

## 소양호와 팔당호 수질의 수직 및 계절적 변화

김종민<sup>1,2</sup> · 박준대<sup>2</sup> · 노혜란<sup>2</sup> · 한명수<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>한양대학교 자연과학대학 생명과학과, <sup>2</sup>국립환경연구원)

**Changes of Seasonal and Vertical Water Quality in Soyang and Paldang River-reservoir System, Korea. Kim, Jongmin<sup>1,2</sup>, Jundae Park<sup>2</sup>, Hyeran Noh<sup>2</sup> and Myung-Soo Han<sup>1,\*</sup> (Department of Life Science, Hanyang Univ. Seoul 133-791, Korea, <sup>1</sup>National Institute of Environmental Research, Incheon 404-170, Korea)**

Changes of seasonal and vertical water quality was analyzed with physico-chemical data from Soyang and Paldang river-reservoir system in Korea during the 1996 to 1998. In Soyang river-reservoir system, the water column was well stratified, which narrow epilimnion layer of 5 to 10 m depth in spring to summer enlarged gradually about 40 m depth in fall as going to times. In contrast, metalimnion layer tended to be narrow during the same period. Water temperature of hypolimnion was maintained about 5°C continuously throughout the year. DO of the epilimnion layer was supersaturated from spring to summer, however, it was decreased to 75% at the epilimnion layer and 45~50% at the hypolimnion layer at the late fall. The lowest conductivity of below 50 µS/cm was observed at the metalimnion layer during the summer to fall. In Paldang river-reservoir system, the water column was well mixed layer throughout the year, although water temperature was changed seasonally from 5°C in February to 28°C in July. Water temperature between upper and lower layer was different about 5°C from late spring (May) to early fall (September). DO was over and less saturated in upper and lower layer during the early summer to early fall, respectively. Conductivity was decreased to 90 µS/cm in lower layer of below 4~5 m depth during the late spring to early fall and that of upper layer of above 10 m depth decreased to about 100 µS/cm during the late fall (November) and early spring (March). Retention time of Soyang river-reservoir system was much longer than that of Paldang river-reservoir system. Chlorophyll *a*, T-N and T-P concentration in Paldang river-reservoir system were higher than that of Soyang river-reservoir system by a factor of 2.7, 1.2 and 2.6, respectively. Algal blooming was deeply affected by the nutrients than the retention time.

**Key words : conductivity, DO saturation, mixed layer, water temperature, stratification**

### 서 론

일반적으로 국내에 분포하는 댐호는 크게 호소형 댐

호와 하천형 댐호로 구분된다. 하천형 댐호는 수심이 얇고 유입-유출량이 저수량에 비해 상대적으로 큼에 따라, 수괴의 활발한 혼합이 일어나므로 수온이나 용존산소의 수직분포가 거의 균질하여 성층의 발달이 미약하

\* Corresponding author: Tel: 02) 2290-0956, Fax: 02) 2296-1741, E-mail: hanms@hanyang.ac.kr

고, 짧은 체류시간으로 인해 유역의 강우와 오염물질의 부하에 직접적인 영향을 받는다. 이에 비해 호소형 댐호는 체류시간이 길고 성층현상이 뚜렷하여 자연호와 유사한 생태학적 특성을 가지는 것으로 알려져 있다 (Kong, 1997). 따라서 이들에 대한 수질평가방법 또는 수질보전대책도 달라질 수밖에 없으며 이렇게 다른 형태적 또는 수리·수문학적 특성이 각각 비교되는 호수의 수질에 어떠한 형태로 영향을 미치는지, 또한, 여기에서 나타난 결과가 어떠한 의미를 가지는지에 대한 연구의 필요성이 대두된다.

국내 댐호의 수리·수문 특성은 계절에 따른 강우형태와 유입·유출량의 형태, 수체 교환률 (flushing rate), 유역의 형상 등에 따라 달라지며 특히 강물과 호수자체의 밀도 차에 의하여 영향을 받는다. 즉, 유입수는 밀도가 낮은 경우 표층을 따라 유입되며, 밀도가 높은 경우에는 호수 바닥 층을 따라 유입된다. 그러나 유입 하천수의 밀도가 성층화된 호수의 표층보다 높고 심층보다는 낮을 경우 유입수는 중층으로 유입된다 (Hammer *et al.*, 1981). 따라서 호수의 수질은 수리 특성에 따라 크게 변화된다. 또한, 수자원의 활용을 위한 저류 및 방류 방법 (renewal time의 변화)에 따라서도 오염물질의 축적이나 부영양화 발생특성 등이 변화될 수 있다.

Kim (1987)은 소양호에서 우기의 유입수량 증가 시 다량의 탁도물질이 호수의 중층으로 유입되어 호수 수질에 영향을 미친다고 하였으며, 허 등 (1998)은 96년 6~10월까지 소양호에 유입된 유량 중 약 91%가 방류되었으나 이 시기에 유입된 총인 부하량은 약 7.8%만이 방출되었다고 보고한 바 있다. 한 등 (1995)은 팔당호에서의 수질이 우기에는 외부 유입수에 의하여, 그리고 갈수기에는 체류시간에 의하여 크게 변화된다고 보고하였으며, Kong (1997)은 팔당호에서의 조류증식은 수리학적 체류시간이 크게 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 한 등 (1999)은 팔당호의 일일 생산력이 광도, 유광층의 깊이, 온도 및 수리학적 체류시간 등과 종합적인 관계를 갖는다고 보고한 바 있다. 이와 같이 수문학적 요인의

변동과 수질과는 매우 밀접한 관계가 있음이 보고되고 있다.

국내에서는 댐호에서 나타나는 수질과 수문학적 특성과의 상관관계를 규명하기 위한 많은 연구 (한 등, 1993; 공, 1997; 허 등, 1998; 허 등, 2000; 신과 조, 2000; 이 등, 1999; 김 등, 1999; 김 등, 2001; 임 등, 2000)가 수행되어 왔음에도 불구하고 강우의 유입과 유출에 따른 수문학적 변화와 호수의 수질과의 상관관계에 대한 구체적인 분석은 아직도 부족한 실정이다.

본 연구는 호소형 호수인 소양호와 하천형 호수인 팔당호를 대상으로 강물의 호소유입 및 방출에 따른 호수의 수문학적 특성변화와 성층 형성에 따른 수질의 수직적 및 계절적 변화양상을 호수 유형별로 비교·분석함으로써, 수문학적 특성과 호수 수질과의 상관관계를 규명하고 이를 수질보전대책 수립을 위한 기초자료로 제시하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

조사대상 호수는 한강수계 내 대표적 호소형 댐호로 알려져 있는 소양호와 하천형 댐호로 알려져 있는 팔당호이며, 이들 호수에 대한 수질조사자료는 한강수질검사소에서 월별 또는 분기별로 조사한 자료 (한강수질검사소, 1996~1998)와 환경부의 호소수 수질모니터링자료 (환경부, 1993~1997)를 이용하여 분석하였다. 호수의 유입량과 방류량에 관한 자료는 건설교통부에서 발간된 수문조사연보 (건설교통부, 1996~1998)와 건설교통통계연보 (건설교통부, 건설부문, 1996~1998)에서 인용하였다. 본 논문에 인용된 각 호수 수질조사자료의 연도별 채수시기와 조사회수는 Table 1과 같으며 시료의 채수는 각 호수의 댐 앞의 정점에서 수심별로 수행되었다 (Fig. 1).

수질조사항목 중 수온, pH, DO 및 전도도는 수질자동 측정계기인 'HYDROLAB' (Hydrolab, 1995)을 이용, 현장

**Table 1.** Sampling date at the Soyang and Paldang river-reservoir system in Korea ('96~'98).

Lakes	Year	Sampling months	Maximum depth of sampling
Soyang	1996	Feb., Apr., June, Sept., Nov.	81 m
	1997	Mar., Apr., May, June, July, Aug., Sept., Oct., Nov.	
	1998	Mar., May, July, Sept., Oct., Nov.	
Paldang	1996	Feb., Apr., Sept., Nov.	14 m
	1997	Mar., May, July, Sept., Nov.	
	1998	Mar., May, Sept., Dec.	

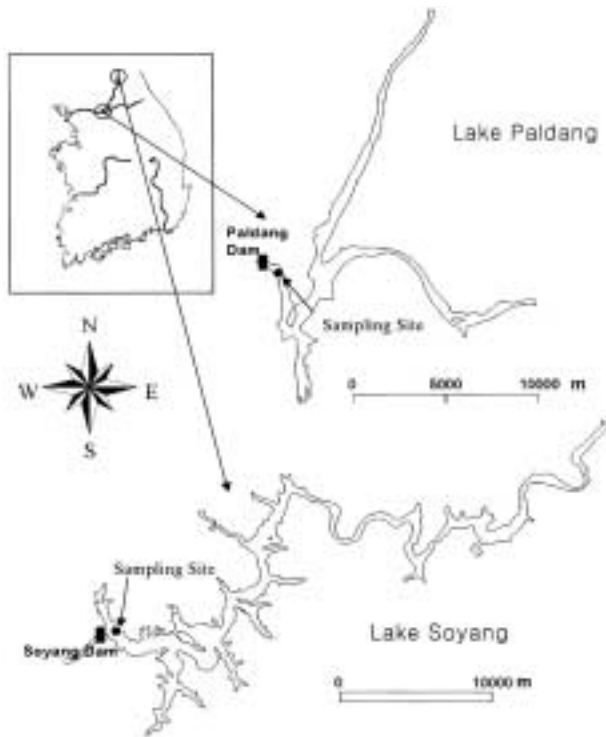


Fig. 1. Sampling sites of Lake Paldang and Lake Soyang.

에서 측정되었으며 수질오염공정시험방법(환경부 1995)에 따라 COD는 망간법, 총 질소와 총 인은 각각 자외선 흡광광도법과 아스코르빈산 환원법을 이용하여 분석되었다. 클로로필 *a*는 GF/C 여과지로 시료를 여과후 90% 아세톤으로 압냉소에서 24시간 동안 엽록소를 추출하여 663, 645, 630 및 750 nm의 파장에서 흡광광도계(Cary 1E Varian)로 흡광도를 측정하여 계산되었다. 용존산소 포화도는 수증기압의 변동을 무시하고 Mortimer (1981)가 제안한 수온에 따른 포화 용존산소 농도 산출식을 이용하여 실측 용존산소 농도와를 비를 백분율로 산출하였다.

## 결 과

### 1. 소양호의 수온, 전기전도도 및 용존산소 포화도 수직 및 계절적 분포

Figs. 2 및 3은 호소형 댐호로 대표되는 소양호의 '97년도 3월부터 11월까지의 수심별 수온, 용존산소 포화도 및 전도도의 수직분포를 나타낸 것이다. 표층 수온은 계절별로 약 5°C (3월)~27°C (7~8월)까지 변화했으며 수

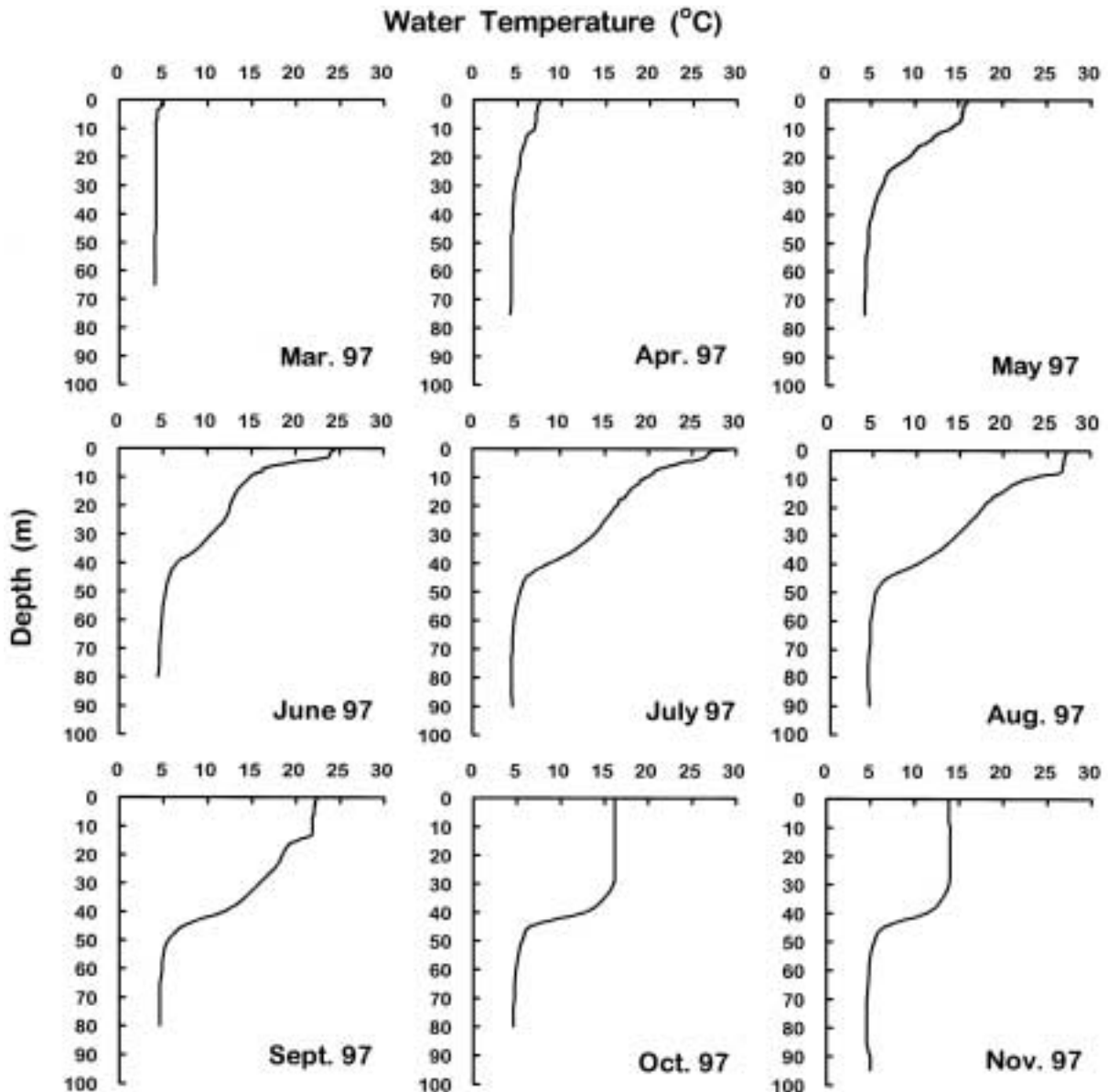
심별 수온은 동계와 이른봄(3월)까지는 약 5°C 이하로서 거의 수직적으로 균일하게 분포하고 있어 상·하층의 혼합이 매우 잘 이루어질 수 있는 형태를 나타냈다. 4월 이후부터는 수온의 증가와 함께 뚜렷한 성층현상이 관측되었으며 이러한 형태는 11월까지 지속되었다. 표층의 수심은 4월부터 8월까지 약 10 m까지 발달되었으나 9월 이후부터 급속히 확장되어 '97년 10~11월에는 약 40 m 정도까지 확산되었다. 10월과 11월의 성층현상은 다소 차이를 보였는데 이 시기에는 수심 약 40 m 부근에서 수온의 급격한 감소로 기온기가 가파르고 폭이 얇은 중층이 발달되었다. 즉, 춘계와 하계에 관찰된 좁은 폭의 표층은 추계로 갈수록 점차 넓어진 반면 중층의 폭은 점점 좁아지는 경향을 보였다. 아울러 수온이 5°C 내외로 연중 거의 변동을 보이지 않고 있는 심층은 수심 약 50 m 이하에 존재하였다.

용존산소 포화도의 수심별 분포(Fig. 3)를 보면 3월에는 비교적 균일한 수직분포를 보였으나, 4월경 표층의 포화도가 97% 정도까지 증가된 양상을 나타내면서 5~8월에는 표층인 수심 5~10 m 깊이까지 포화도가 100%를 넘는 과포화상태를 나타냈다. 반면 중층에서는 포화도가 65~80% 정도로 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 9월부터 표층의 용존산소 포화도는 점차 감소하여 11월에는 75%까지 감소하였고, 중층에서는 용존산소 포화도가 더욱 감소하여 약 45~55% 정도를 나타냈다. 이와 같이 춘계와 하계에서는 표층에서 용존산소의 과포화가 관찰되었고, 추계로 들어가면서 표층의 용존산소 포화도는 약 75%까지, 중층은 45~55%까지 감소하는 경향을 보였다. 또한 수심 50 m 이하의 심층에서는 연중 빈 산소 수괴의 형성이 관찰되었다.

전기전도도의 수심별 분포를 보면 3~5월까지는 전층에서 약 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도로 유지되었으나, 6~11월에는 중층에서 약 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지 감소하여 표층보다 약 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도 낮은 분포를 보였다. 또한 10월 이후 표층과 중층의 전기전도도는 수직적으로 유사한 값을 보였다.

### 2. 팔당호의 수온, 전기전도도 및 용존산소 포화도 수직 및 계절적 분포

팔당호는 소양호에 비해 수심이 얇고 거의 일정한 수위를 유지하므로 호수 내 유입되는 유량이 많을 경우 거의 하천과 같은 수문학적 특징을 갖는다. 따라서 수심별 수온의 분포도 연도별, 계절별 구분없이 비교적 잘 혼합된 수괴의 특성이 관찰되었으나 5~9월에는 약 5°C 내외의 상·하층 수온차이를 나타냈으며, 표층수온의 계



**Fig. 2.** Seasonal changes and vertical profiles of water temperature in Soyang river-reservoir system, Korea in 1997.

절별 변동폭은 약 5°C (3월)~27°C (7~8월)로 관찰되었다 (Fig. 4).

용존산소 포화도는 7~9월경에는 상·하층이 큰 차이를 보였고, 이 시기를 제외하고는 상·하 수층의 차이가 20% 이내의 비교적 균일한 분포패턴을 보였다. 즉, 춘계에서 이른 추계까지는 활발한 조류의 광합성 작용으로 용존산소 포화도가 100% 이상인 과포화 상태가 수심 3~4 m 정도의 표층에서 발생하였으며 그 이하 수심에서는 수심이 깊어짐에 따라 점차 포화도가 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 5). 그러나 소양호에서처럼 심층에서

빈산소 수괴의 발달은 관찰되지 않았다.

전기전도도는 표층의 경우 약 110~200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도의 변동폭을 보였다. 최저 전도도는 수심 4~5 m 이하에서 약 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (98.9) 가까이 감소하기도 하였으며, 소양호 (약 55~60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )에 비해 최대값은 약 2~3배 높은 약 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (98년 5월)의 값을 보였다. 전기전도도의 계절에 따른 수직적 분포는 5월~9월까지의 심층에서 감소하는 경향을 보인 반면, 11월 이후 2~3월까지의 표층이 심층보다 낮은 경향을 나타냈다 (Fig. 5).

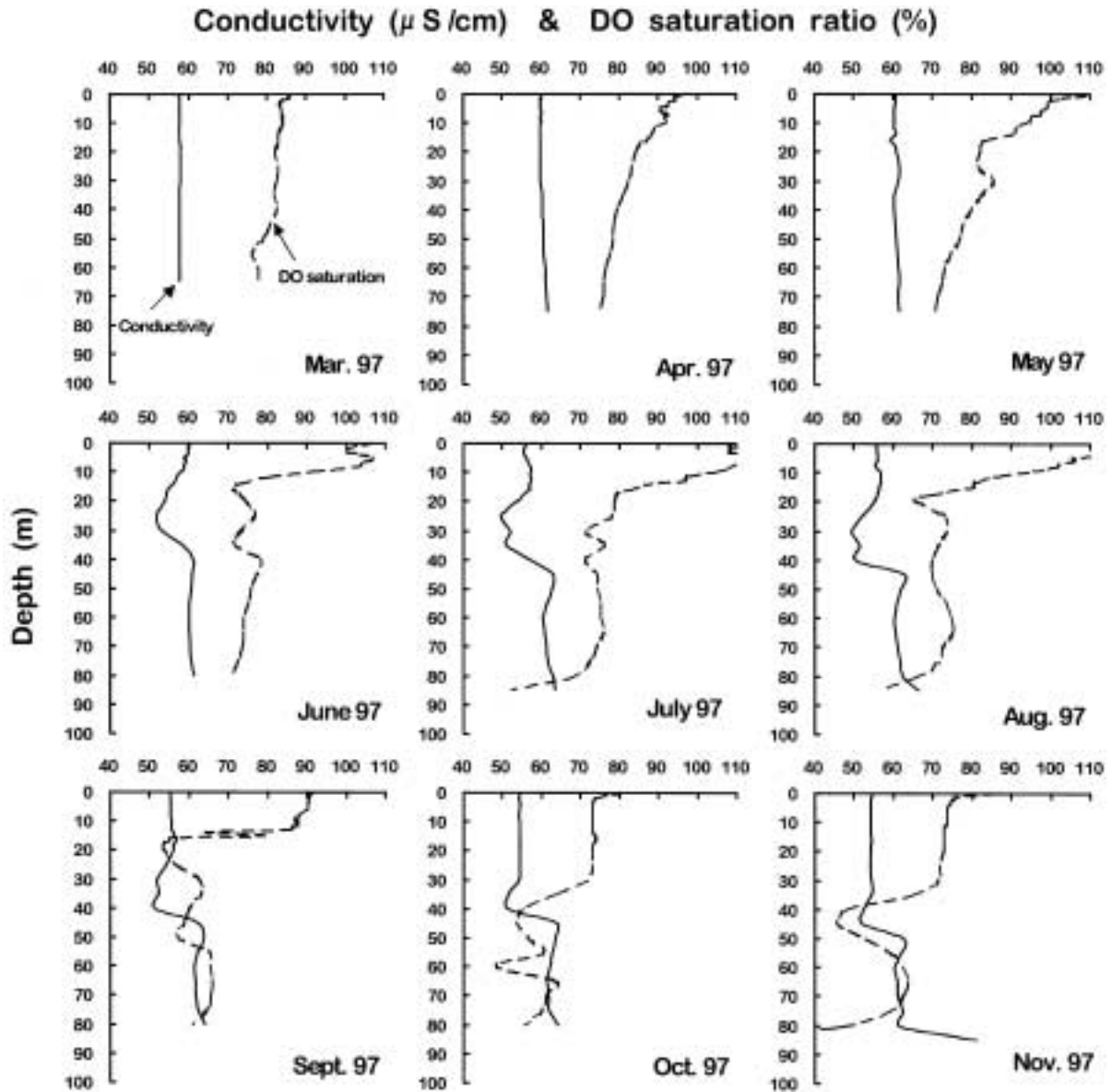


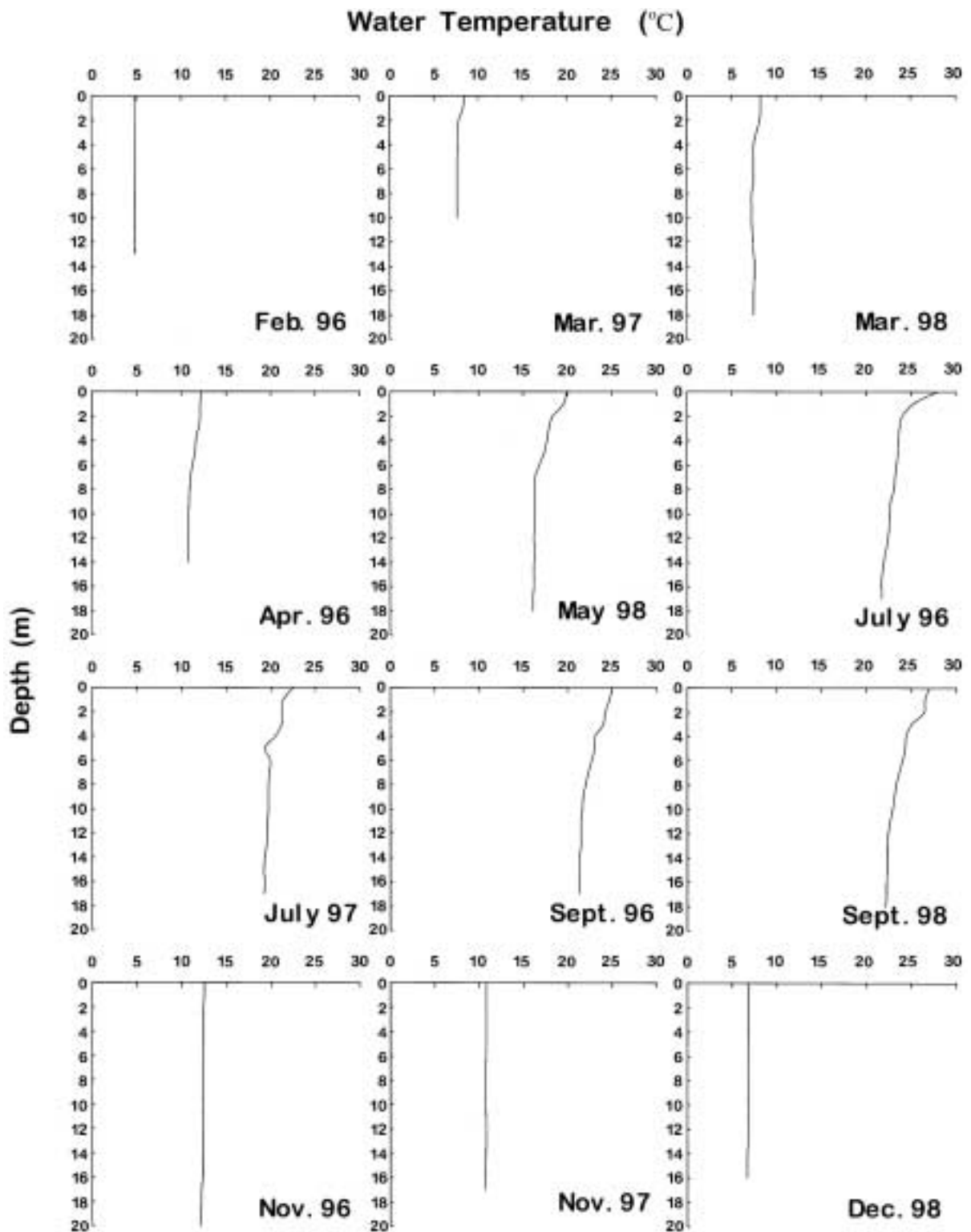
Fig. 3. Seasonal changes and vertical profiles of conductivity and DO saturation ratio (%) in Soyang river-reservoir system, Korea in 1997.

3. 소양호와 팔당호의 클로로필 a, T-N 및 T-P의 연간 변화

'93~'97년 기간중 소양호와 팔당호의 체류시간과 클로로필 a 농도의 월별 변동을 비교해 보면 소양호의 경우 체류시간은 평균 245일 (33일~4,612일)이었고, 팔당호는 평균 5.1일 (0.6일~22.8일) 정도로 큰 차이를 보이고 있어 이 체류시간 만으로 판단해 보면 소양호가 팔당호보다 오히려 조류증식에 더 유리한 조건을 가지고 있다고 할 수 있으나 조류 생체량을 표현하는 클로로필

a 농도를 보면, 소양호는 평균 4.7 mg/m<sup>3</sup> (1~24.8 mg/m<sup>3</sup>)이었고, 팔당호에서는 평균 12.9 mg/m<sup>3</sup> (2.6~36.3 mg/m<sup>3</sup>)으로 팔당호에서 더 높게 나타났다 (Fig. 6).

이러한 현상을 나타낸 이유 중의 하나로 두 호수의 영양염류 농도 차이를 들 수 있는데 같은 기간 중 평균 총 질소 농도는 소양호가 1.708 mg/l (1.024~2.903 mg/l)이었으며, 팔당호가 2.054 mg/l (1.028~3.830 mg/l)를 나타냈다. 총 인 농도는 소양호가 평균 0.014 mg/l (0.004~0.050 mg/l)이었고, 팔당호가 평균 0.037 mg/l (0.01~



**Fig. 4.** Seasonal changes and vertical profiles of water temperature in Paldang river-reservoir system, Korea from 1996 to 1998.

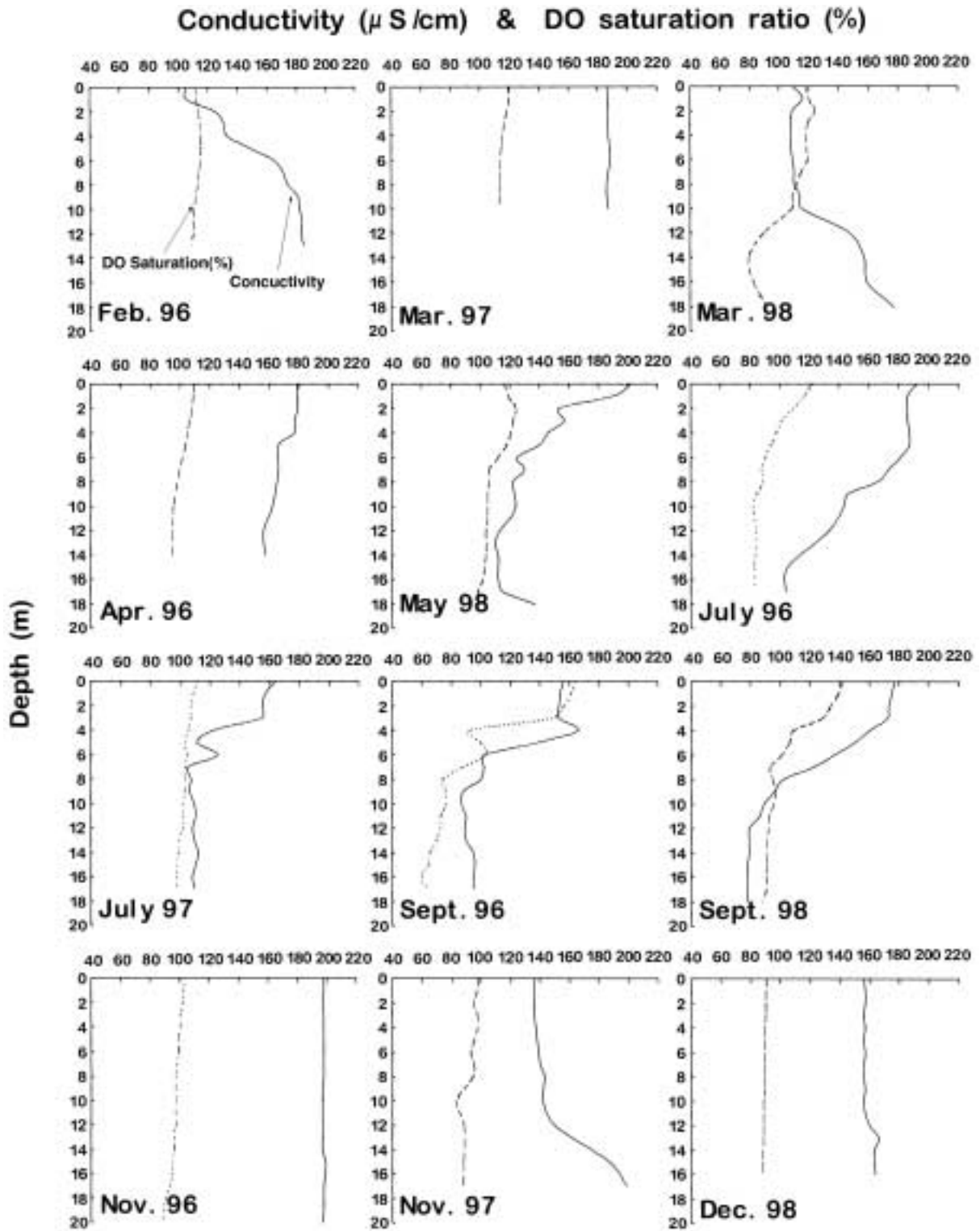


Fig. 5. Seasonal changes and vertical profiles of conductivity and DO saturation ratio (%) in Paldang river-reservoir system, Korea from 1996 to 1998.

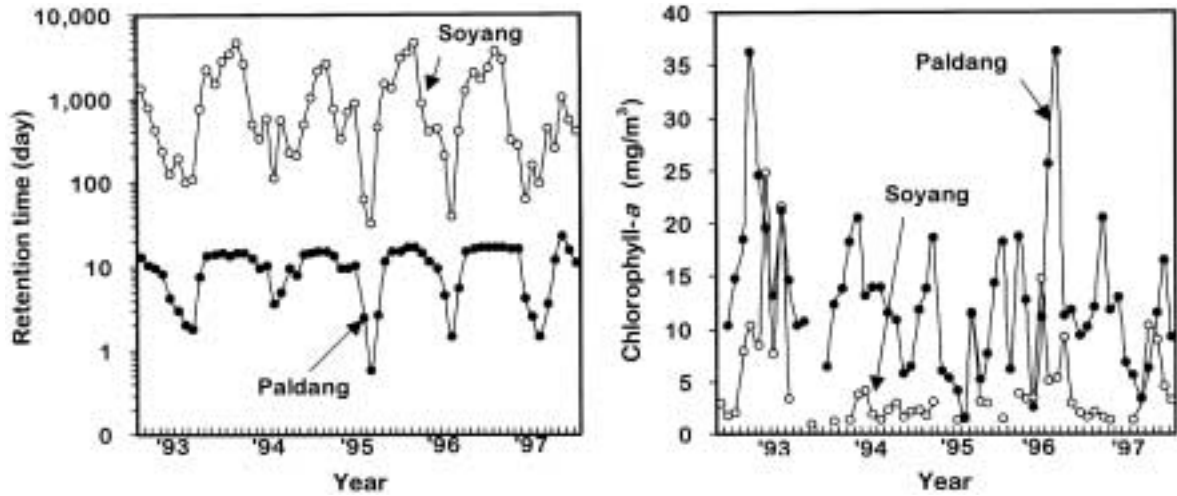


Fig. 6. Fluctuation of retention time and Chlorophyll-a in Soyang and Paldang river-reservoir system in Korea from 1993 to 1997.

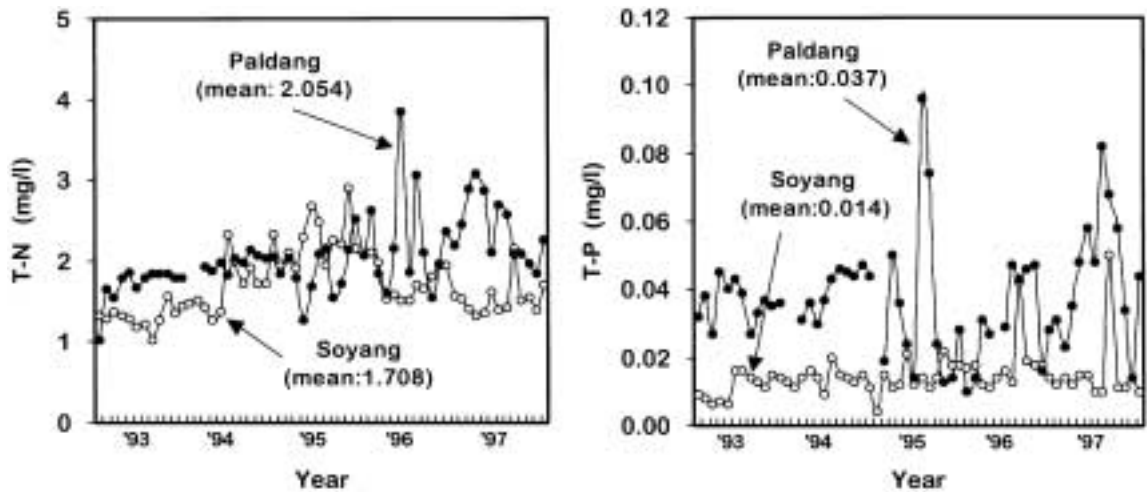


Fig. 7. Fluctuation of T-N and T-P in Soyang and Paldang river-reservoir system, Korea from 1993 to 1997.

0.096 mg/l)로 소양호보다 약 2배 이상 높게 나타났다 (Fig. 7).

### 고 찰

전기전도도는 수체가 전기를 통하게 하는 능력을 나타내며 이 능력은 이온의 존재여부, 이온들의 총 농도 등에 좌우되므로 (APHA, 1985) 수심별로 전도도의 차이가 현저하다면 이들은 서로 수질의 상태가 다른 것으로 추정할 수 있다.

소양호의 수심별 전기전도도 분포를 보면, 5월까지의 수심별로 거의 변동이 없는 양상을 나타내고 있으므로 이 시기까지는 상·하층의 수질상태가 균질한 것으로 판단된다. 그러나 6월 이후부터는 대부분의 시기에서 중층이 표층보다 상대적으로 낮은 전기전도도를 나타내고 있는 것으로 보아 이 중층의 수괴는 외부에서 유입되어 주위의 수체와 섞이지 않은 채 체류하고 있는 수괴로 추정된다. 이러한 결과는 소양호에서의 Kim (1987) 과 허 (1998)의 결과와도 잘 일치하고 있으며 An (2001)도 장마기간 중 유입되는 전도도가 낮은 하천수는 중층으로 유입되어 표층의 높은 전기전도도를 갖는 호수물과



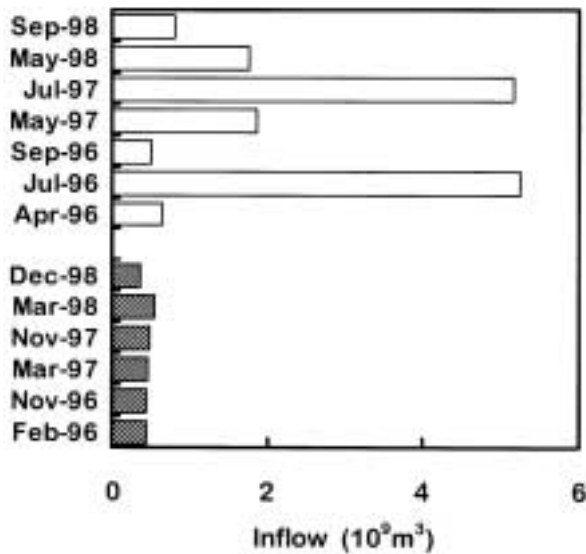


Fig. 8. Comparison of seasonal inflow in Paldang river-reservoir system, Korea.

혼합되지 않는다고 보고한 바 있다. 팔당호에서는 수심이 낮아 소양호에서와 같은 중층에서의 전기전도도 변화는 관찰되지 않았으나 계절에 따라 유입량이 많은 시기와 기타 시기에서 전도도 수직분포가 서로 상이한 경향을 보이고 있음이 관찰되었다. 즉, 5월에서 9월까지 전기전도도의 수심별 분포는 표층보다 심층이 더 낮았는데 이 때의 유입량은  $512 \sim 5,237 \times 10^6 \text{ m}^3$  정도 범위로서 2~3월 및 11~12월의  $437 \sim 551 \times 10^6 \text{ m}^3$  정도에 비해 상대적으로 많은 것으로 나타났다 (Fig. 8). 팔당호는 성격이 상이한 2개의 하천 (남한강, 북한강)과 상대적으로 높은 오염도를 갖는 1개의 지천 (경안천)이 합류되는 지점에 댐을 건설하여 이루어진 호수이므로 호수내 수질은 유입하천의 영향을 크게 받는 특징을 갖는다. 이 경우 남한강 및 경안천 물은 댐 앞 수역보다 높은 전기전도도를 나타내나, 북한강 물은 상대적으로 댐 앞 수역보다 전기전도도가 낮으므로 유입량이 증가하는 시기에 북한강물은 댐 앞 수역에서 중층이하로 유입되는 것으로 추정된다.

소양호에서 전도도의 감소가 관측되었던 수심 30~45 m 부근인 중층에서 7월~9월 사이에 측정된 COD 값을 보면 대부분 표층보다 낮은 농도가 관측 (총 8회 측정치 중 6회) 되었는데 (Fig. 9), 하절기 소양호의 표층수에서 식물플랑크톤 증식 (클로로필 *a* 기준)이 COD 농도 변화에 기여하는 정도는 극히 낮아 상대적으로 표층에서의 COD 농도가 조류증식의 영향을 거의 받지 않은 것으로 판단되고 (클로로필 *a*와 COD 농도 상관도, 전 계

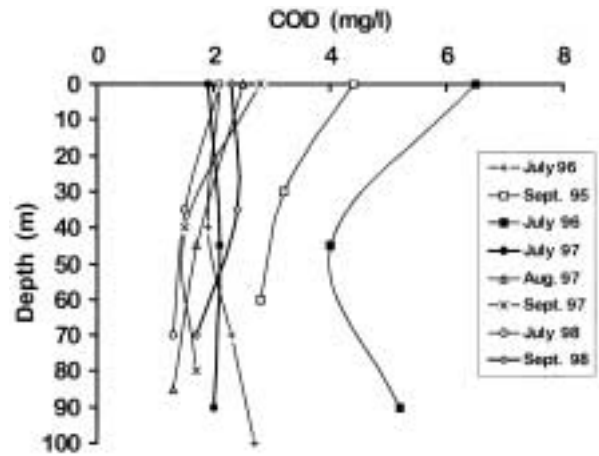


Fig. 9. Vertical profiles of COD in Soyang river-reservoir system, Korea during the rainy season.

절:  $r^2 = 0.000287$ ,  $r = 0.0169$ ,  $n = 60$ ,  $p = 0.897/7$ , 8, 9월:  $r^2 = 0.0576$ ,  $r = 0.23998$ ,  $n = 17$ ,  $p = 0.3535/$  자료: 환경부 수질모니터링자료, 소양댐 앞지점, '93~'98, 월 1회 측정), 초기 강우의 경우 유입수의 오염 농도가 급증하나 집중강우 이후에는 강우 이전상태와 큰 차이가 없다고 조사된 바 있으며 (한강유역환경관리청 unpublished data, 2000), 아울러 유입수에 포함된 오염물질들은 하류의 댐 쪽으로 이동되면서 현탁성 무기입자들과 함께 일부 입자성 오염물질들의 침강이 진행될 것으로 생각되므로, 우기인 7월부터 9월 사이에 중층으로 유입된 상대적으로 낮은 전기전도도가 관찰된 수괴는 표층보다 오염도가 낮은 수질을 가진 것으로 판단된다. 이러한 COD 농도의 감소는 초기강우 이후 유량증가에 의한 희석효과로 추정된다.

소양호의 중층 이하에서 관측되는 빈산소 수괴는 여름철 장마이후 시간의 흐름과 함께 심층으로 이동되는 현상이 관찰되었다. 이와 관련하여 Kim과 Cho (1989)는 소양호의 심층 무산소층과 중층 저산소층에 관한 연구에서 우기 시 중층으로 유입된 유입수 유기물의 분해로 인해 저산소층이 중층에 형성된다고 보고한 바 있다. 이러한 결과를 종합해볼 때 중층 빈산소 수괴의 하강은 우기에 중층에 다량 유입된 오염물질이 서서히 침강되면서 분해작용으로 수층의 산소를 소모하기 때문인 것으로 판단된다. 팔당호 표층에서는 거의 전 계절에 걸쳐 용존산소포화도가 100% 이상인 과포화 상태가 관측되었는데 팔당호의 연평균 클로로필 *a* 농도는  $10 \text{ mg/m}^3$  이상이었고, 총 인 농도도 연평균  $0.03 \text{ mg/l}$  이상으로 높은 수준을 보이고 있어 (김 등, 2001), 팔당호의 과포화

상태는 높은 조류농도에 의한 산소의 발생이 주요원인으로 판단된다.

일반적으로 얇은 호수일수록 생산성이 풍부하고 부영양화가 심화된 호수로 알려져 있으며 (Cole, 1979), 그 이유는 수심이 얇은 호수의 경우 유광층이 차지하는 용량이 커서 식물플랑크톤 및 대형 수생식물의 영양염류 밀집속도가 높아 부영양화가 빠르게 전개되기 때문이라고 보고된 바 있다(공, 1992). 그리고 여름철 수심이 얇고 부영양화된 호수의 바닥 침전층에서는 많은 양의 인산염이 수층으로 유출될 수 있는 것으로 알려져 있다 (Williams and Barko, 1991). 따라서 상대적으로 소양호(평균수심 34.7 m)보다 얇은 수심을 가지는 팔당호의 경우(평균수심 6.6 m) 더 부영양화되기 쉬운 형태학적 조건을 갖추고 있다고 볼 수 있다. 아울러 팔당호가 소양호보다 체류시간이 매우 짧음에도 불구하고 높은 클로로필 a 농도를 나타내는 이유도 영양염류 농도가 체류시간보다 조류증식에 더 크게 기여했기 때문인 것으로 판단된다.

전기전도도는 수심 4~5 m 이하의 수층에서 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도까지 감소하여 표층보다 낮은 값을 보였다. 그러나, 늦은 가을부터 초봄까지의 전기전도도는 약 10°Cm 깊이까지 표층이 심층보다 낮게 관찰되었다.

소양호의 체류시간은 평균 245일로, 팔당호의 평균 5.1일과 큰 차이를 보였으나, 팔당호는 소양호보다 클로로필 a 농도는 약 2.7배, 총 질소 농도는 약 1.2배 그리고 총 인 농도는 약 2.6배 높았다. 따라서 영양염류 농도가 체류시간보다 조류증식에 더 기여한 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 한양대학교 2001년도 교내 연구비와 NRL(2000-N-NL-01-C-290) 사업으로 수행되었다.

## 인 용 문 헌

### 적 요

소양호와 팔당호에 대한 한강수질검사소(1996~1998)와 환경부(1990~1997), 그리고 건설교통부(1996~1998) 자료를 인용하여 수문학적 특성에 따른 소양호와 팔당호의 수질특성 및 계절적 변화양상을 비교·분석하였다.

소양호에서는 수온차에 의한 뚜렷한 성층현상이 관찰되었다. 춘계와 하계에 관찰된 좁은 폭의 표층은 추계로 갈수록 점차 넓어진 반면 중층의 폭은 좁아지는 경향을 보였으며 심층은 연중 수온이 5°C 내외로 거의 변동은 보이지 않았다. 춘계와 하계에는 표층에서 용존산소의 과포화가 관찰되었고, 추계로 들어가면서 표층과 중층의 용존산소 포화도는 약 75%까지, 심층은 45~55%까지 감소하였으며 빈산소 수피가 시간의 흐름에 따라 심층으로 이동하는 현상이 관찰되었다. 우기동안에는 중층에서 약 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 가장 낮은 전기전도도를 갖는 수피가 분포하고 있음이 관찰되었다.

팔당호에서 수심별 수온의 분포는 연도별, 계절별 구분 없이 비교적 잘 혼합된 수피의 특성이 관찰되었으나 5~9월에는 상·하층이 약 5°C 내외의 수온차이를 나타냈다. 용존산소포화도는 연중 90% 이상으로 소양호에 비해 높은 산소포화도가 관찰되었다. 초여름부터 초가을까지 표층에서는 과포화가, 심층에서는 60% 정도까지 낮은 포화도가 관찰되었다. 늦은 봄부터 초가을(우기)의

건설교통부. 1996-1998. 수문조사연보.

건설교통부. 1996-1998. 건설교통통계연보(건설부분).

공동수. 1992. 팔당호의 육수생태학적 연구. 고려대학교 박사 학위논문.

김범철, 최광순, 심수용. 1997. 비점 오염원으로부터의 인의 홍수유출, 하천·호소의 수질보전과 유역관리에 관한 한·일 공동 세미나 주제발표논문. 국립환경연구원/일본국제협력사업단.

김범철, 박주현, 허우명, 임병진, 황길순, 최광순, 채기숙. 1999. 국내 주요호수의 육수학적 조사(3): 진양호. 한국육수학회지 32(2): 111-126.

김범철, 박주현, 허우명, 임병진, 황길순, 최광순, 최종수. 2001. 국내 주요호수의 육수학적 조사(4): 주암호. 한국육수학회지 34(1): 30-44.

김종민, 허성남, 노혜란, 양희정, 정완중, 임연택. 2001. 팔당호 수질의 장기변동 추세, 공동추계학술발표회 논문집(한국물환경학회, 대한상하수도학회).

류홍일, 공동수, 천세억, 박혜경, 손영환, 류재근, 김종민. 1995. 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구(I)-팔당호 및 경안천 유입부의 육수학적 특성-. 국립환경연구원 한강수질검사소.

신재기, 조경제. 2000. 금강하구호에서 수질의 계절변동과 오염도. 한국육수학회지 33(3): 251-259.

이요상, 강병수, 신재기. 1999. 옥정호의 수질 및 담수조류 변화. 한국육수학회지 32(3): 189-199.

한강수질검사소. 1996. 한강수계 호소수질현황, 호소수 수질조사자료.

- 한강수질검사소. 1997. 한강수계 호소수질현황, 호소수 수질조사자료.
- 한강수질검사소. 1998. 한강수계 호소수질현황, 호소수 수질조사자료.
- 한명수, 이동석, 유재근, 박용철, 유광일. 1999. 팔당호의 생태학적 연구 -3. 식물플랑크톤의 일차생산력과 광합성모델 parameters-. 한국육수학회지 **32**(1): 8-15.
- 한명수, 어운열, 유재근, 유광일, 최영길. 1995. 팔당호의 생태학적 연구 - 2. 식물 플랑크톤의 군집 구조의 변화, 한국육수학회지 **28**(3) : 335-344.
- 한명수, 유재근, 유광일, 공동수. 1993. 팔당호의 생태학적 연구-1. 수질의 연변화: 과거와 현재, 한국육수학회지 **26**(2): 141-149.
- 환경부. 1990-1997. 호소수 수질모니터링 자료.
- 환경부. 1995. 수질오염공정시험방법.
- 허우명, 김범철, 김윤희, 최광순. 1998. 소양호 유역에서 비점오염원의 홍수유출과 오염수괴의 호수내 이동. 한국육수학회지 **31**(1): 1-8.
- 허우명, 권상용, 김범철, 박주현. 2000. 안동호 수질의 장기적인 변화. 한국육수학회지 **33**(3): 260-266.
- An, K.G. 2001. Hydrological significance on interannual variability of cations, anions, and conductivity in a large reservoir ecosystem. *Kor. J. Lim.* **34**(1): 1-8.
- APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard method, 16th edition.
- Cole, G.A. 1979. Textbook of Limnology, The C. V. Mosby Company. pp. 142-143.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill.
- Hammer, M.J. and K.A. Mac Kichan. 1981. Hydrology and Quality of Water Resources. JOHN WILEY & SONS.
- Kim, B. 1987. An ecological study of phytoplankton in Lake Soyang, Ph. D. Thesis. Seoul Nat. Univ.
- Kim, B. and K.S. Cho. 1989. The hypolimnetic anoxic zone and the metalimnetic oxygen minimum layer in a deep reservoir, Lake Soyang. *Kor. J. Lim.* **22**: 159-166.
- Kong, D.S. 1997. Limnological and ecological characteristics of a river-reservoir (Paldang), Korea. *Kor. J. Lim.* **30**: 524-535.
- Mortimer, C.F. 1981. The oxygen content of air-saturated freshwater over ranges of temperature and atmospheric pressure of limnological interest, *Mittlungen Internationale Vereinigung für und Angewandte Limnologie.* **21**: 1-23.
- Williams, W.F. and J.W. Barko. 1991. Estimation of phosphorus exchange between littoral and pelagic zones during nighttime convective circulation. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 179-187.

(Received 3 Sep. 2001, Manuscript accepted 5 Jan. 2002)