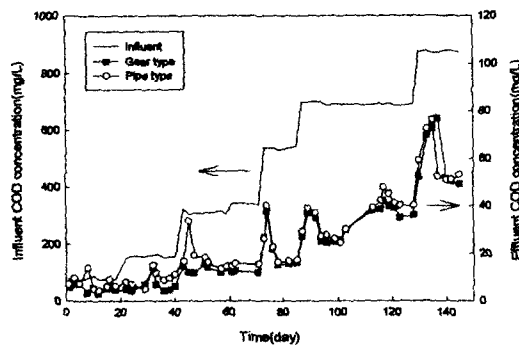


Fig. 5. Variation of influent and effluent COD with support carrier types.

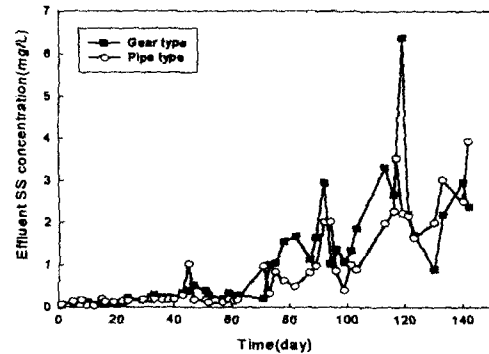


Fig. 6. Variation of effluent turbidity with support carrier types.

Table 3. Experimental data on COD

Influent COD(mg/L)	Organic loading rate(kgCOD/m <sup>3</sup> .day)	Effluent COD		Removal efficiency(%)	
		Pipe type	Gear type	Pipe type	Gear type
75	0.36	4.6	6.2	93.8	91.7
155	0.74	6.2	11.2	96.0	92.8
340	1.63	12	15.4	96.5	95.5
540	2.59	16	17	97.0	96.8
690	3.31	36	40	94.8	94.2
880	4.22	49	53	94.3	93.9

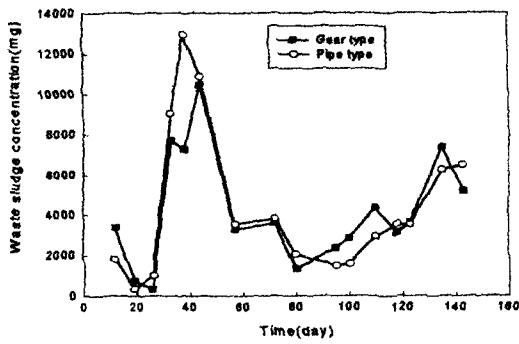


Fig. 7. Variation of waste sludge with support carrier types.

담체가 충전된 반응기의 유출수 COD는 49 mg/L, 속이 빈 파이프형 담체가 충전된 반응기의 유출수 농도는 53 mg/L로 나타났으며, 두 반응기의 제거율은 각각 94.3%, 93.9%로 나타나 두 반응기 모두 4.22 kgCOD/m<sup>3</sup>.d의 높은 COD부하율에서도 94%정도의 제거율을 보였다.

충전무게비로 27.2%가 적게 충전된 기어형 담체가 충전된 반응기에서 운전초기 COD 제거율이 약간 높게 나타난 것은 Fig. 4에 보인 바와 같이 초기에 기어형 담체에 부착된 미생물이 파이프형 담체에 부착된 미생물보다 많기 때문이라고 사료되었다.

4. 유출수 탁도와 잉여슬러지 양

유출수의 SS농도가 낮아 탁도를 측정하였으며, 유출수의 탁도변화를 Fig. 6에 나타내었다. 유입수의 농도가 340 mg/L까지는 두 반응기 유출수의 탁도는 모두 1NTU 이하로 나타났으며 안정적인 수질을 나타내었다. 유입수의 농도가 540 mg/L로 증가되면서 유출수의 탁도는 변동하기 시작하였다. 그러나 두 반응기의 유출수 모두 7NTU 이하의 탁도를 보여 유출수로 배출되는 미생물이 적다는 것을 알 수 있었다.

유입수 농도가 540 mg/L 이상에서는 기어형 담체가 충전된 반응기의 유출수 탁도가 속이 빈 파이프형 담체가 충전된 반응기보다 약간 높게 나타났다.

반응기 하부와 유출구의 sludge chamber에 축적된 잉여슬러지를 Fig. 7에 나타내었다. 폐 슬러지의 인발주기는 1주일~2주일이었으며, 두 반응기내에 축적되는 폐 슬러지양은 유사한 것으로 나타났다.

5. 반응기내 미생물 량

운전 중에는 반응기 전체 담체에 부착된 미생물 농도를 측정하기 곤란하므로 반응기 상부에서 담체를 채취하여 담체 단위 g당 부착미생물 양을 계산하였다. 이를 충전 담체 총량당 미생물로 환산하고 반응기 부피로 나누어 MLSS로 환산하였으며, 운전이 끝난 후에는 반응기에서 전체 담체를 채취하여 부유미생물과 담체에 부착된 미생물 양을 구하여 합산하였다. Fig. 8에 실험기간 중 반응기 상부에서 채취한 담체에 부착된 미생물 양을 구하고 반응기 상부와 반응기 전체 미생물 농도가 균일하다고 가정하고 반응기 전체의 MLSS를 나타내었다.

유기물 부하 증가에 따라 반응기내 미생물 량은 선형적으로 증가하는 경향을 보였으며, 기어형 담체의 MLSS가 파이프형 담체보다 높은 경향을 나타내었다.

그러나 운전종료 후 반응기 전체의 부유미생물과

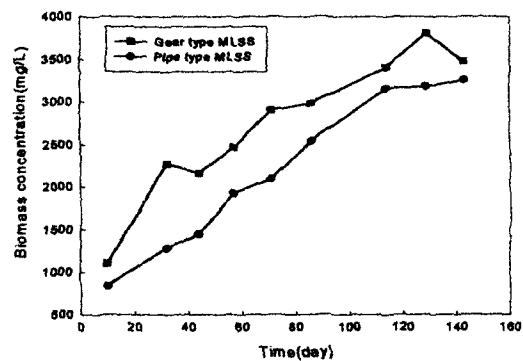


Fig. 8. Variation of MLSS with time.

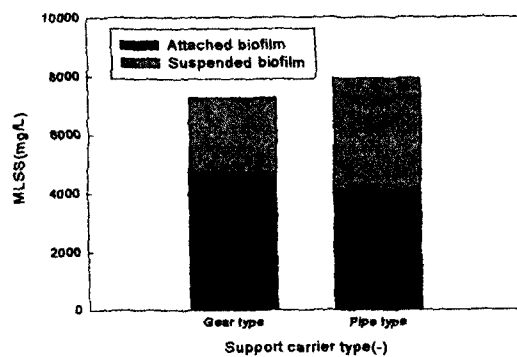


Fig. 9. Biomass concentration with support media types. (after operation)

부착미생물을 구한 결과 Fig. 9와 같이 반응기 전체의 미생물 농도는 파이프형 담체가 충전된 담체의 미생물 농도(7,925 mg/L)가 기어형 담체가 충전된 반응기(7,266 mg/L)보다 높은 것으로 나타나 Fig. 8과는 다른 결과를 보여주었다.

이는 Fig. 8은 반응기 상부의 담체에 부착된 미생물 농도를 나타내 것이고 Fig. 9는 반응기 전체의 부착미생물과 부유미생물을 나타낸 것으로 담체에 부착된 미생물만을 비교하면 기어형 담체에 부착된 미생물 농도는(4,688 mg/L, 전체 미생물농도의 64.5%)로, 파이프형 담체에 부착된 미생물농도(4,085 mg/L, 전체 미생물농도의 51.5%)보다 높게 나타나 Fig. 8과 같은 경향을 나타내었다.

위의 결과를 종합하면 기어형 담체는 파이프형 담체보다 크기가 크지만 담체에 부착된 미생물이 많은데, 이는 담체의 모양이 미생물 부착에 좋게 변화되었다고 사료되었다. 파이프형 담체는 공극율이 기어형 담체보다 작고, 기어형 담체보다 충전량이 많기 때문에 담체와 담체사이에 끼이는 미생물이 많이 존재하며, 이로 인해 두 반응기의 미생물 농도가 비슷해져서 COD 처리율이 비슷하다고 사료되었다.

#### IV. 결 론

담체의 미생물 부착능을 높이기 위하여 담체의 모양을 속이 빈 파이프형에서 기어형태로 변화시켜 모양과 표면적 변화에 따른 성능을 고찰하였다.

1. 담체의 모양을 변화시켜 생물막을 형성시키면서 관찰한 결과 속이 빈 파이프형 담체의 경우 seeding한 후 미생물이 주로 담체와 담체사이, 담체와 반응기 벽 사이 및 파이프 내부에 끼이기 시작하였으며, 기어형 담체는 위의 장소 외에도 액체나 공기의 전단력을 받지 않는 기어모양의 골과 골 사이에서도 미생물이 끼이기 시작하였으며, 미생물 부착이 파이프형 담체보다 빨랐으며 두꺼운 생물막이 일어났다.

2. COD 처리율을 고찰한 결과 운전시작 후 70일까지는 기어형 담체가 충전된 반응기의 COD 제거율이 다소 높았으며, 그 이후는 유사한 제거율을 보였

다.

3. 전체 미생물 농도를 구한 결과 파이프형 담체가 충전된 반응기의 미생물 농도가 다소 높았으나 담체에 부착된 미생물 농도는 기어형 담체가 높아 담체 모양을 개조한 결과 담체에 부착되는 미생물 농도를 높일 수 있다고 사료되었다.

#### 사 사

본 연구는 1999년도 산업자원부의 산업기반 기술 개발사업의 사업비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Daniels, S. L. : The Adsorption of Microorganisms onto Solid Surfaces : A Review, *Dev. Ind. Microbiol.*, **13**, 211-251, 1971.
2. 송승구 : 담체의 물리화학적 특성이 생물막 형성에 미치는 영향, *첨단환경기술*, **11**, 2-13, 1998.
3. 양대창 : 미생물 고정화를 위한 효율적인 담체의 개발, 서울대학교, 석사학위논문, 1991.
4. Young, K. C., and Dahab, M. F. : Effect of Media Design on the Performance of Fixed-Bed Anaerobic Reactors, *Wat. Sci. Tech.*, **15**, 369-383, 1983.
5. Anderson, G. K., Kasapgil, B., and Ince, O. : Comparison of Porous and Non-porous Media in Upflow Anaerobic Filters when treating Dairy Wastewater, *Wat. Res.* **28**(7), 1619-1624, 1994.
6. Huysman, P., Van Meenen, P., and van Assche, P., and Verstraete, W. : Factors affecting the Colonization of Porous and Non-porous Packing Materials in Model Upflow Methane Reactors, *Biotechnol. Lett.*, **5**, 643-648, 1983.
7. 세라믹 담체를 이용한 유기성 폐수 처리, 대한환경공학회 추계학술발표대회, 2000.
8. APH-AWWA-WPCE : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, Washington D.C., 1992.

9. 박영식, 서정호, 송승구 : 담체의 소수성과 표면거칠기가 미생물 부착에 미치는 영향, 한국환경과학회지, **6(6)**, 689-696, 1997.
10. 이채남, 박영식, 최윤찬, 송승구 : 담체의 표면거칠기와 전단응력이 미생물 부착에 미치는 영향, 부산대학교 환경연구보 **13**권, 39-43, 1995.
11. 박영식, 이석렬, 이창한, 서정호, 송승구 : 미생물 고정화에 미치는 담체 기공크기의 영향, 화학공학의 이론과 응용, **4(2)**, 3417-3420, 1998.