

팔당호 상류 유입하천의 수질 및 식물플랑크톤 분포 패턴

박혜경[†] · 변명섭 · 김은경 · 이현주 · 전명진 · 정동일

국립환경연구원 한강물환경연구소

Water Quality and Phytoplankton Distribution Pattern in Upper Inflow Rivers of Lake Paldang

H.-K. Park[†] · M.-S. Byeon · E.-K. Kim · H.-J. Lee · M.-J. Chun · D.-I. Jung

Han-river Water Environment Laboratory, National Institute of Environmental Research

(Received 30 August 2004, Accepted 23 September 2004)

Abstract : The distribution pattern of water quality parameters and phytoplankton biomass in upper inflow rivers of lake Paldang had surveyed. In North-Han river system, nutrient concentrations and algal biomass was below the standard of meso- and oligotrophy from lake Soyang to lake Paldang, maintaining good water quality, except the N5 site located near the Chuncheon-Si, showing high nutrients concentrations and algal biomass. The algal biomass of the South-Han river system showed oligotrophic level in the upstream near the lake Chungju, and increased along the flow direction showing eutrophic level in the downstream within the lake Paldang area. On the other hand, the highest concentrations of nutrients were detected in the middle stream near the Yeosu-Si and Yangpyung-Gun rather than in the downstream suggesting algal biomass in lake Paldang would not come from the upper river area but come from the growth within the lake area using nutrients from the upper inflow river.

keywords : Lake Paldang, Upper inflow rivers, North-Han river, South-Han river

1. 서론

팔당호는 평균수심이 6.4m로 얕고 체류시간이 2.6~9.0일로 수리학적 교체횟수가 41~140회에 달하며 상류 댐의 수문조작에 따라 수시로 체류시간이 달라지고 특히 집중강우기에는 하루에도 수회이상 전체 수체가 완전히 교체되는 수리학적 특성을 지닌 대표적인 하천형 인공호로 개방생태계 및 불안정 생태계를 이루고 있다. 즉 팔당호는 수온과 용존산소의 수직분포가 거의 일정하여 성층발달이 미약하고 호수생태계가 유역강우와 오염물질의 부하에 직접적인 영향을 받고 있다(공 등, 1996). 또한 팔당호는 한강 중하류에 위치하며, 유역의 특성이 상이하고 유량이 서로 다른 남한강, 북한강, 경안천의 세 하천이 합류하면서 형성된 호수로 가지형을 하고 있어 유입하천과 호수의 경계가 명확하지 않으며 남한강, 북한강 수계의 중·상류에 대형 댐들이 위치하고 있어 자연하천과는 달리 상류 댐의 수문조절에 의해 하류 하천의 유속과 유량이 크게 영향을 받고 이는 곧 팔당호로의 영향으로 이어질 가능성이 높다.

팔당호로 유입되는 세 하천 수계의 유입량 비는 남한강 : 북한강 : 경안천이 약 54 : 44 : 2 의 비로 남한강 수계의 유입량이 가장 많으며 유입량으로 볼 때 팔당호 합류수역의

수질은 남한강 수계 수질의 영향을 가장 많이 받는다. 그러나 수질에 있어서는 남, 북한강의 유역은 비교적 수질오염원이 적어 수질이 양호한 반면, 경안천은 해발고도 200m 이하의 유역이 전체 유역의 70% 이상으로서 저지대내 각종 오염원의 영향으로 수질오염에 취약한 상태이며 유역이 수도권에 인접해 있어 인구밀도가 증가추세에 있고 상류에는 유출조절을 관장하는 댐이 없어 갈수기에 특히 악화된 오염상태를 보이고 있다.

식물플랑크톤의 증식과 관련한 체류 시간에 대해 OECD의 조사보고서(1982)에서 3~5일이면 식물플랑크톤은 영양염류를 생산에 이용할 수 없다고 했으며 Welch(1984)는 하루에 10%의 플래시움, 즉 10일에 1회 교체된다면 녹조현상을 발생하지 않고 물고기에 필요한 식물플랑크톤량의 유지가 가능할 것이라고 하였다. 팔당호의 연평균 체류시간은 약 6.4일로 짧아 호내에서 식물플랑크톤이 최대 증식하기에 충분한 조건이라고 보기는 어려우나 봄과 가을철의 갈수기에는 체류시간이 20일 이상으로 증가하면서 경계가 불분명한 상류 유입하천까지 거대한 정체수역이 되어 오염물질이 집적되고 식물플랑크톤이 대발생할 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 팔당호 상류 유입하천에서 팔당호에 이르는 하천과 호수 구간의 수질 및 식물플랑크톤 발생 패턴을 파악하기 위하여 95%이상의 유입유량을 차지하는 남, 북한강 수계에서 팔당호로까지 유하방향에 따라 수질 및 식물

[†] To whom correspondence should be addressed.
parkhk@me.go.kr

플랑크톤발생 분포를 조사하였으며 팔당호에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 연구 방법

팔당호를 이루는 세 유입하천 중 유입량이 많은 남한강 수계와 북한강 수계를 대상으로 조사하였다. 북한강 수계는 소양댐에서 팔당댐까지 약 100km 구간을 1~12km 간격으로 17개 지점(N1~N16, P)을 선정하여 조사하였으며, 북한강 본류 상류지점인 춘천댐 방류수지점과 주요 유입지점인 가평천, 조종천, 구운천의 유입지점에서 조사하였다. 남한강 수계는 충주댐부터 팔당댐까지 약 120km 구간을 2~12km 간격으로 19개 지점(S1~S18, P)을 선정하여 조사하였으며, 주요 유입지점으로 달천, 섬강, 청미천의 유입지점에서 조사하였다. 각 수계의 조사지점 및 지점간 거리는 Fig. 1과 2에 나타내었다.

각 수계의 조사 시기는 강우의 영향을 적게 받고 식물플랑크톤의 증식이 활발한 시기를 선택하여 초여름에 해당하는 6월 하순에 남, 북한강 수계를 조사하였고, 북한강수계에 비해 오염도가 높은 남한강 수계는 갈수기가 지속된 10월 하순에 추가 조사하였다.

각 조사 지점에서 현장측정기(Hydrolab-Minisonde 4a)를 이용하여 표층수(0.5m)의 수온, pH, 용존산소, 전기전도도를 측정하였으며, 표층수(0.5m)를 채수하여 냉암조건에서 실험실로 옮긴 후 클로로필 a, 총인(TP), 인산염인(PO₄-P),

총질소(TN), 질산성질소(NO₃-N), 암모니아성질소(NH₄-N), 식물플랑크톤 세포수 및 우점종을 분석하였다. 클로로필 a, 총인, 총질소, 인산염, 질산성질소, 암모니아성질소는 수질오염공정시험법(환경부, 1996) 및 Standard Methods(APHA, 1994)에 준하여 분석하였다. 식물플랑크톤의 현미경 검경을 위해 일부시료를 루골용액으로 고정하였고 농도에 따라 원심분리기 또는 자연침강법을 이용하여 농축 또는 그대로 검경하였으며, 계수에는 Sedgwick-Rafter counting chamber를 사용하여 식물플랑크톤 속별로 계수하였고, 모든 식물플랑크톤을 가능한 한 세포수로 계수하였다. 식물플랑크톤 종은 한국동식물도감(담수조류편)(정, 1968), 일본담수조도감(廣瀬弘幸 등, 1981) 및 Komárek(1991)의 분류체계에 따라 동정하였다.

각 댐의 저수량, 방류량, 유입량 자료는 한국수력원자력(주) 인터넷 홈페이지에 게재된 댐운영정보의 일자료를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 북한강 수계

팔당호로 유입되는 북한강 수계에서 팔당호의 유입수량에 큰 영향을 미치는 소양댐 및 팔당호 경계지점에 위치한 청평댐의 2003년 강우량 및 댐 유입량의 일변화를 Fig. 3에 나타내었다.

2003년 북한강 수계의 강우패턴을 보면 예년과 달리(박

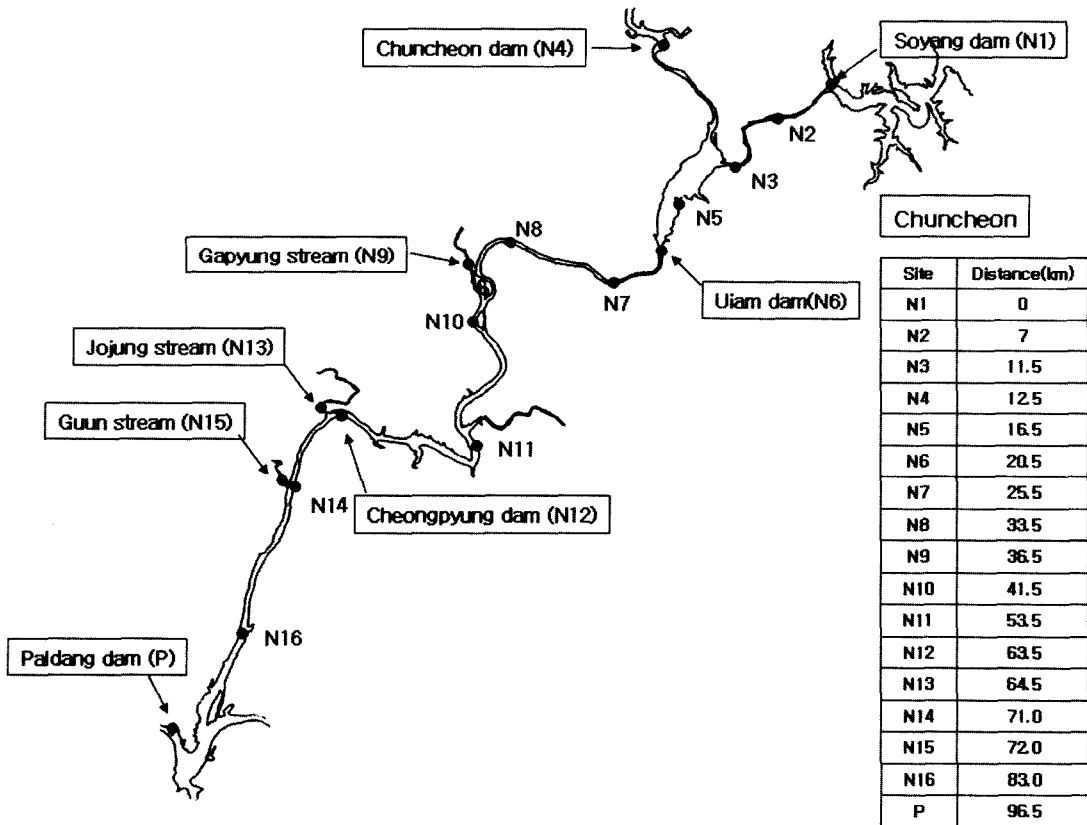


Fig. 1. Site map of North-Han river system.

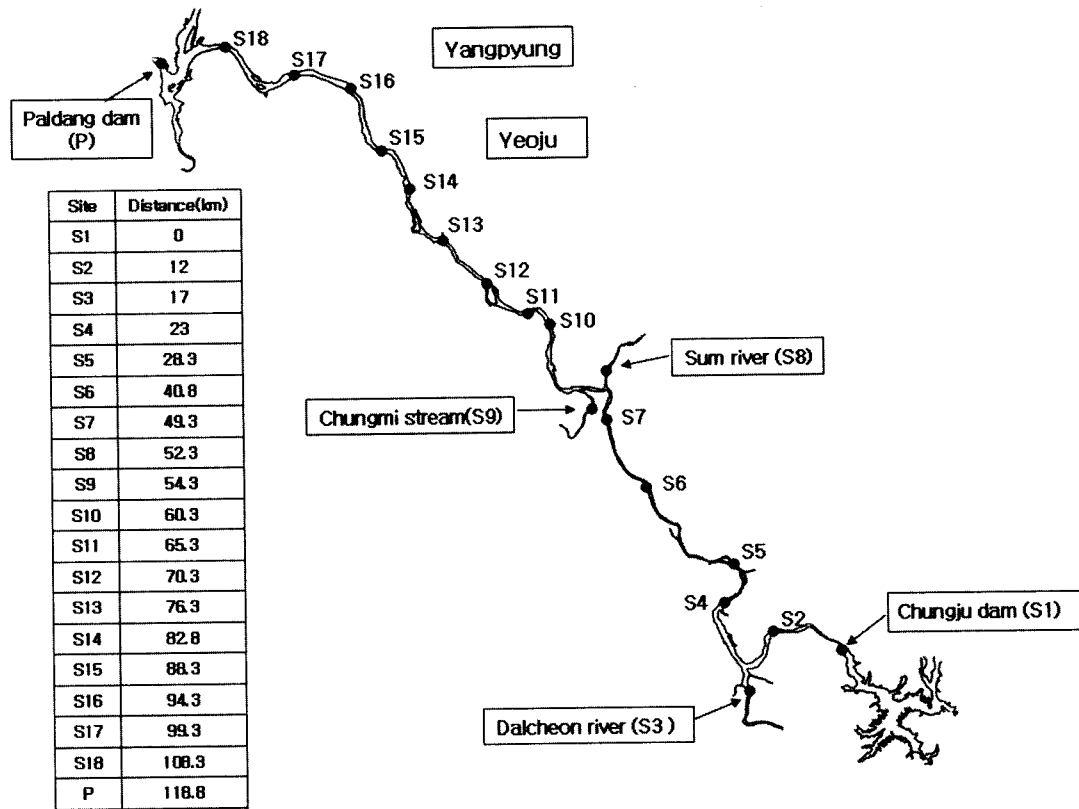


Fig. 2. Site map of South-Han river system.

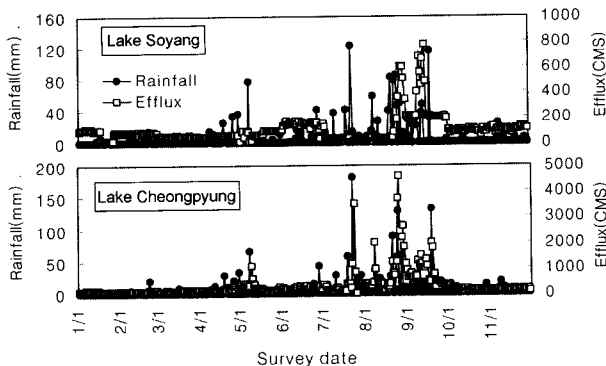


Fig. 3. Rainfall and efflux amount of prominent dams in North-Han river system(2003).

과정, 2003) 갈수기에 해당하는 봄철인 4월과 5월초에 강우가 빈번하였으며 7월말부터 9월말까지 집중호우가 계속되었다. 소양호의 댐방류량은 하류의 홍수관리를 위해 7월과 8월에는 매우 낮았으나 조사가 이루어진 6월 하순에는 장마대비를 위해 평수기에 비하여 하류로 많은 물을 방류하였다. 청평호의 방류량은 강우와 거의 유사한 패턴을 보였다. 소양댐 및 청평댐의 조사일 전 10일 평균 방류량을 보면 각각 149CMS와 221CMS로 연평균방류량인 104CMS, 290CMS에 비해 소양호는 약간 많았으며 청평호는 약간 적어 본 조사가 이루어진 시기는 평수기에 해당되었다.

초여름에 해당하는 6월 하순에 조사한 북한강 수계 지점별 수질을 보면 수온은 11.3~25.5℃의 범위로 조사되었으며, 본류에 비해 수심이 낮아 기온의 영향을 쉽게 받는 유

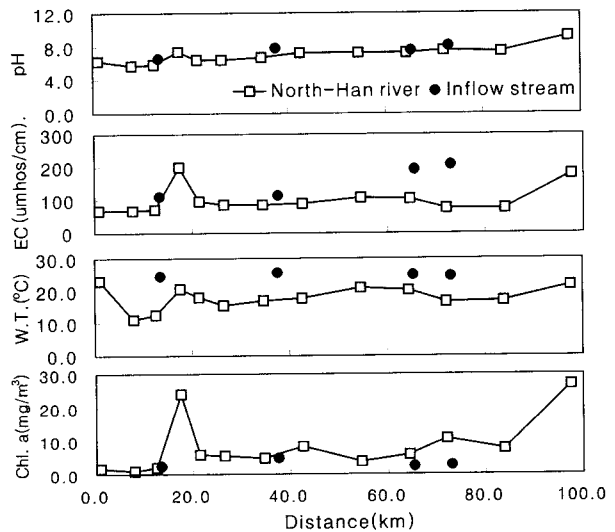


Fig. 4. Variation of water quality parameters by flow distance(from lake Soyang to lake Paldang, Jun. 2003).

입지천의 수온이 높았다(Fig. 4).

소양댐앞지점(N1)의 경우 표층수의 수온은 23.3℃로 상당히 높았으나 다음지점인 N2 및 N3 지점은 11.3, 12.8℃로 전체수계에서 가장 낮은 수온을 보였다.

pH는 5.7~8.6의 범위로 소양댐 및 방류직후의 pH는 약 산성을 보였으나 하류로 내려갈수록 pH가 증가하여 남한강과 합류후인 팔당댐에서는 9.1로 약 알칼리성을 보였다. 전기전도도의 경우 72~207µmhos/cm의 범위를 보였으며

본류수역에서는 의암호내 중도선착장지점(N5)에서 높은 값을 보인 후 다음지점부터 다시 낮은 값을 보이다가 남한강이 합류된 후인 팔당댐 지점에서 다시 급격하게 높아졌다.

전체 식물플랑크톤량을 나타내는 클로로필 a 농도는 1.2~24.3mg/m³의 범위를 보였으며 전반적으로 10mg/m³ 이하의 낮은 값을 보였으나 중도선착장 지점(N5)에서는 부영양 이상의 높은 클로로필 a 농도를 보여(US EPA, 1979) 전기전도도 및 pH와 유사한 패턴을 보였다. 한편 유속이 빠른 유입지천에서는 매우 낮은 클로로필 a 값을 보여 북한강 본류수역의 식물플랑크톤 발생에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

식물플랑크톤 증식의 제한인자가 되는 질소와 인의 농도 분포를 보면 인의 경우 클로로필 a 농도와 마찬가지로 전체적으로는 매우 낮은 값을 보였으나 의암호내 지점인 N5 지점에서만 매우 높은 값을 보였다(Fig. 5). 특히 인산염인은 본류구간의 다른 지점에서는 0.005mg/L 이하로 빈영양 수준을 보였으나(US EPA, 1979) N5지점에서만 0.116mg/L의 높은 값을 보였다. 유입천의 경우 가평천과 조종천은 본류와 큰 차이 없이 낮은 인 농도를 보였으나 구운천은 본류에 비해 높은 값을 나타내었다.

질소의 경우 존재형태에 따라 서로 다른 분포 패턴을 보였는데, 총질소와 암모니아성 질소는 인과 유사한 패턴을 보여 N5지점에서 가장 높은 값을 나타내었고 약 4km 하류 지점인 N6지점에서 급속히 감소한 후 남한강과 합류된 다음 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 질산성 질소의 경우 지점 간에 큰 차이가 없이 1.175~1.554mg/L의 범위를 보였다(Fig. 5).

북한강 수계의 우점 조류 분포상을 보면 소양댐(N1), 춘천댐(N4), 가평천(N9)을 제외한 전체 수계에서 규조류가 평균 74.2%로 우점하였으며 다음으로 기타편모조류가 우점하였다(Fig. 6). 본 조사 시기는 초여름에 해당되며 평균수온도 약 20℃로 높아 남조류가 증식할 수 있는 조건이 조성되어 있었으나 전체적으로 남조류의 현존량은 매우 낮았다. 그러나 클로로필 a 농도와 질소, 인 등의 영양염 농도가 매우 높았던 의암호 중도선착장에서는 *Anabaena* spp. 등의 남조류가 발견되어 오염도에 따라 남조류의 출현이 영향을 받는 것으로 나타났다.

규조류 내에서는 *Aulacoseira* spp.가 제1우점 하였으며 다음으로 *Cyclotella* spp.가 우점하였고, 녹조류는 특정 종이 우점하지 않고 호수나 하천에서 흔히 발견되는 종들이 출현하였다. 단 녹조류의 우점도가 높았던 유입천에서는 *Scenedesmus* spp.가 80% 이상의 우점도를 보였다. 기타조류에서는 갈색편모조류인 *Cryptomonas* spp.와 *Dinobryon* spp.가 우점하였다.

각 조류분류군별로 북한강 수계의 분포패턴을 Fig. 7에 나타내었다. 규조류와 기타조류는 의암호와 팔당호를 제외한 전 수계에서 낮은 농도를 보였으며 하류인 팔당호쪽으로 갈수록 점차 증가하는 패턴을 보였고, 녹조류와 남조류는 의암호와 유입천 등에서 국지적으로 출현하는 것으로 나타났다.

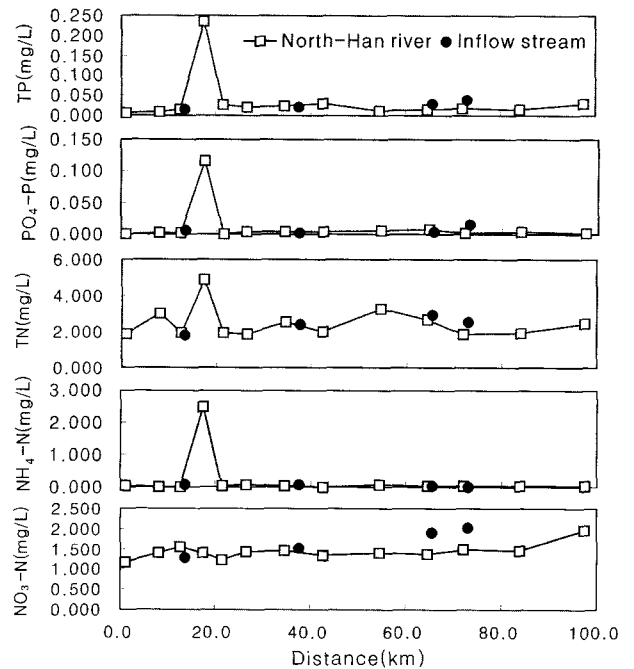


Fig. 5. Variation of nutrient concentrations in North-Han river system(from lake Soyang to lake Paldang).

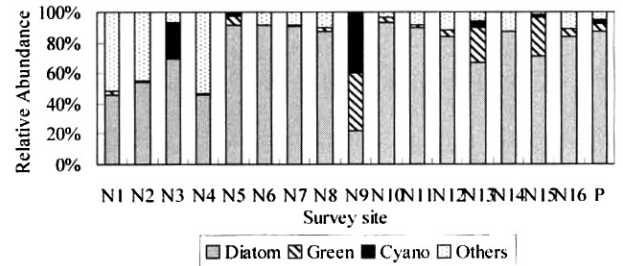


Fig. 6. Comparison of relative abundance by survey site in North-Han river system(Jun.2003).

3.2. 남한강 수계

팔당호 상류 남한강 수계에서 주요 담호인 충주호의 강우량과 댐방류량을 Fig. 8에 나타내었다. 북한강 수계와는 달리 남한강 수계에서는 4월말부터 5월초까지 집중호우가 내려 5월의 댐 방류량이 평수기에 비해 상당히 높았고 이에 따라 이 시기동안 팔당댐까지의 남한강 하류 유속이 빨랐으며 탁수현상이 계속되었다. 또한 7월초부터 9월말까지 여름내내 강우가 지속되어 방류량도 매우 많았다. 본 연구의 조사가 이루어진 6월 중순과 10월 하순의 10일평균 충주댐 방류량을 보면 6월에는 296CMS, 10월에는 91CMS로 6월에는 연평균 방류량인 249CMS 보다 많아 평수기 이상의 유량을 보였고, 10월에는 훨씬 적어 갈수기로 나타났다.

초여름에 해당되는 6월 하순 조사 결과 수온의 경우 충주댐지점에서 높았던 수온이 댐 방류 직후 지점에서 6℃ 낮아졌으며 이후부터 서서히 증가하는 것으로 조사되었다(Fig. 9). 또한 수심이 낮고 유량이 적은 유입천의 수온이 기온의 영향으로 본류에 비해 높은 수온을 보였다. pH는 7.1~8.6의 범위로 하류로 갈수록 높아지는 패턴을 보였으며, 전기전도도는 pH와 달리 팔당호 경계지점부터 감소하

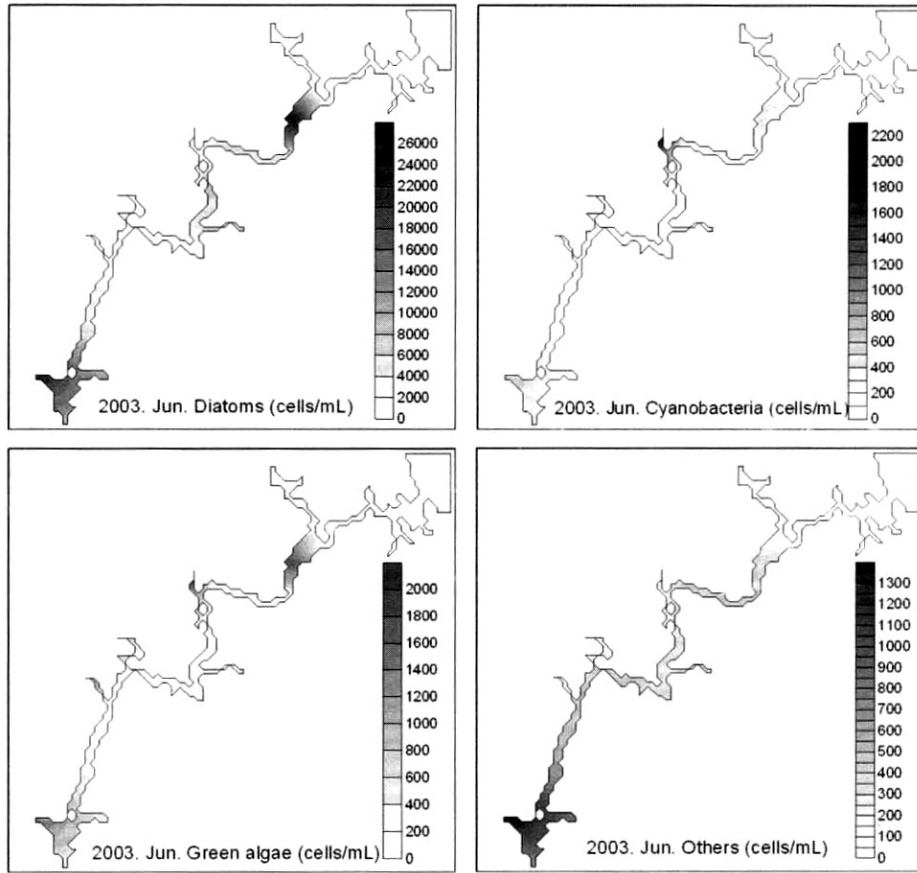


Fig. 7. Distribution pattern of algal groups in North-Han river system(from lake Soyang to lake Paldang, Jun. 2003).

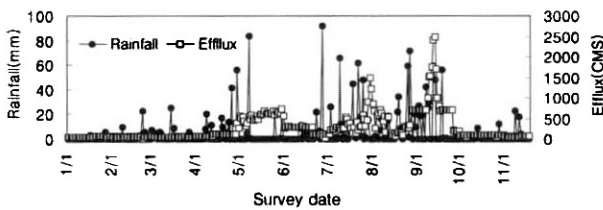


Fig. 8. Temporal variation of rainfall and efflux of lake Chungju(2003).

여 북한강과 합류되는 팔당댐앞 지점에서 가장 낮은 값을 보였다.

클로로필 a 농도는 충주댐앞 지점(N1)과 방류직후지점(S2)에서 빈영양수준의 매우 낮은 농도를 보였으나 이후부터 팔당호 합류수역전까지 약 90km를 유하방향에 따라 일정하게 증가하는 패턴을 보였으며 팔당호 수역내 북한강수계와 합류 직전에 가장 높았고 클로로필 a 농도가 낮은 북한강과 합류되면서 낮아졌다(Fig. 9).

유입천의 경우 달천은 본류에 비해 높은 클로로필 a 농도를 보였으나 청미천과 섬강에서는 낮은 값을 보였다.

조류분류군별 우점도를 보면 북한강 수계와 마찬가지로 유입천과 팔당댐앞 지점을 제외하고는 모두 규조류가 우점하였다. 유입천 중에서 청미천은 녹조류가 우점하였고 팔당댐앞 지점은 갈색편모조류가 우점하였다(Fig. 10).

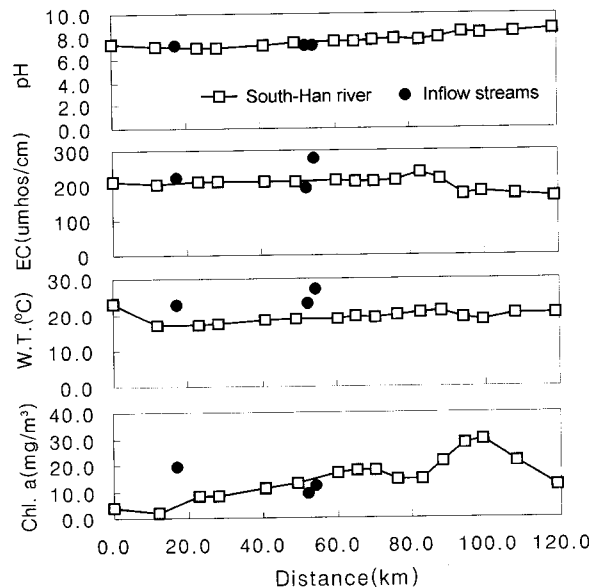


Fig. 9. Variation of water quality parameters in South-Han river system(from lake Chungju to lake Paldang, Jun. 2003).

규조류내에서는 *Cyclotella* spp.가 70%이상의 높은 우점도로 제1우점속이었으며 다음으로 *Aulacoseira* spp.와 *Nanocula* spp.가 우점하여 북한강 수계와는 다른 패턴을 보였다.

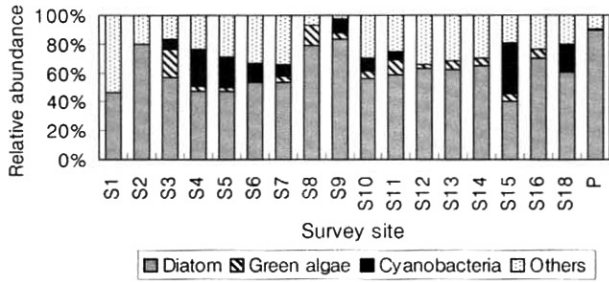


Fig. 10. Comparison of relative abundance by survey site in South Han river system(Jun. 2003).

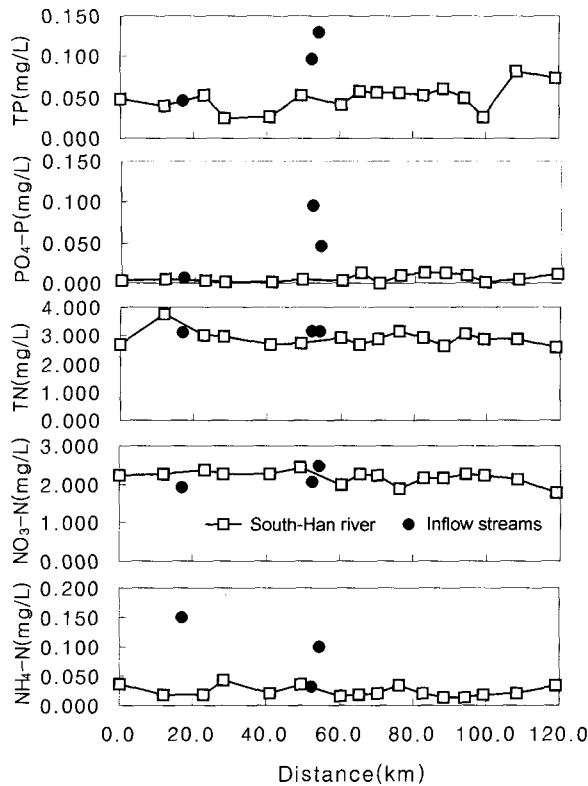


Fig. 11. Variation of nutrient concentrations in South-Han river system(from lake Chungju to lake Paldang, Jun. 2003).

며, 녹조류의 경우 *Scenedesmus*, *Dictyosphaerium*, *Micractinium* spp.가 주로 출현하였다. 남조류는 주로 *Phormidium* spp.가 우점하였으며 단현리(S10)에서는 *Anabaena* spp.가 발견되었다. 기타편모조류는 북한강 수역과 마찬가지로 *Cryptomonas* spp.가 우점하였다.

영양염류의 분포패턴을 보면 인의 경우 본류구간에서는 큰 차이는 없으나 하류로 갈수록 서서히 증가하는 패턴을 보였으며 청미천과 섬강의 농도가 매우 높았으나 본류에 비해 유입유량이 적어 본류의 수질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Fig. 11).

질소의 경우에는 충주댐부터 북한강 수계와 합류 전까지 거의 일정한 값을 보였으며, 섬강과 청미천은 본류보다 약간 높은 값을 보였다. 그러나 암모니아성 질소는 본류구간에서는 매우 낮은 농도이었으나 달천과 청미천에서는 매우

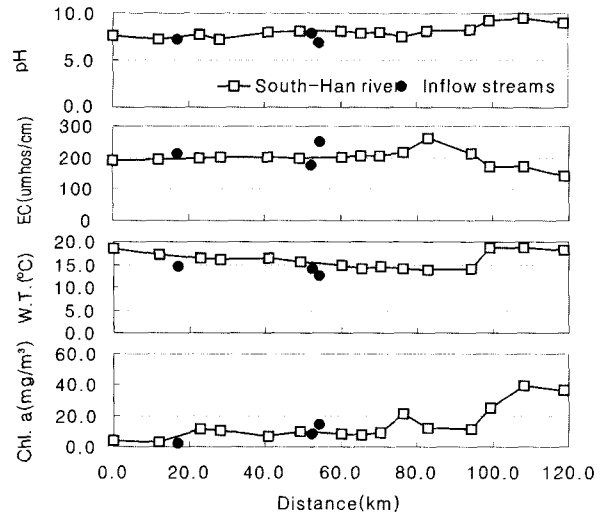


Fig. 12. Variation of water quality parameters in South-Han river system(from lake Chungju to lake Paldang, Oct. 2003).

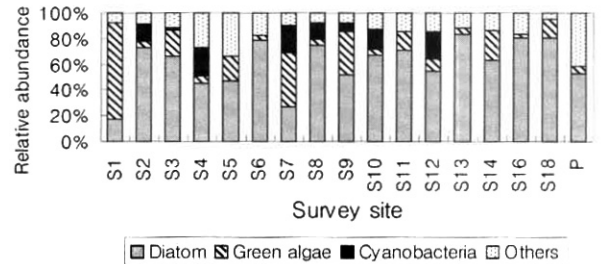


Fig. 13. Comparison of relative abundance by survey site in South-Han river system(Oct. 2003).

높은 농도를 보였다(Fig. 11).

남한강 수계의 6월 중순 조사에서는 봄철 집중강우의 영향으로 예년과 같은 식물플랑크톤의 높은 발생이 일어나지 않아(박과 정, 2003) 일반적인 분포 패턴으로 보기는 어려웠다. 이에 따라 1달 이상 갈수기가 지속되어 수체가 안정되고 조류증식이 시작된 10월 하순에 추가로 조사하였다.

10월 하순 조사결과 수온은 12.7~18.8℃의 범위로 6월보다 낮은 수온을 보였으며 기온의 영향을 많이 받는 유입지천의 수온이 오히려 낮았다(Fig. 12).

pH는 6.9~9.5의 범위로 팔당호 수역 전까지는 큰 변화가 없었으나 팔당호 수역으로 들어오면서 급격하게 증가하여 9이상의 높은 값을 나타내었다.

클로로필 a 농도는 6월과 유사하게 팔당호 경계지점까지는 거의 일정하게 낮은 농도를 보였으나 팔당호내에서 급격한 증가를 보였다. 팔당호 내에서의 이런 식물플랑크톤 증가로 인해 이 수역의 pH의 급격한 증가를 유발한 것으로 판단된다(Fig. 12).

조류분류군별 우점도는 6월 조사와는 다른 패턴을 보였다(Fig. 13). 즉 수계 평균 수온으로 볼 때 6월 조사 시 20.1℃에서 10월조사시 15.7℃로 오히려 낮아졌음에도 불구하고 가을부터 이듬해 봄까지 주로 우점하는 규조류의 우점도가 낮아지고 녹조류와 기타조류의 우점도가 높아졌

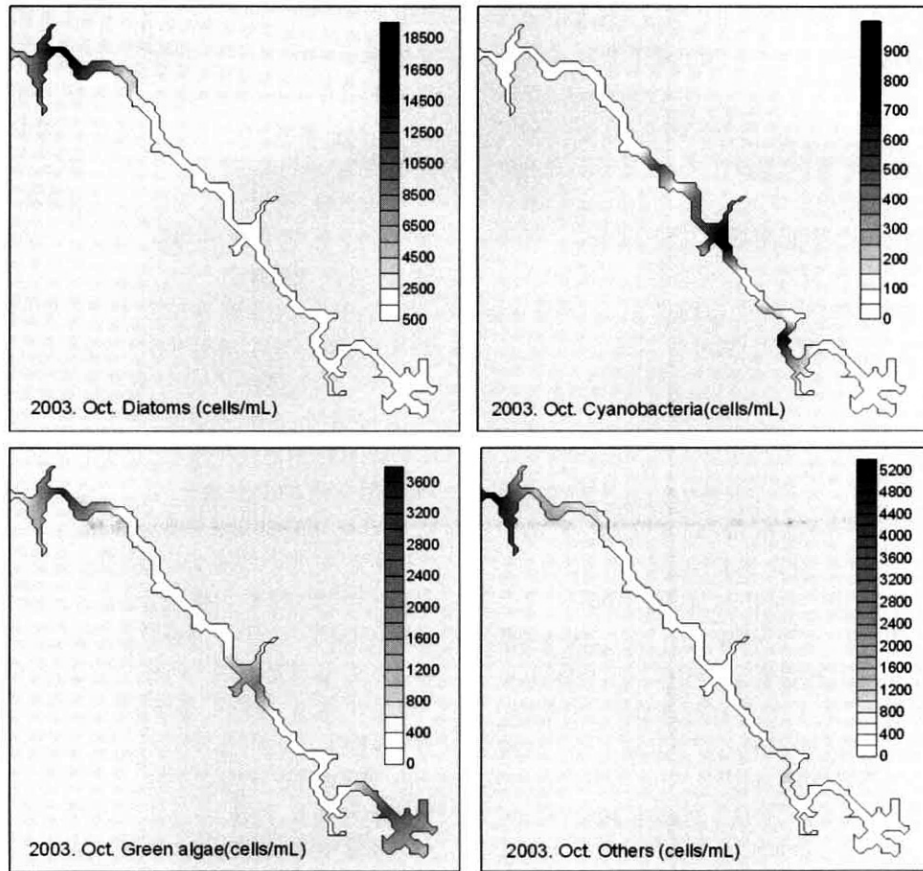


Fig. 14. Distribution pattern of algal groups in South-Han river system(from lake Chungju to lake Paldang, Oct. 2003).

다. 규조류 발생량도 감소하였으며 *Cyclotella* spp.의 우점도가 낮아지고 *Aulacoseira* spp., *Navicula* spp., *Nitzschia* spp.로 천이가 일어났다.

각 조류분류군별 분포 패턴도 6월과는 다른 패턴을 보여 규조류의 경우 전체 발생량이 감소하였으며 하류로 가면서 서서히 증가하여 팔당호 수역내에서 대량 발생하였고, 녹조류와 남조류는 6월과 마찬가지로 국지적으로 발생하였으나 그 발생수역은 서로 달라 남조류의 경우 충주조정지댐과 청미천, 섬강, 그리고 두 유입천이 유입되는 전 후 지점에서 발생하였다(Fig. 14). 한편 조정지댐과 같이 유속이 느린 지점에서는 유해 남조류에 속하는 *Anabaena* spp.가 출현하였으며, 유입천에서는 *Phormidium* spp.가 우점하였다.

영양염류의 분포를 보면 총인의 경우 팔당호보다 상류수역에서 부영양수준의 높은 농도를 보였으며 팔당호 경계이후부터 크게 감소하였다(Fig. 15). 이 시기에 유입천 중에서 섬강의 인 농도가 매우 높았으나 본류와 합류된 후 합류이전과 유사한 농도를 보여 본류의 수질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. 총질소도 총인과 마찬가지로 충주호에서 매우 높은 값을 보였으나 댐 방류이후부터 팔당호 경계면까지 거의 일정한 수준을 보이다가 팔당호에 들어와서 증가하였으며 북한강과 합류 후 감소하였다. 암모니아성 질소도 총질소와 유사한 패턴을 보였으나 질산성질소는 본류구간에서 큰 변동없이 일정한 수준을 보였다. 한

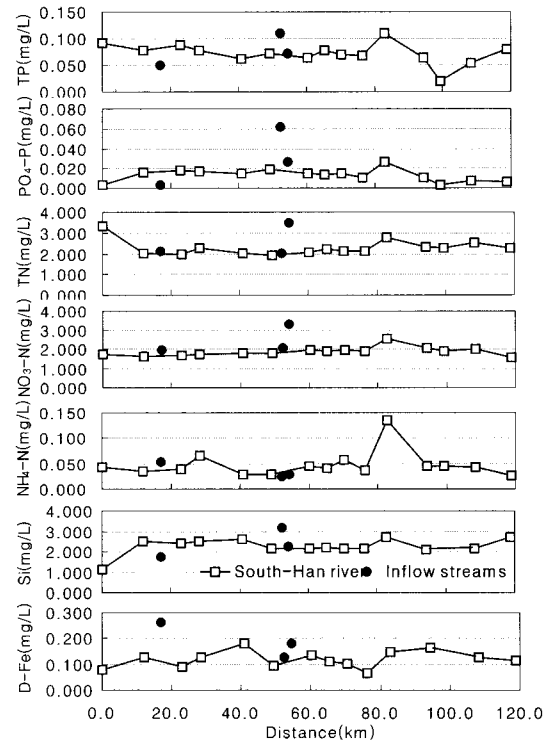


Fig. 15. Variation of nutrient concentrations in South-Han river system (from lake Chungju to lake Paldang, Oct. 2003).

편 유역에 여주와 양평이 위치하고 있는 S14지점에서 모든 영양염이 매우 높은 농도를 보여 이 지점에서 특히 유역으로부터의 오염부하가 많았던 것으로 조사되었다.

10월 조사에서는 질소, 인외에 규조류 증식에 필수 인자인 규소와 남조류 증식에 필수 인자인 철의 농도를 조사하였다(Fig. 15). 규소는 충주댐 지점에서만 낮은 값을 보인 후 이후부터 팔당댐까지 거의 일정한 값을 보였고, 용존 철도 지점 간에 큰 차이가 없었으며 규조류와 남조류 발생량과도 유사한 패턴을 보이지 않아 남한강 수계에서는 이들 이온이 조류 증식에 별 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

3.3. 고찰

팔당호로 유입되는 주요 하천인 북한강과 남한강 수계의 대표적 댐으로 소양호와 충주호를 들 수 있다. 이 두 댐은 팔당호와 달리 수심이 매우 깊고 체류시간이 긴 호소형 호수로 매년 수온에 의한 성층현상이 일어난다. 2001년 소양호와 충주호의 조사결과를 보면(국립환경연구원, 2001) 6월 하순의 수온분포는 소양호의 경우 표층이 23.6°C이나 10m는 12.7°C, 20m는 5.7°C로 성층현상을 보였고, 충주호는 표층이 23.8°C, 10m가 16.6°C, 20m가 7.4°C로 마찬가지로 성층현상을 보였다. 그러나 10월 하순의 조사 결과, 충주호의 표층수온이 20.2°C, 10m가 19.7°C, 20m가 19.4°C로 이 시기에는 성층이 깨어지고 수체가 순환되어 거의 일정한 수온분포를 보였다. 본 연구의 6월 조사에서 북한강 및 남한강 수계 중 댐 방류직후의 수온이 급격하게 낮은 이유는 소양댐과 충주댐의 방류방식이 증층방류방식이기 때문에 성층으로 인한 증층 냉수가 방류되었기 때문이다. 또한 10월의 경우 충주호 증층의 수온이 표층과 거의 차이가 나지 않아 댐방류직하류의 수온이 낮아지지 않은 것으로 판단된다.

팔당호의 상류 유입하천 중 북한강 수계는 상류인 소양호, 춘천호에서부터 팔당호까지 전체적으로 영양염류의 농도가 중, 빈영양 수준으로 낮으며 식물플랑크톤 발생량도 매우 낮아 양호한 수질을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 의암호내의 중도선착장지점은 춘천시를 통과하는 공지천이 유입되는 지점에 위치하고 있어 도시하수의 영향으로 수질이 매우 오염된 공지천의 영향으로 국지적으로 매우 수질이 악화되고 식물플랑크톤 발생량도 높았다. 특히 이 지점에서 산화된 형태인 질산성질소에 비해 환원된 형태인 암모니아성 질소가 매우 높은 농도로 존재하며 인산염 인의 농도도 매우 높은 점으로 볼 때 공지천을 통해서 이 지점으로 도시하수가 유입되는 것으로 판단되며 이 지점에 인산염인과 암모니아성질소와 같은 조류에게 가장 쉽게 이용되는 형태의 영양염류가 고농도로 존재하는 것으로 볼 때 이 지점의 조류생산잠재력은 매우 높을 것으로 추정된다.

한편 의암댐 앞 지점(N6) 및 그 하류로는 중도선착장지점(N5)와는 달리 의암호 상류의 수질과 같은 양호한 수질을 보여 공지천에 비해 수량이 많은 소양호 및 춘천호 방

류량으로 인한 확산 및 자정 등의 효과로 상류의 수질로 회복되는 것으로 추정되었다. 따라서 소양댐 이하 북한강 중하류의 수질은 전체적으로 증영양 이하의 수질을 유지하고 있으나 공지천의 수질 악화가 지속될 경우 중도선착장 지점 뿐만 아니라 의암호 전체의 수질 악화를 유발할 가능성이 높으며, 특히 중도선착장 지점에서 출현한 유해 남조류가 하류의 북한강 수계에 seed로 작용할 가능성을 배제할 수 없을 것이다.

총인, 질산성질소의 농도로 볼 때 북한강 본류에 비해 조종천, 구운천 등의 유입지천이 높은 농도를 보였으나 지천과 합류 후의 본류 수질은 합류전과 큰 차이가 없어 이런 유입지천들이 본류 수질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. 이는 본류유량(2000년 평균 약 210CMS)에 비해 유입유량(2000년 평균 약 2~6CMS)이 매우 적기 때문인 것으로 판단된다(충북대, 2003).

북한강 수계의 총질소와 총인의 평균 비가 약 75로 빈, 증영양수준인 인에 비해 질소 농도는 매우 높아 인에 의해 식물플랑크톤 증식이 제한되고 있음을 나타내었으며 인의 유입량이 증가할 경우 즉시 식물플랑크톤 증식을 유발할 가능성이 높기 때문에 부영양화 방지를 위해서는 인의 유입부하관리 대책이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구결과는 1회 조사된 결과이기 때문에 팔당호 상류 북한강 수계의 평균 수질을 대변한다고 보기는 어려우나, N5지점과 하류의 N6, N8지점의 2003년 연평균 수질을 볼 때 N5지점의 총인농도가 0.054mg/L, N6지점은 0.029mg/L, N8지점은 0.025mg/L(환경부 수질측정망 자료, <http://water.nier.go.kr>)로, 본 조사결과와 마찬가지로 N5지점의 오염도가 북한강 수계의 다른 지점에 비해 높게 나타나, 전체적으로 빈, 증영양 상태인 북한강 수계의 수질을 유지하기 위해서는 오염도가 심한 공지천 및 공지천의 영향을 받는 의암호 일부 수역에 대해 도시하수 유입저감 및 영양염류 저감 등의 수질개선대책을 통한 집중 관리 및 수량은 적으나 영양염류 농도가 높은 유입천의 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

팔당호로 유입되는 하천 중에서 유입량이 가장 많은 남한강 수계의 클로로필 a 농도는 조사기간 중 1.9~39.3mg/m³의 범위로 빈영양에서 부영양상태까지의 수질을 보였으며(US EPA, 1979), 충주댐에서 가장 낮은 농도를 보였고 하류로 내려오면서 시기에 따라 차는 있지만 서서히 증가하는 추세를 보여 팔당호 수역으로 들어오면서 식물플랑크톤이 급증하는 것으로 나타났다. 특히 6월에 비해 10월조사에서 팔당호내 클로로필 a 농도가 높게 나타난 것은 봄철 집중강우의 영향으로 6월 남한강 수계에서는 탁수현상이 나타났고 팔당호 6월평균 체류시간이 약 6일이었으나, 10월조사시에는 9월부터 갈수기가 지속되어 10월 평균 팔당호 체류시간이 약 11일로 6월에 비해 길어 수체가 정제되고 이에 따라 호내 식물플랑크톤 증식이 촉진되었기 때문으로 판단된다.

영양염류의 분포패턴은 조류의 분포패턴과는 다르게 나타나 팔당댐 수역 부근보다 오히려 상류의 하천 수계에서

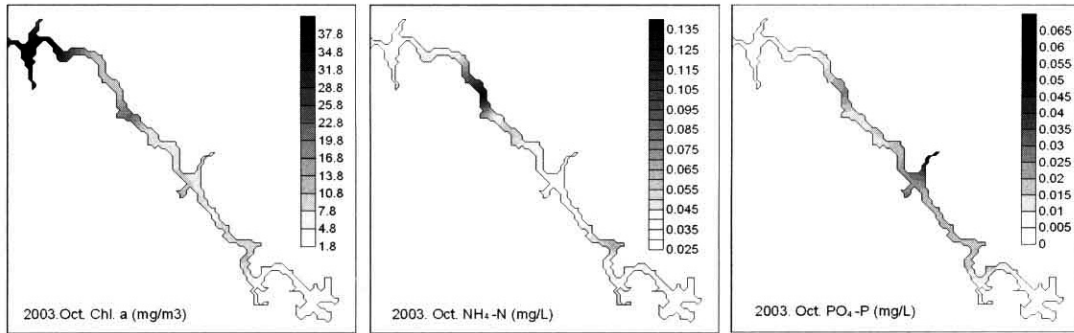


Fig. 16. Comparison of distribution pattern of chlorophyll a and inorganic nutrients concentrations in South-Han river system(from lake Chungju to lake Paldang, Oct. 2003).

높은 값을 나타내었으며, 질산성질소는 충주댐부터 팔당호의 북한강 합류전까지 거의 일정한 값을 보였으나 암모니아성 질소는 구간에 따라 차이를 보여 암모니아성 질소가 높은 지점에서 오염이 유입되고 있음을 시사하였다. 특히 유역에 여주, 양평 등 대도시가 위치한 S13~S15 지점에서 높은 값을 나타내어 이 지점 유역의 오염부하저감대책이 시급한 것으로 나타났다. 한편 지천으로는 충주하수처리장 방류수의 영향을 받는 달천과 상류에 축산단지가 위치한 청미천에서 매우 높은 농도를 보여 유역에서 오수가 유입되고 있음을 시사하였다.

북한강 수계와 마찬가지로 남한강 수계의 질소/인 비도 40 이상으로 인이 조류 증식의 제한인자로 밝혀졌다.

클로로필 a 농도와 영양염류간의 상관관계를 분석한 결과, 주요 영양염들이 모두 클로로필 a 농도와 거의 상관도가 없는 것으로 나타나, 하천구간에서는 영양염류가 유입되어도 바로 조류의 증식으로 전환되지 못하고 수체가 정체되는 호소구간에서 조류의 증식이 유발되기 때문인 것으로 추정되며(Table 1). 특히 팔당호 경계에서 멀지 않은 S13~S15 지점의 오염도가 높게 나타나 이 지점에서 유입된 오염물질이 하류로 내려와 팔당호 수역내(S17, 18)의 조류증식을 촉진하는 역할을 하는 것으로 판단된다(Fig. 16).

Table 1. Correlation coefficient between chl. a conc. and water quality parameters in South Han river system

	pH	EC	TP	PO ₄ -P	TN	NO ₃ -N	NH ₄ -N
Chl. a	0.629**	-0.332*	-0.120	-0.142	-0.056	-0.127	-0.067

N=56, ** : P<0.01, * : P<0.05

북한강 수계에 비해 남한강 수계에서 영양염류 농도가 높았으나 하천 구간에서의 식물플랑크톤 증식은 그리 높지 않았고, 시기에 따라 주요 유입지천에서 식물플랑크톤량이 많았던 경우에도 유입이후 하류의 식물플랑크톤 증식에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 팔당호 상류 유입하천에서의 식물플랑크톤 발생은 북한강, 남한강 수계 모두 그리 높지 않아, 팔당호 수역에서의 식물플랑크톤은 상류에서 증식되어 유입되기 보다는 상류에서 유입된 영양염류를 이용하여 수체가 정체되는 팔당호 수역내에서

발생이 일어나는 것으로 조사되었고 또한 팔당호로 유입되는 수계 중 수질이 양호한 북한강 수계가 오염도가 높은 남한강 수계와 만나면서 팔당호 합류수역의 조류증식을 저감하는 효과 즉 희석효과를 주는 것으로 조사되었다.

4. 결론

팔당호의 수질 및 식물플랑크톤 발생에 미치는 상류 유입하천의 영향을 파악하기 위하여 95%이상의 유입유량을 차지하는 남한강 및 북한강 수계에서 팔당호로의 유하방향에 따른 수질 및 식물플랑크톤발생 분포를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 팔당호의 상류 유입하천 중 북한강 수계는 소양호, 춘천호에서부터 팔당호까지 전체적으로 영양염류의 농도 및 식물플랑크톤 발생량이 모두 중, 빈영양 수준으로 양호한 수질을 유지하고 있었으나 춘천시를 통과하는 공지천의 영향으로 의암호의 일부 수역에서 국지적으로 매우 수질이 악화되고 식물플랑크톤 발생량도 높았다.
2. 전체적으로 빈, 중영양 상태인 북한강 수계의 수질을 유지하기 위해서는 오염도가 심한 공지천 및 공지천의 영향을 받는 의암호에 대해 도시하수 유입저감 및 영양염류 저감 등의 수질개선훈을 통한 집중 관리가 필요하며 또한 수량은 적으나 영양염류 농도가 높은 유입천의 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.
3. 팔당호 상류 남한강 수계의 식물플랑크톤 발생패턴은 충주댐에서 가장 낮은 농도를 보였고 하류로 내려오면서 서서히 증가하는 추세를 보여 팔당호 수역으로 들어오면서 식물플랑크톤이 급증하는 것으로 나타났으나 영양염류 농도는 이와 달리 유역에 여주, 양평 등 대도시가 위치한 하천구간인 S13~S15 지점에서 높은 값을 나타내어 이 지점 유역의 오염부하저감대책이 시급한 것으로 나타났다.
4. 북한강 및 남한강 수계에서 모두 총질소와 총인의 평균비가 75와 40으로 매우 높아 인에 의해 조류 증식이 제한되고 있음을 나타내고 있어 두 수계의 부영양화 방지를 위해 인 부하저감대책이 필요할 것으로 판단된다.
5. 팔당호 상류 유입하천으로서 95%이상의 유입량을 가지

는 남한강 및 북한강 수계의 수질 및 식물플랑크톤 발생패턴을 조사한 결과 두 수계중에서 북한강 수계의 수질이 남한강 수계에 비해 양호하였으며, 식물플랑크톤 발생은 양 수계에서 모두 그리 높지 않아 팔당호 수역의 식물플랑크톤은 상류의 하천구간에서 증식되어 유입되기 보다는 상류에서 유입된 영양염류를 이용하여 수체가 정체되는 팔당호 수역내에서 발생이 일어나는 것으로 사료되었다.

참고문헌

- 공동수, 윤일병, 류재근, 팔당호의 물수지 및 수문특성, *한국수학회지*, **29**, pp. 51-64 (1996).
- 국립환경연구원, 2001 한강수계 호소 수환경 현황, NIER No. 2001-44-636 (2001).
- 박혜경, 정원화, 팔당호의 장기간 식물플랑크톤 발생 추이, *한국물환경학회지*, **19**, pp. 673-684 (2003).
- 정영호, 韓國 動植物 圖鑑, **9**, 淡水藻類편 아카데미출판사 (1968).
- 충북대 건설기술연구소, 한강특별대책 중간평가사업 수질모델링을 위한 수리수문인자분석 (2003).
- 환경부, 수질오염공정시험방법 (1996).
- 廣瀬弘幸, 山岸高旺 編, 日本淡水藻類圖鑑, 内田老鶴圃 (1982).
- APHA, AWWA, WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed., New York (1994).
- Komárek J., A review of water-bloom forming *Microcystis* species with regard to populations from Japan, *Archiv Hydrobiologie*, Suppl. Bd. 92, Algological Studies, **64**, pp. 115-127 (1991).
- OECD, Eutrophication of waters-monitoring, assessment and control, OECD, p. 154 (1982).
- US EPA, Quantitative techniques for the assessment of lake quality. US EPA 440/5-79-015 (1979).
- Welch E. B., Lake restoration results, (Ecosystems of the world 23, Lakes and reservoirs, ed. Tamb F. B. 643pp.), pp. 557-571, Elsevier (1984).