

## 활성탄 및 세라믹 재질에의 세균 부착성에 대한 연구

권 성 현 · 조 대 철 · 이 인 형\*  
경상대학교 해양환경공학과, \*순천향대학교 환경공학과  
(2005년 10월 5일 접수; 2005년 12월 12일 채택)

## An Experimental Study on Bacterial Adhesion onto Activated Carbon and Ceramic

Sung-Hyun Kwon, Dae-Chul Cho\* and In-Hyoung Rhee\*

Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

(Manuscript received 5 October, 2005; accepted 12 December, 2005)

The microbial adsorption characteristics of two different media for biological treatment were studied using attached diverse microbes onto activated carbon and ceramic. The results in the experiments of the characteristics of physical adhesion on two different media with addition of high and low concentrated substrate in the culture were observed that the efficient of adhesion onto F-400 activated carbon was higher over that of ceramic due to the surface area of media. The irradiation treatment by ultrasonication with 400 W power and 3 min retention time on the media without addition substrate conditions and subsequent mixing throughly the culture showed the highest efficiency of cell detachment on the media. Three different microbes, *P. ovalis*, *A. calcoaceticus*, and *B. subtilis* were used for the study of the characteristics of microbial adhesion on the media. *P. ovalis* showed the highest adhesion capability while *B. subtilis* showed the lowest capability adhesion onto media either addition of substrate in the culture. The mixed bacterial culture showed 10% lower removal efficiency of DOC in the low concentrated substrate culture compared to the single pure culture. Whileas, it did not show significant difference between two cultures at high concentrated substrate. It was also observed same population density of micro-organism by counting of microbes adhered to microbial media with an ultrasound treatment.

Key Words : Activated carbon, Ceramic, Adhesion, Counting

### 1. 서 론

고도정수처리의 생물활성탄 처리법(Biological Activated Carbon, BAC)에서 사용되고 있는 활성탄은 Granular Activated Carbon(GAC)이다. BAC는 오존분해된 유기물을 후단에 설치된 입상활성탄에 흡착함으로써, 활성탄 담체위에서 세균류를 비롯한 여러가지 미생물이 이들 물질을 영양원으로 생분해를 촉진해 오염물질의 분해제거가 이루어지도록 하는 방법이다. 활성탄에 세균이 부착, 증식함으로써 생

물활성탄이 되고, 이때 생분해작용을 하기까지 걸리는 시간은 정수프로세스에 생물활성탄을 적용할 때 중요한 요인이다. van der Kooij<sup>1)</sup>은 pilot plant 실험에서 활성탄위의 부착세균수가 최대가 될 때까지 걸리는 시간은 20~30일이라고 하였다. 그러나 Carro 등<sup>2)</sup>의 pilot plant 실험에서는 10일이 최대였으며, Camper 등<sup>3)</sup>의 실험실 규모의 칼럼실험에서는 3일이 최대였다. 이와 같이 부착세균의 착생, 증식은 실험조건과 원수, 수온 등에 따라 달라지므로, 활성탄 생물부착이 며칠이 걸리는지는 확실하게 말할 수 없을 것 같다<sup>4)</sup>. Camper 등<sup>3)</sup>은 모래, 안스라사이트와의 비교를 통해, Maloney<sup>5)</sup>는 활성탄과 모래와의 비교를 통해 각기 다른 담체라도 부착세균수에는 차이가 없다고 보고하였다. 그러나 Voice 등<sup>6)</sup>과 Li와

Corresponding Author : Sung-Hyun Kwon, Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea  
Phone: +82-55-640-3162  
E-mail: shkwon@gnsu.ac.kr

DiGiano<sup>7)</sup>는 활성탄쪽이 생물막 형성속도가 빠르다고 발표하였다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 활성탄의 표면 및 세공내부의 구조, 물리화학적 특성과 부착미생물이 가지는 생리적 성장차이에 따라 생물막 구성세균의 부착량 및 속도가 차이가 난다고 생각된다.

활성탄의 흡착능력이 부착세균의 활성화에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데, Yagi 등<sup>8)</sup>은 *Bacillus subtilis*를 집종한 칼럼으로 활성탄, 모래, 세라믹을 담체로 사용하여 2-MIB와 geosmin의 분해실험을 하였다. 그 결과 MIB는 활성탄을 충전한 칼럼에서만 생분해되고, 다른 담체에서는 전혀 분해되지 않았다. Li와 DiGiano<sup>7)</sup>는 활성탄, 모래, 안스라사이트를 담체로 사용한 유동상 실험에서 부착세균의 비증식속도는 활성탄 부착세균의 경우가 다른 담체에서의 부착세균보다 높은 수치를 보인다고 보고하고 있다. 또한, 유기물의 분해속도도 활성탄 유동상 쪽이 약 2배 높고, 부착세균의 비증식속도도 활성탄이 1.4~2.7배정도 높았다고 하였다. 한편 Speitel 등<sup>9)</sup>은 생물재생에 관한 연구를 통해, 세균이 활성탄의 부착유기물을 분해하는 것이 아니라, 흡착물질의 탈착이 원인이라고 밝혔다.

현재 생물활성탄 처리법은 최근 고농도의 유기성 폐수와 난분해성물질의 특정화학물질폐수, 그리고 상수도 문제인 이취미와 트리할로메탄의 전구물질을 함유하는 수처리 등에 폭넓게 이용되고 있다<sup>8~11)</sup>. 생물활성탄 처리기능을 가진 활성탄입자에는 *Pseudomonas*속을 비롯한 *Bacillus*속, *Micrococcus*속 등 다양한 종류의 중속영양세균이 생식하는 것으로 알려져 있다<sup>12~17)</sup>.

유럽 등에서는 입상활성탄에 부착해있는 세균증식으로 입상활성탄 여과지의 유기탄소계물질의 제거능력의 향상과 여상수명의 연장 등의 효과뿐만 아니라, 세균 재증식에 사용되는 영양물질을 제거함으로써 생물활성탄처리가 배수층의 세균증식방지도 효과가 있다고 하였다.

그러나 현재로서는 생물활성탄의 흡착·분해기구에 관련된 각종 미생물의 분해특성, 활성탄표면에서의 미생물의 증식특성, 영양물질을 둘러싼 미생물간의 경쟁관계 등에 관해서는 밝혀진 바가 거의 없다. 생물활성탄처리의 활용으로 높은 처리효과를 얻고 적절한 현장처리방법의 확립을 위해서는 유용미생물을 어떻게 증식하고 정착화해서 높은 활성을 유지하는지, 또는 장애 미생물의 제어조작요인을 밝힘과 동시에 처리대상물질의 적절한 처리조건을 구체적으로 밝히는 것이 필요하다. 특히, 현장의 bench-scale 실험으로 생물의 생분해 작용과 활성탄의 물리화학적 흡착을 결합한 생물활성탄 처리법에 대한

연구를 한 결과, 활성탄을 핵으로 생물막 증가에 의해 오염물질의 제거능력이 향상한다는 사실이 밝혀지기는 하였지만 생물막이 증가한 생물활성탄의 흡착·분해기구에 관련된 생물막 미생물군의 역할, 그 운전조건과 생물적 구조에 대해서는 밝혀진 바가 거의 없다. 본 연구에서는 이상의 점들을 감안해 펌톤배지를 기질로 사용하고, 생물활성탄을 구성하는 미생물중 생물활성탄에 출현빈도가 높은 세균류를 대상으로 각종 세균류의 활성탄 담체와 세라믹 담체에 대한 부착능력을 밝히고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

#### 2.1.1. 실험미생물

사용한 세균은 *Bacillus subtilis*(IAM 1069), *Pseudomonas ovalis*(IAM 1002), *Acinetobacter calcoaceticus*(IAM 1517)의 3종류를 사용하였으며 그 형상 및 생리적 특성은 Table 1에 표기하였다.

#### 2.1.2. 실험배지

실험은 고농도의 기질첨가제, 저농도의 기질첨가제 및 기질무첨가제로 나누어 행하였다. 세균배양은 물 1000 ml에 펌톤 5.0 g, 효모엑기스 2.5 g, 글루코스 1.0 g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.6 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.2 g, NaCl 0.1 g을 pH 7.0으로 조정된 펌톤배지에서 20°C, 24시간 전배양을 했다. 고농도 기질첨가제는 펌톤배지(DOC 4,050 mg·ℓ<sup>-1</sup>)를 기질무첨가제는 인산완충액(pH 7.0)을, 저농도 기질첨가제는 담수호(DOC 4.2 mg·ℓ<sup>-1</sup>)를 0.4 μm GF/C로 여과 후 121°C와 0.25 Kg/cm<sup>2</sup>로 가압멸균한 다음 20°C로 냉각시킨 후 사용하였다.

#### 2.1.3. 담체

담체로는 입상활성탄인 석탄계 활성탄의 카르곤 입상활성탄 Filtrasorb-400(이하 F-400활성탄이라 한다)과 세라믹 종류인 다공질 세라믹(이하 세라믹이라 한다)을 사용하였으며, 그 성상은 Table 2와 같다. 비표면적은 F-400활성탄이 높고, 특히 세라믹은 매우 낮다. 활성탄은 입경 0.71~1.00 mm, 세라믹은 입경 2.4 mm인 것을 사용하였으며, millipore수(Millipore사의 Super-Q 초순수 제조장치에서 처리한 물)로 잘 세정한 다음, 105°C로 건조시켜 냉각한 것을 공시 담체로 사용하였다.

### 2.2. 회분배양시 활성탄의 기질흡착실험

고농도 기질첨가제에서 담체에의 흡착특성을 조사하기 위해 300 ml의 삼각플라스크에 담체를 각각 1.0 g, 2.5 g, 5.0 g씩 넣고 탈기·멸균한 다음 가압멸균한 펌톤배지 150 ml를 넣었다. 20°C, 무균상태에서 100 r.p.m.으로 진탕하면서 흡착실험을 행하여

Shimatzu TOC-5000 분석기로 24시간마다 용존성 유기탄소량(DOC)을 측정하였다. 한편 저농도 기질첨가계의 경우는 담체를 각각 0.05 g, 0.1 g, 0.4 g 씩 나누어 넣은 다음, 고농도 기질첨가계와 동일하게 실험을 하였다.

2.3. 회분배양시 세균의 증식특성

계대배양중인 세균을 펩톤평판배지에 접종해 30°C에서 48시간 배양했다. 그런 다음, 세균집락을 계산해  $10^5 \sim 10^6 \text{ cell} \cdot \text{ml}^{-1}$ 가 되도록 펩톤배지 150 ml가 들어있는 300 ml용 삼각플라스크에 접종하였다. 세균의 증식특성은 20°C, 100 r.p.m.에서 48시간 동안 진탕배양하면서 6시간마다 세균수를 측정하였다.

2.4. 회분배양시 활성탄의 흡착평형조정

고농도 기질첨가계는 300 ml 삼각플라스크에 담체 5 g을 넣은 다음, 펩톤배지를 150 ml 넣고 20°C, 100 r.p.m.에서 3일간 진탕한 후, DOC 측정으로 평형상태를 확인하였다. 저농도 기질첨가계는 10 l의 유리용기에 여과후 멸균한 담수와 담체 5 g을 넣고 실온(약 20°C)에서 진탕시키면서 48시간마다 담수교환을 하여 DOC가 포화된 담체를 제조하였다. 한편, 기질 무첨가계는 300 ml의 삼각플라스크에 150 ml의 인산 완충액을 넣고 멸균한 다음, 담체 5 g을 첨가후 실험을 하였다. 활성탄 흡착실험은 모두 무균 상태에서 행하였다.

2.5. 부착세균의 탈리방법

미생물이 부착된 활성탄과 세라믹을 0.1 g을 채취한 다음, 이것을 0.85% NaCl용액 1 ml로 두번 세정한 후 같은 농도의 NaCl용액 2 ml를 첨가하고 강도 및 시간을 바꿔 초음파처리(Eyella FD1000)를 하였다. 초음파처리후 약 10초간 vortex로 세계 교반한 다음, 상등액 1 ml를 떠서 용액중의 세균수 및 부착세균수를 조사하였다.

2.6. 회분배양시 담체에 대한 세균부착능력 평가

회분배양시 담체에 대한 세균의 부착능력을 6개의 조건으로 나누어 행하였다. 고농도 기질첨가계는 300 ml 삼각플라스크에 넣은 펩톤배지 150 ml와 흡착평형을 이룬 담체 5 g을 첨가한 계와 같은 양의 펩톤배지만 첨가한 계로, 그리고 저농도 기질첨가계는 담수로 흡착평형을 이룬 담체에 담수 150 ml를 새로 넣고 고농도 기질첨가계와 같은 방법으로 실험하였다. 한편 기질무첨가계는 300 ml 삼각플라스크에 인산 완충액 150 ml와 공시담체 5 g을 첨가한 계 및 인산완충액으로만 된 계를 만들어 기질첨가계와 같은 방법으로 실험을 하였다. 즉 세균현탁액을  $10^6 \sim 10^7 \text{ cell} \cdot \text{ml}^{-1}$ 이 되도록 접종해 20°C, 100 r.p.m.에서 회분진탕배양을 하였다. 이들 3개의 계는 24시간마다 부유성세균과 부착성세균을 측정하고, 또한 0.2 μm 누클레오포어필터로 여과멸균한 다음 DOC를 측정하였다. 담체부착 세균량은 0.85%의 NaCl용액 1 ml로 2회 세정한 다음, 같은 농도의 NaCl용액 2 ml를 첨가해 40 W강도로 3분간 초음파 처리로 부착세균을 탈리한 후 세균수를 세어서 담체 1 g당의 부착세균수를 계산하였다<sup>21)</sup>.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기질의 각종 담체에 대한 물리화학적 흡착특성

생물활성탄에는 활성탄에 의한 기질의 물리화학적 흡착과 미생물에 의한 기질분해라고 하는 두가지 작용이 있다. 물리화학적으로 담체표면에 흡착된 기질은 주로 부착세균에 의해 자화분해되어 증식에 기여한다고 생각할 수 있는데, 물리화학적 흡착특성 조사는 담체의 흡착능력과 세균의 부착량 관계를 밝히는 데 중요하다.

고농도 기질첨가계에서의 펩톤배지와 활성탄과의 흡착평형실험 결과(Fig. 1)를 보면 F-400 활성탄의 흡착속도가 상당히 빠르고, 5~6시간 만에 포화상태에 도달한 반면 저농도 오염호수의 경우는 포화상

Table 1. Morphological and physiological characteristics of bacteria used

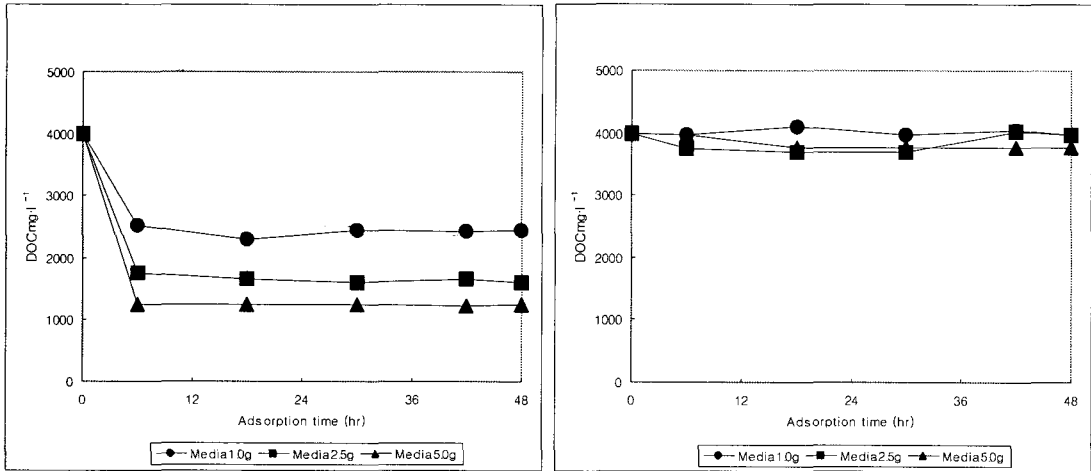
Species	Morphology	Size (μm)	Mobility	Flagella	Gram stain	Aerobic/anaerobic	Growth temperature (°C)
<i>A. calcoaceticus</i>	sphere	1.0~2.5	-	-	-	aerobic	30~32
<i>Pseudomonas ovalis</i>	rod	0.7~4.0	+	+	-	aerobic	25~30
<i>Bacillus subtilis</i>	rod	0.8~1.8	+	+	+	facultative/anaerobic	5~55

Table 2. Characteristics of media

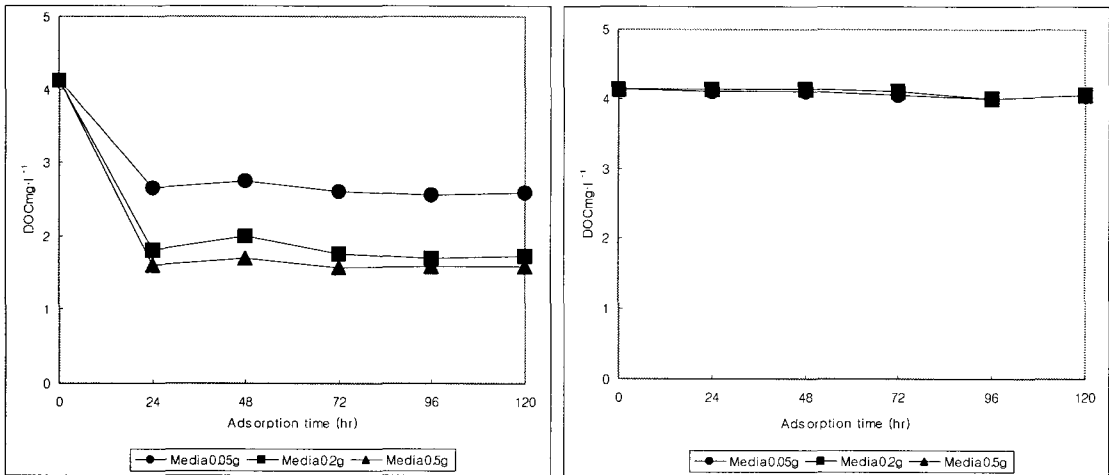
Media	Shape	Diameter(mm)	Pore size(Å)	Specific surface area(m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> )
F-400 A/C	sphere	0.74~1.0	22	1,200
Porous ceramic	sphere	1.00~2.4	-	2.51

때 도달까지는 24시간 정도 소요되었다 (흡착속도가 늦어 1일 간격을 측정 함). 한편, 세라믹 담체는 담체의 첨가량 증가와는 관계없이 DOC 제거효과는 발견되지 않았다. 이는 담체로는 기질흡착능력을 가진 물질이 필요하다는 것을 의미한다. 그리고 Table

3에는 Fig.1과 Fig.2로부터 구한 Freundlich식의 흡착상수(K)와 기울기( $1 \cdot n^{-1}$ ) 값을 나타내었다. 일반적으로  $1 \cdot n^{-1}$ 가 0.1~0.5면 흡착성이 용이하고, 2이상이면 흡착성이 낮다고 보므로<sup>13)</sup> 본 실험에서 사용한 배지는 중간정도의 흡착성을 보이고 있다. F-400



(a) A/CF-400 (b) Ceramic  
Fig. 1. Adsorption characteristics of different media at highly concentrated substrates.



(a) A/CF-400 (b) Ceramic  
Fig. 2. Adsorption characteristics of different media at lowly concentrated substrates.

Table 3. Coefficient for Freundlich adsorption isotherm

Media	4,050 mgDOC · ℓ <sup>-1</sup>		4.2 mgDOC · ℓ <sup>-1</sup>	
	K	1 · n <sup>-1</sup>	K	1 · n <sup>-1</sup>
F-400 A/C	0.853	1.267	2.51×10 <sup>9</sup>	3.338
Ceramics	0.003	0.017	-	144.1

\* Freundlich eq :  $X \cdot M^{-1} = k \cdot C^{1 \cdot n^{-1}}$

M : A/C(g), X : removed substrate(g), C : equilibrium constant ( $g \cdot l^{-1}$ ), K,  $1 \cdot n^{-1}$  : coefficient

활성탄의 흡착능력이 세라믹보다 우수하였다.

3.2. 생물활성탄의 세균 측정법

세균의 부착증식특성의 적절한 평가를 위해서는 세균수의 측정 정밀도가 중요하다. AO염색법(total count), 평판배양으로 생세균수 측정법(vial count), 흡광도법(OD<sub>620</sub>:visible absorbance)과 비교하는 적정계수법의 screening을 하였다.

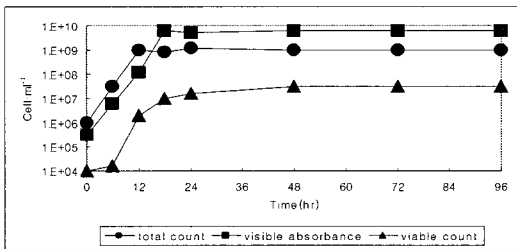
Fig. 3은 회분배양시 세균량을 각종 계수법으로 측정하여 비교한 것이다. AO염색법과 평판법 전부 거의 24시간만에 모든 세균이 평형을 이루어 가장 많이 계수되었다. 흡광도법은 균종류에 따라 OD값의 차이가 많이 나며 공존활성탄 입자의 영향도 보여 본 연구에서는 활성탄의 부착세균수 조사방법으로는 적절하지 않다고 사료되었다. 또한, 평판법에서는 특정배지의 사용으로 검출세균수에 차이가 나는 점, 그리고 집락의 수로만 평가하기 때문에 정확

한 균체수의 파악이 어렵다고 사료된다.

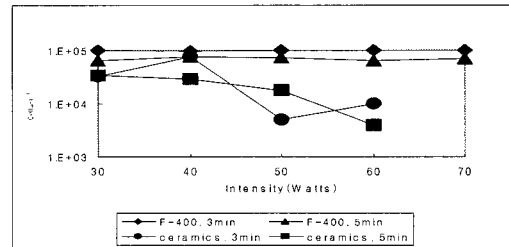
AO염색법은 사멸 세균수도 계수되어 총세균 측정이 가능하고, 공존 활성탄분말에 영향을 받지 않기 때문에, 이 실험에서는 세균의 계수방법으로 AO염색법을 사용하기로 하였다.

3.3. 담체표층의 세균 탈리조건의 선정

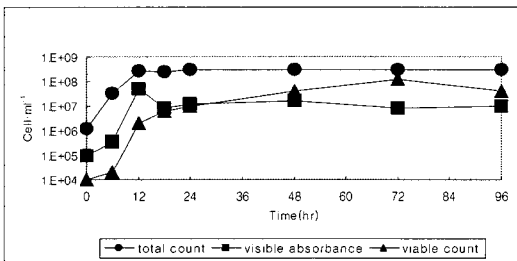
F-400활성탄 및 세라믹 부착세균의 효과적인 탈리방법에 대해 검토하였다. Fig. 4는 기질무침가계에서 각종 세균활성탄 탈리에 미치는 초음파강도의 영향을 조사한 결과이다. 30~70 W의 강도로 3분 및 5분동안 초음파처리를 한 다음 vortex로 약 10초간 세게 교반한 다음 상징액 1 ml속의 세균수를 계수했다. F-400활성탄을 담체로 한 *A. calcoaceticus*의 경우, 40W에서 3분처리로 세균수는 약간 증가했는데, 70 W까지 거의 일정했다. 한편 40 W에서 5분간처리했을 때는 반대로 세균수가 감소했다. 그러나



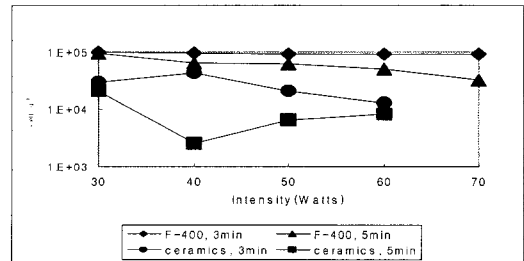
(a) *Acinetobacter calcoaceticus*



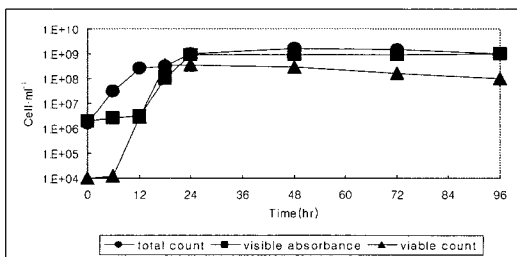
(a) *Acinetobacter calcoaceticus*



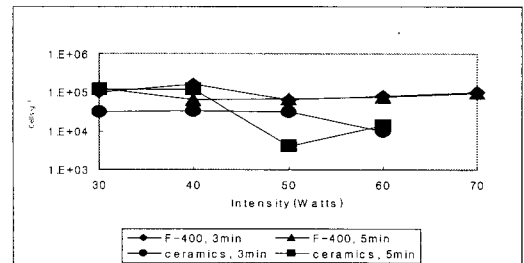
(b) *Bacillus subtilis*



(b) *Bacillus subtilis*



(c) *Pseudomonas ovalis*



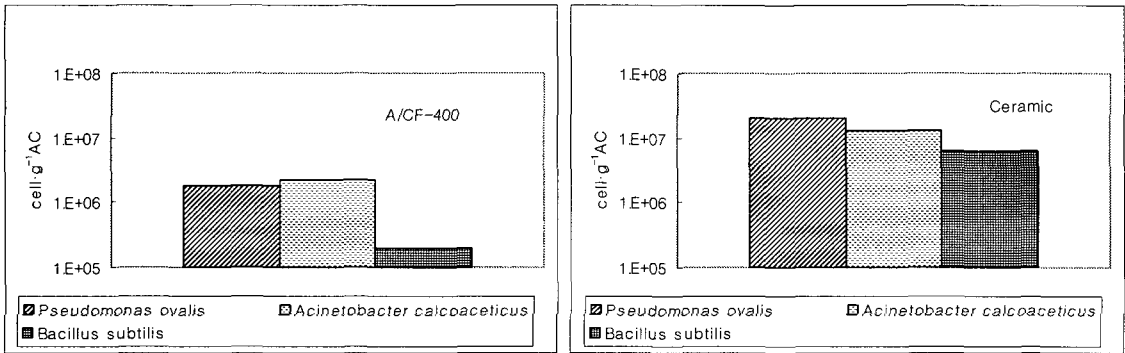
(c) *Pseudomonas ovalis*

Fig. 3. Comparison of measurements of microbial cells.

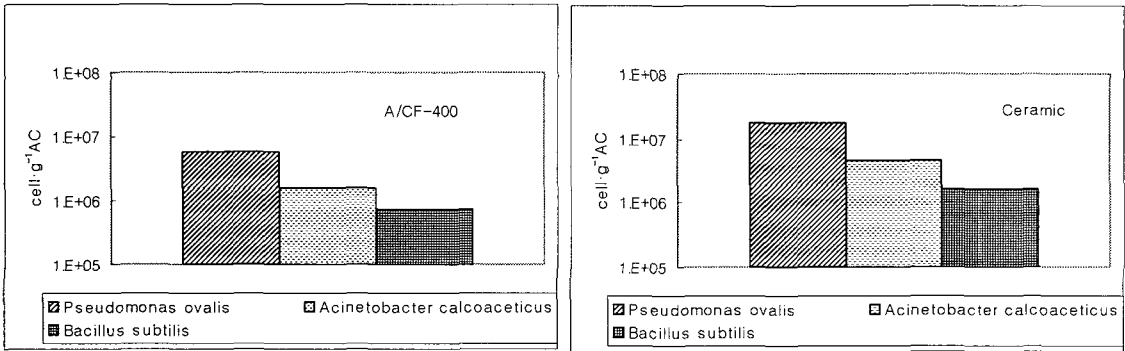
Fig. 4. Relationship of separation of attached cells with ultrasound treatment.

40~70 W범위에서는 거의 변화가 없었다. 30 W 이  
 의는 3분처리한 쪽이 5분처리에 비해 탈리세균수가  
 많았다. 기타 *P. ovalis*, *B. subtilis* 등도 마찬가지로,  
 5분처리에 비해 3분간 처리한 것이 좀 더 많은  
 탈리세균수의 증가를 보였다. 긴 처리시간에도 불구  
 하고 세균수가 감소한 것은, 세포가 파괴되기 때문  
 으로 생각된다. 한편, 세라믹은 활성탄에 비해 초음

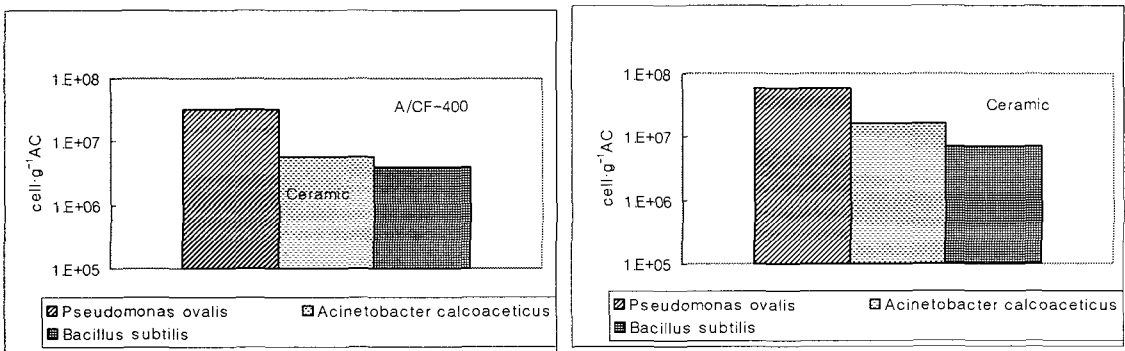
파강도에 큰 차이를 보여 50 W이상이면 어느 쪽이  
 든 세균수가 감소하는데, 특히 *A. calcoaceticus*는  
 10~100배정도 감소했다. 이는 초음파의 강도증가로  
 활성탄보다 세라믹 부착세균이 담체의 표면구조상  
 세포파괴가 쉽게 일어난다는 의미이다. 이상을 종합  
 해 보면 세균의 탈리조건으로는 세포의 손상상태를  
 고려해 강도 40 W, 3분간이 적절하였다. 그러나 호



(a) No substrate system



(b) Lowly concentrated system



(c) Highly concentrated system

Fig. 5. Microbial adherence capacity of two media (a) in no substrate system, (b) in lowly concentrated system and (c) in highly concentrated system.

모지나이저법(Homogenizer)에 따르면 80~90%의 세균이 탈리해 계수 오차가 작은 것을 선택한다는 보고도 있다<sup>18)</sup>. 따라서 어떤 탈리법을 이용하느냐는 목적 처리수의 성질, 공존 세균수 및 활성탄 종류를 파악해 결정해야 할 것이다.

### 3.4. 담체의 세균의 부착능력

Fig. 5는 담체에 세균의 부착능력을 살펴 본 결과로서 기질무첨가계의 각종담체에 대한 각종 세균의 부착능력은 담체종류에 관계없이 *P. ovalis* > *A. calcoaceticus* > *B. subtilis* 순으로 나타났다. 그리고 저농도 및 고농도 기질첨가계도 마찬가지로, 담체의 세균부착능력은 활성탄 및 세라믹담체 모두다 *P. ovalis* > *A. calcoaceticus* > *B. subtilis* 순으로 나타났다. 이상의 점들로 담체의 부착능력은 그 종류에 관계없이 세균이 가지는 생물적인 특성에 따른다고 생각된다. 특히 *P. ovalis*, *A. calcoaceticus*는 그람 음성세균, *B. subtilis*는 그람양성세균으로서 그람 음성세균은 양성세균보다 활성탄에 대한 부착능력이 높은 경향을 보였다. 그 이유는 그람양성세균과 그람음성세균의 세포벽 구조가 다르고 분비물질의 질적, 양적인 차이<sup>14)</sup> 때문으로 생각된다. 세균종류에 따라 부착량이 다른 것은 세균이 가진 표면장력과 소수성 크기에 따른 활성탄 부착성이 다르기<sup>15)</sup> 때문이라고 판단된다.

담체별로 부착세균량을 비교해보면, 기질무첨가계에서 활성탄 부착세균수가  $10^5 \sim 10^6 \text{ cell} \cdot \text{g}^{-1}\text{AC}$  인 것에 반해 세라믹은  $10^7 \text{ cell} \cdot \text{g}^{-1}\text{AC}$  이상이였다. 또 기질첨가계도 활성탄 부착세균수는 세라믹보다 약간 낮은 수치를 보였다. 이는 비표면적이 가장 낮은 세라믹이 활성탄보다 부착세균이 많다는 점에서 담체의 세균부착성은 세균이 서식하기 쉬운 담체의 원료 및 표면구조에 의해 다르다고 추정할 수 있다. 또한 실험개시 1시간 후에 활성탄 표면의 부착세균수가  $10^6 \sim 10^7 \text{ cell} \cdot \text{g}^{-1}\text{AC}$ 까지 부유세균이 단시간에 활성탄표면에 부착하므로, 일시적으로 담체에 대한 세균부착을 행하는데, 그 증가는 부착 및 부유성 세균증식에 큰 영향을 받을 수 있다.

## 4. 결 론

- 1) 담체로 활성탄 및 세라믹을 사용해 고농도 및 저농도 기질의 물리적 흡착특성을 검토한 결과, 흡착효과는 흡착비표면적의 크기에 대응해 F-400 활성탄이 세라믹보다 우수하였다.
- 2) 기질무첨가계에서 세라믹 및 F-400 활성탄을 담체로 세균의 탈리조건에 관해 검토한 결과, 초음파처리는 40W, 3분간이며 그 후 10초동안 교반

해 측정하는 것이 적당하다고 사료된다.

- 3) 담체에 대한 총세균의 부착능력은 기질첨가 유무와 관계없이 거의 *P. ovalis* > *A. calcoaceticus* > *B. subtilis* 순이었으며, 담체별 세균부착량은 세라믹이 F-400 활성탄보다 많았다.

## 참 고 문 헌

- 1) Van der Kooij, D., 1978, Investigation concerning the relation between microorganisms and adsorption processes in granular activated carbon filters, presented at the Oxidation Techniques in Drinking Water Treatment.
- 2) Cairo, P. R., J. McElhaney and I. H. Suffet, 1979, Pilot plant testing of activated carbon adsorption systems, Journal American Water Works Association, 71, 660-673.
- 3) Camper, A. K., S. C. Broadaway, M. W. LeChevallier and G. A. McFeters, 1987, Operational variables and the release of colonized granular activated carbon particles in drinking water, Journal American Water Works Association, 79, 70-74.
- 4) AWWA, 1981, An assessment of microbial activity on GAC, Journal American Water Works Association, 73, 447-454.
- 5) Maloney, S. W., 1984, Bacterial TOC removal on sand and BAC, Journal American Society of Civil Engineers, 110, 519-533.
- 6) Voice, T. C., D. Pak, X. Zhao, J. Shi and R. F. Hickey, 1992, Biological activated carbon in fluidized bed reactors for the treatment of ground water contaminated with volatile aromatic hydrocarbons, Water Research, 26, 1389-1401.
- 7) Li, A. Y. L. and A. DiGiano, 1983, Availability of sorbed substrate for microbial degradation on GAC, Journal Water Pollution Control Federation, 55, 392-399.
- 8) Yagi, M., S. Nakashima and S. Muramoto, 1988, Biological degradation of musty odor compound, 2-methyl isoborneol and geosmin, in a bio-activated carbon filter, Water Science and Technology, 20, 255-260.
- 9) Speitel, G. E. and F. A. DiGiano, 1989, Biodegradation and adsorption of a bisolute mixture in GAC columns, Journal Water Pollution Control Federation, 61, 221-229.

- 10) Rice, R. G., G. W. Miller, C. M. Robson and W. Kuhn, 1978, Carbon adsorption hand book, Cheremisinoff, P. N., F. Ann Arbor, Science Press, 485pp.
- 11) Gardner, D. A., M. T. Suidan and H. A. Kobayashi, 1988, Role of GAC activity and particle size during the fluidized anaerobic treatment of stripper bottom, Journal Water Pollution Control Federation, 60, 503-513.
- 12) Rollinger, Y. and W. Dott, 1987, Survival of selected bacterial species in sterilized activated carbon filter and biological activated carbon filter, Applied and Environmental Microbiology, 53, 777-781.
- 13) Parsons, F., 1980, Bacterial populations in granular activated carbon beds and their effluents, Unpublished report, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- 14) Camper, A. K., M. W. LeChevallier, S. C. Broadaway and G. A. McFeters, 1986, Bacteria associated with granular activated carbon particles in drinking water, Applied and Environmental Microbiology, 52, 434-438.
- 15) Brewer, W. S. and W. W. Carmichael, 1979, Microbial characterization of granular activated carbon filter systems, Journal American Water Works Association, 71, 738-740.
- 16) Tobin, R. S., D. K. Smith and J. A. Lindsay, 1981, Effects of activated carbon and bacteriostatic filters on microbiological quality of drinking water, Applied and Environmental Microbiology, 41, 646-651.
- 17) AWWA, Research and Technical Practice Committee on Organic Contaminants, 1981, An assessment of microbial activity on GAC, Journal American Water Works Association, 73, 447-454.
- 18) Bourbigot, M. M., A. Dodin and R. Lheritier, 1982, Limiting bacterial aftergrowth in distribution systems by removing biodegradable organics, Proceedings of the American Water Works Association Annual Conference, Miami Beach, Florida.
- 19) Pascal, O., J. C. Joret, L. Y. Levi and T. Dupin, 1986, Bacterial aftergrowth in drinking water networks measuring biodegradable organic carbon, Presented at the Ministere de l'Environment/US Environmental Protection Agency Franco-American Seminar, October, 13-17, Cincinnati.
- 20) Rittmann, B. E. and V. L. Snoeyink, 1984, Achieving biologically stable drinking water, Journal American Water Works Association, 76, 106-144.
- 21) Davies, D. G. and G. A. McFeters, 1988, Growth and comparative physiology of *Klebsiella oxytoca* attached to GAC particles and in liquid media, Microbial Ecology, 15, 165-175.
- 22) LeChevallier, M. W., T. S. Hassenauer, A. K. Camper and G. A. McFeters, 1984, Disinfection of bacteria attached to granular activated carbon, Applied and Environmental Microbiology, 42, 159-167.