

인공호수(옥정호) 내 동물플랑크톤 동태 및 군집 여과율의 수직적 변화

라 공 환 · 이 학 영¹ · 김 현 우*

순천대학교 환경교육과, ¹전남대학교 생물학과

The Vertical Changes of Zooplankton Dynamics and Community Filtration Rate in the Artificial Lake (Okjeong Lake)

Geunghwan La, Hak Young Lee¹ and Hyun-Woo Kim*

Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742

¹Department of Biological Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757

Abstract - The vertical changes (upper layer: 0~0.5 m, middle layer: 4~5 m and lower layer: 8~10 m) of the limnological variables, zooplankton dynamics and community filtration rate on the phytoplankton were evaluated monthly intervals from November 2004 to June 2007 at the artificial lake (Okjeong Lake). During the study, the annual mean of water temperatures were $15.2 \pm 7.8^\circ\text{C}$ (upper layer), $14.5 \pm 7.4^\circ\text{C}$ (middle layer) and $13.0 \pm 6.2^\circ\text{C}$ (lower layer), respectively ($n=30$). The vertical variations of most limnological parameters (DO, pH, conductivity and turbidity) were fairly similar, except for chl.-a concentration. Annual mean of chl.-a concentration was highest at the upper layer ($21.4 \mu\text{g L}^{-1}$), while annual means of concentrations were low at the middle layer and lower layer ($4.3 \mu\text{g L}^{-1}$ and $3.5 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively). Annual mean of Secchi depth was 261 cm ($n=30$). A total 45 species of zooplankton were identified (28 rotifers, 12 cladocerans and 5 copepods) during the study. The mean abundance of rotifers was highest ($124 \pm 232 \text{ ind. L}^{-1}$, $n=90$) and that of cladocerans and copepods were relatively low ($22 \pm 56 \text{ ind. L}^{-1}$ and $13 \pm 30 \text{ ind. L}^{-1}$) in the whole layer. Total zooplankton abundance increased from late spring to summer, and then declined and remained low throughout the winter. The annual mean of total zooplankton filtration rate for phytoplankton at the lower layer was much higher than that of both layers (upper layer: 44.4 ± 107.8 , middle layer: 95.1 ± 436.4 and lower layer: $158.2 \pm 436.4 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$). Among the major zooplankton community, relative community filtration rate (RCFR, %) of copepods for phytoplankton (50.2~54.8%) was much higher than that of cladocerans (27.7~36.3%) and rotifers (8~17.6%). The seasonal variation of RCFRs of major zooplankton community was observed. The RCFRs of rotifers were high in winter (44.6%, $n=9$), while the RCFRs of cladocerans were high in summer (58.0%, $n=7$). In spring and fall, the RCFRs of copepods were high in the whole layer (spring: 67.4%, $n=9$; fall: 74.4%, $n=5$).

Key words : zooplankton, vertical changes, community filtration rate, phytoplankton, copepods

*Corresponding author: Hyun-Woo Kim, Tel. 061-750-3384, Fax. 061-750-3384, E-mail. hwkim@sunchon.ac.kr

서론

담수생태계의 먹이환 연구에서 일차생산자와 다양한 동물플랑크톤의 기능적 중요성에 대한 실험적인 연구 이후 (Gliwicz 1969; Confer and Blades 1975), 주요 동물플랑크톤 군집 및 종에 대한 수 환경 내 부유물질의 섭식여과율을 정량화하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어져 왔다 (Starkweather 1980; Lair 1992; Sahuquillo *et al.* 2007). 일부 포식성 동물플랑크톤 종을 제외한 대부분의 율충류, 지각류 및 요각류는 박테리아, 유기쇄설입자 및 식물플랑크톤을 여과 섭식한다 (DeMott 1982; Lair and Oulad Ali 1990). 정수생태계에서 동물플랑크톤의 천이는 생물학적 요인 중 식물플랑크톤의 생체량과 구성에 의해 영향을 받으며 (Sommer *et al.* 1986), 수온, 빛 및 pH와 같은 다양한 환경적 인자들에 의해 분포가 크게 변화하기도 한다 (Hall *et al.* 1976).

국내 정수생태계의 경우 동물플랑크톤 동태에 대한 연구는 제한적으로 이루어졌으며 (Yoo 1990; Kim and Kang 2003), 특히 동물플랑크톤과 다양한 생물상 간의 상호작용에 관한 기능적 고찰을 위한 정보는 미흡한 실정이다 (Uhm and Hwang 2006). 정수생태계에서 동물플랑크톤의 수심별 개체 분포는 균등하지 않으며 (Ambler *et al.* 1991; Kvam and Kleiven 1995), 군집, 각 종별 특성 및 포식압에 따른 일주기성으로 인해 수심별로 분포의 차이를 보이기도 한다 (Magnien and Gilbert 1983; Neil 1992; Lagergren *et al.* 2008). 특히 정수생태계에서 상·하위 영양단계의 탄소순환 과정은 동물플랑크톤 군집 및 종들이 나타내는 계절별 또는 수심별 동태와 밀접한 상관관계를 가지는 것으로 여겨지고 있다. 이러한 상관

관계에 대한 실험적 연구 및 고찰은 호수 전체의 탄소순환에 중요한 정보를 제공하며, 최근 활발히 연구되고 있는 수 환경 변화에 대한 생태적 모델 분야의 환경변화 인자로서 활용이 높을 것으로 파악된다.

따라서, 본 연구에서는 지난 약 3년간 인공호수(옥정호) 내에서 동물플랑크톤의 연간 종 조성 및 군집동태 연구와 아울러 수층별 식물플랑크톤에 대한 동물플랑크톤의 상대적 여과 섭식 기여율을 파악해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 개황 및 시료 채집

옥정호는 전라북도 임실군의 섬진강 상류에 위치한 인공호소로 1965년에 현재의 댐으로 축조되었다 (높이 64 m, 길이 344 m, 최대저수용량 4.7억 톤, 최대수심은 50 m, 평균수심은 약 15 m, 체류시간 0.39년). 옥정호의 유역면적은 763 km²이며 임야 및 농경지 비율이 각각 전체 체유역 면적의 약 74%, 15% 이상을 차지한다. 동물플랑크톤 시료 채집 및 여과실험을 위한 원수는 2004년 11월부터 2007년 6월까지 월 1회 간격으로 옥정호 댐 앞 지점 (N: 35°32'30.86", E: 127°06'37.29")에서 수층별로 (표층: 0~0.5 m, 중층: 4~5 m, 하층: 8~10 m) 채수하였다 (Fig. 1).

2. 육수학적 환경요인

조사기간 동안 각 수층별 수온, 용존산소량 (YSI 58 DO meter), pH (Orion 407A pH meter), 전기전도도 (Fischer 152 Conductivity meter), 탁도 (Shaban 20052 Turbidity

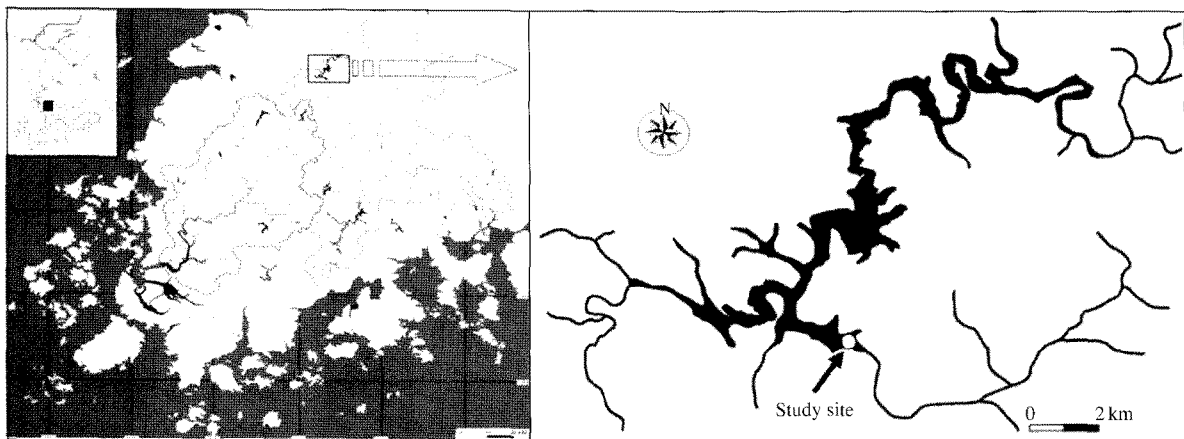


Fig. 1. Map of the Okjeong Lake basin and study site (○).

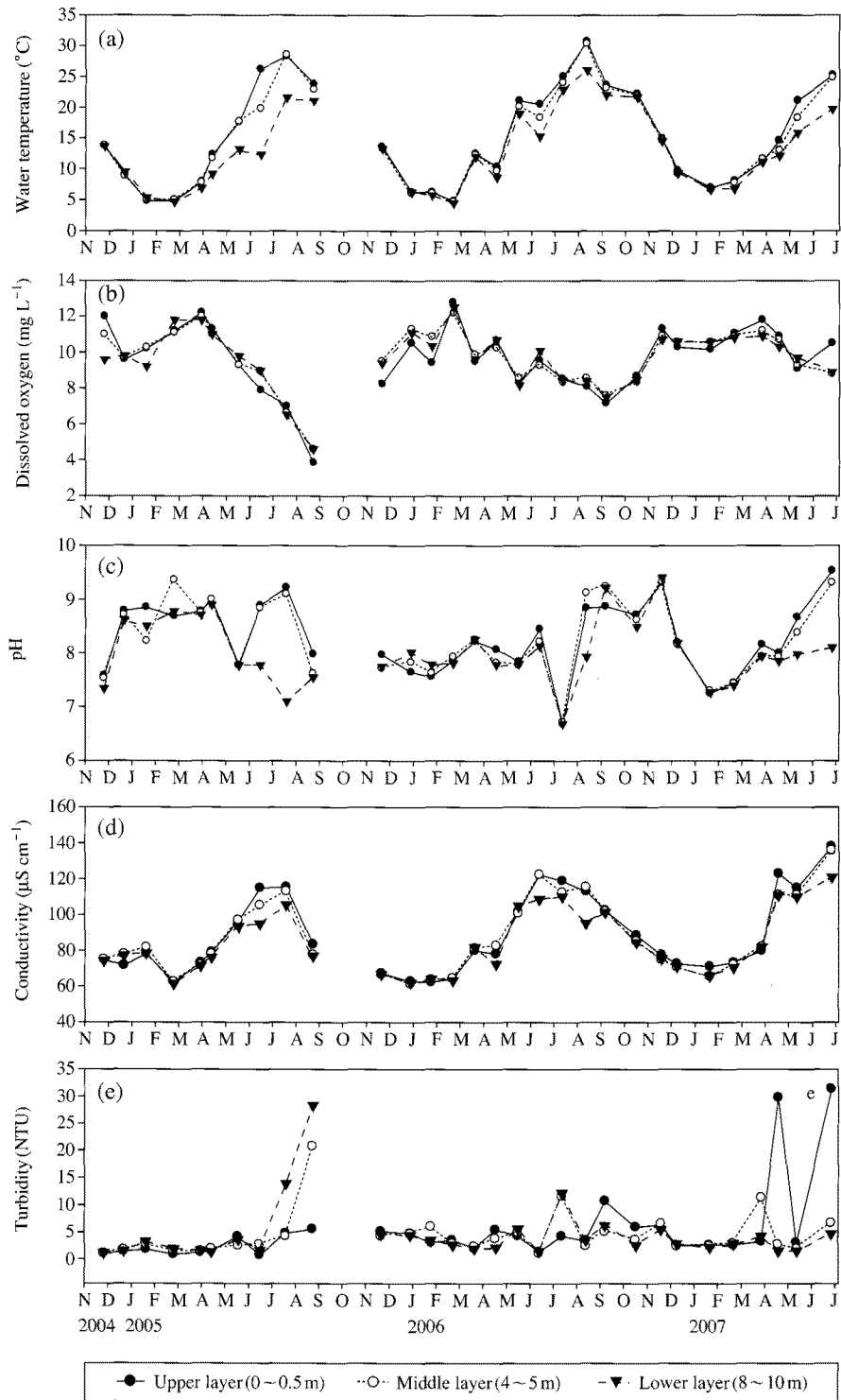


Fig. 2. Vertical changes in basic limnological parameters: (a) water temperature, (b) dissolved oxygen, (c) pH, (d) conductivity, and (e) turbidity at study site.

meter) 및 Secchi 투명도를 측정하였다. 생물학적 요인 중 Chl. *a* 농도는 수층별 원수 300 mL을 이용하여 Wetzel and Likens (2000) 방법에 따라 측정하였다.

3. 동물플랑크톤 채집, 동정 및 군집 여과율 평가

동물플랑크톤은 수층별로 원수 20리터를 망목 크기

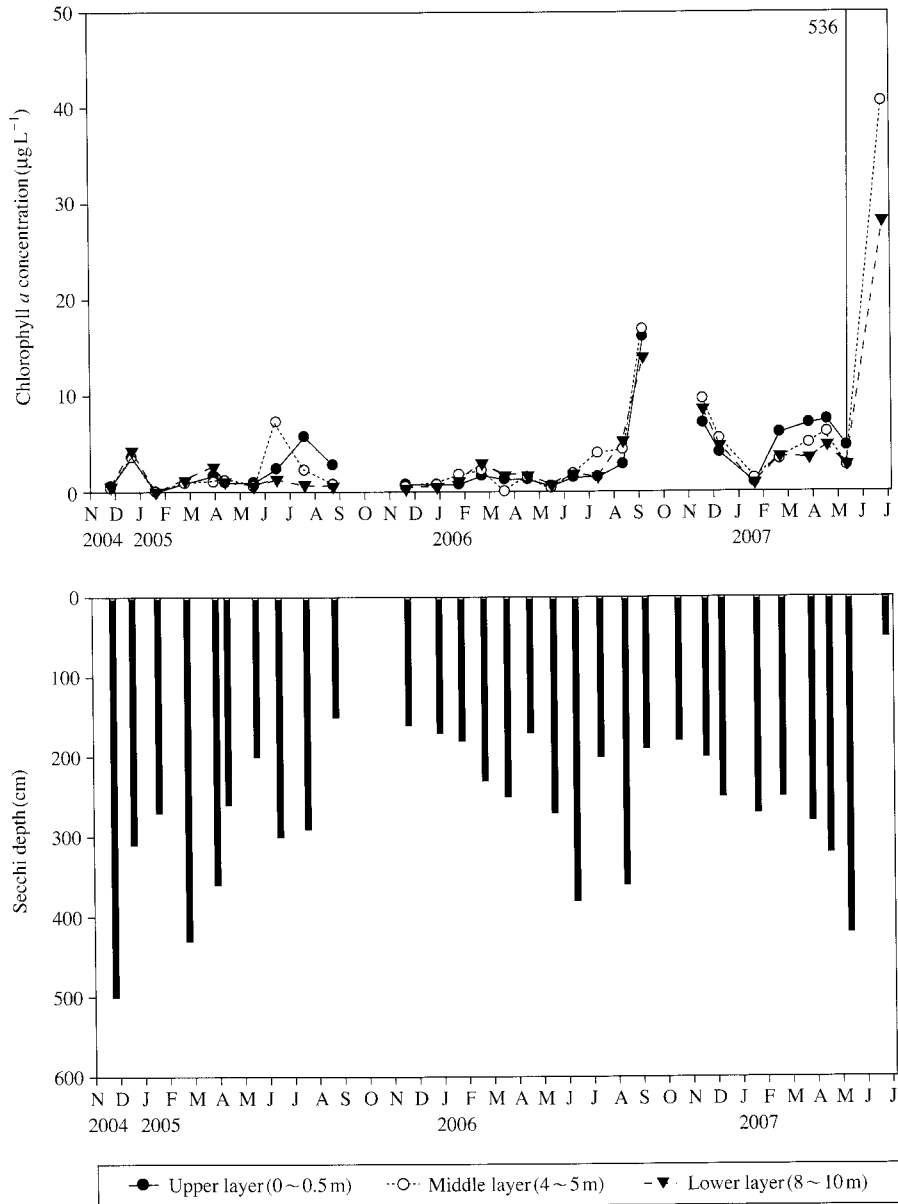


Fig. 3. Vertical changes of chlorophyll *a* concentration and changes in monthly Secchi depth at study site.

32 µm 네트로 여과하여 농축하였다. 포르말린으로 고정된(최종농도 4~5%) 시료는 실험실에서 중 및 속의 수준까지 동정 후 계수하여 원수 리터당 개체수로 환산하였다(Koste 1978; Smironv and Timms 1983; Einsle 1993). 식물플랑크톤의 섭식률 평가를 위해 2004년 11월부터 2007년 6월까지 분기별로 1회 이상 우점 동물플랑크톤을 대상으로 라텍스 소재의 직경 10 µm 형광 비드를 이용하여 0, 2, 5, 10, 20, 30분(n=3)에 걸쳐 섭식 실험 후 체내의 형광 비드 수를 계수하여 조사지점 내 수층별(상층, 중층, 하층) 그리고 월별 주요 동물플랑크톤의 군집 여과율을 평가하였다(Kim *et al.* 2000). 실험기간 중

총 동물플랑크톤 출현 개체 수의 5% 이하인 종 등은 기존에 보고된 종 특이적 여과 섭식률을 활용하여 군집 여과율을 평가하였다(Bogdan and Gilbert 1982; Lair 1991; Sahuquillo *et al.* 2007).

결 과

1. 육수학적요인의 변화

조사기간 동안 육정호의 수층별 평균 수온은 각각 상층 15.2±7.8°C, 중층 14.5±7.4°C 그리고 하층은 13.0±

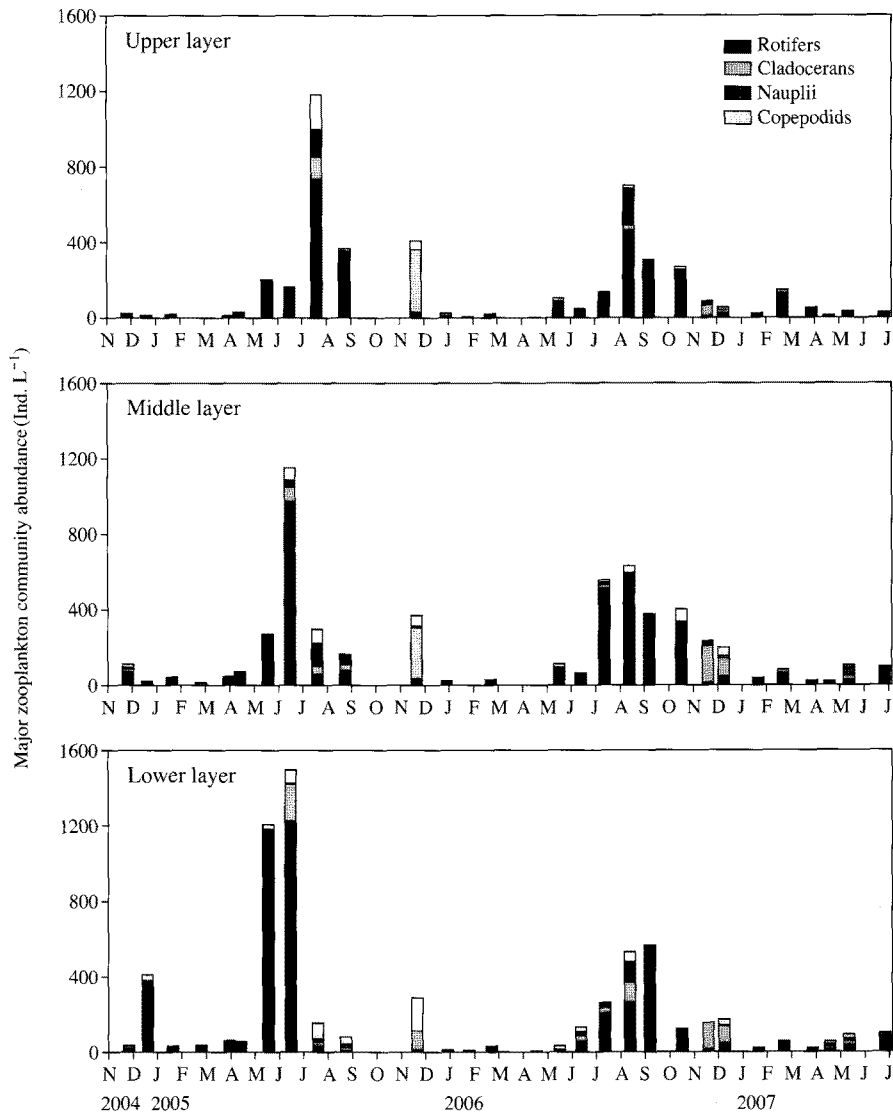


Fig. 4. Seasonal and vertical changes in the abundance of dominant zooplankton at study site.

6.2°C를 ($n=30$) 나타내었다. 매년 5월 이후부터 수층별로 온도차이를 나타내었으며 10월 이후에는 각 수층별 수온의 차이는 뚜렷하지 않았다 (Fig. 2a). 각 수층별 용존산소량의 경우 연평균 9.68~9.73 mg L⁻¹로 상층, 중층 및 하층 간의 차이가 작았다. 전반적으로 겨울(12월부터 2월)과 봄(3월부터 5월)에 높고 여름과 가을에 낮은 용존산소량을 나타내었다 (Fig. 2b). pH는 2005년 6월과 7월 및 2007년 6월 조사를 제외하고 수층 및 계절별로 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다 (Fig. 2c). 전기전도도는 상층부터 하층까지 각각 연평균 84~88 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 유사하였고, 계절별로는 겨울보다 여름인 6월부터 9월 사이에 높은 농도를 나타내었다 (Fig. 2d). 연평균 탁도는 상층의 경우 5.3 NTU, 중층 4.3 NTU 그리고 하층은 4.5

NTU로 수층별 차이는 뚜렷하지 않았으나, 2005년 8월 및 2006년 7월의 경우 하층에서, 2007년 4월과 6월에는 상층에서 높은 탁도를 나타내었다 (Fig. 2e).

Chl. *a*의 경우 조사기간 동안 상층에서 평균 21.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, 중층과 하층에서는 각각 4.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ 와 3.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 수층에 따라 큰 차이를 보였다. 2005년 연평균 Chl. *a*는 1.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, 2006년은 3.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 다소 높았다. 2007년 6월에는 *Peridinium sp.*에 의한 수화현상으로 인해 Chl. *a*가 상층에서 최대 536 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 매우 높은 농도로 나타났다 (Fig. 3). 육정호의 Secchi 수심은 조사기간 중 최소 50 cm (2007년 6월)에서 최대 500 cm (2004년 11월)의 변화 폭을 보였으며, 평균 261 cm로 높은 Secchi 수심을 나타내었다. 계절별로 봄 기간 동안 다소 높았고, 여름

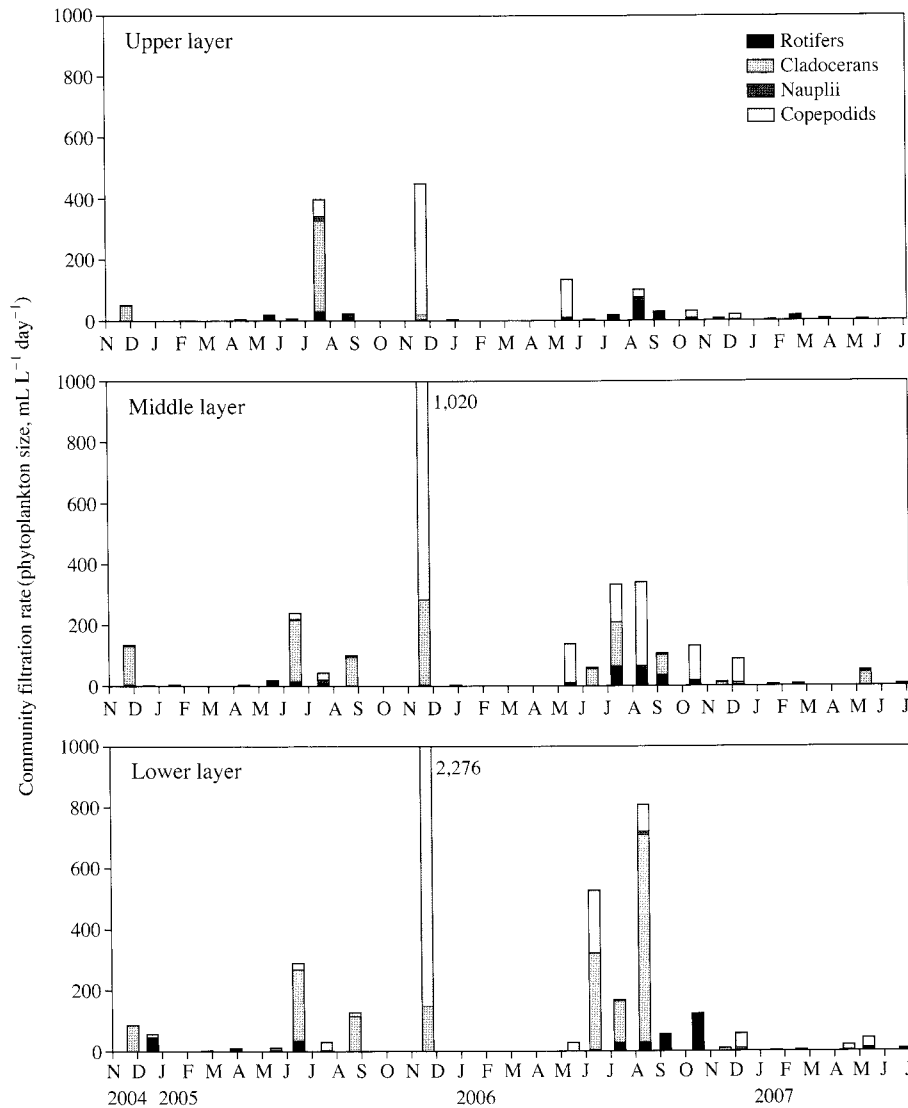


Fig. 5. Seasonal and vertical changes of major zooplankton community filtering rates on ($\text{mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$) phytoplankton.

및 겨울에 상대적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 3).

2. 동물플랑크톤 개체군의 동태

조사기간 동안 출현한 총 종수는 45종으로 윤충류 28종, 지각류 12종 그리고 요각류 5종이 동정되었다. 전 수층에서 윤충류의 밀도가 가장 높았으며 (평균 124 ± 232 개체 L^{-1} , $n=90$), 지각류 (22 ± 56 개체 L^{-1}) 그리고 요각류 (13 ± 30 개체 L^{-1})의 평균 개체수는 상대적으로 낮았다. 각 수층별 윤충류의 평균밀도는 상층, 중층 그리고 하층에서 각각 102, 124 및 154 개체 L^{-1} 로 하층으로 갈수록 밀도가 높았으며, 수층별 지각류와 요각류의 평균 밀도 변화 또한 유사한 경향성을 나타내었다(Fig. 4). 우

점 분류군은 *Polyarthra* spp., *Keratella cochlearis*, *Conochilus* sp., *Brachionus angularis* 및 *Trichocerca* spp. 이었으며 *B. angularis*는 대부분 상층에 분포한 반면 *K. cochlearis*는 하층에서의 밀도가 가장 높았다. 주요 동물플랑크톤 군집은 늦봄부터 여름철에 걸쳐 전 수층에서 증가하는 경향성을 보였으며 연간 총 동물플랑크톤의 밀도 차이는 2005년과 2006년 사이에 뚜렷한 것으로 파악되었다(Fig. 4).

3. 동물플랑크톤의 여과 섭식률

주요 동물플랑크톤 군집에 의한 식물플랑크톤 여과율은 수층별로 현격한 차이를 나타내었다(Fig. 5). 총 동물

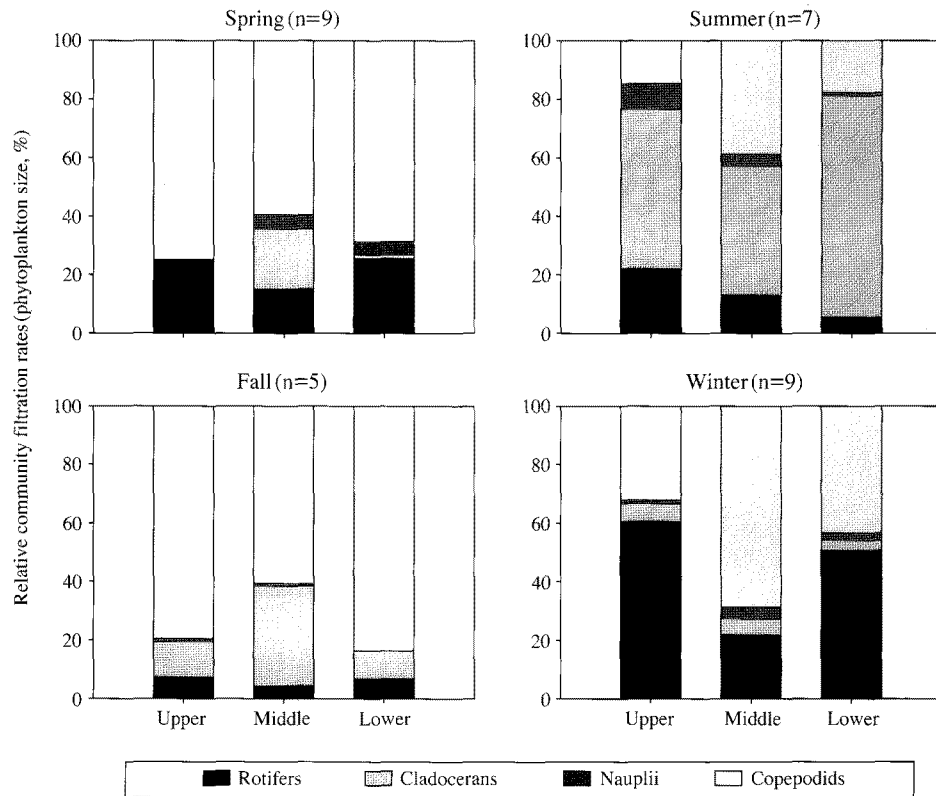


Fig. 6. Seasonal and vertical changes of relative community filtration rates (%) on phytoplankton.

플랑크톤의 수층별 상·중·하층의 평균 식물플랑크톤 여과 섭식률은 각각 44.4 ± 107.8 , 95.1 ± 198.6 그리고 $158.2 \pm 436.4 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 로 하층에서 가장 높았으며, 분류군별 상대적 여과섭식기여율(%)은 윤충류 8.0~17.6%, 지각류 27.7~36.3%, 그리고 요각류는 50.2~54.8%를 나타내었다. 수층별 주요 동물플랑크톤 군집 여과율에서 윤충류는 상층($7.8 \pm 11.8 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$)과 중층($8.9 \pm 15.5 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$)보다 하층($12.7 \pm 25.3 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$)에서 높았고, 지각류와 요각류의 경우도 유사한 경향을 보였다. 2005년 6월과 7월의 경우 상층에서는 *Daphnia pulex*, 중층과 하층에서는 *D. galeata*의 증가에 의해 지각류의 군집 여과율이 크게 나타났으며, 2006년 6월부터 8월의 경우 6월에는 *D. pulex*, 7월과 8월에는 *D. galeata*에 의해 높은 군집 여과율이 나타나 수층별 또는 계절에 따른 변화를 보이기도 하였다. 특히 2005년 11월에는 하층에서 요각류의 군집 여과율이 최대 $2,036 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 에 이르기기도 하였다(Fig. 5).

4. 동물플랑크톤의 계절별 섭식기여도

수층에 따른 동물플랑크톤 군집의 식물플랑크톤에 대

한 섭식기여도는 계절에 따라 상이한 특성을 나타내었다(Fig. 6). 윤충류는 봄과 겨울에 높은 섭식기여도를 나타내었고(각각 22.2, 44.6%) 가을에는 낮게 나타났다(6.4%). 지각류는 봄과 겨울에 섭식기여도가 낮았고(각각 7.2, 4.9%) 여름에는 58.0%로 전체 동물플랑크톤 군집 중에 가장 높았다. 요각류의 경우 모든 계절에 걸쳐 큰 비중을 차지하는 군집으로(평균: 53.3%), 가을에는 74.4%, 여름에는 23.5%의 섭식기여도를 나타내었다(Fig. 6).

고 찰

담수 및 해양생태계에서 다양한 동물플랑크톤이 일수직적 이동을 하는 현상은 잘 알려져 있다(Reichwaldt and Stibor 2005). 이러한 현상은 호수에서 수심별 동물플랑크톤의 군집 간 밀도 분포의 현저한 차이를 나타낸다. 옥정호에서도 조사기간(낮 시간: 11:00~13:00) 동안 수층별 주요 동물플랑크톤 밀도 분포의 현저한 차이를 나타내었다. 수층별 연 평균 동물플랑크톤 밀도 변화는 상층과 중층에 비해 하층(수심: 8~10 m) 지점에서 상대

적으로 높은 것으로 파악되었으며, 이러한 결과는 일반적인 수직적 이동 주기성과 잘 부합되는 것으로 평가된다. 대형동물플랑크톤은 소형 동물플랑크톤에 비해 상대적으로 수직 이동의 폭이 매우 넓은 것으로 보고되었으며, 소수의 소형동물플랑크톤의 경우 수직 이동의 폭은 동물플랑크톤의 몸체 크기와 연관성이 있는 것으로 알려져 있다 (George and Fernando 1970). 본 연구결과에서 우점 분류군 중 *Keratella* 개체군 밀도가 다른 우점종에 비해 상대적으로 하층에서 높게 나타난 점은 선행 연구에 알려진 종별 수직적 이동 폭의 차이에 따른 결과라고 사료된다. 또한, 각 수층별 주요 동물플랑크톤 군집의 상대 밀도 차이는 하층에서 윤충류 및 요각류 군집이 다소 높았으나, 지각류의 경우 상대적 밀도 차이는 낮았다 (11~13%, n=30).

유기체의 분포는 생물적요인과 무생물적 조건에 의해서 제한을 받으며, 이러한 요소들은 먹이망의 복잡성과 먹이 사슬의 길이에 영향을 미친다 (Post 2002). 따라서, 수 환경 생태계에서의 수층별 동물플랑크톤 동태 변화는 상·하위 영양 단계 간의 역동적 변화를 유도할 수 있다. 본 조사지점에서의 각 수심별 동물플랑크톤 평균 밀도와 식물플랑크톤 생체량 (Chl. *a*)의 수직적 변화 양상에서 역 상관성을 보였다. 이러한 식물플랑크톤 생체량의 변화는 각 수층별 우점 동물플랑크톤의 섭식압과 밀접한 연관성이 있다. 특히, 지각류의 경우 다양한 호수에서 식물플랑크톤의 전형적인 섭식자로서 파악되어져 왔다 (Lampert and Sommer 1993). 일반적으로 동물플랑크톤 군집 중 대형동물플랑크톤인 지각류 및 요각류는 소형동물플랑크톤인 윤충류에 비해 개체당 높은 섭식율을 나타내며, 낮은 밀도에도 상대적으로 높은 섭식기여율을 보여, 대형동물플랑크톤이 소형동물플랑크톤에 비해 효과적으로 식물플랑크톤 생체량 조절에 기여하는 것으로 파악되고 있다 (Dawidowicz 1990; Kim *et al.* 2003). 일부 부영양 호수에서는 소형 원생동물 및 윤충류 군집 등이 우점하는 경향을 보이며 (Mayer *et al.* 1997; Zingel 1999), 이러한 소형동물플랑크톤 군집이 총 동물플랑크톤 군집 섭식의 50% 이상의 여과율을 나타내는 경우도 있다 (Agasild *et al.* 2007). 옥정호의 경우 소형동물플랑크톤 군집 밀도는 각 수층별로 대형동물플랑크톤 밀도보다 약 4배 이상 많으나, 식물플랑크톤에 대한 섭식기여도는 오히려 대형동물플랑크톤에 역할이 높은 것으로 파악되었다. 계절별로 다소 차이는 있으나 전반적으로 대형동물플랑크톤 군집 중 요각류의 섭식 기여율이 지각류에 비해 높은 것으로 파악되었다. 본 연구 결과를 고려해 볼 때, 이러한 수층별 섭식 군집의 생체량 변화는 수 생태계 내에서 식물플랑크톤에 대한 역동적인 섭식 기여

도 변화 및 탄소순환 과정의 중심적 요인 인자로 작용할 것으로 사료된다.

적 요

인공호수 (옥정호)에서 2004년 11월부터 2007년 6월까지 월 1회 간격으로 수층별 (표층: 0~0.5 m, 중층: 4~5 m, 하층: 8~10 m) 육수학적 요인과 동물플랑크톤 군집 동태 및 식물플랑크톤에 대한 섭식 기여율을 파악하였다. 조사기간 동안 수층별 평균 수온은 각각 상층 $15.2 \pm 7.8^\circ\text{C}$, 중층 $14.5 \pm 7.4^\circ\text{C}$ 그리고 하층은 $13.0 \pm 6.2^\circ\text{C}$ (n=30)를 나타내었다. Chl. *a* 농도를 제외한 기초 이화학 변수 (용존산소량, pH, 전기전도도 및 탁도)의 경우 각 수층별로 유사하였다. Chl. *a* 농도는 상층에서 평균 $21.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높았던 반면, 중층과 하층에서는 각각 $4.3 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $3.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 낮았다. 평균 Secchi 수심은 261 cm (n=30)로 나타났다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 종수는 총 45종으로, 윤충류 28종, 지각류 12종 그리고 요각류 5종이 동정되었다. 윤충류의 평균 밀도가 가장 높았으며 (평균 124 ± 232 개체 L^{-1} , n=90), 지각류와 요각류의 평균 밀도는 상대적으로 낮았다 (각각 22 ± 56 개체 L^{-1} , 13 ± 30 개체 L^{-1}). 전체 동물플랑크톤 풍부도는 늦봄부터 여름철에 걸쳐 전 수층에서 증가한 후 감소하여 겨울 동안 낮게 유지되었다. 연평균 동물플랑크톤의 식물플랑크톤에 대한 여과 섭식률은 하층이 상층과 중층보다 높았다 (상층: 44.4 ± 107.8 , 중층: 95.1 ± 198.6 그리고 하층: $158.2 \pm 436.4 \text{ mL L}^{-1} \text{ day}^{-1}$). 주요 동물플랑크톤 군집 중 요각류의 상대 군집 여과율 (RCFR, %)이 50.2~54.8%로 윤충류 (8.0~17.6%)와 지각류 (27.7~36.3%)보다 더 높았다. 계절에 따른 RCFR의 변화가 관찰되었으며 윤충류의 RCFR은 겨울에 (44.6%, n=9) 높았고, 지각류는 여름에 (58.0%, n=7)에 가장 높았다. 봄과 가을에는 요각류의 RCFR이 전 수층에서 가장 높았다 (봄: 67.4%, n=9, 가을: 74.4%, n=5).

사 사

본 연구는 영산강수계 관리 위원회 국립환경과학원 영산강 물 환경 연구소에서 시행한 영산강, 섬진강 수계 환경 기초조사사업의 연구비로 수행되었음.

참 고 문 헌

Agasild H, P Zingel, I Tönno, J Haberman and T Nöges. 2007.

- Contribution of different zooplankton groups in grazing on phytoplankton in shallow eutrophic Lake Võrtsjärv (Estonia). *Hydrobiologia*. 584:167-177.
- Ambler JW, FD Ferrari and JA Fornshell. 1991. Population structure and swarm formation of the cyclopoid copepod *Dioithona oculata* near mangrove cays. *J. Plank. Res.* 13: 1257-1272.
- Bogdan KG and JJ Gilbert. 1982. Seasonal patterns of feeding by natural population of *Keratella*, *Polyarthra*, and *Bosmina*: Clearance rates, selectivities, and contributions to community grazing. *Limnol. Oceanogr.* 27:918-934.
- Confer JL and PI Blades. 1975. Omnivorous zooplankton and planktivorous fish. *Limnol. Oceanogr.* 20:571-579.
- Dawidowicz P. 1990. Effectiveness of phytoplankton control by large-bodied and small-bodied zooplankton. *Hydrobiologia*. 200/201:43-47.
- DeMott WR. 1982. Feeding selectivities and relative ingestion rates of *Daphnia* and *Bosmina*. *Limnol. Oceanogr.* 27: 518-527.
- Einsle U. 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoid und Cyclopoida. *Susswasswefauna von Mitteleuropa*, Vol. 8, part 4-1.
- George MG and CH Fernando. 1970. Diurnal migration in three species of rotifers in Sunfish Lake, Ontario. *Limnol. Oceanogr.* 15: 218-223.
- Gliwicz ZM. 1969. Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy. *Ekol. Pol.* 17:663-708.
- Hall DJ, ST Threlkeld, CW Burns and PH Crowley. 1976. The size efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 7:177-208.
- Kim HW, KH Chang, KS Jeong and GJ Joo. 2003. The spring metazooplankton dynamics in the river-reservoir hybrid system (Nakdong River, Korea): Its role in controlling the phytoplankton biomass. *Korean J. Limnol.* 36:420-426.
- Kim HW, SJ Hwang and GJ Joo. 2000. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea). *J. Plankton Res.* 22:1559-1577.
- Kim SW and YS Kang. 2003. Brackish lakes in shinpo district, North Korea. I. zooplankton. *Korean J. Limnol.* 36: 215-220.
- Koste W. 1978. Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropes begriinder von Max Voigt. 2nd edn. Stuttgart. Textband, pp. 673 Tafelband, pp. 234.
- Kvam OV and OT Kleiven. 1995. Diel horizontal migration and swarm formation in *Daphnia* in response to *Chaoborus*. *Hydrobiologia*. 307:177-184.
- Lagergren R, K Leberfinger and JAE Stenson. 2008. Seasonal and ontogenic variation in diel vertical migration of *Chaoborus* and its effect on depth-selection behavior of other zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 53:1083-1092.
- Lair N. 1991. Grazing and assimilation rates of natural populations of planktonic cladocerans in a eutrophic lake. *Hydrobiologia*. 215:51-61.
- Lair N. 1992. Daytime grazing and assimilation rates of planktonic copepods *Acanthodiaptomus denticornis* and *Cyclops vicinus vicinus*. Comparison of spatial and resource utilization by rotifers and cladoceran communities in a eutrophic lake. *Hydrobiologia*. 231:107-117.
- Lair N and H Oulad Ali. 1990. Grazing and assimilation rates of natural population of planktonic rotifers *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* and *Kellicottia longispina* in an eutrophic lake (Aydut, France). *Hydrobiologia*. 194:119-131.
- Lampert W and U Sommer. 1993. *Limnookologie*. Thieme Verlag. Stuttgart.
- Magnien RE and JJ Gilbert. 1983. Diel cycles of reproduction and vertical migration in the rotifer *Keratella crassa* and their influence on the estimation of population dynamics. *Limnol. Oceanogr.* 28:957-969.
- Mayer J, MT Dokulil, M Salbrechter, M Berger, T Posch, G Pfister, AKT Kirschner, B Velimirov, A Steitz and T Ulbricht. 1997. Seasonal successions and trophic relations between phytoplankton, zooplankton, ciliate and bacteria in a hypertrophic shallow lake in Vienna, Austria. *Hydrobiologia*. 342/343:165-174.
- Neil WE. 1992. Population variation in the ontogeny of predator-induced vertical migration of copepods. *Nature* 345: 54-57.
- Post DM. 2002. The long and short of food-chain length. *Trends Ecol. Evol.* 17:269-277.
- Reichwaldt ES and H Stibor. 2005. The impact of diel vertical migration of *Daphnia* on phytoplankton dynamics. *Oecologia*. 146:50-56.
- Sahuquillo M, MGG Melão and MR Miracle. 2007. Low filtering rate of *Daphnia magna* in a hypertrophic lake: Laboratory and in situ experiments using synthetic microspheres. *Hydrobiologia*. 594:141-152.
- Smirnov NN and BV Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacean). *Res. Aust. Mus. Suppl.* 1:1-132.
- Sommer U, ZM Gliwicz, W Lampert and A Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.* 106:433-471.
- Starkweather PL. 1980. Aspect of feeding behaviour and trophic ecology of suspension-feeding rotifers. *Hydrobiologia*. 73:63-72.
- Uhm SH and SJ Hwang. 2006. Zooplankton grazing on bacteria and factors affecting bacterial C-flux in Lake Paldang ecosystem. *Korean J. Limnol.* 39:424-434.
- Wetzel RG and GE Likens. 2000. *Limnological Analyses*. 3rd

edn. Springer-Verlag. New York. p. 429

Yoo HB. 1990. Ecological studies on the freshwater zooplanktonic rotifers in Lake Damyang. Korean J. Limnol. 23:1-13.

Zingel P. 1999. Pelagic ciliated protozoa in shallow eutrophic

lake: community structure and seasonal dynamics. Arch. Hydrobiol. 146:495-511.

Manuscript Received: October 10, 2008

Revision Accepted: November 29, 2008

Responsible Editor: Ho Young Soh