

## 多孔性 濾材를 利用한 固定生物膜 反應機 特性에 關한 研究

이영신\* · 김동민 · 정상철 · 백명석

서울시립대학교 환경공학과

\*한서대학교 환경공학과

## The study on Fixed Bio-reactor Characteristics Using Porous Media

Dong Min Kim, Young Shin Lee, Sang Cheul Jeong, Myung Suk Baek

Seoul City University, Hanseo University, Environmental Engineering

### ABSTRACT

The purpose of this study is to observe a specific removal efficiency of synthethetic wastewater which is managed by upflow submerged type at porous media which was sinteringed on a comparative low temperature 600°C, was annexed slag and humus soil with main material kaolinite.

Observing removal efficiency quality of each media, a mixed media of kaolinite and humus soil by gravity percent 60, 40 % respectively showed the most excellent removal utility, and applied predictive models for suspended culture kinetics without consideration diffusion limitation, and when analyzed kinetic which had been processed by this study the removal efficiency accompanied by carbon, nitrogen, phosphorous volumetric loading rate variation stood for a comparative large change rate 61~71%, it means the selection of the most proper load factor had a great effect on the highly removal efficiency, yield coefficient(Y) and specific microbial attach equation showed 1.53 mgVSS/mgCOD,  $m_p=10039.4 \times ((S_0)/(6.75+S_0))$  repectively.

**Keywords :** Porous media, upflow submerged type.

### I. 서 론

고정상 생물막법<sup>1,2,3)</sup>은 슬러지 일령이 매우 길기 때문에 먹이사슬이 안정하게 형성되어 정화에 관여하는 미생물종이 다양하다. 이러한 이유로 활성슬러지법보다 고도의 운전기술이 필요치 않아 유지관리가 쉽고, 고정상 매체와 매체에 부착된 미생물에 의한 여과기작으로 사상균이 흡착되어 활성슬러지 프로세스의 공정상 유출수 악화의 문제점을 일으키는 팽화(bulking)현상 일어나지 않으며, 여재 표면에 대량으로 성장한 미생물과 반응조 내 고농도 미생물에 의해 유기물 제거효율이 높아 처리시간을 단축시켜 초기 설치비를 절감시킬 수 있고, 생물막 두께에 따라 환경조건이 달라 고부하, 저부하에서의 수리학적 혹은 기질부하율에서도 처리가 가능하다.

이와 같이 부착된 미생물은 수온, 부하변동, 충격 부하에 적응성이 강하며, 여재 내에 형성된 생물막

에 의해 호기적, 혐기적 산화 및 대형포식동물의 공존으로 잉여슬러지 발생량이 적고 분리된 슬러지 내에 미소동물이 많이 존재하기 때문에 고액분리가 용이해 양호한 처리수를 얻을 수 있다.

그러나, 미생물량과 영향인자를 쉽게 조작할 수 없으며, 폭기를 위한 동력비가 다소 높고, 여상폐쇄에 의한 수로(channel)현상과 생물막의 과대성장으로 인한 슬러지의 일시적 대량탈락에 의해 처리수의 수질이 악화될 수 있다.

이러한 운전의 어려움은 고정된 미생물 자체에 기인하는 것이 아니라 사용되는 여재의 성질에 기인하는 경우가 많다.

그러므로 고정생물막에 의한 폐수처리시 높은 처리효율을 얻기 위해 다공성여재의 선택이 중요하다. 고로, 운전조작의 용이성을 위해 본 연구는 다공성 여재의 개발에 중점을 두고, 여재의 재료를 국내의 토양을 사용하는데 목적이 있으며, 더불어 탄소계

**Table 1.** The properties of chemical diatomite, woodstone, koline

화학적	규조토	규회석	고령토		
			할로이사이트질	카올리나이트질	
	SiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O	CaO · SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	
화	SiO <sub>2</sub>	60~88	50~51	48~50	45~46
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2~17	1~12	32~34	36~37
학	FeO <sub>3</sub>	0.3~4.2	0.5~1.0	0.5~1.5	0.5~1.5
	MgO	0.3~2.0	0.2~0.5		0.5~1.5
식	CaO	0.1~2.5	40~47	6~8	
	Na <sub>2</sub> O			2~3	0.1~0.2
(%)	K <sub>2</sub> O			0.3~0.5	2~3
	I/L	11.2~12.3	1~2	5~6	11~12
비중	0.5~0.15	2.8~3.1			
주용도	단열재, 보온재, 여과재	요업, 제철, 용접가공	도자기, 내화재	고로충진재, 제지용	
국내산출지	경북 영월, 포항의	경북 영덕, 충북 단양리	경남하동, 산청외	경기 강화외	

**Table 2.** Specification of media used in the reactor

Material	Shape	Size (mm)	공극부피 (cm <sup>3</sup> )	공극율 (%)
Kaoline			0.70	29.72
Kaoline + Slag	pellet	10×30	1.09	46.72
Kaoline + Humus			1.62	68.79

유기물 및 영양물질의 제거와 처리효율을 높이는데 있다.

## II. 실험

### 1. 여재의 제작

주 원료로 사용된 고령토는 시중에 시판되고 있는 성형이 가능한 것을 사용하였다. 첨가물질인 슬래그는 포항제철소에서 발생하는 고로슬래그를 사용하였다. 부식질은 시판되고 있는 검은색의 퇴비화된 부식토를 사용하였다. 부식토는 혼합전 110°C에서 24시간 이상 건조한 후 조대형의 불순물인 철 및 유리조각, 나무조각등을 10 mesh로 1차 걸른후 170×190 mm의 불밀에 고강도 구형 세라믹볼과 시료를 각각 장입하여 12 시간 분쇄하였다. 분쇄된 원료를 500 mesh의 체로걸러 고령토와 반죽하였다. 슬래그는 입수시 대형 쇠석이였다. 우선 분쇄가능한 크기인 약 50 mm 이하로 파쇄 후 불밀에 넣어 부식토의 분쇄방식과 같이 미분화하였다.

고령토와 500 mesh 이하의 슬래그 및 부식물질을 중량단위로 각각 60 %, 40 % 혼합하여 고령토와 혼합물 전체 중량비의 70%인 성형가능한 점도를 지니

**Table 3.** Characteristics chemical of medium (result of XRF)

Component	Unit:wt%		
	Kaoline	Kaoline+ Slag	Kaoline+ Humus
SiO <sub>2</sub>	70.41	67.65	57.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.90	18.90	18.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.10	2.00	0.72
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.31	0.73
MnO	0.03	0.09	0.15
CaO	0.38	2.97	15.13
MgO	0.36	0.88	3.04
K <sub>2</sub> O	2.77	3.21	1.97
Na <sub>2</sub> O	1.31	1.34	0.86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.37	0.03
L/I**	0.93	1.21	0.66
Total	99.42	98.92	99.32

\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:total Fe

\*\*L/I :loss of ignition

게 물로 반죽한 후 대기압상에서 원형 사출형틀을 통해 제작하였다. 사출되어 뿔러지는 여재를 길이 3 cm 단위로 절단한 후, 그늘에서 약 12시간 건조하였다. 그리고 300°C까지 온도를 서서히 올리며 건조된 여재 표면 및 내부에 함유된 有機物을 탄화시키고 600°C까지 온도를 올린후 8시간 성형하였다. 성형이 끝난 가열로의 전원을 차단하고 상온냉각시켜 다공질 세라믹스를 제작하였다.

### 2. 여재의 물리 화학적 특성

여재의 일반적인 용도로 사용되고 있는 세라믹스 재료의 화학식 및 성질은 Table 1과 같다. 실험에서

**Table 4.** Specifications of reactor units used for experiment.

Reactor Units	Size (mm)	유효용적(litre)
Main reactor	250×350	14.7
Settling	250×200	8.9
Substrate tank	400×600	60

**Table 5.** Composition of feed solution

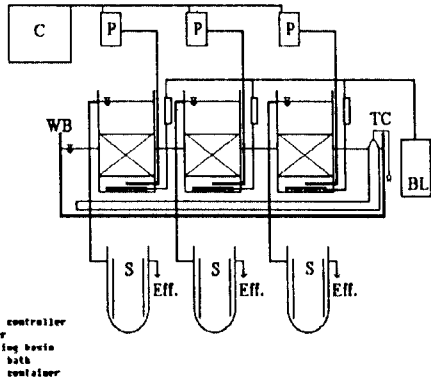
Component	Concentration(mg/L)
Glucose	562.5(average 350)
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> as P	5
NH <sub>4</sub> Cl as N	30
CaCl <sub>2</sub> as Ca	21
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	38
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	24.2
NaHCO <sub>3</sub>	250

**Table 6.** Summary of experimental conditions

Experimental parameters	Operating condition	Remark
Aeration intensity	3.67 m <sup>3</sup> air/m <sup>2</sup> · hr	React. temp.: 25±1°C
COD loading rate (kg COD/m <sup>3</sup> · day)	0.53 0.86	
Nitrogen loading rate (kgN/m <sup>3</sup> · day)	0.05 0.08	
Phosphorous loading rate	0.01 0.01	
HRT (hr)	15.81 9.80	

**Table 7.** Summary of analytical methods

Item	Analytical Method
pH	pH meter(HACH one pH meter)
DO	DO meter(TOA Electronics DO-14P)
BOD	Standard method, azide modification
COD	Standard method, open reflux method
SS	Standard method
T-N	Brucine method
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Standard method, Phenate method
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Standard method, Colorimetric method
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Brucine method
T-P	stannous chloride method
Alkalinity	Standard method, titration method



**Fig. 1.** Schematic diagram of the experimental apparatus.

메디아는 평균 직경 10 mm, 길이 30 mm의 봉형태 (pellet)로서, 고령토(이하 media-K라 칭한다)를 사용하여 제작한 여재, 고령토와 고로슬래그를 혼합(이하 media-S라 칭한다)한 여재, 고령토와 부식토를 혼합(이하 media-H이라 칭한다)하여 제작한 여재로서 고령토의 화학적 성질과 제작한 여재의 물리, 화학적 성질을 Table 2, 3에 나타내었다.

**3. 실험장치**

본 연구를 위해 제작된 반응조는 유효용적 14.7 litre로 직경 25 cm의 원형아크릴로서 기질 유입구, 공기유입구, 시료채취구를 갖춘 상향류 반응조이다. 기질은 정량펌프로 유입시키고, 공기의 균등한 공급을 위해 고무튜브에 미세한 구멍으로 천공된 산기기 2개를 동심원형으로 설치하였다. 침전조는 유량변동을 고려하여 반응조의 유효용량과 유사한 용적이 되도록 직경 25 cm의 원형 아크릴로 수위 조절이 가능하도록 제작하였다. 그리고 전체적인 시스템 구성은 아래의 Table 6과 Fig 1이다.

**4. 실험조건**

1) 합성폐수

합성폐수는 오염된 일반 도시하수의 수질형태에

따라 공업용 glucose를 주성분으로 Table 5과 같이 조제하였다. 조제에 사용된 용매는 미량원소의 결핍을 방지하기 위해 수돗물을 사용하였으며, 기질에 사용된 유기물질은 기질유입조의 용량에 맞추어 시약을 칭량한후 필요할 때마다 시약을 1 litre 용량플라스크에 녹인후 pH를 6.8~7.2로 조정하여 반응조에 공급하였다.

2) 운전조건

반응조의 조건은 아래의 Table 6과 같다.

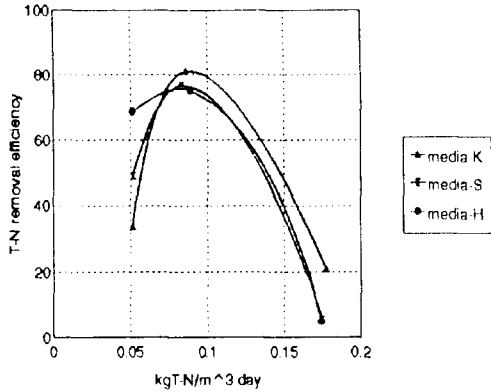


Fig 2. Relation between T-N removal efficiency and T-N volumetric loading rate.

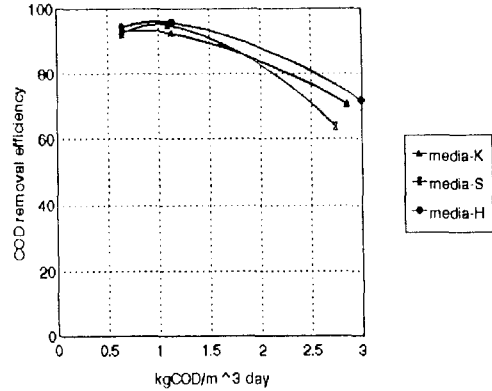


Fig 4. Relation between organic removal efficiency and COD volumetric loading rate.

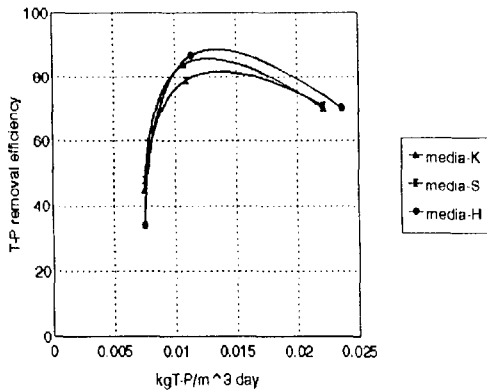


Fig 3. Relation between T-P removal efficiency and T-P volumetric loading rate.

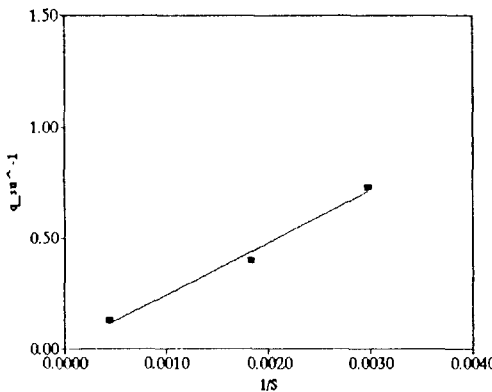


Fig 5. Determination of  $k_{max}$  and  $K_s$  with media-K.

5. 분석항목 및 분석방법

III. 결과 및 고찰

1. 반응조의 초기 운전

중앙 하수처리장의 슬러지 농축조에서 채취한 슬러지를 약 100 mgCOD/L의 glucose로 2 주일간 공급하며 순응시킨 후(이때 MLSS 약 2500 mg/L) media-K, media-S, media-H가 충전된 각 반응조에 슬러지를 seeding하여 한 달간 미생물 부착상태 및 공극 막힘 현상을 관찰하였다.

제작한 반응조의 높이와 직경비(H/D)는 0.42로서 일반적으로 연구되어진 3.1~29.7보다 훨씬 낮게 제작되었다. 폭기강도는 3.67 m<sup>3</sup>air/m<sup>2</sup>.hr로 일정하게 하였으며 산기관 막힘에 의한 폭기효율 저하 및 반

응조내 용존산소 지하방지를 위하여 일 주일에 한 번씩 산기관 세척을 실시하였다.

2. 반응조별 제거효율

media-K, media-S, media-H를 충전한 반응조의 기질별 제거효율을 Fig 4, 5, 6에 나타내었다. Iida<sup>17)</sup>가 실시한 연구에서 질소제거효율은 유출수의 NO<sub>3</sub>-N 농도에 의존하였으나, 본 실험에서는 NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N의 농도가 전 실험기간중에 저 농도로 존재하여 유출수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 전체 질소 제거효율을 나타내었다.

여재별 질소제거효율을 비교하였을 때 media-K가 약 81%로 가장 높게 나타났으며, 인제거효율은 media-H가 약 87%, 유기물(COD)제거효율은 media-K가 약 95%로서 가장 높게 나타났다.

COD 제거효율은 0.64~1.13 kgCOD/m<sup>3</sup>day에서

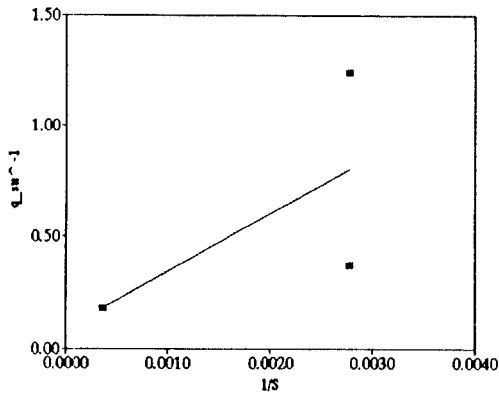


Fig 6. Determination of  $k_{max}$  and  $K_S$  with media-S.

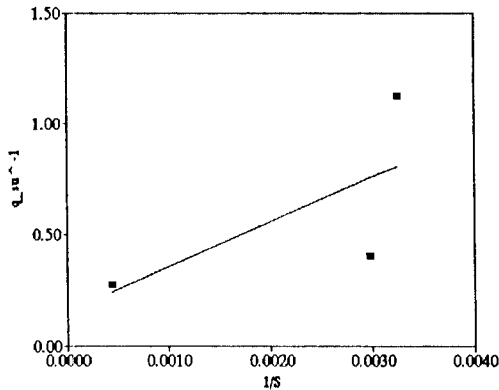


Fig. 7. Determination of  $k_{max}$  and  $K_S$  with media-H.

약 93%의 일정한 제거효율을 보였다.

media-S가 충전된 반응조의 경우 여재 특성상 슬래그가 지닌 알칼리도 용출에 의해 반응조내 pH 상승을 유발시켜 전반적인 제거효율 저하를 예상한 것과는 달리 운전기간중 슬래그에서 용출되는 알칼리도에 의한 pH 상승은 관찰 할 수 없었다.

본 실험에서 사용된 여재를 사용하여 유기.무기물질을 제거하였을 때, 고정상 생물막법을 이용한 실험결과<sup>14-18)</sup>와는 달리 부하율 변화에 따라 20~60%의 큰 폭의 제거효율 변화가 일어났는데, 이러한 이유로는 기존의 연구자들이 사용한 플라스틱, 쇠석, 유리 등의 다공성여재가 비반응성물질로서 미생물 부착장소로서만 제공되어 나타난 결과와는 달리 여재에 부착한 미생물과 고정토를 주 성분으로 성형한 후 600°C의 비교적 저온에서 소성된 다공성여재에 의한 기질 제거특성으로 사료된다.

Table 8. Determination of  $K_S$  and  $k_{max}$ .

media	$K_S$ (mgCOD/L)	$k_{max}$ (gCOD/gVSSda)
media-K	38813.47	163.13
media-S	3049.57	11.75
media-H	1307.86	6.47

Table 9. Determination of  $b$  and  $\mu_{max}$

media	$b$ (gVSS/gVSS · day)	$\mu_{max}$ (gVSS/gVSS · day)
media-K	0.67	109.86
media-S	0.43	11.11
media-H	-0.28	9.93

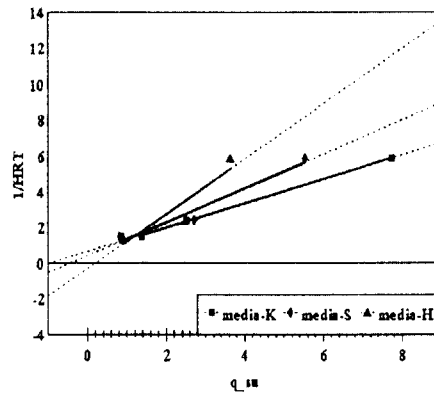


Fig. 8. Compare of microorganism growth coefficient with media.

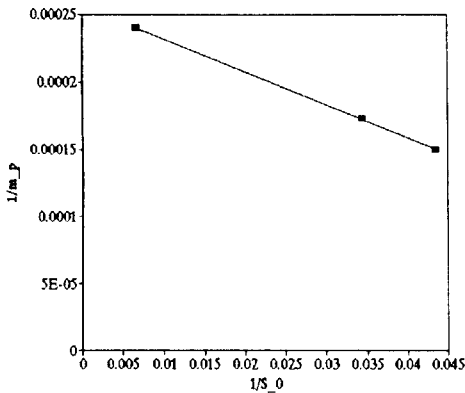
이상의 결과를 살펴볼 때, 적절한 부하율 선택이 중요하며 실험에 사용된 여재의 최적 부하율은 약 1 kgCOD/m<sup>3</sup>day, 약 0.08 T-N/m<sup>3</sup>day, 약 0.01 T-P/m<sup>3</sup>day의 부하율로 운전하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

### 3. 반응속도상수

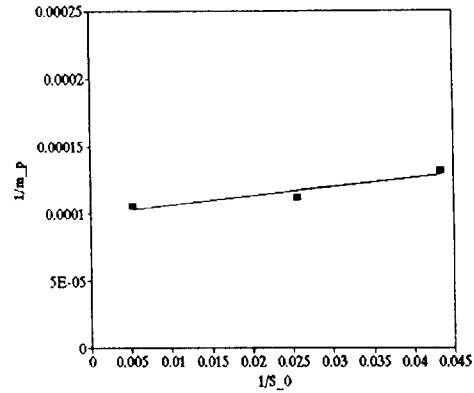
media-K, media-S, media-H의 제한기질 반포화상수( $K_S$ )와 최대 기질제거속도( $k_{max}$ )를 구하였다.

Fig 6의 media-S의 상관계수,  $r^2$ , 값이 0.406으로 media-K, media-H와 비교하였을 때 가장 낮은 상관관계를 보임으로써 부하율 및 체류시간변화에 민감하게 반응함을 알 수 있다.

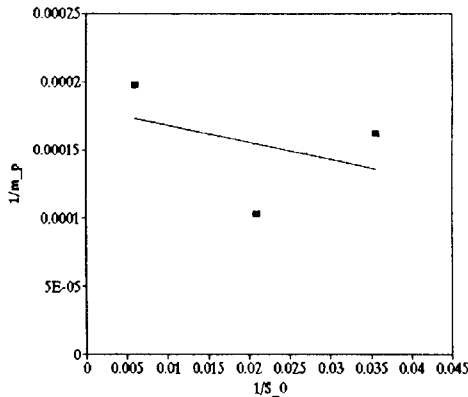
또한, 여재의 미생물 성장계수( $Y$ )는 media-K, media-S, media-H가 각각 0.67, 0.95, 1.53 mgVSS/mgCOD로서 media-H가 가장 우수하였다. 이 중에서 media-H의 경우 유입되는 1 mgCOD에 의해 성장



**Fig 9.** Dependence of Particle biomass hold up on reactor substrate concentration in an aerobic packed bed bioreactor with media-K.



**Fig 11.** Dependence of Particle biomass hold up on reactor substrate concentration in an aerobic packed bed bioreactor with media-H



**Fig 10.** Dependence of Particle biomass hold up on reactor substrate concentration in an aerobic packed bed bioreactor with media-S.

하계 되는 미생물의 양이 1 이상의 값을 나타내어, 반응조에 유입되는 탄소원(COD) 외에 비교적 저온인 600°C의 온도가 부식토를 완전 탄화시키지 않아 media-H 여재가 지닌 특성으로 사료된다.

Fig. 8의 값을 이용하여 구한 parameter b(세질량의 감쇄속도상수),  $\mu_{max}$  (세포비증식속도 최대치)를 Table 9에 나타냈다.

4. 미생물 부착특성<sup>5)</sup>

여재에 부착된 미생물의 양은 미생물의 성장과 탈리율(washout)에 영향을 받는다. 따라서 미생물의 성장률이 탈리율을 초과할 때 여재에 부착된 미생물의 양은 다음 식에 따라 증가한다.

$$\frac{dm_p}{dt} = (G - T)m_p \tag{1}$$

$m_p$  : 여재에 부착된 미생물의 양, M  
 $G$  : 총괄 비증식속도  
 (overall specific growth rate), T-1  
 $T$  : 비소멸 속도(specific rate of attrition), T-1  
 여기에서 다음의 관계가 성립한다.  
 $G \text{ -----} > T, m_p \text{ -----} > \text{constant}$  (2)  
 $T \propto m_p, T \text{ -----} > \text{constant}$  (3)

정상상태에서 다음의 관계가 성립한다.

$$m_p = \alpha G \tag{4}$$

또한 Atkinson 등에 의해 제안된 미생물의 성장과 기질의 농도사이의 경험식은 다음과 같다.

$$G = \alpha \frac{S_0}{\beta + S_0} \tag{5}$$

$\beta$  : 경험계수(empirical coefficient),  $ML^{-3}$

$S_0$  : 반응기내의 기질 농도,  $ML^{-3}$

식(4)와 (5)로부터

$$m_p = \alpha \frac{S_0}{\beta + S_0} \tag{6}$$

$S_0$ 와  $m_p$ 사이의 관계에 있어서  $S_0$ 가 증가함에 따라 최대의 부착된 미생물 양( $m_p$ )이 존재한다는 단순한 의존성을 가정하면 다음 식이 성립한다.

$$m_p = m_{p \max} \frac{S_0}{\beta + S_0} \tag{7}$$

식(7)은 linear regression 을 이용하여 기질 농도

에 따른 여재에 부착된 미생물의 양을 예측할 수 있는 특성 식을 구하기 위하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{m_p} = \frac{\beta}{m_{p \max}} \cdot \frac{1}{S_0} + \frac{1}{m_{p \max}} \quad (8)$$

식(8)에서  $1/m_p$ 와  $1/S_0$ 에 대해 도시하면  $m_{p \max}$ 와  $\beta$  값을 구할 수 있고, 이로부터 미생물 부착 특성 식을 구할 수 있다.

식을 이용하여 media-K, media-S, media-H를 충전한 생물반응기 내에서의 기질농도 변화에 따른 미생물 부착량과의 관계를 Fig 9, Fig 10, Fig 11에 나타냈다.

각 여재의 미생물 부착특성을 살펴보면

$$\text{media-K는 } m_p = 3901.9 \frac{S_0}{-9.52 + S_0},$$

$$\text{media-S는 } m_p = 5556.4 \frac{S_0}{-6.89 + S_0},$$

$$\text{media-H는 } m_p = 10039.4 \frac{S_0}{6.75 + S_0} \text{ 이었다.}$$

특히, media의 미생물 부착특성식을 plotting 할 때 상관계수값이 media-K, media-S, media-H가 각각 0.999, 0.147, 0.907로서 반응속도상수 값을 구할 때와 마찬가지로 media-S가 가장 낮은 상관성을 보였다.

#### IV. 결 론

고령토를 주원료로 제작한 다공성 여재 media-K, 고령토와 고로슬래그를 중량비로 60, 40% 혼합하여 제작한 media-S, 고령토와 부식토를 중량비로 60, 40% 혼합하여 제작한 다공성 여재 media-H를 상향류 호기성 침지형 반응조의 침지형 여재로서 유기·무기물질을 혼합한 폐수를 처리하였을 때,

(1) 제작한 여재의 유기·무기물질의 최고 제거효율을 얻기 위해 적정 부하율 선정이 중요하였으며 실험에 사용된 여재의 최적 부하율 및 최고 제거효율은 부하율 약 1 kgCOD/m<sup>3</sup>day에서 media-K 92.6%, media-S 94.9%, media-H 95.8%이었으며, 약 0.08 kgT-N/m<sup>3</sup>day에서 media-K 80.9%, media-S 76.7%, media-H 75.2%이었고, 약 0.01 T-P/m<sup>3</sup>day에서 media-K 83.74%, media-S 79.08%, media-H 81.7%의 제거효율을 보였다.

(2) 제거효율 변화폭이 가장 큰 T-N의 경우 부하

율 0.05~0.18 kgT-N/m<sup>3</sup>day로 변화시켰을 때 media-K의 경우 약 61%, media-S는 약 71%, media-H는 약 70%의 차이를 보여 적정 부하율 선정이 최고 제거효율에 미치는 영향이 큼을 알 수 있었다.

(4) 미생물 성장율은 media-H가 육안으로 관찰할 수 있을 정도로 빠르게 성장하였으며, 미생물 성장계수(Y)는 media-K, media-S, media-H가 각각 0.67, 0.95, 1.53 mgVSS/mgCOD로서 media-H가 가장 빨리 성장하였다.

(5) 미생물 부착특성식에 의한 COD 제거효율은 media-H가로서 가장 우수하였다.

#### 참고문헌

- 1) 金東玟(1993), 廢水處理, 淸文閣
- 2) 朴鍾雄(1988), 好氣性 浸漬形 生物膜工法의 處理效率에 미치는 影響因子, 서울市立大學校
- 3) 金載勳(1993), 多孔性 유리媒質을 利用한 固定相 生物膜法에 關한 研究, 인하대학교
- 4) 西嶋 涉, 岡田 光正, 生物活性炭における附着細菌の役割, 用水と廢水 Vol. 35, pp703~711
- 5) 姜東秀(1992), 嫌氣性固定相 生物反應器에서 擔體의 種類에 따른 有機性廢水의 處理特性에 關한 研究, 건국대학교
- 6) Donald D. McHarness et al., Field studies of nitrification with submerged filters, JWPCF Vol. 47, pp291~302
- 7) Alan Y. L. Li, Francis A. DiGiano(1983), Availability of sorbed substrate for microbial degradation on granular activated carbon, JWPCF Vol 55, pp392~399
- 8) A. K. Camper. S. C. Broadway, M. W. LeChevalier, G. A. McFeters(1983), Operational variables and the release of colonized granular activated carbon particles in drinking water, Journal AWWA, Vol. 79, pp70~74
- 9) S. W. Maloney, K. Bancroft, W. O. Pipes(1984), Bacterial TOC removal on sand and BAC, J. ASCE Vol. 110, pp519~533
- 10) X. Zhang, Z. Wang, X. Gu(1991), Simple combination of biodegradation and carbon adsorption - The mechanism of the biological Activated carbon process, Wat. Res., Vol. 25, pp165~172
- 11) 下水道施設基準, 1992. 10., 建設部
- 12) Grady, C.P.L and Williams, D.R.(1975), Effects of influent substrate concentration on the kinetics of natural microbial populations in continuous culture, Wat. Res., Vol 9
- 13) L. G. Costa Reis and G. L. Sant' Anna Jr(1985), Aerobic treatment of concentrated wastewater

- in a submerged bed reactor, *Wat. Res.*, Vol 19, pp1341-1345
- 14) M. F. Hamoda and M. F. Abd-El-Bary (1987), Operation Characteristics of the aerated submerged fixed-film(ASFF) bioreactor, *Wat. Res.*, Vol 21, pp939-947
  - 15) Sheng-Kun Chen, Chin-Kun Juaw and Sheng-Shung Chen(1991), Nitrification and Denitrification of high-strngth ammonium and nitrite wastewater with biofilm reactors, *Wat. Sci. Tech.*, Vol 23., pp1417-1425
  - 16) Yukio Iida, Akihiro Teranishi(1984), Nitrogen removal from municipal wastewater by asingle submerged filter, *JWPCF* Vol 56, pp251-258
  - 17) Bjrjn Rusten(1984), Wastewater treatment with aerated submerged biological filters,*JWPCF* Vol 56, pp424-431
  - 18) T. Nambu, K. Kawarura and M. Kaneko (1991), Wastewater treatment by a submerged contact media process using net plates, *Wat. Sci. Tech.*, Vol 23, pp1853~1862
  - 19) 小規模 汚水處理工法 研究(1993), 國立環境研究院
  - 20) ng-Sik Shin and Hung-Suck Park(1991), Enhanced nutrient removal in porous biomass carrier sequencing batch reactor(PBCSBR), *Wat. Sci. Tech.*, Vol 23, pp719~728
  - 21) M. C. Wentzel, G. . Ekama and G. v. R. Marais (1991), Kinetics of Nitrification Denitri fication Biological Excess Phosphorous Removal Systems, *Wat. Sci. Tech.*, Vol 23.pp555-565
  - 22) Nutrient control, Manual of Practice No.FD-7