

Note

## 호소 생태계에서의 수환경 평가를 위한 동물플랑크톤 적용 연구

김현우\* · 허유지 · 이경락<sup>1</sup>

순천대학교 환경교육과, <sup>1</sup>국립환경과학원 물환경공학연구과

**The Application of Zooplankton Assemblage for the Evaluation of Aquatic Environments in Lentic Ecosystems.** Hyun-Woo Kim\* (0000-0003-3898-5864), Yu-Ji Heo (0000-0002-6721-5482) and Kyung-Lak Lee<sup>1</sup> (0000-0001-7276-0445) (Department of Environmental Education, Suncheon National University Suncheon 57922, Republic of Korea; <sup>1</sup>Water Environmental Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea)

**Abstract** This study compares the abundance and community structure of zooplankton organisms from pelagic regions, and considers particularly the trophic levels vs. zooplankton abundances and biomass. Zooplankton samples were collected three times from May to November 2022, at 30 temperate lakes and reservoirs, which belong to four different river basins. The total zooplankton abundance, biomass and species index were showed considerable spatial variation. The spatial pattern of rotifer abundance was similar to that of total zooplankton abundance, while there were not showed similar patterns of zooplankton biomass ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) in lentic ecosystems. The rotifer strongly dominated the zooplankton assemblage in smaller lentic system than that of larger. A total of 130 species of zooplankton were identified (83 rotifers, 34 cladocerans and 13 copepods). The total average of zooplankton abundance and biomass were  $213.7 \pm 342.3 \text{ Ind. L}^{-1}$  ( $n = 129$ ) and  $1382.8 \pm 1850.4 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectively. Total and average of zooplankton abundance were usually dominated by the rotifers ( $> 56.9\%$ ), while those of zooplankton biomass were dominated by the cladocerans and copepods ( $> 73.6\%$ ) in lentic ecosystems. Considering the Trophic State Index (TSI), the factors of zooplankton abundance and biomass were included in between meso- and eutrophic states (27 lakes, 90% of all). The mean abundance and biomass of zooplankton in eutrophic systems were higher than that of meso- and hypertrophic systems. From this result, we suggest that management strategy for the lentic ecosystem water environment has to be focused more on small-sized lakes and reservoirs, in terms of zooplankton assemblages.

**Key words:** zooplankton, lake, reservoir, species, spatial variation, trophic

## 서론

호소 생태계의 서식환경 차이는 부유생물의 분포와 성장에 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다(Bonecker *et al.*,

2007). 주요 부유생물상으로 수생태계의 에너지 흐름에 주요한 연결고리 역할을 하는 동물플랑크톤 분포에 관한 연구는 수환경에서 진행되어 오고 있다(Jürgens and Jeppesen, 2000). 특히, 동물플랑크톤은 호소의 화학적 인자에 민감하게 반응하는 것으로 보고되어져 왔다(Marcus, 2004). 동물플랑크톤 종조성 및 밀도의 시·공간적 변화는 수생태계에서 발생하는 다양한 현상을 파악하기 위한 중요한 생물인자로

Manuscript received 26 February 2023, revised 8 March 2023,  
revision accepted 12 March 2023  
\* Corresponding author: Tel: +82-61-750-3384, Fax: +82-61-750-3384  
E-mail: hwkim@suncheon.ac.kr

활용되어질 수 있으며, 담수 생태계 관리에 필수적인 정보를 제공하기도 한다(Etilé *et al.*, 2009). 동물플랑크톤의 분포 및 군집의 구조는 일반적으로 생물학적 상호작용에 영향을 받고 교란이 발생하였을 때 변화하며 이러한 정보는 호소 생태계의 건전성 평가 활용에 적합한 요인으로 평가되며, 호소 영양상태 변화에 따른 지표로 활용성이 높은 군집이며, 치어 등의 먹이원으로 호소 생태계의 물질순환과 수질변화에 주요한 역할을 한다. 국내 담수환경에서의 동물플랑크톤에 대한 연구는 1930년대 초기 분류학적 접근이 진행되어, 1960~90년대에 주요 군집 평가 그리고 2000년대 이후 다양한 연구 성과들을 통해 생물상 체계가 점진적으로 정립되고 있으나, 동물플랑크톤에 대한 국내 호수 및 저수지 등에서의 호소 평가 및 관리 등을 위한 통합적인 연구는 사실상 미흡한 실정이다.

국내의 호소는 규모 및 운영 목적에 따라 다양한 서식환경의 차이를 보이며, 유역면적과 평균 수심에 따라 대부분 호소 규모의 차이는 있으나 수표면적 50만 m<sup>2</sup> 이하인 호소가 높은 비율로 분포하는 특성을 나타낸다(Hwang *et al.*, 2003; Nakdong River Basin Management Committee, 2019). 국내의 경우 상수원수 등 다목적으로 조성된 주요 대표적인 대형 인공호수 외에는 지속적으로 호소 생태계 동물플랑크톤 군집구조 자료 등을 활용한 수질환경 평가에 대한 비교 연구는 매우 제한적인 편이다(Kim *et al.*, 2010). 또한 섭식과 포식, 방어기작, 행동생태, 환경의 상호작용 등 기초 생태 연구가 진행되었으나 제한된 호소(예: 팔당호)에 대한 결과가 대부분으로 국내 호소별 동물플랑크톤 군집 동태 변화를 평가하는 데 한계가 있다(Kim *et al.*, 2018). 일반적으로, 국내 호소는 수위변동에 따른 서식환경의 영향을 크게 받고, 연쇄적으로 동물플랑크톤의 군집조성이 변화할 가능성이 높다(You *et al.*, 2012). 따라서, 호소 생태계의 환경평가에서 동물플랑크톤 군집과 같은 부유생물자원을 활용하는 것은 매우 효과적이라 판단된다. 물리·화학적 항목에 대한 지표는 수환경 상태를 일시적으로 나타내는 반면, 수생물상은 환경에서 발생하는 다양한 요인에 지속적으로 노출되어 그에 대한 변화 반응이 통합적인 것으로 알려져 있다. 호소 생태계의 생물상 중 동물플랑크톤은 수환경의 영양 상태를 평가하는 항목으로 포함되어 종합적인 수생태계를 파악하는데 활용될 수 있다(Stamou *et al.*, 2022).

국내 호소의 규모별 생물상 연구 조사는 지속적으로 이루어지는 경우가 드물어 호소의 생물자원 관리 및 서식환경 보전 등을 위한 기초 자료 활용에는 한계가 있다. 유수환경에 비해 체류시간이 긴 호소 생태계는 생물 먹이망을 통해 순환되는 특징이 있어, 부유생물 등의 변화를 통해 호소환경에 대한 종합적인 상태를 파악하는 것은 효과적이다. 따라

서, 본 연구는 다양한 호소 생태계에서의 동물플랑크톤 군집에 대한 호소별 비교 평가, 호소의 영양단계(TSI 지수)에 따른 동물플랑크톤 동태 및 수환경 평가를 위한 기초 정보를 제공하는 데 목적이 있다.

## 재료 및 방법

국내에 분포하는 농·공업, 생활 및 유지용수로 활용되는 만수위 수표면적 50만 m<sup>2</sup> 이상의 30개 호소 43개 지점에서 2022년 5월부터 11월까지 총 3회 동물플랑크톤 조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사기간 동안 조사대상 호소의 이화학적 특성을 확인하기 위해 기초 육수학적 요인인 수온(°C), 투명도(secchi depth, m), 전기전도도( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), 화학적 산소요구량(COD, mg L<sup>-1</sup>), pH, 용존산소(DO, mg L<sup>-1</sup>), Chlorophyll a (Chl-a,  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 총질소(TN, mg L<sup>-1</sup>), 총인(TP, mg L<sup>-1</sup>) 등의 자료는 물환경 수질측정망(<https://water.nier.go.kr/web>) 자료를 활용하였다. 아울러, 각 호소별 강우량(mm)은 유역권별 기상 현황을 대표할 수 있는 기상청(<http://weather.go.kr>)의 자료를 활용하였다. 동물플랑크톤 시료는 호소의 규모에 따라 지점을 선정하여(소형호: 1개 지점, 중형호: 2개 지점, 대형호: 3개 지점) 동물플랑크톤 네트(망구 30 cm, 망목 60  $\mu\text{m}$ , Wildco 48 C60)로 정량 채집하고, 필터 후 10% 중성 포



Fig. 1. Map showing the study sites (○ indicates sampling sites).

Table 1. Summary of the description of the study sites and the basic limnological parameters (2022).

| Basin                      | Lake & Reservoir          | Creation | Shape | Origin | Total rainfall (mm) | Scale                            |                               | Limnological parameters (Min.~Max.) |                        |                  |                                     |          |                          |                             |                          |                          |  |
|----------------------------|---------------------------|----------|-------|--------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|----------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
|                            |                           |          |       |        |                     | Drainage area (km <sup>2</sup> ) | Water area (km <sup>2</sup> ) | Size (Site No.)                     | Water temperature (°C) | Secchi depth (m) | Conductivity (μS cm <sup>-1</sup> ) | pH       | DO (mg L <sup>-1</sup> ) | Chl-a (mg m <sup>-3</sup> ) | TN (mg L <sup>-1</sup> ) | TP (mg L <sup>-1</sup> ) |  |
| Han River (8)              | Soyang Lake               | 1973     | D     | A      | -                   | 2,474.6                          | 69.5                          | L (1~3)                             | 2.9~25.5               | 1.0~5.5          | 42~125                              | 6.3~8.7  | 6.8~13.0                 | 0.2~3.5                     | 1.932~3.398              | 0.003~0.018              |  |
|                            | Hwacheon Lake (Paro Lake) | 1944     | -     | A      | -                   | 819.6                            | 38.2                          | L (4~6)                             | 1.9~19.2               | 1.8~7.0          | 102~145                             | 7.5~8.3  | 9.1~13.3                 | 0.7~2.1                     | 1.051~1.296              | 0.006~0.304              |  |
|                            | Chuncheon Lake            | 1965     | D     | A      | -                   | 740.4                            | 14.3                          | M (7~8)                             | 5.5~29.1               | -                | 71~132                              | 7.4~9.4  | 8.6~12.8                 | 2.8~15.7                    | 1.112~2.623              | 0.009~0.032              |  |
|                            | Chungju reservoir         | 1985     | -     | A      | -                   | 1,008.4                          | 8.5                           | M (9~10)                            | 5.1~30.8               | 0.4~1.3          | 229~402                             | 8.0~8.9  | 8.8~13.2                 | 0.5~19.9                    | 2.073~2.737              | 0.001~0.024              |  |
|                            | Woncheonji                | 1929     | R     | A      | 1084.4              | 9.3                              | 0.4                           | S (11)                              | 5.4~29.2               | 0.6~1.4          | 76~152                              | 8.0~9.0  | 7.9~13.4                 | 7.8~36.1                    | 0.548~0.944              | 0.011~0.032              |  |
|                            | Seo Lake                  | 1922     | C     | A      | 1084.4              | 20.7                             | 0.3                           | S (12)                              | 4.8~28.6               | -                | 154~902                             | 7.3~9.6  | 7.3~17.3                 | 1.4~125.8                   | 3.160~9.476              | 0.030~0.575              |  |
|                            | Gyeongpo Lake             | 1972     | C     | A      | -                   | 41.5                             | 0.9                           | S (13)                              | 2.9~30.2               | -                | 17,369~53,009                       | 7.7~8.7  | 6.7~14.8                 | 0.8~110.7                   | 0.209~1.223              | 0.039~0.249              |  |
|                            | Goesan Lake               | 1952     | -     | A      | -                   | 685.0                            | 1.7                           | S (14)                              | 2.6~27.5               | -                | 80~249                              | 7.3~8.9  | 7.7~13.5                 | 0.8~16.1                    | 0.953~3.087              | 0.006~0.136              |  |
| Nakdong River (11)         | Junam reservoir           | 1945     | T     | A      | -                   | 10.8                             | 3.0                           | M (15~16)                           | 2.5~31.4               | 0.2~0.8          | 280~488                             | 7.4~8.5  | 5.7~12.9                 | 10.1~160.1                  | 0.600~2.780              | 0.009~0.109              |  |
|                            | Hoeya Lake                | 1986     | R     | A      | -                   | 127.0                            | 2.3                           | S (17)                              | 4.8~31.0               | 1.2~5.7          | 354~449                             | 6.6~8.8  | 6.7~12.4                 | 2.0~23.5                    | 0.624~2.513              | 0.016~0.037              |  |
|                            | *Hoedong reservoir        | 1946     | D     | A      | 1,807.8             | 99.3                             | 2.2                           | S (18)                              | 21.9                   | 0.32             | 343                                 | 8.6      | 6.03                     | 11.8                        | 1.217                    | 0.014                    |  |
|                            | Sayeon Lake               | 1965     | D     | A      | 1,337               | 67.0                             | 1.9                           | S (19)                              | 2.9~26.4               | 0.9~2.1          | 135~185                             | 7.4~8.9  | 1.3~12.9                 | 0.4~16.1                    | 0.545~1.228              | 0.006~0.030              |  |
|                            | Daeam Lake                | 1969     | D     | A      | 1,337               | 77.0                             | 1.5                           | S (20)                              | 2.5~27.8               | 0.8~3.5          | 279~464                             | 7.7~8.6  | 3.5~13.2                 | 0.6~27.4                    | 1.174~2.916              | 0.007~0.029              |  |
|                            | Seonamje                  | 1964     | D     | A      | 1,337               | 1.2                              | 0.3                           | S (21)                              | 3.3~28.2               | 1.0~3.7          | 332~454                             | 8.0~8.8  | 5.4~13.1                 | 1.1~6.7                     | 1.133~2.728              | 0.012~0.027              |  |
|                            | Gidongji                  | 1955     | T     | A      | -                   | 18.3                             | 0.2                           | S (22)                              | 11.4~20.5              | 0.8~1.5          | 151~155                             | 7.5~8.4  | 9.0~10.2                 | 14.6~16.8                   | 0.429~1.233              | 0.021~0.028              |  |
|                            | Deokdong Lake             | 1977     | D     | A      | -                   | 52.2                             | 2.0                           | S (23)                              | 4.6~7.8                | 1.3~7.1          | 108~109                             | 7.0~7.7  | 7.9~12.3                 | 1.5~2.0                     | 0.514~0.607              | 0.008~0.009              |  |
|                            | Bomun Lake                | 1963     | C     | A      | -                   | 19.2                             | 1.4                           | S (24)                              | 3.2~28.8               | 0.2~1.5          | 93~322                              | 7.6~8.9  | 6.4~15.0                 | 4.7~30.6                    | 0.144~0.830              | 0.016~0.495              |  |
|                            | Ahnkye Lake               | 1971     | D     | A      | -                   | 6.7                              | 1.4                           | S (25)                              | 2.9~25.9               | -                | 124~213                             | 7.3~8.5  | 7.3~13.9                 | 3.4~15.5                    | 0.997~1.301              | 0.012~0.018              |  |
|                            | Yongyeonji                | 1962     | D     | A      | -                   | 69.5                             | 0.9                           | S (26)                              | 4.5~16.2               | -                | 4.5~16.2                            | 6.3~7.5  | 6.3~7.5                  | 12.5~21.7                   | 0.799~0.985              | 0.022~0.026              |  |
| Geum River (6)             | Yedangji                  | 1963     | D     | A      | 1,242.8             | 367.0                            | 10.8                          | M (27~28)                           | 5.0~30.2               | 0.2~2.7          | 129~303                             | 7.6~9.4  | 7.3~13.1                 | 6.1~76.2                    | 0.445~3.036              | 0.018~0.098              |  |
|                            | Ganwol Lake               | 1995     | R     | A      | -                   | 490.8                            | 26.4                          | M (29~30)                           | 2.6~28.3               | -                | 270~3,756                           | 7.2~9.6  | 6.3~15.4                 | 10.9~283.3                  | 1.428~3.263              | 0.066~0.315              |  |
|                            | Chopyeongji               | 1958     | D     | A      | 1,001.6             | 132.1                            | 2.6                           | S (31)                              | 7.4~20.8               | 4.0~4.2          | 159~171                             | 7.6~8.8  | 11.1~11.3                | 5.9~49.5                    | 0.734~0.851              | 0.006~0.013              |  |
|                            | Songangji                 | 1961     | D     | A      | -                   | 42.8                             | 1.1                           | S (32)                              | 18.7~25.2              | 0.5~1.0          | 171~210                             | 8.9~9.6  | 8.4~15.5                 | 35.3~87.0                   | -                        | 0.034~0.057              |  |
|                            | Cheongcheonji             | 1962     | D     | A      | -                   | 69.6                             | 2.6                           | S (33)                              | 12.8~24.2              | 0.3~1.8          | 175~245                             | 7.9~8.7  | 9.0~11.6                 | 1.4~4.9                     | 0.714~2.456              | 0.011~0.076              |  |
|                            | Buan Lake                 | 1996     | D     | A      | -                   | 59.0                             | 3.0                           | M (34~35)                           | 3.4~28.5               | 1.5~4.5          | 65~90                               | 6.6~7.4  | 7.0~12.0                 | 0.0~4.6                     | 1.559~3.046              | 0.003~0.016              |  |
| Youngsan-Seomjin River (5) | Jangsung Lake             | 1979     | D     | A      | -                   | 122.8                            | 7.4                           | M (36~37)                           | 3.9~25.0               | 1.0~2.5          | 92~218                              | 6.9~12.9 | 4.9~13.6                 | 2.8~20.4                    | 0.618~1.015              | 0.012~0.093              |  |
|                            | Damyang Lake              | 1976     | D     | A      | -                   | 65.6                             | 4.4                           | M (38~39)                           | 3.7~25.7               | 1.5~3.5          | 61~190                              | 6.7~10.3 | 7.7~13.2                 | 2.2~12.4                    | 0.712~0.916              | 0.006~0.042              |  |
|                            | Naju Lake                 | 1976     | D     | A      | -                   | 104.7                            | 8.0                           | M (40~41)                           | 4.4~28.5               | 0.1~2.5          | 87~215                              | 6.4~8.5  | 5.2~13.0                 | 4.3~18.1                    | 0.461~0.803              | 0.013~0.049              |  |
|                            | Daedong Lake              | 1981     | D     | A      | 1,303.8             | 23.1                             | 0.9                           | S (42)                              | 7.5~22.7               | 1.6              | 203~215                             | 8.7~9.4  | 11.5~12.3                | 11.0~17.9                   | 1.250~1.399              | 0.025~0.031              |  |
|                            | Gwangju Lake              | 1976     | D     | A      | 1,303.8             | 41.3                             | 1.8                           | S (43)                              | 5.2~32.5               | -                | 89~208                              | 7.2~8.5  | 7.4~12.9                 | 0.4~16.8                    | 0.466~1.129              | 0.013~0.065              |  |

\*: 2022. June 1<sup>st</sup> Measured. -: N.D.; R: Rectangle, C: Circle, D: Dendrite, T: Triangle, A: Artificial, S: small, M: Middle, L: Large  
The variables were obtained from the Water Environment Information System (<http://waterier.go.kr>).

르말린으로(4% 최종농도) 시료를 동정 및 계수하였다. 대형 동물플랑크톤은(요각류와 지각류) ×25~50 배율의 도립 현미경, 소형 동물플랑크톤은(윤충류) ×100~400 배율에서 계수하였다. 고배율로 동물플랑크톤의 형태와 저작기 등을 파악하였으며, 속 또는 종 범위에 한해 Koste (1978), Smirnov and Timms (1983), Einsle (1993)의 분류기를 따라 동정하였다. 종별 생체량(건조중량)은 분류군별 표준체적을 적용하여 산출하였다(MOE/NIER, 2017). 동물플랑크톤을 대상으로 군집지수 평가를 위하여 우점도(Simpson, 1949), 종다양도(Shannon and Weaver, 1963), 균등도(Pielou, 1966) 및 종풍부도(Margalef, 1958) 등을 파악하였다. 호소의 영양 상태 평가를 위해 부영양화지수(Trophic State Index, TSI) (Carlson, 1977)를 활용한 국내 인공호에 적용성이 높은 한국형 부영양화지수(Korean TSI, TSI<sub>KO</sub>)를 활용하여 수질 인자들 중 TP, Chl-a 와 COD에 대해 다음 식을 사용하여 TSI<sub>KO</sub>를 계산하였다(NIER, 2006).

$$TSI_{TP} = 114.6 + 43.3 \log(TP \text{ mg L}^{-1})$$

$$TSI_{Chl-a} = 12.2 + 38.6 \log(Chl-a \text{ } \mu\text{g L}^{-1})$$

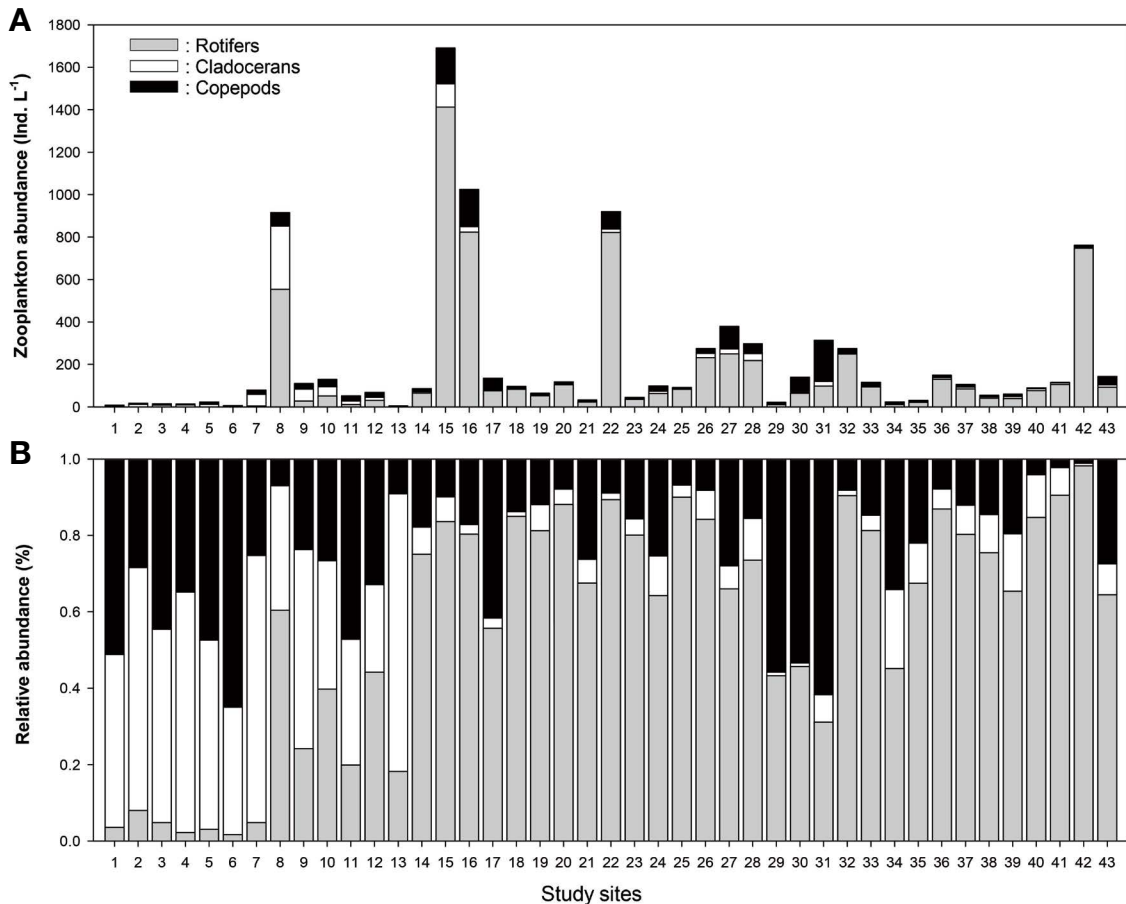
$$TSI_{COD} = 5.8 + 64.4 \log(COD \text{ mg L}^{-1})$$

$$TSI_{KO} = 0.5 TSI_{COD} + 0.25 TSI_{Chl-a} + 0.25 TSI_{TP}$$

## 결과 및 고찰

### 1. 조사지 개황 및 육수학적 특성

조사대상 호소는 원형·타원형 혹은 나뭇가지형의 모양 특성을 지닌 인공호가 대부분이었으며 1920년~1990년대에 생성된 것으로 파악되었다. 형태적 특징은 국토의 약 70%가 산지로 구성되어 있고, 강우의 유출이 빠르고 토지 보수력이 낮음으로 용수 확보 목적으로 생성된 인공호소로 이에 대한 주요성이 강조된 바 있다(Park *et al.*, 2005). 조사대상 호소 중 20여 개 이상의 호소가 호소면적에 비하여 유역면적이 넓거나, 폭에 비하여 길이가 긴 호소로 유역권내 다양



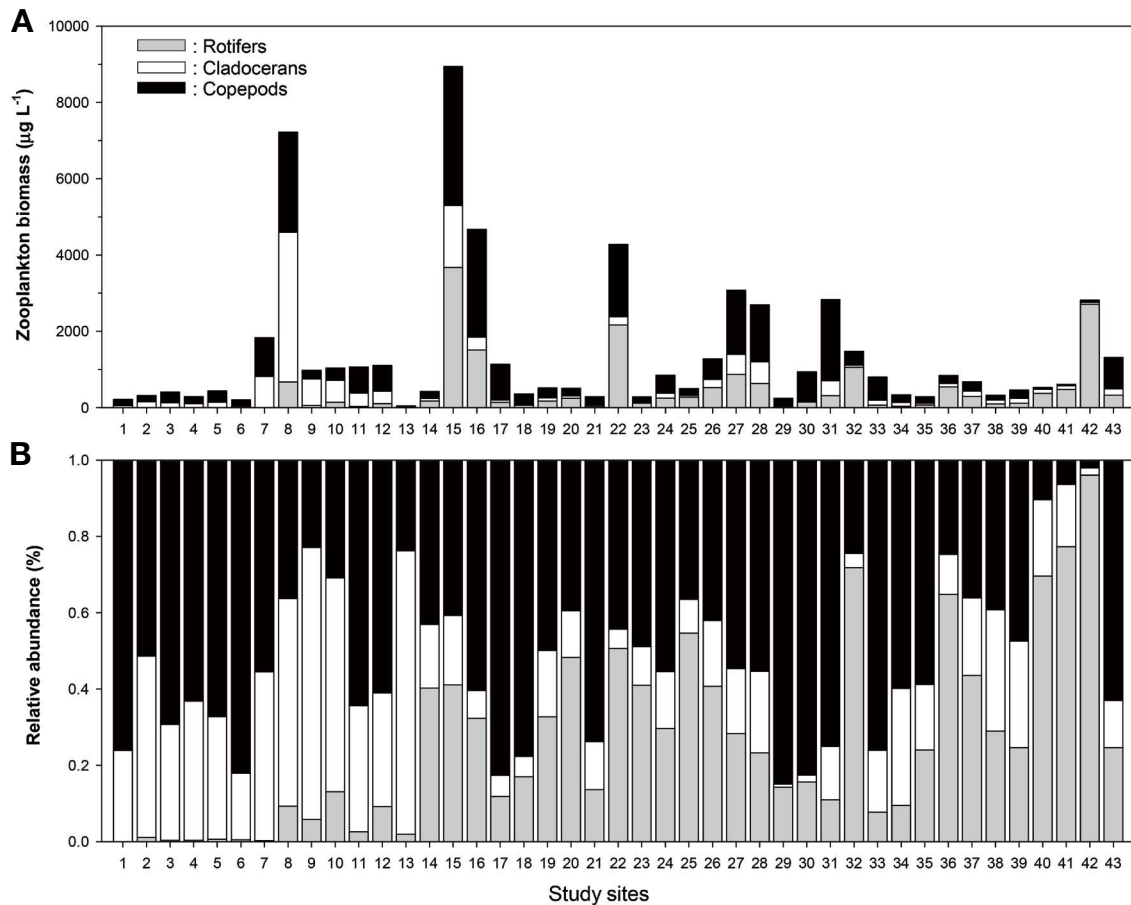
**Fig. 2.** Mean abundance (A) and relative abundance (B) of major zooplankton community in 43 sampling sites during the study period (2022). (Copepods includes adult, copepodids and nauplii).

한 오염물질 등의 유입이 용이한 구조적 특성을 지니고 있는 것으로 평가된다(Kim and Hong, 1992). 권역별 연 총 강수량 차이는 뚜렷하였으며, 약 1,000~1,800 mm의 범위를 나타내었다(Table 1). 30개 호소의 기초 육수학적 요인은 상이한 것으로 파악되었고, 수온 등을 포함한 투명도, 전기전도도, pH, 용존산소, Chl-a, 총질소 및 총인은 호소별 차이가 뚜렷한 것으로 평가되었다. 수온은 약 1.9~32.5°C 범위인 것으로 평가되었고, 투명도 약 0.1~7.1 m 정도로 지점 간 차이가 명확하였으며, 조사기간 동안의 평가된 호소의 평균 투명도는 약 2.1 m인 것으로 파악되었다. 전기전도도의 경우 서호, 경포호와 간월호 지점 외에는 대부분의 호소에서는 약  $<500 \mu\text{S cm}^{-1}$ 인 것으로 나타났다. pH의 호소별 약 6.3~9.0의 분포 범위를 보여 지점 간 변이는 다소 낮은 것으로 파악되었다. 용존산소(최소:  $1.3 \text{ mg L}^{-1}$ , 최대:  $17.3 \text{ mg L}^{-1}$ ), 총질소(최소:  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$ , 최대:  $9.4 \text{ mg L}^{-1}$ ) 및 총인(최소:  $0.006 \text{ mg L}^{-1}$ , 최대:  $0.575 \text{ mg L}^{-1}$ )의 호소별 차이는 매우 상이한 것으로 나타났다. 특히 호소별 Chl-a 농도 범주는 약 0.2

$\mu\text{g L}^{-1}$ ~ $283 \mu\text{g L}^{-1}$ 으로 지점 간 현저한 차이를 나타내었다(Fig. 1). Ministry of Environment (2009)에 의하면 관리 대상 호소의 약 70% 호소가 중-부영양 단계를 나타낸 것으로 파악되었고, 2014년 이전에 파악된 국내 호소(전국 90개 호소)의 월별 부영양화 비율(인자: TN, TP, Chl-a)의 차이는 있으나, 대부분 부영양호소의 특성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다(Kwon *et al.*, 2014). 다양한 환경요인 중 정수 생태계의 토지 피복 및 형태학적 요인에 의한 변동은 예측되나, 조사시기별 각 항목별 농도 변화를 감안해 볼 경우 조사기간 동안 포함된 30개 호소의 영양상태 분포 특성은 대부분 중-부영양 단계의 호소의 영양구조와 유사한 것으로 여겨진다(Park *et al.*, 2014).

### 2. 호소별 동물플랑크톤 동태

조사기간 동안 30개 호소의 총 동물플랑크톤 평균 밀도는  $213.7 \pm 342.3 \text{ Ind. L}^{-1}$  ( $n=129$ )이었다. 호소별 평균 총 동물플랑크톤 밀도 변이는 상이하였으며, 조사지점별로 경포호



**Fig. 3.** Mean biomass (dry weight) (A) and relative abundance (B) of major zooplankton community in 43 sampling sites during the study period (2022). (Copepods includes adult, copepodids and nauplii).



(조사지점 13)에서 평균  $4.4 \pm 0.1 \text{ Ind. L}^{-1}$  ( $n=3$ )으로 가장 낮은 총 동물플랑크톤 밀도를 나타내었고, 주남저수지(조사지점 15)에서  $1690.3 \pm 29.1 \text{ Ind. L}^{-1}$  ( $n=3$ )으로 가장 높은 평균 총 동물플랑크톤 밀도를 보였다(Fig. 2A). 동물플랑크톤의 주요 군집 중 윤충류의 평균 밀도( $159.9 \pm 287.0 \text{ Ind. L}^{-1}$ ) 및 상대풍부도(전체 동물플랑크톤 군집의 약 74.8%)가 가장 높았다. 지각류의 평균 밀도는  $21.0 \pm 47.6 \text{ Ind. L}^{-1}$ , 상대풍부도는 약 9.8%인 것으로 나타났다. 요각류 군집(아성체 및 유생 포함)의 평균 밀도는 약  $<33 \text{ Ind. L}^{-1}$ 으로 전체 동물플랑크톤 군집 구성비율 내 약 15.3%이나 유생의 비율이 현저히 높은 경향성을 보였다(Fig. 2B). 생체량(건조중량)의 경우 30개 호소의 평균은  $1382.8 \pm 1850.4 \mu\text{g d.w. L}^{-1}$ , 조사지점별로 상이한 변화를 나타내었다(Fig. 3A). 윤충류의 경우  $429.4 \pm 758.6 \mu\text{g d.w. L}^{-1}$ , 그리고 지각류의 경우  $303.0 \pm 637.8 \mu\text{g d.w. L}^{-1}$ 으로 개체밀도와는 상이한 비율 차이를 나타내었다. 특히, 요각류 군집(아성체 및 유생 포함)의 경우  $650.3 \pm 834.4 \mu\text{g d.w. L}^{-1}$ 인 것으로 파악되어 높은 상대풍부도를 나타내었다(Fig. 3B). 일반적으로 동물플랑크톤 군집구조 크기의 공간적 변화는 먹이, 중별 서식환경의 선호도 그리고 생활전략과 밀접한 연관성이 있다(Gillooly and Dodson, 2000). 본 연구의 조사대상 호소에서 일차생산자의 주요 영양원 및 서식환경 변화의 상이함이 조사기간 동안의 각 지점별 동물플랑크톤 밀도 변이에 영향을 준 것으로 사료된다(Table 1).

30개 호소에서의 동물플랑크톤 출현 총 종수 130종, 윤충류 83종, 지각류 34종, 그리고 요각류 13종인 것으로 파악되었다. 평균 출현 총 종수는 26.5종이며, 윤충류의 경우는 약 18.3종, 지각류 약 5.5종, 그리고 요각류는 약 2.6종이 출현하는 것으로 파악되었다(Table 2). 전체 출현 종수가 가장 높은 지점은 주남저수지로 68종이 출현하였고, 이에 비해 6종이 출현한 경포호가 가장 적은 출현 종수를 나타내었다. 군집별 종 구성비율에서 70% 이상이 윤충류 종으로 구성된 호소의 경우는 약 13개 호소였으며, 윤충류의 경우 호소별 현격한 종수의 차이를 나타내었다(최소: 2종, 최대: 50종). 대동호의 경우는 약 92% 이상이 윤충류(26종)로 소형 동물플랑크톤 종 비율이 높은 호소인 것으로 파악되었다. 지각류는 호소별 약 2~13종이 동정되었고, 요각류의 경우 출현하지 않은 5개 호소를 제외하고 약 1~6종이 분포하는 것으로 파악되었다. 대형 동물플랑크톤(지각류와 요각류)의 종 구성이 높은 호소는 약 17개 호소로 이 중 지각류의 종 구성이 50% 이상을 점유하는 호소는 약 4개 호소였으며, 요각류의 경우에는 전체 종 구성비율에서 20% 이하를 점유하는 특성을 나타내었다(Table 2). 군집지수의 종다양도는 0.8~3.4, 종풍부도는 1.7~7.6, 우점도는 0.5~0.9, 그리고 군

Table 2. The number of zooplankton species and community index (2022, May~Nov.).

| Parameters       | Lake & Reservoir (Site No.) |          |           |           |         |         |         |         |            |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |            |         |         |         |            |            |            |            |         |          |         |
|------------------|-----------------------------|----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|------------|---------|----------|---------|
|                  | SY (1~3)                    | PA (4~6) | CHL (7~8) | CH (9~10) | WO (11) | SE (12) | GY (13) | GO (14) | JU (15~16) | JU (17) | HY (18) | HD (19) | SY (20) | DA (21) | SN (22) | GD (23) | DD (24) | BM (25) | AK (26) | YY (27~28) | YD (29~30) | GW (31) | CP (32) | SA (33) | CC (34~35) | BA (36~37) | JS (38~39) | DY (40~41) | NJ (42) | DDL (43) | GG (44) |
| Total            | 11                          | 11       | 26        | 28        | 13      | 23      | 6       | 26      | 68         | 68      | 33      | 22      | 26      | 35      | 15      | 33      | 21      | 32      | 29      | 30         | 50         | 31      | 32      | 25      | 23         | 17         | 29         | 19         | 28      | 28       | 25      |
| No. of Rotifera  | 2                           | 2        | 10        | 18        | 4       | 13      | 3       | 18      | 50         | 50      | 25      | 16      | 17      | 25      | 10      | 23      | 14      | 22      | 20      | 23         | 38         | 23      | 22      | 20      | 15         | 10         | 23         | 15         | 25      | 26       | 19      |
| No. of Cladocera | 6                           | 6        | 13        | 9         | 7       | 7       | 3       | 8       | 12         | 5       | 2       | 6       | 6       | 6       | 2       | 5       | 4       | 6       | 6       | 4          | 8          | 4       | 6       | 3       | 4          | 4          | 5          | 4          | 3       | 2        | 5       |
| No. of Copepoda  | 3                           | 3        | 3         | 1         | 2       | 3       | -       | -       | 6          | 6       | 3       | 4       | 3       | 4       | 3       | 5       | 3       | 4       | 3       | 3          | 4          | 4       | 4       | 2       | 4          | 3          | 1          | -          | -       | 1        | -       |
| H'               | 2.4                         | 0.8      | 2.3       | 2.8       | 2.4     | 2.4     | 1.5     | 2.8     | 3.4        | 2.8     | 1.5     | 2.9     | 2.4     | 3.1     | 2.6     | 2       | 2.7     | 1.6     | 3.1     | 3.4        | 1.9        | 1.5     | 1.8     | 2.2     | 1.9        | 3.2        | 3          | 3          | 2.8     | 3.1      | 3.1     |
| Community index  | 7.6                         | 3.9      | 3.2       | 3.2       | 2.1     | 2.2     | 1.7     | 2.7     | 4.6        | 4.6     | 2.7     | 2.7     | 5.9     | 4.3     | 5.8     | 3       | 5.1     | 5.2     | 3.8     | 5          | 4          | 1.9     | 2.8     | 1.9     | 3.2        | 3.4        | 4.4        | 4.5        | 4.6     | 3.2      | 3.1     |
| DI               | 0.6                         | 0.9      | 0.7       | 0.6       | 0.7     | 0.5     | 0.8     | 0.5     | 0.5        | 0.6     | 0.9     | 0.6     | 0.7     | 0.5     | 0.7     | 0.8     | 0.6     | 0.9     | 0.5     | 0.4        | 0.8        | 0.9     | 0.8     | 0.8     | 0.8        | 0.5        | 0.5        | 0.6        | 0.6     | 0.6      | 0.5     |
| E                | 0.7                         | 0.3      | 0.6       | 0.7       | 0.7     | 0.7     | 0.6     | 0.7     | 0.7        | 0.7     | 0.4     | 0.6     | 0.6     | 0.6     | 0.7     | 0.6     | 0.4     | 0.6     | 0.4     | 0.6        | 0.7        | 0.8     | 0.4     | 0.7     | 0.5        | 0.5        | 0.7        | 0.7        | 0.7     | 0.7      | 0.7     |

H': Species diversity index, RI: Richness index, DI: Dominance index, E: Evenness index, SY: Soyang Lake, PA: Hwacheon Lake (Paro Lake), CHL: Chunchon Lake, CH: Chungju reservoir, WO: Woncheonji, SE: Seo Lake, GY: Gyeongpo Lake, GO: Goesan Lake, JU: Junam reservoir, HY: Hoeya Lake, HD: Hoedong reservoir, SY: Sayeon Lake, DA: Daenam Lake, SN: Seonamje, GD: Gidongji, DD: Deokdong Lake, BM: Bomun Lake, AK: Ahnkye Lake, YY: Yongyeonji, YD: Yeodangji, GW: Ganwol Lake, CP: Chopyeongji, SA: Songgaji, CC: Cheongcheonji, BA: Buan Lake, JS: Jangsung Lake, DY: Danyang Lake, NJ: Naju Lake, DDL: Daedong Lake, GG: Gwangju Lake, - : N.D.

**Table 3.** Dominant and sub-dominant species of the study sites (2022. May~Nov.).

| Catchment area             | Lake & Reservoir          | Dominant species                     | Sub-dominant species                 |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Han River (8)              | Soyang Lake               | <i>Bosmina longirostris</i> (Cl)     | <i>Bosminopsis deitersi</i> (Cl)     |
|                            | Hwacheon Lake (Paro Lake) | <i>Bosmina longirostris</i> (Cl)     | <i>Daphnia galeata</i> (Cl)          |
|                            | Chuncheon Lake            | <i>Conochilus unicornis</i> (Ro)     | <i>Bosmina longirostris</i> (Cl)     |
|                            | Chungju reservoir         | <i>Bosmina longirostris</i> (Cl)     | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            |
|                            | Woncheonji                | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Cl)  | <i>Asplanchna priodonta</i> (Ro)     |
|                            | Seo Lake                  | <i>Brachionus calyciflorus</i> (Ro)  | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Cl)  |
|                            | Gyeongpo Lake             | <i>Bosmina longirostris</i> (Cl)     | <i>Collotheca ornata</i> (Ro)        |
|                            | Goesan Lake               | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
| Nakdong River (11)         | Junam reservoir           | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
|                            | Hoeya Lake                | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
|                            | Hoedong reservoir         | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Pompholyx sulcata</i> (Ro)        |
|                            | Sayeon Lake               | <i>Kellicottia bostoniensis</i> (Ro) | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
|                            | Daeam Lake                | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     |
|                            | Seonamje                  | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            | <i>Trichocerca stylata</i> (Ro)      |
|                            | Gidongji                  | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
|                            | Deokdong Lake             | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     |
|                            | Bomun Lake                | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Polyarthra minor</i> (Ro)         |
|                            | Ahnkye Lake               | <i>Polyarthra minor</i> (Ro)         | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            |
|                            | Yongyeonji                | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
| Geum River (6)             | Yedangji                  | <i>Keratella valga</i> (Ro)          | <i>Brachionus angularis</i> (Ro)     |
|                            | Ganwol Lake               | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            |
|                            | Chopyeongji               | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     |
|                            | Songagji                  | <i>Synchaeta</i> sp. (Ro)            | <i>Brachionus diversicornis</i> (Ro) |
|                            | Cheongcheonji             | <i>Pompholyx complanata</i> (Ro)     | <i>Ascomorpha</i> sp. (Ro)           |
|                            | Buan Lake                 | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Daphnia galeata</i> (Cl)          |
| Youngsan·Seomjin River (5) | Jangsung Lake             | <i>Hexarthra mira</i> (Ro)           | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      |
|                            | Damyang Lake              | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     |
|                            | Naju Lake                 | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Hexarthra mira</i> (Ro)           |
|                            | Daedong Lake              | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Keratella cochlearis</i> (Ro)     |
|                            | Gwangju Lake              | <i>Polyarthra vulgaris</i> (Ro)      | <i>Asplanchna priodonta</i> (Ro)     |

Ro: Rotifer, Cl: Cladocera

등도는 0.3~0.8 범위의 분포 현황을 나타내었다(Table 2). 종풍부도 지수는 호소별 변동 폭이 뚜렷한 것으로 파악되었으나, 나머지 지수에서는 호소 간 명확한 차이는 파악되지 않았다. 국내 호소의 동물플랑크톤은 대부분 윤충류 군집인 *Brachionus*, *Conochilus*, *Keratella*, *Kellicottia*, *Synchaeta*, *Polyarthra*, *Pompholyx*, *Hexarthra*속으로 분류되는 종이 대표적인 우점종으로 출현하는 경향을 보였으며(Table 3), 낙동강, 금강 및 영산·섬진강 권역 내 호소에서는 윤충류가 우점하는 것으로 파악되었다. 이러한 경향성은 국외 호수에서의 동물플랑크톤 군집비율에서도 윤충류가 우점하는 경향성과 유사한 것으로 밝혀진 바 있고(Conty *et al.*, 2007), 아

울러 빈·중영양호소보다는 일반적으로 부영양호소에서 윤충류 종이 우점한다고 연구된 경우가 있다(Jeppesen *et al.*, 1996; Zingel, 1999). 호소에서 동물플랑크톤 군집변화 요인 중 어류포식은 소형 동물플랑크톤의 우점과 연관이 있으며(Meerhoff *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2019), 경쟁 우위에 있는 대형 지각류 및 요각류가 시각에 의존하는 포식자인 어류에 의해 제거되어 상대적으로 크기가 작은 윤충류 군집 밀도가 증가하는 것으로 알려져 있다(Crisma and Beaver, 1990). 본 조사에서도 호소별 동물플랑크톤 군집비율의 차이는 있으나 대부분의 호소에서 윤충류 밀도가 매우 높았으며, 봄~여름 기간의 치어포식에 의해서 대형 동물플랑크톤

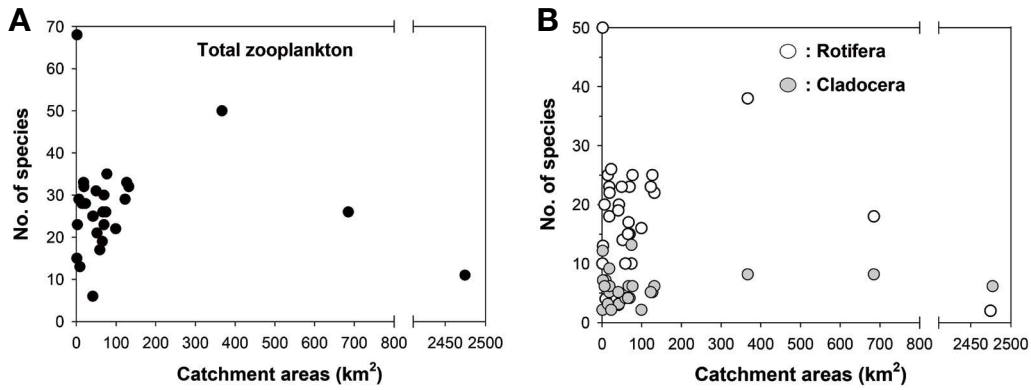


Fig. 4. The changes of the total number of zooplankton species (A), rotifer and cladoceran species (B) by catchment areas.

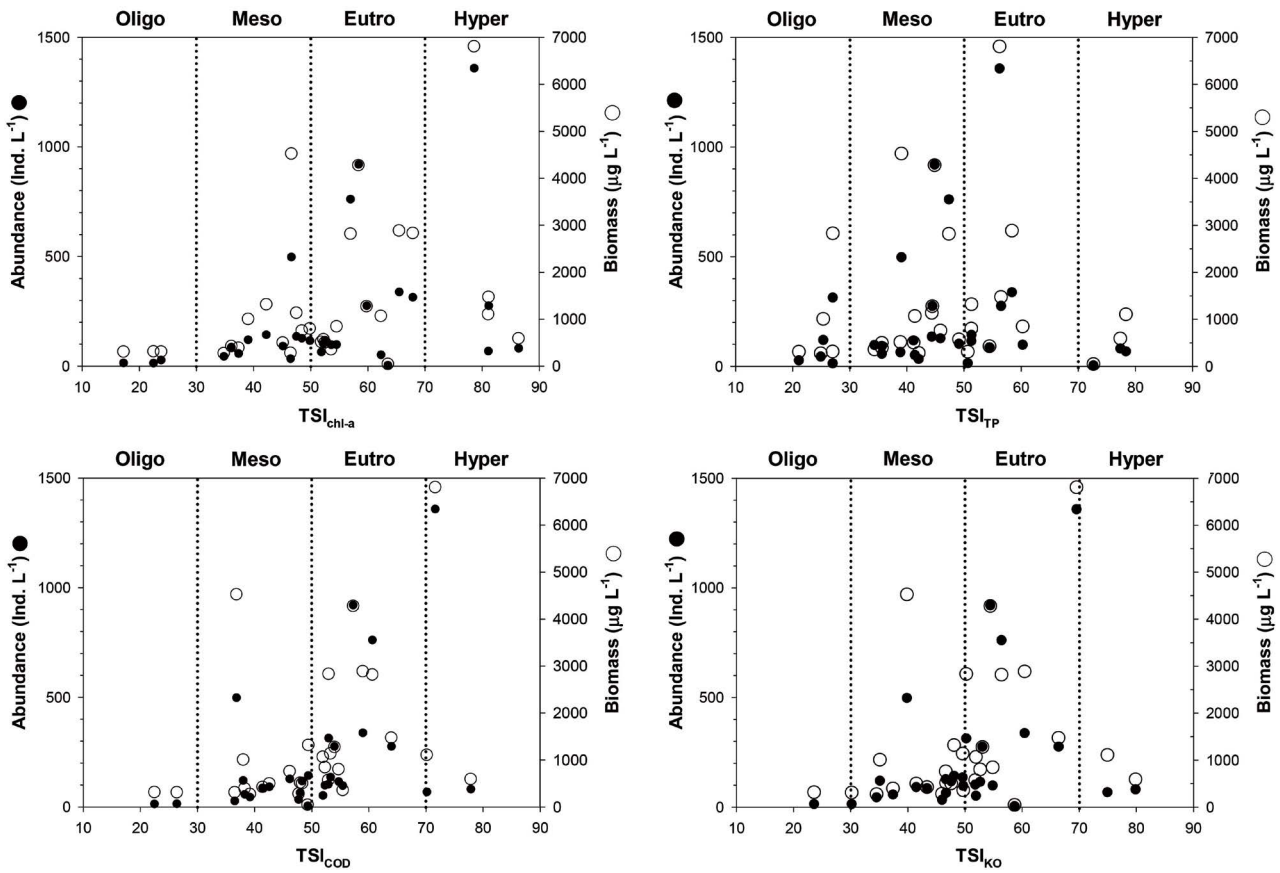


Fig. 5. Changes in mean of zooplankton abundance and biomass distribution range by 30 lentic ecosystems according Trophic State Index (TSI) values.

군집구조가 영향을 받았을 것으로 사료된다. 한강 권역의 호소에서는 타 수계에 비해 윤충류/지각류의 개체밀도 비율이 상대적으로 낮게 나타났으며 이 중 지각류 군집에 속하는 *Diaphanosoma brachyurum*과 *Bosmina longirostris*가 전체 호소의 약 62%에서 우점종 및 아우점종으로 출현하는 특성

을 보였다. 대형 지각류인 *Daphnia galeata*가 아우점종으로 출현하는 호소의 비율은 낮았다.

### 3. 호소 규모 및 영양상태별 동물플랑크톤 동태

호소 생태계의 경우 물리적 요인들 중 유역 규모와 인위



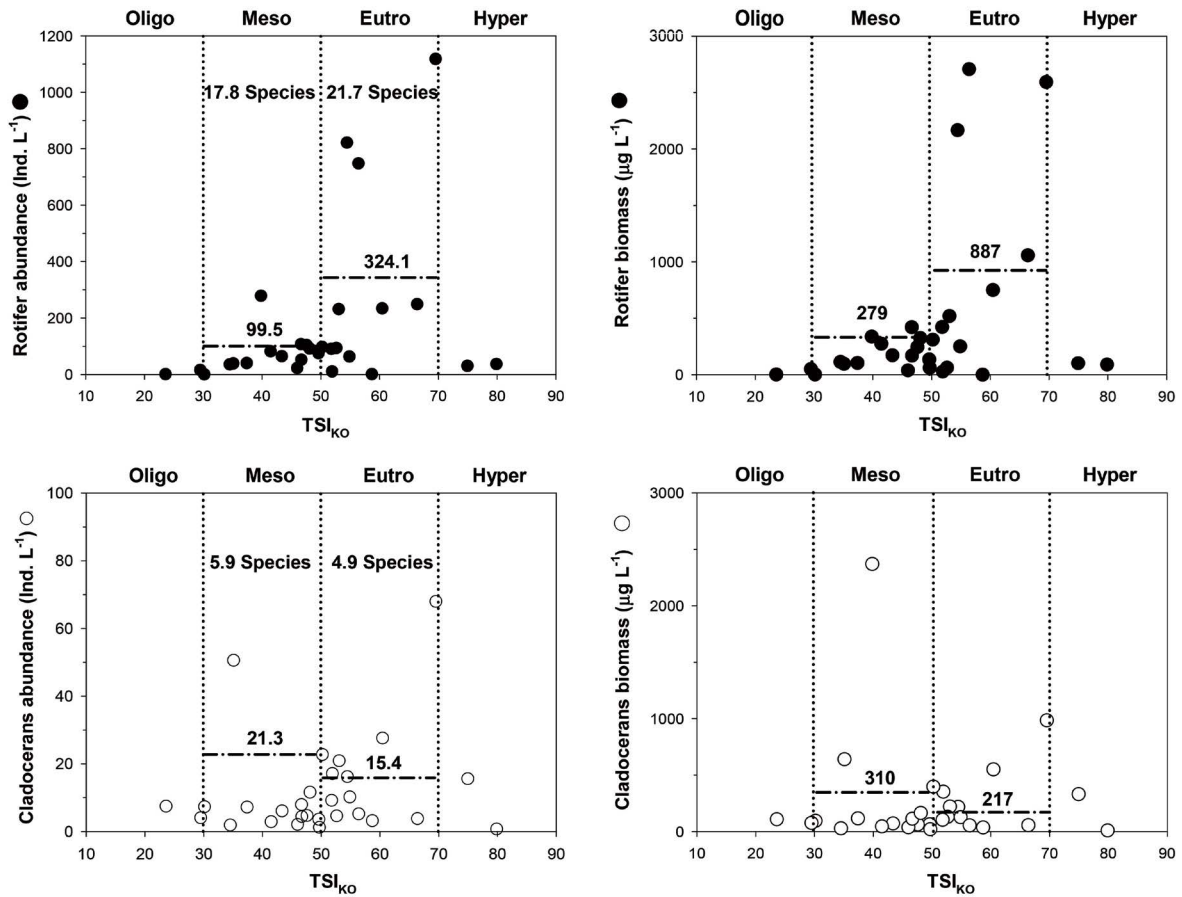


Fig. 6. Changes in mean of major zooplankton community (roifer and cladocerans) abundance and biomass distribution range by 30 lentic ecosystems according Trophic State Index (TSI<sub>KO</sub>) values.

적 환경 요인 변화에 따라 생물 군집구조 변동과 밀접한 연관성이 있고(Dodson *et al.*, 2009), 결과적으로 부유 생물 동태 파악에 주요한 정보로서 활용될 수 있다. 본 조사대상 호소의 경우 유역면적에 따른 동물플랑크톤의 출현 종수의 분포 차이는 두드러진 것으로 파악되었다(Fig. 4A). 특히, 유역면적 < 140 km<sup>2</sup>의 호소에서 총 종수의 분포 차이가 상이하였다. 총 종수의 분포 경향성은 소형 동물플랑크톤인 윤충류 종수의 분포 패턴과 유사한 것으로 나타났으나, 지각류 출현 총 종수의 경우는 호소 규모(유역면적)별 뚜렷한 경향성은 파악되지 않았다(Fig. 4B). 이러한 결과를 바탕으로 국내 중·소형 호소의 경우 주요 동물플랑크톤 군집 중 윤충류를 활용한 호소 수질 평가의 효율성이 상대적으로 높을 것으로 판단되며, 중·대형 호소의 경우에는 지각류 등 대형 동물플랑크톤 군집에 대한 중요성이 높을 것으로 평가된다. 이처럼, 호소의 형태적 특성은 생태계 시스템 내에서의 변화를 예상하는 데 도움이 되며, 생물체에 미치는 영향과 변화 예측을 하는 데 주요 자료로 활용되는 것으로 알려져 있다

(Håkanson, 2005). 서식환경의 복잡성은 생물군집구조 변화에 중요한 요인 중 하나이며, 호소에서의 동물플랑크톤 군집구조는 호소형태와 같은 인위적 요인과 밀접한 연관성이 있고(Van Egeren *et al.*, 2011), 호소 내 시·공간적인 서식환경 여건에 영향을 받는 것으로 알려져 왔다(Kovalenko *et al.*, 2012).

조사대상 호소의 동물플랑크톤 개체수 및 생체량에 따른 TSI 지수는(TSI<sub>chl-a</sub>, TP, COD 및 KO) 대부분 중영양과 부영양 상태에 속하는 것으로 평가되었으며, TSI<sub>TP</sub>와 TSI<sub>KO</sub>의 경우 각 영양 단계에 포함되는 호소 수의 비율은 상이한 것으로 파악되었다(Fig. 5). 윤충류와 지각류의 종수, 개체수 및 생체량에 따른 TSI<sub>KO</sub> 지수 분포의 차이는 뚜렷한 것으로 평가되었다(Fig. 6). 일반적으로 동물플랑크톤 같은 부유생물 군집 생체량은 중영양부터 부영양상태에 이르기까지 유의적으로 증가하는 것으로 알려져 있다(Auer *et al.*, 2004). 부영양 호소의 환경은 빈영양 호소보다 높은 동물플랑크톤 생체량을 나타낸다(Kallf, 2002). 그러나, 본 연구에서 평가된 30

개 호소의 TSI<sub>KO</sub> 주요 군집 간의 출현 종수, 개체수 및 생체량(건조중량) 간에는 상이한 동태를 나타내었다. 율충류 군집의 경우에는 부영양 호소에서 평균 출현 종수(21.7종)와 평균 개체수(324.1 Ind. L<sup>-1</sup>)가 중영양 호소에 비해 현저히 높았으나, 지각류 군집에서는 중영양 호소에서 평균 출현 종수(5.9종)와 평균 개체수(21.3 Ind. L<sup>-1</sup>)가 높은 것으로 평가되었다(Fig. 6). 생체량에서도 율충류의 경우는 부영양 호소에서 중영양 호소에 비해 평균 약 3.1배 높은 밀도 분포를 나타내었고, 지각류의 경우에는 중영양 범주에 속하는 호소에서의 생체량이 평균적으로 약 1.4배 높은 것으로 평가되었다. 특히, 영양단계별 동물플랑크톤 개체밀도와 생체량 요인을 활용한 수환경 평가에서 소형 동물플랑크톤과 대형 동물플랑크톤 간의 중별 생체량 차이로 인하여 율충류 군집의 출현 개체군 밀도는 지각류 군집에 비해 약 4배 이상 높았으나, 생체량에서는 오히려 지각류 군집의 평균 건조중량이 높은 결과를 나타내었다.

동물플랑크톤 정보를 활용한 호소의 효율적 관리를 위해서는 호소의 특성을 이해하고, 수환경 요인 등에 대한 자료를 활용한 다양한 유형화 작업 및 평가가 선행되어야 한다고 판단된다. 추후 본 연구 자료를 활용한 동물플랑크톤 동태에 대한 지속적인 호소의 지형적 특성, 지수 자료 등과 같은 연구는 병행되어야 할 것으로 사료된다. 아울러, 호소 내 핵심적인 생물상인 동물플랑크톤 평가 연구는 호소 관리를 위한 주요한 기반 자료로써 그 활용성이 매우 높을 것으로 판단된다.

**저자정보** 김현우(순천대학교 환경교육과 교수), 허유지(순천대학교 환경교육과 박사과정), 이경락(국립환경과학원 물환경공학연구과 연구사)

**저자기여도** 개념설정: 김현우, 자료수집: 김현우, 허유지, 자료관리: 김현우, 원고 초안작성: 김현우, 허유지, 검토: 김현우, 과제관리: 김현우, 이경락

**이해관계** 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

**연구비** 본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(Grant no. NIER-2022-04-02-109).

## REFERENCES

- Auer, B., U. Elzer and H. Arndt. 2004. Comparison of pelagic food webs in lakes along a trophic gradient and with seasonal aspects: influence of resource and predation. *Journal of Plankton Research* **26**(6): 697-709.
- Bonecker, C.C., M.Y. Nagae, M.C.M. Bletler, M.C.M. Velho and F.A. Lansac-Tôha. 2007. Zooplankton biomass in tropical reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia* **579**: 115-123.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* **22**(2): 361-369.
- Conty, A., F. García-Criado and E. Bécares. 2007. Changes in bacterial and ciliate densities with trophic status in Mediterranean shallow lakes. In *Shallow Lakes in a Changing World: Proceedings of the 5th International Symposium on Shallow Lakes*, held at Dalfsen, The Netherlands, 5-9 June, 2005, pp. 327-335. Springer Netherlands.
- Crisman, T.L. and J.R. Beaver. 1990. Applicability of planktonic biomanipulation for managing eutrophication in the subtropics. In *Biomanipulation Tool for Water Management: Proceedings of an International Conference held in Amsterdam, The Netherlands, 8-11 August, 1989*, pp. 177-185. Springer Netherlands.
- Dodson, S.L., C.E. Cáceres and D.C. Rogers. 2010. Cladocera and other Branchiopoda. In *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, pp. 773-827. Academic Press.
- Einsle, U. 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. *Susswasswefauna von Mitteleuropa*, vol. 8, part 4-1. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Etilé, R.N.D., A.M. Kouassi, M.N.G. Aka, M. Pagano, V. N'douba and N.G.J. Kouassi. 2009. Spatio-temporal variations of the zooplankton abundance and composition in a West African tropical coastal lagoon (Grand-Lahou, Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia* **624**: 171-189.
- Gillooly, J.F. and S.I. Dodson. 2000. Latitudinal patterns in the size distribution and seasonal dynamics of new world, freshwater cladocerans. *Limnology and Oceanography* **45**(1): 22-30.
- Håkanson, L. 2005. The importance of lake morphometry for the structure and function of lakes. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology* **90**(4): 433-461.
- Hwang, S.J., S.K. Kwon and C.G. Yoon. 2003. Water quality and limnology of Korean reservoirs. *Paddy and Water Environment* **1**: 43-52.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, J.P. Jensen, E. Mortensen and O. Sortkjær. 1996. Fish-induced changes in zooplankton grazing on phytoplankton and bacterioplankton: a long-term study in shallow hypertrophic Lake Søbygaard. *Journal of Plankton Research* **18**(9): 1605-1625.
- Jürgens, K. and E. Jeppesen. 2000. The impact of metazooplankton on the structure of the microbial food web in a shallow, hypertrophic lake. *Journal of Plankton Research* **22**(6): 1047-1070.
- Kallf, J. 2002. *Limnology: Inland Water Ecosystem*. Prentice Hall, New Jersey, 592pp.
- Kim, H.W., G.H. La, K.S. Jeong, J.H. Park, Y.J. Huh, S.D. Kim and H.Y. Lee. 2010. Assessing the plankton dynamics in

- lakes and reservoirs ecosystem in the southwestern parts of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **28**(2): 86-94.
- Kim, H.W., H.G. Jeong, J.Y. Choi, S.K. Kim, K.S. Jeong, G.H. La, H.J. Oh and K.H. Chang. 2018. Past history of freshwater zooplankton research in South Korea and Korean Society of Limnology and future directions. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(1): 40-59.
- Kim, J.K. and W.H. Hong. 1992. Studies on the physical environmental factor analysis for water quality management in Man-made lake of Korea. *Journal of the Environmental Sciences International* **1**: 49-57.
- Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropes begrunder von Max Voigt, 2nd edn., Vol. 1. Textband, 673p., Vol. 2. Tafelband, 234p., Borntraeger, Stuttgart.
- Kovalenko, K.E., S.M. Thomaz and D.M. Warfe. 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* **685**: 1-17.
- Kwon, Y.S., M.J. Bae, J.S. Kim, Y.J. Kim, B.H. Kim and Y.S. Park. 2014. Characterizing changes of water quality and relationships with environmental factors in the selected Korean reservoirs. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**(3): 146-159.
- Marcus, N. 2004. An overview of the impacts of eutrophication and chemical pollutants on copepods of the coastal zone. *Zoological Studies* **43**(2): 211-217.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* **3**: 36-71.
- Meerhoff, M., C. Iglesias, F.T. De Mello, J.M. Clemente, E. Jensen, T.L. Lauridsen and E. Jeppesen. 2007. Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* **52**(6): 1009-1021.
- Ministry of Environment. 2009. Water quality management strategies of lake.
- MOE/NIER. 2017. Biomonitoring survey and assessment manual. Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research. Incheon.
- Nakdong River Basin Management Committee. 2019. Survey of environment and ecosystem of lakes in the Nakdong River system.
- National Institute of Environmental Research. 2006. A study on the comprehensive assessment methods of water environment - Eutrophication.
- Oh, H.J., Y. Oda, J.Y. Ha, T. Nagata, T. Hanazato, Y. Miyabara, M. Sakamoto and K.H. Chang. 2019. Responses of daphnids and other zooplankton populations to massive fish kill in Lake Suwa. *Ecological Research* **34**(6): 856-863.
- Park, S.G., J.H. Kim and G.W. Seo. 2005. Application of electrical resistivity monitoring technique to maintenance of embankments. *Geophysics and Geophysical Exploration* **8**(2): 177-183.
- Park, Y.S., Y.S. Kwon, S.J. Hwang and S. Park. 2014. Characterizing effects of landscape and morphometric factors on water quality of reservoirs using a self-organizing map. *Environmental Modelling & Software* **55**: 214-221.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**(4148): 688-688.
- Smirnov, N.N. and B.V. Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacea). *Records of the Australian Museum* **1**(Suppl.): 1-132.
- Stamou, G., A.D. Mazaris, M. Moustaka-Gouni, M. Špoljar, I. Ternjej, T. Dražina and E. Michaloudi. 2022. Introducing a zooplanktonic index for assessing water quality of natural lakes in the Mediterranean region. *Ecological Informatics* **69**: 101616.
- Van Egeren, S.J., S.I. Dodson, B. Torke and J.T. Maxted. 2011. The relative significance of environmental and anthropogenic factors affecting zooplankton community structure in Southeast Wisconsin Till Plain lakes. *Hydrobiologia* **668**: 137-146.
- You, K.A., M.S. Byeon and S.J. Hwang. 2012. Effects of hydraulic-hydrological changes by monsoon climate on the zooplankton community in lake Paldang, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **45**(3): 278-288.
- Zingel, P. 1999. Pelagic ciliated protozoa in a shallow eutrophic lake: community structure and seasonal dynamics. *Archiv für Hydrobiologie* **146**(4): 495-511.