

동북호 조류군집의 다년간 변화에 관한 연구

정 진 · 조영관[†] · 고창옥* · 김운중*
광주광역시 상수도사업본부 수질연구소
* 조선대 토목공학과

A Study on Yearly Variation of Algae Community in Dongbok Reservoir

Jin Jeong, Young Gwan Cho[†], Chang Ok Ko* and Un Jung Kim*

Water Quality Research Institute of Waterworks Gwangju

* Dept. of Civil engineering Chosun University

(Received 20 March 2001 ; Accepted 5 June 2001)

ABSTRACT

The algae in Dongbok reservoir consists of 6 class, 14 orders, 30 families, 63 genera, 145 species, 13 varieties, and 1 formula in 159 taxa during Jan. 1995 to Dec. 1999. Species numbers according to major taxa were appeared as Chlorophyceae 80 taxa, Bacillariophyceae 28 taxa, and Cyanophyceae 17 taxa. The ratio of total standing crops were Bacillariophyceae 44%, Cyanophyceae 30%, and Chlorophyceae 22%. Various species remarkably appeared during fall to early winter comparing with other seasons. Standing crops of algae decreased from 1.1 ~3.7 million units/ l in 1995 to below 1.0 million units/ l ever after 1996.

Species number was very variable as 9 ~37 in down stream comparing with 12 ~34 in middle stream, 15 ~24 in upper stream. Species diversity indices were 1.1 ~4.0 in 1995, 1.5 ~3.5 in 1996 ~1997, 2.1 ~3.6 in 1998, and 0.3 ~3.4 in 1999. Dominant indices were 0.35 ~0.97 in 1995, 0.44 ~0.86 in 1996, 0.43 ~0.89 in 1997, 0.39 ~0.80 in 1998, and 0.45 ~0.97 in 1999.

Keywords : Yearly variation, Algae, Diversity index, Dominant index

I. 서 론

조류는 수중생태계의 1차 생산자로서, 수질환경변화에 민감하며 수환경의 변화 양상 파악을 위한 요소 중의 하나로 중요한 역할을 한다. 봄철에서 가을철에 남조류에 의한 수화현상, 외편모조류에 의한 담수적조현상, 겨울철에 규조류의 대량발생 등으로 인해 정수처리 과정에서 문제가 되고, 또한 조류로 인해 독성물질이 발생되고 있어 호소에서의 조류관리는 매우 중요하다.¹⁾ 계절마다 성장환경이 차이가 있고 각 계절의 환경변화에 따라 우점할 수 있는 다양한 조류종 등 군집의 특성파악과 계절별 변화 추이는 상수원 관리에 있어 중요한 요소의 하나이다.²⁾ 이처럼 매년 같은 주기로 발생되고 있는 주요 조류의 분포 변화와 종

조성을 파악하고, 현존량과 우점도지수, 종다양도지수 등 조류의 생태학적 변화를 장기적으로 조사하는 일은 호소의 부영양화 방지와, 향후 상수원의 수질관리 및 조류제어에 많은 도움이 되리라 판단된다. 동북호는 광주광역시의 주요 상수원으로서 일일 24만 m³을 취수하고 유역면적 189 km², 총유효저수량 9,200만 m³인 중규모의 호소로 정기적으로 수질관리가 이루어지고 있는 호소이다. 그 동안 동북호에 서식하고 있는 조류에 대해서는 많은 연구가 이루어진 바 있다.^{3~7)}

본 연구는 동북호에 서식하는 다년간 조류의 종 조성, 현존량의 변화 추이, 종다양도지수와 우점도지수 등의 생태학적 특성을 파악하여 상수원 조류관리의 자료로 제공하고자 실시하였다.

II. 연구방법

광주광역시의 주요 상수원인 동북호 상류(st.1), 중류(st.2), 하류(st.3)부근 3개의 조사정점을 선정하

[†]Corresponding author : Water Quality Research Institute of Waterworks Gwangju.
Tel : 062-674-0193, Fax : 062-676-2183
E-mail : cyg2192@hanmail.com

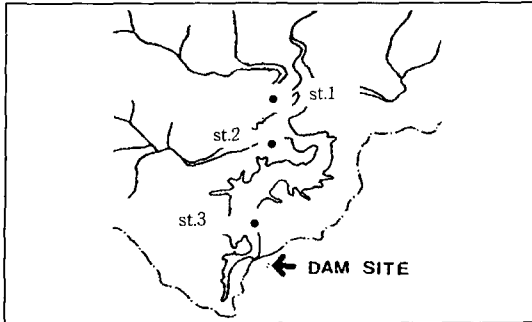


Fig. 1. Map of Dongbok reservoir.

여, 1995년 1월부터 1999년 12월까지 5년간 매월 조사하여 Fig. 1에 나타내었다.

조류의 채집은 선박을 이용하여 플랑크톤 채집망 (Mueller gaze, No. 25)으로 수평 예망을 하였으며, 정량채집을 위하여 수표면의 물 10 l를 채수하여 동일한 채집망으로 60 mL로 농축하여 3~5% 포르말린 용액으로 고정 시킨후 실험실로 운반하였다. 포르말린으로 고정시킨 시료는 24시간 이상 정치하여 침전시킨 다음 검경시 잘 혼합하여 광학현미경 (Carl Zeiss사 Model Jenaval, 1,000×, DIC)으로 관찰하였고, 종을 동정한 후 생물량은 Sediwick-Rafter Chamber를 이용하여 1 l당 세포수를 계수하여 구하였다.⁸⁻⁹⁾ 분류체계는 Hirose 등¹⁰⁾과 Simonsen¹¹⁾의 체계를 따랐고, 한국담수조류도감 등¹²⁻¹⁶⁾을 참고하여 동정 분류하였다.

우점종은 종수와 세포수를 근거로 선정하였으며, 우점도지수는 Naughton's dominance index¹⁷⁾로, 종 다양성지수는 Shannon-Wiener식¹⁸⁾을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분류군별 조류의 분포

동북호에서 5년동안 출현한 조류는 모두 6강 14목 30과 63속 145종 13변종 1품종으로 총 159분류군이였다. 이중 녹조류 (Chlorophyceae)가 80분류군으로 가장 많은 종수 비율인 50%를 차지하였고, 규조류 (Bacillariophyceae)가 45분류군으로 28%, 남조류 (Cyanophyceae)가 17분류군으로 11%, 황색편모조류 (Chrysophyceae)가 7분류군으로 4.4%, 유글레나류 (Euglenophyceae)가 6분류군으로 3.8%, 외편모조류 (Dinophyceae)가 4분류군으로 2.5% 순으로 Fig. 2에 나타내었다. 반면에 현존량에 있어서는 규조류가 44%로 가장 많은 비율을 차지하였고, 남조류가 30%, 녹조류가 22%, 외편모조류가 4%, 유글레나류

가 0.3%, 황색편모조류가 0.1% 순으로 Fig. 3에 나타내었다.

현존량에서 조류의 계절별 천이과정상 녹조류는 기온이 높은 여름철에 다양한 종류가 출현하였으며 현존량은 적지만 종수는 다양한 것으로 나타났다. 규조류는 매년 지속적으로 높은 비율로 출현하였고, 여름철에 현존량이 줄어들기는 하지만 모든 계절에 고르게 출현하고 특히 95년과 99년에는 각각 53%이상, 96년에는 75%의 현존량 비율을 보였기 때문인 것으로 판단된다. 남조류는 소수의 종이 우점하였고, 95년에 활발한 증식율을 보이다가 96년부터 급격한 감소를 보인 후 우점화 경향이 낮아졌다. 이것은 *Microcystis*가 주류를 이루는 남조류의 대발생으로 인한 부작용을 예방하기 위해 살조제로 제어를 하였기 때문이다. 반면에 외편모조류의 현존량은 지속적으로 증가하여 종수에 비해 현존량은 높은 추세를 보이고 있다.

2. 월별 조류의 분포

월별 종수의 변화를 보면 95년에는 11~47종으로 7월부터 12월까지 30종 이상이 출현하였으며, 특히 12월에 47종으로 본 조사기간동안 가장 많은 종이 출현하였다. 96년에는 12~39종으로 11월에 39종

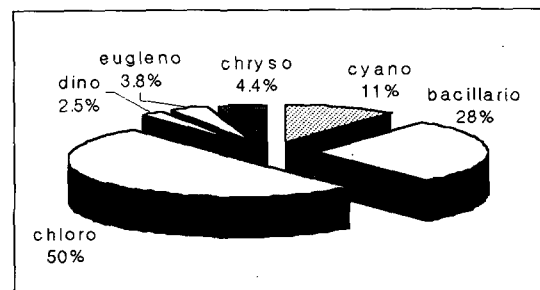


Fig. 2. A species composition according to major taxa of algae in Dongbok reservoir.

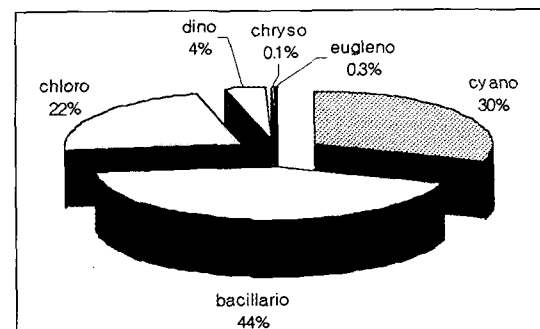


Fig. 3. The standing crops according to major taxa of algae in Dongbok reservoir.

으로 가장 많았고 2월과 4월~7월, 11월, 12월에 30종 이상이 출현하였다. 97년에는 12~30종으로 11월에만 30종이 출현하여 전반적으로 종 수가 감소하였으며, 98년에는 17~34종으로 8월에 34종, 12월에 30종이 출현하였고, 99년에는 17~37종으로 10월에 37종, 12월에 34종으로 97년 이후 감소된 종 수가 99년까지 계속 유지되었다. 동북호에서는 10~12월인 가을철과 초겨울에 다양한 종의 출현이 있어 여름철의 집중강우 이후에 다양한 종들이 나타났음을 알 수가 있었으며, Fig. 4에 나타내었다.

월별 현존량의 변화를 보면 95년 1~3월과 9~12월에 각각 조류 현존량이 110만~370만 units/l, 140만~325만 units/l로서 남조류는 5월과 9월에 우점, 규조류는 1~3월에 대량번식하였다. 96년 이후 전체 현존량은 점차 감소하여 96년 1~5월까지의 약 47만~68만 units/l, 97년 8월을 제외하고 12~3월까지 약 14만~27만 units/l, 98년 6~10월까지 11만~28만 units/l로 점차 줄어들었다. 95년 저수량이 4% 이하까지 떨어져 수질이 악화된 상태로 많은 번식이 있었으며⁴⁾, 이후 강우로 인해 호소가 안정되어 가면서 종의 현존량이 비슷한 양상을 보인 것으로 생각된다. 99년도에 접어들어서는 외편모조류의 번식이 활발해지면서, 5월에 93만 units/l, 9월과 11

월에 100만 units/l 이상으로 대량 번식하기 시작하였으며 Fig. 5에 나타내었다.

3. 조사점별 조류의 분포

조사점별로 출현한 조류의 종수는 상류에서 15~34종, 중류에서 12~34종, 하류에서 9~37종으로 Fig. 6에 나타내었으며, 하류에서의 월별 종수의 변화가 가장 크게 나타났다. 조사점별로 현존량은 상류는 1만5천~190만 units/l, 중류는 2만2천~178만 units/l, 하류는 1만7천~99만 units/l로 나타났으며, 95년을 제외하면 전체적으로 볼 때 하류지역에서의 현존량이 더 적은 것으로 조사되었으며 Fig. 7에 나타내었다. 이는 주로 특정시기에 한 종에 의한 우점율이 높아 종의 서식이 억제되고 또한 약품살포로 제어가 이루어진 하류지역에서 나타나는 현상으로 생각된다. 살조제 살포는 95년에 11회, 96년에 7회, 97년에 11회, 98년에 4회, 99년에 2회로서 거의 모두 하류지역에서 이루어졌다. 하류에서는 95년에 100만에서 360만 units/l 까지 대량 발생한 적이 있었지만 이후에는 살조제 살포 등으로 남조류의 번식이 주기적으로 억제됨으로써 남조류의 번식이 억제되고 소강상태를 보이다가, 99년 이후 외편모조류에 의해 100만 units/l 이 나타나는 등의 우점이 높아지기 시작하였다.

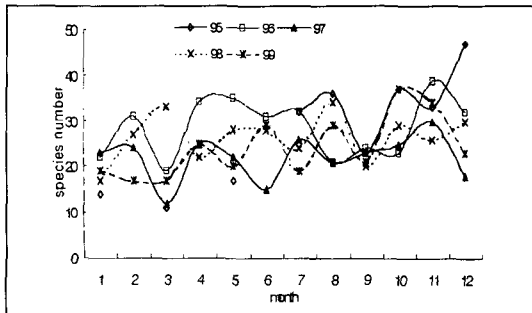


Fig. 4. Monthly variations of total species number according to year in Dongbok reservoir.

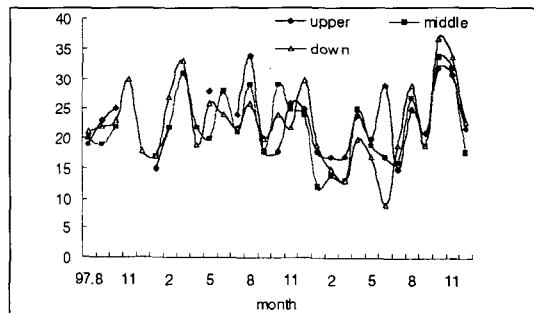


Fig. 6. Regional variations of total species number in algae of Dongbok reservoir.

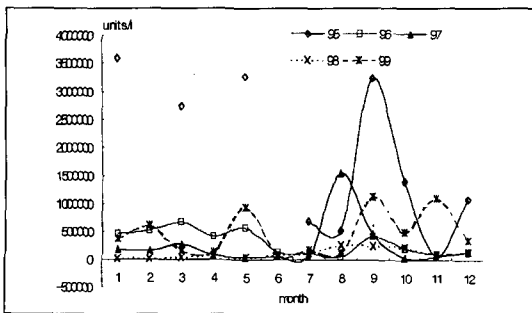


Fig. 5. Monthly variations of standing crops according to year in Dongbok reservoir.

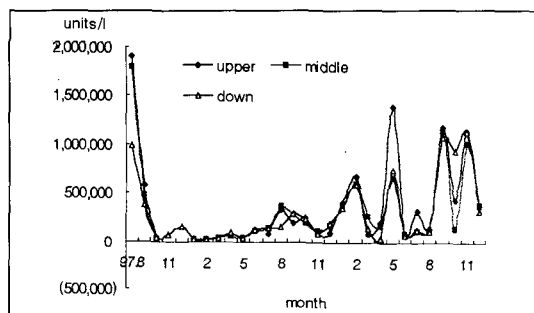


Fig. 7. Regional variation of standing crops in algae of Dongbok reservoir.

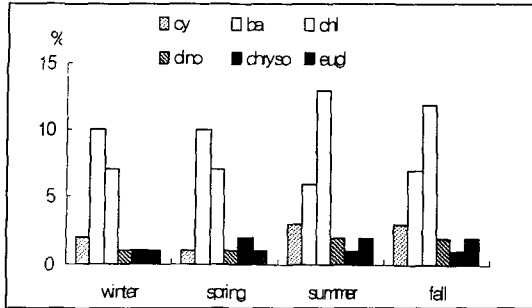


Fig. 8. Seasonal variation of species according to major taxa of algae in Dongbok reservoir.

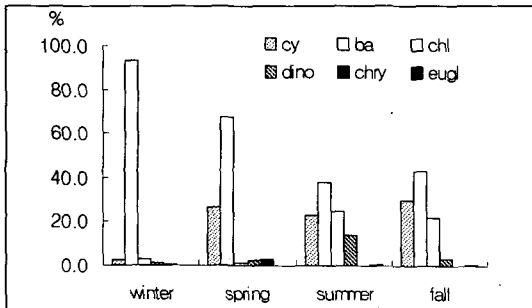


Fig. 9. Seasonal variation of cell number according to major taxa of algae in Dongbok reservoir.

4. 분류군별 계절변화

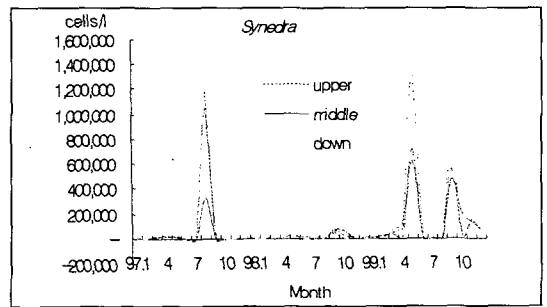
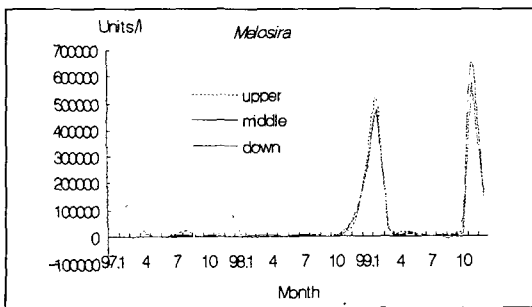
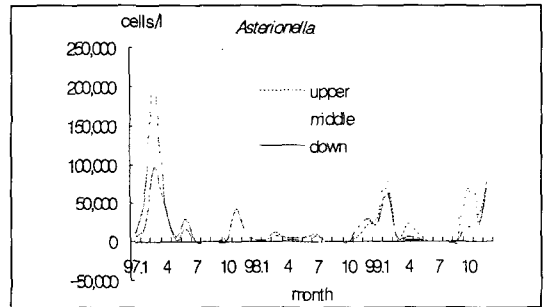
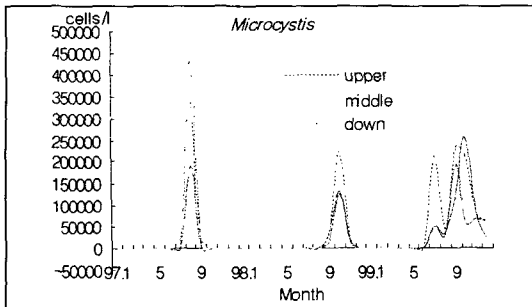
계절별 조류의 종 수는 겨울철에 14~47종, 봄철에 11~35종, 여름철에 15~36종, 가을철에 20~39종으로 가을철에는 매년 20종 이상이 출현하였으며

Fig. 8에 나타내었다. 겨울과 봄철에는 규조류가, 여름과 가을철에는 녹조류가 많은 비율을 차지하고 있다.

계절에 따른 현존량의 분포 비율은 겨울철에 규조류가 93%로 월등히 높게 나타났으며, 봄철에는 규조류가 68%, 남조류가 26%로 나타났다. 여름철에는 남조류 23%, 규조류 38%, 녹조류 25%, 외편모조류 14%로 나타났으며, 가을철에는 남조류 30%, 규조류 44%, 녹조류 22%로 나타났다. 이렇게 볼 때 모든 계절에 규조류가 우점 하였음을 알 수 있으며, 특히 겨울~봄철에는 규조류의 우점이 60%이상을 차지했으며 Fig. 9에 나타내었다. 남조류는 봄~가을철에, 녹조류는 여름~가을철에, 외편모조류는 여름철에 높은 분포를 나타내 계절변화에 따른 분류군별 변화가 뚜렷하였다.

5. 주요출현종의 현존량 변화

동북호에서 5년간 조류의 변화를 살펴보면 12~5월까지 주로 규조류의 *Asterionella*, *Melosira*, *Fragilaria*, *Synedra* 등이 우점하였고, 그 사이 3월에는 황색편모조류인 *Dinobryon*과 외편모조류인 *Peridinium*, 4월에는 규조류인 *Cyclotella*가 우점하였다. 6~8월에는 남조류, 녹조류, 규조류, 외편모조류 등 월별로 다양하게 우점하고 있으며, 특히 98년부터는 외편모조류인 *Peridinium*의 우점이 높게 나타났다. 9~10월에는 주로 남조류인 *Microcystis*, 녹조류인 *Staurastrum*, *Eudorina*, 11월이 되면 규조류의



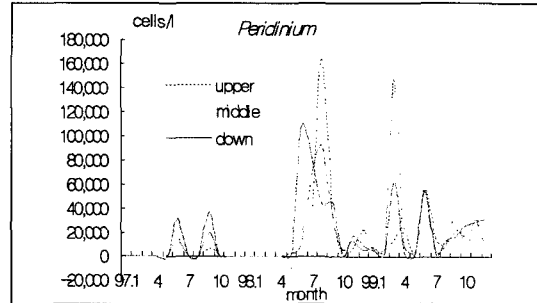
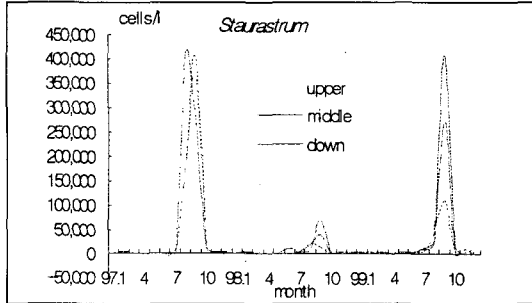


Fig. 10. The variation of cell number of dominant species of algae at each site in Dongbok reservoir.

우점이 시작된다.

*Microcystis*의 발생이 많았던 시기를 보면 99년 10월을 제외하고 중·상류지점이 하류지점에서보다 높게 나타났으며, *Asterionella*, *Melosira*, *Synedra*는 대체적으로 상·중·하류 모두 현존량이 비슷하였다. *Staurastrum*의 발생이 많은 시기에는 상류지점보다 중·하류에서 많은 출현을 하였으며, *Peridinium*은 98년 8월을 제외하고 전반적으로 중·하류 지점에서 높은 발생을 보였으며 Fig. 10에 나타내었다.

6. 종다양도지수

종다양성지수는 95년도에는 1.1~4.0, 96년과 97년도에는 1.5~3.5, 98년도에는 2.1~3.6, 99년도에는 0.3~3.4로 Fig. 11에 나타내었다. 95~99년까지의 계절별 평균을 보면 봄 1.8~2.3, 여름 2.1~2.6, 가을 2.4~3.3, 겨울 2.0~2.5로 나타나, 종수에서 다양했던 가을철에 가장 다양도지수도 높았다. 95~97년, 99년에는 특정종의 우점하는 정도가 심하여 연평균 2.2~2.4로 나타났다. 특히 99년도 5월에는 규조류인 *Synedra*가 98% 우점하여 0.3으로 나타났다. 거의 매년 3~5월 규조류인 *Asterionella*와 *Synedra*의 번식으로 약품을 살포해 5월 채집당시 월등한 번식이 없었으나, 99년 3월 *Peridinium*의 우세한 우점으로 3월 약품살포 이후 5월까지 인위적인 제어를 하지 않아 규조류의 서식조건에 맞는 환경으로 인해 *Synedra*의 우점이 높았던 것으로 생각된다. 그리고, 98년에는 다른 해에 비해 특정 종의 우점 정도가 적어 2.9로 나타났다.

상·중·하류 정점별로 연도별 평균을 비교해보면 97년도에는 2.1~2.2, 99년도에는 2.3~2.4로 비슷하지만, 98년도에는 2.7~3.1로 나타나 증류가 3.1로 더 다양하게 출현한 것을 알 수 있다. 98년 6월에는 증류가 4.3, 하류가 0.6으로 가장 많은 차이가 있었다. 98년 6월에 증류지점에서는 규조류, 녹조류, 와편모조류 등 다양하게 출현하였으나, 하류지점에서는

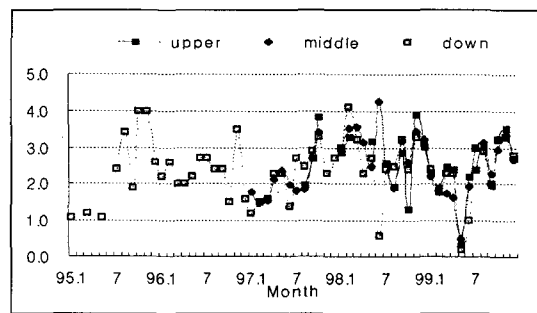


Fig. 11. Monthly variation of species diversity indices of algae in the Dongbok reservoir.

와편모조류의 번식으로 다른 종의 출현이 없어서 많은 차이가 있었다. 계절별로 보면 봄과 여름철에는 상류지점이 하류지점보다 종이 다양하게 출현하고 있으며, 가을과 겨울철에는 하류지점이 더 다양하게 출현하고 있거나, 비슷한 출현을 보였다.

7. 우점도지수

우점도지수는 95년에 0.35~0.97, 96년에 0.44~0.86, 97년에 0.43~0.89, 98년에 0.39~0.80, 99년에 0.45~0.97로 Fig. 12에 나타내었다. 95~99년까지의 계절별 평균은 봄 0.71~0.80, 여름 0.66~0.73, 가을 0.48~0.89, 겨울 0.62~0.73으로 나타나, 계절별로 볼 때 봄철에 특정 종의 우점 정도가 큼을 알 수가 있었다. 특히 규조류가 다른 조류에 비해 여름철을 제외하고는 높은 현존량을 나타내어 우점도지수가 높게 나타나는 경향이 있다. 우점도 지수로 판단할 때 계절변화에 의해 어느 한 종이 우점하는 정도가 심하여 제 1우점종의 변화가 크게 나타나는 경우도 있었다. 95년에는 9월 0.83에서 10월 0.35로, 96년에는 10월 0.82에서 11월 0.44로 우점도지수가 급격히 낮아졌다. 이는 남조류 *Microcystis*의 우점으로 인해 동북호에서의 조류의 동태와 인위적 제어를 위해서 살조제를 살포하였기 때문이며, 또한 인위적으로 현존량이 조절되기 때문에 우점조류의 현존량

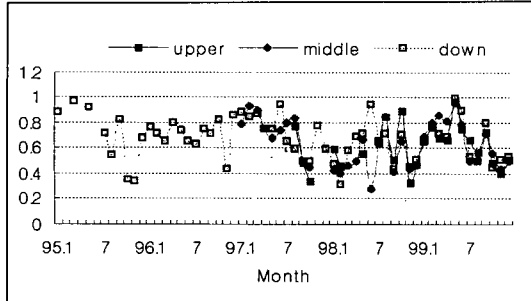


Fig. 12. Monthly variation of dominant indices of algae in the Dongbok reservoir.

이 월별로 급격한 변화를 보이는 경우도 있다.

상·중·하류 정점별로 연도별 평균을 비교해보면 우점도 지수는 큰 차이가 없었다. 계절의 변화에 따른 지점별 우점도 지수 또한 99년에는 큰 차이가 없었으며, 98년 봄과 여름철에 상류는 0.56~0.75, 중류는 0.54~0.59, 하류는 0.66~0.78로 하류지점의 우점도 지수가 높게 나타났으며, 중류가 가장 낮았다. 그리고, 98년 6월에는 중류지점이 0.28, 하류지점이 0.95로 많은 차이를 보였는데, 이때는 하류지점에 와편모조류인 *Peridinium*이 95%이상 번식하여 차이가 있었다. 10월에는 상류지점에 0.9, 중·하류는 0.65~0.71로 차이를 보였는데, 이때 상·중·하류 모두 *Microcystis*가 우점하였으며, 상류지점에서 90%이상의 우점을 보여 높게 나타났다.

IV. 결 론

동북호에서 1995년 1월부터 1999년 12월까지 5년간 출현한 조류는 6강 14목 30과 63속 145종 13변종 1품종으로 총 159분류군이었으며, 이 중 녹조류가 80분류군(50%), 규조류가 45분류군(28%), 남조류가 17분류군(11%)으로 주류를 이루었고, 현존량에서는 규조류가 43%로 가장 높고, 남조류가 30%, 녹조류가 22% 순이었다. 월별로는 가을철과 초겨울에 다양한 종이 출현하였고, 현존량은 95년에 110만~370만 units/ℓ에서 96년 이후 100만 units/ℓ 이하로 낮아졌다.

조사정점별로는 상류에서 15~24종, 중류에서 12~34종, 하류에서 9~37종으로, 하류에서 종수의 변화가 가장 컸다.

종다양성지수는 95년도에는 1.1~4.0, 96, 97년도에는 1.5~3.5, 98년도에는 2.1~3.6, 99년도에는 0.3~3.4로 나타났다. 우점도지수는 95년도에는 0.35~0.97, 96년도에는 0.44~0.86, 97년도에는

0.43~0.89, 98년도에는 0.39~0.80, 99년도에는 0.45~0.97로 나타났다.

참고문헌

- 1) 정진, 조영관 : 상수도 조류관리 지침서. 광주상수도사업본부수질연구소. 광주. 1999.
- 2) 박종근, 이해정 : 취수원 조류군집 특성에 관한 연구(2차년도). 연구요약보고서(I). 한국수자원공사. 187-202, 1999.
- 3) 김진희, 조영관, 최병한, 배석진, 강인숙, 은양, 정미홍, 김애경 : 동북수원지에 서식하는 담수 조류의 생태학적 연구. 수질검사소보. 2, 3-22, 1993.
- 4) 정진, 조영관 : 환경요인에 따른 동북호에서의 식물성플랑크톤 계절적 분포. 대한위생학회 11(1), 27-37, 1996a.
- 5) 정진, 조영관 : 상수원에서 이취미 발생 조류 제거 대책. 수질검사소보, 5, 129-144, 1996b.
- 6) 김진희, 정진, 조영관, 박용훈, 배석진, 김애경 : 동북호 남조류의 현존량과 수질과의 상관성. 수질연구보. 8, 47-55, 1999.
- 7) 정진, 조영관, 백순기, 이종빈 : 동북호 조류군집의 다년간 변화에 관한 연구. 수질연구보. 9, 61-70, 1999.
- 8) 환경부 : 수질오염공정시험법, 347-352, 2000.
- 9) Bernard, J.M. : Phytoplankton sampling with the Sedgwick-Rafter cell. Limnol. and Oceanogr. 16, 19-28, 1971.
- 10) Hirose, H., M. Akyama, T. Iriya, K. Imahori, H. Kasaki, K. Tsumura, M. Hirano and T. Yamajishi. : Illustrations of the Japanese freshwater algae. Uchidarokakuho Publ., Tokyo. 931, 1981.
- 11) Simonsen, R. : The diatom system. Idas on phylogeny, Bacillaria. 2, 9-71, 1979.
- 12) 정준 : 한국담수조류도감. 아카데미출판사. 1993.
- 13) 水野壽産 : 日本淡水藻類圖鑑. 353, 1993.
- 14) 日本水道協會 : 日本の水道生物. 271, 1993a.
- 15) 日本水道協會 : 上水試驗方法. 410-417, 1993b.
- 16) 川北西郎 : 水道藻類分類解説. 日本水道協會. 152, 1993.
- 17) McNaughton, S. J. : Relationship among functional properties of California Glassland. Nature. 216, 168-169, 1967.
- 18) Brower, J. E. and J. H. Zar. : Field and laboratory for general ecology. 131-145, 1977.