

운문댐의 식물플랑크톤 군집 동태

김 한 순*

(경북대학교 생물학과)

The Dynamic of Phytoplankton Community in Unmun Dam. Kim, Han Soon* (Department of Biology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

The seasonal changes in phytoplankton species composition, standing crops, dominant species, species diversity and physico-chemical characteristics in the Unmun dam were studied, from August, 2009 to April, 2010. The phytoplanktons of a total of 121 taxa were identified, the composition of phytoplankton community was characterized by a green algae and diatoms, and the quantity composition of standing crops was dominated by diatoms and dinophyceae. The diatoms *Aulacoseria granulata* and blue-green alga *Anabaena planktonica* in Summer, *Peridinium voltzii* in Autumn and *Asterionella formosa* in Winter to Spring were, especially, prominent. The seasonal changes of the biomass varied from 578 cells mL⁻¹ to 12,938 cells mL⁻¹, and the maximum algal density was observed in April, *Asterionella formosa* contributed to 88% of the total cell numbers. The species diversity and richness were highest during autumn, and dominance index was highest in the spring season.

Key words : Unmun dam, phytoplankton community, standing crop

서 론

1970년대부터 시작된 급속한 산업화와 도시화에 따른 식수, 생활용수와 농·공업용수의 확보 및 홍수조절과 전력생산을 위해 1973년 소양강 다목적 댐 건설을 시작으로 우리나라의 4대강을 포함한 주요 하천에 대규모의 인공댐을 축조하여 현재 16개의 다목적 댐과 14개의 용수 전용 댐을 운영하고 있으며, 현재도 여러 개의 중·소규모 댐 건설이 추진되고 있다(K-water, 2012). 이러한 댐의 건설은 경제성장과 생활수준의 향상과 더불어 급속히 증가하는 농업용수, 관개용수 및 생활용수의 원활한 공급

과 아울러 관광자원으로서의 많은 경제적 효과에도 불구하고 최근 들어 자연환경 보전 가치의 중요성이 강조되면서 댐 건설이 내포하고 있는 여러 가지 문제점들이 부각되고 있다. 댐 건설은 하천 생태계의 단절과 일정 구간의 유수생태계를 정수생태계로 변화시킴으로써 필연적인 생물상의 변화뿐만 아니라, 댐 상류의 숙박업소, 식당, 축산폐수 및 농경지로부터 유입되는 영양염류에 의한 댐 호의 급속한 부영양화는 조류의 대발생을 유발하여 수생태계의 다른 생물에게 직·간접적인 피해를 주거나 관광자원으로서의 가치를 저하시킨다. 특히 용수전용 댐에서의 조류 대발생은 정수장의 여과장애뿐 아니라, 독소의 분비 및 이취미의 유발로 정수비용을 증가시켜 커다란

* Corresponding author: Tel: (053) 950-5344, Fax: (053) 953-3066, E-mail: kimhsu@knu.ac.kr

경제적 손실을 야기시킨다 (Persson, 1982; Hayes and Burch, 1989; Lawton and Codd, 1991; Chamichael and Falconer, 1993; Falconer, 1993). 따라서 댐 건설이 주변 생태계에 미치는 영향을 분석하고, 역기능을 최소화하기 위한 방안을 수립하기 위해서 지속적인 생물상 모니터링을 통한 장기적인 자료의 축적이 매우 중요하다.

운문댐은 대구광역시, 경산시, 영천시 및 청도군 지역에 대한 생활용수 공급을 주목적으로 1985년 12월에 착공하여 1994년 9월에 용수전용 댐으로 건설되었으며, 2002년에 수문을 설치하여 홍수조절과 하류의 수질 개선을 위한 용도를 추가하였다. 1998년에 운문댐 주변을 상수원보호구역으로 지정하여 각종 개발로 인한 댐 내의 수질오염원 및 수서생태계의 교란을 어느 정도 차단하고 있다. 그러나 운문댐 상류에 위치한 많은 음식점과 펜션, 자연경관이 빼어난 신원천의 삼계계곡과 소호천 계곡 및 운문댐과 운문사를 찾는 수많은 관광객들에 의한 수질오염 및 수서생물상의 교란이 예상되고 있다.

식물플랑크톤은 수체의 물리화학적 요인과 밀접한 관계를 가지고 있고, 수계생태계, 특히 정수생태계의 먹이사슬에 있어서 일차 생산자로서 중요한 구성원이며 식물플랑크톤 군집의 특성은 먹이연쇄를 통해 수계생태계 전반에 영향을 미치고 있기 때문에 (Reynolds, 1984) 인공호의 식물플랑크톤의 조사는 전반적인 수계생태계를 이해하기 위한 필수적인 사항이다. 국내에 축조된 인공댐은 대부분 부영양화가 진행되고 있고, 조류 대발생이 빈번하게 발생하고 있으며, 소양강댐, 팔당댐, 안동댐, 임하댐, 대청댐 등 대규모 다목적 댐에 대해서는 비교적 다양한 생태학적 자료가 축적되어 있으나 (Kim and Lee, 1996; Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002). 중·소 규모의 용수전용 댐에 대한 생물상 조사는 매우 미비한 실정이다 (Kim *et al.*, 1998; Kim and Moon, 2000; Kim and Hwang, 2001; Kim and Kim, 2004; Lee *et al.*, 2008).

본 연구는 운문댐 저수지의 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성을 규명하여 운문댐의 효율적인 수자원 이용과 관리 대책을 수립하는데 기초 자료로 제공하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사대상지 개황

운문댐은 행정구역상 경상북도 청도군 운문면에 위치

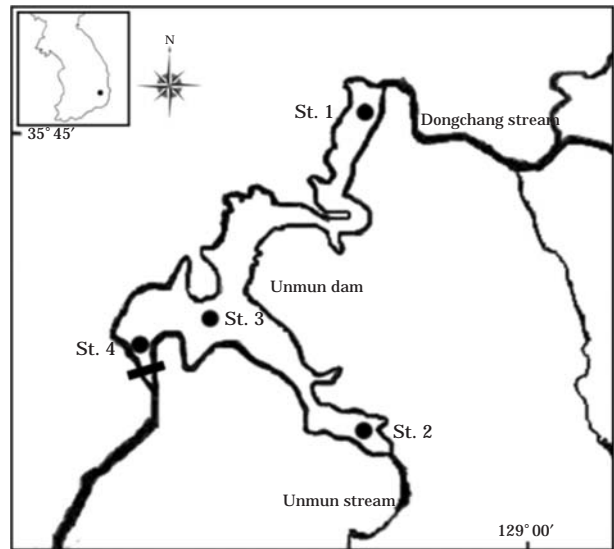


Fig. 1. Map showing the sampling stations and the Unmun dam.

하고 있으며, 지리적으로 북위 $36^{\circ} 42' 30''$, 동경 $128^{\circ} 18' 30''$ 에 걸쳐 있다. 운문댐은 대구광역시, 경산시, 영천시 및 청도군 지역에 대한 생활용수 공급을 주목적으로 1985년 12월에 착공하여 1994년 9월에 용수전용 댐으로 건설되었으며, 2002년에 수문을 설치하여 하류 농경지의 냉수 피해 방지와 홍수조절 기능을 추가하였다. 운문댐의 유역면적은 301.3 km^2 이고, 제방높이 55 m, 제방길이 407 m, 만수면적 7.8 km^2 , 총 저수량은 1.6억 톤이다. 조사지점은 운문댐으로 유입되는 동창천과 운문천 유입부와 합류지점, 취수탑 부근 등 저수지 내의 4개 지점을 선정하였다 (Fig. 1).

2. 조사방법

본 조사는 운문댐의 4개 지점에 대해 2009년 8월, 10월, 2010년 1월 및 4월의 총 4회에 걸쳐 계절별로 채집 조사하였다.

시료의 채집은 플랑크톤 넷트 (Rhigoshia NXXX25, Mesh size $25 \mu\text{m}$)와 1L용 폴리에틸렌 병을 이용하여 정성 및 정량 채집을 실시하였고, 채집한 시료는 즉시 lugol's solution으로 고정하였으며, 장기보관을 위해 3~5% 중성 formalin 용액으로 고정하였다. 종의 동정은 광학현미경 (Zeiss Axioskop 2) 400~1,000배로 검경하고, 현미경사진을 촬영하여 실시하였으며, 구조류는 permanganate method (Hendey, 1974)로 세정한 후 pleurax 봉입제로 영구 표본을 제작한 뒤 광학현미경 (Zeiss Axioskop 2) 사진을

촬영하여 동정하였다. 정량 채집한 시료는 24~48시간 침전시킨 후 적정 농도(50~100 mL)로 농축하였으며, 농축한 시료는 잘 혼합하여 1 mL를 취해 Sedgwick-Rafter Chamber에 넣어 10분 이상 정치시킨 뒤 독립현미경(Zeiss Axiovert 25) 400배 하에서 각 분류군의 세포수를 계수하여 현존량을 산출하였으며, 상대빈도가 가장 높은 분류군을 우점종으로 하였다. 종 풍부도지수는 Margalef (1958), 종 다양성과 우점도 지수는 Shannon-Weaver (1963)와 Simpson (1949)의 방법에 따라 산출하였다.

pH, EC, 총 인, 총 질소 및 Chl. *a* 등 수질자료는 EC 한국수자원공사 자료를 이용하였고, 종의 동정은 Prescott (1962), Hirose *et al.* (1977), Komarek and Fott (1983), Kramer and Lange-Bertalot (1986~1991), Yamagishi and Akiyama (1984~1998), Watanabe (2005) 등을 주로 이용하였다.

결 과

1. 환경요인

이번 조사와 운문댐 건설 이후 수회에 걸쳐 조사된 운문댐의 이화학적 환경요인은 Table 1에 나타내었다. 수온은 1월에 정점 2의 4.8°C에서 8월에 최고치인 29.1°C의 범위로 나타났으며, pH는 6.79~7.6의 범위를 나타내었고 다른 계절에 비해 여름철에 다소 낮은 값을 나타내었다. 전기전도도는 72~124 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 의 범위로 나타났으며, 전반적으로 겨울에 높은 값을 나타내었으며, 정점 1에서 정점 2보다 높게 조사되었다. 운문댐 건설 이후 년 평균 총 질소는 2009년 최소값인 0.97 mg L^{-1} 에서 2004년 최고값인 1.455 mg L^{-1} 의 범위로 나타났으며, 총 인의 농도

Table 1. Environmental factors in the Unmun dam from 1996 to 2010.

		1996	1998	2004	2006	2007	2008	2009	2010
W. T. (°C)	Spring				5.3	9.7	9.7	9.3	7.0
	Summer				16.0	20.7	19.7	19.0	16.0
	Autumn				7.7	19.3	17.0	20.0	18.7
	Winter				6.7	7.7	7.0	3.7	5.7
	Mean				12.1	14.3	13.3	13.8	11.8
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Spring				69.3	68.7	75.0	83.0	87.1
	Summer				69.3	79.3	75.3	91.3	72.2
	Autumn				62.3	71.3	86.7	74.0	84.0
	Winter				70.7	67.3	74.7	96.5	76.0
	Mean				68.0	72.0	78.0	81.0	80.0
pH	Spring				7.22	7.56	7.48	7.46	7.60
	Summer				7.24	7.46	6.93	7.41	7.40
	Autumn				7.27	6.79	7.17	7.21	7.23
	Winter				7.20	7.14	7.09	7.32	7.47
	Mean				7.23	7.24	7.17	7.35	7.5
T-P (mg L^{-1})	Spring	0.02	0.016	0.013	0.010	0.017	0.013	0.010	0.020
	Summer	0.015	0.017	0.025	0.010	0.020	0.013	0.040	—
	Autumn	0.015	0.015	0.017	0.010	0.013	0.013	0.070	—
	Winter	0.014	0.005	0.011	0.013	0.010	0.010	0.013	0.015
	Mean	0.016	0.013	0.017	0.018	0.015	0.012	0.033	0.018
T-N (mg L^{-1})	Spring	1.78	1.389	0.85	1.09	1.17	1.16	0.92	1.62
	Summer	1.58	1.038	1.85	1.14	1.23	1.30	1.26	—
	Autumn	1.18	0.671	1.72	1.14	1.24	1.03	0.91	—
	Winter	0.96	0.979	1.4	1.09	1.06	1.05	0.79	0.88
	Mean	1.375	1.019	1.455	1.115	1.175	1.135	0.97	1.25
Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Spring	7.0	4.03	5.1	5.27	12.17	7.27	3.23	10.3
	Summer	6.2	5.5	13.4	4.07	11.43	6.23	15.43	—
	Autumn	3.53	8.35	12	4.5	1.63	2.77	2.7	—
	Winter	2.9	2.2	3.2	4.17	3.77	1.4	2	3.5
	Mean	4.91	5.02	8.43	4.50	7.25	4.42	5.84	6.9

(1996 : K-water, 1998 : Lee *et al.*, 2004 : Kim, 2006~2010 : K-water)

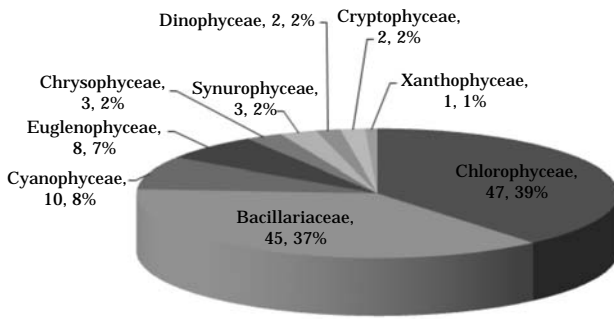


Fig. 2. Taxonomical composition of the phytoplankton from the Unmun dam.

는 2008년에 가장 낮은 0.012 mg L^{-1} 에서 2009년의 최고값인 0.033 mg L^{-1} 의 범위로 나타나 운문댐의 수질은 이 시기를 제외하면 빈영양 상태를 유지하는 것으로 나타났다. 연평균 Chl. a 농도는 2008년에 최소값인 $4.42 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 2004년의 최고값인 $8.43 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위로 나타나 빈영양 단계를 보여주고 있으나 2009년 8월에는 특정 조류종의 대량 발생에 의해 $30 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 상당히 높은 농도를 나타내었다.

2. 식물플랑크톤 군집 특성

1) 종조성

운문댐에서 출현한 식물플랑크톤은 총 121종류가 동정되었고, 이들은 녹조류가 47종류 (38.8%)로 가장 많았으며, 규조류가 45종류 (37.2%), 남조류 10종류 (8.2%), 유글레나조류 8종류 (6.6%), 황갈조류 3종류 (2.5%), 시누라조류 3종류 (2.5%), 와편모조류와 은편모조류 각각 2종류 (1.7%), 황녹색조류 1종류 순으로 조사되었다 (Fig. 2).

계절별 식물플랑크톤 출현종 수는 봄철에 76종류가 출현하여 가장 많았으며, 여름철에 36종류로 가장 적었고, 가을과 겨울철에는 각각 68종류와 54종류가 출현하여 계절별 출현종 수는 뚜렷한 차이를 나타내었다 (Fig. 3). 그리고 출현종의 강별 구성비는 여름철과 가을철에는 녹조류의 구성비가 가장 높았으며, 겨울과 봄철에는 규조류의 구성비가 가장 높게 나타났다 (Fig. 4).

조사지점별 출현종 수의 변화는 여름철에는 동창천과 운문천의 유입부인 St. 1과 2에서 31종류가 출현하였으며, 합류 지점인 St. 3에서는 21종류, 취수탑 부근의 St. 4에서는 20종류가 출현하였다 (Fig. 3). 가을철에는 댐 내의 4개 지점에서 43~49종류가 출현하여 조사지점별 출현종 수의 차이는 크지 않았으나 다른 3계절에 출현종 수가 가장 적었던 St. 4에서 출현종 수가 가장 많았다. 거

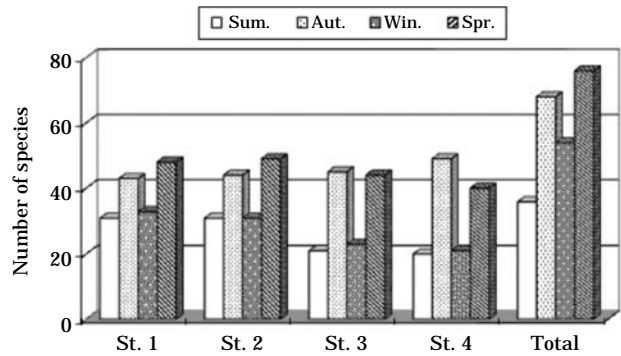


Fig. 3. The number of phytoplankton species at each sampling station from the Unmun dam during the study period.

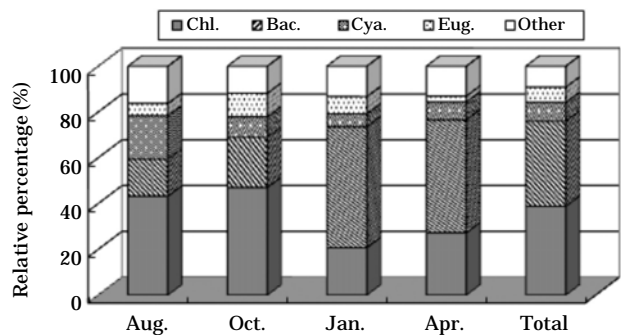


Fig. 4. The composition of different algal groups from the Unmun dam during the study period.

울철에는 동창천 유입부의 St. 1에서 가장 많은 33종류가 출현하였고, 취수탑 부근의 St. 4에서 가장 적은 21종류가 출현하였다. 그리고 봄철의 4월에는 운문천 유입부인 St. 2에서 가장 많은 49종류가 출현하였으며 St. 4에서 가장 적은 40종류가 출현하였다.

전반적으로 계절별 출현종 수는 여름과 겨울철에 비해 가을과 봄철에 출현종 수가 증가하였고, 지점별 출현종 수는 동창천과 운문천의 유입부인 St. 1과 2에서 합류지점인 St. 3과 취수탑 부근의 St. 4에 비해 출현종 수가 많았으며, 가을과 봄철에 비해 여름과 겨울철에 출현종 수의 차이가 크게 나타났다.

조사시기별 출현종 수의 분류군별 구성은 여름철인 8월 조사에서는 총 36종류가 출현하였으며, 이들은 녹조류가 16종류 (44.4%)로 가장 많았으며, 남조류 7종류 (19.4%), 규조류 6종류 (16.7%), 시누라조류, 유글레나조류 및 와편모조류 각각 2종류, 그리고 황갈조류와 은편모조류가 각각 1종류 순으로 구성되었다 (Fig. 4). 가을철 10

월 조사에서는 총 68종류가 출현하였으며, 녹조류가 47.1% (32종류)로 가장 많았으며, 규조류 22.1% (15종류), 유글레나조류 10.3% (7종류), 남조류 8.8% (6종류), 시누라조류 4.4% (3종류), 외편모조류와 은편모조류가 각각 2.9% (2종류), 그리고 황갈조류 1.5% (1종류)로 구성되었다. 겨울철의 1월 조사에서는 규조류가 51.98% (28종류)로 가장 많았으며, 녹조류 20.4% (11종류), 유글레나조류 7.4% (4종류), 남조류와 시누라조류 각 5.6% (3종류), 외편모조류와 은편모조류가 각각 1.9% (1종류) 순으로 조사되었다. 그리고 봄철인 4월 조사 역시 규조류가 36.8% (38종류)로 가장 많았으며, 녹조류 27.6% (21종류), 남조류 7.9% (6종류), 시누라조류 3.9% (3종류), 유글레나조류, 황갈조류, 외편모조류 및 은편모조류가 각각 2.6% (2종류), 황녹색조류 1.3% (1종류) 순으로 구성되어 겨울철과 유사한 군집 구성을 나타내었다.

2) 현존량

운문댐에서 조사된 식물플랑크톤 현존량은 여름철 조사에서는 동창천 유입부인 St. 1에서 6,472 cells mL⁻¹로 가장 높았으며, 합류부인 St. 3에서 1,399 cells mL⁻¹로 가장 적었다. 운문천 유입부인 St. 2에서는 1,542 cells mL⁻¹, 취수탑 부근의 St. 4에서는 1,934 cells mL⁻¹이 출현하였다 (Fig. 5). 가을철에는 동창천 유입부인 St. 1에서 2,332 cells mL⁻¹로 가장 높았으며, 취수탑 부근의 St. 4에서 가

장 적은 367 cells mL⁻¹이 출현하였다. 운문천 유입부인 St. 2에서는 1,366 cells mL⁻¹, 합류부인 St. 3에서 786 cells mL⁻¹이 출현하였다. 겨울철 조사에서는 가장 적게 출현한 St. 3의 419 cells mL⁻¹에서 운문천 유입부인 St. 2에서 가장 높은 578 cells mL⁻¹의 범위를 나타내어 현존량이 매우 낮게 나타났다. 봄철인 4월에는 동창천 유입부인 St. 1에서 12,938 cells mL⁻¹로 가장 높았으며, 운문천 유입부인 St. 2에서 가장 적은 7,019 cells mL⁻¹을 나타내었다. 합류부인 St. 3에서는 9,937 cells mL⁻¹, 취수탑 부근의 St. 4에서는 7,543 cells mL⁻¹을 나타내어 조사 기간 중 현존량이 가장 높게 나타났다.

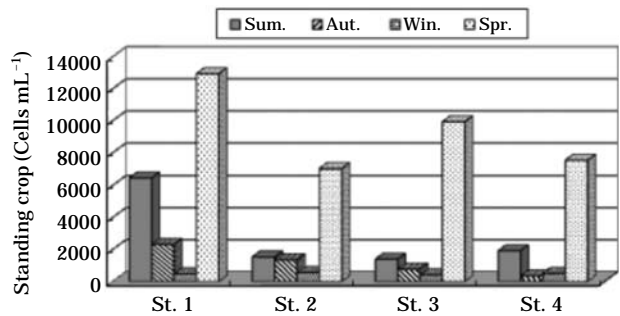


Fig. 5. The seasonal changes of standing crops of phytoplankton at the sampling stations from the Unmun dam during the survey period.

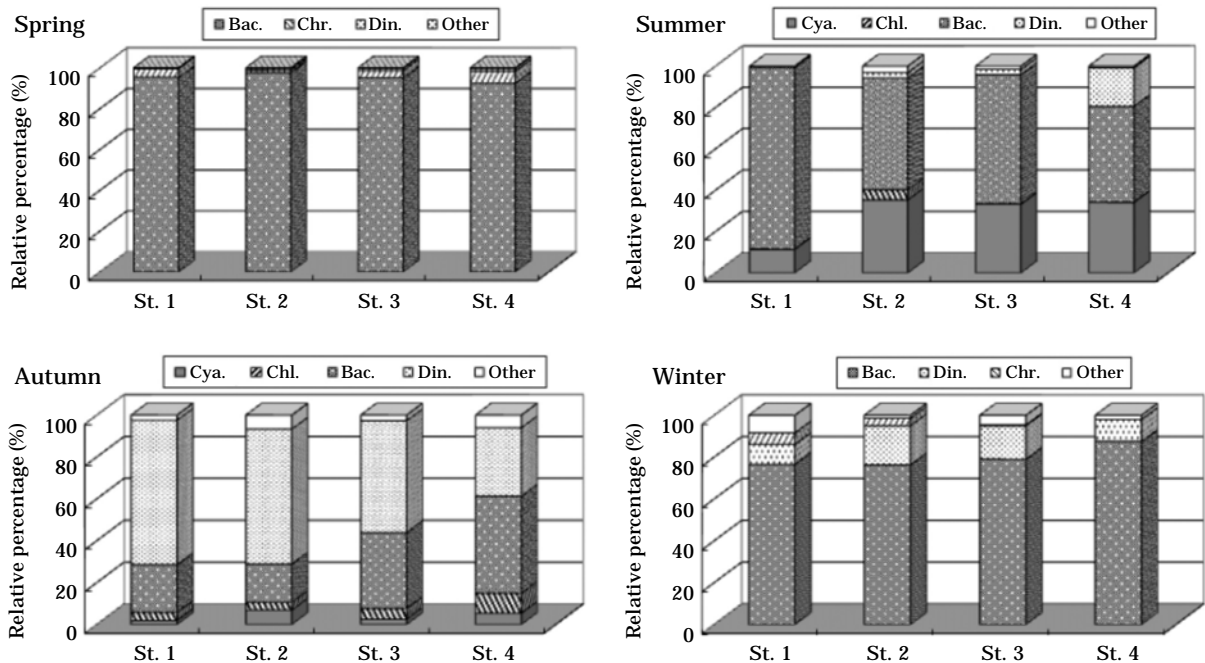


Fig. 6. The composition of phytoplankton standing crops at each sampling station from the Unmun dam during the survey period.

운문댐의 식물플랑크톤 현존량은 겨울철에는 600 cells mL⁻¹ 이하의 낮은 현존량을 나타낸 반면, 여름철에는 동창천 유입부의 St. 1에서 6,000 cells mL⁻¹ 이상의 높은 현존량을 나타내었으며, 봄철에는 4개 지점 모두 규조류가 bloom을 형성하는 7,000 cells mL⁻¹ 이상의 매우 높은 현존량을 나타내었다. 겨울철에는 지점간 현존량의 차이는 크지 않았으나 다른 계절 동안에는 동창천 유입부 지점에서 상대적으로 매우 높은 현존량을 나타내었다.

운문댐의 식물플랑크톤 현존량의 분류군별 구성은 가을철에는 와편모조류가 가장 높은 구성비를 나타내었으나 나머지 계절 동안에는 모두 규조류가 현존량의 대부분을 차지하였다 (Fig. 6).

계절별 조사에서 출현한 지점별 식물플랑크톤 현존량의 강별 구성은 여름철에는 규조강이 46.2~87.8%로 현존량의 대부분을 차지하였으며, 남조강은 운문천 유입부 (St. 2), 합류 지점 (St. 3) 및 취수탑 부근 (St. 4)에서 33.2~35.3%의 비교적 높은 구성비를 차지하였다. 가을철에는 두 하천의 유입부인 St. 1과 2 및 합류부 (St. 3)에서는 와편모조류가 총 현존량의 53.4~69.0%로 가장 높은 구성비를 차지하였으며, 취수탑 부근의 St. 4에서는 규조류가 46.2%로 가장 높은 구성비를 차지하였다 (Fig. 5). 겨울철에는 규조류가 76.3~87.6%의 구성비를 차지하였으며, 와편모조류가 9.6~16.0%를 차지하였다. 그리고 봄철에는 4개 조사지점 모두 규조류가 92% 이상을

차지하는 절대적인 구성비를 나타내었다.

3) 우점종

운문댐에서 조사된 식물플랑크톤의 우점종 및 아우점종은 여름철에는 규조류 *Aulacoseira granulata*가 우점종으로 출현하였고, 가을철에는 *Peridinium voltzii*가, 겨울과 봄철에는 규조류 *Asterionella formosa*가 우점종으로 출현하였다 (Table 2). 운문댐에서 나타난 우점종은 총 현존량의 32.6~92.9%의 높은 우점율을 나타내었으며, 현존량이 상대적으로 매우 낮게 나타난 겨울철을 제외한 3계절 공히 동창천 유입부인 St. 1에서 높은 현존량과 우점율을 나타내었다. 그리고 여름철에는 *Anabaena planktonica*가 10.8~33.6%의 구성비를 나타낸 아우점종으로 출현하였으며, 가을철에는 *Aulacoseira granulata*가 11.2~20.3%의 구성비를 나타내었고, 겨울철에는 *Peridinium voltzii* (9.6~18.7%)가 아우점종으로 출현하였다. 봄철에는 *Asterionella formosa*가 88% 이상의 매우 높은 우점도를 나타내어 아우점종이 출현하지 않았다.

4) 군집지수

운문댐에서 조사된 식물플랑크톤 군집의 조사지점간 종다양성 지수는 유사하게 나타났으나 여름철에는 동창천 유입부인 St. 1에서 1.10으로 최소값을 나타내었으며, 운문천 유입부인 St. 2에서 1.92로 가장 높았으나 겨울철에는 St. 1에서 2.07로 가장 높은 값을 나타내었고, St. 4

Table 2. Dominant and subdominant species of phytoplankton from each sampling station in the Unmun dam during the survey period.

Sampling period	Sampling stations	Dominant species	Cells mL ⁻¹ (%)	Subdominant species	Cells mL ⁻¹ (%)
Summer	St. 1	<i>Aulacoseira granulata</i>	5,545 (85.7)	<i>Anabaenaplanktonica</i>	700 (10.8)
	St. 2	<i>Aulacoseira granulata</i>	550 (35.0)	<i>Anabaenaplanktonica</i>	525 (34.1)
	St. 3	<i>Aulacoseira granulata</i>	770 (55.4)	<i>Anabaenaplanktonica</i>	450 (32.4)
	St. 4	<i>Aulacoseira granulata</i>	775 (40.1)	<i>Anabaenaplanktonica</i> <i>Peridinium voltzii</i>	650 (33.6) 360 (18.6)
Autumn	St. 1	<i>Peridinium voltzii</i>	1,610 (69.0)	<i>Aulacoseira granulata</i>	260 (11.2)
	St. 2	<i>Peridinium voltzii</i>	880 (64.4)	<i>Aulacoseira granulata</i>	105 (13.3)
	St. 3	<i>Peridinium voltzii</i>	420 (53.4)	<i>Aulacoseira granulata</i>	75 (20.4)
	St. 4	<i>Peridinium voltzii</i>	120 (32.6)	<i>Aulacoseira granulata</i>	
Winter	St. 1	<i>Asterionella formosa</i>	221 (46.1)	<i>Nitzschia</i> sp. <i>Peridinium voltzii</i>	79 (16.5) 46 (9.6)
	St. 2	<i>Asterionella formosa</i>	302 (52.3)	<i>Peridinium voltzii</i>	108 (18.7)
	St. 3	<i>Asterionella formosa</i>	268 (64.3)	<i>Peridinium voltzii</i>	67 (16.1)
	St. 4	<i>Asterionella formosa</i>	338 (65.6)	<i>Peridinium voltzii</i>	54 (10.5)
Spring	St. 1	<i>Asterionella formosa</i>	11,550 (89.3)		
	St. 2	<i>Asterionella formosa</i>	6,525 (92.9)		
	St. 3	<i>Asterionella formosa</i>	9,060 (91.2)		
	St. 4	<i>Asterionella formosa</i>	6,640 (88.0)		

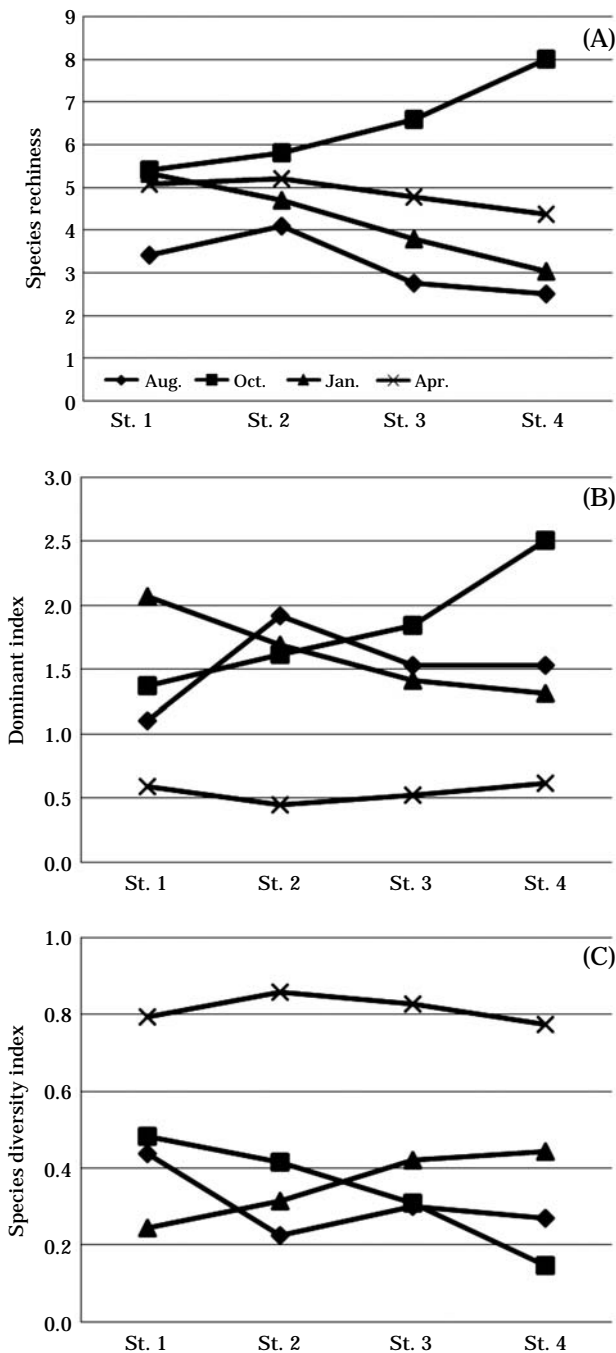


Fig. 7. The variations of species richness (A), species diversity (B) and dominance index (C) of phytoplankton communities from Ummun dam during the survey period.

에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 가을과 봄철에는 취수탑 부근의 St. 4에서 가장 높게 나타났으며 St. 1과 St. 2에서 각각 가장 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 7). 조사지점간 종풍부도지수는 전반적으로 종다양성지수와 유사한

경향을 나타내었으나 St. 2에서 5.19로 가장 높은 값을 나타내었으며, St. 4에서 가장 낮은 4.37을 나타내어 종다양성지수와 상반된 결과를 나타내었다. 조사지점간 우점도지수는 0.147~0.858의 범위를 나타내었으며, 특히 *Asterionella formosa*가 높은 우점률을 나타낸 봄철에 0.77~0.86의 매우 높은 우점도지수를 나타내었다. 여름과 가을철에는 동창천 유입부인 St. 1에서 상대적으로 높은 우점도지수를 나타내었으나 겨울철에는 합류부 (St. 3)와 취수탑 부근 (St. 4)에서 높은 우점도지수를 나타내어 종다양성지수와 상반된 결과를 보였다 (Fig. 7).

고 찰

운문댐 건설이 저수지 및 주변 지역의 생태계에 미치는 영향을 분석하기 위해 댐 완공 전·후에 조사된 식물플랑크톤 군집 자료를 비교 분석하였다. 댐 완공 후 운문댐의 식물플랑크톤 조사는 K-water (1996), Lee *et al.* (2000), Kim (2004), Kim *et al.* (2005)에 의한 4회의 조사가 수행되었다 (Table 3). 댐 완공 직후인 1996년에 조사된 식물플랑크톤은 규조류가 가장 많은 70종류였으며, 남조류 20종류, 녹조류 18종류, 외편모조류 11종류 등 총 119종류가 출현하여 규조류가 총 출현종 수의 약 59%를 차지하였다. 위치적으로는 동창천과 운문천의 유입부보다 취수탑과 댐측 부근에서 높은 출현종 수를 나타내었다. 현존량은 조사지점에 따라 약 300~1,750 cells mL⁻¹을 나타내었고, 동창천과 운문천의 유입부보다 취수탑과 댐 측 부근에서 높은 현존량을 나타내었으며, 남조류 *Microcystis aeruginosa*, 외편모조류 *Ceratium furca*, 규조류 *Synedra ulna*, *Fragilaria capucina* 등 다양한 분류군이 우점종으로 출현하였다. 취수탑 부근에서 2~10월까지 매일 조사한 1998년 (Lee *et al.*, 2000)에는 녹조류 35종류, 규조류 22종류, 남조류 11종류, 기타 분류군 11종으로 구성된 총 79종류가 출현하였으며, *Dinobryon sociale*이 우점으로 나타난 4월을 제외한 2~7월까지는 *Asterionella formosa*, *Aulacoseira distans* var. *alpigena*, *Cyclotella asteriocostata*, *Fragilaria crotonensis* 등 규조류가 우점종이었으며, 가을에는 남조류 *Microcystis ichthyoblabe*가 우점으로 조사되었다. 표수층의 현존량은 최소 값을 나타낸 5월의 415 cells mL⁻¹에서 가장 높게 나타난 10월의 122,800 cells mL⁻¹의 범위로 조사되었다. 2004년 조사에서 출현한 식물플랑크톤은 규조류 27종류, 녹조류 18종류, 남조류와 유글레나조류 각각 5종류, 외편모조류 3종류의 총 58종류였으며, 7, 8월의 여름철에는 외편모조

Table 3. The changes of dominant species and standing crops of phytoplankton in the Unmun dam from 1996 to 2010.

Surveyed time	Standing crops (cells mL ⁻¹)	Dominant species			
		Spring	Summer	Autumn	Winter
1996	300 ~ 1,750		<i>Synedra</i> , <i>Microcystis</i>		
1998	415 ~ 122,800	<i>Aulacoseira</i> , <i>Dinobryon</i>	<i>Fragilaria</i> , <i>Rhodomonas</i>	<i>Microcystis</i>	<i>Asterionella</i>
2004	33 ~ 13,410	<i>Cymbella</i> , <i>Chlamydomonas</i>	<i>Peridinium</i> , <i>Microcystis</i>	<i>Aulacoseira</i> , <i>Asterionella</i>	
2005	1,385 ~ 11,035	<i>Synedra</i> , <i>Scenedesmus</i>	<i>Fragilaria</i> , <i>Achnanthes</i>	<i>Synedra</i>	<i>Asterionella</i> , <i>Fragilaria</i>
2010	367 ~ 12,340	<i>Asterionella</i>	<i>Aulacoseira</i> , <i>Anabaena</i>	<i>Peridinium</i> , <i>Aulacoseira</i>	<i>Asterionella</i> , <i>Peridinium</i>

(1996 : K-water, 1998 : Lee *et al.*, 2004 : Kim, 2005 : Kim, 2010 : this study)

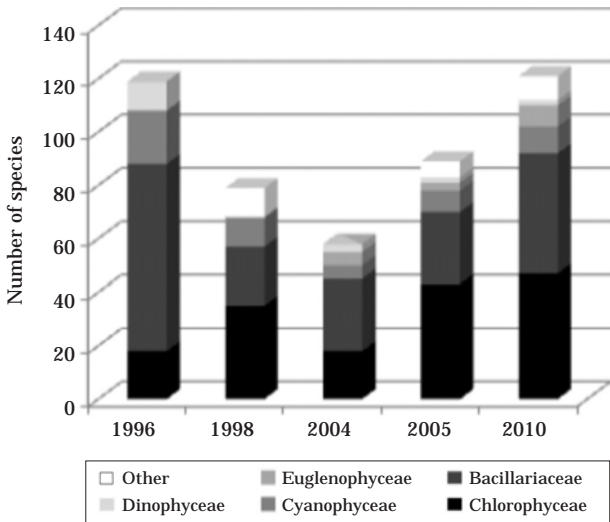


Fig. 8. The variations of the number of species and algal composition in Unmun dam from 1996 to 2010. (1996: K-water, 1998: Lee *et al.*, 2004: Kim, 2005: Kim, 2010: this study).

류의 *Peridinium sp.*가 우점으로 나타났고, 봄과 가을에는 규조류 *Cymbella turgida*와 *Aulacoseira distans*가 우점종으로 나타났다. 현존량은 33 ~ 13,410 cells mL⁻¹을 나타내었고, 댐측 부근에서 높은 현존량을 나타내었다. 가장 최근에 조사된 2005년 조사에서는 녹조류 43종류, 규조류 27종류, 남조류 8종류, 은편모조류와 유글레나조류가 각각 3종류, 외편모조류 2종류, 황갈조류와 시누라조류 각각 1종류의 총 87종류가 출현하였다. 우점종은 5월과 10월에는 *Synedra acus*, 7월에는 *Fragilaria crotonensis*, 12월에는 *Asterionella formosa*에 의해 연중 규조류가 우

점으로 조사되었다. 현존량은 최소값을 나타낸 10월의 1,385 cells mL⁻¹에서 최고값을 나타낸 7월의 11,035 cells mL⁻¹ 범위로 나타났으며, 봄과 여름철에 높은 현존량을 나타내었고, 모든 계절 동안 규조류가 현존량의 대부분을 차지하였다. 이번 조사에서 출현한 총 출현종 수는 댐 완공 직후에 조사된 1996년도 결과와 유사하였으나 분류군별 구성은 큰 차이를 나타내었다. 1996년도 자료는 기재된 7종의 *Ceratium*속 중에서 *Ceratium hirundinella*를 제외한 종들은 우리나라 담수 식물플랑크톤 조사 자료에서 보고된 적이 없는 종이며, 녹조류의 일부 종들은 부유성으로는 출현하지 않고, 또한 6월 18일 1회 조사에서 동정에 생식기관이 필요한 여러 종들이 기재되어 있는 점 등으로 미루어 볼 때 종 동정의 신뢰성에 문제가 있는 것으로 판단되어 직접 비교는 문제가 있는 것으로 판단되었다. 나머지 문헌 자료와 이번 조사 결과의 비교 또한 조사 횟수, 조사지점 수 및 조사 시기 등의 차이로 인해 직접적인 비교는 다소 무리가 있으나 전반적으로 규조류와 녹조류의 출현종 수가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 규조류의 종 수가 크게 증가하고 있는 것으로 조사되었다 (Fig. 8).

1998년 이후의 식물플랑크톤 현존량의 변화는 큰 차이가 없었으나, 1998년과 2004년에는 가을(10월)에 현존량이 매우 높게 나타난 반면 2005년과 이번 조사에서는 봄(4, 5월)과 여름철(8월)에 높은 현존량을 나타내어 조사 년도에 따라 계절적인 차이를 나타내었다. 우점 분류군은 조사 년도에 따라 다소 차이를 보이고 있으며, 남조류의 *Microcystis*와 *Anabaena*가 여름철에 높은 현존량을 나타내고 있으나 연중 규조류가 우점하는 경향을 나타내었으며, 운문댐 건설 이후 식물플랑크톤 출현종 수는

녹조류와 규조류의 증가와 댐 건설 초기에 출현하지 않았던 시누라조류와 은편모조류 등 일부 분류군의 출현에 의해 출현종 수가 점차 증가하는 경향을 나타내었으나 현존량은 큰 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 규조류와 와편모조류가 현저하게 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 운문댐의 식물플랑크톤 군집은 70~90종류가 출현하고 있고 녹조류와 규조류의 구성비가 높게 나타나는 영천댐을 포함한 경북지역의 안동댐, 임하댐 및 안계댐 등과 유사한 군집 구성을 나타내었으나 여름과 가을철에 남조류의 현존량 구성비가 상대적으로 낮고, 국내 많은 댐에서 여름과 가을철에 빈번하게 우점종으로 출현하는 *Microcystis*와 *Anabaena*와 같은 남조류가 우점종으로 출현하지 않는 반면 와편모조류가 우점으로 출현하는 군집 특성을 나타내었다 (Kim and Lee, 1994; Kim and Kim, 2004; Kim, 2005; Lee *et al.*, 2008).

그리고 이전 자료에 비해 이번 조사에서 동창천 유입부 지점에서 연중 현존량이 높게 나타나고 있으며, 겨울철을 제외한 모든 계절 동안 높은 식물플랑크톤 현존량이 나타나고 있어 동창천 상류의 수질 오염 방지 대책이 강구되어야 할 것으로 판단되며 또한 조류 대발생에 의한 피해방지를 위한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

적 요

2009년 8월부터 2010년 4월까지 계절별로 조사된 운문댐의 식물플랑크톤은 총 121종류였으며, 이들은 녹조류(47종류)와 규조류(45종류)가 출현종의 76%를 차지하여 가장 중요한 분류군으로 조사되었다.

조사지점별 출현종 수는 동창천과 운문천의 유입부 지점이 합류부나 취수탑 부근보다 출현종 수가 많았다. 식물플랑크톤 현존량은 동창천 유입부 지점에서 가장 높은 현존량을 나타내었으며, 계절별로는 봄철에 가장 높은 현존량을 나타내었다. 식물플랑크톤 현존량의 강별 구성은 가을철에는 와편모조류가 가장 높은 구성비를 차지한 반면 나머지 계절 동안에는 규조류가 가장 높은 구성비를 나타내었고, 남조류는 여름철에 비교적 높은 구성비를 나타내었다.

식물플랑크톤 군집의 우점종은 여름철에는 규조류 *Aulacoseira granulata*가 우점종으로 나타났고, 가을철에는 와편모조류 *Peiridium voltzii*, 겨울과 봄철에는 규조류 *Asterionella formosa*가 우점종으로 조사되었다. 운문댐의 식물플랑크톤 군집의 종풍부도와 종다양성지수는

가을철에 가장 높게 나타났으며, 우점도지수는 봄철에 가장 높게 나타났다.

사 사

이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 본 논문을 위한 시료 채집에 도움을 주신 한국수자원공사 경북지역본부 및 운문댐 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

인 용 문 헌

- Camichael, W.W. and I.R. Falconer. 1993. Diseases related to freshwater blue-green algal toxins, and control measures. 224pp. *In: Algal toxins in seafood and drinking water* (Falconer, I.R. eds.). Academic Press. London.
- Falconer, I.R. 1993. Mechanism of toxicity of cyclic peptide toxins from blue-green algae. 224pp. *In: Algal toxins in seafood and drinking water* (Falconer, I.R. eds.). Academic Press. London.
- Hayes, K.P. and M.D. Burch. 1989. Odorous compounds associated with algal blooms in South Australian waters. *Water Research* **23**: 115-121.
- Hendey, N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Hirose, H., M. Akiyama, T. Ioriya, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumano, H. Kobayasi, E. Takahashi, K. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi. 1977. Illustration of the Japanese Fresh-Water Algae. Uchidarokakuhe Pub. Co., Tokyo, 977pp.
- Kim, B.C., J.O. Kim, M.S. Jun and S.J. Hwang. 1999. Seasonal dynamics of phytoplankton and zooplankton community in Lake Soyang. *Korean Journal of Limnology* **32**: 127-134.
- Kim, H.S. 2004. The report of fauna and flora from several reservoirs (Kachang dam, Bomun dam, Punglak reservoir, Youngchun dam, Unmoom dam). Daegu regional environmental office. 182pp.
- Kim, H.S. 2005. The report of fauna and flora from several reservoirs (Andong dam, Imha dam, Ankae dam, Unmoom dam). Daegu regional environmental office. 182pp.
- Kim, H.S., J.S. Choi and Y.J. Kim. 1998. Dynamics of the phytoplankton communities in Kachang Dam reservoir. *Korean Journal of Limnology* **31**: 337-344.
- Kim, H.S. and J.H. Moon. 2000. Diurnal changes of vertical distribution of *Microcystis aeruginosa* during the water

- bloom in Kongsan Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **33**: 119-127.
- Kim, H.S. and K.J. Hwang. 2001. Occurrence and seasonal changes of silica-scaled chrysophytes in Kachang dam reservoir. *Algae* **16**: 421-427.
- Kim, M.K. 2004. Mechanism and prevention method of algal development in Unmoon dam. Gyeongbuk regional environmental technology development center.
- Kim, S.C. and H.S. Kim. 2004. Dynamic of phytoplankton community and the physic-chemical environmental factors in Youngchun dam. *Algae* **19**: 227-234.
- Kim, Y.J. and J.H. Lee. 1996. Comparison of phytoplankton communities of six dam lakes in the Nakdong River system. *Korean Journal of Limnology* **29**: 347-362.
- Kim, Y.J., J.S. Choi and H.S. Kim. 1997. Structure of phytoplankton community in Lake Imha. *Korean Journal of Limnology* **30**: 307-324.
- K-water. 1996. The post environment influence survey on the a wide area water supply works from Kumho river area.
- K-water. 2012. <http://www.kwater.or.kr/KwaterUser/biz/sudo/popuptable.htm>.
- Komarek, J. and B. Fott. 1983. Das Phytoplankton des Süwassers. Die Binnengewässer. 16 (7,1). Chlorophyceae, Chlorococcales. E. Schweiz. Verl. Stuttgart., 1044pp.
- Kramer, R.K. and H. Lange-Bertalot. 1986-1991. Bacillariophyceae. Teil 1.: Naviculaceae. *Ir.* H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/1. Gustav Fisher, Stuttgart. Teil 1. Naviculaceae. 876pp. (1986); Teil 2. Epithemiaceae, Bacillariaceae, Surirellaceae. Band 2/2, 536pp. (1988); Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Band 2/3, 576pp. (1991a); Teil 4. Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolate) und *Gomphonema*. Band 2/4, 436pp.
- Lawton, L.A. and G.A. Codd. 1991. Cyanobacterial (blue green algal) toxins and their significance in U.K. and European waters. *Journal of the Institution of Water & Environmental Management* **5**: 460-465.
- Lee, J.H., I.H. Baek and C.H. Kim. 2000. Determination of optimum water intaking depth based on phytoplankton distribution in Unmum Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **33**: 311-318.
- Lee, J.H., J.G. Park and E.J. Kim. 2002. Trophic states and phytoplankton compositions of Dam Lakes in Korea. *Algae* **17**: 275-281.
- Lee, K.L., W.H. Chung, J.M. Kim, Y.S. Kim, H.J. Choi and H.S. Kim. 2008. Seasonal variation of cyanobacterial toxins (microcystins) in Youngchun reservoir. *Korean Journal of Limnology* **41**: 264-274.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- Persson, P.E. 1982. Muddy odours: a problem associated to extreme eutrophication. *Hydrobiologia* **86**: 161-164.
- Prescott, G.W. 1962. Algae of Western Great Lakes Area. W.M.C. Braun Comp. Publ. Iowa, 977pp.
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press. New York. 384pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana, 177pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 1-688.
- Watanabe, T. 2005. Picture book and ecology of the freshwater diatoms. Uchida Rokakuho Publishing Co., Tokyo, 666pp.
- Yamagishi, T. and M. Akiyama. 1984-1998. Photomicrographs of the freshwater algae. vol. 1-20. Uchida Rokakuho Publishing Co., Tokyo.

(Manuscript received 12 April 2012,

Revised 11 May 2012

Revision accepted 30 May 2012)