

국내 남서부지역 호수 및 저수지 생태계의 플랑크톤 동태 변화

김현우 · 라궁환 · 정광석¹ · 박종환² · 허유정² · 김상돈²
나정은³ · 정명화³ · 이학영^{3,*}

순천대학교 사범대학 환경교육과, ¹부산대학교 자연과학대학 생물학과
²국립환경과학원 영산강물환경연구소, ³전남대학교 자연과학대학 생물학과

Assessing the Plankton Dynamics in Lakes and Reservoirs Ecosystem in the Southwestern Parts of Korea

Hyun-Woo Kim, Geung-Hwan La, Kwang-Seuk Jeong¹, Jong-Hwan Park², Yu-Jung Huh², Sang-Don Kim², Jeong Eun Na³, Myoung Hwa Jung³ and Hak Young Lee^{3,*}

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

¹Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Yeongsan River Environmental Research Center, Gwangju 500-480, Korea

³Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract – This study compares and contrasts the dynamics of plankton in 31 temperate lakes and reservoirs, and considers particularly the biomass ratio of zooplankton to phytoplankton and ecological model application. A total of 89 species of zooplankton were identified (70 rotifers, 14 cladocerans and 5 copepods) and a total of 554 species of phytoplankton were identified (176 Bacillariophyceae, 237 Chlorophyceae, 68 Cyanophyceae, and 73 other algal taxa). The total plankton abundance and species diversity were showed distinctive spatial and seasonal variation. Annual average phytoplankton density was $7,350 \pm 15,592$ cells mL^{-1} ($n=124$), and the lowest was 855 ± 448 cells mL^{-1} ($n=4$), while the highest was $72,048 \pm 13,4631$ cells mL^{-1} ($n=4$). For zooplankton, small rotifer groups dominated the study sites, and approximately 3~10 species appeared in the study sites. Statistical analysis and an ecological model application revealed that the size of reservoirs affected the structure size of plankton community, i.e. relatively large number of species were found in smaller reservoirs. From this result, we can conclude that management strategy for the reservoir environment has to be focused more on small-size reservoirs, in terms of plankton community ecology.

Key words : zooplankton, phytoplankton, lakes, reservoirs, rotifers

서 론

국내의 호소생태계는, 대형강에 조성된 일부 인공호수

를 제외할 경우, 수심이 얕고 규모가 작은 소형호수가 대부분이며, 유역권 내 산재하는 오염원에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 90년대 이후 대다수의 농업용 저수지는 집수역으로부터 유입된 인과 질소로 인하여 부영양화 상태를 보이고 있고, 식물플랑크톤의 생산력 증가와 대변성 현상 등에 의해 저수지 생태계

*Corresponding author: Hak Young Lee, Tel. 062-530-3401, Fax. 062-530-3409, E-mail. haklee@chonnam.ac.kr

교란이 발생하고 있다(최와 김 2002). 국내 약 18,000여 개의 농업용 저수지 중 수질 등에 대해 모니터링이 실시되고 있는 저수지는 약 1/6 수준이며, 부유 생물상 등에 대한 지속적인 모니터링은 미흡한 실정이다(농업기반공사 2000; 이 등 2007). 특히 국내 남서부에 분포하는 인공호 및 농업용 저수지들은 입지적 특성에 따른 전통적 집약농업 및 산업화로 인한 수변 서식환경 변화 등으로 수생태계의 구조와 기능이 영향을 받고 있다(서 1978; 라 등 2008).

국외에서는 저수지 및 호수의 부영양화 저감과 수질 관리 방안 등에 대한 다방면적인 연구들이 진행되어지고 있으나(Fillery *et al.* 1986; Krebs 2001), 국내의 경우 호소를 대상으로 한 육수학적 연구는 70년대 이후 간헐적으로 이루어져 왔다(조와 홍 1970; 유 등 1987; 이 등 1994; 전 등 2002). 국내 소형 호소에서 조사되는 생물상 연구 자료의 대부분은 정규적이며 지속적인 조사에 의해 이루어지지 않아 호소에 서식하는 생물자원 관리 및 서식환경 보전 등을 위한 기초 자료로 활용하는 데에 한계가 있다.

인위적 간섭에 의한 호소 생태계 영양물질 순환의 변화는 식물플랑크톤 군집과 먹이 연쇄에서 상호 연관성이 높은 동물플랑크톤 군집 동태에 영향을 미친다(Bürge

and Stadelmann 2002). 또한, 호소 생태계별 서식환경의 차이는 부유생물상의 분포와 성장에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kim *et al.* 2000; Bonecker *et al.* 2007). 국내의 경우 정수생태계에서 플랑크톤의 군집 동태, 섭식효과, 분포 등에 대한 연구는 대부분 대형 호수생태계를 중심으로 이루어졌으며(이 등 2005; 엄과 황 2006), 농업용 저수지 및 중소형 호소 생태계를 대상으로 한 부유생물상 간의 구조 등에 대한 비교 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 국내 남서부 지역에 위치한 여러 호수 및 저수지 생태계 간의 주요 부유생물인 동물 및 식물플랑크톤 동태 변화를 비교 분석하여 수질 및 생물 관리를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시기

본 연구의 조사지점은 전라남도 지역에 분포하는 수자원으로의 활용도가 높으며 만수위 수표면적이 0.3km² 이상의 31개 호소를 대상지점으로 선정하였다(Fig. 1, Table 1). 각 호소별로 2008년 3월부터 2009년 11월까지 플랑크톤 샘플 채집을 총 4회 실시하였다.

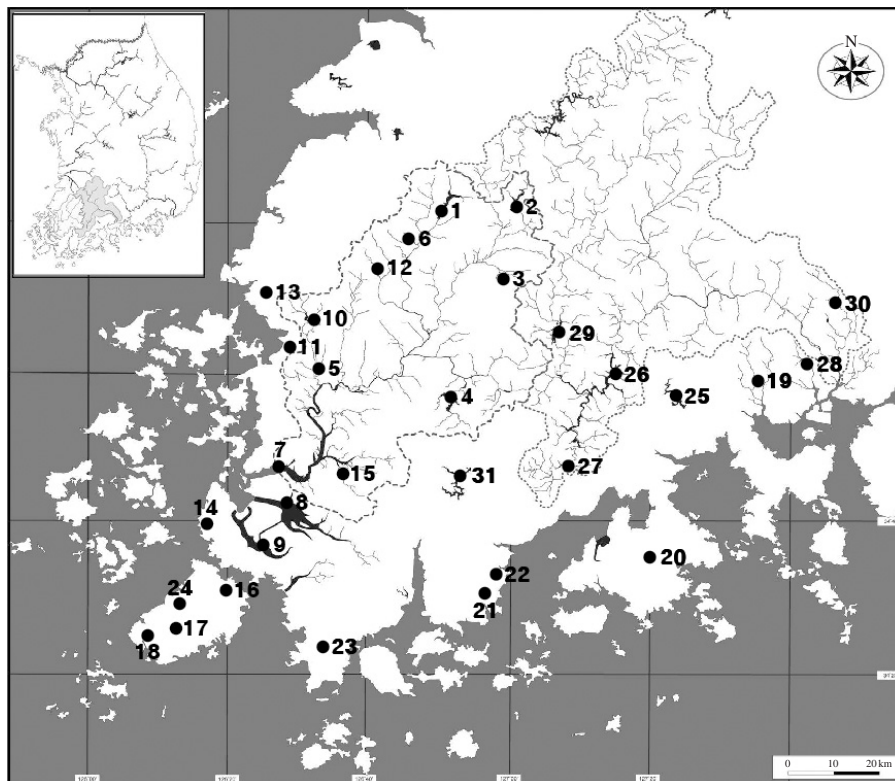


Fig. 1. Map showing the study sites in the southwestern parts of Korea (● indicates sampling sites).

Table 1. List of the study sites and description of the study sites

Site No.	Name	Location	Drainage area (km ²)	Water capacity ($\times 10^6$ m ³)	Retention time (hr)	Surface area (km ²)	Sampled stations
1	장성호	전남 담양군 장성읍 봉덕리 전남 장성군 장성읍 용강리	122.8	69.9	7,629	5.4	2
2	담양호	전남 담양군 금성면 대성리 전남 담양군 용 면 월계리	47.2	49.2	14,607	3.0	2
3	광주호	전남 담양군 고서면 분향리 전남 담양군 남 면 학선리	41.3	14.5	5,256	1.6	2
4	나주호	전남 나주시 다도면 관촌리 전남 나주시 다도면 신동리	84.6	60.4	8,799	5.2	2
5	대동호	전남 함평군 대동면 운교리	—	6.3	3,136	0.9	1
6	평립호	전남 장성군 삼계면 수산리	—	—	—	—	1
7	영산호	전남 목포시 옥암동 방조제 전남 영암군 서호면 금강리 전남 무안군 일로읍 용산리	3,471	180.9	2,671	34.6	3
8	금호호	전남 해남군 산이면 금호리 전남 해남군 산이면 구성리 전남 해남군 황산면 우항리	184	84.9	7,926	23.3	3
9	영암호	전남 영암군 삼호읍 삼포리 전남 영암군 삼호읍 용양리 전남 해남군 계곡면 계곡천	355	153	15,404	42.8	3
10	불갑제	전남 영광군 불갑면 녹산리	46.8	9.8	—	1.7	1
11	대동제	전남 함평군 대동면 운교리	43.9	3.7	—	0.9	1
12	수양제	전남 장성군 삼서면 수량리	33	4.8	—	1.2	1
13	오동제	전남 영광군 염산면 오동리	9	1.7	—	0.5	1
14	개초제	전남 해남군 화원면 개초리	5.5	0.1	186	0.4	1
15	학파제	전남 영암군 서호면 엄길리	947	2.7	—	0.5	1
16	둔전제	전남 진도군 군남면 둔전리	7.25	1.1	—	0.7	1
17	보전제	전남 진도군 지산면 오류리	6.27	2.5	—	0.8	1
18	봉암제	전남 진도군 지산면 오류리	5.71	1.9	—	0.7	1
19	백운제	전남 광양시 봉강면 지곡리	48.56	4.0	680	0.7	1
20	장수제	전남 고흥군 포두면 장수리	2.96	0.6	—	0.5	1
21	수동제	전남 장흥군 관산읍 외동리	1.8	2.4	—	0.7	1
22	지정제	전남 장흥군 관산읍 지정리	1.03	0.8	2,880	0.3	1
23	군곡제	전남 해남군 송지면 해원리	14	0.1	166	0.4	1
24	소포제	전남 진도군 지산면 소포리	111.98	9.3	—	2.8	1
25	상사호	전남 순천시 상사면 용계리 전남 순천시 송주읍 유평리	134.6	155.6	5,195	5.3	2
26	주암호	전남 순천시 주암면 대광리 전남 순천시 송광면 대곡리 전남 보성군 문덕면 덕거리	1,010	208.5	6,792	18.3	3
27	보성호	전남 보성군 겸백면 용산리	275	2.8	185	1.3	2
28	수어호	전남 광양시 진상면 섬거리 전남 광양시 진상면 비평리	49	28.1	3,062	1.3	2
29	등북호	전남 화순군 동북면 연월리 전남 화순군 이서면 월산리	189	68.9	8,394	5.6	2
30	하동호	경남 하동군 청암면 중산리	58.5	31	4,961	1.0	1
31	탐진호	전남 장흥군 유치면 대 리 전남 장흥군 유치면 용문리 전남 장흥군 유치면 덕산리 전남 장흥군 유치면 신월리	193	171	390	10.2	4

2. 플랑크톤 채집, 동정 및 계수

식물플랑크톤 채집은 각 지점별로 원수 1L를 채수하여 각 시료를 Lugol's solution 2% (최종농도)가 되도록 고정하였다. 고정된 식물플랑크톤 시료를 실린더 용기에 넣고 24시간 정치시킨 후 Sedgwick-Rafter 계수 챔버를 이용하여 $\times 200 \sim 1,000$ 배율로 식물플랑크톤의 군집 구성 및 종별 개체수를 파악하였다. 분류는 속 또는 종 범위에 한해 분류하였으며 鄭濬 (1993), 水野壽彦 (1978) 분류기를 따라 동정하였다. 식물플랑크톤 종별 세포 면적은 각 종별 기하학적 형태에 의해서 측정되었으며, 개체군별 세포 체적 ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$)은 각 종별 세포 체적 \times 세포 밀도에 의해서 결정되었다. 규조류, 녹조류 및 남조류 각 종별 탄소생체량은 Mullin *et al.* (1966)의 식을 사용하여 산정하였고, 기타 조류는 Strathmann (1967)의 탄소생체량 (μgC) 변환 공식에 의해 환산하여 탄소 생체량을 측정하였다. 동물플랑크톤 채집은 32 μm 망목 (Wildco 48 C60)을 이용하여 지점별로 각각 20 L를 필터 후 10% sucrose-formalin으로 고정한 후 동정, 계수하였다. 종 동정은 광학 및 도립현미경 ($\times 40$, $\times 100$)으로 파악하였고, 분류는 속 또는 종 범위에서 Koste (1978), Smirnov and Timms (1983), Einsle (1993)의 분류기를 따라 동정 및 종별 개체수를 계수하였다. 건조 중량 (μg)은 Ejsmont-Karabin (1998)의 생체 체적 공식에 근거하여 Kobayashi *et al.* (1996), Pace and Orcutt (1981), Dumont *et al.* (1975)에 따라 측정하였고, 탄소 농도 (μgC)는 건조 중량을 환산하여 측정하였다 (Anderssen and Hessen 1991).

3. 플랑크톤 분포양상 분석

플랑크톤 종조성 및 밀도와 조사대상 호수의 물리적 특성 간의 관계는 Spearman 상관분석 (Spearman 1987)을 이용하여 분석하였다. 비율척도의 데이터가 비선형적으로 연관되어 있을 경우 데이터 분포상에 편차가 크게 발생할 수 있으며 (Fielding 1999), Pearson 상관분석보다는 Spearman 상관분석이 보다 효율적이다 (Zar 2001). Spearman 상관분석은 SPSS for Win 14.0을 이용하여 실시하였다. 이와 함께 현장조사에서 확보된 데이터를 이용하여 생태정보학 (Ecological Informatics)에서 널리 활용되고 있는 비선형 생태모형 기법 중 하나인 Self-Organizing Map (SOM) (Kohonen 1998) 알고리즘을 이용하여 패턴분석을 실시하였다. 본 연구에서는 SOM 모형의 입력 변수로 현장조사를 통해 확보된 동식물플랑크톤의 종수와 밀도, 그리고 조사 대상호수의 수표면적, 저수용량, 그리고 유역 면적을 활용하였다. 최적의 SOM 구조는 두 가지의 quantization error 및 topographic error 항을 이용하여

결정하였으며, 다양한 구조의 SOM 모형을 구축한 뒤 두 error 항이 가장 낮은 값을 보인 구조를 최종적으로 선택하였다. 조사지점 호수를 클러스터링하기 위해서 U-matrix를 이용하였으며, SOM 모형을 구성하는 각각의 node들 간의 유사도를 이용하여 가장 적합한 클러스터를 추출하도록 하였다. SOM 모형 구축과 데이터 분석은 Matlab 6.1 기반에서 이루어졌으며, SOM 모형 구축에 관련된 여러가지 함수와 기능들은 Matlab 환경에서 구동되는 SOM_PAK (Kohonen *et al.* 1996) 툴박스를 활용하였다.

결과 및 고찰

1. 호소별 플랑크톤 동태 변화

국내 남서부 지역 31호소 내 50개 조사지점에서 조사 기간 동안 (2008~2009) 출현한 총 식물 및 동물플랑크톤 종수는 각각 554종, 89종인 것으로 파악되었다. 호소별로 출현 종수는 상이하여 식물플랑크톤은 7~34종 그리고 동물플랑크톤은 3~10종의 분포를 나타내었다. 식물플랑크톤은 규조류 176종, 녹조류 237종, 남조류 68종 그리고 기타 73종이 동정 확인되었다. 동물플랑크톤은 윤충류가 70종으로 우점 분류군이었고, 지각류와 요각류가 각각 14종 및 5종이 동정되었다. 식물플랑크톤의 출현 종수는 영양호, 수동제, 수어호 및 하동호에서 7~9종으로 낮았고 개초제, 대동제 그리고 수양제에서 30종 이상으로 높게 나타났다. 동물플랑크톤의 경우 담양호, 불갑제, 금호호 그리고 하동호에서 4종 이하로 낮은 출현 종수를 보였고 대동제, 개초제, 지정제, 소포제 및 탐진호에서 10종 내외로 다소 높았다 (Fig. 2). 계절별 식물플랑크톤 평균 출현 종수는 봄과 겨울에 각각 20종 및 23종으로 많았고 여름과 가을에 각각 15종 및 17종으로 다소 낮았으며, 동물플랑크톤의 평균 출현 종수는 여름과 가을에 각각 8종 및 7종으로 다소 높고 봄과 겨울에 각각 4종 및 5종인 것으로 파악되었다.

31개 호소의 연평균 총 식물플랑크톤 밀도는 $7,350 \pm 15,592 \text{ cells mL}^{-1}$ 이었으며, 조사지점에 따라 큰 폭으로 변화하여 가장 낮은 지점 (보성호; $855 \pm 448 \text{ cells mL}^{-1}$)과 높은 지점 (개초제; $72,048 \pm 134,613 \text{ cells mL}^{-1}$)의 차이가 뚜렷하였다 (Fig. 3). 분류군별로 남조류가 평균 $5,635 \pm 15,322 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 전체의 76%를 차지하였고, 다음으로 규조류 14% ($1,068 \pm 1,659 \text{ cells mL}^{-1}$), 녹조류 7% ($544 \pm 656 \text{ cells mL}^{-1}$) 순이었다. 조사지점에 따라 규조류의 경우 수양제 (연평균 $8,773 \text{ cells mL}^{-1}$)에서 높은 밀도를 보였고, 녹조류의 경우 평림호 ($2,896 \text{ cells mL}^{-1}$)와 지정제

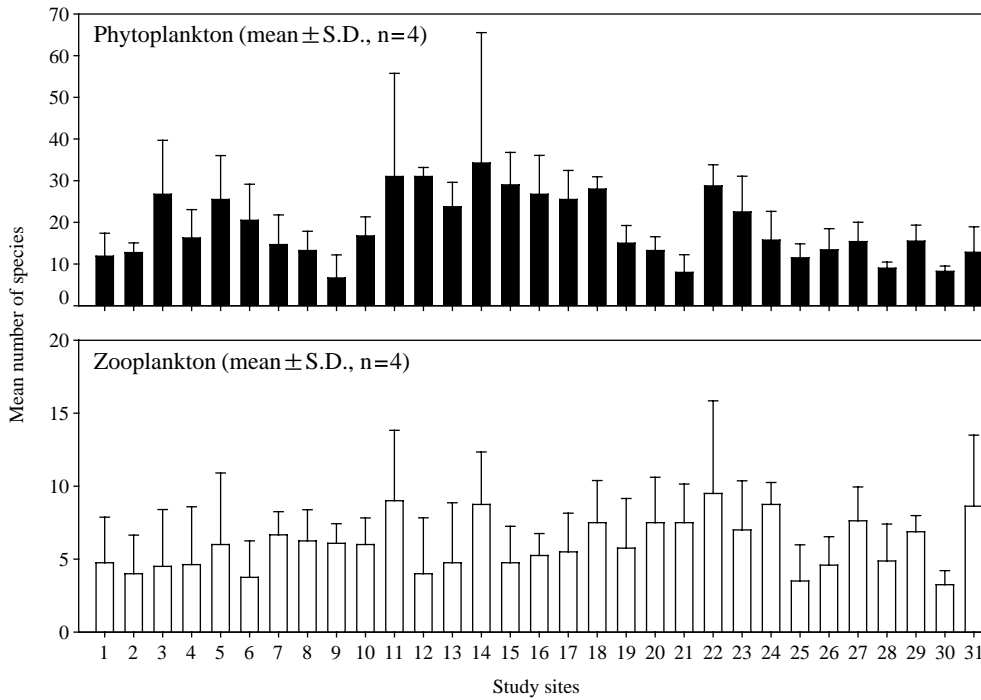


Fig. 2. Mean number of phytoplankton and zooplankton species in 31 study sites during the study period (2008 ~ 2009).

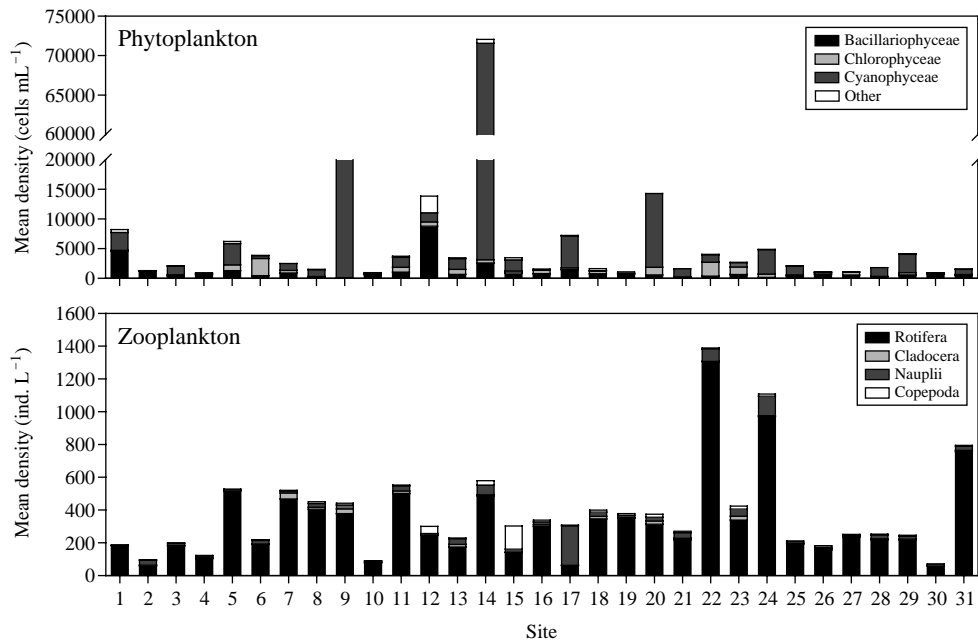


Fig. 3. Mean density of major phytoplankton and zooplankton community in 31 study sites.

(2,347 cells mL⁻¹) 그리고 남조류는 영암호(55,535 cells mL⁻¹)와 개초제(68,440 cells mL⁻¹)에서 높게 나타났다. 동물플랑크톤의 연평균 밀도는 378 ± 285 ind. L⁻¹이었고 조사지점별로 하동호에서 가장 낮은 평균 밀도인 72 ±

51 ind. L⁻¹ 그리고 지정제 지점에서 가장 높은 평균 밀도인 1,389 ± 2,141 ind. L⁻¹인 것으로 파악되었다(Fig. 3). 주요 동물플랑크톤 군집별로는 31개 호소에서 윤충류의 상대풍부도가 가장 높았고(전체 동물플랑크톤 군집의

86%), 요각류의 유생은 8% 그리고 요각류 성체 및 지각류는 각각 3% 이하의 분포를 보였다. 지점별로 윤충류는 동북호에서, 지각류는 대동호에서 가장 높은 밀도로 출현하였다. 요각류 성체는 보전제에서 가장 높은 밀도(142 ind. L⁻¹)를 나타내었으며 유생은 봉암제(242 ind. L⁻¹)와 주암호(119 ind. L⁻¹)에서 높은 것으로 파악되었다. 동물플랑크톤의 상호관계에서 특히 지각류는 전형적인 호소생태계에서의 식물플랑크톤의 섭식자로 알려져 있으며(Lampert and Sommer 1993), 식물플랑크톤 군집 구조 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 파악되어지고 있다. 본 남서부 호소지역의 경우 지각류 종수는 다소 높으나 섭식물이 높은 대형 지각류의(e.g., *Daphnia*) 밀도가 현저히 낮음으로 인해 전반적으로 식물플랑크톤 군집 구조 변화 등에 영향은 다소 낮을 것으로 사료된다. 이에 비해 소형 동물플랑크톤 군집인 윤충류가 식물플랑크톤의 섭식자로서의 기여도가 다소 높을 것으로 예측되며, 특히 부영양호에서의 이러한 경향성이 나타나는 것으로 알려져 있다(Zingel 1999).

2. 탄소 생체량 (BZ:BP) 비율

조사지점 내 평균 총 동물플랑크톤 탄소 생체량(BZ)은 81±64 µgC L⁻¹였다. 동물플랑크톤의 군집별 탄소 생체량은 윤충류(50개 지점 평균 43±37 µgC L⁻¹), 요각류(25±51 µgC L⁻¹), 요각류 유생(8.1±9.8 µgC L⁻¹) 그리고 지각류(4.5±6.7 µgC L⁻¹) 순인 것으로 파악되었으며, 주요 동물플랑크톤 군집 중 윤충류뿐만 아니라 요각류 군집의 탄소 생체량의 상대적 비율이 높은 것으로 분석되었다. 가장 높은 평균 총 BZ를 나타낸 지점은 학파제로 374±478 µgC L⁻¹이었으며, 가장 낮은 평균 총 BZ는 17±9 µgC L⁻¹인 불갑제 지점인 것으로 파악되었다. 식물플랑크톤의 탄소 생체량은 조사지점별로 현저한 차이를 나타내었으며 평균 식물플랑크톤 탄소 생체량(BP)은 1,055±2,560 µgC L⁻¹인 것으로 파악되었다(Fig. 4). 조사기간 동안 가장 낮은 BP를 나타낸 지점은 금호호로 167±125 µgC L⁻¹였으며 가장 높은 BP는 개초제 지점에서 평균 1.39×10⁴ µgC L⁻¹를 나타내었다. 조사지점별 BZ:BP의 비율의 차이는 뚜렷하였으며 전조사지점의 평균

BZ:BP의 비율은 유럽지역의 여러 부영양화된 호소지점의 비율과는 상이한 것으로 나타났으나 북미지역의 호소지역에서의 BZ:BP 비율과 본 조사지점의 전체 평균 BZ:BP 비율은 유사한 것으로 파악되었다(Havens *et al.* 2000; Auer *et al.* 2004). 유럽 및 미국의 호소에 따른 동물플랑크톤 생체 탄소량은 갑각류 성체(요각류, 유생 및 지각류)의 자료만을 포함하며, 본 조사에서 평가된 것과 같이 전체 동물플랑크톤 군집의 생체 탄소량 중 약 50% 이상을 차지할 정도로 비중이 높을 수 있는 윤충류 군집이 제외된 점을 감안하면, 국외 호소에 비해 국내 남서부 호소는 전반적으로 낮은 동물플랑크톤 생체 탄소량을 보이는 것으로 예상할 수 있다. 또한 정수역에 해당하는 본 연구지점과 유수역인 강(낙동강)을 비교해 볼 때, 생산성이 높은 중하류역(105 µgC L⁻¹)보다 상대적으로 높은 값을 보이는 것으로 평가되었다(Kim *et al.* 2002).

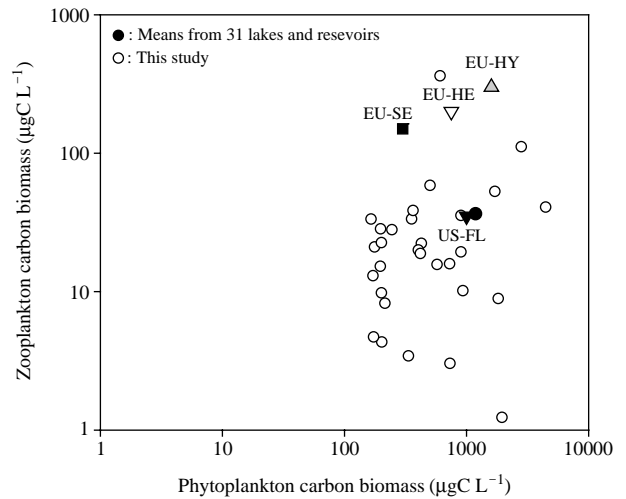


Fig. 4. Zooplankton carbon biomass plotted as a function of phytoplankton carbon biomass based on data from the present study (○, indicates 31 lakes and reservoirs, ●, indicates mean of all sites) and 55 German lakes sampled by Auer *et al.* (2004)-EU-SE European slightly eutrophic; EU-HE European highly eutrophic; EU-HY European hypereutrophic, and five lakes sampled in Florida by Havens *et al.* (2000). In all cases, biomass is in carbon units and zooplankton carbon biomass includes only adult crustaceans.

Table 2. Results of Spearman rank correlation between reservoir morphological characteristics and plankton distribution patterns (n=31, α=0.05).

	Surface area	Catchment area	Reservoir volume	Zooplankton species No.	Phytoplankton species No.	Zooplankton density	Phytoplankton density
Zooplankton species No.	-.247	-.175	-.309	1.000			
Phytoplankton species No.	-.547	-.509	-.521	.197	1.000		
Zooplankton density	-.240	-.201	-.302	.773	.300	1.000	
Phytoplankton density	-.223	-.306	-.339	.221	.345	.428	1.000

3. 호소의 형태적 특성과 플랑크톤 분포양상

동물플랑크톤보다는 식물플랑크톤이 호수의 수표면적, 유역면적 및 저수용량과 큰 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, 특히 종수가 뚜렷한 통계적 유의성을 나타내었다. 동물플랑크톤 종수는 동물플랑크톤 밀도와 양의 상관관계를 가지고 있었으며, 동물플랑크톤 밀도는 식물

플랑크톤 밀도와 양의 관계에 있는 것으로 나타났다 (Table 2). SOM 모형에 적용시킨 결과 조사지점들은 크게 두 개의 클러스터로 구분되는 것으로 나타났으며, 각각의 클러스터가 또 다시 2개씩 나뉘어, 총 4개의 클러스터가 가장 적합한 것으로 파악되었다 (Fig. 5). 그림 5B에 나타나 있는 점선을 중심으로 위쪽에서 형성되어 있는 클러스터가 각각 클러스터 1과 2이며, 아래쪽의 두 개의 클러스터가 각각 3과 4로 지정되었다. 클러스터 1과 2는 규모가 상대적으로 커서 많은 양의 저류가 가능한 호소들이 이루어졌고, 반대로 클러스터 3과 4는 소규모의 호소들이 주로 모여 있었다 (Fig. 5B). 동식물플랑크톤의 종수와 밀도는 대체로 호수의 규모와 반대의 관계에 있는 것으로 나타났으며, 규모가 작은 호수일수록 종수와 밀도가 상대적으로 증가하는 편임을 알 수 있다. 이러한 현상은 식물플랑크톤 종수에서 보다 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 6). 상하 2개 그룹을 구성하는 각각의 클러스터링 (즉 클러스터 1과 2의 구분 및 3과 4의 구분 기준)은 플랑크톤 종수와 밀도에 의해 지배되는 것으로 파악되었다. 클러스터 1과 3은 대체로 동식물플랑크톤의 종수와 밀도가 높은 호소들로 이루어졌으며, 반대로 2와 4는 종수와 밀도가 상대적으로 낮은 호소들로 구성되었다. SOM 모형의 적용 결과 동식물플랑크톤의 종수와 밀도는 호

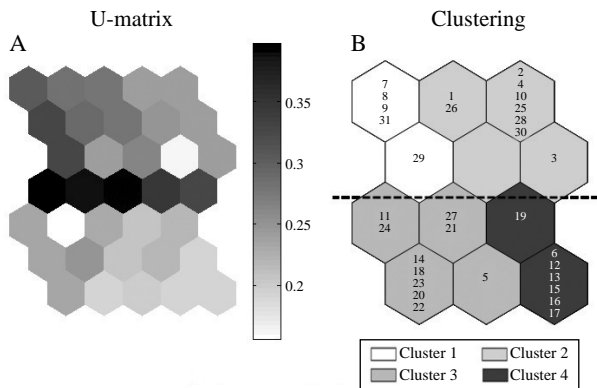


Fig. 5. Results of SOM application to the plankton distribution data. A, U-matrix; B, distribution pattern of the study sites on the SOM plane, and clustering results. Numbers in the B panel correspond to the study site numbers listed in Table 1.

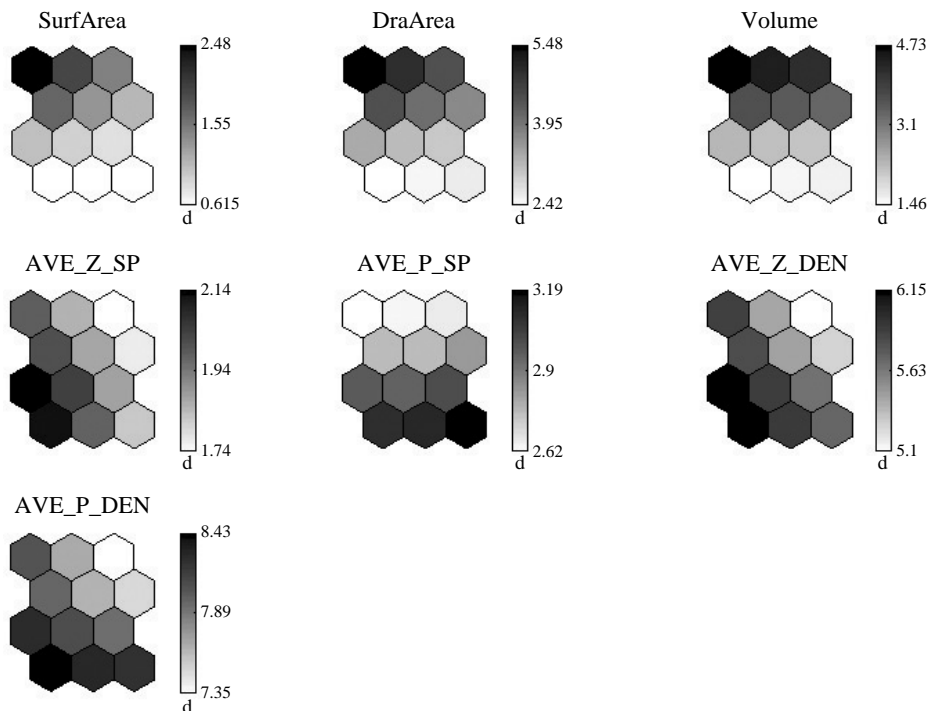


Fig. 6. Patterns of the input parameters on the SOM plane. SurfArea indicates surface area of the reservoirs, DraArea for drainage area, Volume for reservoir volume, AVE_Z_SP for average zooplankton species number, AVE_P_SP for average phytoplankton species number, AVE_Z_DEN for average zooplankton density, AVE_P_DEN for average phytoplankton density.

소의 규모가 작을수록 높아지는 경향이 존재하고 있음을 파악할 수 있다. SOM 알고리즘은 비선형적으로 데이터를 처리하여 효과적인 데이터 클러스터링이 가능하며 생태학 분야에서 산출되는 복잡성이 높은 데이터에 효과적인 것으로 알려져 있다(Chon *et al.* 1996; Lek *et al.* 2000; Jeong *et al.* 2005; Jeong *et al.* 2008). 본 연구에서 적용 및 산출된 SOM 모형 역시 전술한 연구결과와 비교하여 적절한 수준의 오차값을 가지고 있으므로 모형의 대표성이 존재한다고 할 수 있다. SOM 모형의 클러스터링 결과 호소의 수표면적, 집수역 면적 및 저수량에 의해서 1차적으로 조사지점이 구분되며, 좌우로는 동식물플랑크톤의 종수 및 밀도에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났다. 비교적 동식물플랑크톤의 군집 구조가 큰 상태의 호소는 대체로 규모가 작은 편이었으며, 조사 호소 중 큰 규모에 속하는 호소(영산호, 금호호 등)에서는 대체로 중간 수준의 동식물플랑크톤 종수 및 밀도가 관측되는 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 Spearman 상관분석과 유사한 패턴이었으며, 따라서, 플랑크톤 동태를 중심으로 한 호소 생태계 관리 방안을 수립할 경우 대형 호소보다는 중소규모 호소에 보다 초점을 맞추어야 할 필요가 있다고 할 수 있다. 우리나라의 호수 생태계 관리의 대체로 대형 저수지에 초점이 맞추어져 있으며, 비교적 빈번하게 조사가 이루어지고 있다(월 1회 수준, WAMIS 2010). 하지만 중소형 저수지는 조사가 이루어지지 않거나 보다 긴 간격(계절별 1회 수준)에 걸쳐서 조사가 진행되는 경우가 많아, 상대적으로 현상파악 및 대처 방안 관점에서 효율성이 떨어지는 측면이 있다. 따라서 본 연구의 결과를 통하여 중소형 저수지에 대해 보다 효율적인 저수지 수질-생태 관리전략이 수립될 수 있을 것으로 예상된다.

적 요

본 연구는 국내 31개 호소 지점을 대상으로 동식물플랑크톤 생체량 및 생태학적 모델 적용을 고려한 호소 간의 플랑크톤 동태 비교에 목적이 있다. 조사기간 동안 총 89종의 동물플랑크톤(윤충류 70종, 지각류 14종, 요각류 5종)과 554종의 식물플랑크톤(규조류 176종, 녹조류 237종, 남조류 68종 그리고 기타 73종)이 동정 확인되었다. 플랑크톤 밀도 및 종 다양도는 지점별 및 계절별 상이한 차이를 나타내었다. 전체 호소의 연평균 총 식물플랑크톤 밀도는 $7,350 \pm 15,592$ cells mL⁻¹ (n=124)이었으며, 가장 낮은 지점에서는 평균 855 ± 448 cells mL⁻¹ (n=4), 가장 높은 지점에서는 평균 $72,048 \pm 13,463$ cells

mL⁻¹ (n=4)인 것으로 파악되어 호소별 식물플랑크톤 밀도 차가 매우 높은 것으로 조사되었다. 동물플랑크톤 군집은 소형 동물플랑크톤인 윤충류가 우점하였으며, 지각류 및 요각류의 출현 종수는 낮은 것으로 파악되었다. 각 조사지점별 출현한 총 동물플랑크톤 종수는 상이하였으며, 호소별 평균 출현 종수는 약 3~10여 종인 것으로 나타났다. 상관관계 분석 및 SOM 모형의 적용 결과 동식물플랑크톤의 종수와 밀도는 호소의 규모가 작을수록 높아지는 경향이 존재하고 있음을 파악할 수 있다. 조사대상 호소에 대해서 플랑크톤 군집 구조 관점에서 수자원 관리가 실시될 경우 대형 호소보다는 중소형 호소에 보다 초점을 맞추어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 영산강 수계관리위원회 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 시행한 영산강·섬진강 수계 환경 기초조사사업의 연구비로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 농업기반공사. 2000. 농업생산기반정비사업통계연보. 농림부.
- 라궁환, 이학영, 김현우. 2008. 인공호수(옥정호)내 동물플랑크톤 동태 및 군집 여과율의 수직적 변화. 환경생물. 26:392-401.
- 서화중. 1978. 신축 인공호의 수질본태와 오화진행에 관한 위생화학적연구 -영산강 상류, 광주호, 나주호, 장성호를 중심으로-. 한국육수학회지. 11:67-79.
- 水野壽彦. 1978. 日本淡水プランクトン図鑑. 保育社. 351pp.
- 엄성화, 황순진. 2006. 팔당호 생태계에서 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 섭식관계. 한국육수학회지. 39:390-401.
- 유광일, 임병진, 최청일. 1987. 영산호의 동물플랑크톤 군집의 생태학적 연구. 한국육수학회지. 20:61-72.
- 이재연, 이재훈, 신경훈, 황순진, 안광국. 2007. 우리나라 농업용 저수지의 영양상태 및 수질 특성. 한국육수학회지. 40:223-233.
- 이지민, 이정준, 박종근, 이정호, 장천영, 윤성명. 2005. 대청호 남조류 대발생시기의 동물플랑크톤相 및 *Microcystis aeruginosa*와 물벼룩류 개체군 변동의 상관관계. 한국육수학회지. 38:146-159.
- 이학동, 강병찬, 김민영. 1994. 예당호 수질의 계절별 변화에 대하여. 한국육수학회지. 27:219-226.
- 전지홍, 윤춘경, 함중화, 김호일, 황순진. 2002. 농업용 저수지의 물리적 인자가 수질에 미치는 영향. 한국육수학회지. 35:28-35.
- 鄭濬. 1993. 韓國淡水藻類圖鑑. 아카데미서적. 496pp.

- 조현영, 홍사욱. 1970. 저수지의 육수학적 연구. 한국육수학회지. 3:5-9.
- 최선화, 김호일. 2002. 우리나라 수자원과 농업용수 수질오염 실태. 농어촌과 환경. 12:93-103.
- Anderssen T and DO Hessen. 1991. Carbon, nitrogen and phosphorous content of freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 36:807-814.
- Auer B, U Elzer and H Arndt. 2004. Comparison of pelagic food webs in lakes along a trophic gradient and with seasonal aspects: influence of resource and predation. *J. Plank. Res.* 26:697-709.
- Bonecker CC, MY Nagae, MCM Bletler, LFM Velho and FA Lansac-Tôha. 2007. Zooplankton biomass in tropical reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia.* 579:115-123.
- Bürgi H and P Stadelmann. 2002. Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during restoration. *Hydrobiologia.* 469:33-48.
- Chon TS, YS Park, KH Moon and EY Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecol. Modelling* 90:69-78.
- Dumont HJ, 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. *Susswasswefauuna von Mitteleuropa*, vol. 8, part 4-1. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.
- Ejmont-Karabin J. 1998. Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 45:513-522.
- Fielding AH. 1999. *Machine Learning Methods for Ecological Applications*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Fillery IR, JR Simpson and SK Datta. 1986. Contribution on ammonia volatilization to total nitrogen loss after application of urea to wetland rice fields. *Fertilizer Research* 8:193-202.
- Havens KE, TL East, J Marcus, P Essex, B Bolan, S Raymond and JR Beaver. 2000. Dynamics of the exotic *Daphnia lumholtzii* and native macro-zooplankton in a subtropical chain-of-lakes in Florida, USA. *Freshwater Biol.* 45:21-32.
- Jeong KS, DK Kim, A Pattnaik, K Bhatta, B Bhandari and GJ Joo. 2008. Patterning limnological characteristics of the Chilika lagoon (India) using a self-organizing map. *Limnology* 9:231-242.
- Jeong KS, DK Kim, TS Chon and GJ Joo. 2005. Machine learning application to the Korean freshwater ecosystems. *Kor. J. Ecology* 28:405-415.
- Kim HW, GJ Joo and N Walz. 2000. Differences of zooplankton development along a lake and a river stretch of the river spree (Germany). *Korean J. Limnol.* 33:197-205.
- Kim HW, SJ Hwang, KH Chang, GJ Joo and N Walz. 2002. Longitudinal difference in zooplankton grazing on phyto- and bacterioplankton in the Nakdong River (Korea). *Int. Rev. Hydrobiol.* 87:281-293.
- Kobayashi T, P Gibbs, PI Dixon and RJ Shiel. 1996. Grazing by a river zooplankton community: Importance of microzooplankton. *Mar. Freshwat. Res.* 47:1025-1036.
- Kohonen T. 1998. The self-organizing map. *Neurocomputing*: 1-6.
- Kohonen T, J Hynninen, J Kangas and J Laaksonen. 1996. SOM PAK: The self-organizing map program package. Helsinki University of Technology.
- Koste W. 1978. Rotatoria. Die Radertiere Mitteleuropes begründet von Max Voigt, 2nd edn., Vol. 1. Textband, 673p., Vol. 2. Tafelband, 234p., Borntraeger, Stuttgart.
- Krebs CJ. 2001. *Ecology-The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (5th eds.). Benjamin Cummings, San Francisco.
- Lampert W and U Sommer. 1993. *Limnoökologie*. Thieme Verlag, Stuttgart.
- Lek S, JL Giraudel and JF Gúegan. 2000. Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists. pp.3-27. In *Artificial Neuronal Networks* (Lek S and JF Gúegan, eds.). Application to Ecology and Evolution. Springer-Verlag, Berlin.
- Mullin MM, PR Sloan and RW Eppley. 1966. Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 11:307-310.
- Pace ML and JD Orcutt. 1981. Relative importance of protozoans, rotifers and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnol. Oceanogr.* 26:822-830.
- Smirnov NN and BV Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacean). *Rec. Aust. Mus. Suppl.* 1:1-132.
- Spearman C. 1987. The proof and measurement of association between two things. *Am. J. Psychiat.* 15:72-101.
- Strathmann RR. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* 12:411-418.
- WAMIS. 2010. <http://water.nier.go.kr/front/waterEasy/polic01.jsp>.
- Zar JH. 2001. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, NJ.
- Zingel P. 1999. Pelagic ciliated protozoa in shallow eutrophic lake: community structure and seasonal dynamics. *Arch. Hydrobiol.* 146:495-511.