

## 팔당호 수질의 미생물학 및 화학적 분석

김 상 진

한국해양연구소 해양미생물연구실

팔당호의 부영양화 진행과 오염특징을 관찰하기 위해 1986년 7월부터 1987년 6월까지 팔당호 수질의 미생물학적 화학적 분석을 실시하였다. 팔당호 수질의 투명도와 엽록소-a의 양은 각각 0.5~3 m, 3~17  $\mu\text{g/l}$ 의 분포를 보였고 용존산소 및 생화학적 산소요구량은 각각 약 7~12 ppm, 약 0.5~2.3 ppm 사이에서 변화를 나타냈다. 팔당호 중속영양세균의 계절적 분포는 수층의 경우  $3.0 \times 10^3 - 5.0 \times 10^5/\text{ml}$ , 퇴적토의 경우  $2 \times 10^6 - 1 \times 10^8/\text{g dry sediment}$ 의 범위를 나타냈다. 수리학적 체류시간이 약 5일 정도로 매우 짧은 팔당호의 경우 물의 유동과 상류수 수질이 호소내 수질을 결정짓는 중요한 요인 중 하나로 사료된다. 호소수질 영양상태 기준에 의하면 팔당호의 수질은 중영양 상태에서 부영양 상태임을 나타내었다. 또한 대장균 분포 결과는 이와 같은 팔당호의 오염이 주변 지역의 인간활동에 기인되고 있다는 것을 시사하고 있으며 이에 대한 향후 대책이 요구된다.

**KEY WORDS** □ water quality, eutrophication, Paldang Lake

한강수계의 중요성으로는 하류유역 서울 경기 일원에 대한 식수, 용수 공급에 이용되는 면을 우선 꼽을 수 있다. 그러나 최근 수질의 악화로 인하여 서울 경기 일원의 주요 취수원인 팔당호의 수질에 관한 관심이 매우 높아지고 있다. 따라서 그 동안에 팔당호를 포함한 한강수계의 수질 오염에 대한 미생물학적 연구와 (1, 6) 아울러 이화학적인 연구(8, 3, 9, 10, 4, 11)가 많이 진행되어 왔다. 이러한 연구들의 결과는 시료채취 기간, 정점, 분석 방법 등의 차이는 있으나 팔당호의 수질경향이 대체로 악화되고 있는 것을 시사하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Standard methods를 사용하여 팔당호 수질의 미생물학적, 화학적 분석 결과를 상호 비교하여 오염의 진행도 및 특징에 관한 고찰을 시도하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 조사지역 및 시료채취 방법

팔당호는 한강본류의 최 하류에 위치한 인공댐으로서 북한강, 남한강, 경안천이 유입되며 북한강 본류에는 파로호, 춘천호, 소양호, 의암호, 청평호 등이 있으며 남한강 본류에는 충주호가 위치하고 있다(Fig. 1). 팔당호는 한강본류 하류에 위치하고 있으며 한강 하류 유역의 홍수조절에 다른 댐과 같이 중요한 역할을 할 뿐 아니라 서울 및 경기 일원의 식수 및 용수 공급을 담당하는 매우 중요한 취수원이다. 팔당호 유역면적은 23,000  $\text{km}^2$ 이고 저수용량은  $235 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 표면적 37.5  $\text{km}^2$ , 평균수심 6.3 m, 연평균 유입수량

$15,434 \times 10^6 \text{ m}^3$ 으로 추정하고 있다(12).

조사정점은 2개 지점으로 정점 I은 상류에서 유입되는 하천수의 혼합이 충분히 되어 팔당호의 수질을 대표할 수 있는 지점을 선정하기 위해 가능한한 하류에 해당하는 지역인 댐 수문에서 약 500m 상류방향으로 위치한 지점으로 깊이는 약 20m이다(Fig. 2). 시료로서 물은 표층수(수심 0m), 중층수(수심 5m), 저층수(퇴적층으로부터 1m 높이)를 채취하였고 퇴적토의 경우에는 표층시료를 채취하여 실험에 사용하였다.

한편 정점 II는 표면적 약 0.025  $\text{km}^2$  정도이고 깊이 약 2m인 수초가 밀생하고 있는 작은 연못에 위치하고 있다. 이 연못은 주변 산에서 흘러내리는 개천이 유입되고 동시에 주위 마을로 부터 가정하수, 축산폐수 등이 유입되며 폭 약 5m 정도의 터널을 통해 팔당호로 배수된다(Fig. 2). 정점 II에서는 연못 중앙에서 표층수와 퇴적토 시료를 채취하였다.

시료채취는 1986년 7월부터 1987년 6월까지 총 11회 실시하였으며 채취일자는 각각 1986년 7월 23일, 9월 3일, 9월 24일, 10월 15일, 11월 6일, 12월 10일, 1987년 1월 14일, 2월 19일, 4월 1일, 5월 20일, 6월 29일이었다고 채취시간은 정오 동일한 시간대에 실시하였다. 1월 14일 정점 I은 얼음이 얼어 시료 채취가 불가능하였으며 정점 II의 경우에는 얼음 바로 밑의 물을 채수하여 분석하고 참고로 각 도표에 별도로 표시하였다.

#### 수질분석 방법

수온은 현장에서 즉시 측정하였고 투명도는 지름 25 cm의 Secchi 원판을 이용 측정하여 단위는 m로

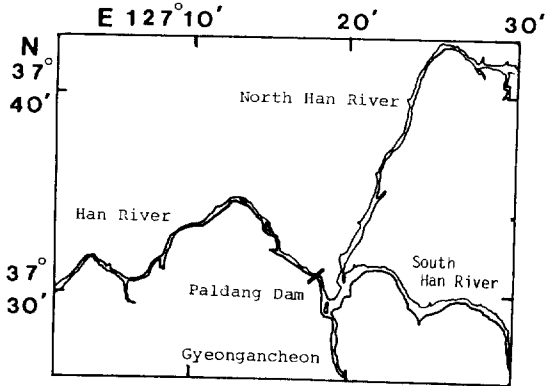


Fig. 1. Location of Paldang Dam in Han River.

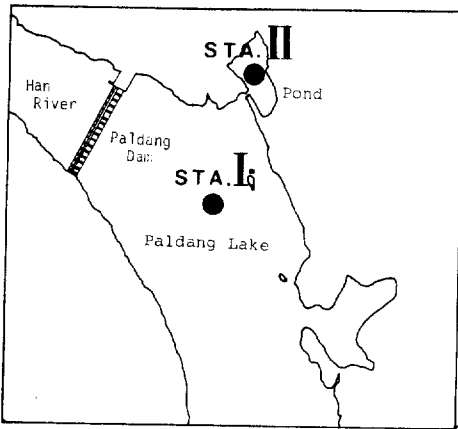


Fig. 2. Map of sampling stations I in Paldang Lake and II in pond.

소수점 첫째 자리까지 표시하였다. 엽록소-a는 UNESCO(18) 방법에 의해 측정하였고 용존산소량, 생화학적 산소요구량, 퇴적토의 수분함량 및 회분량은 각각 Standard methods(13)에 따라 실험하였다. 종속영양 세균의 수는 Rheinheimer(16)의 방법을 이용하였고 사용한 배지는 증류수로 조제한 ZoBell 2216E 고체배지이고 20°C에서 2주일 배양한 후 계수하였다. 총 대장균 수와 분변성 대장균 수는 Standard methods(13) 중 membrane filter technique에 의해 조사하였고 미생물 분석을 위한 퇴적토 시료의 경우 1L 멸균 증류수에 퇴적토 습윤량 1g을 넣어 1시간 동안 진탕한 후 점종액으로 사용하였고 결과는 퇴적토 건조량 1g에 대한 것으로 표시하였다.

**결과 및 고찰**

**수온**

수온변화는 온대지방의 특징을 나타내고 있어 최고

25°C 정도이고 겨울철에 표층수는 빙점 이하로 떨어졌다(Fig. 3-1). 정점 II는 I에 비해 온도의 변화가 빨라 여름철에는 좀더 높은 온도 분포를 보이고 겨울철에는 낮은 분포를 나타내고 있다. 이것은 호소의 크기가 작으므로 대기온도 변화에 빨리 영향을 받기 때문으로 판단된다. 1월에는 정점 I, II 모두 결빙되어 정점 I의 조사는 못하였으나 정점 II에는 얼음 바로 밑 수온 측정결과를 별도 표시하였다.

정점 I에서 수심별 수온을 살펴보면 11월~4월 사이에는 별 차이를 발견할 수 없으나 그 외의 계절에는 차이가 많아 6월의 경우 표층수와 저층수간에 최고 4.5°C까지 정도 차이가 난다. 유속이 빨라 물의 유동과 혼합이 잘되어 조사기간 동안에 수층의 전형적인 성층현상은 관찰하지 못했다. 이는 짧은 체류시간에 기인하며 팔당호의 수리학적 체류시간은 약 5.5일로 담양호, 소양호에 비하면 매우 짧으나 의암호와는 비슷한 체류시간을 보이고 있다(12).

**투명도**

투명도는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 정점 I에서는 11월에 최고값인 3m이고 9월 초에 0.4m로 최저값을 나타냈다. 11월, 12월에 높은 투명도를 나타내었으며 7, 9월에는 낮은 값을 나타내어 대체로 동계에 물의 투명도가 높고 하계에 낮은 경향을 관찰할 수 있었다. 일반적으로 수계생태계에서 투명도와 엽록소-a량은 역상관을 나타내지만 본 조사지역은 비교적 유속이 빨라 상류로부터 유입되는 부유물질이 투명도를 결정하는 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다. 특히 9월 초의 경우에는 폭우로 인해 수문 7개를 개방하여 엽록소-a의 양은 연중 최저치를 나타냈으나(Fig. 3-2) 호우로 인한 상류에서 유입되는 토사에 의해 가장 낮은 투명도를 나타냈다(Table 1). 7월의 경우에도 상류의 강우로 수문 2개가 개방되어 있었던 것으로 미루어 팔당호의 투명도는 강우량과 밀접한 관계를 나타내고 있고 특히 하계에 물의 혼탁도는 상류로부터 강우로 인한 수량이 늘어나므로 토사 유입과 밀접한 관계가 있다. 물의 투명도는 seston의 양에 의해 결정되나(17) 본 조사지역의 투명도는 엽록소-a의 양과 상관 관계가 낮은 것으로 미루어 tripton의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

깊이 2m 내외인 정점 II의 투명도는 7, 9월에 가장 낮은 값을 나타냈고 대체적으로 퇴적도까지 광합성에 충분한 빛이 도달하여 저서식물이 밀집 서식하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 수층의 투명도 연중 변화는 두 정점 공히 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

**엽록소-a**

엽록소-a의 계절적변화는 Fig. 3-2에서 보는 바와 같이 정점 I, II 모두 비슷한 양상을 나타냈다. 먼저 정점 I의 경우 7월에 5~12 µg chlorophyll-a/l 정도의 농도를 보이다가 장마로 인한 상류로부터 다량의 물이 유입됨으로써 다소 떨어지는 양상을 보였고 10월에 최고점을 나타냈다. 겨울철에는 점점 엽록소-a의

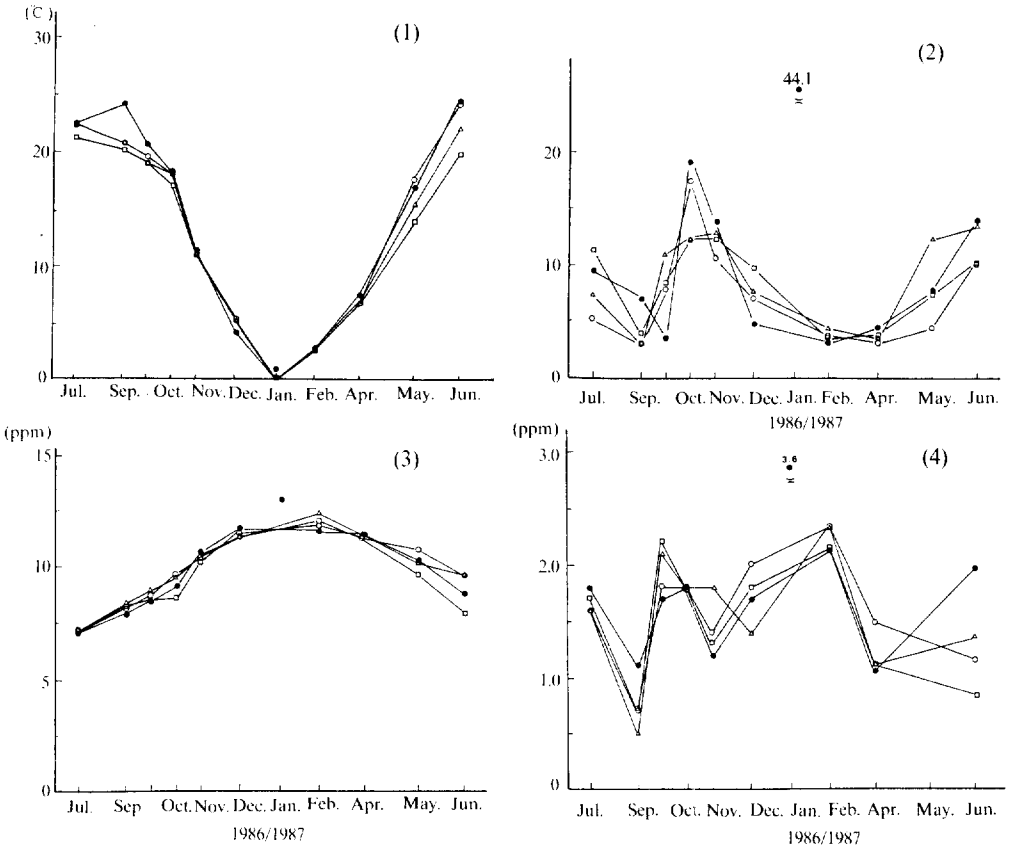


Fig. 3. Seasonal changes of water temperature(1), chlorophyll-a(2), dissolved oxygen(3) and biochemical oxygen demand(4).

Station I : Surface water layer ○—○, Middle water layer △—△, Deep water layer □—□  
 Station II: Surface water layer ●—●

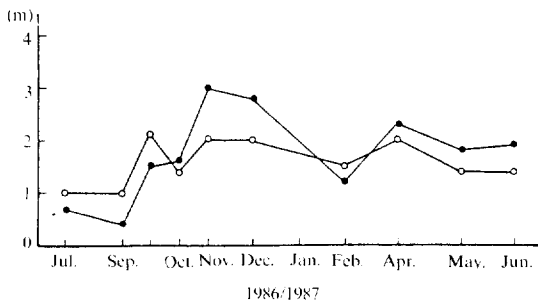


Fig. 4. Seasonal changes of water transparency.

Station I ●—●, Station II ○—○

양이 감소하다가 5월부터 다시 상승하였다.

또한 정점 I의 경우 깊이에 따른 엽록소-a의 변화는 독특한 양상을 보이고 있다. 표층수에서 최고치를 나타낸 달은 10월 한달로서 그 외의 경우에는 중층수와 저층수에서 최고치를 나타냈다. 그 이유로는

과량의 빛에 의한 광합성의 저해작용이 표층수에서 일어난 것으로 생각할 수 있는데 예로서는 5, 6월에서 보는 바와 같이 중층수에서 표층수보다 더 많은 엽록소-a 농도를 나타낸것으로 알 수 있다. 한편 저층수에는 물의 투명도로 보아 연중 광합성에 충분한 광량이 도달하지 않는 데도 불구하고 표층수, 중층수보다 높은 농도의 엽록소-a를 나타냈다. 7월, 9월초, 12월, 4월에서 보는 바와 같이 저층수에서 엽록소-a 최고치를 나타낼 때는 중층수, 표층수 순으로 엽록소-a 농도가 감소되어 완전히 역 현상을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 강과 같은 물의 유동이 심한 환경에서 관찰할 수 있는 것으로 조사지역인 팔당호의 일차생산자 수직분포에는 수층의 수직교환 현상도 일부 계절의 경우 중요한 인자로 작용하는 것으로 사료된다. 이 현상을 뒷받침 할 수 있는 자료로는 용존산소의 수직분포를 들 수 있다. 정점 I의 용존산소 수직분포(Fig. 3-3)를 살펴보면 1년 중 특히 7월, 9월 초, 12월, 4월의 경우 표층수, 중층수, 저층수 간에

**Table 1.** Precipitation amounts(mm) during sampling period at the Yangpyong meteorology auxiliary station

Date	At the sampling day <sup>(1)</sup>	One day before (1)	Two days before (1)
July 23, 1986	12.5	19	7
Sep. 3	0	47	0
Sep. 24	0	0	0
Oct. 15	0.5	9.5	0
Nov. 6	0	0	0
Dec. 10	0.3	0	0
Jan. 14, 1987	0	1.8	0
Feb. 19	0	0	0
Apr. 1	0	0	0
May 20	0	0	0
June 29	0	1.5	0

Data from monthly weather report (7).

용존산소의 차이점이 없다. 이 결과는 수층의 수직 교환이 원활하게 이루어졌던 것으로 사료되며 엽록소의 수직분포를 설명할 수 있을 것이다. 따라서 팔당호의 수문학적 인자는 호수수질의 생물학적, 화학적요인을 결정짓는데 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 추측되어 앞으로 이에 관한 연구가 절실하다.

정점 II의 엽록소-a의 peak는 정점 I과 유사한 7, 10, 6월에 관찰되었다. 한편 정점 II의 1월 결과는 10 cm 정도 두께의 얼음을 깨고 얼음 바로 밑의 물을 채취하여 분석하였는데 44.13 µg chl-a/l로서 최고값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 얼음 밑에도 광합성에 충분한 광량이 도달하고 풍부한 무기 영양물질이 공급됨으로써 매우 많은 양의 부유성 조류가 증식할 수 있다는 것을 시사한다. 한편 부유성 조류를 소비하는 1차 소비자는 낮은 온도 때문에 상대적으로 활동이 저해되었던 것으로 추측된다.

**용존산소**

용존 산소량의 계절적 분포는 약 7~12 ppm으로서 하계에 낮고 동계에 높은 전형적인 convex 형태로 두 정점 모두 수온과 역상관을 나타내고 있다(Fig. 3-3). 이것은 수온이 낮아짐에 따라 용존산소 포화도가 늘어나고 수온이 높아질 경우에는 반대 현상이 일어난다는 결과에 의한 것이다. 정점 I에서는 대체로 저층수의 용존 산소량이 표층수에 비해 낮은 분포를 보이며 대체로 큰 차이가 없다가 10, 5, 6월에 비교적 큰 차이를 보였다. 이 계절은 갈수기로서 팔당호의 수문 개방이 적고 따라서 수층이 정체되어 표층과 저층간의 교환이 비교적 적었던 것으로 추측된다. 이와 같은 현상은 물의 수직교환과 관계가 있는 것으로 상층부로부터 원활한 산소공급이 이루어지지 않거나 저층수에 많은 유기물의 분해로 인한 산소소모에 의해 일어날 수 있다.

정점 II의 용존 산소량 분포는 대체로 정점 I과 비슷한 계절적 분포를 나타내고 있다. 실측된 용존

산소량은 포화도에 가까운 양으로 팔당호의 수중생물체 성장에 제한요인으로 작용하지 않을 것으로 사료된다.

**생화학적 산소요구량**

생화학적 산소요구량(BOD)은 Fig. 3-4에서 보는 바와 같이 정점 I, II 모두 비슷한 계절적 분포를 나타내고 약 0.5~2.3 ppm 사이에서 변화를 나타냈다. 1986년도 여름과 가을에는 엽록소-a 농도와 유사한 소장을 나타냈으나 겨울에는 엽록소-a가 감소하였음에도 불구하고 BOD값은 상승하였다. 이 결과는 팔당호 1차 생산자의 분포와 수중의 유기물 용존농도가 여름, 가을에는 밀접한 상관성을 나타내지만 겨울철에는 상관관계가 없어 다른 요인에 의해 결정됨을 알 수 있다. 팔당호의 짧은 수리학적 체류시간을 감안하면 호수내에서 생산되는 autochthonous 물질의 양은 중요한 의미가 없을 것으로 사료된다. 따라서 상류로부터 유입되는 과정에서 일차 생산자에 의해 생산되는 유기물질과 외부유입 오염 유기물질이 수온이 높을 때는 하류로 오면서 자정작용에 의해 충분히 분해되나 온도가 감소함에 따라 오염 유기물질이 완전분해가 안되고 팔당호에 유입되는 것으로 추측된다. 그러므로 위의 결과는 일차 생산자에 의해 생산되는 유기물질보다 오염 유기물질의 불완전 분해에 의해 겨울철에 높은 BOD 값을 나타내는 것으로 사료된다. 이와 같은 현상으로 부터 광합성에 충분한 일광이 있는 계절에는 호수내로 유입되는 일차 생산자에 의한 유기물질 생산이 호수내의 유기물 농도를 결정짓는 중요한 역할을 하지만 동계에는 광합성에 충분한 광량이 부족하므로 외부로 부터 오염 유기물질의 유입이 호수내의 BOD값 즉 미생물에 의해 쉽게 분해될 수 있는 유기물질의 양을 결정짓는 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다.

BOD 값을 이용하여 미생물에 의해 쉽게 분해되는 유기물질의 농도를 알기 위해서는 산소 소비에 대한 이산화탄소 생성율인 RQ factor를 이용하여 계산한다 (15). 이 값은 문헌에 따라 다양하나 Bryan *et al.* (14)의 상수 0.8을 이용하여 계산해 보면 팔당호의 연간 labile organic substances의 농도는 최소 0.14 mg-C / '에서 최고 0.64 mg-C / '의 범위를 나타낸다. 팔당호가 부영양화 상태로 평가되는 관점에서 본다면(2, 12) 이와 같은 유기물질 농도는 매우 낮은 것이다. 그러나 세균의 활성은 이와 같이 낮은 농도의 유기물질에서도 물질이 미생물에 의해 uptake되어 소모되는 즉시 다른 pool로부터 유입되어 균형을 이루는 상태라면 높게 유지될 수 있을 것이다.

**퇴적토 수분함량 및 회분량**

퇴적토의 함수율은 저질토의 성장과 밀접하여 입자 크기가 큰 sand 종류는 입자 크기가 작은 clay 종류에 비해 함수율이 낮은 경향을 보인다. 또한 퇴적토의 회분량은 유기물질의 양을 시사하므로(13) 수계 생태계에서 퇴적토의 함수율과 회분량은 수층과 퇴적토간의 상호작용을 이해 하는데 매우 중요한 환경인자

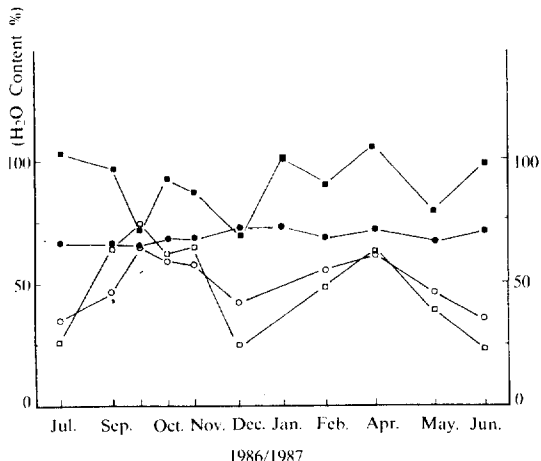


Fig. 5. Seasonal changes of water content and ignite residue content in sediment.

Water content Station I ○—○  
 Station II ●—●  
 Ignite residue content Station I □—□  
 Station II ■—■

이다. 본 조사 지역 중 정점 I의 퇴적토 함수율 연간 변화를 살펴보면 하계에 매우 낮고 그 외의 계절에는 높은 함수율을 나타내고 있고 회분량도 함수율 변화와 같은 경향을 나타냈다(Fig. 5). 이와 같이 정점 I에서 퇴적토의 함수율 변화가 심한 것은 정점 I의 경우 정점 II에 비해 유속의 변화가 많고 이의 영향을 많이 받기 때문이다. 함수율을 결정짓는 퇴적토 입자경도는 유속과 상류로부터 유입되는 토사의 성상과 양으로 결정되고 회분량은 퇴적토 입자경도에 의해 결정된다. 그러므로 정점 I의 퇴적토 함수율과 회분량 두 인자간의 매우 밀접한 연관성은 유속이 빨라지면 입자경도가 큰 퇴적토가 침전되며 이와 동시에 침전되는 유기물의 양은 적어지고 유속이 느려지면 반대 현상이 나타나기 때문으로 추측된다.

한편 정점 II의 함수율은 70% 내외로서 계절적 변화가 뚜렷하지 않아 정점 II가 위치하는 호수내의 물의 유동은 그리 심하지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 회분량은 약 75~100 mg 사이에서 변화를 보이며 정점 I의 경우와는 달리 함수율과 상관성을 발견하기 어렵다. 물의 유동이 심하지 않은 정점 II에서는 퇴적토 회분량은 연못 내에서 생산되는 유기물질과 외부로부터 유입되는 유기물질의 침전에 의해 결정될 것이다. 정점 II 퇴적토의 회분량은 수층 엽록소-a 양과(Fig. 3-2) 상관성을 갖고 있는 것으로 보아 연못 내의 부유성조류 침전이 퇴적토로 유입되는 중요한 유기물원이라 볼 수 있다. 반면 4월의 경우 엽록소-a 양은 그리 높지도 않은데 반해 퇴적토 회분량은 최고치를 보인 것은 정점 II 퇴적토에 분포되어 있는 저서 식물들이 수온이 낮은 겨울철에는 원형대로 유지되어 있다가 수온이 높아짐에 따라 분해되어 작은 조각으로 되어 퇴적토에 유입되고 이는 퇴적토에 서식하는 종속영양 생물의 주요 영양원으로 이용될 것

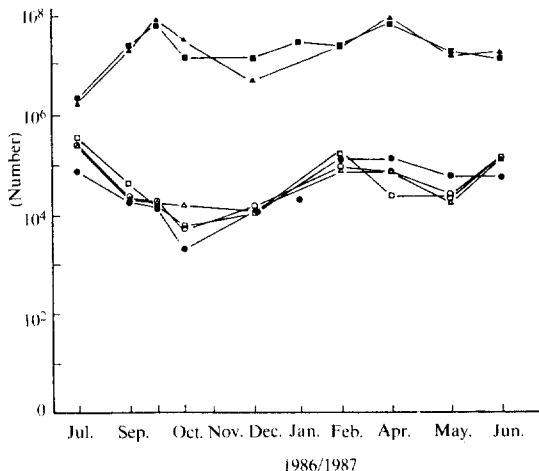


Fig. 6. Seasonal changes of heterotrophic bacterial number.

Station I : Surface water layer ○—○ (/ml)  
 Middle water layer △—△ (/ml)  
 Deep water layer □—□ (/ml)  
 Sediment ▲—▲ (/g dry sediment)  
 Station II: Surface water layer ●—● (/ml)  
 Sediment ■—■ (/g dry sediment)

이다(Fig. 6).

**종속 영양세균의 분포**

본 실험에서 사용한 방법으로는 유기물 농도에 민감하게 반응하여 자라는 종속영양 세균의 숫자를 파악할 수 있고 이는 또한 오염지표로 많이 이용된다. 정점 I에서 종속 영양세균의 분포는 정점 II와 유사한 계절적 변화를 나타냈으며 여름철에 최고치를 나타내다 점점 감소되어 10월에 최소치를 보이며 다시 겨울철에 서서히 상승하여 2월에 정점을 이루었다(Fig. 6). 계속해서 봄철에는 다소 그 수치가 감소하다 6월에 다시 상승하였다.

본 연구에서는 수층의 종속영양세균 분포와 측정된 엽록소-a, 생화학적 산소요구량 등과 같은 환경인자와 상관성을 관찰할 수 없었다. 그 이유로는 팔당호의 짧은 수리학적 체류시간을 우선 들 수 있고 또한 각 환경인자와의 상호관계를 규명하기 위해서는 약 한달 간격의 시료채취로는 어려운 것으로 사료되어 앞으로 시료채취 간격에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

수층에서는 정점 I, II를 막론하고 약  $3.0 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^5$ /ml 사이에서 변화하는데 퇴적토에서는 약  $2 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8$ /g dry sediment의 범위를 나타냈다. 퇴적토의 종속영양 세균분포는 정점 I의 경우에 퇴적토의 회분량과 유사한 계절적 변화를 보여 퇴적토내의 유기물 함량이 종속영양 생물군집 분포에 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다. 그러나 정점 II의 경우에는 퇴적토내의 회분량과 종속영양 세균의 계절적 분포가 전반적으로 상관관계를 보이지 않고 있다. 정점 II의 퇴적토내 종속영양 세균의 분포는 정점 I

**Table 2.** Seasonal and regional distributions of total coliform and fecal coliform numbers

Date	Station I						Station II					
	Surface <sup>(1)</sup> water		Middle <sup>(1)</sup> water		Deep <sup>(1)</sup> water		Sediment <sup>(2)</sup>		Surface <sup>(1)</sup> Water		Sediment <sup>(2)</sup>	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
July 23, 1986	28000	110	13000	76	14000	160	38000	770	20000	21	23000	150
Sep. 3	5900	470	7700	300	3400	430	11000	9300	5300	460	120000	3800
Sep. 24	13000	350	26000	400	11000	370	180000	1500	13000	83	24000	770
Oct. 15	3500	3	4100	17	330	10	140000	170	19000	150	10000	94
Nov. 6	67	3	730	3	130	0	55000	23	70000	10	29000	23
Dec. 10	3	2	87	1	150	1	2800	35	200	0	14000	72
Jan. 14, 1987	—	—	—	—	—	—	—	—	600	440	380000	4300
Feb. 19	1100	—	930	—	4300	—	260000	—	6900	—	88000	—
Apr. 1	10	0	20	0	53	0	12000	130	20	2	3100	174
May 20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
June 29	53	—	110	—	150	—	463	—	150	—	576	—

(1): number/100 ml. (2): number/g dry sediment. T: Total coliform. F: Fecal coliform. —: not determined

**Table 3.** Annual changes of water qualities in Paldang Lake

	Water temperature(°C)	Transparency(m)	DO (mg/l)	Chl-a (µg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (µg/l)	PO <sub>4</sub> -P (µg/l)
Aug.-Oct. 1978 <sup>1)</sup>	16.2-24.9	3.3-5.0	7.6-9.8	—	0.7-1.4	740-780	5-8
Apr.-Nov. 1981 <sup>2)</sup>	5.0-28.0	1.1-3.5	7.5-8.4	1.7-11.7	—	280-950	10-39
Jul. 1986-Apr. 1987 <sup>3)</sup>	ice-22.3	0.5-3	7.2-12.3	3-17	0.5-2.3	549-1304	2.2-98.3

1): Summerized from 이 등(5). 2): Summerized from 서 등(2). 3): Summerized from present study

과는 달리 퇴적토내 회분량 이외의 요인에 영향을 받는 것으로 추측된다. 정점 II의 함수를 변화에서 알 수 있는 바와 같이 정점 I에 비해 비교적 안정된 퇴적토에서는 수층으로부터 공급되는 유기물질의 이용에 필요한 산소, pH 등과 같은 환경변화가 정점 I보다 중요한 요인으로 작용할 것으로 사료된다.

#### 대장균의 분포

수계생태계의 생물학적 오염 지표종인 대장균분포 결과를 살펴보면 주변 인간 활동에 의한 오염의 정도를 좀 더 정확하게 파악할 수 있다. 본 연구에서는 총대장균 군과 분변성 대장균 군의 연간 변화를 살펴본다(Table 2). 정점 I 즉 팔당호의 수층에서는 3/100 ml - 2.8 × 10<sup>4</sup>/100 ml, 퇴적토에서 4.6 × 10<sup>2</sup>/g dry sediment - 2.6 × 10<sup>5</sup>/g dry sediment의 총대장균 분포를 나타냈다. 박 등(1)은 팔당호의 1983년 총 대장균 년 평균치는 20/100 ml로 보고했는데 이에 비해 본 연구결과가 높음을 알 수 있다.

한편 팔당호의 분변성 대장균의 분포는 수층에서 전혀 검출이 안되거나 4.7 × 10<sup>2</sup>/100 ml의 범위로 나타났다고 퇴적토에서는 23/g dry sediment - 9.3 × 10<sup>3</sup>/g dry sediment로 관찰됐다. 1983년도 박 등(1)에 의하면 이 지역에서는 분변성 대장균은 연중 검출되지 않았으나 본 조사에서 다량 검출된 것으로 보아 분뇨의 오염이 심화된 것으로 사료된다. 분변성 대장균의 최고값 분포는 9월 3일 관찰되었는데 이 결과는

집중강우로 인해 다량의 물이 상류에서 유입되면서 주변지역으로부터 분뇨가 유입되는 것으로 추측되며 하수도 정비를 통한 취수원의 분뇨오염을 방지하는 것이 필요하다. 특히 경안천 주변에 산재되어 있는 가축 사육지역이 늘어남에 따라 이와 같은 결과를 초래할 수 있으므로 이 일원에 대한 적절한 조치가 요구된다.

정점 II에서 총 대장균과 분변성 대장균의 분포는 수층에서 각각 20/100 ml - 7.0 × 10<sup>4</sup>/100 ml, 0 - 4.6 × 10<sup>2</sup>/100 ml 퇴적토에서 각각 5.8 × 10<sup>2</sup>/g dry sediment - 3.8 × 10<sup>5</sup>/g dry sediment, 23/g dry sediment - 4.3 × 10<sup>3</sup>/g dry sediment로 나타났다. 대체로 분포범위는 정점 I과 비슷한 경향을 나타내었다.

Rheinheimer(16, 17)는 발틱해에서 대장균수가 여름철보다 겨울철에 높은 분포를 나타내는 것을 관찰하였고 연중 변화도 종속영양 세균과 상이함을 보고하였다. 본 연구에서는 정점 I, II의 퇴적토에서 하계보다 동계에 비교적 높은 분포를 관찰할 수 있었다. 이와 같이 동계의 높은 분포는 수온이 낮은 환경에서 allochthonous 세균의 생존기간이 길어지기 때문이고 특히 퇴적토 환경에서 이와 같은 현상이 두드러지는 것으로 사료된다.

#### 팔당호내 수질변화의 비교

한국에 존재하는 대부분의 호소는 인공적으로 건설된 댐에 의해 만들어진 일종의 인공호소이다. 이와

같이 형성된 호소는 주변지역의 취수원으로 그 중요성이 매우 높다. 그러나 호소들은 대부분 물의 체류시간이 길고 주변지역으로부터 유입되는 영양염류에 의한 부영양화 현상으로 조류의 이상 증식에 의한 수질악화가 문제를 야기시키고 있다. 그러나 본 연구에서 대상으로 한 팔당호 경우에는 수리학적 체류시간이 매우 짧은 호소임에도 불구하고 그 동안 수질악화로 관련 기관 및 학자에 의해 수질 영양상태에 대한 많은 보고가 있었다(5.9.2, 12). 그 중 미국 환경청(EPA)의 염록소-a, 총인농도, 투명도를 분류 기준으로 하여 판단한 자료에 의하면 팔당호의 수질상태는 중영양 상태에서 부영양 상태로 사료된다(2).

우선 본 연구에서 조사한 결과를 다른 자료와 비교해 보면 물의 투명도가 최근 수년내에 급격히 악화됨을 알 수 있다(Table 3). 비록 1978년, 1981년도에 수행한 조사는 계절별 5회 수행한 결과이고 본 연구는 1년을 통해 월별로 조사한 결과라는 것과 분석방법 및 정점의 차이는 있으나 각 수질항목의 뚜렷한 경향성을 관찰할 수 있었다. 염록소-a의 경우 1981년에 비해 최소치, 최고치가 상승하였고 BOD의 경우에도 최고치가 높아졌음을 알 수 있다. 비록 본 연구에서 여름철과 가을철에 걸쳐 4 회만 조사한 결과(결과 미제시)이긴 하나 질산태 질소와 인산염태 인의 농도 최고치에서도 뚜렷한 상승을 관찰할 수 있었다. 본 연구결과를 미국 EPA의 염록소-a, 투명도를 분류 기준으로 하여 팔당호의 수질등급을 살펴보면 위의 결과와 같은 중영양 상태에서 부영양 상태로 사료되고 현 조사시기까지 계속되는 수질 악화의 진행을 확인할 수 있었다.

사 사

현장 시료채취 및 실험실 분석에 많은 도움을 준 김시욱, 채순기, 권기석, 하일호, 설원기, 조경연 씨와 유전공학 연구소 응용미생물 연구실과 미생물자원 연구실 실원들께 감사드리고 많은 비판과 조언으로 본 논문을 개선하는데 도움을 준 서울대학교 미생물학과 김상종 교수에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박상현, 최한영, 유병태, 박형언, 1983. 한강 유역의 수질미생물 오염도 조사. 보건환경연구소보 19, 118-125.
2. 서운수, 김동균, 송준상, 이문호, 오수태, 최기덕, 1981. 호소수의 부영양화에 관한 조사연구. 국립환경연구소보 3, 149-157.
3. 오영근, 이규남, 한상운, 채영주, 유방열, 신연희, 박

- 재주, 1978. 한강원수 및 주요 지천수의 오염도 조사. 서울특별시 보건연구소보 14, 143-207.
4. 오영근, 이규남, 조태웅, 한상운, 김동일, 채영주, 이기란, 신연희, 박상현, 박재주, 1979. 한강원수 및 지천수의 오염도 조사 연구. 서울특별시 보건연구소보 15, 161-229.
5. 이광우, 박희상, 이수형, 이동수, 임성국, 전은수, 최의소, 1978. 한강 및 낙동강의 기초수질, 유량 및 유역별 오염원에 관한 조사연구. 해양연구소 연구보고서.
6. 이현순, 오덕철, 1972. 한강수계의 미생물학적 수질에 관한 연구. 과기처 연구보고서 R-2-81, 41-46.
7. 중앙기상대, 1986-1987. 기상월보.
8. 홍사욱, 임중기, 1971. 한강수계의 수질 변동과 그 오염도 해석에 관한 연구. 한국육수학회지 4, 7-16.
9. 홍사욱, 나규환, 신경식, 1978. 한강수계의 5개 인공호에 대한 육수학적 연구. 과학기술연구논문집 6, 55-62.
10. 홍사욱, 나규환, 1979. 한강의 수질환경과 저질에 관한 육수학적 연구. 자연보존연구보고서(I) 1, 361-376.
11. 홍순우, 하영철, 안태석, 이건형, 1983. 남북한강의 수질과 미생물군의 동태에 관하여. 환경보존협회지 4, 15-25.
12. 환경청, 1986. 전국 환경보전 장기 종합 계획사업-수질부문 보고서.
13. APHA, AWWA & WPCF, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 1268.
14. Bryan, J.R., J.P. Riley and P.J. Williams LeB, 1976. A Winkler procedure for making precise measurements of oxygen concentration for productivity and related studies. *J. Exptl. Mar. Biol. Ecol.* 21, 191-197.
15. Gocke, K. and H.-G. Hoppe, 1977. Determination of organic substances and respiration potential. p. 61-70. *In* G. Rheinheimer (ed.), Microbial ecology of a brackish water environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
16. Rheinheimer, G., 1977. Regional and seasonal distribution of saprophytic and coliforms bacteria. p. 121-137. *In* G. Rheinheimer (ed.), Microbial ecology of a brackish water environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
17. Rheinheimer, G., 1980. Aquatic microbiology. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto.
18. UNESCO, 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on oceanographic methodology I. Paris, UNESCO.

(Received January 9, 1993)  
 (Accepted January 18, 1993)

---

**ABSTRACT: Microbiological and Chemical Analyses of Paldang Lake Water**

**Kim Sang-Jin** (Marine Microbiology Lab., Korea Ocean Research & Development Institute. An San P.O. Box. 29, 425-600, Korea)

To investigate the eutrophication process and pollution characteristics in Paldang Lake, Korea, water and sediment samples were analysed during July 1986~June 1987. The transparency, chlorophyll-a concentration, dissolved oxygen concentration and biochemical oxygen demand in Paldang Lake ranged 0.5~3 m, 3~17  $\mu\text{g}/\text{l}^{-1}$ , 7.2~12.3 ppm and 0.5~2.3 ppm, respectively. Heterotrophic bacterial number fluctuated seasonally between  $3.0 \times 10^3/\text{ml}$  and  $5.0 \times 10^5/\text{ml}$  in the water column and between  $2 \times 10^6$  and  $1 \times 10^8$  in the 1 g dry sediment. Water turbulence and water quality of up-stream seem to play important roles for determining the water quality in Paldang Lake particularly where the hydraulic retention time is so short as about 5 days. The present water quality in Paldang Lake according to the criteria of lake water quality was shown to be between mesotrophic and eutrophic state by secchi depth(0.5~3 m) and chlorophyll-a concentration (3~17  $\mu\text{g}/\text{l}^{-1}$ ). The distribution of coliform bacteria showed that the pollution was mainly due to the human activities in this area and it is needed to establish countmeasurements for the problems.