

입상 활성탄 여과지에서 세균의 재성장 and 생물막 형성 세균의 분리 및 동정

Bacterial regrowth in biofilms formed in granular activated carbon filter adsorbers and the bacterial isolation and identification

이규철^{1*} · 권순복¹ · 이병기¹ · 박종근²

Gyuchoel Lee^{1*} · Soonbok Kwon¹ · Byungki Lee¹ · Jonggeun Park²

1 한국수자원공사 수자원연구원 수돗물분석연구센터, 2 대구대학교 사범대학 환경교육과

(2008년 1월 10일 접수 ; 2008년 3월 12일 채택)

Abstract

This study aimed to investigate the biofilm formation, bacterial regrowth, and bacterial community structure in the granular-activated carbon (GAC) filter adsorbers (FAs) used in water treatment plants. In 2005 and 2006, raw water, settled water, GAC FA by depth, and filtered water were collected twice a year from water treatment plants (WTPs) B and S. The number of heterotrophic bacteria, including mesophilic and psychophilic bacteria, in such collected waters was investigated along with the total number of coliforms therein. Heterotrophic bacteria were detected in most samples, mainly at the surface layers of the GAC FAs, and fewer such bacteria were found in the lower and bottom layers. An increase in the bacterial number, however, was observed in the samples from various depths of the GAC FAs in WTPs B and S compared with the surface layers. An increase in the bacterial number was also detected in the filtered water. This may indicate that there is a regrowth of the bacteria in the GAC FA. Considering, however, that heterotrophic bacteria were not found in the filtered water, it can be deduced that most bacteria are removed in the chlorination process. Coliforms were detected at the surface layer of the GAC FAs, but their regrowth was not observed. MicroLog systems were used to identify the bacteria community distribution. Eight genera and 14 species, including *Pseudomonas* spp., were detected in WTP B, and 8 genera and 9 species, including *Aeromonas* spp., in WTP S. Further studies are required to elucidate their role in the biofilms in water treatment processes.

Key words : biofilm, granular activated carbon filter adsorbers (GAC FAs), bacterial regrowth

주 제 어 : 생물막, 입상 활성탄 여과사, 세균 재성장

1. 서론

생물막이란 표면에 부착하여 성장하는 미생물의 군집으로, 개시(initiation), 성숙(maturation), 유지(maintenance),

그리고 탈리(dissolution)의 네 단계의 과정을 거치며 생성되고 소멸된다(이, 2007, Percival et al., 2000). 정수처리 공정 및 배·급수 계통에서 형성되고 소멸되는 생물막은 수돗물의 2차 오염을 유발할 수 있다고 알려져 있으며(문과 윤,

* Corresponding author Tel: +82-42-629-2034, FAX: +82-42-629-2079, E-mail: gcllee@kwater.or.kr (Lee, G.C)

2007), 특히 생물막을 형성하는 세균 중 잔류염소에 접촉하지 않는 세균의 경우 재성장할 수도 있다. 이러한 생물막 형성 세균들 중 병원성 세균이 재성장할 경우 수도물이 병원성 미생물에 의해 오염될 가능성이 있으며, 또한 탈리된 생물막은 수도물의 색이나 냄새 등 심미적 요인에 영향을 줄 수도 있다. 따라서 배·급수 계통의 체계적 관리와 배·급수 관망에서의 미생물 재성장과 생물막 제어와 관련된 연구의 중요성이 대두되고 있다(문과 윤, 2007, LeChevallier et al., 1990).

미국의 경우 수질 사고의 직접적인 원인이 밝혀지지 않은 일부 사례에서 기회 감염성 미생물을 배·급수 관망으로부터 검출함으로써 생물막의 형성과 미생물 재생장이 수질 사고와 연관성이 있음을 간접적으로 유추한 바 있다(Geldreich et al., 1987, Camper et al., 1996). 국내의 경우 1990년대 초반 서울시 구의정수장의 배·급수 관망에서 미생물의 재생장을 보고한 바 있으며(박 등, 1993), 배·급수 관망에서 *Pseudomonas* spp.와 *Micrococcus* spp. 등 다양한 세균을 검출하고 생물막의 존재에 대해 보고한 바 있다(Lee and Kim, 2003, Lee et al., 2005). 그러나 이상에서 살펴본 바와 같이 미생물에 의한 생물막 형성과 이들의 재생장에 관한 연구는 주로 배·급수 관망을 대상으로 이루어졌으며, 수처리 공정 중 여과지에서 생성되는 생물막과 재생장에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

수처리 공정 중 입상 활성탄(GAC)을 이용한 여과는 색, 맛, 그리고 냄새 등의 원인이 되는 다양한 유기물, 농약류, 그리고 생체이물질 등을 제거하기 위한 공정이다(Magic-Knezev and van der Kooij, 2004). 그러나 활성탄에는 세균들이 쉽게 흡착하여 생물막을 형성할 수 있어, 생물막 형성 세균들이 재성장할 경우 여과된 물을 오염시킬 수도 있다(Velten et al., 2007).

생물막의 형성과 미생물의 재생장을 제어하기 위한 연구로 BDOC와 생물막 형성과의 관계나 염소소독과 미생물의 재성장 제어 등에 관한 연구 등이 진행중인 것으로 보고되고 있으나(문과 윤, 2007), 이에 못지않게 생물막을 형성하는 세균들을 제어하기 위해 어떠한 세균들이 존재하는지 등을 파악하는 세균의 군집구조에 관한 가장 기초적인 연구도 중요하다. 그러나 국내의 경우 생물막을 형성하는 미생물의 이화학적 또는 생물화학적 특성에 관한 연구 또는 어떠한 세균들이 생물막을 형성하는지에 대한 군집구조 분석연구는 매우 부족한 실정이다(강과 송, 2005, 한 등 2007).

이에 본 연구에서는 정수장의 입상 활성탄 여과지를 대상으로, 여과지 내 세균의 재생장을 확인하고 이로부터 생물막 형성 세균을 분리하여 이들의 군집을 조사하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지 선정과 시료의 채집

GAC FAs에서 재성장하는 미생물의 특성을 연구하고자 B정수장과 S정수장을 선정하였다. B 정수장과 S 정수장의 일 정수량은 각각 12만 톤과 30만 톤 규모이고, 두 정수장 모두 하천수를 원수로 사용하고 있으며, 전염소 처리를 하고 있고, 여과재로는 입상 활성탄(GAC)을 사용한다. 시료는 원수, 침전수, 여과수, 그리고 입상 활성탄을 여과지 층별(0~1, 1~5, 5~15, 15~25, 25~50, 50~75, 그리고 75~100 cm)로 2005년과 2006년에 각 2회씩 총 4회에 걸쳐 채취하였다.

2.2. 입상 활성탄 여과사의 함수율 측정

입상 활성탄 여과사 약 5 g을 취하여 정확한 초기 중량을 측정하였다. 이 후 시료를 105~110℃에서 2시간 건조한 후 건조 중량을 측정하였다. 초기 중량과 건조 중량을 다음의 식에 대입하여 함수율을 계산하였다.

$$\text{함수율}(\%) = \frac{\text{초기중량} - \text{건조중량}}{\text{초기중량}} \times 100$$

2.3. 입상 활성탄 여과사의 전처리

입상 활성탄 여과사에서 미생물량과 종류를 측정하기 위해서 다음과 같은 전처리 하였다. 여과사 5~10 g을 취하여 무게를 측정 후 식염수(saline solution, 0.085% NaCl) 30 mL을 첨가하였다. 식염수가 첨가된 시료는 wrist action shaker(Pall Corporation, 미국)를 사용하여 920 oscillation/min의 속도로 1시간 동안 진동시켜, 세균을 탈리시켰다.

2.4. 미생물 생물량 조사 및 세균의 분리

2.4.1. 종속영양세균(heterotrophic bacteria)

종속영양세균으로 중온일반세균(mesophilic bacteria)과 저온일반세균(psychrophilic bacteria)을 분석하였다. 중온 일반세균은 입상 활성탄 여과사로부터 전처리하여 탈리한 세균 검체액을 10진 희석하여 0.1, 0.01, 그리고 0.001 mL 씩 각 2개의 plate count agar(PCA) 배지(Becton, Dickinson and Company, 미국)에 접종하여 배양온도 35 ± 0.5℃에서 48 ± 2시간을 배양하였다. 저온일반세균도 입상 활성탄 여과사로부터 전처리하여 탈리한 세균 검체액을 10진 희석하여 시료 0.1, 0.01, 0.001, 그리고 0.0001 mL씩을 각 2개의 R2A 배지(Becton, Dickinson and Company)에 접종하였다. 저온일반세균은 배양온도 21 ± 1.0℃에서 72 ± 3시간을 배양하였다.

2.4.2. 총 대장균군(total coliforms)

총 대장균군 분석은 효소발색법에 따라 시험하였다(환경

부 2002). 효소발색법은 Colilert(IDEXX Laboratories, 미국)를 사용하였고, 세균수 측정을 위해 Quanti-Tray/2000(IDEXX Laboratories)를 사용하였다. 총대장균군 세균수 측정을 위해 입상 활성탄 여과사를 전처리하여 탈리한 세균 검체액 10 mL를 멸균식염수 90 mL과 혼합하였다. 이후 Quanti-Tray/2000에 접종하여 35 ± 0.5°C에서 20~24시간을 배양하여 노란색으로 변한 방의 수를 계수하였다. 총대장균군의 최적확수(most probable number, MPN)는 IDEXX Laboratories에서 제공한 MPN 표에 따라 산정하였다.

2.4.3. 미생물의 분리 및 동정

미생물의 동정은 MicroLog system(BiOLOG, 미국)을 이용하였다. 각각의 배지에서 성장한 콜로니는 형태적 특징을 바탕으로 구분하였다. 구분된 콜로니에 각각 코드를 부여한 후 조건이 좋은 콜로니를 선택하여 PCA 배지에 3분 도말하여 35 ± 0.5°C에서 24시간 배양하였다. 이후 하나의 콜로니를 다시 선택하여 3분 도말법을 이용하여 순수 분리 과정을 1회 반복 수행하였다. 세균의 동정을 위한 첫 단계로 그람염색을 하였다. 그람염색은 crystal violet와 safranin을 사용하는 그람염색법을 준하였다(Cappuccino and Natalie, 1992). 그람염색 판정을 다시 확인하기 위하여 제조사의 추천 방법에 따라 KOH test(BiOLOG)를 수행하였다. 이후 그람음성(Gram positive) 세균으로 분류된 균주는 oxidase test(BiOLOG)를 수행하였으며, oxidase test 양성인 non-enteric 세균으로, 음성은 enteric 세균으로 분류하였다. 그람양성 세균으로 분류된 균주는 형태적으로 막대형과 구형으로 분류하였다. 이후 모든 막대형과 구형의 세균에 대해 catalase test(3% hydrogen peroxide, BiOLOG)를 실시하여 동정의 범위를 줄였다. 분리된 세균을 MicroLog system을 사용하여 동정하기 위하여, 우선

순수 분리된 콜로니를 양피(sheep blood)를 섞어 만든 BUG+B 배지에 계대하여 35°C에서 16~24시간 배양하였다. 이후 배양된 집락을 GN/GP-IF 접종액(BiOLOG)에 주어진 탁도의 범위에서 ±2% 이내로 세균을 현탁하였다. 이때 그람음성 enteric 세균과 그람 양성 세균은 접종액에 포자의 형성이 억제되도록 thioglycolate를 최종 농도 5 mM가 되도록 첨가하였다. GN/GP microplate(BiOLOG)의 배양은 GN non-enteric과 GP plate는 35°C에서 16~24시간 배양하였고, GN enteric은 30°C에서 16~24시간 배양하였다. 배양된 microplate는 MicroLog system(BiOLOG)을 사용하여 동정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 함수율

입상 활성탄 여과사의 함수율은 하층보다 표층에서 높았다. 표층~25cm층까지의 함수율은 36.9%~65.7% 범위였고, 75~100cm층까지는 26.3%~41.0% 범위였다(Fig. 1). 여과지에서 물의 배출은 상층에서 하층으로 배출되는 관계로 일반적으로 하층에서 함수율이 높다. 그러나 입상 활성탄 여과사에서 하층으로 갈수록 함수율이 높은 것은 활성탄에 존재하는 유기물의 양이 상층으로 갈수록 증가했던 것과 관련된 것으로 사료된다.

3.2. 증속영양세균

유기물의 간접 지표인 일반세균은 고영양성 배지와 37°C에서 배양되는 중온일반세균과 빈영양성 배지와 21°C에서 배양되는 저온일반세균으로 분류할 수 있다. 실험 결과 저온일반세균의 세균수가 중온일반세균에 비해 많았으며, 시기별로는 수온이 비교적 낮았던 2월과 4월에 저온일반세균 세

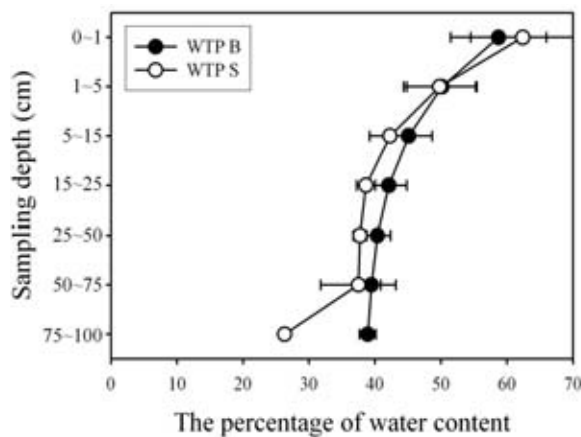


Fig. 1. The percentage of water content according to sampling depths.

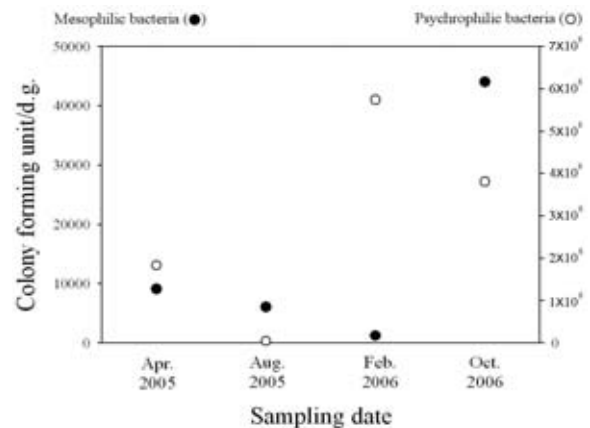


Fig. 2. Seasonal variation of mesophilic and psychrophilic bacteria in granular activated carbon filter adsorbers. Closed circle, mesophilic bacteria; open circle, psychrophilic bacteria.

균수가 상대적으로 많았으며, 수온이 상대적으로 높았던 8월과 10월에는 중온일반세균의 세균수가 많이 검출되었다(Fig. 2). 중속영양세균(heterotrophic bacteria)은 수중에 존재하는 유기물에 대한 간접 지표로 활용되어 왔다. 본 연구에서 중속영양세균의 측정은 두 가지 목적을 가지고 수행하였다. 첫째는 각 공정수와 여과지 깊이에 따른 세균수를 측정하여 세균의 재생장과 생물막의 존재를 확인하기 위함이었으며, 둘째는 각 시료에서 배양된 세균을 순수 분리하여 세균의 동정에 필요한 균주를 확보하기 위함이었다.

3.2.1 공정수에서의 일반세균

원수에서 중온일반세균은 $1.5 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^4$ CFU/mL로 검출되었으며, 침전수에서는 불검출되거나 $1.0 \times 10^1 \sim 8.5 \times 10^1$ CFU/mL로 검출되었다. 여과수에서는 불검출되거나 침전수보다 많은 3.4×10^3 CFU/mL로 검출되었다(Table 1). 시기별 중온일반세균은 2월과 4월보다 8월부터 10월에 많이 검출되었다. Table 1에서 보는 바 같이, B 정수장 원수의 경우 2월과 4월에는 2.2×10^3 CFU/mL이었으나, 8월과 10월에는 1.2×10^4 CFU/mL 이상으로 약 5.5배 이상의 세균량을 보였으며, S 정수장의 경우도 8월과 10월에 각각 5.4×10^2 CFU/mL, 3.0×10^4 CFU/mL 이상으로 4월의 1.5×10^2 CFU/mL보다 높은 것으로 관찰되었다. 중온일반세균이 침전수보다 여과수에서 높게 검출된 것은 여과지 내에서 세균이 재생장되었거나 또는 손상세균의 회복되었을 가능성을 의미한다. 특히 2006년 10월에 채수한 B 정수장의 침전수에서 불검출되었던 것이 여과수에서는 1.8×10^3 CFU/mL로 증가하여 검출되었으며, S 정수장의 경우 여과수에서 3.4×10^3 CFU/mL로 검출되어 침전수의 경우에 비해 40배 이상 증가하였다. 이는 여과지내에서 세균이 재생장할 수 있음을 의미한다.

저온일반세균은 중온일반세균 보다 많이 검출되었다. Table 1에서 보는 바와 같이 원수의 경우 2005년 8월 S 정수장에서 2.0×10^2 CFU/mL로 가장 낮았으며, 대부분 $2.0 \times 10^4 \sim 4.8 \times 10^6$ CFU/mL 범위로 중온일반세균 보다 약

10~160배 이상 검출되었다. 침전수의 경우 불검출 되거나 $5.0 \times 10^1 \sim 5.8 \times 10^3$ CFU/mL로 원수에 비해 낮게 검출되었다. 이는 수처리 공정 중 침전과정 이전에 전염소 처리에 의해 세균이 대부분 소독되거나 응집·침전되었기 때문이라고 사료된다. 여과수의 경우 2006년 B 정수장의 경우와 S 정수장의 경우 대부분 시료에서 저온일반세균이 침전수에 비해 높게 검출되었다. 이 결과로 미루어 중온일반세균과 마찬가지로 저온일반세균 역시 여과지내에서 재생장되었거나 또는 손상되었던 세균의 회복되었을 것이라고 생각된다.

3.2.2 입상 활성탄 여과지에서 일반세균

입상 활성탄 여과지에서 중온일반세균의 일반적 분포는 표층에서 높고 하층으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 3). B 정수장의 경우 표층(0~1cm층)에서 $7.5 \times 10^1 \sim 2.0 \times 10^6$ CFU/d.g로 다른 층에 비해 많이 검출되었다. 그러나 2005년 8월 15~25cm층에서, 2006년 10월에는 5~15cm층에서 세균수가 증가하는 것이 관찰되었으며(Fig. 3a), 이는 중온일반세균이 재생장하고 있음을 의미한다. S정수장의 경우도 표층에서의 중온일반세균수가 다른 층보다 높은 경향을 보였으며, 2005년 4월과 2006년 10월 시료의 경우 15~75cm층에서 지속적인 세균의 재생장을 관찰할 수 있었다(Fig. 3b). 세균의 재생장 여부를 중온일반세균수를 근거로 고려해 본다면, B 정수장의 경우 5~25cm층에서, S 정수장에서는 50~75cm층에서 세균의 재생장이 있었다고 사료된다.

저온일반세균 역시 중온일반세균과 유사하게 표층에서 가장 많이 검출되었으며, 여과지의 아래층 일부에서 재생장이 관찰되었다(Fig. 4). 일반적으로 여과지 표층에서 많은 세균이 검출되었지만, 2006년 2월 B 정수장 시료의 경우 여과지 표층에서 9.8×10^4 CFU/d.g였던 저온일반세균수가 1~5cm층에서 96.9배 증가하여 9.5×10^6 CFU/d.g임이 관찰되었으며, 최하층인 75~100cm층에 이르기까지 모든 층에서 $4.7 \times 10^6 \sim 7.2 \times 10^6$ CFU/d.g로 높은 세균수가 유지되고 있음이 관찰되었다(Fig. 4a). 이러한 현상은 여과수까지 영향을 주어, 2006년 10월 B 정수장의 여과수에서 저온일반세균이 1.3

Table 1. Detection of mesophilic and psychrophilic bacteria in raw, settled, and filtered water (CFU/mL)

WTP		B				S			
Sample		Apr.	Aug.	Feb.	Oct.	Apr.	Aug.	Feb.	Oct.
		2005	2005	2006	2006	2005	2005	2006	2006
M	R.W	2,200	12,000	2,200	>30,000	150	540	x*1	>30,000
	S.W	N.D.	N.D.	15	N.D.	10	N.D.	x	85
	F.W	360	20	90	1,800	N.D.	23	x	3,400
P	R.W	20,000	≥*2	130,000	4,800,000	25,000	2,000	x	980,000
	S.W	50	N.D.	65	N.D.	5,800	N.D.	x	200
	F.W	7,500	N.D.	130,000	11,000	29,000	81	x	11,000

M, mesophilic bacteria; P, psychrophilic bacteria; N.D., not detected; R.W., raw water; S.W., settled water; F.W., filtered water; x*1, no detection as residual chlorine; ≥*2, too numerous to count

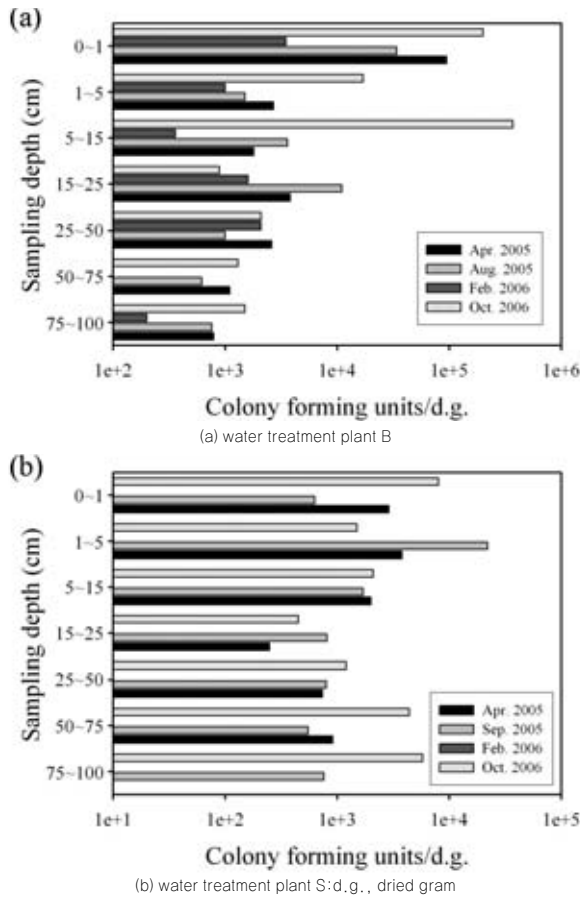


Fig. 3. Regrowth of mesophilic bacteria in granular activated carbon filter adsorbers of water treatment plants B and S.

$\times 10^5$ CFU/mL로 매우 높게 검출된 바 있다(Table 1). B 정수장의 경우 저온일반세균수를 기준으로 2005년 8월과 2006년 10월에 15~25cm층에서 세균의 재성장이 관찰되었으며, 2006년 2월에는 모든 층에 걸쳐 저온일반세균이 활발히 성장하고 있었음을 알 수 있었다. S 정수장의 저온일반세균수를 살펴보면 2005년 4월 시료의 경우 25~50cm층에서 9.4×10^5 CFU/d.g.였던 세균수가 바로 아래층인 50~75cm층에서는 1.6×10^6 CFU/d.g.로 이전층에 비해 1.7배 증가하였으며, 2006년 10월 시료의 경우 75~100cm층에서 6.9×10^5 CFU/d.g.로 이전의 50~75cm층의 1.5×10^6 CFU/d.g.보다 4.6배 높은 세균수가 관찰되는 등 2005년 4월과 2006년 10월에 50~100cm층에서 세균의 재성장이 있었음을 알 수 있었다(Fig. 4b). 이상의 결과들로 미루어 중속영양세균이 여과지 내에서 재성장 할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 정수에서는 중속영양세균이 검출된 바 없었다. 이는 최종 염소 소독 과정에서 대부분의 세균이 소독되었기 때문이라고 사료된다.

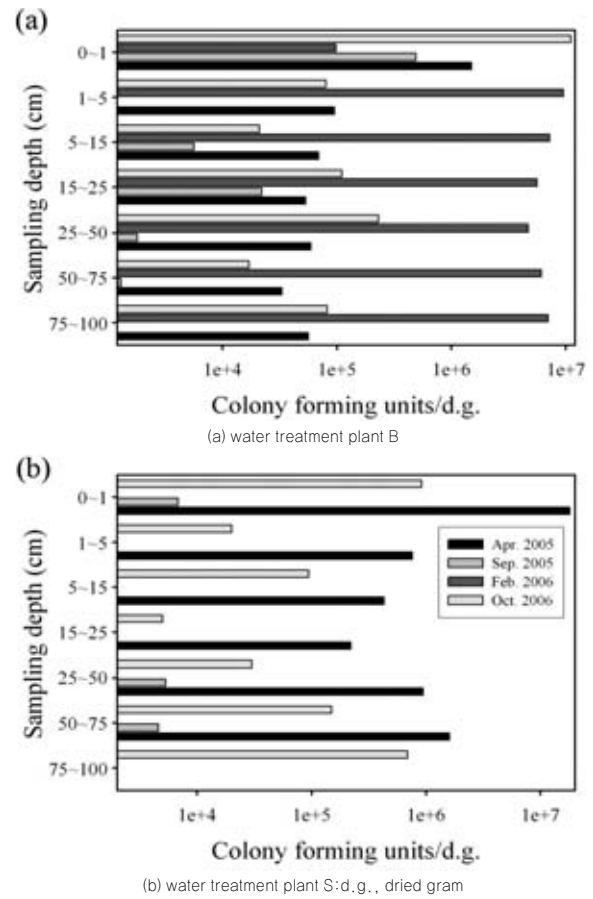


Fig. 4. Regrowth of psychrophilic bacteria in granular activated carbon filter adsorbers of water treatment plants B and S.

3.3. 총 대장균군

B 정수장과 S정수장으로 유입되는 원수의 총 대장균군은 $1.3 \times 10^2 \sim 2.4 \times 10^5$ MPN/100mL이었다(Table 2). B 정수장 원수에서 검출된 총 대장균군의 경우 수온이 낮았던 2005년 4월과 2006년 2월에는 $1.2 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^2$ MPN/100 mL로 낮았으나, 수온이 높았던 시기인 2005년 8월과 2006년 10월에는 각각 2.4×10^4 과 2.4×10^5 MPN/100 mL으로 급격히 증가하는 양상을 보였다. 이는 이 등(2006)의 보고에서와 마찬가지로 온도와 총 대장균군의 양이 비례한다는 결과와 일치하였다. 침전수와 여과수의 경우 모든 시료에서 총 대장균군이 검출되지 않았으며, S 정수장의 경우는 B 정수장과 달리 2005년 9월과 2006년 10월의 여과수에서 각각 4.0×10^1 MPN/100 mL과 2.0×10^0 MPN/100 mL이 검출되었다(Table 2). 그러나 S 정수장 역시 B 정수장의 경우와 동일하게 침전수에서 총 대장균군이 검출되지 않았다(Table 2). B 정수장 여과지의 경우 2005년 4월과 8월에는 표층에서

Table 2. Detection of total coliforms in raw water, settled water, filtered water, and GAC FAs

WTP	B				S			
	Apr. 2005	Aug. 2005	Feb. 2006	Oct. 2006	Apr. 2005	Aug. 2005	Feb. 2006	Oct. 2006
Raw water	130	24,000	122	24,000	>2,400	310	x ¹	240,000
Settled water	N.D. ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	N.D.
0~1 cm	9	69	N.D.	N.D.	0.7	N.D.	x	1,800
1~5 cm	0.4	59	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	180
5~15 cm	0.1	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	N.D.
15~25 cm	N.D.	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	N.D.
25~50 cm	0.1	0.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	N.D.
50~75 cm	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	x	N.D.
75~100 cm	N.D.	4	N.D.	N.D.	-	-	x	N.D.
Filtered water	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	40	x	2

x¹, no detection as residual chlorine; N.D.², not detected

9~69 MPN/d.g의 총 대장균군이 검출되었으며, 아래층으로 내려갈수록 감소하는 양상을 보였다. 2006년 2월과 10월에는 모든 층에서 총 대장균군이 검출되지 않았다(Table 2). 2006년 10월 B 정수장 원수에서는 2.4×10^5 MPN/mL의 총 대장균군이 있었으나, 침전과 여과를 거친 후 여과지내에서 모두 불검출 되었다(Table 2). 이는 염소소독에 의한 손상 대장균이 회복되어질 가능성이 있었음에도 불구하고 손상대장균의 회복이 전혀 발생하지 않았음을 의미한다. S 정수장 여과지 내의 총대장균군은 2006년 10월 시료에서 표층부터 5

cm층에서 $1.8 \times 10^2 \sim 1.8 \times 10^3$ MPN/d.g의 양이 검출되었고, 다른 시료의 경우 0.7 MPN/d.g이 검출되거나, 불검출 되었다(Table 2). 이는 원수에 존재하던 총 대장균군이 전염소 처리에 따라 손상을 받거나 소독되어진 후 전혀 회복되거나 재생장 되지 않았음을 의미한다.

3.4. 미생물의 분리 및 동정

B 정수장과 S 정수장의 시료들로부터 배양된 세균을 MicroLog system으로 동정하였다. 유의성 있는 동정의 기

Table 3. Lists of bacteria isolated and identified from water treatment plant B

Code	Sample	Species	Prb. ^{*1}	Sim. ^{*2}
LYCW0212	R.W. ^{*3}	<i>Cedecea davisae</i>	76	0.54
EMCW0208	R.W.	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.62
XLCW0202	R.W.	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	94	0.72
XLCW0204	R.W.	<i>Aeromonas encheleia</i>	96	0.79
PCCW0209	R.W.	<i>Chryseobacterium scophthalmum</i>	100	0.70
PCCW0213	R.W.	<i>Acidivirax konjaci</i>	100	0.59
R2CW0208	R.W.	<i>Pseudomonas marginalis</i>	98	0.64
R2CW0209	S.W. ^{*4}	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	94	0.65
06-LYCW1001	0~1cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.55
06-LYCW1002	1~5cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.5606-
LYCW1003	1~5cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.6806-
LYCW1008	F.W. ^{*5}	<i>Burkholderia glumae</i>	72	0.55
06-EMCW1003	1~5cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.6806-
XLCW1001	0~1cm	<i>Aeromonas hydrophila</i> DNA group 1	100	0.76
06-XLCW1003	0~1cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	99	0.66
06-XLCW1003	1~5cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.59
06-AZCW1001	R.W.	<i>Lactococcus lactis</i> ss <i>lactis</i>	100	0.73
06-AZCW1002	R.W.	<i>Lactococcus lactis</i> ss <i>lactis</i>	100	0.72
06-SMCW1003	R.W.	<i>Pantoea stewartii</i> ss <i>stewartii</i>	87	0.78
06-SMCW1004	R.W.	<i>Pantoea stewartii</i> ss <i>stewartii</i>	87	0.78
06-PCCW1001	1~5cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.74
06-PCCW1002	5~15cm	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotype G	100	0.55
06-PCCW1003	1~5cm	<i>Pseudomonas asplenii</i>	78	0.55
06-R2CW1003	R.W.	<i>Pseudomonas corrugate</i>	72	0.67

Prb.^{*1}, probability; Sim.^{*2}, similarity; R.W.^{*3}, raw water; S.W.^{*4}, settled water; F.W.^{*5}, filtered water



Table 4. Lists of bacteria isolated and identified from water treatment plant S

Code	Sample	Species	Prb.* ¹	Sim.* ²
06-LYBY1003	0~1 cm	<i>Aeromonas sobra</i> DNA group 1	100	0.7606-
LYBY1005	50~75 cm	<i>Chryseobacterium gleum/indologenes</i>	84	0.5606-
LYBY1010	R.W.* ³	<i>Aeromonas sobra</i> DNA group 7	99	0.60
06-EMBY1005	50~75 cm	<i>Flavobacterium tirrenicum</i>	96	0.6706-
XLBY1001	0~1 cm	<i>Aeromonas hydrophila</i> DNA group 1	100	0.55
06-XLBY1004	R.W.	<i>Vibrio cholerae</i> 01/0139	99	0.62
06-PCBY1004	50~75 cm	<i>Chryseobacterium gleum/indologenes</i>	100	0.54
06-PCBY1005	75~100 cm	<i>Chryseobacterium gleum/indologenes</i>	100	0.74
06-PCBY1006	1~5 cm	<i>Carnobacterium divergens</i> (26 C)	98	0.59
06-PCBY1007	1~5 cm	<i>Carnobacterium divergens</i> (26 C)	98	0.59
06-PCBY1010	0~1 cm	<i>Chromobacterium violaceum</i>	100	0.60
06-PCBY1011	75~100 cm	<i>Chromobacterium violaceum</i>	100	0.51
06-R2BY1002	1~5 cm	<i>Acidovorax konjaci</i>	98	0.55
06-R2BY1003	R.W.	<i>Aeromonas hydrophila</i> DNA group 1	100	0.86
06-R2BY1004	0~1 cm	<i>Staphylococcus xylosum</i>	100	0.51
06-R2BY1006	0~1 cm	<i>Chryseobacterium gleum/indologenes</i>	99	0.66
06-R2BY1007	5~15 cm	<i>Chryseobacterium gleum/indologenes</i>	100	0.64

Prb.*¹, probability; Sim.*², similarity; R.W.*³, raw water

준은 probability 70% 이상, 유사성 0.5 이상을 기준으로 선정하였다. B 정수장의 시료에서 배양된 다양한 세균 중 유의성 있게 분리, 동정된 균주는 8속 14종으로 총 24균주였으며 (Table 3), 이중 *Pseudomonas* spp.가 14균주(58.3%)로 주종을 이루고 있었다. S 정수장 시료의 경우 유의성 있게 분리, 동정된 균주는 8속 9종으로 총 17균주였으며 (Table 4), 이중 *Chryseobacterium* spp.(5균주, 29.4%)와 *Aeromonas* spp.(4균주, 23.5%)가 주종을 이루고 있었다. 이상의 결과들로 판단해 볼 때 여과지 내에는 다양한 세균종이 군집을 이루는 생물막이 존재함을 알 수 있었다. 이들 세균은 여과수에서도 검출되고 있었으나 정수에서는 검출되지 않는 것으로 보아 소독에 의해 대부분 제거되어진다고 생각된다. 이들이 여과지 내에서 존재하지만 이들 세균에 의한 생물막은 여과지 내에서 망간의 산화 등 금속류의 제거에 중요한 역할을 수행하고 있다고 알려져 있으며, 또한 맛, 냄새 유발물질인 geosmin과 2-methylisoborneol의 제거 등과 밀접한 관계가 있다고 보고되어지는 등 정수처리에 많은 긍정적인 역할을 한다고 알려져 있다(Ho et al., 2007, Hope and Bott, 2004). 실례로 본 연구에서 분리된 일부 세균의 경우 망간 산화능이 있는 것으로 확인되었다(data not shown). 향후 이들 분리 세균들이 여과지 내에서 수처리와 관련하여 어떠한 역할을 하고 있는지에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 아울러 MicroLog system이 갖는 한계를 해결하고자, 분자생물학적 방법인 16S rRNA 염기서열을 이용한 종 동정 등 생물막 형성세균의 군집 분포 및 진화 등에 대한 연구도 추가로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

1. 일반세균과 총 대장균군을 종합적으로 분석한 결과 중온일반세균과 저온일반세균은 입상 활성탄 여과지 내에서 재성장하고 있었으나, 총 대장균군은 재성장하지 않고 있었다.
2. B 정수장에서 분리·동정된 균주는 8속 14종이었으며, S 정수장의 경우 8속 9종이었다. 이중 B 정수장에서는 *Pseudomonas* spp.가 14균주(58.3%)로 주종을 이루고 있었으며, S 정수장에서는 *Chryseobacterium* spp.(5균주, 29.4%)와 *Aeromonas* spp.(4균주, 23.5%)가 주종을 이루고 있었다.
3. 세균에 의한 생물막은 수처리에 매우 중요한 역할을 수행하고 있으므로, 향후 본 연구에서 분리된 세균들이 여과지 내에서 어떠한 역할을 하는지를 규명하는 연구가 진행되어야 할 것이다.



감사의 글

본 연구는 한국수자원공사 수자원연구원 수돗물분석연구센터에서 수행되었음(과제번호: KIWE-WARC-07-05).

참고문헌

1. 강용태, 송근관 (2005) 생물막여과공정의 기질제거 및 전처리 특성에 관한 연구, *한국수처리학회지*, 13(3), pp. 9-19.
2. 문성민, 윤제용 (2007) 배·급수관망에서 생물막 제어, *물환경학회지*, 23(10), pp. 1-11.
3. 박성주, 조재창, 김상중 (1993) 상수도계통에서의 세균분포 및 변화, *미생물학회지*, 31(3), pp. 245-254.
4. 이규철, 이희숙 (2006) 한국 지표수에서 수인성 장관계 바이리우스에 대한 지표 미생물로서 총 대장균군과 분원성 대장균군, *상하수도학회지*, 20(6), pp. 885-892.
5. 이동근 (2007) 수돗물속 생물막 형성의 초기 세균, *한국환경보건학회지*, 33(5), pp. 428-433.
6. 한진희, 권민, 한중훈, 윤주환, 남해욱, 고주형 (2007) 반류수처리를 위한 현장 pilot plant 생물막 아질산화 반응조에서 운전인자 평가, *한국물환경학회지*, 23(5), pp. 636-641.
7. 환경부 (2002) 먹는물수질공정시험방법. 환경부 고시 제2002-91호.
8. Camper, A.K., Jones, W.L. and Hayes, J.T. (1996) Effect of growth conditions and substratum composition on the persistence of coliforms in mixed population biofilms, *Appl. Environ. Microbiol.*, 62(11), pp. 4014-4018.
9. Cappuccino, J.G. and Sherman, N. (2002) *Microbiology, a Laboratory Manual*. 6th Ed, p. 63-66, Benjamin/Cummings, San Francisco, CA.
10. Geldreich, E.E. and Rice, E.W. (1987) Significance and detection of Klebsiella in water systems, *J. Am. Water Works Assoc.*, 79(5), pp. 74-80.
11. Ho, L., Hoefel, D., Bock, F., Saint, C.P. and Newcombe G. (2007) Biodegradation rates of 2-methylisoborneol (MIB) and geosmin through sand filters and in bioreactors, *Chemosphere*, 66(11):2210-2218.
12. Hope, C.K. and Bott, T.R. (2004) Laboratory modelling of manganese biofiltration using biofilms of *Leptothrix discophora*, *Water Res.*, 38(7), pp. 1853-1861.
13. LeChevallier, M.W., Lowry, C.D. and Lee, R.G. (1990) Disinfecting biofilms in a model distribution system, *J. Am. Water Works Assoc.*, 82(7), pp. 87-94.
14. Lee, D.G. and Kim, S.J. (2003) Bacterial species in biofilms cultivated from the end of the Seoul water distribution system, *J. Appl. Microbiol.*, 95(2), pp. 317-324.
15. Lee, D.G. Lee, J.H. and Kim, S.J. (2005) Diversity and dynamics of bacterial species in a biofilm at the end of the seoul water distribution system, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 21(2), pp. 155-162.
16. Magic-Knezev, A. and van der Kooij, D. (2004) Optimisation and significance of ATP analysis for measuring active biomass in granular activated carbon filter used in water treatment, *Water Res.*, 38(18), pp. 3971-3979.
17. Percival, S.L., Walker, J.T. and Hunter, P.R. (2000) Microbiological aspects of biofilms and drinking water. p. 61, CRC press LLC, Boca Raton, FL
18. Velten, S., Hammes, F., Boller, M. and Egli, T. (2007) Rapid and direct estimation of active biomass on granular activated carbon through adenosine triphosphate (ATP) determination, *Water Res.*, 41(9), pp. 1973-1983.