

## 고정 생물막 공법을 이용한 고농도 폐수 처리시 비표면적 영향

박태주\* · 이민규\*\* · 안갑환 · 송승구

\*지산간호보건전문대학 환경관리과

\*\*제주대학교 공과대학 화학공학과

부산대학교 공과대학 화학공학과

(1989년 9월 4일 접수, 1989년 11월 24일 채택)

### Effect of Specific Surface Area on Treating a Strong Waste by Aerobic Fixed-Film Process

Tae-joo Park\*, Min-gyu Lee\*\*, Kab-hwan An and Seung-koo Song

\*Dept. of Envi. Sci. and Tech., Jisan Junior College

\*\*Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Che Ju Univ., Che Ju, Korea

Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Busan Univ., Busan, Korea

(Received 4 September 1989; accepted 24 November 1989)

#### 요 약

비표면적을 달리하는 media 를 이용하여 염료공장의 고농도 유기성 폐수를 호기성 생물막 공법으로 처리할시의 유기물질의 제거효율과 media 에 부착되는 미생물의 양태를 조사하였다. 본 실험에 사용된 media 는 SARAN 4000D(media S)와 1000D(media B)로 비표면적이 각각  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 과  $307\text{ m}^2/\text{m}^3$ 이었다. 반응조내 media 에 부착되는 평균 미생물농도는 media S의 경우  $7316\text{ mg/l}$ , media B의 경우  $6683\text{ mg/l}$ 로 나타나 media S의 경우가 9.5% 더 높았다. Media 표면적당 평균 미생물 부착량은 media S의 경우  $48.2\text{ gSS}/\text{m}^2$ , media B의 경우  $35.45\text{ gSS}/\text{m}^2$ 으로 나타났으나 전체 미생물량으로는 거의 같았다.

**Abstract**—This study was conducted to investigate the characteristics and treatment efficiency of aerobic fixed-film process with different specific surface area upon the variation of organic loading rate.

The media used for this study was SARAN 4000 D (media S) with specific surface area  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ , and 1000 D (media B) with specific surface area  $307\text{ m}^2/\text{m}^3$ .

The substrate used was a dye plant processing wastewater and the feed solution was diluted two fold or more as the feed solution. The influent COD concentration ranged about 1250 to 4080 mg/l.

Average biomass concentrations were 7316 mg/l and 6683 mg/l on the media B and S, respectively. The value of media B was about 9.5% higher than that of media S.

Average amounts of attached biomass were  $48.2\text{ gSS}/\text{m}^2$  on the media S and  $35.45\text{ gSS}/\text{m}^2$  on the media B, but the total amount of accumulated biomass was nearly the same.

#### 1. 서 론

오늘날 화학공업의 발달과 더불어, 이들 공장에서 배

출되고 있는 폐수는 업종에 따라 높은 유기물 농도를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 그 구성성분도 복잡해지고 있다. 특히 염료, 염색, 안료, 농약 등의 제품을 생산

하는 화학공업 관련 공장에서 배출되고 있는 폐수는 고농도 유기물질을 함유하고 있으며, 또한 미생물의 성장에 유해한 유독성 물질과 미생물에 의한 분해속도가 매우 낮은 물질을 함유하고 있어 이를 효과적으로 처리하기 위한 여러 공법이 연구 개발되고 있다.

이들 공장에서 배출되고 있는 폐수는 지방족 탄화수소, 벤젠, 톨루엔, 피리딘 등과 같은 방향족 탄화수소 화합물이 포함되어 있으며, 이들 화합물은 미생물에 의한 산화율이 낮고, 높은 농도에서는 독성을 유발하므로, 전처리로 화학응집 침전처리를 한 후 회석하여 활성슬러지 공법으로 처리하거나, 장기 폭기법, 혹은 라군법으로 처리 후 3차 처리(주로 분말활성탄 이용)를 하고 있다. 이 공법은 활성슬러지 공법의 경우 유지관리가 복잡할 뿐 아니라 에너지 소비가 크고, 슬러지 팽화(sludge bulking)현상의 주기적 발생 및 폐슬러지 생산에 따른 슬러지 처리 처분 비용이 막대하며, 라군법 처리의 경우는 넓은 처리장 부지 및 겨울철에 온도강하가 문제가 되며, 활성탄 흡착처리는 추천할 만한 공법이기는 하나 활성탄 사용에 따른 비용을 고려하여야 한다[1-5].

그러나 고정생물막 공법은 이러한 활성슬러지 공법 및 변형 공법에 비해서 유지관리가 용이하고 에너지 소비가 낮아 하수나 유기성 폐수처리 공법으로 주목되고 있으며, 최근 외국에서는 여러 형태의 media를 이용한 생물막 공법의 연구가 활발히 진행되고 있다[6-9].

호기성 생물막 공법 처리시에는 활성슬러지 공법과는 달리 슬러지를 반송시킬 필요가 없으며, 섬유성 미생물이 생산되더라도 media에 부착되므로 슬러지 팽화 문제가 없을 뿐만 아니라, 슬러지 체류시간(SRT; solid retention time)이 길어져서 슬러지 생산량이 작아지는 장점이 있다[10]. 또한 이 공법은 media에 부착되는 미생물량이 많고 생물상이 다양하여 생분해 속도가 낮은 기질제거에 유효하며, 수온의 변화와 부하변동에 강하다[11,12]. 그러나 유입폐수의 농도가 크면 media가 쉽게 폐쇄되는 단점이 있으며, 보다 많은 미생물을 고정시키기 위해서는 비표면적(specific surface area)을 크게 하여야 하지만 비표면적이 클수록 media의 공극률이 작아져서 미생물의 성장에 따라 공극이 빨리 폐쇄되므로 운전조작 및 처리효율면에서 문제가 발생된다[13,14]. 또한 media에 과도하게 부착된 미생물을 제거시키는 세척조작에 대한 방법이 충분히 확립되어 있지 않은 것도 문제점으로 되어 있다[15].

본 연구에서는 비표면적을 달리하는 합성수지계 mat

media를 사용하여 유기물의 부하를 변화시키면서 media에 부착되는 미생물의 양태, 유기물질의 제거효율, 미생물 증식량, 슬러지 생산량 등을 관찰하고, 아울러 실제 처리장에 적용할 때 처리수의 수질을 고찰하고자 하였다.

## 2. 이 론

완전 혼합 활성슬러지에 있어서의 유기물 제거속도는 다음과 같이 나타내어진다[16].

$$F = \frac{F_t}{Km \cdot t + 1} \quad (1)$$

생물막 공법은 media에 미생물이 부착성장하기 때문에 운전기일이 경과함에 따라 미생물의 부피가 증대되어 상대적으로 수리학적 체류시간은 감소된다[8]. 따라서 수리학적 체류시간은 유효수리학적 체류시간( $t^*$ )으로 나타내어야 하므로, 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$Km = \frac{F_t - F}{F \cdot t^*} \quad (2)$$

미생물 증식량, 즉 슬러지 생산량은 SRT, Y 등의 함수로써 SRT가 길어질수록 적어진다. Mckinney는 활성슬러지 공법에서 반응조내 미생물농도(MLSS,  $M_t$ )를 활성이 있는 미생물, 내호흡단계의 미생물, 불활성 무기물질로 구분하여 표현하였다.

$$M_t = M_a + M_e + M_i + M_u \quad (3)$$

반응조내의 미생물농도(MLVSS,  $M_v$ )는 살아있는 미생물농도  $M_a$ 와 내호흡상태의 미생물농도  $M_e$ 를 더한 것으로 다음과 같이 나타내어진다[17].

$$M_a = \frac{K_s \cdot F}{K_e + \frac{1}{t}} \quad (4)$$

$$= \frac{Y(F_t - F) \cdot (t_s/t)}{(1 + K_e \cdot t_s)} \quad (4a)$$

$$M_e = 0.2 K_e \cdot M_a \cdot t \quad (5)$$

따라서

$$M_v = \frac{K_s \cdot F (1 - 0.2 K_e \cdot t_s)}{K_e + \frac{1}{t_s}} \quad (6)$$

으로 된다.

생물막 공법에서는  $t_s = t^*$ 이므로, 식 (2)를 식 (6)에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

$$Mv = \frac{K_s \frac{F_i}{K_m \cdot t^* + 1}}{1/t^* + K_e} (1 + 0.2K_e \cdot t^*) \quad (7)$$

한편 생물막 반응조의 운전은 슬러지의 반응이 없는 aeration system 이므로, 운전경과 일수에 기준하여 운전시작시점의 HRT 를  $t_1$ , 운전이 끝났을 시점의 HRT 를  $t_n$ 이라고 하면 식 (7)은 다음과 같이 표현된다[19].

$$Mv_1 = \frac{K_s \frac{F_i}{K_m t_1 + 1}}{1/t_1 + K_e} (1 + 0.2K_e \cdot t_1)$$

$$Mv_n = \frac{K_s \frac{F_i}{K_m t_n + 1}}{1/t_n + K_e} (1 + 0.2K_e \cdot t_n) \quad (8)$$

HRT 가  $t_1$ 이고, 슬러지를 폐기시키지 않고  $t_n$ 까지 운전하였다면,  $t_n$ 시간까지의  $Mv$  값은 다음과 같은 경험적인 공식을 적용하여 얻을 수 있다[8].

$$Mv@t_n = \frac{Mv_1 + Mv_n}{2} \cdot \frac{t_n}{t_1} \quad (9)$$

CMAS 모델에서 처리수 내의 총 BOD 는 다음 식으로 주어지는데[16],

$$\text{Effluent BOD} = F + K_b \cdot M_{a \text{ eff}} \quad (10)$$

이를 생물막 공법에 적용하기 위해 이 식에 식 (2)를 대입하면 유출수의 BOD 는 다음 식으로 표현된다.

$$\text{Effluent BOD} = F_i (K_m t^* + 1) + K_b \cdot M_{a \text{ eff}} \quad (11)$$

### 3. 실험방법

#### 3-1. 장치

실험장치는 Fig.1 과 같으며, 각 반응조는 안쪽 길이가 가로, 세로 각 13 cm, 높이가 20 cm 이며 항온수조를 사용하여 반응조의 온도를  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지시켰다. 본 실험에서 사용한 media 는 mat 형 media 로써, SARAN 4000D 와 1000D 의 두 종류이며, 각각의 비 표면적은  $152.87 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,  $307.33 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 이었다. Media 의 특성은 Table 1 에 나타나 있다.

각 반응조에 일정량의 폐수를 유입시키기 위해 정량

주입펌프(LKB, multiperpex)를 사용하였으며 공기공급과 폐수의 혼합을 위하여 10 W 용량의 blower 가 연결된 diffuser 를 각 반응조 하부에 설치하였다. 반응조내 DO 는 휴대용 DO meter 를 사용하여 매일 측정하였으며, 운전기간 동안 거의  $3\text{--}8 \text{ mg/l}$ 로 유지되었다.

#### 3-2. 운전

실험폐수는 울산 D 염료공업체에서 배출되는 폐수로 평균적으로 Table 2 와 같은 성상을 나타내었다.

각 반응조에 유입되는 폐수는 HRT, 부하율 등을 고려하여 종류수로 200%, 300%, 600%로 희석하여 사

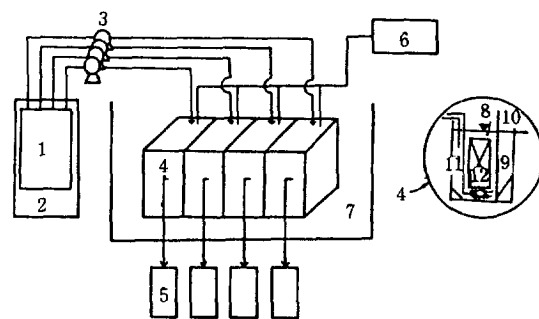


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus of continuous type reactor.

1. Raw wastewater storage tank
2. Refrigerator
3. Micro tube pump
4. Bioreactor
5. Effluent storage tank
6. Blower
7. Thermostat
8. Aeration zone
9. Setting zone
10. Baffle
11. Diffuser
12. Media

Table 2. Wastewater characteristics

Item	TSA
BOD <sub>5</sub> , mg/l	2,550
COD <sub>Cr</sub> , mg/l	9,120
COD <sub>Mn</sub> , mg/l	4,950
TSS, mg/l	370
PO <sub>4</sub> -P, mg/l	0.87
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0.08
pH	7.0

Table 1. Characteristics of SARAN media

Media type	Media size (mm)	No. of packed media	Specific surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Specific weight (kg/m <sup>3</sup> )	Media surface area (m <sup>2</sup> )	Porosity (%)
4000D	20×130×180	4EA	152.87	37.52	0.386	95.59
1000D	20×130×180	4EA	307.33	37.52	0.576	95.59

Table 3. Summary of operating results

Type of wastewater	Number of reactor	HRT (day)	Influent			Effluent			
			TCOD	TBOD	TSS	TCOD	SCOD	TBOD	SBOD
600 dil.	S-1	0.5	1250	490	214	383	301	24	12
	2	1.5	1250	490	214	274	202	14	3
	3	2.0	1250	490	214	219	171	11	3
	B-1	0.5	1250	490	214	341	296	24	10
	2	1.5	1250	490	214	288	213	10	3
	3	2.0	1250	490	214	223	176	8	2
300 dil.	S-4	0.5	2765	869	372	1029	896	178	68
	5	1.0	2765	869	372	912	785	45	21
	6	3.0	2765	869	372	380	289	24	4
	B-4	0.5	2765	869	372	1072	771	155	59
	5	1.0	2765	869	372	735	534	37	14
	6	3.0	2765	869	372	309	227	16	4
200 dil.	S-7	1.0	4080	1217	570	1476	1071	254	48
	8	2.0	4080	1217	570	1046	779	124	30
	9	3.0	4080	1217	570	673	512	49	6
	B-7	1.0	4080	1217	570	1522	972	211	38
	8	2.0	4080	1217	570	688	540	96	16
	9	3.0	4080	1217	570	506	345	31	3

Note: All units, mg/l where applicable, S; Media S, B; Media B

용하였으며, 각 희석 경우의 평균 농도는 COD로써 1250, 2765, 4080 mg/l 정도였다. HRT를 0.5-3 일, 유기물 부하는 0.625-5.53 kgCOD/m<sup>3</sup>/day로 운전하였으며, 2개 반응조로 구분하여 비표면적이 152.87 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 media와 307.33m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 media를 채워 고정시켰다.

운전에 사용한 미생물은 본 실험폐수와 유사한 기존 활성슬러지 처리시설에서 채취하였으며, 실험에 사용하기 전에 따로 media를 채운 반응조에 넣은 다음 희석시킨 실험폐수로 약 3개월간 순화시킨 뒤 사용하였다. 각 부하율 및 비표면적에 따른 처리 정도를 구하기 위해 유출수의 TCOD, SCOD, TSS, VSS를 2-3일 간격으로 측정하였고, TBOD와 SBOD는 2-7일 간격으로 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

호기성 고정 생물막 공법에 의한 실험폐수의 비표면적에 따른 반응조 운전결과는 Table 3에 나타내었다.

##### 4-1. 유기물 제거효과

Fig. 2는 유기물 부하에 따른 비표면적별 COD 제거효율을 나타낸 것이다.

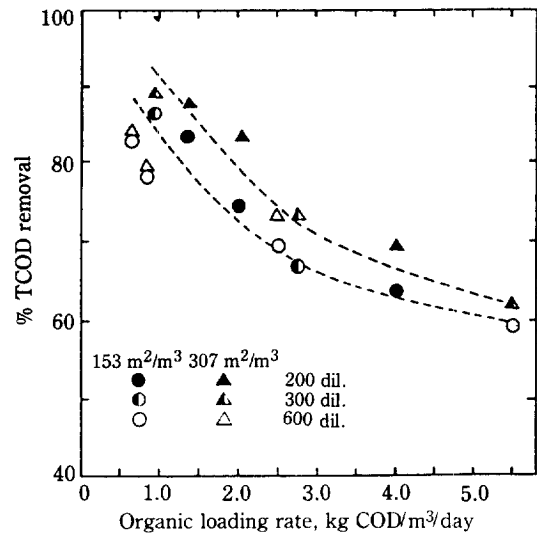


Fig. 2. TCOD removal efficiency vs. organic loading rate.

실험 부하율 범위에서 처리효율은 비표면적이 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 경우가 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 경우보다 다소 높았다. 유기물 부하율이 2 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 이하에서는 TCOD의 제거율이 비표면적에 관계없이 78% 이상의 제거효율을 나타내었고, 5.5kgCOD/m<sup>3</sup>/day에서는 60% 정도밖에 되지 않았다. 또한 부하율이 2kgCOD/m<sup>3</sup>

day 인 경우를 제외하고는 비표면적이  $153 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서 2배로 증가해도 제거율의 차이는 1-3% 정도밖에 되지 않아 비표면적의 증가가 제거효율에는 크게 영향을 미치지 않았다. 이는 Young[18]의 연구에서 비표면적이  $98 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 과  $223 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 인 media 로써 부하율 2-8

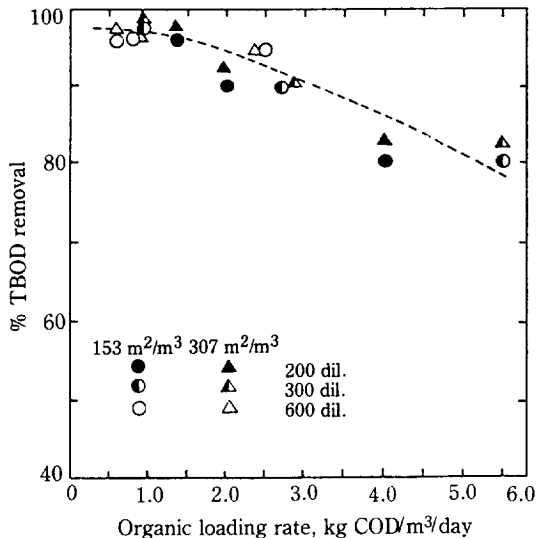


Fig. 3. TBOD removal efficiency vs. organic loading rate.

$\text{kgCOD}/\text{m}^3/\text{day}$ 로 운전하였을 때, COD의 제거율이 7% 정도밖에 증가하지 않은 것과 비교할 때 거의 비슷한 결과로 판단되었다.

Fig. 3은 부하율에 따른 BOD의 제거효율을 나타낸 것이다. TBOD의 경우 부하율이  $3 \text{ kgCOD}/\text{m}^3/\text{d}$ 에서는 비표면적에 관계없이 92% 이상의 제거효과를 나타내었으며, 비표면적에 따른 제거율의 차이는 1-2% 내외로 거의 차이가 없었다.

#### 4-2. 유기물 제거속도

유기물 제거속도상수  $K_m$ 을 식 (2)로부터 구하면 비표면적  $307 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서  $K_m$ 은  $7.86/\text{hr}$ 이었고, 비표면적  $153 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서는  $K_m$ 이  $1.48/\text{hr}$ 으로서, 실험범위에서 평균  $K_m$ 은  $4.25/\text{hr}$ 로 구해졌다. 본 실험폐수와 유사한 농도에서  $K_m$ 의 값이 평균  $5.7/\text{hr}$ 인 Lim [19]의 결과와 비교할 때 본 실험값이 다소 낮은 것은 체류시간이 길고 운전기일이 긴데 기인한 질산화 반응 때문인 것으로 사료되어진다.

#### 4-3. 미생물 생산량 및 농도

식 (8) 및 (9)로부터 계산된 미생물량과 실측한 미생물량을 Table 4에 나타내었으며, 부착 미생물의 실측량은 비표면적에 관계없이 같은 유기물 부하율에서는

Table 4. MLVSS and accumulated biomass: observed vs. calculated

No. of reactor	Organic loading rate (kg COD/m <sup>3</sup> /day)	MLVSS, mg/l			Accumulated biomass, g		
		Obs.	Calc.	$\Delta$	Obs.	Calc.	$\Delta$
S-1	2.50	7385	9414	2029	21.42	24.76	3.34
2	0.83	4002	4958	959	11.25	13.93	2.68
3	0.63	3060	2801	259	8.76	8.01	0.75
B-1	2.50	8330	10961	2631	24.21	28.83	4.62
2	0.83	3887	5531	1644	11.05	15.54	4.49
3	0.63	4242	4740	498	12.24	12.46	0.22
S-4	5.53	8875	12014	3139	24.50	33.69	9.19
5	2.76	7844	8588	744	21.60	22.58	0.98
6	0.92	5608	6696	1088	15.85	18.41	2.56
B-4	5.53	8986	13229	4243	24.86	34.79	9.93
5	2.76	8824	8978	154	25.31	24.69	0.62
6	0.92	5939	5650	289	17.14	14.86	2.28
S-7	4.08	8819	10489	1670	24.72	27.06	2.34
8	2.04	6788	11053	4265	19.46	29.40	9.94
9	1.36	6763	7668	905	19.25	20.86	1.61
B-7	4.08	8121	12444	4323	23.10	32.11	9.01
8	2.04	8520	12648	4128	24.71	33.64	8.93
9	1.36	7657	8454	797	21.16	22.99	1.83

Note; Obs. = Observed, Calc. = Calculated,  $\Delta$  = Observed - Calculated

체제량이 거의 비슷하게 부착된 점을 보여주었다. 이는 비표면적이 2배로 증가하여도 유기물 제거효율이 BOD의 경우 1-2%, COD의 경우 1-3% 정도밖에 증가하지 않는 이유로 판단되었다. 미생물 생산량은 운전기간 중의 총 COD 제거량과 운전이 끝났을 때의 총 미생물 축적량으로부터 구할 수 있으며, 또한 Mckinney 공식을 이용하여 이론적으로도 계산할 수 있다[16]. 유기물 부하율에 따른 미생물 생산량을 계산치와 실측치로 비교하면 미생물 생산량은 비표면적  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$  경우에는 평균  $0.227\text{ kgSS/kgCODrem}$ (계산치  $0.252$ )이었지만,  $307\text{ m}^2/\text{m}^3$  경우에는  $0.203\text{ kgSS/kgCODrem}$ (계산치  $0.227$ )으로  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에 비해 9.7% 정도 낮았다. 이는 Park[20]이 합성폐수를 pall ring을 media로 하여  $4.3\text{--}17.2\text{ kgBOD/m}^3/\text{day}$ 로 운전하였을 때 미생물 생산량이 평균  $0.54\text{ kgVSS/kgBOD}$ 인 것과 비교하면 매우 낮으나, Cho[21] 등이 저농도 분유를 사용하여 연탄재를 media로 사용하였을 경우 BODkg당 SS생산량이 평균 0.28, COD를 기준하였을 때 평균 0.21인 것과, Lim이 media로 수도호스를 사용하여  $0.25\text{--}5.0\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$ 의 유기물 부하 범위에서 얻은 평균  $0.20\text{ kgVSS/kgCOD}$ 의 값을 비교할 때 본 실험의 값과 비슷하였다.

Fig. 4에 나타난 비표면적별 부착 미생물농도를 살펴보면, 비표면적  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서 평균 부착농도는  $6683\text{ mg/l}$ 이었지만,  $307\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서는 평균  $7316\text{ mg/l}$ 로써  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 경우보다 9.5% 정도 더 높았다. 또한 부착 미생물의 농도는 유기물 부하율  $2\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  이하에서는 부하율이 증가하면 MLVSS 농도도 비례적으로 증가하나 부하율  $2\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  이상에서는 MLVSS 농도가  $7000\text{--}8000\text{ mg/l}$ 로 거의 일정한 농도를 나타내었다.

#### 4-4. 미생물의 부착상태

Table 5는 운전이 끝났을 때 media에 부착되어 있는 미생물의 양태를 실측한 결과를 나타낸 것이다.

순화된 미생물을 각 반응조에 주입한 후 2일이 지나면 media에 부분적으로 미생물이 부착되는 것이 육안으로 관찰되었으며, 대체로 부착시킨 후 7-10일이 지난 다음에는 유출수의 COD 농도가 점차 안정상태로 유지되었다. 그러나 유기물 부하가 높은 경우에는 15-30일 이후에 유출수 중의 SS 농도가 갑자기 증가하므로, 이때를 최대 미생물 부착상태로 보고 운전을 중지한 다음 반응조 내의 media를 꺼내어 깨끗한 물로 세척 후 부착량을 측정하였다. 또한 부유미생물의 양은 반응조내

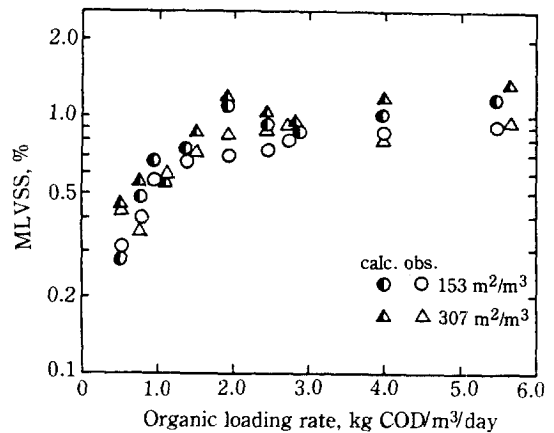


Fig. 4. MLVSS concentration vs. organic loading rate (calc.:obs.).

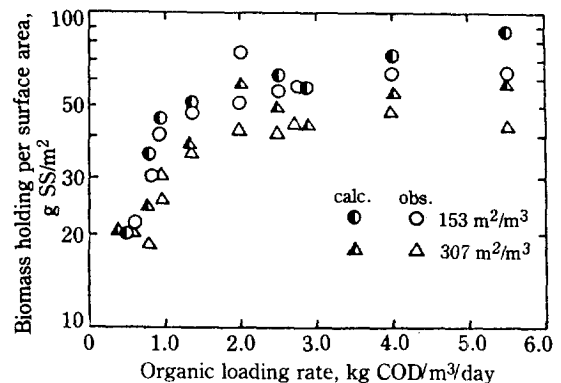


Fig. 5. Biomass holding per surface area vs. organic loading rate.

의 남은 미생물량을 측정하여 결정하였다.

Fig. 5는 media 표면적당 미생물의 최대 부착량을 식 (9)를 이용한 계산치와 실측치를 비교한 것으로,  $2.0\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$ 와  $5.5\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$ 의 부하율을 제외하고는 거의 일치하고 있음을 알 수 있었다.

실측치로 보면 비표면적이  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서 평균 부착량은  $48.03\text{ gSS/m}^2$ 이었고,  $307\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서는 평균  $35.45\text{ gSS/m}^2$ 로  $153\text{ m}^2/\text{m}^3$ 에 비해 35% 정도 낮았다. 또한 비표면적에 관계없이 유기물 부하가  $2.0\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  이하에서는 부하율이 증가하면 표면적당 부착량이 증가하나  $2.0\text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$  이상에서는 부착량의 차이가 없었다.

Media에 부착된 미생물량을 실측한 자료로부터 구한 부착 미생물막 두께를 Fig. 6에 나타내었다.

Media에 부착된 미생물의 두께는 비표면적이 작을

Table 5. The mode of attached biomass

Number of reactor	Organic loading rate (kgCOD/m <sup>3</sup> /day)	Influent COD (mg/l)	Media surface area (m <sup>2</sup> )	Attached biomass			
				Max. hoding (g)	Vol. (l)	Conc. (%)	Accumulated biomass per surface area (gSS/m <sup>2</sup> )
S-1	2.5	1250	0.386	21.42	0.736	2.91	55.49
2	0.83	1250	0.386	11.25	0.388	2.93	29.37
3	0.625	1250	0.386	8.76	0.278	3.15	22.69
B-1	2.5	1250	0.576	24.21	0.890	2.72	42.03
2	0.83	1250	0.576	11.05	0.345	3.20	19.18
3	0.625	1250	0.576	12.24	0.325	3.46	21.26
S-4	5.53	2765	0.386	24.50	0.753	3.24	63.47
5	2.76	2765	0.386	21.60	0.785	2.85	55.95
6	0.92	2765	0.386	15.85	0.495	3.21	41.17
B-4	5.53	2765	0.576	24.86	1.031	2.41	43.16
5	2.76	2765	0.576	25.31	0.781	3.24	43.94
6	0.92	2765	0.576	17.14	0.484	3.54	29.76
S-7	4.08	4080	0.386	24.72	0.810	3.05	64.04
8	2.04	4080	0.386	19.46	0.598	3.25	60.41
9	1.36	4080	0.386	19.25	0.607	3.17	49.87
B-7	4.08	4080	0.576	23.10	0.836	2.76	40.10
8	2.04	4080	0.576	24.71	0.810	3.05	42.90
9	1.36	4080	0.576	21.16	0.605	3.51	36.74

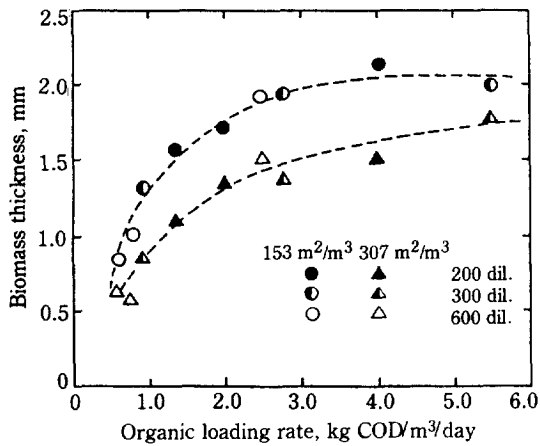


Fig. 6. Biomass thickness vs. organic loading rate.

수록 유기물 부하가 클수록 두꺼웠는데, 비표면적이 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 경우는 1.8-2.2 mm (평균 1.19 mm), 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>에서는 1.3-1.75 mm (평균 1.19 mm) 정도로 나타나 비표면적이 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>일 때가 0.37 mm 더 두꺼운 것으로 계산되었다.

Fig. 7 에는 운전이 끝났을 때, 각 부하율에 따른 반

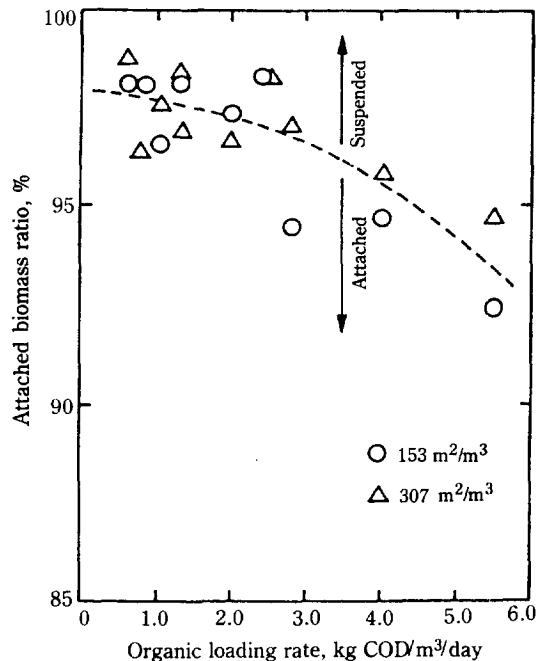


Fig. 7. Attached biomass ratio vs. organic loading rate.

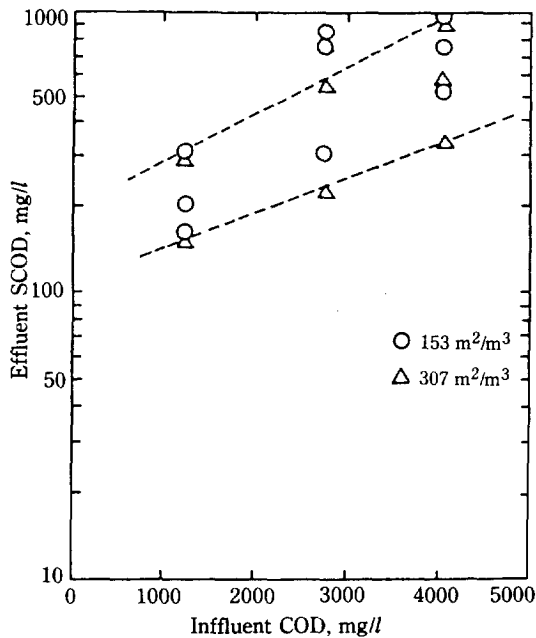


Fig. 8. Effluent SCOD vs. influent COD.

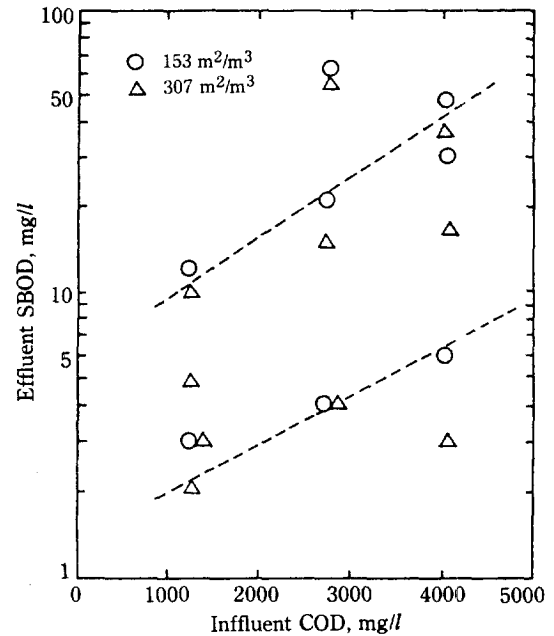


Fig. 9. Effluent SBOD vs. influent COD.

응조내의 전체 미생물 중 media에 부착된 미생물량을 나타내었다.

부착미생물의 비율은 유기물 부하가 높을수록, 비표면적이 낮을수록 전체 미생물량에서 차지하는 비율이 낮았다. 본 실험의 범위에서 전체 미생물 중 부착미생물이 차지하는 비율은 평균 96.3% 정도(98.7-92.7%)로 유기물 부하 4.3-17.2 kgBOD/m<sup>3</sup>/day에서 84-91%로 나타난 Park[20]의 연구와 수도호스를 media로 사용하여 0.25-5.0 kgBOD/m<sup>3</sup>/day로 운전하였을 때[19] 77-97%로 나타난 결과와 비교하면 본 실험에서 사용한 mat형 media가 부착미생물의 유지능력이 우수한 것으로 생각되었다.

#### 4-5. 처리수의 수질

유입 COD 농도에 따른 유출수의 SCOD 및 SBOD의 농도변화는 Fig. 8과 9에 나타내었다.

유입폐수의 농도가 증가하면 유출수의 수질도 증가하는데, SCOD의 경우는 유입수의 COD 농도가 3000, 4000 mg/l 범위에서는 부하율의 증가에 따라 유출수질의 변화폭이 매우 크나, SBOD의 경우 상대적으로 변화폭이 낮았다. 비표면적별 유출수질을 보면 비표면적이 큰 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 경우가 유출수질이 낮았으며, 유입수의 농도가 클수록 그 차이는 더욱 크게 나타났다.

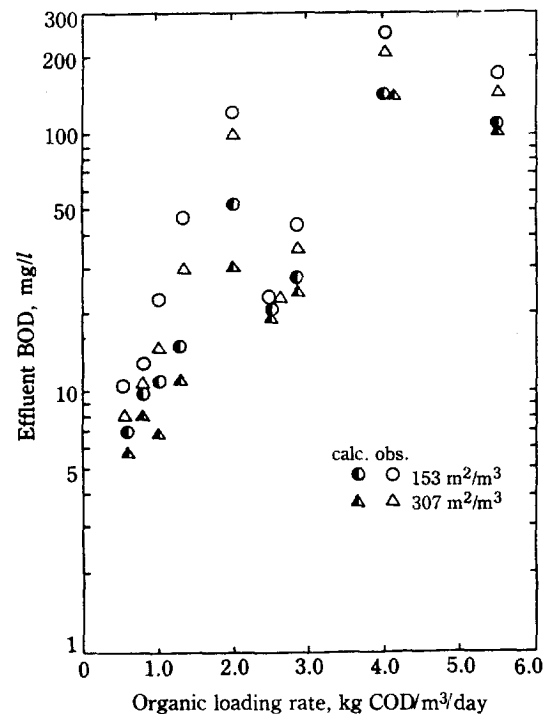


Fig. 10. Effluent BOD vs. organic loading rate (calc.:obs.).



Table 6. Effluent SBOD and TBOD; observed vs. calculated

Organic loading rate (kg COD/m <sup>3</sup> /d)	HRT (hr)	t* (hr)	Influent, mg/l (Fi) BOD	Effluent, mg/l (F)					
				SBOD			TBOD		
				obs.	calc.	$\Delta$	obs.	calc.	$\Delta$
2.50	12	10.5	490	12	10.7	1.3	24	15.0	9.0
0.83	36	33.7	490	3	3.4	0.4	14	4.9	9.1
0.63	48	45.8	490	3	2.5	0.5	11	4.2	6.8
2.50	12	10.5	490	10	10.7	0.7	24	13.7	10.3
0.83	36	33.5	490	3	3.4	0.4	10	4.7	5.3
0.63	48	45.8	490	2	2.5	0.5	8	3.3	4.7
5.53	12	10.5	869	68	19.6	48.4	178	146.8	31.2
2.76	24	21.0	869	21	9.6	11.4	45	24.2	20.8
0.92	72	66.0	869	4	4.5	0.5	24	5.8	18.2
5.53	12	10.2	869	59	19.6	39.4	155	121.8	33.2
2.76	24	20.9	869	14	9.6	4.4	37	18.2	18.8
0.92	72	66.2	869	4	3.1	0.9	16	4.7	11.3
4.08	24	20.7	1217	48	13.7	34.3	254	193.1	60.9
2.04	48	42.6	1217	30	6.7	23.3	124	71.9	52.1
1.36	72	65.3	1217	6	4.4	1.6	49	8.8	40.2
4.08	24	20.0	1217	38	14.2	23.8	211	125.2	85.8
2.04	48	41.8	1217	16	6.8	9.2	196	24.3	171.7
1.36	72	64.8	1217	4	4.4	0.4	31	6.6	24.4

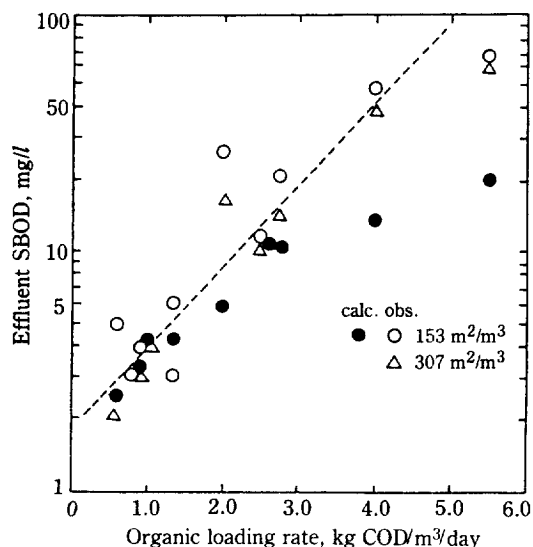
Note;  $\Delta = |\text{Observed} - \text{Calculated}|$ 

Fig. 11. Effluent SBOD vs. organic loading rate (calc.:obs.).

Table 6은 유출수내의 SBOD와 TBOD를 식 (10) 및 (11)을 이용하여 계산하였을 때 실측된 유출 수질과 예측되는 수질을 나타낸 것이다. Table 6에

보여지는 바와 같이 저부하율에서는 TBOD와 SBOD 대부분이 실측치와 계산치가 거의 일치하지만 고부하율에서 오차가 매우 크게 나타난 것은 낮은 회석률로 인한 유기물의 제거속도가 상대적으로 낮은 까닭으로 판단되었다.

## 5. 결 론

염료공업체의 고농도 폐수를 회석하여 호기성 생물막 공법으로 처리하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 처리효율면에서 유기물 부하율이 0.625-5.53 kgCOD/m<sup>3</sup>/day 범위에서 비표면적이 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 경우가 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>인 것보다 다소 양호한 것으로 나타났다. COD의 경우 3% 내외, BOD의 경우 1-2%로 그 차이가 크지 않았다.

2. 미생물 생산량은 비표면적이 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>일 때 평균 0.2271 gSS/kgCOD 이었고, 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>에서는 0.203 kgSS/kgCOD으로 크게 차이가 나지 않았다.

3. 반응조내 미생물 농도는 비표면적이 153 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>에서 평균 6683 mg/l 이었고, 307 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>에서는 평균 7316 mg/l로 나타나 비표면적이 큰 쪽이 9.5% 정도

높았다.

4. Media 표면에 부착되는 미생물량은 비표면적이  $153 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 일 때 평균  $48.03 \text{ gSS}/\text{m}^2$ 이며,  $307 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 에서는  $35.45 \text{ gSS}/\text{m}^2$ 으로 비표면적이 작은 media에 더 많이 부착되었으나, 전체 미생물량으로는 거의 비슷하였다.

5. 반응조내 전체 미생물 중 부착 미생물이 차지하는 비율은 평균 96.3%이었으나, 고부하율로 갈수록 부유되는 미생물의 비율이 증가하였다.

## NOMENCLATURE

CMAS	: complete mixed activated sludge
F	: unmetabolised raw waste $\text{BOD}_5$ in effluent [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$F_i$	: influent $\text{BOD}_5$ [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$K_b$	: BOD factor ( $=0.8$ ) [-]
$K_d$	: decay rate [ $\text{T}^{-1}$ ]
$K_e$	: endogenous respiration factor [ $\text{T}^{-1}$ ]
$K_m$	: metabolism factor [ $\text{T}^{-1}$ ]
$K_s$	: synthesis factor [ $\text{T}^{-1}$ ]
$K_1$	: $\text{BOD}_{eff}/\text{BOD}$
$K_2$	: an inverse number of microbial mass oxygen equivalent
$K_3$	: synthesis/total energy
$M_a$	: living, activated microbial mass [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{a\text{eff}}$	: active microbial mass in effluent [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_i$	: inert, non-biodegradable organic suspended solids in effluent [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{ii}$	: inert, inorganic suspended solids [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{t\text{eff}}$	: total suspended solids in effluent [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_v$	: MLVSS concentration [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{v_1}$	: biomass concentration ( $M_a + M_e$ ) at $t = t_1$ [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{v_n}$	: biomass concentration ( $M_a = M_e$ ) at $t = t_1$ [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$M_{v@t_n}$	: average $M_v$ concentration during operation day [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$t_n$	: total HRT [T]
$t_s$	: sludge turnover number [T]
TSS	: total suspended solids [ $\text{ML}^{-3}$ ]
$t_1$	: HRT [T]

$t^*$	: effective HRT [ $\text{T}^{-1}$ ]
Y	: cell yield coefficient [-]

## REFERENCES

- Dennis, W.W. and Hodgson, A.G.: Proc. of the 32th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 10(1977).
- Tasi, K.C. and Looper, R.D.: *Ind. Wastes*, **25**, 23 (1979).
- Leipzig, N.A. and Hockenbury, M.R.: Proc. of 34th Ind. Conf., Purdue Univ., (1979).
- Cairnes, J.G., et al.: *JWPCF*, **47**, 275 (1975).
- Song, S.G., et al.: *Hwahak Konghak*, **26**, 812 (1988).
- Medwich, B.W. and Lefelhocz, J.F.: Proc. 36th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 68 (1981).
- Morris, J.W. and Jewell, W.J.: Proc. of the 36th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 621 (1981).
- Choi, E.: Ph. D. Thesis, Univ. of Kansas, Lawrence (1973).
- Josephson, J.: *Environ. Sci. and Techno.*, **16**, 3804 (1982).
- Beg, S.A., et al.: Proc. 35th Inc. Water Conf., Purdue Univ., 826 (1981).
- Switzenbaum, M.S.: *JWPCF*, **54**, 592 (1982).
- Kim, K.S. and Choi, E.: *Water Science Technology*, **169** (1986).
- 최의소, 임병수 : 수질보전학회, **3**, 6 (1987).
- Jennett, J.C. and Rand, N.C.: A Comparison of Anaerobic vs. Aerobic Treatment of Pharmaceutical Waste, Howey-in-the-Hills, Fla. 77 (1981).
- The 1st International Conference on Fixed-Film Biological Processes, Kings Island Ohio (1982).
- McKinney, R.E.: *J. of Sanitary Eng. Div.*, ASCE (1969).
- McKinney, R.E. and Ooten, R.J.: Transactions of 19th Annual Conference on Sanitary Engineering, Engineering and Architecture Bulletin No. 62, 32, Univ. of Kansas (1969).
- Young, C.Y. and Song, K.H.: **58**, 115 (1986).
- Lim, B.S.: Ph. D. Thesis Korea Univ. (1987).
- Park, J.W.: Ph. D. Thesis, Seoul City Univ. (1988).
- 조광명 : 대한환경공학회지, **5**, 2 (1983).