

영산강·섬진강 수계 호소의 규모에 따른 식물플랑크톤 분포

나정은·정명화·박종환¹·김상돈¹·임병진¹·김현우²·이학영*

전남대학교 자연과학대학 생물학과, ¹국립환경과학원 영산강물환경연구소

²순천대학교 사범대학 환경교육과

Relationships between Phytoplankton Community and Sizes of Reservoirs in Yeongsan and Seomjin River Basins, Korea

Jeong-Eun Na, Myoung-Hwa Jung, Jong-Hwan Park¹, Sang-Don Kim¹,
Byung-Jin Lim¹, Hyun-Woo Kim² and Hak Young Lee*

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

¹*Yeongsan River Environmental Research Center, Gwangju 500-480, Korea*

²*Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea*

Abstract - The relationships between the phytoplankton community and sizes of reservoirs are investigated from 29 reservoirs in Yeongsan and Seomjin River Basins, Korea. As a microalgal flora, a total of 371 species of phytoplankton were identified. There were spatial and seasonal variations in standing crops and species diversity of phytoplankton. Statistical analysis showed that the size of reservoirs did not affect greatly on the community of phytoplankton. Species diversity and standing crops were higher in reservoirs of smaller surface area. However, there were no distinctive relationships between the size of basins of reservoirs and standing crops, species diversity, and chlorophyll *a* concentrations. Relationships between the constructed years of reservoirs and standing crops, species diversity, and chlorophyll *a* concentrations also showed very low level.

Key words : phytoplankton, reservoir, basin area, surface area

서 론

수서생태계에 서식하는 생물은 환경과 작용-반작용의 상호작용을 통해 일정한 질서와 항상성을 가지고 진화하는 기능적 단위로 역할을 한다. 다양한 생물들이 계내의 에너지 흐름을 형성하고, 인접한 육상생태계와 연관을 통해 에너지 흐름을 완성하는 지구생태계의 중요한

구성체가 된다(Odum 1971; Kalf 2002).

대표적인 정수계인 호소는 주변의 환경으로부터 유해 화합물질이나 영양염류의 유입에 따른 수질악화로 인해 생태계의 구조와 기능에 많은 변화를 겪고 있다(Barnes and Mann 1991; Wetzel 1999). 따라서 보다 선진화된 수 환경 조성과 생물다양성의 제고를 위해서는 호소의 생태계 구조와 건전성을 진단하는 과정이 필요하다. 최근 수서생태계의 안정성 확보와 생물상 보전에 대한 이해가 상당히 증가하였으나 수서생물과 그들이 의존하여 생활하는 수중환경은 더욱 악화되어 왔다(Lampert and

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

Sommer 1997; Leidy and Moyle 1998).

전통적 생계농업 또는 전통적 집약농업이 주로 이루어졌던 영산강과 섬진강 수계에 분포하는 호소들은 자정가능한 정도의 오염스트레스를 받아왔었으나 20세기 후반부터의 급속한 도시화와 산업화에 따라 오염물질 발생량의 증가와 이에 따른 부영양화로 수질오염이 심화되어(윤 등 2000; 신 등 2003; 김 등 2008) 호소생태계의 구조와 기능이 많이 왜곡되었다.

국내 호소의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구는 대형 호수를 대상으로 한 연구(이 등 2002), 기타 소형 호소와 농업용 저수지에 대한 연구(이 등 1994; 김 1999; 서 등 2003; 김과 김 2004; 김과 황 2004; 박 등 2006)가 있어 왔으나 저수지의 규모나 축조연대에 따른 식물플랑크톤 분포에 관한 연구는 미비한 상태이다.

본 조사에서는 영산강과 섬진강 수계 호소를 대상으로 호소의 규모와 축조시기에 따른 식물플랑크톤 분포 양상을 분석하여 영산강·섬진강 수계 호소의 종다양성 유지와 수생태 및 수질보존대책을 수립하기 위한 기반 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 시기

본 연구를 위해 영산강과 섬진강 수계에 분포하는 만수위 수표면적 0.3 km² 이상의 29개 호소를 조사지점으로 선정하였다(Fig. 1). 각 호소의 유역면적, 담수량, 체류시간, 수표면적, 조사지점 수는 Table 1과 같다. 선정된 호소에서 2010년 3월부터 2010년 11월까지 4차에 걸쳐 식물플랑크톤을 채집하였다. 1차는 2010년 3월 12일부터 3월 29일 사이에 수행하였고, 2차는 2010년 5월 29일부터 6월 8일까지, 3차는 8월 24일부터 9월 28일까지, 그리고 4차는 11월 1일부터 11월 19일까지 각각 실시하였다.

2. 식물플랑크톤 채집, 동정 및 계수

식물플랑크톤은 환경부의 호소환경조사지침에 따라 식물플랑크톤의 출현종, 현존량(세포수 mL⁻¹ 단위로 환산한 출현량), 우점종을 조사하였다.

재료수는 Van-Dorn 채수기(용량 4L)를 사용하여 표면하 30 cm의 현상수를 채수하였다. 채집된 식물플랑크톤 시료는 1L 폴리에틸렌병에 담고 Lugol's solution을 첨가하여 보존제에 의한 최종 고정농도가 2% (v/v)가 되도록 고정하였다. 동정 및 분류는 가능한 시료의 신선도

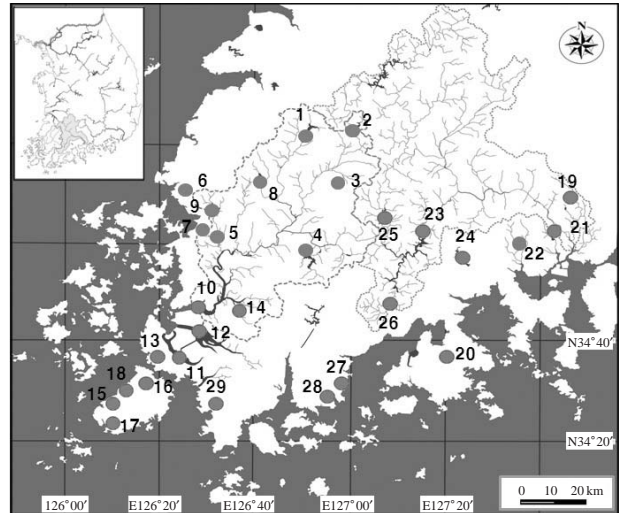


Fig. 1. Map showing the sampled reservoirs in Yeongsan and Seomjin River Basins. 1. Jangsung, 2. Damyang, 3. Gwangju, 4. Naju, 5. Daedong a, 6. Bulgap, 7. Daedong b, 8. Suyang, 9. Odong, 10. Yeongsan, 11. Gumho, 12. Yeongam, 13. Gaecho, 14. Hakpa, 15. Bojeon, 16. Dunjeon, 17. Bongam, 18. Sopo, 19. Hadong, 20. Jangsu, 21. Sueo, 22. Bakwoon, 23. Juam, 24. Sangsa, 25. Dongbok, 26. Bosung, 27. Jijeong, 28. Sudong, 29. Gungok

를 유지한 상태에서 최단 시간내에 분석에 임하였으며 식물플랑크톤의 동정 시 광학현미경하에서 400배 이상의 고배율로 관찰하고 필요에 따라서는 1,000배로 관찰하였다.

식물플랑크톤 현존량 조사를 위한 시료는 재료수 1L를 실험실에서 24시간 이상 침전시킨 후 사이폰을 이용하여 상등액을 제거하여 농축한 시료를 사용하였다. 제거한 상등액의 양을 mass-cylinder로 측정후 채집병에 남은 시료의 양을 다시 mass-cylinder로 측정하여 농축계수를 산정하였으며 농축 시료를 피펫으로 균등하게 섞은 후 1 mL를 취해 Sedgewick-Rafter counting chamber에 넣고 광학현미경하에서 100~400배의 배율로 각 종별 세포수를 계수하였다. 식물플랑크톤의 동정은 도감과 참고문헌 (Prescott 1962; Patrick and Reimer 1966, 1975; Akiyama *et al.* 1977; Hirose *et al.* 1977; 정 1993; John *et al.* 2002)을 참고하여 수행하였다.

결과 및 고찰

2010년 영산강·섬진강 수계 29개 호소 45개 지점의 호소환경조사에서 동정된 식물플랑크톤은 녹조강 151종, 규조강 119종, 남조강 54종 그리고 유글레나강을 포함한 기타 47종으로 총 371종이었다. 분류군별 조성은

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

Site name	Constructed year	Drainage area (km ²)	Water capacity ($\times 10^6$ m ³)	Retention time (hr)	Surface area (km ²)	Sampled stations
Jangseong	1976	122.8	69.9	7,629	5.4	2
Damyang	1976	47.2	49.2	14,607	3.0	2
Gwangju	1976	41.3	14.5	5,256	1.6	2
Naju	1976	84.6	60.4	8,799	5.2	2
Daedong a	1981	—	6.3	3,136	0.9	1
Yeongsan	1981	3,471	180.9	2,671	34.6	3
Gumho	1996	184	84.9	7,926	23.3	3
Yeongam	1993	355	153	15,404	42.8	3
Bulgap	1926	46.8	9.8	—	1.7	1
Daedong b	1946	43.9	3.7	—	0.9	1
Suyang	1959	33	4.8	—	1.2	1
Odong	1930	9	1.7	—	0.5	1
Gaecho	1969	5.5	0.1	186	0.4	1
Hakpa	1952	947	2.7	—	0.5	1
Dunjeon	1958	7.25	1.1	—	0.7	1
Bojeon	1997	6.27	2.5	—	0.8	1
Bongam	1979	5.71	1.9	—	0.7	1
Baekun	1967	48.56	4.0	680	0.7	1
Jangsu	1980	2.96	0.6	—	0.5	1
Sudong	1966	1.8	2.4	—	0.7	1
Jijeong	1925	1.03	0.8	2,880	0.3	1
Gungok	1961	14	0.1	166	0.4	1
Sopo	1977	111.98	9.3	—	2.8	1
Sangsa	1992	134.6	155.6	5,195	5.3	2
Juam	1992	1,010	208.5	6,792	18.3	3
Boseong	1935	275	2.8	185	1.3	2
Sueo	1978	49	28.1	3,062	1.3	2
Dongbok	1971	189	68.9	8,394	5.6	2
Hadong	1994	58.5	31	4,961	1.0	1

* Daedong a: Daedong-Ho; Daedong b: Daedong-Je

규조강 32%, 녹조강 41%, 남조강 15% 등으로 우리나라 중, 대형 호소에서 출현하는 식물플랑크톤 분류군별 조성과 큰 차이가 없었다(김 등 2010).

주요 우점종은 *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Cyclotella* sp., *Fragilaria crotonensis*, *Dictyosphaerium* sp., *Monoraphidium caribeum*, *Monoraphidium contortum*, *Monoraphidium griffithii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Oscillatoria limosa*, *Phormidium tenue* f. *non-constrictum*, *Phormidium valderianum* var. *tenuis* 등의 13종으로 규조류가 5종, 녹조류가 4종 그리고 남조류가 4종이었다.

각 조사호소별 출현종수 현황에서는 붕암제가 1~4차 조사기간 동안 식물플랑크톤이 가장 풍부하게 출현하는 것으로 나타났고, 소포제, 개초제, 둔전제 지점에서도 비교적 다양한 종들이 출현하였지만, 금호호와 영암호의 조사지점들에서 출현종 다양도가 낮은 것으로 조사되었다.

식물플랑크톤의 개체군 밀도는 변동의 폭이 매우 컸다. 일부 호소에서는 개체군 밀도의 급격한 증가가 나타났는데 이는 특정 분류군의 대발생 또는 번성에 따른

것이였다. 대동제 지점에서는 3차 조사 때 개체군 밀도가 매우 높았는데 이는 남조류인 *Oscillatoria tenuis*가 16,843 cells mL⁻¹로 번성한 것에 기인하였다. 그리고 개초제 지점에서 2차 조사 때 높은 개체군 밀도를 보인 것은 남조류인 *Phormidium valderianum* var. *tenuis*와 *Aphanizomenon flos-aquae*가 번성한 결과였다. 보전제 지점에서는 3차 조사 때 높은 개체군 밀도를 보여주었는데, 이는 남조류인 *Merismopedia tenuissima*가 17,291 cells mL⁻¹로, *Oscillatoria angustissima*가 3,945 cells mL⁻¹으로 우점하였기 때문이었다.

클로로필 *a*는 0.16 mg m⁻³ (영암호1)~80.3 mg m⁻³ (개초제)의 범위를 보였다. 식물플랑크톤의 개체수와 클로로필 사이에 상관성이 높지 않았는데, 이는 조사대상 호소의 식물플랑크톤 개체수를 결정하는 우점종들이 대부분 nanoplankton에 속하는 남조류였기 때문이었다.

호소의 규모에 따른 식물플랑크톤 군집 분포 양상은 매우 낮은 상관성을 나타냈다(Figs. 2-8). 일반적으로 호소의 규모와 식물플랑크톤의 분포사이에는 비교적 높은 상관성이 나타난다(Patterson 1976; Nilsson 1978; Kalff 2002). 호소의 유역면적(basin area)이 커지면 출현종의

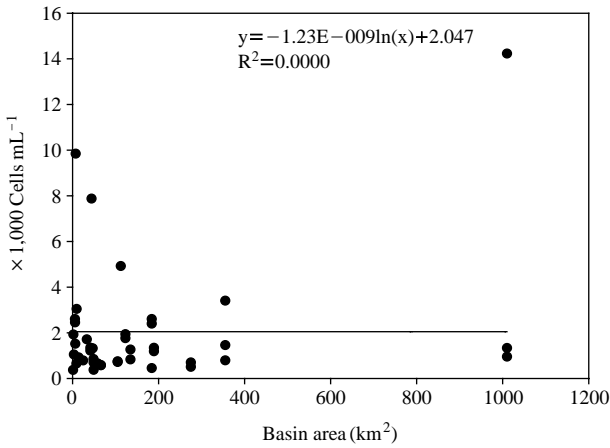


Fig. 2. The relationship between the standing crops of the phytoplankton and the basin areas of the reservoirs.

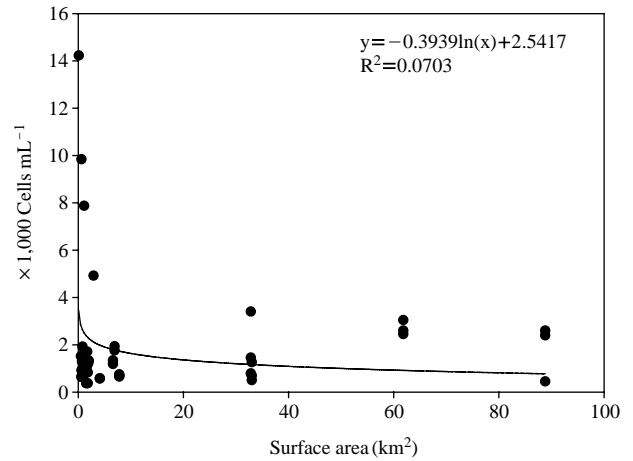


Fig. 4. The relationship between the standing crops of the phytoplankton and the surface areas of the reservoirs.

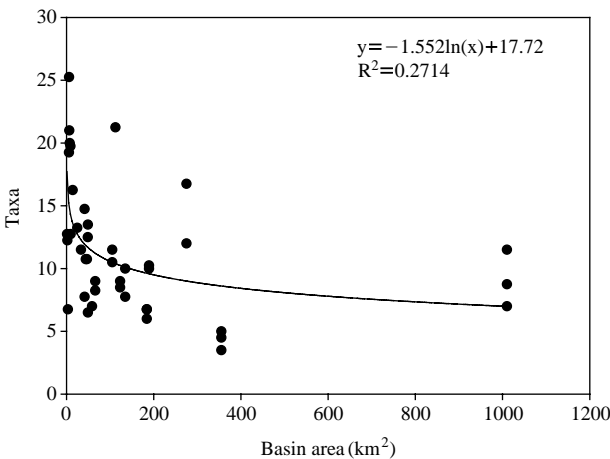


Fig. 3. The relationship between the species diversity of the phytoplankton and the basin areas of the reservoirs.

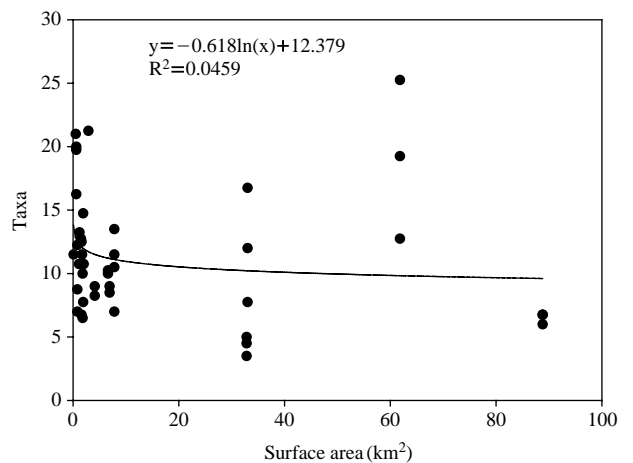


Fig. 5. The relationship between the species diversity of the phytoplankton and the basin areas of the reservoirs.

다양도가 높아지고 수심이 깊어지면 상대적으로 현존량이나 생산성이 낮아진다(Straskraba 1980). 그러나 본 조사에서는 본 연구에서 조사된 호소의 유역면적에 따른 식물플랑크톤 분포 분석에서 유역면적과 현존량 사이에는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 2). 유역면적과 출현종수의 상관분석에서는 유역면적이 증가할수록 출현종의 다양도가 감소하는 것으로 나타났으나 상관도는 매우 낮았다(Fig. 3).

수표면적(surface area)과 식물플랑크톤 분포 분석에서는 수표면적이 넓을수록 현존량과 출현종 다양도가 더 낮게 나타났다(Figs. 4, 5). 이것은 수표면적이 넓을수록 개체수와 출현종수가 유의하게 증가한 북미와 유럽-아프리카 지역 호소조사의 결과와는 많은 차이가 있다(Dodson 1992; Green 1993).

본 조사 호소들에서 호소의 규모와 식물플랑크톤 군집 사이에 상관성이 높지 않은 것은 대상 호소들의 규모가 작고 연중 수량의 변동이 크며 먹이망과 인위적인 간섭이 식물플랑크톤의 자연적인 분포를 불규칙적으로 왜곡하였기 때문으로 생각된다(Horne and Goldman 1994; Kalff 2002; Graham *et al.* 2009).

호소의 축조연대(constructed year)와 식물플랑크톤의 출현 현존량의 상관성 조사에서 호소의 형성연대와 현존량 사이에는 상관관계가 없는 분포를 보여주었다(Fig. 6). 전체적으로 평균 현존량이 2,000 cells mL⁻¹의 분포를 보여주었으며 일부 호소에서 8,000 cells mL⁻¹ 이상의 개체수가 출현하면서 회귀식에서 약간의 기울기를 만들었다. 특히 1997년에 조성된 보전제의 높은 현존량에 의해 약한 양의 상관을 보여주었으나 통계적 의미가 없는 상

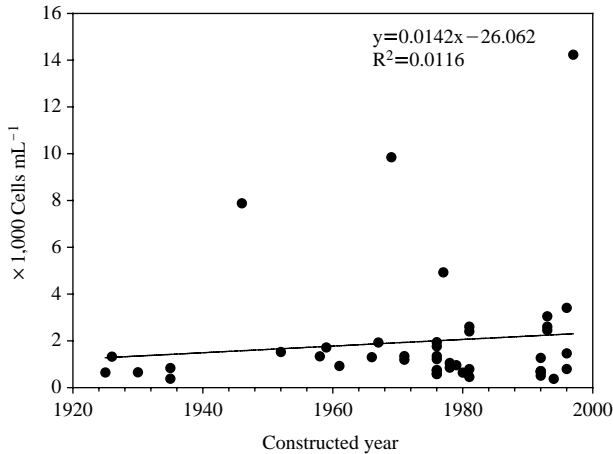


Fig. 6. The relationship between the standing crops of the phytoplankton and reservoirs constructed years.

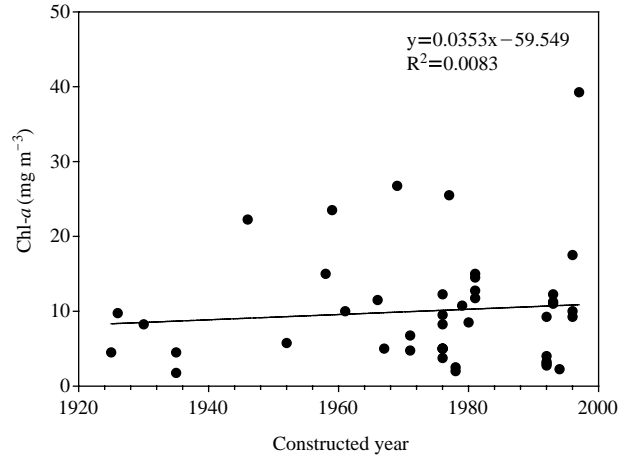


Fig. 8. The relationship between the concentration of chlorophyll *a* and reservoirs constructed years.

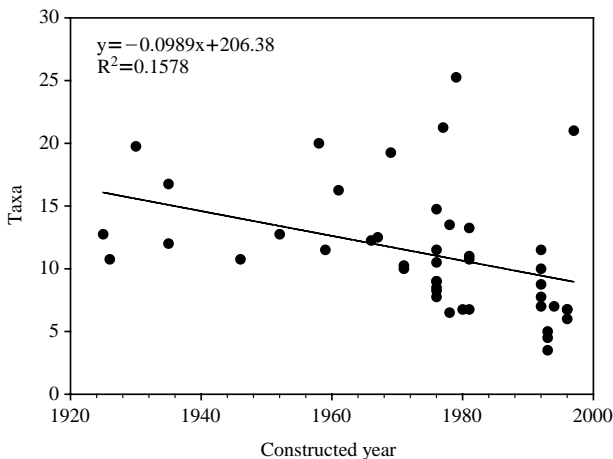


Fig. 7. The relationship between the species diversity of the phytoplankton and reservoirs constructed years.

관성이었다.

호소의 형성연대와 식물플랑크톤의 출현종 다양도 분포 사이에도 큰 연관성이 없는 것으로 나타났다(Fig. 7). 연 평균 출현종수 분포 조사에서 호소의 형성이 오래 전에 이루어진 것에서 상대적으로 더 다양한 출현종 현황을 나타냈다. 1990년도 이후에 축조된 호소에서는 보전제에서 3차 조사에서 20종이 출현한 것을 제외하고 모두 13종 이하의 낮은 다양도를 나타냈다.

호소의 연령과 클로로필 *a*의 농도는 더 낮은 상관성을 보여주었다(Fig. 8). 보전제에서 남조류의 bloom에 의한 높은 클로로필 *a* 농도가 조사되었던 데이터를 제외하면 호소 형성연대와 클로로필 사이에는 상관성이 없는 것으로 나타났다.

호소의 수질은 축조될 때 유입되는 유입수의 성격에

의해 수질이 결정된다. 그러나 모든 호소는 시간이 흐르면서 부영양화의 과정을 거치게 되는데, 부영양화에 이르는 시간은 유입수의 영양물질 농도, 체류시간, 증발산 등에 의해 결정된다(Wetzel 1999; Kalff 2002). 이 과정에 식물플랑크톤의 출현종 구성과 종다양성, 그리고 현존량의 정도에 차이가 생겨난다(Reynolds 1984). 일반적으로 호소의 형성연대가 오래수록 부영양화에 따른 생물량, 클로로필 *a* 농도의 증가가 일어난다(Kalff 2002). 본 조사가 이루어진 호소들에서 호소의 형성연대의 차이에 따른 부영양화 정도에 차이가 있지만 다른 요소들(체류시간, 수심, 생물상)에 의한 효과(Reynolds 1984; Kalff 2002; Graham *et al.* 2009)가 더 강하게 작용하고 있어 호소의 축조에 의한 영향을 파악할 수 없었다.

적 요

2010년 영산강·섬진강 수계의 29개 호소 45개 지점의 환경조사에서 동정된 식물플랑크톤은 총 371종으로 규조강과 녹조강이 주를 이루었다.

호소의 규모와 식물플랑크톤의 분포 양상 사이에 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 호소의 유역면적과 식물플랑크톤 현존량은 상관성을 보이지 않았고, 유역면적과 출현종수 사이에도 상관성이 매우 낮았다. 수표면적과 식물플랑크톤 출현종수와 현존량 사이에는 낮은 상관성이 나타났다. 본 조사 호소들에서 호소의 규모와 식물플랑크톤 군집 사이에 상관성이 높지 않은 것은 호소의 규모가 작고 수량의 연중 변동이 크며 먹이망과 인위적인 간섭이 식물플랑크톤의 자연적인 분포를 왜곡하였기 때문으로 생각된다.

호소의 축조연대와 식물플랑크톤의 분포 사이에도 상관성이 없는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤의 출현 현존량은 호소의 형성연대와 상관관계가 없는 분포를 보여주었다. 축조연대와 클로로필 *a*의 농도 사이에는 더 낮은 상관성을 보여주었다. 본 조사가 이루어진 호소들에서는 생성연대의 차이에 따른 부영양화 정도에 차이가 있지만 다른 요소들(체류시간, 수심, 생물상)에 의한 효과로 호소 생성연대의 영향을 찾을 수 없었다.

참 고 문 헌

- 김숙찬, 김한순. 2004. 영천댐의 식물플랑크톤 군집과 환경 요인의 동태. *Algae* 19:227-234.
- 김용재. 1999. 덕동호의 식물플랑크톤 군집과 LTSI에 의한 호소의 영양상태평가. *Algae* 19:227-234.
- 김호섭, 최은미, 박주현, 황하선, 김범철, 공동수, 황순진. 2008. 농업용 저수지 수질과 경험적 인자들과의 관계. 수질보전한국물환경학회지. 24:333-339.
- 김호섭, 황순진. 2004. 부영양저수지에서 식물플랑크톤 성장에 대한 제한영양염과 질소/인 비의 영향. *한국육수학회지*. 37:36-46.
- 박정훈, 문병렬, 이옥민. 2006. 수원시 수계에 분포하는 식물플랑크톤의 종조성 및 영양단계. *Algae* 21:217-228.
- 서정관, 유재정, 이재정, 양상용, 정익교. 2003. 운문호의 식물플랑크톤 군집 동태와 영양단계평가. *Algae* 18:135-143.
- 신재기, 황순진, 강창근, 김호섭. 2003. 하천형 저수지 팔당호의 육수학적 특성: 수문과 수환경 요인. *한국육수학회지*. 36:242-256.
- 윤태광, 윤태일, 김창균, 박세진. 2000. 부영양화 인공호소의 수질관리를 위한 초고속응집침전 (URC) 공정의 적용. *대한환경공학회*. 22:2025-2036.
- 이정호, 박종근, 김은정. 2002. 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가. *Algae* 17:275-281.
- 이학동, 강병찬, 김민영. 1994. 예당호 수질의 계절별 변화에 대하여. *한국육수학회지*. 27:219-226.
- 정 준. 1993. *한국담수조류도감*. 아카데미출판사. 서울.
- Barnes RSK and KH Mann. 1991. *Fundamentals of Aquatic Ecology*. 2nd ed. Blackwell Science Inc., London.
- Hirose HM, T Akiyama, K Imahori, H Kasaki, S Kumana, H Kobayasi, E Takahashi, T Tsumura, M Hirano and T Yamagishi. 1977. *Illustration of the Japanese freshwater algae*. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan. 932pp.
- John DM, BA Whitton and AJ Brook. 2002. *The Freshwater Algae Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge.
- Lampert W and U Sommer. 1997. *Limnology: The ecology of lakes and streams*. Oxford.
- Leidy RA and PB Moyle. 1998. *Conservation Status of World's Fish Fauna: An Overview*. In *Conservation Biology: For the Coming Decade* (Fiedler PL and PM Kareiva eds.). Chapman & Hall, New York.
- Odum EP. 1971. *Fundamentals of Ecology*. 3rd ed. Saunders, Philadelphia.
- Patrick R and CW Reimer. 1966. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia.
- Patrick R and CW Reimer. 1975. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. II part 1*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia.
- Prescott GW. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area*. Otto Koeltz Science Publisher, Germany.
- Reynolds CS. 1984. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, London.

Manuscript Received: March 10, 2011
Revision Accepted: May 11, 2011
Responsible Editor: Baik Ho Kim