

漢江의 富營養化에 대한 考察

環境生態科

鄭鍾洽 · 李忠彥 · 趙基燦 · 崔錦淳 · 金麟泰 · 李尙壽
李廣植 · 安慶洙 · 李相一 · 金斗來 · 尹豪均 · 金洪濟
金長應 · 金賢相 · 朴後慶 · 許美淑 · 申正植

The Investigation of the Han River Eutrophication

Division of Environment Ecology

Jong Heub Jung, Chung Eon Lee, Ki Chan Cho, Keum Sun Choe, Lin Tae Kim
Sang Su Lee, Kwang Sik Lee, Kyung Soo Ann, Sang Ill Lee
Doo Rae Kim, Ho Kyun Lyun, Hong Je Kim, Jang Yeung Kim, Hyun Sang Kim
Hu Kyung Park, Mi Suk Heo and Jung Sik Sin

= Abstract =

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

The rate of eutrophic proceeds in a lake depends upon in-put of nutrients of water body, morphology, weather and flushing rate, etc.

This study was carried out to investigate the trophic state of the Han River and causes accelerating eutrophication process to find out preventing method.

The results were as follows :

1. Concentrations of total nitrogen were 1.163~7.903 (4.644)mg/l, that belonged to eutrophy by Vollenweider.
2. Concentrations of total phosphorus were 0.034~0.443 (0.219)mg/l, that belonged to eutrophy by Vollenweider.
3. Chlorophyll-a concentrations were 0.3~23.4 (7.4)mg/m³ at all sampling sites, especially high concentrations were found from Jan. to Feb during the cold seasons.
4. There were not found high corelation between Chlorophyll-a and T-N, T-P respectively.
5. The N/P ratio was 21.

序 論

富營養化 문제는 1940년대와 1950년대에 걸쳐 여러 과학협회에 널리 인식되기 시작하여 1960년대와 1970년

대에는 관리기술이 발전되고 유기오염의 악영향과 연관되어 水質汚染에 관련된 중요한 문제로 인식되었다.

富營養化는 물의 이용에 방해가 될 정도로 부착성 또는 부유성 수중식물이 성장하는 현상을 주로 말하며 일단 富營養化된 水域은 회복시키기가 매우 어려운 것으로 알

려져 있다.¹⁾ 담수, 특히 호수에 있어서 가장 심각한 문제 중의 하나이며 해양의 만과 연안에서도 그 문제성이 증대되고 있다.

富營養化가 오늘날 사회적문제로 되어 있는 것은 수역 이용에 지장을 초래한다는 사실이다. 그러나 그 지장의 정도는 사람의 수역이용 내용에 의해 크게 달라지고 지역 사회의 특수성을 반영하여 지역에 따라 달라질 것이다. 따라서 물 이용에 대한 富營養化 관리에 있어서는 상기한 판정방향에 따라 각 지역에서의 판정 목표를 만들어 내는 것이 필요하다.

이러한 富營養化 현상은 체류시간이 비교적 긴 停滯地域에서 주로 발생하지만 최근 일부에서 湖水가 아닌 河水로 어느 정도 自淨能力을 갖고 있는 한강에 富營養化 현상이 예견된다는 논의가 있어 한강에 대한 영양상태의 분석 및 富營養化 평가기준을 파악해 보고자 '94년 이어 이번 조사를 실시하였다.

調査對象 및 方法

漢江의 잠실수중보에서 신곡수중보사이의 총 7개 지점에서 95년 1월부터 12월까지 월2회 배편으로 시료를 채수하여 pH, 수온과 용존산소는 현장 측정하고 기타 항목은 실험실로 운반하여 수질환경오염공정시험법에 의해 분석을 실시하였다.

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

같다.

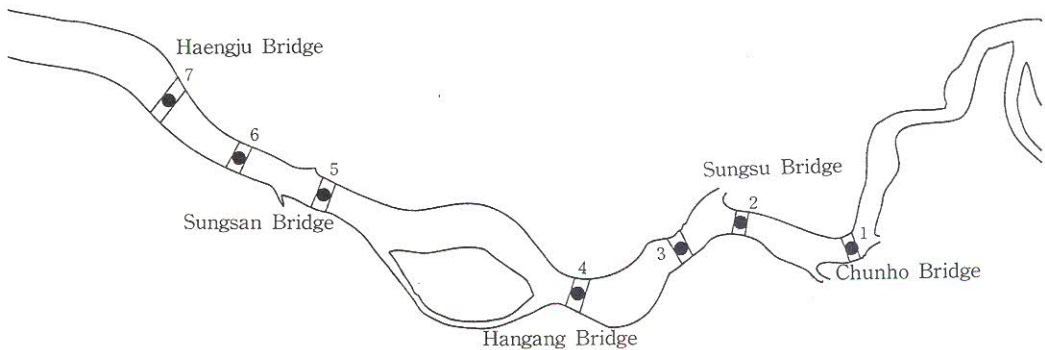
結果 및 考察

富營養化에 관여하는 여러가지 요소 중 일차적으로 서울지역의 기후 특성을 살펴보면 표 1, 2와 같다.

서울지역의 '95년 평균 氣溫을 표 2의 1985~1994년 사이의 10년간 평균기온과 비교해보면 과거 10년 평균기

Table 1. Weather of Seoul in sampling periods (1995).

MONTH / ITEM	Temp. (°C)	Prec. (mm)	W.S (m/s)	W.D	R.H (%)
1	-2.1	11.6	2.6	W	52
2	1.2	5.2	2.2	WNW	56
3	6.0	60.6	2.8	SW	64
4	11.3	44.4	3.1	SW	53
5	17.1	60.6	2.7	SW	58
6	21.6	70.7	2.0	SW	71
7	24.5	436.1	2.5	WSW	81
8	26.0	786.6	2.4	SW	85
9	20.0	47.2	1.6	SSW	68
10	15.5	39.3	1.7	WNW	61
11	6.2	32.9	2.3	NW	57
12	-1.0	3.4	2.2	WNW	55
SUM		1598.6			
AVG	12.2	133.2	2.3	SW	63
MAX	26.0	786.6	3.1		85
MIN	-2.1	3.4	1.6		52



Legend					
Sampling No.	Sampling Site	Sampling No.	Sampling Site	Sampling No.	Sampling Site
1	KUUI	4	NORYANG JIN	7	HAENGJU
2	DUGDO	5	YOUNGDEUNGPO		
3	BOKWANG	6	KAYANG		

Fig. 1. Sampling sites in Han river.

Table 2. Weather of Seoul in last 10 years (1985 ~ 1994).

YEAR/ ITEM	Temp. (°C)	Prec. (mm)	W.S (m/s)	R.H (%)
85	11.6	1544.6	3.1	70
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
SUM		14047.6		
AVG	12.3	1404.8	2.5	67
MAX	13.5	2355.5	3.1	71
MIN	11.2	760.8	2.2	61

온이 12.3°C, 조사기간동안의 연평균기온이 12.2°C로서 과거 10년 평균기온과 비슷하였다. 연간 降水量은 조사기간동안이 1598.6 mm로 과거 10년간 연평균강수량인 1404.8 mm에 비해 약 190 mm가 많이 내렸으며 특히 비가 적었던 지난해에 비해서는 500 mm 이상 많이 내린 것으로 조사되었다.

강수의 집중도는 예년과 같이 7~8월에 집중(집중도 76.5%)되어 내렸다. 그러나 그 이후에는 강수량이 적어져 9~12월의 4개월간 강수량은 연간 강수량의 10%에도 미치지 못하는 가뭄현상을 나타냈다.

조사기간 중의 풍속은 1.6~3.1(평균 2.3)m/s로 예년과 비슷하였으며 風向은 남서풍역이었다.

相對濕度는 조사기간 연평균이 63%로 전년보다 년 강수량이 많았음에도 불구하고 지난해의 평균상대습도 보다 낮아 건조했던 것으로 나타났으며 이는 하반기의 降水量

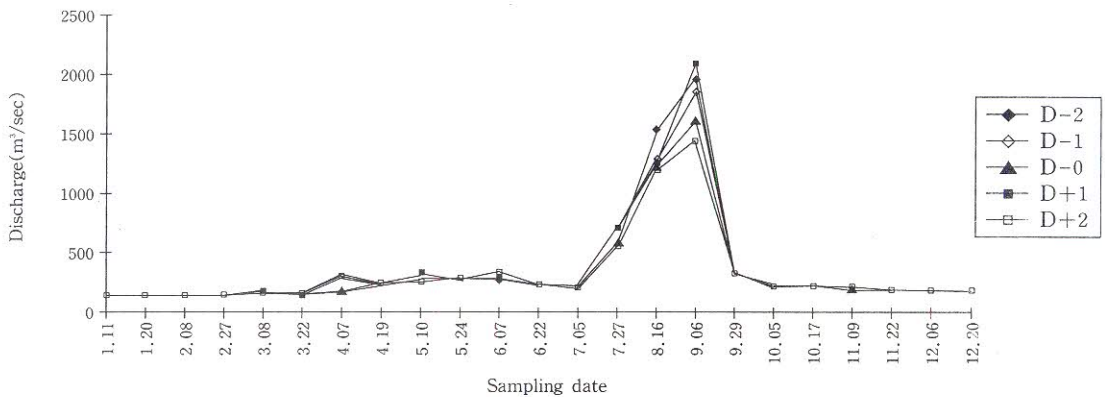


Fig. 2. Monthly average of Paldang Dam.

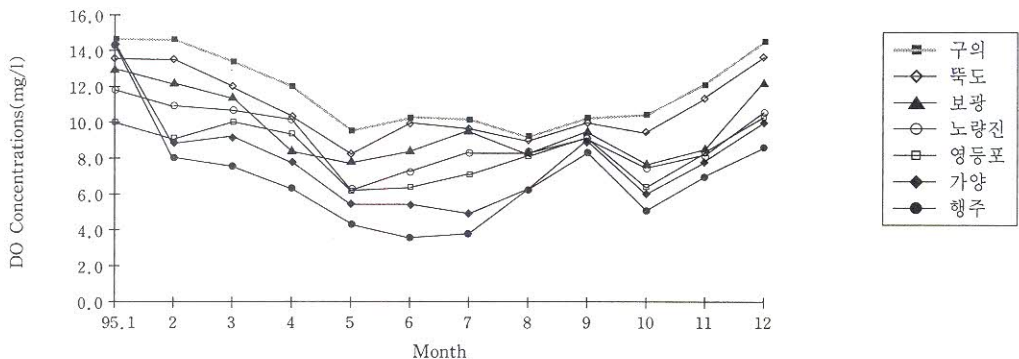


Fig. 3. Variations of DO by sampling sites.

이 적었던 것과도 관련이 있는 것으로 보인다.

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 보고되고²⁾ 있으며 시료채수일을 전후로 한 조사기간 동안의 년평균 팔당 방류량은 334 CMS로 지난해 보다 많았다. 강수량의 영향으로 7월 하순부터 9월초순까지의 방류량이 평균 1252 CMS로 많았으며 나머지 달은 평균 197 CMS로 적었다.

조사기간 중의 DO농도는 그림 3에서와 같이 3.3~14.7 (평균 9.3)mg/l로 전년에 비해 평균 2.4 mg/l 증가하였으며 각 지점별 농도편차도 년중 고르게 나타났다.

최저 DO농도는 지난해와 달리 하절기(7~9월)가 아닌 5~7월에 나타났다. 이는 지난해 최저 DO농도가 나타났던 시기에 내린 집중강우의 영향으로 보이며 美國

環境處에서 水中生態系를 보호하기 위해 설정한 최저 DO농도 5.0 mg/l 이하로⁴⁾ 낮아진 경우는 지난해의 5개 지점 28회에서 이번 조사기간동안에는 행주지점의 6,7월 2회 뿐으로 DO농도는 지난해에 비해 한강 전반에 걸쳐 많이 높아졌다.

일반적으로 하천의 높은 溶存酸素는 대기 중에 존재하는 산소에 의한 재포기 작용으로 유지되지만 부분적으로 조류의 光合成作用에도 영향을 받아 과포화 될 수도 있다.⁷⁾

기압 760 mmHg, 산소 20.9% 수증기 포화대기 중 순수한 물속의 포화 DO 농도를 기준으로 한 각 측정지점의 DO 포화율도 123.6~39.4 (평균 89.3)%로 지난해에 비해 20% 정도 상승하였으며 그림 4와 같이 구의, 독도지점은 년중 과포화상태에 있었다. 이는 조류와 잠실수중보 월류 등의 영향인 때문으로 보이며 구의, 독도,

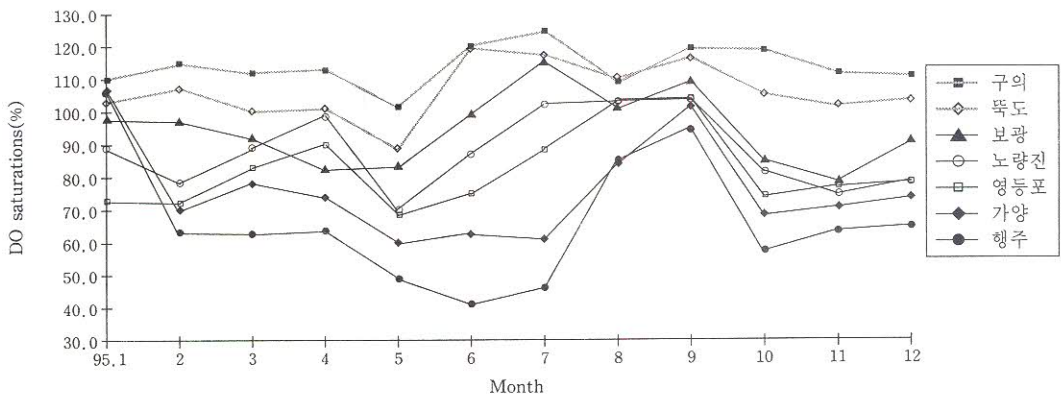


Fig. 4. Variations of DO Saturation by sampling sites.

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

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG -JIN	YOUNG- DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	2,345	3,913	4,451	4,943	5,143	5,205	6,037	4,577
2	2,237	4,058	4,430	5,741	5,315	5,720	6,445	4,849
3	1,666	3,690	4,069	4,243	3,991	4,075	4,735	3,820
4	1,666	3,960	4,069	4,243	3,991	4,075	4,735	3,820
5	1,802	3,308	4,059	4,105	3,924	4,491	6,405	4,013
6	2,371	3,536	6,104	5,520	5,068	5,674	7,903	5,168
7	2,624	3,394	3,697	4,018	4,142	4,210	4,396	3,783
8	1,163	3,550	4,492	3,174	3,800	5,285	4,841	3,835
9	5,106	5,143	5,935	6,112	5,993	5,895	6,249	5,776
10	2,589	3,945	5,357	4,443	4,206	4,703	5,651	4,413
11	3,227	4,077	6,718	6,331	5,981	6,466	7,020	5,689
12	3,583	4,552	6,196	6,672	6,702	7,075	7,080	5,980
AVG.	2,532	3,950	4,965	5,007	4,855	5,240	5,958	4,644

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

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG -JIN	YOUNG- DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	0.066	0.181	0.222	0.220	0.221	0.239	0.285	0.205
2	0.034	0.159	0.212	0.300	0.267	0.188	0.311	0.210
3	0.045	0.205	0.278	0.265	0.226	0.303	0.443	0.252
4	0.047	0.119	0.358	0.278	0.277	0.224	0.386	0.241
5	0.034	0.167	0.207	0.271	0.242	0.292	0.342	0.222
6	0.062	0.119	0.363	0.268	0.239	0.283	0.438	0.253
7	0.063	0.198	0.215	0.258	0.230	0.221	0.276	0.209
8	0.212	0.254	0.136	0.101	0.187	0.170	0.220	0.170
9	0.107	0.069	0.127	0.136	0.119	0.137	0.160	0.122
10	0.057	0.212	0.356	0.220	0.214	0.215	0.355	0.233
11	0.099	0.136	0.430	0.341	0.280	0.298	0.336	0.274
12	0.069	0.121	0.236	0.330	0.310	0.307	0.288	0.237
AVG.	0.075	0.162	0.262	0.241	0.234	0.240	0.320	0.219

보광지점에서의 DO와 chlorophyll-a의 상관계수는 0.67로 나타났으나 다른 지점에서의 상관계수는 0.28 이하로 낮게 나타났다.

수체내의 영양단계를 나타내는 指標는 T-N, T-P와 같은 영양염류, 植物性플랑크톤의 농도, 투명도 및 심수층의 DO 농도 등이 있으며 많은 연구자들이 이들의 농도를 토대로 여러 영양단계기준을 제시⁹⁾하였으며 서울특별시 (1990)의 報告書에서도¹⁰⁾ 이들 여러가지 제안들을 종합하여 한강에 대한 富營養化 判定 基準을 T-N : 200 mg/m³, T-P : 20mg/m³, chlorophyll-a : 10 mg/m³로 제시한 바 있다.

본 조사에서 나타난 영양염류의 농도는 표 3, 4와 같이 T-P : 0.034~0.443 (0.219)mg/l 및 T-N : 1.163~7.903 (4.644)mg/l로 지난해에 비해 年평균 농도는 약간 증가한 것으로 나타나 지난해 보다 많았던 강수량에도 불구하고 이들 영양염류의 농도는 감소되지 않았으며 강수가 많았던 7, 8월의 T-P농도는 지난해 7, 8월의 농도 보다 감소하였으나 T-N농도는 8월만 지난해 농도 보다 감소하였다.

이는 조사지점의 상류부인 팔당의 T-N 및 T-P의 농도가 1.846 및 0.040으로 T-N은 이미 팔당부터 행주 지점까지 전 구간에서, T-P는 뚝도지점부터 행주지점까지 6개 측정지점에서 Vollenweider (1967)가 제시한 호소의 富營養化 基準을⁶⁾ 年중 상회하였으며 특히 하류에서 그 농도가 높아 한강으로 유입되는 지천의 T-N 및 T-P 농도에 의해 많은 영향을 받는 것으로 추측된다. N/P比는 평균 21.2로 조류생장의 제한인자는 P이 되는 것으로 나타났다.³⁾

인은 담수에서 가장 결핍되어 있는 원소이므로 수중식

물의 양은 보통 인의 농도에 의해 좌우되며 이론적으로는 수중에 존재하는 인의 농도만큼 식물플랑크톤이 성장할 수 있어 식물플랑크톤 (chlorophyll-a)의 농도와 인 (T-P)의 농도는 대체로 비례하는 것으로 알려져 있지만 T-P의 농도가 많아지면 Chlorophyll-a 농도는 T-P농도에 비례하지 않고 일정한 상태를 유지하게 된다.¹¹⁾ 따라서 담수에 인이 유입되면 그 만큼 식물플랑크톤이 증가할 우려가 있고 증가된 식물플랑크톤은 光合成을 통하여 유기물을 많이 생산하여 水體의 BOD를 높이는 경우가 발생한다.

그러나 한강의 영양염류의 농도는 위에서와 같이 이미 충분히 높은 상태여서 식물플랑크톤의 성장제한 요인은 아니라고 생각되며 우리나라 강우가 하절기에 집중되는 특성때문에 유기물 함량 등의 오염농도는 일시적으로 개선 될 수도 있으나 이번 조사결과와 같이 영양염류의 농도는 근본적으로 감소되지 않고 있는 것으로 보아 한강은 지속적으로 영양염류가 유입되고 있으며 특별한 대책이 없는 한 한강하류는 이들의 누적이 예상되고 있는 실정이다.²⁾ 식물플랑크톤이 증식하기 위해서는 영양염류의 농도이외에도 다른 인자의 작용이 필요하기 때문에 영양염류의 농도가 높다고 해서 반드시 조류의 증식이 많다고 볼 수는 없지만⁸⁾ 온도, 유속 등 주변 환경에 따라서는 언제든지 부영양화가 발생할 여건을 충분히 가지고 있으므로 영양염류 농도 저감을 위한 특별한 대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

특히 팔당하류의 각 지천으로부터 한강으로 유입되는 유기물부하의 평균 기여도는 약 45%로 한강의 오염도는 지천의 영향을 많이 받고 있으며 주요 지천에 설치되어 있는 하수처리장에 대한 T-N, T-P 방류수 수질기준이

60.0 및 8.0 mg/l로 우리나라 호소환경기준의 T-N, T-P농도보다 40~53배로 높게 설정되어 있으며 탄천하수처리장의 경우 년평균 T-N, T-P 방류수질이 13.0, 0.9 mg/l로 하수처리장 방류수질기준보다는 낮았으나 탄천하수처리장방류구보다 하류지역인 삼성교 부근의 T-N, T-P농도 4.910, 0.200 mg/l보다 2.6~4.5배 높은 것으로 나타나 하수처리장의 방류수질이 인접 지천수역의 T-N, T-P 주요오염원의 하나로 되어있다. 따라서 T-N, T-P 제거를 위한 하수처리장의 고도처리시설 설치가 요구되며 이는 경제적으로 비용의 소모가 많아 특별한 정책적인 결단이 요구되고 있는 실정이다.

본 조사기간동안 BOD 및 COD농도는 표 5, 6과 같이 년평균 4.2 mg/l 및 4.4 mg/l로 지난해에 비해 다소 낮아졌으나 chlorophyll-a 농도와 상관계수는 평균 0.19 및 0.27로 낮게 나타났으며 BOD는 구의지점에서 $r=0.54$, COD는 노량진지점에서 $r=0.51$ 로 가장 높게

나타났다. 또 강우로 팔당방류량이 많았던 7~9월에 최저 농도가 나타나 어느 정도 팔당방류량이 BOD 및 COD 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

SS는 표 7과 같이 년평균 9.1 mg/l로 전년에 비해 다소 낮아 졌으며 chlorophyll-a와의 상관계수는 -0.31로 일반적인 호소에서의 상관성과 다른 역상관성을 나타냈으며 BOD, COD와는 달리 강우기에 높은 농도를 나타냈다.

한편 부영양화 기작으로 볼 때 또는 그 지배인자와의 관련이 명백하다는 점에서 영양도 판정의 효과적인 지표로 종종 쓰여지는 것이 chlorophyll-a 양이나¹¹⁾ 국내에서는 아직 이에 대한 기준이 설정되어 있지 않은 실정이다. 본 조사에서 chlorophyll-a 농도는 0.3~23.4 (평균 7.4)mg/m³로 전년에 비해 약 50%가 감소하였다. 이는 식물플랑크톤의 최대 성장기인 7, 8월의 집중강우에 의한 유속증가 등의 영향때문으로 추측되며 특히 최근

Table 5. Concentrations of BOD by sampling sites.

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG-JIN	YOUNG-DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	3.9	5.1	5.0	5.3	3.5	3.9	6.0	4.7
2	2.5	3.5	3.7	3.7	3.2	3.0	5.8	3.6
3	1.9	3.4	3.0	3.8	4.9	3.7	6.1	3.8
4	3.0	5.5	7.3	4.4	5.0	9.9	11.9	6.7
5	2.2	3.7	4.2	4.3	4.3	5.1	7.3	4.4
6	1.8	4.5	6.2	4.6	4.8	6.7	9.6	5.5
7	3.2	3.0	4.2	3.3	3.6	4.1	4.2	3.7
8	0.7	2.4	1.6	1.8	1.0	2.7	2.5	1.8
9	1.0	1.3	2.3	3.0	2.3	2.5	3.0	2.2
10	1.3	2.8	4.6	2.5	2.6	4.1	3.4	3.0
11	3.0	2.8	9.4	5.5	7.5	6.8	10.9	6.6
12	3.4	3.4	5.0	5.8	4.4	4.0	5.0	4.4
AVG.	2.3	3.5	4.7	4.0	3.9	4.7	6.3	4.2

Table 6. Concentrations of COD by sampling sites.

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG-JIN	YOUNG-DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	3.1	4.0	4.0	5.5	3.3	4.1	5.5	4.1
2	4.4	6.3	6.9	6.9	7.4	4.7	10.5	6.7
3	3.3	5.2	5.8	6.2	5.7	5.9	7.9	5.7
4	3.1	4.6	6.6	4.5	4.1	6.6	9.6	5.6
5	2.3	3.0	3.4	3.5	3.4	4.3	5.9	3.7
6	1.9	2.5	4.2	4.8	5.1	5.1	6.8	4.3
7	2.5	2.7	3.6	3.7	3.5	3.5	3.2	3.2
8	2.9	2.4	2.6	2.1	2.3	4.0	3.7	2.9
9	3.8	3.3	3.3	3.4	3.6	4.4	4.3	3.7
10	2.6	3.1	4.8	4.2	4.3	4.5	4.9	4.1
11	2.5	3.0	4.7	4.8	3.4	4.0	4.6	3.9
12	2.9	3.3	4.4	5.1	4.3	5.3	5.2	4.4
AVG.	2.9	3.6	4.5	4.6	4.2	4.7	6.0	4.4

Table 7. Concentrations of SS by sampling sites.

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG -JIN	YOUNG- DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	2.9	3.2	3.5	4.9	5.0	4.7	69.4	13.4
2	4.7	4.0	3.5	4.2	4.0	7.0	6.7	4.9
3	2.9	3.7	3.8	5.2	4.4	4.1	9.1	4.7
4	3.2	6.8	7.2	8.9	7.9	8.4	12.2	7.8
5	4.0	5.0	7.2	8.9	7.4	7.2	13.2	7.6
6	3.5	4.2	5.9	5.9	7.2	8.9	11.0	6.7
7	8.4	10.4	8.2	8.0	13.2	15.2	18.8	11.7
8	13.7	11.3	14.0	7.3	7.3	10.7	19.0	11.9
9	15.4	15.0	15.2	16.0	18.5	13.9	22.5	16.6
10	6.4	7.4	7.4	7.8	8.7	10.0	13.0	8.7
11	7.7	6.7	7.0	6.9	7.5	13.4	11.7	8.7
12	7.0	5.0	4.3	5.0	4.8	10.2	5.0	5.9
AVG.	6.7	6.9	7.3	7.4	8.0	9.5	17.6	9.0

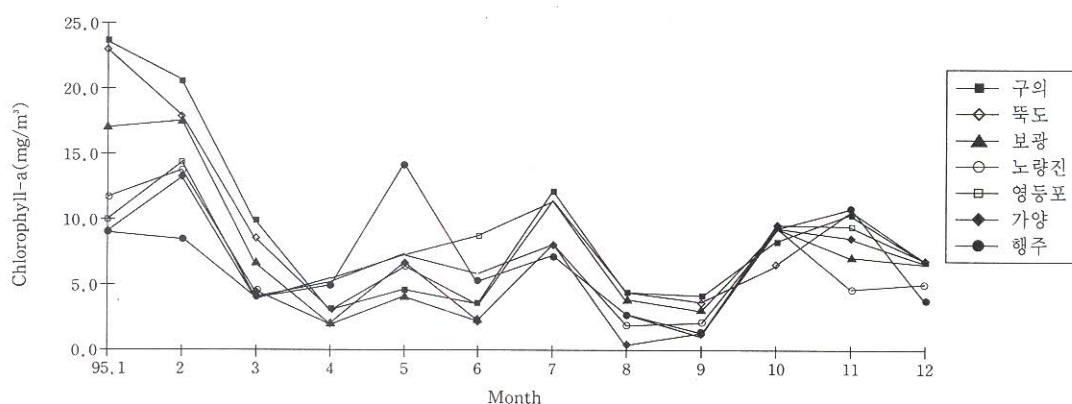


Fig. 5. Variations of chlorophyll-a by sampling sites.

10년 동안 강수량이 가장 적었던 지난해에 비해 강수량이 특히 많았던 올해의 강수량 차이가 chlorophyll-a 농도 감소의 가장 큰 원인이 된 것으로 생각되며 가을 가뭄기에는 다시 증가하였다.

일반적으로 식물플랑크톤의 光合成 最適溫度는 종과 분류군에 의해 상당히 차이가 있지만 규조류가 낮고 녹조류와 남조류가 높은 경향이 있으며, 高溫期에 높아지고 저온기에 낮아지는 경향이 있지만 冬季 등 현저하게 低水溫으로 되었을 때의 광합성의 최적온도는 일정 온도에서 멈추는 것으로 알려져 있으나⁹⁾ 본 조사에서는 그림 5 및 Table 8과 같이 1~2월의 저수온기에 집중적으로 식물플랑크톤의 양이 년중 최고치를 나타내는 특이한 현상이 전년에 이어 나타났다.

이는 한강에 출현하는 식물플랑크톤이 낮은 광에 적응되어 있으며 팔당호에서 초봄에 규조류가 대량증식하였고

최대광합성량이 겨울동안인 1~2월에 가장 높았다는 조사보고²⁾와도 일치하였다.

또 식물플랑크톤에 의한 광합성작용이 활발히 일어나면 수중의 탄산을 흡수하여 pH가 높아지는 경향이 있는데¹¹⁾ 본 조사에서도 그림 5 및 표 9와 같이 식물플랑크톤의 농도가 높았던 1~2월의 평균 pH는 7.6으로 높게 나타났으며 년중 최고치는 3월에 7.9로 나타났다. 특히 구의, 뚝도, 보광지점의 1~2월 저온기의 높은 pH 및 Chlorophyll-a농도(평균 7.7 및 19.9 mg/m³)와 관련지어 볼 때 이 지역에서는 부영양화 발생의¹⁾ 우려가 있어 특별한 대책이 요구되는 것으로 나타났다.

일반적으로 호수속의 T-N, T-P과 식물플랑크톤의 농도사이에는 밀접한 상관관계가 있으며 R.E. Carlson (1977)의 TSI (Trophic State Index), D.B. Porcella 등 (1980)의 LEI (Lake Evaluation Index), W.

Table 8. Variations of Water Temperature by Sampling Sites.

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG -JIN	YOUNG- DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	2.3	2.5	2.3	2.5	1.5	1.5	1.8	2.1
2	4.0	4.0	4.5	3.5	4.0	3.9	4.4	4.0
3	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
4	12.0	12.0	13.0	12.5	12.0	12.0	12.5	12.3
5	17.0	17.3	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	17.8
6	21.5	22.3	22.3	22.8	21.5	22.0	23.0	22.2
7	24.0	24.0	23.8	24.3	24.0	24.5	24.5	24.2
8	22.0	24.0	24.0	25.0	27.0	27.0	28.0	28.3
9	20.8	20.8	20.8	21.0	21.0	19.9	20.0	20.6
10	19.6	19.4	19.5	19.0	19.3	19.0	19.3	19.3
11	9.4	9.3	9.5	9.5	9.6	9.5	9.5	9.5
12	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
AVG.	13.4	13.7	13.9	13.9	13.9	13.8	14.1	13.8

Table 9. Variations of pH by Sampling Sites.

	KUUI	DUGDO	BOGWAN	NORYANG -JIN	YOUNG- DEUNG-PO	KAYANG	HEANGJU	AVG.
95.1	7.8	7.6	7.5	7.4	7.5	7.4	7.4	7.5
2	7.9	7.8	7.6	7.5	7.5	7.4	7.5	7.6
3	8.3	8.1	8.0	7.9	7.8	7.7	7.7	7.9
4	7.2	7.2	7.0	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0
5	7.7	7.4	7.3	7.2	7.2	7.1	7.0	7.3
6	7.5	7.3	7.1	7.0	7.0	7.1	6.8	7.1
7	7.9	7.7	7.2	7.2	7.1	7.0	6.9	7.3
8	7.2	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2	7.1	7.2
9	7.2	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	7.1
10	7.2	7.2	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	7.0
11	7.4	7.5	7.3	7.2	7.3	7.2	7.2	7.3
12	7.4	7.4	7.3	7.2	7.2	7.2	7.1	7.3
AVG.	7.6	7.5	7.3	7.2	7.2	7.2	7.1	7.3

W. Walker (1979)의 HODR (Hypolimnetic Oxygen Depletion Rate) 및 崎等 (1981)이 이를 토대로 수정 Carlson지수 등 수식화된 富營養化評價方法을 발표한 바 있다.¹²⁾ 그러나 본 조사에서 Chllorophyll-a와 T-N, T-P와의 상관관계수는 $r < 0.21$, $r < 0.51$ 로 相關關係가 낮게 나타났다. 이는 Chllorophyll-a, T-P, 투명도의 상호관계가 지역에 따라 다르고 유속이 존재하는 하천 특히 계절적으로 집중강우의 특성을 나타내는 한강의 수리적 특성 때문인 것으로 사료되며 이러한 水域에서는 위와 같이 수식화된 關係식을 발견하기가 어려울 것으로 보인다.

한편 US-OECD의 조사보고서에 의하면 水系의 富營養化가 誘發되는 또다른 주요 요인 중의 하나로 水系의 滯留時間을 들고 있으며 식물플랑크톤의 성장에 의한 부영양화 현상이 가능한 체류시간을 최소한 2주 이상으로 보고하고 있다. 그러나 한강은 상시유량이 평균 200

m³/S일 때 팔당댐에서 신곡수중보까지의 체류시간이 14~5일로 조사기간 중 약 150일 정도가 상시유량 200 m³/S에 미달되는 것으로 나타나 이 기간 특히 가을철에서 봄철 사이의 갈수기중에는 한강수계의 滯留時間이 2주 이상으로 길어지는 시기가 발생했을 것으로 추측된다. 한편 한강은 유기물부하의 평균 기여도에 있어서 팔당댐 방류수가 22%인 것으로 보고되어 있는데²⁾ 특히 초봄에 팔당호에 존재하던 식물플랑크톤이 하류로 다량 방류되면 시기적으로 유량이 적은 갈수기때이므로 하류지역에 다량의 초기 생체량을 부여하여 식물플랑크톤이 최대농도에 도달하는 時間을 현저하게 감소시켜¹⁾ 한강의 富營養化를 유발시키는 한 요인으로 작용할 것으로 추측된다.

이와같이 한강은 이미 부분적으로 다량의 식물플랑크톤이 존재하며 T-N, T-P 등 영양염류는 Vollenweider가 제시한 호소 부영양기준을 년중 상회하고 광도 및 온도가 계절적으로 변화하며 수중보의 축조, 조수 및 집

중강우의 영향으로 수체의 체류시간이 갈수기에 주기적으로 길어지는 등 식물플랑크톤의 성장에 알맞는 다수의 환경조건이 존재하므로 한강의 영양단계에 대한 수질관리시 팔당방류량, 강수량, 한강으로 부하되는 영양염류 등에 대한 종합적인 검토와 대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다.

특히 구의, 폭도, 보광지점의 1~2월 저온기에 나타나는 높은 pH, Chlorophyll-a 농도는 이 지역의 부영양화발생 가능성 때문에 특별한 관찰이 요구되고 있다.

또한 한강은 하천의 수리 특성상 정체수역과 구분되어지는 것으로 호소의 영양단계를 기준으로 하천의 부영양화를 판단하는 것은 어느 정도 무리가 있으므로 식물플랑크톤을 중심으로한 일차생산성과 일차생산성에 영향을 미치는 영양염류와의 관계, 기후 및 수계 유역내의 특성, 수체의 수리, 수문 등 육수학적인 특성 등을 종합하여 별도로 한강에 대한 영양단계 판정기준이 설정되어야 할 것으로 생각된다.

結 論

이상과 같은 결과를 토대로 조사기간동안 漢江에 대한 營養段階를 考察하면 다음과 같다.

1. T-N : 1.163~7.903 (평균 4.644)mg/l로 지난해와 비슷하였으며 Vollenweider의 호소수질 기준에 의하면 전 측정지점이 부영양상태였다.
2. T-P : 0.034~0.443 (평균 0.219)mg/l로 지난해와 비슷하였으며 Vollenweider의 호소수질 기준에 의하면 구의지점을 제외한 6개 측정지점이 부영양상태였다.
3. Chlorophyll-a : 0.3~23.4 (평균 7.4)mg/m³

로 지난해에 비해 50%의 감소가 있었으며 1월~2월에 집중적으로 농도가 높았다.

4. 평균 N/P비는 21로 Chlorophyll-a의 성장 제한 인자는 P로 나타났다.
5. Chlorophyll-a농도와 T-P농도 사이의 相關關係는 $r < 0.51$ 로 낮게 나타났다.

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. 대한위생학회지. 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, 壯光舎印刷(株), 東京 p.224(1990)
6. 崔榮吉, 韓明洙, 安泰永, 郭魯泰 : 담수의 부영양화, 신광문화사, 서울 p.194(1995)
7. 金坐官 : 水質汚染概論, 東和技術, 서울 p.194(1993)
8. 류재근 : 담수생태계 보전대책 (우리나라 호소수질의 현황과 보전전략), '93 공동심포지움 한국생태학회·한국육수학회, p.104(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. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위 논문. p.21(1989)