서울特別市 保健環境硏究論文集 第35卷 (1999)
Report of S.I.H.E., 35:289~294 (1999)

서울시내 하천의 수질오염에 관한 연구(Ⅱ)

수질화학팀

신진호 · 이용민 · 길혜경 · 허항록 · 배경석

A study on the analysis of water pollution in tributaries of the Han river in Seoul (Ⅱ)

Water chemistry team

Jin-Ho Shin, Yong-Min Yi, Hye-Kyung Kil, Hang-Rok Heo, and Kyung-Seok Bae

Abstract

This study was carried out to investigate on the water quality of Anyangchon and Hongjaechon by analyzing on the variation of contamination from 1989 to 1999. The results were as follows :

1. The concentration of dissolved oxygen in water body was decreased, as water temperature was increased.
2. The concentrations of BOD, COD and SS were getting lower, while those of T-N and T-P were relatively getting higher.
3. The concentrations of BOD and COD were highly correlated. ($r>0.9$)
4. The number of *E. coli* was high from March to June, but that was low in winter.
5. The use of detergent should be reduced and LAS of detergent must convert to SLES for improving water quality.

서 론

물은 인간의 생활과 각종 산업활동에 없어서는 안될 필수자원이며, 수자원은 인류 문화형성에 중요한 역할을 하여 왔고, 세계문화의 발원지는 모두 큰 강을 중심으로 발전되었다.[1] 또한 하천은 지상에 내린 강수가 모여서 흐르는 자연적으로 형성된 유로인 동시에 농업용수, 공업용수 및 생활용수 등 급수를 위한 수원으로 이용되고 있다.[2] 그러나 1960년대부터 정부의 경제개발정책에 의하여 수도권의 과도한 인구집중과 농·공산업 시설의 가동으로 도시하천은 많은 영향을 받게 되었다. 또한 우리나라 하천의 특성상 유역의 연장이 짧고 경사가 비교적 급하여 하천의 난류가 크고 각종 생활하수와 산업폐수의 발생이 지류천을 오염시키면서 한강 본류에 유입되고 있다.

따라서 본 조사·연구에서는 '98년에 이어 한강본류에 직접 유입되는 안양천과 홍제천에 대하여 '89년부터 '99년까지의 오염도 현황을 분석하고 그 추이를 살펴봄으로써 다가오는 21세기의 수자원 위기를 슬기롭게 극

복하기 위하여 오염하천을 본래의 하천으로 환원하고 쾌적한 생활환경을 조성하기 위한 지류천 수질오염의 장·단기 대책 수립시 기초자료로 제공하고저 한다.

조사대상 및 방법

1. 조사대상

1) 안양천

안양시 삼성산에서 발원하여 안양유원지를 관류하고 있으며, 유로연장 32.2㎞및 유역면적 242.38㎢의 하천으로 오염의 정도가 매우 심한 하천이다. 수질등급은 V등급으로 지정되어 있으며, 주 오염원으로는 안양시의 하수와 함께 한국수출산업공단, 영등포 기계공단 및 한국 플라스틱공단 등으로 부터 발생되는 폐수를 들 수 있다.[3] 조사지점으로는 Fig.1과 같이 경기도 군포시 당정동 구군포교(안양천 1), 경기도 안양시 비산동 비산대교(안양천 2), 경기도 안양시 석수동 동아제약 옆 (안양천 3), 서울시 구로구 고척동 고척교(안양천 4) 및 서울시 양천구 목동 양화교(안양천 5)로 지점을 선정하였다.

2) 홍제천

서울시 종로구 평창동을 발원으로 하여 서대문구 홍은동, 연희동 및 남가좌동을 거쳐 마포구 성산동 한강 본류로 유입하는 하천으로 총연장 13.92㎞ 및 유역면적 20.92㎢이다. 유역 주 오염원으로는 가정하수와 43개 산업업소에서 발생하는 하루 378㎥의 폐수가 있다. 조사지점은 서울시 마포구 성산동의 한강 유입 직전의 지점을 선정하여 조사하였다.

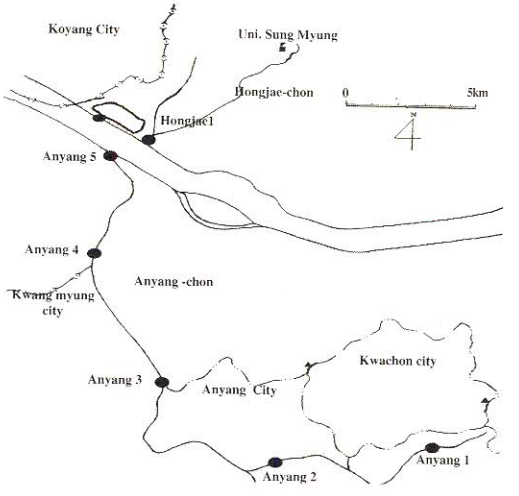

Fig. 1. A map showing the sampling sites at each streams.

2. 조사방법

1) 조사기간

1989부터 1999년까지 매월 중순 경에 각 지점별로 시료를 채취한 후, 분석한 水質測定網 運營計劃에 따른 환경부와 서울시보건환경연구원의 자료를 이용하여 비교·분석하였다.

2) 조사방법

채수 및 분석은 水質汚染公定試驗法에 준하여 실시하였으며, 그 중 검출이 안되는 중금속 등 기타 항목을 제외한 수온, 용존산소, 수소이온농도, 생물화학적 산소요구량, 화학적산소요구량, 부유물질, 대장균군수, 총질소, 총인 및 음이온계면활성제를 선정하여 조사하였다.

결과 및 고찰

1) 수온과 용존산소

D.O.는 물의 오염에 의해 소비되며 산소를 소비하는 물질은 주로 유기질이고 그 이외의 무기 환원성물질에 의해서도 소비된다. 하천의 높은 용존산소는 일반적으로 대기 중에 존재하는 산소에 의한 재폭기 작용으로 유지되지만 부분적으로는 조류의 광합성 작용에 영향을 받아 과포화 될 수도 있다. 수중의 산소 용해도에 관계되는 인자로서는 기온, 기압, 용존염류 등이 있는데, 용액 중에 용해하는 기체의 양은 순수 중의 경우가 최대이고, 염류의 농도가 높으면 적다.[4] 각 대상지점의 온도와 용존산소를 월별로 데이터화 하여 그 관계를 살펴보면 Fig. 2와 같으며 조사기간 중 용존산소의 농도는 수온 상승과 더불어 감소하여 최저 평균 3.5㎎/ℓ에서 최고평균 6.0㎎/ℓ까지 나타냈다.

2) 수소이온농도 (pH)

각 대상지점의 pH를 용존산소의 경우처럼 월별로 데이터화 하여 그래프로 그려보면 Fig. 3과 같다. 그 결과 pH는 7.4 ~ 7.6의 중성을 나타냈으나, 6~8월

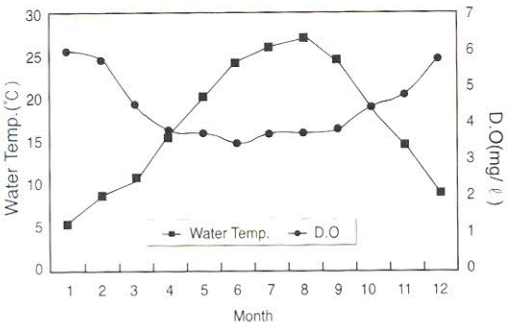

Fig. 2. The relationship of water temperature and dissolved oxygen in Anyangchon

의 pH가 다소 높아지는 경향을 보이는데 이는 수온 상승으로 인해 식물성플랑크톤이 광합성작용을 활발하게 하고 그 탄소동화작용에 의해 수중의 CO_2를 소비하여 pH가 높아지는 것으로 추정된다.

3) 생물화학적산소요구량 (BOD)

안양천의 경우, 상류지역의 오염도가 하류보다 더 심한 것으로 나타났으며 이는 안양천 개선사업이 아직 마무리 되지 않았고 환경정비가 되지 않아 공장폐수 및 가정하수가 상당량 유입되는 것으로 추정된다. '89년부터 오염도를 측정한 안양천의 하류지점에서는 Fig.4와 같이 BOD 년평균오염치가 최고 96.2㎎/ℓ까지 기록하였으나 '93년부터 오염도가 줄어들면서 안정화되어 '99년 평균오염치가 11.2㎎/ℓ을 보여준다. 그러나 이를 환경정책기본법에서 정하고 있는 하천의 水域別 環境基準 適用等級으로 살펴보면 2001년까지 안양천 전구간을 시민의 일상생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도의 생활환경보전지역으로 BOD를 10㎎/ℓ이하로 낮추는 수질정화사업의 필요성이 제기된다. 또한 '93년부터 오염도 측정을 실시한 홍제천의 경우, 년평균 최고

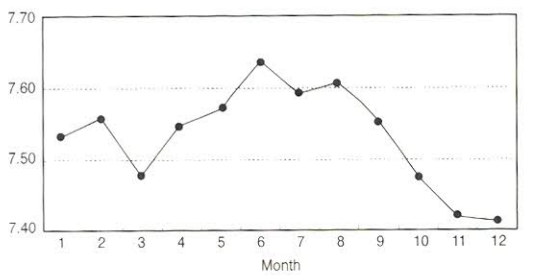

Fig. 3. Monthly variation of pH in Anyangchon

Table 1. The yearly mean concentration of BOD at each stream.

(unit : ㎎/ℓ)

site / year	Anyang1	Anyang2	Anyang3	Anyang4	Anyang5	Hongjae
1989				43.8	96.2	
90				82.6	68.9	
91				71.5	71.6	
92	59.1	66.7	60.7	55.9	52.1	
93	48.9	42.5	30.2	31.9	27.7	20.7
94	65.1	63.5	32.0	18.5	17.4	24.6
95	63.5	50.1	18.2	16.6	13.5	17.4
96	66.4	56.6	18.3	16.4	14.6	16.8
97	81.2	56.2	21.0	12.5	13.5	9.3
98	41.6	35.7	23.1	15.2	11.1	9.1
99	43.4	34.3	32.9	17.4	11.2	9.1

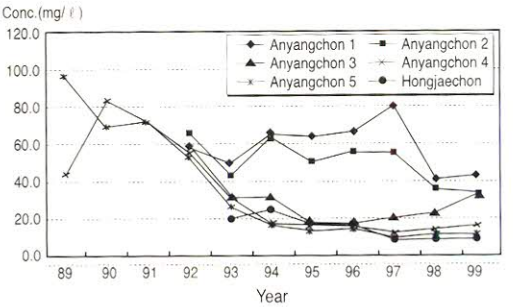

Fig. 4. Annual variation of BOD at each stream.

BOD 수치가 '94년에 24.6㎎/ℓ을 기록하였으나, '97년부터 9㎎/ℓ정도를 나타내는 것으로 보아 홍제천 유역은 분리하수관거로 인해 가정하수 및 공장폐수의 유입이 거의 배제되고 우수만이 흐르는 것으로 추정된다.

4) 화학적산소요구량 (COD)

COD는 수중의 피산화물, 특히 유기물이 산화제에 의해 처리될 때 소비되는 산소량을 ㎎/ℓ로 표시하는 것으로 유기물 등의 피산화물량을 쉽게 신속히 알 수 있지만 생물화학적으로 안정한 물질과 불안정한 물질을 구별 할 수는 없다. 이에 BOD와의 상관계수를 구해보면 안양천이 0.9로 거의 1에 가까운 높은 정상관을 나타내어 가정하수 등 수중 유기물에 대한 수질오염지표를 나타내는 BOD와 산업폐수 등 수중 산화성 물질에 대한 수질오염지표 역할을 하는 COD는 상호 보완적 기능을 수행하는 것으로 나타났다.[5]

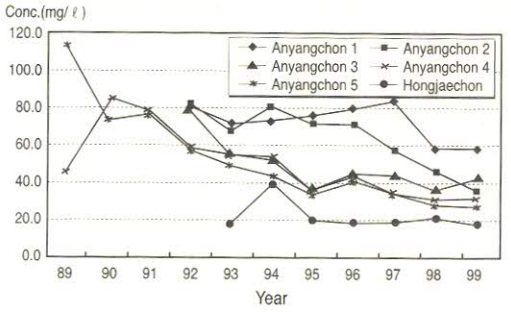

Fig. 5. Annual variation of COD at each stream.

5) 부유물질 (SS)

안양천 1~3지점은 Fig.6과 같이 3월에서 4월경에 부유물질량이 상당히 높아 최고 117.6㎎/ℓ까지 오염농도를 나타내고 하류부근은 계절별 특이사항을 볼 수 없었다. 이는 안양천의 특성상 하천의 하류부분의 흐름이 완만하고 수심이 깊어져 부유물질의 침전이 예상되며 연도별 경향성은 Fig.2와 같이 안양천 1지점은 측정이 시작된 '92년 년평균오염도가 57.2 ㎎/ℓ에서 '99년 58.8 ㎎/ℓ으로 거의 변화가 없었으나 안양천 2지점부터는 부유물질의 오염도가 시간의 경과에 따라 줄어드는 추세로 '89년에 비해 '99년 오염도는 70~80% 감소하였다.

6) 대장균군수

분뇨오염의 지표로서 대장균군은 일반적으로 병원성

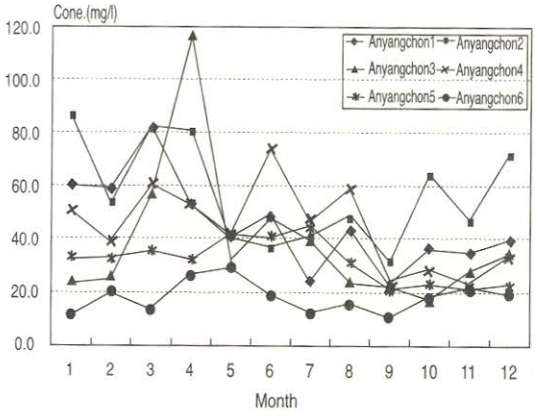

Fig. 6. Monthly variation of SS at each stream.

Table 2. The yearly mean concentration of SS at each stream.

(unit : ㎎/ℓ)

site / year	Anyang1	Anyang2	Anyang3	Anyang4	Anyang5	Hongjae
1989				92.7	68.5	
90				80.5	50.1	
91				63.0	54.7	
92	57.2	88.5	116.7	35.3	25.7	
93	39.7	63.1	33.9	42.5	34.1	27.4
94	46.8	54.0	49.2	37.0	25.2	26.9
95	41.4	45.6	19.4	33.0	17.5	12.3
96	43.8	96.8	23.4	50.3	20.8	18.4
97	38.4	58.6	25.0	31.1	16.4	10.3
98	40.9	39.6	28.0	42.1	15.2	13.2
99	58.8	16.1	34.0	23.5	23.3	19.5

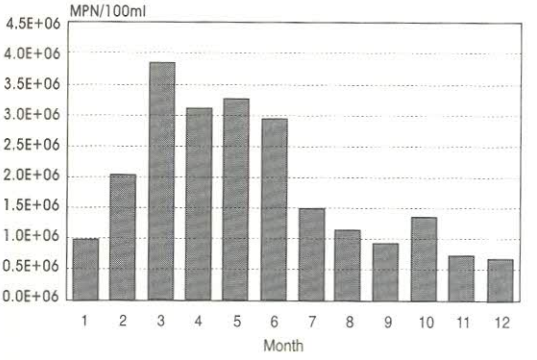

Fig. 7. Monthly variation of *E. coli* in Anyangchon.

을 가지고 있지 않은 경우가 많으며 물에 대하여 반드시 유해한 물질은 아니지만, 분뇨오염의 가능성을 추정할 수 있는 지표가 된다.[6] 만약 대장균군이 검출 될 경우에는 이질, 장티푸스, 기타 살모넬라성 장염 등의 병원성 미생물이 존재할 위험성이 높다는 것이다. 이러한 대장균군수를 대상하천에 대하여 월별 측정치를 데이터화 하여 막대그래프로 그려보면 Fig. 7과 같다.

대체적으로 동절기인 1, 11, 12월의 경우는 낮고 기온이 올라가는 2월부터 상승하여 3월에서 6월까지가 가장 높고 우기인 7, 8월부터 점차 감소하는 것으로 나타났다.

7) 총질소 (T-N)

안양천의 경우 BOD, COD, SS등의 오염항목은 점

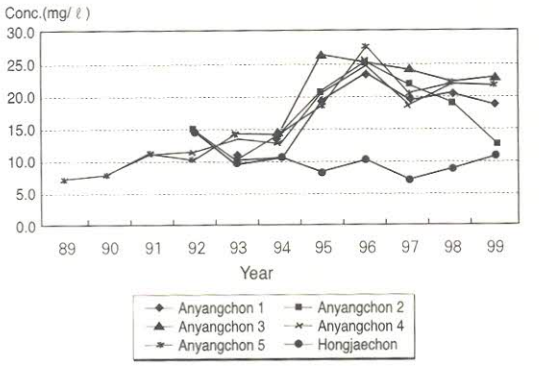

Fig. 8. Annual variation of T-N at each stream.

차적으로 그 오염도가 감소하고 또한 하류로 갈수록 정화되는 것으로 나타났으나 총질소는 안양천 하류의 년평균오염치가 측정을 시작한 '89년 7.138㎎/ℓ에서 '99년 21.229㎎/ℓ으로 3배 정도 증가하였고 상류보다는 하류가 더 오염이 심함을 알 수 있다. 이는 점차 생활하수 및 공장폐수의 성분이 다양해지고 생물학적 방법만으로는 제거되지 않는 물질의 농도가 높아짐에 따라서 현탁고형물을 침전에 의해 제거하고(1차처리), 생물분해 가능한 용존 유기물질을 미생물의 대사작용으로 제거하는 (2차처리) 재래식 수처리 방법으로는 불충분하게 되었으며, 질소뿐만 아니라 인, ABS형 경성세제, 무기염류 등을 제거하는 3차처리 (혹은 고도처리)가 요구되는 실정이다.[5]

단백질을 함유한 오수가 배출되면 자연에서 가수분해되어 아미노산으로 되고 질산화균에 의해 암모니아성질소(NH_3-N), 아질산성 질소(NO_2-N), 질산성 질소(NO_3-N)의 과정을 거쳐 정화된다. 이러한 질산화 과정은 분뇨나 하수의 단백질 함유 오수가 하천에 유입시 오염 후 경과시간, 오염시점, 오염진행상태 및 오염시기 등을 알 수 있는 지표로 이용된다. 이를 안양천과 홍제천에 대하여 질소 순환과정으로 살펴보면 Fig. 9와 같다. 총질소 중 암모니아성질소가 차지하는 비율을 안양천 4지점에 대하여 '96년부터 '99년까지 조사하여보면 거의 61~73%를 차지하며, 월별로 질소순환과정을 살펴보아도 총질소 중 암모니아성질소가 차지하는 비율이 45~97%나 된다. 하수도에 유입되는 생활하수는 대부분의 질소가 尿素와 단백질에 결합되어 있어서 貫渠를 흐르는 사이에 쉽게 분해되며, 하수종말처리장에 유달될때에는 대부분의 질소물질이 암모니아성질소의 형태로 존재하게 된다. 그리고 합류식 하수도의 경우에는 그러한 분해가 더 진행된 질소물질이 포함될 수도 있다.

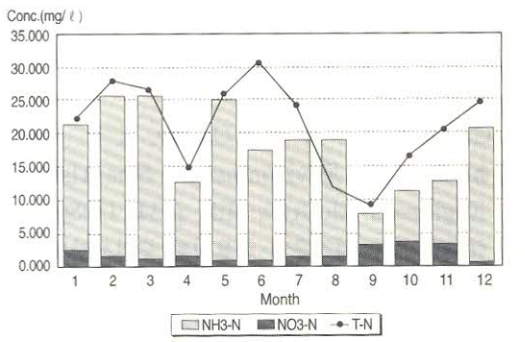

Fig. 9. The distribution of nitrification in Anyangchon.

8) 총인 (T-P)

인은 부영양화 과정에서 질소보다도 더 중요한 제한물질로 작용한다. 즉, 이산화탄소와 질소는 대기의 구성성분이고 수중에도 그 평형농도가 있을 수 있지만 인은 그렇지 않기 때문이다. 그리고 염조류는 대기로부터 질소를 세포내에 고정할 수 있으므로 미량의 용존인만 있어도 크게 번식할 수 있다.[7] 인의 주요 배출원으로는 분뇨, 음식찌꺼기, 합성세제로부터 해리된 증강제 등이다. 분뇨의 함유량은 섭취한 음식의 질과 양에 따라서 다르지만 糞 보다는 尿에 더 많이 있는 것으로 알려져 있다. 음식물찌꺼기의 함유량은 음식재료와 생활수준에 따라 다르며, 합성세제로 부터 해리되는 증강제로서의 인의 양은 합성세제의 종류와 사용량에 따라서 다르다.[5] Fig. 10에서와 같이 안양천의 경우, 시간의 경과에 따라 인의 오염도가 증가하는 추세이고 총질소와는 달리 상류부근의 오염도가 하류보

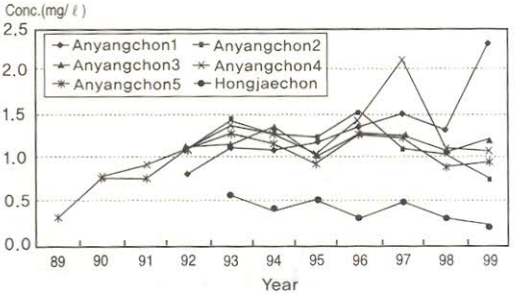

Fig. 10. Annual variation of T-P at each stream.

다 높은 것으로 나타났다.

홍제천의 경우,'93년 0.554㎎/ℓ에서 '99년 0.220 ㎎/ℓ으로 감소하는 것으로 보아 가정하수 및 공장폐수의 유입이 줄어들어 거의 없는 것으로 추정된다.

9) 음이온계면활성제 (ABS)

계면활성제는 크게 음이온계, 양이온계, 비이온계, 양성 계면활성제로 분류할 수 있으며 음이온계면활성제는 주로 합성세제에 이용되고 있다.[8] 비누는 최초의 계면활성제였으며 적은 양으로도 보다 효과적인 세정력을 나타내기 위해 합성세제로 교체되었는데 처음 합성세제에 사용된 계면활성제가 ABS(alkyl benzene sulfonate)로 1960년대 중반까지 가장 많이 사용되었다. 그러나 ABS는 생분해가 매우 늦어 거품공해와 생태계에 미치는 영향 때문에 1981년부터 LAS(linear alkyl sulfonate)로 완전히 교체되었다. LAS는 용해성이 좋고 세정력과 경제성이 양호하여 ABS이후 대부분의 합성세제에 현재까지 사용되고 있는 계면활성제이다. 그러나 LAS는 호기성 조건에서는 생분해가 잘 되지만 혐기성 조건에서는 생분해가 대단히 느린 단점이 있다. 생분해도란 유기물이 미생물에 의해 분해되는 정도로 1차 생분해와 궁극적 생분해로 나눌 수 있다. 대개 미생물은 호기성 조건 즉 산소가 물에 풍부히 있을때는 분해속도가 빠르지만 혐기성 조건에서는 분해속도가 느리다. 우리나라와 같이 하천의 길이가 짧고 하수처리시설이 미흡한 나라에서는 대부분이 혐기성 조건이므로 LAS를 사용하는 합성세제의 경우 생분해도가 매우 느려서 LAS는 우리나라 실정에는 잘 맞지않는 계면활성제이다. 따라서 이에 대체되어 사용되고 있는 계면활성제가 SLES(=AES, alkyl ether sulfonate)이다. LAS가 석유에서 합성한 계면활성제라면 SLES는 야자유나 팜유같은 식물유지에서 합성한 고급알콜계 계면활성제로 생분해 기간이 LAS에 비해 짧다. 따라서 비누이든 합성세제이든 적게 사용하고 적당량을 사용해야 할 것이며 생분해가 잘 되지않는 LAS를 함유한 합성세제보다는 생분해가 잘되는 SLES를 함유한 합성세제를 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.[9]

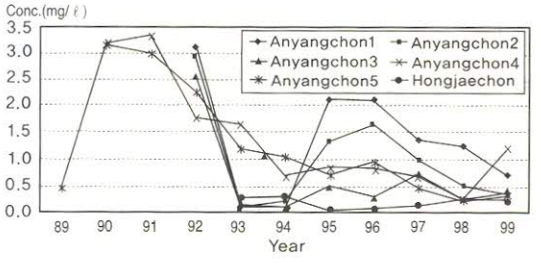

Fig. 11. Annual variation of ABS at each stream.

結　論

안양천과 홍제천에 대한 수질환경오염도 변화 추이를 살펴 본 결과는 다음과 같다.

1. 수온이 상승함에 따라 용존산소의 농도는 점차 감소한다.
2. BOD, COD 및 SS의 오염도는 낮아지고 있으나, T-N, T-P의 오염도는 증가하고 있다.
3. BOD와 COD는 서로 강한 상관관계를 나타낸다. (r〉 0.9)
4. 대장균군수는 동절기에 가장 낮고 3월에서 6월까지가 가장 높다.
5. 세제 사용량을 줄이고 생분해도가 높은 세제로의 전환이 필요하다.

參 考 文 獻

1. 이상수 : 한강정체수역의 부영향화 상태에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문, p 1 (1996).
2. 이길영 : 하천공학. 희중당, p 365 (1998).
3. 국립환경연구원 한강수질검사소 : 한강수계 수질오염원 정밀조사. pp 738~746 (1998).
4. 김종택 : 환경오염공정시험법 해설. 신광출판사, p 187 (1992).
5. 김동민 : 폐수처리. 청문각, p 174, 412 (1992).
6. 박석기 : 위생미생물시험법 해설. 서울시보건환경연구원, p 61 (1998).
7. Gaudy, A. F. Jr. and Gaudy, E. T. : Micro biology for Environmental Scientists and Engineers. McGraw-Hill. p 347 (1980).
8. 길혜경 外 : 한강수계 주요지천 수질오염도 평가. 보건환경연구논문집 제 34권, p 325 (1998).
9. 송영순 : 생분해가 잘되는 합성세제. 월간 소비자 (1998)