

ORIGINAL ARTICLE

## 주암호 용수 유입에 의한 영산강 지류 광주천의 수질 및 식물플랑크톤 변화

정병관 · 김세희<sup>1)</sup> · 신용식<sup>1)</sup>\*

국립공원연구원 해양연구센터, <sup>1)</sup>목포해양대학교 해양시스템공학과

### Change in Water Quality and Phytoplankton of Gwangju Stream due to Water Input from Lake Juam

Byungkwan Jeong, Sehee Kim<sup>1)</sup>, Yongsik Shin<sup>1)</sup>\*

Ocean Research Center, National Park Research Institute, Yeosu 59723, Korea

<sup>1)</sup>Department of Environmental Engineering & Biotechnology, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

#### Abstract

The Gwangju Stream is a major tributary of the Yeongsan River. To maintain environmental and ecological functions in the stream, the flow is secured by natural water from the Mudeung Mountain as well as waters discharged from Lake Juam and the Gwangju sewage treatment plants. A substantial amount of water is supplied into the upper reaches of Gwangju Stream from Lake Juam. To examine the ecological effects of the water input from Lake Juam on the Gwangju Stream, a field survey of phytoplankton community species and an evaluation of water properties was conducted at five stations, from station GJ1 before the inflow to station GJ5 in the lower region. Nutrient levels decreased in the vicinity of the Lake Juam inflow, suggesting that this water inflow can contribute to the reduction of eutrophication in the stream. The phytoplankton community was mainly composed of Bacillariophyceae, Chlorophyceae, and Cyanophyceae, and the community structure was similar to that of the other study sites located near the water inflow regions. The inflow of water from Lake Juam can affect water quality and the phytoplankton community over a limited area, reducing eutrophication and increasing water flow in the Gwangju Stream.

**Key words** : Yeongsan River, Gwangju Stream, Lake Juam, Water Quality, Phytoplankton

#### 1. 서론

영산강은 우리나라 5대강 중 하나로 한반도 남서부 전라남도 북도에 위치하며, 추월산 자락인 가마골 용소에서 발원하여 남쪽으로 유하하다 서해로 유입된다. 이러한 영산강은 호남의 젓줄이라 불리며 하천으로서 정화, 완

충 등의 자연적 기능 외에도 생활, 농업, 공업 등 각종 용수를 제공하는 기능을 하고 있다. 그러나 1973년부터 시작된 영산강 유역 개발사업에 따라 1981년에는 영산강 방조제, 2011년에는 승촌보, 죽산보가 건설되면서 하천 환경의 변화를 초래하였다. 인공구조물 건설 이후 영산강에서는 수체의 흐름이 정체되면서 체류시간이 증가

Received 20 April, 2022; Revised 23 May, 2022;

Accepted 24 May, 2022

\*Corresponding author: Yongsik Shin, Division of Ocean System Engineering, Mokpo Maritime National University, Mokpo 58628, Korea

Phone : +82-61-240-7312

E-mail : yongsik@mmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

하였고, 이에 따라 유기물 증가와 부영양화 및 조류 대발생 등으로 인한 수질악화가 진행되었다(Lee et al., 2009; Sin and Lee 2020). 특히 광주광역시를 중심으로 인구가 밀집되어 있는 상류권역에서 농업활동이나 도시에서 배출되는 생활 하폐수는 이러한 하천환경의 변화를 가속화하고 있는 실정이다.

영산강의 제 1지류인 광주천은 무등산 용추계곡에서 발원하여 광주광역시의 시가지를 관류하고, 중심사천, 동계천, 서방천, 극락천 등이 합류한다. 유역면적은 106.47 km<sup>2</sup>이며 유로연장은 22.8 km, 하천연장 12.0 km, 집수구역 면적은 69.0 km<sup>2</sup>로, 영산강 전체 유역(유역면적 3,455.0 km<sup>2</sup>, 유로연장 129.5 km)의 약 3%를 점유하고 있다(Gwangju, 2000; Gwangju Jeonnam Research Institute, 2010). 1960~70년대 광주천과 그 지류를 따라 녹지 및 천변공원이 조성되었으나 인구증가와 도시화로 주요 하천 및 지류가 복개되어 상가, 도로 등으로 토지이용이 전환되었다. 이로 인해 복개된 하천과 저수지(유안저수지, 조봉저수지, 송정저수지 등)는 일부 폐천 및 소멸되어 수계의 연속성이 단절되고 수면적이 축소되었다. 또한, 무등산 인근 개천들은 대부분 복개되어 합류식 하수관거로 변모하였고 유출량이 현저하게 감소하여 광주천의 건천화와 수질악화는 가속화되었다. 특히 갈수기에는 하천에 흐르는 유량이 부족하여 흐름이 거의 발생하지 않으며 흐르지 못한 물의 부패로 악취가 발생하고 모기 해충이 발생되는 등 많은 문제가 발생하였다. 이에 1990~2000년대에는 광주천 건천화 방지사업, 광주천 자연형 하천정비사업, 광주천 하천정비 기본계획(재정비), 광주천 자연환경 정비사업, 광주천 자연환경 복원사업, 광주천정비 종합기본계획이 시행되었으며, 2005년부터 시행된 광주천 자연형 하천정화사업은 유량을 늘리기 위해 하천유지용수 추가 확보, 자연형 하천정비, 하천공간 및 생태 조성 등이 진행되었다(Park, 2006).

국내의 도시하천(경기도 안양천, 대구광역시 신천, 서울특별시 양재천, 인천광역시 굴포천 등)에서도 하천유지용량 확보와 친수환경기능의 강화, 하천 생태계 복원을 위한 연구사업이 시행되었다. 특히 하천유지용수는 환경과 생태적 기능유지를 관리하는데 필요한 최소한의 유량이 요구되며(Kang, 2010; Kim and Chung, 2014), 이를 확보하기 위해 외부 또는 하류의 물을 끌어와 통수하거나 하수처리장 방류수 및 유출지하수를 하천에 공급

하는 등 다양한 방법이 동원되고 있다(Bischel et al., 2013). 광주천은 평시 약 153,000 m<sup>3</sup>/일의 하천 유량이 유지되고 있다(Ko and Chung, 2021). 광주천의 유지용수는 광주천 발원지 샘골에서 나오는 자연수와 영산강 어등대교 하부 취수원, 광주하수처리장 최종방류수, 주암환경용수 등을 통해 공급된다. 그 중에서 주암호 용수는 2012년 5월 준공 이후 평시 공급용량이 32,000 m<sup>3</sup>/일, 최대 공급용량이 100,000 m<sup>3</sup>/일로 설정되어 상당한 양의 용수가 광주천 상류에 공급되고 있다. 영산강의 제 1지류인 광주천은 영산강 본류 수질에 영향을 미칠 수 있는 중요한 하천이지만 타 수계의 주암호 용수가 공급된 이후에 이들 용수가 광주천의 수질과 생태계에 미치는 영향은 전혀 알려지지 않았다.

수 환경에서 식물플랑크톤은 유기물 및 산소 공급이라는 순역할을 담당하지만(Cloern and Jassby, 2012), 반대로 식물플랑크톤 혹은 조류 대발생은 공중위생상의 문제(이취미, 조류독소, 정수처리문제 등)를 야기할 수 있다. 이들 식물플랑크톤의 종 조성 및 군집은 서식 환경의 시·공간적 변화에 따라 다르게 나타나는데 그 이유는 수온, 영양염, 광량 등 환경인자들의 영향을 받기 때문이다(Lee and Boo, 1998; Chung et al., 2000). 특히 일부 종들은 부영양화나 인위적 환경 변화에 대한 지표종으로 이용되기도 한다 (Nayar et al., 2005; Alvarez-Gongora and Herrera-Silveira, 2006; Bode et al., 2017). 따라서 본 연구에서는 상시로 유입되는 주암호 용수가 광주천에 미치는 생태적 영향을 파악하기 위해 2014년 5월과 9월에 용수 유입구를 중심으로 5개 정점을 선정하여 광주천의 수계 환경, 식물플랑크톤 종 조성 및 군집에 대한 현장조사를 실시하였다. 이를 통해 광주천의 수생태계를 이해하고 관리하는데 필요한 자료를 확보하고, 나아가 타 수계 용수를 이용하는 국내 하천 관리에 활용할 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 현장조사

광주천으로 상시 유입되는 주암호 용수에 대한 생태적 영향을 파악하기 위해 용수 유입위치를 중심으로 5개 정점(주암호 용수 유입 전(GJ1), 주암호 용수 방류구(GJ2), 유입 합류정점(GJ3), 유입 후(GJ4, GJ5))을 선정

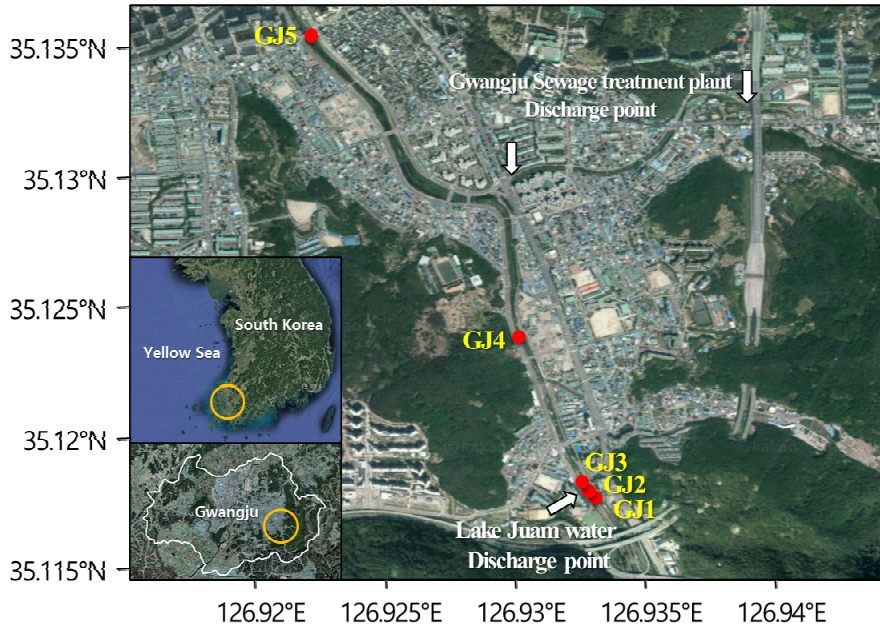


Fig. 1. Sampling stations in the Gwangju Stream.

하여 환경조사를 2회(2014년 5월 16일, 9월 23일) 실시 하였다(Fig. 1).

## 2.2. 분석방법

### 2.2.1. 환경인자

물리·화학적 환경인자인 수온, 용존산소, 수소이온농도, 탁도는 CTD (YSI-6600V2)를 이용하여 측정하였다. 영양염( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , DSi)은 유리섬유 여과지(GF/F filter, pore size 0.7  $\mu\text{m}$ , whatman®)로 여과된 이중시료(duplicate sample)를 준비하고, Parsons et al.(1984)에 준하여 Auto-analyzer (QuAAtro, SEAL Analytical®)로 측정하였다. 강수량 자료는 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)에 공개된 자료를 활용하였고, 광주천의 유지용수 공급요소 및 현황은 광주광역시청에서 제공된 자료를 사용하였다.

### 2.2.2. 식물플랑크톤

#### 가) 식물플랑크톤 생체량(chlorophyll-a)

식물플랑크톤 생체량은 채수된 시료의 일정량을 유리섬유여과지(pore size 0.7  $\mu\text{m}$ , 직경 25mm, Whatman®)로 여과한 후, 여과에 사용된 이중시료의 여과지를 추출

용액인 90% 아세톤 8 mL가 담긴 차광 시험관에 넣고 12시간이 지난 후 24시간 내로 Turner Designs® 10-AU Fluorometer를 사용하여 측정하였다. Chlorophyll-a의 산출 방법은 다음과 같다.

$$\text{Chlorophyll-a } (\mu\text{g/L}) = \text{Ra} \left( \frac{V_e}{V_f} \right)$$

Ra = Fluorometer 측정값( $\mu\text{g/L}$ )

$V_e$  = 아세톤의 부피(mL)

$V_f$  = 여과된 시수의 샘플 부피(mL)

#### 나) 식물플랑크톤 동정 및 군집 분석

식물플랑크톤의 계수 및 동정을 위해 일정량의 시료를 400~1,500 배율의 광학현미경 하에서 관찰하였다. 정량 분석을 위한 시료의 채집은 1 L용 폴리에틸렌병으로 수심 30 cm에서 채집하였으며, 채집 즉시 Lugol 용액 혹은 Glutaraldehyde (최종농도는 1%가 되게 함)로 고정하였다. 고정된 시료는 침전법에 의해 침전시킨 후 사이펀(Siphon)으로 상등액을 제거하여 30~100 mL로 농축시킨 다음 농축된 시료 2 mL를 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣어 계수하였다. 계수는 최소한

Table 1. Precipitation records during 5 days before the sampling date (D-Day)

Samling Date	Precipitation (mm)						Total
	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D-Day	
2014.05.16	27	8	-	3	-	-	38
2014.09.23	-	-	-	-	-	-	-

chamber의 100칸 이상 계수하여 현존량으로 산출하였다. 종의 동정은 녹조류는 Komarek and Fott(1983), Prescott et al.(1981), Yamagish and Akiyama(1984), 남조류는 Yamagish and Akiyama(1984), Komarek and Anagnostidis(2005), 규조류는 Krammer and Lange-Bertalot(1986, 1988, 1991a, 1991b) 등을 참조하였다. 식물플랑크톤 현존량은 단위 부피당(cells/mL)의 값으로 환산하였다. 생태지수 분석은 조사 정점에 출현한 모든 종을 기준으로 종수(S), 출현 개체수(N), 풍부도지수(Margalef index; d), 균등도지수(Pielou index; J'), 다양성지수(Shannon Weiner index; H'(loge)), 우점도지수(Simpson index;  $\lambda'$ )를 계산하였으며, 각 지수는 다음식에 의해 산출하였고(Simpson, 1949; Margalef, 1958; Whittaker, 1972; Ludwig and Reynolds, 1988), Primer 6를 이용하여 분석하였다. 또한, 식물플랑크톤 군집간의 유사성을 파악하기 위해 다변량 통계분석 기법인 nMDS (non-Metric Multidimensional Scaling) 분석을 실시하였다. 물리·화학적 환경인자들의 영향 벡터(Vectors)를 nMDS 결과 위에 도시하였고 여기서 벡터의 길이는 환경인자와 식물플랑크톤 군집의 상관성 크기를 나타낸다. 모든 통계분석에 사용되는 데이터는  $\log(X+1)$ 로 변환하여 사용하였다.

$$\text{Margalef index} : d = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

$$\text{Pielou index} : J' = \frac{H'}{\ln(S)}$$

$$\text{Shannon Weiner index} : H'(\text{loge}) = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i)$$

$$\text{Simpson index} : \lambda' = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

$P_i$  :  $i$ 번째 종의 점유율

$S$  : 출현종수

$N$  : 총 개체수

$N_i$  :  $i$ 번째 개체

#### 다) 상관분석

환경인자(수온, 용존산소, 수소이온농도, 탁도), 영양염( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , DSi), 식물플랑크톤(생체량, 현존량, 출현종수)과 생태지수(풍부도, 균등도, 다양도, 우점도)의 연관성을 파악하기 위해 SPSS 26.0을 이용하여 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 강수량은 현장조사 전 5일 동안의 양을 합한 누적량을 사용하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 강수 및 수질환경 변화

2014년 5월과 9월의 현장조사일을 포함한 5일간의 총 강수량은 각각 38 mm, 0 mm이었다(Table 1). 5월에는 강수량이 크진 않았으나 조사 2일 전에 강우가 발생한 것으로 확인되었다.

수온은 5월에 11.33~21.23 (16.38±4.45)°C의 범위를 보였다(Fig. 2A). 용수 유입구 전에 위치하는 GJ1 정점에서 21.23°C로 상대적으로 높은 값을 보이다 용수 방류구 GJ2 정점과 합류지점인 GJ3 정점에서 11.33~12.17°C로 급격하게 감소하였으며, GJ4 정점부터 17.45~19.75°C로 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 9월 조사에는 5월과 달리 22.09~23.28 (22.41±0.50)°C의 분포로, 정점별 뚜렷한 변동을 보이지 않았다. 용존산소는 5월과 9월 각각 6.83~9.81 (8.05±1.31) mg/L, 6.16~8.45 (7.51±1.05) mg/L의 농도를 나타냈다(Fig. 2B). 정점별 분포를 살펴보면, GJ2 정점과 GJ3 정점에서 5월에 9.02~9.81 mg/L로 증가, 9월에 6.16~6.65 mg/L 감소하며 일시적인 변동을 보이다 GJ4 정점부터 점차 주암호 용수가 유입되기 전의 농도로 회복되는 추세를 나타냈다. pH는 5월에 6.76~6.91 (6.83±0.07), 9월에 7.30~7.84 (7.45±0.23)의

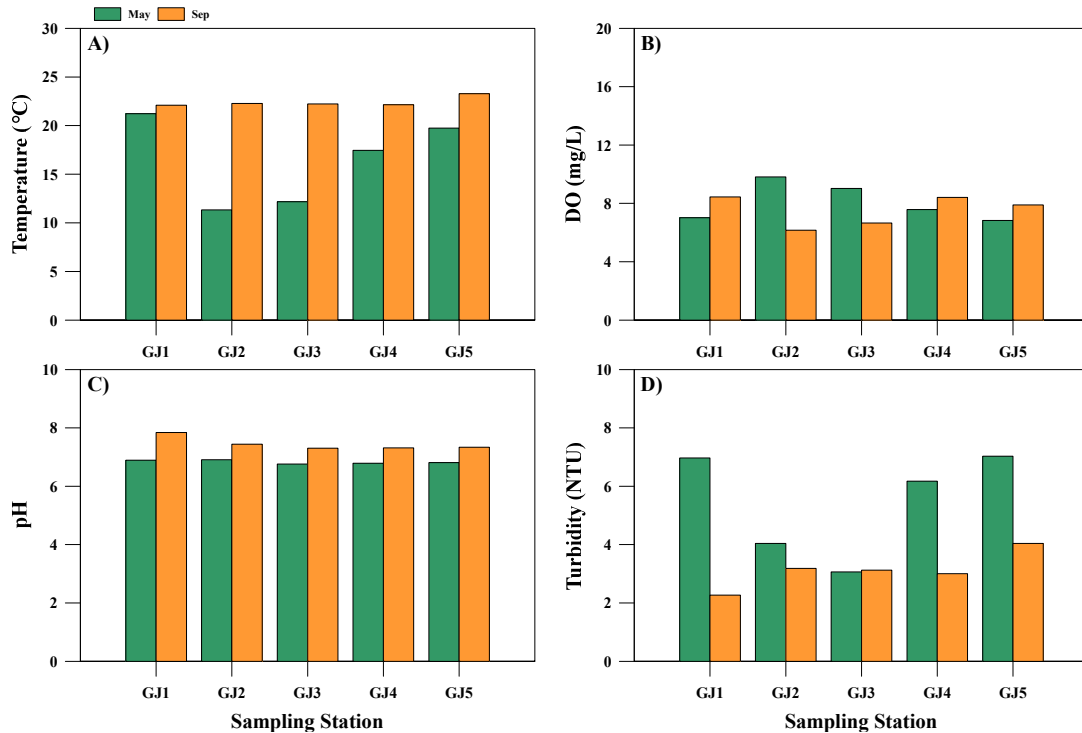


Fig. 2. Spatial variations of the water properties including water temperature (A), dissolved oxygen (DO; B), pH (C) and turbidity (D) in May and September.

분포를 보였다(Fig. 2C). 정점별로 뚜렷한 변동을 보이지 않았으나 전반적으로 9월에 높은 분포를 나타냈다. 탁도는 5월에 3.06~7.07 (5.46±1.80) NTU, 9월에 2.27~4.04 (3.13±0.63) NTU의 분포를 보였다(Fig. 2D). 5월에는 주암호 용수가 유입되면서 합류되는 GJ2정점과 GJ3정점에서 3.06~4.04 NTU로 낮게 나타났으며, 주암호 용수 유입구 전·후인 GJ1, GJ5정점에서 6.97~7.03 NTU의 상대적으로 높은 분포를 보였다. 9월에는 공간적인 변동은 유사하였으나 전반적으로 5월보다 낮은 경향을 나타냈다.

영양염 중 NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>는 5월과 9월에 각각 40.94~110.67 (74.93±32.39) μM, 33.26~117.95 (75.75±34.52) μM의 범위를 보였다(Fig. 3A). 2회 조사 기간 동안 주암호 용수 유입 전·후에 위치한 GJ1, GJ5정점에서 96.11~117.95 μM로 가장 높은 분포를 나타냈으며, 방류구와 합류지점인 GJ2정점과 GJ3정점에서 33.26~59.42 μM로 가장 낮은 분포를 보였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 5월과 9

월에 각각 3.07~40.58 (13.10±15.71) μM, 88.39~296.67 (201.41±93.60) μM의 범위를 나타냈다(Fig. 3B). 2회 조사 기간 동안 GJ2정점과 GJ3정점에서 2.64~3.60 μM로 가장 낮은 분포를 보였으며 NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>와 유사한 경향을 나타냈다. 정점별 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 분포를 살펴보면, GJ1정점에서 9월에 40.58 μM, GJ5정점에서 5월에 34.87 μM의 높은 농도를 보였다. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 5월과 9월에 각각 0.01~0.90 (0.39±0.37) μM, 0.01~0.76 (0.40±0.34) μM의 범위를 나타냈다(Fig. 3C). 전체 조사 기간 동안 GJ1정점에서 0.76~0.90 μM의 농도로 가장 높은 분포를 나타냈으며 GJ2, GJ3정점에서는 0.01~0.06 μM의 농도로 가장 낮은 분포를 보였다. DSi는 5월과 9월에 각각 29.58~125.26 (82.95±42.08) μM, 88.39~269.67 (201.4±93.60) μM의 범위를 보이며 (Fig. 3D), 9월 조사에서 상대적으로 높은 분포 경향을 나타냈다. 조사 기간 동안 GJ1정점에서 가장 높았다가 GJ2정점(방류구)과 GJ3정점(합류정점)에서 감소하다

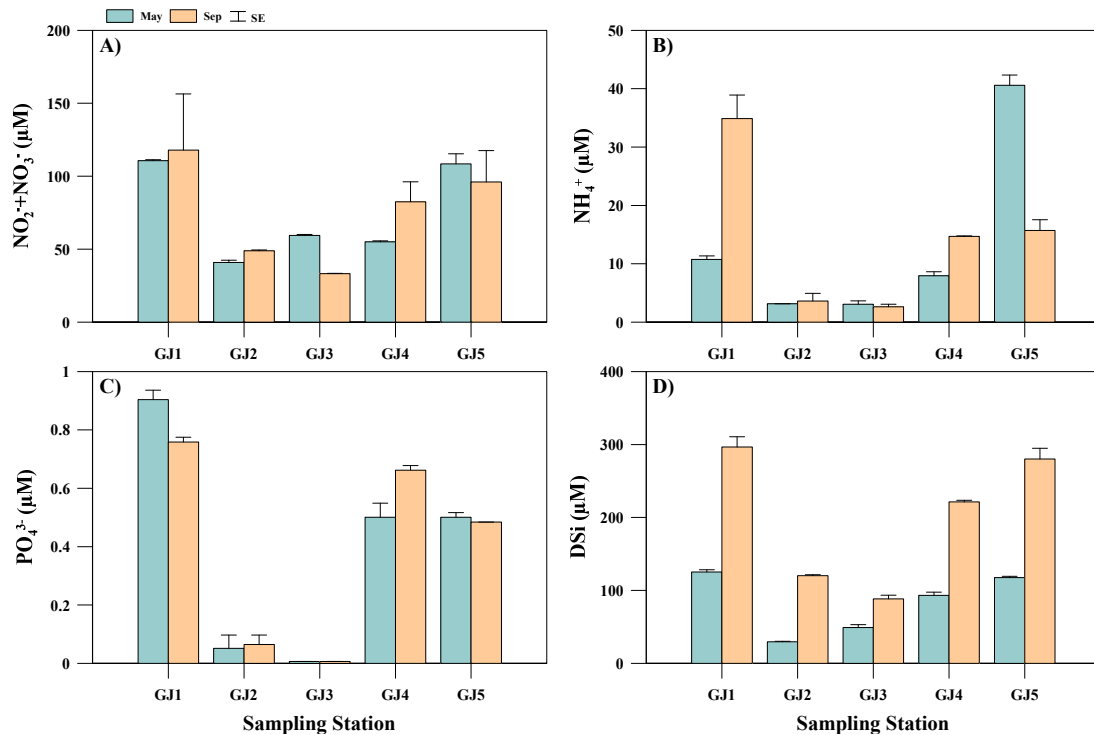


Fig. 3. Spatial variations of the nutrient concentrations (means  $\pm$  standard errors (SE)) including nitrite+nitrate (A), ammonium (B), orthophosphate (C) and dissolved silicate (D) in May and September.

유입 후 정점인 GJ4에서 점차 증가하는 추세를 보였다.

### 3.2. 식물플랑크톤 변화

식물플랑크톤 생체량(chlorophyll-a)은 0.83~14.51 (5.58 $\pm$ 5.39)  $\mu$ g/L의 분포를 나타냈다(Fig. 4A). 5월과 9월에 각각 2.33~14.52 (6.33 $\pm$ 5.44)  $\mu$ g/L, 0.43~3.91 (1.30 $\pm$ 1.48)  $\mu$ g/L의 범위를 보였으며, 9월 조사에서 상대적으로 낮은 분포 경향을 나타냈다. 2회 조사 기간 동안 주암호 용수가 유입되는 GJ2 정점과 합류지점인 GJ3 정점, 유입 후 지점인 GJ4 정점에서 감소하다 GJ5 정점에서 급격히 증가하는 경향을 보였다. 용수 유입 전(GJ1)의 0.85~9.32  $\mu$ g/L 농도와 비교하여 유입 이후 정점(GJ5)에서 3.91~14.52  $\mu$ g/L로 높은 분포를 나타냈다.

광주천 5개 정점에서 출현한 총 출현종수는 규조류 46종, 녹조류 47종, 남조류 10종, 기타 9종으로 총 112종이 출현하였다(Fig. 4B). 월별 출현종수는 5월 조사에서 총 53종(규조류 29종, 녹조류 16종, 남조류 1종, 기타 7종),

9월 조사에서 총 83종(규조류 31종, 녹조류 37종, 남조류 10종, 기타 5종)으로 확인되었고 9월 조사에서 높은 출현종수를 보였다. 5월 조사의 경우, GJ5 정점에서 총 33종으로 가장 많은 종수가 출현하였고 GJ3 정점에서 8종으로 가장 적은 종수를 보였으며, GJ2 정점과 GJ3 정점에서 출현종수가 감소하다 GJ4, GJ5 정점에서 증가하는 경향을 보였다. 대부분의 정점에서 규조류의 출현종수가 16~18종으로 높게 나타났고, GJ2, GJ3 정점에서는 기타 출현종수가 규조류와 동일하게 4종으로 나타났다. 녹조류는 정점에 따라 다소 상이한 출현 범위를 보였으며 출현종수가 14종으로 높게 나타난 GJ5 정점을 제외하고 전체적으로 0~3종의 출현종수 범위를 보였다. 9월 조사의 경우, GJ1 정점에서 25종으로 가장 적은 종수를 보였으며 GJ5 정점에서 총 54종으로 가장 많은 종수가 출현하였다. GJ4 정점에서 일시적으로 감소하였으나 GJ1 정점에서 GJ5 정점으로 갈수록 증가한 경향을 보였다. 대부분의 정점에서 규조류와 녹조류의 출현종수는 8~23종으로



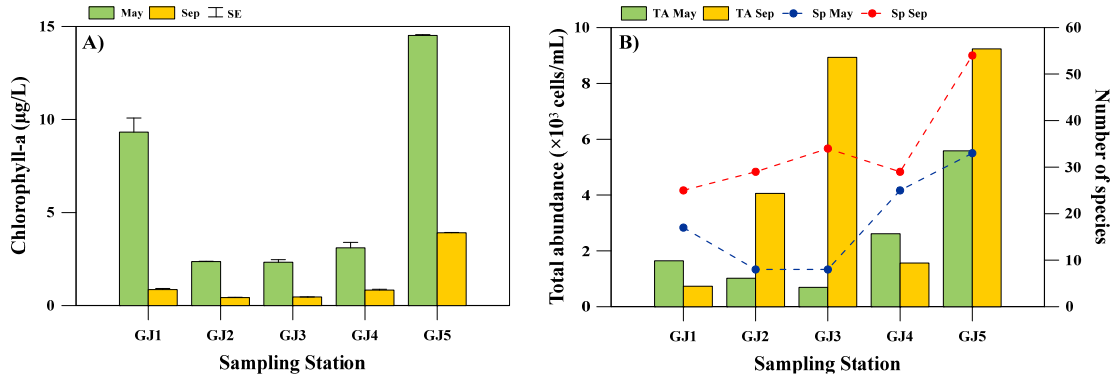


Fig. 4. Spatial variations of the chlorophyll-a concentrations (means ± SE) (A), total abundance (TA; B) and numbers of species (Sp; B) in May and September.

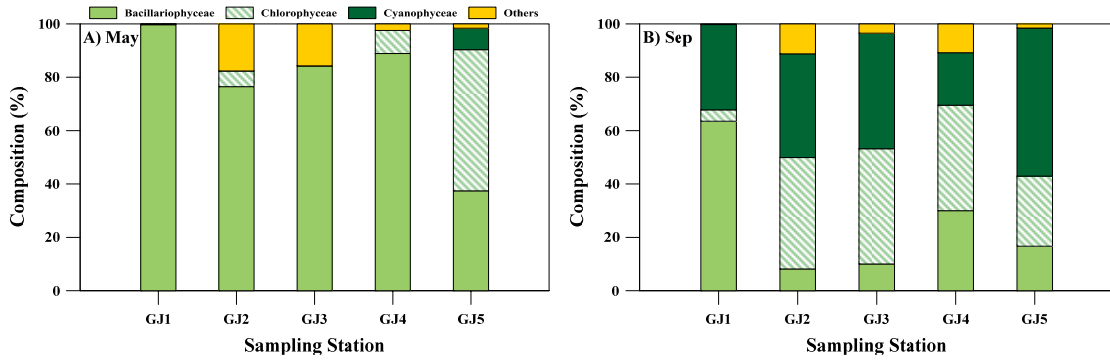


Fig. 5. Spatial variations of the phytoplankton taxonomic composition in May (A) and September (B).

높은 출현 범위를 보였으며 GJ3 정점에서만 남조류의 출현종수가 7종으로 나타났다.

조사 기간 동안의 식물플랑크톤 현존량은 5월과 9월에 각각 694~5,584 (2,312±1,970) cells/mL, 735~9,239 (4,906±4,009) cells/mL의 범위를 보이며 9월 조사에서 높은 분포 경향을 나타냈다(Fig. 4B). 5월에 GJ5 정점에서 5,584 cells/mL로 가장 높은 현존량을 보였고 GJ3 정점에서 694 cells/mL로 가장 낮게 나타났다. GJ5 정점에서는 녹조류의 현존량이 2,954 cells/mL로 가장 높게 나타났지만 나머지 정점에서는 규조류의 현존량이 높은 것으로 확인되었다. 또한, 출현종수의 변동과 유사하게 GJ1 정점에서 GJ3 정점으로 갈수록 현존량은 감소하다 GJ4 정점과 GJ5 정점에서 증가하는 경향을 보였다. 9월에 GJ5 정점에서 9,239 cells/mL로 가장 높은

현존량을 보였고 GJ1 정점에서 735 cells/mL로 가장 낮은 현존량을 나타냈다. GJ2, GJ3 정점에서 감소하다 GJ4, GJ5 정점에서 증가하는 경향을 보인 5월 현존량 변동과 대조적으로 9월에는 GJ2, GJ3 정점에서 급격히 증가하는 경향을 보였다. GJ1 정점에서는 규조류, GJ2 정점과 GJ4 정점에서는 녹조류, GJ3 정점과 GJ5 정점에서는 남조류가 높은 현존량 분포를 나타냈다.

식물플랑크톤 군집구조는 5월에 GJ5 정점에서만 녹조류가 52.9%로 높게 나타났으며 나머지 정점에서는 규조류가 76.5~99.7%로 높게 나타났다(Fig. 5A). 9월에 식물플랑크톤 군집구조는 각 정점별로 상이한 결과를 보였다(Fig. 5B). GJ1 정점에서 63.5%로 규조류가 가장 높게 나타났고, GJ2 정점과 GJ4 정점에서는 각각 41.7%, 39.5%로 녹조류가 가장 높았다. GJ3, GJ5 정점에서는 43.4%,

Table 2. Dominant and subdominant species appeared at the stations in May and September

Month	Station	Dominant species	%	Subdominant species	%
May	G11	<i>Bacillariophyceae</i>	43.7%	<i>Bacillariophyceae</i>	8.2%
	G12	<i>Bacillariophyceae</i>	50.0%	<i>Bacillariophyceae</i>	25.0%
	G13	<i>Bacillariophyceae</i>	51.9%	<i>Bacillariophyceae</i>	13.0%
	G14	<i>Bacillariophyceae</i>	37.9%	<i>Bacillariophyceae</i>	12.1%
	G15	<i>Chlorophyceae</i>	21.8%	<i>Bacillariophyceae</i>	11.3%
Sep	G11	<i>Cyanophyceae</i>	29.0%	<i>Bacillariophyceae</i>	14.6%
	G12	<i>Chlorophyceae</i>	35.0%	<i>Cyanophyceae</i>	16.4%
	G13	<i>Chlorophyceae</i>	38.5%	<i>Cyanophyceae</i>	28.8%
	G14	<i>Chlorophyceae</i>	31.2%	<i>Cyanophyceae</i>	14.7%
	G15	<i>Cyanophyceae</i>	22.7%	<i>Cyanophyceae</i>	17.8%



**Table 3.** Ecological index of phytoplankton collected at the stations in May and September

Month	Station	Richness	Evenness	Diversity	Dominance
May	GJ1	2.16	0.71	2.00	0.23
	GJ2	1.15	0.66	1.45	0.33
	GJ3	1.07	0.73	1.52	0.31
	GJ4	3.05	0.70	2.27	0.18
	GJ5	3.71	0.80	2.80	0.09
	mean	2.23	0.72	2.01	0.23
Sep	GJ1	3.64	0.75	2.42	0.14
	GJ2	3.37	0.62	2.09	0.17
	GJ3	3.63	0.53	1.88	0.25
	GJ4	3.81	0.76	2.57	0.14
	GJ5	5.80	0.71	2.82	0.11
	mean	3.14	0.70	0.48	0.20

55.4%로 남조류가 높게 나타났으나 GJ3정점의 경우 녹조류 또한 43.1%로 남조류 분포와 큰 차이를 보이지 않았다.

5월의 우점종 분포는 GJ1정점에서 규조류 *Melosira varinas* (43.7%), GJ2정점에서는 규조류 *Fragilaria crotonensis* (50.0%), GJ3정점에서는 규조류 *Aulacoseira ormosae* var. *angustissima* (51.9%), GJ4정점에서는 규조류 *Melosira varians* (37.9%), GJ5정점에서는 녹조류 *Ulothrix* sp. (21.8%)로 확인되었다(Table 2). 차우점종은 GJ1 정점에서 규조류 *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Fragilaria capucina* (8.2%), GJ2 정점에서는 규조류 *Asterionella ormosa* (25.0%), GJ3 정점에서는 규조류 *Asterionella ormosa*, *Fragilaria* sp. (13.0%), GJ4 정점에서는 규조류 *Asterionella ormosa* (12.1%), GJ5 정점에서는 규조류 *Cyclotella meneghiniana* (11.3%)로 확인되었다. 9월의 우점종 분포는 GJ1 정점에서 남조류 *Oscillatoria* sp. (29.0%), GJ2~GJ4정점에서는 녹조류 *Coelastrum cambricum* (각각 35.0%, 38.5%, 31.2%), GJ5 정점에서는 남조류 *Merismopedia minima* (22.7%)로 확인되었다(Table 2). 차우점종은 GJ1 정점에서 규조류 *Nitzschia* sp. (14.6%), GJ2정점에서는 남조류 *Aphanocapsa* sp., *Microcystis* sp. (16.4%), GJ3~GJ5 정점에서는 남조류 *Aphanocapsa* sp. (각각 28.8%, 14.7%, 17.8%)로 확인되었다.

식물플랑크톤 군집에 따른 생태지수를 확인한 결과 (Table 3), 풍부도지수와 다양도지수는 5월(평균 2.23/

2.01)보다 9월(평균4.05/2.36)에 높게 나타났고 GJ2정점과 GJ3정점은 다른 정점에 비해 지수가 낮은 특징을 보였다. 균등도 지수와 우점도지수는 시기별, 정점별로 약간의 차이는 있지만 대체로 5월 조사(평균 0.72/0.67)에서 높고 9월 조사(평균 0.23/0.26)에서 낮게 나타났다. GJ3정점의 균등도지수와 우점도지수가 높은 경향을 보였다. 전반적으로 풍부도 지수, 다양도지수는 우점도지수와 반비례하는 경향을 보였다.

### 3.3. 통계분석 결과

식물플랑크톤 군집에 대한 nMDS 분석 결과(Fig. 6)를 보면, 조사 시기 동안 계절별로 확인한 차이를 보였고 또한 동일한 조사 시기에 정점별로 2개의 그룹으로 형성되는 결과를 나타냈다. 다만 군집의 공간적(정점) 유사성은 계절에 따라 다르게 나타났는데 5월에는 용수 유입의 영향을 받는 정점(GJ2, GJ3)과 나머지 정점(GJ1, GJ4, GJ5)사이에 군집의 차이를 보인 반면 9월에는 GJ1정점을 제외한 나머지 정점들과 차이를 보이지 않았다. 물리·화학적 환경인자의 벡터 결과는 식물플랑크톤 군집의 계절적, 공간적 분포가 주로 수온, 탁도, 영양염의 영향을 받았다는 것으로 해석될 수 있다.

광주천에서 물리·화학적 환경인자, 영양염, 식물플랑크톤 생체량 및 군집(그룹), 생태지수 간의 상관성 분석한 결과를 Table 4에 제시하였다. 상관분석 결과, 식물플랑크톤 생체량은 탁도, 규조류와 유의한( $P < 0.01$ ) 양의 상관성을 보였으며, 현존량은 출현종수, 녹조류 그리고 남조류와 유의한( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ) 양의 상관성을 나타냈다. 출현종수는 풍부도지수, 다양성지수와 유의한

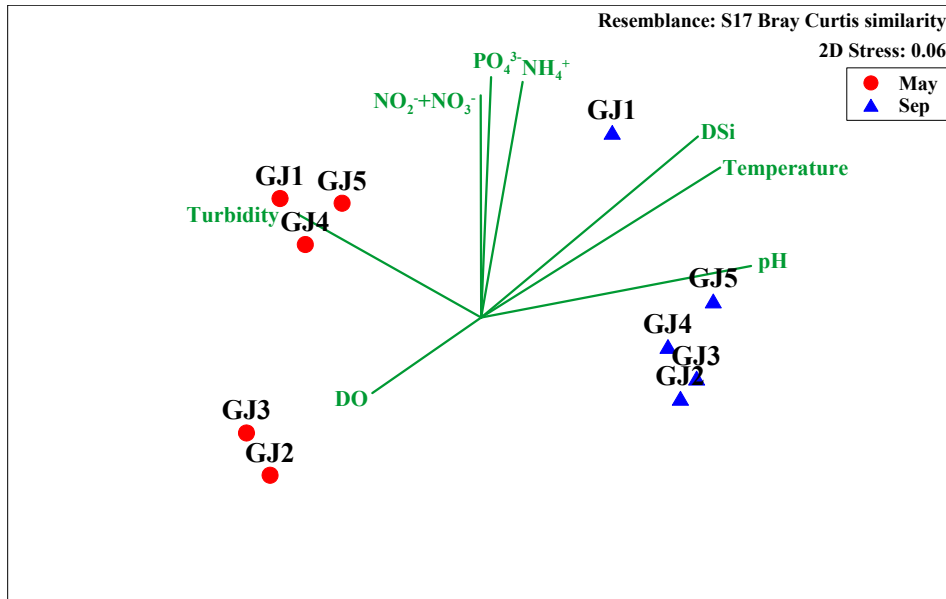


Fig. 6. Results of non-metric multidimensional scaling (nMDS) analysis of phytoplankton community; vectors indicate the strength and direction of the water properties.

( $P < 0.01$ ) 양의 상관성을 보이고 풍부도 지수와 다양성지수 또한 서로 유의한( $P < 0.01$ ) 양의 상관관계를 나타냈다. 풍부도지수, 다양성지수 분포와 서로 반대 양상을 보였던 우점도지수는 풍부도지수, 다양성지수와 유의한( $P < 0.01$ ) 음의 상관성을 나타냈다.  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3^-$ 는  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  그리고 DSi와 유의한( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ) 양의 상관성을 보였다.

#### 4. 고찰

광주천 5개 정점의 물리·화학적 수질환경요인들은 주암호 용수가 유입되는 방류구 GJ2정점을 기준으로 변동되는 추세를 보였으나 합류지점인 GJ3정점을 지나면서 주암호 용수 유입의 영향이 약화되는 경향을 나타냈다. 영양염의 분포는 계절에 관계없이 공간적으로 용수가 유입되는 방류구 지점인 GJ2정점과 광주천과 용수가 합류되는 GJ3정점에서 매우 낮은 농도를 보였는데 이는 용수로 이용되는 주암호가 영산강에 비해 매우 낮은 영양염 농도(Yi et al., 2006)를 보이기 때문으로 사료된다. 수온과 탁도의 경우에는 5월에만 GJ2~GJ3정점에서 감소하

면서 주암호 용수의 영향이 나타났다. 하지만 이 정점들을 지나 하류로 가면서 이러한 수질인자들이 점차 유입전의 정점과 유사한 수준으로 회복되는 경향을 보여 용수가 유입되는 방류구(GJ2정점)와 그러한 방류구와 인접한 합류지점(GJ3정점)에서는 직접적인 주암호 용수 유입의 영향을 받는 것으로 판단된다. 광주천 하류에 위치한 조사 정점에서 유입 이전의 상태로 다시 회복하는 결과는 용수 유입의 영향 범위가 공간적으로 제한된다는 것으로 보여준다. 9월에 5월과 달리 이러한 수질환경의 변동이 크지 않았던 이유는 용수의 수질환경이 광주천과 유사하였기 때문으로 사료된다. 이와 같은 수질환경 변화를 고려했을 때 주암호 용수 유입은 유량 증가뿐 아니라 영양염 희석으로 부영양화 저감에도 기여하는 것으로 판단된다. 국내의 온천천과 학장천에서 낙동강 하천수를 용수로 공급하여 하천유량 유지 및 영양염 감소 등 수질 개선 사례를 보인 선행연구 결과(Kwon et al., 2007; Park et al., 2012; Son et al., 2012)와 유사하게 나타났다. 다만 광주천에서 5월에 나타난 유입 용수의 급격한 수온 감소 원인을 파악하여 수온 감소 충격을 최소화하는 방안 마련이 필요할 것으로 사료된다.

Table 4. Correlation matrix of water properties, phytoplankton and ecological index (N=10)

	Chl-a	Temp.	DO	pH	Tur.	NOx	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	DSi	TA	Sp.	Bac.	Chlo.	Cyan.	Other	Rich.	Even.	Diver.	Domin.	
Temp.																				
DO																				
pH																				
Tur.																				
NOx																				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>																				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>																				
DSi																				
TA																				
Sp.																				
Bac.																				
Chlo.																				
Cyan.																				
Other																				
Rich.																				
Even.																				
Diver.																				
Domin.																				

\*\*P<0.01, \*P<0.05, Chl-a: chlorophyll-a, Temp.: Temperature, DO: dissolved oxygen, Tur.: turbidity, NOx: nitrite + nitrate, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ammonium, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: orthophosphate, DSi: dissolved silicate, TA: total abundance, Sp.: number of species, Bac.: Bacillariophyceae, Chlo.: Chlorophyceae, Cyan.: Cyanophyceae, Rich.: richness, Even.: evenness, Diver.: diversity, Domin.: dominance

식물플랑크톤 생체량은 조사 시기 동안 모두 용수 유입 이후 GJ2~GJ3 정점에서 감소하는 경향을 보였다. 특히 5월에 그 감소 폭이 크게 나타났고 현존량과 출현종수 또한 유사한 분포를 보이면서 조류 대발생의 감소에 기여할 수 있음을 암시하고 있다. 또한, 우점종, 차우점종 등의 우점도가 높아지면서 종의 다양성 지수가 감소하고 대신 우점도는 높아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 군집의 변화는 다소 약하지만 9월에도 유사하게 나타났다. 결국 주암호 용수 유입은 광주천의 식물플랑크톤 양과 질에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 9월에 생체량은 감소하는 반면 현존량과 출현 종수가 증가하는 것은 규조류보다 크기가 작은 녹조류나 남조류의 기여율 증가 때문일 것으로 추정된다(Li et al., 2013; Fan et al., 2015; Liu et al., 2015; Sin and Lee, 2020). 실제로 상관분석 결과에서 생체량과 규조류가 양의 상관성( $R=0.79$ ,  $P<0.05$ )을 보인 것으로 확인되었다. 우점종 조사 결과에서 5월에 최대 생체량과 현존량 분포를 보인 GJ5 정점은 규조류가 극우점한 다른 정점과는 다르게 *Kirchneriella obesa*, *Scenedesmus* sp.와 같은 다양한 녹조류의 출현과 함께 *Ulothrix* sp.의 증식으로 인하여 다른 정점과 상이한 식물플랑크톤 군집 분포를 보이기도 하였다. 위에서 일부 언급하였지만 9월의 현존량과 출현종수 분포는 GJ2~GJ4 정점에서 급격하게 감소하는 생체량 분포와 달리 현존량과 출현종수가 증가한 것으로 나타났다. 이는 *Coelastrum cambricum*와 같은 녹조류, *Aphancapsa* sp.와 같은 남조류의 증식으로 인한 것으로 사료된다. 상관분석 결과에서도 현존량은 녹조류( $R=0.82$ ,  $P<0.01$ ), 남조류( $R=0.85$ ,  $P<0.05$ )와 양의 상관성을 보이고 출현종수 또한 녹조류( $R=0.69$ ,  $P<0.05$ )와 양의 상관성을 보였으나 규조류와는 상관성이 없는 것으로 나타났다.

광주천의 식물플랑크톤 군집을 보면, 규조류, 녹조류, 남조류 등이 주로 출현하였으며 이는 광주천에서 규조류, 녹조류, 남조류가 우점한 양상의 선행연구 결과(Cho et al., 2010)와 일치한다. 본 연구의 5월 조사에서는 우점종으로 주로 규조류가 출현하였고, 9월 조사에서는 녹조류와 남조류가 우점하는 경향을 보였다. 이는 조사 전에 발생한 강수의 영향보다는 5월과 9월 동안 출현하는 식물플랑크톤 군집의 계절적 차이로 해석될 수 있다. 그러나 방류구인 GJ2 정점에서 용수 유입 이후 GJ5 정점까지

은편모조류를 포함한 기타류의 현존량이 유입 전(GJ1 정점)의 0~2 cells/mL 분포와 비교하여 90~456 cells/mL로 급격히 증가하는 양상을 보였다. 이러한 식물플랑크톤 종 조성 변화는 계절적인 영향이 아닌 광주천과 종 조성이 상이한 주암호 용수 유입에 의한 영향으로 추정된다. 식물플랑크톤 군집에 대한 nMDS 분석 결과에서도 이러한 계절적 요인과 용수 유입의 영향을 확인할 수 있는데 먼저 계절별로 상이한 군집의 분포가 보였고 수온, 탁도 등이 이러한 계절 분포에 영향을 주는 것으로 추정되었다. 공간적으로는 계절별로 군집 분포가 다르게 나타났다. 특히 유입 전과 이후 정점 간의 공간적 군집 분포가 상이하게 나타난 것은 영양염, 수온, 종 조성이 다른 주암호 용수의 영향으로 사료된다.

안정적인 하천 유량 공급은 수생태계 회복에 대한 긍정적인 효과로 나타날 수 있으며(Bischel et al., 2013; Luthy et al., 2015), 광주천 내의 추가적인 용수 유입은 주요 유지용수인 하수처리장 방류수의 유량부하를 감소시키고, 하수처리 비용 절감 및 처리장 운영효율을 높일 수 있다(Ko and Chung, 2021). 다만 용수의 합류 외에도 광주천 주변의 택지개발, 도로공사 등 인위적 인간활동 역시 수리, 화학적 특성에 영향을 미칠 수 있다(Kim et al., 2018). 특히 광주천 수계의 특성상 중금속이나 유해물질을 배출하는 공장이 적어 생활하수가 가장 큰 오염원으로 작용(Kim, 2004)할 수 있기 때문에 이들에 대한 관리가 필요할 것으로 사료된다. 하지만 하천 유량 감소가 심한 지역에서는 외부의 용수 유입 외에도 하수처리장 방류수의 하천 유량에 대한 기여율이 증가하고 있다고 보고되었다(Luthy et al, 2015). 광주천에서 광주하수처리장의 방류수는 최대 공급용량이 100,000 m<sup>3</sup>/일로 주암호 용수와 유사한 양으로 운영된다. 평시 공급은 주암호 용수는 32,000 m<sup>3</sup>/일, 하수처리장 방류수는 30,000~35,000 m<sup>3</sup>/일로 용수 용량에서는 큰 차이는 없으나, 주암호 용수의 방류구는 1개소(용산교 상류), 하수처리장 방류수의 방류구는 3개소(증심사천 합류부, 속실마을, 교동교)가 운영된다. 따라서 광주천의 수질 변동과 관리 방안을 마련하기 위해서는 본 연구에서는 조사되지 않았던 하수처리장 방류수를 포함한 수질환경 변동 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

광주천의 물리·화학적 수질환경요인들은 주암호 용수가 유입되는 방류구 정점(GJ2)을 기준으로 변동되는 추세를 보였고, 합류지점(GJ3)을 지나면서 주암호 용수 유입의 영향이 점차 감소하는 경향을 보였다. 이러한 특정 구간(GJ2~GJ3정점)에서 나타난 수질환경의 변동은 계절적인 영향 보다는 주암호 용수의 유입 영향이 크다는 것을 보여주는 결과라 할 수 있다. 특히, 용수 유입의 영향으로 영양염이 큰 폭으로 감소하여 부영양화 저감에도 기여할 수 있다고 본다. 식물플랑크톤 군집에서는 규조류, 녹조류, 남조류 등이 주로 출현하였다. 5월 조사에서는 우점종으로 주로 규조류가 출현하였고, 9월 조사에서는 녹조류와 남조류가 우점하는 경향을 보였다. 5월과 9월 모두 용수 유입 이후 GJ2~GJ5정점까지 은편모조류를 포함한 기타류의 현존량이 유입 전에 비해 증가하는 양상을 보여 용수 유입이 식물플랑크톤 종 조성 변화에도 영향을 미친 것으로 사료된다. 식물플랑크톤 군집에 대한 nMDS 분석에서 식물플랑크톤 군집은 시·공간적으로 상이하게 나타났지만 일부 정점(특히 GJ2~GJ3)은 서로 유사한 군집 분포를 보이면서 용수 유입의 영향 범위를 확인할 수 있었다. 결론적으로 방류구를 통해 유입되는 주암호의 용수는 제한적이지만(주로 방류구 지점인 GJ2정점부터 합류지점인 GJ3정점까지) 광주천의 수질 환경과 식물플랑크톤 분포에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 물론 이러한 용수 유입 영향의 형태와 범위는 계절에 따라 다소 다르게 나타날 가능성도 있지만 전체적으로는 안정적인 하천 유량 공급, 부영양화 저감 등의 긍정적인 효과가 있을 것으로 예상된다. 다만 광주천 수질 변동에 대한 정확한 이해와 효율적 관리를 위해서는 하수처리장 방류수를 포함한 수질환경 변동 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- Álvarez-Góngora, C., Herrera-Silveira, J. A., 2006, Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone, *Mar. Pollut. Bull.*, 52, 48-60.
- Bischel, H. N., Lawrence, J. E., Halaburka, B. J., Plumlee, M. H., Bawazir, A. S., King, J. P., McCray, J. E., Resh, V. H., Luthy, R. G., 2013, Renewing urban streams with recycled water for streamflow augmentation: hydrologic, water quality, and ecosystem services management, *Environ. Eng. Sci.*, 30, 455-479.
- Bode, A., Varela, M., Prego, R., Rozada, F., Santos, M. D., 2017, The relative effects of upwelling and river flow on the phytoplankton diversity patterns in the ria of a Coruña (NW Spain), *Mar. Biol.*, 161, 94-108.
- Cho, H. K., Jung, M. H., Kim, G. M., Shim, S. S., Lee, H. Y., 2010, Dynamics of phytoplankton and periphyton in Gwangju Stream, *Korean J. Environ. Biol.*, 28, 69-78.
- Chung, I. K., Kang, Y. J., Kwon, O. S., Seo, J. K., 2000, The ecology of phytoplankton in the Nakdong estuary, *Algae*, 15, 99-110.
- Cloern, J. E., Jassby, A. D., 2012, Drivers of change in estuarinecoastal ecosystems: discoveries from four decades of study in San Francisco Bay, *Rev. Geophysics*, 50, 397-430.
- Fan, H., He, D., Wang, H., 2015, Environmental consequences of damming the mainstream Lancang-Mekong River: a review, *Earth-Sci. Rev.*, 146, 77-91.
- Gwangju, 2000, Gwangju Stream Master Plan (Change), Dongshin eng., Gwangju, Korea.
- Gwangju Jeonnam Research Institute, 2010, A Study on the maintenance and management of Gwangju River, Gwangju Jeonnam Policy Research 2009-06, Lee, H. J., Gwangju, Korea.
- Kang, M. G., 2010, Methodologies for estimation of the amount of in-stream flow considering the changes in socio-economics systems and the ecosystems and sustainably securing it, *KSCE J. Civ. Eng.*, 58, 57-64.
- Kim, S. J., 2004, The Characteristics of water quality and community structure of phytoplankton in Gwangju Stream, Korea, Ph. D. Graduate School of Education, Chosun University, Gwangju, Korea.
- Kim, Y. J., Chung, E. S., 2014, An index-based robust decision making framework for watershed management in a changing climate, *Sci. Total Environ.*, 473, 88-102.
- Kim, Y. T., Chung, E., Park, J., Woo, N. C., 2018, Hydrochemical effects of tributaries and discharged waters in the Yangjae Stream flowing peri-urban area, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 34, 678-687.
- Ko, J. I., Chung, S. Y., 2021, A study on the improvement plan of Gwangju-Cheon water quality by the inflow of Mt. Mudeung Valley Water, *J. Wetl. Res.*, 23, 252-259.

- Komárek, J, K Anagnostidis, 2005, Cyanoprokaryota 2. Tail/2nd Part: Oscillatoriales, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/2, Elsevier GmbH, München.
- Komárek, J., Fott, B., Huber-Pestalozzi, G., 1983, Das Phytoplankton des Süßwassers : Systematik und Biologie, 7. Teil 7, 1. Hälfte, Die Binnengewässer, Band 16, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1986, Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1988, Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991a, Bacillariophyceae 3. Teil: Cenrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/ New York.
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991b, Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema, Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York.
- Kwon, D. M., Son, J. W., Yoo, E. H., Jeong, J. W., Yun, N. N., Hwang, I. J., Kwon, K. W., Bin, J. H., Cheigh, H. S., 2007, Characteristics of aquatic environment in close-to-nature Onchun Stream-Before and after the flowing of the Nakdong River, J. Environ. Sci. Int., 16, 831-838.
- Lee, S. K., Boo, S. M., 1998, Seasonal change of phytoplankton in the Nambangjae Pond, Asan, Korean J. Limnol., 31, 181-185.
- Lee, Y. G., An, K. G., Ha, P. T., Lee, K. Y., Kang, J. H., Cha, S. M., Cho, K. H., Lee, Y. S., Chang, I. S., Kim, K. W., Kimj, J. H., 2009, Decadal and seasonal scale changes of an artificial lake environment after blocking tidal flows in the Yeongsan estuary region, Korea, Sci. Total Environ., 407, 6063-6072.
- Li, J., Dong, S., Liu, S., Yang, Z., Peng, M., Zhao, C., 2013, Effects of cascading hydropower dams on the composition, biomass and biological integrity of phytoplankton assemblages in the middle Lancang-Mekong River, Ecol. Eng., 60, 316-324.
- Liu, X., Qian, K., Chen, Y., 2015, Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a Changjiang River floodplain lake (Poyang Lake): implications for dam operations, J. Great Lakes Res., 41, 770-779.
- Ludwig, J. A., Reynolds, J. F., 1988, Statistical Ecology : A primer on methods and computing, John Wiley and Sons, NewYork.
- Luthy, R. G., Sedlak, D. L., Plumlee, M. H., Austin, D., Resh, V. H., 2015, Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate, Front. Ecol. Environ., 13, 477-485.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton, Perspectives in Marine biology, Buzzati Traverso ed., University of California Press, Berkeley.
- Nayar, S., Goh, B. P. L., Chou, L. M., 2005, Dynamics in the size structure of skeletonema costatum (Greville) cleve under conditions of reduced photosynthetically available radiation in a dredged tropical estuary, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 318, 163-182.
- Park, H. K., Son, J. W., Cho, J. T., 2012, Characteristics of water quality and biological changes in the Onchun Stream-After the flowing of the Nakdong River, J. Life Sci., 22, 1041-1045.
- Park, S. C., 2006, Current status of the basin and natural stream purification project of Gwangju Stream, River and Culture, 2, 34-43.
- Parsons, T. R., Maita, Y., Lalli, C. M., 1984, A manual of chemical and biological methods for seawater analysis, Pergamon press, New York, 22.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T., Vinyard, W. C., Bicudo, de M., C. E., 1981, A Synopsis of North American Desmids: Part II, Desmidiaceae: Placodermae Section 3, University of Nebraska press, Lincoln.
- Simpson, E. H., 1949, Measurement of diversity, Nature, 163, 688.
- Sin, Y. S., Lee, H. Y., 2020, Changes in hydrology, water quality, and algal blooms in a freshwater system impounded with engineered structures in a temperate monsoon river estuary, J. Hydrol. Reg. Studies, 32, 100744.
- Son, J. W., Cha, Y. W., Park, J. O., Lee, Y. J., Lee, S. I., Lee, K. S., 2012, A Study on ecological variations of urban streams after maintenance water supply - A case study in Hakjang Stream and Seokdae Stream, The Annual Report Busan Metropolitan city Institute of Health & Environment, 22, Busan Metropolitan City, Busan,

- 72-82.
- Whittaker, R. H., 1972, Evolution and measurement of species diversity, *Taxon*, 21(2/3), 213-251.
- Yamagishi, T., Akiyama, M., 1984, Photomicrographs of the fresh-water algae, Uchida rokakyho, Tokyo, Japan, 1-20.
- Yi, S. H., Sin, Y. S., Chang, N. I., Kim, J. M., Kim, H. K., Cho, Y. G., Jeong, J., 2006, Trophic state and water quality in major lakes of the Sumjin and Youngsan River systems, *Korean J. Limnol.*, 39, 296-309.
- 
- Senior Researcher. Byung-Kwan Jeong  
Ocean Research Center, National Park Research Institute  
bkjeong@knps.or.kr
  - Doctor's course. Se-Hee Kim  
Department of Environmental Engineering & Biotechnology  
Mokpo National Maritime University  
mks2328@naver.com
  - Professor. Yong-Sik Shin  
Department of Environmental Engineering & Biotechnology  
Mokpo National Maritime University  
yongsik@mmu.ac.kr