https://doi.org/10.5392/JKCA.2017.17.12.064

UV 전처리 유무에 따른 입상활성탄의 세균 생체량 및 군집 구조 비교

Comparison of Bacterial Biomass and Community of Granular Activated Carbon with or without UV Pre-treatment Process

임재원*, 김서용**, 김정용**, 김태우**
연세대학교 보건과학대학 임상병리학과/대구한의대학교 의과학대학 임상병리학과*,
연세대학교 보건과학대학 임상병리학과**

Jaewon Lim(jaewon330@dhu.ac.kr)*, Seoyong Kim(tjdyd90@naver.com)**,
Jeongyong Kim(mprodenta@naver.com)**, Tae Ue Kim(kimtu@yonsei.ac.kr)**

요약

생물활성탄 공정은 수처리 과정에서 유기 오염물질을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있으며, 활성탄에 부착된 세균의 생체량과 종은 오염물질 제거 과정에서 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 입상활성탄 공정에서 활성탄조의 깊이와 가동 기간에 따른 세균 생체량의 변화에 대해 확인해 보았다. 또한 입상활성탄 공정 전단에 자외선 (UV) 공정 전처리를 하였을 때 세균 생체량의 변화를 확인하였다. 결과를 살펴보면 활성탄조의 깊이가 깊어질수록 세균 생체량이 감소하는 것을 확인하였다. 그리고 UV 공정 전처리를 한 경우, 공정 기간이 증가할수록 세균 생체량이 감소하는 것을 확인하였다. 그러나, UV 공정 전처리를 하지 않은 경우에는 공정 기간에 따른 세균 생체량의 변화가 나타나지 않았다. 본 연구 결과를 토대로 수처리 실공정에서 생물활성탄 공정 관리에 대한 유용한 정보를 제공할 것이라 여겨진다.

■ 중심어 : | 세균 생체량 | 입상활성탄 | 생물활성탄 | 자외선 공정 |

Abstract

Biolgical activated carbon (BAC) processes are known to effectively remove organic pollutants in raw water, and biomass and attached bacterial species play an important role in removing process. In the present study, changes of bacterial biomass in granular activated carbon (GAC) process according to the depth and operating period were investigated. In addition, changes of bacterial biomass were also confirmed after UV exposure prior to the GAC process. Results from this this study showed that the bacterial biomass was decreased dependently according to the depth of GAC process. In case of UV pre-treatment, the bacterial biomass was declined significantly over the period of operation. However, changes in bacterial community were not shown during operation period without UV pre-treatment process. In conclusion, findings from this study may provide the useful information about the management of BAC process.

■ keyword : | Bacterial Biomass | Granular Activated Carbon | Biological Activated Carbon | UV Process |

접수일자 : 2017년 08월 23일
수정일자 : 2017년 11월 07일
심사완료일 : 2017년 11월 07일
교신저자 : 김태우, e-mail : kimtu@yonsei.ac.kr

I. 서 론

기존의 정수처리 공정은 재래식 공정인 급속여과법으로 부유물질의 제거와 소독이 주 목적으로 비교적 수질이 양호한 원수를 취수원으로 하는 경우에 적합하다[1][2]. 그러나 현대에 이르러서는 인구의 급속한 증가 및 밀집, 그리고 산업화 및 공업화로 인하여 폐수의 발생량이 증가하여 상수원의 수질이 악화되고 있으며 또한 생활수준의 향상 등의 이유로 물에 대한 소비량이 증가함에 따라 양질의 수돗물을 공급하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 상수도 및 상수도원의 수질 관리를 위해 정부는 필요한 시책을 마련하고 수질 기준 등을 설정한 후 양질의 수돗물을 공급하는데 노력을 기울이고 있으며 이를 바탕으로 안전한 수돗물을 공급함으로써 국민의 건강에 이바지하는데 힘을 쏟고 있다[3-5].

그러나 이러한 노력에도 불구하고 각종 수질오염 사고가 빈번하게 발생하면서 수돗물에 대한 신뢰가 흔들리고 또한 양질의 수돗물에 대한 관심 또한 증폭되고 있는 실정이다. 실제로 염소 처리 과정에서 유기물과 반응하여 형성되는 트리할로메탄 (trihalomethanes, THMs) 등의 의한 2차 수질 오염 문제, 환경 오염과 상수도 취수원의 부영양화에 따른 *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp. 및 *Phormidium* sp. 등의 남세균의 증식과 이러한 남세균에서 형성되는 이취미 물질 (taste and odor, T&O)인 geosmin과 2-methyllisoborneol (2-MIB)에 의한 수돗물 내 이취미 유발 문제, 가축 및 양식 어류에 대한 항생물질 (antibiotic compounds)의 과다한 사용과 축산폐수의 유출에 의한 상수원 내 오염 및 상수원 환경 생태계의 교란 등의 다양한 수질 문제가 발생되고 있는 상황이다[2][6-8]. 국제적으로도 고도의 산업화에 의한 수질 악화 및 빈번한 유해물질의 출연 그리고 사용자의 수질에 대한 기대가 증가함에 따라 각 국가마다 정수처리 기준을 강화하고 있으며 이에 따라 먹는 물에 대한 수질 기준 또한 강화 되고 있는 실정이다[4]. 따라서 기존의 정수처리 방식으로는 높은 수질 기준을 만족할 수 없으며 이에 따라 수질 환경 오염 물질의 제어를 위한 새로운 수처리 기술의 도입의 필요성이 대두되고 있는 실정이다

변화한 수질 환경과 사용자의 요구도에 발 맞추어 새로운 수처리 기술을 도입한 정수처리 공정을 고도정수처리 공정 (advanced water treatment processing) 이라고 한다. 고도정수처리 공정은 기존의 급속여과 공정 시스템의 추가 전단계 처리공정으로 오존처리 (ozone (O_3) treatment) 공정이나 분말활성탄처리 (powdered activated carbon, PAC) 공정 등을 설치하거나 또는 후단계 처리공정으로 입상활성탄 (granular activated carbon, GAC) 공정 또는 정밀막여과 (microfiltration) 공정을 추가 설치하여 기존의 정수처리 공정을 보완하는 방법들이 제안되었다[2][9][10]. 고도정수처리 공정 중 하나인 입상활성탄 공정은 활성탄 다공성에 의해 수중의 각종 유해물질이 흡착 제거가 된다. 따라서 기존의 정수처리 공정으로는 잘 제거가 되지 않는 용해성 유기물이나 미량 유기 화합물, 소독 부산물 등의 제거에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다. 특히 최근'에 문제가 되고 있는 이취미 물질 중 하나인 geosmin이나 2-MIB 등의 제거에 효과적이며 그 외에도 TOC (total organic carbon) 및 DOC (dissolved organic carbon)의 제거에도 많이 이용되고 있다[11][12].

이러한 입상활성탄을 장기간 사용할 경우에 활성탄 내 세공 (micro-pore)에 수계 내 다양한 세균이 자연적으로 군집을 형성하면서 생물막 (biofilm)을 형성하게 되는데 이것을 생물활성탄 (biological activated carbon, BAC)이라 한다. 생물활성탄은 세균에 의한 유기물 제거능을 극대화시킨 일종의 생물여과 공정으로 생물활성탄 내 형성된 생물막은 생물학적 분해능 (biological degradation activity)을 가지면서 수중에 존재하는 용존성 유기물질의 흡착 및 분해를 도와 수계 내 유기오염 물질을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있다[13-15]. 입상활성탄 공정의 초기 단계에는 흡착에 의해 공급되는 풍부한 영양물질로 인해 유입된 수계 내의 부유성 세균이 활성탄에 부착하게 되고 이후 성장 및 탈착 과정을 반복하면서 군집을 형성하고 생물막을 형성하게 된다. 이러한 과정을 크게 3단계로 나누어서 보게 되면 먼저 초기에는 활성탄에 의한 물리적 흡착단계, 그리고 중반부에서부터 물리적 흡착과 생물

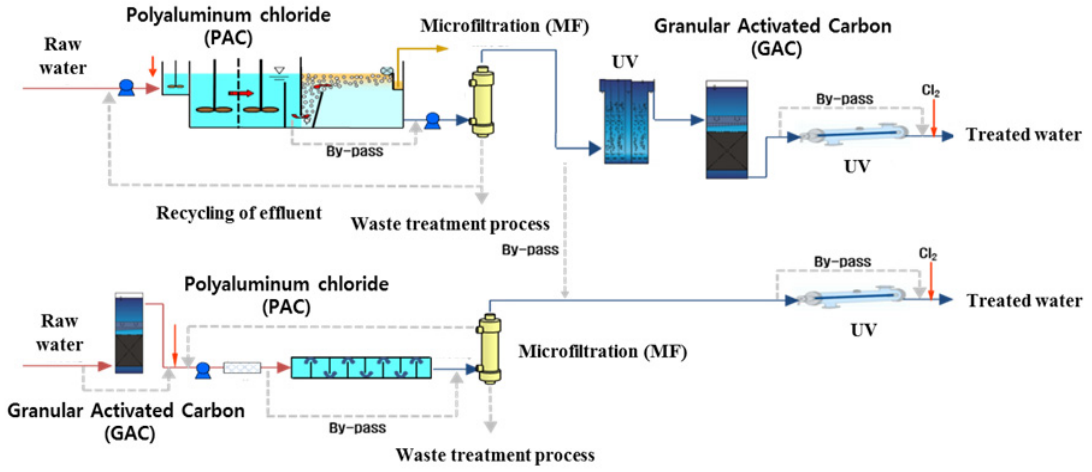

그림 1. A schematic flow diagram of the pilot-plant for water treatment

학적 분해가 동시에 이루어지는 단계, 마지막으로 종반부에서는 생물학적 분해가 주로 이루어지는 단계로 볼 수 있다. 따라서 입상활성탄 공정의 후반부는 생물활성탄에 의한 공정이라고 평가할 수 있게 된다[16][17]. 입상활성탄 공정에서 생물활성탄 공정으로의 전환은 활성탄 내 부착된 세균의 생체량 (bacterial biomass)과 세균 종 (bacterial species)에 의해 결정이 되며 이것은 활성탄 공정의 운영 조건에 의존한다고 볼 수 있다. 생물활성탄 내 세균은 빛의 노출 시간, 처리수의 온도와 pH, 기질의 유입 여부, 공정의 가동 기간 등 다양한 환경 요건에 영향을 받아서 부착된 세균의 군집종 및 생체량에 많은 차이를 유발하게 되고 이것이 생물활성탄 공정의 효율에 많은 영향을 미치게 된다[17-20]. 따라서 생물활성탄 공정의 운전 효율을 극대화 하기 위해서는 활성 생물막의 생체량 정량화 및 세균 종의 특성을 파악하는 것이 반드시 필요하다[21].

우리나라의 경우 이취미 물질인 geosmin 및 2-MIB에 대한 대응 방안으로 여러 정수처리시설에서 고도정수처리 공정으로 입상활성탄 공정 및 생물활성탄 공정을 이용하고 있으며 이와 관련한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 G 정수장 내 설치된 파일럿 형태 (pilot-scale)의 고도정수처리 설비를 대상으로 활성탄조 가동 조건에 따른 세균 군집의 변화에 대한 실험을 진행하였다. 먼저 입상활성탄 공정의 지속적인 가동에 의해 실제로 세균의 흡착에 의한 생물활성탄이 형성되는지 확인하기 위해 주사 전자현미경 (scanning electron microscope, SEM)을 이용해 세균 흡착 여부를 확인 하였다. 그리고 입상활성탄이 있는 활성탄조에서 깊이에 따른 세균 군집의 거동에 어떠한 차이가 있는지 확인을 하였다. 동시에 입상활성탄 공정 가동 기간에 따른 세균 군집의 거동의 변화도 확인함으로써 활성탄조에서 생물활성탄 형성의 조건에 대한 기초적인 정보를 제공하고자 하였다. 더불어 세균의 생존 및 증식과 관련성이 높은 자외선 (ultra violet, UV) 공정과의 연계성에 대한 연구도 진행하였다. 자외선은 세균 등의 미생물에 노출이 되는 경우 세균의 증식과 생물학적 활성을 감소시키는 것으로 알려져 있다[19]. 따라서 본 연구에서는 입상활성탄 공정과 UV 공정 등의 타 공정과의 연계 시 세균의 생체량 및 종의 구성에 어떠한 변화가 발생하는지를 확인함으로써 UV 공정과 입상활성탄 공정의 연계에 의해 발생되는 생물활성탄 공정 효율성의 변화에 대한 정보를 제공하고자 하였다. 이러한 연구를 바탕으로 하여 입상활성탄 및 생물활성탄 공정이 적용된 수질 맞춤형 고도정수처리 공정 개발에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법 및 재료

1. 고도정수처리 pilot-plant 장치

본 연구에서는 G 정수장 내 설치된 파일럿 형태(pilot-scale)의 고도정수처리 설비를 이용하였다. 그 구성을 살펴보면 유기 물질 제거를 위한 입상활성탄 공정 전단에 입자성 물질을 제거하기 위한 정밀막여과 공정과 UV 전처리 공정이 있으며 활성탄 공정의 접촉 시간은 평균 14 분이다[그림 1][표 1]. 본 연구에서 사용한 입상활성탄 시료는 N 사의 Norit GAC 1240 입상활성탄이며 재질은 석탄계 (coal)이다. 입상활성탄의 물리적 특성을 살펴보면 활성탄 내 세공은 주로 미세 세공(micro-pore)으로 구성되어 있다[표 2]. 고도정수처리 설비를 2015년 10월부터 2016년 3월까지 6개월 간 가동하며 각 기간별로 활성탄 접촉조의 표층부 30 ~ 50 cm 아래에서 활성탄 시료를 채취하여 사용하였다. 본 공정에 적용된 원수는 G 정수장에 유입되는 낙동강 수계 표층수를 사용하였다[표 3].

표 1. Specification of water treatment process

Specification of items	Value of data
Standard (m^2)	0.373
Filtration efficiency	Constant rate filtration
Bed height (m)	0.653
Pre-treatment Dose (mg/L)/Time (min)	Ozone 3/15.0
Empty bed contact time (m/h)	14
Back washing velocity (m/min)	Slow back wash : 0.3 Rinse : 0.69
Operating period	One and a half years

표 2. The physical characteristics of GACs

Specification of items	Value of data
BET surface area (m^2/g)	930.49
Micro-pore area (m^2/g)	676.01
Pore volume (cm^2/g)	0.571
Micro-pore volume (cm^2/g)	0.31

표 3. Characteristics of source water quality

Specification of items	Value of data
pH	7.42
DOC (mg/L)	4.15
DOC removal (%)	9.28
UV (cm^{-1})	0.1
Temperature (° C)	20-27

2. 주사 전자 현미경 (scanning electron microscope, SEM) 관찰

입상활성탄 입자 표면에 부착된 세균을 관찰하기 위하여 주사 전자 현미경 (SEM)을 이용한 분석을 시행하였다[22]. 먼저 주사 전자 현미경 분석 전, 건조시킨 활성탄 시료에 2.5% glutaraldehyde 용액 (0.1 M sodium caccodylate buffer, pH 6.8)을 첨가한 후 4°C에서 2 시간 동안 전처리 한 후 0.1 M sodium caccodylate buffer로 세척하였다. 고정은 1% OsO4 용액 (0.1 M sodium caccodylate buffer, pH 6.8)을 이용하여 시행하였다. Ethanol (30 / 50 / 70 / 80 / 90 / 95 / 100%)을 이용하여 각 농도에서 10 분간 탈수를 시킨 후 남아있는 ethanol을 완전히 건조 시킨다. 건조가 끝난 시료는 전도성 은 페인트 (conducting silver paint)로 고정(mounting)을 하고 gold-palladium (60:40)으로 코팅하였다. 시료를 분석하기 위해 연세대학교 원주캠퍼스 공동기기실에 보유한 SEM을 이용하여 활성탄 내 부착된 세균을 관찰하였다.

3. 세균 배양 및 수 측정

본 실험에서는 활성탄을 운전 기간 별로 채취한 후 활성탄 습중량 1 g을 기준으로 하여 진행하였다. 활성탄 내 부착되어 있는 세균 군집을 탈리시키기 위하여 sonicator (XL2020, Heat System, Farmingdale, NY, USA)로 활성탄을 초음파 처리 하였다. 먼저 활성탄 1 g을 건조시킨 후, 0.85% NaCl에 혼합하여 20 KMz, 180 W로 2 분 동안 초음파 처리하여 활성탄에 부착된 세균을 탈리시켰다. 그 후 탈리된 용액의 시료를 단계적으로 계단 희석하여 R2A 배지 (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 도말한 후, 37°C 배양기에 5 일간 배양하여 1 g 당 집락 형성 단위인 colony forming units (CFU)/g 으로 표시하였다. 세균의 동정은 R2A 배지에 형성된 집락의 형태학적 특징을 통해 서로 다른 집락 및 색상을 조사하였으며, 확인된 집락을 R2A 배지에 획선 도말하여 순수 단일 집락을 분리하였다.

4. Genomic DNA 추출 및 16S rRNA 염기서열 분석

활성탄에 부착된 세균을 동정하기 위해 다음과 같이

실험하였다. DNA 추출은 5% Chelex 100 (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA)을 이용하여 boiling method로 수행하였다. 시료에서 분리한 genomic DNA를 universal PCR primer를 이용하여 세균의 16S ribosomal RNA gene (16S rRNA gene)을 증폭시키기 위해 Gene Amp PCR System 2700으로 polymerase chain reaction (PCR)을 수행하였다[표 4]. PCR 조건은 94℃에서 5 분간 반응한 후, 94℃에서 30 초, 55℃에서 45 초, 72℃에서 1 분 30 초의 반응주기를 25 주기 시행하고 72℃에서 7 분간 반응한다. 증폭산물은 1 Kb Plus molecular size marker (Doctor protein, Seoul, Korea)와 함께 1.0% tris-borate EDTA (TBE) agarose gel에 전기영동을 한 후, ethidium bromide (Et-Br)로 염색하여 Gel-doc XR System (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA)로 크기가 1.5 kilo base pair (Kb)임을 확인하였다. 크기가 1.5 Kb인 증폭산물은 LaboPassTM PCR purification kit (Cosmo, Seoul, Korea)를 이용하여 정제하고, 정제된 산물의 염기서열 확인을 위해 외부기관 (Genotech, Daejeon, Korea)에 의뢰하여 염기서열 분석을 수행하였으며, 염기서열들은 National Center for Biotechnology Information (NCBI)의 blast search를 이용하여 Gene Bank database와 비교 · 분석하였다.

표 4. 16S rRNA gene primer

Primer	Sequence (5'-3')
27F (forward)	AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG
1492R (reverse)	GGT TAC CTT GTT ACG ACT

5. 통계 분석

GraphPad Prism 5 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA)를 사용하여 통계 분석을 수행하였다. *p*-value는 Student's t-test를 이용하여 계산하였다. 통계치는 평균값 (mean)과 평균값의 표준 오차 (standard error of the mean, SEM)로 나타내었고 모든 실험 결과는 세 개의 반복적이고 독립적인 실험을 수행한 결과이고, 그 중 한 결과를 대표적으로 나타내었다.

III. 결과

1. 활성탄 공정에 따른 활성탄 내 흡착된 세균 확인

G 정수장에 설치된 파일럿 형태 (pilot-scale)의 고도정수처리 모형플랜트의 정수처리 과정은 다음과 같다[그림 1]. 기존의 수처리 공정과 유사하게 polyaluminum chloride (PAC)를 응집제로 하여 1차 여과 과정을 거친 뒤 막공정 (microfiltration, MF)을 통하여 세균을 포함한 입자성 물질을 제거하게 된다. 이후 입상활성탄 공정을 통하여 맛·냄새 물질, TOC 및 DOC 등을 제거하게 된다. 이 과정에서 입성활성탄에는 유입수 내 잔존하는 일부 세균이 활성탄 내 세공 (micro-pore)에 증식을 하게 되면서 생물막 (biofilm)을 형성하게 되고 이러한 과정에서 생물활성탄화 되어 지속적으로 유기 물질들의 제거에 기여하게 된다[14][23]. 본 실험에서는 생물활성탄 내 미생물 군집의 형성 여부를 확인하기 위하여 활성탄 공정 가동 후 2개월 된 입상활성탄을 채취하여 주사 전자 현미경 (SEM) 분석을 시행하였다. SEM 분석 결과, 입상활성탄 내 흡착된 세균의 형태학적인 모습을 관찰할 수 있었다. 알균 형태 (cocci form)의 세균[그림 2A]과 막대균 형태 (bacilli form)의 세균[그림 2B]이 동시에 관찰이 되며 이것은 UV 처리 유무와 관계가 없음을 알 수 있었다. SEM 결과로는 형태학적인 특성만을 확인 할 수 있기 때문에 정확한 구분을 하기는 어려우나 입상활성탄에 다양한 형태의 세균 군집이 형성되어 생물활성탄화 되는 것을 확인할 수 있었다.

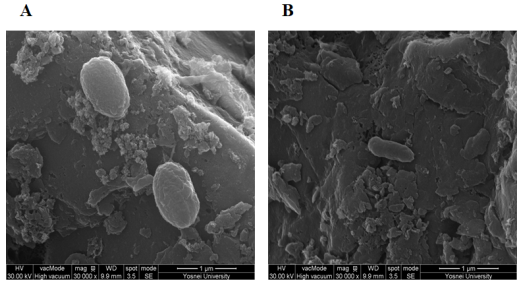

그림 2. SEM photograph of attached bacteria of biological activated carbons

2. 활성탄조 깊이에 따른 입상활성탄 내 세균 군집량 확인

입상활성탄 내 세균 군집의 형성은 빛의 통과 유무, 처리수의 수온, 기질의 양 등의 외부 환경에 따른 영향을 받아 세균의 구성종 및 생체량에 많은 차이를 유발하여 입상활성탄 공정의 효율에 많은 영향을 미친다고 알려져 있다[18][24]. 따라서 본 실험에서는 가동 후 2개월 된 입상활성탄을 대상으로 활성탄조 깊이에 따라 세균의 생체량에 어떠한 차이가 나타나는지 확인해 보았다. 먼저 활성탄 공정 이전에 UV로 전처리를 한 경우 50 cm 깊이에서 3.76×10^4 CFU/g 의 세균 군집량이 나타나는 것을 확인하였다. 이후 활성탄조 240 cm 깊이까지는 3.39×10^4 CFU/g 정도로 더디게 군집량이 감소하다가 350 cm 깊이에서 8.83×10^3 CFU/g으로 약 4.26배 정도 급격하게 군집량이 감소하는 것을 확인하였다[그림 3A]. UV 전처리를 하지 않는 경우에는 50 cm 깊이에서는 2.14×10^4 CFU/g의 세균 군집량을 가지는 것을 확인하였으며 이것은 240 cm 깊이까지 큰 차이가 나타나지 않았다. 그리고 350 cm 깊이에서 1.39×10^4 CFU/g의 군집량을 가지며 1.54배 감소하는 것을 확인하였다[그림 3B]. 본 실험에서 전반적으로 UV 전처리 과정의 유무와 상관없이 활성탄조의 깊이가 350 cm로 깊어지는 경우 세균 군집량이 각각 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 공정 처리수가 UV 전처리 과정을 거치고 난 후 활성탄 공정을 거치는 것과 UV 전처리 과정을 거치지 않고 활성탄 공정을 거치는 것에서 차이가 나타나는 부분도 확인할 수 있었다. 먼저 전반적인 세균 군집량은 UV 전처리를 시행한 경우에 더 많은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 활성탄조 깊이가 350 cm로 깊어지는 경우 UV 전처리를 포함하는 경우에는 급격하게 세균 군집량이 감소하게 되나 UV 전처리를 거치지 않는 경우에는 군집량의 감소가 상대적으로 더디게 나타나며 상대적 군집량이 더 많아지는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험에서는 세균 군집량은 활성탄조의 깊이가 깊어질수록 감소하는 경향을 나타낸다는 것을 확인하였다. 또한 UV 전처리 유무에 따라 그 세균 군집량의 감소 경향이 다르게 나타나며 활성탄조의 깊이가 깊어질수록 역전 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험 결과를 바탕으로 이후 실험에 대해서는 세균 군집량이 가장 많이 분포하는 표층 50 cm 에서만 입상활성탄을 채취하여 분석 시료로 사용을 하였다.

3. 활성탄 공정 운영 기간에 따른 입상활성탄 내 세균 군집량 확인

활성탄 공정 운영 기간에 따른 입상활성탄 내 세균의 군집량의 변화를 확인하기 위하여 2개월 간격으로 UV 전처리 과정이 포함된 입상활성탄 시료와 UV 전처리 과정이 포함되지 않은 입상활성탄 시료를 각각 수집하여 활성탄 내 세균 군집량을 확인하였다. 활성탄을 채취한 시기는 2015년 11월부터 2016년 3월까지 이며 각각 활성탄 공정이 가동된 지 2개월, 4개월, 6개월 때의 활성탄을 채취하였다. 결과를 살펴보면 UV 전처리를

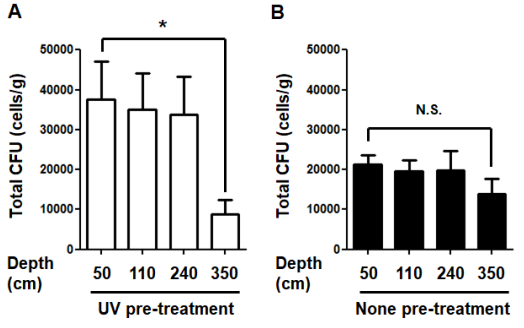

그림 3. Biomass of attached bacteria of BACs according to the depth of BACs column

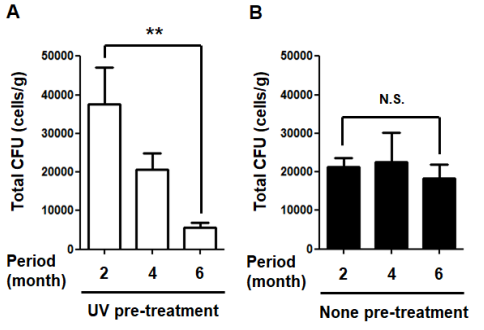

그림 4. Biomass of attached bacteria of BACs according to the operated period

시행하는 경우에는 초기 2개월 때 활성탄 내 세균 군집량이 3.76×10^4 CFU/g으로 나타나며 4개월이 경과하였을 때 2.10×10^4 CFU/g으로 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 6개월이 경과하였을 때 5.75×10^3 CFU/g으로 초기 2개월 때 보다 약 6.5배 감소하는 것을 확인할 수 있었다[그림 4A]. UV 전처리를 시행하지 않은 경우에는 입상활성탄 내 세균 군집량이 2개월 때 2.14×10^4 CFU/g으로 UV 전처리를 시행한 활성탄 시료에 비해 적게 나타나는 것을 확인하였다. 이것은 앞서 활성탄조 깊이에 따른 결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 그러나 4개월이 경과하였을 때 UV 전처리 한 활성탄 시료에서는 세균 군집량이 급격히 감소하는데 반하여 UV 전처리를 하지 않은 경우에는 2.27×10^4 CFU/g으로 큰 차이가 나타나지 않은 체 세균 군집이 유지되는 것을 확인하였다. 이것은 6개월 경과 시에도 세균 군집량이 1.85×10^4 CFU/g으로 유사한 결과를 나타내며 오히려 활성탄 내 세균 군집량이 UV 전처리한 활성탄 내 세균 군집량에 비해 더 많은 것을 알 수 있었다[그림 4B]. 본 실험에서 UV 전처리 과정을 거치는 경우 활성탄 공정이 지속될수록 세균 군집량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 UV 전처리 과정을 거치지 않은 활성탄의 경우 초기에 형성된 세균 군집량이 계속해서 유지가 되는 것을 알 수 있었다.

4. 활성탄 공정 운영 기간에 따른 입상활성탄 내 세균 군집 분포

입상활성탄 내 세균의 군집 분포에서 어떠한 우점종 세균이 군집을 형성하는지 확인하고 입상활성탄의 운용 기간에 따라 우점종 세균의 군집량이 어떻게 변화하는지 확인하기 위하여 실험을 진행하였다. 우점종 세균의 종별 분석을 위해 genomic DNA를 분리한 뒤 16s rRNA gene을 PCR 기법을 이용하여 증폭시켰다. 그리고 Sequencing 기법을 이용하여 우점종 세균의 종별 분석을 시행하였다. 실험 결과를 살펴보면 UV를 전처리한 공정수를 통과시킨 입상활성탄 내 우점종은 총 3종으로 *β-proteobacterium* species, *Porphyrobacter donghaensis*, *Polaromonas rhizophaerae* 등이 나타나는 것을 확인하였다[그림 5]. 활성탄 공정이 2개월을 경과하였을 때 *β-proteobacterium* species이 가장 많은 양을 차지하며 그 다음으로 *Porphyrobacter donghaensis*와 *Polaromonas rhizophaerae*가 나타나는 것을 확인하였다. 그러나 활성탄 공정이 지속될수록 *β-proteobacterium* species와 *Porphyrobacter donghaensis*는 그 군집량이 급격히 감소하였으며 *Polaromonas rhizophaerae*만 큰 변화가 없이 군집량이 유지가 되는 것을 확인할 수 있었다. UV 전처리를 하지 않은 공정수를 통과시킨 경우에는 UV 전처리 한 경우보다 더 많은 *β-proteobacterium* species, *Porphyrobacter donghaensis*, *Polaromonas rhizophaerae*, *Hydrogenophaga* species, *Pseudonocardia* species 등 총 5종의 우점종 세균이 나타나는 것을 확인할 수 있었다[그림 6]. 이 경우에는 UV 전처리를 한 경우와 유사하게 *β-proteobacterium*

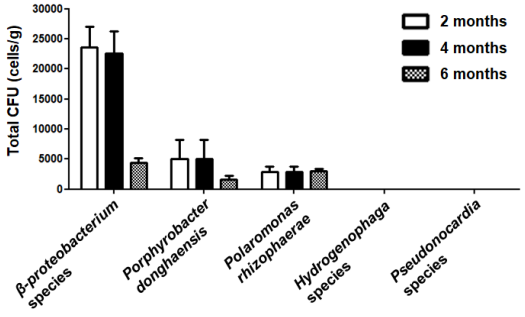

그림 5. Variations of bacterial communities and biomass in pre-UV treatment BACs

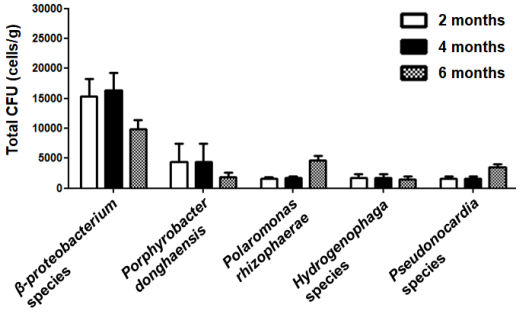

그림 6. Variations of bacterial communities and biomass in non-pretreatment BACs

species와 *Porphyrobacter donghaensis*의 그 군집량이 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 *Polaromonas rhizophaerae*는 군집량이 오히려 활성탄 공정 6개월 때 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 *Pseudonocardia* species에서도 공통적으로 관찰되었다. *Hydrogenophaga* species의 경우에는 군집량의 변화가 거의 나타나지 않는 것을 확인하였다. 본 실험을 바탕으로 UV 전처리 공정수를 통과시킨 활성탄에서는 *β-proteobacterium* species, *Porphyrobacter donghaensis*, *Polaromonas rhizophaerae* 등 3종의 우점종 세균이 나타나는 것을 확인하였으며, UV 전처리를 하지 않은 공정수를 통과시킨 활성탄에서는 *β-proteobacterium* species, *Porphyrobacter donghaensis*, *Polaromonas rhizophaerae*, *Hydrogenophaga* species, *Pseudonocardia* species 등 총 5종의 우점종 세균이 나타나는 것을 확인하였다. 또한 5종의 우점종 중에서 *Polaromonas rhizophaerae*, *Pseudonocardia* species 등 2종의 세균은 활성탄 공정이 지속될수록 군집량이 증가하는 것을 확인하였다.

IV. 고찰

상수도 정수처리 공정에서 수질에 대한 안정성 확보는 국가 공중보건 시스템과 밀접한 관련을 가지고 있으며 또한 국민의 건강과 삶의 질과 직접적인 연관을 가지면서 국가의 생산성 재고에도 영향을 미친다. 국가의 경제적 성장에 따른 생활수준의 향상은 사용자의 물에 대한 안전 요구도를 증가시키고 수질 환경에 대한 관심을 갖게 하였다. 또한 급속한 사업화와 범세계적인 기후 변화 현상은 상수원에 대한 안정성에 대한 연구와 정수처리 공정의 변화 및 개선과 관련한 연구에 대한 필요성을 불러일으켰다. 본 연구에서는 기존의 재래식 정수처리 공정으로는 제거하기가 힘든 이취미 물질 등의 물질을 제거하기 위한 고도정수처리 공정 중 하나인 입상활성탄 공정 및 생물활성탄 공정에 관하여 실험을 진행하였다. 활성탄 공정에서 입상활성탄에서 생물활성탄으로 가는 단계는 매우 중요하며 물리적인 흡착제거 과정과 세균에 의한 생물학적 분해 과정은 이취미 물질 등의 제거에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다[25]. 따라서 본 연구에서는 활성탄 공정의 효율적인 운영을 위한 기초 정보를 제공하기 위한 실험을 진행하였다. 더불어 실제 정수처리 공정에서 세균을 포함하는 수계 내 미생물 제어와 밀접한 관련이 있는 UV 공정 전처리 여부에 따른 생물활성탄 내 미생물의 거동의 변화도 확인하였다.

첫 번째로 본 연구에서는 입상활성탄 공정 가동 시 원수 내 세균 흡착에 의해 생물활성탄이 형성이 되는 것을 확인하였다. 활성탄 내 세균 흡착을 확인하기 위한 방법 중 하나로 본 연구에서는 주사 전자 현미경을 이용하여 활성탄의 표면을 관찰하였다[26][27]. 그 결과 UV 공정에 의한 공정 처리수 전처리 유무와 관계없이 활성탄 표면에 세균이 흡착이 되는 것을 확인할 수 있었다. 한 가지 특이한 점은 UV 공정에 의해 전처리가 되었음에도 불구하고 활성탄 내 흡착된 세균이 관찰이 된다는 점이다. 일반적으로 UV 공정을 거치게 되면 세균을 포함하는 미생물 군은 불활성화 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 다른 연구 보고에 따르면 UV의 조사량 및 세균 등의 미생물 종에 따라 결과적으로 불충분한 불활성화로 인한 소독효과가 나타날 수 있다고 한다[19][28]. 본 연구에서도 UV 공정으로 전처리를 한 이후에 그 처리수를 활성탄 공정에 적용하였을 때 활성탄 내 세균이 흡착되는 것을 확인하였다. 또한, 초기 공정 기간에는 일시적으로 UV 전처리를 한 경우 세균 군집량이 더 많은 결과를 나타내는데, 이것은 UV에 의해 다량의 유기물이 분해되어 일시적으로 활성탄 내 세균이 서식하기에 좋은 환경을 제공한 결과로 보인다[29][30]. 그러나 이러한 증가가 초기 공정 이후에는 UV 전처리 군에서 활성탄 내 세균 군집량이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 활성탄 공정 전단의 UV 공정에서 세균의 불활성화가 이루어지기는 하나 일부 세균은 완전히 불활성화 되지 않고 활성탄 공정으로 유입되어 활성탄 내 흡착하는 것으로 보인다. 물론 본 연구에서 이용한 고도정수처리 모형플랜트는 활성탄 공정 후단에 추가적인 UV 공정과 염소소독 공정을 거쳐 세균이 불활성화되는 것을 확인하였다 (data not shown).

두 번째로 활성탄조 깊이와 운영 기간에 따른 활성탄

내 세균의 거동에 대해 살펴보았다. 먼저 활성탄조 깊이에 따른 세균의 군집량을 살펴보면 표층에 가까울수록 군집량이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 활성탄조의 깊이가 깊어질수록 그 군집량이 감소하는 것을 확인하였다. 특히 240 cm 에서 350 cm 로 넘어감에 따라 세균 군집량의 감소는 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 손 등에 의하면 생물활성탄 공정에서 유기성 오염물질의 제거는 활성탄조 표층에서 가장 활발하게 일어나며 이것은 활성탄조에 깊이에 따른 세균 군집량의 분포가 차이가 나기 때문인 것으로 알려져 있다[27]. 이러한 활성탄 공정에서 활성탄조 깊이에 따라 세균 군집량의 차이가 나타나는 이유는 세균의 성장에 필요한 다양한 환경적 요건이 활성탄조 깊이에 따라 차이가 나타나기 때문인 것으로 생각된다. 활성탄 공정 초기에 활성탄조 표층에 유기성 물질들이 먼저 흡착이 되며 깊이가 깊어질수록 유기성 물질의 농도는 낮아지게 된다[25]. 수계 내 세균 군집은 이러한 유기성 물질을 에너지원으로 하여 증식하게 되므로 상대적으로 영양이 풍부한 활성탄조 표층에 있는 활성탄 표면에 부착되어 증식 및 생물막을 형성하는 것으로 보인다. 또한 활성탄조의 표층에서 대사에 필요한 가스 교환 등이 일어날 가능성이 높으므로 그 깊이가 깊어짐에 따라 세균 군집량이 감소되는 것으로 보인다[31][32]. 이것은 기존의 활성탄 공정에서 활성탄 조의 깊이가 깊어질수록 심층부에서는 생물활성탄에 의한 공정이 잘 일어나지 않음을 의미한다. 따라서 생물활성탄에 의한 유기물 흡착 효율을 증가시켜 수처리 공정의 효율성을 높이기 위한 장치가 고려되어야 할 것이다. 또한 활성탄 처리 시 표층부와 심층부에서 나타나는 유기물의 제거 효과에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 더불어 UV 공정 전처리 여부에 따라서도 차이를 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 활성탄조의 깊이가 깊어짐에 따라 UV 공정 전처리를 한 경우 세균 군집량의 감소가 상대적으로 UV 전처리를 하지 않은 경우보다 더 크게 나타나는 것을 확인하였다. 공정기간에 따른 세균 군집량의 변화에서도 이와 유사한 결과를 보였다. 공정기간이 길어질수록 UV 전처리를 한 경우에 활성탄 내 세균 군집량이 급격하게 감속하는 반면에 UV 전처리를 하지 않은 경우에는 세균 군집량에 큰 변화가 나타나지 않았다. 그리고 공정이 지속될수록 UV 전처리를 하지 않은 입상활성탄의 세균 군집량이 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 앞서 얘기한 바와 같이 UV에 의한 세균 불활성화가 영향을 미친 것으로 보인다. 입상활성탄 공정에서 활성탄 공정 초기에는 활성탄에 의한 흡착에 의해 유입되는 오염물질이 제거되지만 공정이 지속될수록 활성탄 내 세균에 의한 생물막의 생물학적 분해능이 그 역할을 담당하게 된다[15][16]. 그래서 활성화된 세균에 의한 생물막의 형성 여부는 활성탄 공정의 효율성과 직접적인 연관성을 지닌다고 할 수 있다. 본 실험의 결과를 살펴보면 입상활성탄 공정의 전단에 UV 공정이 있는 경우 초기 공정 운영 시에는 세균 군집량이 일시적으로 증가하여 생물활성탄이 잘 형성되는 것처럼 나타나지만, 장기화 될수록 활성탄 내 세균 군집량이 감소하여 입상활성탄의 생물활성탄화가 잘 이루어지지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 생물활성탄에 의한 오염물질 제거 효율성을 높이기 위해서는 활성탄 공정의 전단에 배치되는 공정을 반드시 고려해야 할 것이다.

세 번째로 본 연구에서는 활성탄 내 세균 군집의 종에 대한 분석을 시행하였다. 그 결과 총 5 종의 우점종 세균 (*β-proteobacterium* species, *Porphyrobacter donghaensis*, *Polaromonas rhizophaerae*, *Hydrogenophaga* species, *Pseudonocardia* species)가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 활성탄 공정의 전단에 UV 공정이 추가가 된 경우에는 5 종의 우점종 세균 중 *Hydrogenophaga* species와 *Pseudonocardia* species 등 2 종의 우점종 세균은 나타나지 않는다는 것을 확인하였다. 이것은 아마도 2 종의 우점종 세균은 UV에 대한 민감도가 타 우점종 세균에 비해 높아 쉽게 불활성화 되어 나타나지 않는 것으로 여겨진다. UV 전처리 여부와 관계없이 *β-proteobacterium* species와 *Porphyrobacter donghaensis*는 활성탄 공정의 가동 기간이 경과함에 따라 그 군집량이 계속해서 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 UV 전처리 공정을 거친 경우에는 그 감소폭이 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있었다. 이것은 앞서 본 바와 같이 UV에 대한 세균 불활성화 작용이 영향을 미친 것으로 보인다. *Polaromonas rhizophaerae*,

Hydrogenophaga species, *Pseudonocardia* species는 공정 기간이 지속됨에 따라 그 거동에 변화가 없거나 오히려 증가하는 경향을 보였다. 이 3종의 세균은 이미 다른 문헌 보고에서 생물활성탄 공정에서 나타나는 주요한 세균 종인 것으로 알려져 있다[33-35]. 따라서 본 연구에서 사용한 고도정수처리 모형플랜트 활성탄 공정을 생물활성탄으로서 계속해서 이용하게 될 경우 3종의 세균이 우점종 세균 군집으로 자리잡을 가능성이 매우 높다. 또한 이러한 우점종 세균 군집이 생물활성탄 공정에서 생물학적 분해 메커니즘을 가지며 수처리 공정에 기여할 가능성이 있다. 따라서 본 연구팀에서는 이러한 우점종 세균 군집이 어떠한 오염물질에 대해 제거능을 가지는지 추가적으로 연구할 예정이다.

본 연구에서는 국내 G 정수장 내 설치된 고도정수처리 모형플랜트 연구시설을 이용하여 입상활성탄 공정에서 세균의 거동이 어떻게 변화하는지 확인함으로써 수처리 공정의 설계에 유용한 지표를 제공하고자 하였다. 활성탄 공정에서 활성탄조의 깊이에 따른 세균 군집량의 변화는 활성탄 공정 설계 시 활성탄조의 깊이가 고려되어야 함을 보여주었다. 또한 활성탄 공정 전단에 UV 공정 전처리 여부에 따른 세균 군집의 변화를 확인함으로써 생물활성탄 공정에 의한 오염물질 제거 시 세균 군집과 UV 공정에 대한 상관 관계가 고려되어야 하며 수처리 공정 설계 시 이러한 사항을 반영해야 함을 알 수 있었다. 마지막으로 활성탄 공정 운영 기간에 따른 우점종의 변화를 확인하여 세균에 의한 생물학적 분해 메커니즘 연구에 대한 기초적인 정보를 제공할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Y. Cho, J. Lim, D. Baek, S. H. Lee, I. S. Lee, H. Lee, D. Park, D. Jung, and T. U. Kim, “Development of techniques for evaluating the virus removal rate using adenovirus,” J. Korean Soc. Water & Wastewater, Vol.29, pp.633-641, 2015.

[2] J. W. Choi, K. S. Hyun, and Y. T. Kang, “Characteristics of granular activated carbon and biological activated carbon treatment processes for improvement of drinking water quality,” J. Korean Soc. Water Environ., Vol.16, pp.191-198, 2000.

[3] L. Ho, D. Hoefel, F. Bock, C. P. Saint, and G. Newcombe, “Biodegradation rates of 2-methylisoboneol and geosmin through sand filters and in bioreactors,” Chemosphere, Vol.66, pp.2210-2218, 2007.

[4] M. J. Shim, J. Lim, and T. U. Kim, “Evaluation of microbes through microfiltration within the water treatment processes,” Korean J. Clin. Lab. Sci., Vol.48, pp.230-236, 2016.

[5] C. J. Vorosmarty, P. B. McLntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann, and P. M. Davies, “Global threats to human water security and river biodiversity,” Nature, Vol.467, pp.555-561, 2010.

[6] H. J. Son, J. H. Jung, J. S. Roh, and P. J. Yu, “Removal characteristics of sulfonamide antibiotic compounds in biological activated carbon process,” J. Korean Soc. Environ. Eng., Vol.31, pp.96-101, 2009.

[7] D. M. Son, H. J. Son, H. J. Lee, and L. S. Kang, “Removal of geosmin and 2-MIB using biological activated carbon process,” J. Korean Soc. Water & Wastewater, Vol.23, pp.189-198, 2009.

[8] H. J. Son, S. W. Kang, H. S. Yoom, D. C. Ryu, and M. G. Cho, “Evaluation of biodegradation kinetic in biological activated carbon (BAC) process for drinking waste treatment : Effects of EBCT and water temperature,” J. Korean Soc. Environ. Eng., Vol.37, pp.404-411, 2015.

[9] S. S. Madaeni, A. G. Fane, and G. S. Grohmann, “Virus removal from water and wastewater using membrane,” J. Membrane Sci., Vol.102, pp.65-75, 1995.

[10] C. C. Taedosiu, M. D. Kennedy, H. A. Straten, and J. C. Schippers, "Evaluation of secondary refinery effluent treatment using ultrafiltration membranes," Water Res., Vol.33, pp.2172-2180, 1999.

[11] H. Bach, S. Tarre, and M. Green, "Post treatment of groundwater denitrification fluidized bed reactor effluents to achieve drinking water quality," J. Industrial Microbiol. & Biotechn., Vol.20, pp.354-350, 1998.

[12] P. G. Servais, P. Billen, P. Bouillot, and M. Benezet, "A pilot study of biological GAC filtration in drinking water treatment," J. Wat. Suppl.; Res. & Technol. Aqua., Vol.41, pp.163-168, 1992.

[13] M. Asami, T. Aizawa, T. Morioka, W. Nishijima, A. Tabata, and Y. Magara, "Bromate removal during transition from new granular activated carbon (GAC) to biological activated carbon (BAC)," Water Res., Vol.33, pp.2797-2804, 1999.

[14] J. Park, S. Takizawa, H. Katayama and S. Ohgaki, "Biofilter pretreatment for the control of microfiltration membrane fouling," Water Sci. & Technol.: Water Suppl., Vol.2, pp.193-199, 2002.

[15] J. S. Roh, H. J. Son, H. K. Park, and Y. D. Hwang, "Changes in characteristics of biodegradable organic matter removal by advanced water treatment process," J. Korean Soc. Environ. Eng., Vol.25, pp.909-919, 2003.

[16] P. Servais, G. Billen, and P. Bouillot, "Biological colonization of granular activated carbon filters in drinking-water treatment," J. Environ. Eng., Vol.120, pp.888-899, 1994.

[17] H. S. Son, H. J. Son, G. T. Park, and S. J. Lee, "Analysis of attached bacterial community of bio-logical activated carbon process using FISH," J. Environ. Sci., Vol.22, pp.25-35, 2013.

[18] A. C. Fonseca, R. S. Summers, and M. T. Hernandez, "Comparative measurements of microbial activity in drinking water biofilters," Water Res., Vol.35, pp.3817-3824, 2001.

[19] I. H. Kim, A. M. Wahid, and H. Tanaka, "Applicability investigation of E.coli, RNA and DNA bacteriophages for possible indicator microorganisms based on the inactivation effectiveness by UV," J. Kor. Soc. Environ. Eng., Vol.32, pp.1063-1068, 2010.

[20] S. Velten, F. Hammes, M. Boller, and T. Egli, "Rapid and direct estimation of active biomass on granular activated carbon through adenosine tri-phosphate (ATP) determination," Water Res., Vol.41, pp.1973-1983, 2007.

[21] S. A. Wakelin, D. W. Page, P. Pavelic, A. L. Gregg, and P. J. Dillon, "Rich microbial communities inhabit water treatment biofilters and are differentially affected by filter type and sampling depth," Water Sci. & Technol. Water Suppl., Vol.10, pp.145-156, 2010.

[22] H. F. Ridgway and B. H. Olson, "Scanning electron microscope evidence for bacterial colonization of a drinking-water distribution system," Appl. Environ. Microb., Vol.41, pp.274-287, 1981.

[23] H. J. Son, H. K. Park, S. A. Lee, E. Y. Jung, and C. W. Jung, "The characteristics of microbial community for biological activated carbon in water treatment plant," J. Kor. Soc. Environ. Eng., Vol.27, pp.1311-1320, 2005.

[24] C. Falkentoft, M. E. Muller, P. Amz, P. Harremoes, H. Mosbak, P. A. Wwlderer, and S. Wuertz, "population changes in a biofilm reactor for phosphorus removal as evidenced by the use of FISH," Water Res., Vol.36, pp.491-500, 2002.

[25] H. F. Righway and B. H. Olsan, "Scanning electron microscope evidence for bacterial

coloniza-tion of a drinking water distribution system," Appl. Environ. Microbiol., Vol.41, pp.274-287, 1981.

[26] H. J. Son, S. J. Yoo, J. S. Roh, and P. J. Yoo, "Biological activated carbon (BAC) process in water treatment," J. Kor. Soc. Environ. Eng., Vol.31, pp.308-322, 2009.

[27] H. S. Son, C. W. Jung, Y. I. Choi, G. Lee, and H. J. Son, "Evaluation of biomass of biofilm and biodegradation of dissolved organic matter according to changes of operation times and bed depths in BAC processes," J. Env. Sci. Intern., Vol.23, pp.1101-1109, 2014.

[28] M. Cho, W. Jeong, and J. Yoon, "Application of UV technology for surface disinfection," J. Kor. Soc. Environ. Eng., Vol.29, pp.1020-1026, 2007.

[29] R. M. Alberici, M. C. Canela, M. N. Eberlin, and W. F. Jardin, "Catalyst deactivation in the gas phase destruction of nitrogen-containing organic compounds using TiO_2/UV-VIS," Applied Catalysis B: Environmental, Vol.30, pp.389-397, 2001.

[30] J. Y. Jeong and J. S. Jurng, "Photodegradation of gaseous toluene using short-wavelength UV/TiO^2 and treatment of decomposition products by wet scrubber," J. Environ. Sci. Int., Vol.16, pp.433-440, 2007.

[31] M. Herzberg, C. G. Dosoretz, S. Tarre, and M. Green, "Patchy biofilm coverage can explain the potential advantage of BGAC reactors," Environ. Sci. Technol., Vol.37, pp.4247-4280, 2003.

[32] K. Yapsakli and F. Cecen, "Effect of type granular activated carbon on DOC biodegradation in biological activated carbon filters," Process Biochem., Vol.45, pp.355-362, 2010.

[33] X. Liao, C. Chen, C. H. Chang, Z. Wang, X. Zhang, and S. Xie, "Heterogeneity of microbial community structures inside the up-flow biological activated carbon (BAC) filters for the treatment of drinking water," Biotechnol. Bioprocess Eng., Vol.17, pp.881-886, 2012.

[34] A. Magic-Knezev, B. Wullings, and D. Van der Kooji, "Polaromonas and Hydrogenophaga species are the predominant bacteria cultured from granular activated carbon filters in water treatment," J. Appl. Microbiol., Vol.107, pp.1457-1467, 2009.

[35] R. M. Niemi, I. Heislanen, R. Heine, and J. Rapala, "Previously uncultured β-proteobacteria dominate in biologically active granular activated carbon (BAC) filters," Water Res., Vol.43, pp.5075-5086, 2009.

저 자 소 개

임 재 원(Jaewon Lim) 정회원

- 2009년 8월 : 연세대학교 임상병리학과(임상병리학사)
- 2016년 2월 : 연세대학교 임상병리학과(이학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 대구한의대학교 임상병리학과 조교수

<관심분야> : 과학기술정보콘텐츠, 보건콘텐츠

김 서 용(Seoyong Kim) 준회원

- 2014년 2월 : 건양대학교 임상병리학과(임상병리학사)
- 2014년 9월 : 연세대학교 임상병리학과(석박사통합과정)

<관심분야> : 과학기술정보콘텐츠, 보건콘텐츠

김 정 용(Jeongyong Kim) 준회원

- 2014년 2월 : 건양대학교 임상병리학과(임상병리학사)
- 2014년 9월 : 연세대학교 임상병리학과(석사과정)

<관심분야> : 과학기술정보콘텐츠, 보건콘텐츠

김 태 우(Tae Ue Kim) 정회원

- 1981년 2월 : 연세대학교 생화학과(이학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 생화학과(이학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 임상병리학과 교수

<관심분야> : 과학기술정보콘텐츠, 보건콘텐츠