

한강하류에서의 영양염 및 클로로필의 분포와 동태

Distribution and Behavior of Nutrients and
Chlorophyll in the lower stream of Han River

1995. 2

한국해양연구소

제 출 문

본 보고서를 “한강 하류에서의 영양염 및 클로로필의 분포와 동태” 연구사업의 최종보고서로 제출합니다.

1995년 2월

연구기관 : 한국해양연구소

연구책임자 : 양 동 범

연구원 : 조 성 록
 : 김 경 태
 : 김 중 근
 : 김 종 현

요 약 문

I. 제목

한강 하류에서의 영양염 및 클로로필의 분포와 동태

II. 연구개발의 목적 및 중요성

리오회경선언 이후 환경오염을 국지적인 현상으로 해석하지 않고 전지구적인 규모에서 파악하려는 시도가 본격화 되었다. 해양의 오염을 연구하는데도 단순히 연안 외해역의 오염상태를 측정하는데 그치지 않고 해양-대기의 상호작용, 육지-해양의 상호작용등이 중요시되게 되었다. 따라서 해양의 환경을 보전하는데 관련하여 육상기인 오염물질을 어떻게 관리하고 하천역의 오염발생 원에 대해 어떻게 규제하는가에 대한 연안역 통합관리의 개념이 여러각도에서 연구에 시도되고 있다. 근년 우리나라의 급속한 경제성장은 많은 환경문제를 야기시켜왔으며 제대로 처리되지 않은 생활하수와 공장 폐수들이 강으로 유입되면서 생명의 근원이 되는 강물이 심하게 오염되고 이에 따른 수생생태계의

파괴를 가져왔다. 특히 영양염의 과다유입으로 인한 부영양화 현상은 세계의 여러 하천에서 매우 보편화되어 있는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 강에서의 영양염이 증가하는 현상은 호수의 부영양화 현상에 비해 주목받지 못하고 있는데 그 원인은 강에서는 영양염 농도가 증가해도 생물학적으로 반응하는 것이 호수보다 극적이지 못하기 때문이다.

해양오염의 약 80%는 육상으로부터 유입되는 것으로 인해 생기며 이러한 오염물질 대부분은 강으로 유입되어 강 하구역을 통해 바다라는 종착역에 도달한다. 그러므로 강에서의 영양염의 분포와 동태를 연구하는 일은 연안해역의 오염을 줄이고 해양환경을 보전하는데 크게 기여할 것이다.

영양물질인 인과 질소의 순환은 많은 연구자들의 연구대상이 되어 왔는데 최근에는 용존 유기인과 요소태 질소의 순환에 대한 관심이 높아지고 있다. 지금까지의 용존 유기인의 연구는 주로 하나의 모델 화합물 (예, ATP)에 대해 이루어 졌고 요소의 생태계내 순환연구의 경우는 요소의 분해와 uptake에 중점을 두어왔다.

더우기 근래 황해의 해양오염문제가 역내국가간 쟁점으로 부각되고 있어 황해의 오염현황 및 중국의 공업화에 의한 영향 등이 연구되고 있고 UNEP의 동북아해역 환경보전계획 (NOWPAP) 등 많은 국제공동조사도 기획단계에 있다. 따라서 한강의 생태계내 물질순환 조사는 앞으로의 환경외교에 대비한 자료축적이라는 면에서 큰 잇점을 가지고 있다. 또한 UNESCO/IOC 의 서태평양지역 기구인 WESTPAC 은 공동연구사업으로 River Input of Nutrients to the Marine Environment 계획을 91년 11월 회의에서 합의하여 92 - 94년 까지 각

국이 연구를 수행하도록 하고 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

한강하류계의 각 정점에서 정기적인 조사를 통하여 무기 영양염 (암모니아, 질산염, 아질산염, 인산염, 규산염)의 농도를 조사한다. 또한 영양염을 이용하는 일차생산자들의 생산성을 대략적으로 추정하기 위해 엽록소농도를 측정한다. 이와함께 각종 생화학적 작용이 영양염의 분포에 미치는 영향을 조사하기 위해 Aminopeptidase activity, 박테리아의 생산력등을 조사한다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1994년 7월의 조사는 상당한 양의 강우로 인하여 유속이 다른 기간에 비해 빠른 날 행하여졌다. 그래서 전 조사 지역에서 영양염의 분포도 다른 기간의 분포 양상과 다르게 상류지역에 해당하는 동호대교나 천호대교 정점에서 더 높은 양상을 보여 이 기간에 한강 수계가 다른 기간과는 다른 요인의 영향을 받은 것으로 추측된다. 부착성 박테리아가 50%이상 존재한것도 빠른 유속으로 인한 부유성 고형물질의 증가로 설명될 수 있을 것이다. 7월의 박테리아 생산력 및 aminopeptidase activity값에 있어서 천호대교와 동호대교 정점에서의 낮은 값은 실험실로의 운반도중 온도의 감소로 인해 생물의 활성도가 감소된 듯하다.

세번에 걸친 한강 하류역의 조사는 한강 상류와 하류에서 구별되는 물리, 화학적 환경이 존재함을 시사하여 주었다. 수온의 경우 상류보다는 하류에서 약간 높은 값을 보였는데 이는 한강하류로 오면서 열이 유입되고 있음을 보여준다. 영양염의 분포에 있어서는 7월의 결과를 제외하면 요소, 암모니아, 아질산염, 인산염, 규산염의 경우 상류인 천호대교에서 하류인 행주대교 정점으로 갈수록 그 농도가 증가하는 양상을 보였으며 특히 암모니아는 다른 지역보다 4 - 20배 정도 월등히 높은 농도를 보였고, 요소도 또한 상당한 차이를 보였다. 한편 영양염들 사이의 높은 상관관계는 이들 성분의 유입이 비슷한 요인에 의해 일어나고 있음을 시사한다.

박테리아의 개체수는 행주대교 정점에서 가장 많았으며 생산력도 행주대교 정점에서 가장 큰 값을 보여 이 지역에서의 높은 개체수를 유지할 수 있었을 것이라 여겨진다. 1.0 μm 크기 이하의 박테리아 생산력은 전체 박테리아 생산력의 1/2 정도로 개체수의 분포비에 비해서 더 작은 것을 알 수 있다. 이는 1.0 μm 크기 이하의 박테리아가 그보다 큰 크기의 박테리아나 부착성 박테리아보다 더 낮은 생산력을 갖음을 보여준다.

조사 기간 동안의 엽록소-a의 분포는 1993년의 조사 결과 (1.60 - 24.7 $\mu\text{g}/\ell$)에 비해 낮은 결과를 보였고 지역에 따른 구별되는 양상은 보이지 않았다. 엽록소는 온도와 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

이상의 결과는 한강 하류계의 하부가 인간 활동을 포함하는 여러 환경 변화의 영향으로 물리·화학적, 생물학적인 변화가 dynamic하게 반영되어 나타났음을 본 연구는 시사한다.

SUMMARY

Different physical and chemical characteristics were observed in the upper and lower part of the lower stream of the Han River. Field survey on July was made when the stream velocity was relatively rapid. Low transparency and different nutrient distribution pattern seemed to be due to the rapid stream.

Nutrient contents increased gradually from Cheonho to Haengju Bridge. High bacterial number was observed near Haengju Bridge together with high bacterial production rate.

No relationship was observed between temperature and chlorophyll. Bacterial production of size group smaller than 1.0 μm was approximately 1/2 of total bacterial production which implies its lower contribution to the production.

목 차

요약문	3
제 1 장 서론	17
제 2 장 조사방법	20
제 1 절 조사정점과 조사시기	20
제 2 절 분석용 시료의 채취 및 영양염 분석	20
제 3 절 엽록소 농도	20
제 4 절 Aminopeptidase Activity 의 측정	21
제 5 절 박테리아생산력 및 개체수	22
제 3 장 조사결과	24
제 1 절 일반 수질특성	24
제 2 절 영양염 농도	25
제 3 절 엽록소 - a	26
제 4 절 Aminopeptidase Activity	26
제 5 절 박테리아 개체수 및 박테리아 이차생산력	27
제 4 장 토의 및 결론	28

Contents

ABSTRACT	3
Chapter 1. Introduction	17
Chapter 2. Materials and Methods	20
1. Area and Period of Study	20
2. Collection of Samples and Analyses of Nutrients	20
3. Chlorophylls	20
4. Aimonopeptidase Activity	21
5.. Bacterial Secondary Production	22
Chapter 3. Results	24
1. General Water Quality Parameters	24
2. Nutrients	25
3. Chlorophylls	26
4. Aimonopeptidase Activity	26
5. Bacterial number and bacterial secondary production	27
Chapter 4. Discussions and Conclusions	28

List of Figures

- Fig. 1. Map showing the sampling stations in the lower Han River system.
- Fig. 2. Distribution of ammonia in the Han River.
- Fig. 3. Distribution of nitrite in the Han River.
- Fig. 4. Distribution of nitrate in the Han River.
- Fig. 5. Distribution of phosphate in the Han River.
- Fig. 6. Distribution of silicate in the Han River.
- Fig. 7. Distribution of urea in the Han River.
- Fig. 8. Distribution of chlorophyll a in the Han River.
- Fig. 9. Distribution of bacterial abundance in the Han River.
- Fig. 10. Distribution of bacterial secondary production(BSP) in the Han River.

List of Tables

Table 1. Environmental parameters and nutrients data in the lower system of Han River.

Table 2. Microbiological biomass and activities in the lower system of Han River

Table 3. Maximum hydrolysis rates and half-saturation constants of aminopeptidase activity in the lower system of Han River

Table 4. Correlation analysis of environmental and microbiological parameters observed in the lower system of Han River

제 1 장 서 론

오늘날 환경문제는 소수의 전문가들이 취급하는 특정분야가 아닌 전인류의 공동관심사이며 모두가 참여해서 해결해야 할 과제로 인식되고 있다. 1992년 리오환경선언을 계기로 각국가가 자신들이 처한 환경 현안문제에 대해서만 대처하던 관례에서 벗어나 지역적 오염의 영향이 축적되어 나타나는 전 지역해 또는 전지구적 규모의 환경변화에 대해 관심이 고조 되었다. UNEP의 지역해보전계획 (Regional Seas Programme)은 이러한 관점에서 공동해역에 대한 지역 국가간 협력을 더욱 강화시키고 있고 지금까지 정치적 이유로 실천하지 못하였던 북서태평양실천계획(Northwest Pacific Action Plan, NOWPAP)을 통해 한반도 주변해역의 오염실태와 오염원 규제 및 관리를 위한 연구방안을 검토하였다. 이미 활성화된 프로그램인 UNEP의 동아시아 해양보전계획(EAS)에도 한국이 참여하게 되었는데 여기에는 연안해역의 환경과 관련된 육상기인 오염물질의 통합관리(EAS 과제번호 35)가 포함되어 있다. 이는 UNESCO/IOC의 WESTPAC이 수행하는 하천수에 의한 해양환경영향 연구와 함께 지역해의 보전을 위한 한국의 국제공동연구참여에 중요한 계기를 마련하고 있다.

우리나라에서는 지난 30여년간 급속한 산업의 발달과 도시로의 인구 집중은 많은 환경문제를 야기시켜왔다. 제대로 처리되지 않은 생활하수와 공장 폐수들이 강으로 유입되면서 생명의 근원이 되는 강물이 심하게 오염되고 이에 따른 하천, 기수역 및 연안역의 수생생태계 파괴는 우리가 해결해야 할 가장 중요한 당면과제로 등장하였다. 특히 영양염의 과다유입으로 인한 부영양화 현상은 세계의 여러 하천에서 매우 보편화되어 있는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 강

에서의 영양염이 증가하는 현상은 호수의 부영양화 현상에 비해 주목받지 못하고 있는데 그 원인은 강에서 영양염 농도가 증가해도 생물학적으로 반응하는 것이 호수보다 극적이지 못하고, 산업과 경제 활동에서도 강보다는 호수의 중요성이 더욱 크기 때문으로 생각된다. 해양오염의 약 80%는 육상으로부터 유입되는 것으로 인해 생기며 이러한 오염물질 대부분은 강으로 유입되어 강 하구역을 통해 바다라는 종착역에 도달한 것들이다. 그러므로 강에서의 영양염의 분포와 동태를 연구하는 일은 강의 부영양화를 규명하는 일 외에도 연안해역의 오염을 줄이고 해양환경을 보전하는데 기여할 것이다. 현재 환경부에서 전국 주요 하천의 오염부하추정을 위한 연구가 수행되고 있으나 주로 하천 관리를 목적으로 하고 있고 단순한 오염지표로서의 의미만을 강조하고 있다. 그러나 하천의 오염정도는 한두가지의 오염지표 조사만으로는 평가할 수 없는 것이므로 종합적으로 연구할 필요성이 있다. 특히 강의 하구역은 그 특성상 강 유역 일대에 걸친 인간의 활동에 의해 직접적으로 영향을 받고 있어 영양염의 동태는 매우 동적이며, 유입된 많은 유기물들에 의해 부영양화되는 경향을 보이고 있다. 한편 방조제의 건설, 간척사업, 매립, 항구의 건설 및 폐기물의 투기로 하구역의 독특한 성격을 상실해 가고 있다. 하구역은 매우 생산성이 높은 해역임에도 불구하고 그 경제적 가치는 최근에 와서야 인정받게 되었다. 이 생태계는 담수와 해수가 조석의 주기에 따라 매우 광범위한 수역에서 혼합되므로 염분과 수온 등의 물리적인 변화가 크고, 담수종과 해산종들의 분포 역시 수괴의 이동에 따라 변화하며, 염분이나 온도의 변화에 내성이 큰 기수종들이 혼재하는 등 담수 생태계나 해양 생태계와는 다른 매우 독특한 생태 특성을 지니고 있다. 따라서 하구역 생태계의 특이한 환경에 대한 흥미와 중요성이 높아짐에 따라 하구역 생태계를 구조적인 관점에서 연구하던 기존의 연구 경향에서 구성 생물군의 생산성과 동적인 기능을 이해하고자 하는 방향으로 바뀌고 있다. 따라서

하천의 하류역에서의 영양염의 분포와 동태, 그리고 영양염과 상호작용을 하는 생물들의 동적인 기능을 파악하는 연구의 필요성이 증대되고 있다.

본 연구의 목적은 2천만의 인구, 수많은 대단위 공장들에 의해 직접적으로 영향을 받고 있는 한강 하류수역에서의 영양염의 분포와 동태를 파악하는데 있다. 이 목적을 위해 첫째 각 영양물질들의 분포와 동태를 조사하여 한강 하류역에서의 부영양화 실태를 파악하고 둘째로 엽록소 양과 박테리아 생산력을 측정하여 영양염의 분포와 생산성 사이의 동적 기능을 이해하며 이를 통해 연구수역에서의 박테리아와 식물플랑크톤이 물질순환에서 어떠한 상호작용 및 관계를 가지고 있는가를 연구하고자 한다.

제 2 장 조 사 방 법

제 1 절 조사 정점과 조사 시기

조사 정점은 한강의 천호대교, 동호대교, 행주대교로(Fig. 1) 1994년 7월 2일, 12월 3일 그리고 1995년 3월 18일에 3번에 걸쳐 시료를 채취하였다.

제 2 절 분석용 시료의 채취 및 영양염 분석

시료는 수심 0 m 에서 폴리에틸렌 표층 채수기로 채수되었다. 영양염 분석용 시료는 GF/C filter로 현장에서 여과하여 냉동 보관되었고, 암모니아, 질산염, 아질산염, 인산염, 규산염과 요소의 농도 측정에 이용되었다. 암모니아, 질산염, 아질산염, 인산염, 규산염의 농도 측정은 Parsons et al.(1984)의 방법에 따랐고, 요소 농도 측정은 Price and Harrison(1987)의 방법에 의해 측정되었다. 수온은 봉상온도계로 측정되었다. 산성도는 pH meter로 측정되었다.

제 3 절 엽록소-a 농도

엽록소-a의 농도 측정은 Parsons et al. (1984)의 방법에 준하였다. 현장에서 일정량의 시료를 GF/F(7월 2일), GF/C(12월 3일), 0.2 μ m membrane filter(3월 22일)로 여과한 후 filter를 냉동보관하였다. 분석을 위해 10 - 15 ml의 90% 아세톤으로 24시간 암냉소에 보관한 후 원심분리하여 750nm, 664nm, 647nm, 630nm에서 1cm의 cell로 측정하였다. 흡광도로부터 추출된 엽록소-a의 농도는 다음의 식으로 계산되었다.

$$(Ca) \text{ 엽록소-a} = 11.85 \times E_{664} - 1.54 \times E_{647} - 0.08 \times E_{630}$$

여기서 E_{664} , E_{647} , E_{630} 은 각 파장의 흡광도를 750nm의 흡광도로 빼서 보정한 값이다. 시료 중 엽록소-a의 농도는 다음으로부터 얻어진다.

$$\text{엽록소-a} = \frac{Ca \times v}{V \times 10}$$

v : 추출에 사용한 아세톤의 부피 (ml)

V : 여과한 시료의 부피 (l)

제 4 절 Aminopeptidase Activity의 측정

식물성 플랑크톤 및 박테리아에 의한 aminopeptidase activity는 Hoppe et al.(1988)의 방법을 따랐다. 측정 원리는 형광을 띄지 않는 Leu-MCA가 aminopeptidase의 작용으로 분해되면서 형광을 갖는 MCA를 남기게 되어 이 물질의 형광을 측정함으로써 aminopeptidase activity를 정량화 할 수 있는 것이



다. 형광의 정량은 TKO 100 Mini fluorometer(Hofer Science)를 이용하여 Ex 365nm, Em 460nm에서 행하여졌다. 형광의 분해 속도로의 전환은 동시에 행해진 10nM - 200nM까지의 MCA standard curve를 이용하였다.

실험은 20 ml의 시료에 0.5mM Leu-MCA를 각각 4, 40, 200, 400 μ l씩 넣어 최종 농도가 0.1, 1, 5, 10 μ M이 되게한 후 2시간 정도 배양하였다. 일정 시간이 지난 후에 시료 2.5ml에 0.2ml의 borate buffer를 넣어 형광을 측정하였다. 대조구는 약 20분간 끓인 시료가 이용되었고, 측정된 형광을 분해된 농도로 전환하여 Lineweaver-Burke plot을 이용해 최대분해속도(V_m)와 반포화상수(K_s)의 값을 결정하였다.

제 5 절 박테리아 생산력 및 개체수

박테리아의 개체수는 Porter & Feig(1980)의 방법에 따라 현장에서 0.2 μ m filtered buffered formalin(최종농도 2%)으로 고정된 시료를 DAPI(최종농도 0.5 μ g/ml)로 염색한 후 형광현미경으로 계수하였다. 계수는 입자 위에 있는 박테리아와 그렇지 않은 박테리아를 계수한 후 입자 상의 박테리아를 부착성 박테리아(attached bacteria)로 간주하고 그렇지 않은 박테리아를 자유생활형 박테리아(free-living bacteria)로 구분하여 계수하였다. 그리고 부착성 박테리아는 계수된 수에 두배를 곱하여 개체수를 계산하였다. 그리고 1.0 μ m 이하의 박테리아 계수는 1.0 μ m Nuclepore PC filter로 여과된 여과수를 위와 동일한 방법으로 계수하였다.

박테리아 생산력의 측정은 Fuhrman and Azam(1982)에 의해 도입된 [³H]-Thymidine Incorporation Method를 변형한 Robarts *et al.*(1986)의 방법을 이용하였다. 10 ml의 시료에 최종 농도 10 nM [³H]-thymidine(Ammersham, SA 85 Ci/mmol)를 첨가한 후 현장 온도에서 1시간 정도 배양하였다. 일정 시간이 경과한 후 5N NaOH로 성장을 정지시키고 약 20여분간 실온에 방치 후 냉장 보관하였다. 그 후 시료에 100% ice-cold TCA를 넣고 0.45 μ m cellulose nitrate 여과지에 여과한 후 50% (w/v)phenol-chloroform과 80% ethanol로 씻어준 후 liquid scintillation counter로 방사능량을 측정하였다. DNA에 흡수된 thymidine mole 수로부터 생성된 박테리아 수의 계산은 1.4×10^{18} cells/mole의 conversion factor(Fuhrman & Azam, 1982)를 이용하였다.

제 3 장 조사 결과

제 1 절 일반 수질 특성

수온은 1994년 7월 2일 23 - 24℃, 12월 3일 7.8 - 9℃, 1995년 3월 18일에는 6 - 7.5℃의 범위로 여름과 겨울의 수온차가 크게 나타났다(Table 1). 정점간의 수온은 상류인 천호대교 정점에서 하류보다 1 - 1.5℃ 정도 낮은 값을 보였다.

투명도는 0.2 - 1.3 m 의 범위로 변화의 폭이 컸다. 7월에는 전 정점에서 0.3 m 이하의 낮은 값을 보였고, 12월과 3월에는 행주, 동호대교 정점에서 0.6 m 이하의 낮은 값을 보인 반면, 천호대교 정점에서는 각각 1.2, 1.3 m 의 비교적 큰 값을 나타내어 상류에서 하류로 내려오면서 급격하게 투명도가 떨어지는 경향을 나타내었다.

pH는 7월의 행주대교 정점의 경우는 7.7의 값을 보였고, 12월과 3월에는 7.9 - 9.0의 비교적 높은 pH를 보였다. 그리고 7월부터 3월까지 점점 pH는 증가하는 경향을 보였다.

제 2 절 영양염 농도

3회의 조사 기간 동안 암모니아의 농도는 $9.3 \mu\text{M}$ - $335.6 \mu\text{M}$ 의 넓은 범위의 값을 보였다(Fig. 2). 7월은 동호대교 정점에서 $124.2 \mu\text{M}$ 로 가장 높은 값을 보였고, 12월과 3월은 하류인 행주대교 정점에서 $335.6 \mu\text{M}$ 과 $221.8 \mu\text{M}$ 로 다른 지역보다 3 - 20배 가량 높은 농도를 보였다. 그리고 12월과 3월에는 상류인 동호대교와 천호대교 정점에서 농도가 감소하는 경향을 보였다.

아질산염의 농도는 $1.3 \mu\text{M}$ - $12.4 \mu\text{M}$ 의 값의 범위를 보였다(Fig. 3). 7월에는 동호대교 정점에서 $5.0 \mu\text{M}$ 의 가장 높은 값을 나타내었으나, 12월과 3월에는 행주대교 정점에서 각각 $12.4 \mu\text{M}$ 과 $7.2 \mu\text{M}$ 의 가장 높은 값을 나타내었다.

질산염의 농도는 $56.3 \mu\text{M}$ - $131.7 \mu\text{M}$ 의 범위로 지역적인 큰 차이는 없었고(Fig. 4) 상류에서 하류보다 약간 높은 경향을 보였다. 시간적으로는 12월과 3월보다 7월에 더 높은 값을 보였다.

인산염의 농도는 $1.3 \mu\text{M}$ - $29.9 \mu\text{M}$ 의 값을 나타내었다(Fig. 5). 7월에는 동호대교 정점에서 가장 높은 값을 보였고 12월과 3월에는 행주대교 정점에서 가장 높은 값을 나타내었으며 상류로 갈수록 그 값이 감소하는 경향을 보였다. 시간적으로는 7월에 12월과 3월보다 훨씬 큰 값을 보였다.

규산염의 농도는 $3.5 \mu\text{M}$ - $92.2 \mu\text{M}$ 의 값을 보였다(Fig. 6). 7월에는 상류인 천호대교 정점에서 하류보다 높은 값을 보였고 12월과 3월에는 하류인 행주대교에서 높은 값을 보였다. 시간적으로는 점점 농도가 감소하는 경향을 보였다.

요소의 농도는 $0.75 \mu\text{M} - 3.47 \mu\text{M}$ 의 값을 나타내었다(Fig. 7). 행주대교 정점에서 가장 높은 값을 보였으며 조사 기간에 걸쳐 점점 증가하였으나 다른 지역은 감소하는 결과를 보였다.

제 3 절 엽록소 - a

엽록소-a의 분포는 $0.27 \mu\text{g}/\ell - 2.92 \mu\text{g}/\ell$ 의 값을 보였다(Fig. 8). 12월에는 천호대교 정점에서 $0.65 \mu\text{g}/\ell$ 으로 가장 높은 값을 보였고 7월과 3월에는 동호대교 정점에서 $1.55 \mu\text{g}/\ell$ 와 $2.92 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 높은 값을 보였다. 시간적으로는 12월에 낮아졌다가 3월에 다시 증가하는 경향을 보였고 3월에 동호대교 정점에서 다른 정점보다 3 - 7배의 높은 농도를 나타낸 것을 제외하면 $1.0 \mu\text{g}/\ell$ 이하의 낮은 농도를 보였다.

제 4 절 Aminopeptidase Activity

Aminopeptidase activity의 척도인 V_{max} 와 K_s 값은 $3.48 - 127 \text{ nM/h}$ 과 $0.23 - 2.02 \mu\text{M}$ 의 값을 보였다(Table 3). V_{max} 값은 상당히 큰 변이를 보였으나 K_s 값은 10배 이내의 비교적 적은 변이를 보였다. 7월과 3월에 동호대교와 천호대교 정점에서 관찰된 V_{max} 와 K_s 값은 매우 유사하였다.

제 5 절 박테리아 개체수 및 박테리아 이차생산력

박테리아 개체수는 전 조사 기간에 걸쳐 $2.2 - 11.2 \times 10^9 / \ell$ 의 값을 보였다 (Fig. 9). 행주대교 정점에 가장 많은 수의 박테리아가 존재하였고, 12월에 천호대교 정점에서의 높은 값을 제외하면 하류로 갈수록 그 수가 증가하는 경향을 보였다. 한편 부착성 박테리아의 분포는 7월은 전 지역에서 50% 정도의 높은 수의 분포를 보였고 12월과 3월에는 행주대교 정점에서만 43%와 28%의 비율로 존재하고 다른 지역에서는 20% 이하의 분포를 보였다(Table 2).

박테리아의 생산력은 7월의 조사에서는 행주대교 정점에서 $17.1 \times 10^7 / \ell / h$ 로 다른 지역보다 11 - 16배 큰 값을 보였고 12월과 3월의 조사에서는 다른 지역보다 1.5 - 3배 정도 큰 값을 보였다(Fig. 10). $1.0 \mu m$ 크기 이하의 박테리아 생산력은 전체 박테리아 생산력의 1/2 정도인 $0.78 - 3.69 \times 10^7 / \ell / h$ 의 값을 보였다. 그리고 박테리아 생산력은 7월부터 3월까지 점점 감소하는 경향을 보였다.

제 4 장 토의 및 결론

1994년 7월의 조사는 상당한 양의 강우로 인하여 유속이 다른 기간에 비해 빠른 날 행하여졌다. 그래서 전 조사 지역에서 낮은 투명도를 보였고 영양염의 분포도 다른 기간의 분포 양상(양 등, 1994)과 다르게 상류지역에 해당하는 동호대교나 천호대교 정점에서 더 높은 양상을 보여 이 기간에 한강 수계가 다른 기간과는 다른 요인의 영향을 받은 것으로 추측된다. 또한 50% 가량의 높은 부착성 박테리아의 존재도 빠른 유속으로 인한 부유성 고형물질의 증가로 설명될 수 있을 것이다. 7월의 박테리아 생산력 및 aminopeptidase activity 값에 있어서 천호대교와 동호대교 정점에서의 낮은 값은 실험실로의 운반도중 온도의 감소로 인해 생물의 활성도가 감소된 듯하다.

세번에 걸친 한강 하류역의 조사는 한강 상류와 하류에서 구별되는 물리, 화학적 환경이 존재함을 시사하여 주었다. 수온의 경우 상류보다는 하류에서 약 1 - 1.5°C 정도 더 높은 값을 보였다. 이는 한강하류로 오면서 열이 유입되고 있음을 보여준다. 영양염의 분포에 있어서도 7월의 결과를 제외하면 요소, 암모니아, 아질산염, 인산염, 규산염의 경우 상류인 천호대교에서 하류인 행주대교 정점으로 갈수록 그 농도가 증가하는 양상을 보였으며 특히 암모니아는 다른 지역보다 4 - 20배 정도 월등히 높은 농도를 보였고, 요소도 또한 상당한 차이를 보였다. 한편 영양염들 사이의 높은 상관관계(Table 4)는 이들 성분의 유입이 비슷한 요인에 의해 일어나고 있음을 시사한다.

박테리아의 개체수는 행주대교 정점에서 가장 많았으며 특히 3월에는 다른 지역보다 3 - 5배 정도 높은 값을 보였다. 박테리아의 생산력도 행주대교 정점에서 가장 큰 값을 보여 이 지역에서의 높은 개체수를 유지할 수 있었을 것이라 여겨진다. 한편 엽록소, 온도와의 상관관계는 유의하게 나타나지 않았다(not shown). 1.0 μm 크기 이하의 박테리아 생산력은 전체 박테리아 생산력의 1/2 정도로 개체수의 분포비에 비해서 더 작은 것을 알 수 있다. 이는 1.0 μm 크기 이하의 박테리아가 그보다 큰 크기의 박테리아나 부착성 박테리아보다 더 낮은 생산력을 갖음을 보여준다.

조사 기간 동안의 엽록소-a의 분포는 1993년의 양 등(1994)의 조사 결과 (1.60 - 24.7 $\mu\text{g}/\ell$)에 비해 낮은 결과를 보여 주었다. 지역에 따른 구별되는 양상은 보이지 않았다. 엽록소는 온도와 유의한 상관관계를 보이지 않았다 (Table 4). 한편 12월에 감소된 후 3월에 다시 증가하는 양상은 증가된 광량과 관련된 것이라 생각된다.

이상의 결과는 한강 하류계의 하부가 인간 활동을 포함하는 여러 환경 변화의 영향으로 물리·화학적, 생물학적인 변화가 dynamic하게 반영되어 나타났음을 본 연구는 시사한다.

Table 1. Environmental parameters and nutrients data in the lower system of Han River

Date	Location	Temperature (°C)	Secchi Depth (m)	pH	Urea (μ M)	NH ₄ ⁺ (μ M)	NO ₂ ⁻ (μ M)	NO ₃ ⁻ (μ M)	PO ₄ ³⁻ (μ M)	Si(OH) ₄ (μ M)
7/ 2/ 94	행주 0 m	24	0.3	7.7	1.75	63.1	3.8	113.2	24.3	75.1
	동호 0 m	23.2	.	-	-	124.2	5.0	131.7	29.9	86.1
	천호 0 m	23	0.2	-	-	54.2	3.3	131.7	28.8	92.2
12/ 3/ 94	행주 0 m	9	0.5	7.9	2.58	335.6	12.4	56.3	6.2	37.9
	동호 0 m	8	0.5	8.1	1.32	92.04	8.0	60.5	4.7	31.2
	천호 0 m	7.8	1.3	8.3	1.6	29.1	2.4	65.3	2.3	35.0
3/ 18/ 95	행주 0 m	7.5	0.2	8.2	3.47	221.8	7.2	61.3	6.2	31.2
	동호 0 m	6	0.6	9.0	0.75	83.5	4.1	62.2	2.0	20.8
	천호 0 m	6	1.2	8.6	0.83	9.3	1.3	64.0	1.3	3.5

Table 2. Microbiological biomass and activities in the lower system of Han River

Date	Location	Chlorophyll-a ($\mu\text{g}/\ell$)	Bacterial Abundance ($\times 10^9/\ell$)				Bacterial Production ($\times 10^7\text{cells}/\ell/\text{h}$)			
			Free Living	Atta- ched	Total	% of Atta- ched	<1.0 μm	Raw Water	<1.0 μm	
7/ 2/ 94	행주 0 m	1.30	1.5	2.0	3.6	57		17.1		
	동호 0 m	1.55	1.4	1.1	2.5	45		1.53		
	천호 0 m	0.84	1.0	1.1	2.2	51		1.09		
12/ 3/ 94	행주 0 m	0.40	2.3	1.7	4.0	43	5.7	5.05	3.69	
	동호 0 m	0.27	2.3	0.44	2.8	16	2.8	3.17	1.76	
	천호 0 m	0.65	2.8	0.72	3.5	20	3.5	2.74	1.08	
3/ 18/ 95	행주 0 m	0.40	8.0	3.2	11.2	28	3.0	4.14	1.32	
	동호 0 m	2.92	3.3	.	3.3	.	2.2	2.57	1.00	
	천호 0 m	0.73	2.7	.	2.7	.	1.5	1.50	0.78	

Table 3. Maximum hydrolysis rates and half-saturation constants of aminopeptidase activity in the lower system of Han River

Date	Location	Vmax (nM/h)	Ks (μ M)
7/ 2/ 94	동호 0 m	5.82	0.38
	천호 0 m	3.48	0.48
12/ 3/ 94	동호 0 m	35	2.02
3/ 18/ 95	행주 0 m	37	0.23
	동호 0 m	127	0.31
	천호 0 m	114	0.28

Table 4. Correlation analysis of environmental and microbiological parameters observed in the system of Han River

	r	p
Temperature vs Chlorophyll-a	0.129	0.740
Chl-a vs Bacteria abundance	-0.266	0.488
Nitrite vs Ammonia	0.919	0.000
Urea vs Ammonia	0.754	0.05
Phosphate vs Silicate	0.966	0.000
Phosphate vs Nitrate	0.977	0.488

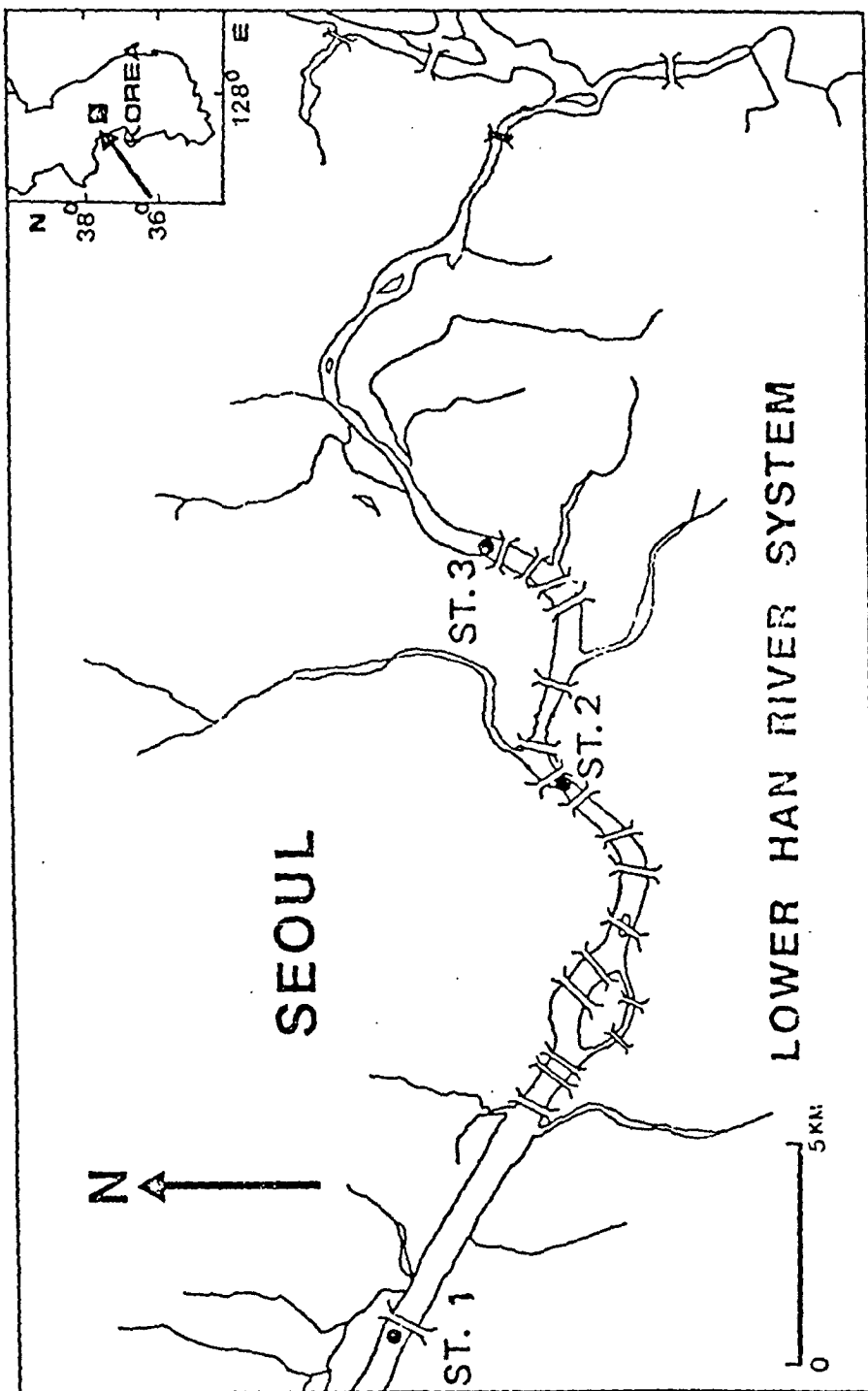


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the lower Han River system.

Ammonia

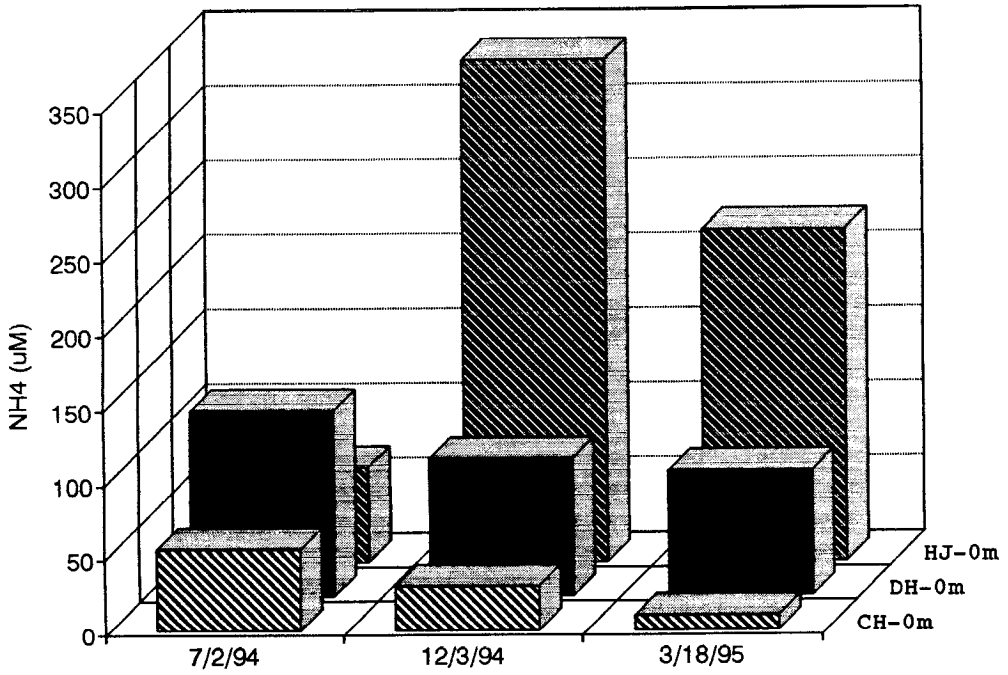


Fig.2 Distribution of ammonia in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Nitrite

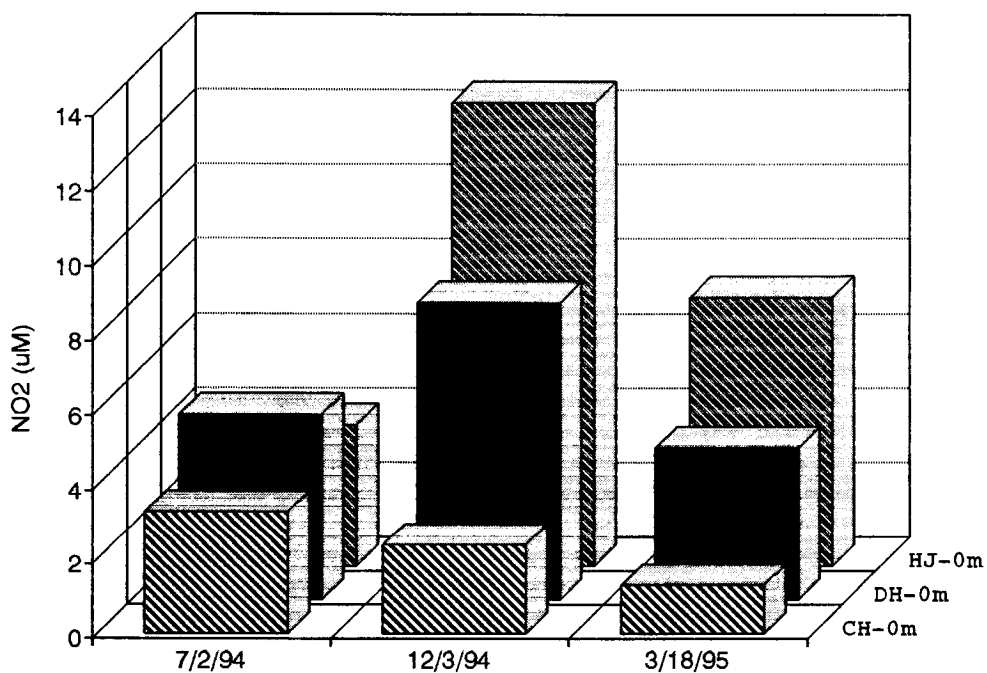


Fig.3 Distribution of nitrite in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Nitrate

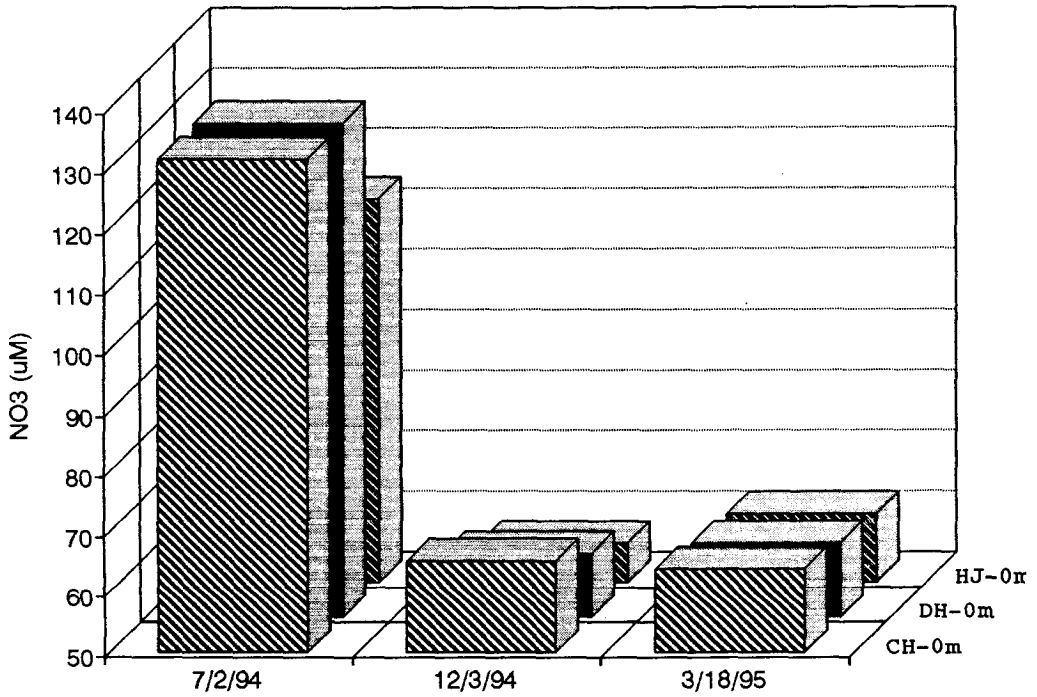


Fig.4 Distribution of nitrate in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Phosphate

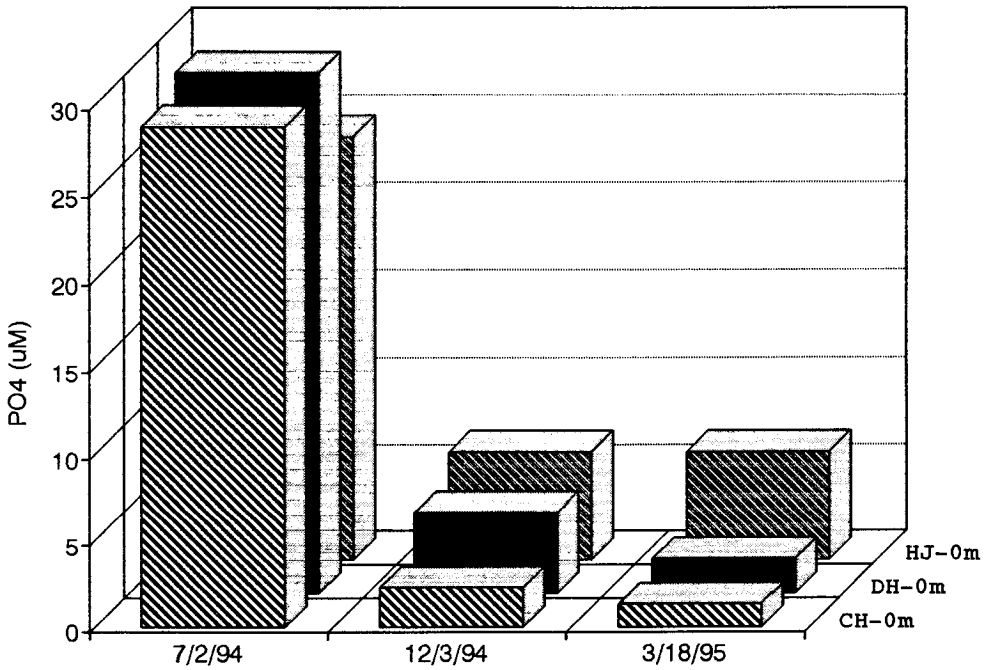


Fig.5 Distribution of phosphate in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Silicate

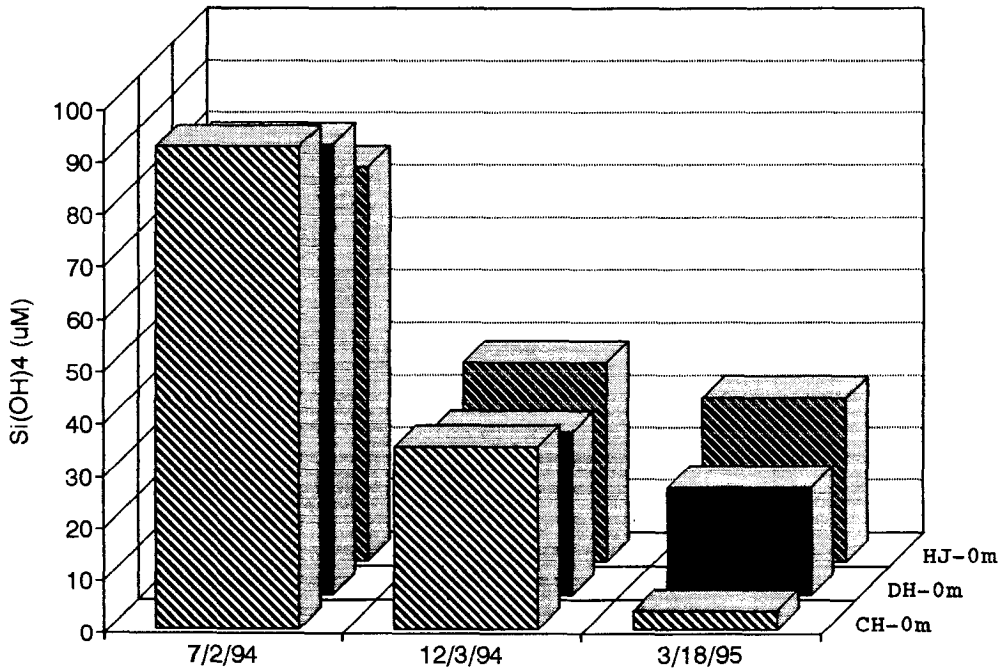


Fig. 6 Distribution of silicate in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Urea

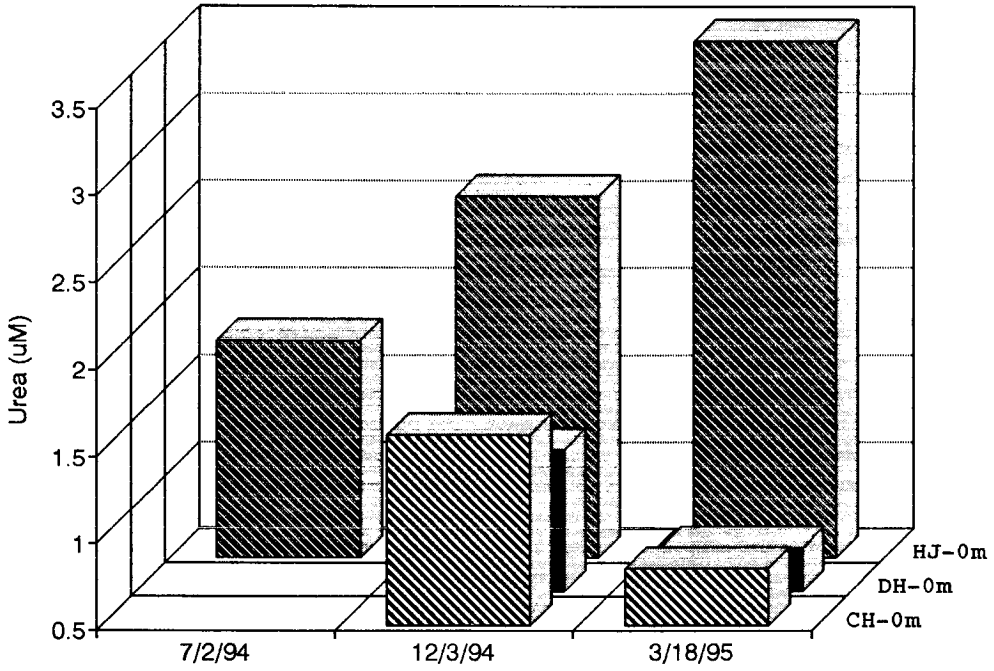


Fig. 7 Distribution of urea in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Chlorophyll-a

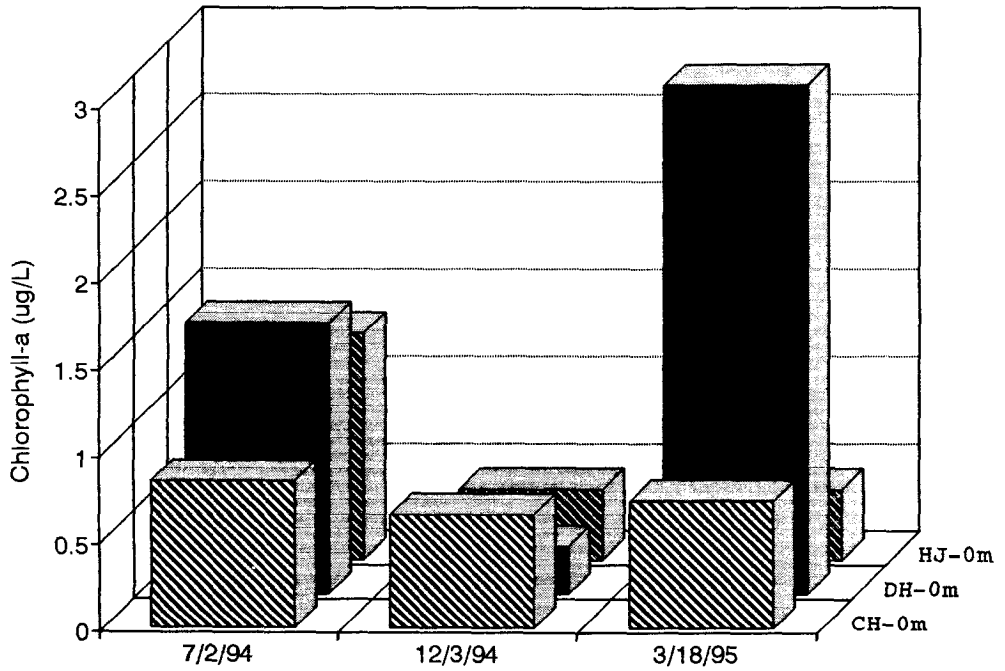


Fig. 8 Distribution of chlorophyll-a in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

Bacterial Abundance

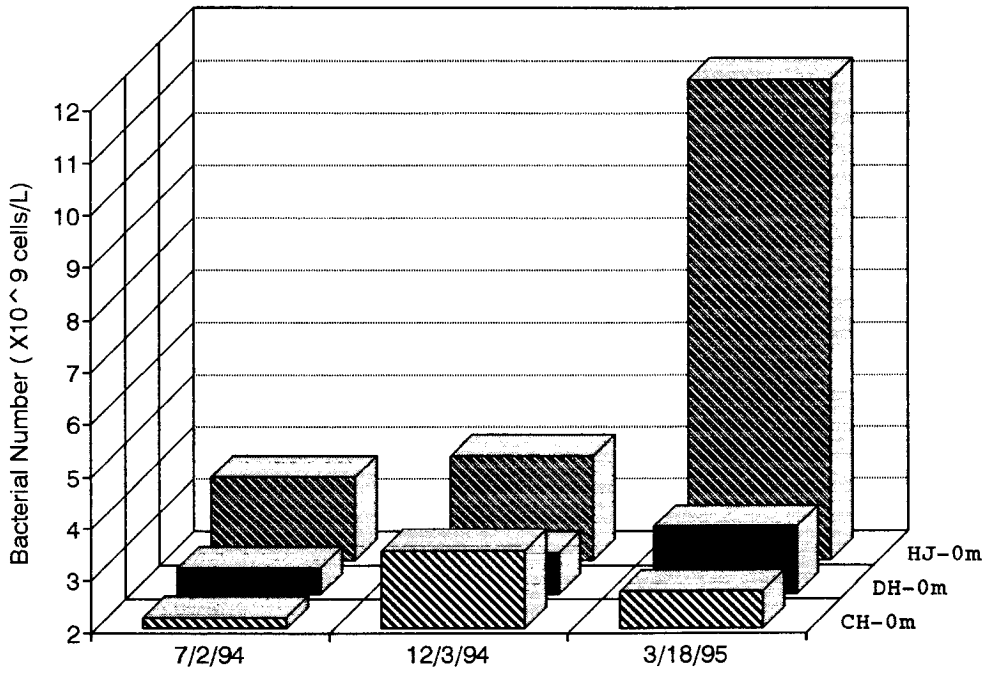


Fig. 9 Distribution of bacterial abundance in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.

BSP

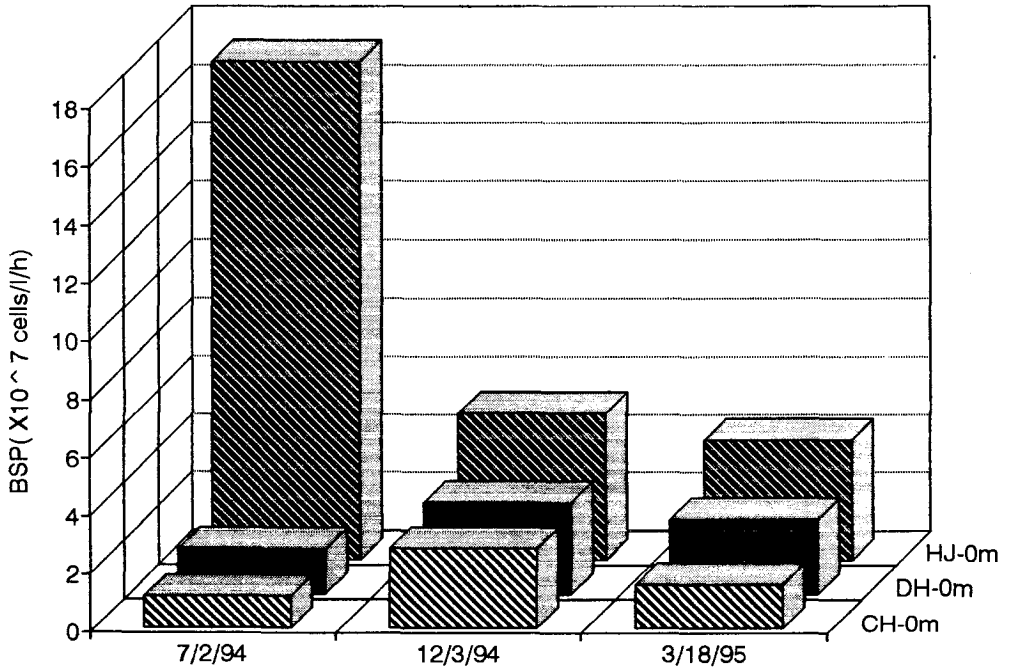


Fig. 10 Distribution of bacterial secondary production (BSP) in the Han River. HJ, DH and CH represent Hang-Ju, Dong-Ho and Cheon-Ho Bridge, respectively.