

## 嫌氣性 生物膜法의 Start Up에 있어서의 充填劑 및 無機鹽類의 影響

정경훈 · 최형일\* · 신대윤\*

조선대학교 환경학과, \*조선대학교 환경공학과

## Effects of Packing Materials and Inorganic Chemicals During the Start Up in Anaerobic Filter Process

Kyung-Hoon Cheong, Hyung-Il Choi\* and Dae-Yewn Shin\*

Department of Environmental Science, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

### ABSTRACT

The effects of packing materials in the anaerobic reactor and inorganic chemicals in the synthetic wastewater on the anaerobic treatment during the start up period were investigated using anaerobic filter process. The Ringlace and Honeycomb tube as packing materials were used in the anaerobic reactors. The  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$  ion concentration as inorganic chemicals contained higher 40 times and 100 times as compared to the control synthetic wastewater, respectively. A start up period 104 and 150 days were necessary to achieve loading rate of 0.37 and 0.74 kg-Toc/ $\text{m}^3\cdot\text{d}$  in the anaerobic filter process packed by Ringlace and Honeycomb tube, respectively. The loading rates of the reactor using the synthetic wastewater containing  $\text{Ca}^{2+}$  (40 times) could be increased faster than in the reactors using the synthetic wastewater containing  $\text{Fe}^{2+}$  ion (100 times) and control synthetic wastewater. The results of XMA analysis that a lot of the  $\text{Ca}^{2+}$  ion on the surface of the anaerobic sludge in the anaerobic reactor packed by Ringlace which were fed supplied with synthetic wastewater containing  $\text{Ca}^{2+}$  ion (40 times) observed as compared to the reactors supplied with control synthetic wastewater and containing  $\text{Fe}^{2+}$  ion (100 times)

**Keywords :** Packing materials, inorganic chemicals, synthetic wastewater, anaerobic sludge, anaerobic reactor.

### 1. 서 론

하수슬러지 처리나 분뇨처리에 있어서의 종래의 혐기성 처리법은 체류시간이 10~20일 정도로 매우 긴 편이며 처리효율이 나쁘고, 폐수처리 분야에는 거의 보급되지 않았다. 그러나 혐기성 처리 시스템으로서 혐기성 여상법, 혐기성 유동상법, 혐기성 슬러지상법(UASB법 : Up flow-Anaerobic Sludge Blanket) 등 혐기성 세균의 부착고정화 및 자기조립화를 응용한 Bioreactor가 개발되어<sup>1-5)</sup> 혐기성 처리법의 유효성이 인정되었으며, 이 결과 혐기성 Bioreactor에 관한 연구가 진행되어 최근에는 고농도 유기성 폐수를 대상으로 서서히 실용화되어 가고있는 단계

에 있다.<sup>6-10)</sup>

혐기성처리법은 ① 호기성 처리법에 비해서 에너지 소비량이 적고, ② 폐수처리 이후에 유용한 배탄가스를 얻을 수 있고, ③ 슬러지 생산량이 적으며, ④ 적은 영양염의 요구량 등의 장점을 가지고 있는 반면에 ① 증식속도 및 대사속도가 느려 반응조의 용적을 크게 할 필요가 있기 때문에 폐수처리시설의 건설비가 증가되고, ② 반응속도를 높이기 위해서는 가온이 필요하며, ③ 혐기성처리에서는 통상 호기성 처리 만큼이나 투명도가 양호한 처리수질을 얻을 수 없기 때문에 반응조에서 나오는 배출액을 다시한번 호기성처리를 해야하는 단점이 있다.

이러한 혐기성 처리법은 호기성 처리법에 비해서

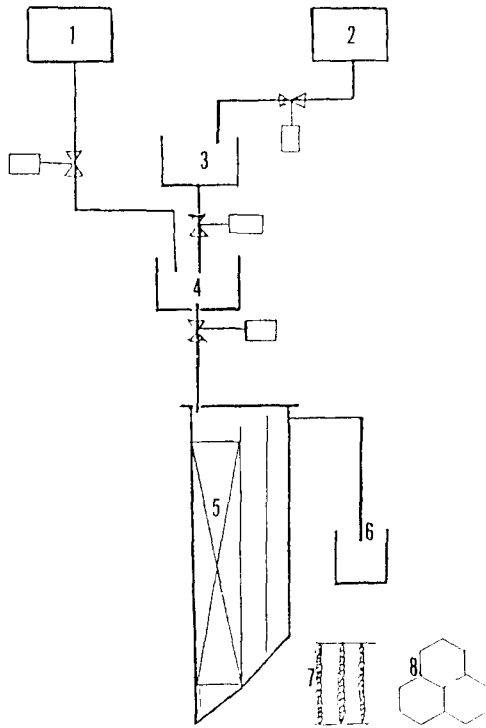


Fig. 1. Schematic diagram of anaerobic filter reactor.

1. Concentrated synthetic wastewater
2. Reservoir
3. Flow-rate control cylinder for water
4. Flow-rate control cylinder for synthetic wastewater
5. Reactor
6. Discharge
7. Ringlace
8. Honeycomb tube

여러 가지 장점을 갖고 있음에도 불구하고, 중·저농도의 폐수에 대해서는 메탄생성균의 증식속도가 늦고 또한 균체수율이 낮을 뿐만 아니라 슬러지의 washout가 발생함으로써 혐기성 처리법의 실용화가 어려웠다. 그러나 최근 수리학적 체류시간과는 별도로 슬러지의 체류시간을 콘트롤하여 고농도의 생물량을 유지하려는 혐기성 생물막 시스템이 개발되어 처리대상 범위를 확대하려는 연구가 진행되어 왔다. 이 중에서도 특히 혐기성 여상법은 생활잡배수와 같은 저농도의 유기성 폐수 뿐만 아니라 에너지 절약적인 면에서 유기물을 제거하는 것을 목적으로 1960년대 후반부터 개발되어온 생물막처리법이다. 이러한 연구결과 Young 등<sup>2)</sup>에 의해서 BOD 1000 mg/l 정도의 유기성 폐수가 또한 稻森 등<sup>11)</sup>에 의해서

BOD 200 mg/l 정도의 유기성 폐수가 혐기성 여상법에 적용 가능함을 밝혔다. 이 방법에서는 일반적으로 균체량이 많을수록 처리성능이 증대된다고 보고하고 있다. 다시 말해서 균체의 유지성이 높은 여재를 이용하여 반응조내에 고농도의 균체를 유지할수록 처리 성능이 높을 것이라고 생각하고 있다.

따라서 稻森, Young 등은 여재가 균체에 대한 유지성능을 해명하기 위해 여재의 형상을 변화시켜 처리성능에 있어서의 차이점 등을 연구하였다.

한편 Hurray 등<sup>14)</sup>은 충전제에서 용출되는 화학종과 생물막의 발달에 대하여 검토한 바 연성점토에서 철의 용출에 의해서 생물막의 발달을 촉진시키고 있음을 보고하였고, Sowers 등<sup>15)</sup> 역시 철이 생물막 형성에 역할을 하고 있음을 보고하였다. 한편 Turakhia 등<sup>16)</sup>은 칼슘이온이 펠렛의 충전제로서 가능하며, 응집 또는 부착에 중요한 역할을 하고 있음을 밝히고 있다.

혐기성 여상(생물막)법에 있어서는 정상적인 부하에서 운전하기까지의 start-up 기간이 오래 걸린다는 결점이 있으며,<sup>12)</sup> 4~8개월의 장기간을 필요로 한다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 혐기성 생물막법에 있어서의 start-up 기간을 단축시키기 위하여 인공폐수 중의 영양염 중 특히  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  농도의 영향 및 서로 다른 충전제의 영향을 조사 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험장치

실험에 사용한 반응조(Fig. 1)는 투명한 아크릴로 제작하였으며 반응조와 침전조로 나누어져 있다. 반응조의 충전제로는 Ringlace와 Honeycomb tube (셀 입경 20 mm)를 사용하였으며, 반응 유효용적은 2l이다. 합성폐수는 반응조 하부에서 유입하여 상향류식으로 처리되도록 하였으며, 반응조는  $30 \pm 2^\circ C$ 의 항온조에 설치하였다.

### 2. 합성폐수

합성폐수의 조성을 Table 1에 나타내었다.<sup>7)</sup> 합성폐수는 글루코스와 폴리펩톤을 주성분으로 하여 이것에 무기영양염류를 첨가한 것으로 유입수 평균 TOC 농도는 740 mg/l이다. 또한 본 실험에서는 start-up기간 동안의  $Ca^{2+}$  및  $Fe^{2+}$ 의 영향을 조사하기 위하여 기준 배수( $Ca=2.5$  mg/l,  $Fe=0.003$  mg/l)와는 별도로  $Ca^{2+}$ 을 과량 첨가한( $Ca^{2+}$  40배) 것과  $Fe$ 를 과량으로 첨가한( $Fe^{2+}$  100배) 합성폐수를

**Table 1.** Composition of the synthetic wastewater

Components	Concentration (mg/l)
$K_2HPO_4$	54.37
$KH_2PO_4$	21.35
$NH_4Cl$	4.25
$NaHPO_4 \cdot 12H_2O$	111.5
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	5.6
$CaCl_2$	6.87
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	0.063
Polypeptone	1100
Glucose	1000

만들었다. 합성폐수는 부패를 방지하기 위하여 120 °C, 15분간 Autoclave한 후에 사용하였다.

### 3. 실험방법

실험은 반응조에 소화슬러지 1/를 넣고 여기에 수돗물 1/를 넣고 운전을 개시하였다. 반응조는 Ringlace를 충전한 반응조(이하 R이라 표기)와 Honeycomb tube를 충전한 반응조(이하 H라 표기)를 각각 3개열씩을 사용하였다.

또한 이들 반응조에 기준폐수를 공급하는 것을 각각 R-1, H-1로 표기하고  $Fe^{2+}$ 을 과잉으로 첨가한 합성폐수를 공급하는 것을 R-2, H-2로  $Ca^{2+}$ 을 과잉으로 첨가한 합성폐수를 공급하는 것을 R-3 및 H-3으로 표시하였다. 실험개시 때의 각 장치의 수리학적 체류시간(HRT)은 48시간이며, 용적부하는  $0.37 \text{ kg TOC/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 유입 TOC의 80% 이상 제거되었을 때 순차적으로 부하를 증가시켰다(Table 2).

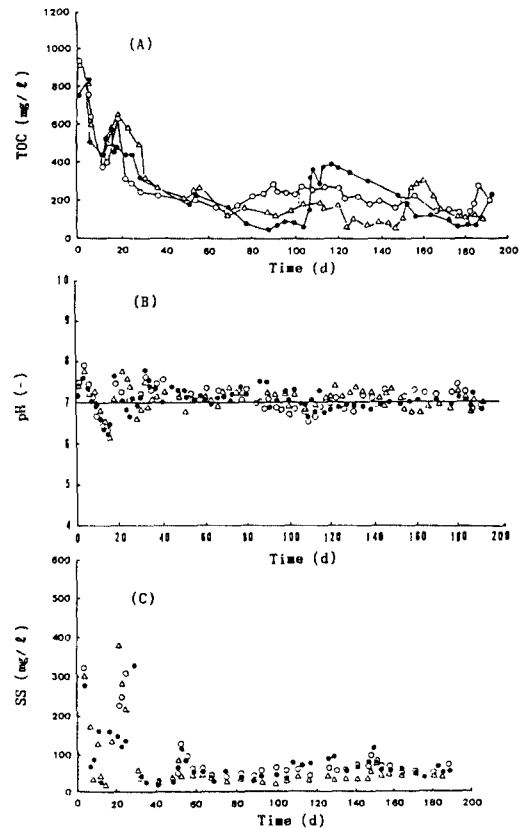
### 4. 분석방법

분석항목은 TOC, SS, pH로서 TOC는 Shimadzu TOC-500으로 측정하였으며, pH는 pH측정기(Or-gano), SS는 일본공업용수 시험방법에 의하여 측정하였다.<sup>18)</sup> 슬러지 중의  $Ca^{2+}$  분석은 X선 마이크로 분석기(X-ray Microanalyzer(XMA), 日本電子)를 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 유기물 농도의 처리변화

Fig. 2는 Ringlace를 충전한 반응조에 있어서의 TOC농도 변화를 나타내고 있다. 유입수의 평균 TOC농도는 740 mg/l이며 R-1에는 기준폐수를, R-2와 R-3에는 기준폐수에 각각  $Fe^{2+}$ 와  $Ca^{2+}$ 를 과잉으로 공급한 반응조를 나타낸다. 이들 3종류의 합



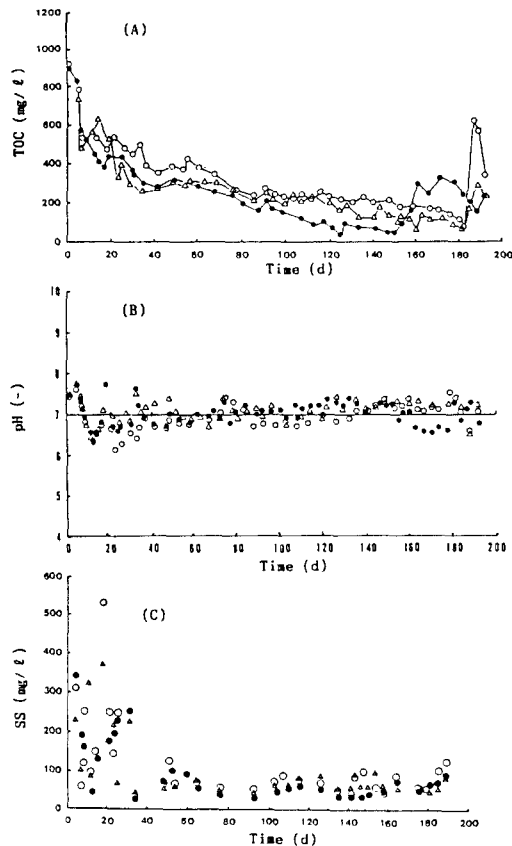
**Fig. 2.** Profiles of effluent TOC concentration (A), pH (B) and suspended solid concentration (C) on the anaerobic filter reactor packed by Ringlace. Symbols: (○-○) control synthetic wastewater, (●-●) synthetic wastewater containing  $Ca^{2+}$  (40 times), ( $\Delta$ - $\Delta$ ) synthetic wastewater containing  $Fe^{2+}$  (100 times).

성폐수를 공급하였을 때의 처리수 농도는 서서히 저하하였으며, R-3인 경우 87일째에는 안정하게 처리되어 104일째에 유기물 용적부하  $0.37 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 에서  $0.74 \text{ kg-TOC/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가시켰다. 부하가 증가함에 따라 처리수의 TOC농도가 점차 증가하는 경향을 보이다 재차 감소하여 운전 180일경에 유기용적부하를  $1.05 \text{ kg-TOC/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가시켰다. R-2인 경우에는 실험개시 145일째 부하를 증가시켰다. 마찬가지로 유기물부하 증가로 인해 처리수의 농도가 증가하는 경향을 보였으나 점차 감소하였다.

R-1인 경우에는 실험개시부터 처리수 농도가 감소하기 시작하였으나 제거율 80%이상 도달하지 못하여 부하를 증가시키지 못하였으며 184일이 되어 서야 유기물 부하를 증가시킬 수 있었다.

**Table 2.** Experimental conditions on the anaerobic filter reactors

	Ringlace			Honeycomb tube		
	R-1	R-2	R-3	H-1	H-2	H-3
HRT	48	48	48	48	48	48
Influent conc. (mg-TOC/l)	740	740	740	740	740	740
Loading rate kg-TOC/m <sup>3</sup> ·d)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Ca <sup>2+</sup> conc. (mg/l)	2.5	2.5	100	2.5	2.5	100
Fe <sup>2+</sup> conc. (mg/l)	0.013	13	0.013	0.013	13	0.013



**Fig. 3.** Profiles of effluent TOC concentration (A), pH (B) and suspended sludge concentration (C) on the anaerobic filter reactors packed by Honeycomb tube. Symbols : (○-○) control synthetic wastewater, (●-●) synthetic wastewater containing Ca<sup>2+</sup> (40 times), (△-△) Synthetic wastewater containing Fe<sup>2+</sup> (100 times).

Fig. 3에 Honeycomb tube를 충전한 혐기성 생물막 반응조에 있어서의 처리수 TOC농도 변화를 나

타내었다. Fig. 2에서와 마찬가지로 H-1은 기준폐수를, H-2 및 H-3에는 각각 Fe<sup>2+</sup> 과잉 및 Ca<sup>2+</sup> 과잉의 합성폐수를 공급하였다.

H-3인 경우 실험개시 150일째에 TOC제거율이 80% 이상 되어 유기물 부하를 0.37 kg-TOC/m<sup>3</sup>·d에서 0.74 kg-TOC/m<sup>3</sup>·d로 증가시켰으며 Fe<sup>2+</sup>를 과잉으로 공급한 H-2 및 H-1은 H-3보다 약 30일 정도 늦은 181일경에 부하를 증가시켰다. 이처럼 Ringlace와 Honeycomb tube를 충전한 혐기성 생물막 법을 사용한 경우 start-up기간 중의 처리성적을 보면 Ringlace를 충전한 반응조가 Honeycomb tube를 충전한 반응조보다 약 63일 정도 빨리 유기용적부하를 증가시킬 수 있었으며, 실험기간 동안 2번 부하증가가 가능하였다. 또한 합성폐수에 Ca<sup>2+</sup>을 과잉으로 첨가하는 쪽이 기준합성폐수나 철을 과잉으로 첨가한 합성폐수보다 start-up기간 중에는 안정함을 알 수 있었다. 이것은 같은 농도의 합성폐수일지라도 합성폐수 중의 무기영양염의 첨가에 따라 처리능이 다르다는 것을 시사한다고 생각된다. Table 3에는 Ringlace와 Honeycomb tube를 충전한 반응조의 정상상태에 있어서의 실험결과를 나타내었다.

## 2. 처리에 따른 pH변화

Ringlace 및 Honeycomb tube를 충전한 반응조의 pH의 경시변화를 Fig. 2와 3의 (B)에 나타내었다. 서로 다른 합성폐수의 경우라도 실험초기에는 pH가 8까지 상승하였으나 점차 저하되어 pH 6까지 저하하였다. 이때 1 N NaOH를 이용하여 pH를 조절한 결과 회복하는 경향이 있었다.

실험초기의 pH의 저하는 Fig. 2와 3의 (C)에서 알 수 있듯이 많은 양의 반응조 미생물의 유출에 의한 것으로 추정되며 실험이 진행됨에 따라 pH도 안정되고 있음을 보여주고 있다. 또한 각 반응조에 있어서 유기물 부하증가에 따라 pH의 저하현상이 나타나고 있으나 이것 역시 실험이 진행됨에 따라 pH

**Table 3.** Summary of operation results on the stead state

	HRT (h)	Loading (kg-TOC/m <sup>3</sup> ·d)	Effluent conc. (mg/l)	TOC removal (%)	Alkalinity (mg/l)
R-1	48	0.37	148	80	482
	24	0.74			
R-2	48	0.37	84.6	88.8	488
	24	0.74			
R-3	48	0.37	89.3	87.9	445
	24	0.74	81.5	88.9	432
	16	1.05			
H-1	48	0.37	80.6	89.1	493
	24	0.74			
H-2	48	0.37	120.4	83.7	476
	24	0.74			
H-3	48	0.37	70	89.3	463
	24	0.74			

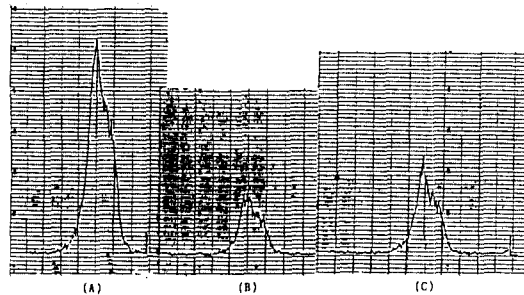
7 부근에 회복됨을 보이고 있다. 본 실험에 있어서는 실험초기를 제외하고는 pH가 7에서 7.5 사이를 나타내고 있으며 유기물 용적부하의 증가에도 불구하고 처리물의 pH는 혐기성생물의 증식이 억제된다고 하는 pH 6 이하까지는 저하되지 않았다.

### 3. 처리수의 SS의 변화

각 반응조의 있어서의 처리수 SS변화를 Fig. 2와 3의 (C)에 나타내었다. 실험초기에는 각 반응조에 있어서의 유출되는 슬러지량의 변동은 심했지만 실험개시 37일경부터는 안정된 상태를 유지하고 있다. 또한 유기물부하의 증가와 함께 유출슬러지량도 증가하고 있는 경향을 보이고 있으나, 실험초기처럼 큰 변동은 없었다.

Ringlace 및 Honeycomb tube를 충전한 반응조에 있어서 특히 Ca<sup>2+</sup>을 과잉으로 첨가한 합성폐수를 공급하는 R-3 및 H-3에서는 유기물 부하가 증가함에도 불구하고 유출되는 슬러지량은 기준합성폐수 및 Fe<sup>2+</sup>을 과잉으로 첨가한 합성폐수 보다 낮음을 알 수 있다. 이처럼 혐기성 생물막법에서는 start-up기간 중에는 합성폐수의 조성에 의해서 유출되는 슬러지량이 다르다는 것을 알 수 있다. 유기물 용적부하가 높게되면 수리학적 체류시간이 짧게 되어 수리부하량이 높게 된다. 따라서 미생물은 상대적으로 충전제에 부착하기 어렵게 되며 이 때문에 유출슬러지량은 많게 된다.

그러나 본 실험에서는 Ca<sup>2+</sup>과 Fe<sup>2+</sup> 과잉으로 들어있는 경우에는 유기물 부하가 증가하더라도 기준



**Fig. 4.** X-ray spectrum of the surface of sludge attached on Ringlace used in the anaerobic filter reactors. A: Synthetic wastewater containing Ca<sup>2+</sup> ion (40 times), B: Synthetic wastewater containing Fe<sup>2+</sup> (100 times), C: control synthetic wastewater.

합성폐수보다 유출슬러지량이 적은 것으로부터 칼슘이나 철은 미생물을 충전제에 부착시키는 역할을 하는 것으로 생각된다.

### 4. XMA에 의한 Ca<sup>2+</sup>량의 측정

Fig. 4에는 Ringlace를 충전한 반응조에 형성된 슬러지의 XMA에 의한 Ca<sup>2+</sup>량의 비교를 나타내었다. (A)는 Ca<sup>2+</sup>을 과잉으로 첨가한 합성폐수, (B)는 Fe<sup>2+</sup>을 과잉으로 첨가한 합성폐수, (C)는 기준합성폐수를 공급한 반응조의 슬러지에 있어서의 Ca<sup>2+</sup>에 대한 X-ray spectrum을 나타낸 것이다.

본 실험에서는 양적으로는 정확한 양을 구할 수

없으나,  $\text{Ca}^{2+}$  과잉으로 첨가한 합성폐수를 공급한 반응조의 슬러지에는  $\text{Fe}^{2+}$  과잉 및 기준합성폐수보다 많은 양의  $\text{Ca}^{2+}$  을 포함하고 있음을 알 수 있다.

Turakhia 등<sup>16)</sup>은 혐기성 여상을 이용한 처리에 있어서 중화제로서 소다라임 보다는  $\text{CaCO}_3$ 를 사용하는 것이 바람직하며 이것은  $\text{Ca}^{2+}$  이 혐기성 미생물을 충전제의 표면에 부착시키는 역할을 하기 때문이라고 보고하였다.

본 연구에서는 start-up기간 중에 있어서  $\text{Ca}^{2+}$  을 과잉으로 첨가한 합성폐수를 사용한 경우 처리효율이 다른 합성폐수보다 높고 처리수의 SS유출량이 낮으며 또한 부착슬러지 중에 Ca량이 많은 점으로 미루어볼 때  $\text{Ca}^{2+}$  이 혐기성 미생물을 충전제의 표면에 부착시키는 역할을 하고 있는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

Ringlace와 Honeycomb tube를 충전한 혐기성 미생물 반응조를 사용하여 start-up기간에 있어서의 처리효율에 미치는 충전제의 영향과 합성폐수 중의 무기염 특히  $\text{Ca}^{2+}$  과  $\text{Fe}^{2+}$  을 과잉으로 첨가하여 공급하였을 때의 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① Honeycomb tube 보다는 Ringlace를 충전한 쪽이 유기물 부하 0.37에서 0.74 kg-TOC/m<sup>3</sup>·d로 증가시키는 기간이 약 63일 정도 빠르며,
- ②  $\text{Ca}^{2+}$  을 과잉으로 첨가하는 합성폐수를 공급하였을 때  $\text{Fe}^{2+}$  과잉첨가 및 기준합성 폐수를 공급하였을 때보다 처리효율이 높았고,
- ③ Ringlace를 충전한 반응조에 서로 다른 3종류의 합성폐수를 공급하였을 때 반응조의 혐기성 슬러지의 XMA 분석결과  $\text{Ca}^{2+}$  과잉첨가 합성폐수를 공급한 반응조의 슬러지 표면에 있어서의  $\text{Ca}^{2+}$  량은 다른 합성폐수를 공급한 반응조의 슬러지에 함유된  $\text{Ca}^{2+}$  량보다 많이 존재함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) J. C. Young and P. L. McCarty : The Anaerobic Filter Waste Treatment, Proceedings of the 22nd Purde Industrial Waste Conference, 559-574, 1967.
- 2) J. C. Young and P. L. McCarty : The Anaerobic Filter Waste Treatment. *J. WPCF*, **41**, 160-173, 1969.
- 3) M. S. Switzenbaum and W. J. Jewell : Anaerobic Attached-Film Expanded-Bed Reactor Treatment.

- J. WPCF*, **53**, 1953-1965, 1980.
- 4) W. J. Jewell, M. S. Switzenbaum and J. W. Morris : Municipal Wastewater Treatment with the Anaerobic Attached Microbial Film Expanded Bed Process. *J. WPCF*, **53**, 482-490, 1981.
- 5) G. Lettinga, A. F. M. Van Velson, S. W. Hobma, W. de Zeeuw and A. Klapeijk : Use of the Upflow Sludge Blanket(USB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. *Biotech. Bioeng.*, **22**, 699-734, 1980.
- 6) J. J. Heijnun, A. Mulder, W. Enger and F. Hoeks : Review on the Application of Anaerobic Fluidized Bed Reaction in Wastewater Treatment. JWPCA Conference Anaerobic Wastewater Treatment, 161-173, 1986.
- 7) 川瀬三雄, 松岡慶二, 野村忠士, 村田直樹 馬島剛 : 嫌氣性固定床の運轉実績. 第24回水質汚濁學會講演集, 457-458, 1990.
- 8) P. M. Sutton, A. Li, R. R. Evans and S. R. Korchin : Dorr-Oliver's Fixed-Film Suspended-Growth Anaerobic Systems for Industrial Wastewater Treatment and Energy Recovery, Proc. 37th Industrial Waste Conference, 667-675, 1982.
- 9) R. P. G. Bowker : New Wastewater Treatment for Industrial Applications. *Environmental Progress*, **2**, 235-242, 1983.
- 10) G. Lettinga, W. de Zeeuw, L. Hulshoff Pol, W. Wiegant and A. Rinzema : Anaerobic Wastewater Treatment Based on Biomass Retention with Emphasis on the UASB-Process, 4th Int'l Symp. on Anaerobic Digestion, 279-301, 1985.
- 11) 稻森悠平, 佐野亮一, 國安克彦, 岡田光正, 須藤隆一 : 嫌氣性プロセスを組みこんだ生活排水の處理. 用水と廢水, **24**(9), 1017-1029, 1982.
- 12) M. Henze and P. Harremoes : Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors-A Literature Review. *Wat. Sci. Tech.*, **15**, 1-101, 1983.
- 13) J. S. Rockey and C. S. Forster : Microbial Attachment in Anaerobic Expanded Bed Reactors. *Environmental Technology Letters*, **b**, 115-122, 1985.
- 14) W. D. Murray and L. Van den Bery : Effects of Nickel, Cobalt and Molybdenum on Performance of Methanogenic Fixed Film Reactors. *Appl. Environ. Microbiol.*, **42**, 502-505, 1981.
- 15) K. R. Sowers and J. G. Ferry : Trace Metal and Vitamin Requirements of Methanococcoides Methylytens Grown with Trimethylamine. *Arch.*

- Microbiol.*, **142**, 148-151, 1981.
- 16) M. H. Turakhia, K. E. Cooksey and W. G. Characklis : Influence of a Calcium-Specific Chelant on Biofilm Removal. *Appl. Environ. Microbiol.*, **46**, 1236-1238, 1983.
- 17) 金容大, 鄭京勳 : 嫌氣性 生物膜法에 의한 有機性 排水의 處理. 韓國環境衛生學會誌, **17**(2), 41-47, 1991.
- 18) 日本公업규격 : 공업용수시험법. JIS 0102, 1981.
- 19) R. A. Celesk, R. M. McCabe and J. London : Colonization of the Cementum Surface of Teeth by Oral Gram-Negative Bacteria, *Infection and Immunity*, **26**, 15-18, 1978.