

여름철 얇은 저수지의 중앙과 연안에서 동물플랑크톤 군집의 서식지 선택

정현기 · 서정관 · 이혜진 · 이원철^{1,*} · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹한양대학교 생명과학과

Habitats Selection of Zooplankton between Pelagic and Littoral Zone in Shallow Reservoirs in Summer

Hyungi Jeong, Jungkwan Seo, Haejin Lee, Wonchoel Lee^{1,*} and Jaekwan Lee

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Gyeongsangbuk-do 717-873, Korea

¹Department of Life Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract – The Abundance of zooplankton was studied in the pelagic and the littoral zone in four shallow reservoirs along with the Nakdong river basin of S. Korea. In the pelagic zone, there was a higher zooplankton density (477.5 ± 312.4 ind. L^{-1}) than in the littoral zone during our study period ($t=2.337$, $p<0.05$). Overall, Rotifers were the most abundant group in the studied reservoirs. However, there are no significant correlations between the pelagic and the littoral zone in physical and chemical parameters. In the pelagic and the littoral zone, zooplankton density usually increased with increasing density of aquatic plants in the littoral zone. However, this study showed different trends. Although macrophyte abundance was higher in the littoral zone than in the pelagic zone, zooplankton abundance was higher in pelagic zone. Moreover, when macrophytes (*Trapa japonica* and *Spirodela ptyrhiza*) covered the complete water surface of the reservoir, zooplankton abundance was higher. It appears that comparisons between the pelagic and the littoral zone give important cues on the selection of habitats by zooplankton. It is assumed that a higher density of aquatic plants does not always imply a higher density of zooplankton in the littoral zone. Furthermore, when the water surface was covered with aquatic plants, the zooplankton communities showed the highest density in the pelagic zone. These results imply that habitat selection of the zooplankton community (Rotifers) is influenced by aquatic plant density with an associated decrease in predation pressure during summer.

Key words : Zooplankton abundance, Rotifer, littoral, pelagic, Macrophytes

서 론

담수 생태계 내 동물플랑크톤은 계절적, 지역적 특성

에 따라 분포차이를 보이고 서식환경에 따른 동물플랑크톤 군집 변화는 식물플랑크톤, 박테리아를 감소시키거나 증가시키는 작용을 하는 동시에 수서곤충이나 어류와 같은 포식자의 먹이원으로 소비됨으로써 먹이사슬 내 중추적인 역할을 한다(Wetzel and Linkens 1983; piccardi 2002). 특히 수심이 얇은 보나 저수지에서 동물플

* Corresponding author: Wonchoel Lee, Tel. 02-2220-0951, Fax. 02-2296-7158, E-mail. wlee@hanyang.ac.kr

랑크톤의 군집변화는 과잉된 영양염류 및 포식자·피식자 간 스트레스 정도에 영향을 크게 받는다(Jeppesen *et al.* 1990).

담수 생태계의 동물플랑크톤은 수계 내 서식하는 수생식물에 의한 영향을 크게 받기도 한다. 얕은 저수지에서 서식하는 동물플랑크톤은 수면에 부유하는 수생식물에 부착된 유기물을 여과함으로써 먹이를 섭식하거나, 부유식물이나 부엽식물의 잎과 줄기를 이용하여 포식자에 대한 자신의 노출을 감소시킨다(Scourfield and Harding 1958; Polunin 1984). 그러므로 여름철 얕은 저수지의 연안(littoral zone)을 따라 발생하는 수생식물은 동물플랑크톤의 피난처를 제공함으로써(Kairesalo 1998), 동물플랑크톤 군집의 구조에 영향을 미치기도 한다(Keppeler 2003). 일반적으로 여름, 가을철 동안 동물플랑크톤인 율충류와 지각류가 우점하는데, 특히 부영양호수에서 먹이원인 식물플랑크톤의 증가는 율충류 부화율을 상승시킴으로써 개체수 증가에 영향을 미치기도 한다(Pace 1986).

국내 저수지의 수생식물 분포는 저수지 연안을 따라 부분적으로 산재하기도 하나 수면의 대부분을 덮기도 한다. 이러한 저수지 환경은 이화학적 수질 변화와 생물학적 군집 변화에 따라 저수지 내 서식하는 동물플랑크톤 군집의 종 풍부도나 종다양성에 많은 영향을 미친다. 특히 여름철 저수지 연안에서 수생식물의 다양성이 높아지면 동물플랑크톤의 종풍부도 및 다양성도 또한 증가하게 된다(국립환경과학원 2008, 2009; Castilho-Noll *et al.* 2010).

본 조사지역은 크게 수생식물의 성장이 왕성한 지역과 상대적으로 밀도가 낮은 지역으로 나뉘어 진다. 본 연구는 4개의 저수지(풍락지, 기동지, 장척호, 번개늪)에서 수행되었으며, 각각의 저수지는 여름철에 수심이 깊고 수면적이 넓은 대형 호수·저수지와 달리 수심이 낮고(4개 지역; Ca. 2.5 m) 강우나 용수활용에 따른 수위 변화가 크게 나타나는 지역으로, 이러한 중소형 저수지는 동식물플랑크톤의 밀도 증감이 크며 종 다양성이 높게 조사되기 때문에 지속적인 모니터링이 요구되는 곳이다(김 등 2010).

본 연구는 연구대상지역에서 수생식물의 분포양상이 동물플랑크톤 군집에 미치는 영향을 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시기

본 조사지역은 환경부 지정 낙동강수계 호소 중 경상북도에 소재한 2개 저수지(풍락지, 기동지)와 경상남도

에 소재한 2개 저수지(장척호, 번개늪)를 대상으로 조사되었다. 각 조사지점은 2008년 7월부터 10월까지 월 1회, 4개 대상 저수지에서 2개 지점을 선정(pelagic and littoral zone)하여 각 조사지점의 표층수(1 m<)를 채취하였다(Fig. 1).

풍락지는 행정구역상 경상북도 영천시 청통면 대평리에 소재하며 농업용수로 이용하기 위해 1945년에 조성되었다. 수혜면적은 3.4 km²이고, 년 평균 수심은 약 5 m 정도이며, 만수위 저수면적은 0.6 km², 총저수량은 2,143.1 천 m³이다. 기동지는 경상북도 포항시 기계면 화봉리에 소재하고 농업용수로 이용하기 위해 1955년에 조성되었으며, 수혜면적은 2.0 km²이다. 년 평균 수심은 3 m이며, 만수위 저수면적은 0.2 km², 총저수량은 597.19천 m³이다. 장척호는 경남 창원군 영산면 신제리 소재의 평지형 저수지이다. 인근 번개늪과 200 m의 수로로 연결되어 있다. 인공적으로 조성된 농업용 저수지로 1940년에 조성되었으며, 수혜면적은 1.54 km²이고 년 평균 수심은 2.5 m이다. 만수위 저수면적은 0.5 km², 총저수량은 2,022.0 천 m³이다. 번개늪은 행정상 경상남도 창원군 계성면 봉산리에 소재해있다. 농업용 저수지이며 자연적인 습지상태를 유지해 각종 수생식물이 혼합된 식생분포를 보인다. 농업용수로 이용하기 위해 1926년에 조성되었으며,

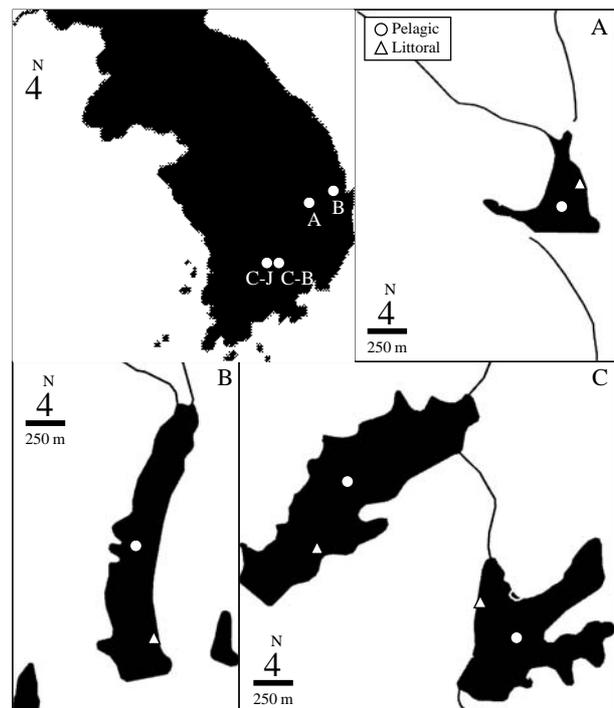


Fig. 1. Location of station sampled on 4 reservoirs (A: Pungrakji, B: Gidongji, C: C-J, Jangcheokho (left) and C-B, beongan-eup (right)).

수혜면적은 8.4 km²이고 년 평균 수심은 1.5 m이며, 만수 위 저수면적은 0.8 km², 총저수량은 2,280.25천 m³이다.

2. 수질 분석

이화학요인은 다 항목 수질 측정기 YSI-556MPS (pH, DO, water temperature, conductivity)를 이용하여 측정하였다. 투명도는 Secchi Disk를 통해 수심을 확인하였고 저수지의 중앙과 연안 모두에서 실시하였다.

3. 플랑크톤 분석

동물플랑크톤 채집은 수질 채수기 Van-dorn water sampler를 통해 5L 원수를 망목 64 µm 플랑크톤 네트(구경 60 cm)를 통해 필터링하여 농축하였다. 수집된 시료는 5% sucrose-formalin solution으로 고정하여 해부현미경 (ZEISS, Axio Imager M1), 광학현미경 (ZEISS, Stem SV 1)을 통해 속 또는 중 수준까지 분류하였으며 Smirnov and Timms (1983), Einsle (1993)에 따랐다. 2008년 여름철 조사된 수생식물은 낙동강수계 호소환경 및 생태조사 1년 차 보고서 (국립환경과학원 2008)에서 보고된 4개 저수지에 서식하는 주요 우점종과 상대분포를 참고하였다.

4. 서식처에 따른 군집 양상

시료 채취는 계절적으로 가장 현존량이 높은 여름철 (조사기간: 7~10월)에 실시하였고 각 저수지의 서식환경 조건에 따른 군집조성을 알아보기 위해 저수지 중앙 1개 지점과 연안 1개 지점을 통해 채집하였다. 조사기간 동안 동물플랑크톤 시료채집은 포식자 방어기작으로써 일주기 수평이동(DHM)을 고려하여 동일한 낮 시간에 이루어졌다.

여름철 수계환경에 따른 지역간 차이 분석 (pelagic zone and littoral zone)은 각 저수지의 시료를 통해 Mann-Whitney의 T-test를 이용하여 분석하였고 동물플랑크톤 군집 다양성은 primer 5.0을 이용하여 Shannon and Weaver

(1949)의 종 다양성 지수(H'), 우점도 지수(Simpson 1949), 종 풍부도 지수(Margalef 1958)를 분석하였다.

결 과

1. 환경요인

조사기간 평균 4개 저수지의 수온변화는 저수지 중앙 (pelagic zone)에서 25.1±0.5°C로 조사되었고 7월 평균 30.4±1.4°C에서 10월 평균 19.6±0.9°C로 지속적인 감소를 보였다. 저수지 연안 (littoral zone)은 4개 저수지 평균 24.4±3.8°C이었으며, 7월 평균 28.8±5.4°C에서 10월 평균 19.7±1.7°C로 감소함을 보였다. 4개 조사지역의 저수지 중앙과 연안의 수온변화는 월별 지속적인 감소를 보이거나 지역간의 큰 차이를 보이지 않았다 (t=0.399, p=0.690).

저수지 내 용존산소는 4개 저수지 평균 (7~10월) 저수지 중앙에서 6.6±1.5 mg L⁻¹, 연안에서 8.2±1.7 mg L⁻¹로 연안과 접하는 지점에서 다소 높게 조사되었고 7월 이후 10월까지 모든 지역에서 지속적인 감소를 보였다. 각 지역 내 지점별 용존산소 변화는 4개 저수지중 번개늪에서 지역간 유의한 차이를 보이거나 (t=-7.226, p<0.05) 번개늪을 제외한 3개 저수지에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 수소이온농도 (pH)는 4개 저수지 평균 (7~10월) 저수지 중앙에서 7.4±1.3, 연안에서 7.8±0.6으로 연안에서 다소 높게 조사되었으나 유의한 차이는 없었다. 4개 저수지의 월별 수소이온농도는 저수지 중앙과 저수지 연안 모두에서 7월 이후 감소하였고 특히 저수지 중앙에서 감소 폭이 다소 높게 조사되었다. 전기전도도 (electronic conductivity)는 4개 저수지의 저수지 중앙과 연안에서 각각 평균 189±0.0 µS cm⁻¹, 200±0.0 µS cm⁻¹으로 4개 저수지 지점별 큰 차이를 보이지 않았다 (t=-1.432, p=0.173). 4개 저수지의 지점 간 이화학요인변화는 조사기간 동안 다소 증감이 확인되었으나 매우 낮게

Table 1. Chemical, physical and limnological parameter of the study reservoirs during the period of July to October, 2008 (P: pelagic zone, L: littoral zone)

| Variable (avr.) | Pungrakji | | Gidongji | | Jangcheokho | | Beongaeneup | |
|------------------------------|-----------|--------|----------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| | P | L | P | L | P | L | P | L |
| Area (km ²) | 0.6 | | 0.2 | | 0.5 | | 0.8 | |
| Depth (m) | 3.7±0 | 0.5 | 3.9±1 | 0.5±1 | 2.2±0 | 0.5±0 | 0.5±0 | 0.5±0 |
| Secchi (m) | 1±0 | 0.5 | 0.8±1 | 0.3±1 | 1.1±0 | 0.4±1 | 0.5±0 | 0.5±0 |
| Water temp. (°C) | 26.1±4 | 26.3±6 | 24±5 | 24.1±6 | 25.8±6 | 22.2±2 | 24.4±5 | 25.0±2 |
| pH | 7.9±1 | 8.2±2 | 8.2±2 | 8.4±1 | 6.7±2 | 7.3±1 | 6.8±1 | 7.4±0 |
| DO (mg L ⁻¹) | 8.6±1 | 8.8±2 | 9.6±4 | 9±4 | 5.5±2 | 4.7±3 | 2.9±1 | 10.0±1 |
| Cond. (µS cm ⁻¹) | 0.2±0 | 0.2±0 | 0.2±0 | 0.2±0 | 0.1±0 | 0.1±0 | 0.2±0 | 0.3±0 |

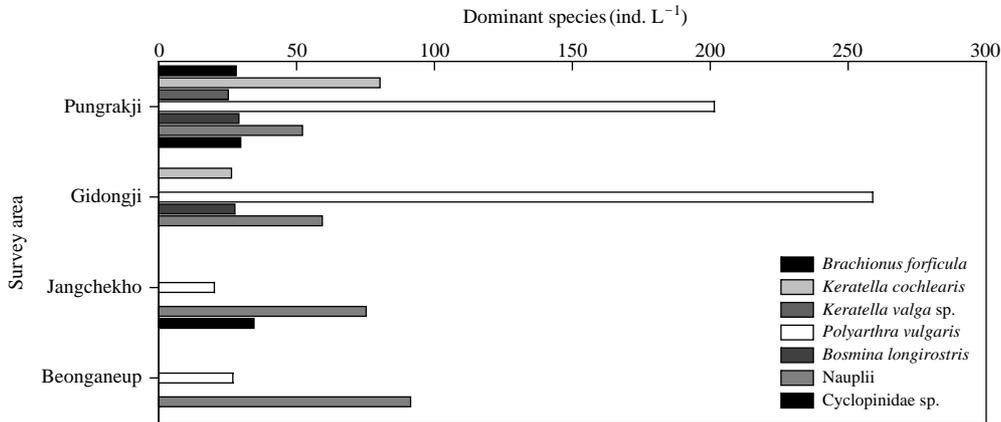


Fig. 2. Mean density of dominant species, during July to October, 2008.

나타났고 저수지 내 지점 간 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 1). 투명도는 여름철 농업용수 이용에 따라 각 지역 내 수위가 크게 감소함으로써 지점 간 (pelagic and littoral) 유의한 차이는 조사되지 않았다 (Table 1).

2. 여름철 동물플랑크톤 출현양상

여름철 조사기간 (7~10월) 동안 4개 저수지 내 출현한 동물플랑크톤 종 수는 전체 평균 49종으로 윤충류 37종, 지각류 8종, 요각류 4종이 조사되었다. 4개 조사지역 중 경상남도에 위치한 저수지인 장척호, 번개늪에서 각각 58종, 51종으로 다소 높게 조사되었고 풍락지, 기동지는 각각 43종, 44종으로 낮게 조사되었다. 4개 저수지 모두에서 가장 우점한 분류군은 소형 윤충류로 확인되었다.

4개 저수지의 여름철 평균 동물플랑크톤 현존량은 풍락지, 기동지에서 각각 501.2 ind. L⁻¹, 449.1 ind. L⁻¹로 높게 조사되었고 장척호, 번개늪이 각각 119.1 ind. L⁻¹, 81.0 ind. L⁻¹로 번개늪에서 가장 낮은 현존량을 보였다. 분류군별 밀도는 4개 지점 모두 윤충류가 가장 높게 조사되었고 풍락지에서 모든 분류군의 밀도가 높게 조사되었다. 가장 밀도가 높은 풍락지의 경우 윤충류의 상대 빈도가 높게 조사되었으며 조사기간 평균 201.4 ind. L⁻¹가 출현한 *Polyarthra vulgaris*가 우점하였고 *Keratella cochlearis* (80.3 ind. L⁻¹)가 아우점 하였다. 기동지도 윤충류인 *Polyarthra vulgaris*가 평균 258.9 ind. L⁻¹로 가장 크게 우점하였다. 장척호와 번개늪은 조사기간 평균 요각류 유생이 75.2 ind. L⁻¹, 91.3 ind. L⁻¹로 높게 출현하였다 (Fig. 2).

3. 저수지 중앙과 연안에 따른 분포

저수지 중앙과 연안의 동물플랑크톤 현존량 변화는 지점별 차이를 보였다. 4개 지역 평균 출현량은 저수지 중

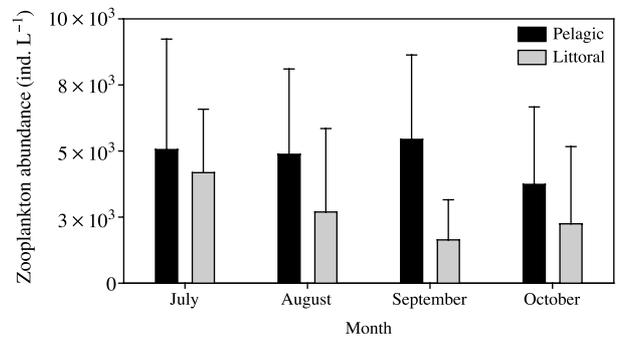


Fig. 3. Monthly variation of zooplankton on four reservoirs during July to October, 2008.

앙에서 477.5 ± 312.4 ind. L⁻¹로 높은 밀도를 보였다 (Fig. 3, t=2.337, p<0.05). 지점 간 동물플랑크톤 현존량은 이 화학적요인 변화에 낮은 상관성을 보이며 월별 평균 현존량은 저수지 중앙에서 높게 조사되었다 (Fig. 3).

4개 저수지 중 가장 높은 밀도가 조사된 풍락지에서 우점한 분류군은 윤충류 *Polyarthra vulgaris* (221.6 ind. L⁻¹)와 요각류 유생 (84.1 ind. L⁻¹)이었다. 저수지 연안의 수생 식물을 피난처로 활용하는 지각류 (Gerald 2004)도 저수지 중앙에서 *Bosmina longirostris* (36.5 ind. L⁻¹) 증가에 따라 다소 높게 나타났다. 기동지의 지점별 밀도는 윤충류 *Polyarthra vulgaris* (331.7 ind. L⁻¹)가 높게 출현함에 따라 저수지 중앙에서 전체 동물플랑크톤 현존량인 672.1 ind. L⁻¹가 조사되었다. 장척호의 여름철 월별 동물플랑크톤 변화는 저수지 중앙에서 다소 높은 현존량 (230.3 ind. L⁻¹)이 조사되었으나 지점 간 현존량 차이는 유의하지 않았다. 번개늪은 4개 저수지 중 가장 낮은 현존량을 보이는 지역으로 요각류 유생인 nauplii가 대부분 우점함에 따라 조사기간 평균 271.1 ind. L⁻¹로 다소 높게 조사되었다

(Fig. 2).

조사기간 동안 4개 저수지의 동물플랑크톤 군집의 다양성은 지점 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 종 다양성은 저수지 중앙에서 1.7 ± 0.6 , 연안에서 1.7 ± 0.4 로 거의

차이를 보이지 않았고 우점도 역시 저수지 중앙과 연안에서 각각 0.3 ± 0.2 , 0.3 ± 0.2 로 차이를 보이지 않았다. 종 풍부도는 저수지 연안에서 낮게 조사되었으나 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2, $t=0.33$, $p < 0.743$).

Table 2. Zooplankton variables of the reservoirs during the period of July to October, 2008

| | Habitat | Mean \pm SD | t | P |
|-----------------------------------|---------|-------------------|------|-------|
| Species | P | 13.0 \pm 7.3 | 1.13 | .271 |
| | L | 15.5 \pm 4.3 | | |
| Abundance (ind. L ⁻¹) | P | 268.9 \pm 250.1 | 2.09 | .046* |
| | L | 477.5 \pm 312.4 | | |
| Richness | P | 2.3 \pm 1.1 | 0.33 | .743 |
| | L | 2.4 \pm 0.6 | | |
| Diversity | P | 1.7 \pm 0.6 | 0.11 | .916 |
| | L | 1.7 \pm 0.4 | | |
| DI | P | 0.3 \pm 0.2 | 0.10 | .924 |
| | L | 0.3 \pm 0.2 | | |

P: pelagic zone, L: littoral zone, * $p < 0.05$

고찰

저수지나 습지에 서식하는 동물플랑크톤은 수온변화에 따라 여름, 가을철에 집중하여 출현한다. 이는 여름철 수심이 얇은 저수지의 수면을 덮는 부엽식물이나 부유식물이 잎이나 줄기에 부착된 유기물을 섭식하는 동물플랑크톤 군집증가에 큰 기여를 하기 때문이다.

얇은 저수지에서 수온이 상승하는 여름철에 수생식물이 연안에서 증가하며, 동물플랑크톤의 피난처 (refuge effect)를 제공함으로써 동물플랑크톤 밀도 증가에 영향을 미친다 (Eslander *et al.* 2009). 얇은 저수지 환경에 적합한 동물플랑크톤은 수서곤충이나 어류와 같은 포식자에

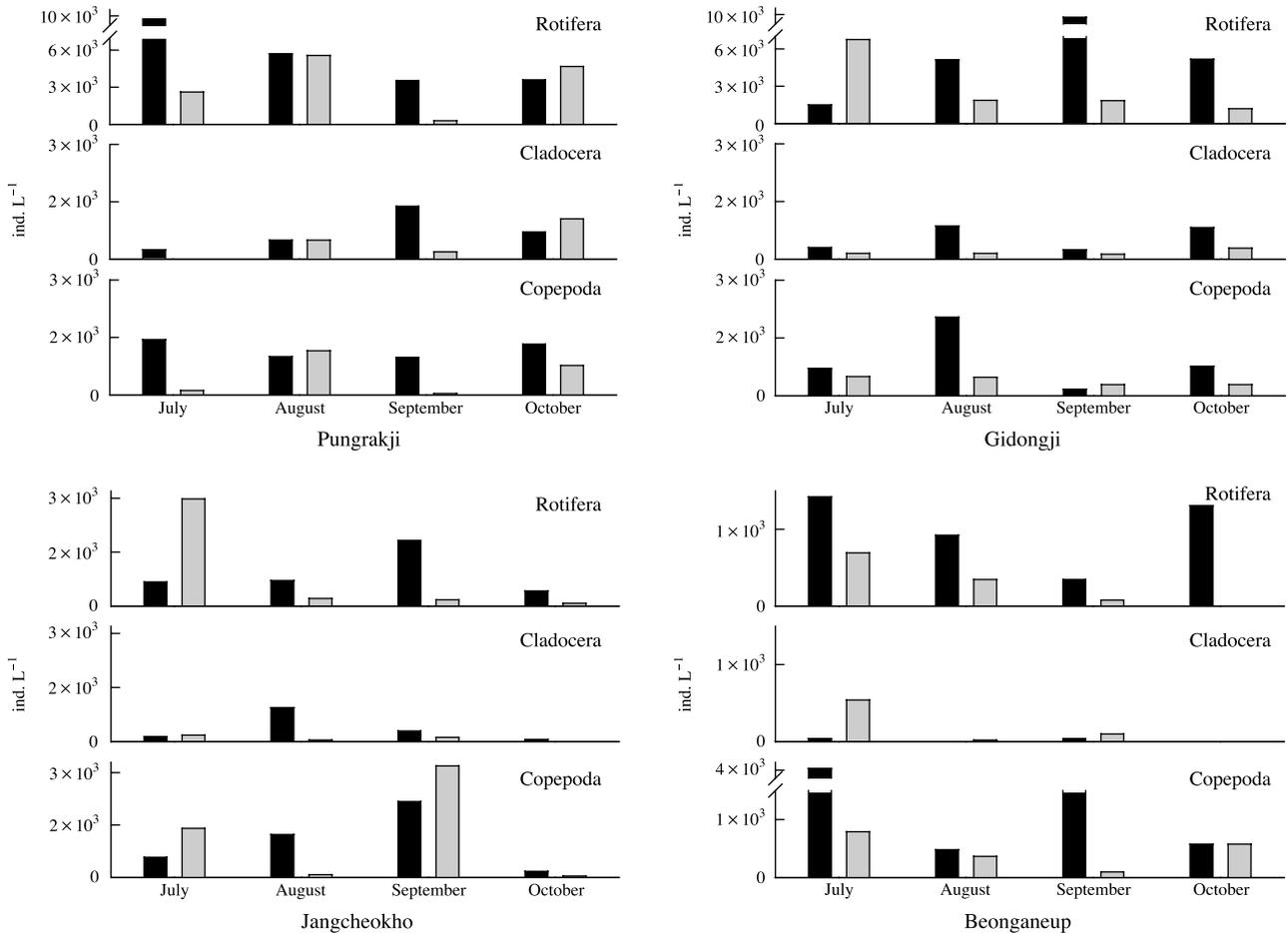


Fig. 4. Density of zooplankton group at pelagic zone and littoral zone during summer in reservoirs (Black column: pelagic zone, Gray column: littoral zone).

따라 일주기 수직이동(Lampert 1989), 일주기 수평이동(Kvam and Kleiven 1995; Wojtalm *et al.* 2003) 또는 동종간의 밀도 증가를 통한 무리를 형성(La *et al.* 2007) 함으로써 방어기작을 보인다. 이러한 방어기작을 통하여 동물플랑크톤은 연안에서 널리 번식하는 수생식물을 피난처로 활용하고 그 결과 포식압을 감소시키게 된다(Lauridsen *et al.* 1996; Burks *et al.* 2002). 결론적으로 수생식물 분포에 따라 동물플랑크톤 밀도가 포식자로부터 노출이 쉬운 저수지 중앙(pelagic zone)보다 연안(littoral zone)에서 상대적으로 높게 관찰되기도 한다(Lemly and Dimmick 1982).

본 연구에서도 여름철 연안에서 수생식물의 밀도 변화는 지역 내 동물플랑크톤 군집의 지역적 밀도 변화를 야기한다. 그러나 부엽식물이나 부유식물 등이 저수지에서 전체 수면을 덮는 경우 동물플랑크톤 현존량은 연안보다 중앙에 높게 분포하는 경향을 보인다(Fig. 4). 4개 저수지의 여름철 모든 정점에서 부영양화 성향을 보였으며 우점적으로 출현한 분류군은 지각류보다 윤충류로 조사되었다. 저수지 연안에서 수생식물들과 함께 빈번히 출현하는 *Bosmina*, *Alona*와 같은 지각류(Castilho-Noll *et al.* 2010)는 부영양호 저수지인 4개 저수지에서 오히려 매우 낮은 밀도를 보였다(Fig. 4). 여름철 수생식물 분포 지역 내에서 지각류의 낮은 밀도는 단순한 수온변화나 수질 변화에 기인한 것이 아니라 먹이 경쟁단계에서 상대적 우위에 있는 윤충류의 증가를 통한 상대적인 감소로 사료된다(Fulton and Paerl 1988).

낙동강수계 호소환경 및 생태조사 1년차 보고서(국립환경과학원 2008)에 따르면 조사기간 내 출현한 수생식물의 상대 분포는 저수지에 따라 차이를 보인다. 여름철 수생식물은 장척호, 번개늪의 수면에서 크게 우점(81.0%, 92.5%)을 보인 반면 기동지는 4개 저수지 중 가장 낮은 밀도(4.3%)를 보였다. 풍락지, 기동지의 2개 저수지는 수심변화가 크지 않으며 여름철 저수지 연안에만 수생식물(aquatic macrophytes)이 분포함으로써 수면 노출이 큰 반면 장척호, 번개늪은 수심이 매우 낮고(Ca. 0.5~2.1m) 전 수면을 모두 수생식물이 뒤덮음으로써 여름철 수면 노출이 거의 없다.

풍락지 내 여름철 수생식물은 *Trapa japonica*를 포함한 *Zizania latifolia* 군락이 저수지 연안을 크게 우점하며, 낙동강수계 호소환경 및 생태조사 1년차 보고서(국립환경과학원 2008)에 따르면 전반적으로 수면의 45%가 수생식물으로써 우점하였다. 기동지도 저수지 중앙에는 수생식물이 거의 분포하지 않고 연안을 따라 부엽식물인 *T. japonica*가 분포하였다. 반면 장척호는 여름철 저수지 내 대부분 수면을 수생식물이 우점함으로써(Fig. 5) 저수

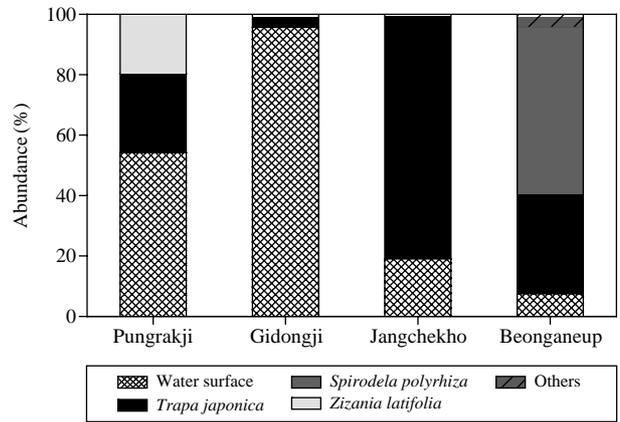


Fig. 5. Relative abundance of major Macrophytes covering water surface during summer.

지 중심에는 부엽식물인 *T. japonica*가 가장 많은 분포를 보이며 저수지 연안에는 부엽식물인 *Hydrocharis dubia*가 우점하였다. 번개늪 또한 부엽식물인 *T. japonica*가 높은 밀도를 보였고 부유식물인 *Spirodela polyrhiza*와 함께 수면을 90% 이상 우점한다(국립환경과학원 2008).

수생식물분포는 풍락지, 기동지의 경우 4개 저수지 중 매우 낮은 밀도로 분포하고 저수지 연안에 집중되어 출현하지만 동물플랑크톤 군집은 저수지 중심에 오히려 높은 밀도로 출현함으로써 수생식물 출현 유무와 음의 상관성을 보였다. 또한 부유식물이나 부엽식물이 오히려 저수지 중앙과 연안을 모두 덮고 있는 장척호, 번개늪의 동물플랑크톤 분포는 저수지 중앙에서 높게 조사되었다. 결과적으로 수생식물이 호소 내에 부분적으로 분포할 경우 동물플랑크톤 군집은 저수지 내 지역별(littoral and pelagic) 차이를 보이며, 수생식물이 전 수면을 모두 덮을 경우 플랑크톤 분포가 제한된 연안지역에서 증가하기 보다 전 지역에 산재되거나 오히려 저수지 중앙에서 밀도가 증가하는 것으로 나타났다.

저수지 연안에서 동물플랑크톤 현존량이 증가하는 일반적인 성향과는 달리 본 연구결과는 포식자 노출이 쉬운 낮에 샘플링 함에도 불구하고 플랑크톤 밀도는 저수지 중앙이 높게 조사됨을 보여준다. Jeppesen *et al.* (1998)의 연구 결과에 따르면 호소중앙에서 포식압이 낮게 조사된 것과 상응한 결과로써 여름철 연안에서 치어나 수서곤충등 포식자의 높은 출현이 동물플랑크톤에게 위협으로 작용됨으로써 포식자 밀도는 중앙에서 오히려 낮게 조사된다.

호수나 저수지에서 수생식물분포에 따른 동물플랑크톤의 분류군별 출현은 일반적으로 여과 섭식을 하는 지각류의 출현이 빈번하게 조사되나 국내 저수지의 경우

대조적으로 부영양화에 따른 수계 특성상 윤충류 군집에 높은 상관성을 보여주고 있다(Armengol *et al.* 1998). 또한 조사지역 내 요각류 출현은 nauplii의 지역간 차이를 보이나 cyclopoid copepod의 출현은 거의 조사되지 않았으며 수생식물을 피난처로 하는 지각류나 윤충류와 달리 빠른 유영능력을 가짐으로써 환경변화에 따른 이동성을 통한 결과로 사료된다(Vuorinen 1987; Cordell and Simentad 1997).

향후 보완적인 연구 계획은 포식자와 피식자의 출현에 생물학적 실험과 수계환경 특성에 따른 수문학적 연구가 필요하다. 1) 수계 특성에 따라 저수지 중앙이나 연안에 서식하는 수생식물과 어류나 저서 무척추동물의 포식압이 동물플랑크톤 분포에 미치는 영향을 알아보기 위해(Dineen and Robertson 2010) 실험적 연구가 수행되어야 할 것이다. 2) 또한 생물학적 요인이 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 동시에 수문학적 요인도 중요하다. 특히 농업용 저수지의 여름철 저수량 증감은 저수지 수체의 불안정한 상태를 유지하게 됨으로써 동물플랑크톤 군집 내 종조성 및 현존량 변화의 큰 요인으로 작용하게 된다. 그러므로 국내 호소는 여름철 대부분 부영양화 성향을 띠고 있는 만큼 수화현상에 따른 종 분포차이를 보이게 됨으로써 수질특성과 생물학적 관계 연구도 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 끝으로 본 연구결과는 국내 농업용수로 대부분 활용되는 부영양호 저수지의 수생식물에 따른 동물플랑크톤의 생태학적 분포패턴 연구를 위한 기초 자료로 활용가능 할 것이다.

적 요

본 연구에서는 낙동강 수계의 농업용수로 활용되는 수심이 낮은 4개 저수지의 중앙과 연안에서 서식하는 동물플랑크톤 군집을 조사하였다. 4개 지역의 조사기간 동안 평균 동물플랑크톤 현존량은 저수지 중앙에서 $477.5 \pm 312.4 \text{ ind. L}^{-1}$ 로 높게 조사되었고, 저수지 중앙과 연안을 비교 시 유의한 차이를 보였다(Fig. 3, $t=2.337$, $p<0.05$). 대부분 우점한 분류군은 소형 윤충류로 지역간 차이를 보였다. 이러한 결과는 저수지 내 이화학요인 결과와는 유의한 차이를 보이지 않았다.

일반적으로 저수지 연안에서 수생식물의 밀도가 증가하면 동물플랑크톤도 연안에서 높은 밀도를 보인다. 하지만 4개 저수지의 여름철 수생식물 분포는 지역간 차이를 보이며 얕은 저수지의 전 수면을 *Trapa japonica*, *Spirodela polyrhiza* 등 부유식물이나 부엽식물 등으로 뒤덮는 경우 동물플랑크톤 밀도는 저수지 연안(littoral)과

비교 시 중앙(pelagic)에서 높게 조사되었다.

저수지 중앙과 연안의 동물플랑크톤 서식지 선택에 있어 수생식물은 중요한 요인으로 작용된다. 그리고 수생식물의 높은 밀도로 인해서 항상 연안의 동물플랑크톤 밀도가 증가하지는 않는다. 게다가 전 수면을 수생식물이 덮을 경우 저수지 중앙의 동물플랑크톤 군집은 크게 증가한다. 결론적으로 저수지 내 동물플랑크톤 군집은 포식압 노출에 영향을 미치는 수생식물 분포에 영향을 받으며 요각류나 지각류 보다 윤충류에서 크게 차이를 보인다.

사 사

본 연구는 2008년도 국립환경과학원 환경기초조사사업으로 '낙동강수계 호소환경 및 생태 조사' 과제를 통해 분석된 연구 결과임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 국립환경과학원. 2008. 낙동강수계 호소환경 및 생태조사 1년 차 보고서. pp. 418-478.
- 국립환경과학원. 2009. 낙동강수계 호소환경 및 생태조사 2년 차 보고서. pp. 541-551.
- 김현우, 라금환, 정광석, 박중환, 허유정, 김상돈, 나정은, 정명화, 이학영. 2010. 국내 남서부지역 호수 및 저수지 생태계의 플랑크톤 동태 변화. 환경생물. 28:86-94.
- Armengol X, A Esparcia and MR Miracle. 1998. Rotifer vertical distribution in a strongly stratified lake: a multivariate analysis. *Hydrobiologia* 387/388:161-170.
- Burks RL, DM Lodge, E Jeppesen and TL Lauridsen. 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefit of inhabiting the littoral. *J. Freshwat. Biol.* 47:343-365.
- Castilho-Noll MSM, CF Camara, MF Chicone and EH Shibata. 2010. Pelagic and littoral cladocerans (Crustacea, Anomopoda and Ctenopoda) from reservoirs of the Northwest of Sao Paul State, Brazil. *Biota Neotrop.* 10:21-30.
- Cordell JR and CA Simentad. 1997. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Mar. Biol.* 129:309-317.
- Dineen G and AL Robertson. 2010. Subtle top-down control of a freshwater meiofaunal assemblage by juvenile fish. *J. Freshwat. Biol.* 55:1818-1830.
- Einsle U. 1993. Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. In *Susswasserfauna von Mitteleuropa* (Schwoerbel J and P Zwick eds.). Gustav Fischer Verlag, 8(4-1): 1-209.
- Estlander S, L Nurminen, M Olin, M Vinni and J Horppila. 2009. Seasonal fluctuation in macrophyte cover and water trans-

- parency of four brown-water lakes; implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 620:109-120.
- Fulton RS and HW Paerl. 1988. Effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on zooplankton competitive relations. *Oecologia* 76:383-389.
- Geraldes AM and MJ Boavida. 2004. Do littoral macrophytes influence Crustacean zooplankton distribution? *Limnetica* 23:57-64.
- Jeppesen E, JP Jensen, P Kristense, M Sondergaard, E Mortensen, O Sortkjar and K Olrik. 1990. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic temperate lakes 2: threshold levels, long term stability and conclusions. *Hydrobiologia* 200/201:219-227.
- Jeppesen E, T Lauridsen, T Kairesalo and MR Perrow. 1998. Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interaction: large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. *J. Freshwat. Biol.* 33:255-270.
- Kairesalo T, I Tatrai and E Luokkanen. 1998. Impacts of waterweed (*Elodea canadensis* Michx) on fish-plankton interactions in the lake littoral. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1846-1851.
- Keppeler EC. 2003. Abundance of zooplankton from different zones (pelagic and littoral) and time periods (morning and night) in two Amazonian meandering lakes. *Acta Sci. Biol. Sci.* 25:287-297.
- Kvam OV and OT Kleiven. 1995. Diel horizontal migration and swarm formation in *Daphnia* in response to *Chaoborus*. *Hydrobiologia* 307:177-184.
- La GH, HG Jeong, MC Kim, HW Kim and GJ Joo. 2007. The field observation on the littoral swarming of cladocera (*Scapholeberis kingi* Sars. 1903) and the correlation with environmental factors. *Korean J. Limnol.* 40:581-585.
- Lampert W. 1989. The adaptive significance of diel vertical migration of zooplankton. *Funct. Ecol.* 3:21-27.
- Lauridsen TL, LJ Pedersen, E Jeppesen and M Sondergaard. 1996. The importance of Macrophytes bed size for cladoceran composition and horizontal migration in a shallow lake. *J. Plankton Res.* 18:2283-2294.
- Lemly AD and JF Dimmick. 1982. Structure and dynamics of zooplankton communities in littoral zone of some North Caroline lakes. *Hydrobiologia* 88:299-307.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Sys.* 3:36-71.
- Pace M. 1986. An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients¹. *Limnol. Oceanogr.* 31:45-55.
- Polunin NVC. 1984. The decomposition of emergent macrophytes in freshwater. *Adv. Ecol Res.* 14:115-173.
- Riccardi N. 2002. *In situ* measurement of *Daphnia longispina* grazing on algae and bacteria in high mountain lake (Lake Paione superiore, Northern Italy) using fluorescently labeled cells. *Water Air Soil Pollut.* 27:343-357.
- Scourfield DJ and JP Harding. 1958. A key to the British species of freshwater Cladocera 2nd, *Freshwater. Biol. Assoc. Sci. Publ.* 55pp.
- Shannon E and W Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana. 117pp.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity, *Nature* 163:688.
- Smirnov NN and BV Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacea). *Records Austr. Museum Suppl.* 1:132.
- Vuorinen I. 1987. Vertical migration of *Eurytemora* (Crustacea, Copepoda): a compromise between the risks of predation and decreased fecundity. *J. Plankton Res.* 9:1037-1046.
- Wetzel RG and GE Linkens. 1983. *Limnology* 2nd Saunders College Publishing, Philadelphia. 860pp.
- Wojtalm A, P Frakiewicz, K Izydorczk and M Zalewski. 2003. Horizontal migration of zooplankton in a littoral zone of the lowland Sulejow Reservoir (Central Poland). *Hydrobiologia* 506/509:339-346.

Manuscript Received: October 13, 2010

Revision Accepted: November 9, 2010

Responsible Editor: Ho Young Soh