

Original article

## 정수생태계 동물플랑크톤 채집 시 네트 인양 유형 및 수심에 따른 군집 정보 비교

오혜지 · 채연지 · 구도영 · 김유진 · 왕정현 · 최보형<sup>1</sup> · 지창우<sup>1</sup> · 곽인실<sup>1</sup> · 박영석<sup>2</sup> · 남귀숙<sup>3</sup>  
김용재<sup>4</sup> · 장광현\*

경희대학교 환경학및환경공학과, <sup>1</sup>전남대학교 수산과학연구소, <sup>2</sup>경희대학교 생물학과,  
<sup>3</sup>한국농어촌공사 농어촌연구원, <sup>4</sup>대진대학교 생명과학과

**A Comparative Study on the Information of Zooplankton Community Based on Towing Type and Depth in the Lake Ecosystems.** Hye-Ji OH (0000-0003-2098-8485), Yeon-Ji Chae (0000-0002-1185-7945), Doyeong Ku (0000-0002-2792-3185), Yu-Jin Kim (0000-0002-5474-6567), Jeong-Hyeon Wang (0000-0002-6476-9586), Bohyung Choi<sup>1</sup> (0000-0001-6998-400X), Chang Woo Ji<sup>1</sup> (0000-0001-6133-9399), Ihn-Sil Kwak<sup>1</sup> (0000-0002-1010-3965), Young-Seuk Park<sup>2</sup> (0000-0001-7025-8945), Gui-Sook Nam<sup>3</sup> (0000-0002-5799-1365), Yong-Jae Kim<sup>4</sup> (0000-0003-3326-8372) and Kwang-Hyeon Chang\* (0000-0002-7952-4047) (Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin, 17104, Republic of Korea; <sup>1</sup>Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu, 59626, Republic of Korea; <sup>2</sup>Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea; <sup>3</sup>Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 15634, Republic of Korea; <sup>4</sup>Department of Life Science, Daejin University, Pocheon 11159, Republic of Korea)

**Abstract** Biomonitoring Survey and Assessment Manual for lake ecosystem suggest zooplankton collection methods to compare relatively the number of species, population density, and community indices, taking into account the convenience of the field sampling according to the sites' water depth. In this study, the oblique towing and 20 m vertical towing methods presented in the manual were respectively compared with the whole water column-vertical towing and we analyzed the differences and characteristics of zooplankton community information gathered by each collection method. For community indices, there was no difference in the comparison of oblique/vertical towing methods in the shallow lake, but in the deep lake, the diversity and richness indices increased when vertically towing through whole water column rather than when limiting the towing depth to 20 m. In addition, the total zooplankton density collected by the oblique/20 m vertical towing methods was about three times higher than the whole water column-vertical towing method, which means that the density of zooplankton community can be overestimated depending on the collection methods. It appears to be results of differences in the zooplankton density by water layer arising from their vertical distribution and in filtered raw water quantity according to the towing depth/distance. Hence, for zooplankton community information to be used as a functional quantitative indicator representing the entire lake, it would be more

Manuscript received 4 December 2020, revised 17 December 2020,  
revision accepted 17 December 2020

\* Corresponding author: Tel: +82-31-201-3392, Fax: +82-31-204-8114  
E-mail: chang38@khu.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.

appropriate to apply the whole water column-vertical towing method with considering the distribution of zooplankton density by depth and contribution rate of each water layer when converting total zooplankton density.

**Key words:** zooplankton community, lake ecosystems, quantitative index, oblique/vertical towing methods, towing depth

## 서 론

국내 수자원을 운용하는 데 있어 수체 건강성 유지 및 회복을 위한 관리의 중요성이 대두된 이래로, 이화학적 평가와 함께 생물학적 평가를 위한 연구들이 수행되어왔다. 수체 내 물리·화학적 인자들은 생물학적 총체성(Biological integrity)에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 생물학적 모니터링 결과를 바탕으로 인간 활동으로 인한 교란에 대한 직접적인 평가가 가능하다(Han and Choi, 2009; Oh *et al.*, 2019). 현재 국내에서는 물환경정보시스템(Water Environment Information System) 내 생물측정망 포함 다양한 종류의 물환경측정망 정보 제공을 통해 수질 및 수생태계의 실태 파악을 실시하고 있다(water.nier.go.kr). 생물측정망의 정보의 경우, 생물측정망 조사 및 평가지침(국립환경과학원 공고 제2017-439호)을 통해 조사 항목, 내용 및 방법들에 대해 제시하고 있다(Ministry of Environment, 2017a).

수생태계 현황 조사 및 건강성 평가에 활용되는 생물의 군집 정보는 수환경을 대표할 수 있는 지점으로부터 정량 채집된 생물량에 기초하여 계산되기 때문에, 수집된 군집 정보의 대표성 확보를 위해서는 대상 생물의 시·공간 분포를 고려하여 채집해야 할 필요가 있다(Chang and Hanazato, 2004; Grosbois *et al.*, 2017; Oh *et al.*, 2019). 특히 동물플랑크톤의 경우, 유영 능력이 낮고 연안지역 등 제한된 지역에서 집중되어 출현하는 플랑크톤 특성상 좁은 공간 범위 내에서 채집 가능하지만, 식물플랑크톤과는 달리 상대적으로 이동 범위가 넓기 때문에 먹이 농도, 포식압, 피난처의 유무 등의 환경에 따라 수직 및 수평 분포를 달리할 수 있다(Kim *et al.*, 2002; Chang and Hanazato, 2003, 2004). 또한 동물플랑크톤 종에 따라 생존하기에 유리한 환경이 상이하기 때문에 동물플랑크톤 군집 내부적으로도 공간 선택과 이로 인한 수층별 개체 밀도의 차이가 발생한다(Joo *et al.*, 2002). 따라서, 수생태계 현황 파악에 활용 가능한 수체의 대표적인 동물플랑크톤 군집 정보를 수집하기 위해서는 종 특이적인 공간 분포의 이질성을 고려하여 적절한 지점 선정 및 조사방법의 선택이 매우 중요하다.

현행 생물측정망 조사 및 평가지침에서는 호소를 대상으로 동물플랑크톤 현장조사를 수행하는 데 있어 정점의 수심을 고려한 차별화된 조사방법을 제시하고 있다(Ministry of Environment, 2017b) - 수심이 5 m 이하일 경우 일정거리(약 5 m) 사선끌기, 20 m 이하일 경우 전수심 수직끌기, 그 이상은 20 m 수직끌기, 이 때 사선끌기의 경우 호 내 중앙부가 아닌 수변부에서 실시한다. 동물플랑크톤은 유광층을 포함하는 수표면 근처에서 밀집 정도가 높기 때문에(Kim *et al.*, 2000; García *et al.*, 2002), 수체의 수심에 따라 상이한 조사 방법을 적용하더라도 군집 내 분류군별 비중, 다양도 지수 등의 상대적 비교가 가능하다. 하지만 수층별 동물플랑크톤 분포 차이의 반영 여부에 의해 조사 방법에 따라 개체 밀도 변이 정도가 상이하게 나타날 수 있으며, 조사 정점의 위치(수변부 vs. 중앙부)에 따른 네트의 끌기 유형(사선끌기 vs. 수직끌기) 및 끌기 거리/수심을 달리 적용하게 될 경우 수심이 다른 호소들 간 절대적인 동물플랑크톤 군집 비교 시 오류 발생의 우려가 있다. 이와 같은 문제는 동물플랑크톤 정량 정보를 수생태계 내 먹이망 구조 및 기능을 포괄적으로 평가하고 수체 전체의 생물량 정보 등을 필요로 하는 생태 모델(AQUATOX 등)에 활용하는 데 제한점으로 작용할 수 있다.

그럼에도 불구하고 조사 방법에 따른 동물플랑크톤 군집 정보를 비교하여 차이의 유무를 분석하고 그 정도에 대해 수치적으로 제시한 연구 결과는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현행 조사지침(Ministry of Environment, 2017a)에서 제시하는 동물플랑크톤 조사 방법 중 사선끌기법과 20 m 수직끌기법을 각각 전수심을 대상으로 한 조사 방법과 비교하여 동물플랑크톤 군집 정보 간 차이의 유무에 대해 통계적으로 분석하고, 그 차이를 유발하는 원인에 대해 고찰했다. 또한, 이를 기반으로 향후 수체 내 2차 생산자의 절대량 추정과 호소와 같은 정수생태계를 대상으로 동물플랑크톤 군집 구조와 기능 평가에 적용 가능한 정량적인 정보 수집을 위한 보완점을 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

조사 정점 및 방법에 따른 동물플랑크톤 군집 비교를

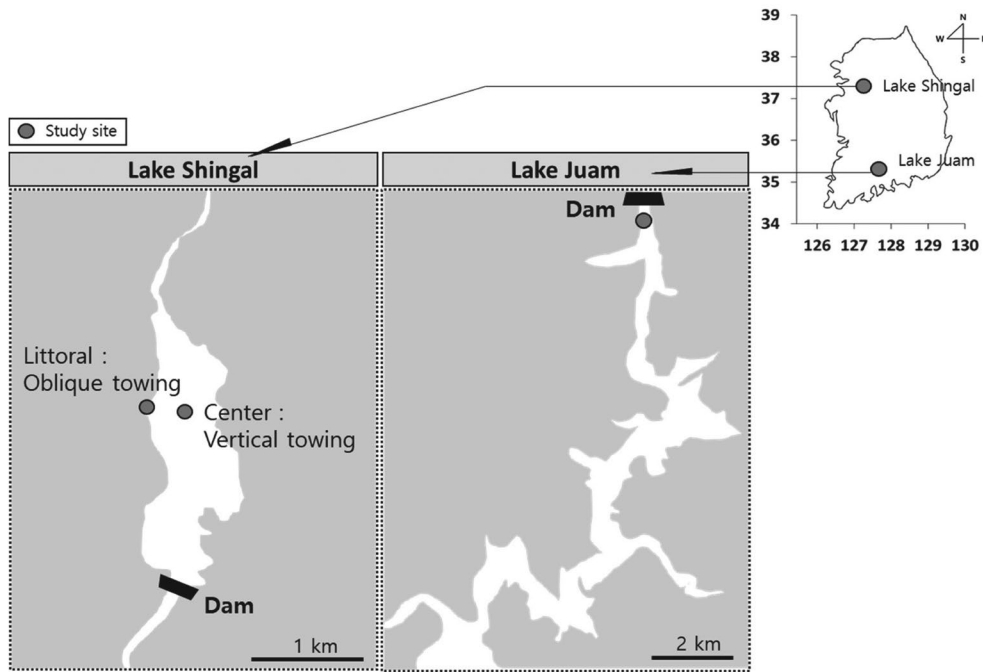


Fig. 1. The map of study sites.

위해 수심이 얇아 수변부 사선끌기법이 적용 가능한 경기도 용인시 소재의 신갈지(37°14'30.4"N 127°05'45.4"E, 수심 6.1 m)와 수심이 깊어 20 m 수직끌기법이 적용 가능한 전라남도 순천시 소재의 주암호(35°03'37.3"N 127°14'19.3"E, 수심 45.2 m)를 조사 대상지로 선정하였다. 신갈지에서는 8월, 주암호에서는 9월 조사를 수행하였으며, 각각 현행 조사지침(Ministry of Environment, 2017a)에 따른 조사법과 전수심 수직끌기법을 동시에 적용하여 동물플랑크톤 정량 채집을 실시하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤 채집에는 직경 27 cm, 망목 60µm의 동물플랑크톤 네트를 사용하였으며, 약 1~2 m s<sup>-1</sup>의 일정한 속도로 사선 및 수직끌기를 수행하였다. 조사법에 따른 동물플랑크톤 정량 정보 간 통계적인 비교를 위해 각 시료 채집 시 동일한 방법으로 3회 반복하여 시료를 3개씩 확보하였다.

이와 동시에 신갈지 및 주암호 각 조사 정점의 수층별 동물플랑크톤 개체 밀도 및 조성을 파악하고자 정량 시료를 채집하였다. 수층별 정량 채집을 위해 정점의 수심을 측정하고 표층, 중층, 저층에 해당하는 수심에서 Van dorn sampler를 이용하여 10 L의 원수를 채수하였다(신갈지 중앙부-표층: 0.5 m, 중층: 2.5 m, 저층: 5 m, 주암호-표층: 0.5 m, 중층: 20 m, 저층: 40 m). 채수한 원수는 동일한 동물플랑크톤 네트를 사용하여 여과하였다

채집된 시료는 최종 농도 5%가 되도록 포르말린으로 고

정한 뒤, 실내 실험실로 운반되었다. 동물플랑크톤 동정 및 계수 작업은 현미경(Olympus BX51, Japan)을 이용하여 수행되었으며, 동정의 경우 속 및 종 수준까지 실시하였다. 동정 및 계수와 관련된 세부적인 사항은 현행 조사지침에서 제시하고 있는 내용을 따라 수행하였다.

조사법에 따른 동물플랑크톤 총 개체 밀도 및 분류군별 개체 밀도, 군집 지수는 정규분포 검정과 분산 비교(F test) 결과를 기반으로 평균 비교(t-test)를 실시하여 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지 분석하였다(R studio version 3.6.3). 동물플랑크톤 군집 지수의 경우, Primer 6를 이용하여 다양도, 풍부도, 우점도 및 균등도 지수를 산출하였다.

## 결 과

### 1. 수심이 얇은 호소에서의 동물플랑크톤 군집 비교: 사선 끌기법 vs. 수직끌기법

신갈지를 대상으로 수변부와 중앙부에서 각각 사선끌기법과 수직끌기법을 적용하여 동물플랑크톤을 채집한 결과, 총 개체 밀도는 수변부(사선끌기법) 696.6 ind. L<sup>-1</sup>, 중앙부(수직끌기법) 237.2 ind. L<sup>-1</sup>로 큰 차이를 보였으며, 이는 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다(Fig. 2a; t-test,

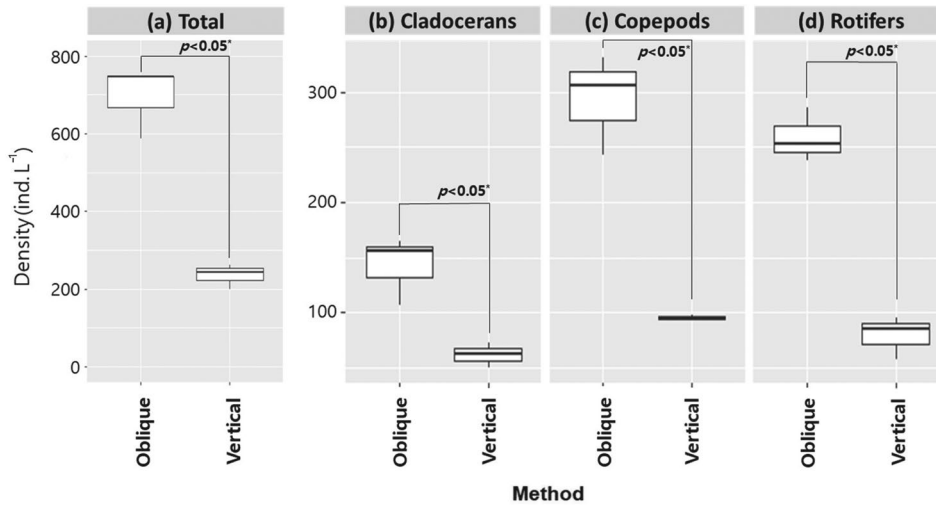


Fig. 2. Comparison of zooplankton density between oblique and vertical towing in Lake Shingal. (a) Total zooplankton density; (b) Cladocerans density; (c) Copepods density; (d) Rotifers density (n = 3).

$p = 0.001^*$ ). 이러한 차이는 동물플랑크톤 분류군별 개체 밀도 비교에서도 나타났으며, 수변부 및 중앙부에서 각각 지각류  $142.3 \text{ ind. L}^{-1}$ ,  $61.2 \text{ ind. L}^{-1}$ , 윤충류  $260.9 \text{ ind. L}^{-1}$ ,  $80.9 \text{ ind. L}^{-1}$ , 요각류  $293.4 \text{ ind. L}^{-1}$ ,  $95.1 \text{ ind. L}^{-1}$ 로 중앙부 수직끌기법 대비 수변부 사선끌기법으로 채집할 경우 약 2~3배 이상 높은 개체군 밀도를 나타내는 것으로 분석되었다(Fig. 2b, 2c, 2d; t-test, 지각류  $p = 0.013^*$ , 윤충류  $p = 0.001^*$ , 요각류  $p = 0.017^*$ ).

채집된 동물플랑크톤 군집 조성을 나타내는 상대풍부도 분포는 조사방법에 상관없이 요각류(수변부 사선끌기: 42.11%, 중앙부 수직끌기: 40.09%) > 윤충류(수변부 사선끌기: 37.45%, 중앙부 수직끌기: 34.11%) > 지각류(수변부 사선끌기: 20.43%, 중앙부 수직끌기: 25.80%) 순서로 높은 상대풍부도를 보였으며, 우점 동물플랑크톤 종으로는 요각류 유생(nauplius)이 공통적으로 확인되었다(수변부 사선끌기:  $190.1 \text{ ind. L}^{-1}$ ; 27.29%, 중앙부 수직끌기:  $56.3 \text{ ind. L}^{-1}$ ; 23.76%). 반면 아우점종의 경우, 사선끌기를 수행한 수변부에서는 윤충류(*Keratella cochlearis*-68.8  $\text{ind. L}^{-1}$ ; 9.87%), 수직끌기를 수행한 중앙부에서는 지각류(*Ceriodaphnia* sp.-27.8  $\text{ind. L}^{-1}$ ; 11.72%)에 속하는 종으로 상이하게 나타났다.

수변부에서 사선끌기법을 통해 채집된 동물플랑크톤 출현 종 수는 총 27종, 중앙부에서 수직끌기법을 통해 채집된 동물플랑크톤 출현 종 수는 총 25종으로 다소 차이를 보였으나, 결과적으로 다양도 지수에서의 유의한 차이는 나타나지 않았다(Fig. 3a; t-test,  $p > 0.05$ ). 그 외 동물플랑크톤 군집 지수(풍부도, 우점도, 균등도)에서도 뚜렷한 차

이는 분석되지 않았다(Fig. 3b, 3c, 3d; t-test,  $p > 0.05$ ).

## 2. 수심이 깊은 호소에서의 동물플랑크톤 군집 비교: 전수심 vs. 20 m 수직끌기법

주암호의 동일정점에서 끌기 수심을 전수심(약 45 m)과 20 m로 달리하여 수직끌기를 실시해 동물플랑크톤 총 개체 밀도를 비교한 결과, 각각  $34.3 \text{ ind. L}^{-1}$ ,  $99.3 \text{ ind. L}^{-1}$ 로 20 m 수직끌기를 적용했을 때, 보다 높은 개체군 밀도가 계산되었으며 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다(Fig. 4a; t-test,  $p = 0.013^*$ ). 요각류(전수심:  $5.8 \text{ ind. L}^{-1}$ , 20 m:  $13.7 \text{ ind. L}^{-1}$ )와 윤충류(전수심:  $25.9 \text{ ind. L}^{-1}$ , 20 m:  $80.6 \text{ ind. L}^{-1}$ ) 군집에서도 끌기 수심에 따라 비교적 큰 개체 밀도 차이를 보였으나(Fig. 4c, 4d; t-test, 요각류  $p = 0.033^*$ , 윤충류  $p = 0.020^*$ ), 지각류의 경우 전수심 수직끌기  $2.5 \text{ ind. L}^{-1}$ , 20 m 수직끌기  $5.1 \text{ ind. L}^{-1}$ 로 그 차이가 유의미하지 않았다(Fig. 4b; t-test,  $p > 0.05$ ).

주암호의 동물플랑크톤 군집 조성은 전수심 및 20 m 수직끌기에서 모두 윤충류가 가장 큰 비중을 차지했으며(각각 75.59%, 81.13%), 그 외 요각류(전수심: 17.08%, 20 m: 13.78%) > 지각류(전수심: 7.33%, 20 m: 5.09%) 순서로 상대풍부도가 높게 구성되어 끌기 수심에 상관없이 동일한 양상을 보였다. 윤충류가 군집 조성의 대부분을 차지하는 만큼 우점 및 아우점종 모두 윤충류에 해당하는 종들로 확인되었으나 그 종은 상이하게 나타났다-전수심 수직끌기: *Trichocerca porcellus* ( $6.5 \text{ ind. L}^{-1}$ ; 19.04%) > *Polyarthra* sp. ( $5.9 \text{ ind. L}^{-1}$ ; 17.23%), 20 m 수직끌기: *Polyarthra* sp.

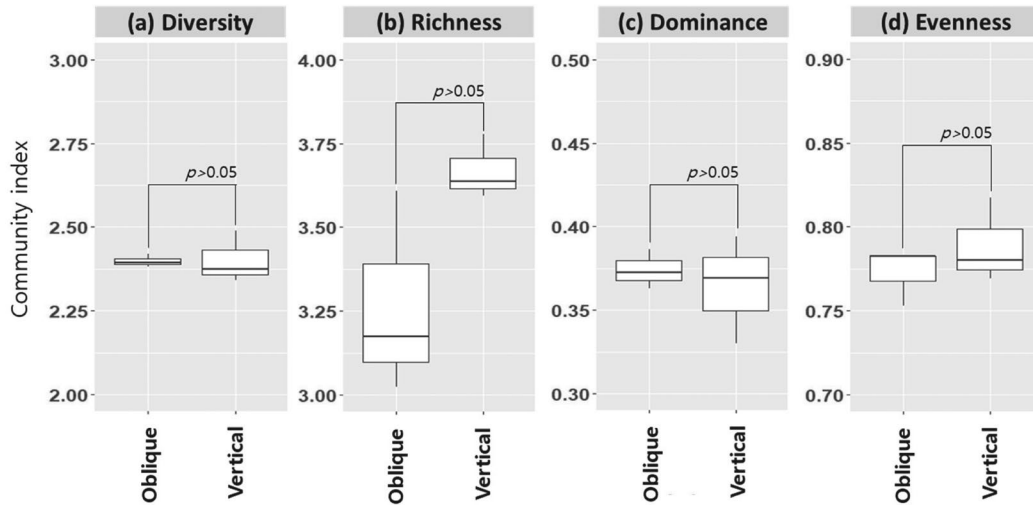


Fig. 3. Comparison of zooplankton community indices between oblique and vertical towing in Lake Shingal. (a) Diversity index; (b) Richness index; (c) Dominance index; (d) Evenness index (n = 3).

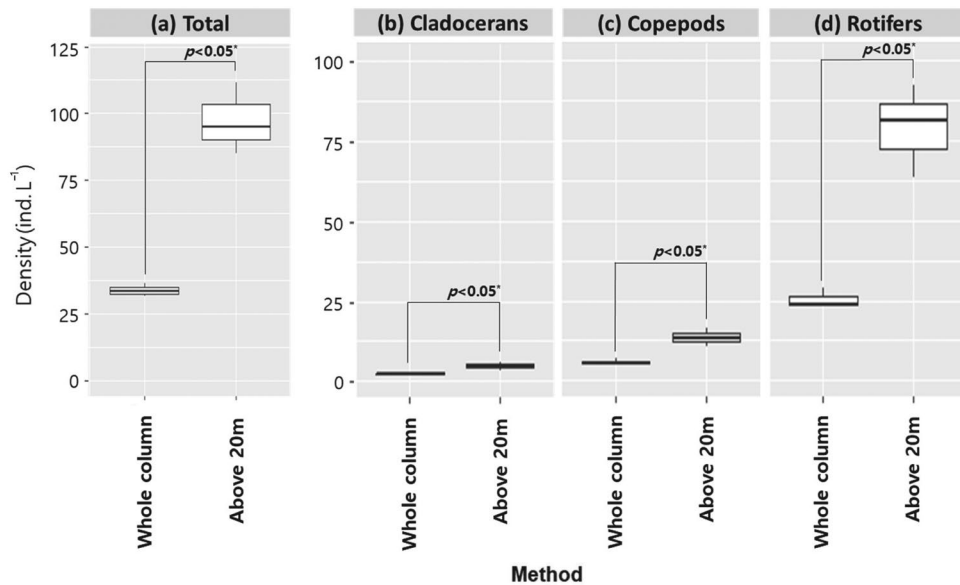


Fig. 4. Comparison of zooplankton density between vertical towing of whole column and above 20m in Lake Juam. (a) Total zooplankton density; (b) Cladocerans density; (c) Copepods density; (d) Rotifers density (n = 3).

(28.6 ind. L<sup>-1</sup>; 28.81%) > *T. porcellus* (19.2 ind. L<sup>-1</sup>; 19.38%).

동물플랑크톤 군집 내 출현 종 수는 끌기 수심에 상관 없이 총 29종으로 동일하게 출현하였으나, 다양도 지수는 20 m 수직끌기 (2.25 ± 0.08) 대비 전수심 수직끌기 (2.48 ± 0.04)에서 유의하게 높은 값이 산출되었다 (Fig. 5a; t-test,  $p = 0.023^*$ ). 동시에 풍부도 지수 또한 전수심 수직끌기법을 적용했을 때 더 높은 값을 보였다 (6.72 ± 0.66) (20 m: 4.8 ± 0.29) (Fig. 5b; t-test,  $p = 0.023^*$ ). 우점도와 균등도 지

수의 경우, 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5c, 5d; t-test,  $p > 0.05$ ).

## 고찰

생물측정망 조사 및 평가 지침 호소편에서 제시하고 있는 동물플랑크톤 조사 방법을 바탕으로 수심이 다른 호소

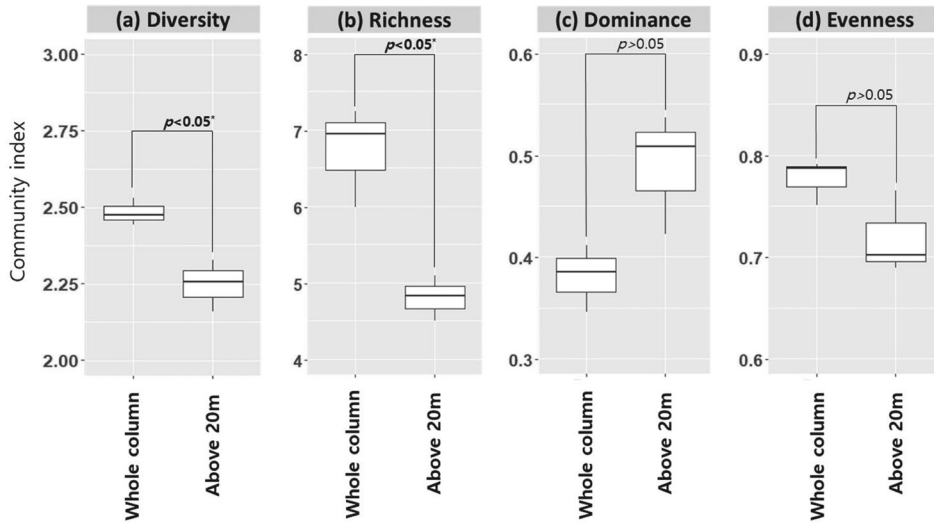


Fig. 5. Comparison of zooplankton community indices between vertical towing of whole column and above 20 m in Lake Juam. (a) Diversity index; (b) Richness index; (c) Dominance index; (d) Evenness index (n = 3).

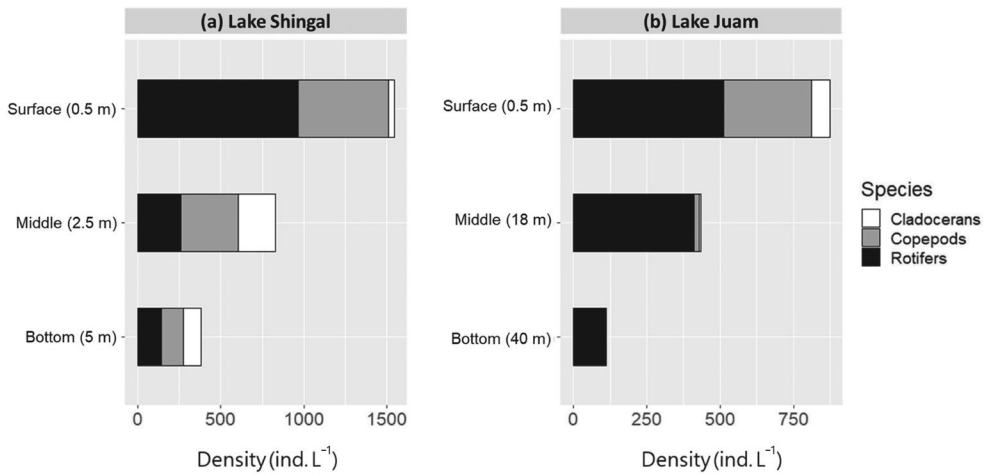


Fig. 6. Zooplankton density and composition by water level of (a) Lake Shingal and (b) Lake Juam.

에서 조사 정점의 위치(수변부 vs. 중앙부), 네트의 끌기 유형(사선끌기 vs. 수직끌기) 및 끌기 거리/수심을 달리 적용하여 동물플랑크톤 조사를 수행한 결과, 출현 종 수와 우점도 및 균등도 지수에서는 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 반면, 동물플랑크톤 총 개체 밀도는 수변부 사선끌기법과 중앙부 수직끌기법 비교(신갈지 대상)와 전수심 수직끌기법과 20 m 수직끌기법 비교(신갈지 대상)에서 모두 유의한 차이를 보였으며, 각각 수변부 사선끌기법과 20 m 수직끌기법에서 더 높은 개체 밀도를 나타냈다. 한편, 동물플랑크톤 군집 지수 중 다양도 지수와 풍부도 지수는 수변부 사선끌기법과 중앙부 수직끌기법 비

교 결과에서 차이를 보이지 않았으나, 끌기 수심을 달리하여(전수심 vs. 20 m) 수직끌기를 적용한 경우 그 차이가 유의하게 나타났다. 수심 전체를 수직으로 끌어 채집(전수심 수직끌기법)한 동물플랑크톤 군집의 종 다양도 및 풍부도는 20 m 수직끌기법과 비교했을 때 보다 높은 값을 보였으며, 이러한 차이는 대상 생물의 출현 종 수와 총 개체 밀도에 기반한 두 군집 지수의 산출 방식에서 비롯된 것으로 보여진다(Lampert and Sommer, 2007). 동물플랑크톤 출현 종 수와 총 개체 밀도에서 모두 차이를 보였던 수변부 사선끌기법과 중앙부 수직끌기법 비교 결과와는 달리, 전수심 vs. 20 m 수직끌기법의 비교에서는 끌기 수심이 다르게

적용되었음에도 불구하고 동일한 수의 동물플랑크톤 종이 확인되었으나 20 m 수직끌기법을 적용했을 때 더 많은 수의 동물플랑크톤 개체가 채집되었다.

두 호소를 대상으로 동물플랑크톤 정량 조사를 실시했을 때 조사법에 따라 가장 큰 차이를 보이는 군집 정보는 총 개체 밀도로, 수변부 사선끌기법과 20 m 수직끌기법에서 각각 중앙부 수직끌기법과 전수심 수직끌기법 대비 약 3배 정도 높은 개체군 밀도가 계산되었다. 얇은 수심으로 사선끌기법이 적용되는 신갈지의 경우, 네트 끌기 유형을 달리 적용하여 동물플랑크톤 군집을 채집, 비교한 결과로부터 사선끌기를 통해 채집한 시료의 동물플랑크톤 총 개체 밀도가 현저하게 높게 산출된 데는 사선끌기법을 수행함에 있어 발생할 수 있는 기술적인 문제가 작용한 것으로 보여진다. 사선끌기법은 수변부에서 동물플랑크톤 네트를 일정거리(주로 5 m) 던져 저층부에 닿지 않을 만큼 네트를 가라앉힌 후 일정 속도로 인양하여 동물플랑크톤을 채집하는 방식이다. 이 경우 조사자가 위치한 수변부에서 동물플랑크톤 네트가 도달하는 정점의 수심을 예측할 수 없고 네트가 가라앉는 정도에 개인차가 반영될 수 있기 때문에 네트를 인양하는 중에 수체 각 수층을 일정한 비율로 여과하는 데 어려움이 있다. 동물플랑크톤은 먹이농도, 포식압, 피난처의 유무 등의 환경 조건에 따라 그 분포를 달리할 수 있기 때문에 수층별 조성이 상이하다(George and Winfield, 2000; Chang and Hanazato, 2004; Karpowicz *et al.*, 2019; Oh *et al.*, 2019). 본 연구에서는 신갈지의 동물플랑크톤 군집이 수표면 가까이에 집중하여 분포하는 것으로 나타났으며(Fig. 6a), 이에 따라 끌기 유형을 달리하여 네트를 인양할 때 여과에 포함되는 수층의 비율에 차이가 발생하여 수체로부터 채집되는 동물플랑크톤 개체 수가 상이하게 나타난 것으로 보인다. 이러한 차이는 사선끌기를 수행하는 정도, 조사자의 숙련도 등에 의해 현저하게 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 반면, 수직끌기법은 정점에서 수심을 측정, 이를 고려하여 동물플랑크톤 네트에 적절한 무게의 추를 달아 저층에 닿지 않을 만큼의 수심까지 일직선으로 네트를 내렸다가 인양하기 때문에 상대적으로 개체 밀도가 상이한 각 수층을 일정한 비율로 여과하는 것이 가능한 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 수체의 수심, 유속, 유광대 비율과 같은 물리적인 요인의 차이로부터 수생 식물 군락의 유무, 가용 먹이원의 양 등 동물플랑크톤 서식 환경이 다르게 조성되기 때문에 조사 정점(수변부 vs. 중앙부)을 선정하는 데에서 비롯되는 차이 또한 고려해야 할 필요가 있다(Oh *et al.*, 2019). Surthers and Rissik (2009)에 따르면 중앙부 대비 수변부의 동물플랑크톤 군집이 보다 풍부한 종들로 구성되어 있다고 보고된 바 있으나, 본

연구의 신갈지의 경우 수변부 대비 중앙부에서 동물플랑크톤 출현 종 수와 개체 밀도가 더 높게 나타났다(표층 기준; 수변부: 15종 684 ind. L<sup>-1</sup>, 중앙부: 18종 1545 ind. L<sup>-1</sup>).

동물플랑크톤 총 개체 밀도의 차이는 끌기 수심을 달리하여 수직끌기법을 적용한 경우에도 크게 나타났으며, 이는 주암호 조사 정점에서의 동물플랑크톤 수직 분포와 밀접한 연관이 있는 것으로 보인다. 주암호의 경우에도 신갈지와 마찬가지로 수심이 깊어질수록 총 개체 밀도가 감소하는 경향을 보였으며, 이 때 전수심 수직끌기를 수행하는 경우 타 수층 대비 동물플랑크톤 개체 밀도가 현저히 낮은 저층부를 포함하여 여과하는 반면, 20 m 수직끌기의 경우 저층부를 포함하지 않아 총 개체 밀도의 차이가 발생한 것으로 판단된다(Fig. 6b). 특히 조사하려는 수체의 수심이 20 m 이상일 경우, 수심이 깊어질수록 동물플랑크톤 채집에 포함되는 깊이( $\leq 20$  m) 대비 포함되지 않는 깊이( $> 20$  m)의 비율이 증가하기 때문에 중층 이하의 동물플랑크톤 개체군 밀도의 반영 비율이 낮아지므로 최종 계산되는 총 개체 밀도가 크게 과대 평가될 우려가 있다.

본 연구 결과, 기존의 호소 생태계 내 동물플랑크톤 군집 비교에 주로 사용되어 온 출현 종 수, 군집 지수 및 군집 조성 내 분류군별 상대 풍부도에 대해서는 현행 조사 지침에서 제시된 방법을 적용하여 평가하는 데 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 하지만, 호소 조사 시 정량적 지표로서 수체 간 비교 가능한 동물플랑크톤 군집 정보를 확보하기 위해서는 해당 생물 군집의 분포 특성(특히, 수직 분포)을 고려해야 할 필요가 있다. 수생태계 먹이망 내 중간자적 위치에서 저차-고차 생물 군집을 연결하는 동물플랑크톤은 1차 생산량 대비 2차 생산량의 비율 산정을 통해 수생태계 물질 및 에너지 이동을 추적하고 어류 기반의 전반적인 수체 생산량 산정에 사용되는 등 구조 및 기능적인 측면에서 중요한 역할을 수행한다(Cushing, 1995; Kim *et al.*, 2018; Maciej *et al.*, 2020). 뿐만 아니라 수질·수생태계 건강성 평가에 수생태 모델이 도입됨에 따라 환경 변화 시나리오에 따른 생물 군집 변화 예측을 위해 동물플랑크톤을 포함하는 다양한 수생 생물의 종 구성, 개체수, 생체량과 같은 변수에 대한 정보가 요구되고 있다(Ministry of Environment, 2013). 따라서 수생태계 먹이망 내 동물플랑크톤 군집과 타 생물 군집 간 상호 작용에 대한 보다 정확한 접근과 수생태 예측모델 구축에 활용 가능한 동물플랑크톤 군집 정보를 제공하기 위해서는 수심에 따른 개체군 밀도 분포와 전체 개체수 환산 시 수층별 기여율을 고려한 전수심 수직끌기 방법이 보다 적절할 것으로 분석되었다. 본 연구는 가을철 1회 조사로 연중 공간 분포 변화에 따른 영향을 고려하지 않았으나, 지각류의 일주기 운동, 부영양

호의 수표면에서 발생하는 수층류 개체 밀도의 일시적 대량 증식 등 다양한 공간 분포 변화를 고려할 경우 연구 목적에 적합한 동물플랑크톤 조사 방법의 적용이 중요할 것으로 판단된다.

## 적 요

호소 생태계에 대한 생물측정망 조사 및 평가지침은 동물플랑크톤 조사의 편의성을 고려하여 출현 종 수와 개체군 밀도, 군집 지수 등을 상대적으로 비교하기 위해 수심 5 m 이하의 얇은 호소-수변부에서 사선끌기, 수심 20 m 이상 호소-전수심 수직끌기, 그 이상의 깊은 호소-20 m까지의 수심을 대상으로 한 수직끌기를 제시하고 있다. 본 연구에서는 지침에서 제시하는 방법 중 사선끌기법과 20 m 수직끌기법을 각각 전수심을 대상으로 한 조사 방법과 비교하여 동물플랑크톤 군집 정보의 차이 및 특성에 대해 분석하였다. 군집 지수의 경우 수심이 얇은 호수에서의 사선끌기법/수직끌기법 비교에서는 차이를 보이지 않은 반면, 수심이 깊은 호수에서는 끌기 수심을 20 m로 제한할 경우보다 전수심 수직끌기를 적용했을 때 다양도 및 풍부도 지수가 상승하는 것으로 나타났다. 또한, 사선끌기 및 20 m 수직끌기를 통해 채집한 동물플랑크톤 시료로부터 표면~저층 상층부까지의 전수심을 채집 대상으로 설정한 경우보다 약 3배 정도 높은 개체군 밀도가 계산되어, 동물플랑크톤 총 개체 밀도가 크게 과대 평가되는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 동물플랑크톤 수직 분포 특성상 발생하는 수층별 동물플랑크톤 개체 밀도 차이 및 여과된 원수량의 차이에서 비롯된 결과로 판단되며, 이에 따라 호소를 대변하여 수체 간 또는 수체 내 변동을 보다 정확히 파악하고 호 내 2차 생산과 관련한 기능적 정량 지표로서 동물플랑크톤 군집 정보의 활용을 고려할 경우, 수심에 따른 개체군 밀도 분포와 전체 개체수 환산 시 수층별 기여율을 고려한 전수심 수직끌기 방법의 적용이 보다 적절할 것으로 분석되었다.

**저자 정보** 오혜지(경희대학교 일반대학원 박사과정), 채연지(경희대학교 일반대학원 석사과정), 구도영(경희대학교 일반대학원 석사과정), 김유진(경희대학교 학부과정), 왕정현(경희대학교 학부과정), 최보형(전남대학교 박사 후 연구원), 지창우(전남대학교 박사 후 연구원), 곽인실(전남대학교 교수), 박영석(경희대학교 교수), 남귀숙(한국농어촌공사 연구원), 김용재(대전대학교 교수), 장광현(경희대학교

교 교수)

**저자 기여도** 개념설정: 오혜지, 곽인실, 박영석, 남귀숙, 김용재, 장광현, 방법론: 오혜지, 장광현, 자료수집: 오혜지, 채연지, 구도영, 최보형, 지창우, 장광현, 분석: 오혜지, 채연지, 구도영, 김유진, 왕정현, 장광현, 자료관리: 오혜지, 채연지, 구도영, 원고 초안작성: 오혜지, 장광현, 원고 교정: 오혜지, 장광현, 원고 편집: 오혜지, 곽인실, 박영석, 남귀숙, 김용재, 장광현, 과제관리: 지창우, 박영석, 연구비 수주: 박영석

**이해관계** 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

**연구비** 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003050003).

## REFERENCES

- Chang, K.H. and T. Hanazato. 2003. Seasonal and spatial distribution of two *Bosmina* species (*B. longirostris* and *B. fatalis*) in Lake Suwa, Japan: its relation to the predator *Leptodora*. *Limnology* **4**: 47-52.
- Chang, K.H. and T. Hanazato. 2004. Diel vertical migrations of invertebrate predators (*Leptodora kindtii*, *Thermocyclops taihokuensis*, and *Mesocyclops* sp.) in a shallow, eutrophic lake. *Hydrobiologia* **528**: 249-259.
- Cushing, D.H. 1995. The long-term relationship between zooplankton and fish: IV. Spatial/Temporal Variability and Prediction. *ICES Journal of Marine Science* **52**(3-4): 611-626.
- García, P.R., S. Nandini, S.S.S. Sarma, E.R. Valderrama, I. Cuesta and M.D. Hurtado. 2002. Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico). *Hydrobiologia* **467**(1-3): 99-108.
- George, D.G. and I.J. Winfield. 2000. Factors influencing the spatial distribution of zooplankton and fish in Loch Ness, UK. *Freshwater Biology* **43**(4): 557-570.
- Grosbois, G., P.A. del Giorgio and M. Rautio. 2017. Zooplankton allochthony is spatially heterogeneous in a boreal lake. *Freshwater Biology* **62**(3): 474-490.
- Han, D.H. and J.Y. Choi. 2009. A study on the water quality standards for the integrated management of water environment. KEI. Basic research report: 1-140.
- Joo, G.J., K.S. Jeong, H.W. Kim and K.H. Chang. 2002. Vertical distribution of zooplankton in the regulated river (Nakdong River). *Korean Journal of Limnology* **35**(4): 320-325.
- Karpowicz, M., J. Ejsmont-Karabin, A. Więcko, A. Gorniak and A. Cudowski. 2019. A place in space-the horizontal vs vertical factors that influence zooplankton (Rotifera, Crustacea) communities in a mesotrophic lake. *Journal of*



- Limnology* **78**(2): 243-258.
- Kim, H.W., H.H. 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 Environment and Ecology* **51**(1): 40-59.
- Kim, H.W., S.J. Hwang and G.J. Joo. 2000. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in the regulated Nakdong River (Korea). *Journal of Plankton Research* **22**(8): 1557-1577.
- Kim, H.W., S.J. Hwang, K.H. Chang, M.H. Jang, G.J. Joo and N. Walz. 2002. Longitudinal difference in zooplankton grazing on phyto- and bacterioplankton in the Nakdong River (Korea). *International Review of Hydrobiology* **87**: 281-293.
- Lampert, W. and U. Sommer. 2007. *Limnology: the ecology of lakes and streams*. Oxford university press: 270-271.
- Maciej, K., N. Piotr, G. Magdalena, E.K. Jolanta, K. Joanna and F. Irina. 2020. Effect of eutrophication and humification on nutrient cycles and transfer efficiency of matter in freshwater food webs. *Hydrobiologia* **847**(11): 2521-2540.
- Ministry of Environment. 2013. Development of integrated prediction model in aquatic ecosystem.
- Ministry of Environment. 2017a. Biomonitoring survey and assessment manual.
- Ministry of Environment. 2017b. Guideline for environmental assessment in lakes and reservoirs.
- Oh, H.J., K.H. Chang, H.G. Jeong, S.M. Go, G.H. La and H.W. Kim. 2019. Quantitative zooplankton collection methods for various freshwater ecosystems and their applications. *Korean Journal of Environment and Ecology* **52**(3): 231-244.
- Suthers, I.M. and D. Rissik. 2009. *Plankton: a guide to their ecology and monitoring for water quality*. CSIRO publishing, Clayton.