

영산강 · 섬진강 수계 주요 호소의 식물플랑크톤 군집

나정은 · 정명화 · 조인숙 · 박종환¹ · 황경섭¹ · 송효정¹
 임병진¹ · 라궁환² · 김현우² · 이학영*

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

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

Jeong-Eun Na, Myoung-Hwa Jung, In Sook Cho, Jong-Hwan Park¹,
 Kyung-Sub Hwang¹, Hyojeong Song¹, Byung-Jin Lim¹, Geung-Hwan La²,
 Hyun-Woo Kim² and Hak Young Lee*

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

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

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

Abstract – The distributions of phytoplankton community are investigated from 29 reservoirs in Yeongsan and Seomjin River Basins, Korea. As a microalgal flora, a total of 424 species of phytoplankton were identified. They were 157 Chlorophyceae, 161 Bacillariophyceae, 39 Cyanophyceae, and 67 other algal taxa. The phytoplankton diversity were low in stream type reservoirs such as Kumho, Yeongsan and Youngam Reservoirs. The population density of phytoplankton ranged from 29 cells mL⁻¹ to 53,161 cells mL⁻¹. The dominant phytoplankton species more than 20% of total standing crops were *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* sp., *Synedra acus*, *Coelastrum reticulatum*, *Pandorina morum*, *Scenedesmus arcuatus*, *Aphanothece clathrata*, *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium* sp. The concentration of chlorophyll *a* ranged from 0.41 mg m⁻³ ~ 220.72 mg m⁻³, and showed highest concentration in Gaecho-je. The concentrations of TN and TP have no clear relationships with chlorophyll *a* concentrations.

Key words: phytoplankton, chlorophyll, reservoir, Yeongsan, Seomjin

서 론

오늘날 지구생태계는 다양한 요인들에 의한 종다양성 감소가 큰 문제로 대두되고 있다(Myers and Worm 2003;

Sibert *et al.* 2006; Jaenike 2007; Butchart *et al.* 2010). 비교적 협온성의 생물이 서식하는 공간인 수생태계 (Odum 1971; Kalff 2002)에서 종다양성 감소는 더 심각하게 나타나고 있다(Walters 2003; Hampton *et al.* 2005; Butchart *et al.* 2010).

환경 선진국들은 대멸종(mass extinction)의 시대에 유용한 유전자의 확보와 유전자은행(gene bank)의 구축을

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

위해 환경국부의 원천인 생물다양성(biodiversity)을 파악하기 위해 지속적인 조사사업을 수행하고 있다. 우리나라도 생태계의 건강성과 안정성의 지표가 되는 생물상 조사를 1986년 이후 지속적으로 시행해 왔으며 생물자원관에 부존 생물상의 inventory를 구축하고 많은 종들을 전시 및 보관하고 있다. 그러나 아직 우리나라의 다양한 서식환경에 대한 조사가 미비하고 인력부족에 따른 조사 및 종 동정의 미흡으로 많은 생물종들이 정확하게 파악되지 못하고 있어 효율적인 보전과 복원이 이루어지지 못하고 있다.

우리나라의 대표적 곡창지로 농업이 광범위하게 이루어졌던 영산강과 섬진강 수계에는 많은 호소가 분포하는데 이들 호소들은 자연적인 치유가 가능한 정도의 오염부하를 받아왔으나 20세기 후반부터의 급속한 도시화와 산업화에 따라 오염물질 발생량의 증가와 이에 따른 부영양화로 수질오염이 심화되어(윤 등 2000; 신 등 2003; 김 등 2008) 이들 호소의 생태계 구조와 기능이 많이 왜곡되었다. 특히 수계의 일차생산자인 식물플랑크톤 군집에 많은 교란이 이루어져 유해한 종들의 비중이 증가하는 등의 변화가 나타나고 있다. 따라서 종다양성의 유지와 수질보존을 위한 호소 식물플랑크톤 구조에 대한 조사가 필요한데, 우리나라 호소의 식물플랑크톤 군집조사는 주로 대형 호소에서 이루어졌다(김과 이 1991; 이와 조 1994; 김 등 1995; 이와 송 1995; 김 1996; 김 등 1998; 이 등 2002). 또 소형 호소와 농업용 저수지에 대한 연구(이 등 1994; 김 1999; 서 등 2003; 김과 김 2004; 김과 황 2004; 박 등 2006)도 일부 진행되어 왔으나 소규모 저수지의 식물플랑크톤 분포에 관한 연구는 미비한 상태이다(김 등 2010; 나 등 2011).

본 조사에서는 영산강과 섬진강 수계 호소를 대상으로 식물플랑크톤 분포 양상을 분석하여 영산강섬진강 수계 호소의 종다양성 유지와 수생태 및 수질보존대책을 수립하기 위한 기반자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 시기

본 연구는 영산강과 섬진강 수계에 분포하는 만수위 수표면적 0.3 km² 이상의 호소를 대상으로 하였다. 각 호소의 위치와 유역면적, 담수량, 체류시간, 수표면적, 조사 지점 수는 나 등(2011)의 Fig. 1과 Table 1에 제시하였다. 각 조사대상 호소에서 2011년 3월부터 2011년 11월까지 4차에 걸쳐 식물플랑크톤을 채집하였다. 1차는 2011년 3

월 22일부터 4월 25일 사이에, 2차는 2011년 5월 31일부터 6월 21일까지, 3차는 2011년 8월 12일부터 8월 26일까지, 그리고 4차는 2011년 10월 17일부터 10월 24일까지 각각 실시하였다.

2. 식물플랑크톤 채집, 동정 및 계수

식물플랑크톤의 군집 분석은 환경부의 호소환경조사 지침과 Wetzel and Likens (1991)의 방법에 따라 식물플랑크톤의 출현종, 현존량(cells mL⁻¹ 단위로 환산한 출현량), 우점종을 조사하였다.

재료수는 Van-Dorn 채수기(용량 4 L)를 사용하여 각 호소수의 수심 30 cm의 현장수를 채수하였다. 채집된 식물플랑크톤 시료는 포르말린을 첨가하여 보존제에 의한 최종 고정농도가 5% (v/v) 이하가 되도록 고정하였다. 동정 및 분류는 가능한 시료의 신선도를 유지한 상태에서 최단 시간 내에 분석에 임하였으며, 식물플랑크톤의 동정 시 광학현미경하에서 400배 이상의 고배율로 관찰하고 필요에 따라서는 1,000배로 관찰하였으며 사진촬영을 하여 이미지를 확보하였다.

식물플랑크톤 현존량 조사를 위한 시료는 재료수 1 L를 실험실에서 24시간 이상 침전시킨 후 siphon을 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; Hirose *et al.* 1977; 정 1993; John *et al.* 2002)을 참고하여 수행하였다.

결과 및 고찰

2011년 영산강·섬진강 수계 29개 호소 45개 지점의 호소환경조사에서 동정된 식물플랑크톤은 규조강 161종, 녹조강 157종, 남조강 39종 그리고 유글레나강을 포함한 기타 67여종으로 총 424종이었으며 분류군별 조성은 규조강 38%, 녹조강 37%, 남조강 9% 등으로 규조강과 녹조강의 식물플랑크톤이 주를 이루는 특징을 보여주었다(Fig. 1). 규조강과 녹조강의 절대 우점은 우리나라 중, 대형 호소나 저수지들에서 관찰되는 식물플랑크톤 조성 과 잘 일치한다(최 등 1994; 이 등 1997; 이와

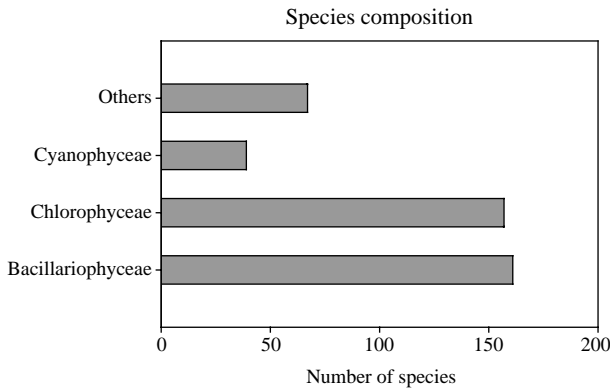


Fig. 1. Phytoplankton species composition of each taxonomic group in reservoirs of Yeongsan and Seomjin River Basins.

윤 2002; 이 등 2002).

조사지점별 출현종수는 1차 조사에서 6종(수양제)~29종(광주호), 2차 조사에서 4종(영암호)~29종(광주호), 3차 조사에서 3종(지정제)~33종(둔전제), 4차 조사에는 6종(영암호)~42종(개초제)의 범위를 보였다(Fig. 2). 조사기간 동안 4차 조사시기에 상대적으로 더 다양한 종이 출현한 것으로 나타났으나 종다양성은 매우 낮았다. 2011년 조사를 통해 개초제, 둔전제 지점은 1차~4차 조사기간 동안 식물플랑크톤이 가장 풍부하게 출현하는 것으로 나타났으며, 두 지점 모두 4차 조사시기에는 40종 이상으로 매우 다양하게 출현하였다. 대동호, 대동제, 소포제, 군곡제, 개초제, 둔전제 지점은 비교적 다양한 종들이 출현하였지만, 영산호, 금호호, 영암호 등의 하천형 호소에서는 비교적 빈약한 종조성을 갖는 것으로 조사되었다.

조사기간 동안 각 지점에서 20% 이상의 우점종을 보인 종은 *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* sp., *Synedra acus*, *Coelastrum reticulatum*, *Pandorina morum*, *Scenedesmus arcuatus*, *Aphanothece clathrata*, *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium* sp. 등이었다.

조사시기별로는 1차(3월~4월) 조사에서는 규조류인 *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella* sp.와 녹조류인 *Chlamydomonas orbicularis*, *Dictyosphaerium* sp., *Monoraphidium arcuatum*, *Monoraphidium contortum* 등이 우점하는 양상을 보였고, 남조류인 *Phormidium* sp., 유글레나조류인 *Trachelomonas*속, 황색편모조류인 *Kephyrion rubri-claustri*가 일부 분포하는 특징을 보였다. 특히 규조류인 *Asterionella formosa*가 담양호 지점에서 높은 개체군 밀도를 보였다.

2차(5월~6월) 조사에서는 규조류인 *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira distans*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella* sp., *Synedra acus*와 녹조류인 *Monoraphidium contortum*, *Pediastrum* sp., *Scenedesmus* spp.의 다양한 종이 우점하였으며, 남조류는 *Anabaena* spp., *Phormidium* sp., 와편모조류는 *Peridinium volzii*, *Peridinium tabulatum*, 유글레나조류인 *Trachelomonas volvocina*, 황색편모조류인 *Kephyrion rubri-claustri* 등이 출현하였다. 소포제 지점에서 2차 조사시기에 높은 개체군 밀도가 관찰되었는데 이는 *Coelosphaerium naegelianum* ($6,545 \text{ cells mL}^{-1}$)의 번성에 따른 것이었다.

3차(8월)조사에서는 규조류는 *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira distans*, *Cyclotella* sp., *Synedra acus* 녹조류는 *Pediastrum duplex*, *Scenedesmus* spp., 남조류는 *Phormidium* sp., 유글레나조류는 *Trachelomonas volvocina*가 우점하였다. 대동제 지점에서 3차 조사시기에 높은 개체군 밀도를 보였는데 이는 남조류인 *Phormidium* sp.가 번성한 때문이었다.

4차(10월)조사에서는 규조류인 *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* sp.와 녹조류인 *Closterium*속, *Scenedesmus*속, *Monoraphidium* spp.의 종이 우점하였고, 남조류는 *Oscillatoria subtilissima*, *Phormidium* spp., 와편모조류는 *Peridinium* sp., 유글레나조류는 *Trachelomonas* spp. 등도 출현하였다. 특히 남조류인 *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium lapideum* var. *amorphum*이 대동제 지점에서 높은 개체군 밀도를 보였다.

식물플랑크톤의 개체군 밀도는 1차 조사에서는 92 cells mL^{-1} (수양제)~ $3,263 \text{ cells mL}^{-1}$ (대동제), 2차 조사에서는 74 cells mL^{-1} (영산호)~ $12,059 \text{ cells mL}^{-1}$ (소포제), 3차 조사에서는 29 cells mL^{-1} (지정제)~ $53,161 \text{ cells mL}^{-1}$ (대동제), 4차 조사에서는 $110 \text{ cells mL}^{-1}$ (보전제)~ $9,601 \text{ cells mL}^{-1}$ (대동제)의 범위를 보였다(Fig. 3). 소포제 지점에서는 2차시기에 개체군 밀도가 매우 높았는데 이는 남조류인 *Coelosphaerium naegelianum*이 $6,545 \text{ cells mL}^{-1}$, 그리고 *Lyngbya limnetica*가 $2,014 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 번성한 것에 기인하였다. 그리고 불갑제 지점이 2차 조사에서 높은 개체군 밀도를 보인 것은 남조류인 *Anabaena* sp.와 녹조류인 *Dictyosphaerium pulchellum*이 번성한 결과였다. 개초제 지점에서는 6월에 높은 개체군 밀도를 보여주었는데, 이는 남조류인 *Anabaena crassa*가 $2,195 \text{ cells mL}^{-1}$ 로, *Merismopedia tenuissima*가 $1,663 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 우점하였기 때문이었다. 대동제 지점이 8월 조사에서 높은 개체군 밀도를 보인 것은 남조류인 *Phormidium* sp.

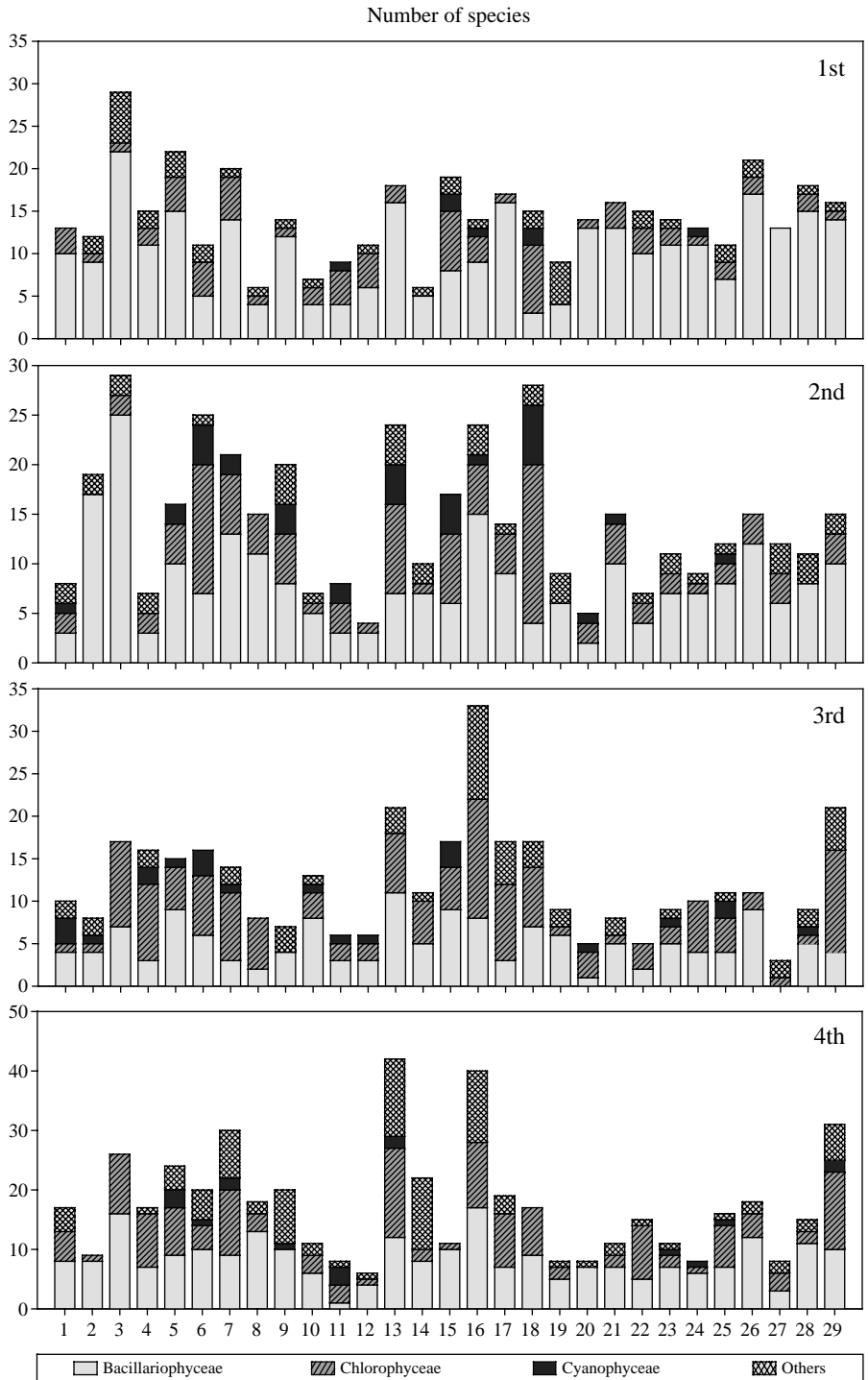


Fig. 2. Phytoplankton species numbers in each reservoir in Yeongsan and Seomjin River Basins.

가 51,865 cells mL⁻¹로 변성한 때문이었다. 개체군 밀도가 높았던 2차조사 시의 우점종이 주로 남조류였던 것은 조사대상 호소들이 온대지방 호소 식물플랑크톤 분포의 일반적인 패턴을 따른 결과로 보인다(Reynolds

1984). 백운제 지점에서는 10월에 규조류인 *Aulacoseira distans*가 2,696 cells mL⁻¹로 우점하였는데, 이는 가을 이후 규조가 우점하는 온대 호소의 천이패턴을 나타낸 것으로 보인다.

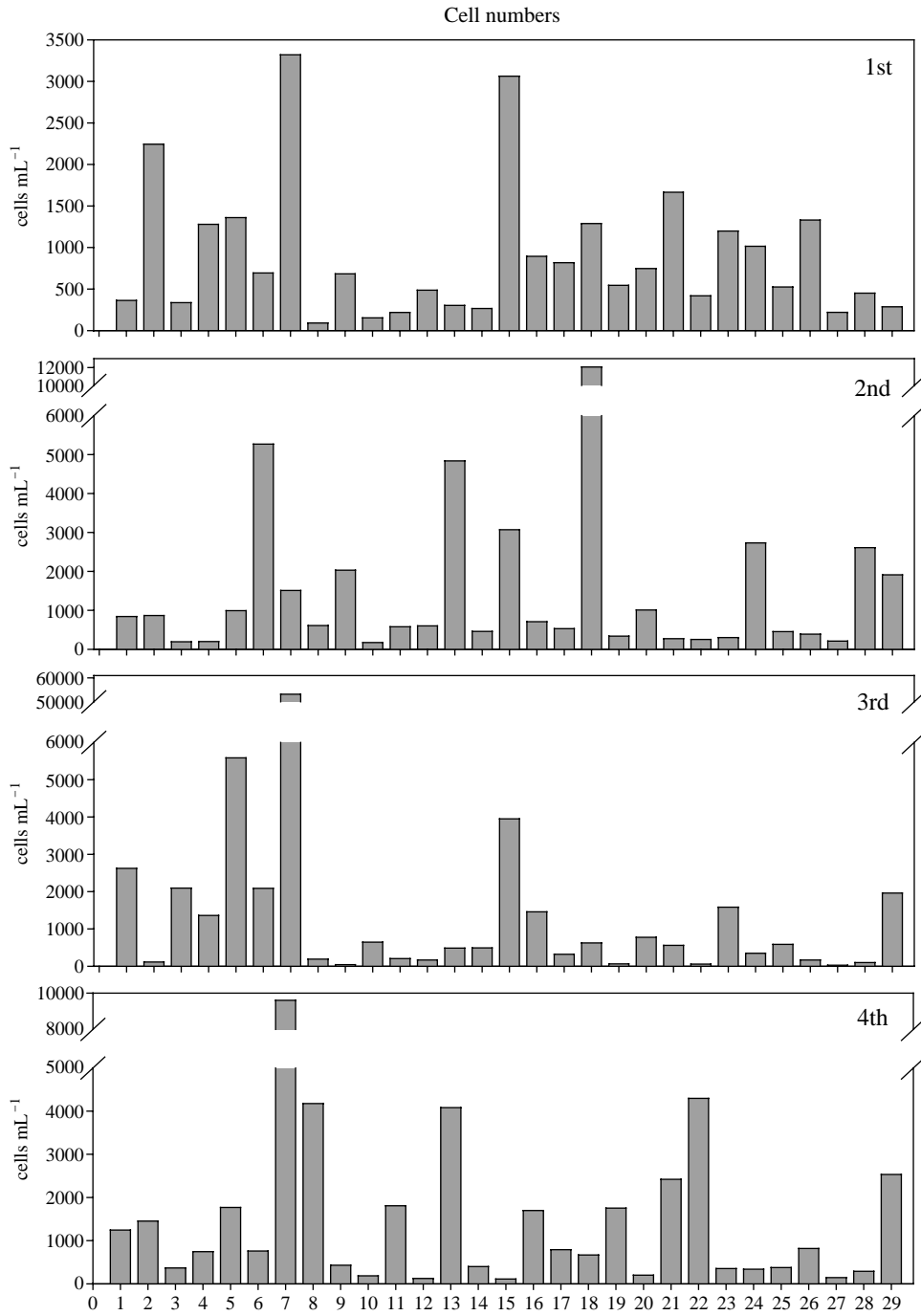


Fig. 3. The standing crops of the phytoplankton in each reservoir in Yeongsan and Seomjin River Basins.

클로로필-*a*의 농도는 1차 조사에서 2.0 mg m⁻³ (지정제)~28.57 mg m⁻³ (소포제), 2차 조사에서는 1.85 mg m⁻³ (수어호)~220.72 mg m⁻³ (개초제), 3차 조사는 0.80 mg m⁻³ (백운제)~71.18 mg m⁻³ (둔전제), 4차 조사에서는 0.41 mg m⁻³ (상사호)~11.92 mg m⁻³ (둔전제)의 범위를 보였다(Fig. 4).

전 조사기간 중 4차 조사시기에 클로로필의 농도가 뚜렷이 감소하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 가을철의 조류번성 후 쇠퇴기에 개체수가 감소한 것이 반영된 결과로 해석된다.

개초제 지점에서는 1차~3차 조사기간 동안 클로로필이 25.00 mg m⁻³~220.72 mg m⁻³로 매우 높게 나타났다.

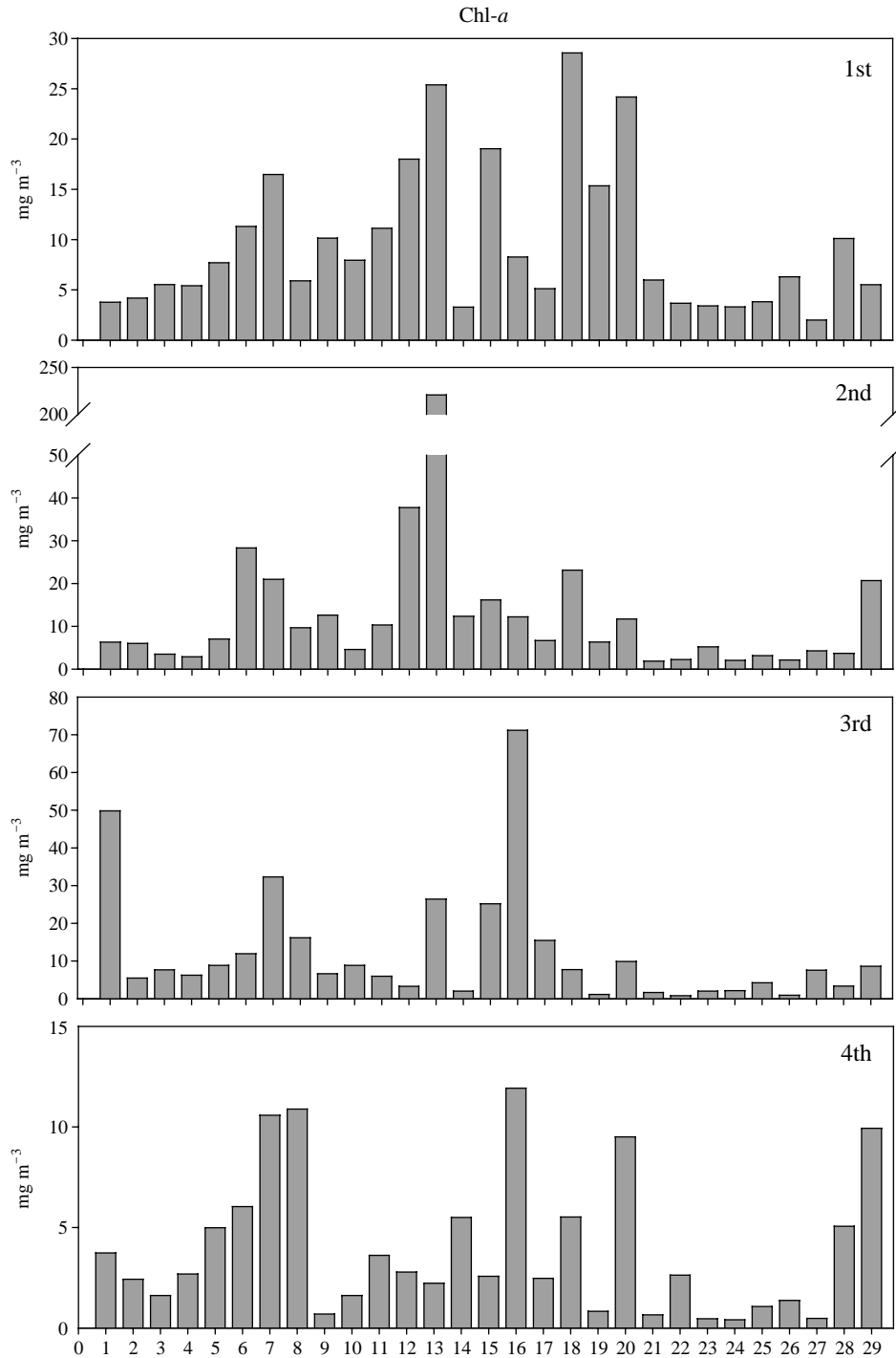


Fig. 4. The concentration of chlorophyll *a* in each reservoir in Yeongsan and Seomjin River Basins.

특히 2차 조사 시에 식물플랑크톤의 개체수 밀도는 높지 않았는데도 클로로필의 농도가 200 mg m⁻³ 이상으로 매우 높게 나타났는데, 이는 2차 조사가 이루어진 때에 저수지에 전체에 넓게 퍼진 부유식물(좁개구리밥)의 번성에 의한 것으로 보인다.

클로로필-*a* 농도는 수중 식물플랑크톤 생물량의 척도가 되지만 분류군에 따라 크기의 편차가 매우 큰 식물플랑크톤은 개체수에 기초한 생물량과 클로로필-*a* 생물량 사이에는 불일치의 정도가 큰 경우가 많다(Kalff 2002; Graham *et al.* 2009). 이번 조사에서도 식물플랑크톤의 개

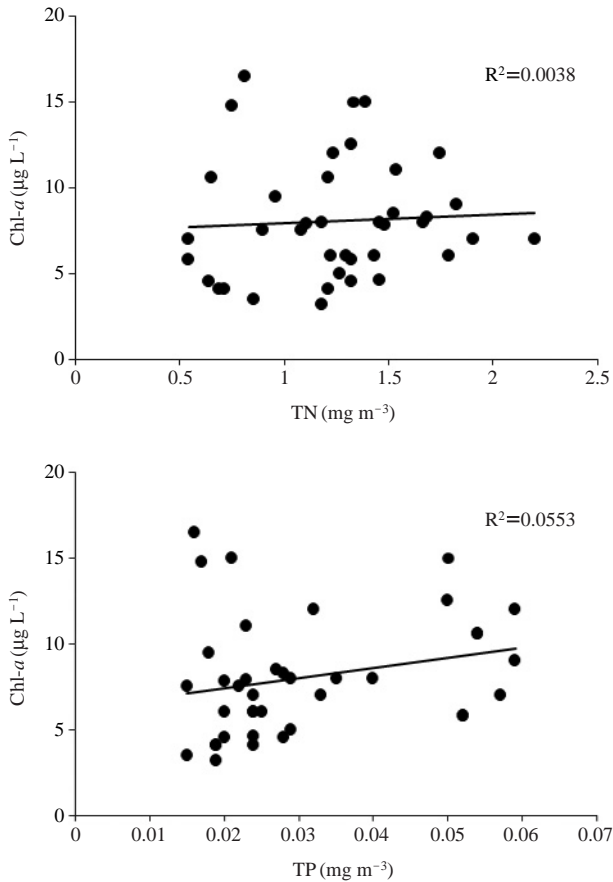


Fig. 5. The relationships between TN, TP and chlorophyll *a* concentrations in reservoirs of Yeongsan and Seomjin River Basins.

체수와 클로로필-*a* 농도 사이에는 큰 불일치가 있었다.

클로로필-*a* 농도와 총질소(TN), 총인(TP)의 농도 사이에는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 5). 총질소와 클로로필-*a* 농도 사이의 낮은 상관성은 총질소가 제한요인이 되지 않음을 의미하는데, 실제로 대부분 조사지점에서 총질소의 농도는 중영양 이상의 농도를 나타냈다(Kalff 2002). 총인의 농도는 중영양-부영양의 범위였으며 상대적으로 클로로필-*a* 농도와의 상관도가 총질소의 경우보다 더 높았으나, 총인의 농도 범위에 따른 클로로필-*a* 농도의 다양한 상관식(Quiros 1990)의 어느 것에도 적용되지 않았다.

이상의 결과에서 본 조사가 이루어진 영산강과 섬진강 수계 29개 호소의 식물플랑크톤 군집은 분류군별 조성을 제외한 대부분의 항목에서 기존의 식물플랑크톤 분포패턴으로 해석할 수 없는 특이한 분포양상을 나타냈음을 볼 수 있었다. 저수지나 소형 호소들에서 식물플랑크톤의 분포는 호소의 규모나 호소의 형성연대의 차이에 따른 부영양화 정도와 수문학적 요소들(체류시간,

수심), 생물상에 의한 효과(Reynolds 1984; Kalf 2002; Graham *et al.* 2009) 등이 강하게 작용하는데, 본 조사가 이루어진 호소들처럼 수자원의 활동이 특정시기에 집중되고 수량의 변동이 크며 인위적인 간섭이 많은 곳에서는 인간의 요인에 의한 효과도 무시할 수 없는 것으로 보인다. 따라서 이들 호소 생태계의 군집을 정확하게 파악하기 위해서는 수자원의 이용이 많은 시기에 집중적인 조사가 이루어져야 하며 이를 토대로 군집에 대한 해석이 되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

2011년 영산강·섬진강 수계 29개 호소조사에서 동정된 식물플랑크톤은 규조강 161종, 녹조강 157종, 남조강 39종, 기타 67여종으로 총 424종이었다. 조사기간 동안 4차 조사시기에 상대적으로 더 다양한 종이 출현하였으며 대동호, 대동제, 소포제, 군곡제, 개초제, 둔전제 지점에서 다양한 종들이 출현하였고, 영산호를 비롯한 하천형 호소에서는 비교적 빈약한 종이 출현하였다.

각 지점에서 20% 이상의 우점종을 보인 종은 대부분 규조류였고 2차와 3차 조사에서 녹조류와 남조류도 우점의 빈도가 높아졌다.

개체군 밀도는 조사 호소나 시기에 따른 뚜렷한 패턴이 없었고 특정 종의 성장에 크게 의존하는 특성을 나타냈다.

클로로필-*a*의 농도는 조사호소와 시기에 따른 편차가 매우 컸으며 식물플랑크톤의 개체수와 일치하지 않는 것으로 나타났다. 총질소와 총인의 농도와 클로로필-*a*의 농도 사이에는 매우 낮은 상관성이 나타났다.

참 고 문 헌

- 김숙찬, 김한순. 2004. 영천댐의 식물플랑크톤 군집과 환경요인의 동태. *Algae* 19:227-234.
- 김용재. 1996. 팔당호의 식물 플랑크톤 군집의 생태학적 고찰과 지표종을 이용한 영양단계 평가. *한국육수학회지*. 29:323-345.
- 김용재. 1999. 덕동호의 식물플랑크톤 군집과 LTSI에 의한 호소의 영양상태평가. *Algae* 19:227-234.
- 김용재, 이정호. 1996. 낙동강 수계의 6개 댐호의 식물 플랑크톤 군집구조 비교. *한국육수학회지*. 29:347-362.
- 김용재, 최재신, 김한순. 1997. 임하호의 식물 플랑크톤 군집 구조. *한국육수학회지*. 30:307-324.
- 김종원, 이학영. 1991. 낙동강 하구 저수지의 식물플랑크톤

- 군집에 관한 연구. 한국육수학회지. 24:143-151.
- 김지환, 김영환, 이인규. 1998. 충주호 식물플랑크톤 군집의 동태. 한국조류학회지. 13:339-354.
- 김현우, 라궁환, 정광석, 박종환, 허유정, 김상돈, 나정은, 정명화, 이학영. 2010. 국내 남서부지역 호수 및 저수지 생태계의 플랑크톤 동태 변화. 환경생물. 28:86-94.
- 김호섭, 최은미, 박주현, 황하선, 김법철, 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.
- 나정은, 정명화, 박종환, 김상돈, 임병진, 김현우, 이학영. 2011. 영산강·섬진강 수계 호소의 규모에 따른 식물플랑크톤 분포. 환경생물. 29:107-112.
- 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, 김창근, 박세진. 2000. 부영양화 인공호소의 수질관리를 위한 초고속응집침전(URC) 공정의 적용. 대한환경공학회. 22:2025-2036.
- 이 경, 윤숙경. 2002. 임진강 수역의 자연 하적호 장좌못에서 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화. 한국육수학회지. 35:103-110.
- 이 경, 윤숙경, 한명수. 1997. 철원 북방 DMZ내의 중영양호 토요저수지의 생태학적 연구 III. 부착규조. 한국육수학회지. 30:253-279.
- 이옥민, 송호영. 1995. 주암호의 연간('93) 식물플랑크톤의 분포 및 현존량의 동태. 한국육수학회지. 38:427-436.
- 이은주, 조규송. 1994. 소양호 식물성플랑크톤의 연간변화. 한국육수학회지. 27:9-22.
- 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. 496 pp.
- 최민규, 김백호, 정연태, 위인선. 1994. 주암호의 식물플랑크톤의 출현과 동태. 한국육수학회지. 27:79-91.
- Butchart SHM, M Walpole, B Collen, AV Strien, JPW Scharlemann, REA Almond and JEM Baillie. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. Science 328:1164-1168.
- Graham LE, JM Graham and LW Wilcox. 2009. Algae. Benjamin Cummings, New York.
- Hampton J, JR Sibert, P Kleiber, MN Maunder and SJ Harley. 2005. Fisheries: Decline of pacific tuna populations exaggerated? Nature 434:E1-E2.
- 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. 932 pp.
- Jaenike J. 2007. Comment on "Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services". Science 316:1285.
- 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. 720 pp.
- Kalff J. 2002. Limnology. Prentice Hall, New Jersey.
- Myers RA and B Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature 423:280-283.
- Odum EP. 1971. Fundamentals of Ecology. International Thomson Publishing (3rd Ed.). p. 574.
- 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. 688 pp.
- 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. 213 pp.
- Prescott GW. 1962. Algae of the western great lakes area. Otto Koeltz Science Publisher, Germany. 976 pp.
- Quiros R. 1990. Factors relating to the variance of Residuals in chlorophyll-total phosphorus regressions in lakes and reservoirs of Argentina. Hydrobiologia 200/201:343-355.
- Reynolds CS. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, London. 384 pp.
- Sibert JR, J Hampton, P Kleiber and M Maunder. 2006. Biomass, size, and trophic status of top predators in the Pacific Ocean. Science 314:1773-1776.
- Walters CJ. 2003. Folly and fantasy in the analysis of spatial catch rate data. Can. J. Fish Aquat. Sci. 60:1433-1436.
- Wetzel RG and GE Likens. 1991. Limnological Analysis. Springer-Verlag.

Received: 9 January 2012

Revised: 21 February 2012

Revision accepted: 25 February 2012