

## 漢江의 富營養化에 대한 考察

環境生態科

鄭鍾洽·李忠彦·金洪濟·李尙壽·李鍾賢·李相一·李廣植  
安慶洙·金斗來·尹豪均·吳炫晶·朴後慶·許美淑·金賢相·申正植

### The Investigation of Eutrophication the Han River

*Division of Environment Ecology*

Jong Heub Jung, Chung Eon Lee, Hong Je Kim, Sang Su Lee, Jong Hyun Lee, Sang  
Ill Lee, Kwang Sik Lee, Kyung Soo Ann, Doo Rae Kim, Ho Kyun Lyun, Hyun Jung  
Oh, Hu Kyung Park, Mi Suk Heo, Hyun Sang Kim and Jung Sik Sin

#### = 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 the trophic state of the Han River.

The results were as follows :

1. Concentrations of total nitrogen were 2.084~12.069(6.454)mg/l, that belonged to eutrophy.
2. Concentrations of total phosphorus were 0.049~0.575(0.257)mg/l, that belonged to eutrophy.
3. Chlorophyll-a concentrations were 1.2~14.2(6.7)mg/m<sup>3</sup> at all sampling sites and high concentrations were found summer season.
4. There was found high correlation between spring T-P concentration and summer Chlorophyll-a concentration.
5. The N/P ratio was 25.

#### 緒 論

富營養化에 대한 문제는 1940년대와 1950년대에 걸쳐 여러 과학협회에 널리 인식되기 시작하여 1960년대에는 그

관리기술이 발전되면서 유기오염의 악영향과 연관되어 수질 오염의 중요한 문제로 인식되었다.

부영양화가 오늘날 사회적 문제로 되어 있는 것은 수역 이용에 지장을 초래한다는 사실이다. 그러나 그 지장의 정

도는 사람의 수역이용 목적에 따라 크게 달라지고 지역사회의 특수성을 반영하여 지역에 따라서도 달라질 것이다. 특히 한강은 일천만 수도권인구의 식수 공급원으로서 서울 500년의 역사는 한강의 역사라 해도 과언이 아닐 정도로 서울과 한강은 밀접한 관계를 유지하여 왔다. 이러한 한강이 관통하고 있는 서울지역의 년평균강수량은 1250mm로 전 세계의 연평균 강수량에 비하면 적은 양은 아니지만 전 강수량의 70% 이상이 6~9월에 집중되고 있어 나머지 기간 동안 한강 유지수의 대부분은 상류에 위치하고 있는 댐수 특히 팔당댐 방류수에 크게 의존하고 있다. 특히 수도권 상수원수의 취수가 팔당댐부터 잠실수중보 사이에서 집중적으로 이루어지고 있으나 그 상류지역에 들어서기 시작한 수많은 숙박시설, 음식점등의 위락시설이 과거 농수축산에 의한 주 오염원과 더불어 생활하수등의 부가적인 오염원으로 작용하여 식수원으로서의 한강수질을 악화시키는 요인이 되고 있다. 한편 원수의 수질관리는 환경정책기본법에 설정되어 있는 환경기준을 적용하여 국민의 건강을 보호하고 쾌적한 환경을 유지하기위하여 어느 지역이 환경기준에 초과되었을 때 정부에서는 그 원인을 파악하고 오염방지대책을 수립하여 환경기준이 유지되도록 하고 있다. 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

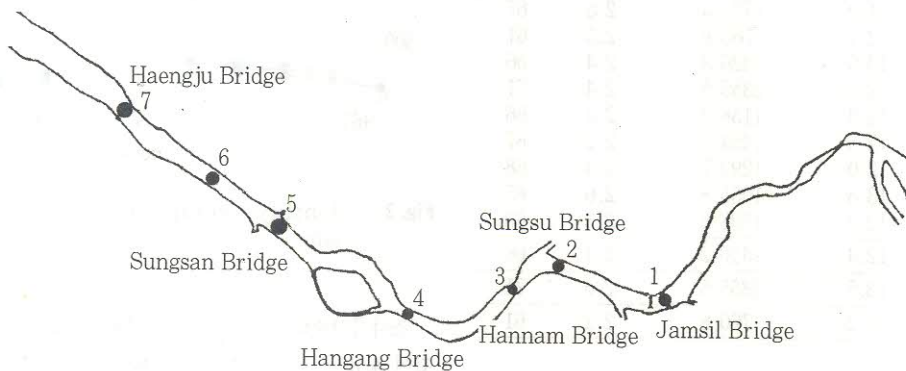
필요성을 더욱 증가시키고 있다. 그러나 현재의 한강은 갈수기, 강우기, 하절기 및 조수간만에 따라 물의 색깔이 흙갈색, 황토색, 녹색 및 회색 등으로 변하여 년중 맑고 푸른 강물을 나타내는 시기가 거의 없어 시민들의 친수적 환경을 악화시키는 그저 흘러만 가는 항시 오염된 수계로 인식되고 있는 실정이다. 이러한 한강을 시민들에게 보다 친숙한 공간이 되도록 하려면 한강에 대한 오염도 저감과 영양염류의 저감 및 제거대책수립 등 좀더 맑고 깨끗한 수질유지를 위한 관리목표 설정이 필요하다.

본 조사는 항상 낮은 투명도를 나타내는 원인중의 하나가 될 수 있는 한강의 영양염류, Chlorophyll-a 농도를 조사하여 한강의 영양상태 파악 및 향후 한강의 수질개선방향을 모색해 보고자 실시하였다.

### 調查對象 및 方法

漢江의 잠실수중보에서 신곡수중보사이 총 7개 지점에서 96년 1월부터 12월까지 월 2회 시료를 채취하여 수온, 용존산소 및 pH는 현장 측정하고 기타 항목은 실험실로 운반하여 수질환경오염공정시험법에 의해 분석을 실시하였다.

주 조사항목은 수온, 용존산소, pH, 영양염류(총인, 총질소) 및 Chlorophyll-a로 하였으며 채수지점은 그림 1과 같다.



sampling No.	1	2	3	4	5	6	7
sampling site	Jamsil	Dugdo	Bokwang	Noryang Jin/Youngdeungpo	Kayang	Haengju	

Fig. 1. Sampling sites in the Han river.

## 結果 및 考察

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

**Table 1** Weather condition of Seoul in sampling periods. (1996)

Month/Item	Temp. (°C)	Prec. (mm)	W.S(m/s)	R.H(%)
1	-2.2	16.3	2.4	51
2	-1.6	1.0	2.7	47
3	4.9	77.9	2.7	54
4	10.2	62.0	3.0	52
5	18.4	29.3	2.2	58
6	22.3	249.7	1.9	75
7	24.4	512.8	1.9	76
8	26.0	132.4	1.7	73
9	22.0	11.0	1.8	66
10	14.5	90.3	2.0	63
11	6.2	62.9	2.2	64
12	1.6	11.0	2.2	59
SUM		1256.6		
AVG	12.2	104.7	2.2	62
MAX	26.0	512.8	3.0	76
MIN	-2.2	1.0	1.7	47

**Table 2.** Weather condition of Seoul in last 10 years. (1986~1995)

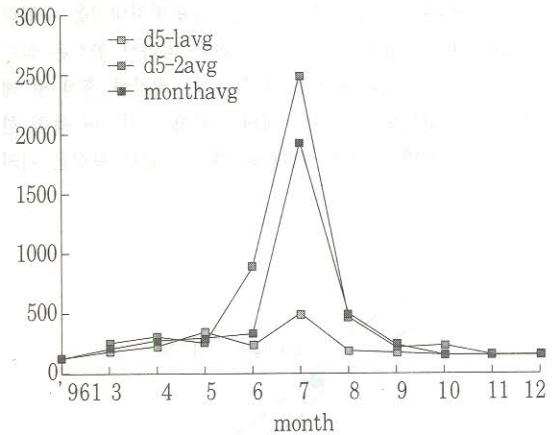
Year/Item	Temp. (°C)	Anua. Prec. (mm)	W.S(m/s)	R.H(%)
86	11.2	1247.4	2.4	69
87	11.9	1751.4	2.5	67
88	12.1	760.8	2.5	61
89	13.0	1426.3	2.4	66
90	12.8	2355.5	2.4	71
91	12.3	1158.2	2.3	66
92	12.5	1454.9	2.2	67
93	12.0	1292.7	2.4	68
94	13.5	1055.8	2.6	65
95	12.2	1598.6	2.3	63
AVG	12.4	1410.2	2.4	66
MAX	13.5	2355.5	2.6	71
MIN	11.2	760.8	2.2	61

'96년 서울지역의 년평균 氣溫은 12.2°C로 표 2의 과거 10년간 평균기온은 12.4°C와 비슷하였다. 년간 降水量은 1256.6mm로 과거 10년간 평균강수량 1410.2mm에 비해 약 150mm 적게 내렸으며 지난해에 비해서는 340mm이상 적게 내린 것으로 조사되었다. 강우는 6~8월에 집중(집중도 71.2%)되었으며 8월 이후에는 강수량이 적어져 9~12월의 4개월간 강수량은 년간 강수량의 15%에 그쳤다.

년평균 相對濕度는 62%로 전년도의 63%와 비슷하였고 과거 10년 평균 66%보다는 낮아 예년과 같이 건조했던 것으로 나타났다. 이와 같이 서울지역의 기후는 온도, 습도 등은 지난해와 큰 차이가 없는 것으로 나타나 주기적으로 하절기에 내리는 집중강우 및 년간 강수량이 한강의 오염도에 가장 많은 영향을 주는 것으로 나타났으며, 따라서 일단 부영양화등 수질에 악영향을 미치는 현상이 발생하면 기후 특성상 매년 주기적으로 반복될 가능성이 높을 것으로 추측된다.

한편 漢江 하류지역은 팔당댐의 放流量에 따라 수질이 영향을 받게 되며 방류량이 많아지면 대체적으로 오염물질에 대한 희석효과를 나타내 오염물질농도가 다소 낮아지는 효과가 있는 것으로 보고되고<sup>2)</sup> 있으며 그림 2와 같이 시료 채취일을 전후로 한 조사기간동안의 년평균 팔당 방류량은 358CMS로 나타났으며 강수량의 영향으로 7월부터 8월까지의 방류량이 평균 1192CMS로 연중 가장 많았다.

Discharge(ton/sec)



**Fig. 2.** Monthly average discharge of Paldang Dam.

조사기간중의 수중 용존산소(DO)농도는 그림 3에서와 같이 4.3 ~ 15.7(평균 9.3)mg/l로 전년과 비슷하였으며 美國 環境處에서 수중생태계 보호를 위해 설정한 최저 DO농도 5.0mg/l 이하로4) 낮아진 경우는 가양, 행주지점에서 8~10월에 걸쳐 4회로 나타나 지난해의 2회와 큰 차이가 없었다.

대기압 760mmHg, 산소 20.9%인 수증기 포화 대기중 순수한 물속의 포화 DO농도를 기준으로 한 각 측정지점의 수중 DO포화율은 129.1 ~ 50.1(평균 91.9%)로 지난해

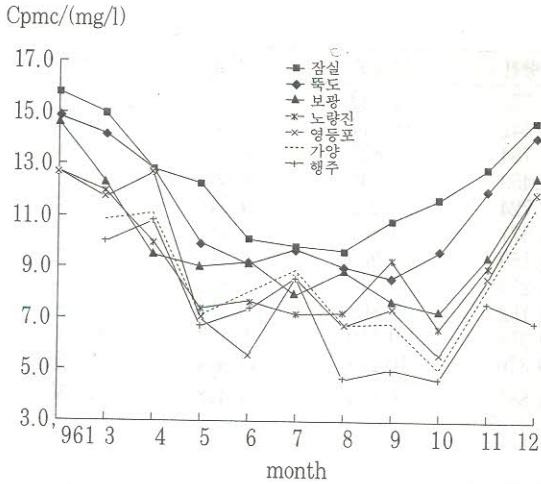


Fig. 3. Variations of DO by sampling sites.

에 이어 계속 높아졌으며 잠실, 뚝도지점은 지난해와 같이 년중 과포화 상태에 있었다.

일반적으로 하천의 높은 용존酸素는 대기중에 존재하는 산소에 의한 재포기 작용으로 유지되지만 부분적으로 조류의 光合作用에도 영향을 받아 과포화될 수도 있으므로<sup>7)</sup> 잠실, 뚝도 지점의 연중 과포화된 수중 DO농도는 이들 조류의 영향 때문으로 추측할 수 있으며 온도와 수중 DO농도는 보편적으로 역상관관계를 나타내나 그림 4와 같이 고온기인 7 ~ 9월에 오히려 전 측정지점의 평균 수중 DO포화율이 93 ~ 101%에 이를 정도로 수중 DO농도가 높게 나타나는 현상은 이때가 조류의 최대 성장기인 점을 감안할 때 한강에서 조류의 대량증식에 의한 수질장애 현상이 발생할 가능성까지를 내포하고 있다.

행주지점의 수중 DO농도와 chlorophyll-a농도 사이에는 상관계수 0.735로 전 측정지점중 가장 높은 상관성을 나타냈다.

수체내의 營養단계를 나타내는 指標는 T-N, T-P와 같은 영양염류, 植物性플랑크톤의 농도 등으로 서울특별시(1990)의 漢江生態系調査研究報告書에는<sup>10)</sup> 한강에 대한 富營養化 判定 基準을 T-N : 200mg/m<sup>3</sup>, T-P : 20mg/m<sup>3</sup>, chlorophyll-a : 10mg/m<sup>3</sup>로 제시한 바 있다.

이를 토대로 본 조사결과에서 나타난 영양염류의 농도는 표 3, 4와 같이 T-P : 0.049 ~ 0.575(0.258)mg/l 및 T-N : 2.084 ~ 12.069(6.454)mg/l로 지난해의 T-P : 0.219mg/l 및 T-N : 4.644mg/l에 비해 년평균 농도가 증가하였으며 여전히 위에서 언급한 부영양화기준을 초과하고 있는 상태이다. 이는 지난해보다 적었던 강수량을 감안

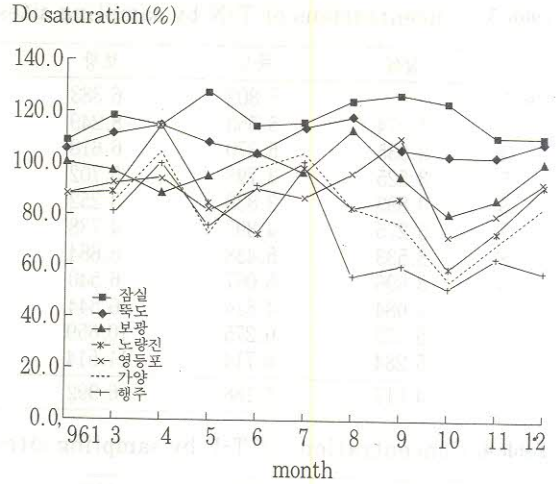


Fig. 4. Variations of DO Saturation by sampling sites.

하더라도 이들 영양염류 농도의 지속적인 증가는 근본적으로 한강에의 영양염류 유입원에 대한 개선이 거의 없었음을 시사하고 있다. T-P농도는 강수가 많았던 7, 8월 이후 농도가 증가하였으며 T-N은 겨울에서 봄철에 이르기까지 갈수기에 농도가 높아 이들 두 물질들에 대한 관리대책은 별도로 설정되어야 할 것으로 보인다.

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-P농도에 비례하여 증가하지 않고 일정한 상태를 유지하게 된다.<sup>11)</sup>

그런데 한강은 이미 전 측정지점에 걸쳐 년중 T-P의 농도가 높은 상태이므로 Chlorophyll-a와 T-P사이의 상관성은 T-P농도가 낮은 일반 담수에서와 같이 높은 상관성을 나타내지는 못하고 있는 것으로 추측된다. 또한 우리나라 강우특성은 하절기 집중형이기 때문에 집중 강우기에는 유기물 오염농도가 희석효과로 일시 개선될 수도 있는 반면 이런 조사결과 영양염류의 농도는 이러한 특성조차 없이 집중 강우기에도 그 농도가 감소되지 않았다.

식물성플랑크톤이 증식하기 위해서는 영양염류의 농도 이외에도 다른 인자의 작용이 필요하기 때문에 영양염류의 농도가 높다고 해서 반드시 조류의 증식이 많다고 볼수는 없지만<sup>8)</sup> 한강은 온도, 느린 유속등 주변 환경이 부영양화가 발생할 여건을 충분히 가지고 있으므로 년중 높은 상태인

**Table 3.** Concentrations of T-N by sampling sites.

	잠실	뚝도	보광	노량진	영등포	가양	행주
96.1		5.802	6.383	7.572	7.533		
3	3.974	5.553	8.249	8.342	8.777	9.581	10.054
4	3.835	5.370	6.618	7.784	7.825	8.268	9.593
5	3.525	3.798	5.702	5.452	5.340	8.666	6.317
6	3.893	3.838	3.252	3.724	4.202	4.548	4.182
7	5.275	4.395	4.738	4.571	4.452	5.257	4.553
8	3.533	5.438	6.684	6.159	5.909	5.410	6.742
9	3.696	5.067	6.540	6.214	5.749	5.882	7.924
10	2.084	4.814	6.544	6.182	5.802	6.111	6.591
11	5.073	6.275	10.659	9.316	9.119	9.128	10.539
12	5.284	6.714	11.514	10.376	10.257	11.424	12.069
avg.	4.017	5.188	6.992	6.881	6.815	7.428	7.856

**Table 4.** Concentrations of T-P by sampling sites.

	잠실	뚝도	보광	노량진	영등포	가양	행주
96.1		0.154	0.146	0.281	0.291		
3	0.073	0.233	0.312	0.315	0.330	0.228	0.456
4	0.072	0.210	0.301	0.543	0.357	0.355	0.405
5	0.060	0.126	0.203	0.235	0.245	0.366	0.331
6	0.051	0.059	0.185	-0.170	0.229	0.196	0.235
7	0.122	0.099	0.200	0.152	0.124	0.140	0.140
8	0.049	0.102	0.173	0.163	0.170	0.184	0.166
9	0.057	0.306	0.492	0.380	0.337	0.412	0.386
10	0.057	0.134	0.491	0.381	0.346	0.393	0.519
11	0.063	0.125	0.445	0.305	0.346	0.500	0.575
12	0.053	0.206	0.346	0.342	0.383	0.520	0.434
avg.	0.066	0.159	0.299	0.297	0.287	0.329	0.365

영양염류 농도 저감을 위한 특별한 대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

특히 팔당하류의 각 지점에서 한강으로 유입되는 유기물 부하의 평균 기여도가 약 45%를 차지할 만큼 한강의 오염도에 많은 영향을 주고 있으므로 주요 지점에 설치되어 있는 하수처리장에 대한 T-N, T-P 방류수 수질기준 강화는 거의 필수적인 과제라 생각된다.

한편 부영양화 기작 및 그 지배인자와의 관련이 명백하다는 점에서 종종 부영양화 판정의 효과적인 지표로 쓰여지는 것이 chlorophyll-a 농도로<sup>11)</sup> 본 조사에서 나타난 chlorophyll-a 농도는 평균 6.7mg/m<sup>3</sup>로 지난 해보다 높아진 T-N, T-P의 농도에도 불구하고 지난 해의 평균 7.4mg/m<sup>3</sup>에 비해 특이하게 감소하였으며 그림 5와 같이 고온기인 8.9월에 증가하였다가 10월 이후 온도 하강과 더불어 감소하여 봄철 갈수기에는 일정 농도를 유지하고 있었다.

일반적으로 식물성플랑크톤의 光合成 最適溫度는 종과 분류군에 의해 상당히 차이가 있지만 규조류가 낮고 녹조류와 남조류가 높은 경향이 있으며<sup>8)</sup> 한강에 출현하는 식물성플랑

크톤은 낮은 온도에 적응되어 있어 봄철 갈수기에도 일정수준까지 성장하고 있다가 최대 고온기인 8.9월에 급속하게 증식하여 년중 최대농도를 나타내는 것으로 추측되며 이때 물 색깔의 변화현상도 함께 나타나는 것으로 보아 부영양화의 단계가 나타나고 있는 것으로 추측되며 10mg/m<sup>3</sup>이상의 농도를 나타낸 경우는 전 조사지점에서 총 13회로 나타났

다. 또 많은 연구 결과 일반적인 호소의 T-P와 식물성플랑크톤의 농도 사이에는 밀접한 상관관계가 있는 것으로 발표되었으나 본 조사에서 Chllorophyll-a 농도와 T-P 농도와의 상관성이 낮게 나타났다. 이는 한강의 T-P의 농도가 년중 조류성장에 제한을 가할 만한 농도보다 훨씬 높은 상태이기 때문에 이들간의 상관관계가 낮은 것으로 추측된다.

그러나 봄철 T-P 농도와 여름철의 Chllorophyll-a 농도 사이에는 비교적 높은 0.812의 상관계수를 나타내 봄철 T-P 농도측정으로 조류의 최대성장기인 여름철의 Chllorophyll-a 농도를 어느 정도 예측할 수 있는 단서를 제공하였다. 이와같이 한강은 이미 부분적으로 높은 식물성

## 結 論

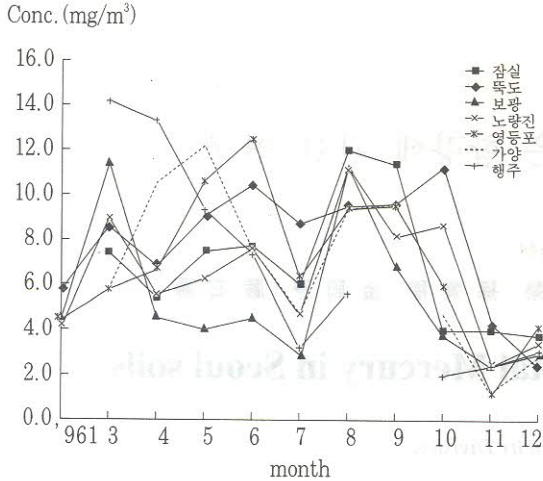


Fig. 5. Variations of chlorophyll-a by sampling sites.

플랑크톤의 농도를 나타내고 있으며 T-N, T-P 등 영양염류는 서울시가 제시한 부영양기준을 년중 상회하고 광도 및 온도가 계절적으로 변화하며 수중보의 축조, 조수의 영향으로 수체의 체류시간이 갈수기에 주기적으로 길어지는 등 식물성플랑크톤의 성장에 알맞는 다수의 환경조건이 존재하므로 한강의 영양단계에 대한 수질관리는 팔당 방류량, 한강으로 부하되는 영양염류 유입원 및 그 농도에 따른 Chlorophyll-a의 농도 등에 대한 종합적인 검토와 대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다. 특히 감실, 딱도, 보광지점의 봄철 저온기에 반복적으로 나타나는 높은 pH, Chlorophyll-a 농도와 고온기에 나타나는 물 색깔의 변화 등은 한강에서의 부영양화 발생 가능성을 나타내는 특이 징후로 이에 대한 각별한 주의 관찰이 요구된다.

또한 한강은 하천의 수리특성상 정체수역과는 특성의 차이가 있어 호소의 영양단계를 기준으로 하천의 부영양화를 판단하는 것은 무리가 있으므로 봄철의 T-P 농도 및 Chlorophyll-a 농도와 이를 근거로 하절기 Chlorophyll-a 농도를 예측하기 위한 상관관계 규명 등 영양염류와 Chlorophyll-a 농도의 관계를 중심으로 기후 및 수계 유역 내의 특성, 수체의 수리, 수문 등 육수학적인 특성 등을 종합하여 한강에 대한 영양단계 판정기준 설정과 이에 알맞는 수질정책을 수립하여 지속적인 수질개선 노력을 해야 될 것으로 생각된다.

이상과 같은 결과를 토대로 1996년 1월부터 12월까지 조사기간 동안 漢江에 대한 營養段階를 考察하면 다음과 같다.

1. T-N : 2.084 ~ 12.069 ( 평균 6.454 ) mg/l 로 지난해보다 증가하였으며 년중 부영양상태였다.
2. T-P : 0.049 ~ 0.575 ( 평균 0.257 ) mg/l 로 지난해보다 증가하였으며 년중 부영양상태였다.
3. Chlorophyll-a : 1.2 ~ 14.2 ( 평균 6.7 ) mg/m<sup>3</sup> 로 지난해보다 감소하였으나 연간 총 13회에 걸쳐 10mg/m<sup>3</sup> 이상의 농도를 나타냈다.
4. 평균 N/P비는 25로 일반적인 호소일 경우 Chlorophyll-a의 성장 제한인자는 P로 나타났다.
5. 봄철 T-P농도와 여름철 Chlorophyll-a농도 사이에는 0.812의 높은 상관계수를 나타냈다.

## 參 考 文 獻

1. 이시진, 윤세의, 박석순 : 水質模型과 管理, 東和技術, 서울 p.383(1993).
2. 서울특별시 : 漢江生態系調查研究, p.233(1994).
3. 李鉉東, 柳亨烈, 金元滿 : 生物學的 窒素 및 磷 除去法에 관한 研究, 大韓위생학회지, 12:48(1992).
4. Jack Edward Mckee and Harold W. Wolf : Water Quality Criteria, California state printing office, 2nd Ed., p.181(1971).
5. 岩佐義朗 : 湖沼工學, 壯光舍印刷(株), 東京 p224(1990).
6. 崔榮吉, 韓明洙, 安泰永, 郭魯泰 : 담수의 부영양화, 신광문화사, 서울 p194(1995).
7. 金坐官 : 水質汚染概論, 東和技術, 서울 p194(1993).
8. 류재근 : 담수생태계 보존대책(우리나라 호소수질의 현황과 보전전략), '93 공동심포지움 한국생태학회·한국육수학회, p104(1993).
9. 西澤一俊, 千原光雄 : 藻類研究法, 共立出版(株), 東京, p.448(1979).
10. 서울특별시 : 漢江生態系調查研究報告書(1990).
11. 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).
12. 金微鎬 : 澱, 貯水池(延草湖)의 富營養化 模型의 比較研究, 한양대학교환경과학대학원석사학위 논문, p.21(1989).