

Original article

수위 변동에 따른 호소의 연안대와 심저대의 저서성대형무척추동물 군집 변화 분석

지창우¹ · 유태식¹ · 이선호² · 박영석^{3,*} · 곽인실^{1,2,*}

¹전남대학교 수산과학연구소, ²전남대학교 해양융합과학과, ³경희대학교 생물학과

Community Analysis of Benthic Macroinvertebrates According to Water Level of Lake in Littoral and Profundal Zone. Chang Woo Ji¹ (0000-0001-6133-9399), Tae-Sik Yu¹ (0000-0002-1687-2503), Sun Ho Lee² (0000-0002-3820-8515), Young-Seuk Park^{3,*} (0000-0001-7025-8945) and In-Sil Kwak^{1,2,*} (0000-0002-1010-3965) (¹Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ³Department of Biology, Kyung Hee University, Dongdaemun, Seoul 02447, Republic of Korea)

Abstract The macroinvertebrate community in the Singal reservoir, Yedang and Juam lake was investigated three times from April 2021 to October 2021. Each lake was investigated by dividing it into inflow, middle-flow, and outflow. Additionally, sampling was conducted again by dividing it into the edge and center parts at each inflow, middle-flow, and outflow. Eight families of benthic macroinvertebrates were collected except for chironomids in the sampling sites. Dominant macroinvertebrates were investigated as chironomids, and Tubificidae was sub-dominant organisms. The density of macroinvertebrate community was higher in the edge area than in the center bottom of the lakes. The density of chironomids was low when the water level was high but was high when the water level was low. In the edge area of the middle-flow in Singal reservoir, the density of chironomids was 1,208 ind. m⁻² in April when the water level was high, but it increased to 1,401 ind. m⁻² in July when the water level was low. Similarly, the density of chironomids at the outflow of Yedang lake was high (1,990 ind. m⁻²) in July when the water level was low. The density of chironomids also decreased along with the increasing water level at all edge areas of Juam lake. These results indicated that it will be necessary to consider the water level when studying macroinvertebrate communities in the lake.

Key words: lentic ecosystem, macroinvertebrate, water level, community analysis, self-organizing map

서론

최근 하천과 호소의 보전 및 평가를 위해 지표 생물과 생물 지수를 이용한 생태 평가 연구가 이루어지고 있다(Hong *et al.*, 2019). 저서무척추동물은 하천과 호소의 대표적 지표 생물로 낮은 이동성과 환경에 대한 높은 민감성, 다양한 기능성 등의 이유로 수서 환경에서 환경교란에 대한 지표종으로

Manuscript received 22 March 2022, revised 21 June 2022,
revision accepted 22 June 2022

* Corresponding author: Tel: +82-2-961-0946, Fax: +82-2-961-0244
E-mail: parkys@khu.ac.kr
Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-653-6620
E-mail: iskwak@chonnam.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.

유용성이 높게 평가되고 있다(Moon *et al.*, 2020). 또한 저서 무척추동물은 밀도가 높고 다양한 군집 구성을 이루고 있으며, 생태계 내 저차 소비자로서 동시에 어류의 주요 먹이원으로서 수생태의 먹이사슬에 중요한 역할을 하고 있다(Ji *et al.*, 2020). 그에 따라 국내외에서 수생태 건강성 평가를 위해 저서무척추동물을 지표종으로 많이 활용하고 있다(Kwak *et al.*, 2018).

수생태계는 크게 해수와 담수생태계로 나뉘고 저서무척추동물 중 상당수를 차지하고 있는 수서곤충의 경우에는 대부분 담수생태계에서 서식하고 있다. 담수생태계는 다시 물의 흐름에 따라 하천생태계와 정수생태계, 습지로 구분하고 있다. 하천생태계는 물의 흐름이 있어 유속이 빠른 급류대는 용존산소가 높아 생물다양성이 높다. 또한 하천생태계는 물의 흐름에 따라 발원지에서 하구까지 생물군집이 연속적으로 변화한다는 하천연속성(river continuum concept) 특징이 있다. 습지는 다른 담수생태계에 비해 관속식물의 밀도가 높고 물과 토양이 근접하여 생산력이 가장 높은 특징이 있다. 호소생태계는 수심에 따라 빛의 투과 유무에 따라 생물의 생산활동이 유지되는 영양층대(eutrophic zone)와 빛이 닿지 않는 심저대(profoundal zone)로 구분되며, 수평적 측면에서는 호소와 육지가 만나는 수변부(riparian zone)와 수심이 낮은 지역인 연안대(littoral zone)로 구분하며 수심이 깊은 호수 내부 지역은 개방수역(pelagic zone)으로 구분한다. 이러한 수리·수문학적 차이는 하천과 호수의 저서무척추동물 군집에도 영향을 주고 있다(Lee *et al.*, 2012).

우리나라에서는 2008년부터 환경부와 국립환경과학원에서 수생태계 건강성 조사 및 평가를 매년 실시하고 있다(NIER, 2019). 수생태계 건강성 조사 및 평가는 하천에서는 3,039개 지점에서 조사를 하고 있으나 호소는 177개 지점으로 하천에 비해 조사 지점 수가 크게 부족하다. ‘생물측정망 조사 및 평가지침’의 방법적인 측면에서는 하천과 호소에서 조사 지점의 선정이나 조사 도구의 차이는 비교적 잘 기술되어 수위 변화에 따른 연안대 지역 변동에 대한 고려가 미비하다.

저서무척추동물은 일반적으로 정수역보다 유수역을 선호하고 영양 활동이 없는 심저대보다 영양층대의 밀도가 높다고 알려져 있다(Carmignani and Roy, 2017). 하지만 정수역의 영양층대는 연안대로 기상 및 호수의 용수 사용 유무에 수위 변동이 나타나는 서식처이다. 국외에서는 이를 주목하여 호소의 수위 변동에 연안대의 식물군(flora)과 동물군(fauna)의 군집 분석이 이루어졌다(Furey *et al.*, 2006). 저서 무척추동물의 경우, 1975년에 Benthos에 의해 수위 감소 후 밀도가 증가함을 보고한 이래로 다양한 연구가 진행되었다(Benson and Hudson, 1975; Trottier *et al.*, 2019). 하지만 우

리나라에서는 호소의 수위 변동에 따른 저서무척추동물 군집 구조 및 밀도에 관한 연구가 전혀 없으나 최근 습지에서 저서무척추동물 군집과 수위와의 관계를 단순 비교한 사례는 있다(Jeong *et al.*, 2021).

국내 하천에서의 저서무척추동물 군집 조사와 서식처 평가 및 분석은 많이 이루어졌으나 호소에서의 저서무척추동물 조사는 극히 적다(Lee *et al.*, 2012). 따라서, 본 연구에서는 국내 호소에서 저서무척추동물을 채집하고 수위에 따른 군집 변화를 분석하였다. 이를 위해 세 종류의 호소인 신갈지와 예당호, 주암호에서 저서무척추동물을 채집하고 군집 분석을 시도하였다.

재료 및 방법

1. 조사 호소

호소의 저서무척추동물 군집을 조사하기 위해 선정한 저수지 및 호수는 도시 인접 호소인 신갈지와 농업 관계용 호수인 예당호, 산간형 댐호인 주암호를 선정하였다(Fig. 1). 신갈지는 호소 면적이 53 km²인 소형호로 만수위는 46 EL.m (elevation meter)로 알려져 있다. 예당호는 중형호로 호소 면적은 99 km²이며 만수위는 22.5 EL.m이다. 산간지 대형 댐호인 주암호는 호소 면적이 1,010 km²이며 만수위는 108.5 EL.m이다. 수변부와 호내 저층의 저서무척추동물을 비교하기 위해 조사 지점은 수변부와 호내부로 나누었으며 다시 물의 흐름에 따라 조사 지점은 유입과 중앙, 유출로 나누었다. 소형호인 신갈지의 유입과 유출은 호소 바깥쪽 지점을 유입과 유출로 선정하였으므로 신갈지의 유입 지점과 유출 지점은 호내부 조사 지점이 없다. 따라서 예당호와 주암호의 조사 지점은 각각 6개 지점으로 동일하나 신갈지의 경우에는 4개 지점에서 저서무척추동물을 채집하였다. 조사 시기는 2021년 1년 진행하였으며 신갈지와 예당호는 겨울철을 제외한 계절 조사(4월, 7월, 10월)를 수행하였으며 주암호의 경우, 장마 이전인 봄(4월)과 이후인 가을(9월), 2회 조사하였다. 신갈지와 예당호의 수위 자료는 농어촌공사의 농촌용수종합정보시스템(<https://rawris.ekr.or.kr/main.do>)의 자료를 활용하였고 주암호의 수위 자료는 한국 수자원공사에서 제공하는 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr/>)의 자료를 이용하였다.

2. 저서무척추동물 채집 및 군집 지수 분석, 수질 자료 분석

각 호소에서 저서무척추동물 현장 조사는 국립환경과학원

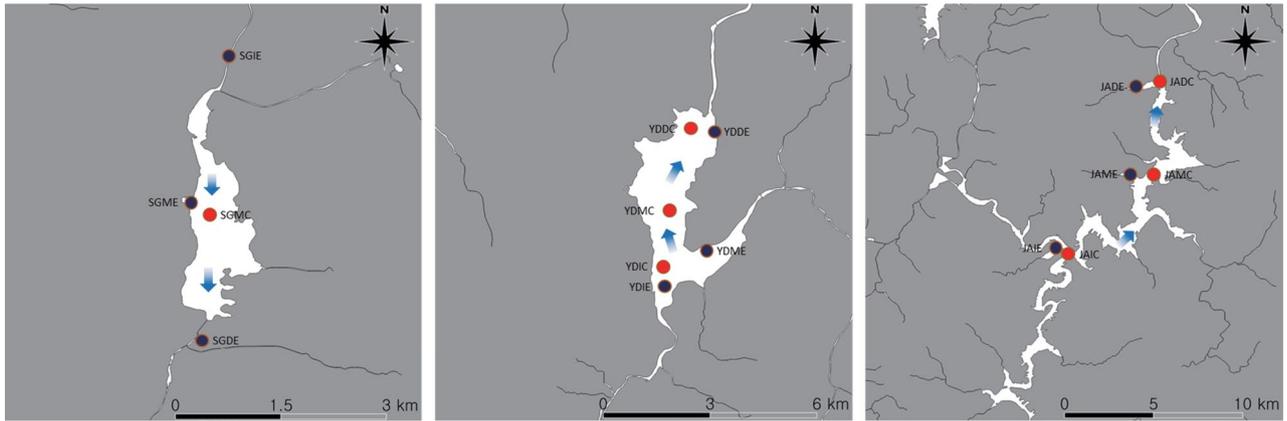


Fig. 1. Study sites in Singal reservoir, Yedang and Juam lake. The 3rd and 4th letter in each sampling sites indicates the sampling location. I: Inflow, M: Middle-flow, O: Outflow, C: Center, E: Edge. Arrows indicates the flow of water.

의 생물측정망 조사 및 평가지침에 따라 채집하였다(NIER, 2019). 수변부에서 저서무척추동물 수변부에서 정량조사 방법은 드렛지(폭 40 cm, 망목 0.50 mm)를 이용하여 1 m를 2 번 끄는 방법으로 3회 반복 채집을 하였다. 호내부 저층 조사는 포나 그랩(20×20 cm)을 이용하여 지점당 각각 3회씩 하상을 채취한 후 생물을 채취하였다. 채집한 시료 표본은 현지에서 100% 에틸알코올(C_2H_6O)로 고정시켜 실내로 옮긴 후 새로운 80% 에틸알코올로 변경하여 보관하였다. 보관한 표본은 해부현미경을 이용하여 종(species) 수준까지 동정하였다. 각 분류군의 동정 및 분류학적 체계, 국명은 검색도설(Yoon, 1995; Merritt and Cummins, 1996; Won *et al.*, 2005; Kwon *et al.*, 2013)을 참고하여 종 수준으로 동정하였으며, 출현 개체수는 개체밀도(ind. m^{-2})로 환산하였으며, 군집 분석은 종으로 분류된 생물과 수준에서 취합하여 수행하였다.

정량 채집된 저서무척추동물의 밀도 자료를 바탕으로 각 조사 지점 및 시기에 따라 다양도지수(H')와 균등도지수(J), 풍부도지수(RI), 우점도지수(DI)를 구하였다. 다양도지수는 Shannon (Shannon, 1948)의 정보이론에서 유도된 information entropy를 이용하였으며, Shannon-Weaner function (H')을 균등도지수(Evenness Index: J)는 Pielou (1975)의 지수를 적용하였다. 종풍부도지수(Species richness Index: RI)는 Margalef (1958)의 지수를 이용하였고, 우점도지수는 McNaughton (1968)을 이용하여 산출하였다.

저서무척추동물 채집과 동시에 현장 원수를 2 L 채수하여 수질 및 영양염을 분석하였다. 분석한 수질항목은 수온($^{\circ}C$)과 용존산소(DO, $mg L^{-1}$), pH, 전기전도도($\mu S cm^{-1}$), Chlorophyll-a (Chl-a, $mg m^{-3}$), 총 탄소량(TOC, $mg L^{-1}$), NO_3-N ($mg L^{-1}$), NH_3-N ($mg L^{-1}$), 총 질소량(TN, $mg L^{-1}$),

PO_4 ($mg L^{-1}$), 총 인량(TP, $mg L^{-1}$), 부유성 유기물질(SS, $mg L^{-1}$) 12 종류를 조사하였다. 수질 조사는 시료를 농어촌 공사 농어촌연구원에 위탁하여 분석하였다.

결 과

1. 조사 지점의 수질항목과 수위 변화

각 호소의 용존산소(DO)는 유입 지점에서 대체적으로 높은 특징이 있었다(Table 1). 하천형인 신갈지 유출과 유입 지점은 7월을 제외한 4월과 10월에 유입의 용존산소가 가장 높았으나 7월에는 호소 지점인 중앙에서 용존산소 농도가 가장 높았다. 예당의 경우, 하천과 가까운 유입 지점에서 용존산소가 모든 조사 시기에서 가장 높게 나타났으며 주암호도 4월에는 유입 지점이 $18.43 mg L^{-1}$ 으로 가장 높았으나 9월에는 유입과 중앙, 유출에서 큰 차이는 없었다. 전기전도도의 경우, 도심형 호소인 신갈지가 조사 시기 및 지점에 따라 $480\sim 1,140 \mu S cm^{-1}$ 으로 다른 호소에 비해 가장 높게 나타났으며 농업 관계형 호소인 예당호가 $230\sim 300 \mu S cm^{-1}$ 으로 세 호소 중 중간 값을 보였고 산지형 댐호인 주암호는 $87\sim 144 \mu S cm^{-1}$ 으로 가장 낮았다. Chlorophyll-a는 세 호소에서 $25 mg m^{-3}$ 이하의 상대적으로 낮은 값을 보였으나 예당호 10월에는 $50 mg m^{-3}$ 의 높은 값을 보였다. 총 탄소량은 조사 시기에 따라 신갈지에서는 $2.8\sim 4.6 mg L^{-1}$ 으로 조사되었고 예당호는 $2.8\sim 5.3 mg L^{-1}$ 으로 다른 호소에 비해 다소 높은 값을 보였으며 주암호는 $1.6\sim 2.9 mg L^{-1}$ 으로 가장 낮았다. 세 호소 모두 봄(4월) 조사 때보다 가을(9월과 10월) 조사 시기에 값이 높은 특징이 있었다. 질소 관련 수질 항목인 NO_3-N ($mg L^{-1}$)과 NH_3-N ($mg L^{-1}$), 총 질소량(TN, $mg L^{-1}$)

Table 1. Environmental characteristics of Singal reservoir and Yedang and Juam lake.

| Site | Month | Position | Water temp. (°C) | DO (mg L ⁻¹) | pH | Conductivity (µS cm ⁻¹) | Chl-a (mg m ⁻³) | TOC (mg L ⁻¹) | NO ₃ -N (mg L ⁻¹) | NH ₃ -N (mg L ⁻¹) | TN (mg L ⁻¹) | PO ₄ (mg L ⁻¹) | TP (mg L ⁻¹) | SS (mg L ⁻¹) |
|------------------|---------|----------|---------------------|-----------------------------|--------|--|--------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Singal reservoir | 4 | Inflow | 14.94 | 13.47 | 8.35 | 670.00 | 14.30 | 3.60 | 2.62 | 0.28 | 3.84 | 0.03 | 0.05 | 5.50 |
| | | Middle | 15.10 | 11.39 | 7.55 | 745.00 | 8.00 | 4.30 | 2.87 | 1.61 | 5.63 | 0.01 | 0.03 | 0.80 |
| | | Outflow | 20.30 | 14.35 | 9.46 | 769.00 | 14.90 | 4.40 | 3.56 | 0.64 | 4.99 | 0.05 | 0.09 | 1.40 |
| | 7 | Inflow | 25.58 | 9.06 | 8.66 | 607.00 | 11.40 | 3.80 | 2.96 | 0.09 | 3.93 | 0.01 | 0.04 | 1.80 |
| | | Middle | 28.84 | 13.55 | 8.22 | 520.00 | 22.20 | 4.20 | 1.86 | 1.59 | 4.43 | 0.01 | 0.04 | 8.60 |
| | | Outflow | 25.35 | 9.01 | 8.55 | 485.00 | 23.30 | 4.60 | 1.81 | 1.51 | 4.22 | 0.01 | 0.04 | 4.60 |
| | 10 | Inflow | 14.68 | 10.01 | 7.00 | 676.00 | 5.30 | 2.90 | 3.39 | 0.04 | 5.10 | 0.01 | 0.04 | 2.60 |
| | | Middle | 16.31 | 8.26 | 6.70 | 593.00 | 23.00 | 2.80 | 2.08 | 0.84 | 4.14 | 0.00 | 0.03 | 18.90 |
| | | Outflow | 17.83 | 7.62 | 7.10 | 1140.00 | 1.70 | 4.60 | 5.65 | 0.08 | 7.60 | 1.00 | 1.74 | 1.80 |
| Yedang lake | 4 | Inflow | 19.10 | 12.21 | 8.82 | 295.00 | 9.30 | 3.10 | 0.71 | 0.13 | 1.06 | 0.00 | 0.02 | 1.10 |
| | | Middle | 18.70 | 11.30 | 8.16 | 289.00 | 7.90 | 2.80 | 0.75 | 0.06 | 1.12 | 0.00 | 0.02 | 1.00 |
| | | Outflow | 15.30 | 11.56 | 7.55 | 289.00 | 7.40 | 2.80 | 0.75 | 0.09 | 1.23 | 0.00 | 0.02 | 1.00 |
| | 7 | Inflow | 33.06 | 8.57 | 8.81 | 268.00 | 18.80 | 4.90 | 0.59 | 0.08 | 1.27 | 0.01 | 0.04 | 6.30 |
| | | Middle | 31.30 | 7.45 | 8.95 | 300.00 | 6.90 | 4.80 | 0.24 | 0.06 | 0.81 | 0.00 | 0.04 | 2.80 |
| | | Outflow | 30.08 | 8.07 | 8.85 | 303.00 | 5.90 | 5.10 | 0.21 | 0.06 | 0.91 | 0.02 | 0.03 | 2.90 |
| | 10 | Inflow | 17.59 | 8.61 | 6.80 | 245.00 | 83.10 | 5.30 | 0.31 | 0.05 | 0.82 | 0.01 | 0.04 | 12.00 |
| | | Middle | 17.24 | 7.66 | 8.70 | 229.00 | 52.00 | 5.10 | 0.38 | 0.04 | 0.71 | 0.00 | 0.03 | 15.60 |
| | | Outflow | 15.97 | 7.89 | 8.90 | 249.00 | 48.60 | 5.30 | 0.40 | 0.05 | 0.76 | 0.00 | 0.03 | 15.80 |
| 4 | Inflow | 16.10 | 18.43 | 8.75 | 144.00 | 12.00 | 1.90 | 0.77 | 0.05 | 1.12 | 0.01 | 0.01 | 4.30 | |
| | Middle | 18.30 | 12.62 | 7.58 | 101.00 | 7.50 | 1.60 | 0.45 | 0.03 | 0.81 | 0.00 | 0.01 | 1.70 | |
| | Outflow | 16.60 | 12.55 | 6.47 | 87.00 | 16.30 | 1.80 | 0.54 | 0.02 | 0.79 | 0.00 | 0.01 | 2.40 | |
| 9 | Inflow | 27.61 | 6.28 | 8.50 | 97.10 | 18.70 | 2.50 | 0.07 | 0.06 | 0.30 | 0.01 | 0.02 | 2.50 | |
| | Middle | 26.68 | 6.88 | 7.88 | 95.00 | 13.40 | 2.50 | 0.11 | 0.05 | 0.42 | 0.01 | 0.02 | 2.20 | |
| | Outflow | 26.79 | 6.64 | 8.80 | 93.00 | 9.60 | 2.90 | 0.19 | 0.05 | 0.40 | 0.01 | 0.02 | 1.30 | |

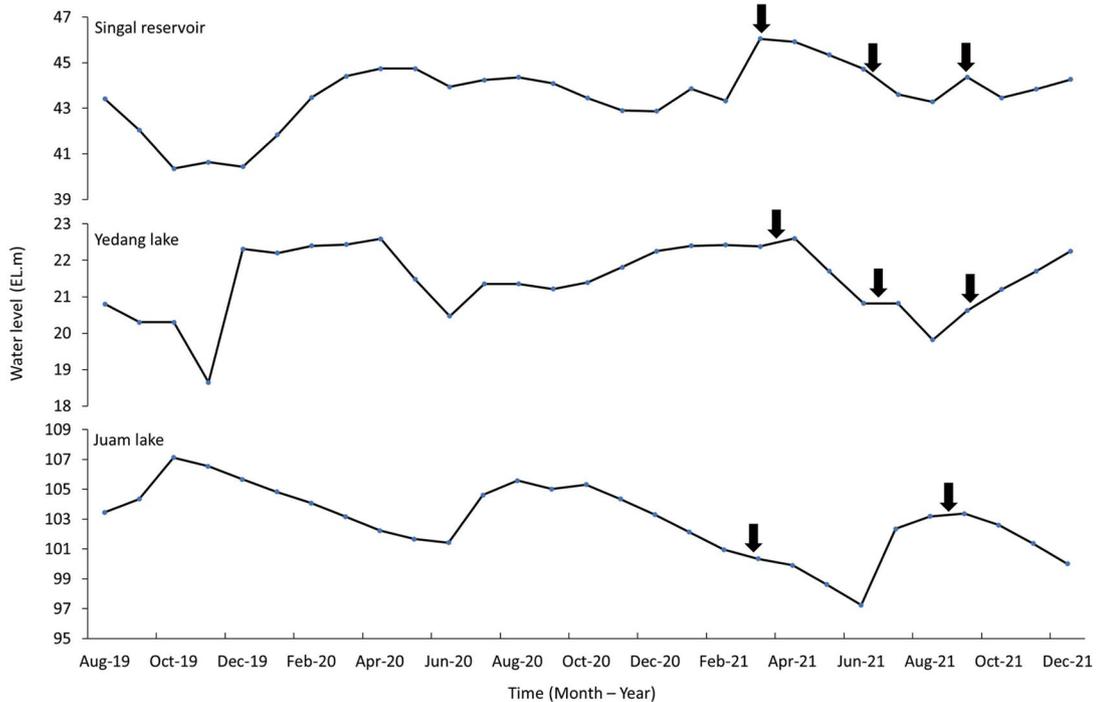


Fig. 2. Fluctuation of water level in Singal reservoir, Yedang and Juam lake from August 2019 to December 2021. The arrows indicate the sampling days.

모두 신갈지에서 가장 높게 조사되었으며 주암호가 전반적으로 1 mg L^{-1} 이하의 낮은 값을 보였다. 또한 하천형인 신갈지의 유입과 유출을 제외하면 세 호소에서 모두 가을(9월과 10월) 조사보다 봄(4월) 조사에서 값이 높은 특징이 있다. PO_4 는 세 호소 지점에서 대체적으로 0.01 mg L^{-1} 이하의 값을 보였다. 하지만 총 인량의 경우, 주암호의 조사 값이 다른 호소에 비해 약 절반 정도 낮은 것으로 조사되었다. 부유성 유기물질은 10월 예당호 조사에서 다른 조사 시기 및 지점보다 높은 특징이 있었다.

농어촌공사와 수자원공사에서 제공하는 신갈지와 예당호, 주암호의 월 평균 수위는 Fig. 2와 같다. 농어촌공사에서는 신갈지와 예당호의 수위를 2019년 8월 자료부터 제공하고 있다. 신갈지의 수위 변화는 다른 호소에 비해 일정한 패턴이 없는데, 2019년 10~12월의 평균 수위는 각각 40.3, 40.6, 40.4 EL.m로 수위가 가장 낮았으며 본 조사 수행 바로 전 달인 2021년 3월에 46.5 EL.m로 가장 높았다. 이는 2021년 1~4월에 신갈지의 유출 지점 바깥쪽에서 하천 정비 공사를 위해 물을 내보내지 않았기 때문이다. 농업용 저수호인 예당호는 겨울철에 수위가 높고 여름철에 수위가 낮았다. 논 농사 기간에 맞추어 인근 예당 평야에 물을 대며, 수위가 감소한 예당호 수변부 지점에서는 논 농사도 이루어져 여름철에 수위가 낮은 특징을 보였다. 예당호의 저서무척추동물을 조사

한 2021년 4월과 7월, 10월의 평균 수위는 각각 22.6, 20.8, 21.2 EL.m로 조사되었다. 주암호는 예당호와 반대로 겨울철의 수위가 낮고 집중 호우 이후인 여름과 가을철에 수위가 높았다. 본 연구가 이루어진 2021년 4월의 주암호 평균 수위는 99.9 EL.m였으며 9월에는 103.3 EL.m로 4월보다 높았다.

2. 호소 수위와 저서무척추동물 군집

2021년 저서무척추동물 군집을 조사한 세 호소에서는 가장 많은 개체가 채집된 깔따구류(chironomids)를 제외한 꼬마하루살이과(Baetidae), 등딱지하루살이과(Caenidae), 실잠자리과(Coenagrionidae), 별날도래과(Ecnomidae), 줄날도래과(Hydropsychidae), 돌거머리과(Erpbodellidae), 물달팽이과(Lymnaeidae), 실지렁이과(Tubificidae)의 8개 과가 출현하였다. 깔따구류 다음으로 가장 많이 채집된 저서무척추동물은 실지렁이과로 조사되었다(Fig. 3).

각 호소의 수변부와 호내부를 비교해 보면, 7월의 예당 유출 지역의 호내부를 제외한 대부분의 조사 지점 및 시기에서 호내부보다 수변부의 깔따구류 및 기타 다른 저서무척추동물의 밀도가 높았다. 호내부에서는 7월 예당 유출 지점의 경우, 깔따구류가 $4,069 \text{ ind. m}^{-2}$ 로 조사되었고 같은 시기 유입 지점이 705 ind. m^{-2} , 중앙 지점 호내부 저층에서 319 ind. m^{-2} 로 다른 호에 비해 비교적 높게 나타났다. 반면에 신갈

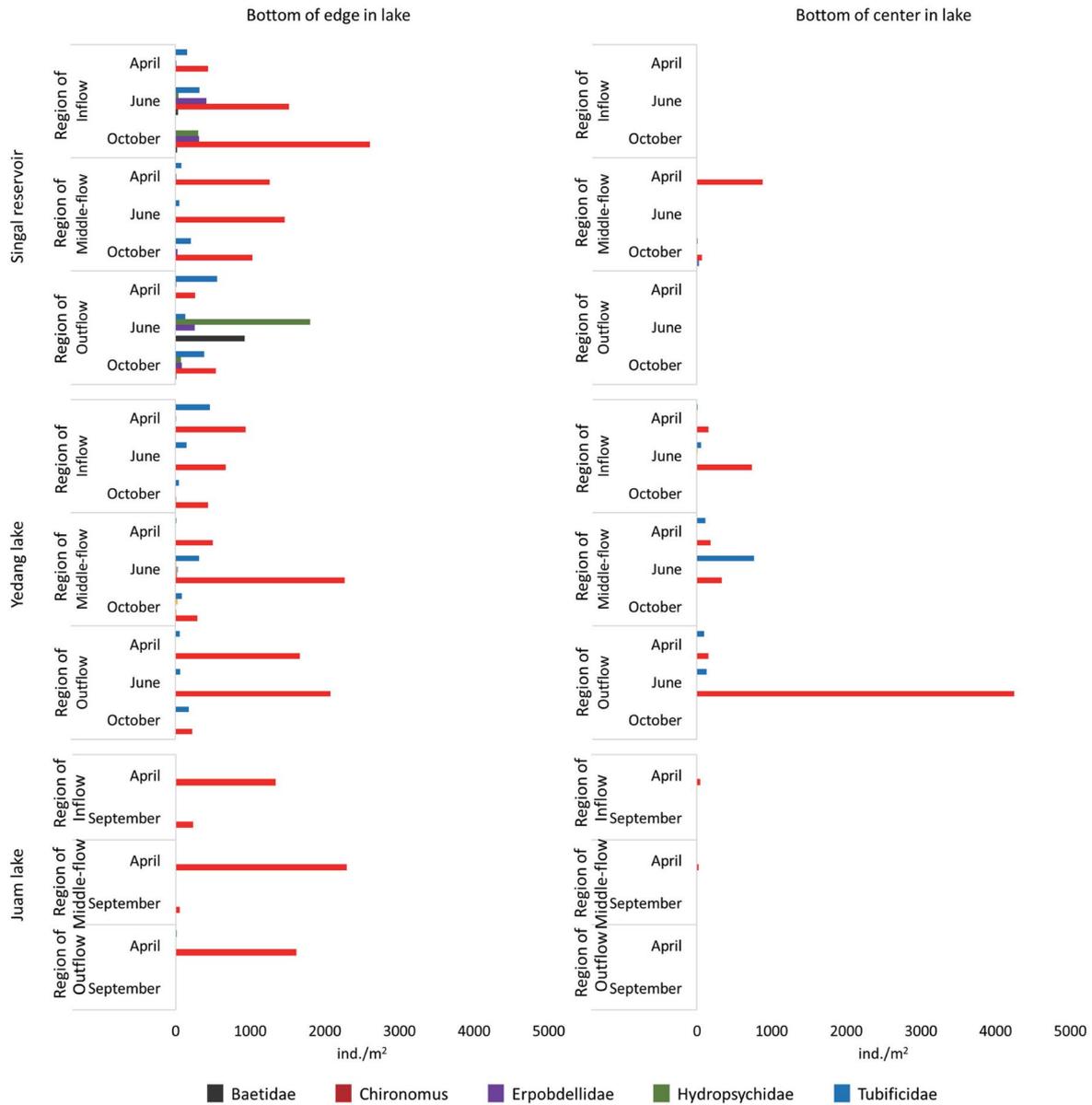


Fig. 3. Density of major macroinvertebrate in Singal reservoir, Yedang and Juam lake. Left is density of edge area and right is density of center bottom in each reservoir and lakes.

지에서는 4월에 842 ind. m⁻²으로 조사되었으나 10월에는 62 ind. m⁻²으로 감소하였으며, 주암호는 4월에만 유입 지점에서 46 ind. m⁻², 중앙 지점에서 23 ind. m⁻²으로 조사되었으나 9월에는 호내부 저층에서 저서무척추동물이 출현하지 않았다. 아우점 분류군인 실지렁이의 경우에도 예당호가 신갈지나 주암호에 비해 밀도가 높았다. 7월 예당 중앙 지점의 호내부 저층에서는 실지렁이과의 밀도가 735 ind. m⁻²으로 가장 높았으며 유입 지점 호내부 저층이 54 No. m⁻², 유출 지점 호내부 저층에서 122 ind. m⁻²의 밀도를 보여 같은 지점의 4월

보다 높았다. 하지만 예당호 호내부 10월 조사에서는 저서무척추동물이 전혀 출현하지 않았다.

각 호소의 수변부 조사에서는 우점 분류군인 깔따구류와 실지렁이과의 밀도가 예당 7월 조사를 제외한 나머지 모든 조사에서 높게 나타났다. 먼저 호소형 조사 지점이 아닌 하천형 조사 지점인 신갈의 유입과 유출 지점에서는 줄날도래와 돌거머리의 밀도가 다소 높아 호소형 조사 지점과 차이를 보였다. 신갈지 유출 지점 7월 조사에서는 줄날도래과가 1,727 ind. m⁻²의 밀도로 조사되었고 같은 시기 유입 지점에

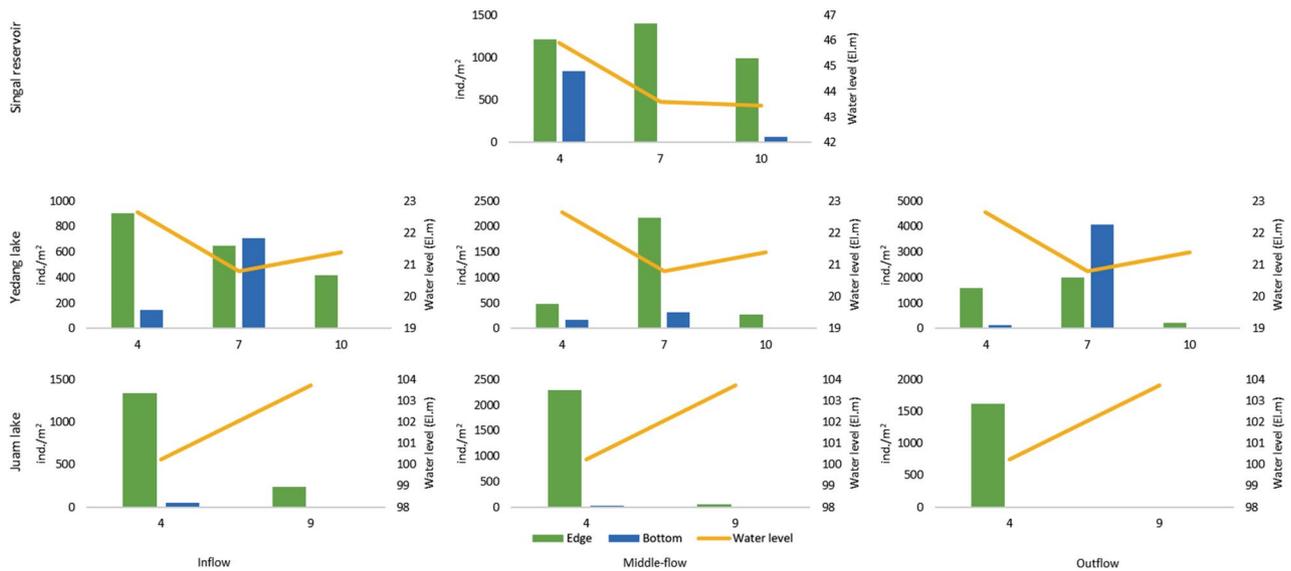


Fig. 4. Density of Chironomus and water level of Singal reservoir, Yedang and Juam lake. Data of the Rural Community Corporation were used for the water level data of the Singal reservoir and Yedang lake. For the water level data of Juam Lake, data from water information portal (K-water) were used.

서는 돌거머리과가 394 ind. m⁻²으로 조사되었다. 하지만 호소형인 신갈지 중앙 지점 수변부에서는 돌거머리과의 밀도가 4월에는 8 ind. m⁻²으로 나타났으며 10월에는 24 ind. m⁻²으로 하천형에 비해 낮게 나타났다. 신갈지 중앙 지점 수변부에서 깔따구류의 밀도는 7월에 1,401 ind. m⁻²으로 가장 높았으며, 4월과 10월에는 각각 1,208 ind. m⁻²과 987 ind. m⁻²으로 다소 낮았다. 실지렁이과는 4월, 7월, 10월에 각각 78, 49, 197 ind. m⁻²으로 조사되었다. 예당호 수변부 조사에서는 유입 지점에서 깔따구류의 밀도가 901 ind. m⁻²으로 나타나 같은 지점의 7월과 10월에 비해 상대적으로 높았으나 중앙 지점과 유출 지점은 7월에 깔따구류의 밀도가 가장 높았다. 주암호 수변부 조사에서는 유입, 중앙, 유출의 모든 지점에서 9월보다 4월의 밀도가 높게 나타난 특징이 있었다.

각 호소에서 우점 분류군인 깔따구류와 수위의 관계는 Fig. 4와 같다. 각 호소마다 다소간의 차이가 있으나 깔따구류의 밀도는 수위가 낮을 때 높았다. 신갈지의 유일한 호소형 조사 지점인 중앙 지점의 수변부에서는 수위가 가장 높은 4월에는 1,208 ind. m⁻²으로 조사되었으나 수위가 다소 감소한 7월에는 1,401 ind. m⁻²으로 증가하였다. 수위가 가장 낮았던 10월에는 987 ind. m⁻²으로 깔따구류의 밀도가 다시 감소하였다. 예당 유입 지점에서 조사 당일 수위는 4, 7, 10월에 각각 22.6, 20.8, 21.3 EL.m로 조사되었으며 수변부의 깔따구류 밀도는 4, 7, 10월에 각각 901, 646, 416 ind. m⁻²으로 처음 4월에 가장 높았으나 7월과 10월에 다소 감소하였다. 예당호의 중앙 지점과 유출 지점에서의 깔따구류 밀도는

수위가 감소하면 증가하는 특징을 보였다. 중앙 지점 수변부의 수위가 가장 낮았던 7월에는 깔따구류의 밀도가 2,17 ind. m⁻²으로 다른 시기보다 높게 나타났으며 유출 지점에서 7월에 1,990 ind. m⁻²으로 조사되어 수위가 다소 높았던 4월과 10월에 비해 깔따구류의 밀도가 높게 나타났다. 주암호의 조사 당일 수위는 4월에 100.2 EL.m로 9월의 103.7 EL.m에 비해 약 3.5 m 정도 낮았다. 주암호 유입 지점의 깔따구류 밀도는 4월에 1,340으로 9월의 236 ind. m⁻²에 비해 크게 높았으며 중앙 지점도 4월에는 2,294 ind. m⁻²으로 9월에 비해 밀도가 높았다. 유출 지점의 수변부 깔따구류 밀도는 수위가 낮았던 4월에는 1,620 ind. m⁻²으로 조사되었으나 수위가 올라간 9월에는 깔따구류가 채집되지 않았다.

세 호소의 다양도지수는 하천형 조사 지점인 신갈 유입, 유출 지점과 예당호의 중앙, 유출 지점을 제외하면 1 이하로 낮게 나타났다(Table 2). 신갈지의 유입과 유출 지점은 4월 조사를 제외하면 1 이상의 다양도지수를 보였으며 특히 유출 지점 10월의 경우 3에 가까운 값을 보여 호소형 조사 지점과 차이를 보였다. 신갈지 중앙 지점 수변부의 수위가 낮을 때, 다양도지수도 낮은 특징이 있었다(Table 2). 4월에는 다양도지수가 0.55였으나 수위가 낮은 7월과 10월에는 0.14와 0.6으로 조사되었다. 하지만 신갈지 중앙 지점 수변부의 낮은 다양도지수는 깔따구류만 주로 출현하였기 때문인 것으로 판단된다. 예당호의 경우에도 수위가 낮아지면 다양도지수가 낮아지는 특징이 있었다. 예당호 유입 지점의 수변부와 호내부의 다양도지수는 4월에는 각각 0.73과 0.4로 조사되었으

Table 2. Community indices with water level of Singal reservoir, Yedang and Juam lake. The center bottom in inflow and outflow areas of Singal reservoir was not investigated because it was a stream, not a lake.

| Month | Inflow | | | | | | | | | Middle-flow | | | | | | | | | Outflow | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--|--|--|
| | Center | | | Edge | | | Center | | | Edge | | | Center | | | Edge | | | Center | | | Edge | | | | | |
| | April | June | October | April | June | October | April | June | October | April | June | October | April | June | October | April | June | October | April | June | October | April | June | October | | | |
| Singal reservoir | Water level (EL.m) | - | - | - | - | - | 45.92 | 43.61 | 43.46 | 45.92 | 43.61 | 43.46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Diversity index | - | - | - | 0.69 | 1.32 | 2.63 | 0.00 | 0.00 | 0.83 | 0.56 | 0.15 | 1.35 | - | - | - | - | - | - | - | 0.81 | 1.82 | 2.99 | - | | | |
| | Evenness index | - | - | - | 0.43 | 0.50 | 1.04 | 0.00 | 0.00 | 0.75 | 0.35 | 0.21 | 0.80 | - | - | - | - | - | - | - | 0.59 | 0.67 | 1.16 | - | | | |
| | Richness index | - | - | - | 0.63 | 1.68 | 4.84 | 0.00 | 0.00 | 0.44 | 0.55 | 0.14 | 1.48 | - | - | - | - | - | - | - | 0.45 | 1.73 | 3.17 | - | | | |
| | Dominance index | - | - | - | 0.98 | 0.76 | 2.56 | 1.00 | 0.00 | 0.91 | 0.94 | 1.00 | 1.93 | - | - | - | - | - | - | - | 0.95 | 0.59 | 1.51 | - | | | |
| Yedang lake | Water level (EL.m) | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | 21.38 | 22.65 | 20.81 | | | |
| | Diversity index | 0.41 | 0.31 | 0 | 0.73 | 0.52 | 0.53 | 0.99 | 0.61 | 0 | 0.41 | 0.52 | 1.11 | 0.98 | 0.13 | 0.00 | 0.20 | 0.13 | 1.22 | 0.20 | 0.13 | 1.22 | 0.20 | 0.13 | | | |
| | Evenness index | 0.37 | 0.28 | 0 | 0.41 | 0.47 | 0.38 | 0.90 | 0.88 | 0 | 0.23 | 0.29 | 0.51 | 0.90 | 0.19 | 0.00 | 0.13 | 0.19 | 0.56 | 0.13 | 0.19 | 0.56 | 0.13 | 0.19 | | | |
| | Richness index | 0.40 | 0.30 | 0 | 0.69 | 0.30 | 0.49 | 0.35 | 0.14 | 0 | 0.80 | 0.64 | 1.33 | 0.37 | 0.12 | 0.00 | 0.54 | 0.13 | 1.31 | 0.54 | 0.13 | 1.31 | 0.54 | 0.13 | | | |
| | Dominance index | 0.95 | 0.99 | 0 | 0.98 | 0.99 | 0.95 | 0.87 | 1.00 | 0 | 0.95 | 0.97 | 0.85 | 0.87 | 1.00 | 0.00 | 0.99 | 1.00 | 0.87 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | 0.87 | | | |
| Juam lake | Water level (EL.m) | 100.26 | 103.73 | 103.73 | 100.26 | 103.73 | 100.26 | 100.26 | 103.73 | 103.73 | 100.26 | 100.26 | 103.73 | 100.26 | 103.73 | 100.26 | 100.26 | 103.73 | 103.73 | 100.26 | 100.26 | 103.73 | 100.26 | 103.73 | | | |
| | Diversity index | 0.69 | 0 | 0 | 0.41 | 0.82 | 0.59 | 0 | 0 | 0 | 0.13 | 0.38 | 0.38 | 0 | 0 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | Evenness index | 1.00 | 0 | 0 | 0.37 | 0.59 | 0.54 | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 0.54 | 0.54 | 0 | 0 | 0.13 | 0 | 0 | 0 | 0.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | Richness index | 0.26 | 0 | 0 | 0.28 | 0.55 | 0.24 | 0 | 0 | 0 | 0.39 | 0.24 | 0.24 | 0 | 0 | 0.41 | 0 | 0 | 0 | 0.41 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | Dominance index | 1.00 | 0 | 0 | 0.99 | 0.97 | 0.97 | 1 | 0 | 0 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1 | 0 | 0.99 | 0.99 | 0 | 0 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0 | | | |

나 수위가 낮아진 7월에는 같은 지점에서 0.52와 0.31로 감소하였다. 예당호 중앙 지점에는 다양도지수가 수변부와 호내부에서 다소 증가를 하고 있으나 유출부 지점은 유입 지점과 마찬가지로 수변부에서는 4월의 0.2에서 7월의 0.13으로 감소하였다. 유출 지점의 호내부도 4월과 7월에 0.98에서 0.13으로 크게 감소하였다. 저서무척추동물 밀도 결과와 비교해 보면, 예당호도 마찬가지로 수위가 낮아지면 깔따구류의 밀도가 크게 증가하여 다양도지수가 감소하는 것으로 보인다. 주암호 수변부의 경우, 수위가 낮았던 4월에는 유입과 중앙 지점에서는 다양도지수가 낮았으나 수위가 증가한 9월에는 깔따구류의 밀도가 감소하여 다양도지수가 증가하였다. 하지만 유출 지점 수변부에서는 9월 조사에서 깔따구류만 출현하여 다양도지수는 0으로 조사되었다. 이상의 결과를 종합해 보면, 호소에서 수위가 낮아지면 깔따구류와 같은 우점 분류군의 밀도는 증가하나 그에 따라 높은 우점도로 인해 다양도는 낮아지는 특징을 관찰할 수 있었다.

고 찰

자연호는 일반적으로 겨울철에 수위가 감소하고 여름에 수위가 증가하는 특징이 있다(Trottier *et al.*, 2019). 하지만 인공호가 대부분인 국내 호소는 용수의 사용 목적 및 주위 환경에 따라 수위 변동의 이유가 복잡적이다. 신갈지의 수위는 유출 지역 하천 정비 공사로 인해 2021년 3월과 4월에 높았으며, 예당호는 논 농사 기간에 맞추어 수위를 조절하였다. 반면 주암호는 자연호와 비슷한 패턴을 보였는데, 겨울철에 수위가 감소하고 집중 호우가 있는 여름철 이후 수위가 증가한 것을 관찰할 수 있었다.

수위 감소로 인한 호소 수변부의 물이 빠진 노출 지점은 햇빛과 바람에 의해 저서무척추동물의 먹이원이 될 수 있는 수생식물과 영양염이 손실된다. 이후, 수위가 증가하여 물이 다시 차오르더라도 손실된 영양분에 의해 저서무척추동물의 밀도가 낮은 외국의 연구 사례는 많다(Carmignani and Roy, 2017). 또한 물이 다시 찬 수변부 지점은 대부분 저서무척추동물 중 상대적으로 이동성이 강한 깔따구류 등이 우점하고 이동성이 극히 떨어지는 이매패류 등은 호소의 저층 바닥에 많이 서식한다고 보고되었다(Furey *et al.*, 2006). 따라서 호소에서 저서무척추동물 군집 조사는 수위를 고려하여 진행되어야 한다. 하지만 호소의 수위와 저서무척추동물의 관계를 조사한 국내 연구 사례는 아직 없다.

본 연구에서 조사한 세 호소는 신갈지, 예당호, 주암호로서 도시형, 농업형, 산간형 호소의 특징이 있다. 크기도 신갈지

는 소형호에 해당하며 예당호는 중형호, 주암호는 대형호로 구분할 수 있다. 하지만 세 호소 모두 수위가 낮을 때 우점 생물인 깔따구류의 밀도가 증가하였으며 수위가 높은 시기에는 감소하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 4). 신갈지 중앙 지점의 깔따구 밀도는 수위가 높은 4월에 비해 수위가 낮은 7월에 약 200 ind. m⁻²이 증가하였으며 예당 유입 지점의 수변부는 수위가 낮은 7월에 250 ind. m⁻² 정도 감소하였으나 중앙과 유출 지점의 수변부는 각각 1,700 ind. m⁻²과 400 ind. m⁻² 정도 증가하였다. 주암호의 경우에는 유입, 중앙, 유출 지점의 수변부 모두 수위가 높을 때보다 낮을 때 깔따구류의 밀도가 크게 높았다. 하지만 세 호소 모두 호내부 저층의 깔따구 밀도는 상대적으로 수위와 관련성이 적어 보였다. 또한 수질 항목의 영양염도 수위와 상대적으로 관련성이 적었다. 신갈지 중앙 지점의 경우, TOC와 TN은 수위가 높았던 4월에 각각 4.3 mg L⁻¹, 5.63 mg L⁻¹으로 가장 높았다. 주암호의 경우에는 수위가 낮았던 4월에 TOC와 TP가 낮았으나 TN의 경우 4월에 높았다. 예당호의 TOC와 TN, TP는 수위가 높았던 4월에 값이 높아 신갈지와 주암호와 다소 다른 패턴을 보였다. Carmignani and Roy (2017)에 따르면 수위가 낮아졌다가 높아진 지점은 영양염이 낮다고 한 점과 다소 차이가 있으나, 이는 본 조사에서 수질 항목의 영양염 측정은 호내부의 표층부를 조사하였기 때문인 것으로 예상된다.

Furey *et al.* (2006)에 따르면, 수위 변동에 따른 저서무척추동물의 밀도는 수위 변동에 노출되는 구역보다 그 아래 구역에서 저서무척추동물의 밀도가 가장 높다고 보고하였다. 본 조사에서는 수위가 높을 때 저서무척추동물의 밀도가 낮게 조사되었는데, 이는 수위 변동에 따른 노출 구역에서 저서무척추동물을 채집하였기 때문인 것으로 예상되며, 수위가 낮을 때 조사한 지점은 노출 구역의 아래쪽으로 판단된다.

저서무척추동물 군집은 일반적으로 하천보다 호소에서 다양성이 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 호소의 저서무척추동물 군집을 정확하게 하기 위해서는 하천에 비해 보다 세심한 노력을 기울일 필요가 있다. 본 연구는 국내의 소·중·대형호이며 도시형, 농업형, 산지형 호소인 신갈지와 예당호, 주암호의 저서무척추동물과 수위 자료를 비교하였고 이를 통해 채집 도구 및 지점 선정에 대해 고찰해 보았다. 하지만 아직 국내에서 호소의 수위와 저서무척추동물 군집 간의 관련 연구는 부족하며, 특히 인공호가 많은 국내의 경우 자연호와 달리 수위 변동 요인이 복잡적이기 때문에 보다 많은 호소에서 장기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다. 이상의 방법적인 요인이 보완된다면 호소의 저서무척추동물 군집에 대한 이해가 증가할 것이고 이를 통해 서식처의 건강성을 평가할 수 있는 지침 및 가이드라인을 설정할 수 있을 것이다.

적 요

신갈지와 예당호, 주암호는 각각 소·중·대형호로 도시형 호소, 농업형 호소, 산지형 호소를 대변한다. 세 호소의 저서 무척추동물 군집 조사 결과, 우점 저서무척추동물은 깔따구류로 조사되었고 실지렁이과가 아우점 생물로 나타났다. 저서무척추동물 군집 밀도는 호소의 호내부 저층보다 수변부에서 밀도가 높게 나타났다. 하지만 수변부의 저서무척추동물 군집 중 우점 생물인 깔따구류의 밀도는 수위가 높을 때는 낮게 나타났으며 수위가 낮을 때 밀도가 높은 것으로 조사되었다. 신갈지의 중앙 지점의 수변부에서는 수위가 높은 4월에는 깔따구류의 밀도가 1,208 ind. m⁻²으로 조사되었으나 수위가 낮은 7월에는 1,401 ind. m⁻²으로 증가하였다. 예당호의 중앙 지점 수변부의 수위가 낮았던 7월에는 깔따구류의 밀도가 2,171 ind. m⁻²으로 다른 시기보다 높게 나타났다. 수위가 낮았던 7월의 예당호 유출 지점 깔따구류 밀도는 1,990 ind. m⁻²으로 조사되어 수위가 높았던 4월과 10월에 비해 깔따구류의 밀도가 높았다. 주암호의 수위는 4월에 100.2 EL.m로 9월의 103.7 EL.m로 조사되었으며 해당 기간 유입 지점 수변부 깔따구류 밀도는 4월에 1,340으로 9월의 236 ind. m⁻²으로 조사되었다. 주암호 중앙 지점도 4월에는 2,294 ind. m⁻²으로 9월에 비해 밀도가 높았으며 4월 유출 지점의 수변부 깔따구류 밀도는 1,620 ind. m⁻²으로 조사되었으나 수위가 올라간 9월에는 깔따구류가 출현하지 않았다. 따라서 차후 호소에서 저서무척추동물 군집 조사는 해당 호소의 수위를 고려하여 조사할 필요가 있을 것이다. 본 연구는 호소에서 저서무척추동물의 조사 및 평가 방법 개발에 도움이 될 수 있을 것이다.

저자정보 지창우(전남대학교 박사 후 연구원), 유태식(전남대학교 박사 후 연구원), 이선호(전남대학교 해양융합과학과 대학원생), 박영석(경희대학교 교수), 곽인실(전남대학교 교수)

저자기여도 연구설계: 박영석, 곽인실, 지창우, 자료 수집 및 관리: 지창우, 유태식, 이선호, 자료분석: 지창우, 유태식; 원고 작성: 지창우, 유태식, 박영석, 곽인실, 과제관리: 박영석, 곽인실, 원고 수정 및 검토: 모든 저자

이해관계 본 연구는 이해관계의 충돌 여지가 없습니다.

연구비 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원(과제번호: 2020003050003)과 한국연구재단의 지원(NRF-2018R1A6A1A03024314 & NRF-2019R1A2C1087099)을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

- Benson, N.G. and P.L. Hudson. 1975. Effects of a reduced fall drawdown on benthos abundance in Lake Francis Case. *Transactions of the American Fisheries Society* **104**: 526-528.
- Carmignani, J.R. and A.H. Roy. 2017. Ecological impacts of winter water level drawdowns on lake littoral zones: a review. *Aquatic Sciences* **79**: 803-824.
- Furey, P., R. Nordin and A. Mazumder. 2006. Littoral benthic macroinvertebrates under contrasting drawdown in a reservoir and a natural lake. *Journal of the North American Benthological Society* **25**: 19-31.
- Hong, C., W.-S. Kim, J.-Y. Kim, S.-Y. Noh, J.-H. Park, J.-K. Lee and I.-S. Kwak. 2019. Change of benthic macroinvertebrates community composition following summer precipitation variance. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**: 348-357.
- Jeong, C., J.-W. Choi, H.S. Moon, D.-H. Kim, S.-H. Moon, J.Y. Han, S. Oh and Y. Kim. 2021. Seasonal Assessment of Groundwater-Dependent Ecosystem Using Monitoring of Benthic Macroinvertebrates in Wetland. *Journal of Soil and Groundwater Environment* **26**: 130-143.
- Ji, C.W., D.-S. Lee, D.-Y. Lee, I.-S. Kwak and Y.-S. Park. 2020. Analysis of food resources of 45 fish species in freshwater ecosystems of South Korea (Based on literature data analysis). *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**: 311-323.
- Kwak, I.-S., D.-S. Lee, C. Hong and Y.-S. Park. 2018. Distribution patterns of benthic macroinvertebrates in streams of Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**: 60-70.
- Kwon, S., Y. Jeon and J. Park. 2013. Checklist of organisms in Korea 7. Benthic macroinvertebrates. Eco and Nature, Seoul.
- Lee, H.-G., S.-W. Jung and J.-K. Choi. 2012. Spatial analysis of ecological characteristics for benthic macroinvertebrate community structure in lake Hoengseong region. *Korean Journal of Environment and Ecology* **26**: 46-56.
- Margalef, R. 1958. Information theory in biology. *General Systems Yearbook* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1968. Structure and function in California grasslands. *Ecology* **49**: 962-972.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt.
- Moon, M.Y., C.W. Ji, D.-S. Lee, D.-Y. Lee, S.-J. Hwang, S.-Y. Noh, I.-S. Kwak and Y.-S. Park. 2020. Characterizing responses of biological trait and functional diversity of benthic macroinvertebrates to environmental variables to develop aquatic ecosystem health assessment index. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**: 31-45.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2019. Guide-

- lines for Survey and Assessment of Stream/River Ecosystem Health (Stream). NIER, Incheon, Korea.
- Pielou, E. 1975. Ecological Diversity Wiley & Sons. New York.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* **27**: 379-423.
- Trottier, G., H. Embke, K. Turgeon, C. Solomon, C. Nozais and I. Gregory-Eaves. 2019. Macroinvertebrate abundance is lower in temperate reservoirs with higher winter drawdown. *Hydrobiologia* **834**: 199-211.
- Won, D., S. Kwon and Y. Jun. 2005. Aquatic Insects of Korea. Korea Ecosystem Service, Seoul, 415pp.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic Insects of Korea. Junghaengsa.