

Research Paper

## 한국 기수호 동물플랑크톤 군집 특성과 수생태계 건강성 평가 적용 방안

이혜진\* · 장광현\* · 오혜지\*\* · 홍근혁\* · 니금환\*\*\* ·  
장민호\*\*\*\* · 문정숙\*\*\*\*\* · 김현우\*\*\*\*\* · 최예림\*

경희대학교 환경학및환경공학과\*, 나라여자대학교 양성평등추진기구\*\*, 주식회사 에코랩공생\*\*\*,  
공주대학교 생물교육학과\*\*\*\*, 국립환경과학원 수자원연구과\*\*\*\*\*, 순천대학교 환경교육과\*\*\*\*\*

### Characteristics of Zooplankton Community in Brackish Lakes and Application for Assessing Lake Ecosystem Health

HyeJin Lee\* · KwangHyeon Chang\* · HyeJi Oh\*\* · GeunHyeok Hong\* ·  
GeunHwan La\*\*\* · MinHo Jang\*\*\*\* · JeongSuk Moon\*\*\*\*\* ·  
HyunWoo Kim\*\*\*\*\* · YeRim Choi\*

Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University\*  
Organization for the Promotion of gender Equality, Nara Women's University\*\*  
Eco-lab Gongaeng\*\*\*

Department of Biology Education, Kongju National University\*\*\*\*  
National Institute of Environmental Research\*\*\*\*\*

Department of Environmental Education, Suncheon National University\*\*\*\*\*

**요약:** 기수호는 5psu 이상 15psu 미만의 염분 농도를 가지는 수생태계로, 일반적인 호소와 달리 염분 농도의 변  
동과 같은 높은 환경 스트레스로 인해 전반적으로 저차 생물 군집의 종다양성이 낮은 경향을 나타낸다. 본 연구  
에서는 2022년부터 2024년까지 동해안에 위치한 기수호 7개소를 대상으로 수질 및 동물플랑크톤 데이터를 수  
집하고, 호소생태계 동물플랑크톤 건강성 평가 지수를 적용하여 호소별 지수 값을 도출하였다. 이후 담수호와  
의 비교 분석을 진행, 해당 체계의 적용성을 검토하고 문제점 및 개선 방향을 제시하고자 하였다. Cluster 및  
NMDS 분석 결과, 기수호는 담수호와 통계적으로 상이한 군집이 조성되어, 결과적으로 평가 지수 범위가 담수  
호와 크게 차이나는 것으로 분석되었다. 또한, 기수호에서 동물플랑크톤 군집 조성에 가장 큰 영향을 미치는 것  
은 염분 농도인 것으로 나타났다. 동물플랑크톤 건강성 평가 지수 계산 결과, 운충류와 만각류 유생 등의 개체수

First Author: HyeJin Lee, Tel: +82-31-201-3392, E-mail: lhj7295@khu.ac.kr, ORCID: 0009-0006-4866-1969

Corresponding Authors: HyunWoo Kim, E-mail: hwkim@snu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-3898-5864

YeRim Choi, Tel: +82-31-201-3392, E-mail: cy10124@naver.com, ORCID: 0000-0002-8600-1391

Co-Authors: KwangHyeon Chang, Tel: +82-31-201-3392, E-mail: chang38@khu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-7952-4047

HyeJi Oh, Tel: +82-31-201-3392, E-mail: ohg2090@naver.com, ORCID: 0000-0003-2098-8484

GeunHyeok Hong, Tel: +82-31-201-3392, E-mail: harry97131@naver.com, ORCID: 0000-0001-5771-7238

GeunHwan La, Tel: +82-070-4207-8906, E-mail: lageunghwan@naver.com, ORCID: 0000-0002-0512-1018

MinHo Jang, Tel: +82-41-850-8285, E-mail: jangmino@kongju.ac.kr, ORCID: 0000-0001-6108-3186

JeongSuk Moon, Tel: +82-32-560-7461, E-mail: waterfa@korea.kr, ORCID: 0000-0003-1448-5945

Received: 16 December, 2025. Revised: 24 December, 2025. Accepted: 28 December, 2025.

를 이용한 RI(Rotifer Index)는 기수호 평가에 적합한 지수로 확인된 반면, 담수 지표종 의존도가 높은 지수(Daphnia Index 및 Cladocera Richness Index)는 적용에 제약이 있는 것으로 나타났다. CI(Calanoida Index)의 경우, 요각류가 우점하는 기수호의 군집 특성을 반영하는데 적합한 지표로 평가되었다. 그러나 현재 담수호를 중심으로 구성된 호소 수생태계 동물플랑크톤 건강성 평가 지수에서는 CI의 가중치(10%)가 낮아 향후 기수호 적용을 위한 지수 체계의 설계 시, CI 가중치 조정 등을 포함한 개선이 요구될 것으로 보인다. 따라서 향후 기수호에 적합한 지표종을 선정하고 도입하여 점수 구간을 재설정하고 가중치를 조정하는 등의 보완을 통해, 기수호 환경에 보다 정확한 평가 지수 적용이 가능할 것으로 사료된다.

**주요어:** 호소 건강성 평가, 생물지수, 기수호 평가, 긴노요각목, 호소 부영양화

**Abstract:** Brackish lakes are characterized by salinities exceeding 5 psu but less than 15 psu. Unlike typical freshwater lakes, they are subjected to pronounced environmental stress, including fluctuations in salinity, and consequently tend to exhibit reduced species diversity across lower trophic-level communities. In this study, water-quality and zooplankton community data were collected from seven brackish lakes located along the east coast of Korea between 2022 and 2024. We applied the zooplankton-based lake ecosystem health assessment framework to derive lake-specific scores, and subsequently compared the results with those from freshwater lakes to examine the applicability of the current assessment system, identify limitations, and suggest directions for improvement. Cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (NMDS) revealed that brackish lakes supported zooplankton communities that were statistically distinct from those in freshwater lakes, resulting in assessment score ranges that differed substantially between the two lake types. Salinity was identified as the primary factor constructing zooplankton community composition in brackish lakes. With respect to index performance, the RI (Rotifer Index), which is based on the abundance of rotifers and Balanidae larvae, was confirmed to be suitable for brackish-lake assessment, whereas indices that strongly depend on freshwater indicator taxa (i.e., the *Daphnia* Index and the Cladocera Richness Index) showed limited applicability. Notably, the CI (Calanoida Index) was evaluated as an appropriate metric for capturing brackish-lake community characteristics in systems where copepods are dominant. However, because the CI currently receives a low weighting (10%) within the existing zooplankton health assessment for lakes—largely designed around freshwater conditions—improvements such as re-weighting the CI are warranted when designing an assessment scheme applicable to brackish lakes. Therefore, more accurate assessment of brackish-lake ecosystems will likely require the selection and introduction of brackish-appropriate indicator taxa, recalibration of scoring classes, and adjustment of weighting factors.

**Keywords:** Lake Ecosystem Health Assessment, Brackish lake, Lagoon, Biological Index, Calanoida index, Lake Eutrophication

## I. 서론

기수호는 바다의 일부였던 해역이 하천과 해안의 퇴적물 운반작용으로 공간적인 격리가 이루어짐으로써 형성된 해수와 담수가 혼합되는 호소이다(Chun & Gil, 2004). 우리나라는 염분 농도를 기준으로 담수호와 기수호 및 해수호를 구분한다. 호소 생태계의 건강성은

화학적 수질 특성에 의해서만 결정되는 것이 아니라 물리적 요인 및 생물학적 요인들이 복합적으로 작용하고 있어 다양한 측면에서 종합적인 건강성을 평가하는 것이 필요하다(NIER, 2024). 현재 국가에서는 생물측정망의 일환으로 물환경보전법 제28조, 동 시행령 제30조 제1항 및 제81조 제3항에 의거하여 환경부 관할 호소 90개소의 수생태계 건강성 평가와 유역 특성 및 수질

조사를 통해 호소별 환경 현황 기초자료 축적 및 개선, 관리 대책 수립을 지원하고 있다. 수생태계 건강성 평가는 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 수생식물, 저서성 대형무척추동물, 어류 등 5개의 생물 분류군을 대상으로 이루어진다(NIER, 2024). 기수호는 이들 90개소 중 경포호, 매호, 송지호, 영랑호, 청초호, 향호, 화진포호 7개소이며, 정기 모니터링 대상에 포함되어 있다.

동물플랑크톤 군집은 식물플랑크톤과 고차 소비자와의 연결고리 역할을 하며, 수질 및 수리수문학적인 서식환경변화의 신속하고 효율적인 판단을 가능하게 해주기 때문에 효과적인 생물지표로 여겨진다(Choi et al., 2023a; Winder & Jassby, 2011). 특히 최근에는 생태 특성에 기반한 기능적 다양성을 이용하여 집수역 영향에 따른 수생태계 건강성 평가 지표로써 보고되고 있다(Goździejewska et al., 2024). 이에 따라 국내 호소 수생태계 현황조사 연구에서도 동물플랑크톤 군집을 이용한 평가 지수를 개발, 적용하고 있다(NIER, 2024). 동물플랑크톤 지수는 일반적으로 윤충류, 지각류, 요각류 세 분류군을 대상으로 지표종을 설정하고 이들의 환경에 대한 민감성, 먹이망 내의 역할의 특성 및 중요도에 기준하여 지수를 설정한다(Ochocka & Pasztaleniec, 2016; Choi et al., 2023b). 국내 호소 동물플랑크톤 군집을 이용한 평가 지수는 부영양화 지표인 윤충류의 개체밀도, 물벼룩속을 포함하는 수질에 민감한 종의 개체밀도 비율, 긴노요각목의 개체밀도 비율 등을 이용하여 호소 수질과 먹이망 기능의 건전성 기준으로 평가하고 있다(Choi et al., 2025).

그러나 현재 사용되는 동물플랑크톤 평가 지수는 대부분 담수 생태계를 기준으로 개발되어 기수 혹은 연안 생태계에 적용하기에 한계가 존재한다(Choi et al., 2023a). 기수호는 담수와 해수가 혼합되는 수역으로, 해수의 유입 강도에 따라 수질환경이 역동적으로 변화하는 것이 가장 큰 특징이다(Baek et al., 2010; Gibson & Bowman, 2000). 담수와 해수가 차지하는 비율에 따라 염분 농도의 변동이 있으나, 동물플랑크톤의 종다양성 및 풍부도는 일반적으로 5~7psu 사이에서 가장 낮으며, 평균 염분 농도가 높을 경우 고염분 환경에 내성을 가지는 특정 생물군이 출현하여 담수호와는 다른 군집조성을 보인다(Lee et al., 2024; Oda et al., 2018). 이러

한 동물플랑크톤의 군집 조성 차이는 결과적으로 호소 먹이망 내 물질 및 에너지 전달 흐름을 변화시킨다(Jensen et al., 2010). 또한, 기수호의 동물플랑크톤은 영양염류의 유입량 변화, 포식압의 변화 등에 대해 담수호와 다르게 반응한다(Hansson et al., 1990). 국내 대표 기수호인 영랑호의 경우, 요각류를 중심으로 하는 기수성 동물플랑크톤의 비율이 77.8%에 이르는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2024). 또한 기수호는 생산성이 낮아 담수와 비교하여 동물플랑크톤의 개체밀도가 매우 낮게 나타나므로 정량적 단위를 리터당 개체수로 표시하는 담수호의 1,000배에 해당하는 당 개체수로 표시하는 경우가 빈번하다(You et al., 2010; Kang & Park, 2024). 따라서 기존 담수호를 기준으로 개발된 수생태계 건강성 평가 방식을 기수호에 적용할 경우, 이를 기반으로 산출되는 평가 등급이 과대 또는 과소 평가될 가능성이 있으며, 환경 변화에 대한 생물 군집의 건강성 변화를 정확히 반영·파악하기 어려울 수 있다.

본 연구에서는 2022-2024년에 걸쳐 호소 수생태계 건강성 평가가 수행된 90개 호소 중 경포호, 매호, 송지호, 영랑호, 청초호, 향호, 화진포호 총 7개의 기수호를 중심으로, 동물플랑크톤 군집자료를 이용하여 수질 및 환경요인에 따른 기수호 동물플랑크톤 군집의 특성을 파악하고 동일 시기에 조사된 담수호와의 군집조성의 차이를 생물지수 적용 측면에서 분석하였다. 이 결과를 기반으로 기수호에 타당하게 적용 가능한 호소 동물플랑크톤 생물지수 평가 방법을 제시하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 조사지점

우리나라 동해안에 위치한 염분농도가 5psu를 초과하는 기수 및 해수호 7개소를 중심으로 분석을 수행하였다. 대상 지점은 경포호(강원도 강릉시 소재), 매호(강원도 양양군 소재), 송지호(강원도 고성군 소재), 영랑호(강원도 속초시 소재), 청초호(강원도 속초시 소재), 향호(강원도 강릉시 소재), 화진포호(강원도 고성군 소재) 7개소로 각 호소의 주요 특징을 Table 1에 요약하였다.

&lt;Table 1&gt; Location and Hydrological Characteristics of the Study Sites (Brackish Lakes)

Parameter \ site	Gyeongpoho (GPH)	Maeho (MH)	Songjiho (SJH)	Yeongrangho (YRH)	Cheongchoho (CCH)	Hyangho (HH)	Hwajinpoho (HJPH)
Latitude (°N)	37°47'55.41"	37°57'6.62"	38°20'9.4"	38°13'17.9"	38°11'30.37"	37°54'49.3"	38°28'23.16"
Longitude (°E)	128°54'37.22"	128°46'17.34"	128°30'57.7"	128°35'10.3"	128°35'36.79"	128°48'36.1"	128°26'16.1"
Lake area (km <sup>2</sup> )	41.5	9.6	5.4	8.8	27.0	8.2	19.9
Water depth (m)	0.96	2.5	2.0~3.8	4	7	3.2	1.2~3.6
Salinity (psu)	21.68	5.5	9.5	18.7	13	4.3	12.3
	13.8~25.5 <sup>1,3)</sup>	0.65~9.15 <sup>4)</sup>	8.17~14.0 <sup>5)</sup>	0.5~31.95 <sup>2,6)</sup>	1.6~27 <sup>4)</sup>	0.9~6.7 <sup>4)</sup>	6.0~27.6 <sup>2,7)</sup>

1) Han, 2023; 2) Lee et al., 2024; 3) Kwak et al., 2015; 4) Moon et al., 2015; 5) Choi et al., 2015; 6) Yoo et al., 2025; 7) Kim et al., 2023.

## 2. 조사방법

수질 및 동물플랑크톤 데이터는 국내 90개소 호소를 대상으로 채집되었으며, 2022년부터 2024년까지 3년간 매년 30개소씩 나누어 각 호소별로 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월) 총 4회에 걸쳐 계절별 데이터가 수집되었다. 수질 자료는 동물플랑크톤 채집 시기와 동일한 시기의 물환경정보시스템 수질 측정망 데이터를 수집하여 분석에 활용하였다. 다만 기수호의 염분 농도의 경우 물환경정보시스템 수질 측정망의 측정 항목에 포함되지 않아, 선행 연구 및 문헌 조사를 통해 데이터를 보완하였다.

동물플랑크톤 시료는 동물플랑크톤 네트(망목 60 µm, 망구 직경 30cm)를 이용하여 전수심 수직 끌기 방법으로 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 최종 농도 4-5%가 되도록 포르말린 용액을 이용해 고정하였으며, 이후 실험실로 운반하여 동정 및 계수를 실시하였다. 동정은 도립현미경(CKX41; Olympus, Tokyo, Japan) 및 정립현미경(BX51; Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 40에서 400배의 배율로 수행되었으며, 요각류(검물벼룩목, 긴노요각목 및 갈고리노벌레목)의 유생(nauplius와 copepodid)을 제외하고 가능한 경우 종 또는 속 수준까지 동정하였다. 각 시료는 최종적으로 100-200mL 부피로 농축되었으며, 담수호는 1-5ml의 부차 시료(subsample)를, 기수호의 경우의 낮은 동물플랑크톤 개체밀도를 고려하여 5-10mL 부차 시료를 추출하여 분석하였다. 동물플랑크톤의 개체 밀도는 끌기 수심과

네트 망구 면적을 이용하여 여과된 물의 양을 계산한 뒤, 이를 바탕으로 리터당 개체수로 환산하였다(Oh et al., 2019).

## 3. 평가 지수호소 수생태계 동물플랑크톤 건강성 평가 지수의 적용

본 연구에서는 '호소 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가(NIER, 2024)'에 제시된 표준 산정 방식을 준용하여 동물플랑크톤 평가 지수(LZAI)를 산출하였다. 해당 지수는 지각류를 이용한 수질 관리 지수(*Daphnia* Index, DI), 윤충류를 이용한 부영양화 관리 지수(Rotifer Index, RI), 요각류(Calanoida)를 이용한 먹이망 건강성 관리 지수(Calanoida Index, CI), 특이종을 활용한 서식처 다양성 관리 지수(Cladocera Richness Index, CRI) 등 4가지 세부 지표로 구성되었다. 각 지표의 산출식과 구체적인 평가 방안은 Table 2와 같다. 최종 평가 지수 산출을 위한 각 지표의 가중치는 4:4:1:1(DI:RI:CI:CRI)의 비율이 적용되었다. 각 지표의 가중치는 지표별 생태적 중요성을 반영함과 동시에 점수 분포의 편중을 막고 호소 특성별 구분력을 강화하기 위해 적용되었다(Choi et al., 2025).

## 4. 통계분석

먼저, 기수호에 호소 수생태계 건강성 평가 지수의 적용성을 평가하기 위하여 조사시기별 각 호소의 동물플랑크톤 건강성 평가 점수를 산출하여 시각화하였다.

&lt;Table 2&gt; Zooplankton index used in this study (Choi et al., 2025)

Index	Formula	Remarks
DI ( <i>Daphnia</i> index)	$\frac{\sqrt{\text{Large cladocera abundance}}}{\sqrt{\text{Total zooplankton abundance}}}$	Targets medium-large cladocerans with sensitivity comparable to <i>Daphnia magna</i> ; abundance typically declines under eutrophication.
RI (Rotifer index)	$\ln[1 + \{(\text{Rotifer abundance} + \text{Copepod nauplius abundance} + \text{Balanidae nauplius abundance} - (\text{Asplanchidae abundance} + \text{Euchlanidae abundance}))\}]$	Rotifers and larvae show rotifer-like feeding/tolerance traits and often increase with eutrophication.
CI (Calanoida index)	$\frac{\sqrt{\text{Calanoida abundance}}}{\sqrt{\text{Total copepod abundance}}}$	Calanoids are important in oligotrophic-mesotrophic systems.
CRI (Cladocera Richness index)	$\frac{\text{Habitat indicator species richness}}{\text{Cladocera species richness}}$	Indicator taxa include attached/littoral species and <i>Daphnia</i> spp., which tend to increase with macrophyte development.

이후 동물플랑크톤 군집 구조와 환경 요인 간의 상관관계를 규명하기 위하여 vegan 패키지를 활용해 정준 대응분석(CCA; Canonical Correspondence Analysis)을 실시하였다. 이때, 특정 우점종에 의한 과도한 가중치를 배제하고 데이터의 편향을 줄이기 위해 동물플랑크톤 개체 밀도 데이터는  $\log(x+1)$ 로 변환하여 분석에 적용하였다. 또한 염분 농도의 대리 지표인 전기전도도(EC; Electrical conductivity)에 따른 군집의 구조적 차이를 시각적으로 확인하고자 Cluster 분석(Cluster analysis)과 다차원척도 분석(NMDS; Nonmetric Multidimensional Scaling)을 수행하였다. 이를 위해 생물 데이터는 Hellinger 변환을 통해 정규화 과정을 거쳤으며, vegan 및 cluster 패키지를 이용하여 분석을 진행하였다.

담수호와 기수호의 동물플랑크톤 군집조성 및 지수 비교를 위해 Wilcoxon test를 수행하였으며, 각 분류군별 개체밀도와 출현 종수, 4가지 평가 지수(DI~CRI)의 분포 양상을 박스 플롯(box plot - 중앙값, 사사분위 영역, 최대값, 최소값)으로 시각화하여 비교 분석하였다. 또한 담수호와 기수호의 동물플랑크톤 군집조성이 명확히 구분되는지 확인하고자 Cluster 및 NMDS 분석을 추가로 실시하였으며, 각 그룹 간 통계적으로 유의미한 차이를 확인하기 위해 Pairwise ANOSIM test를 실시하였다. 모든 통계 분석은 R 프로그램(v.4.5.2)을 이용하여 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기수호 수질과 출현종 특성

각 호소별 수질 조사 결과, EC는 최소 11,520 $\mu$ S/cm에서 최대 48,296 $\mu$ S/cm(7개소 평균 27,723 $\pm$ 15,170 $\mu$ S/cm)의 범위를 나타냈으며, 담수호의 경우, 최소 35.3 $\mu$ S/cm에서 최대 3,211 $\mu$ S/cm(83개소 평균 344.5 $\pm$ 536.5 $\mu$ S/cm)로 기수호가 담수호에 비해 월등히 높은 수치를 기록했다. 문헌으로 확인된 기수호 7개소의 염분 농도의 경우, 최소 4.3psu에서 최대 21.7psu(7개소 평균 12.1 $\pm$ 5.9psu)의 범위를 나타냈으며(Table 1), 이는 기수호라 하더라도 해수 유입량, 해안과의 연결성에 따라 실질적인 염분 농도가 큰 차이를 보이는 것으로 판단된다(Choi et al., 2015; Kwak et al., 2015; Moon et al., 2015; Han, 2023; Kim et al., 2023; Lee et al., 2024; Yoo et al., 2025).

기수호의 Chl-a 농도는 최소 1.5mg/m<sup>3</sup>에서 최대 20 mg/m<sup>3</sup>(7개소 평균 8.1 $\pm$ 5.7mg/m<sup>3</sup>)의 범위를 나타냈으며, 담수호의 경우 최소 0.8mg/m<sup>3</sup>에서 최대 135.2 mg/m<sup>3</sup>(83개소 평균 18.9 $\pm$ 23.8mg/m<sup>3</sup>)로 기수호에 비해 뚜렷하게 높은 1차 생산력을 보였다. 기수호의 총유기탄소 농도(TOC)는 최소 1.2mg/L에서 최대 3.6mg/L(7개소 평균 2.6 $\pm$ 0.7mg/L)의 범위를 나타냈으며, 담수호의 경우 최소 1.0mg/L에서 최대 10mg/L(83개소 평균 3.4 $\pm$ 1.9mg/L)로 기수호 대비 평균적으로 높은 값을 나

&lt;Table 3&gt; Water Quality and Zooplankton Community Structure of the Study Sites (Brackish Lakes)

Parameter site	WT (°C)	Chl.a (mg/m <sup>3</sup> )	TOC (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	EC (μS/cm)	Dominant and subdominant zooplankton species
Gyeongpoho (GPH)	16.1	9.1	1.2	0.7	0.07	38,032	<i>Pseudodiaptomus koreanus</i> (1.15%)
	12.2~18.6	2.1~18.1	1.1~1.4	0.3~1.1	0.04~0.09	28,028~51,688	<i>Bosmina longirostris</i> (3.14%)
Maeho (MH)	18.8	4.2	3.0	1.0	0.08	11,520	<i>Sinocalanus tenellus</i> (67.59%)
	8.1~27.6	2.1~6.9	2.3~4.4	0.7~1.4	0.05~0.12	4,701~21,279	<i>Philodina</i> sp. (23.88%)
Songjiho (SJH)	19.0	20.3	3.0	0.6	0.05	17,112	<i>Sinocalanus tenellus</i> (20.22%)
	4.0~26.9	3.8~49.9	2.0~5.0	0.5~0.8	0.03~0.08	12,576~22,970	Barnacle larvae (69.81%)
Yeongrangho (YRH)	17.8	1.5	2.7	0.3	0.02	48,296	<i>Oithona</i> sp. (15.12%)
	2.4~29.9	0.0~3.9	2.0~3.1	0.1~0.4	0.01~0.03	40,997~54,410	<i>Synchaeta</i> sp. (38.59%)
Cheongchoho (CCH)	17.3	4.0	2.4	0.4	0.05	47,884	<i>Acartia hudsonica</i> (0.41%)
	2.9~29.0	1.0~9.3	1.9~3.1	0.3~0.6	0.03~0.08	41,667~53,399	<i>Philodina</i> sp. (40.34%)
Hyangho (HH)	19.1	7.6	3.6	0.8	0.09	13,823	<i>Sinocalanus tenellus</i> (97.37%)
	7.0~28.1	2.8~20.7	1.9~6.1	0.6~1.1	0.07~0.11	7,634~20,647	Barnacle larvae (0.78%)
Hwajinpoho (HJPH)	17.6	10.2	2.6	0.8	0.06	17,396	<i>Sinocalanus tenellus</i> (69.09%)
	2.2~26.0	2.2~29.0	1.6~4.0	0.5~1.0	0.02~0.09	10,416~26,794	Barnacle larvae (17.80%)

타냈다. 총질소 농도(TN)는 기수호에서 최소 0.3mg/L에서 최대 1.0mg/L(7개소 평균  $0.6 \pm 0.2$ mg/L)의 범위를 나타냈으며, 담수호의 경우 최소 0.4mg/L에서 최대 5.2mg/L(83개소 평균  $1.6 \pm 0.9$ mg/L)를 나타냈다. 총인 농도(TP)는 기수호에서 최소 0.02mg/L에서 최대 0.09mg/L(7개소 평균  $0.06 \pm 0.02$ mg/L)의 범위를 나타냈으며, 담수호의 경우 최소 0.01mg/L에서 최대 0.20mg/L(83개소 평균  $0.04 \pm 0.04$ mg/L)를 나타냈다. 유기오염도의 경우 전반적으로 호소 간 차이가 큰 것으로 분석되었다.

각 지점의 요각류 우점종 출현양상 분석 결과, 평균 염분도 12.3psu 이하의 매호, 송지호, 향호, 화진포호 4곳에서 기수성 요각류인 *Sinocalanus tenellus*가 우점하였다. 특히 향호에서는 전체 군집의 97.37%, 매호에서는 67.59%를 차지하며 우점도가 매우 높은 양상을 보였다. 평균 염분도 13psu 이상의 호소인 경포호, 영랑호, 청초호에서는 해수성 및 고염분 환경에서 서식하는 종이 우점하는 경향을 나타냈다. 세부적으로, 경포호는 하구역에 서식하는 *Pseudodiaptomus koreanus*, 영랑호는 기수 및 해수성인 *Oithona* sp., 청초호는 해수성인 *Acartia hudsonica*가 높은 비중을 보였다. 비요각류의 경우, 매호와 청초호에서는 *Philodina* sp., 송지호, 향호 및 화진포호에서 따개비 유생(Barnacle larvae)이 우

점종으로 출현하였다. 특히 송지호의 경우 따개비 유생이 전체 군집의 69.81%를 차지하여 기수성 요각류인 *S. tenellus*(20.22%)보다 높은 비중을 나타냈으며, 전반적으로 다수의 기수호에서 기수성 및 해수성 종이 우점하였다(Table 3).

국내 담수호의 동물플랑크톤 군집조성은 윤충류, 지각류 그리고 요각류 순으로 높은 상대풍부도를 나타낸다(Hong et al., 2025). 특히 윤충류는 영양염 농도가 높은 환경에서 우점하여 다양한 종이 부영양화 지표종으로 활용되며(Oh et al., 2017), 생산성이 높은 국내 담수호의 경우 대부분 윤충류가 우점한다(Hong et al., 2025). 본 연구 대상인 기수호 7개소의 경우, 1차 생산력(Chl-a)이 담수호에 비해 낮고, 영양염류(TN, TP, TOC) 또한 적으며 인접한 해수의 영향으로 높은 전기전도도 및 염분도를 나타냈다. 이러한 환경적 특성이 담수성 윤충류와 지각류의 서식을 제한하는 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 또한 호소 간 영양염 및 1차 생산력의 편차가 컸음에도 불구하고, 군집조성은 영양 상태보다 염분 농도에 더 큰 영향을 받는 경향을 보였다. 이러한 특성으로 인해 기존 지수만으로는 기수호의 환경 특성을 온전히 반영하는 데 다소 한계가 있을 것으로 사료된다.

## 2. 기수호 동물플랑크톤 평가 지수 결과

호소별 지수 평가 결과, DI(*Daphnia* Index)의 점수는 봄철 조사의 경포호(30점), 매호(20점), 송지호(10점)를 제외한 모든 조사시기와 지점에서 모두 0점으로 평가되었다. RI(Rotifer Index)는 10~40점의 범위를 나타냈으며, 7개의 호소의 전체 조사시기에서 평균 33.2±9.3점으로 평가되었다. 특히, 영랑호와 청초호는 다른 호소들에 비해 RI의 평균 점수가 낮았으며, 이는 두 호소가 낮은 TN, TP 농도로 인해 1차 생산이 다소 제한되었기 때문으로 판단된다.

CI(Calanoida Index)의 경우 조사시기와 지점에 따라 불규칙하게 변화하였으며 7개 호소의 모든 조사시

기에서 평균 6.8±4.2점으로 평가되었다. CRI(Cladocera Richness Index)는 봄철 조사의 경포호(7.5점)와 송지호(10점) 그리고 가을철 조사의 영랑호(5점)를 제외한 나머지 시기와 지점에서 모두 0점으로 나타났다(Figure 1).

CCA 결과(p=0.07), 동물플랑크톤 군집조성의 11.9%를 설명하는 제 1축에서 EC가 핵심 요인으로 나타났으며, 6.5%를 설명하는 제2축에서는 Chl-a, 영양염류(TN, TP, TOC)가 주요 요인으로 나타났다. 제 1축과 높은 양의 상관관계를 보인 종으로는 *Eurytemora pacifica*, *Acartia hudsonica*, *Evadne tergestina*, *Oithona* sp., *Penilia avirostris*와 같은 기수성 및 해수성 지각류와 요각류 종이었으며, *Synchaeta* sp.와 같이 기수역에서도 출현

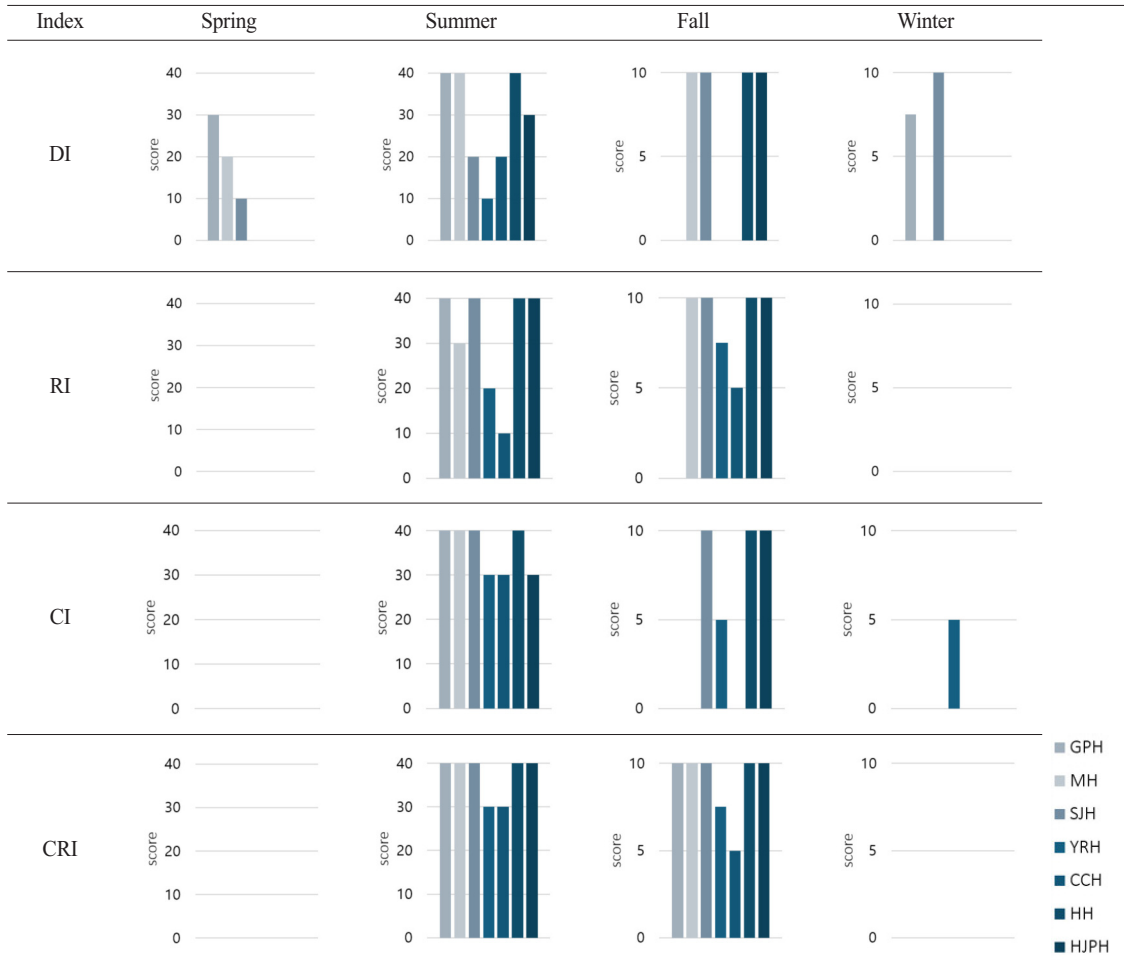


Figure 1. Seasonal variation of zooplankton indices across sites. GPH, Gyeongpoho; MH, Maeho; SJH, Songjiho; YRH, Yeongrangho; CCH, Cheongchoho; HH, Hyangho; HJPH, Hwajinpoho; DI, *Daphnia* index; RI, Rotifer index; CI, Calanoida index; CRI, Cladocera richness index.

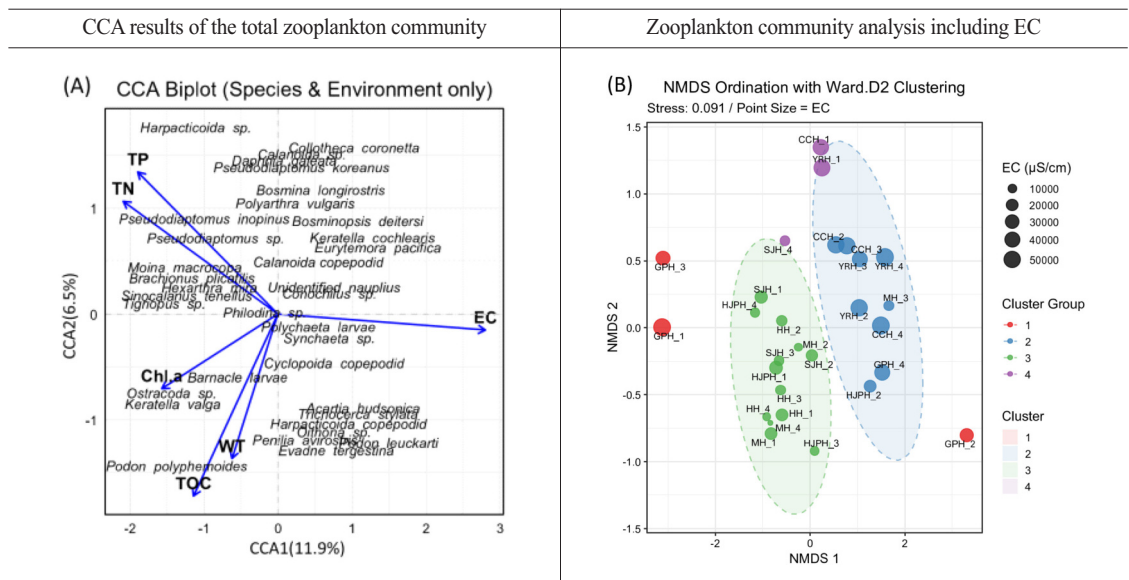
하는 윤충류 종도 제1축과 뚜렷한 양의 상관성을 나타냈다. 다만, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*와 같은 담수성 윤충류(Hong et al., 2023) 또한 제 1축과 높은 상관성을 나타냈는데, 이 종들은 염분 농도가 낮은 호수와 화진포호에서만 출현하였고, 해당 종들의 경우 EC 이외의 다른 환경요인이 영향을 미친 결과로 판단된다.

Cluster 분석과 NMDS 분석 결과 4개의 군집으로 구분되었다. 특히 전기전도도가 높은 2그룹과 낮은 3그룹의 동물플랑크톤 분포에 뚜렷한 차이가 있었으며, 2 그룹에 속한 영양호와 청초호는 다른 호소들과 달리 담수-해수의 비율이 큰 폭으로 변화하여 조사시기에 따라 해양 생태계 또는 담수 생태계와 유사한 군집 구조를 나타내기도 하였다(Figure 2).

본 연구에 적용한 동물플랑크톤 지수는 국내 호소의 건강성 평가를 위해 개발된 것으로, 담수호와 증조성이 다른 기수호에 일률적으로 적용하기에는 일부 지수에 대해 한계가 있는 것으로 나타났다. 기수역에 출현하는 *Evadne* 속, *Podon* 속의 지각류는 상대적으로 건강한 연안-기수호를 의미할 수 있으나(Oda, 2018), 조사 기간 중 대상 기수호에서는 출현이 제한적인 것으로 분

석되었다. DI와 CRI는 점수 산출의 기반이 되는 지각류(*Daphnia* sp.)의 출현이 현저히 낮기 때문에 기수호에 적용할 때 낮은 변별력을 보인 반면 RI와 CI는 기수호의 건강성 평가에서도 유효한 지표로 분석되었다. RI는 윤충류와 더불어 윤충류와 유사한 섭식 및 내성 특성을 가지는 것으로 알려진 요각류 유생(Copepod nauplius)과 기수역 환경에서 부영양화 시 개체밀도가 증가하는 만각류 유생을 포함하여(Carpenter et al., 2006) 평가되기 때문에, 기수호에서 개체 밀도가 높은 요각류 유생과 만각류 유생의 개체수는 평가 지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

설정된 다중평가지표의 가중치는 각 지수가 대표하는 생태학적 의미를 반영함과 동시에 점수 분포의 균형과 호소 특성에 따른 구분력을 높이기 위해 4:4:1:1 (DI, RI, CI, CRI)의 비율로 부여되었으나, 기수호의 경우 지각류의 출현이 제한적이고, 기수성 및 해수성 요각류가 상대적으로 우점하여 먹이망 구조에서 중요한 역할을 담당하기 때문에 기존 담수 중심의 지수보다 기수역 종조성을 고려한 지수의 가중치 적용 등의 보완이 이루어질 경우, 기수호에 적합한 평가 지수로써 활용될 수 있을 것으로 보인다.



<Figure 2> (A) The results of Canonical Correspondence Analysis (CCA) based on zooplankton abundance and their relationship with environmental factors, and (B) NMDS ordination with Cluster analysis to visualize the relationship with Electrical Conductivity (EC). Points are labeled by site and sampling period.

### 3. 기수호의 동물플랑크톤 군집 특성과 담수호와의 평가 지수 결과 비교

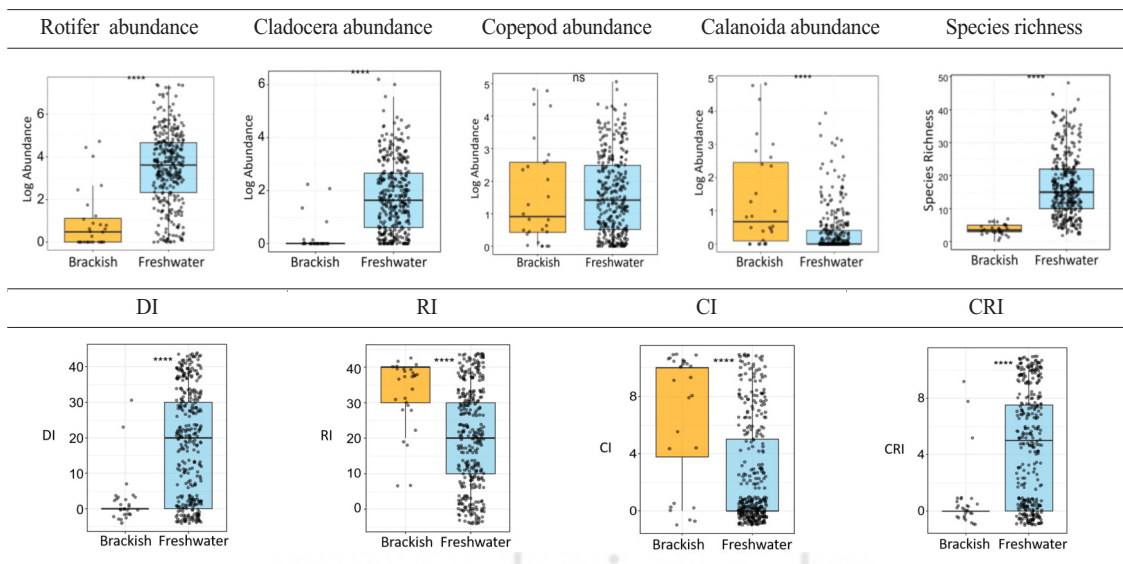
기수호는 담수호와 달리 윤충류와 지각류의 개체 밀도가 낮은 반면, 요각류가 우점하는 특성을 보였다. 구체적으로 담수호에서의 윤충류의 출현 비율은 평균 63.7%였으나, 기수호에서는 21.6%에 불과하였으며, 지각류 또한 담수호(12.3%) 대비 기수호(1.12%)에서 낮게 나타났다. 요각류의 경우, 담수호(24.0%) 대비 기수호(62.4%)에서 월등히 높은 비율을 차지하였다. Wilcoxon test 결과, 기수호와 담수호의 윤충류 및 지각류의 개체 밀도 차이가 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다 ( $p < 0.0001$ ). Calanoida는 기수호에서의 출현 비율이 46.0%로 담수호의 1.27%에 비해 월등히 높았으며, 기수호의 높은 염분도로 인해 Calanoida가 다수 출현했음을 확인하였다(Figure 3).

이러한 조성차이는 평가 지수 산출에 직접적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 기수호와 담수호 간의 동물플랑크톤 지수(DI~CRI)의 Wilcoxon test 결과를 비교한 결과, 모든 지수에서 두 환경 간에 통계적으로 유의미한 차이가 확인되었다( $p < 0.0001$ ). DI 및 CRI 지수의 중앙값은 담수호(DI:  $17.7 \pm 15.4$ , CRI:  $4.3 \pm 4.0$ )가 기수호(DI:  $2.1 \pm 6.7$ , CRI:  $0.8 \pm 2.4$ ) 대비 높았으며, RI 및 CI

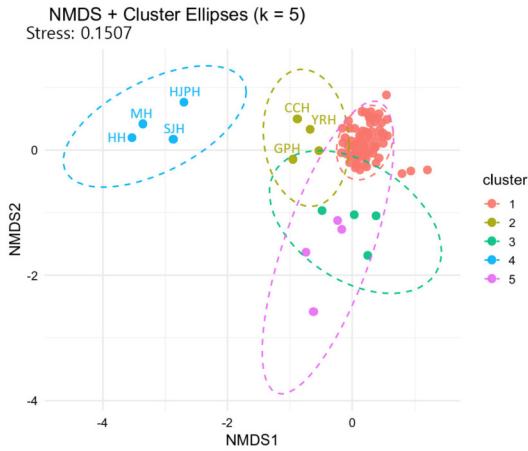
지수의 중앙값은 기수호(RI:  $33.2 \pm 9.3$ , CI:  $6.8 \pm 4.2$ )가 담수호(RI:  $21.1 \pm 14.2$ , CI:  $3.0 \pm 3.8$ )에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 염분도의 차이로 인해 동물플랑크톤 지수별로 상반된 값을 나타내는 경향이 있는 것으로 볼 수 있다(Figure 3).

90개소 호소에서 출현한 동물플랑크톤 개체 밀도에 따른 Cluster 분석 및 NMDS 분석 결과, 5개의 그룹으로 구분되었다. 다수의 담수호가 1그룹에 속했으며, EC가 상대적으로 높은 경포호, 영랑호, 청초호가 2그룹, 매호, 송지호, 향호, 화진포호가 4그룹으로 구분되었다(Figure 4). Pairwise ANOSIM 분석 결과, 1, 2그룹과 1, 3그룹 및 2, 3그룹 간 모두 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다( $p < 0.01$ ).

기수호와 담수호의 건강성 평가 지수 값을 비교한 결과, 담수호에서 높게 나타난 DI 및 CRI 지수는 중앙값이 담수호 대비 기수호에서 현저히 낮은 수준을 보였다. 이는 DI 지수의 산정 기반인 수질 민감종(*Daphnia magna*)과 CRI 지수의 핵심인 부착성 종(Chydoridae, Ilyocryptidae, Sididae)과 특이종(Holopedidae, Polyphemidae 등), *Daphnia* sp.와 같은 담수 출현종 중심이기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 기수호에서 낮은 DI와 CRI의 결과는 수질 오염이나 서식처의 물리적 파괴에 의



<Figure 3> Comparison of zooplankton abundance, species richness, and ecosystem health indices between brackish and freshwater lakes; DI, *Daphnia* index; RI, Rotifer index; CI, Calanoida index; CRI, Cladocera richness index.



<Figure 4> Differences in zooplankton community composition between brackish and freshwater lakes. Sampling sites are labeled only for brackish lakes, whereas freshwater lakes are shown without site labels. GPH, Gyeongpoho; MH, Maeho; SJH, Songjiho; YRH, Yeongrangho; CCH, Cheongchoho; HH, Hyangho; HJPH, Hwajinpoho.

한 결과라기보다는, 염분 농도로 인한 생물 군집 조성의 차이로 해석될 수 있다. 기수호의 RI와 CI의 중앙값은 담수호에 비해 높게 나타나 부영양 지표로서 활용이 가능할 것으로 보이며, 특히 기수호 내에서도 변별력을 나타내 호소 간 비교 평가에 유용한 것으로 확인되었다.

#### IV. 결론

본 연구는 국내 기수호 7개소를 대상으로 호소 수생태계 동물플랑크톤 건강성 평가 지수의 적용성을 평가하였다. 동물플랑크톤 군집조성 분석 결과, 기수성 요각류인 *Sinocalanus tenellus*가 매호, 향호, 화진포호에서 우점하였고, 만각류에 속하는 따개비 유생인 Barnacle larvae가 송지호에서 우점하여, 염분 농도에 따라 상이한 조성을 보였다.

동물플랑크톤 평가 지수 적용 결과, DI 지수 점수는 봄철 조사시기의 경포호, 매호, 송지호를 제외한 모든 조사시기와 조사대상에서 0으로 나타났으며, CRI 지수 점수 역시 경포호, 송지호, 영랑호를 제외한 대부분의 조사시기와 지점에서 0으로 나타났다. 이에 비해 RI 지수와 CI 지수는 산출식에 포함되는 지표종(요각류

유생, 만각류 유생, Calanoida 등)이 기수호에서 많이 출현하여 상대적으로 높은 점수를 나타냈다.

CCA 결과, 기수호의 동물플랑크톤 군집조성에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인은 EC로 분석되었으며 Chl-a, 영양염(TN, TP, TOC) 또한 일정 부분 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 Cluster 및 NMDS 분석에서 EC 수준에 따라 각 기수호 간 군집조성이 뚜렷하게 구분되었다. 담수호와 기수호의 동물플랑크톤 군집조성 유사도 분석 결과, 환경에 따라 군집 조성의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 기수호 내에서도 평균 전기전도도가 낮은 호소 4개소(매호, 송지호, 향호, 화진포호)와 평균 전기전도도가 높은 호소 3개소(경포호, 영랑호, 청초호)가 다른 그룹으로 구분되었다. 해당 결과는 기수호와 담수호의 동물플랑크톤 군집 조성이 매우 상이하다는 것을 보여주며, 이를 구분하는 핵심 요인이 염분 농도일 가능성을 시사한다.

기수호의 경우 높은 염분 농도로 인해 담수호와 뚜렷하게 구별되는 동물플랑크톤 군집 특성을 보이며, 특히 요각류와 만각류 유생이 생태계의 핵심 구성원으로 구성된다. 따라서 담수호에 최적화된 수생태계 건강성 평가 지수평가 지수를 기수호에 동일하게 적용할 경우, 담수종에 상대적으로 특화된 DI, CRI 지수는 적용에 제약이 발생하는 것으로 나타났다. 향후 기수호의 특성을 고려하여 적합한 지표종의 선정과 점수 구간의 도입, 가중치 조정 등과 같은 보완을 통해 기수호에도 적용 가능한 신뢰성 있는 수생태 건강성 평가 기준을 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원(과제 번호: NIER-2024-04-02-055)의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### References

강경아, 박원규. (2024). 새만금 방조제 내·외측 해역의 중형동물플랑크톤 분포. 한국수산과학회지, 57(5), 554-566.

- Kang K. A., & Park W. G. (2024). Distribution of mesozooplankton in the inner and outer regions of Saemangeum Dyke. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(5); 554-566.
- 곽성진, 발테브, 최광순, 허우명. (2015). 경포호에서 수질변수들의 장기적인 변화. *생태와 환경*, 48(2), 95-107.
- Kwak S. J., Dev BB., Choi K. S., & Heo W. M. (2015). Long-term variations of water quality parameters in Lake Kyoungpo. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 48(2), 95-107.
- 국립환경과학원. (2024). 호소 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가.
- National Institute of Environmental Research(NIER). (2024). Lake ecosystem survey and health assessment.
- 김재훈, 홍두표, 김윤희, 김희갑, 최재석. (2023). 어류군집을 통해 본 화진포호의 생태적 특징 및 구조적 문제점. *Journal of the Environment*, 16(1), 21-31.
- Kim J. H., Hong D. P., Kim Y. H., Kim H. K., & Choi J. S. (2023). Ecological characteristics and structural problems in the Hwajinpo Lake seen through fish communities. *Journal of the Environment*, 16(1), 21-31.
- 문병렬, 전현진, 전숙례, 이재선, 신지은, 안지혜, 양용운, 현문식, 김미아 (2015). 동해안 4개 석호의 수질과 식물플랑크톤 계절별 변화에 관한 연구. *한국환경과학회지*, 24(9), 1101-1121.
- Moon B. R., Jeon H. J., Jeon S. L., Lee J. S., Shin J. E., Ahn J. H., ... & Kim M. (2015). Seasonal variations of water quality and phytoplankton of 4 lagoons in the East Coast of Korea. *Journal of the Environmental Sciences International*, 24(9), 1101-1121.
- 백승호, 유카이, 박범수, 한명수. (2010). 시화호 주변 부영양화 기수구역의 미소생물 군집의 계절적 변화. *생태와 환경*, 43(1), 55-68.
- Baek S. H., You K., Park B. S., & Han M. S. (2010). The seasonal variation of microbial community in the Eutrophic brackish water of Lake Sihwa. *Korean Journal of Limnology*, 43(1), 55-68.
- 신승춘, 박용길. (2004). 기수호의 습성천이 현상과 생태적 복원정책. *한국환경과학회지*, 13(1), 11-17.
- Chun S. S., & Gil P. Y. (2004). On the Realities of Hydrach Succession in Brackish Water Lakes and Ecological Restoration Policy. *Journal of Environmental Science International*, 13(1), 11-17.
- 오혜지, 장광현, 서동일, 남귀숙, 이의행, 정현기, 윤주덕, 오종민. (2017). 동물플랑크톤 군집의 수생태계 환경 평가 지표 활용: 부영양화 저수지 수질 평가를 위한 윤층류 기능성 그룹의 적용. *환경영향평가*, 26(6), 404-417.
- Oh H. J., Chang K. H., Seo D. I., Nam G. S., Lee E. H., Jeong H. G., Yoon J. D., & Oh J. M. (2017). Zooplankton community as an indicator for environmental assessment of aquatic ecosystem: application of rotifer functional groups for evaluating water quality in eutrophic reservoirs. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 26(6), 404-417.
- 오혜지, 장광현, 정현기, 고순미, 나궁환, 김현우. (2019). 담수생태계 특성을 고려한 동물플랑크톤 정량조사법의 비교와 활용. *생태와 환경*, 52(3), 231-244.
- Oh H. J., Chang K. H., Jeong H. G., Go S. M., La G. H., & Kim H. W. (2019). Quantitative zooplankton collection methods for various freshwater ecosystems and their applications. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 52(3), 231-244.
- 유정규, 명철수, 최중기, 홍현표, 김은수. (2010). 시화호 중형동물플랑크톤 군집의 시공간적 변동. *Ocean and Polar Research*, 32(3), 187-201.
- Yoo J. K., Myung C. S., Choi J. K., Hong H. P., & Kim E. S. (2010). Spatial and temporal variation of mesozooplankton community in Lake Sihwa, Korea. *Ocean and Polar Research*, 32(3), 187-201.
- 이재용, 김윤희, 이광열, 최영순, 최재석. (2024). 석호들의 염분도에 따른 동물플랑크톤 군집구조의 차이 분석. *농업생명환경연구*, 36(3), 201-216.
- Lee J. Y., Kim Y. H., Lee K. Y., Choi Y. S., & Choi J. S. (2024). Analysis of differences in zooplankton

- community structure according to salinity of lagoons. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 36(3), 201-216.
- 최예림, 오혜지, 김현준, 홍근혁, 이대희, 박인실, 지창우, 박영석, 김용재, 장광현. (2023b). 호소수생태계 건강성 평가를 위한 동물플랑크톤 MMI의 국내 적용 연구. *생태와 환경*, 56(1), 70-82.
- Choi Y., Oh H. J., Kim H., Hong G. H., Lee D. H., Kwak I. S., Ji C. W., Park Y. S., Kim Y. J., & Chang K. H. (2023b). Application of zooplankton index for Korean lake health assessment; verification of community index for lake assessment using multi metric. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 56(1), 70-82.
- 최예림, 오혜지, 홍근혁, 나금환, 김현우, 장민호, 문정숙, 황순진, 장광현. (2025). 호소 수생태계 건강성 평가를 위한 동물플랑크톤 지수의 활용: 수질, 먹이망, 다양성의 종합 평가를 위한 멀티메트릭 구성과 국내 주요 호소 평가. *생태와 환경*, 58(5), 485-500.
- Cho Y., Oh H. J., Hong G. H., La G. H., Kim H. W., Jang M. H., Moon J., Hwang S. J., & Chang K. H. (2025). Application of Zooplankton Index for Lake Ecosystem Health Assessment: Development of Multi-metric Index for Comprehensive Assessment of Water Quality, Food-web Perspectives, and Diversity. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 58(5), 485-500.
- 최유길, 우영배, 윤홍주, 어재선, 최철재. (2015). GIS를 이용한 송지호 재첩서식의 적지 선정. *한국전자통신학회 논문지*, 10(9), 965-972.
- Choi Y. G., Woo Y. B., Yoon H. J., Uh J. S., & Choi C. J. (2015). Suitability selection on habitable environments of *Corbicula japonica* in the Songji Lagoon by GIS. *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 10(9), 965-972.
- 한덕기. (2023). 경포호의 항생제 내성 세균 조사. *한국환경농학회지*, 42(3), 169-176.
- Han D. (2023). Survey of antibiotic resistant bacteria in Lake Gyeongpo. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 42(3), 169-176.
- 홍근혁, 오혜지, 최예림, 김준완, 최범명, 장광현, 장민호. (2023). 출현 양상 기반 소형호 내 동물플랑크톤 군집의 계절 변동과 다양성 관계. *생태와 환경*, 56(2), 172-186.
- Hong G. H., Oh H. J., Choi Y., Kim J. W., Choi B. M., Chang K. H., & Jang M. H. (2023). Relationship between seasonal dynamics of zooplankton community and diversity in small reservoir focusing on occurrence pattern. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 56(2), 172-186.
- Choi Y., Oh H. J., Lee D. H., Jang M. H., Lee K. L., Chang K. H., & Kim H. W. (2023a). Current utilization and further application of zooplankton indices for ecosystem health assessment of lake ecosystems. *Sustainability*, 15(14), 10950.
- Gibson G., & Bowman ML. (2000). Estuarine and coastal marine waters: bio-assessment and biocriteria technical guidance. *United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington* (300 pp).
- Goździejewska AM., Cymes I., & Glińska-Lewczuk K. (2024). Zooplankton functional diversity as a bioindicator of freshwater ecosystem health across land use gradient. *Scientific Reports*, 14, 18456.
- Hansson S., Larsson U., & Johansson S. (1990). Selective predation by herring and mysids, and zooplankton community structure in a Baltic Sea coastal area. *Journal of Plankton Research*, 12(5), 1099-1116.
- Hong G. H., Choi Y., Lee D. H., La G. H., Jang M. H., Kim H. W., Chang K. H., & Oh H. J. (2025). Zooplankton diversity of Korean lakes and considerations for enhancing diversity assessment. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 58(3), 202-219.
- Jensen E., Brucet S., Meerhoff M., Nathansen L., & Jeppesen E. (2010). Community structure and diel migration of zooplankton in shallow brackish

- lakes: role of salinity and predators. *Hydrobiologia*, 646(1), 215-229.
- Ochocka A., & Pasztaleniec A. (2016). Sensitivity of plankton indices to lake trophic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 622.
- Oda Y., Nakano S., Suh J. M., Oh H. J., Jin M. Y., Kim Y. J., Sakamoto M., & Chang K. H. (2018). Spatiotemporal variability in a copepod community associated with fluctuations in salinity and trophic state in an artificial brackish reservoir at Saemangeum, South Korea. *PLOS ONE*, 13, e0209403.
- Winder M., & Jassby A. D. (2011). Shifts in zooplankton community structure: implications for food web processes in the upper San Francisco Estuary. *Estuaries and Coasts*, 34, 675-690.
- Yoo H., Ji C. W., & Kwak I. S. (2026). Long-term analysis of Bacillariophyta assemblages in Korean estuaries: effects of salinity gradients and environmental factors(2008–2019). *Hydrobiologia*, 853, 395-411.