

Research Paper

중·소하천에서 부착미생물군집의 성장에 따른 불소 제거 효과 평가

김태경* · 류서영** · 박윤아* · 이종준* · 주광진* · 장광현** · 오종민**

경희대학교 환경응용과학과*, 경희대학교 환경학 및 환경공학과**

Evaluation of Fluoride Removal Effect with Growth of Attached Microbial Community in Middle and Small Stream

Tae-Kyung Kim* · Seo-Young Ryu** · Yoon-A Park* · Jong-Jun Lee* · Kwang-Jin Joo* · Kwang-Hyeon Chang** · Jong-Min Oh**

Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University*,
Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University**

요약: 본 연구는 경기도 중소하천에서 하상의 부착미생물군집의 시간에 따른 성장 변화와 부착미생물군집의 성장에 따른 불소의 제거 효율을 파악하기 위해 수행하였다. 방류수가 유입되는 지점인 P1과 그 곳에서 약 2 km 유하한 하류 지점인 P2에서 12주 동안의 현장 모니터링을 실시하고, 조사 지점의 수질과 부착미생물군집의 생체량 분석을 진행하였다. 부착미생물군집의 성장량은 7차 조사 시점까지 증가하다 이후 탈리현상이 발생하는 것으로 관찰되었으며, 부착미생물군집의 성장에 영향을 미치는 요인으로는 유량, 유속, 영양물질(질소, 인) 등으로 조사되었다. 한편, 부착미생물군집 체내의 불소 함유량 또한 7차 조사 시기까지 증가하다 8차 시점부터 감소하는 경향을 보였다. 이는 부착미생물군집의 탈리현상에 의해 불소의 함유량 또한 감소하였음을 시사한다. 이를 통해 하천 관리의 방안으로서 부착미생물군집의 활용법에 대한 평가 및 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 부착미생물군집을 활용한 기법의 적용 시에는 부착미생물군집의 성장에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 기초 조사 및 탈리 시점에 따른 부착판 교체 방안 등이 포함되어야 할 것으로 사료된다.

주요어: 부착미생물군집, 성장 변화, 불소, 탈리반응

First Author: Tae-Kyung Kim, Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: kurki2002@naver.com

Corresponding Author: Jong-Min Oh, Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2461, E-mail: jmoh@khu.ac.kr

Co-Authors: Seo-Young Ryu, Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: tjdu9077@naver.com

Yoon-A Park, Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: yoon-a0222@naver.com

Jong-Jun Lee, Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: jjoollee87@naver.com

Kwang-Jin Joo, Department of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: rhkdws789@hanmail.net

Kwang-Hyeon Chang, Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea, Tel: +82-31-201-2977, E-mail: chang38@khu.ac.kr

Received: 20 September, 2018. Revised: 15 October, 2018. Accepted: 7 December, 2018.

Abstract: This study was conducted to understand the growth of attached microbial community in small and medium streams of Gyeonggi-do and the removal efficiency of fluoride with changes in growth. The sites monitoring were carried out for 12 weeks at the P1 and P2(P1 is the point where the discharge water flows. P2 is the downstream point of about 2 km flow), and investigated the water quality and the biomass analysis of the attached microbial community. The growth of the attached microbial community increased up to the 7th investigation, and it was observed that detachment phenomenon occurred. Influencing factors about growth of the attached microbial community were flow rate, velocity, and organic material(T-N & T-P). Meanwhile, fluoride content of attached microbial community also tended to increase until the 7th investigation, and decrease from the 8th. It is assumed that fluoride content has also be reduced with the detachment phenomenon of the attached microbial community. It is expected that this will contribute to the evaluation and management of the use of attached microbial community as a means of stream management. The application of techniques using the attached microbial community should include basic investigation of factors that may affect the growth of the attached microbial community and replacement of the attachment plate according to the time of removal.

Keyword: Attached microbial community, Growth change, Fluoride, Detachment reaction

I. 서론

우리나라는 최근 도시화 및 개발 사업에 따른 유입 오염원 증가 등의 원인으로 인해 수질과 수계 환경이 악화되고 있다. 하천의 주 오염원인 생활하수, 공장 폐수, 축산폐수 등은 영양염류인 질소와 인뿐만 아니라 생태계에 영향을 미칠만한 오염물질이 다량 포함되어 있다. 하지만 질소와 인 등의 영양염류로 인한 조류의 발생 등의 가시적인 문제 이외에 미량원소에 의한 비가시적인 오염의 축적은 심각성을 눈으로 접하기 어려워 상대적으로 관리에 소홀해 왔다.

하상 기질에 주로 부착되어 존재하는 부착미생물 군집은 생산자인 부착조류, 분해자인 세균류, 소비자인 원생동물류와 수서곤충 등 다양한 생물군집이 농축된 생태계로서 군집 간 상호작용을 통해 높은 자연 정화 능력을 가지며, 유기물 대사에서 매우 큰 비중을 차지한다(Park et al. 2006). 그에 따라, 실제 하천에서 부착미생물군집의 분포는 유역의 변화를 투영하는 지표로 이용된다. 지금까지 부착미생물군집에 대한 연구는 유럽과 미국, 일본을 중심으로 활발히 진행되어 왔으며, 국내에서는 1980년대 후반부터 부착조류에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다(Park

et al. 2005). 그러나 국내의 부착조류에 대한 연구는 부착규조류를 이용한 수질 평가에 관한 분야의 연구가 주를 이룬 반면, 부착미생물군집을 이용한 수중 오염물질의 저감에 관한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다(Ahn et al. 2008). 따라서 해당 분야에 관한 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

불소(Fluoride)는 다양한 산업 활동에 따라 하천 생태계에 여러 물질들이 유입되고 하천 환경에 영향을 주는 물질 중 전기음성도가 가장 크고 원자의 크기가 작아 대부분의 유기물 및 무기물과 쉽게 반응한다(Kim & Oh 2016). 불소가 체내에 농축되면 순환계, 신경계, 호흡계 등에 이상이 나타나게 될 위험성이 있다(An et al. 2009). 질소나 인과 같은 고농도의 오염물질에 대한 처리방법에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있는 반면, 불소와 같은 미량원소에 대한 처리 및 관리방안에 대해서는 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 수계 환경에 따른 부착미생물군집의 성장 변화를 알아보고, 이에 따른 미량 오염물질인 불소의 제거 효과를 알아보고자 수행하였다. 본 연구의 목적은 1) 수계 환경에 따른 부착미생물군집의 성장 차이를 확인하고, 2) 부착미생물군집의 성장에 따른 불소의 제거 효과를 파악하는데 있다. 이를 통해 하

Table 1. Four types of artificial bricks for growth of attached microorganisms.

Type of artificial bricks	Composition	Size(cm)
CB	Concrete	39 × 19 × 10
RB	Clay	20 × 9 × 6
BB	Basalt	20 × 10 × 6
RCB	Red clay	20 × 7 × 2

천 관리의 방안으로서 부착미생물군집의 활용법에 대한 평가 및 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 실험방법

1. 조사 대상지

본 연구에서는 경기도 화성시에 위치한 중소하천을 조사 대상으로 선정하였다. 대상 하천은 주변에 크고 작은 공장들이 위치해 있으며 불소를 함유한 방류수가 유입되고 있다. 조사 지점은 불소가 함유된 방류수가 유입되는 지점(P1)과 그로부터 2 km 유하한 지점(P2)을 선정하였다. P1에서 약 1 km 유하한 지점에서는 다른 하천과 합류하는 지점이 존재하여 평균 약 100,000 m³/day의 유량이 증가하는 특징이 있다. 또한, 방류 직후 해당 하천에서의 불소 농도가 2.7 mg/L 정도로 일반 배출허용기준치(15 mg/L)에 비해서는 낮은 농도이나(Ministry of Environment 2013), 사람이 중독량 이상의 불소를 섭취하게 되면 순환계, 신경계, 호흡계 등에 이상이 나타나게 될 위

험성이 있으므로(An et al. 2009), 관리 및 처리해야 할 필요가 있음을 시사한다.

2. 인공 부착판 준비 및 설치

본 실험에서는 기존 자연하상재료인 자갈을 대신 하여, 부착미생물 시료 채취의 편의성을 위해 벽돌 모양의 부착판을 준비하였다. 부착판은 콘크리트, 점토, 현무암, 황토 성분으로 조성된 4가지 종류를 구입하였다(Table 1). 부착미생물 서식을 위한 부착판은 P1과 P2에 10 cm~15 cm 간격으로 종류 당 12개씩 설치하였다. 부착 재료의 다양성에 의한 편차를 줄이기 위해 4종류의 다양한 부착판을 사용하여 실험을 진행하였다. 모든 부착판은 모래나 퇴적물에 의해 덮이지 않도록 하상을 평평하게 다지고 넓은 판을 설치한 다음 그 위에 조성하였다. 또한 하천의 흐름에 의해 쓸려 내려가지 않도록 단단하게 고정하였다.

3. 유량 및 수질 조사

유량 및 수질조사는 2018년 3월 30일부터 2018년

Table 2. Analysis equipment and methods for the experiment.

Measurement items		Analysis equipment	Remarks
Field measurement items	Flow rate & velocity	Hydrometer(2100-STD, Swoffler, USA), Ruler	Flow-area method
Indoor measurement items	BOD	DO meter (YSI 6000, YSI, USA)	5 days BOD
	T-N	UV absorption photometry (220 nm)	Potassium alkaline pre-treatment
	T-P	Ascorbic acid reduction (880 nm)	Nitric acid-sulfuric acid pre-treatment
	TOC	Total Organic Carbon Analyzer(TOC-V CSN, Shimadzu, Japan)	-
	F ⁻	Ion Chromatography (792 Basic IC, Metrohm, Switzerland)	-

6월 15일까지 7일 간격으로 총 13회 진행하였다. Park et al.(2005)의 연구에서는 부착미생물군집 형성에 미치는 여러 요인 중 유속의 영향이 가장 크다고 보고하고 있다. 따라서 유속은 현장에서 유속계(2100-STDX, Swoffer, USA)를 이용하여 측정하였고, 유속 면적법을 이용하여 유량을 산정하였다(Ministry of Environment 2017). 또한 쇄자와 줄자를 이용해 수심과 하폭을 측정하여 유량을 산출하였다. 한편, 수질 조사를 위한 수시로 채취는 P1 및 P2 지점에서 수행하였다. 수시료는 1 L 크기의 시료 용기를 현장에서 하천수로 2~3회 세척한 후 수심 2/3 지점에서 시료 용기에 가득 채워 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 수시료는 수질오염공정시험기준에 준하여 생물학적 산소요구량(biological oxygen demand, BOD), 총 질소(T-N) 및 총 인(T-P)을 분석하였다. 총 유기탄소(total organic carbon, TOC)와 불소 이온(F⁻) 농도는 각각 TOC analyzer (TOC-V CSN, Shimadzu, Japan)와 Ion chromatography (792 Basic IC, Metrohm, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 실험 항목별 분석은 Table 2에 정리하여 나타냈다.

4. 부착미생물군집의 생체량 및 물질 흡수량 조사

부착미생물군집 생체량 조사는 2018년 4월 6일부터 2018년 6월 15일까지 7일 간격으로 총 12회 진행하였다. 설치한 하상 인공 부착판은 우선 소류성 퇴적물을 제거하기 위하여 물속에서 흔들어 교란시켰고, 증류수 및 브리쉬를 이용하여 5 cm × 5 cm 크기로 부착미생물군집을 채취하였다. 부착미생물군집 시료는 실험실로 운반한 후, 그라인더를 이용하여 잘게 분쇄하고 증류수와 혼합하여 500 mL의 일정량으로 mass-up하여 준비하였다. 부착미생물군집 생체량은 건조중량(dry weight, DW), 회분제거건조중량(ash-free dry weight, AFDW) 및 클로로필 a(chlorophyll a, Chl-a) 함량을 통해 측정하였다(Hill et al. 1977; Mosiseh & Bunn 1977; Vis et al. 1998). DW와 AFDW는 APHA et al.(1985)의 방법에 따라 분석하였고, Chl-a 함량은 수질공정시험법에 따라 측정하였다. 한편, 부착미생물군집의 성장에 영향을 주는 주요 요인들을 확인하기 위해 수질항목

(유속, 유량, BOD, TOC, T-N, T-P)과 생체량(AFDW, Chl-a) 간의 상관관계 분석을 실시하였다. 상관분석은 SAS를 이용하여 피어슨 상관계수 산정을 통해 수행하였다(SAS Institute 2008).

부착미생물의 불소 흡수를 통한 수중의 불소 제거 효과는 부착미생물 체내 함량을 통하여 알아보았는데, 이는 부착미생물 시료를 수질 실험과 동일한 방법으로 분석하였다. 부착미생물군집의 성장과 불소 흡수량 간의 상관관계 또한 피어슨 상관분석을 통해 조사하였다(SAS Institute 2008).

III. 결과 및 고찰

1. 유속, 유량 및 수질 조사 결과

P1과 P2에서의 기초 하천 수질 조사 항목은 Table 3에 제시하였다. 하천의 수온은 계절적 영향으로 현장 실험이 진행될수록 증가하는 경향이 있었으나, 일반적인 하천의 계절적 증가와 비슷하였다. pH는 두 지점에서 중성~약알칼리성의 상태를 보였고, DO의 경우 P1에서는 평균 7.2 mg/L, P2에서는 약 8.2 mg/L의 농도로 조사되었다. EC의 경우 P1에서 평균 2,514 μ S/cm, P2에서 평균 2,191 μ S/cm로 매우 높게 조사되었는데, 이는 방류수에 다량의 이온성 물질이 포함된 것이라고 추측할 수 있다. 이온성 물질을 포함한 방류수가 방류된 직후 지점인 P1에서는 평균 EC 농도가 높게 측정되었고, 유하하면서 다른 하천과 합류하여 희석 효과가 발생한 P2 지점에서는 P1에 비해 약간 낮은 것으로 조사되었다.

P1의 유속 및 유량은 6차 조사 시점부터 급변하였다(Figure 1). 유량의 경우 5차 조사 시기까지는 평균 14,421 m³/day였으나, 6차 조사 시기부터 13차 조사 시기까지는 평균 130,068 m³/day로 대폭 증가하였다. 유속 또한 5차 조사 시기까지는 평균 0.080 m/s였으나, 6차 조사 시기부터 13차 조사 시기까지는 평균 0.489 m/s로 약 6배 증가하였다. 이는 P1 지점에 사업장 방류수의 유입량이 증가하였기 때문으로 추측된다. 한편, P2는 1차 조사 시기부터 13차 조사 시기까지 평균 유량 235,170 m³/day, 평균 유속 0.438 m/s로 큰 변동이 없었는데, 이는 P2 지점의

Table 3. Basic properties of the target stream.

	water temperature (°C)			pH	Conductivity (μS/cm)	Dissolved oxygen (mg/L)
	min	average	max			
P1	12.9	22.8	32.6	7.8	2,514	7.2
P2	15.1	23.7	32.3	8.0	2,191	8.2

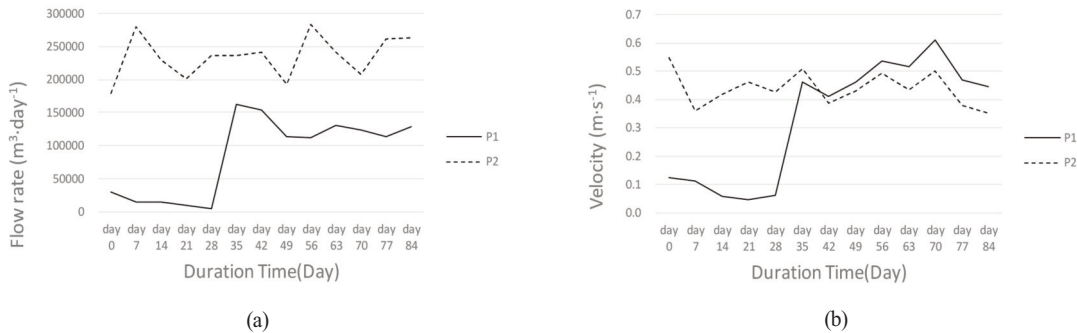


Figure 1. Hydrological characteristics of the investigation target (a : flow rate, b : velocity).

경우 다른 하천과의 합류로 인해 유량이 크게 증가하면서 방류량의 변화에 큰 영향을 받지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

P1과 P2에서의 수질 분석 결과는 Figure 2에 제시하였다. P1에서의 BOD와 TOC의 조사 결과 유량이 증가하는 6차 조사 시점부터 수중의 농도가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 유기물질의 함량이 적은 방류수의 대량 유입으로 인한 희석효과의 결과로 추측된다. 반면, P2에서의 BOD와 TOC의 조사 결과 전체 기간에서 큰 변동이 없었는데, 이는 방류수 이외에도 기타 오염원 및 유입 경로가 있음을 의미한다. T-N과 T-P는 P1과 P2의 모든 시점에서 시기별 증감 변화 패턴이 유사하게 나타났다. 이는 하천수에 비해 높은 방류수의 유입이 원인일 것으로 예상된다. Kim et al. (2005)에 따르면 일반 하천보다 사업장 방류수에서의 질소 및 인의 농도가 높다고 보고하고 있다. 하천 내 불소 함량은 P1 및 P2에서 모두 조사 초기에 비해 증가한 것으로 나타났다. P1에서는 방류수 유입량의 증가에 따라 불소 농도가 급격하게 증가한 것으로 추측되며, P2에서는 P1에서의 유량 증가로 인해 희석 효과가 작용하여 6차 조사 시점부터 불소 농도가 P1에 비해 낮아진 것으로 조사되었다.

2. 부착미생물 생장의 변화

P1에서의 AFDW 및 Chl-a 조사 결과, 모든 종류의 부착판에서 7주차까지는 증가하다 이후에는 감소하는 경향을 보였다(Figure 3). 이는 일정 시기에 도달하면 부착미생물군집이 더 이상 성장하지 못하고 탈리반응이 일어나는 것으로 보인다. 지속적인 성장을 나타낸 1차~7차 조사 시기동안 P1에서 부착미생물의 성장에 영향을 주는 환경요인으로는 유속 및 유량이 주요한 것으로 나타났다(Table 4). 이는 Park et al. (2005)의 연구 결과와 일치하는데, 유속 및 유량이 부착미생물군집의 형성에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다.

P2에서도 생장의 경향은 P1과 비슷한 것으로 나타났다(Figure 4). 한편, 지속적인 성장을 나타낸 1차~7차 조사 시기 동안 P2에서 부착미생물의 성장에 영향을 주는 환경요인으로는 T-N과 T-P인 것으로 나타났다(Table 5). Seon (2008)은 T-N 및 T-P는 주요한 영양물질로써 부착미생물군집 성장에 필요한 요인이라고 보고하였다. P1에서와 다르게 P2 지점에서는 유속 및 유량이 큰 변동 없이 일정하여 부착미생물군집의 성장에 주된 요인으로 작용하지 않은 것으로 사료된다. P1과 P2에서 부착미생물군집 성장에 영향을 주는 환경요인은 다르게 나타났는데, 이는 부

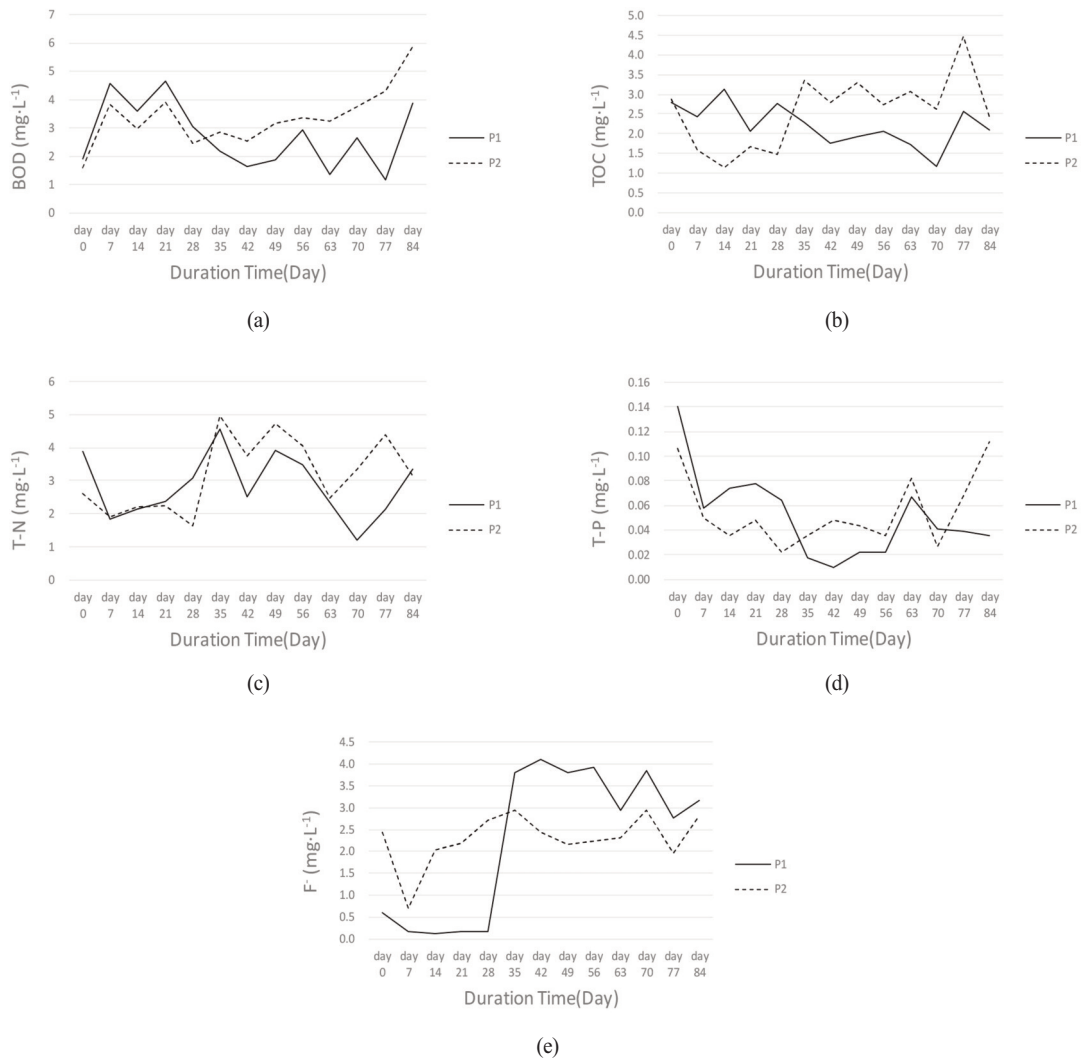


Figure 2. Temporal changes of water quality parameters (a : BOD, b : TOC, c : T-N, d : T-P, e : F-).

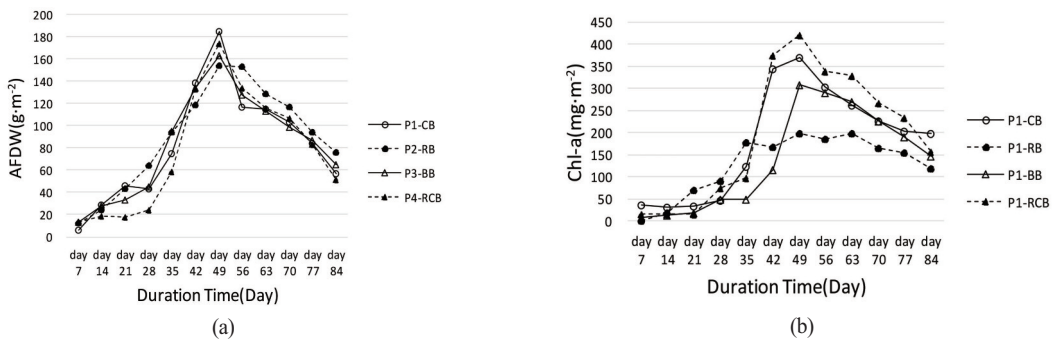


Figure 3. Temporal changes of ash-free dry weight (AFDW, a) and chlorophyll a (Chl-a, b) biomass for attached microbial community at the P1. In each graph, CB is concrete brick, RB is clay brick, BB is basalt brick and RCB is red clay brick.

Table 4. Pearson correlation coefficients between velocity, flow rate, BOD, TOC, T-N, T-P, ash-free dry weight(AFDW) and chlorophyll a(Chl-a) at the P1.

	Velocity	Flow rate	BOD	TOC	T-N	T-P	AFDW	Chl-a
Velocity	1	0.9660***	-0.8571***	-0.6462	0.7181***	-0.9691***	0.8468***	0.7440***
Flow rate		1	-0.8496***	-0.6246	0.6620	-0.9603***	0.7663***	0.6598
BOD			1	0.4054	-0.6619	0.8778***	-0.8493***	-0.7516***
TOC				1	-0.2590	0.6510	-0.6837	-0.6263
T-N					1	-0.6099	0.5713	0.4501
T-P						1	-0.8135***	-0.7285***
AFDW							1	0.9030***
Chl-a								1

*** Indicate significant correlation between parameters.

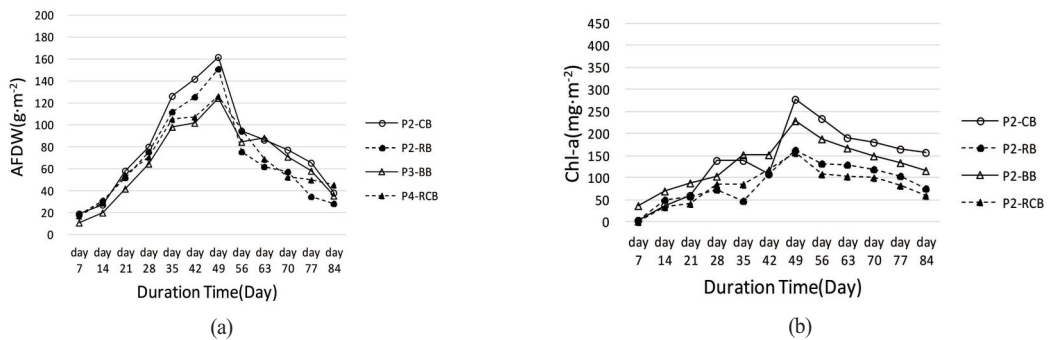


Figure 4. Temporal changes of ash-free dry weight(AFDW, a) and chlorophyll a(Chl-a, b) biomass for attached microbial community at the P2. In each graph, CB is concrete brick, RB is clay brick, BB is basalt brick and RCB is red clay brick.

Table 5. Pearson correlation coefficients between velocity, flow rate, BOD, TOC, T-N, T-P, ash-free dry weight(AFDW) and chlorophyll a(Chl-a) at the P2.

	Velocity	Flow rate	BOD	TOC	T-N	T-P	AFDW	Chl-a
Velocity	1	-0.5399	-0.0913	0.3937	0.4710	-0.3405	0.3486	0.2570
Flow rate		1	-0.0000	-0.2924	-0.3615	0.0452	-0.4748	-0.5782
BOD			1	-0.2586	-0.2598	0.6441	-0.4961	-0.3983
TOC				1	0.9660***	0.2113	-0.3982	0.6811
T-N					1	0.1843	0.8760***	0.6538
T-P						1	0.8244***	-0.0895
AFDW							1	0.8157***
Chl-a								1

*** Indicate significant correlation between parameters.

착미생물군집의 성장에 영향을 주는 요인은 일정하지 않기 때문에 서식 및 주변 환경에 의해 부착미생물 성장에 있어 차이가 발생할 수 있음을 의미한다.

3. 부착미생물군집의 불소 제거 효과

P1과 P2에서 부착미생물 내 불소 함량은 대략 7차

조사 시점까지 계속 증가하다 이후 감소하는 경향을 보인다(Figure 5). 1차~7차 조사 시기까지의 상관분석 결과 부착미생물 내 불소 함량은 부착미생물 성장량과 유의하게 양의 관계로 나타났다(Table 6). 이는 부착미생물이 성장하면서 불소를 체내로 흡수하는 것을 의미한다. Kim et al. (2013)에 따르면 부착미생

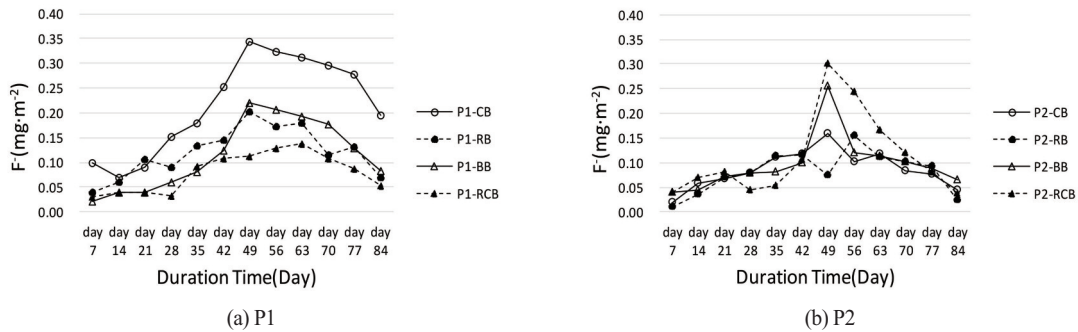


Figure 5. Temporal changes of fluoride uptake by the attached microbial community at the P1 and P2. In each graph, CB is concrete brick, RB is clay brick, BB is basalt brick and RCB is red clay brick.

Table 6. Pearson correlation coefficients between ash-free dry weight(AFDW), chlorophyll a(Chl-a) and fluoride in the body of the attached microbial community. The analysis was conducted with whole data obtained from the P1 and P2.

	AFDW	Chl-a	Fmicrobial
AFDW	1	0.8434***	0.7287***
Chl-a		1	0.7126***
Fmicrobial			1

*** Indicate significant correlation between parameters.

물균집은 체내로 오염물질(유기 오염물, 기타 무기 오염물)을 흡수하여 수질 개선 효과를 나타낼 수 있다고 보고되었다. 하지만 8차 조사부터는 부착미생물 체내 불소의 함량이 평균 0.209 mg/m²에서 0.072 mg/m²로 감소하였는데, 이는 부착미생물균집의 성장이 지속적으로 증가하지 못하고 부착판으로부터 탈리하기 때문으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 부착미생물균집의 성장에 따른 불소 제거 효과에 대한 평가를 진행하였다. 하상에 존재하는 부착미생물균집의 성장에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 탈리반응 등 성장의 변화 과정에 대해 확인하였다. 동시에 부착미생물균집을 활용하여 수체 내 불소 저감 효과에 대해 평가하였다.

방류수가 유입되는 지점에서는 유속 및 유량이 부착미생물균집의 성장에 영향을 미치는 주요한 요인이었던 반면, 하류 지점에서는 질소와 인 등 영양물질이 성장에 영향을 미치는 주된 요인이었다. 이를 통해 부착미생물균집의 성장에 영향을 주는 요인은

제한적이지 않으며, 서식 및 주변 환경에 의해 성장에 있어 차이가 발생하는 것으로 추측할 수 있었다.

본 연구를 바탕으로 부착미생물균집을 활용한 방법은 하천 내 낮은 농도의 오염물질 제거에 비용효과적인 방법으로 제안될 수 있다. 하지만, 부착미생물균집의 성장에는 유량, 유속, 수체 내 영양물질(질소, 인 등)의 다양한 요인이 존재하므로 해당 기법을 적용할 때에는 주변 환경에 대한 기초 조사가 필요한 것으로 판단된다. 또한 탈리반응의 발생으로 인해 지속적인 저감 효과를 얻을 수는 없으므로, 부착판의 적절한 교체 시기 등에 대한 기준을 설정할 필요가 있다. 한편, 부착판 종류에 따라라도 부착미생물균집의 성장 및 불소 제거 효율에 있어 차이가 나타날 수 있으나, 본 연구에서는 확실한 차이를 확인할 수 없었다. 이는 추가적인 후속 연구를 통해 규명되어야 하며, 이 또한 부착미생물균집을 하천 오염물질 제거에 활용할 때 고려해야 할 것이다.

사사

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비

지원(과제번호 18AWMP-B098640-04)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn TW, Choi IS, Oh JM. 2008. Effect of Attached Microorganism Community on Water Quality with the Conditions of Stream Environment. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*. 16(4): 55-62.
- An MK, Woo GN, Kim JH, Kang MW, Ryu HD, Lee SI. 2009. Optimum Condition for Fluoride Removal Prior to the Application of Struvite Crystallization in Treating Semiconductor Wastewater. *Journal of Korean Society of Water Quality*. 25(6): 916-921. [Korean Literature]
- APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard method for the examination of water and wastewater. 19th Ed. American Public Health Association, Washington D.
- Hill BH, Lazorchak JM, McCormick FH, Willingham WT. 1997. The effects of elevated metals on benthic community metabolism in a rocky mountain stream. *Environmental Pollution*. 95(2): 183-190.
- Kim CL, Oh JM. 2016. Effect of Particle Size of Sediment on Adsorption of Fluoride. *The Korean Society of Limnology*. 49(4): 289-295. [Korean Literature]
- Kim MK, Choi JS, Kim SJ, Kim HG. 2013. Improvement of Medium and Small Urban Stream Water Quality and Applicability of Design Factor Using Biological and Physicochemical Processing. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 35(7): 509-517. [Korean Literature]
- Kim YC, An IS, Kang MG. 2005. Survey of the Secondary Effluents from Municipal Wastewater Treatment Plants in Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 21(2): 158-168. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2013. Result of environmental effects.
- Ministry of Environment. 2017. Standard Method of Test Process of Water Pollution.
- Mosisch TD, Bunn SE. 1997. Temporal patterns of rainforest stream epilithic algae in relation to flow-related disturbance. *Aquatic Botany*. 58: 181-193.
- Park JY, Choi IS, Oh JM. 2005. Dynamics of Attached Microbial Community on the River with Gravel Riverbed. *Journal of Korea Water Resources Association*. 38(3): 235-244. [Korean Literature]
- Park KS, Hwang SJ, Kim HS, Kong DS, Shin JK. 2006. Factors to Affect the Growth of Filamentous Periphytic Algae in the Artificial Channels using Treated Wastewater. *Korean Society of Limnology*. 39(1): 100-109. [Korean Literature]
- Seon YH. 2008. A Study on the Removal of Organics and Nutrients in the Process Using Attached Biomass and Aquatic Floating Plants. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*. 23(4): 323-328. [Korean Literature]
- Vis C, Hudon C, Cattaneo A, Pinel-Alloul B. 1998. Periphyton as an indicator of water quality in the St Lawrence River(Quebec, Canada). *Environmental Pollution*. 101: 13-24.