

배양적 및 비배양적 방법에 의한 생물활성탄 부착세균 군집 특성

박홍기* · 정은영 · 정미은 · 정종문 · 지기원 · 유평중

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

Received August 10, 2007 / Accepted September 5, 2007

Characteristics of Bacterial Community for Biological Activated Carbon(BAC) by Culturable and Unculturable Methods. Hong Ki Park*, Eun Young Jung, Mi Eun Jung, Jong Moon Jung, Ki Won Ji and Pyung Jong Yu. *Water Quality Institute, Water Works HQ of Busan Metropolitan City, Kyoungnam, 621-813, Korea* - The Biological Activated Carbon (BAC) process in the water treatments represents a kind of biofiltration process which capabilities of bacteria to remove organic matters are maximized. It enables to eliminate organic matters and effectively reduce microbial regrowth potentials. As attached bacteria employ natural organic matter as a substrate, they are significantly dependent on indigenous microorganisms. In this study, characteristics of bacterial community by culturable and unculturable Methods have been conducted in a pilot plant using BAC in water treatment process at the downstream of the Nakdong River. Based on the results, HPC and bacterial production for coal-based activated carbon material were $1.20 \sim 56.2 \times 10^7$ cfu/g and $1.2 \sim 3.7$ mgC/m³h, respectively, in the BAC process. The highest level of attached bacteria biomass and organic carbon removal efficiency was found in the coal-based activated carbon. The genera *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, and *Spingomonas* were identified for each activated carbon material. *Pseudomonas vesicularis* was the dominant species in the coconut- and coal-based materials, where as *Pseudomonas cepacia* was the dominant species in the wood-based material. The Scanning Electron Microscope (SEM) observation of the activated carbon surface also found the widespread distribution of rod form and coccus. The community of attached bacteria was investigated by performing Fluorescent *in situ* hybridization (FISH) analysis. α group was dominant in coal, wood and coccut-based materials, α , β and γ group ranged from 27.0 ~ 43.0%, 7.1 ~ 22.0%, 11.3 ~ 28.6%, respectively. These results suggest that α group bacterial community appears to be regulated removal efficiency of organic material in water treatment process.

Key words – BAC, bacterial community, biomass, *Pseudomonas*, fish

서 론

현재 적용되고 있는 고도처리방법중의 하나인 활성탄 여과법은 활성탄 다공성에 의해 수중의 각종 유해물질들이 활성탄에 잘 흡착되므로 기존의 급속여과법에서는 제거되지 않는 용해성 유기물, 미량 유기화합물, 암모니아성 질소, 철, 망간, 이취미 원인 물질, 소독 부산물 등의 제거에 매우 효과적이어서 구미 각국에서도 고도정수처리에 많이 이용하고 있다[21]. 또한 입상활성탄 (granular activated carbon; GAC) 공정에서 GAC 과과점을 지나 지속적으로 운전할 결과, GAC 표면에 부착된 미생물의 응집체(agggregation)에 의한 생물학적 분해 작용으로 인하여 용존유기탄소 (dissolved organic carbon; DOC)가 제거된다는 보고가 있다[5]. 이것을 생물활성탄 (biological activated carbon; BAC) 공정이라고 하며, 입상활성탄에 의한 유기물의 흡착 이외에 미생물의 생물학적 작용을 조합한 BAC 처리공정이 현재 전 세계적으로 널리 이용되고 있다[26]. BAC의 입자 표면은 세균이 부착하

는데 아주 적절하고 또한 원수에는 세균의 영양분이 될 수 있는 각종 유기 및 무기물질이 포함되어 있어 세균의 번식을 가능하게 한다. 정수처리에서 생물활성탄 공정은 미생물의 유기물 제거능을 극대화시킨 일종의 생물여과 공정으로 이전부터 국내·외에서 널리 사용되고 있는 정수처리 기법이며[20,25,27] 최근에는 멤브레인 공정과 조합하여 새로운 정수처리 공정으로 부각되고 있다[28]. BAC에 부착·서식하고 있는 세균은 낮은 농도의 유기물과 영양염류를 이용하여 성장하고 이 과정에서 체내의 영양염류를 고농도로 축적하게 된다. 세균은 빛, 수온, 기질, 효소, pH 등에 영향을 받아서 부착 세균의 구성종 및 생체량에 많은 차이를 유발하여 BAC 공정의 효율에 많은 영향을 미친다고 알려져 있다[9,12,19].

현재 세균분포 및 군집변화에 대한 연구에는 전통적 배양적 방법과 비배양적 방법이 사용되고 있다. 생태계의 세균 군집분석이 종전에는 배양 가능한 세균에 국한되었으나 배양적 방법은 배양이 되지 않은 세균(viable but unculturable bacteria)이 95% 이상을 차지하는 만큼 방법에 한계를 가져왔다. 따라서 형광현미경으로 직접 계수하는 방법이 도입되었으며, 세균의 활성도, 체외효소의 활성도, 생리적 활성도 등을 생화학적, 유전학적 방법을 동원하여 분석하는 단계에

*Corresponding author

Tel : +82-55-323-4718, Fax : +82-55-323-4719

E-mail : pknucac@hanmail.net

이르렀다. 생태계에서 세균의 기능과 구조를 더 잘 파악할 수 있는 비배양적 방법은 현재 직접 계수에 의한 DAPI 염색법(4,6-diamidino-2-phenylindole)과 형광물질로 표지된 rRNA-target oligonucleotide를 사용한 *in situ* hybridization 방법 등이 있는데 자연 상태의 세균 군집구조를 가장 정확하게 나타낼 수 있는 장점을 가지고 있다[3,4,14,16,29,31] 특히, Fluorescent *in situ* Hybridization (FISH) 법은 최근에 개발된 분자생물학적 monitoring 기법으로서 세균 군집구조의 이해에 가장 적합한 방법으로 인식되고 있다[2,7,8].

따라서 본 연구에서는 1일 최대 100톤 처리 용량의 pilot-plant을 대상으로 BAC 공정에서 활성탄 재질별로 배양적(평판배양법) 및 비배양적 방법(FISH)을 이용하여 활성탄 종류별로 부착세균의 군집구조 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

Pilot-plant 장치

본 연구에 사용된 Pilot-plant 실험장치는 기존 급속 여과 시스템에서 전 염소처리 공정이 생략되었고, 오존의 전·후 처리와 BAC 공정을 부가한 시스템으로 실험하였으며(Fig. 1), BAC 운영조건은 Table 1과 같다. 원수는 낙동강 하류지점인 매리 취수장의 표층수를 사용하였고, 응집제로는 Polyaluminum Sulfate Organic Magnesium (PSOM)을 사용하였다. 또한 본 실험 장치의 생물활성탄 재질은 야자계, 목탄계, 석탄계이며 여과층의 깊이는 2.5m이고 이들 입상활성탄의 물성치는 Table 2와 같다.

조사기간 및 DOC 분석

조사기간은 1년(2006. 1 ~ 2006. 12)으로 하였으며, 조사 주기는 수질인자 항목의 경우 월 1회, 부착세균 분포조사는 월 1회 간격으로 조사하였다. 수질인자 항목으로는 DOC를 측정하였는데 DOC(dissolved organic carbon)는 0.2 µm 멤브레인 필터(Sartorius, Germany)로 여과한 후 그 여액을 TOC analyzer(Sievers 820, Sievers, U.S.A.)로 분석하였다.

세균 생체량 및 종 동정

세균의 생체량(biomass)은 BAC의 습중량 1 g을 건조시킨 후 초음파 처리(3 min, 37 kHz, 190 W)하여 세균을 탈리시킨 다음 R2A agar (Difco) 평판배지에 시료 1 ml를 단계적으로 희석 도달한 후 25°C 배양기에서 2주간 배양하여 습중량 1 g당 colony형성 세균수로 표시하였다[23]. 총 세균수는 nucleotide에 삽입되어 결합하는 DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole-2HCl, sigma, USA)로 염색하여 직접 계수하는 DAPI법을 이용하여 측정하였다. 세균의 생산력(bacterial production)은 ³H-thymidine이 DNA에 흡수되는 정도로 구하였다[9]. 먼저 BAC 습중량 1 g을 초음파 처리하여 세균을 탈리시킨 시료 2 ml에 200 nM [methyl-³H] thymidine 용액(specific activity: 40~50 Ci/mmol) 1 ml와 200 nM cold thymidine 용액 1 ml를 첨가한 후 교반 배양기에서 *in situ* 조건으로 4시간 배양하였다. ATP 용액(25 g/ℓ) 100 µl, DNA 용액(0.75 g/ℓ) 100 µl 그리고 1 N NaOH 2 ml를 첨가하여 100°C에서 1시간 동안 가열하여 DNA를 추출한 후 잠시 냉각시키고 3000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 상등액 1 ml에 ice-cold 10% trichloroacetic acid 5 ml를 첨가하여 반응을 종료시키고 15분 정도 냉각시킨 후 0.2 µm 멤브레인 필터로 여과하였다. 이 여지를 vial에 넣고 건조시킨 후 ethyl acetate 1 ml와 10 ml의 scintillation cocktail(Aquasol-2, Packard Co.)을 주입하여 liquid scintillation analyzer (PerkinElmer, Quantulus 1220)로 방사선량을 측정하였다. 얻어진 DPM (disintegrates per minute) 값으로부터 Parsons 등[23]에 의한 식을 이용하여 incorporation된 thymidine의 양을 계산하였다[6].

세균의 동정은 형성된 colony의 형태학적 특징을 관찰하여 서로 다른 colony를 R2A 배지에 희석 도달하여 순수 분리하였다. 순수 분리된 세균은 API 20 NE Kit (bioMerieux, France) 및 생화학적 실험을 실시하고 Bergey's manual의 분류체계에 따라 속 혹은 종명까지 분류 동정하였다[15].

주사전자현미경(SEM) 관찰

생물활성탄 입자 표면에 부착된 세균들을 관찰하기 위한

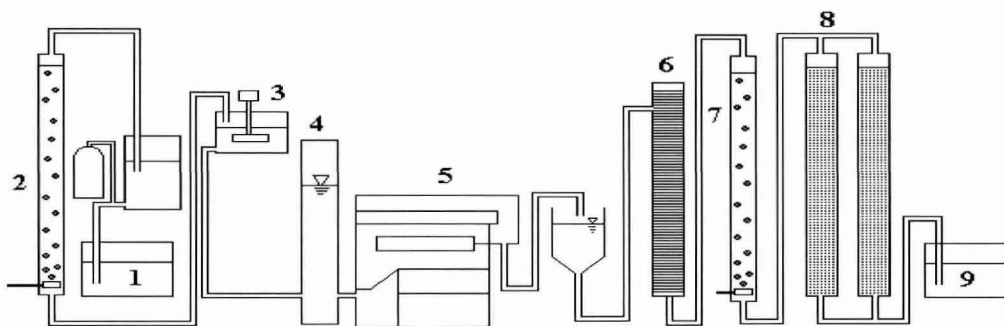


Fig. 1. Schematic diagram of a pilot-plant for water treatment. (1;raw water distributed tank, 2;O₃ pre-contactor, 3;coagulant mixer, 4;circulator tank, 5;pulsator, 6;settling tank, 7;O₃ post-contactor, 8;BAC column, 9; clean water tank)

Table 1. Operating condition of water treatment process using biological activated carbon (BAC).

Parameter	Operating condition
Empty Bed Contact Time (min)	12
Linear Velocity (m/h)	10
Bed depth (m)	2.5
Backwashing time (min)	19
Expansion rate (%)	40
Pre-Ozone dose (mg/l)	1
Post-Ozone dose (mg/l)	2

Table 2. Specification of granular activated carbons

Item	Properties		
	Coconut	Coal	Wood
Apparent density(g/cm ³)	0.47	0.43	0.23
Hardness number(%)	99	98	98
Iodine value(mg/g)	1163	10516	937
MB adsorption(ml/g)	245	256	250
Residual material after mesh (8 x 32 mesh)	99	99.5	98
Specific surface area(m ² /g)	1230	1100	1350
Total pore volume(cm ³ /g)	0.50	0.55	1.03
Mean pore radius(Å)	18	23	28

주사전자현미경 (scanning electron microscope; SEM) 분석은 건조시킨 BAC 시료에 10 ml의 2.5% glutaraldehyde 용액 (in 0.1 M sodium cacodylate buffer; pH 6.8)을 첨가하여 4℃에서 2시간동안 전 고정된 후 0.1 M sodium cacodylate buffer (pH 6.8) 10 ml로 전 고정과 같은 조건에서 세정하였다. 1% OsO₄ 용액 (in 0.1M sodium cacodylate buffer; pH 6.8) 5 ml를 첨가하여 후 고정시킨 후 다시 0.1 M sodium cacodylate buffer (pH 6.8) 10 ml로 실온에서 세정하였다. 그리고 각 10 ml의 30, 50, 70, 80, 90, 95, 100% ethanol로 각각의 농도에서 10분간씩 탈수시킨 후[24], 한국 신발피혁 연구소에 SEM 촬영을 의뢰하여 BAC 입자에 부착된 세균을 관찰하였다.

세균 군집구조

시료 전처리

먼저 BAC 습중량 1 g을 건조시킨 후 초음파 처리하여 세

균을 탈리시킨 다음 시료를 0.2 μm polycarbonate 멤브레인 필터(Millipore)로 여과하였다. 여과 후 1×phosphate buffered saline(PBS, pH 7.4)로 세척하였고, 다시 ethyl alcohol을 이용하여 세척하고 공기 중에서 필터를 건조시켰다.

Gene probes

본 연구에 사용된 probe들은 Eubacteria와 결합하는 EUB338, α group과 결합하는 ALF 1b, β group과 결합하는 BET 42a, γ group과 결합하는 GAM 42a, Cytophaga-Flavobacterium(CF) group과 결합하는 CF 319a, 그리고 Gram (+) High G+C Content와 결합하는 HGC probe이며, 이들 probe의 sequence 및 specificity를 Table 3에 나타내었다.

Fluorescent *in situ* Hybridization(FISH)

Gelatin coated slide glass에 필터를 올려놓은 후 probe 1 μl(최종농도 5 μg/μl)와 hybridization buffer(0.9 mM NaCl, 0.01% SDS, 20 mM Tris/HCl, X% Formamide) 8 μl를 첨가하여 46℃에서 90분 정도 반응시킨 후 water bath (SB-9, Eyela, Japan)로 미리 가열시킨 washing buffer로 48℃에서 15분 동안 세정하여 공기 중에서 건조시켰다. 형광현미경 (Axioskop 2 plus, Carl Zeiss, Germany)과 scanning confocal laser microscopy(LSM 510, Carl Zeiss, Germany)를 사용하여 800배 및 400배의 배율에서 field내에 나타난 세균 등을 10번 이상 계수하여 그 평균값을 사용하였다.

결과 및 고찰

활성탄 재질별 DOC 제거능

수중에 존재하는 용존 유기탄소 즉 DOC는 주로 수계에 존재하는 세균의 물질대사작용에 의하여 많이 제거되므로[1] 수중 미생물이 많이 부착 서식하고 있는 BAC에 의해 어느 정도 제거되는지를 조사하였다. 조사기간 동안 BAC 유입수인 후오존수의 평균 DOC는 1.63 mg/l이었으며 BAC의 DOC에 대한 제거율은 대략 20% 전후로 비슷하게 나타났으나 석탄계 BAC를 거친 유출수가 약 25.2%로 다른 BAC 유출수 보다 약간 높은 것으로 나타났다 (Table 4). DOC 흡착능은 석탄계 재질의 활성탄이 가장 우수하였고, 다음으로 야자계, 목탄계 순으로 나타났다.

Table 3. Sequences, target sites specificities of rRNA-targeted oligonucleotide probes used for Fluorescent *in situ* hybridization

Probe	Specificity	Probe sequence(5'→3')
EUB338	Eubacteria	GCTGCCTCCCGTAGGAGT
ALF 1b	α subclass of Proteobacteria	CGTTCGYTCTGAGCCAG
BET 42a	β subclass of Proteobacteria	GCCTTCCCACCTTCGTTT
GAM 42a	γ subclass of Proteobacteria	GCCTTCCCACATCGTTT
CF 319a	Cytophaga-Flavobacterium	TGGTCCGTGTCTCAGTAC
HGC	Gram (+) with high G+C content	TATAGTTACCACCGCCGT

Table 4. Removal efficiency of dissolved organic carbon in different BAC types

	DOC (mg/ ℓ)	Efficiency of DOC removal (%)
Post-O ₃ water	1.63(±0.43)	-
Coal-based BAC	1.22(±0.52)	25.2(±11.8)
Coconut-based BAC	1.29(±0.38)	20.9(±9.5)
Wood-based BAC	1.31(±0.54)	19.6(±18.2)

활성탄 재질별 부착세균의 생체량 및 생산력 분포

FISH는 특정 염기서열에만 특이하게 결합하는 gene probe를 이용하여 세포형태를 그대로 유지하면서 원하는 세포를 관찰할 수 있고, 정량적 분석이 가능한 특징을 가지고 있는 방법이다. 이러한 FISH를 이용한 eubacteria(EUB), 기존 평판배양법인 HPC를 이용하여 활성탄 재질별 운전기간에 따른 부착세균의 생체량 변화를 Table 5에 나타내었다. 먼저 석탄계 재질 활성탄의 경우, HPC는 1.20×10⁷~56.2×10⁷ CFU/g 범위를 나타내었으며, EUB는 4.1×10⁸~131.0×10⁸ cells/g의 범위를 나타내어 HPC 보다 EUB에 의한 부착세균의 생체량이 100배 정도 높은 결과를 나타내었다. 또한, 운전기간에 따른 증가추세는 HPC나 EUB 모두 bed volume 20,000 부터 증가하는 경향을 보였다.

다음으로 야자계와 목탄계 재질의 활성탄을 살펴보면 먼저 HPC의 경우 야자계 재질 활성탄에서는 0.19×10⁷~15.1×10⁷ CFU/g, 목탄계 재질의 활성탄에서는 0.9×10⁷~28.2×10⁷ CFU/g으로 나타났으며, EUB 경우 야자계는 1.0×10⁸~49.0×10⁸ cells/g으로 목탄계는 5.1×10⁸~98.4×10⁸ cells/g으로 나타났다. 활성탄 재질별 운전기간에 따른 세균 생산력(bacterial production)의 변화 결과를 살펴보면 석탄계 재질의 활성탄의 경우는 1.2~3.7 mg-C/m³·h의 범위로 나타났으며, bed volume 30,000 부근에서 가장 높게 나타났다. 야자계와 목탄계 활성탄의 경우 0.9~2.0 mg-C/m³·h, 목탄계 0.8~3.1 mg-C/m³·h로 나타났다. 따라서, 활성탄 종류별 부착세균 생체량은 HPC, EUB 모두 석탄계 재질 활성탄에서 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 목탄계, 야자계 활성탄 순으로 조사되었다.

Table 5. Variations of bacterial biomass in different BAC types

	HPC (CFU/g)	EUB (cells/g)	Bacterial production (mg-C/m ³ ·h)
Coal-based BAC	1.20~56.2×10 ⁷	4.1~131.0×10 ⁸	1.2~3.7
Coconut-based BAC	0.19~15.1×10 ⁷	1.0~49.0×10 ⁸	0.9~2.0
Wood-based BAC	0.9~28.2×10 ⁷	5.1~98.4×10 ⁸	0.8~3.1

활성탄 재질별 부착세균의 군집 구조 변화

세균(bacteria)계 내에는 여러 문(Phylum)들이 존재하지만 Gram (+) bacteria와 Cyanobacteria 그리고 Proteobacteria 가 많은 부분을 차지하고 있다. 그 중 Proteobacteria는 Gram (-) bacteria 중 가장 규모가 크며, 생리학적으로 다양한 eubacteria 그룹으로 중속영양세균의 대부분을 차지하고 있다 [17]. Eubacteria 그룹 중 α 그룹은 다양한 물질대사와 다양한 형태를 가진 세균군을 포함하며 저농도의 유기물 이용능력이 다른 세균군에 비하여 높은 것으로[13], β 그룹은 빈영양 상태의 호수, 저온의 수계에서 우점한다고 보고되었다 [18]. γ 그룹은 분해가 용이한 유기물질을 이용하여 빠른 성장능을 가진 그룹이고, CF 그룹은 심수층에 존재하는 다양한 고분자 물질의 분해에 관여하는 것으로 알려져 있다[11].

이번 BAC 공정에서 활성탄 재질별 세균군집 구조변화를 FISH로 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. BAC 정상상태 도달 후인 bed volume 20,000을 기준으로 살펴 보았을 때 먼저 석탄계는 α 군집 29.0%, β 군집 4.2% 그리고 γ 군집 17.5%의 비율을 보여 운전기간이 경과할수록 α 군집이 우점하는 것으로 나타났다. 그리고 야자계와 목탄계 활성탄의 경우에는 운전기간이 경과할수록 other bacteria의 우점비율이 감소하는 것으로 나타났으며 α 군집의 경우에는 석탄계 재질과는 반대로 bed volume이 증가할수록 우점비율이 증가하여 각각 36.9%, 43.0%의 비율을 나타내었다. 또한 β 군집과 γ 군집은 석탄계 재질과 같이 운전기간이 경과할수록 우점비율이 증가하는 것으로 나타났다.

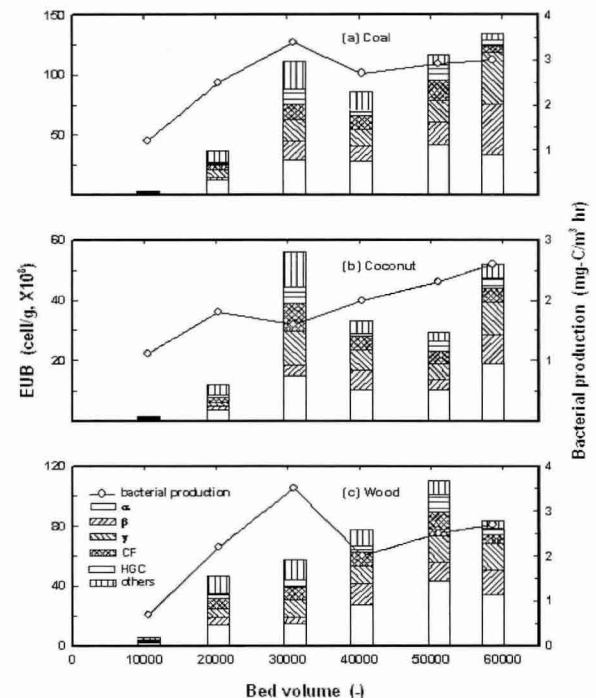


Fig. 2. Variations of bacterial communities and bacterial production according to bed volume.

Table. 6. Distribution of bacteria isolated in different BAC types

Bacterial identification	% population in BAC		
	Coal-based	Coconut-based	Wood-based
<i>Acinetobacter haemolyticus</i>		5	4
<i>Acinetobacter alcaligen</i>	4		3
<i>Aeromonas hydrophila</i>		3	2
<i>Alcaligenes faecalis</i>	2	4	
<i>Alcaligenes odorans</i>		3	
<i>Flavobacterium breve</i>	3	6	7
<i>Flavobacterium indolgenes</i>	4	4	6
<i>Flavobacterium menigosepicum</i>		3	2
<i>Pasteurella haemolytica</i>	4	3	
<i>Pseudomonas vesiculari</i>	33	31	22
<i>Pseudomonas aureofaciens</i>	12	3	5
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	14	12	11
<i>Pseudomonas cepacia</i>	5	7	27
<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	2	6	
<i>Bacillus</i> spp.		2	2
<i>Micrococcus</i> spp.	2	1	

실험결과를 종합적으로 판단하였을 때 비배양적 방법인 FISH법을 이용한 세균 군집구조는 총세균수에 대해 활성탄 재질별로 각각 α 군집 27.0~43.0%, γ 군집 11.3~28.6%, β 군집 7.1~22.0% 순으로 조사되었다. 이렇게 활성탄 재질별로 세균군집 분포에 차이가 나는 이유는 각 활성탄별 유기물 흡착능과 세균들이 서식할 수 있는 세공의 크기 및 용적의 차이에서 기인되는 것으로 판단되며, 타 군집보다는 α 군집이 3가지 모든 활성탄에서 우점하는 것으로 나타나 유기물 이용능력, 즉 유기물 제거는 주로 α 그룹에 의해 조절되어짐을 알 수 있었다.

활성탄 재질별 부착세균 동정 및 SEM 분석

활성탄 재질별로 부착세균 동정 결과를 Table 6에 나타내었는데, 배양적 방법으로 16종의 세균을 분리하였다. 각각의 활성탄에서 Gram 음성 세균인 *Pseudomonas* 속이 가장 많이 분포하는 것으로 나타났고, 그 다음으로 *Flavobacterium* 속, *Alcaligenes* 속, *Acinetobacter* 속, *Sphingomonas* 속 등의 순으로 동정되었으며, Gram 양성 세균인 *Bacillus* 속, *Micrococcus* 속이 일부 검출되었다. 이는 Stewart 등[30]이 조사한 연구결과 즉 생물활성탄에 부착된 세균으로는 주로 *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Chromobacterium* 속 등이 있는 것으로 알려진 결과와 비슷한 경향을 보였다. *Pseudomonas*속의 경우 야자계와 석탄계 BAC는 *Pseudomonas vesicularis*, 목탄계 BAC는 *Pseudomonas cepacia*가 우점종으로 나타났다. 이렇게 BAC 종류별로 부착세균의 우점종이 다른 이유는 활성탄의 세공 크기, 표면 조직, 유속율 등의 차이에 의해 세균이 활성탄에 부착할 수 있는 환경 조건이 다르기

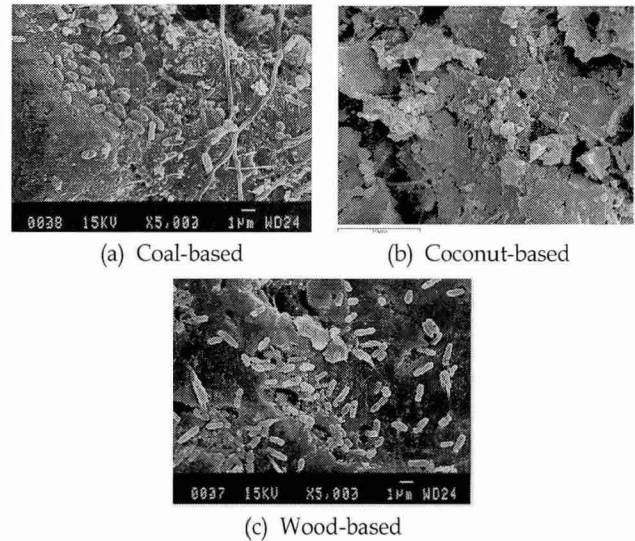


Fig. 3. SEM photograph of attached bacteria on BAC.

때문인 것으로 판단된다.

SEM 사진 결과로는 활성탄 표면에 부착된 세균들에 대하여 형태학적인 특성만을 나타내기 때문에 정확한 구분은 힘들지만 야자계 재질의 활성탄 표면을 촬영한 Fig. 3 (b)를 보면 Fig. 3 (a)의 석탄계 재질의 활성탄과 (c)의 목탄계 재질 활성탄에 비하여 단조로운 세균 군집과 적은 개체수를 가지는 것을 관찰할 수 있었다.

요 약

정수처리 공정에서 생물활성탄(BAC) 공정은 미생물의 유기물 제거능을 극대화시킨 일종의 생물여과 공정이다. BAC 공정은 유기물과 미생물 재성장능을 효과적으로 제거한다. BAC 공정은 그 수계에 존재하는 미생물들이 활성탄에 부착·서식하며 수중의 천연유기물질을 기질로 이용하기 때문에 그 수계에 서식하는 미생물 종들에 매우 의존적이다. 본 연구는 낙동강 하류의 매리취수장 원수를 사용하여 생물활성탄에 의한 pilot-plant 공정을 운전하면서 BAC 공정에서의 활성탄 재질별로 배양적(평판배양법) 및 비배양적 방법(FISH)을 이용하여 BAC 부착세균의 군집구조 특성을 조사하였다. 실험결과 석탄계 재질의 부착세균 HPC 및 생산력이 각각 $1.20 \times 10^7 \sim 56.2 \times 10^7$ CFU/g, $1.2 \sim 3.7$ mg-C/m³·h의 범위를 보여 세균 생체량과 DOC 제거율은 석탄계 재질이 가장 높은 것으로 나타났다. 배양적 방법으로 활성탄 재질별 부착세균을 동정한 결과 *Pseudomonas* 속이 우점하였고, 그 다음으로 *Flavobacterium* 속, *Alcaligenes* 속, *Acinetobacter* 속, *Sphingomonas* 속 등의 순으로 동정되었다. 또한, *Pseudomonas*속 중 석탄계와 야자계 BAC에서는 *Pseudomonas vesicularis*, 목탄계 BAC에서는 *Pseudomonas cepacia*가 우점종으로 분포하였다. 비배양적 방법인 FISH법을 이용한 세균 군

집구조 조사결과 황성탄 재질별로 α 군집 27.0~43.0%, γ 군집 11.3~28.6%, β 군집 7.1~22.0% 비율로 나타나 유기물 제거효율은 주로 α 군집에 의해 조절되어짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- Aiken, G. R., D. M. McKnight, R. L. Wershaw and P. MacCarthy. 1987. Humic Substances in Soil, Sediment and Water. Wiley-Interscience, New York
- Alfreider, A., J. Pernthaler, R. Amann, B. Sattler, F. O. Glockner, A. Wille and R. Psenner. 1996. Community analysis of the bacterial assemblages in the winter cover and pelagic layers of a high mountain lake by in situ hybridization. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**, 2138-2144.
- Amann, R., W. Ludwig and K. H. Schleifer. 1994. Identification of uncultured bacteria: a challenging task for molecular taxonomists, *ASM News* **60**, 360-365.
- Amann, R., W. Ludwig and K. H. Schleifer. 1995. Phylogenetic and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiol. Rev.* **59**, 143-169.
- Bach, H., S. Tarre and M. Green. 1998. Post treatment of groundwater denitrification fluidized bed reactor effluents to achieve drinking water quality. *J. Industrial Microbiol. & Biotechnol.* **20**, 354-359.
- Bell, R. T., G. M. Ahlgren and I. Ahlgren. 1983. Estimating bacterioplankton production by the [³H]thymidine incorporation in a eutrophic Swedish Lake. *Appl. Environ. Microbiol.* **45**, 1709-1721.
- Bouvier, T. and P. A. D. Giorgio. 2003. Factors influencing the detection of bacterial cells using fluorescence in situ hybridization (FISH): a quantitative review of published reports. *FEMS Microbiol. Ecol.* **44**, 3-15.
- Falkentoft, C. M., E. Muller, P. Amz, P. Harremoes, H. Mosbak, P. A. Wwlderer and S. Wuertz. 2002. Population changes in a biofilm reactor for phosphorus removal as evidenced by the use of FISH. *Water Res.* **36**, 491-500.
- Fonseca, A. C., R. S. Summers and M. T. Hernandez. 2001. Comparative measurements of microbial activity in drinking water biofilters. *Water Res.* **35**, 3817-3824.
- Fuhrman, J. A. and F. Azam. 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterio-plankton production in marine surface waters: evaluation and field results. *Mar. Biol.* **66**, 109-120.
- Glockner, F. O., B. M. Fuchs and R. Amann. 1999. Bacterioplankton compositions of lakes and oceans: a first comparison based on fluorescence in situ hybridization. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**, 3721-3726.
- Kihn, A., A. Andersson, P. Laurent, P. Servais and M. Prévost. 2002. Impact of filtration material on nitrification in biological filters used in drinking water production. *J. Wat. Suppl.: Res. & Technol.-Aqua.* **51**, 35-45.
- Kim, D. J., S. H. Hong and T. S. Ann. 1999. Seasonal and Vertical Changes of Bacterial Community in Soyangho. *The Korean Journal of Microbiology* **35**, 242-247.
- Kogure K., U. Simidu and N. Taga. 1979. A tentative direct microscopic method for counting living marine bacteria. *Can. J. Microbiol.* **25**, 415-420.
- Krieg, N. R. and J. G. Holt. 1984. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams & Wilins. Baltimore.
- Långmark, J., M. V. Storey, N. J. Ashbolt and T. A. Stenström. 2004. Artificial grounderwater treatment: bio-film activity and organic carbon removal performance. *Water Res.* **38**, 740-748.
- Madigan, T. M., J. M. Martinko and J. Parker. 2000. *Block Biology of Microorganisms*, pp. 453-460, Prentice-Hall, New York.
- Manz, W., R. Amann, W. Ludwig and M. Wangner. 1992. Phylogentic oligodeoxynucleotide probes for the major subclasses of proteobacteria: problems and solutions. *Appl. Environ. Microbiol.* **58**, 593-600.
- Melin, E., B. Eikebrokk, M. Brugger and H. Ødegaard. 2002. Treatment of humic surface water at cold temperatures by ozonation and biofiltration. *Wat. Sci. Tech.: Wat. Supply* **2**, 451-457.
- Park, J., S. Takizawa, H. Katayama and S. Ohgaki. 2002. Biofilter pretreatment for the control of microfiltration membrane fouling. *Wat. Sci. Tech.: Wat. Supply* **2**, 193-199.
- Park, J. Y. 1994. Drinking Water Microbiology. pp. 385-396, Chemical Engineering Research Corporation. Seoul.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*, Pergamon, New York.
- Rice, R. G. and C. M. Robson. 1982. Biological Activated Carbon. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida
- Rigway, H. F. and B. H. Olsan. 1981. Scanning electron microscope evidence for bacterial colonization of a drinking water distribution system. *Appl. Environ. Microbiol.* **41**, 274-287.
- Roh, J. S., H. J. Son, H. K. Park and Y. D. Hwang. 2003. Changes in Characteristics of Biodegradable Organic Matter Removal by Advanced Water Treatment Processes. *J. KSEE* **25**, 909-919.
- Rou, D. C. 1997. Optimization of Water treatment process by Ozone and Granular Activated Carbon. Theme of Master in National of Bukyeng University.
- Servais, P., G. Billen, P. Bouillot and M. Benezet. 1992. A pilot study of biological GAC filtration in drinking water treatment. *J. Wat. Suppl.: Res. & Technol.-Aqua.* **41**, 163-168.
- Son, H. J. and J. S. Roh. 2003. Removal Characteristics of chlorine disinfectant in Activation Process. *J. KSEE.* **27**, 762-770.
- Staley, J. T. and A. Konopka. 1985. Measurement of in situ activities of nonphotosynthetic microorganisms in aquatic and terrestrial habitats. *Annu. Rev. microbial.* **39**, 321-346.
- Stewart, M. H., R. L. Wolfe and E. G. Means. 1990. Assessment of bacteriological activity in carbon treatment of drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* **56**, 3822-3825.
- Yu, F. P. and G. A. McFeters. 1994. Rapid in situ assessment of physiological activities in bacterial biofilms using fluorescent probes. *J. Microbiol. Methods* **20**, 1-10.