

## 금강 중류의 식물플랑크톤 군집 동태 이해 (2014~2015)

한사랑 · 조기철 · 윤조희 · 이재정 · 유순애<sup>1</sup> · 최인찬 · 주현지 · 천세억 · 임병진\*

국립환경과학원 금강물환경연구소, <sup>1</sup>배재대학교 생물학과

**Phytoplankton Community Structure of Midstream of Geum River on 2014 and 2015.** Han, Sa Rang (0000-0002-7666-2823), Kichul Cho (0000-0002-0685-0490), Jo-Hee Yoon (0000-0002-9677-7505), Jay-Jung Lee (0000-0001-7689-2082), Soon-Ae Yoo<sup>1</sup> (0000-0001-6739-0320), In-Chan Choi (0000-0002-8273-7211), Hyun-Ji Joo (0000-0002-2945-8168), Se-Uk Cheon (0000-0002-6157-3967) and Byung-Jin Lim\* (0000-0002-2895-3650) (Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Jiyongstreet, Okcheon gun, Chungcheongbukdo 29027, Republic of Korea; <sup>1</sup>Department of Biology, Pai Chai University, Baejae-ro (Doma-dong), Seo-gu, Daejeon 35345, Republic of Korea)

**Abstract** Phytoplankton community is one of the important factors for the management of aquatic environment due to generation of varying toxins by harmful algal species. This study was performed to examine the phytoplankton community structure (PCS) in the midstream of Geum River (GR) from January 2014 to December 2015. The water sampling was performed in five stations on 2014, and three stations on 2015. Subsequently, the morphological identification was performed by microscopic observation in laboratory condition. As results, total 265 species were identified and it was comprised of 40.8% of Bacillariophyceae, 9.1% of Cyanophyceae, 44.5% of Chlorophyceae, and the others (4.9%). During the investigation period, total average standing crop of phytoplankton was 12,948 cells mL<sup>-1</sup>, and it was comprised of 7,702 cells mL<sup>-1</sup> of Bacillariophyceae, 2,821 cells mL<sup>-1</sup> of Cyanophyceae, 2,121 cells mL<sup>-1</sup> of Chlorophyceae, and 305 cells mL<sup>-1</sup> of others. To verify which tributaries of upstream area influence on PCS of midstream of GR, the phytoplankton standing crops of two stations including Mihocheon (MH) and Gapcheon (GC) were examined on 2014, and compared to result of on 2015. The results were shown that the MH station had more similar phytoplankton standing crops with midstream of GR than GC station. The relationship between environmental parameters and phytoplankton dynamics was studied at the investigated station. As results, whereas water temperature and total phosphorus were represented the positive correlation, N/P ratio was remarkably exhibited negative correlation. From the results, it is suggested that the PCS of midstream of GR was more affected by MH station than GC station, and the changes of temperature, phosphorus concentration, and N/P ratio may be important factors on the PCS formation of midstream of GR.

**Key words:** dominant species, Geum River, midstream, phytoplankton community

## 서 론

Manuscript received 12 December 2016, revised 29 December 2016, revision accepted 29 December 2016  
\* Corresponding author: Tel: 82-43-730-5671, Fax: 82-43-733-9408, E-mail: limmolim@hanmail.net

식물플랑크톤은 수생태계의 중요한 1차 생산자로서 먹이연쇄의 기초를 형성하고 생태계 에너지 순환에 가장 중요한 역할을 담당하며, 주변 환경의 물리적, 화학적 변화

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

에 민감하게 반응할 뿐 아니라 환경오염의 지표성이 뛰어나 하천의 오염지표종으로 이용되고 있다(Watanabe, 1962; Palmer, 1977; Hellawell, 1986). 수계에서 식물플랑크톤의 증식에 영향을 미치는 요인들은 복합적이고 다양하지만, 특히 광합성에 필요한 일조량, 영양염의 농도, 수온 등이 호조건으로 작용하면 대량증식에 의한 수화현상(blooming)이 발생하기도 한다(Barnes and Mann, 1991; Wetzel, 2001). 이러한 수화현상이 발생할 경우 수중 pH가 상승하고, 저층의 용존 산소 고갈에 따른 빈산소층 발생으로 인해 수질을 악화시켜 저층 생물 폐사에 원인이 될 수 있으며, 수화현상을 일으키는 종에 따라 마이크로시스틴(microcystin) 등의 독성물질 발생으로 식수원에 문제를 야기시킬 수도 있다(Sunback *et al.*, 1990; de Figueiredo *et al.*, 2004). 따라서 식물플랑크톤의 종 조성 및 현존량과 더불어 우점종 천이, 군집구조 등과 같은 식물플랑크톤 군집의 생태학적 변화와 물리 및 이화학적인 환경 요인을 조사하여 상호관계를 파악하는 것은 호소의 향후 수질환경 변화를 예측하는 데 중요하다고 할 수 있다(Reynolds *et al.*, 1984; Sommer *et al.*, 1986; Kim *et al.*, 2002).

금강은 전라북도 장수군 신무산에서 진안과 무주를 거쳐 충청북도와 충청남도를 지나 군산에서 서해로 흐르는 강이며, 그 면적이 약 9,900 km<sup>2</sup> 정도로 평균 폭이 24.8 km, 평균 길이가 약 401 km에 달하고, 남한 면적의 약 1/10을 차지하는 한강, 낙동강에 이은 남한에서 세번째로 큰 하천이다(HRFCO, 2013). 금강 중, 하류 구간들은 제방, 하천 가장자리, 모래톱 등에서는 부분적으로 부착조류와 수서무척추동물들이 주요한 생산자의 기능을 수행하지만 대부분 강 형태의 하천으로 식물플랑크톤과 동물플랑크톤이 생태계의 주요 분류군이 된다(DROCM, 2009-2011). 그중 금강 중류(대청호 하류~부여 백마강) 구간은 암반이나 호박돌 같은 부착기질이 상대적으로 적으며, 금강 하류보다 경사도가 높고 수심이 낮은 웅덩이와 강이 반복되는 구간으로 이뤄져 있다. 따라서 수서무척추동물과 전형적인 부착남조류의 군집은 다양성과 현존량이 감소하고, 갑천, 미호천과 대청호수 등의 지천에서 유입된 부착 규조류 및 식물플랑크톤들이 일시적으로 부유하므로, 규조류의 현존량비와 종조성비가 증가된다고 알려져 있다(DROCM, 2009-2011). 특히 규조류 중 낙동강 중·하류에서 겨울을 제외하고 모든 계절에 나타나는 대표적인 우점종 *Cyclotella meneghiniana* (Son, 2013), 겨울에 반복적으로 수화현상을 유발해 하천 수질 문제를 일으키는 *Stephanodiscus hantzschii* (Ha *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2007; Seo *et al.*, 2010)와 같은 규조류의 수화현상은 물을 암갈색으로 만들고, 정수시설의 여과지 기능에 문제를 일으키는 등 심각한 영향

을 미친다고 알려져 있다(NIER, 1993; Park *et al.*, 1999; Kwan *et al.*, 2006).

최근 금강 중류인 세종, 공주, 백제보 지점에 대한 수생태계 건강성에 대한 연구의 필요성이 지속적으로 제기되고 있으며, 식물플랑크톤 군집의 구성 변화를 추적하고 원인을 주는 요인들을 확인하고, 그에 따른 식물플랑크톤의 군집 동태를 이해하는 연구가 대두되고 있다. 이에 금번 연구에서도 금강 중류로 유입되는 지천의 지류 및 금강 중류의 각 지점에서 식물플랑크톤 군집 특성과 이화학적인 환경 요인들을 조사·분석하여 지천과의 상관관계를 확인하였고, 2014~2015년간의 금강중류에 크게 우점하는 식물플랑크톤의 종조성에 영향을 준 지천을 확인하여 향후 수생태계 변화 및 수 환경을 파악하는 데에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

조사지점은 Fig. 1 및 Table 1과 같이 2014년에는 갑천(금강합류전 불무교, GC), 미호천 말단(월산교, MH)의 2개 정점과, 금강 중류는 세종보 상류(SJU), 공주보 상류(GJU), 백제보 상류(BJU)의 3개 정점을 포함한 총 5개 지점을 선정하여 1월부터 12월까지 월 2회 채수하였고, 2015년에는 SJU, GJU 및 BJU의 3개 정점을 주 1회 간격으로 채수하였다. 시료의 고정 및 계수는 각 조사정점별 시료 500 mL를

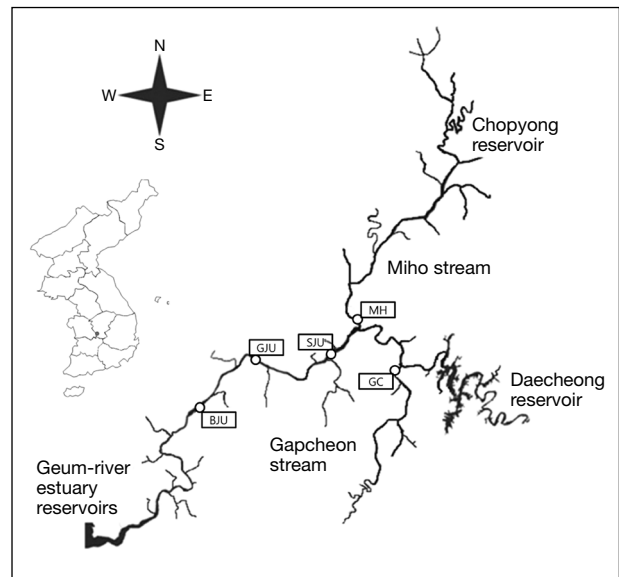


Fig. 1. A map showing the sampling stations of Geum River on 2014 and 2015.

**Table 1.** The latitudinal and longitudinal location of water sampling stations in Geum River on 2014, and 2015.

Year	Station	Latitude	Longitude
2014	GC	127°24'09.11"	36°27'07.44"
	MH	127°19'15.83"	36°31'19.44"
	SJU	127°15'47.87"	36°28'06.42"
	GJU	127°08'27.58"	36°27'24.28"
	BJU	127°00'40.16"	36°22'54.78"
2015	SJU	127°15'47.87"	36°28'06.42"
	GJU	127°06'06.08"	36°27'43.17"
	BJU	126°56'17.99"	36°19'05.02"

멸균채수병을 이용하여 채수하였고, 채수된 시료에 Lugol's solution을 2%로 첨가하여 식물플랑크톤을 고정하였다. 이후 200 mL의 고정된 시료를 분주하여 하루 동안 실온에 방치 및 침강시킨 후, 상등액을 버리고 20 mL로 농축하여 4%로 중성 포르말린을 처리하여 재고정하였다. 고정된 시료의 관찰은 Sedgwick-Rafter chamber에 잘 혼합된 시료를 피펫으로 채운 뒤 Axioscop 광학현미경 (Carl Zeiss, GER)으로 관찰하여 식물플랑크톤의 종 동정과 계수를 동시에 수행하였다.

금강 중류의 수온, pH, 전기전도도, 용존산소, 총인, 인산염인, 총질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 엽록소 *a*를 포함한 수질정보와 강수량 및 일조시간은 각 조사정점에 대한 시료채취 일자의 환경부 물환경정보시스템 (water.nier.go.kr) 2014~2015년 데이터를 사용하였다.

군집구조를 해석하기 위하여 종 다양도 지수 (Diversity index), 종 풍부도 지수 (Richness index), 우점도 지수 (Dominant index) 및 종 균등도 지수 (Evenness index)는 Shannon-Weaver, Margalef, McNaughton 및 Pielou의 방법을 각각 활용하여 산출하였다 (McNaughton, 1967; Margalef, 1973; Pielou, 1975).

통계학적 분석은 Microsoft Excel 2007 (Microsoft, USA) 프로그램을 사용하여 상관분석을 실시한 후, 등분산 가정 *t*-검정을 통해 유의성을 확인하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 금강중류의 이화학적 환경요인의 변화

환경부 물환경정보시스템 (water.nier.go.kr)에서 확인한 2014년부터 2015년까지 2년간의 수온, pH, 전기전도도, 용존산소, 총인, 인산염인, 총질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소의 월별 변화는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같다. 그래프와

같이 수온이 월별로 증감하는 것을 확인할 수 있었고, 수온의 최대, 최소값은 SJU, GJU 및 BJU 각 지점에서 27.4°C, 28.4°C, 28.6°C 및 4.2°C, 3.0°C, 2.9°C로 각각 나타났다. pH의 최대값은 각각 8.4, 9.1, 9.0으로 나타났고 최소값은 7.4, 7.6, 7.4로 나타나 GJU에서 pH가 다른 지점에 비해 높은 수치를 나타냈다. 전기전도도는 617, 558, 517  $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ 의 최대 수치를 보였고, 262, 250, 260  $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ 의 최소값을 나타냈으며, 용존산소의 각 지점별 최대값은 13.7, 14.0, 15.4  $\text{mg L}^{-1}$ 으로 나타났고, 최소값은 6.9, 7.8, 8.2  $\text{mg L}^{-1}$ 의 수치를 보여 하루로 갈수록 높아지는 경향성을 나타냈다. 총인의 최대값은 0.14, 0.16, 0.12  $\text{mg L}^{-1}$ 으로 나타났고, 최소값은 0.03, 0.04, 0.03  $\text{mg L}^{-1}$ 의 수치를 보였으며 인산염인은 0.075, 0.087, 0.058  $\text{mg L}^{-1}$ 의 최대값을 각각 나타냈고, 0.003, 0.001, 0.003  $\text{mg L}^{-1}$ 의 최소값을 보였다. 총 질소의 각 지점별 최대값은 5.58, 5.34, 5.19  $\text{mg L}^{-1}$ , 최소값은 2.24, 2.01, 1.86  $\text{mg L}^{-1}$ 으로 나타나 하루 지점으로 갈수록 낮아지는 수치를 보였으며, 질산성 질소의 경우 3.99, 3.77, 3.78  $\text{mg L}^{-1}$ 의 최대값을 나타냈고, 최소값은 1.68, 1.34, 1.27  $\text{mg L}^{-1}$ 으로 총질소 분포와 비슷하게 하루로 갈수록 낮아지는 수치를 나타냈다. 암모니아성 질소의 최대값은 1.41, 1.03, 1.01  $\text{mg L}^{-1}$ 의 수치를 보였고, 최소값은 0.02, 0.02, 0.04  $\text{mg L}^{-1}$ 으로 각각 나타났다.

### 2. 금강중류의 식물플랑크톤 군집 구성 및 우점종

2014년부터 2015년까지 금강중류 3개 정점 SJU, GJU, BJU에서 조사된 식물플랑크톤은 총 7강 18목 37과 90속 265종이었으며, 분류군별로 규조류 108종 (40.8%), 남조류 24종 (9.1%), 녹조류 118종 (44.5%), 황색편모조류, 와편모조류, 갈색편모조류, 유글레나류를 포함한 기타조류 13종 (4.9%)이 출현하였다.

연도별로 종조성을 살펴보면 2014년에는 총 7강 18목 36과 83속 231종이 동정되었으며, 분류군별로 규조류 101종 (43.7%), 남조류 18종 (7.8%), 녹조류 99종 (42.9%), 황색편모조류, 와편모조류, 갈색편모조류, 유글레나류를 포함한 기타조류 13종 (5.6%)이 확인되었으며, 2015년에는 총 7강 17목 34과 75속 193종, 분류군별로 규조류 73종 (37.8%), 남조류 17종 (8.8%), 녹조류 91종 (47.2%), 기타조류 12종 (6.2%)이 출현하였으나 전년에 비해 감소하였다. 한편, 이전 조사와 비교해보면 금강 중·하류의 종을 321종으로 보고한 Kim *et al.* (1996)의 연구보다 감소하였지만, 금강 중·하류의 종을 136종으로 보고한 Lee (2001)의 연구보다는 증가한 결과를 나타냈으며, 그 이유는 일차적으로 연간 식물플랑크톤 군집 변동이 다른 데 원인이 있겠지만 기

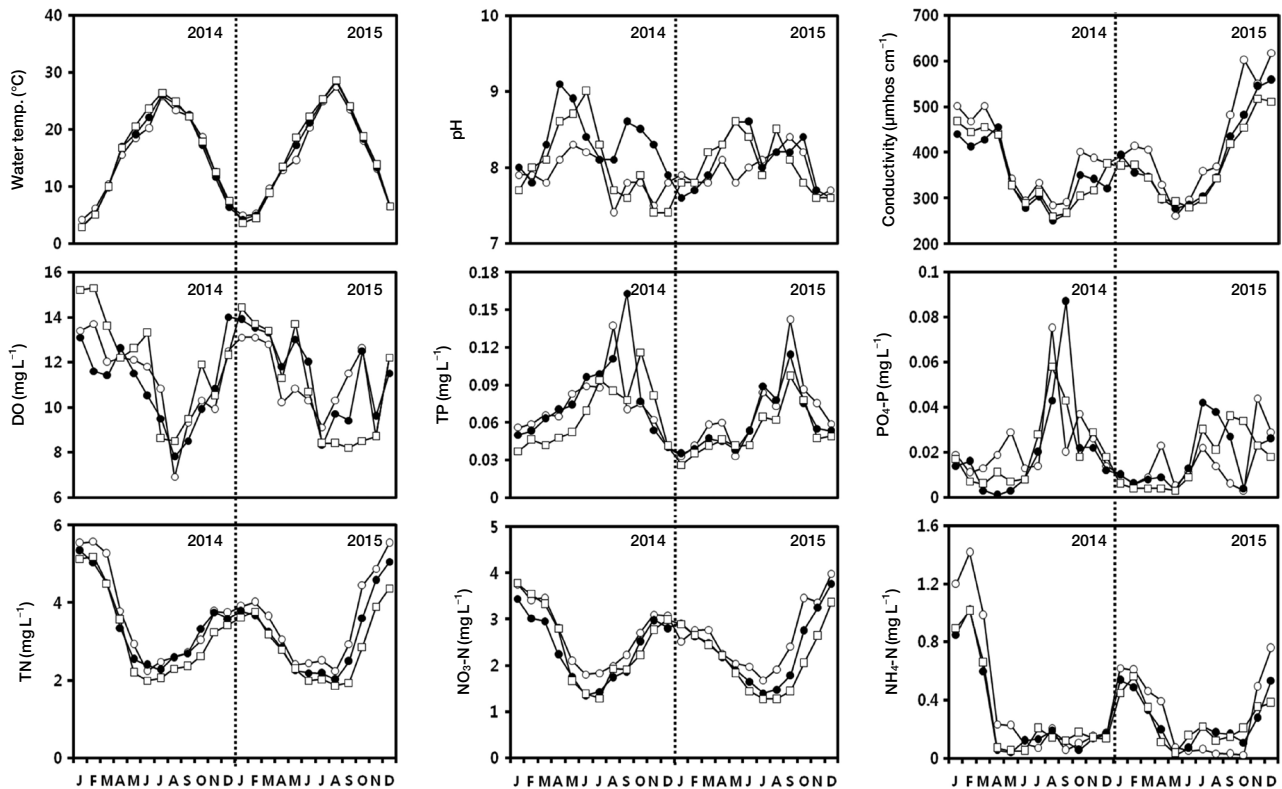


Fig. 2. The monthly changes of water temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen (DO), total phosphorus (TP), phosphate (PO<sub>4</sub>-P), total nitrogen (TN), nitrate (NO<sub>3</sub>-N), and ammonia (NH<sub>4</sub>-N) concentrations from January, 2014 to December, 2015 in the midstream of Geum River.

타 연구 시점과, 연구자에 따른 관찰방법, 숙달 정도 및 관찰 시료상 식물플랑크톤의 분산 정도 등 복합적 연구 여건도 차이를 나타낼 수 있다고 판단된다. 또한 136종으로 보고되었던 Lee (2001)의 연구보다 이번 조사에서 출현종이 많은 이유는 Lee (2001)의 연구에서는 식물플랑크톤 동정 시 변종을 포함한 하위의 분류군까지는 보고하지 않았지만 이번 연구에서는 그러한 개체들을 포함시켜 분석한 것도 하나의 요인으로 판단된다. 또한, 이번 연구는 금강 중류 구간에 한정해 조사를 수행하였지만, Kim *et al.* (1996)은 금강 하류까지 포함시켜 조사하였기 때문에 조사 범위의 차이에 따른 결과로 판단된다. 아울러, 이번 연구에서는 현존량이 0.1% 이하인 유의성 없는 종들은 세포 수에 포함시키지 않았기 때문에 다른 조사연구와 비교했을 때 전체 출현종수의 차이가 있는 것으로 생각된다.

2014년 1월부터 2015년 12월까지의 식물플랑크톤의 주요 우점종은 *Cyclotella meneghiniana*, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria pinnata*, *Navicula gregaria*, *Navicula trivialis* 등의 규조류, *Merismopedia tenuissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Micro-*

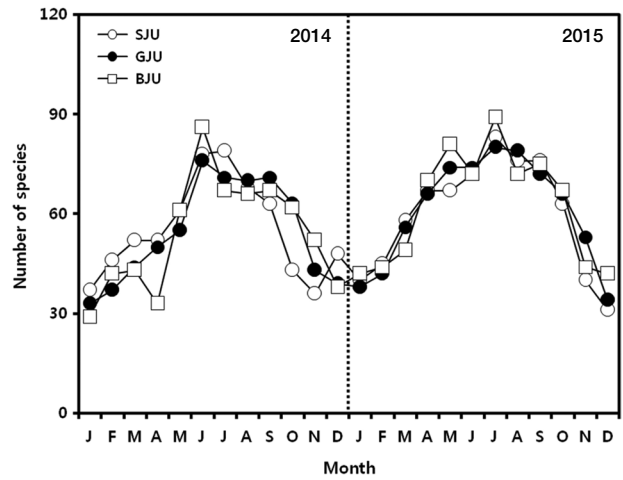
*cystis smithii*, *Microcystis wesenbergii*, *Oscillatoria limosa*, *Pseudanabaena limnetica* 등의 남조류와, *Volvox* sp., *Actinastrum hantzschii* var. *fluviale*의 녹조류, *Chroomonas acuta*의 갈색편모조류로 조사되었다. Table 2에서 나타난 바와 같이 년도 및 월별 우점 비율은 2014년도 1월, 2월 및 5월에는 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*가 각각 64.8%, 48.0%, 58.0%의 비율로 우점하였고, 3월, 4월, 6월, 7월, 12월에는 *Cyclotella meneghiniana*가 각각 41.9%, 42.7%, 19.4%, 18.2% 및 24.0%로 우점하고 있었으며, *Merismopedia tenuissima*는 8, 9월에 24.0% 및 25.6% 비율로, *Microcystis aeruginosa* 및 *Microcystis smithii*는 각각 10월, 11월에 25.7%, 27.3%의 비율로 우점하고 있었다. 이러한 종 조성의 분포는 기존에 국내 주요 하천에서 보고된 우점종들과 유사한 결과를 나타냈다(Kim *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2007). 이를테면, Son *et al.* (2013)에 의해 보고된 우리나라 주요 하천인 영산강 수계에 분포하는 식물플랑크톤의 주요 조성은 봄에는 규조류인 *Cyclotella* sp.와 *Stephanodiscus* sp., 여름에는 *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum biwae*, *Coelastrum* sp.와 같은 녹조류와 *Aula-*

**Table 2.** Dominant phytoplankton species of midstream of Geum River from 2014 to 2015.

Year	Month	Dominant species	Dominant ratio (%)
2014	Jan	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>	64.8
	Feb	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>	48.0
	Mar	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	41.9
	Apr	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	42.7
	May	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>	58.0
	Jun	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	19.4
	Jul	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	18.2
	Aug	<i>Merismopedia tenuissima</i>	24.0
	Sep	<i>Merismopedia tenuissima</i>	25.6
	Oct	<i>Microcystis aeruginosa</i>	25.2
	Nov	<i>Microcystis smithii</i>	27.3
	Dec	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	24.0
2015	Jan	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	31.3
	Feb	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	35.3
	Mar	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	34.6
	Apr	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	54.8
	May	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	56.7
	Jun	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	48.0
	Jul	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	35.9
	Aug	<i>Microcystis wesenbergii</i>	15.7
	Sep	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	19.7
	Oct	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	48.1
	Nov	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	54.5
	Dec	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	40.4

*coseira granulate*와 같은 규조류로 나타났고 가을 및 겨울에는 *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp.와 같은 규조류 및 *Aphanizomenon* sp., *Oscillatoria* sp.와 같은 남조류로 나타났으며 이번 연구에서는 보고된 규조류의 종조성과 유사한 경향을 나타냈다. 또한, 2015년도에 8월에 *Microcystis wesenbergii*가 15.7%로 우점하는 것을 제외하고 *Cyclotella meneghiniana*가 2015년 한해 동안 모두 우점종으로 존재하고 있었다. 이런 특이한 결과는 *Cyclotella meneghiniana*의 서식에 적합한 영양염의 공급과, 강수, 일조량 등과 같은 환경적인 요인이 유리하게 작용한 결과인 것으로 생각된다.

또한, Fig. 3에서 나타난 것처럼, 2년에 걸친 전체 조사 시기 중 각 3개 지점의 월별 평균 출현종수는 2014년 1월에 47종으로 가장 적었고, 6월에 113종으로 가장 많이 출현하였다. 2015년에는 1월 56종으로 가장 적은 종이 출현하였으며, 7월 119종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 지점별로 확인해보면 2014년에는 BJU에서 1월 29종으로 가장 적은 종이, BJU에서 6월 86종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 2015년에는 SJU에서 12월 31종으로 가장 적은 종이, BJU에서 7월 89종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 그

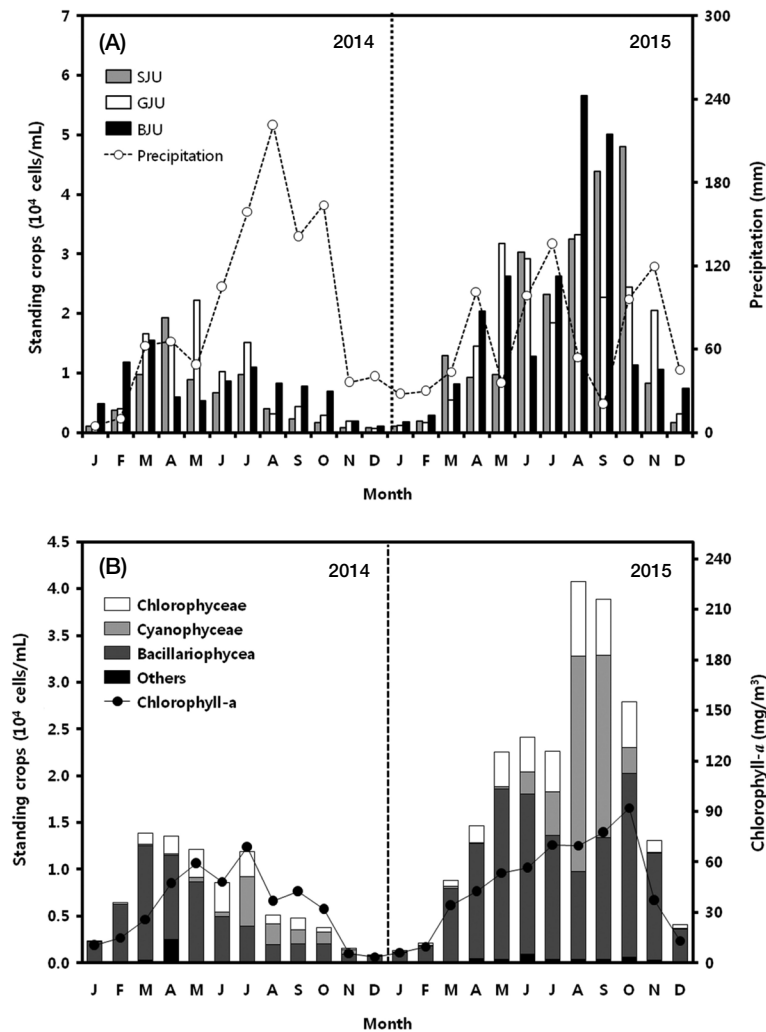


**Fig. 3.** The monthly number of species in the midstream of Geum River from January 2014 to December 2015.

리고 2014~2015년 정점별 출현종수는 월별에 따라 비슷한 패턴을 나타냈으며 전체적으로 수온이 높아지는 하계에 출현종이 크게 증가하였고, 기온이 낮아지는 10월 이후에는 전체 종수가 급격하게 감소하는 경향성을 나타내었다. 이렇듯 월별로 종수가 변화하는 이유는 다양한 이화학적 요인들이 작용한 것으로 보이지만 하계에 출현종수가 가장 많은 것으로 판단했을 때 수온과 일조량, 강우 등 물리적인 조건들의 영향도 한 요인으로 판단된다. 비슷한 연구를 진행했던 Son *et al.* (2013)은 영산강의 식물플랑크톤의 계절적 변화 요인이 온도와 강우에 의하여 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 하지만 이번 연구에서는 일반적으로 강우기에 출현종이 감소한다고 일반적으로 알려진 것과 다르게 2015년 오히려 종수가 더욱 증가하였는데, 이것은 식물플랑크톤 증식에 영향을 미치는 지역 강우량이 2014년도에 비해 2015년도에 더 적었고 주변 농가 및 지역 개발에 따라 수질의 변화 등 복합적인 이화학적 요인이 작용했기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 금강 중류의 식물플랑크톤 군집조성과 환경요인과의 상관성을 파악하기 위해 식물플랑크톤의 현존량(Standing crops)과 수온, 전기 전도도, 질소와 인의 농도 등 이화학적인 변화들을 상호 분석하였다.

### 3. 식물플랑크톤의 현존량 변동

Fig. 4A에서 나타난 바와 같이 월별 현존량은 2014년도와 비교했을 때 2015년도에 전체적으로 크게 증가하였는데, 이는 2015년이 2014년도에 비해 상대적으로 강우량이 적어 식물플랑크톤 증식에 훨씬 더 유리한 조건이 형



**Fig. 4.** (A) The monthly changes of standing crops of Sejong weir (SJU), Gongju weir (GJU), and Beakjae weir (BJU), and (B) principal classification of standing crops with changes of monthly chlorophyll a concentration (B) from January 2014 to December 2015.

성되었기 때문인 것으로 판단된다. 금강 중류의 식물플랑크톤 현존량은 2014년에는 GJU에서 12월  $731 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적었고, GJU에서 5월  $22,250 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 높은 현존량을 보였다. 2015년에는 SJU에서 1월  $1,071 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적었고, BJU에서 8월  $56,556 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 높은 현존량을 보였다. 월별 평균 현존량은 2014년에는 12월에  $858 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적었으며, 3월에  $13,908 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 2015년의 경우 1월  $1,337 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적었으며, 8월  $40,733 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 정점별 평균 현존량은 2014년에는 SJU에서  $5,693 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적었으며, GJU에서  $8,125 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 2015년의 경우 GJU에서  $17,243 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 적은 현존량을 나타냈으

며, BJU에서  $20,288 \text{ cells mL}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 또한 Fig. 4B에서 보는 것 같이 2014년에는 7, 8월을 제외하고 규조류가 현존량의 대부분을 구성하고 있었고, 2015년에도 8, 9월을 제외하고 가장 높은 수치의 현존량을 보였다. 특히, 온도가 상대적으로 낮은 겨울철에 규조류가 금강중류 식물플랑크톤 군집의 많은 부분을 차지하고 있는 것을 확인할 수 있었고, 녹조류는 규조류에 비해 현존량이 많지는 않았지만 4월부터 11월에 걸쳐 고르게 분포하였으며 겨울철인 12월부터 2월까지 거의 나타나지 않았다. 또한 11월부터 5월까지 현존량이 거의 없던 남조류는 온도가 높은 여름철에 현존량이 폭발적으로 증가하였다. 겨울철에 규조류가 높은 현존량을 유지한다는 사실은 낙동강에서의 식물플랑크톤 군집구조에 대해 보고한 Choi *et al.* (2007)

과 영산강에서 보고된 Kim (2003)의 연구 내용과 유사하게 나타났으며, 국내 하천의 일반적인 식물플랑크톤 군집 특성인 것으로 생각된다. 또한 남조류 중 유해남조류인 *Anabaena* sp., *Microcystis* sp., *Aphanizomenon* sp. 등과 같은 독성종들이 계절에 따라 다수 출현하고 있는데, 이들은 microcystin, nodularin, saxitoxin, cylindrospermopsin과 같은 독성을 발생시켜 수질에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Pearson *et al.*, 2010). 이번 연구를 통해 금강중류 남조류의 현존량 증가는 수온이 크게 증가되는 여름철에 특히 두드러지게 나타난다는 사실을 확인할 수 있었고, 남조류가 우점하여 번성하는 7, 8, 9월에는 상대적으로 규조류의 현존량 증가가 억제되는 경향성을 나타내었다. 2015년 8월 BJU와 10월 SJU지점에서 다른 지점에 비해 현존량이 급증한 이유는 각 기간에 우점종으로 분포하는 원형규조류 *Cyclotella*와 남조류인 *Microcystis*의 현존량 증가에 따른 영향인 것으로 확인되었으나, 강수량이 많은 2015년 7월과 11월에는 증가되었던 원형규조류와 남조류의 현존량이 급감한다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 이전에 Son *et al.* (2013)과 Kang and An (2006)의 연구에서 보고된 것처럼 강수량의 증가에 의한 유량 증가로 희석되었기 때문인 것으로 보인다. 이러한 결과와 비슷하게 금강중류에서의 원형규조류 현존량 증가에 관한 사실은 Lee (2001)에 의해 이전에 보고된 바와 같이 상대적으로 Si 등 영양염이 풍부한 상류지천의 영향으로 규조류의 현존량이 증가할 수도 있다고 판단된다. 따라서 상류지천인 미호천과 갑천 중 어느 지천에 의해 금강 중류의 원형규조류가 유래했는지 확인하기 위해 미호천과 갑천 두 지천에 대해 2014년에 금강중류 세 지점과 함께 조사를 실시하였다. 또한 이러한 현존량 변화와 그에 따른 수질 변화에 대한 이화학적 요인들을 확인하기 위해 2014~2015년간의 수질 요인과 식물플랑크톤 현존량의 상관관계를 비교·분석하

였다.

#### 4. 금강중류 식물플랑크톤의 현존량과 이화학적 환경요인들의 상관관계

금강중류의 식물플랑크톤 현존량과 이화학적인 환경요인들과의 상관관계는 Table 3에 나타냈다. 분석결과, 금강중류 구간에서 수온에 의해 변화되는 식물플랑크톤 군집의 현존량 양상이 Fig. 2의 수온과 Fig. 4에서 나타낸 SJU, GJU, BJU의 식물플랑크톤 월별 현존량과 비슷한 패턴을 나타낸다는 사실을 확인할 수 있었고, 총 현존량과도 가장 높은 양의 상관관계를 나타냈다( $R=0.667$ ). 분류군별로 비교했을 때 남조류( $R=0.870$ )가 가장 높은 양의 상관관계를 나타냈고 규조류( $R=0.404$ )가 가장 작은 수치를 나타냈다. 이러한 결과를 토대로 식물플랑크톤의 종 다양성에 크게 영향을 미치는 요인은 계절 변화에 따른 수온이라 여겨지며 Fig. 2에서 나타낸 것처럼 총질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소의 질소화합물의 변화가 수온과 반대되는 양상으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Table 3에서 나타낸 것처럼 모두 음의 상관관계를 나타냈다. 이는 수온이 증가하면서 식물플랑크톤의 성장온도가 최적이 되면, 식물플랑크톤 종수 및 현존량이 증가하고 그에 따른 식물플랑크톤의 질소 및 영양염류들의 흡수가 증가되기 때문인 것으로 판단된다. 그리고, 식물플랑크톤 번성에 따른 영양염류의 흡수 증대로 인해 수중 이온량이 감소하면서 전기전도도( $R=-0.016$ ) 또한 수온과 반대 경향을 나타내 음의 상관관계를 갖는 것으로 생각되며, 용존산소(DO)는 수온이 증가함에 따라 산소의 용해도가 감소하면서 수온과 반대 경향을 나타내 음의 상관관계를 갖는 것으로 판단된다( $R=-0.405$ ). 또한, 총인의 경우 현존량과 양의 상관관계( $R=0.335$ )를 갖는 것으로 나타났다. 질소와 인은 식물

**Table 3.** Correlation coefficients of biological and physicochemical variables ( $n=48$ ) in the midstream of Geum River from 2014 to 2015.

Variable	Chlorophyceae	Cyanophyceae	Bacillariophyceae	Others	Standing crops
Temperature (°C)	0.838	0.870	0.404	-0.022	0.667
pH	0.655	0.342	0.574	0.388	0.604
DO (mg L <sup>-1</sup> )	-0.527	-0.710	-0.163	0.115	-0.405
Conductivity (µmhos cm <sup>-1</sup> )	-0.230	-0.390	0.133	0.384	-0.016
TP (mg L <sup>-1</sup> )	0.489	0.663	0.073	-0.366	0.335
PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	0.089	0.362	-0.278	-0.502	-0.064
TN (mg L <sup>-1</sup> )	-0.691	-0.814**	-0.219*	0.039	-0.444**
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	-0.744**	-0.761	-0.312	0.016*	-0.530
NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	-0.612	-0.801	-0.176	-0.053	-0.349
N/P ratio	-0.783	-0.884	-0.365	0.091	-0.608

\* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$

플랑크톤 생장에 필수적인 영양염이라 할 수 있으며, 이번 연구에서 총인의 수치가 양의 상관관계를 나타낸 반면 총 질소는 음의 상관관계를 나타내는 서로 다른 양상을 나타내는 현상을 확인할 수 있었고, N/P 비율과 식물플랑크톤의 현존량의 상관관계를 분석한 결과 음의 상관관계를 나타내는 것으로 확인되었다. 이렇게 총인의 수치가 상대적으로 높은 이유는 강수 등에 의해 유입되는 총인의 양이 상대적으로 많기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 금강 상류 지천 및 중류지점의 식물플랑크톤 현존량 변화

2014년 금강중류지점의 식물플랑크톤 현존량이 미호천(MH)과 갑천(GC)의 두 지천 중 어느 곳의 영향을 더 많이 받는지 확인하기 위해, Fig. 1에서 나타낸 5개 지점에서 두 지천 MH, GC에서의 현존량과 금강중류 세 지점 SJU, GJU 및 BJU에서의 현존량을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 것처럼 4월부터 7월까지 MH의 현존량이 증가할 때에는 MH의 현존량과 상류와 가까운 지점인 SJU와 GJU의 현존량이 서로 유사하였지만 8월부터 3월까지 MH의 현존량이 감소할 때에는 하류인 BJU의 현존량과 유사한 경향을 보였다. 또한, 전반적으로 MH의 현존량이 GC에 비해 풍부하여 금강중류의 식물플랑크톤 현존량 분포에 갑천보다 미호천에 의한 영향이 더 크다고 판단된다. 이렇듯 금강 중류의 식물플랑크톤 현존량의 변동이 미호천과 비슷한 경향을 나타내고, 금강중류의 하류로 갈수록 차이를 보이는 이유는 미호천의 유량이 갑천보다 더 많기 때문인 것으로 생각된다. 국립환경과학원(2015)의 연구에 의하면, 2015년 갑천과 미호천 말단 유입지점의 월별

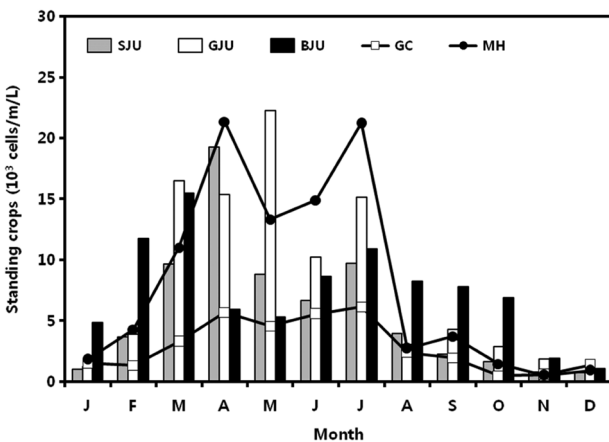


Fig. 5. The changes standing crops of Sejong weir (SJU), Gongju weir (GJU), Beakjae weir (BJU), Gapcheon stream (GC), and Miho stream (MH) on 2014.

평균 유량을 비교한 결과 갑천의 경우 7.7~21.9 CMS였고 미호천의 경우 그보다 2배 이상 높은 15.8~77.4 CMS였다 (NIER, 2015). 따라서 대청호 방류가 없는 시기에는 미호천과 갑천에서 유입되는 유량의 차이에 의해 금강중류 식물플랑크톤 군집이 동태에 영향을 미치고 있다고 사료되며, 금강중류의 원형구조류 분포 또한 미호천의 영향을 받은 것으로 생각된다. 그리고 2014년 미호천에서 강우 기간임에도 7월에 현존량이 증가한 것은 조사결과 아우점종인 *Actinastrum hantzschii* var. *fluviatile*와 원형구조류가 번성한 것으로 확인되었고, 이 시기에 SJU지점에서 미호천과 비슷한 양상을 나타내는 것은 SJU가 미호천의 식물플랑크톤 군집분포에 의해 영향을 받았기 때문인 것으로 추측된다. 이러한 사실들로부터 이번 연구를 통해 금강중류의 식물플랑크톤의 군집분포와 이화학적인 수질변화의 관계가 미호천의 식물플랑크톤 군집분포와 관련성이 있는 것으로 판단된다.

### 6. 금강중류의 식물플랑크톤 군집분석

금강중류의 식물플랑크톤 군집의 종 다양도, 종 풍부도, 종 우점도 및 균등도를 산출한 결과는 Fig. 6과 같이 나타났다. 종 다양도의 경우 2014년과 2015년에 전체 평균 2.30, 2.42로 각각 조사되어, 2015년에 평균적으로 더 높은 종 다양도를 보였다. 또한, 2014년 SJU, GJU, BJU의 연평균 종 다양도는 각각 2.44, 2.36, 2.08로 나타났고, 2015년에는 2.59, 2.35, 2.31로 SJU에서 종 다양도가 더 높게 유지되고 하류로 내려갈수록 종 다양도가 감소한다는 사실을 확인할 수 있었다. 월별로 확인할 경우 수온이 높아지는 7월과 8월에 전반적으로 높은 종 다양도 수치를 나타냈다.

종 풍부도의 경우 2014년과 2015년에 전체 평균 4.72, 6.35로 각각 조사되어 2015년에 더 높은 수치를 나타내었다. SJU, GJU, BJU 구간별 2014년 평균 종 풍부도는 4.94, 4.71, 4.51로 조사되었고 2015년의 경우 6.27, 6.37, 6.40으로 각각 조사되어 2014년의 경우 SJU 지점에서부터 하류로 갈수록 높은 종 풍부도를 나타냈고, 2015년에는 오히려 하류로 갈수록 낮은 종 풍부도를 보였다. 이러한 차이는 2014년에 비해 2015년에 감소된 강수량 차이에 기인한 것으로 생각된다. 2015년에는 BJU에서 풍부도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 월별로 전체 지점 평균을 비교했을 때 종 풍부도는 수온이 높아지는, 5월~9월 정도에 그 수치가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

우점도의 경우 2014년과 2015년에 전체평균이 각각 0.53, 0.52로 2014년이 다소 높게 나타난 것을 확인할 수 있었고, SJU, GJU, BJU 구간별 2014년 우점도는 평균 0.49,



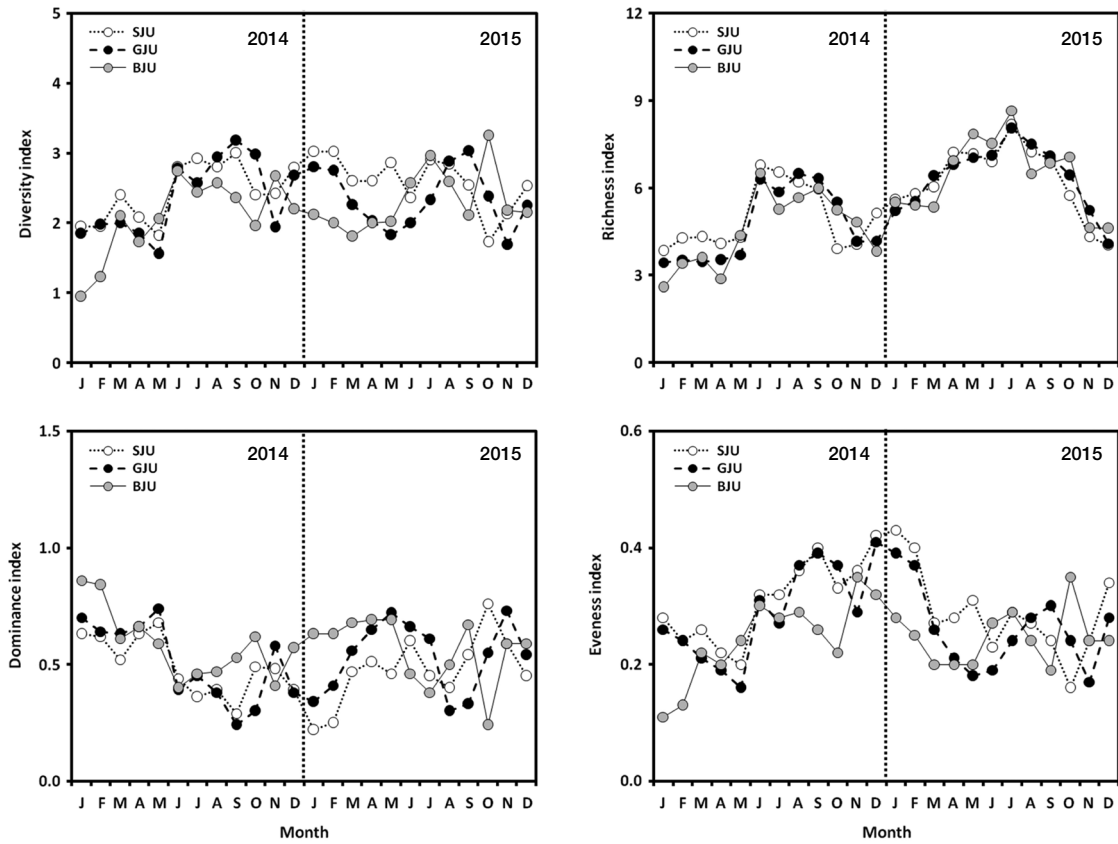


Fig. 6. The monthly changes of delivery index, richness index, dominance index, and evenness index of phytoplankton community in Sejong weir (SJU), Gongju weir (GJU), and Beakjae weir (BJU) from January 2014 to December 2015.

0.51, 0.59로 조사되었고, 2015년에는 평균 0.48, 0.53, 0.56으로 BJU 지점에서 전반적으로 높게 나타난다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 월별 평균으로 비교했을 경우 수온이 높은 하계에 낮은 수치를 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

균등도의 경우 2014, 2015년 전체 평균이 각각 0.28, 0.26으로 나타나 2015년에 다소 낮은 수치를 나타냈고, 2014년 SJU, GJU, BJU에서 각각 0.31, 0.29, 0.24의 수치를 보였으며 2015년에는 0.29, 0.26, 0.25의 수치를 나타냈다.

전반적으로 계절적인 변화에 따라 수온이 상승하는 하계에 높은 다양도 지수와 낮은 우점도 지수를 나타냈고, 동계에는 낮은 다양도와 높은 우점도 지수를 나타냈다. 그 이유는 Fig. 3처럼 하계에 출현하는 종수가 증가하고 동계에는 규조류의 우점으로 인해 종수가 감소했기 때문인 것으로 생각되며, 동계 기간에 감소된 다양성 지수와 증가된 우점도 지수에 대한 이번 연구와 비슷한 결과가 낙동강에서도 보고된 바 있다(Son, 2013).

## 사 사

본 연구는 2014, 2015년도 금강수계 환경기초조사사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

Barnes, R.S.K. and K.H. Mann. 2009. Fundamentals of aquatic ecology (Eds). Wiley, New York.

Choi, C.M., W.I. Kim, J.S. Lee, G.B. Jung, J.T. Lee, S.G. Moon and J.H. Kim. 2007. Phytoplankton flora and community structure in the lower Nakdong River. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 26: 159-170.

DROCM (Daejeon Regional Office of Construction Management). 2009-2011. Report in Post-environmental Impact Assessment of Geum River Project. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

de Figueiredo, D.R., U.M. Azeiteiro, S.M. Esteves, F.J. Gonçalves and M.J. Pereira. 2004. Microcystin-producing blooms-a

- serious global public health issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **59**: 151-163.
- Ha, K., M.H. Jang and G.J. Joo. 2003. Winter *Stephanodiscus* bloom development in the Nakdong River regulated by an estuary dam and tributaries. *Hydrobiologia* **506**: 221-227.
- Hellawell, J.M. 2012. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management (Ed.). Springer Science & Business Media, New York.
- HRFCO (Han River Flood Control Office). 2013. Report in List of Rivers of South Korea, National Institute of Environmental Research.
- Kang, S.A. and K.G. An. 2006. Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan-River watershed. *Korean Journal of Limnology* **39**: 73-84.
- Kim, D.K., K.S. Jeong, P.A. Whigham and G.J. Joo. 2007. Winter diatom blooms in a regulated river in South Korea: explanations based on evolutionary computation. *Freshwater Biology* **52**: 2021-2041.
- Kim, J.T., E.R. Park, H.S. Cho and S.M. Boo. 1996. The Phytoplankton Community Structure in the Main Stream of the Kungang River, Korea. *Korean Journal of Limnology* **29**: 187-195.
- Kim, M.S., Y.R. Chung, E.H. Suh and W.S. Song. 2002. Eutrophication of Nakdong River and Statistical Analysis of Environmental Factors. *Algae* **17**: 105-115.
- Kim, Y.J. 2003. Dynamics of phytoplankton community in Yeongsan River. *Algae* **18**: 207-215.
- Kwon, Y.H., J.K. Seo, S.W. Park and S.Y. Yang. 2006. Evaluation of diatom growth potential in midstream and downstream Nakdong River. *Algae* **21**: 229-234.
- Lee, S.K. 2001. Community structure and population dynamics of phytoplankton in the middle and the low part of Kungang River, Korea. PhD Thesis. Chungnam National University, Korea.
- Margalef, R. 1973. Information theory in ecology. Department of the Environment, Fisheries Research Board of Canada, Great Lakes Biolimnology Laboratory. pp. 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 1993. Report in Development of Algae Control Technology at Bay in Reservoir (III). National Institute of Environmental Research.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2015. Report in Aquatic Ecosystem Monitoring in Weirs of the Gueum River. National Institute of Environmental Research. pp. 43-46.
- Palmer, C.M. 1977. Algae and water pollution. Available from the National Technical Information Service, Springfield.
- Park H.K., C.M. Chung, J.R. Bahk and Y.K. Hong. 1999. The relationship between phytoplankton productivity and water quality changes in downstream of Nakdong River. *Journal of Korean Environmental Science Society* **8**: 101-106.
- Pearson, L., T. Mihali, M. Moffitt, R. Kellmann and B. Neilan. 2010. On the chemistry, toxicology and genetics of the cyanobacterial toxins, microcystin, nodularin, saxitoxin and cylindrospermopsin. *Marine Drugs* **8**: 1650-1680.
- Pielou, E.C. 1975. Ecology diversity. Wiley, New York. 165pp.
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, UK.
- Seo, J.K., H.J. Lee and I.K. Chung. 2010. The community dynamics of microbial food web during algal bloom by *Stephanodiscus* spp. in downstream of Nakdong River. *Korean Journal of Environmental Biology* **28**: 172-178.
- Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie* **106**: 433-471.
- Son, H.J. 2013. The analysis of phytoplankton community structure in the middle-lower part of the Nakdong River. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **35**: 430-435.
- Son, M., J.H. Park, C. Lim, S. Kim and B.J. Lim. 2013. Seasonal changes of phytoplankton community and water quality in Yeongsan River Watershed. *Korean Journal of Environmental Biology* **31**: 105-112.
- Sundback, K., B. Jonsson, P. Nilsson and I. Lindstrom. 1990. Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow-water sediment system: an experimental study. Marine Ecology Progress Series MESED T 58.
- Watanabe, T. 1962. On the biotic index of water pollution based upon the species number of Bacillariophyceae in the Tokoro River in Hokkaido. *Japanese Journal of Ecology* **12**: 216-222.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology: lake and river ecosystems. Gulf Professional Publishing, Oxford.