

漢江의 富營養化에 대한 考察

環境生態科

鄭鍾洽 · 李忠彥 · 李尙壽 · 李廣植 · 朴後慶 · 許美淑 · 申正植 · 申載英

The Investigation of Eutrophication the Han River

Division of Environment Ecology

Jong-Heub Jung, Chung-Eon Lee, Sang-Su Lee, Kwang-Sik Lee,
Hu-Kyung Park, Mi-Suk Heo, Jung-Sik Sin, and Jai-Young Shin

=Abstract=

Eutrophication occurs when water is over enriched with nutrients, principally nitrate and phosphate. Both these nutrients are found in many waste products, especially sewage, even when the waste is treated.

Eutrophication is concern in lakes, but it also causes prblems in river.

Wide growth, in rivers, leads to blockage of channels, but the main concern is deoxygenation because of the increase in plant life's demand for oxygen in rivers. Fish, plant and animal life die due to lack of oxygen. The increase of algae floating on the tops of lakes looks ugly and has attracted public attention and concern in recent years.

One way of controlling eutrophication is to restrict the amount of waste carrying nitrate or phosphate from entering the water in the first place. Another way is to remove it from the water after it has been entered.

This study was carried out to investigate on the trophic state of the Han River.

The results were as follows :

1. Concentrations of total nitrogen were 3.033~14,150(6,968)mg/l .
2. Concentrations of total phosphorus were 0.042~0.692(0.277)mg/l .
3. Chlorophyll-a concentrations were 1.4~69.5(15.4)mg/m³.
4. There was not found high correlation, between T-P and Chlorophyll-a concentration.

序 論

부영양화가 오늘날 사회적 문제로 되어 있는 것은 수역 이용에 지장을 초래한다는 사실이다. 그러나 그 지장의 정도는 사람의 수역이용 목적에 따라 크게 달라지고 지역사회의 특수성을 반영하여 지역에 따라서도 달라질 것이다. 특히 한강은 일천만 수도권인구의 식수 공급원 및 수상레저 공간 제공원으로 서울 600년의 역사는 한강의 역사라 해도 과언이 아닐 정도로 서울과 한강은 밀접한 관계를 유지하여 왔다.

따라서 한강은 식수원으로서 뿐만 아니라 서울시민들에게 쾌적한 휴식 및 레저 공간이 되도록 유지관리 되어질 필요가 있으며 특히 한강 둔치의 개발에 따른 시민들의 한강 접근성 향상은 이의 필요성을 더욱 증가시키고 있다. 그러나 현재의 한강은 갈수기, 강우기, 하절기 및 조수간만에 따라 물의 색깔이 흙갈색, 황토색, 녹색 및 회색 등으로 변하여 년중 맑고 푸른 강물을 나타내는 시기가 거의 없어 시민들의 친수적 환경을 악화시키는 그저 흘러만 가는 항시 오염된 수계로 인식되고 있는 실정이다.

이러한 한강이 관통하고 있는 서울지역의 년평균강수량은 1250mm로 전 세계의 연평균 강수량에 비하면 적은 양은 아니지만 전 강수량의 70% 이상이 6~9월에 집중되고 있어 나머지 기간동안 한강 유지수의 대부분은 상류에 위치하고 있는 댐수 특히 팔당댐 방류수에 크게 의존하고 있다.

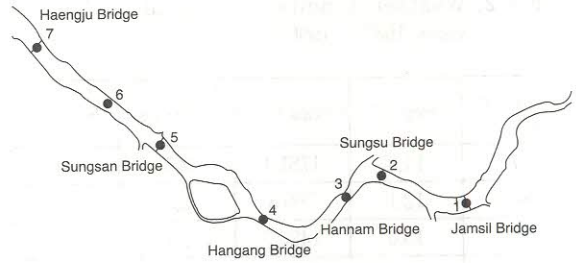
이런 한강을 시민들에게 보다 친숙한 공간이 되도록 하려면 한강에 대한 오염도 저감과 영양염류의 저감 및 제거대책수립 등 좀더 맑고 깨끗한 수질유지를 위한 관리목표 설정이 필요하다.

본 조사는 항상 낮은 투명도를 나타내는 원인중의 하나가 될 수 있는 한강의 영양염류, Chlorophyll-a 농도를 조사하여 한강의 영양상태 파악, 이들과 연계된 팔당댐 방류량과의 관계 분석 등 향후 한강의 수질개선방향을 모색해 보고자 실시하였다.

調査對象 및 方法

漢江의 잠실수중보에서 신곡수중보사이 총 7개 지점에서 97년 1월부터 12월까지 월 2회 시료를 채취하여 수온, 용존산소 및 pH는 현장 측정하고 기타 항목은 실험실로 운반하여 수질환경오염공정시험법에 의해 분석을 실시하였다.

주요 조사항목은 수온, 용존산소(DO), pH, 영양염류(총인(T-P), 총질소(T-N)) 및 Chlorophyll-a로 하였으며 채수지점은 그림 1과 같다.



NO.	1	2	3	4	5	6	7
Sampling sites	Jam sil	Sung su	Han nam	Han gang	Sung san	Gay ang	Haeng ju

Fig.1 Sampling sites in the Han river.

結果 및 考察

富營養化에 관여하는 여러가지 요소중 1차적인 요소로서 서울지역의 기후 특성은 표 1, 2와 같다.

Table1. Weather condition of Seoul in sampling periods(1997).

MONTH\ITEM	Temp.(°C)	Prec.(mm)	W,S(m/s)	RH(%)
1	-3.3	16.8	2.6	58
2	0.7	39.6	2.6	54
3	6.8	25.3	2.6	56
4	13.0	56.1	2.7	55
5	17.0	291.3	2.5	66
6	23.4	110.0	2.1	65
7	26.1	299.6	1.9	80
8	26.8	117.2	2.2	71
9	20.2	76.9	2.0	63
10	13.4	45.5	2.4	55
11	8.8	93.8	2.0	61
12	1.8	38.1	2.1	59
SUM		1210.2		
AVG	12.9	100.9	2.3	62
MAX	26.8	299.6	2.6	80
MIN	-3.3	16.8	1.9	54

표 1에서 '97년 서울지역의 년평균 氣溫은 12.9°C로 표 2의 과거 10년간 평균기는 12.5°C보다 높았다.

년간 降水量은 1210.2mm로 과거 10년간 평균강수량

Table 2. Weather condition of Seoul in last 10 years(1987~ 1996).

Item year	Temp.(°C)	Precipit.(mm)	W. S(m/s)	R.H(%)
87	11.9	1751.4	2.5	67
88	12.1	760.8	2.5	61
89	13.0	1426.3	2.4	66
90	12.8	2355.5	2.4	71
91	12.3	1158.2	2.3	66
92	12.5	1454.2	2.2	67
93	12.0	1292.7	2.4	68
94	13.5	1055.8	2.6	65
95	12.2	1598.6	2.3	63
96	12.2	1256.6	2.2	62
AVG	12.5	1411.1	2.4	66
MAX	13.5	2355.5	2.6	71
MIN	11.9	760.8	2.2	61

1411.1mm보다 약 200mm 적게 내렸으며 지난해의 1256.6 mm에 비해서도 40~50mm 적게 내렸다. 강수량은 지난해와 달리 5,7월에 집중되어 내렸으며 9~12월의 4개월간 강수량은 연간 강수량의 21%로 지난해의 15%보다 높아졌다. 년평균 相對濕度는 62%로 전년도와 같았고 과거 10년 평균 66%보다는 낮았다. 이와 같이 97년 서울지역의 기후는 온도는 96년보다 높았으며 연간 강우 분포는 96년보다 비교적 고르게 내린 것으로 조사되었다.

漢江 하류지역의 수질에 커다란 영향을 미치는 팔당댐의 放流量은 그림 2와 같으며 년평균 464CMS로 지난해보다 낮아진 강수량과는 반대로 방류량은 증가하였으며 연간 총 방류량도 96년의 13401CMS보다 많은 14163CMS로 나타나 예년과는 다른 방류량 특성을 나타냈다.

조사기간중의 수중 용존산소(DO)농도는 그림 3에서와 같이 3.7~15.0(평균 9.2)mg / l 로 전년도보다 약간 감소하였으며 행주, 가양지점에서 4월에 급격하게 용존산소농도가 감소하여 이 지점에서 수중생물들의 생태에 악영향을 미칠 우려가 있는 것으로 나타났다.

대기압 760mmHg, 산소 20.9%인 수증기 포화 대기중 순수한 물속의 포화 DO농도를 기준으로 한 각 측정지점의 수중 DO포화도는 116.0~37.2(평균 88.2)%로 지난해보다 낮아졌으며 잠실, 성수지점은 지난해와 같이 년중 거의 과포화 상태에 있었다.

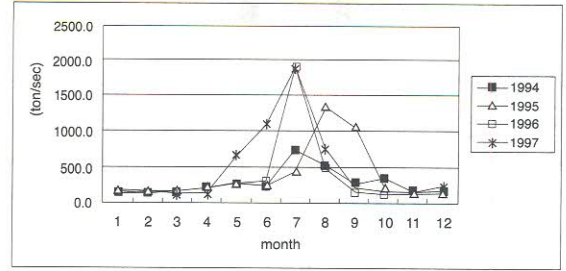


Fig. 2. Monthly Discharge of Paldang Dam.

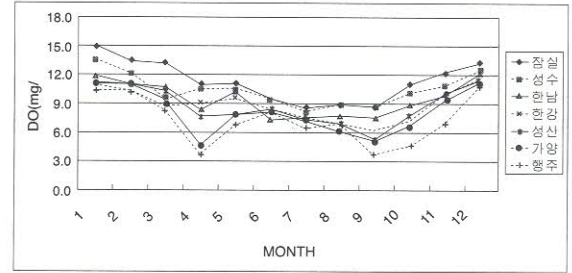


Fig. 3. Variation of DO by sampling sites.

일반적으로 하천의 높은 溶存酸素는 대기중에 존재하는 산소에 의한 재폭기 작용으로 유지되지만 부분적으로 조류의 光合成作用에도 영향을 받아 과포화될 수도 있으므로⁷⁾ 잠실, 성수 지점의 연중 과포화된 수중 DO농도는 이들 조류의 영향과 잠실수중보 월류의 영향 때문으로 추측되며 온도와 수중 DO농도는 일반적으로 역상관관계를 나타내나 그림 4와 같이 년중 최대 고온기인 8월에 전 측정지점의 평균 수중 DO포화도가 92%를 나타내는 현상은 이때가 조류의 최대 성장기가 될 수 있다는 점때문에 한강에서 일시적인 조류의 대량증식 현상이 발생할 가능성이 있으며 8월의 수중 DO농도와 chlorophyll-a농도, DO 포화도와 chlorophyll-a농도 사이에는 상관계수 0.937 및 0.939로 조사기간중 가장 높은 상관성을 나타냈다.

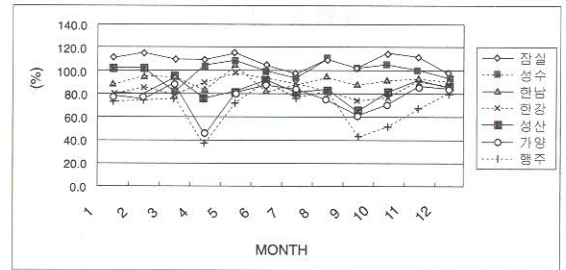


Fig.4. Variation of DO Saturation by sampling sites.

수체내의 營養단계를 나타내는 指標는 T-N, T-P와 같은 영양염류, 植物性플랑크톤의 농도 등으로 표 3에서와 같이 여러 자료들에 이들에 대한 富營養化 判定 基準이 제시되고 있지만 본 조사결과에서 나타난 영양염류의 농도는 표 4, 5와 같이 T-P : 0.042 ~ 0.692(평균 0.277)mg/l 및 T-N : 3.033 ~ 14.150(평균 6.968)mg/l 로 지난해의 T-P : 0.258 mg/l 및 T-N : 6.454mg/l 에 비해 년평균 농도가 증가하였으며 조사기간 내내 표에서 언급된 부영양기준을 상당히 초과하고 있는 상태여서 한강에 대한 부영양 기준 적용은 현 상태에서는 특별한 의미가 없는 것으로 나타났다. 이는 지난해 보다 적었던 강수량을 감안하더라도 이들 영양염류 농도의 지속적인 증가는 근본적으로 한강에의 영양염류 유입원의 증가 가능성을 시사하고 있는 것이다.

T-P 및 T-N농도는 강수가 많았던 5~8월에 낮은 농도를 나타내는 특성이 지난해에 이어 나타났으며 한남 및 한강지점에서 이들의 농도가 그보다 하류지역인 성산, 가양지점보다 높게 나타나는 특이성을 보여주었다. 또한 잠실지점에서의 T-P농도는 다른 6개 지점의 T-P농도와 뚜렷한 차이를 보여 T-P농도가 잠실 수중부 하류의 오염원에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

인은 담수에서 가장 결핍되어 있는 원소이므로 수중식물의 양은 보통 인의 농도에 의해 좌우되며 이론적으로는 수중에 존재하는 인의 농도만큼 식물성플랑크톤이 성장할수 있어 식물성플랑크톤(chlorophyll-a)의 농도와 인(T-P)의 농도는 대체로 비례하는 것으로 알려져 있지만 T-P의 농도가 높아져 50~100mg/l 이상이 되면 Chlorophyll-a 농도는 T-P농

도에 비례하여 증가하지 않게 되고 한강에서는 년중 T-P의 농도가 50mg/l 이상의 높은 상태를 유지하므로 일반 호소수에서와 같이 T-P의 농도가 더 이상 식물성플랑크톤의 성장을 제한하는 한계인자로서의 기능이 약화되었으며 식물성플랑크톤의 성장제한요소는 빛과 체류시간일 것으로 생각된다.^{11,11)}

따라서 한강에서 Chlorophyll-a와 T-P사이의 상관성은 T-P농도가 낮은 일반 담수에서와 같이 높은 상관성을 나타내지는 못하고 있는 것으로(0.410~0.654) 추측된다.

또한 우리나라 강우특성이 하절기 집중형이기 때문에 집중강우기에는 유기물 오염농도가 희석효과로 일시 개선될 수도 있어 T-N, T-P의 농도가 강우기에는 일시적으로 농도가 감소하지만 갈수기로 접어들면서 다시 그 농도가 증가하여 지속적으로 높은 농도를 유지하는 것으로 보아 한강에 대한 영양염류의 농도 제어는 유입지천에 대한 오염도 관리와 연계되는 대책 마련이 필수적인 것으로 보인다.

일반적으로 식물성플랑크톤이 증식하기 위해서는 영양염류의 농도 이외에도 다른 인자의 작용이 필요하기 때문에 영양염류의 농도가 높다고 해서 반드시 조류의 증식이 많다고 볼 수는 없지만¹²⁾ 한강은 년중 높은 상태인 영양염류 농도를 기반으로 온도, 느린 유속등 주변 환경이 부영양화가 발생할 여건을 충분히 가지고 있으며 9월에 마포대교 북단부근을 중심으로 나타난 녹조현상도 8~10월에 걸쳐 서울지역 일조시간이 200h 이상으로¹⁴⁾ 높은 상태에서 하천의 수리특성상 유속이 다른 곳에 비해 정체되는 특성이 있는 지점에서 발생했으며 이의 해소대책중 가장 중요한 역할을 한 것이 평상시

Table 3. Creteria of Eutrophication.

Author(s)	Total-N(mg/m ³)			Total-P(mg/m ³)			Chlorophyll-a(mg/m ³)			Remark
	Oligo-	Meso-	Eutrophic-	Oligo-	Meso-	Eutrophic-	Oligo-	Meso-	Eutrophic-	
Forsberg & Riding	400	400~600	600~4500	15	15~25	25~100	3	3~7	7~40	6~9월 평균치
U.S.E.P.A.				10	10~20	20	7	7~12	12>	1974
Carlson				12	12~24	24	2.5	2.5~6.5	6.5>	1977
Ahl & Wiederholm				12.5	12.5~25	25				1977
Rast & Lee				10	10~20	20	2	2~6	6>	1990
서울특별시	150	150~200	200>	10	10~20	20	2.5	2.5~10	10	
Sakamoto	200	200~500	1000>	10	10~25	40>	2	2~15	20>	

Table 4. Concentrations of T-N by sampling sites. (unit : mg/l)

측정일	측 정 지 점								평균	최대	최소
	잠실	성수	한남	한강	성산	가양	행주				
97년1월	6000	7,506	11,150	11,150	11,250	10,950	11,850	9,979	11,850	6000	
2월	5,800	9,100	9,300	11,150	11,550	12,150	12,750	10,257	12,750	5,800	
3월	6,350	10,800	13,300	13,300	12,600	13,100	14,150	11,943	14,150	6,350	
4월	6,000	9,300	11,900	12,600	10,650	11,550	11,700	10,529	12,600	6,000	
5월	3,883	4,624	5,239	5,494	4,824	4,320	4,704	4,727	5,494	3,883	
6월	3,059	3,055	5,995	3,990	3,847	4,130	4,764	4,120	5,995	3,005	
7월	3,079	3,888	4,162	4,037	4,339	4,414	4,277	4,028	4,414	3,079	
8월	4,044	4,776	4,930	4,615	3,835	4,723	4,836	4,537	4,930	3,835	
9월	4,733	5,015	6,374	5,860	5,850	5,817	5,600	5,607	6,374	4,733	
10월	3,033	3,245	4,698	6,727	6,334	7,067	6,652	5,394	7,067	3,033	
11월	6,164	5,143	8,404	6,607	6,802	6,672	10,771	7,223	10,771	5,143	
12월	3,465	4,819	4,685	6,809	5,777	5,996	6,123	5,279	6,123	3,465	
평균	4,634	5,939	7,511	7,635	7,305	7,574	8,181	6,968			
최대	6,350	10,800	13,300	13,300	12,600	13,100	14,150		14,150		
최소	3,033	3,055	4,162	3,990	3,835	4,130	4,277			3,033	

Table 5. Concentrations of T-P by sampling sites. (unit : mg/l)

측정일	측 정 지 점								평균	최대	최소
	잠실	성수	한남	한강	성산	가양	행주				
97년1월	0.042	0.239	0.338	0.421	0.368	0.377	0.412	0.314	0.421	0.042	
2월	0.066	0.304	0.276	0.427	0.421	0.385	0.430	0.330	0.430	0.066	
3월	0.190	0.443	0.491	0.494	0.414	0.413	0.520	0.423	0.520	0.190	
4월	0.066	0.320	0.453	0.566	0.445	0.516	0.424	0.398	0.566	0.066	
5월	0.079	0.176	0.231	0.201	0.193	0.199	0.296	0.196	0.296	0.079	
6월	0.097	0.158	0.442	0.172	0.179	0.198	0.205	0.207	0.442	0.097	
7월	0.077	0.149	0.203	0.160	0.131	0.147	0.158	0.146	0.203	0.077	
8월	0.103	0.167	0.291	0.240	0.181	0.181	0.202	0.195	0.291	0.103	
9월	0.084	0.201	0.370	0.318	0.260	0.383	0.291	0.272	0.383	0.084	
10월	0.137	0.196	0.209	0.404	0.381	0.392	0.430	0.307	0.430	0.137	
11월	0.097	0.239	0.510	0.342	0.323	0.328	0.692	0.361	0.692	0.097	
12월	0.085	0.121	0.128	0.228	0.228	0.228	0.215	0.176	0.228	0.085	
평균	0.093	0.226	0.328	0.331	0.293	0.312	0.356	0.277			
최대	0.190	0.443	0.510	0.566	0.445	0.516	0.692		0.692		
최소	0.042	0.121	0.128	0.160	0.131	0.147	0.158			0.042	

125CMS정도였던 팔당 방류량을 2시간 가량 1500CMS로 일시적으로 증가시킨 것이어서 식물플랑크톤의 증식에 미치는 유속의 영향을 간접 확인할 수 있었다.

본 조사에서 나타난 팔당댐 방류량과 chlorophyll-a 농도사이에는 -0.285 ~ -0.550의 상관성을 나타냈다.

본 조사에서 나타난 chlorophyll-a 농도는 96년도의 6.7mg/m³보다 크게 증가한 평균 15.4mg/m³로 나타났다. chlorophyll-a 농도는 체류시간이 짧은 수체에서는 체류시간이 가장 중요한 요소로 작용하여 우기에는 떠나려가는 효과에 의해 식물플랑크톤의 농도가 감소하고 갈수기에 오히려 농도가 높아지는 경향이 있어 그림 5와 같이 고온기인 5~9월에 감소하였다가 비교적 저온기인 3월 및 11월에 높은 농도를 나타내는 예년의 특성이 유지되었다.

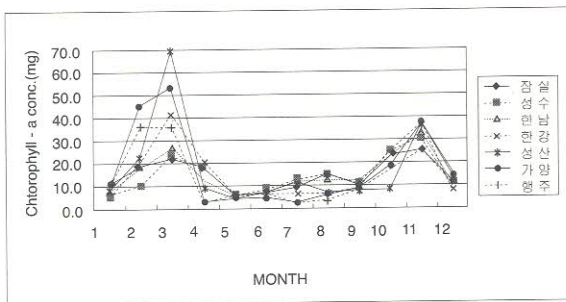


Fig. 5. Variation of Chlorophyll-a by sampling sites.

일반적으로 식물성플랑크톤의 光合成 最適溫度는 중과 분류군에 의해 상당히 차이가 있지만 규조류가 낮고 녹조류와 남조류가 높은 경향이 있으며⁸⁾ 한강에 출현하는 식물성플랑크톤은 낮은 온도에 적응되어 있어 봄철 저온기에도 일정수준까지 성장할 수 있는 것으로 보고된 바 있으며 상대적으로 유속이 느려지는 갈수기 평균 팔당 방류량인 125CMS 정도의 유속에서는 어느 정도 식물성플랑크톤의 성장이 가능하게 된 것이 아닌가 추측된다.

이와같이 한강은 이미 부분적으로 높은 식물성플랑크톤의 농도를 나타내고 있으며 T-N, T-P 등 영양염류가 년중 높은 상태이고 일조시간 및 수온이 지난 해보다 높아졌으며 수중보 및 조수의 영향으로 수체의 체류시간이 갈수기에 길어지는 요인 등으로 국지적인 녹조현상이 발생하는 등 식물성플랑크톤의 성장에 알맞는 다수의 환경조건이 존재하므로 한강의 영양단계에 대한 수질관리는 팔당 방류량, 한강으로 부하되는 영양염류 유입원 및 그 농도에 따른 Chllorophyll-a의 농도등에 대한 종합적인 검토와 대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다.

이와같이 한강은 하천의 수리특성상 정체수역과는 특성의 차이가 있어 호소의 영양단계를 기준으로 하천의 부영양화를 판단하는 것은 현 상태에서는 의미가 없으므로 하절기 Chllorophyll-a 농도를 예측하기 위한 예측가능성 규명, 팔당댐 방류량과 Chllorophyll-a 농도와의 상관관계 등을 중심으로 기후 및 수체의 수리적인 특성 등을 종합하여 한강에 대한 영양단계 판정기준 설정과 이에 알맞는 수질정책을 수립하여 지속적인 수질개선 노력을 해야될 것으로 생각된다.

結 論

1997년 1월부터 12월까지 조사기간동안 漢江에 대한 營養鹽類 농도는 다음과 같다.

1. T-N : 3.033 ~ 14.150 (평균 6.968)mg/l 로 지난해보다 증가하였다.
2. T-P : 0.042 ~ 0.692 (평균 0.277)mg/l 로 매년 증가하고 있다.
3. Chlorophyll-a : 1.4 ~ 69.5 (평균 15.4)mg/m³로 지난해보다 크게 증가하였다.
4. T-P농도와 Chlorophyll-a농도 사이에는 다른 호소수에서와 같은 높은 상관성이 나타나지 않았다.
5. 팔당댐 방류량과 Chlorophyll-a농도 사이에는 -0.550이하의 마이너스 상관성을 나타냈다.

參 考 文 獻

1. 김범철, 박주현, 황길순, 최광순 : 호소의 부영양화에 관한 한·일 세미나, 국립환경연구원·수질보전학회, p39 (1996).
2. 이시진, 윤세희, 박석순 : 水質模型과 管理.東和技術. 서울 p.383(1993).
3. 서울특별시 : 漢江生態系調查研究. p.233(1994).
4. 李鉉東,柳亨烈,金元滿 : 生物學的 窒素 및 磷 除去法에 관한 研究. 대한위생학회지. 12:48(1992).
5. Jack Edward Mckee and Harold W. Wolf : Water Quality Criteria, California state printing office, 2nd Ed., p.181(1971).
6. 岩佐義朗 : 湖沼工學, 壯光舎印刷(株), 東京 p224 (1990).
7. 崔榮吉, 韓明洙, 安泰永, 郭魯泰 : 담수의 부영양화, 신광문화사, 서울 p194(1995).

8. 金坐官 : 水質汚染概論, 東和技術, 서울 p194(1993).
9. 류재근 : 담수생태계 보전대책(우리나라 호소수질의 현황과 보전전략), '93공동심포지움 한국생태학회·한국육수학회, p104(1993).
10. 西澤一俊, 千原光雄 : 藻類研究法. 共立出版(株), 東京, p.448(1979).
11. 서울특별시 : 漢江生態系調查研究報告書(1990).
12. 曹圭松, 姜寅求, 權伍吉, 金凡徹, 羅圭煥, 安泰奭, 李種範, 李燦基, 李海金, 全相洙, 崔俊吉 : 湖水 環境調查法. 동화기술, 서울, p.321(1991).
13. 金微鎬 : 댐. 貯水池(延草湖)의 富營養化 模型의 比較研究. 한양대학교환경과학대학원석사학위논문. p.21 (1989).
14. 기상청 : 기상월보, 12p(1997)