

하구언 댐 유무에 따른 강 생태계에서의 동물플랑크톤 동태의 차이

김 현 우* · 이 학 영¹

(순천대학교 환경교육과, ¹전남대학교 생물학과)

The Differences of Zooplankton Dynamics in River Ecosystems with and without Estuary Dam in River Mouth. Kim, Hyun-Woo* and Hak Young Lee¹ (Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon, Jeonnam 540-742, Korea; ¹Department of Biological Sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

The spatial and temporal zooplankton dynamics were examined along ca. 100-km section of the middle to lower Seomjin River (without estuary dam in river mouth) and Youngsan River (with estuary dam in river mouth) systems during study periods (2004. Nov. ~ 2006. Aug.) based on a monthly sampling intervals. The spatial variation of zooplankton biomass at both river ecosystems was distinct. There was considerable longitudinal variation in total zooplankton abundance in Youngsan R. stretch. The increase in total zooplankton abundance were observed along the longitudinal stretch toward the estuary dam. In contrast, there were not statistically significant longitudinal differences in total zooplankton abundance in Seomjin R. stretch. In Youngsan R. stretch, average abundance of total zooplankton (average ranges: 199~817 Ind. L⁻¹ at 3 sampling sites, n=20) were nearly 4~60 fold higher than that of Seomjin R. stretch (average ranges: 12~43 Ind. L⁻¹ at 4 sampling sites, n=20). Relative abundance of rotifers (over 86% of total zooplankton abundance) at the whole sampling sites in Youngsan R. stretch were much higher than that of the Seomjin R. stretch. The most abundant rotifers were *Polyarthra* spp., *Brachionus* spp., *Colurella* spp., and *Keratella* spp. at the both river ecosystems. In Seomjin R. stretch, copepods carbon biomass sharply increased toward in river mouth (over 40% of total zooplankton carbon biomass). Average ranges of total zooplankton filtering rates for phytoplankton at both river ecosystems varied from 21.2 to 92.6 mL L⁻¹ D⁻¹ in Youngsan R. stretch and from 2.1 to 2.6 mL L⁻¹ D⁻¹ in Seomjin R. stretch. Considering the zooplankton filtering rates, zooplankton as grazers of phytoplankton in Youngsan R. stretch seemed to play the more important role in planktonic food web than that of the Seomjin R. stretch.

Key words : zooplankton, filtering rates, rotifers, estuary dam, Youngsan R., Seomjin R.

서 론

대형 강 생태계는 인위적 교란 작용에 의한 다량의 영

양분 유입 등 부영양화의 가속(Marneffe *et al.*, 1996; Joo *et al.*, 1997)과 더불어 홍수 방지, 원수의 원활한 공급 및 수송 등의 목적으로 고유한 강생태계의 특성 보다는 유속 및 유량의 흐름이 조절되는 저수지 또는 호소-강 복

* Corresponding author: Tel: 061) 750-3384, Fax: 061) 750-3380, E-mail: hwkim@sunchon.ac.kr

합형 생태계의 특성으로 변화 되고 있는 실정이다(Crisp, 1995). 국내 대형 강 생태계 또한 지난 20여 년간 급속한 경제 성장 등에 따른 용수 공급 증대 및 부영양화 과정 등으로 인해 대형 강 생태계의 특성이 현저히 변화되어 왔다(Joo *et al.*, 1997). 특히 수문학적 요인 및 강의 물리적 교란(예: 댐, 하구둑, 보 등)은 수 환경 생태계의 변화를 유도하였으며 대형 강 생태계 내 플랑크톤 동태 등에 많은 변화를 야기 시켰다(Ha *et al.*, 1998; Kim, 1999).

호수 생태계와는 달리 강 생태계 내 플랑크톤 군집의 역동성은 여러 지류로부터 본류로의 유입효과 및 수송 효과 등에 의해서 직·간접적인 영향을 받는 것으로 알려져 왔으며(Pace *et al.*, 1992), 빠른 개체 성장률을 가진 동물플랑크톤 종이 보다 잘 적응할 수 있는 서식 환경을 나타내었다(Walz, 1995; Servais *et al.*, 2000). 아울러, 수체의 체류시간이 플랑크톤 군집 구조의 특성을 결정짓는 중요한 요인으로 작용하며 동일한 강 구획 내에서의 호수 혹은 강 성향에 따라 동물플랑크톤 성장률에 큰 차이를 나타내는 결과를 보고한 바 있다(Kim *et al.*, 2000). 국내 대형 강 생태계는 강 하구연 부분에 건설된 하구둑 등에 따라 강 하류 지역 생태계 구조에 많은 변화를 가져 온 것으로 파악되고 있다(Kim and Joo, 2000; Kim *et al.*, 2003).

강의 흐름이 조절되고 있는 국내 대형 강 생태계에서 동물플랑크톤 군집의 역동성과 역할에 대한 기능적 연구는 하구 둑이 위치한 중 하류지역에서 지속적으로 진행되어 왔다. 그러나 하구 둑이 설치되지 않은 강 하류의 생태계에서의 강 구획별 종적인 동물플랑크톤 군집 동태와 강 중 하류 구획 내 하구 둑 유무에 따른 동물플랑크톤 역동성에 대한 상호 비교 연구는 미진한 실정이다. 더욱이 수문학적 환경 변화는 강 본류 내 다양한 동물플랑크톤 종들의 생활 주기 및 동태에 매우 주요한 핵심 조절 인자로 여겨지고 있다(Lair, 2006). 또한 기수 지역을 포함한 강 하류 구획 내에서의 동물플랑크톤 군집은(Tafe, 1990; Conley and Turner, 1991; Kim *et al.*, 2000), 하구둑에 의하여 담수 지역과 해수 지역으로 명확히 구분되어지는 조절 강 생태계와는 현저히 차별화 된 동물플랑크톤 군집 동태와 생체량 분포를 보일 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구의 목적은 국내 대형 강 생태계 중 기수 지역의 특성을 잘 대변할 수 있는 중하류 강 구획(섬진강)과 강 하류에 하구 둑이 설치되어 있으며 유사한 유역 면적을 가진 중 하류 강 구획(영산강) 내에서의 시 공간적 동물플랑크톤 밀도 분포, 생체량 변화 및 동물플랑크톤의 기능적 역할에 대해서 비교 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

영산강 본류 유로 연장은 약 136 km이며 총 유역면적은 3,371 km² 정도이다. 영산강 유역권 내의 총 인구는 약 170만 명이 거주하며, 영산강 상류 지역에 위치한 대도시 등으로 인하여 강 수질 환경 변화에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(오와 고, 2003). 영산강 하류 지역은 1981년 하구 둑이 건설된 이후 하류역권 내 영양염류 농도 증가 및 다양한 이화학적 환경 요인 등의 변화를 초래하였다(조 등, 1999). 영산강 유역권 내 연 평균 강우량은 약 1,470 mm로 여름 기간 동안 총 강우량의 66% 이상이 집중되는 것으로 알려져 있다(강과 안, 2006). 영산강 수계 내 주요 식물플랑크톤 우점 군집은 녹조류 및 규조류이며, 겨울에는 규조류 여름에는 녹조류 및 남조류의 종수가 증가하는 것으로 보고된 바 있다(김, 2003). 영산강 상류부터 하류 지역에 이르기까지 지역별 수생식물 분포의 차이는 뚜렷하며, 임 등(1996)의 연구 결과에 의하면 달뿌리풀, 고마리, 줄, 갈대 등이 우점 하는 것으로 밝혀져 있다.

섬진강 본류 유로 연장은 약 212 km이며 총 유역면적은 4,896 km² 정도이다. 섬진강 유역권 내 연평균 강우량은 약 1,530 mm로 총 강우량의 60% 이상이 여름 기간에 집중되며 이러한 강우 현상으로 인한 수문학적 요인 변화가 강 생태계의 부유 생물상에 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다(Kim, 2006). 강 상류 지역에 댐 설치에 의하여 수문학적 요인 등이 조절되나, 강 하류 지역에는 국내에서 잘 발달된 기수 지역을 유지하고 있는 강 생태계이며 중하류 지역에 따라 0~30 psu 정도의 염분 농도의 차이를 나타내고 있다(김 등, 2000; 박 등, 2001). 섬진강 수계 내 주요 식물플랑크톤은 규조류이며 염분이 낮은 지역은 녹조류, 염분이 높은 지역에서는 와편모조류의 출현이 높은 것으로 파악되고 있다(박 등, 2001). 황 등(2006)의 규조류 지수로 평가한 영산강 과 섬진강 수질 평가 결과에서 볼 때 섬진강 수계는 양호한 생물학적 수질을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

2. 조사지점 및 기간

조사 수계는 영산강, 섬진강 두 강 생태계로 환경부의 수질측정망 지점 및 수문 환경 측정 지점과 연계된 지점을 중심으로 선정하였다(영산강 수계: 3지점, 섬진강 수계: 4지점). 2004년 11월부터 2006년 8월까지(단, 2005년

9월~10월 제외) 월 간격으로 각 수계별 최 하류 조사지점으로부터 100 km 구간 내에서 조사 연구를 실시하였다 (Fig. 1).

- Y1-영산강 하구언, E126° 27'39" N34° 47'35", RK 0 (RK: River Kilometer)
- Y2-나주대교, E126° 43'59" N35° 02'12", RK 64
- Y3-송산교, E126° 44'26" N35° 09'13", RK 83
- S1-섬진강 하류, E127° 46'22" N34° 59'06", RK 0
- S2-구례교, E127° 27'13" N35° 09'59", RK 48
- S3-고달교, E127° 19'34" N35° 17'36", RK 73
- S4-보성강 하류, E127° 11'37" N35° 29'34", RK 64

3. 이화학적 요인 및 식물플랑크톤의 현존량 분석

각 수계별 육수학적 변수에 대한 조사를 실시하였다. 조사지점에서 채수된 시료를 이용하여 현장에서 수온, 용존산소 (YSI-DO meter, model 58), 수소이온농도 (Orion

407A pH meter), 전기전도도 (Fisher conductivity meter, model 152) 등에 대해서 측정하였다. 식물플랑크톤의 현존량 조사(클로로필 함량, Chl-a)는 채수된 원수 중 0.1~0.3리터를 직경 0.45 µm 셀룰로오스 아세테이트 여과지로 거른 후 Wetzel and Likens (1991)에 제시된 단색과장 방법으로 측정하였다.

4. 동물플랑크톤 채집, 동정 및 계수

동물플랑크톤 채집은 32 µm mesh (Wildco 48 C60)를 이용하여 21 L를 여과한 시료를 10% sucrose-포르말린으로 고정된 후 동정, 계수하였다. 종 동정은 광학 및 도립현미경 (×40, ×100)으로 파악하였고, 분류는 속 또는 종 범위에서 Koste (1978), Smirnov and Timms (1983), Einsle (1993)의 식별형질에 따라 실시하였다. 건조 중량 (µg)은 Ejsmont-Karabin (1998)의 생체 체적 공식에 근거하여 Kobayashi *et al.* (1996)과 Pace and Orcutt (1981), Dumont *et al.* (1975), Bottrell *et al.* (1976), Ruttner-Kolisko (1977)에 따라 측정하였고, 탄소 농도 (µgC)는 건조 중량을 환산하여 측정하였다 (Anderssen and Hessen, 1991).

5. 동물플랑크톤 섭식률 평가

동물플랑크톤에 의한 식물플랑크톤의 섭식을 평가하기 위해 10 µm 형광물질을 이용하여 시간대별 동물플랑크톤의 체내 형광물질을 계수하여 동물플랑크톤 종의 섭식률을 평가하였다 (Kim *et al.*, 2000). 기존의 섭식률 평가를 활용하여 총 동물플랑크톤의 식물플랑크톤에 대한 섭식률을 각 조사지점별로 측정하였다 (Kim *et al.*, 2002).

결 과

1. 육수학적 환경 요인 변화

조사기간 동안 기초 육수학적 항목은 수계별로 다소

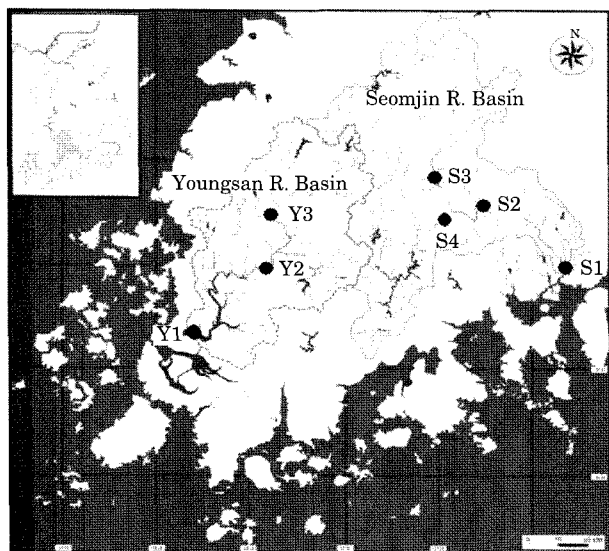


Fig. 1. Map showing the basin of the Youngsan River, Seomjin River and study sites (●).

Table 1. Means and standard deviations of limnological parameters in study sites of the Youngsan and Seomjin River during study periods (n=*15~22), RK: River Kilometer.

Parameters	Unit	Youngsan River			Seomjin River			
		Y1 (RK0)	Y2 (RK64)	Y3 (RK83)	S1 (RK0)	S2 (RK48)	S3 (RK73)	S4 (RK64)
Temperature	°C	16.6±8.7	16.3±8.8	16.0±8.5	15.8±8.1	15.9±9.5	15.9±9.7	14.9±9.4
pH		7.5±0.2	7.7±0.4	7.9±0.5	8.0±0.3	8.2±0.7	8.1±0.6	8.1±0.6
Conductivity	µS cm ⁻¹	410±59	239±115	271±112	21763±9045	127±26	150±32	89±18
Dissolved Oxygen	mg L ⁻¹	7.2±2.2	10.1±1.6	10.4±2.9	9.5±1.9	10.5±2.6	10.4±1.9	10.2±2.5
*Chl-a	µg L ⁻¹	13.1±6.0	13.8±10.4	20.0±20.2	2.1±1.4	2.4±2.9	3.5±3.1	1.3±1.5

상이한 것으로 파악되었다(Table 1). 조사지점별 평균 수온의 범위는 영산강 수계의 경우 16.0~16.6°C를 나타내었으며, 섬진강 수계의 평균 수온의 범위는 14.9~15.9°C를 나타내었다. 두 수계 내 pH의 평균 변이는 7.5~8.2 정도로 다소 낮은 것으로 파악되었다. 용존 산소 평균 농도의 경우는 영산강 최 하류 지점인 영산강 하구(Y1)(평균: 7.2) 지점을 제외한 대부분 9.5~10.5 mg L⁻¹의 평균 농도 변화를 나타내었다. 지점별 전기전도도의 농도 변화는 영산강 수계 보다는 섬진강 수계가 높았다. 섬진강 수

계 내 최 하류 지점(S1)의 평균 전기전도도 농도는 약 21.76 mS cm⁻¹로 가장 높았다. 섬진강 수계의 조사지점 S1을 제외한 다른 3 조사 지점의 평균 전기전도도 농도는 영산강 수계 내 평균 전기전도도 보다 낮은 농도 범위를 보였다. 식물플랑크톤 생체량(Chl-a)의 수계별 평균 농도는 매우 대조적인 결과를 나타내었다. 조사지점별 평균 Chl-a 농도는 영산강 수계에서는 13~20 µg L⁻¹ 범위로, 섬진강 수계 내 평균 1.3~3.5 µg L⁻¹에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

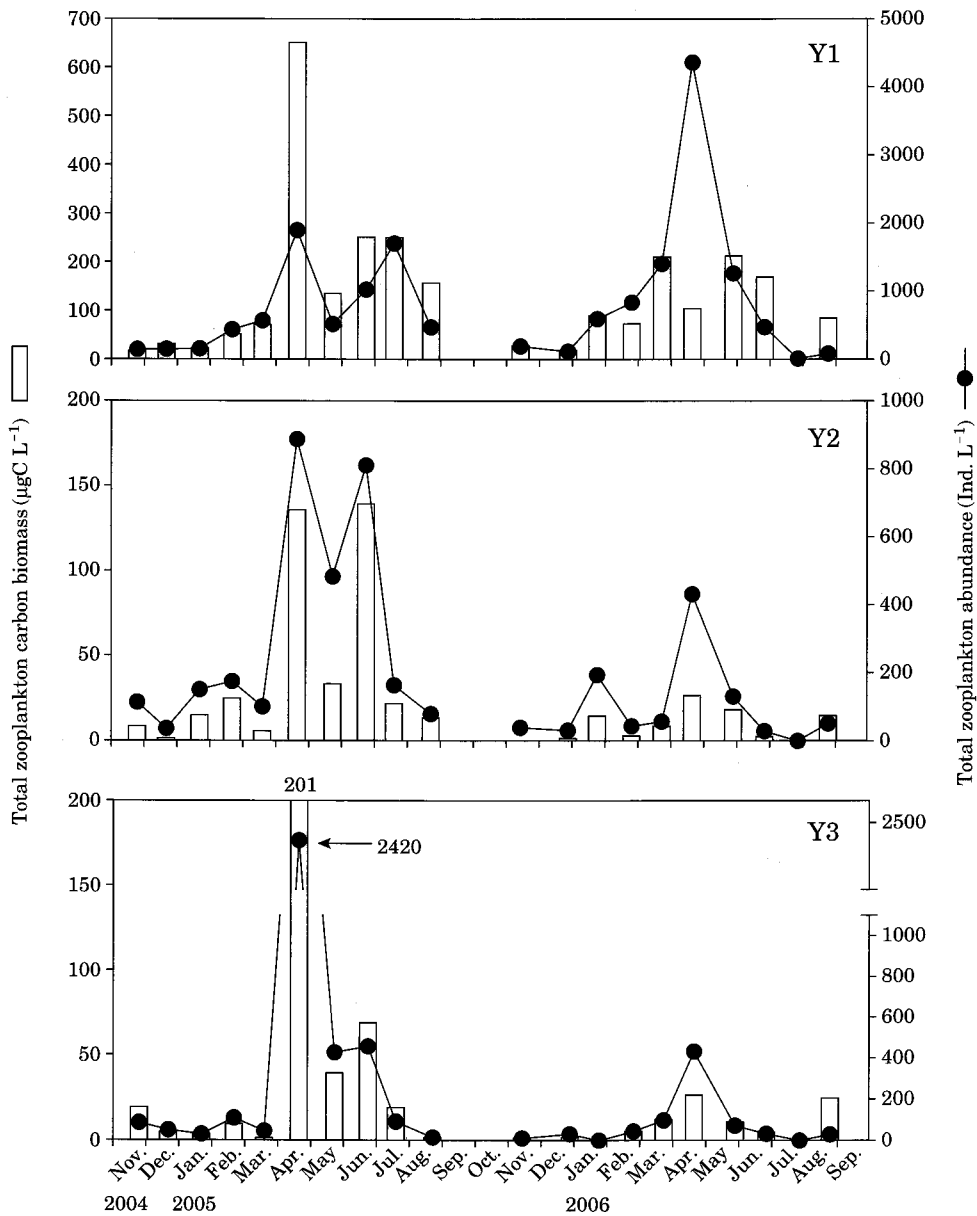


Fig. 2. Monthly changes of total zooplankton carbon biomass ($\mu\text{gC L}^{-1}$) and total zooplankton abundance (Ind. L^{-1}) in Youngsan R. stretch (Y1: Estuary dam, Y2: Naju bridge, Y3: Songsan bridge).

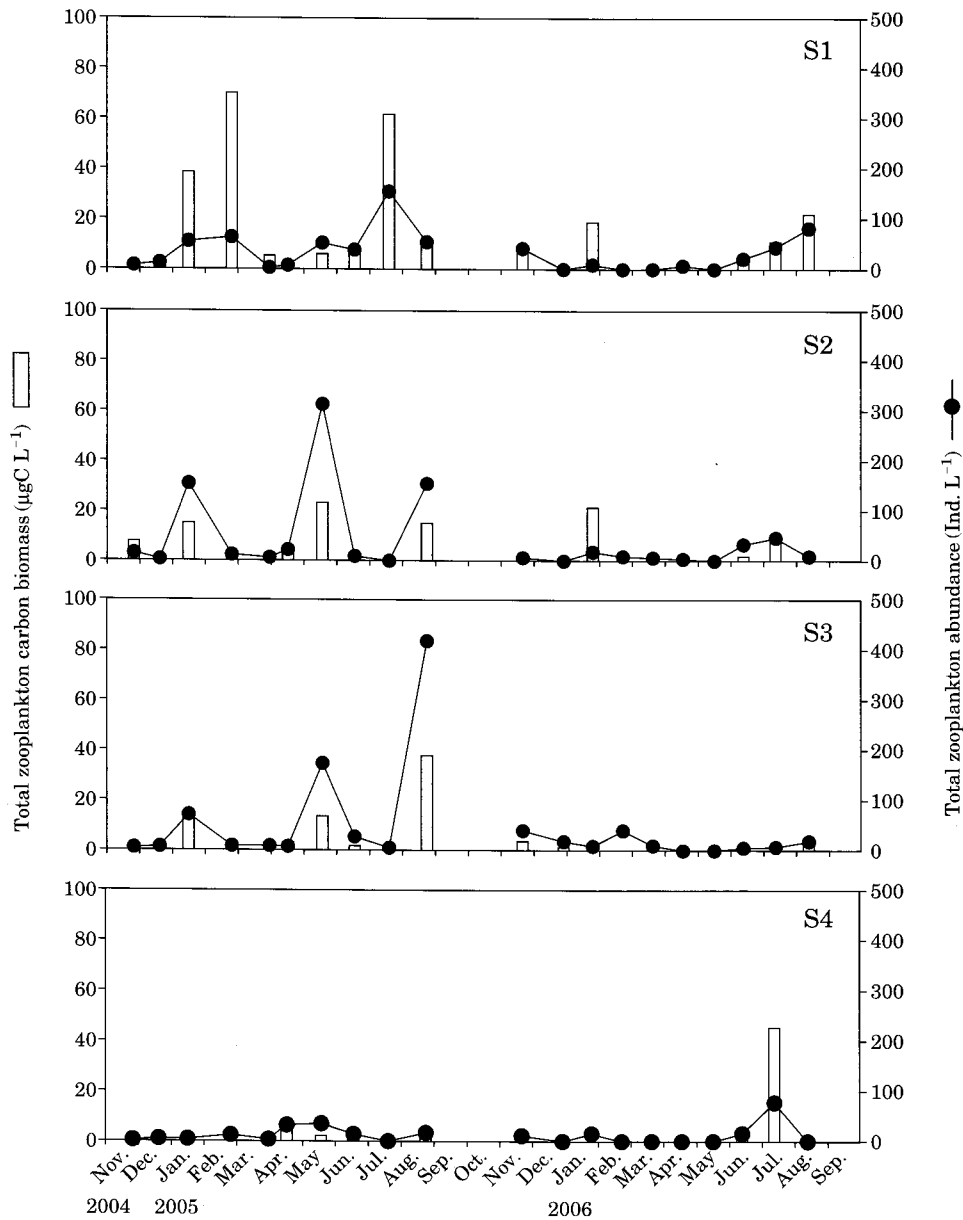


Fig. 3. Monthly changes of total zooplankton carbon biomass ($\mu\text{gC L}^{-1}$) and total zooplankton abundance (Ind. L^{-1}) in Seomjin R. stretch (S1: River mouth, S2: Gurae bridge, S3: Godal bridge, S4: Bosong R.).

2. 동물플랑크톤의 개체수 및 생체량 변화

영산강 수계 내 3 지점의 총 동물플랑크톤 개체수 밀도 및 생체량은 섬진강 수계 내 4 조사지점보다 현저히 높았다(Figs. 2, 3). 조사기간 동안 총 동물플랑크톤 개체수 및 생체량의 계절별 변화는 섬진강 수계보다는 영산강 수계에서 뚜렷하게 나타났다. 두 수계에서의 연간별 총 동물플랑크톤 밀도 및 생체량 변화의 차이 또한 뚜렷하였다. 영산강 수계 내 조사지점 중 영산강 하구인(Y1)

에서는 총 동물플랑크톤 개체수의 월별 변화 폭이 2005년보다는 상대적으로 2006년도에서 높았다(Fig. 2). 영산강 중 상부 지점에 위치한 나주대교(Y2)와 송산교(Y3) 지점의 총 동물플랑크톤의 월별 변화는 2006년 보다는 오히려 2005년도에 보다 역동적인 변화 양상을 나타내었다. 섬진강 수계 내 총 동물플랑크톤 개체수의 월별 변화는 보성강 지류 지점(S4)을 제외한 본류 3지점(S1, 2, 3)에서 2006년도에 비해 2005년도의 총 동물플랑크톤 개체수의 역동적 변화 양상이 보다 뚜렷한 것으로 파악

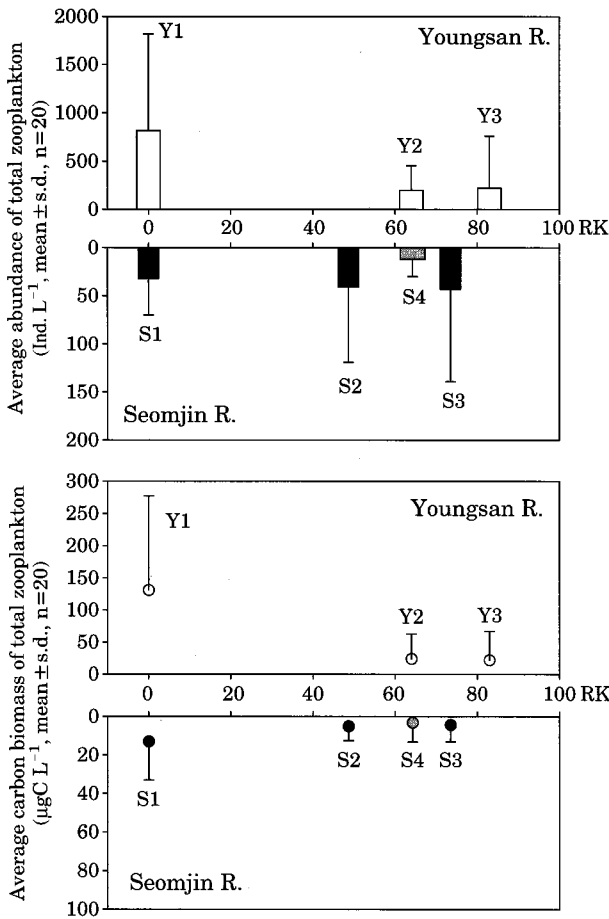


Fig. 4. Longitudinal variations of average abundance and carbon biomass of total zooplankton in both river systems (Youngsan River-Y1: Estuary dam, Y2: Naju bridge, Y3: Songsan bridge; Seomjin River-S1: River mouth, S2: Gurae bridge, S3: Godal bridge, S4: Bosong R.).

되었다. 섬진강 수계의 동물플랑크톤 총 생체량의 변화도 총 개체수의 월별 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 섬진강 지류지점(S4)에서의 총 동물플랑크톤 개체수 및 생체량의 변이는 본류 3지점과 비교해 볼 때 상대적으로 낮았다(Fig. 3).

중적 동물플랑크톤 개체수 밀도 및 생체량 변화는 두 수계에서 상이한 양상을 나타내었다(Fig. 4). 영산강 수계의 하류 지점인 영산강하구언(Y1) 경우 동일 수계 내 다른 두 조사지점(Y2: 나주대교, Y3: 송산교)과 비교해 볼 때 현저히 높은 총 개체수 밀도 및 생체량 나타내어 강 하류 지점으로 향할수록 증가하는 경향성을 나타내었으나, 섬진강 수계의 경우 최 하류지점(S1)과 중상류 지점(S2, 3) 간의 총 동물플랑크톤 개체수 밀도 및 생체량의

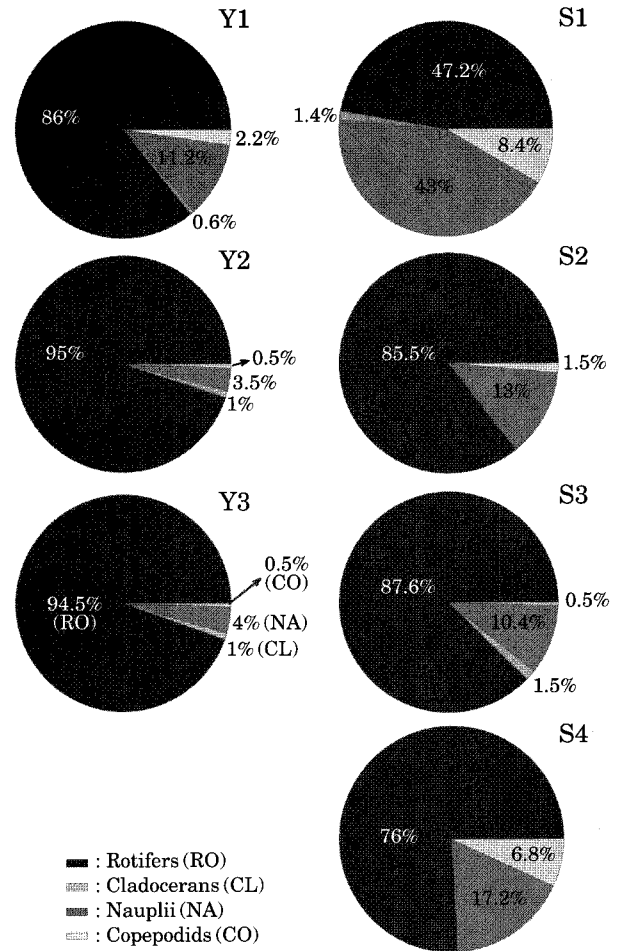


Fig. 5. Relative abundance of major zooplankton community in Youngsan R. stretch (Y1-3) and in Seomjin R. stretch (S1-4).

지점 간 차이는 낮은 것으로 파악되었다. 섬진강 지류 지점(S4)에서의 낮은 총 동물플랑크톤 개체수 및 생체량을 고려해 볼 때 지류에 의한 플랑크톤의 유입 효과는 미비한 것으로 파악되었다.

3. 군집별 동물플랑크톤의 상대 풍부도(%) 및 우점종

두 수계 내 우점 한 동물플랑크톤 군집은 윤충류(Rotifers)이며, 조사지점별 우점 군집의 구성 비율(%) 차이는 뚜렷하였다(Fig. 5). 영산강 수계 내 조사 지점별 주요 동물플랑크톤 군집별 상대 풍부도는 윤충류의 경우 86~95%로 하류 지점(Y1)에 비해 중상류 지점(Y2, 3)에서 높은 상대 풍부도 분포를 나타내었다. 유생(Nauplii)의 경우 지점별 상대 풍부도 3.5~11.2%로 하류 지점에서는 높은 상대 풍부도를 나타내었다. 지각류와 요각류 군집의

상대 풍부도는 윤충류 군집에 비해 매우 낮았다. 영산강 수계 내 지점별 지각류의 상대 풍부도는 약 1% 이하이며, 요각류 군집의 경우는 하류로 향할수록 상대풍부도가 다소 증가하는 경향성을 보였다.

섬진강 수계의 주요 우점 동물플랑크톤 군집은 윤충류이며, 조사 지점별로 윤충류 군집의 상대 풍부도 차이는 뚜렷하였다. 하류지점(S1)의 경우 윤충류 군집의 상대 풍부도는 약 47%인 반면 중 상류 지점에서의 윤충류 군집의 상대 풍부도는 약 85% 이상으로 분류 지점별 상대 풍부도의 차이는 약 38% 이상인 것으로 파악되었다. 소형

동물플랑크톤에 속하는 유생의 경우 조사지점별 상대 풍부도는 약 10~43%로 지점 간 차이가 뚜렷하였으며, 영산강 수계에 비해 현저히 높은 상대 풍부도 비율을 나타내었다. 지각류 군집의 경우 약 1.5% 이하의 상대 풍부도를 나타내었으며, 섬진강 하류지점(S1)에서는 매우 높은 요각류 군집 비율(8.4%)을 나타내었다. 섬진강 수계의 지류 지점(S4)의 경우 소형 동물플랑크톤 군집인 윤충류 및 유생의 상대풍부도가 약 93% 이상으로 대형 동물플랑크톤의 상대 풍부도는 매우 낮은 것으로 나타났다.

영산강 수계의 우점종은 하구언 지점(Y1)에서는 *Poly-*

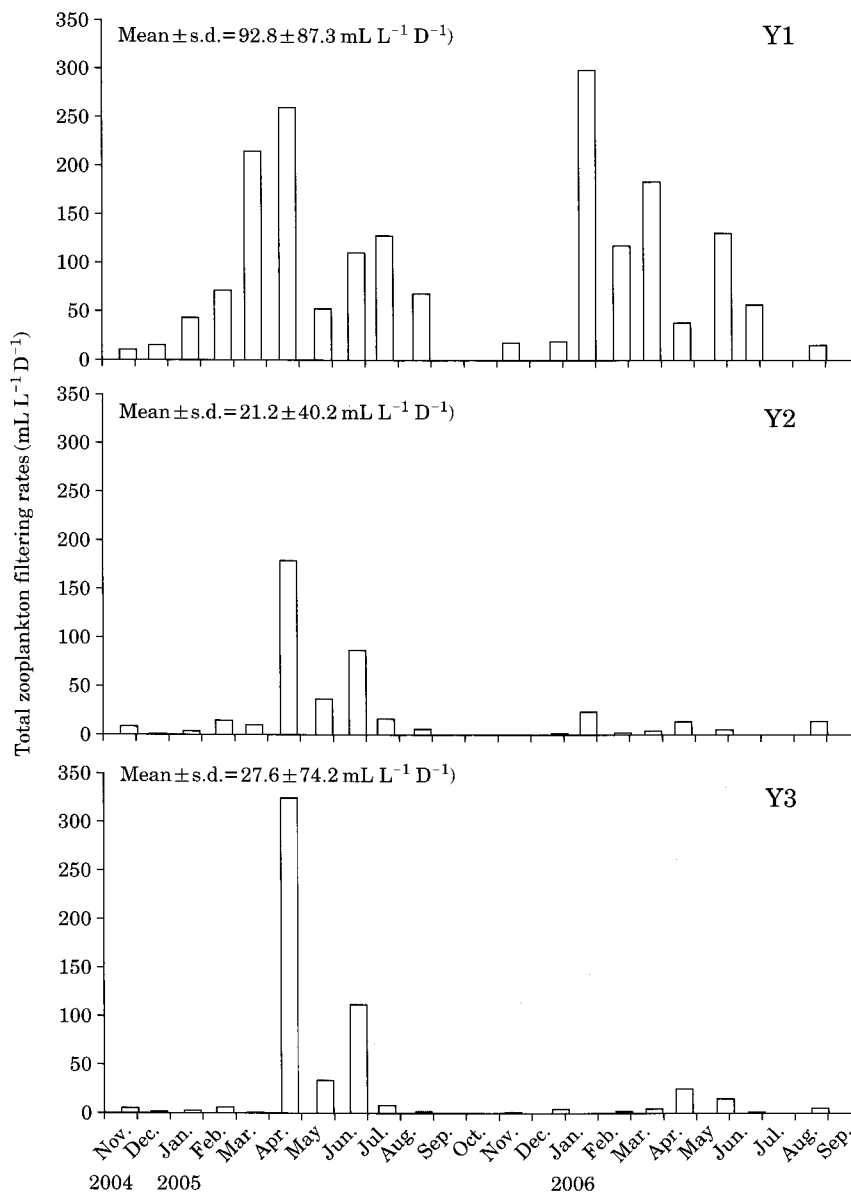


Fig. 6. Seasonal changes of total zooplankton filtering rates (mL L⁻¹ D⁻¹) on phytoplankton in Youngsan R. stretch (Y1: Estuary dam, Y2: Naju bridge, Y3: Songsan bridge).

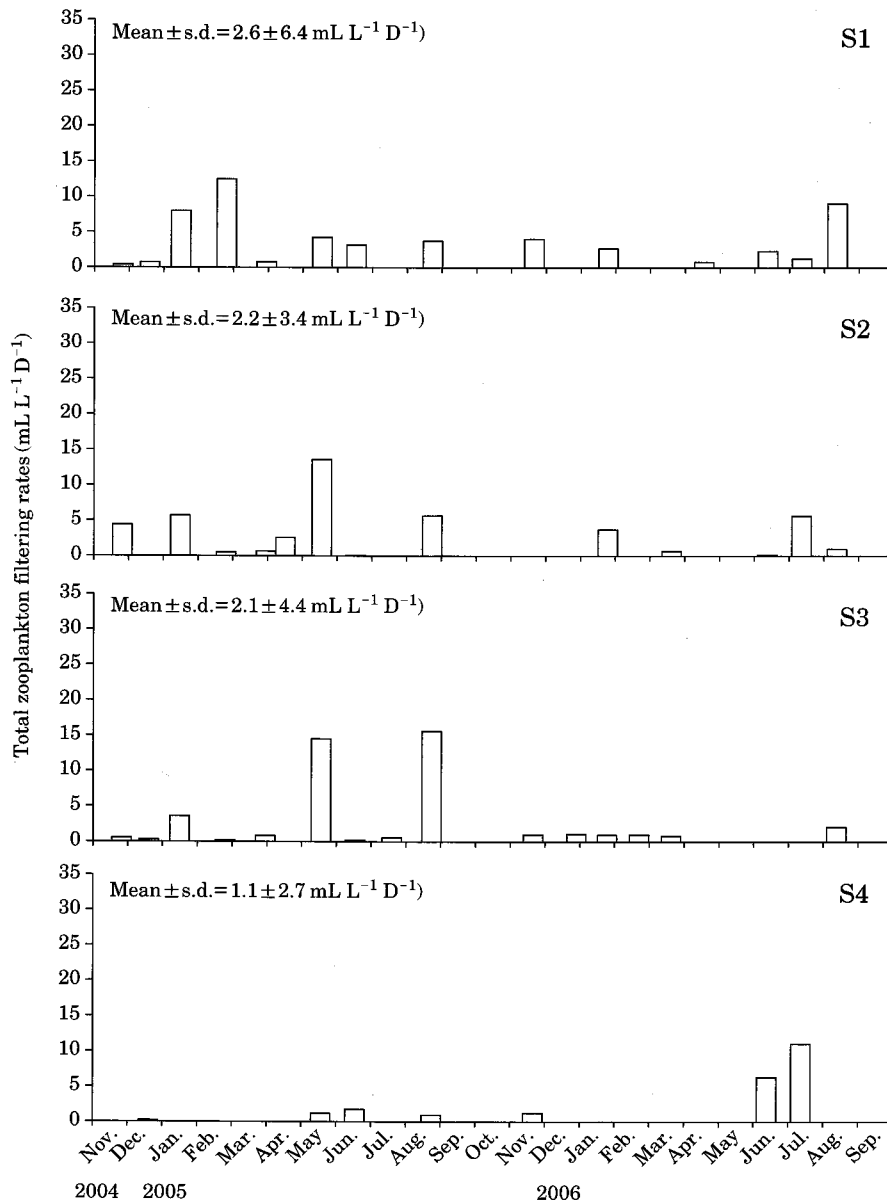


Fig. 7. Seasonal changes of total zooplankton filtering rates (mL L⁻¹ D⁻¹) on phytoplankton in Seomjin R. stretch (S1: River mouth, S2: Gurae bridge, S3: Godal bridge, S4: Bosong R.).

arthra vulgaris, *Brachionus calyciflorus* 종 등이 우점하였고 중상류 지점에서는 (Y2, 3)에서는 *Keratella cochlearis* 종이 우점하였다. 섬진강 수계에서의 우점종은 *Polyarthra vulgaris*, *Trichocerca* sp., *Keratella cochlearis*로 우점 상대 비율에 다소 차이를 나타내었다.

4. 동물플랑크톤의 섭식률 동태

두 수계 내 지점별 식물플랑크톤(형광물질: 직경 < 10

μm)에 대한 동물플랑크톤 섭식률의 월별 변화는 뚜렷하였다(Figs. 6, 7). 계절별로는 다소 차이는 있으나 영산강 수계 내 총 동물플랑크톤에 의한 식물플랑크톤 섭식률이 섬진강 수계 내 총 동물플랑크톤의 섭식률 보다 현저히 높았다. 영산강 수계 내 조사지점별 평균 섭식률 범위는 약 21~92 mL L⁻¹ D⁻¹이며, 최 하류 지점인 영산강 하구(Y1)에서 다른 두 조사지점(Y2, 3)에 비해 평균 약 4배 정도 높은 식물플랑크톤 섭식률을 나타내었다(Fig. 6). 섬진강 본류 지점 및 지류 지점별 동물플랑크톤에 의한 식

물플랑크톤 섭식률 차이는 미비한 것으로 파악되었다. 본류 3 지점의 평균 섭식률 범위는 약 $2.1 \sim 2.6 \text{ mL L}^{-1} \text{ D}^{-1}$ 이며, 지류 지점 (S4)에서는 $1.1 \text{ mL L}^{-1} \text{ D}^{-1}$ 정도로 매우 낮은 섭식율을 나타내었다(Fig. 7). 계절별 동물플랑크톤의 섭식률에 대한 주기적 동태 변화는 섬진강 수계 보다 영산강 수계에서 보다 명확하게 파악할 수 있었다. 영산강 수계 내 조사지점별 식물플랑크톤 섭식률 동태의 차이는 있으나, 봄 기간 동안 높은 총 동물플랑크톤 섭식률 효과를 나타내는 것으로 파악되었다. 이에 반해 섬진강 수계 내 조사지점별 동물플랑크톤에 의한 식물플랑크톤의 섭식률 효과는 영산강 수계에 비해 상대적으로 매우 낮을 뿐만 아니라 계절별 뚜렷한 주기적 섭식 기여율 효과는 미비한 것으로 나타났다.

토 의

영산강 및 섬진강 두 수계의 강 하류 지역에서의 하구 독 유무에 따른 동물플랑크톤의 탄소 생체량 및 종적 밀도 분포의 현저한 차이를 보였다. 하류 지역에 하구 독이 위치한 영산강 수계의 동물플랑크톤 종적 밀도 분포는 하류로 향할수록 높은 반면, 하구 독이 없으며 기수 지역이 있는 섬진강 수계의 경우 조사 지점별 동물플랑크톤 종적 밀도 분포의 현저한 차이는 나타나지 않았다. 하구 독이 위치한 낙동강의 경우 강의 중 상류 구획과 하류 구획간의 현저한 종적 동물플랑크톤 밀도 변화를 나타내었고(Kim and Joo, 2000; Kim et al., 2003), 주요 동물플랑크톤 군집별 밀도 변화도 강 하류 지역으로 향할수록 증가하는 경향성을 나타내었다(Kim and Joo, 2000).

본 조사지점 중 기수 지역을 포함한 섬진강 수계의 최하류 지점에서의 동물플랑크톤 군집 구조는 중류 지점과는 차이를 나타내었다. 기수역이 유지되어 있는 구간 내 종적 동물플랑크톤 밀도 변화는 강 하류로 향할수록 총 동물플랑크톤 및 윤충류 밀도가 전반적으로 감소하였다(김 등, 2000). 이에 반해 Holst et al.(2002)는 강 하류 지역으로 향할수록 높은 염분 농도가 오히려 특정 윤충류(*Brachionus plicatilis*, $>12,000 \text{ Ind. L}^{-1}$)의 개체수를 급격히 증가시켜 전체 동물플랑크톤 밀도에 영향을 미치는 경우에 대해서 논증하였다. 본 연구 결과에서도 섬진강 하류 지역의 윤충류 군집 밀도가 중류 지점에 비해 상대적으로 풍부도 및 밀도가 낮았으며 이러한 요인 중 하나는 염도 구배 등에 의한 동물플랑크톤 종 조성의 변화에 의한 것으로 사료된다. 일반적으로 염도의 차이는 동물플랑크톤 종 구성 및 밀도에 직접적인 영향을 미치는 요인으로 파

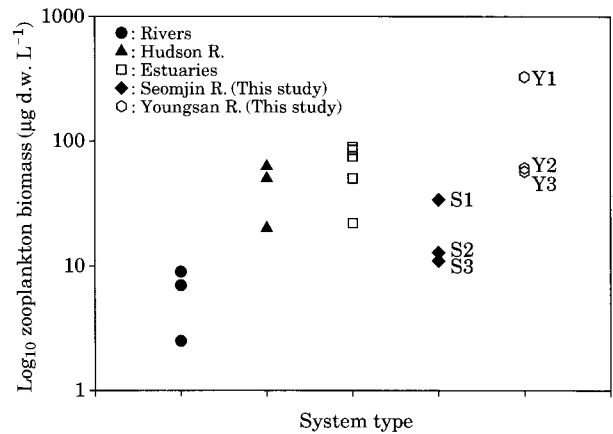


Fig. 8. Average zooplankton biomass (d.w.) versus system types (modified from Pace et al., 1992 and Lair, 2006).

악되어 지고 있다(Modenutti, 1998; Grange et al., 2000).

강 하류 구획 내 하구연 설치 유무는 강 하류 구간 내 수문학적 요인(예: 유량, 수체의 체류시간)의 급격한 변화를 유도하게 된다(Kim et al., 2002; Kim, 2006). Reynolds(2000)는 강 구간 내 형태적 구조 및 유량 흐름의 변화에 의해 플랑크톤 동태에 영향을 미치는 것에 대해서 논의한 바 있으며 r-선택종의 상대적인 우점 현상에 대해서 심도 깊게 보고한 바 있다. 최근 들어, Lair(2006)는 유수역 서식환경 중 수문학적 동태가 수체 내 플랑크톤의 생활환에 주요 조절 요인 인자 인 것에 대해서 재검토 한 바 있다. 섬진강 수계와 달리 영산강 수계는 최하류 지역의 하구 독 조성에 의하여 염수 지역이 담수 지역으로 급격히 변화됨과 아울러 하류 지역의 수문학적 요인이 인위적으로 조절되는 저수지-강 복합형 생태계의 특성을 지닌 조절 강 시스템으로 변화되었다. 강, 조간대, 하구연 등 다양한 수 환경 시스템간의 동물플랑크톤 생체량(건조중량)의 상대적 비교에서(Fig. 8), Pace et al.(1992)은 동물플랑크톤 생체량의 차이는 이류현상에 의하여 부분적으로 결정됨을 논증하였으며 또한 대부분 하구연 지역의 평균 동물플랑크톤 건조중량이 강 생태계 지역 보다 높은 생체량 분포를 나타냄을 보고하였다. 본 조사지점 중 기수 지역을 포함한 하구연 생태계를 유지하는 섬진강 유역권내 동물플랑크톤 건조 중량은 약 $33 \mu\text{g d.w. L}^{-1}$ (S1)의 범주로 인용된 여러 하구연 지점의 건조중량 범위에 속하며 강 중상류 지점(S2, 3)에 비해 높은 값을 유지하여 강의 이류 현상에 의한 직간접적 효과가 미쳤음을 나타내었다. 그러나 조절 강 생태계인 영산강 수계에서의 평균 동물플랑크톤 건조중량은 강 중 상

류 지점에 비해 5배 이상으로 강 하류 지점에서 현저히 증가하는 결과를 보였다. 강 하류 지역에 하구언이 설치된 조절 강 생태계의 경우는 자연적인 강 이류 현상에 의한 유기체 수송 과정 보다는 오히려 체류 시간 증가에 의한 수체 내 소형 및 대형 동물플랑크톤의 개체 출생률의 급격한 상승으로 높은 밀도를 유지한 것으로 사료된다(Walz and Welker, 1999).

조사 유역권 내 조사지점별 식물플랑크톤 생체량(Chl-a) 및 경쟁 섭식자의 유무 또한 동물플랑크톤 군집 및 개체수의 주요한 조절 인자 인 것으로 파악되었다. 동물플랑크톤의 주요 섭식원인 식물플랑크톤 생체량의 경우 영산강 수계에서는 각 지점별 평균 $13 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상이였으며, 이에 반해 섬진강 수계의 경우 평균 약 $3.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 이하로 현저히 낮은 농도를 나타내었다. 영산강 수계의 경우 식물플랑크톤에 대한 동물플랑크톤 섭식률이 섬진강 수계에 비해 현저히 높았으며, 총 동물플랑크톤 섭식률 효과를 고려해 볼 때 영산강 수계에서 플랑크톤 먹이환 내 동물플랑크톤의 기여도가 섬진강 수계에 비해 상대적으로 높은 것으로 파악된다. 섬진강 수계의 경우 식물플랑크톤 섭식자인 동물플랑크톤 이외에 수체 내 이매패류 및 유생의 밀도가 영산강 수계에 비해 현저히 높은 것으로 사료된다. 국내외 호수 및 강 생태계 내에서, 이매패류에 의한 섭식 효과에 의해서 식물플랑크톤 생체량의 조절에 대한 많은 연구가 진행되었다(Cohen *et al.*, 1984; Welker and Walz, 1998; Ietswaart *et al.*, 1999; Walz and Welker, 1999; Hwang *et al.*, 2004). 이매패류는 강 생태계의 탄소 및 영양염류 이동에 주요한 역할을 하는 것으로 파악되어지고 있다(Walz and Welker, 1999). Hwang *et al.* (2004) 연구 결과에 의하면 호수에서의 담수 이매패류(*Corbicula leana*)와 대형 동물플랑크톤 간의 식물플랑크톤에 대한 섭식 효과를 비교하였으며 이매패류에 의한 식물플랑크톤 탄소 이동량이 동물플랑크톤에 비해 약 3~30배 이상 높았다. 상대적으로 높은 이매패류(*Corbicula spp.*)의 밀도를 유지하는 섬진강 중 하류 지역에서는(Kim, 2006), 동물플랑크톤에 의한 식물플랑크톤 감소 효과 보다는 오히려 경쟁 섭식자인 이매패류에 의한 식물플랑크톤 저감 효과가 높을 것으로 파악된다. 경쟁 섭식자에 의한 먹이량 및 질의 변화로 영산강 수계에 비해 섬진강 수계에서는 동물플랑크톤 군집 조성 및 밀도 변화에 영향을 받을 것으로 사료된다.

적 요

동물플랑크톤의 공간적·시간적 동태 변화에 대해서

섬진강 중하류(하구언 댐 무) 및 영산강 중 하류(하구언 댐 유) 약 100 km 구획 내에서 2004년 11월부터 2006년 8월까지 월 간격으로 조사하였다. 두 수계 내 동물플랑크톤 생체량의 공간적 변이는 뚜렷하였다. 영산강 조사 구획 내 총 동물플랑크톤 밀도의 종적 변이는 뚜렷하였다. 강 하류 지역의 하구언 댐으로 향할수록 총 동물플랑크톤 밀도가 증가하였다. 이에 반해 섬진강의 조사 구획 내 총 동물플랑크톤 밀도 변이는 통계적으로 유의하지 않았다. 영산강 구획 내 평균 총 동물플랑크톤 밀도는(평균범위: $199 \sim 817$ 개체수 L^{-1} , 3 조사지점, $n=20$) 섬진강 구획 내 평균 총 동물플랑크톤 밀도(평균범위: $4 \sim 60$ 개체수 L^{-1} , 4 조사지점, $n=20$)보다 약 4~60배 정도 높았다. 영산강 수계(총 동물플랑크톤 밀도의 86% 이상)에서 윤충류의 상대 풍부도는 섬진강 수계에 비해 현저히 높았다. 두 수역에서 우점 한 종은 *Polyarthra spp.*, *Brachionus spp.*, *Colurella spp.*, 및 *Keratella spp.*였다. 섬진강 구획 내에서의 요각류의 탄소 생체량은 강 하류로 향할수록 증가하였다(총 동물플랑크톤 탄소 생체량의 40% 이상). 식물플랑크톤에 대한 총 동물플랑크톤 섭식률의 평균 범위는 영산강 구획 내에서는 $21.2 \sim 92.6 \text{ mL L}^{-1} \text{ D}^{-1}$ 이며, 섬진강 구획 내에서는 $2.1 \sim 2.6 \text{ mL L}^{-1} \text{ D}^{-1}$ 의 변동 범위를 보였다. 동물플랑크톤의 섭식률을 고려해 볼 때, 영산강 구획 내에서 동물플랑크톤에 의한 플랑크톤 먹이환 내에서의 역할의 중요성이 섬진강 구획 내에서 보다 상대적으로 높을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 영산강수계관리 위원회 국립환경과학원 영산강 물 환경 연구소에서 시행한 2004, 2005년도 영산강, 섬진강 수계 환경기초조사사업의 연구비로 수행되었음.

인 용 문 헌

- 강선아, 안광국. 2006. 영산강 수계의 이화학적 수질에 관한 시공간적 변이 분석, *육수지* **39**: 73-84.
- 김광수, 이종빈, 이관식, 유형빈. 2000. 섬진강 하류계에서의 염분도에 따른 윤충류 군집의 변화, *육수지* **33**: 162-175.
- 김용재. 2003. 영산강의 식물플랑크톤 군집 동태, *한국조류학회지* **18**: 207-215
- 박미옥, 문창호, 김석윤, 양성렬, 권기영, 이용우. 2001. 2000년 추계 섬진강 하구에서 염분경사에 따른 식물플랑크톤의

- 중조성: HPLC와 현미경 자료 비교, 한국조류학회지 **16**: 179-188.
- 오강호, 고영구. 2003. 광주광역시 하천수의 수질 및 오염, 한국환경과학회지 **12**: 287-297.
- 임병선, 이점숙, 서계홍, 김하승. 1996. 영산강 유역으로부터 유입되는 오염부하량에 따른 수생식물의 분포, 질산환원효소 활성 및 그 정확능, 한국생태학회지 **19**: 487-496.
- 조기안, 안병진, 홍순강, 정동욱. 1999. 영산강하류의 계절 변화에 따른 수질특성과 유기인산염의 분해율에 관한 연구 1-부영양화를 중심으로, 한국환경과학회지 **8**: 691-698.
- 황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수. 2006. 돌말 (Epilithic Diatom) 지수를 이용한 국내 주요 하천 (금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가, 한국물환경학회지 **22**: 784-795.
- Anderssen, T. and D.O. Hessen. 1991. Carbon, nitrogen and phosphorous content of freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 807-814.
- Bottrell, H.H., A. Duncan, Z.M. Gliwicz, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbricht-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson and T. Weglenka. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian. J. Zool.* **24**: 419-456.
- Cohen, R.R.H., P.V. Dresler, E.J.P. Phillips and R.L. Cory. 1984. The effect of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*, on the phytoplankton of the Potomac River, Maryland. *Limnol. Oceanogr.* **29**: 170-180.
- Conley, W.J. and J.J. Turner. 1991. Phytoplankton and zooplankton of the Westport River estuary, Massachusetts (USA). *Hydrobiologia* **210**: 225-232.
- Crisp, T.D. 1995. The ecological basis for the management of flow regulated by reservoir in the United Kingdom. In Harper, D.M. and J.D. Ferguson (eds.), *The Ecological Basis for River Management*. Wiley and Sons. Chichester: p. 93-103.
- Dumont, H.J., I. Van De Velde and S. Dumont. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia* **19**: 75-97.
- Einsle, U. 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. *Susswasswefauna von Mitteleuropa*, vol. 8, part 4-1. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Ejsmont-Karabin, J. 1998. Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers. *Pol. Arch Hydrobiol.* **45**: 513-522.
- Grange, N., A.K. Whitfield, C.J. De Villiers and B.R. Allanson. 2000. The response of two South African east coast estuaries to altered river flow regimes. *Aquatic Conserv: Mar. Freshwat. Ecosyst.* **10**: 155-177.
- Ha, K., H.W. Kim and G.J. Joo. 1998. The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea. *Hydrobiologia* **369/370**: 217-227.
- Holst, H., H. Zimmermann-Timm and H. Kausch. 2002. Longitudinal and transverse distribution of plankton rotifers in the Potamal of the River Elbe (Germany) during late summer. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **87**: 267-280.
- Hwang, S.J., H.-S. Kim, J.-K. Shin, J.-M. Oh and D.-S. Kong. 2004. Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* Prime) and large zooplankton on phytoplankton communities in two Korean lakes. *Hydrobiologia* **515**: 161-179.
- Iestwaart, Th., L. Breebart, B. Van Zanten and R. Bijkerk. 1999. Plankton dynamics in the river Rhine during downstream transport as influenced by biotic interactions and hydrological conditions. *Hydrobiologia* **410**: 1-10.
- Joo, G.J., H.W. Kim, K. Ha and J.K. Kim. 1997. Long-term trend of the eutrophication of the lower Nakdong River. *Korean J. Limnol.* **30**: 472-480.
- Kim, H.W. 1999. Water quality, plankton community dynamics and trophic regulation in the microbial food web by zooplankton in a hypertrophic river (Nakdong River, Korea). Ph. D. dissertation, Pusan National University, Busan.
- Kim, H.W. 2006. The grazing rates and community dynamics of zooplankton in the continuous river stretch ecosystem including brackish zone. *Korean J. Limnol.* **39**: 462-470.
- Kim, H.W. and G.J. Joo. 2000. The longitudinal distribution and community dynamics of zooplankton in a regulated large river: a case study of the Nakdong River (Korea). *Hydrobiologia* **438**: 171-184.
- Kim, H.W., K.H. Chang, K.S. Jeong and G.J. 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, H.W., S.-J. Hwang and G.J. Joo. 2000. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea). *J. Plankton Res.* **22**: 1559-1577.
- Kim, H.W., S.-J. Hwang, K.H. Chang, M.H. Jang, G.J. Joo and N. Walz. 2002. Longitudinal difference in zooplankton grazing on phyto- and bacterioplankton in the Nakdong River (Korea). *Internat. Rev. Hydrobiol.* **87**: 281-293.

- Kim, H.W., G.J. Joo and N. Walz. 2000. Difference of zooplankton development along a lake and river stretch of the River Spree (Germany). *Korean J. Limnol.* **33**: 197-205.
- Kobayashi, T., P. Gibbs, P.I. Dixon and R.J. Shiel. 1996. Grazing by a river zooplankton community: Importance of microzooplankton. *Mar. Freshwat. Res.* **47**: 1025-1036.
- Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropes begrunder von Max Voigt, 2nd edn., Vol. 1. Textband, 673pp., Vol. 2. Tafelband, 234pp. Borotraeger, Stuttgart.
- Lair, N. 2006. A review of regulation mechanism of metazoan plankton in riverine ecosystems: aquatic habitat versus biota. *River Res. Applic.* **22**: 567-593.
- Marneffe, Y., J.-P. Descy and J.-P. Thome. 1996. The zooplankton of the lower river Meuse, Belgium: seasonal changes and impact of industrial and municipal discharges. *Hydrobiologia* **319**: 1-13.
- Modenutti, B.E. 1998. Planktonic rotifers of Samborombon River Basin (Argentina). *Hydrobiologia* **387**: 259-265.
- Pace, M.L. and J.D. Orcutt. 1981. Relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnol. Oceanogr.* **26**: 822-830.
- Pace, M.L., S.E.G. Findlay and D. Lints. 1992. Zooplankton in advective environments: The Hudson River community and a comparative analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**: 1060-1069.
- Reynolds, C.S. 2000. Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow. *Hydrol. Process.* **14**: 3119-3132.
- Ruttner-Kolisko, A. 1977. Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Arch. Hydrobiol.* **8**: 71-76.
- Servais, P., V. Gosselain, C. Joaquimjusto, S. Becquevort, J.P. Thome and J.P. Descy. 2000. Trophic relationships between planktonic microorganism in the Meuse (Belgium): a carbon budget. *Arch. Hydrobiol.* **149**: 625-653.
- Smirnov, N.N. and B.V. Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacean). *Rec. Aust. Mus. Suppl.* **1**: 1-132.
- Tafe, D.J. 1990. Zooplankton and salinity in the Rufiji River delta, Tanzania. *Hydrobiologia* **208**: 123-130.
- Walz, N. 1995. Rotifer populations in plankton communities: Energetics and life history strategies. *Experientia* **51**: 437-453.
- Walz, N. and M. Welker. 1999. Plankton development along a "River-Lake" gradient: conclusions for sustainable management of lowland river systems. *Acta Hydrobiol. Sinica.* **23**(Suppl.): 77-86.
- Welker, M. and N. Walz. 1998. Can mussels control the plankton in rivers?-a planktological approach applying a Lagrangian sampling strategy. *Limnol. Oceanogr.* **43**: 753-762.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 1991. *Limnological Analyses*. 2nd edn. Springer-Verlag, New York. 391pp.

(Manuscript received 7 May 2007,
Revision accepted 9 June 2007)