

Original article

## 금강 유역 호소에서 출현하는 식물플랑크톤 군집구조 특성 분석

최용범 · 신윤근\*

상지대학교 환경공학과

**Analyses of Community Structure of Phytoplankton in Reservoirs Located in the Geum River Watershed in South Korea.** Yong Bum Choi (0000-0002-7790-8928) and Yoon Keun Shin\* (0000-0003-3560-1749) (Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea)

**Abstract** The present study investigated species richness and phytoplankton community structure in lakes in the Geum River Basin during autumn and spring seasons. Surveys were conducted between September and November 2019, and between April and May 2020, which corresponded to the autumn and spring seasons, respectively, to explore the distribution characteristics of the species. A total of 49 species of phytoplankton belonging to 31 genera and seven classes were identified in Cho Pyeong-ji, 51 species belonging to 29 genera and six classes were identified in Song Ak-ji, 49 species belonging to 32 genera and seven classes were identified in Cheong Cheon-ji, 82 species belonging to 45 genera and six classes were identified in Ye Dang-ji, and 70 species belonging to 40 genera and six classes were identified in Ganwol Lake. A total of 43 species belonging to 74 genera and seven classes were identified. The ranges of phytoplankton standing crop were as follows: 223~3533 cells mL<sup>-1</sup> in Cho Pyeong-ji, 881~176018 cells mL<sup>-1</sup> in Song Ak-ji, 402~6139 cells mL<sup>-1</sup> in Cheong Cheon-ji, 262~10460 cells mL<sup>-1</sup> in Ye Dang-ji, and 20413~330695 cells mL<sup>-1</sup> in Ganwol Lake. Phytoplankton diversity in Cho Pyeong-ji, Song Ak-ji, Cheong Cheon-ji, Ye Dang-ji, and Ganwol Lake were 1.10~2.60, 0.56~2.03, 0.21~2.03, 0.65~2.57, and 0.44~1.12, respectively. Phytoplankton species richness in Cho Pyeong-ji, Song Ak-ji, Cheong Cheon-ji, Ye Dang-ji, and Ganwol Lake were 1.91~4.99, 1.82~3.26, 1.26~4.17, 2.07~5.37, and 1.90~2.43, respectively. Phytoplankton evenness indices in Cho Pyeong-ji, Song Ak-ji, Cheong Cheon-ji, Ye Dang-ji, and Ganwol Lake were 0.38~0.78, 0.18~0.69, 0.08~0.71, 0.22~0.72, and 0.14~0.38, respectively. Phytoplankton dominance indices in Cho Pyeong-ji, Song Ak-ji, Cheong Cheon-ji, Ye Dang-ji, and Ganwol Lake were 0.40~0.83, 0.55~0.96, 0.44~0.99, 0.42~0.93, and 0.89~0.97, respectively.

**Key words:** phytoplankton, community structure, community indices, lake, Geum River

### 서 론

국내에 약 18,700여 개의 호소가 있고, 자연호는 이들

전체 중 1%도 안되며, 대부분은 인공호로서 대형 인공 호 및 저수지들로 구성되어 있기 때문에 수리수문학적 특성 측면에서 호소들의 물은 수위 변동이 매우 크고, 수 체류 시간이 일반적으로 길다. 금강수계의 유역면적은 9,914 km<sup>2</sup>로 우리나라에서 세 번째로 큰 유역으로 본류의 길이는 397.25 km이며, 유역의 상류 및 중류에는 용담댐과 대

Manuscript received 18 June 2021, revised 2 November 2021,  
revision accepted 18 November 2021  
\* Corresponding author: Tel: +82-33-730-0441, Fax: +82-33-730-0444  
E-mail: ykshin@sangji.ac.kr

© 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.

**Table 1.** Characteristics of study reservoirs including location, watershed and volume.

| Reservoir       | Station | Location (Latitude, longitude) | Surface area (km <sup>2</sup> ) | Watershed area (km <sup>2</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|---------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Cho Pyeong-ji   | St.1    | N 36°49'10" E 127°30'43"       | 2.6                             | 132                               | 1,470,326                |
| Song Ak-ji      | St.1    | N 36°43'13" E 126°58'59"       | 1.1                             | 43                                | 742                      |
| Cheong Cheon-ji | St.1    | N 36°23'11" E 126°37'27"       | 2.6                             | 70                                | 2,204,800                |
| Ye Dang-ji      | St.1    | N 36°36'38" E 126°47'50"       | 10.8                            | 367                               | 4,982                    |
|                 | St.2    | N 36°37'42" E 126°48'07"       |                                 |                                   |                          |
| Ganwol lake     | St.1    | N 36°39'12" E 126°27'10"       | 26.4                            | 491                               | 122,854                  |
|                 | St.2    | N 36°37'52" E 126° 27'18"      |                                 |                                   |                          |

청택이 있어 대전광역시, 충청남도 및 충청북도의 용수공급을 하고 있다. 호소환경은 다양한 생물서식지 및 주요한 수자원으로서 예로부터 인간에 의해 농업용수, 어로 활동, 식수 공급 그리고 여가활동 제공 등 다양한 목적으로 활용되고 있다. 그러나 무분별한 인간 활동의 증가는 호소 내 생물생태계의 파괴, 수질 부영양화의 문제를 유발한다. 하천에 댐을 건설해 생긴 인공호는 수리학적 특성과 생태학적 특성이 매우 다양하다. 호소에서의 식물플랑크톤 군집 동태는 주로 빛과 영양염에 의한 성장률, 수피의 순환 및 교란에 영향을 받는 유기물의 침강률 및 동물플랑크톤에 의한 섭식률에 의하여 크게 영향을 받는다(Reynolds *et al.*, 1983; Sommer *et al.*, 1986). 그러나 하천형 호소나 저수지에서의 식물플랑크톤의 군집 동태는 무엇보다도 수량의 배출률에 의해 좌우되는 수체류 시간이 중요한 영향을 미친다. 식물플랑크톤은 수생태계 안에서 중요한 구성원으로서 에너지를 순환시키는데 매우 중요한 역할을 담당하고 있고 물리화학적 변화에 민감하게 반응하는 특성을 가지고 있어 환경오염의 지표성이 뛰어나 육수역의 오염지표로 널리 사용되고 있다(Watanabe, 1962; Brook, 1965; Bold and Wynne, 1985; Hellawell, 1986). 본 연구는 금강 유역에 있는 호소들의 식물플랑크톤 군집의 종조성 및 군집구조를 조사하고 분포 특성을 파악하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역 및 조사내용

본 연구에서는 환경부 호소환경조사지침에 나와있는 금강수계 관리대상호수는 14개이며 이것들을 A권역, B권역, C권역의 세 권역으로 나누어 관리하는데 이 중 하나인 A권역 5개 호소(초평지, 송악지, 청천지, 예당지, 간월호)에 대한 호소 유역환경 및 수생태계 조사를 하였다(Table 1, Fig. 1). 각 호소의 저수 면적, 유역 면적, 담수용량은 Table 1

에 제시되었다. 저수 면적이 3 km<sup>2</sup> 이하인 경우는 소형호로 3~50 km<sup>2</sup>인 경우는 중형호로 분류하였다. 초평지(CP), 송악지(SA), 청천지(CC)는 나뭇가지형의 호소 형태를 가지고 있는 소형호들이고 예당지(YD)와 간월호(GW)는 장방형의 호소 형태를 가지고 있는 중형호이다(Table 1, Fig. 1). 소형호에서는 시료 채취 시 정점 1곳을 중형호에서는 정점 2곳을 지정하였고 추계 시기인 2019년 9월과 11월 춘계 시기인 2020년 4월과 5월에 각각 조사를 실시하였다.

### 2. 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량

식물플랑크톤 시료는 0.5 m 수심의 표층수를 500 mL를 PE bottle에 채수하였고 포르말린 용액 및 산성 루골 용액으로 고정된 후 24시간 이상 침강시켰다. 사이폰으로 상등액을 제거 후 1 mL에 약 10,000~100,000 개체수가 되도록 농축하였다. 정성분석을 통해 종 목록을 작성하였으며, 농축된 시료 1 mL를 정량분석용 Sedgwick Rafter counting chamber에 취하여 광학현미경을 이용하여 200~400배율로 검경하면서 종별로 동정한 후 세포수를 계수하고 현존량은 단위 부피(mL)당 세포수(cells mL<sup>-1</sup>)로 산출하였다.

종 동정은 구조류의 경우는 Hartley (1986)의 분류체계에 따라, 그 밖의 종류는 Hiroyuki *et al.* (1977) 체계에 따라 정리하였다(Kim, 2000). 검색 참고문헌으로 Cleve-Euler (1951~1955), Prescott (1962), Komarek (1991) 등을 이용하였다.

### 3. 군집지수

식물플랑크톤의 군집을 분석하기 위해 출현종수와 현존량을 근거로 하여 각 정점별로 Shannon and Wiener의 다양성지수(Shannon and Wiener, 1963), Shannon의 지수를 이용한 균등도지수(Pielou, 1966), Margalef의 풍부도지수(Margalef, 1958), Shimpson의 우점도지수(Shimpson, 1949)를 사용하여 산출하였고 Excel을 이용하여 계산

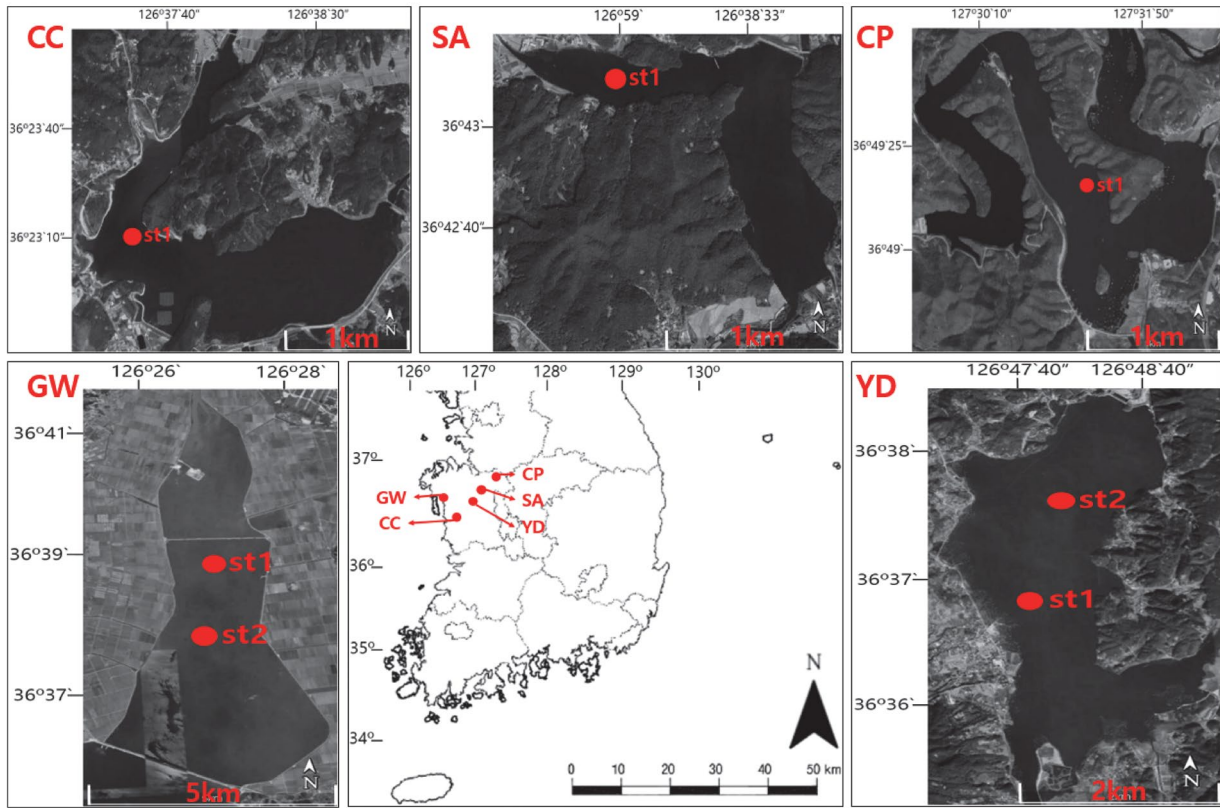


Fig. 1. Location of study sites and sampling station in each reservoirs in the Geum River watershed, South Korea. CC: Cheong Cheon-ji, GW: Ganwol lake, SA: Song Ak-ji, CP: Cho Pyeong-ji, YD: Ye Dang-ji.

하였다.

$$H' = - \sum (P_i) \times \log(P_i)$$

$$J' = H' / \ln(S)$$

$$R = (S - 1) / \ln(S)$$

$$C = \sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1)$$

P<sub>i</sub>는 전체 개체 수(N)에서 i번째 종이 차지하는 비율(n<sub>i</sub>/N), S는 총 출현종수, n<sub>i</sub>는 i번째 종의 개체 수를 의미한다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식물플랑크톤 종조성

본 조사 호소 대부분이 담수호에서 주로 출현하는 규조류와 녹조류, 남조류가 지배하고 있는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤 종합 결과 초평지에서는 총 7강 31속 49종이 출현하였다. 시기별로 보면 16~28종의 범위로 2020년 4월 조사에서 가장 다양하였고 2019년 9월 조사에서 가장 적었다. 송악지에서는 총 6강 29속 51종이 출현하였다. 시기

별로 보면 19~27종의 범위로 2020년 4월 조사에 상대적으로 가장 다양하였다. 청천지에서는 총 7강 32속 49종이 출현하였다. 시기별로 보면 12~26종의 범위로 나타났다. 소규모 저수지인 초평지, 송악지, 청천지의 종조성 결과는 역시 소규모인 청천지 인근의 신규저수지를 연구한 Lee *et al.* (2009)의 연구 결과에서 34속 61종이 나온 것과 비교할 때 약간 작은 것으로 나타났는데 이 차이는 지역의 차이도 있겠지만 본 조사의 조사 횟수와 조사 정점이 적은 것이 영향을 준 것으로 보여진다. 예당지에서는 총 6강 45속 82종이 출현하였다. 시기별로 보면 2019년 9월 조사에는 26~49종의 범위로 2020년 4월 조사에 상대적으로 다양하게 출현하였다. 간월호에서는 총 6강 40속 70종이 출현하였다. 시기별로 보면 25~40종의 범위로 2019년 11월 조사에 가장 다양하게 출현하였다. 소형호인 초평지, 송악지, 청천지에서는 49~51의 범위로 평균 50종이 나타났고 중형호인 예당지와 간월호에서는 70~83의 범위로 평균 77종이 나타났는데 조사한 정점수가 2개였기 때문에 영향이 있었을 것으로 판단된다. 본 조사 결과 나타난 식물플랑크톤 종수는 Kim *et al.* (1996)의 금강 중·하류에서 보고한

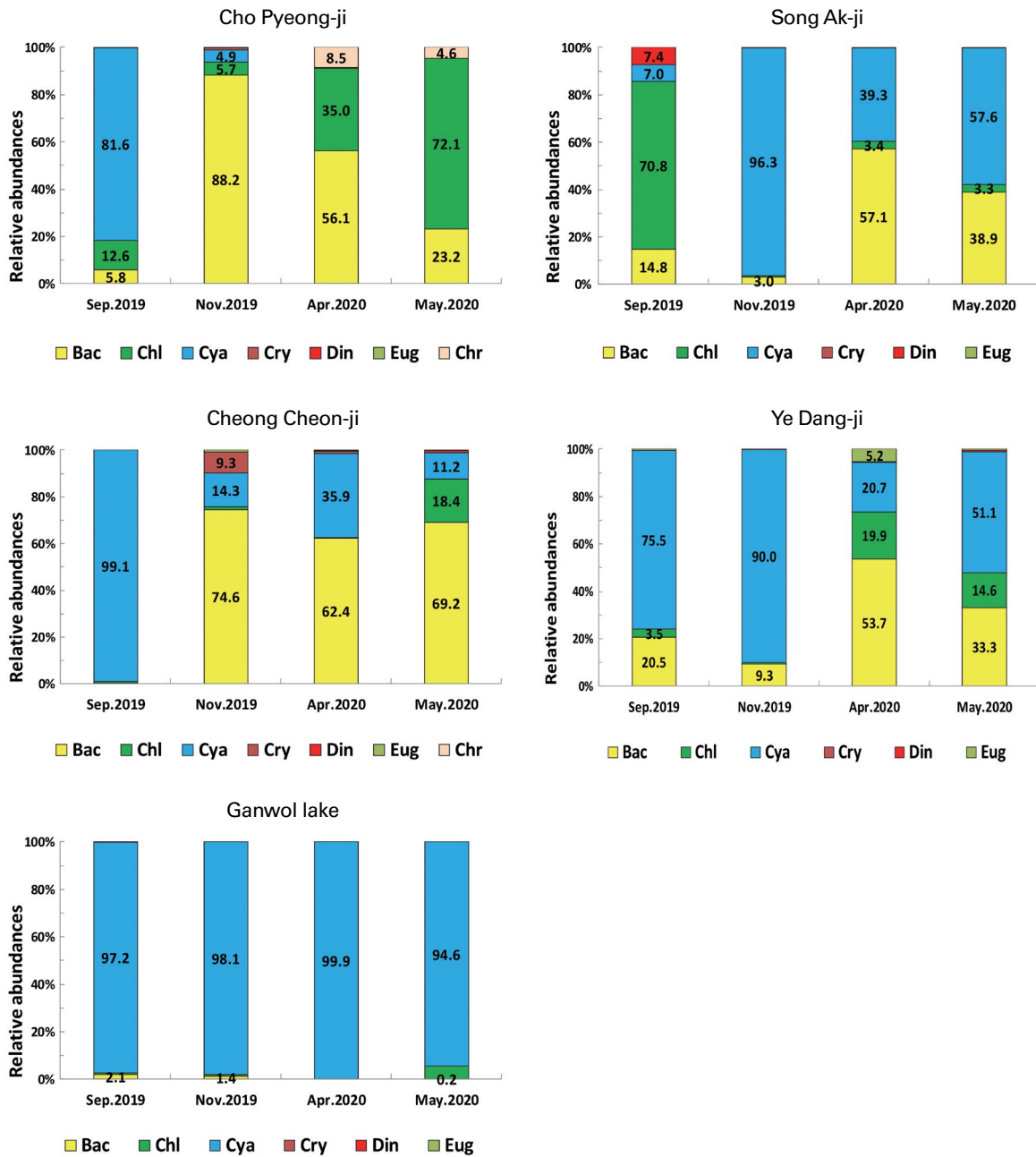


Fig. 2. Relative abundances (%) by standing crops in differeng groups at each study reservoirs.

321종에 비해 소형호는 6배 이상, 중형호는 5배 이상 적은 수준이었고 Choi et al. (2007)이 낙동강에서 조사한 196종에 비해 소형호는 4배 가까이, 중형호는 2배 이상 적은 수준이었으며 Lee and Chang (1997)이 한강 하류에서 보고한 145종에 비해 소형호는 3배 가까이, 중형호는 2배 가까이 적은 수준이었다. 위 연구에서 나타난 주요종들은 규조류인 *Aulacoseira*속, *Cyclotella*속, *Fragilaria*속들과 녹조류

인 *Coelastrum*속, *Crucigenia*속, *Oocystis*속들과 남조류인 *Anabeana*속, *Aphanothece*속, *Merismopedia*속, *Microcystis*속, *Oscillatoria*속, *Pseudanabaena*속, *Lyngbya*속들과 와편모조류인 *Peridinium*속 등이었다. 이와 같은 출현종들은 우리나라 호소에서 보편적으로 보고된 출현종들의 구성과 유사하였다(Lee et al., 1998; Kim et al., 2003; Lee et al., 2003; Kim and Kwun, 2004; Lee and Jung, 2004; Park and

Lee, 2005; Moon *et al.*, 2005; Kim, 2008; Shin *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010; Youn *et al.*, 2010; Na *et al.*, 2011). 따라서 출현종이 비슷하므로 지역적인 차이보다도 위의 연구들에 비해 본 조사의 조사 횟수와 조사 정점수가 적은 것이 더 큰 원인으로 보여진다.

## 2. 식물플랑크톤 현존량

초평지의 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 223~3,533 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 2019년 11월 조사에 규조류의 현존량이 높게 나타났다. 현존량의 점유율은 2019년 9월 조사에는 남조류(81.6%)가 높았고 2019년 11월 조사에는 규조류(88.2%)의 점유율이 가장 높았으며 2020년 춘계 조사에서는 녹조류의 점유율로 높게 나타났다. 2019년 9월 조사에서는 유해성 남조류인 *Anabeana crassa* (29.8%), 남조류인 *Merismopedia tenuissima* (27.9%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2019년 11월 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (74.1%), 유해성 남조류인 *Microcystis* sp. (4.8%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2019년 9월 조사에서는 광량이 증가하면서 남조류가 우점하고 2019년 11월 조사에는 수온이 낮아지면서 낮은 수온을 선호하는 규조류의 우점율이 증가하였다. 2020년 4월 조사에서는 규조류인 *Cyclotella meneghiniana* (22.0%), *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (17.9%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 5월 조사에서는 녹조류인 *Coelastrum* sp. (23.0%), *Oocystis parva* (22.1%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 수온이 낮은 2020년 4월 조사와 수온이 점차 증가하는 2020년 5월 조사에는 각각 규조류와 녹조류의 우점율이 증가하는 계절별 변동 특성을 보였다.

송악지의 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 881~176,018 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 2019년 11월 조사에 남조류의 현존량이 높게 나타났다. 현존량의 점유율은 2019년 9월 조사에는 녹조류(70.8%)가 매우 높았으나 2019년 11월 조사에는 남조류(96.3%)의 점유율이 가장 높았다. 수온이 낮은 2020년 4월 조사에는 규조류(57.1%)의 점유율이 높았으며 수온이 점차 증가하는 2020년 5월 조사에는 남조류(57.6%)의 점유율이 가장 높았다. 시기별로 차이를 보였다. 2019년 9월 조사에서는 녹조류인 *Crucigenia crucifera* (47.1%), 와편모조류인 *Peridinium* sp. (7.4%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 와편모조류 *Peridinium* 속 대발생은 국내외적으로 (Pollinger and Berman, 1975; Endo and Nagata, 1984; Kim, 1987; Lee and Cho, 1994; Ikeda *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2001; Kishimoto *et al.*, 2001) 알려져 온 것으로 보

아 담수적조 현상이 일어날 가능성이 있다. 2019년 11월 조사에서는 남조류인 *Lyngbya contorta* (86.7%), 남조류인 *Aphanothece* sp. (9.1%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2019년 9월 조사에서는 광량이 증가하면서 녹조류와 와편모조류가 우점하였고 2019년 11월 조사에는 남조류의 우점율이 증가하였다. 2020년 4월 조사에는 규조류인 *Aulacoseira distans* (45.6%), *Pseudanabaena* sp. (39.3%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 5월 조사에는 남조류인 *Pseudanabaena* sp. (57.6%), *Aulacoseira distans* (21.9%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 4월 조사에서는 규조류의 우점율이 높았고 2020년 5월 조사에서는 남조류 우점율이 높았다.

청천지의 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 402~6,139 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 2019년 9월 조사에 남조류의 현존량이 높게 나타났다. 현존량의 점유율은 2019년 9월 조사에는 남조류(99.1%)가 매우 높았으나 2019년 11월 조사에는 규조류(74.6%)의 점유율이 가장 높았다. 2020년 춘계 조사에는 규조류의 점유율이 높게 나타났다. 2019년 11월 조사에서는 갈색편모조류(9.3%)의 점유율이 높게 나타났다. 청천지의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 2019년 9월 조사에서는 남조류인 *Microcystis* sp. (96.1%), 남조류인 *Pseudanabaena mucicola* (2.8%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 청천지의 9월 우점종은 얇은 부영양 저수지에서 추계시기에 남조류가 우점하고 남조류 중 *Microcystis* 속이 우점한 연구 결과 (Kim *et al.*, 2005)와 비슷한 경향을 보였다. 2019년 11월 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira granulata* (32.8%), 규조류인 *Aulacoseira granulata* v. *angustissima* (17.8%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 4월 조사에서는 규조류인 *Fragilaria* sp. (45.1%), *Oscillatoria agardhii* (35.9%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 5월 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (25.9%), *Fragilaria capucina* (18.2%)이 각각 최우점과 아우점하였다. *Aulacoseira*속과 *Fragilaria*속들은 여름 중순 이후에 인의 농도가 충분히 증가한 부영양화된 수역에서 증가하는 종들로 보고되고 있는데 (Stoermer, 1978), *Aulacoseira*속의 변종은 인에 대한 요구가 낮지만 광량에 높은 의존성을 가진다고 보고하였다 (Kilham *et al.*, 1986).

예당지의 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 262~10,460 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 나타났다. 2019년 11월 조사에 가장 높게 나타났다. 현존량의 점유율은 2019년 9월 조사에는 남조류(75.5%), 2019년 11월 조사에도 남조류(90.0%)의 점유율이 가장 높았다. 2020년 4월 조사에는 규조류(53.7%)의 점유율이 높게 나타났으며 2020년 5월 조사에



**Table 2.** Number of phytoplankton species observed in each study reservoirs.

| Taxa              | Reservoir     |            |                 |            |             |
|-------------------|---------------|------------|-----------------|------------|-------------|
|                   | Cho Pyeong-ji | Song Ak-ji | Cheong Cheon-ji | Ye Dang-ji | Ganwol lake |
| Bacillariophyceae | 20            | 27         | 27              | 46         | 23          |
| Chlorophyceae     | 17            | 16         | 9               | 24         | 33          |
| Cyanophyceae      | 5             | 4          | 6               | 5          | 8           |
| Cryptophyceae     | 2             | 1          | 2               | 1          | 2           |
| Dinophyceae       | 1             | 1          | 2               | 4          | 1           |
| Euglenophyceae    | 1             | 2          | 2               | 2          | 3           |
| Chrysophyceae     | 3             | 0          | 1               | 0          | 0           |
| Sum               | 49            | 51         | 49              | 83         | 70          |

**Table 3.** Standing crops (cells mL<sup>-1</sup>) in the study reservoirs.

| Reservoir       | Sampling time |           |           |           | Mean (SD)*        |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
|                 | Sep. 2019     | Nov. 2019 | Apr. 2020 | Jun. 2020 |                   |
| Cho Pyeong-ji   | 2,605         | 3,533     | 223       | 796       | 1,789 (1,543)     |
| Song Ak-ji      | 881           | 176,018   | 2,933     | 8,003     | 46,959 (86,091)   |
| Cheong Cheon-ji | 6,139         | 2,843     | 820       | 402       | 2,551 (2,619)     |
| Ye Dang-ji      | 2,475         | 20,919    | 523       | 2,068     | 6,496 (9,651)     |
| Ganwol lake     | 40,825        | 205,009   | 661,390   | 85,432    | 248,164 (284,071) |

\* SD: standard deviation

는 남조류(51.1%)의 점유율이 높아 시기별로 차이를 보였다. Kim *et al.* (2004)의 연구에 의하면 인근 호소인 삽교호의 경우 남조류→규조류→남조류 보였는데 영양 상태가 증가할수록 남조류의 출현 시기가 빨라지고 우점기간이 길어지는 것으로 보고된 바 있는 것으로 보아(Reynolds, 1984) 비슷한 경향을 보였다. 2019년 9월 조사에서는 남조류인 *Microcystis* sp. (51.3%), 남조류인 *Pseudanabaena* sp. (23.0%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2019년 11월 조사에서는 남조류인 *Microcystis* sp. (83.5%), 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (8.0%)이 각각 최우점과 아우점하였다. 2020년 춘계 조사에서는 남조류인 *Oscillatoria agardhii*이 20.7%와 42.9%로 각각 최우점하였고, *Synedra acus* (12.0%)과 *Pseudanabaena* sp. (8.2%)이 각각 아우점하였다. 알려진 바에 의하면 *Synedra*는 12~14°C 범위의 수온에서 많이 출현한다는 Bondarenko and Geuselnikova (2002)의 연구 결과가 있다. 2020년 춘계 조사에서는 사상형 남조류가 우점하여 본 조사수역은 남조류가 우세한 수역으로 조사되었다.

간월호의 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 20,413~

330,695 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 2020년 4월 조사에 남조류의 현존량이 높게 나타났다. 현존량의 점유율은 시기별로 남조류가 94.6~99.9%의 범위로 전반적으로 남조류의 점유율이 높게 나타났다. 수온이 낮고 일조시간이 짧은 봄과 가을에는 규조류가 우점하고, 여름이 되어 갈수록 남조류의 현존량이 증가하는 것이 일반적인 현상인데 (Sommer *et al.*, 1986) 간월호는 모든 조사에서 남조류가 우점한 것으로 보아 부영양화가 일어났을 것으로 판단된다. 2019년 춘계 조사에서 남조류인 *Pseudanabaena* sp.이 89.2%와 90.6%로 각각 최우점하였고, 남조류인 *Merismopedia tenuissima*이 7.9%와 4.1%로 각각 아우점하였다. 2020년 춘계 조사에서는 늦여름부터 초겨울에 나타난다고 알려져 있는 (Sadao Kojima *et al.*, 1995) 남조류인 *Oscillatoria agardhii*이 93.3%와 50.0%로 각각 최우점하였고 남조류인 *Pseudanabaena* sp.이 6.6%와 44.5%로 각각 아우점하였다. Lee *et al.* (2021)이 연구한 간월호 인근의 호소인 부남호에서 춘계 시기에 *Oscillatoria*속이 극우점하는 결과와 비슷한 경향을 보였다.

3. 호소 간의 생태학적 특성 비교

종다양성지수는 조사한 모든 호소에서 춘계조사보다 춘계조사에 더 높은 경향을 보였으며 청천지는 0.21~2.03으로 변화폭이 크게 나타났다. 풍부도지수는 간월호를 제외한 모든 호소에서 춘계조사보다 춘계조사에서 더 높은 경향을 보였다. 균등도지수는 송악지를 제외한 모든 호소에서 춘계조사보다 춘계조사에서 더 높은 경향을 보였지만 큰 차이는 없었다. 우점도지수는 송악지를 제외한 모든 호소에서 춘계조사보다 춘계조사에서 더 낮은 경향을 보였고 간월호는 0.89~0.97 변화폭이 거의 없이 높게 나타났다. 소형호인 초평지, 송악지, 청천지는 출현종수가 약 50종 정도로 비슷하게 출현하였음에도 (Table 2) 초평지는 춘계조사에서 종다양성지수가 2.39로 또 다른 소형호인 송악지와 청천지가 각각 1.36과 1.85가 나온 것에 비해 유독 높았다. 초평지는 식물플랑크톤 평균 현존량이 1,789 cell mL<sup>-1</sup>로 조사한 호소들 중 가장 낮았고 춘계조사에서 춘계조사보다 식물플랑크톤 평균 현존량이 6배 정도 낮았다 (Table 3). 춘계시기에 초평지의 풍부도지수는 4.22로 각각 3.02과 3.28이 나온 송악지와 청천지에 비해 높았다. 춘계시기에 초평지의 균등도지수는 0.73으로 조사한 호소들 중 각각 0.41과 0.60이 나온 송악지와 청천지에 비해 높았다. 또한 춘계시기에 구조류인 *Cyclotella meneghiniana*, *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis*, 녹조류인 *Coelastrum* sp., *Oocystis parva*이 30% 이하로 우점과 아우점하며 (Table 4) 우점도지수가 0.43으로 조사한 호소들 중 가장 낮은 것으로 보아 다른 소형호보다 식물플랑크톤 현존량에 비해 한 종이 극우점하지 않고 출현종이 다양하며 균등한 것으로 보인다. Kim (1998)에 의하면 *Aulacoseira*는 부영양 호소의 지표종으로서 수온과 인의 농도가 높을 때 우점종이 되는데 2019년 11월 조사에서 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* 74.1%로 우점한 것으로 보아 (Table 4) 이 시기에 영양염이 유입되었을 가능성이 있다. 중형호인 예당지는 또 다른 중형호인 간월호보다 출현종수가 10종 정도 더 출현하였고 (Table 2) 춘계조사에서 종다양성지수가 2.48로 조사한 호소들 중 가장 높았으며 간월호 비해 3배 정도 높았다. 춘계시기에 예당지의 풍부도지수는 5.35로 조사한 호소 중 가장 높았고 간월호보다 2배 정도 높았다. 춘계시기에 예당지의 균등도지수는 0.71로 초평지와 비슷했고 간월호보다 2배 이상 높았다. 예당지는 춘계시기에 초평지와 같이 식물플랑크톤 현존량에 비해 출현종이 다양하고 균등한 것으로 보인다. 하지만 모든 조사에서 남조류 중 오염지표종으로 간주되는 (Reynolds, 1984; Chung,

Table 4. Dominant species and subdominant species with their abundance percentage (%) in the study reservoirs.

| Sampling time | Reservoir                |  |                                     |   |   |                                       |
|---------------|--------------------------|--|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
|               | Species                  | Cho Pyeong-ji  | Song Ak-ji                          | Cheong Cheon-ji   | Ye Dang-ji  | Ganwol lake                           |
| Sep. 2019     | 1 <sup>st</sup> dominant | <i>Anabaena crassa</i> (29.8%)                         | <i>Crucigenia crucifera</i> (47.1%) | <i>Microcystis</i> sp. (96.1%)                              | <i>Microcystis</i> sp. (51.3%)                        | <i>Pseudanabaena</i> sp. (89.2%)      |
|               | 2 <sup>nd</sup> dominant | <i>Merismopedia tenuissima</i> (27.9%)                 | <i>Peridinium</i> sp. (7.4%)        | <i>Pseudanabaena mucicola</i> (2.8%)                        | <i>Pseudanabaena</i> sp. (23.0%)                      | <i>Merismopedia tenuissima</i> (7.9%) |
| Nov. 2019     | 1 <sup>st</sup> dominant | <i>Aulacoseira ambigua</i> cf. <i>spiralis</i> (74.1%) | <i>Lyngbya contorta</i> (86.7%)     | <i>Aulacoseira granulata</i> (32.8%)                        | <i>Microcystis</i> sp. (83.5%)                        | <i>Pseudanabaena</i> sp. (90.6%)      |
|               | 2 <sup>nd</sup> dominant | <i>Microcystis</i> sp. (4.8%)                          | <i>Aphanothece</i> sp. (9.1%)       | <i>Aulacoseira granulata</i> v. <i>angustissima</i> (17.8%) | <i>Aulacoseira ambigua</i> cf. <i>spiralis</i> (8.0%) | <i>Merismopedia tenuissima</i> (4.1%) |
| Apr. 2020     | 1 <sup>st</sup> dominant | <i>Cyclotella meneghiniana</i> (22.0%)                 | <i>Aulacoseira distans</i> (45.6%)  | <i>Fragilaria</i> sp. (45.1%)                               | <i>Oscillatoria agardhii</i> (20.7%)                  | <i>Oscillatoria agardhii</i> (93.3%)  |
|               | 2 <sup>nd</sup> dominant | <i>Aulacoseira ambigua</i> cf. <i>spiralis</i> (17.9%) | <i>Pseudanabaena</i> sp. (39.3%)    | <i>Oscillatoria agardhii</i> (35.9%)                        | <i>Synedra acus</i> (12.0%)                           | <i>Pseudanabaena</i> sp. (6.6%)       |
| Jun. 2020     | 1 <sup>st</sup> dominant | <i>Coelastrum</i> sp. (23.0%)                          | <i>Pseudanabaena</i> sp. (57.6%)    | <i>Aulacoseira ambigua</i> cf. <i>spiralis</i> (25.9%)      | <i>Oscillatoria agardhii</i> (42.9%)                  | <i>Oscillatoria agardhii</i> (50.0%)  |
|               | 2 <sup>nd</sup> dominant | <i>Oocystis parva</i> (22.1%)                          | <i>Aulacoseira distans</i> (21.9%)  | <i>Fragilaria capucina</i> (18.2%)                          | <i>Pseudanabaena</i> sp. (8.2%)                       | <i>Pseudanabaena</i> sp. (44.5%)      |

**Table 5.** Community indices at the different reservoirs at different sampling seasons.

| Index             | Reservoir       | Sampling time |           |           |          | Mean (SD)*  |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------|-----------|----------|-------------|
|                   |                 | Sep. 2019     | Nov. 2019 | Apr. 2020 | May 2020 |             |
| Shannon diversity | Cho Pyeong-ji   | 1.79          | 1.10      | 2.60      | 2.19     | 1.92 (0.63) |
|                   | Song Ak-ji      | 2.03          | 0.56      | 1.38      | 1.33     | 1.33 (0.6)  |
|                   | Cheong Cheon-ji | 0.21          | 2.03      | 1.39      | 2.32     | 1.49 (0.93) |
|                   | Ye Dang-ji      | 1.38          | 0.65      | 2.39      | 2.57     | 1.75 (0.9)  |
|                   | Ganwol lake     | 0.44          | 0.48      | 0.56      | 1.12     | 0.65 (0.31) |
| Richness          | Cho Pyeong-ji   | 1.91          | 2.08      | 4.99      | 3.44     | 3.11 (1.43) |
|                   | Song Ak-ji      | 2.65          | 1.82      | 3.26      | 2.78     | 2.63 (0.6)  |
|                   | Cheong Cheon-ji | 1.26          | 3.14      | 2.38      | 4.17     | 2.74 (1.23) |
|                   | Ye Dang-ji      | 2.46          | 2.07      | 5.37      | 5.33     | 3.80 (1.79) |
|                   | Ganwol lake     | 2.31          | 2.43      | 2.41      | 1.90     | 2.26 (0.25) |
| Evenness          | Cho Pyeong-ji   | 0.64          | 0.38      | 0.78      | 0.69     | 0.62 (0.17) |
|                   | Song Ak-ji      | 0.69          | 0.18      | 0.42      | 0.41     | 0.42 (0.2)  |
|                   | Cheong Cheon-ji | 0.08          | 0.62      | 0.49      | 0.71     | 0.48 (0.28) |
|                   | Ye Dang-ji      | 0.48          | 0.22      | 0.70      | 0.72     | 0.53 (0.23) |
|                   | Ganwol lake     | 0.14          | 0.14      | 0.18      | 0.38     | 0.21 (0.11) |
| Dominance         | Cho Pyeong-ji   | 0.58          | 0.83      | 0.40      | 0.45     | 0.56 (0.19) |
|                   | Song Ak-ji      | 0.55          | 0.96      | 0.85      | 0.80     | 0.79 (0.17) |
|                   | Cheong Cheon-ji | 0.99          | 0.51      | 0.81      | 0.44     | 0.69 (0.26) |
|                   | Ye Dang-ji      | 0.74          | 0.93      | 0.49      | 0.42     | 0.65 (0.23) |
|                   | Ganwol lake     | 0.97          | 0.95      | 0.93      | 0.89     | 0.94 (0.03) |

\* SD: standard deviation

2019) *Microcystis* sp.와 *Oscillatoria agardhii*이 각각 우점하였는데 (Table 4) 이는 Kim *et al.* (2005)이 연구한 부영양 호소의 경향과 비슷하였다. 간월호는 추계조사와 춘계조사에 종다양성지수가 0.46, 0.84로 두 시기 모두 조사한 호소들 중 가장 낮았고 또 다른 중형호인 간월호에 비해 모두 2배 이상 높았다. 간월호는 식물플랑크톤 평균 현존량이 248,164 cell mL<sup>-1</sup>로 (Table 3) 조사한 호소들에 비해 현저히 높았고 같은 중형호인 예당지에 비해서는 38배 이상 높게 나타났다 (Table 3). 간월호는 춘계조사에서 추계조사보다 식물플랑크톤 평균 현존량이 2배 이상 높았다 (Table 3). 간월호의 풍부도지수와 균등도지수는 추계시기의 풍부도지수를 제외하면 모두 가장 낮았다. 간월호의 우점도지수는 *Pseudanabaena* sp., *Merismopedia tenuissima*, *Oscillatoria agardhii*, *Pseudanabaena* sp.과 같은 남조류들이 극우점하면서 (Table 4) 추계시기와 춘계시기 모두 0.9 이상으로 매우 높게 나타났으며 조사한 호소들 중 가장 높았다. 간월호는 추계시기와 춘계시기 모두 남조류들이 극우점하였는데 이는 부영양 호소에서 남조류가 우점하는

것과 비슷한 경향을 보였으며 (Kim *et al.*, 2007) 식물플랑크톤 현존량에 비해 출현종이 다양하지도 균등하지도 않은 것으로 보이며 추계시기보다 춘계시기에 더 뚜렷한 것으로 판단된다. 간월호를 제외한 4개의 호소들은 춘계 시기에는 규조류가, 추계 시기에는 남조류가 주요 출현종이었고 이 결과는 예당저수지와 충남의 9개 호소의 식물플랑크톤을 연구 조사한 Song *et al.* (2011)의 연구 결과와 비슷한 경향을 보였다.

## 결론

식물플랑크톤 종합 결과 초평지에서는 7강 31속 49종이 출현하였다. 시기별로 보면 16~28종의 범위로 2020년 4월 조사에서 가장 다양하였고 2019년 9월 조사에서 가장 적었다. 송악지에서는 6강 29속 51종이 출현하였다. 시기별로 보면 19~27종의 범위로 2020년 4월 조사에 상대적으로 가장 다양하였다. 청천지에서는 7강 32속 49종



이 출현하였다. 시기별로 보면 12~26종의 범위로 나타났다. 예당지에서는 6강 45속 82종이 출현하였다. 시기별로 보면 2019년 9월 조사에는 26~49종의 범위로 2020년 4월 조사에 상대적으로 다양하게 출현하였다. 간월호에서는 6강 40속 70종이 출현하였다. 총 7강 74속 143종이 출현하였다. 소형호인 초평지, 송악지, 청천지에서는 49~51의 범위로 평균 50종이 나타났고 중형호인 예당지와 간월호에서는 70~83의 범위로 평균 77종이 나타났다. 식물플랑크톤 현존량은 초평지에서는 시기별로 223~3,533 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 초평지의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 1차 추계 조사에서는 유해성 남조류인 *Anabeana crassa* (29.8%)이 최우점하였고, 남조류인 *Merismopedia tenuissima* (27.9%)이 아우점하였다. 2차 추계 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (74.1%)이 최우점하였고, 유해성 남조류인 *Microcystis* sp. (4.8%)이 아우점하였다. 3차 춘계 조사에서는 규조류인 *Cyclotella meneghiniana* (22.0%)이 최우점하였고, *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (17.9%)이 아우점하였다. 4차 춘계 조사에서는 녹조류인 *Coelastrum* sp. (23.0%)이 최우점하였고 *Oocystis parva* (22.1%)이 아우점하였다. 송악지에서는 시기별로 881~176,018 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 송악지의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 1차 추계 조사에서는 녹조류인 *Crucigenia crucifera* (47.1%)이 최우점하였고, 와편모조류인 *Peridinium* sp. (7.4%)이 아우점하였다. 2차 추계 조사에서는 남조류인 *Lyngbya contorta* (86.7%)이 최우점하였고, 남조류인 *Aphanothece* sp. (9.1%)이 아우점하였다. 3차 춘계 조사에는 규조류인 *Aulacoseira distans* (45.6%)이 최우점하였고, *Pseudanabaena* sp. (39.3%)이 아우점하였다. 4차 춘계 조사에는 남조류인 *Pseudanabaena* sp. (57.6%)이 최우점하였고, *Aulacoseira distans* (21.9%)이 아우점하였다. 청천지에서는 시기별로 402~6,139 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 청천지의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 1차 추계 조사에서는 남조류인 *Microcystis* sp. (96.1%)이 최우점하였고, 남조류인 *Pseudanabaena mucicola* (2.8%)이 아우점하였다. 2차 추계 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira granulata* (32.8%)이 최우점하였고, 규조류인 *Aulacoseira granulata* v. *angustissima* (17.8%)이 아우점하였다. 3차 춘계 조사에서는 규조류인 *Fragilaria* sp. (45.1%)이 최우점하였고 *Oscillatoria agardhii* (35.9%)이 아우점하였다. 4차 춘계 조사에서는 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (25.9%)이 최우점하였고 *Fragilaria capucina* (18.2%)이 아우점하였다. 예당지에서는 시기별로 262~10,460 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 예당지의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 1차 추계 조사에서는 남조류인 *Microcystis*

sp. (51.3%)이 최우점하였고, 남조류인 *Pseudanabaena* sp. (23.0%)이 아우점하였다. 2차 추계 조사에서는 남조류인 *Microcystis* sp. (83.5%)이 최우점하였고, 규조류인 *Aulacoseira ambigua* cf. *spiralis* (8.0%)이 아우점하였다. 3, 4차 춘계 조사에서는 남조류의 *Oscillatoria agardhii*이 20.7%와 42.9%로 각각 최우점하였고, *Synedra acus* (12.0%)과 *Pseudanabaena* sp. (8.2%)이 각각 아우점하였다. 간월호에서는 시기별로 20,413~330,695 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 간월호의 식물플랑크톤 현존량의 우점종은 1, 2차 추계 조사에서는 남조류인 *Pseudanabaena* sp.이 89.2%와 90.6%로 각각 최우점하였고, 남조류인 *Merismopedia tenuissima*이 7.9%와 4.1%로 각각 아우점하였다. 조사한 5개 호소 중 출현종수가 가장 높은 호소는 간월호였고 가장 낮은 호소는 초평지와 청천지였으며 식물플랑크톤 평균 현존량이 가장 높은 호소는 간월호였고 가장 낮은 호소는 초평지였다. 종다양성지수는 조사한 모든 호소에서 추계 조사보다 춘계 조사에 더 높은 경향을 보였으며 청천지는 0.21~2.03으로 변화폭이 크게 나타났다. 풍부도지수는 간월호를 제외한 모든 호소에서 추계 조사보다 춘계 조사에서 더 높은 경향을 보였다. 균등도지수는 송악지를 제외한 모든 호소에서 추계 조사보다 춘계 조사에서 더 높은 경향을 보였고 송악지는 춘계 조사보다 추계 조사에서 더 높은 경향을 보였지만 큰 차이는 없었다.

## 적 요

본 연구는 금강 유역 호소들의 추계시기와 춘계시기의 식물플랑크톤의 종조성 및 군집구조를 조사하고 분포특성을 파악하고자 2019년 9월과 11월, 2020년 4월과 5월에 현장 조사를 실시하였다. 식물플랑크톤은 초평지 7강 31속 49종, 송악지 6강 29속 51종, 청천지 7강 32속 49종, 예당지 6강 45속 82종, 간월호 6강 40속 70종이 출현하였으며, 총 7강 74속 143종이 출현하였다. 식물플랑크톤 현존량은 초평지 223~3,533 cells mL<sup>-1</sup>, 송악지 881~176,018 cells mL<sup>-1</sup>, 청천지 402~6,139 cells mL<sup>-1</sup>, 예당지 262~10,460 cells mL<sup>-1</sup>, 간월호 20,413~330,695 cells mL<sup>-1</sup>의 범위였다. 조사한 5개 호소 중 출현종수가 가장 높은 호소는 간월호였고 가장 낮은 호소는 초평지와 청천지였으며 식물플랑크톤 평균 현존량이 가장 높은 호소는 간월호였고 가장 낮은 호소는 초평지였다. 종다양성지수는 초평지 1.10~2.60, 송악지 0.56~2.03, 청천지 0.21~2.03, 예당지 0.65~2.57, 간월호 0.44~1.12의 범위였다. 풍부도지수는 초평지 1.91~4.99, 송악지 1.82~3.26, 청천지 1.26~4.17,

예당지 2.07~5.37, 간월호 1.90~2.43의 범위였다. 균등도지수는 초평지 0.38~0.78, 송악지 0.18~0.69, 청천지 0.08~0.71, 예당지 0.22~0.72, 간월호 0.14~0.38 범위였다. 우점도지수는 초평지 0.40~0.83, 송악지 0.55~0.96, 청천지 0.44~0.99, 예당지 0.42~0.93, 간월호 0.89~0.97 범위였다.

**저자정보** 최용범 (상지대학교 환경공학과 석사수료), 신윤근 (상지대학교 교수)

**저자기여도** 개념설정: 최용범, 분석: 최용범, 원고작성: 최용범, 신윤근, 연구지도: 신윤근

**이해관계** 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 상지대학교 대학원 지원에 의하여 수행된 연구임.

## REFERENCES

- Bold, H.C. and M.J. Wynne. 1985. Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 1-720.
- Bondarenko, N.A. and N.Y. Geuselnikova. 2002. Studies on *Synedra acus* Kutz. var. *radians* (Kutz.) Hust. (Bacillariophyta) in Culture. *International Journal on Algae* 4: 85-95.
- Brook, A.J. 1965. Planktonic algae as indicators of lake types, with special reference to the Desmidiaceae. *Limnology and Oceanography* 10: 403-411.
- Chung, H.S., M.S. Son, H.S. Ryu, C.H. Park, R.R. Lee, M.S. Cho, C.H. Lim, J.H. Park and K.H. Kim. 2019. Variation of cyanobacteria occurrence pattern and environmental factors in Lake Juam. *Korean Journal of Environment Biology* 37(4): 640-651.
- Cleve-Euler, A. 1951-1955. Die diatomeen von Schweden und Finnland. I-V. K. Svenska Vetenskad, Handl., Ser. 4, I. Vol. 2, No. 1, 1-163 p. figs. 1-294, pl. 1-6 (1951) II. Vol. 3, No. 3, 1-153 p. figs. 1318-1538 (1952) III. Vol. 4, No.5, 1-158 p. figs. 292-483 (1953a) IV. Vol. 4, No. 4, 1-255 p. figs. 484-970 (1953b) V. Vol. 4, No. 5, 1-232 p. figs. 971-1306 (1955).
- Endo, T. and H. Nagata. 1984. Resting and germination of cysts of *Peridinium* sp. (Dinophyceae). *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 31: 23-33.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of fresh-water pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publishers, 546.
- Ikeda, T., Y. Ohnishi, K. Hatamochi, K. Ishida and A. Kawai. 1997. Physiological characteristics of a dinoflagellate *Peridinium bipes* f. *occulatum* Red-tides in the Reservoirs. *Japanese Journal of Limnology* 58: 395-403.
- Kilham, P., S.S. Kilham and R.E. Hecky. 1986. Hypothesized resource relationships among African plankton diatoms. *Limnology and Oceanography* 31: 1169-1181.
- Kim, B.C. 1987. An ecological study of phytoplankton in Lake Soyang. Ph. D. Thesis of Seoul National University.
- Kim, B.C., J.H. Park, W.M. Heo, B.J. Lim, G.S. Hwang, K.S. Choi and J.S. Choi. 2001. The Limnological Survey of Major Lakes in Korea (4): Lake Juam. *Korean Journal of Limnology* 34(1): 30-44.
- Kim, E.S., K.B. Sim, S.D. Kim and H.I. Choi. 2012. Water Quality Assessment for Reservoirs using the Korean Trophic State Index. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(1): 78-83.
- Kim, H.J., K.S. Yoon, Y. An and K.S. Lee. 2004. Study on the Characteristics of the Water Quality in Lake Sapkyo. *KCID Journal* 11(2): 32-46.
- Kim, H.S., D.S. Kong and S.J. Hwang. 2005. Characteristic Community Dynamics of Phyto- and Zooplankton in a Shallow Eutrophic Reservoir. *Korean Journal of Limnology* 38(1): 18-29.
- Kim, H.S., S.J. Hwang and D.S. Kong. 2007. Cyanobacterial Development and Succession and Affecting Factors in a Eutrophic Reservoir. *Korean Journal of Limnology* 40(1): 121-129.
- Kim, M.K. 2008. Patterns in Phytoplankton Community Structure in the Beopsu Marsh, Haman-gun, Gyeongsangnam-do, Korea. *Algae* 23(3): 219-230.
- Kim, Y.J. 1998. Ecological Characteristics of Phytoplankton Community in Lake Paltang Dam. *Korean Journal of Limnology* 31(3): 225-234.
- Kim, Y.J. 2003. Dynamics of Phytoplankton Community in Youngsan River. *Algae* 18(3): 207-215.
- Kim, Y.J. and S.K. Kwun. 2004. Dynamics of the Community of Phytoplankton Algas on Read in the Shihwa Constructed Wetland. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 23(1): 59-67.
- Kishimoto, N., Y. Ohnishi, I. Somiya and M. Ohnishi. 2001. Behavior of *Peridinium bipes* (Dinophyceae) resting cysts in the Asahi Reservoir. *Limnology* 2: 101-109.
- Komarek, J. 1991. A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Algalogical Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement* 64: 115-127.
- Lee, E.J. and K.S. Cho. 1994. Yearly variation of phytoplankton in Lake Soyang. *Korean Journal of Limnology* 27(1): 9-22.
- Lee, E.J., A.N. Cho and O.B. Kwon and T.S. Ahn. 2009. The Effect of Artificial Floating Island to Zooplankton and Phytoplankton in Shingu Reservoir, Korea. *Korean Journal of Limnology* 42(1): 19-25.
- Lee, E.J., B.C. Kim and K.S. Cho. 1998. Patterns of Phytoplankton Community Structure at Inlet Site (Sanggul-Ri) in Lake Soyang from 1984 to 1997. *Korean Journal of*

- Limnology* **31**(2): 119-128.
- Lee, H.J., J.K. Seo, H.K. Jeong, B.M. Tak and J.K. Lee. 2010. Phytoplankton Community in Junam Reservoir by Pollution Sources, Loads and Water Quality. *Journal of the Environmental Sciences* **19**(11): 1445-1456.
- Lee, J.H. and S.W. Jung. 2004. Environmental Studies in the lower Part of the Han River VII. Long term variations and Prospect of the Phytoplankton Community. *Algae* **19**(4): 321-327.
- Lee, K.L., J.S. Choi and H.S. Kim. 2003. Seasonal Changes of Phytoplankton Communities in the Paksil and Jungyang Marshes. *Algae* **18**(4): 273-280.
- Lee, M.J., J.Y. Seo and S.H. Baek. 2021. Water quality characteristics and spatial distribution of phytoplankton during dry and rainy seasons in Bunam Lake and Cheonsu Bay, Korea. *Korean Journal of Environment Biology* **39**(2): 184-194.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- Moon, B.L., M.R. Nam and O.M. Lee. 2005. The Distribution and Standing Crop of Phytoplankton at Five Freshwater Lakes in Suwon-si and Pyongtaek-si, Gyeonggi-do. *Korean Journal of Environment Biology* **23**(1): 32-46.
- Na, J.E., M.H. Jung, J.H. Park, S.D. Kim, B.J. Lim, H.W. Kim and H.Y. Lee. 2011. Relationships between Phytoplankton Community and Sizes of Reservoirs in Yeongsan and Seomjin River Basins, Korea. *Korean Journal of Environment Biology* **29**(2): 107-112.
- Park, J.G. and J.J. Lee. 2005. Community Dynamics of Phytoplankton in Lake Daecheong. *Algae* **20**(3): 197-205.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Pollinger, U. and T. Berman. 1975. Temporal and spatial pattern of dinoflagellates blooms in Lake Kinneret, Israel (1964-1974). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* **19**: 1370-1382.
- Prescott, G.W. 1962. *Algae of the Western Great lakes Area*. Otto Koeltz Science Publishers, Konigstein.
- Reynolds, C.S. 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology* **14**: 111-142.
- Reynolds, C.S. 1990. *The Ecology of Fresh-water Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 384.
- Sadao, K., S. Ryuichi and C. Mitsuo. 1995. *Environmental Microbial Encyclopedia*. Tomas, C.R. 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, San Diego 858.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. *The mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press. Urbana. 177pp.
- Shimpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 888.
- Shin, M.S., B.C. Kim, J.K. Kim, M.S. Park, S.M. Jung, C.W. Jang, Y.K. Shin and Y.J. Bae. 2008. Seasonal Variations of Water Quality and Periphyton in the Cheonggyecheon. *Korean Journal of Limnology* **41**(1): 1-10.
- Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan, 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archive für Hydrobiologie* **106**: 433-471.
- Song, M.A., J.I. Kim, H.N. Kim, D.S. Kong and O.M. Lee. 2011. Water Quality Assessment using Trophic Status Index and Attached Diatom Index in 10 Reservoirs including Ye-dang Reservoir of Chungcheongnam-do. *Korean Journal of Limnology* **44**(2): 155-171.
- Stoermer, E.F. 1978. Phytoplankton assemblages as indicators of water quality in the Laubretian Great Lakes. *Transactions of the American Microscopical Society* **97**: 2-16.
- Watanabe, T. 1962. On the Biotic index of Water Pollution based upon the species Number of Bacillariophyceae in the Tokoro river in Hokkaido (in Japanese). *Japanese Journal of Ecology* **12**: 216-222.
- Wu, J.T., L.L. Kuo-Huang and J. Lee. 1998. Algicidal effect of *Peridinium bipes* on *Microcystis aeruginosa*. *Current Microbiology* **37**: 257-261.
- Youn, S.J., H.K. Park and K.A. Shin. 2010. Dynamics of Phytoplankton Communities of Major Dam Reservoirs in Han River System. *Journal of Korean Society on Water Quality* **26**(2): 317-325.