서울特別市 保健環境研究論文集 第35卷 (1999)
Report of S.I.H.E., 35:388~394 (1999)

漢江의 富營養化에 대한 調査研究

수환경생태팀

유승성 · 이종현 · 김현국 · 이광식 · 안경수 · 윤호균 · 류동구 · 신정식

The Investigation on the Eutrophication of the Han River

Aquatic Ecology Team

Seung-Seong Yoo, Jong-Hyun Lee, Hyun-Kook Kim, Kwang-Sik Lee, Kyung-Soo Ann, Ho-Gyun Ryun, Dong-Koo Ryu, and Jung-Sik Shin

Abstract

The eutrophication process can be defined as an increase in nutrients that causes high productivity in lakes, streams and estuaries.

The rate of eutrophic proceeds in a lake depends upon the trophic state, the depth of water, topography, weather and flushing rate.

This study was carried out to investigate on the trophic state, nutrients and chlorophyll-a concentration in the Han River.

The results were as follows :

1. Concentrations of total nitrogen were 1.750 ~ 9.095 (4.761) mg/l .
2. Concentrations of total phosphate were 0.040 ~ 0.665 (0.188) mg/l .
3. Chlorophyll-a concentration were 0.1 ~ 48.0 (13.1) mg/m^3.
4. The correlation coefficient between T-P and chlorophyll-a concentration was r = 0.329 ~ 0.725.
5. The correlation coefficient was r = -0.461 ~ -0.587, between Paldang Dam outflow and chlorophyll-a concentration at all sampling sites

序 論

부영양화란 정체된 수역에서 시간경과와 더불어 생산성이 증가되어 영양물질이 풍부한 상태로 진행되어 가는 자연적인 과정으로 수역의 부영양화는 조류발생으로 이어진다. 수질오염에 의한 장해는 부영양화 현상을 매개로 하여 일어나는 경우가 많고 부영양화된 수역은 회복시키기가 매우 어려운 것으로 알려져 있어 수체의 영양 상태 파악은 수질 관리에 있어 매우 중요한 일중의 하나이다.[1,2]

Rawson은 수계의 지리, 지형특성, 영양물질, 온도, 용존산소량 및 pH등이 Rohlich는 기후, 지리, 생물학적 요소가 부영양화를 초래하는 요소[2]라 제시하

고 있으나, 부영양화를 단정하기란 용이한 일이 아니며 연구자에 따라 평가 기법이 달라 부영양화에 대한 평가 항목 및 기준이 다양하게 제시되고 있다. 이러한 부영양화 현상은 체류시간이 비교적 긴 정체수역에서 주로 발생하지만 최근 일부에서 호수가 아닌 하천수로 어느정도 자정능력을 갖고 있는 한강에 부영양화 현상이 예견된다는 논의가 있다.

특히 한강은 일천만 수도권 인구의 식수공급원으로서 서울의 역사는 한강의 역사라해도 과언이 아닐 정도로 서울과 한강은 밀접한 관계를 유지하여 왔다. 이러한 한강이 관통하고 있는 서울 지역의 년 평균 강수량은 1733 mm로 전 세계의 년 평균 강수량에 비하면 적은 양은 아니지만 전 강수량의 69 % 정도가 7월~9월에 집중되어 있어 나머지 기간 동안 한강 유지수의 대부분은 상류에 위치하고 있는 댐수 특히 팔당댐 방류수에 크게 의존하고 있다. 이에 따라 한강은 식수원으로서 뿐만아니라 서울시민들에게 쾌적한 휴식 및 레저 공간의 제공, 철새도래지로서의 생태학적 측면 등에서 양호한 수질이 유지되도록 관리되어질 필요가 있으며 특히 한강 강변에 이르는 시민공원지구의 조성에 따른 시민들의 한강 접근성 향상은 이의 필요성을 더욱 증가시키고있다.[3] 한강종합개발사업이 완료된 후 한강의 수질은 점차 개선되고 있으나 회복속도가 느리고 하천 수로내 수중보, 교각 등 시설물의 증가로 정체수역이 발생하여 국지적 수질오염을 초래하고 있다. 특히 한강 하류의 인 및 질소 농도의 증가로 부영양화의 가능성이 높아지고 있는 실정이다. 이런 한강을 시민들에게 보다 친숙한 공간이 되도록 하려면 한강에 대한 오염도 저감과 영양염류의 저감 및 제거대책수립 등으로 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 영양 상태 파악 및 이들과의 연계된 팔당댐 방류량과의 관계 분석등 향후 한강의 수질개선 방향을 모색해 보고자 실시하였다.

調査對象 및 方法

한강의 잠실수중보에서 신곡수중보사이 총 7개 지점에서 99년 1월부터 12월까지 월 2회 시료를 채취하여 수온, 용존산소 및 pH는 현장 측정하고, 기타 항목은 실험실로 운반하여 수질환경오염공정시험법에 의해 분석을 실시하였다.

조사항목은 수온, 용존산소(DO), pH, 총인(T-P), 총질소(T-N) 및 chlorophyll-a로 하였으며 채수지점은 Fig.1과 같다.

Fig.1. Sampling sites in the Han river.

結果 및 考察

조사기간중 서울지역의 기후 특성은 Table 1, 2와 같다.[4]

Table 1에서 '99년 서울지역의 년 평균기온은 13.2℃로 Table 2의 과거 10년간 평균기온 12.7℃보다는 높고, 년 평균기온인 13.8℃와 거의 비슷했다. 년간 강수량은 1733 mm로 과거 10년간 평균강수량 1515.8 mm에 비해서 200mm 정도 많았지만, 지난해의 년 강수량 2349.1 mm에 비해서는 600 mm 정도 적게 내렸으며, 7,8,9월에 강우가 집중되어 년간 강수량의 약 69%를 차지하는 형태였다. 또한 년 평균 상대습도는 63%로, 전년도 및 과거 10년 평균 66%보다는 낮았다.

이와 같이 '99년 서울지역의 기후는 '98년보다 온도, 습도가 낮고, 강우량도 적은 기후였던 것으로 조사되었다.

한강 하류지역은 팔당댐의 방류량에 따라 수질이 영향을 받게되며 방류량이 많아지면 대체적으로 오염물질에 대한 희석효과를 나타내 오염물질 농도가 낮아지

Table 1. Weather condition during the sampling periods in Seoul.(1999)

Item / Month	Temperature (℃)	Annual Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)	Evaporation (mm)
1	-0.8	10.2	2.6	58	35.0
2	0.7	2.9	2.8	39	56.7
3	6.7	55.0	2.5	50	55.0
4	13.9	97.2	2.6	59	139.2
5	17.5	109.7	2.2	65	146.7
6	23.1	131.8	1.8	68	151.6
7	125.9	230.4	2.1	73	135.1
8	26.0	600.5	1.2	74	128.4
9	22.9	377.3	1.3	76	90.0
10	14.3	81.6	1.1	70	81.6
11	7.9	19.5	1.3	65	52.6
12	0.4	17.0	1.2	64	36.9
Sum		1733.1			1108.8
Average	13.2	144.4	1.9	63	92.4
Maximum	26.0	600.5	2.8	76	151.6
Minimum	-0.8	2.9	1.1	39	35.0

는 효과가 있는 것으로 보고 되고 있으며,[1] Fig. 2와 같이 시료 채취일을 전 후로 한 조사 기간 동안의 년 평균 방류량은 620 ton/sec로 나타났으며, 강수량의 영향으로 8월부터 9월까지의 방류량이 평균 2042 ton/sec로 연 중 가장 많았다.

일반적으로 부영양화의 정도는 연간 강우량에 의해 크게 좌우되며, 팔당방류량은 수체의 체류시간에 영향을 주고 홍수시에는 부착물이나 퇴적물을 씻겨 내려가게 하며, 하천생태계에 영향을 미치는 요인으로 작용하여 대개 팔당댐 방류량이 증가하면 한강의 수질오염도는 낮아지는 경향이 있다.[5]

조사기간 중 수중 용존산소농도는 Fig. 3에서와 같이 5.6 ~15.2 mg/ℓ (평균 10.7)로 전년도의 년 평균 10.0 mg/ℓ로 비슷하였으며, 미국 환경청에서 수중 생태계 보호를 위해 설정한 최저 DO 농도 5.0 mg/ℓ 이하[6]로 내려간 DO 농도 수준은 없었으며, 지난해보다 전반적으로 좋아졌다. 대기압 760 mmHg, 산소 20.9 %인 수증기 포화 대기중 순수한 물속의 포화 DO농도를 기준으로한 각 측정지점의 수중 DO포화도는 125 ~ 69 %(평균 101%)로 '98년도의 년 평균 93.8 %보다 높아졌으며 잠실, 성수지점은 지난해

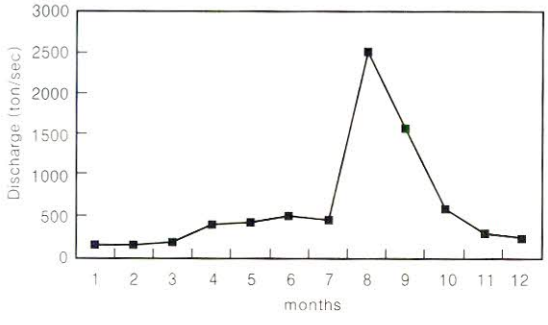

Fig. 2. Monthly discharge amount in 1999 of Paldang Dam.

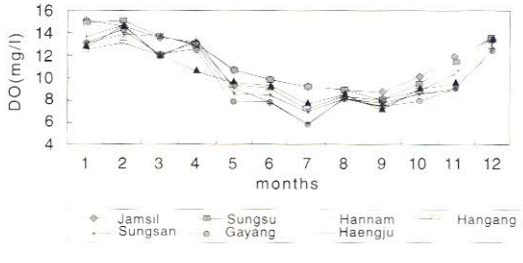

Fig. 3. Variation of DO at each sampling site in the Han river.

Table 2. Weather condition in last 10 years of Seoul.(1989 - 1998)

Item / Year	Temperature (℃)	Annual Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)
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	1454.9	2.2	67
93	12.0	1292.7	2.4	68
94	13.5	1055.8	2.6	65
95	12.2	1598.8	2.3	63
96	12.2	1256.6	2.2	62
97	12.9	1210.6	2.3	62
98	13.8	2349.1	2.2	65
Average	12.7	1515.8	2.3	66
Maximum	13.8	2355.5	2.6	71
Minimum	12.0	1055.8	2.2	62

와 같이 년 중 거의 과포화 상태였다. 이와같이 용존산소는 대기중에 21 % 밖에 없는 산소에 의해 수표면을 통해 재포기 상태로 수중에 전달되기 때문에 대기에 의존하고 있지만 만일 수중에서 광합성작용이 일어나고 있다면 과포화될수도 있으며 DO농도가 포화농도의 150 ~ 200 %까지 되는 것은 특별한 경우가 아니다.[2,7,8]

즉, 잠실, 성수지점의 연 중 과포화된 수중 DO농도는 이들 조류의 영향과 잠실 수중보 월류에 의한 수표면 산소전달율 증가의 영향 때문으로 추측되며, 온도와 수중 DO 농도는 보편적으로 역 상관관계를 나타내며 Fig. 4와 같이 8월에 집중적으로 내린 강우의 영향으로 조류 농도가 낮아지고, 수온이 높은 7월~9월에

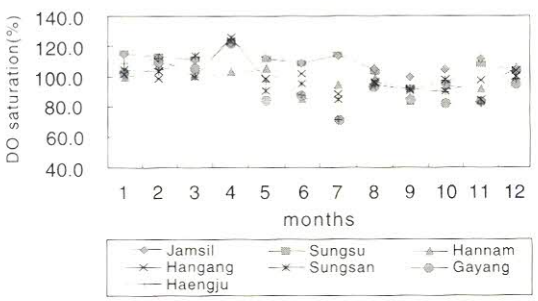

Fig. 4. Variation of DO saturation at each sampling site in the Han river.

한강 하류를 중심으로 포화도가 내려가는 현상이 지난해에 이어 계속 나타났으며, 또한 행주지점의 수중 DO농도와 chlorophyll-a농도 사이에는 상관계수가 0.67로 전 측정지점중 가장 높은 상관성을 나타냈다.

한편 하천생태계에서 질소와 인의 유입은 강우와 식생에서의 유출물, 그리고 인구증가에 따른 인간활동의 증가에 의해 이루어지게 되는데 수체내의 영양단계를 나타내는 지표는 T-N, T-P와 같은 영양염류, 식물플랑크톤과 밀접한 관계에 있는 투명도, 심수층의 DO농도 등으로 영양단계를 판별하는데 여러 연구자들이 이들의 농도를 기준으로 하여 영양단계를 제시하였으며 서울특별시(1990)의 보고서[9]에서도 이들 여러 가지 제안들을 종합하여 한강에 대한 부영양화 판정 기준을 T-N : 200 mg/m³, T-P : 20 mg/m³, chlorophyll-a : 10 mg/m³로 제시한 바 있지만[9,12]본 조사결과에서 나타난 영양염류의 농도는 Table 3, 4와 같이 T-P : 0.040~0.665 (평균 0.188)mg/l 및 T-N : 1.750~9.095(평균 4.761)mg/l로 '98년의 년 평균 T-P : 0.195mg/l 및 T-N : 5.133mg/l에 비해 농도가 다소 감소하였으며, 전체적으로 볼 때 T-P 농도는 강수량이 많았던 8월 이후 농도가 점차적으로 증가하였으며, T-N은 겨울에서 봄철에 이르기까지 갈수기에 농도가 높아 이들 두 물질, 즉 한강의 영양염류의 농도는 이미 충분히 높은 상태여서 식물플랑크톤의

Table 3. Concentrations of T-P at each sampling site in the Han river. (unit : mg/ l)

Site / Month	Jamsil	Sungsu	Hannam	Hangang	Sungsan	Gayang	Haengju	Average	Maximum	Minimum
1	0.055	0.155	0.400	0.340	0.330	0.375	0.370	0.289	0.400	0.055
2	0.050	0.150	0.265	0.315	0.375	0.365	0.390	0.273	0.390	0.050
3	0.075	0.245	0.335	0.290	0.315	0.445	0.665	0.339	0.665	0.075
4	0.040	0.070	0.430	0.185	0.150	0.220	0.225	0.189	0.430	0.040
5	0.040	0.060	0.170	0.130	0.125	0.145	0.125	0.114	0.170	0.040
6	0.040	0.060	0.150	0.130	0.075	0.145	0.140	0.106	0.150	0.040
7	0.065	0.145	0.305	0.255	0.230	0.285	0.250	0.219	0.305	0.065
8	0.050	0.075	0.085	0.095	0.085	0.075	0.085	0.079	0.095	0.050
9	0.090	0.070	0.125	0.130	0.250	0.120	0.185	0.139	0.250	0.070
10	0.045	0.150	0.115	0.110	0.120	0.135	0.215	0.127	0.215	0.045
11	0.050	0.075	0.205	0.245	0.345	0.350	0.315	0.226	0.350	0.050
12	0.045	0.075	0.125	0.135	0.140	0.195	0.270	0.141	0.270	0.045
Average	0.054	0.111	0.226	0.197	0.217	0.238	0.270	0.188		
Maximum	0.090	0.245	0.430	0.340	0.375	0.445	0.66		0.665	
Minimum	0.040	0.060	0.085	0.095	0.075	0.075	0.085			0.040

성장제한 요인은 아니라고 생각되며, 지난 몇 년간의 집중적인 수질관리 정책에 의해 유기물함량은 근본적으로 감소시키기 어려울 것으로 예측되어 한강하류는 지속적으로 영양염류의 누적이 예상되고 있는 실정으로 장기적으로는 이에 대한 대책이 수립되어져야 할 것으로 사료된다.[1,13]

또한 인은 담수에서 가장 결핍되어 있는 원소 중 하나이므로 수중식물의 양은 보통 인의 농도에 의해 좌우되며 이론적으로는 수중에 존재하는 인의 농도만큼 식물성플랑크톤이 성장할 수 있어 식물성플랑크톤(chlorophyll-a)의 농도와 인(T-P)의 농도는 대체로 비례하지만 T-P의 양이 많아지면 chlorophyll-a는 그것에 비례하지 않고 일정한 상태를 유지하게 되는것으로 알려져 있다.[10] T-P의 농도가 높아져 0.05~0.1 mg/ l 이상이 되면 chlorophyll-a 농도는 T-P 농도에 비례하여 증가하지 않게 되는데 조사기간 중 한강에서는 TN/TP의 비가 25로 높고, 연 중 T-P의 농도가 전반적으로 0.05 mg/ l 이상으로 높은 상태를 유지하므로 일반 호소수에서와 같이 T-P의 농도가 더 이상 식물성플랑크톤의 성장을 제한하는 한계인자로서의 기능[16]이 악화되었다.

또한 한강은 전 측정지점에 걸쳐 년 중 T-P의 농도가 높은 상태이므로 chlorophyll-a 와 T-P사이의 상관성은 T-P농도가 낮은 담수에서와 같이 높은 상관성을 나타내지는 못하고 있는 것으로 추측된다. 식물성플랑크톤이 증식하기 위해서는 영양염류의 농도

이외에도 다른 인자의 작용이 필요하기 때문에 영양염류의 농도가 높다고 해서 반드시 조류의 증식이 많다고 볼 수는 없지만[11], 한강은 온도, 느린 유속등 주변 환경이 부영양화가 발생할 여건을 충분히 가지고 있으므로 년 중 높은 상태인 영양염류 농도 저감을 위한 특별한 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

한편 T-N의 농도는 8월에 대부분의 지점에서 농도가 감소하였으며 9월 이후 갈수기로 접어들면서 다시 농도가 증가하는 추세를 보였다. 이는 조사기간 중 강우현상이 8월에 집중되었기 때문에 오염물질농도가 희석되면서 하류로 쓸려내려갔기 때문인 것으로 생각된다. T-N은 T-P와 달리 잠실지점부터 하류로 갈수록 완만한 증가추세를 보여 T-N의 한강에 대한 오염원은 T-P와는 달리 하류의 영향보다는 잠실수중보 상류지역에 대한 오염도 저감 대책 마련이 필요한 것으로 생각된다. 일반적으로 식물성플랑크톤이 증식하기 위해서는 영영염류의 농도 이외에도 다른 인자의 작용 즉, 온도의 계절적 변화, 느린 유속 등 주변환경이 조류증식에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이에따라

'99년 chlorophyll-a의 년 평균농도는 '98년도의

Table 4. Concentrations of T-N at each sampling site in the Han river. (unit : mg/ *l*)

Site / Month	Jamsil	Sungsu	Hannam	Hangang	Sungsan	Gayang	Haengju	Average	Maximum	Minimum
1	3.225	4.730	8.165	7.395	7.240	8.120	8.110	6.712	8.165	3.225
2	2.890	4.430	5.925	7.210	7.225	7.440	7.600	6.103	7.600	2.890
3	2.570	2.815	4.640	5.370	5.345	6.315	7.965	5.003	7.965	2.570
4	1.750	2.810	5.905	4.655	3.990	4.795	4.785	4.099	5.905	1.750
5	3.255	2.965	4.025	3.820	3.700	3.105	3.515	3.484	4.025	2.965
6	3.050	3.590	4.610	3.790	4.000	2.880	3.750	3.667	4.610	2.880
7	2.290	3.915	5.710	6.175	5.805	6.130	5.435	5.066	6.175	2.290
8	2.585	2.470	3.345	2.820	3.170	2.950	3.250	2.941	3.345	2.470
9	2.745	2.825=	3.920	4.155	3.435	4.900	4.330	3.759	4.900	2.745
10	3.370	4.645	4.520	4.270	4.470	4.960	5.615	4.550	5.615	3.370
11	3.255	4.125	5.080	5.790	6.835	7.170	9.055	5.901	9.055	3.255
12	3.555	5.650	5.150	5.085	5.660	6.765	9.095	5.851	9.095	3.555
Average	2.878	3.748	5.083	5.045	5.073	5.461	6.042	4.761		
Maximum	3.555	5.650	8.165	7.395	7.240	8.120	9.095		9.095	
Minimum	1.750	2.470	3.345	2.820	3.170	2.880	3.250			1.750

9.6 mg/m^{3}보다 크게 증가한 년 평균 13.1 mg/m^{3}로 나타났다. 이는 '99년에는 '98년보다 적었던 팔당방류량과 적어진 일조시간 및 수평면 일사량으로 한강에서의 조류성장 조건이 '98년보다 악화되었기 때문인 것으로 생각된다.

chlorophyll-a 농도는 체류시간이 가장 중요한 요소로 작용하여 체류시간이 짧은 우기에는 떠내려가는 효과에 의해 식물플랑크톤의 농도가 감소하고 갈수기에 농도가 높아지는 경향이 있어 Fig. 5와 같이 비교적 저온기인 1월 ~ 5월에 걸쳐 높은 농도를 보이다가 비교적 고온기인 6월 ~ 9월에 감소하였으며,

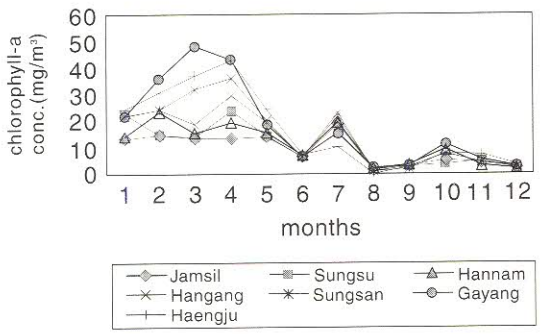

Fig.5. Variation of chlorophyll-a at each sampling site in the Han river.

chlorophyll-a 농도가 집중 강우기인 8월에는 거의 나타나지 않았으나 상류보다 수질오염도가 높은 행주지점 하류를 중심으로 11월까지 chlorophyll-a 농도가 높아졌다. 조사기간중 년간 팔당댐 방류량과 각 지점별 년간 chlorophyll-a 농도사이에는 r = -0.461 ~ -0.587의 역상관성을 나타냈다.

7개 조사지점 별 년 평균 수중 DO농도와 chlorophyll-a 농도 사이의 상관성은 잠실(r=0.460), 성수(r=0.514), 한남(r=0.375), 한강(r=0.382), 성산(r=0.552), 가양(r=0.571) 및 행주(r=0.670)로 행주지점에서 가장 높게 나타났으며, chlorophyll-a와 T-P사이에서는 r = 0.329~ 0.725의 상관성을 나타냈다. 특히 식물플랑크톤의 광합성 최적온도는 종과 분류군에 의해 상당히 차이가 있지만 규조류가 낮고 녹조류와 남조류가 높은 경향이 있으며,[8,13] 한강에 출현하는 식물플랑크톤은 수체의 계절적인 온도변화에 적응하여 저온기 및 고온기에 규조류 → 녹조류 → 규조류의 순환을 반복하면서 chlorophyll-a 농도를 나타내고 있는 것으로 알려져 있다.

한편 한강은 이미 부분적으로 높은 식물플랑크톤의 농도변화를 나타내고 있으며 T-N, T-P 등 영양염류 및 일조시간, 수온의 계절적인 변동과 수중보 및 조수의 영향으로 수체의 체류시간이 갈수기에 길어지는 요

인 등으로 국지적인 녹조현상이 발생하는등 식물성플랑크톤의 성장에 알맞은 다수의 환경조건이 존재하므로 한강의 영양단계에 대한 수질관리는 팔당 방류량, 한강으로 부하되는 영양염류 유입원 및 그 농도에 따른 chlorophyll-a의 농도등에 대한 종합적인 검토와 대책이 수립되어야 할 것으로 판단된다. 이와같이 한강은 하천의 수리특성상[14] 정체수역과는 특성의 차이가 있어 호소의 영양단계를 기준으로 하천의 부영양화를 판단하는 것은 현 상태에서는 의미가 없으므로 하절기 chlorophyll-a 농도를 예측하기 위한 예측 가능성 규명, 팔당댐 방류량과 chlorophyll-a 농도와의 상관관계등을 중심으로 기후 및 수체의 수리학적인 특성 등을 종합하여 한강에 대한 영양단계 판정기준 설정과 이에 알맞는 수질정책을 수립하여 지속적인 수질개선에 노력을 해야될 것으로 사료된다.

結　論

1999년 1월부터 12월까지 조사기간동안 한강의 영양염류에 대한 조사결과는 다음과 같다.

1. 영양염류의 농도는 T-N은 1.750 ~ 9.095 (평균 4.761) mg/*l* 및 T-P 는 0.040 ~ 0.665 (평균 0.188) mg/*l* 를 보였다.
2. chlorophyll-a 는 0.1 ~ 48.0 (평균 13.1)㎎/㎥로 '98년보다 크게 증가하였다.
3. T-P농도와 chlorophyll-a농도 사이에서는 r = 0.329 ~ 0.725의 상관성을 나타냈다.
4. 팔당댐 방류량과 chlorophyll-a 농도 사이에는 각 지점별로 r = -0.461 ~ -0.587 의 역상관성을 나타냈다.

參 考 文 獻

1. 서울특별시 : 한강생태조사연구. p. 233, (1994).
2. 이시진,윤세의,박석순 : 수질모형과 관리. 동화기술. p.383, (1993).
3. 한강관리사업소 : 한강, (1994).
4. 기상청 : 기상월보. 12, (1998).
5. 류재근 : 담수생태계 보존대책(우리나라 호소수질의 현황과 보전전략). '93공 동심포지움 한국생태학회, 한국육수학회, p.104, (1993).
6. Jack Edward Mckee and Harold W. Wolf : Water Quality Criteria. California state printing office, 2nd Ed, 181, (1971).
7. 주기재 : 낙동강 생태연구. 금정, p.150, (1995).
8. 김좌관 : 수질오염개론. 동화기술, p.194, (1993).
9. 서울특별시 : 한강생태계조사연구보고서, (1990).
10. 조규송, 강인구, 권오길, 김범철, 나규환, 안태석, 이종범, 이찬기, 이해금, 전상수, 최준길 : 호수환경조사법, 동화기술, p.321, (1991).
11. 최영길, 한명수, 안태영, 곽노태 : 담수의 부영양화, 신광문화사, p.194, (1995).
12. 이인선 : 상수원 조류에 의한 이취미 발생, 첨단환경기술, 6(8):8-9, (1998).
13. 정종흡 : 한강의 부영양화에 대한 고찰, 서울시보건환경연구원, p.264, (1996).
14. 김미호 : 댐, 저수지(연초호)의 부영양화 모형의 비교연구, 한양대학교환경과 학대학원석사학위 논문, p.21, (1989).
15. 西澤一俊,千原光雄 : 藻類研究法, 共立出版(株), p.448, (1979).
16. 김범철, 박주현, 황길순, 최광순 : 호소의 부영양화에 관한 한·일 세미나, 수질보전학회, 39, (1996).
17. 이현동,유형렬,김원만 : 생물학적 질소 및 인 제거법에 관한 연구, 대한위생학 학회지, 12:(48), (1992).
18. 岩佐義朗 : 湖沼工學, 壯光舍印刷(株), p.224, (1990).