

Note

## 정수생태계의 지형적인 요인 변화와 윤충류 출현 종 수 및 개체군 밀도 변동에 대한 연구

오혜지 · 허유지<sup>1</sup> · 장광현\* · 김현우<sup>1,\*</sup>

경희대학교 환경학및환경공학과, <sup>1</sup>순천대학교 환경교육학과

**Time Series Patterns and Clustering of Rotifer Community in Relation with Topographical Characteristics in Lentic Ecosystems.** Hye-Ji Oh (0000-0003-2098-8485), Yu-Ji Heo<sup>1</sup> (0000-0002-6721-5482), Kwang-Hyeon Chang\* (0000-0002-7952-4047) and Hyun-Woo Kim<sup>1,\*</sup> (0000-0003-3898-5864) (Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Republic of Korea; <sup>1</sup>Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea)

**Abstract** The time series data of rotifer community focusing on the species number and total density were collected from 29 reservoirs located at Jeonnam Province from 2008 to 2016 quarterly. The reservoirs had similar weather condition during the study period, but their sizes and water qualities were different. To analyze the temporal dynamics of rotifer community, the medians, ranges, outliers and coefficient of variation (CV) value of rotifer species number and abundance were compared. For the temporal trend analysis, time series of each reservoir data were compared and clustered using the dynamic time warping function of the R package “dtwclust”. Small-sized reservoirs showed higher variability in rotifer abundance with more frequent outliers than large-sized reservoirs. On the other hand, apparent pattern was not observed for the rotifer species number. For the temporal pattern of rotifer density, COD, phytoplankton abundance fluctuation, and cladoceran abundance fluctuation have been suggested as potential factor affecting the rotifer abundance dynamics.

**Key words:** rotifer, time series, dynamic time warping, R package “dtwclust”, reservoir size

### 서 론

호소 및 하천을 포함하는 수생태계의 생물 군집상은 대량 수체의 서식처로서의 종합적 특성을 반영하므로 정기적인 환경, 생태조사 및 환경영향평가 등의 다양한 제도를 통해 모니터링되고 있으며, 이 중 동물플랑크톤은 호소

와 대형 하천의 보구간에서 수생태계 평가 항목으로 정기적으로 조사되고 있다(Oh *et al.*, 2019a, 2020). 체류시간이 짧고 상류로부터의 영향이 크게 작용하는 하천과는 달리, 호소의 경우 호 내 물리화학적 특성과 유역으로부터의 인위적 환경 요인이 군집 구조에 반영될 수 있으며(Dodson *et al.*, 2009), 특히 시간에 따른 생물상의 변화는 서식처 환경변화와의 상호작용의 결과로 발생하므로 계절 및 장기 변화의 파악이 중요하다.

호소생태계 내 생물 군집, 특히 플랑크톤 군집은 지리적 조건과 주어진 환경에 따라 특정한 군집 구조를 가진다.

Manuscript received 15 December 2021, revised 21 December 2021, revision accepted 22 December 2021  
\* Corresponding author: Tel: +82-31-201-3392, E-mail: chang38@khu.ac.kr  
Tel: +82-61-750-3384, E-mail: hwkim@suncheon.ac.kr

동물플랑크톤 군집 구조의 차이를 대표하는 변수로는 종 조성과 개체군 밀도 및 종 다양도 등이 사용되며, 환경 요인이 상이한 호소들의 비교를 통해 환경 변수에 대한 공통적인 반응을 추출, 군집의 구성과 다양도, 출현 개체군 밀도의 범위에 영향을 미치는 주요 인자를 추정하는 것이 가능하다(Oh *et al.*, 2021). 이에 따라 종 다양도와 개체군 밀도와 같은 추출된 단변량 변수들의 상관관계 분석 및 단변량 변수인 조성의 주성분 분석 및 정준상관분석을 통해 동물플랑크톤 군집 구조를 결정짓는 공통 요인에 대한 추정되어 오고 있다(Pinel-Alloul, 1995; Hessen *et al.*, 2006; Mazaris *et al.*, 2010). 이와 같은 접근 방법은 일반적으로 동일한 계절에 수집된 서식처의 정보를 이용하여 군집의 공간 분포를 결정짓는 환경 요인을 분석하는 데 용이하다.

동물플랑크톤의 군집 분석에 있어 종 조성의 공간 분포와 함께 계절 및 연간 변동을 포함한 시간에 따른 변동 특성을 고려할 수 있으며, 이때 동물플랑크톤 군집은 서식처 환경에 따라 특정한 계절 변동 패턴을 보인다(Sommer *et al.*, 1986; Mackas *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2019). 온대지역에 위치한 국내 호소의 경우, 수온 변화에 따른 대상 생물의 종 특이적 성장 특성에 따라 계절 변동 양상이 정해진다. 동물플랑크톤 부화와 성장에 있어 수온의 직접적인 영향을 받으며(Gillooly, 2000), 동시에 먹이원인 식물플랑크톤 군집의 변화와 섭식 관계(Uhm and Hwang, 2006), 주요 포식자인 플랑크톤 섭식 어류의 포식압(Oh, *et al.*, 2019b) 등에 따라 계절 변동 양상이 영향을 받을 수 있다. 일년을 주기로 발생하는 계절 변동의 패턴은 위에서 언급한 공간적 분포 특성에 기반하는 기본적인 서식환경에 의해 일차적으로 결정되며, 기후변화와 같은 장기적인 영향, 서식처 특이적인 물리-화학적 환경 요인의 변동과 같은 단기적인 영향이 복합적으로 작용하여 매년 차이를 보이는 연간 변동 특성을 결정짓는다(McCauley and Murdoch, 1987; Shurin *et al.*, 2010). 따라서 군집의 계절성과 연간 변동의 패턴을 포함한 시계열(time series) 변동을 비교함으로써 출현 종 수, 개체수와 같은 군집 변수의 증감 범위와 장기적 시계열 변동을 파악하여 서식처 환경의 안정성을 평가하고 이에 영향을 미치는 환경 요인을 유추하는 것이 가능할 것으로 예상된다.

국내 호소는 수문학적 요인 등에 따라 계절별로 동물플랑크톤의 군집 조성이 변화할 가능성이 높으며, 특히 인위적으로 조성된 정수 생태계의 대부분을 차지하고 있는 농업용 저수지 및 호수 등에서 소형 동물플랑크톤에 대한 호소별 상호 비교 연구 결과는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동물플랑크톤 중 윤충류 군집의 시계열 변동 경향을 분석하고 서식처 특성의 영향을 분석하였다. 윤충

류는 가장 흔하게 출현하는 분류군으로 거의 모든 호소 및 하천 생태계에 출현하며 동시에 부영양화 지표로 사용되고 있다(May and O'Hare, 2005). 지리적 요인의 차이로 인한 기상 요인의 영향을 최소화하기 위해 기상 조건이 유사하고 다양한 크기 및 영양단계를 가지는 전남지역의 29개 호소를 대상으로 윤충류 군집의 시계열 변화를 출현 종 수와 개체군 밀도에 초점을 맞추어 변동 범위와 시계열 경향을 비교 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 동물플랑크톤 및 환경 요인

본 연구에서는 전라남도 지역에 분포하는 만수위 수표면적 0.3 km<sup>2</sup> 이상의 29개 호소를 대상으로 2008년 3월부터 2016년 11월까지 각 호소에서 매년 계절별로 4회(n=32) 동물플랑크톤 샘플을 채집하였다. 동물플랑크톤 채집은 60 µm 망목을 이용하여 지점별로 각각 20 L를 필터 후 10% sucrose-formalin으로 고정한 후 동정, 계수하였다. 종 동정은 광학 및 도립현미경(×40, ×100)으로 파악하였고, 분류는 속 또는 종 범위에서 Koste(1978)의 분류키(identification key)를 따라 윤충류를 동정, 출현 종 수를 파악하고 각 종의 출현 개체군 밀도를 계수하였다. 윤충류의 지각류와 요각류는 윤충류에 영향을 미치는 경쟁 및 포식 요인으로서 동일하게 속 또는 종 범위로 분류하고 개체군 밀도를 계수하였다.

조사 대상 지점의 환경 요인은 영산강·섬진강 수계 환경 기초조사사업의 보고서(NIER, 2011)에서 발췌하였으며, 호소의 제원(유역면적, 저수면적, 저수용량)과 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)은 요약 제시된 값을 사용하였다(Table 1). 식물플랑크톤 현존량(cell mL<sup>-1</sup>)은 4회 조사 결과의 평균값을 사용하였고, 표준편차와 평균값을 이용하여 변동계수를 계산하였다.

### 2. 연간 변동과 시계열 패턴의 분석 및 비교

윤충류 군집의 변동 경향은 각 조사 지점의 전체 출현 개체수와 출현 종 수의 분포를 박스 플롯(box plot - 중앙값, 사사분위 영역, 최대값, 최소값)으로 나타내 이상치 출현 경향 및 변동계수(표준편차/평균; coefficient of variation, CV)를 계산하여 비교하였다. 윤충류 출현 개체수 및 종 수 시계열 분석의 동적 시간 워핑(dynamic time warping, dtw) 분석(R package “dtwclust”, R & R studio)을 통해 지점 간 계절 변화와 연간 변동을 포함하는 시

**Table 1.** Topographical, geographical and water quality information of study sites; each reservoir were labeled R1 to R29 depending on the storage capacity.

Reservoir	Location	Watershed area (km <sup>2</sup> )	Storage area (km <sup>2</sup> )	Storage capacity ( $\times 10^5$ m <sup>3</sup> )	Chemical oxygen demand (mg L <sup>-1</sup> )
R1	Gaecho N 34° 38' 20.9" E 126° 18' 27.5"	5.5	0.6	0.2	8.5
R2	Jangsu N 34° 35' 27.7" E 127° 19' 15.2"	3	0.8	0.4	14
R3	Sopo N 34° 28' 52.4" E 126° 11' 35.4"	112	2.9	0.5	9.5
R4	Jijeong N 34° 33' 52.1" E 126° 58' 46.8"	1	0.6	1.7	6.3
R5	Dunjeon N 34° 31' 41.1" E 126° 18' 46.2"	7.3	0.8	1.8	8.1
R6	Odong N 35° 12' 41.5" E 126° 23' 46.2"	9	0.6	1.9	6.1
R7	Bongam N 34° 25' 10.2" E 126° 07' 42.4"	5.7	0.8	2	6.5
R8	Gungok N 34° 23' 35.7" E 126° 32' 08.8"	14	0.6	2.2	7.1
R9	Bojeon N 34° 28' 58.4" E 126° 10' 26.2"	6.3	0.1	2.6	8.5
R10	Sudong N 34° 30' 31.6" E 126° 56' 25.7"	1.8	0.7	2.6	6.3
R11	Hakpa N 34° 44' 58.4" E 126° 35' 57.2"	9.5	0.5	2.7	6.3
R12	Daedong-a N 35° 08' 40.5" E 126° 30' 20.8"	43.9	1.1	4.4	5.4
R13	Bakwoon N 34° 59' 48.0" E 127° 35' 26.3"	48.6	0.8	4.5	3.2
R14	Bosung N 34° 48' 33.8" E 127° 07' 48.0"	275	1.8	4.7	4.9
R15	Suyang N 35° 14' 37.3" E 126° 40' 01.1"	33	1.7	7.5	7.8
R16	Daedong-b N 35° 06' 59.1" E 126° 31' 32.0"	24.5	1.2	9.2	5.4
R17	Bulgap N 35° 13' 21.3" E 126° 30' 26.4"	46.8	2	16.9	4.5
R18	Gwangju N 35° 11' 30.3" E 126° 59' 35.3"	41.3	1.9	17.4	4.6
R19	Sueo N 35° 02' 42.6" E 127° 42' 49.9"	49	1.6	31.2	2.3
R20	Hadong N 35° 09' 48.8" E 127° 47' 02.0"	58.5	1.5	31.2	3.6
R21	Damyang N 35° 24' 04.0" E 127° 00' 06.7"	65.6	4.1	66.7	2.9
R22	Jangsung N 35° 23' 28.8" E 126° 49' 58.7"	122.8	6.9	89.7	3.9
R23	Naju N 34° 55' 48.8" E 126° 50' 59.4"	104.7	7.8	91.2	4.5
R24	Dongbok N 35° 06' 54.4" E 127° 06' 45.2"	189	6.6	92	3.3
R25	Gumho N 34° 37' 37.5" E 126° 22' 49.5"	184	32.8	133.1	6.2
R26	Yeongam N 34° 42' 02.7" E 126° 28' 36.4"	355	61.8	244.6	6.2
R27	Sangsa N 34° 58' 48.6" E 127° 22' 02.9"	134.6	7.8	250	2.5
R28	Yeongsan N 34° 48' 54.9" E 126° 32' 42.2"	3471	88.8	253.6	6.2
R29	Juam N 34° 59' 08.6" E 127° 14' 33.0"	1010	33	457	2.8

계열 변화 경향의 유사도를 계산하는데 사용되었으며 (Giorgino, 2009), 계산된 시계열 변화의 유사성을 기준으로 클러스터 (cluster) 분석을 실시하였다 (Sarda-Espinosa, 2017). 이때, dtw 분석에 사용된 윤충류 출현 개체수 및 종 수 데이터는 평균을 기준으로 값을 조정하여 표준화 (standardization)시켜 사용하였다 (R package “BBmisc”, R & R studio). 클러스터로 구분된 지점들의 환경 요인의 특징은 조사지점의 유역면적, 저수면적, 저수용량, COD, 식물플랑크톤 현존량, 식물플랑크톤 현존량 변동계수, 지각류 상대풍부도 변동계수에 대한 주성분 분석 (Principal Component Analysis, PCA)을 실시하여 추정하였다.

### 결과 및 고찰

2008년부터 2016년까지 연 4회 동물플랑크톤 군집 조사 결과, 전남지역의 29개 호소에서 윤충류의 평균 개체수는 최소  $97.1 \pm 314.7$  inds.  $L^{-1}$  (보전제-R9)부터 최대  $809.3 \pm 1,764.4$  inds.  $L^{-1}$  (군곡제-R8)까지의 범위로 조사되

었다 (Fig. 1-(A)). 윤충류 종 수의 경우, 최소  $2.5 \pm 1.7$ 종 (하동호-R20)에서  $8.5 \pm 4.6$ 종 (개초제-R1)의 범위로 출현하였다 (Fig. 1-(B)). 조사기간 중 윤충류 출현 개체수의 변동폭 (표준편차)이  $1,000$  inds.  $L^{-1}$  이상 크게 나타난 호소는 개초제 (R1), 장수제 (R2), 군곡제 (R8), 수동제 (R10) 4개 호소로, 이들 호소는 저수용량이  $3 \times 10^5 m^3$  이하의 소형 저수지였다. 반면 불갑제 (R17), 광주호 (R18), 하동호 (R20), 담양호 (R21), 동북호 (R24)의 경우, 조사기간 중 윤충류 출현 개체수 변동이  $200$  inds.  $L^{-1}$  이하로 작았으나 저수용량의 범위는  $16.9 \times 10^5 m^3$ 부터 크게는  $92 \times 10^5 m^3$ 까지 다양한 것으로 나타났다. 모든 호소에서 비정상적으로 높은 개체수로 큰 변동폭을 의미하는 이상치가 확인되었으나, 주로 저수용량  $3 \times 10^5 m^3$  이하의 작은 호소에서 이상치 값이 보다 크게 나타나는 경향을 보였다 (Fig. 1-(A)). 윤충류 출현 종 수의 경우, 29개 호소 중 저수용량이 가장 적은 개초제 ( $0.2 \times 10^5 m^3$ )에서 조사기간 중 변동이 가장 크게 나타났으며 ( $4.6$ 종),  $2.0$ 종 이하로 윤충류 출현 종 수 변동이 작았던 하동호 (R20), 담양호 (R21), 금호호 (R25), 영암호 (R26)는 최소  $31.2 \times 10^5 m^3$ , 최대  $244.6 \times 10^5 m^3$ 의 다양한 크기

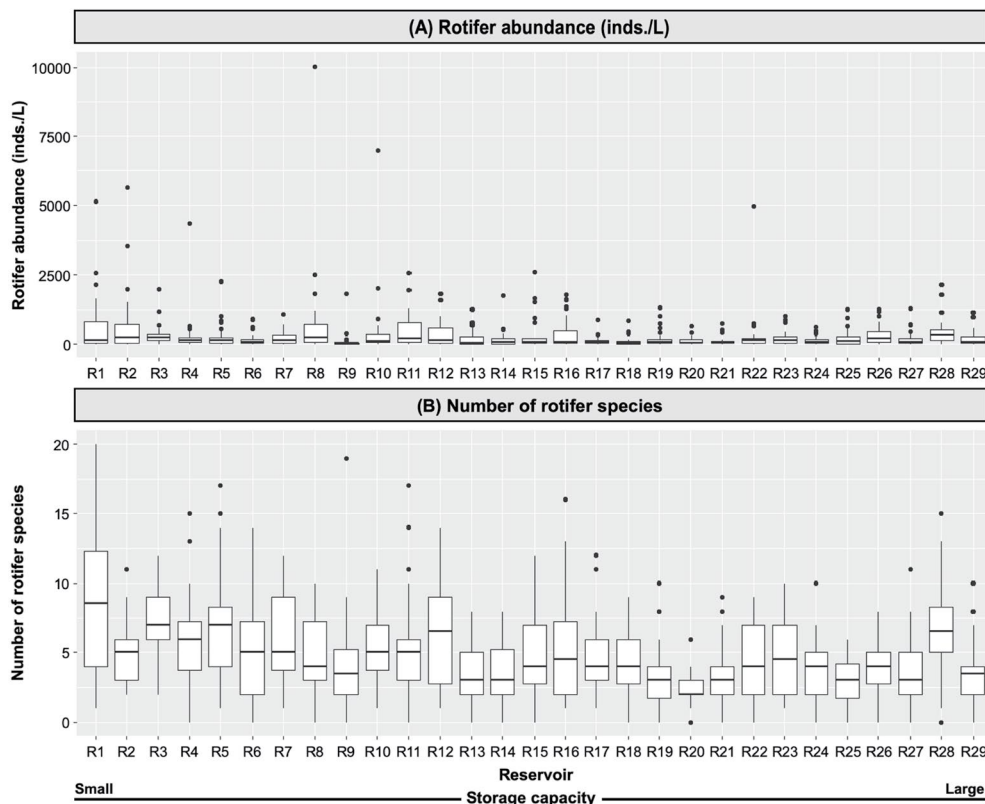
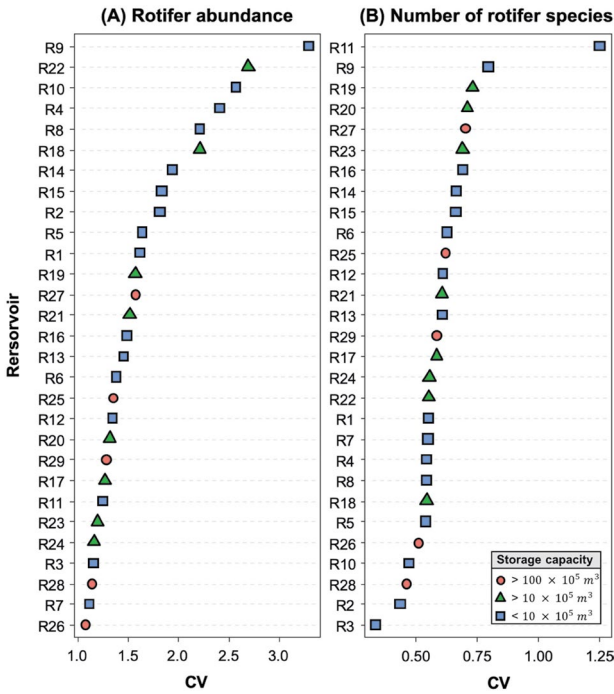


Fig. 1. Comparison of (A) the rotifer abundance and (B) the number of rotifer species from 2008 to 2016 (4 times/year) according to the reservoir storage capacity.





**Fig. 2.** Comparison of the coefficient of variation (CV) of (A) the rotifer abundance and (B) the number of rotifer species from 2008 to 2016. Reservoirs are classified according to storage capacity as: red circle (●)-over  $100 \times 10^5 \text{ m}^3$ , green triangle (▲)-over  $10 \times 10^5 \text{ m}^3$ , and blue rectangular (■)-under  $10 \times 10^5 \text{ m}^3$ .

의 저수용량을 갖는 것으로 나타났다. 윤충류 출현 종 수는 개체수와는 달리 이상치 출현에 특이성이 관찰되지 않았다(Fig. 1-(B)).

윤충류 출현 개체수의 변동계수(CV)는 보전제(R9)에서 3.29로 가장 크게 나타나 조사기간 중 출현 개체수의 변동폭이 가장 큰 것으로 분석되었다. 저수용량 기준,  $10 \times 10^5 \text{ m}^3$  미만의 소형 호소와  $10 \times 10^5 \text{ m}^3$  이상  $100 \times 10^5 \text{ m}^3$  미만의 중형 호소의 절반 이상이 1.5 이상의 상대적으로 높은 CV 값을 가지는 것으로 나타난 반면,  $100 \times 10^5 \text{ m}^3$  이상의 대형 호소의 경우 5개 중 한 개 호소(상사호-R27)만이 1.57의 CV 값을 가져 중·소형 호소 대비 대형 호소에서 윤충류 개체수 변동이 상대적으로 적은 경향을 보였다(Fig. 2-(A)). 윤충류 출현 종 수의 CV는 학파제(R11)에서 1.25로 가장 크게 나타났으며, 타 호소들의 CV 값은 1.0 이하로 조사기간 중 변동이 크게 일어나지 않은 것으로 분석되었다. 또한, 윤충류 출현 종 수 CV 값의 분포는 저수용량에 따른 호소 크기와 연관된 경향은 나타나지 않았다(Fig. 2-(B)).

윤충류 군집의 시계열 변화 경향을 비교, 동적 시간 위평(dtw) 값 간 유사도를 바탕으로 분류한 결과, 출현 개체

수 기준 4개, 출현 종 수 기준 3개의 클러스터로 구분되었다(Fig. 3). 윤충류 출현 개체수의 경우, 대부분의 호소에서 조사기간 중 출현한 윤충류 개체수의 평균 기준 변동폭이  $\pm 1$  이하로 낮은 범위 내에서 변화하는 경향을 보인 반면(Fig. 3-(A); Cluster 3), 개초제(R1), 장수제(R2), 군곡제(R8), 학파제(R11)는  $-1 \sim 5$  범위 내에서 증감하는 경향이 나타나 다른 클러스터들과 구분되었다(Fig. 3-(A); Cluster 1, Cluster 2, Cluster 4). 이들은 증감 패턴에 따라 개초제-Cluster 1, 군곡제-Cluster 2, 장수제 및 학파제-Cluster 4로 구분되었다(Fig. 3-(A)). 윤충류 출현 종 수를 기준으로 보았을 때,  $-1 \sim 4$  범위 내에서 크게 증감하는 경향을 보인 개초제(R1)가 Cluster 1로, 일부 시기를 제외 대부분  $0 \sim 1.5$  범위 내에서 증감 경향을 보인 소포제(R3), 지정제(R4), 둔전제(R5), 봉암제(R7) 및 영산호(R28)가 Cluster 3으로 구분, 그 외 호소들은 비교적 좁은 범위 내에서 증감하는 경향을 보여 Cluster 2로 구분되었다(Fig. 3-(B)). 전남지역의 29개 호소 중 저수용량이 가장 작은 개초제는 윤충류 출현 개체수 및 종 수의 시계열 변화 경향이 타 호소들과 뚜렷하게 구분되는 것으로 나타났으며, 그 외 보편적인 클러스터와 다르게 구분된 호소들의 경우, 저수용량 기준 대형 호소로 분류되는 영산호(R28)를 제외하고 모두 소형 호소에 속하는 것으로 확인되었다. 저수용량과 개체수 및 종 수의 변동 경향과의 뚜렷한 선형 상관관계는 나타나지 않았으나, 상대적으로 소형 저수지에서 변동폭이 큰 경우가 많은 경향을 보였다.

조사기간 중 호소들의 환경 요인(유역면적, 저수면적, 저수용량, COD, 식물플랑크톤 평균 현존량 및 CV, 지각류 상대풍부도 CV)을 바탕으로 PCA 분석을 실시하여 클러스터 결과와 비교한 결과, 대부분의 호소들이 PC1 축과 PC2의 교차지점을 중심으로 밀집되는 것으로 나타났다(Fig. 4). 개체수 시계열 변화 경향을 바탕으로 구분한 Cluster 1-2 및 4의 경우, COD와 양의 상관성을, 식물플랑크톤 평균 현존량 및 CV와 지각류 상대풍부도 CV와는 음의 상관성을 갖는 것으로 나타나 윤충류 개체 출현량의 변동은 지형적 요인보다 수질 및 생물학적 상호작용의 영향이 중요한 것으로 분석되었다(Fig. 4-(A)). 반면, 윤충류 출현 종 수 클러스터 분류와 환경 요인 간 공통적인 경향이 관찰되지 않았다(Fig. 4-(B)). 윤충류 개체수의 경우, 변동폭은 저수지의 크기에 영향을 받을 수 있는 반면 변화 경향에는 수질과 생물학적 요인이 중요하게 작용하는 것으로 보여진다.

본 연구에서 윤충류 개체수 및 출현 종 수의 변화폭과 시계열의 유사 정도를 중심으로 군집 변화 경향을 비교 분석한 결과, 대체로 저수용량이 큰 호소들에서 윤충류 출현

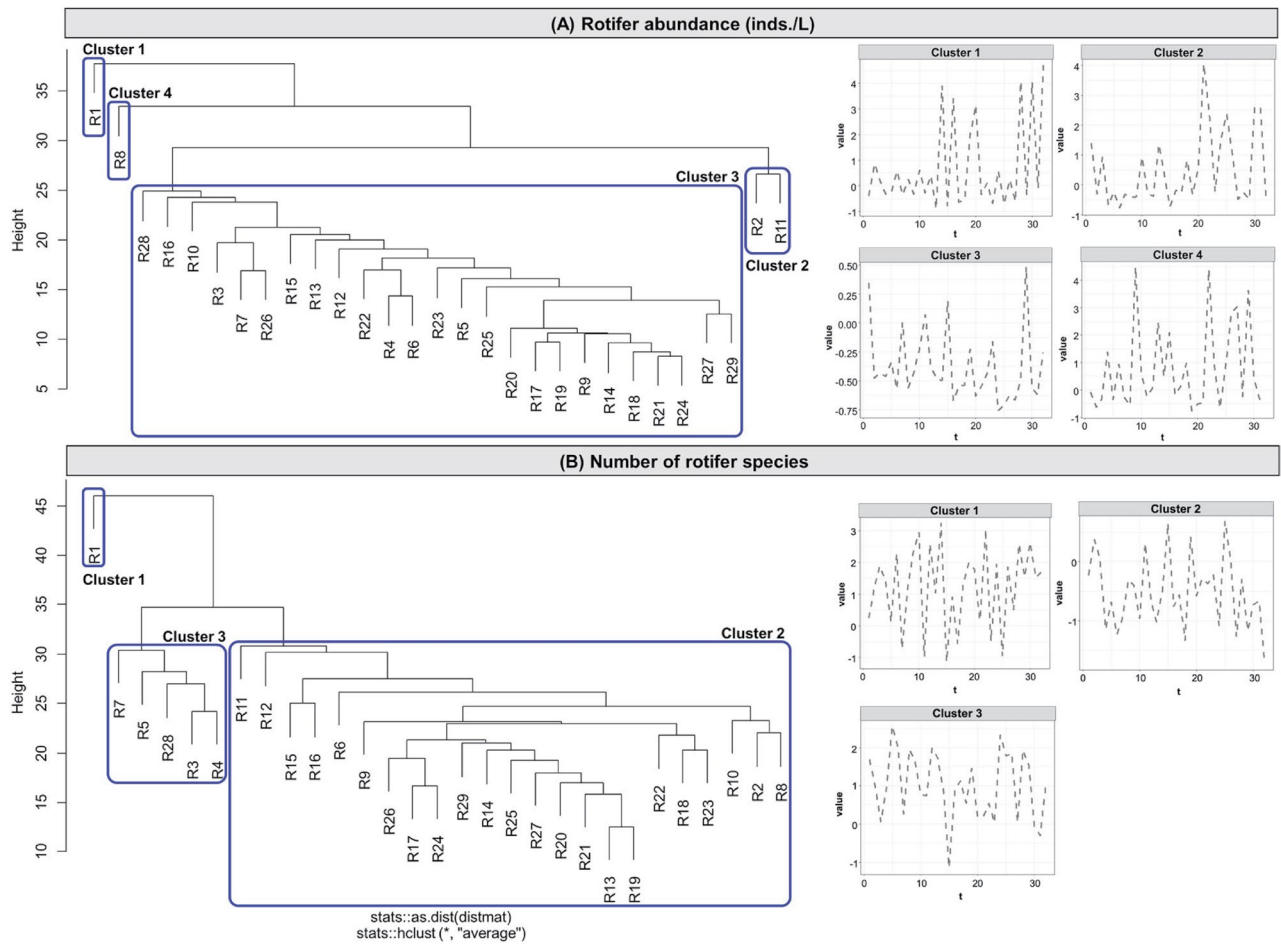
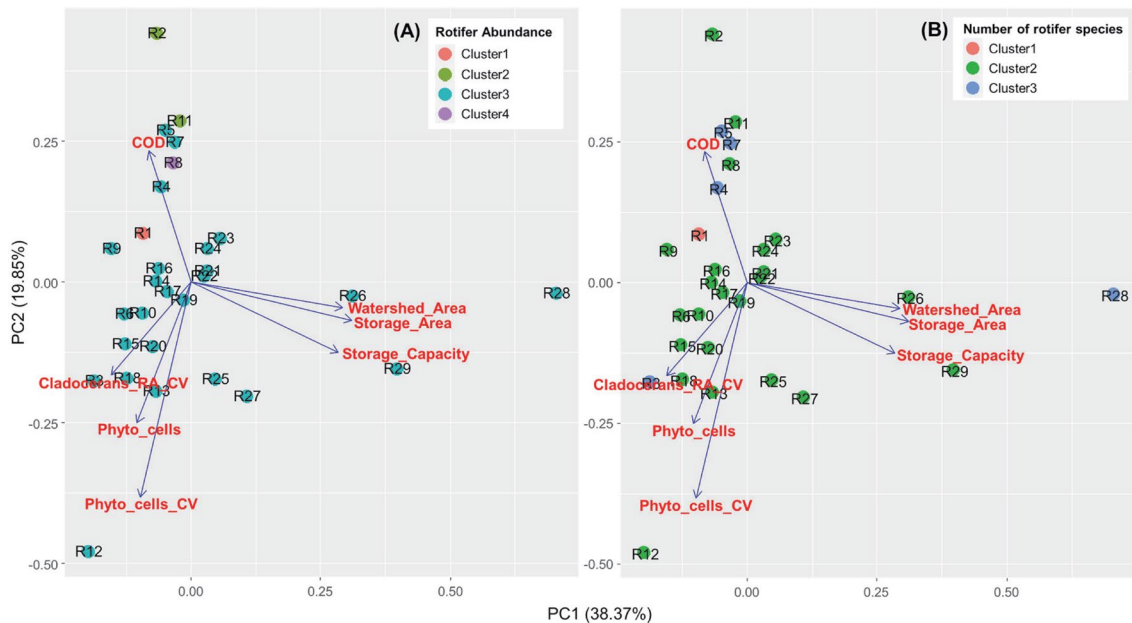


Fig. 3. Cluster dendrogram of 29 reservoirs in Jeonnam region representing the similarity of dynamic time warping (dtw) value of (A) the rotifer abundance and (B) the number of rotifer species during sampling period (from 2008 to 2016) and time series trends of each cluster.

개체수의 이상치 및 CV가 타 호소 대비 상대적으로 작은 값을 갖는 경향이 나타나 보다 안정적으로 유충류 군집이 출현하는 것으로 보여진다. 호소의 크기는 수체의 영양 상태 (trophic status), 어류 포식압과 같은 생물학적 요인 등과 함께 유충류를 비롯한 동물플랑크톤의 군집 출현 특성에 영향을 주는 주요 요인이다 (Yoshida *et al.*, 2003; May and O'Hare, 2005; Conty *et al.*, 2007; Shurin *et al.*, 2010). 특히, 플랑크톤 섭식 어류에 의한 포식은 상대적으로 크기가 큰 지각류에 집중되므로 지각류의 피난처가 제공되지 않는 수심이 얇은 부영양호의 경우 유충류가 연중 우점하게 된다 (Meerhoff *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2019b). 하지만 이러한 선행 연구들은 대체로 단기간의 유충류 공간 분포를 분석한 결과로, 본 연구와 같이 비교적 장기간에 걸친 시간 변동의 경향에 영향을 미치는 주요 인자에 대해서는 아직 그 정보가 부족하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 분기별로 조사된 자료를 유충류 군집에

대한 시계열 분석에 활용하여 호소에 따른 변화 정도를 파악하였다. 그러나 수온 변화 등에 따른 소형 동물플랑크톤 군집 유충류의 동태 변화가 민감하게 반응하는 시기의 경우, 분기별 현장조사 자료를 통한 동물플랑크톤 군집 분석에 있어 조사 주기 및 횟수는 매우 중요하게 작용한다. 아울러, 다양한 환경변화에 대한 반응 양상은 유충류 군집 내에서도 종특이적으로 작용할 수 있다 (Ejsmont-Karabin, 2012). 동시에 먹이 선택성이 상이한 어류 및 무척추동물 포식자의 존재, 포식압에 대해 피난처를 제공하는 수심 및 수변부 구조를 포함하는 호소의 형태학적 차이 등의 환경 요인에 대한 고려도 중요할 것으로 판단된다. 따라서 향후 이와 같은 정보가 보완되어 분석된다면 보다 명확한 호소 서식처 환경 특성에 따른 유충류 군집의 시계열 변화 경향 및 개체군의 안정성, 그리고 기후변화와 같은 장기간에 걸쳐 발생하는 환경변화에 대한 유충류 군집의 반응 메커니즘 등을 면밀히 예측하여 호소별 수질 및 플랑크톤 동



**Fig. 4.** The result of principal component analysis (PCA) of 29 reservoirs in Jeonnam region using topographical variables (watershed area, storage area and storage capacity), water quality variable (chemical oxygen demand, COD) and biological variables (average and CV value of phytoplankton abundance, CV value of cladocerans' relative abundance); reservoirs were classified by the similarity of (A) the rotifer abundance and (B) the number of rotifer species.

태 관리에 대한 주요 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구에서는 호소의 환경 특성 및 시간에 따른 동물 플랑크톤 윤충류 군집 변동 특성을 분석하기 위해, 전라 남도에 위치하여 유사한 기상 조건을 가지나 규모와 수질 환경이 서로 다른 29개 호소를 선정, 2008년부터 2016년까지 분기별 윤충류 출현 개체수 및 종 수의 시계열 자료를 수집하였다. 조사기간 중 각 호소의 윤충류 출현 개체수 및 종 수의 범위, 이상치 및 변동계수(CV)를 비교하였으며, 동적 시간 위핑(dtw) 분석을 통해 각 호소의 윤충류 군집 시계열 경향을 비교하여 유사 정도를 바탕으로 분류(clustering)하고, 주성분 분석을 통해 분류된 호소의 환경 특성과의 관계를 분석하였다. 윤충류 개체수에서 보다 빈번한 이상치 출현과 높은 변동성을 보인 호소에는 상대적으로 저수용량이 적은 소규모 호소가 많았던 반면, 출현 종 수에서는 뚜렷한 경향이 관찰되지 않았다. 타 호소들과 윤충류 개체수의 시간적 변동 경향이 상이하게 나타난 일부 호소들에서 화학적 산소 요구량(COD)과 양의 상관관계를, 식물플랑크톤 현존량 변동 및 지각류 상대풍부도 변

동과 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타나 윤충류 출현 개체수의 시계열 경향에 영향을 미치는 잠재적인 요인으로 분석되었다.

**저자정보** 오혜지(경희대학교 박사수료), 허유지(순천대학교 석사과정), 장광현(경희대학교 교수), 김현우(순천대학교 교수)

**저자기여도** 개념설정: H.J. Oh, H.W. Kim & K.H. Chang, 방법론: H.J. Oh, H.W. Kim & K.H. Chang, 자료수집: H.J. Oh & Y.J. Heo, 분석: H.J. Oh, 자료 관리: Y.J. Heo & H.W. Kim, 원고 초안작성: H.J. Oh, H.W. Kim & K.H. Chang, 원고 교정: H.J. Oh, Y.J. Heo, K.H. Chang & H.W. Kim, 원고 편집: H.W. Kim, 과제관리: H.W. Kim, 연구비 수주: H.W. Kim

**이해관계** 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없습니다.

**연구비** 본 연구는 영산강유역환경청에서 시행한 “21년 영산강 섬진강 수계 호소환경조사”의 일환으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

Conty, A., F. García-Criado and E. Bécares. 2007. Changes in

- bacterial and ciliate densities with trophic status in Mediterranean shallow lakes. *Hydrobiologia* **584**: 327-335.
- Dodson, S.I., A.L. Newman, S.W. Wolf, M.L. Alexander, M.P. Woodford and S.V. Egeren. 2009. The relationship between zooplankton community structure and lake characteristics in temperate lakes (Northern Wisconsin, USA). *Journal of Plankton Research* **31**(1): 93-100.
- Ejsmont-Karabin, J. 2012. The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology* **60**(2): 339-350.
- Gillooly, J.F. 2000. Effect of body size and temperature on generation time in zooplankton. *Journal of Plankton Research* **22**(2): 241-251.
- Giorgino, T. 2009. Computing and visualizing dynamics time warping alignments in R: the dtw package. *Journal of Statistical Software* **31**(7): 1-24.
- Hessen, D.O., B.A. Faafeng, V.H. Smith, V. Bakkestuen and B. Walseng. 2006. Extrinsic and intrinsic controls of zooplankton diversity in lakes. *Ecology* **87**(2): 433-443.
- Kim, M.S., B. Kim and M.S. Jun. 2019. Seasonal succession of zooplankton community in a large reservoir of summer monsoon region (Lake Soyang). *Korean Journal of Environment and Ecology* **52**(1): 40-49.
- Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropes begrunder von Max Voigt, 2<sup>nd</sup> edn., Vol. 1. Textband, 673p., Vol.2. Tafelband, 234p., Borntraeger, Stuttgart.
- Mackas, D.L., W. Greve, M. Edwards, S. Chiba, K. Tadokoro, D. Eloire, M.G. Mazzocchi, S. Batten, A.J. Richardson, C. Johnson, E. Head, A. Conversi and T. Peluso. 2012. Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* **97-100**: 31-62.
- May, L. and M. O'Hare. 2005. Changes in rotifer species composition and abundance along a trophic gradient in Loch Lomond, Scotland, UK. *Hydrobiologia* **546**: 397-404.
- Mazaris, A.D., M. Moustaka-Gouni, E. Michaloudi and D.C. Bobori. 2010. Biogeographical patterns of freshwater micro- and macroorganisms: a comparison between phytoplankton, zooplankton and fish in the eastern Mediterranean. *Journal of Biogeography* **37**: 1341-1351.
- McCauley, E. and W.W. Murdoch. 1987. Cyclic and stable populations: plankton as paradigm. *The American Naturalist* **129**(1): 97-121.
- 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.
- NIER. 2011. Survey on lake environment in the Yeongsan and Seomjin River Basins. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Oh, H.J., K.H. Chang, H.G. Jeong, S.M. Go, G.H. La and H.W. Kim. 2019a. Zooplankton collection methods for various freshwater ecosystems and their applications. *Korean Journal of Environment and Ecology* **52**(3): 231-244.
- Oh, H.J., Y. Oda, J.Y. Ha, T. Nagata, T. Hanazato, Y. Miyabara, M. Sakamoto and K.H. Chang. 2019b. Response of daphnids and other zooplankton populations to massive fish kill in Lake Suwa. *Ecological Research* **34**: 856-863.
- Oh, H.J., Y.J. Chae, D. Ku, Y.J. Kim, J.H. Wang, B. Choi, C.W. Ji, I.S. Kwak, Y.S. Park, G.K. Nam, Y.J. Kim and K.H. Chang. 2020. A comparative study on the information of zooplankton community based on towing type and depth in the lake ecosystems. *Korean Journal of Environment and Ecology* **53**(4): 365-373.
- Oh, H.J., Y.J. Chae, Y. Choi, D. Ku, Y.J. Heo, I.S. Kwak, H. Jo, Y.S. Park, K.H. Chang and H.W. Kim. 2021. Review and suggestions for applying DNA sequencing to zooplankton researches: from taxonomic approaches to biological interaction analysis. *Korean Journal of Environment and Ecology* **54**(3): 156-169.
- Pinel-Alloul, B., T. Niyonsenga and P. Legendre. 1995. Spatial and environmental components of freshwater zooplankton structure. *Ecoscience* **2**(1): 1-19.
- Sarda-Espinosa, A. 2017. Comparing time-series clustering algorithms in R using the dtwclust package. Vienna: R Development Core Team.
- Shurin, J.B., M. Winder, R. Adrian, W. Keller, B. Matthews, A.M. Paterson, M.J. Paterson, B. Pinel-Alloul, J.A. Rusak and N.D. Yan. 2010. Environmental stability and lake zooplankton diversity - contrasting effects of chemical and thermal variability. *Ecology Letters* **13**: 453-463.
- Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters. Seasonal changes in optical properties of two contrasting tropical freshwater systems. *Archiv fur Hydrobiologie* **106**(4): 433-471.
- Uhm, S.H. and S.J. Hwang. 2006. Grazing relationship between phytoplankton and zooplankton in Lake Paldang ecosystem. *Korean Journal of Environment and Ecology* **39**(3): 390-401.
- Yoshida, T., J. Urabe and J.J. Elser. 2003. Assessment of 'top-down' and 'bottom-up' forces as determinants of rotifer distribution among lakes in Ontario, Canada. *Ecological Research* **18**: 639-650.