

## 경기만의 종속영양 세균군집의 분포 및 활성

강찬수 · 이기승 · 김명운 · 권개경 · 김용학 · 박성주 · 이건형\* · 김상종

서울대학교 자연과학대학 미생물학과

군산대학 생물학과\*

## Distribution and Activity of Heterotrophic Bacterial Communities in Kyeonggi Bay, Korea

Kang, Chansu, Ki-Seung Lee, Myeong Woon Kim, Kae-Kyoung Kwon, Yonghak Kim, Sung-Joo Park, Keon Hyoung Lee\* and Sang-Jong Kim

Department of Microbiology, College of Natural Sciences, Seoul National University,

Seoul 151-742, Korea

Department of Biology, Kunsan University Kunsan, Korea\*

**ABSTRACT:** The distribution of physicochemical environmental factors and microbiological factors was studied at 6 sampling sites in Kyeonggi Bay of Yellow Sea from October 1989 to October 1990. The total bacterial number, saprophytic bacterial number, petroleum-degrading bacterial number, bacterial biomass, and bacterial secondary production were measured in the range of  $0.09\sim 1.24 \times 10^7$  cells/ml,  $7\sim 60000$  CFUs/ml,  $0\sim 240$  cells/ml,  $14.16\sim 301 \mu\text{g-C/l}$ , and  $0.13\sim 11.82 \text{ mg-C/m}^3/\text{hr}$ , respectively. The turnover times of  $^3\text{H}$ -glucose and  $^3\text{H}$ -acetate were in range of  $6.5\sim 6984$  and  $41\sim 24897$  hours, respectively. The spatial distribution of heterotrophic bacterial communities were highly affected by influx of organic pollutants from the coastal area and the seawater exchange with offshore.

**KEY WORDS** □ Kyeonggi Bay, Bacterial Distribution, Heterotrophic Activity, Petroleum-degrading Bacteria

서해 생태계는 수온의 연교차가 크고 조수 간만의 차이가 큰 생태계로서 특이한 해양 생태계를 이룬다. 또한 서해 경기만은 한강의 유입으로 인하여 해수의 희석이 현저하게 이루어지는 일종의 하구생태계로 간주된다(최, 1984). 경기만은 리아스식의 긴 해안선을 통해 인근 육상 생태계와 연결되고 인간의 활동의 영향을 받는다. 경기만은 조수간만의 차이가 심하여 해수의 혼합이 활발하여 지역에 따른 차이가 심하지 않다. 하지만 육상의 인간활동에 의해 영향을 받는 내해의 항만 지역은 외해와 큰 차이를 나타낸다.

미생물 군집은 자연 생태계 내에서 분해자로서의 기능 외에도 식물성 플랑크톤에서 유래된 유기물을 이용하여 생물량을 형성하고 이는 다시 더 높은 영양단계로 전이되므로써 미생물 순환고리(microbial loop)를 통한 먹이사슬을 완성시킨다(Azam *et al.*, 1983). 최근 십여년 동안 발달된 방법론에 힘입어,

자연 생태계 내에서 미생물의 역할과 그 중요성을 제대로 인식하게 되었다(Watson *et al.*, 1977; Fuhrman and Azam, 1982).

해양 생태계 내에서 미생물 군집은 다양한 생물군집과 상호작용한다. 특히 식물성 플랑크톤의 분포는 미생물 군집의 분포와 활성에 직접적으로 작용한다. 종속영양 세균들은 유기물을 생물량 형성을 위한 탄소원과 에너지원으로 이용하므로 수층에 존재하는 유기물의 양에 의해 영향을 크게 받는다. 손상되지 않은 식물성 플랑크톤 세포로부터 방출된 유기물은 인간활동의 영향이 적은 해양 생태계에서 중요한 유기물 공급원으로 작용한다. 반면에 인간의 활동에 의해 압박을 받는 생태계에서는 오염물질의 양과 종류가 미생물 군집의 분포와 활성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

또한 다른 생물군집과 마찬가지로 종속영양 세균

군집의 분포와 활성에는 수온과 같은 물리적 요인이 크게 영향을 미친다. 서해의 큰 수온의 변화는 미생물 군집의 구조에도 큰 영향을 미칠 것으로 보여 계절적으로 미생물 군집의 분포 및 활성이 큰 변화를 나타낼 것으로 판단된다.

생산력이 높은 하구 생태계로서, 그리고 인간의 활동에 의해 영향을 받는 경기만 생태계는 물리화학적 환경변화에 적응하는 생물군집의 특성 또한 계절적 공간적으로 변화하게 되며, 이 생태계의 특성 조사는 자연 생태계에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있을 것이다.

본 연구에서는 서해 경기만에서 세균군집의 분포와 활성의 계절적 공간적 변화와 차이를 조사하며, 이에 영향을 미치는 물리화학적 환경요인도 측정하여 해양 생태계 내에서 미생물 군집의 위치를 이해하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 연구대상 지역

본 연구의 대상 해역은 인천 연안 및 경기만 일대를 포함한 곳으로서 수심은 대체로 10~40m로 얕으며, 많은 섬들로 리아스식 해안을 이루고 있고, 조석의 영향을 심하게 받으며, 반일조 주기의 강한 조류의 영향 등으로 인해 환경요인의 변화가 매우 심한 해역이라 할 수 있다.

또한 본 해역의 북쪽으로부터는 한강 및 임진강의 담수가 유입됨으로써 염분도 및 유기물 분포에 큰 영향을 주게 되며, 인천항으로부터 유래되는 오염이 연안 생태계에 상당한 영향을 끼치는 등, 담수 유입 및 인간활동으로 인하여 환경요인이 크게 변화하는 특성을 지니고 있다.

조사 정점은 위와 같은 지역적 특성을 고려하여, 총 6개의 정점을 선정하였다. 정점 1은 북쪽으로부터의 담수 유입의 영향을 고려하여 염하수로 부근에 선정하였으며, 정점 2는 인천 공업단지 부근 영종도와 사이에, 정점 3은 인천항내 연안부두에, 정점 4는 반월 및 소래지역의 영향을 고려한 중간지점으로서 팔미도 부근에 선정하였다. 정점 5와 6은 내해의 영향이 비교적 적은 외해로서 덕적도 부근에 선정하였다(Fig. 1).

### 조사 일정 및 채수 방법

본 연구는 1989년 10월부터 1990년 10월까지 총 5회에 걸쳐 채수된 시료에 대해 분석하였으며, 채수는 1989년 10월 10일, 1990년 3월 20일, 5월 17일, 7월 2일 및 10월 11일에 실시하였다. 채수 방법은 물리화학적 요인의 측정을 위하여 Niskin water sampler를, 미생물학적 요인의 측정을 위하여 Bach sampler를 사용하여 채수하였으며, 표층수는 수면에서 1m 깊이에서 채수하였고, 저층수는 저토로부터 4~5m

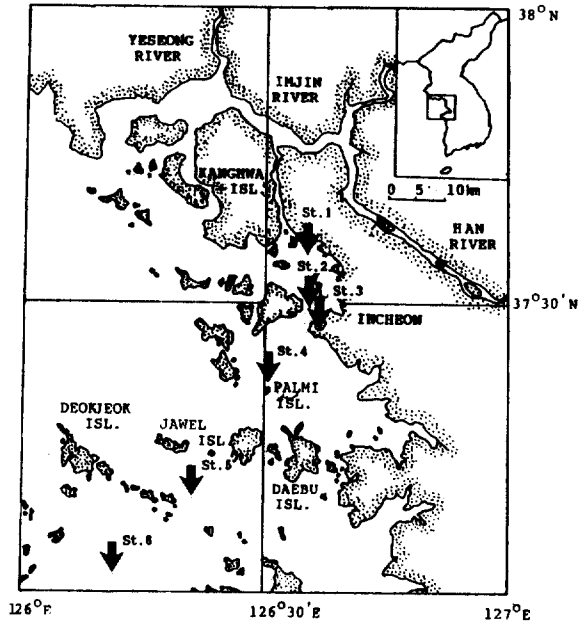


Fig. 1. Map of study area showing position of sites in Kyeonggi Bay.

위에서 채수하였다. 채수된 시료는 멸균된 1.8l polypropylene bottle에 담아 4°C 저온 운반하여 분석하였다.

### 물리화학적 환경요인의 측정

채수 후 즉시 수온을 측정하였으며, standard method(APHA, 1989)에 따라 영양염류와 염류소의 양을 spectrophotometer(Shimadzu, UV-160)를 사용하여 측정하였다. 영양염류로 암모니아염 질소는 phenate법으로, 아질산염 질소는 sulfanilamide와 NED-dihydrochloride를 반응시켜 측정하였으며, 질산염 질소는 cadmium 환원법을 사용하여 정량하였다. 인산염 인의 양은 stannous chloride법을 사용하여 측정하였다.

부유물질량(Seston)은 glass fiber filter(25 mm diameter; Gelman Sci. Co.)에 여과한 시료의 건조 질량을 0.05 mg 단위까지 측정하였다.

### 염류소 a

0.45 μm pore size의 nitrocellulose membrane filter(47 mm diameter; Gelman Sci. Co.)에 여과한 500 ml의 시료를 90% acetone 용액에서 24시간 동안 추출한 후 원심분리된 상등액의 흡광도를 측정하였다.

### 총세균수(Total Bacterial Number) 및 세균 생물량

총세균수 측정은 AODC(Acridine Orange Direct Count)법을 사용하였다(Watson *et al.*, 1977; Lee and Fuhrman, 1987; Austin, 1988). 시료는 현장에서 dark bottle에 formalin으로 고정하여 4°C에서 보관

하였다. 염색 후 형광현미경(Epifluorescence microscope, Nikon Labophot)을 이용하여  $\times 1500$  배율하에서 검정하여 세균수를 측정하였다.

세균의 체적은 구형 세균의 경우는 지름에 따라, 그 모양을 완전 구형으로 가정하여 구하였으며, 간형 세균의 경우는 원통형과 양끝의 반구 형태로 가정하여 구하였다(Albright and McCrae, 1987; Norland *et al.*, 1987; Chrzanowski *et al.*, 1988). 구해진 체적을 총세균수로 나누어 개체당 평균체적(bacterial mean biovolume)을 구하였으며, conversion factor인  $0.121 \text{ pg-C}/\mu\text{m}^3$ (Watson *et al.*, 1977)을 곱하여 세균 생물량(bacterial biomass)을 산출하였다.

### 세균 생산량(Bacterial production)과 생리적 활성도

세균의 생산량을  $^3\text{H}$ -thymidine incorporation rate 을 측정함으로써 구하였다. [methyl- $^3\text{H}$ ]-thymidine (NEN, specific activity  $80.8 \text{ Ci}/\text{mmole}$ )을 최종농도  $5 \text{ nM}$ 로 되도록 희석한 후,  $20 \text{ ml}$ 의 시료( $53 \mu\text{m}$  sieve로 prefiltration된)에 접종하여 현상온도에서 배양하였다. 배양 후  $4^\circ\text{C}$ 의 ice-cold  $10\%$  TCA(trichloroacetic acid; Jansen, Belgium) 용액  $20 \text{ ml}$ 을 넣어 DNA를 추출한 뒤 nitrocellulose membrane filter( $0.2 \mu\text{m}$  porosity,  $25 \text{ mm}$  diameter, Gelman)로 여과하였다. 탄소의 productivity는  $2.1 \times 10^{-13} \text{ g-C}/\text{cell}$ 의 conversion factor(Bratbak, 1985)로부터 구하였다.

세균 군집의 유기물에 대한 이용도를 나타내는 turnover time( $T_1$ )을 glucose와 acetate를 사용하여 측정하였다. D-[1- $^3\text{H}$ (N)]-glucose(NEN, specific activity  $15.5 \text{ Ci}/\text{mmole}$ )와 [2- $^3\text{H}$ ]-acetate(NEN, specific activity  $3.4 \text{ Ci}/\text{mmole}$ )를 각각  $0.014 \text{ nM}$ 과  $5 \text{ nM}$ 의 최종농도로 희석하여 dark bottle에 접종하였다. 시료는  $53 \mu\text{m}$ 의 sieve로 사전 여과 후  $50 \text{ ml}$ 을 사용하였으며, 3 replicates와 1 control(formalin 2%)로 항온 교반 배양기에서 현상온도로 2시간 동안 배양하였다. 배양 후 formalin(2%)로 고정된 시료는 nitrocellulose membrane filter( $0.2 \mu\text{m}$  porosity,  $25 \text{ mm}$  diameter, Gelman)로 여과한 뒤, scintillation cocktail(Cooper, 1977; PPO 5g, POPOP 0.1g, toluene 1l)  $5 \text{ ml}$ 을 넣어 radioactivity를 측정하였다(Packard Tri-Cab Liquid Scintillation Analyzer model 1500).

### 콜로니 생성균수(Saprophytes)

배지는 Zobell's 2216E 한천배지(Oppenheimer & Zobell, 1952)를 사용하였으며, pour-plate method로  $20^\circ\text{C}$ 에서 2주간 배양한 후 생성된 콜로니를 계수하였다. 이 때 6개월 이상 저장된 숙성해수(aged seawater)와 증류수를 섞어서 사용하였다.

### 석유분해 세균수(Petroleum-degrading bacteria)

석유분해 세균의 계수는 MPN method를 사용하였다. 실험방법 및 배지의 조성은 Gunkel과 Trekel

(1967)의 방법에 준하여 실행하였다. Bunker-C oil  $0.1 \text{ ml}$ 을 넣어준 후,  $121^\circ\text{C}$ 에서 10분간 습식 멸균하여 사용하였다. oil은 Kuwait crude oil을 사용하였다.

시료가 접종된 실험병은 교반 배양기를 사용하여  $120 \text{ rpm}$ , 실온에서 1개월간 배양하였다. 배양 후 혼탁도를 측정되지 않은 실험병과 비교하였다. 혼탁도의 증가 및 oil층의 제거를 양성반응으로 간주하여 Thomas' simple equation을 이용한 MPN표를 기준으로 유류분해 세균수를 산출하였다.

### 통계 분석

측정된 각 요인들간의 상관관계를 파악하기 위하여 자료들에 대하여 Spearman correlation coefficient를 구하였다. 서울대학교 전자계산소 IBM 3090 system computer를 사용, SAS(Statistical Analysis System) package를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 물리화학적 환경요인의 변화

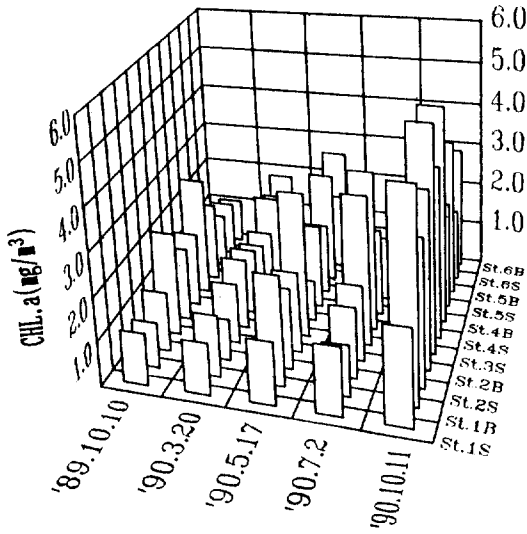
수온은 3월에 최저, 10월에 최고값을 보여, 전체적으로 평균  $6.0 \sim 19.5^\circ\text{C}$  사이의 변동폭을 나타내었다. 대체로 내해가 높고, 정점 5, 6의 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 염분도는 전체적으로 평균  $26\text{‰} \sim 29\text{‰}$  사이의 변동폭을 나타내었다. 이는 여름철에 강우량이 많고 담수의 유입이 늘어나는 영향으로 사료된다. 염분도는 모든 조사기간에 걸쳐 내해에서 낮으며, 외해로 갈수록 높은 경향을 보였다.

아질산염 질소와 질산염 질소는 주로 내해에서 높은 분포를 보이고 있는데, 인산염 인은 이러한 경향과 일치하지 않아, 무기염류로 본 N/P ratio는 내해에서는 높게 나타나고 외해에서는 낮게 나타났다. 대체로 10 이하의 값을 보였고, 외해에서는 5 이하의 값으로도 분포하였다. 그러므로 주로 질소가 제한요인으로 작용할 가능성이 있는데, 내해는 일반적인 해양의 N/P ratio를 벗어나 담수의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

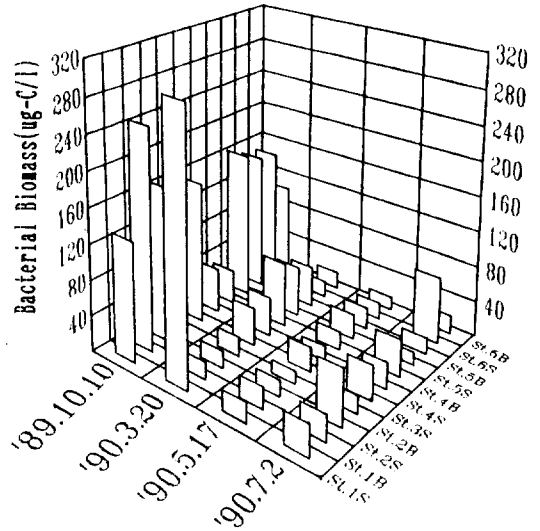
부유물질량은 평균  $21.4 \sim 36.8 \text{ mg/l}$ 의 분포를 보였다. 부유물질량은 주로 표층보다는 저층에서 높게 관측되었는데, 이는 detritus 등이 저층에 sedimentation됨으로써 일어나는 측면과, 저층에 저온의 해수가 흐름으로써, 저토에 축적된 입자들을 다시 수층으로 환원시키는 영향을 받는 것으로 사료된다.

### 엽록소 a

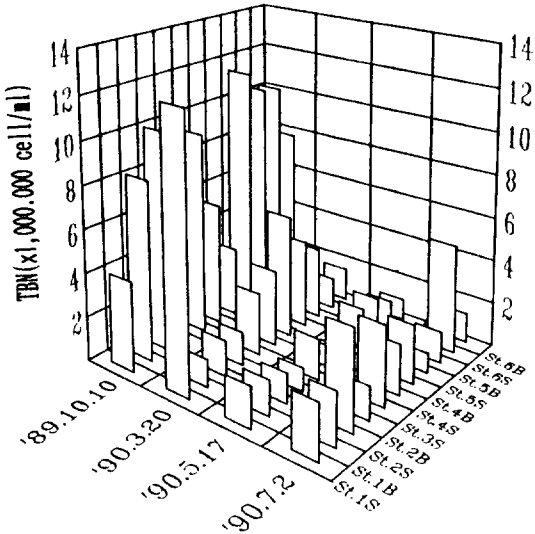
엽록소 a는  $0.31 \sim 5.19 \text{ mg}/\text{m}^3$  사이의 변동을 보였다(Fig. 2). 공간적 분포에 있어서 내해의 외해의 중간 정점인 정점 3과 4에서 최대값을 나타내었는데, 이는 유입된 담수가 외해의 해수와 혼합되면서 영양염류의 공급이 활발하게 이루어지기 때문으로 판단된다. 또한 엽록소 a는 표층보다는 저층에서 높게 측정되었으며,



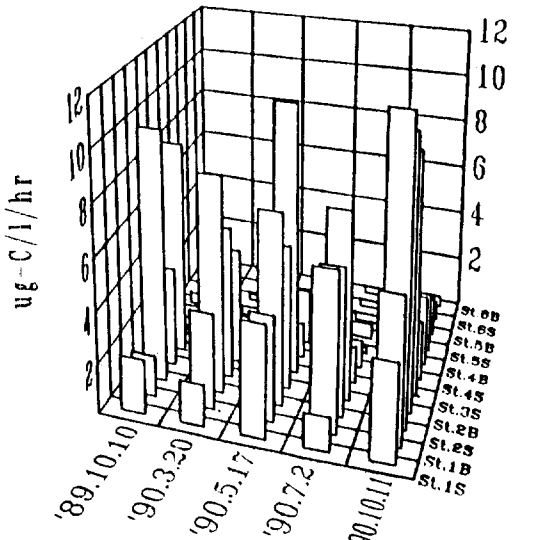
**Fig. 2.** Regional and seasonal variation of chlorophyll a in Kyeonggi Bay.  
(St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).



**Fig. 4.** Regional and seasonal variation of bacterial biomass in Kyeonggi Bay.  
(St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).



**Fig. 3.** Regional and seasonal variation of total bacterial number in Kyeonggi Bay.  
(St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).



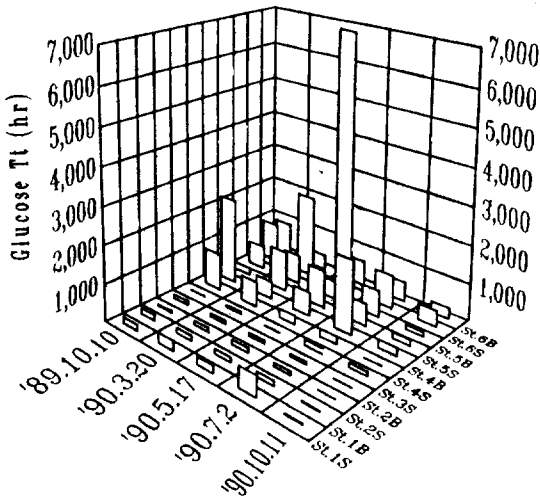
**Fig. 5.** Regional and seasonal variation of bacterial production in Kyeonggi Bay.  
(St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).

이러한 경향은 외해로 갈수록 두드러지는데, 이는 저서성 식물성 플랑크톤이 큰 비중을 차지하기 때문인 것으로 해석된다. Choi *et al.* (1986)에 의하면 1981년 5월부터 1982년 9월까지 경기만에서 채집된 식물성 플랑크톤은 규조류가 대부분이었으며, 이들은 저서성

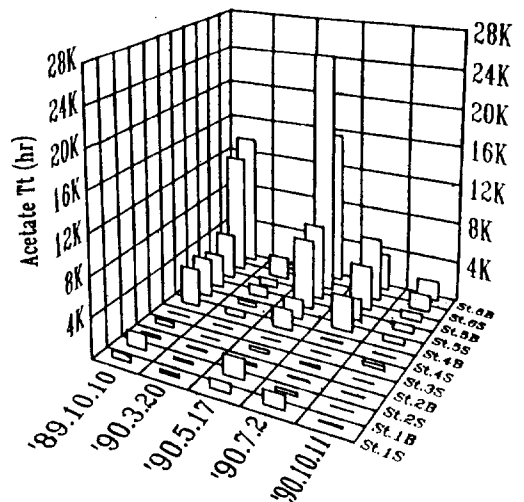
으로서 동계에 강한 수괴 혼합이 이루어질 때 일시 부유하는 것으로 보고되었다.

**총세균수, 세균 생물량**

총세균수는  $0.09 \sim 1.24 \times 10^7$  cells/ml의 범위에서 관찰되었으며, 특히 '89년 10월에 높은 값을 나타내



**Fig. 6.** Regional and seasonal variation of glucose turnover time in Kyeonggi Bay. (St. S stands for surface layer and St. B. for bottom layer).



**Fig. 7.** Regional and seasonal variation of acetate turnover time in Kyeonggi Bay. (St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).

었다(Fig. 3). 또한 염록소 a와 마찬가지로 총세균수도 정점 3과 4에서 비교적 높은 분포를 나타내었다. 총세균수는 BOD로 측정된 유기물과 높은 상관관계를 보였다( $r=0.7029, p<0.01$ ).

세균 생물량에 있어서도 총세균수와 높은 상관관계를 나타내었다( $r=0.7922, p<0.01$ ; Fig. 4). 평균 체적은 대개의 경우에서  $0.12 \mu\text{m}^3/\text{cell}$  정도의 비슷한 분포를 나타내었으며, 일부의 내해 정점에서  $0.20 \sim 0.25 \mu\text{m}^3/\text{cell}$  수준의 분포를 보였다.

**세균 생산량**

세균 생산량은 내해에서는 약  $3 \sim 7 \mu\text{g-C}/\text{hr}$ 인데 반해, 외해에서는 약  $0.2 \sim 0.4 \mu\text{g-C}/\text{hr}$ 로 나타나, 외해와 내해의 구별이 뚜렷이 나타났다(Fig. 5). 측정된 월별로는 큰 차이를 보이지 않았는데, '90년 10월에 약간 높게 나타나, 평균  $4.7 \mu\text{g-C}/\text{hr}$ 이며, 그 다음으로 5월에  $3.4 \mu\text{g-C}/\text{hr}$ 이었다. 그 밖의 조사기간 중에는  $2.3 \sim 2.5 \mu\text{g-C}/\text{hr}$  수준의 측정값을 보였다. 이러한 경향은 염록소 a가 5월 및 '90년 10월에 나타난 것과 일치하여, 식물성 플랑크톤의 증식과의 연계성을 제시한다( $r=0.3097, p<0.05$ ).

**세균 생리적 활성도**

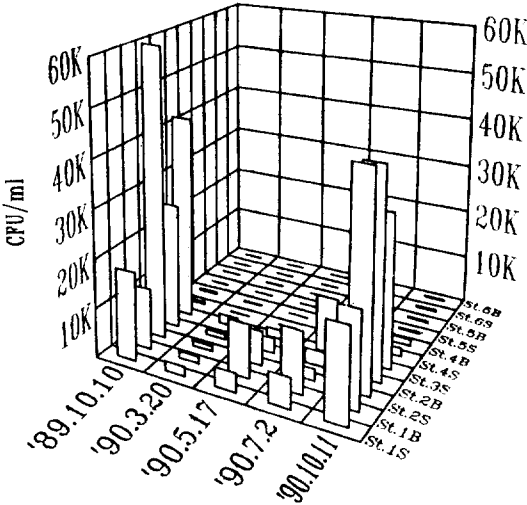
glucose 및 acetate에 대한 세균의 생리적 활성도로서 측정된 turnover time( $T_t$ )은 세균 생산량과 마찬가지로 내해의 외해의 구별이 뚜렷이 나타났다(Fig. 6, 7). glucose turnover time은 내해의 정점 3에서 '89년 10월에 21.99 hr, '90년 5월에는 26.15 hr, 정점 2의 표층의 경우 '90년 10월에 6.48 hr을 나타내었다. 외해에서는 3월에 정점 6의 표층에서 6983.58 hr로 최고치를 나타내었다. 이러한 변동폭은 1985년에서

1986년 사이에 천수만에서 측정된 값보다 긴 편이며 (심, 1988), 낙동강 하구에서 측정된  $1.7 \sim 710$  hr 보다도 훨씬 긴 편이었다(안, 1987).

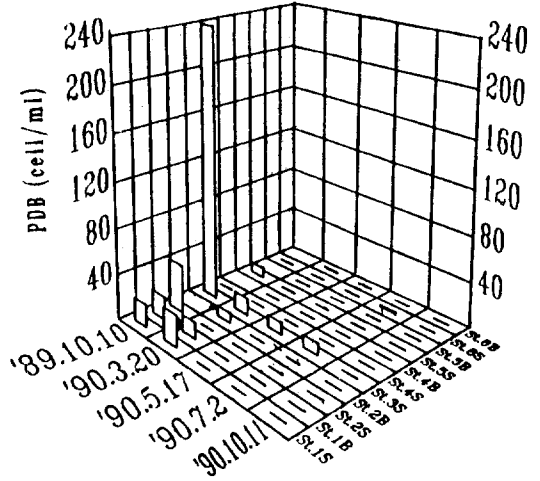
acetate turnover time은 내해의 경우, 정점 3에서 3월에 42.92 hr로 최저치를 기록하였고, 외해에서는 5월에 정점 6의 표층에서 24897.30 hr로 최고치를 나타내었다. 이러한 값은 Kiel Fjord에서 측정된  $6.8 \sim 429$  hr보다 훨씬 긴 편이었다(Gocke, 1977). 이처럼 정기간 수역에서 유기물의 turnover time에 있어서 변동 폭이 큰 것은 계절에 따라 용존유기물의 양과 세균의 생리적 활성이 물리화학적 환경요인과 육상 생태계의 영향으로 크게 변화함을 시사한다. 또한 이 세균의 생리적 활성과 세균 생산 간에는 높은 음의 상관관계를 나타내었다(glucose  $T_t$ 과 세균생산:  $r=0.3849, p<0.01$ ; acetate  $T_t$ 와 세균생산:  $r=-0.4264, p<0.01$ ).

**콜로니 생성균수**

콜로니 생성균수는 내해와 외해라는 지역적 구분과 온도의 변화 등 두 가지 측면에서 강한 영향을 받은 것으로 해석된다(Fig. 8). 연안 해역에서는 '89년 10월에 정점 2의 표층에서 60,000 cell/m로 최고치를 기록하였으며, 외해에서는 5월에 정점 6에서 7 cell/m로 최저치를 나타내었다. 콜로니 생성균수는 총세균수 및 세균생물량과 높은 상관관계를 보였으며, 특히 BOD로 측정된 유기물의 양과 높은 상관관계를 보였다( $r=0.3471, p<0.01$ ). 콜로니 생성균수로 측정되는 유기물 분해능이 높은 종속영양 세균군집은 유기물의 농도가 낮은 외해에 비해 유기물의 농도가 높은 내해에서 더 높게 분포하여, 내해의 육상으로



**Fig. 8.** Regional and seasonal variation of saprophytic bacterial number in Kyeonggi Bay. (St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).



**Fig. 9.** Regional and seasonal variation of petroleum-degrading bacteria in Kyeonggi Bay. (St. S stands for surface layer and St. B for bottom layer).

부터의 유기물 오염을 반영하고 있다.

**유류분해 세균수**

유류분해 세균은 '89년 10월에는 정점 3에서 2407 cell/ml로 최고치를 기록하였는데 (Fig. 9), 이는 이곳에서 유류물질 유입이 있었음을 반영하는 것으로 해석되며, 전반적으로 정점 3에서는 다른 지역에 비해 높은 유류분해 세균수의 분포를 보여, 이 지역이 유류에 의한 만성적인 오염을 받고 있는 상황을 반영

하였다. 유류분해 세균은 BOD( $r=0.4239, p<0.01$ ) 및 콜로니 생성균수( $r=0.4598, p<0.01$ )와 높은 상관관계를 보였다.

**사 사**

본 연구는 1989년도 문교부 대학부설 기초과학연구구 학술연구비 조성 지원 연구로 수행되었음.

**적 요**

서해 경기만에서 6개의 정점을 선정하여 1989년 10월부터 1990년 10월까지 총 6회에 걸쳐 물리화학적 환경요인과 미생물학적 요인의 변화를 조사하였다. 총세균수, 콜로니 생성균수, 유류분해 세균수, 세균 생물량 및 세균 이차생산은 각각  $0.09 \sim 1.24 \times 10^7$  cells/ml, 7~60000 CFUs/ml, 0~240 cells/ml, 14.16~301  $\mu\text{g-C/l}$  및 0.13~11.82  $\text{mg-C/m}^3/\text{hr}$ 의 범위로 측정되었다.  $^3\text{H-glucose}$  및  $^3\text{H-acetate}$ 의 turnover times은 각각 6.5~6984와 41~24897시간의 범위로 측정되었다. 종속영양 세균군집의 공간적 분포는 해안 지역으로부터의 유기오염물질의 유입과 외해와의 해수교환에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

**참고문헌**

1. 심재형. 1988. 황해 내만역의 해양 생태계 분석. 한국과학재단.
2. 안태영. 1987. 낙동강 하구에서 미생물의 Heterotrophic Activity의 계절적 변화와 염분의 영향에 관한 연구. 박사학위논문. 서울대학교 대학원 미생물학과.
3. 최중기. 1984. 경기만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 박사학위논문. 서울대학교 대학원 해양학과.
4. Albright, L.J. and S.K. McCrae, 1987. Annual cycle of bacterial specific biovolume in Howe Sound, a Canadian West Coast Fjord Sound. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53, 2739-2744.
5. APHA-AWWA-WPCE, 1989. Standard method for the examination of water and wastewater, 17th ed. AWWA. American public health association. Washington, pp. 689-726.
6. Austin, B., 1988. Methods in aquatic bacteriology. John Wiley & Sons.
7. Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and T. Thingstad, 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, 257-263.

8. **Bratbak, G.**, 1985. Bacterial biovolume and biomass estimation. *Appl. Environ. Microbiol.*, **49**, 1488-1493.
9. **Choi, J.K. and J.H. Shim**, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonnggi bay, Yellow Sea I. Environmental characteristics. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **21**, 56-71.
10. **Choi, J.K. and J.H. Shim**, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonnggi bay, Yellow Sea II. Light intensity, transparency, suspended substances. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **21**, 101-109.
11. **Choi, J.K. and J.H. Shim**, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonnggi bay, Yellow Sea III. Phytoplankton composition, standing crops, tycho-pelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **21**, 6-170.
12. **Chrzanowski, T.H., R.D. Crotty, and G.J. Hubbard**, 1988. Seasonal variation in cell volume of epilimnetic bacteria: *Microb. Ecol.*, **16**, 155-163.
13. **Cooper, T.G.**, 1977. The tools of biochemistry, pp. 65-135.
14. **Fuhrman, J.A. and F. Azam**, 1982. Thymidine incorporation as a measure of bacterioplankton production in marine surface waters. *Mar. Biol.*, **66**, 109-120.
15. **Gocke, K.**, 1977. Heterotrophic activity. In *Microbial ecology of brackishwater environment*. (ed. by Rheinheimer, G.) pp. 198-222. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg.
16. **Gunkel, W. and H.H. Trekel**, 1967. Zur Methodik der quantitative Erfassung ölabbauender Bakterien in verolten Sedimenten und Boden, Öl-Wassergemischen, Ölen und teerartigen Substanzen. *Helgoländer wiss. Meeresunters*, **16**, 336-348.
17. **Lee, S. and J.A. Fuhrman**, 1987. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *App. Environ. Microbiol.*, **53**, 1298-1303.
18. **Norland, S., M. Helda, and O. Tumyr**, 1987. On the relation between dry matter and volume of bacteria. *Microb. Ecol.*, **3**, 95-101.
19. **Oppenheimer, C.H. and C.E. Zobell**, 1952. The growth and viability of sixty three species of marine bacteria as influenced by hydrostatic pressure. *J. Mar. Res.*, **11**, 10-18.
20. **Watson, S.W., J.T. Novitsky, H.L. Quinby and F.W. Valios**, 1977. Determination of bacterial number and biomass in the marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33**, 940-946.

(Received December 2, 1990)

(Accepted December 7, 1990)