

## 고정 생물막공법에서 부착미생물의 역세에 관한 연구

이창근·김정숙·강임석·이병현\*

창원정밀·부경대학교 해양산업개발연구소·부경대학교 환경공학과

(1996년 5월 14일 접수)

## A Study of Attached Biomass Back Washing in Fixed Film System

Chang-Geun Lee, Jeong-Sook Kim\*, Im-Suk Kang\*\*, and Byung-Hun Lee\*\*

Chang Won Precision Co. Ltd.

\* Engineering Research Center, Pukyong National University

\*\* Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(Manuscript received 14 May 1996)

The clogging phenomenon in the fixed film reactor is shown when biomass growth is excessive for long operating time. In addition, effluent water quality gets worse because of detachment of biomass. In this study, we conducted air - backwashing to sustain biomass in reactor to complement these defects. The results of experimental are showed in the following conclusion.

The detachment rate was 19.5 - 38.0 % when the organic loading rate was 0.40 - 1.32 kg COD/m<sup>3</sup>/day, the air - backwashing intensity was 2 L/min(6.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr) and the backwashing time was 15 - 19 seconds.

And the detachment rate was 32.2 - 58.6 % when the organic loading rate was 1.37 - 2.27 kg COD/m<sup>3</sup>/day, the backwashing time was 1 - 12 minutes. As organic loading rate and backwashing time are increased, detachment of fixed biomass is increased. The detachment equation with detachment rate(DR, %), backwashing time(BWT, min), fixed biomass concentration(FB, mg/L), and organic loading rate(OLR, kg COD/m<sup>3</sup>/day) through multiple linear regression was given by the following equation:

$$DR = 17.964 BWT^{0.1407} FB^{0.0597} OLR^{0.1945}$$

Key words : organic loading rate, backwashing time, fixed biomass

### 1. 서 론

고정 생물막공법은 부유성장 활성슬러지공법에 비해 유지관리가 용이하고, 슬러지를 반송시킬 필요가 없으며 섭유성 미생물이 생성되더라도 메디아에 부착되므로 슬러지 팽화현상(sludge bulking)이 없을뿐만 아니라, 고형물

체류시간(SRT, solid retention time)이 길어져서 슬러지 생산량이 작아지는 장점이 있다(McKinney, 1984). 그러나, 고정 생물막 공법은 운전기간이 경과됨에 따라 접촉 메디아표면에 과도하게 성장된 부착미생물로 인하여 공극 폐쇄현상이 발생하여 생물막 내부로 용존산소

Table 1. Characteristics of SARAN media

Item	Value
Media type	SARAN 1000D
Media size (mm)	120 × 75 × 20
NO. of packed media	2 EA
Specific surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	400
Specific gravity (kg/m <sup>3</sup> )	0.0
Media surface area (m <sup>2</sup> )	0.144
Porosity (%)	98.02

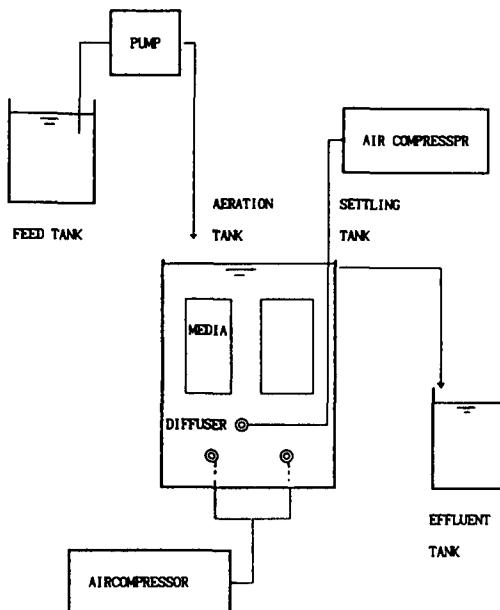


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus of a continuous fixed-film reactor.

의 확산이 어려워져 내부는 협기성화되어 악취가 발생하며, 또한 미생물이 박리되면서 유출수의 수질을 악화시킨다(Sagberg, et al. 1992). 그러므로 고정 생물막공법에서 역세를 통하여 부착 미생물을 적절하게 유지시키는 것은 매우 중요하다. 고정 생물막공법에서 부착 미생물의 양을 적절히 유지하기 위하여 역세를 하고 있으나, 역세에 관한 구체적인 자료가 부족한 실정이다. 본 연구는 역세에 대한 방법 및 역세의 조건, 역세의 안정성, 역세 후의 처리수질 변화에 관한 연구를 통하여 고정 생물막공법의 적절한 유지관리 및 설계 기초 자료로 이용하는데 기여하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 Fig. 1과 같다. 고정 생물막 반응조는 폭 15 cm, 길이 12 cm, 높이 17 cm의 아크릴을 사용하여 제작하고 폭 기조의 총 용적은 3 L이다. 폭기조는 4조를 운전하였으며 각 조에는 크기가 12 × 7.5 × 2 cm 인 메디아를 각각 두개씩 넣고 고정하였다. 각 반응조에 일정량의 폐수유입을 위해 유입수의 저류조와 반응조 사이에 정량펌프(Cole-Parmer Instrument Company의 ISMATEC)를 이용하여 상향류식으로 합성폐수를 공급하였다. 공기공급과 폐수의 원활한 혼합을 위해 반응조의 하부에 각각 한개씩의 산기관을 설치하여 공기압축기(Thomas Industries Inc의 Spray molel 600)로 공기를 공급하였다. 실험에 사용한 메디아는 망상형으로서 비표면적이 400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 SARAN 1000D이며, 반응조 부피의 22 %를 충진하였다. 메디아의 특성은 Table 1과 같다. 또한 역세체를 하기위해서는 아크릴관(D = 6 mm, L = 15 cm)에 1 cm 간격으로 14개의 구멍(D = 0.5 mm)을 뚫어 메디아 아래에 두개를 설치하여 역세공기를 공급하였다.

### 2.2 시료조제

기질로서는 미생물의 성장에 필요한 유기물과 무기물의 구성이 일정한 합성폐수를 사용하였다. 탄소공급원으로는 글루코오스(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)를 사용하고, 암모니아는 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 사용하였으며, 인은 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>를 사용하여 COD:N:P의 비율을 100:5:1로 하였다. 기질제조에 필요한 회석수는 수돗물을 사용했으며, 유입폐수의 조성은 Table 2와 같다. Alkalinity의 공급은 중탄산나트륨(NaHCO<sub>3</sub>)를 CaCO<sub>3</sub>로 환산하여 공급하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구에서 사용된 활성슬러지는 양산에서

고정 생물막공법에서 부착미생물의 역세에 관한 연구

Table 2. Composition of synthetic wastewater

COD Source	Item	Unit, mg/L			
		500	800	1000	2000
Nutrients	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -P			5	
	NH <sub>4</sub> Cl			25	
	CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O			0.03	
	MgSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O			7.00	
Mineral	FeCl <sub>2</sub>			0.12	
	ZnCl <sub>2</sub>			0.02	
	CuCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O			0.03	
	MnCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O			0.04	
	NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O			0.04	
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> 4H <sub>2</sub> O			0.02	
Alkalinity	NaHCO <sub>3</sub>			218	
				(350 as CaCO <sub>3</sub> )	

Table 3. Data of operation in fixed film reactor

Organic Loading Rates (kg COD/m <sup>3</sup> /day)	Influent		Effluent				Efficiencies		
	TCOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TCOD	SCOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TSS	VSS	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
0.65	520	8.78	49.0	32.3	0.30	6.8	6.4	93.8	96.6
2.16	788	13.60	88.2	56.2	0.05	17.8	15.8	92.9	99.6
1.04	682	6.31	306.6	71.4	2.65	113.8	106.0	89.5	57.9
1.26	760	16.79	292.7	98.2	7.88	22.6	21.5	90.6	53.0
4.13	1080	9.89	345.5	118.4	0.07	24.4	24.1	83.8	99.3
2.42	884	32.11	159.4	48.0	5.12	25.0	23.0	86.6	84.0
1.41	880	35.75	222.4	186.6	8.39	102.9	95.3	94.6	76.5
1.47	800	37.11	191.4	23.7	0.80	129.4	126.5	76.7	71.0
1.54	880	38.93	40.6	12.0	0.45	3.2	2.5	99.3	99.0
2.18	1044	42.59	243.5	29.8	4.41	61.9	49.9	97.2	89.6
3.75	1979	17.63	114.8	85.3	13.71	28.7	27.0	95.7	22.4
1.14	948	39.73	89.9	74.7	16.91	10.5	9.5	92.1	57.6
1.19	1032	35.49	44.2	27.4	2.76	8.3	5.7	97.4	92.2
3.51	1962	83.42	44.0	15.4	7.89	26.6	22.9	99.2	90.5
3.74	2246	78.39	321.0	99.2	5.02	220.6	205.6	95.6	93.6

가동중인 제지공장 폐수처리장의 반송슬러지로 실험실에서 제조한 합성폐수로 순화시킨 후 유기물질 제거 및 역세설험을 행하였다. 운전시작 후 처음 2일 동안은 미세한 부유물질이 나타나고, 4일이 지나면서 메디아의 표면에 미세 floc이 부착되기 시작하였으며 7일이 지나자 짙은 황색의 실 모양 미생물이 메디아에 부착되기 시작하였다. 메디아에 과다하게 부착된 미생물의 적정탈리정도, 탈리주기를 구하기 위해 유기물질 부하량을 0.6 - 4.0 kg/m<sup>3</sup>/day로 변화시켜 허용부하량을 먼저 결정한 후 최적의 역세정도를 찾기 위해 역세 air flowrate를 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min으로 하여, 지속시간을 1 - 15 min으로 변화시켜 역세정도를 파악하였으며 역세설험시 미생물의 농도와 역세강도, 역세지속시간의 상관관계를 파악하였다. 반응조내 용존산소는 2.0 - 6.0 mg/L,

pH는 6.5 - 8.5로 유지하였다.

#### 2.4 분석방법

시료의 채취분석은 1주일에 2번씩 하여 COD, SS, MLSS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N를 측정하였고 pH, DO, HRT는 매일 측정하였다. 역세설험은 일정 공기 강도에서 지속시간별로 역세한 미생물의 양을 부유상, 부착상, 역세상으로 구분하여 측정하였는데 부유상은 반응조내의 용액을 아래로 빼낸 것으로 분석하였고, 역세상은 유출수의 상징액을 부유상의 부피와 동일한 양을 넣고 역세한 후 부유상과 같은 방법으로 분석하였으며, 부착상은 역세액을 빼낸 뒤 일정량의 물을 부어 메디아 부착된 미생물을 손으로 조심스럽게 비빈 후에 SS를 측정함으로써 분석하였다. 본 연구에 사용한 분석방법은 standard method로 수행하였으며 standard

Table 3. Biomass concentration and detachment rate by backwashing condition

PHASE	Organic Loading (kg COD/m <sup>3</sup> /day)	BWT <sup>a)</sup> (min)	Total Biomass (mg/L)	Fixed Biomass (mg/L)	Detached Biomass (mg/L)	Detachment Rate <sup>b)</sup> (%)
1	0.40	0.25	1991	1988	388	19.5
	0.61	0.50	2601	2597	527	20.3
	0.13	1.00	2693	2674	644	24.1
	0.89	1.50	2997	2982	842	28.2
2	1.32	0.25	4367	4123	933	22.6
	1.24	0.50	5550	4660	1410	30.3
	1.19	1.00	3426	3323	890	26.8
	1.29	1.50	5380	4760	1810	38.0
3	1.37	1	5803	4263	1563	36.7
	1.37	2	6771	4851	1788	36.9
	1.49	3	5080	3710	1600	43.0
	1.36	4	5360	3070	1800	58.6
4	1.86	3	6380	6030	2830	46.9
	2.27	6	6570	5560	1788	32.2
	2.19	9	7190	6400	3030	47.3
	1.51	12	7050	6250	3320	53.1
5	3.72	1	7869	6909	2720	39.4
	3.72	2	7869	6909	2930	42.4
	3.72	3	7869	6909	2970	43.0
	3.72	4	7869	6909	3270	47.3
6	3.82	3	7110	6340	2980	47.0
	3.82	6	7110	6340	3094	48.8
	3.82	9	7110	6340	3119	49.2
	3.82	12	7110	6340	3271	51.6

a) BWT : Backwashing Time

b) Detachment Rate : (Deattached Biomass)/(Fixed Biomass) × 100

methods(APHA et al., 1989)의 여러방법 중에서 COD는 open reflux method로, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 ammonia selective electrode method로 수행하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 제거효율 및 유출수 수질

Table 3은 고정생물막 반응기의 COD 부하에 따른 유입원수와 처리수의 농도, 평균제거효율을 나타낸 것이다. 유기물질 부하에 따른 SCOD 제거효율은 유기물질 부하율이 0.65 - 3.74 kg COD/m<sup>3</sup>/day에서 SCOD제거효율이 92.1 - 95.6 %로 나타났다. SCOD제거효율이 83.8 %와 86.6 %로 낮게 나타난 것은 초기운전에서 유기물질 부하율이 4.13 kg COD/m<sup>3</sup>/day로 높아 제거효율이 낮아진 것으로 판단된다. 또한 SCOD제거효율이 76.7%로 낮게 나타난 것은 메디아에 부착된 미생물의 탈리에 의한 것으로 판단된다.

#### 3.2 역세실험

합성폐수를 사용한 본 연구에서의 고정 생물막 반응조의 유기물질 부하율에 따른 역세결과는 Table 4와 같다. 유기물질 부하가 증가함에 따라 total biomass가 증가하고 fixed biomass, detached biomass도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 detachment rate도 증가하는 경향을 알 수 있다.

### 4. 고 칠

#### 4.1 유기물질 부하율과 역세시간에 따른 역세

고정 생물막 반응조내의 매디아 표면에 부착된 미생물을 역세한 실험 결과는 Table 4와 Fig. 2와 같으며, Fig. 2는 역세지속시간의 변화에 따른 부착미생물의 탈리정도를 나타내고 있다. 유기물질 부하율이 0.40 - 2.27 kg COD/m<sup>3</sup>/day, 역세공기강도 2 L/min(6.7m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr)에서 역세시간이 15초 - 12분으로 증가함에 따라 탈리율은 19.5 - 58.6 %로 증가되었다. 이는 역세공기강도가 일정한 상태에서는 유기물질 부하율이 증가하고, 역세시간이 길어

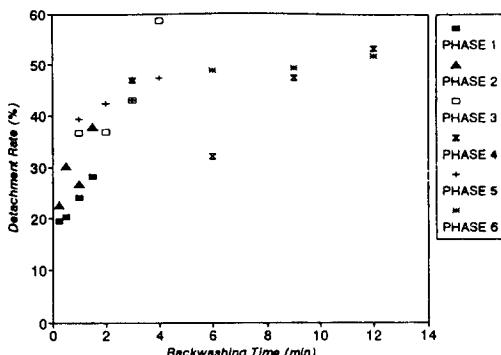


Fig. 2. Detachment rate versus backwashing time. (air-backwashing intensity : 2 L/min)

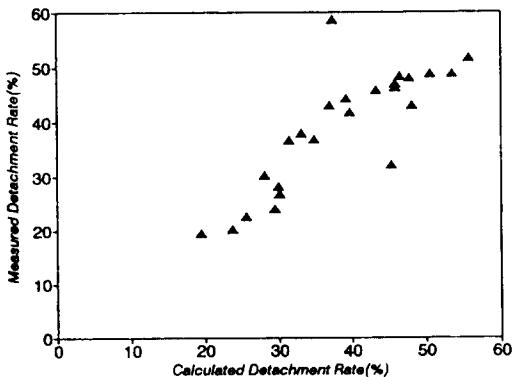


Fig. 3. Comparison between experimental and calculated values of detachment rate for backwashing time and fixed biomass.

질수록 부착 미생물의 탈리율이 증가됨을 알 수 있었다. 유기물질 부하율이  $3.72 \text{ kg COD/m}^3/\text{day}$ , 역세공기강도  $2 \text{ L/min}(6.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr})$ 에서 역세시간이 1 - 12분으로 증가함에 따라 탈리율은 39.4 - 51.6 %로 증가되었다. 이는 동일한 부하량과 역세강도에서는 역세시간의 변화에 따라 탈리율이 증가되었고 유기물질 부하율이 증가하고 역세지속시간이 증가하면 부착미생물의 탈리율이 증가함을 알 수 있다.

#### 4.2 탈리율의 다중회귀분석

역세실험의 탈리율(DR, Detachment Rate, %)은 역세지속시간(BWT, Backwashing Time, min)이 길어질수록, 부착 미생물농도(FB, Fixed Biomass, mg/L)가 높아질수록,

유기물질 부하율(OLR, Organic Loading Rate,  $\text{kg COD/m}^3/\text{day}$ )이 높아질수록 증가하였다. 역세 실험결과를 털리율, 역세지속시간, 부착 미생물농도, 유기물질 부하율의 변화에 따른 의존성을 다중회귀분석(multiple linear regression)을 통해 파악하면 식 (1)과 같다.

$$DR = 17.964 BWT^{0.1407} FB^{0.0597} OLR^{0.1945} \quad (1)$$

Fig. 3은 실험에서 구한 탈리율(DR, %)과 식 (1)로 구한 탈리율(DR, %)를 비교한 것으로 87.5 %의 정확도를 나타냈으며 비교적 실험치와 계산치가 일치함을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

고정생물막 공법에서 메디아의 표면에 부착된 미생물의 탈리를 위한 실험실 반응조의 운전결과 및 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유기물질 부하율이  $0.65 - 3.74 \text{ kg COD/m}^3/\text{day}$ 에서는 SCOD의 제거효율이 76.7 - 99.3 %와 유출수의 SCOD농도는  $15.4 - 186.8 \text{ mg/L}$ 로 나타났다.

2) 역세실험에서는 유기물질 부하율이  $0.4 - 1.32 \text{ kg COD/m}^3/\text{day}$ 와 역세공기강도  $2 \text{ L/min}(6.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr})$ , 역세지속시간이 15 - 90초에서 탈리율은 19.5 - 38.0 %로 나타났으며,  $1.37 - 2.27 \text{ kg COD/m}^3/\text{day}$ 와 역세공기강도  $2 \text{ L/min}(6.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr})$ , 역세지속시간이 1 - 12분에서는 32.2 - 58.6 %로 나타났다.

3) 동일한 역세공기강도에서는 유기물질 부하율과 역세지속시간이 증가되면 부착 미생물의 탈리율이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

4) 탈리율(DR, %), 역세시간 (BWT, min), 부착 미생물농도(FB, mg/L)와 유기물질 부하율(OLR,  $\text{kg COD/m}^3/\text{day}$ )과의 상호의존관계식은 다음과 같다

$$DR = 17.964 BWT^{0.1407} FB^{0.0597} OLR^{0.1945}$$

#### 감사의 글

이 논문은 농림수산부에서 시행한 현장애로 기술개발사업의 일환으로 부산수산대학교 해양산업개발연구센터에서 수행한 것입니다. 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

APHA, AWWA and WPCF, 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th Ed.  
McKinney R.E., 1984, Activated Sludge

Kinetics - Microbiology, Unpublished.  
Sagberg. P, P. Dau thille and M. Hamon, 1992, Bio film reactors ; A compact solution for the upgrading of wastewater treatment plant, Wat. Sci. Tech., Vol.26, No.3-4, pp.733-742.