

퇴적물 제거가 수질과 식물플랑크톤, 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향

윤석제 · 김현년 · 김용진 · 이은정[†] · 변명섭 · 이병천* · 이재관**

국립환경과학원 한강물환경연구소

*국립환경과학원 환경건강연구부

**국립환경과학원 물환경연구부

Effects of Sediment Removal on Water Quality, Phytoplankton Communities and Benthic Macroinvertebrate

Seok Jea Youn · Hun Nyun Kim · Yong Jin Kim · Eun Jeong Lee[†] · Myeong-Seop Byeon ·
Byoung-cheun Lee* · Jae-Kwan Lee**

Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

**Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research*

***Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research*

(Received 2 April 2018, Revised 6 May 2018, Accepted 24 May 2018)

Abstract

This study investigated the effects of sediment removal on water quality and phytoplankton development by setting up mesocosms at Uiam Lake, South Korea, and analyzing the environmental parameters and phytoplankton communities between June and October 2015. The comparison between testbed without sediment removal (TB-1) and testbed after sediment removal (TB-2) gave similar values for water temperature, pH, dissolved oxygen (DO), and electrical conductivity. Nevertheless, the average electrical conductivities of the two testbeds were 139 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$, which were lower than the value obtained from the external control point (TB-con; 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$). The small difference in total phosphorus (TP) and total nitrogen (TN) concentrations between the two testbeds implied that sediment removal did not greatly reduce nutrients; however, the phytoplankton cell count had decreased by approximately 37% in TB-2 (average 1,663 cells/mL) compared to TB-1 (average 2,625 cells/mL). Compared to TB-con, the phosphorus and nitrogen concentrations of the two testbeds had decreased by 39% and 30%, respectively, whereas the phytoplankton abundance had decreased by up to 73%, perhaps because of the blocked inflow of nutrients and the stabilized body of water caused by the installation of the mesocosm. The concentration of geosmin was lower in testbeds than in the external point, because installation of the structures had reduced the cyanobacteria biomass.

Key words : Geosmin, Mesocosm, Phytoplankton, Sediment removal, Water quality

1. Introduction

조류는 담수와 해수, 기수역 등에 다양한 분류군이 널리 분포되어 있으며, 종마다 생리·생태적 특징이 서로 상이하여 환경 요인에 따라 대량 발생할 가능성을 지니고 있다(Reynolds, 2006; Graham et al., 2009). 조류의 대량발생으로 인한 녹조현상은 심미적 불쾌감과 용존산소 고갈에 따른 어류 폐사와 남조류 발생에 따른 독소 및 이취미 물질 발생 등과 같은 문제를 일으킬 수 있다(Chorus and Bartram, 1999; Kim, Park et al., 2010; Park and Jheong, 2003; Watson et al., 2016). 조류를 제어하는 방법에는 조류가 발

생하기 전에 예방하는 방법과 발생 후 제거하는 방법이 있다. 강이나 호수에서 대량 발생한 조류를 직접적으로 제거하는 방법으로는 물리적·화학적·생물학적 방법이 사용되고 있다. 물리적인 방법은 수중 폭기, 초음파 파쇄 등이 있으며, 이 방법들은 2차오염이 적지만 효율이 낮고 광범위한 공간에 적용하기에는 비용적인 측면에서 한계점을 지니고 있다(Chorus and Bartram, 1999). 화학적 방법은 살조제 살포로 즉각적인 효과를 얻을 수 있지만 독성이 강하여 다른 생물에 영향을 미칠 가능성이 있고, 이 방법은 2차 부산물에 의한 부작용이 존재할 수 있다(NIER, 2013). 이러한 문제점을 인식하여 타감 작용(allelopathy)을 이용하거나 살조세균을 사용하는 생물학적 방법에 관한 연구가 이루어지고 있으나(Kim et al., 2004; Kim, Lee et al., 2010), 현장 적용의 어려움과 낮은 제어 효과로 인해 지속적인 연구가 필요한 실정이다. 조류 발생을 사전에 제어하고 예방하는 방법은 외부로부터 유입되는 오염원을 제어하거나 수조

[†] To whom correspondence should be addressed.
ejay@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

재배를 통해 수체 내의 영양염류의 농도를 감소시켜 조류의 성장을 억제하는 방법 등이 있다(Bormans et al., 2016; Park et al., 2018). 또한 퇴적물 제거는 퇴적물로부터 용출되는 영양염류 농도를 감소시키며, 퇴적물에 휴면상태로 존재하는 조류를 제거하여 수체에서의 조류 발생을 사전에 예방하는 효과가 있다(Bormans et al., 2016). 퇴적물 준설을 통해 수환경 영향을 예측 모의한 연구에서 퇴적물의 준설은 장기적인 측면에서 PCBs의 농도가 감소되며, 수질개선 효과를 얻을 수 있는 방법으로 제시되었다(Ahn et al., 2005). 그러나 수생태계 내 생물들과 환경인자들은 서로 유기적으로 결합되어 있기 때문에 퇴적물 제거 시에 조류뿐만 아니라 수질 및 퇴적물 내 다른 생물군집에 미치는 영향도 고려해야 한다.

본 연구에서는 호수나 저수지에서 발생하고 있는 조류를 제어하기 위해 휴면세포 및 포자를 함유한 퇴적물을 제거하여 조류 발생의 억제효과를 평가하고 퇴적물 제거 및 구조물의 설치가 수질, 식물플랑크톤 및 퇴적물 내 저서성대형 무척추동물에 미치는 영향을 파악하는데 목적을 두고 있다.

2. Materials and Methods

2.1 연구대상지역

의암호는 점오염원 및 비점오염원의 유입이 심하고 의암호 좌안(공지천 하류)에 위치한 하수처리장 방류수가 호 내로 유입되고 있어 수질이 악화되고 있는 실정이다(Lee, 2005). 의암호는 외부로부터 유입되는 오염물질을 관리하여 수질을 개선하려는 연구가 많이 진행되었으나 개선에 대한 효과는 크지 않았으며(Huh et al., 2004; Park et al., 2013), 녹조현상과 이취미에 의한 민원 발생이 빈번한 실정이다(Lee et al., 2016; You, et al., 2013). 메소코즘(mesocosm) 실험의 실험조(testbed) 설치 지점은 퇴적층이 충분하게 형성되어 있고 휴면포자가 풍부하게 분포하고(자료 미제공),

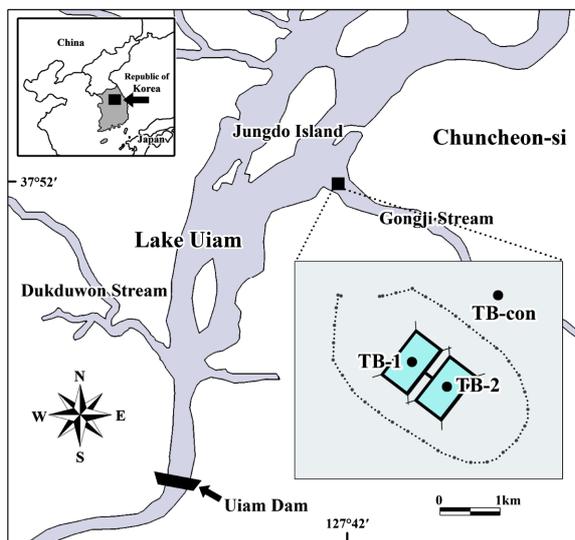


Fig. 1. Location of Lake Uiam and installation site of mesocosm.

조류발생 지역, 수심이 2~3 m로 낮아 설치가 용이한 지점을 고려하여 의암호와 합류되는 공지천 하류로 선정하였다(Fig. 1a).

2.2 조사 지점, 기간 및 실험 조건

조사 기간은 2015년 6월부터 10월까지였으며, 시료는 주 2회 채수하였다. 메소코즘 실험 조건은 퇴적물을 제거하지 않은 조건(TB-1)과 퇴적물 표층을 2~5 cm 제거한 조건(TB-2), 실험조 외부 지점(TB-con)을 추가로 조사하여 대조군으로 설정하였다(Fig. 1b).

2.3 실험조 구조 및 설치

메소코즘의 각 실험조는 연간 수위변동(약 1 m)에 따라 상하이동이 되도록 부이를 부착하여 제작하였으며, 상하이동이 원활하도록 설치하였다.

구조 및 형태는 1기당 육면체로서 가로 4 m, 세로 6 m, 높이 4.5 m로 운영하였으며, 내부로 조류유입 방지를 위해 4면을 조류차단막으로 감쌌다. 조류차단막은 나일론(400 μm)-플랑크톤네트(20 μm)-나일론(400 μm) 순으로 3중막으로 제작하였다. 차단막 하부는 수심 변동에 의해 차단막이 들려 외부 물질이 유입되지 않도록 예상된 변동 수위보다 길게 차수막을 설치하였다. 실험조 설치는 실험 조건에 따라 압축공기를 분사하여 퇴적물을 제거한 후 설치하였다.

2.4 채수 및 분석 방법

일반 수질항목인 수온, pH, DO (Dissolved Oxygen), 전기전도도는 다항목수질측정기(YSI, 6600, USA)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 영양염류, 이취미 물질과 식물플랑크톤 분석에 사용될 시료는 각 실험조 내부의 3곳을 설정하여 플라스틱 채수기(4L, Wildco, USA)로 수심 0.5 m에서 채수한 후 2L씩을 현장에서 균질하게 혼합하였다. 혼합된 시료는 4 °C로 암·냉보관하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 총질소(total nitrogen, TN), 용존성 총질소(dissolved total nitrogen, DTN)와 총인(total phosphorus, TP), 용존성 총인(dissolved total phosphorus, DTP)은 수질오염공정시험법에 따라 분석하였으며(ME, 2016), 이취미 물질(Geosmin)은 먹는물 수질감시항목 운영지침(ME, 2011)에 따라 GC/MS (Brunker, 450GC/320MS)를 이용하여 HS-SPME법으로 분석하였다.

2.5 식물플랑크톤 및 저서성대형무척추동물 분석

세 지점의 식물플랑크톤 분석용 시료는 Lugol's 용액으로 최종농도 2%가 되도록 첨가, 고정하였다. 식물플랑크톤의 종조성과 출현량을 조사하기 위하여 고정된 시료는 식물플랑크톤의 밀도에 따라 농축 또는 희석하였으며, 시료의 분석은 Sedgwick-Rafter counting chamber를 사용하여 위상차 현미경(Nikon, Eclipse 80i, Japan)으로 100~1,000 배로 동정 및 계수하였다.

퇴적층 제거에 따른 서식 생물군의 변화를 파악하기 위해서 저서성대형무척추동물을 분석하였으며, 채집은 퇴적물

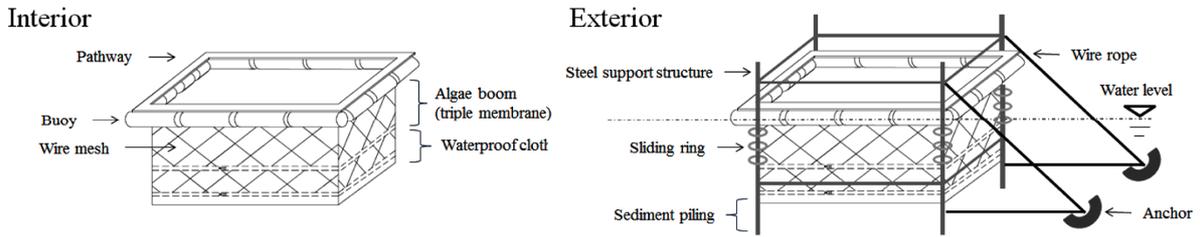


Fig. 2. Schematic diagram of testbed.

을 제거하기 전인 2015년 6월 1일과 퇴적물 제거 후 2015년 11월 2일에 실시하였다. 채집방법은 grab sampler를 사용하여 가로 25 cm, 세로 25 cm 두께 5 cm를 채집하였으며, 1 mm 체로 거른 후 현장에서 알코올로 최종농도가 95 % 용액이 되도록 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 고르기(sorting)하였으며, 80 % 알코올에 보존한 후 검정하였다.

3. Results and Discussion

3.1 메소코즘 내·외부 수질환경인자 변동양상

두 가지 조건의 실험조(TB-1; 퇴적층 미제거, TB-2; 표층 제거)와 실험조 외부(TB-con)에 대한 주요 이화학적 수질 변화는 Fig. 3에 나타났다. 실험기간 동안 평균 수온은 TB-1은 24.7 °C, TB-2는 24.7 °C, TB-con은 25.2 °C로 비슷하였으며, 최소 17.0 °C에서 최대 30.3 °C였다. 시기별 변화도 서로 유사한 변동을 보였으며, 실험시작부터 수온이 증가하기 시작하여 8월 중순에 가장 높고 이후 감소하는 경향을 나타내었다. pH는 실험기간 동안 평균이 8.5 ~ 8.6로서 실험조 간에 서로 유사하였다. 실험조의 평균 DO는 TB-1에서 10.5 mg/L, TB-2에서 11.1 mg/L로 실험군별로 서로 유사하였으며, 외부 지점인 TB-con도 11.8 mg/L로 실험조와 비슷한 값을 보였다. 평균 전기전도도는 TB-1이 139 μS/cm, TB-2는 135 μS/cm였으며, 외부지점인 TB-con은 154 μS/cm로 실험조보다 높은 값을 나타내었다(Fig. 3). 전기전도도는 수체 내에 이온의 농도에 좌우되며, 유입되는 하천이나 유입수에 영향을 받을 수 있다. 또한 전기전도도의 차이를 통해 수체의 특징을 간접적으로 파악할 수 있다 (An, 2001; Wetzel, 2001). 외부지점에 위치한 TB-con은 전기전도도가 높은 공지천과 춘천하수처리장 방류수의 영향

으로 전기전도도가 실험조보다 높았으며, 이로 인해 실험조 내·외부의 수질 특성이 다르다는 것을 간접적으로 판단할 수 있었다.

영양염류의 농도는 두 실험조 사이에서 차이가 적었으나, 외부지점은 상대적으로 높았다. 평균 TP 농도는 TB-1이 0.017 mg/L, TB-2는 0.017 mg/L이었고, TB-con은 공지천(6월 ~ 10월 평균 0.055 mg/L)의 영향으로 평균 농도가 0.028 mg/L로 내부보다 39 % 이상 높았다(Fig. 4). DTP의 농도는 실험조에서 평균이 각각 0.010 mg/L로 같았으며, 외부지점(TB-con)의 평균 농도도 0.011 mg/L로 실험조 지점과 유사하였다.

실험조의 TN 농도는 조사기간 평균이 TB-1, TB-2, TB-con에서 각각 1.797 mg/L, 1.681 mg/L, 2.563 mg/L로 외부가 내부보다 30 % 이상 높은 값을 나타내었다. DTN은 실험조 내부가 각각 평균 1.617, 1.826 mg/L로 외부 지점인 TB-con(2.459 mg/L)보다 낮은 농도를 보였다. 시기별 질소의 농도변화는 조사시작부터 8월 말까지 지속적인 감소를 보이다가 이후 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 용출 실험에서 수체 내 질소는 퇴적물의 흡착, 미생물이나 macroalgae의 소비 등의 이유로 감소할 수 있다고 알려져 있으며(Cho and Chung 2007; Dalsgaard, 2003; Wu et al., 2008), 습지와 같은 닫힌 수계에서 질소의 감소는 수생식물과 미생물 등에 의한 소비, 탈질화 등에 의해 발생할 수 있다(Son et al., 2009). 7월말부터 9월초까지 질소원이 감소한 본 연구도 차단막으로 막혀 있는 실험지로서 질소원이 퇴적물로 흡착되거나 부착조류, 수초 등의 생물에 의한 소비로 감소된 것으로 판단된다. 그러나 9월 이후 증가는 퇴적물에서 재용출이나 수초의 고사에 의한 질소원 증가와 유입원의 영향 및 유량의 희석도에 따른 영향을 원인으로 볼 수 있으나 정확한 원인에 대한 판단은 추가적인 조사가

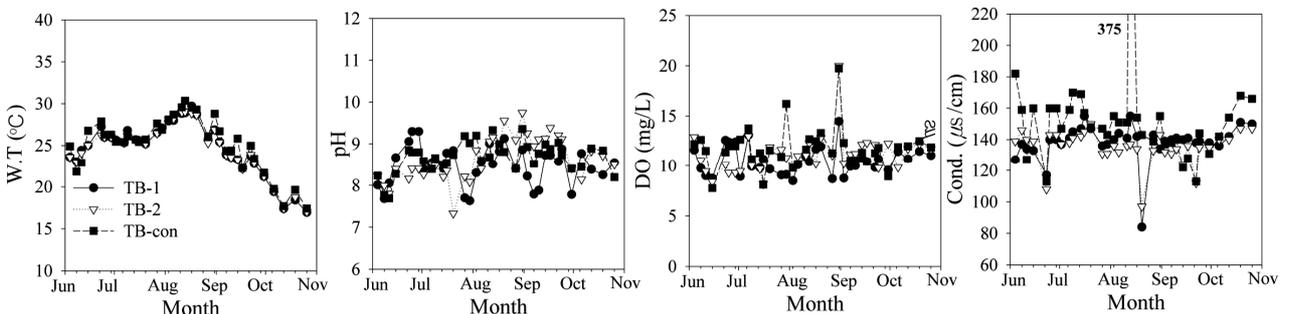


Fig. 3. Variations of physico-chemical factors for testbeds (TB-1, TB-2) and outside (TB-con).

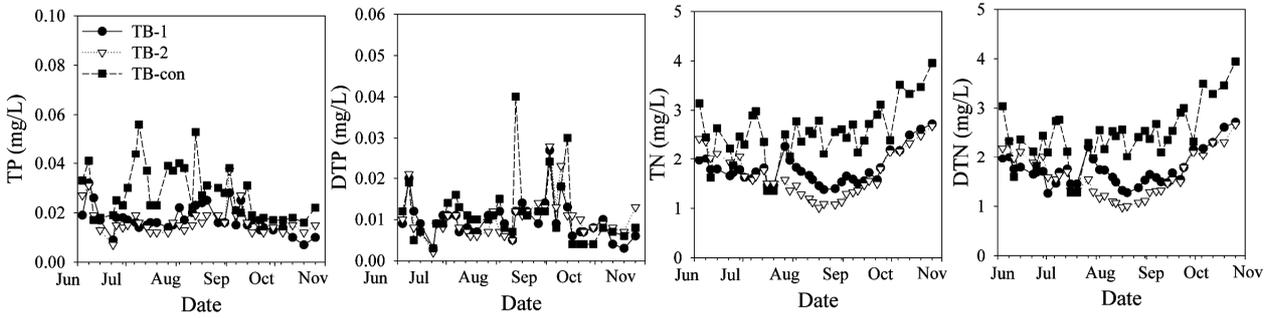


Fig. 4. Variations of nutrients (TP, DTP, TN, DTN) concentrations for testbeds (TB-1, TB-2) and outside (TB-con).

필요한 것으로 보인다.

3.2 메소코즘 내 · 외부 식물플랑크톤군집의 발생

TB-1의 식물플랑크톤 세포수는 369 ~ 12,256 cells/mL의 범위를였고 규조류는 전체 세포수의 약 38%, 녹조류는 47%의 상대출현빈도를 보였다. 6월초부터 *Mougeotia* 등의 녹조류가 증가하기 시작하였고 7월에는 일시적으로 규조류의 세포수가 많아졌다. 이후 다시 *Scenedesmus* 등의 녹조류가 증가하였으나 9월부터는 전반적으로 세포수가 감소하였다. TB-2는 502 ~ 4,742 cells/mL로 다른 지점에 비해 적은 세포수를 보였다. 분류군중 녹조류는 전체 세포수의 약 36%를 차지하여 가장 높은 상대출현 빈도를 나타내었다. 시기별 식물플랑크톤은 7월과 8월에 녹조류가 우점을 보였다. 외부 지점인 TB-con은 2,110 ~ 15,403 cells/mL로 실험조의 두 지점보다 많은 세포수를 보였으며, 분류군 중 규조류가 전체 세포수 중 45%를 차지하였다(Fig. 5). 실험조는 조류 차단막으로 쌓여있어 외부보다 수체의 움직임이 거의 없었다. 이로 인하여 실험조 내부 지점은 정체성 수역에서 출현하는 녹조류의 출현빈도가 높았다.

Anabaena, *Microcystis* 등의 남조류는 환경요인만 갖추어 진다면 퇴적층에 존재하는 휴면세포 및 포자들이 발아하여 증식할 수 있는 가능성을 지니고 있다. 그러나 남조류 평균 세포수는 TB-1에서 40 cells/mL가, TB-2는 155 cells/mL로 외부지점인 TB-con(평균 576 cells/mL)에 비해 세포수가 적었다. TB-con은 공지천 하류에 위치하고 있어 영양염류의 농도가 높고 남조류의 발생이 높았던 공지천의 영향을 크게 받아서 많은 세포수의 남조류가 조사되었던 반면에 차단막으로 쌓여있는 TB-1과 TB-2는 모두 발생량이 적었다. 퇴적물 제거 전 실험조 설치 지점에서 퇴적층

(깊이 0 ~ 10 cm)의 휴면포자는 14 cells/g이 존재하였다. 실험조 설치 직후인 6월에 TB-1에서는 휴면포자가 30 cells/g이 나타났으나 퇴적물을 제거한 TB-2에서는 3 cells/g으로 감소된 결과를 보였다(미발표자료). 남조류의 발아(germination) 및 발생(recruitment)이 일어날 6월 초에 차단막으로 쌓여있는 실험조는 수체의 혼합이 제한되어 있고 또한 외부에서 부유물질, 유기물 등이 유입되지 못하기 때문에 물속으로 투과된 빛에 대한 간섭이 적어 바닥까지 빛이 도달하였다. *Anabaena*의 발아율은 광량이 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상으로 증가하면 현저히 감소하는 것으로 보고되어 있다(HGWMC, 2015). 따라서 실험조 내부의 바닥층 광량이 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상 높은 상태가 유지되면서 *Anabaena* 등과 같은 남조류의 휴면포자 및 세포의 발아를 방해한 것으로 판단된다. 또한 퇴적물 제거 전보다 제거 후 휴면포자가 감소되어 남조류의 발생이 적었던 것으로 보인다.

실험기간 동안 실험조 내·외부에서 식물플랑크톤의 평균 세포수는 TB-1, TB-2, TB-con이 각각 2,625 cells/mL, 1,663 cells/mL, 6,177 cells/mL로 조사되어 퇴적물을 제거한 TB-2가 제거되지 않은 TB-1보다 37% 감소된 세포수를 보였다. 또한 실험조 외부 지점인 TB-con의 식물플랑크톤 세포수는 실험조보다 42 ~ 73%가 많았다(Fig. 5). 구조물로 폐쇄된 현장 실험지에서 수생식물의 형성은 식물플랑크톤 증식을 억제하는 경향이 있다(Song et al., 2013). 실험조 중 TB-1과 TB-2의 경우에 안정된 수체로 인해 수생식물들이 성장하였다. TB-2에서 수생식물은 식물플랑크톤의 성장이 활발히 일어날 시기인 7월부터 바닥면에 수생식물이 형성하여 필수 미량원소의 소비 및 빛의 차단 등으로 인해 TB-2의 식물플랑크톤 생물량이 TB-1보다 적었던 것으로 판단된다(Song et al., 2013). 또한 퇴적물 제거 전·후 휴면포자의

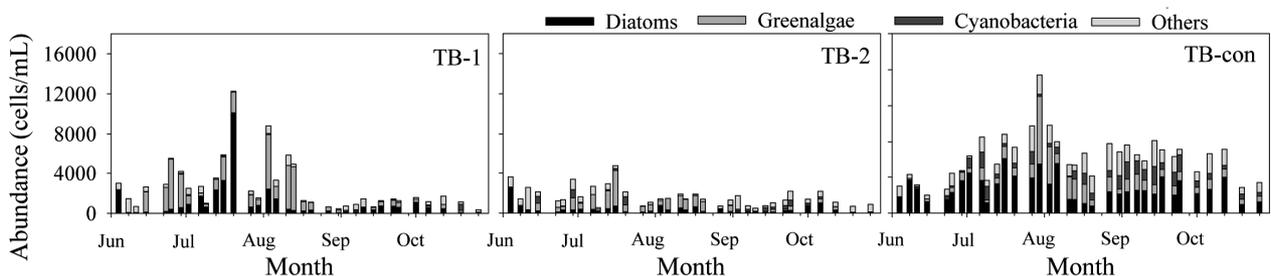


Fig. 5. Temporal variations of phytoplankton for testbeds (TB-1, TB-2) and outside (TB-con).

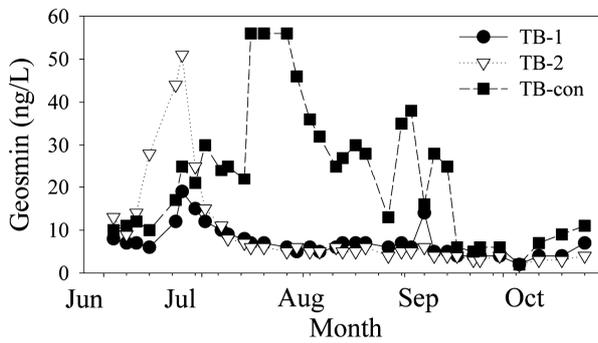


Fig. 6. Variations of geosmin concentrations for testbeds (TB-1, TB-2) and outside (TB-con).

수가 감소한 것으로 보아 퇴적물에 휴면상태로 존재하는 식물플랑크톤의 감소가 TB-1보다 적은 TB-2의 식물플랑크톤 생물량의 원인이 될 수도 있는 것으로 보인다. 구조물로 막힌 실험조는 내·외부가 차단되어 영양염류가 감소하였고, 이는 식물플랑크톤 증식의 억제로 이어져 실험조보다 외부에서 더 많은 식물플랑크톤이 발생하였다. 넓은 구역의 퇴적물 제거나 차단막 설치의 현장 적용에 문제점 발생할 수 있으나 식물플랑크톤 생물량의 감소효과가 있어 다른 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

3.3 메소코즘 내·외부의 이취미 물질 변동

Geosmin은 이취미를 유발하는 물질로서 남조류와 방선균 등에서 발생하며(Cane et al., 2006; Sugiura et al., 1998), 남조류의 세포수나 성장단계에 따라 농도가 다르게 발생한다(Kim et al., 2014). Geosmin 평균 농도는 TB-1와 TB-2, TB-con에서 각각 7 ng/L, 10 ng/L, 23 ng/L로서 외부지점이 가장 높았다. 실험조의 geosmin 농도는 6월부터 7월초까지 증가하여 TB-1에서는 최대 19 ng/L, TB-2는 최대 51 ng/L를 보였으나 이후 급격히 감소하여 7월 중순부터는 10 ng/L 이하의 낮은 농도를 유지하였다. 외부지점인 TB-con은 geosmin 농도가 지속적으로 증가하여 7월말에 최대 56 ng/L까지 증가한 후 9월 중순까지 20 ng/L 이상의 높은 농도를 보였다(Fig. 6). 실험조의 설치로 인한 안정화된 수체가 조류의 발생을 억제하여 geosmin 농도는 남조류의 발생량이 많은 외부에서 높고 실험조에서 낮은 것으로 판단된다.

3.4 퇴적층 제거 전·후 저서성대형무척추동물 군집 생물상

퇴적층 제거 전 채집한 시료에서 저서성대형무척추동물 군집 생물상은 환형동물문의 실지렁이 4.3 Ind./m², 절지동물문의 깔다구 72.2 Ind./m², 깔다구(붉은형) 0.5 Ind./m²로 총 77 Ind./m²이 출현하였으며, 단순하고 안정된 하상에서 높은 밀도로 출현하는 깔다구가 극우점을 보였다. 실험조 설치 후 5개월이 지난 시점에서 실험조 내·외부 지점의 퇴적물에서 관찰된 저서성대형무척추동물은 TB-1에서 주름다슬기 0.5 Ind./m², 재첩 2.2 Ind./m², 실지렁이 37.2 Ind./m², 동양하루살이 0.5 Ind./m², 깔다구 70 Ind./m², 별날도래 0.5

Table 1. List of benthic invertebrate before and after sediment removal at testbeds (TB-1, TB-2) and outside (TB-con)

	Before	After		
		TB-1	TB-2	TB-con
Phylum Mollusca				
Class Gastropoda				
Family Pleuroceridae				
<i>Semisulcospira forticosta</i>		0.5		
Class Bivalvia				
Order Veneroida				
Family Corbiculidae				
<i>Corbicula fluminea</i>		2.2		1.1
Phylum Annelida				
Class Oligocheata				
Order Archioliogocheata				
Family Tubificidae				
<i>Limnodrilus gotoi</i>	4.3	37.2	17.8	15.6
Phylum Arthropoda				
Class Insecta				
Order Ephemeroptera				
Family Ephemeridae				
<i>Ephemera orientalis</i>		0.5		
Order Diptera				
Family Chironomidae				
Chironomidae spp. (non-red type)	72.2	70	15.6	9.2
Chironomidae spp. (red type)	0.5			1.6
Order Trichoptera				
Family Ecnomidae				
<i>Ecnomus tenellus</i>		0.5		
Total	77.0	110.9	33.4	27.5

Ind./m²로 총 6종이 110.9 Ind./m²이었다. TB-2는 실지렁이 17.8 Ind./m², 깔다구 15.6 Ind./m²로 총 2종으로 33.4 Ind./m² 이었고, TB-con은 재첩 1.1 Ind./m², 실지렁이 15.6 Ind./m², 깔다구 9.2 Ind./m², 깔다구(붉은형) 1.6 Ind./m²로 총 4종에 27.5 Ind./m²이었다(Table 1). 저서성대형무척추동물은 퇴적물 깊은 곳(깊이 30 cm)까지 서식할 수 있기 때문에(Zhong et al. 2008) 퇴적물이 2~5 cm 제거된 TB-2에서는 완전히 제거되지 않은 것으로 보인다. TB-1과 TB-2는 차단막으로 인해 수체가 안정화되어 외부 지점인 TB-con보다 군집이 다양해지고 생물량이 증가한 것으로 판단된다. 다만 계절이 다른 시기에 1회 조사로 국한되어 현장의 모든 경우를 대변할 수는 없으나 퇴적물 제거가 깊이에 따라 저서성대형무척추동물 군집에 다르게 영향을 미칠 수 있으며, 실험조와 같은 구조물의 설치의 저서성무척추동물의 서식처에 안정을 주어 군집의 발달에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. Conclusion

퇴적물 제거에 따른 수질, 식물플랑크톤, 저서성대형무척추동물의 변화를 분석하기 위해 의암호 내에 실험조를 설치하고, 2015년 6월부터 10월까지 실험조들과 비교 대상인

외부 지점을 조사하였다.

(1) 퇴적물을 제거하지 않은 실험조(TB-1)와 퇴적물을 제거한 실험조(TB-2) 사이에서 수온, pH, DO, 전기전도도는 서로 유사한 값을 보였다. 그러나 실험조 내부와 외부 지점(TB-con)의 전기전도도는 약 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 차이로 외부가 높게 나타나므로 내·외부에 존재하는 물질의 차이가 존재하는 것으로 보인다.

(2) TB-1과 TB-2는 총인과 총질소 농도 차이가 적어 퇴적물 제거에 의한 영양염류 농도의 감소효과는 높지 않았으나, 식물플랑크톤은 TB-2가 TB-1보다 약 37% 감소된 세포수를 보여 퇴적물 제거에 의해 식물플랑크톤 생물량이 감소될 수도 있는 것으로 판단되었다.

(3) 차단막 설치로 인해 외부 영양염류의 유입차단과 수체의 혼합이 제한되어 실험조들은 외부 지점에 비해 인의 경우 약 39%, 질소는 약 30%가 감소하였으며, 식물플랑크톤은 외부보다 최대 73% 감소하였다. 또한 차단막에 의한 영양염류 감소, 바닥까지 투과된 빛은 실험조에서 식물플랑크톤의 발생과 성장을 억제한 것으로 보이며, 차단막설치에 따른 조류저감 효과가 유효할 수도 있는 것으로 판단된다.

(4) 이취미(geosmin) 물질은 퇴적물 제거 및 차단막설치에 따른 식물플랑크톤 생물량의 감소에 영향을 받아 저감될 수도 있다. 퇴적물 제거 깊이에 따라 저서성무척추동물에 미치는 영향이 다를 수 있으며, 실험조 설치 후 서식처가 안정되어 저서성무척추동물은 설치전보다 개체수가 증가할 가능성이 있었다.

Acknowledgement

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2016-01-01-053).

References

- Ahn, J. H., Kim, M. K., Lee, M. K., and Hwang, B. G. (2005). Modeling for Prediction of Water Quality According to Dredging Operation, *Korean Society of Environmental Engineers*, 27(11), 1228-1237. [Korean Literature]
- An, K. G. (2001). Hydrological Significance on Interannual Variability of Cations, Anions, and Conductivity in a Large Reservoir Ecosystem, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 34(1), 1-8.
- Bormans, M., Maršálek, B., and Jančula, D. (2016). Controlling Internal Phosphorus Loading in Lakes by Physical Methods to Reduce Cyanobacterial Blooms: A Review, *Aquatic Ecology*, 50(3), 407-422.
- Cane, D. E., He, X., Kobayashi, S., Ōmura, S., and Ikeda, H. (2006). Geosmin Biosynthesis in *Streptomyces avermitilis* Molecular Cloning, Expression, and Mechanistic Study of the Germacradienol/geosmin Synthase, *The Journal of Antibiotics*, 59(8), 471-479.
- Cho, Y. C. and Chung, S. W. (2007). Sediment Release Rate of Nutrients from Namyang Reservoir, *Environmental Engineering Research*, 29(12), 1345-1354. [Korean Literature]
- Chorus, I. and Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water-a Guide to their Public Health Consequences Monitoring and Management*, E & FN Spon, New York.
- Dalsgaard, T. (2003). Benthic Primary Production and Nutrient Cycling in Sediments with Benthic Microalgae and Transient Accumulation of Macroalgae, *Limnology and Oceanography*, 48(6), 2138 - 2150.
- Graham, L. E., Graham, J. M. and Wilcox, L. W. (2009). *Algae*, 2nd edition, Benjamin Cumming, New York.
- Han Gang Watershed Management Committee (HGWMC). (2015). *Investigation of Causes of Off-flavor Material Production by Harmful Algae and Management Strategy(II)*, Han River Environment Research Center. [Korean Literature]
- Huh, I. R., Lee, G. H., Ham, K. J., Choi, J. Y., and Jeong, U. H. (2004). The Study on Decline Plan of Primary Production Organic Matter of Uiam Lake Basin, *Journal of Environmental Health Sciences*, 30(1), 50-58. [Korean Literature]
- Kim, B. H., Kang, Y. H., and Han, M. S. (2004). Potential in the Application for Biological Control of Winter Diatom Bloom Caused by *Stephanodiscus hantzschii*, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 37(2), 236-240. [Korean Literature]
- Kim, B. H., Lee, J. H., Kim, K. H., Yu, Y. H., and Hwang, S. J. (2010). Algal Growth Inhibition Activity of Domestic Plants and Minerals Using Simple Extraction Method, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 43(2), 221-231. [Korean Literature]
- Kim, H. B., Park, H. K., Shin, K. D., and Moon, J. S. (2010). The Characteristics of Toxin Production in the Korean Toxic Cyanobacteria, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(5), 834-840. [Korean Literature]
- Kim, K. H., Lim, B. J., You, K. A., Park, M. H., Park, J. H., Kim, B. H., and Hwang, S. J. (2014). Identification and Analysis of Geosmin Production Potential of *Anabaena* Stain Isolated from North Han River using Genetic Methods, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 47(4), 342-349. [Korean Literature]
- Lee, G. H. (2005). *Study of Primary Production Prediction and Control for Water Quality Management in Lake Uiam*, Ph. D. Thesis, Kangwon National University. [Korean Literature]
- Lee, S. J., Lim, B. C., Lee, G. H., Jeong, W. G., Hur, B. N., and Hur, I. R. (2016). Long Term Monitoring for the Control of Cyanobacterial Blooms in Lake Uiam, *Journal Korean Society for Environmental Analysis*, 19(2), 109-118. [Korean Literature]
- Ministry of environment (ME). (2011). *Drinking Water Quality Monitoring Guideline*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2016). *Standard Method for the Examination of Water Pollution*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2013). *A Study of Aquatic Toxicity Associated with the Water-treatment for Algal Removal*, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]

- Park, H. K., Byeon, M. S., Choi, M. J., Yun, S. H., Jeon, N. H., You, K. A., and Lee, H. J. (2018). Water Quality Improvement through the Interaction of Biotic and Abiotic Variables within the Rhizospheric Zone of an Artificial Floating Vegetation Island, *Journal of Freshwater Ecology*, 33(1), 57-72.
- Park, H. K. and Jheong, W. H. (2003). Long-term Changes of Algal Growth in Lake Paldang, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 19(6), 673-684. [Korean Literature]
- Park S. W., Lee, H. W., Lee, Y. S., and Park, S. S. (2013). A Hydrodynamic Modeling Study to Analyze the Water Plume and Mixing Pattern of the Lake Euam, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 46(4), 488-498. [Korean Literature]
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Son, J. W., Yoon, C. G., Kim, H. C., and Haam, J. H. (2009). Analysis of the Phosphate Movement Using the Mesocosm in the Wetland, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 42(1), 1-8. [Korean Literature]
- Song, M. A., Kong, D. S., and Lee, O. M. (2013). Effect of Algal Bloom Control using the Mesocosms Installed with Zooplankton, Fishes, Aquatic Macrophytes and Artificial Marshy Land in Kyungan Stream, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(5), 641-647. [Korean Literature]
- Sugiura, N., Iwami, N., Inamori, Y., Nishimura, O., and Sudo, R. (1998). Significance of Attached Cyanobacteria Relevant to the Occurrence of Musty Odor in Lake Kasumigaura, *Water Research*, 32(12), 3549-3554.
- Watson, S. B., Monis, P., Baker, P., and Giglio, S. (2016). Biochemistry and Genetics of Taste- and Odor-producing Cyanobacteria, *Harmful Algae*, 54, 112-127.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems(third edition)*, Academic press, San Diego.
- Wu, Q., Zhang, R., Huang, S., and Zhang, H. (2008). Effects of Bacteria on Nitrogen and Phosphorus Release from River Sediment, *Journal of Environmental Sciences*, 20(4), 404-412.
- You, K. A., Byeon, M. S., Youn, S. J., Hwang, S. J., and Rhew, D. H. (2013). Growth Characteristics of Blue-green Algae (*Anabaena spiroides*) Causing Tastes and Odors in the North-Han River, Korea, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 46(1), 135-144. [Korean Literature]
- Zhong, J., You, B., Fan, C., Li, B., Zhang, L., and Ding, S. (2008). Influence of Sediment Dredging on Chemical Forms and Release of Phosphorus, *Pedosphere*, 18(1), 34-44.