

漢江의 富營養化에 대한 調査研究

申正植 · 鄭鍾洽 · 羅圭煥 *

서울시보건환경연구원 · *연세대학교 환경과학과

The Investigation of the Han River Eutrophication

Jung-Sik Shin · Jong-Heub Jung · Kyu-Hwan Ra

Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment

**Department of Environmental Science, Yonsei University*

Abstract

Most river quality problems are generated by pollutants which are discharged into the river as a consequence of human activities. And 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 concerned in lakes, but it also causes problems in river.

Wide growth of Phytoplankton 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 animals die due to lack of oxygen. The increase of algae floating on the tops of water 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, nutrients and Chlorophyll-a concentration in the Han River.

The results were as follows :

1. Concentrations of total nitrogen were 2.208~9.221(5.133)mg/ℓ.
2. Concentrations of total phosphate were 0.045~0.614(0.195)mg/ℓ.
3. Chlorophyll-a concentration were 0.0~25.3(9.6)mg/m³.
4. The correlation coefficient between T-P and Chlorophyll-a concentration was $r = -0.586$ at Sungsan sampling site.
5. The correlation coefficient was $r = -0.578 \sim -0.767$, between Paldang Dam outflow and Chlorophyll-a concentration at all sampling sites

I. 序 論

호소에서 발생하는 부영양화 현상은 최근 들어 하천에서도 수질문제로 자주 발생하고 있으며 수역 이용에 많은 지장을 초래하고 있다.

이와 같은 지장의 정도는 사람의 수역 이용에 따라 크게 달라지고 지역사회의 특수성을 반영하여 지역에 따라서도 달라질 수 있다. 한강은 일천만 수도권 인구의 식수 공급원 및 수상레저 공간 제공원으로서 절대적으로 필요하며 또한 서울 600년의 역사는 한강의 역사라 해도 과언이 아닐 정도로 서울과 한강은 밀접한 관계를 유지하여 왔다.

이에 따라 한강은 식수원으로서의 중요성뿐만 아니라 서울시민들에게 쾌적한 휴식 및 레저 공간의 제공, 철새도래지로서의 생태학적 측면 등에서 양호한 수질이 유지되도록 관리되어야 할 필요가 있으며 특히 한강 강변의 10개소에 이르는 시민공원 지구의 조성¹⁾ 따른 시민들의 한강 접근성 향상은 이의 필요성을 더욱 증가시키고있다.

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 부영양화

의 가능성이 높아지고 있는 실정이다.

기후 특성상 서울지역의 10년간 년평균 강수량은 1350mm로 전 세계의 년평균 강수량에 비하면 적은 양은 아니지만 전 강수량의 70% 이상이 6~9월에 집중되고 있어 나머지 기간동안 한강유지수의 대부분은 상류에 위치하고 있는 댐수, 특히 팔당댐 방류수에 크게 의존하고 있어 주기적으로 갈수기에 수질이 악화될 우려가 있다.

이런 한강이 4계절 시민들에게 보다 친숙한 공간이 되도록 하려면 한강에 대한 영양염류의 저감 등 오염도 저감대책수립으로 좀더 맑고 깨끗한 수질유지를 위한 관리목표 설정이 필요하다.

본 조사는 한강의 영양염류 농도를 조사하여 한강의 영양상태 파악 및 이들과 연계된 팔당댐 방류량과의 관계 분석 등 향후 한강의 수질개선 방향을 모색해 보고자하였다.

II. 調査對象 및 方法

漢江의 잠실수중보에서 신곡수중보사이 총 7개 지점에서 98년 1월부터 12월까지 월 2회 시료를 채취하여 수온, 용존산소 및 pH는 현장 측정하고 기타 항목은 실험실로 운반하여 수질환경오염공정시험법에 의해 분석을 실시하였다.

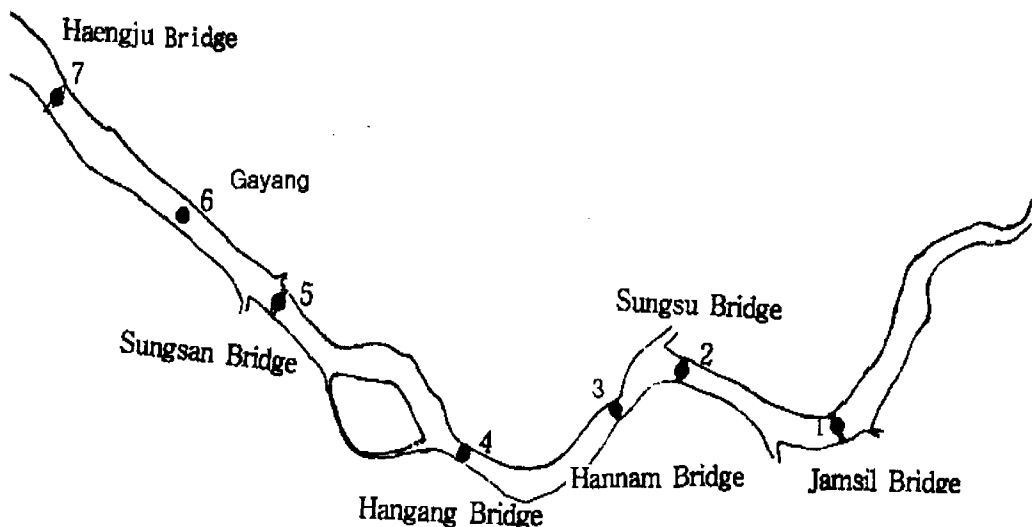


Fig. 1. Sampling sites in the Han river.

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

와 같다.⁴⁾

Table 1.에서 '98년 서울지역의 년 평균기온은 13.8℃로 Table 2.의 과거 10년간 평균기온 12.6℃ 및 '97년 평균기온인 12.9℃보다 높았다. 년간 강수량은 2349.1mm로 과거 10년간 평균강수량 1357.0mm 및 지난해의 년 강수량 1210.2mm에 비해서 1000mm 많이 내렸으며 '97년과 달리 8월에 강우

Ⅲ. 結果 및 考察

조사기간중 서울지역의 기후 특성은 Table 1, 2

Table. 1 Weather condition of Seoul in sampling periods.(1998)

Item Month	Temperature (℃)	Annual Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)	Evaporation (mm)
1	-1.4	10.4	2.4	59	43.8
2	3.3	32.3	2.4	59	53.1
3	7.3	45.1	2.8	58	90.2
4	15.6	120.2	2.2	65	102.6
5	19.0	121.5	2.2	59	144.3
6	21.9	234.1	2.1	67	128.0
7	24.9	311.8	2.5	74	12.3
8	25.0	1237.8	2.0	78	100.6
9	23.0	177.9	1.8	70	113.4
10	17.0	27.4	1.9	67	90.4
11	7.3	26.9	2.2	61	54.2
12	2.3	3.7	2.2	59	
SUM		2349.1			932.9
Average	13.8	195.8	2.2	65	84.8
Maximum	25.0	1237.8	2.8	78	144.3
Minimum	-1.4	3.7	1.8	58	12.3

Table 2. Weather condition of Seoul in last 10 years.(1988 - 1997)

Item Year	Temperature (℃)	Annual Precipitation (mm)	Wind Speed (m/s)	Relative Humidity (%)
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	1454.9	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
97	12.9	1210.2	2.3	62
Average	12.6	1357.0	2.4	65
Maximum	13.5	2355.5	2.6	71
Minimum	12.0	760.8	2.2	61

가 집중되어 연간 강수량의 약 53%를 차지하는 집중호우의 형태였으며 연간 강수량이 2000mm를 넘는 경우는 지난 '90년에 이어 10년만의 현상이었다. 년평균 상대습도는 65%로 '97년도의 62%보다 높았고 과거 10년 평균 65%와 같았다. 이와 같이 '98년 서울지역의 기후는 '97년보다 온도, 습도가 높고 강수량도 많은 무더운 기후였던 것으로 나타났다.

한강 하류지역의 수질에 커다란 영향을 미치는 '98년 팔당댐의 방류량은 Fig. 2와 같이 예년보다 많아진 강수량 때문에 특히 7, 8월에 방류량이 크게 증가하였으며 년 평균 방류량도 크게 증가하여 년 평균 713CMS로 지난해의 년 평균 464CMS보다 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.⁹⁾

조사기간 중 수중 용존산소(DO) 농도는 4.7~14.7(평균 10.0)mg/ℓ로 '97년도의 년 평균 9.2mg/ℓ보다 증가하였으며 Fig.3과 같이 잠실지점을 제외한 6개 조사지점에서 8월의 최대 강우기 뒤를 이어 연중 최고수온을 나타냈던 9월에 최저농도(평균 6.2mg/ℓ)를 나타냈으나 US EPA에서 언급하고 있는 물고기 생존을 위한 최저 DO농도 5.0mg/ℓ 이하로⁷⁾ 내려간 경우는 없었으며 DO농도 수준은 '97년도보다 전반적으로 좋아졌다.

대기압 760mmHg, 산소 20.9%인 수증기 포화

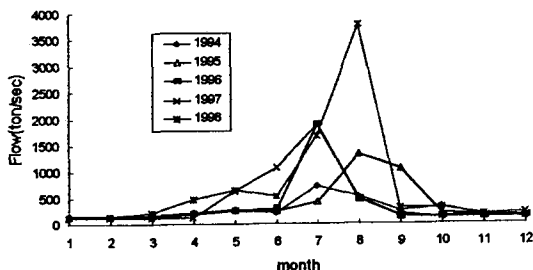


Fig. 2. Monthly discharge of Paldang Dam.

대기중 순수한 물속의 포화 DO농도를 기준으로 한 각 측정지점의 수중 DO포화도는 Fig. 4와 같이 113.1~56.1(평균 93.8)%로 '97년도의 년 평균 88.8%보다 높아졌으며 잠실, 성수지점은 지난해와 같이 년중 과포화 상태였다.

일반적으로 하천의 용존산소는 대기중에 존재하는 산소의 수표면 재포기 작용으로 유지되지만 부분적으로 조류의 光合成作用에도 영향을 받아 과포화될 수도 있으므로^{3), 8)} 잠실, 성수지점의 연중 과포화된 수중 DO농도는 이들 조류의 영향과 잠실수중보 율류에 의한 수표면 산소전달을 증가의 영향 때문으로 추측되며 8월에 집중되어 내린 강우의 영향으로 조류농도가 낮아지고 수온이 년중 최고치를 나타내는 9월에 한강하류를 중심으로 포화도가 내려가는 현상이 '97년에 이어 계속 나타났다.

한편 하천생태계에서 질소와 인의 유입은 강우와 식생에서의 유출물, 그리고 인구증가에 따른 인간활동의 증가에 의해 이루어지게 되는데 수체내의 영양단계를 나타내는 지표는 T-N, T-P와 같

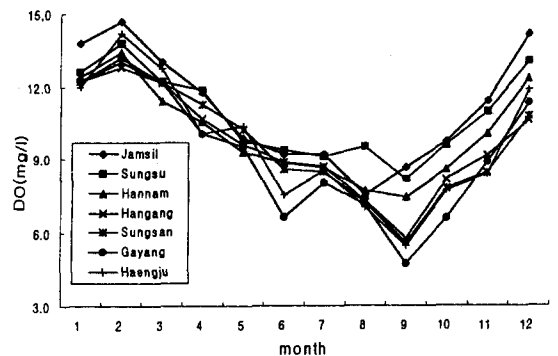


Fig. 3. Variation of DO by sampling sites.

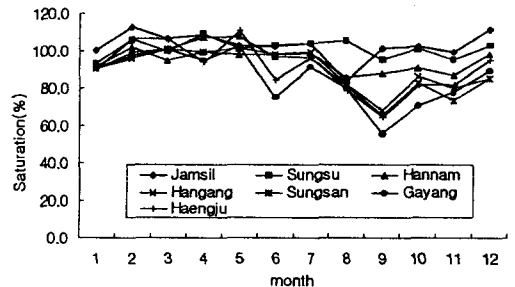


Fig. 4. Variation of DO by saturation by sampling sites.

은 영양염류, 식물성플랑크톤의 농도 등 여러 자료들에 의해 부영양화 판정기준이 제시되고 있지만⁶⁾ 본 조사결과에서 나타난 영양염류의 농도는 Table 3, 4와 같이 T-P: 0.045~0.614(평균 0.195)mg/ℓ 및 T-N: 2.208~9.221(평균 5.133)mg/ℓ로 '97년의 평균 T-P: 0.277mg/ℓ 및 T-N: 6.698mg/ℓ에 비해 농도가 다소 감소하였다.

그러나 이것은 평년에 비해 유난히 많았던 강우의 영향이 컸던 것으로 T-P농도는 1월부터 5월까지 낮아지는 추세를 보이다가 집중강우기 이후 9월부터는 성수지점보다 하류지점에서의 농도가 급격히 증가하여 예년의 높은 농도를 유지하였다. 잠실지점에서 T-P농도는 다른 6개 측정지점의 T-P농도보다 현저히 낮게 나타나 한강의 T-P농도는 잠실수중보 하류에서 유입되는 오염원에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

일반적으로 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 비례하는 것으로 알려져 있지만⁹⁾ T-P의 농도가 높아져 0.05~0.1mg/ℓ 이상이 되면 Chlorophyll-a 농도는 T-P 농도에 비례하여 증가하지 않게 되는데 조사기간 중 한강에서는 T-P의 농도가 0.05mg/ℓ 이상으로 높은 상태를 유지하므로 일반 호소수에서와 같이 T-P의 농도가 더 이상 식물성플랑크톤의 성장을 제한하는 한계인자로서의 기능이 약화되었다. 따라서 한강에서는 오히려 식물성플랑크톤의 성장제한요소로 작용하는 것은 빛과 체류시간인 것으로 생각된다.^{7), 11)}

한편 T-N의 농도는 8월에 대부분의 지점에서

Table 3. Concentrations of T-P by sampling sites.

									(unit : mg/ ℓ)	
Sites Month	Jamsil	Sungsu	Hannam	Hangang	Sungsan	Ganyang	Haengju	Average	Maximum	Minmum
1	0.068	0.172	0.206	0.330	0.303	0.408	0.414	0.272	0.414	0.068
2	0.076	0.200	0.255	0.325	0.331	0.336	0.360	0.269	0.360	0.076
3	0.075	0.140	0.121	0.207	0.234	0.239	0.241	0.180	0.241	0.075
4	0.064	0.088	0.201	0.192	0.205	0.239	0.217	0.172	0.239	0.064
5	0.056	0.055	0.076	0.090	0.095	0.126	0.109	0.087	0.126	0.055
6	0.058	0.073	0.159	0.117	0.146	0.356	0.231	0.163	0.356	0.058
7	0.058	0.059	0.108	0.071	0.119	0.127	0.220	0.109	0.220	0.058
8	0.077	0.305	0.149	0.089	0.100	0.092	0.309	0.160	0.309	0.077
9	0.058	0.070	0.159	0.201	0.215	0.227	0.203	0.162	0.227	0.058
10	0.076	0.151	0.263	0.216	0.228	0.537	0.210	0.240	0.537	0.076
11	0.045	0.061	0.230	0.244	0.242	0.237	0.614	0.239	0.614	0.045
12	0.066	0.127	0.427	0.392	0.330	0.281	0.371	0.285	0.427	0.066
Average	0.065	0.125	0.196	0.206	0.212	0.267	0.292	0.195		
Maximum	0.077	0.305	0.427	0.392	0.331	0.537	0.614		0.614	
Minmum	0.045	0.055	0.076	0.071	0.095	0.092	0.109			0.045

Table 4. Concentrations of T-N by sampling sites.

(unit : mg/ℓ)

Sites Month	Jamsil	Sungsu	Hannam	Hangang	Sungsan	Ganyang	Haengju	Average	Maximum	Minnum
1	3.874	4.666	5.175	5.328	5.842	5.774	5.904	5.223	5.904	3.874
2	3.677	5.821	6.522	7.110	7.520	7.756	8.445	6.693	8.445	3.677
3	2.738	5.606	4.474	5.723	5.793	6.026	6.195	5.222	6.195	2.738
4	2.981	3.828	7.102	6.043	5.113	5.458	5.670	5.171	7.102	2.981
5	2.734	2.705	2.706	3.722	3.303	4.431	3.973	3.368	4.431	2.705
6	4.185	4.032	4.692	4.394	4.572	6.799	5.323	4.857	6.799	4.032
7	4.052	4.232	4.823	4.673	4.490	4.602	4.522	4.485	4.823	4.052
8	2.246	2.429	2.208	2.429	2.880	3.057	5.649	2.985	5.649	2.208
9	2.719	3.440	5.275	4.291	4.322	7.816	5.115	4.711	7.816	2.719
10	3.289	3.419	5.175	5.083	5.698	8.869	6.725	5.465	8.869	3.289
11	4.351	4.951	6.576	6.890	6.183	6.363	9.221	6.362	9.221	4.351
12	3.312	5.549	7.222	8.589	8.110	8.025	8.568	7.054	8.589	3.312
Average	3.346	4.223	5.162	5.356	5.319	6.248	6.276	5.133		
Maximum	4.351	5.821	7.222	8.589	8.110	8.869	9.221		9.221	
Minnum	2.246	2.429	2.208	2.429	2.880	3.057	3.973			2.208

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 영양염류의 농도 이외에도 다른 인자의 작용이 필요하며 영양염류의 농도가 높다고 해서 반드시 조류의 증식이 많다고 볼 수 없으며 온도의 계절적 변화, 느린 유속 등 주변환경이 조류증식에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 식물성플랑크톤의 광합성 최적온도는 종과 분류군에 의해 상당히 차이가 있지만 규조류가 낮고 녹조류와 남조류

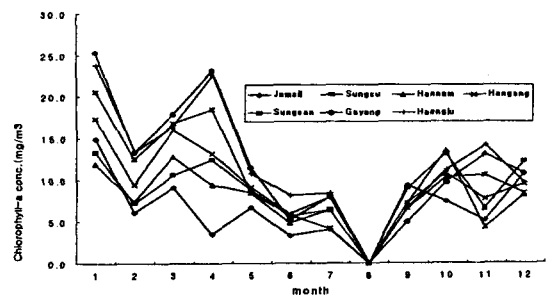


Fig. 5. Variation of Chlorophyll-a by sampling sites.

가 높은 경향이 있다.⁸⁾

한강에 출현하는 식물성플랑크톤은 수체의 계절적인 온도변화에 적응하여 저온기 및 고온기에 규조류 → 녹조류 → 규조류의 순환을 반복하면서 Chlorophyll-a 농도를 나타내고 있는 것으로 알려져 있다.

'98년 Chlorophyll-a의 년 평균농도는 '97년도의

15.4mg/m³보다 크게 감소한 년 평균 9.6mg/m³로 나타났다.

이는 '98년에는 '97년보다 많았던 팔당방류량과 '97년보다 적어진 일조시간 및 수평면일사량으로 한강에서의 조류성장조건이 '97년보다 악화되었기 때문인 것으로 생각된다.

Chlorophyll-a 농도는 체류시간이 가장 중요한 요소로 작용하여 체류시간이 짧은 우기에는 떠내려가는 효과에 의해 식물성플랑크톤의 농도가 감소하고 갈수기에 농도가 높아지는 경향이 있어 Fig. 5와 같이 비교적 저온기인 1월 ~ 3월에 걸쳐 높은 농도를 보이던 Chlorophyll-a 농도가 집중 강우기인 8월에는 보이지 않았으나 상류보다 수질오염도가 높은 성산지점 하류를 중심으로 11월까지 Chlorophyll-a 농도가 높아졌다.

조사기간중 년간 팔당댐 방류량과 각 지점별 년간 Chlorophyll-a 농도사이에는 $r = -0.578 \sim -0.767$ 의 역상관성을 나타냈다.

7개 조사지점 별 년 평균 수중 DO농도와 Chlorophyll-a 농도 사이의 상관성은 잠실($r=0.599$), 성수($r=0.398$), 한남($r=0.400$), 한강($r=0.692$), 성산($r=0.729$), 가양($r=0.707$) 및 행주($r=0.575$)로 성산지점에서 가장 높게 나타났으며 Chlorophyll-a와 T-P사이의 상관성은 Chlorophyll-a 농도와 DO농도 사이의 상관성이 가장 높게 나타난 성산지점에서($r = 0.586$) 가장 높게 나타나 성산지점이 조사구간 중 조류의 영향을 가장 많이 받는 곳으로 나타났다.

이와 같이 한강은 계절적으로 많은 식물성플랑크톤의 농도변화를 나타내고 있으며 T-N, T-P 등 영양염류 및 일조시간, 수온의 계절적인 변동과 수중보 및 조수의 영향으로 수체의 체류시간이 갈수기에 길어지는 요인 등으로 식물성플랑크톤의 성장에 적당한 다수의 환경조건이 존재하며 특히 성산지점 하류구간에서 한강의 수리특성에 따른 유속의 저하, 조수의 영향 등으로 Chlorophyll-a의 농도가 높아지는 특성을 나타내므로 한강으로 부하되는 영양염류 유입원에 대한 근본적인 차단 및 팔당방류량에 의한 적절한 유량조절로 한강 하류부근 Chlorophyll-a농도에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다.

IV. 結 論

1998년 1월부터 12월까지 조사기간동안 한강의 영양염류에 대한 조사결과는 다음과 같다.

1. 영양염류의 농도는 T-N: 2.208~9.221(평균5.133) mg/ℓ 및 T-P: 0.045~0.614 (평균0.196)mg/ℓ 를 보였다.
2. Chlorophyll-a: 0.0 ~ 25.3(평균 9.6)mg/m³로 강우의 영향으로 지난해보다 크게 감소하였다.
3. T-P농도와 Chlorophyll-a농도 사이에는 성산지점에서 $r = 0.586$ 으로 조사구간중 가장 높은 상관성을 나타냈다.
4. 팔당댐 방류량과 Chlorophyll-a 농도 사이에는 각 지점별로 $r = -0.578 \sim -0.767$ 의 역상관성을 나타냈다.

參 考 文 獻

1. 한강관리사업소: 한강, 1994.
2. 이인선: 상수원 조류에 의한 이취미 발생, 첨단 환경기술, 6(8),8-9, 1998.
3. 주기재: 낙동강 생태연구, 금정, 150, 1995.
4. 기상청: 기상월보, 12, 1998.
5. 정종흡: 한강의 부영양화에 대한 고찰, 서울시 보건환경연구원, 264, 1996.
6. 서울특별시: 한강생태조사연구, 233, 1994.
7. Jack Edward McKee and Harold W. Wolf: Water Quality Criteria, California state printing office, 2nd Ed, 181, 1971.
8. 김좌관: 수질오염개론, 동화기술, 194, 1993.
9. 류재근: 담수생태계 보존대책(우리나라 호소수질의 현황과 보전전략), '93공동심포지움 한국생태학회, 한국육수학회, 104, 1993.
10. 崔榮占, 韓明洙, 安泰永, 郭魯泰: 담수의 부영양화, 신평문화사, 194, 1995.
11. 서울특별시: 漢江生態系調査研究報告書, 1990.
12. 曹圭松, 姜寅求, 權伍占, 金凡徹, 羅圭煥, 安泰晚, 李種範, 李燦基, 李海金, 全相洙, 崔俊吉: 湖水 環境調査法, 동화기술, 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, 한양대학교환경과학대학원석사학위

- 논문, 21, 1989.
14. 西澤一俊, 千原光雄 : 藻類研究法, 共立出版(株), 448, 1979.
15. 김범철, 박주현, 황길순, 최광순 : 호소의 부영양화에 관한 한·일 세미나, 국립환경연구원, 수질보전학회, 39, 1996.
16. 이시진, 윤세의, 박석순 : 水質模型과 管理, 東和技術, 383, 1993.
17. 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.
18. 岩佐義朗 : 湖沼工學, 壯光舎印刷(株), 224, 1990.