

낙동강 하구생태계의 세균 생물량과 이차생산성

송성주 · 권오섭* · 이혜주¹ · 이진애 · 김영의

인제대학교 환경학과, ¹동아대학교 생물학과

부영양화된 낙동강 하구역에서 세균에 의한 용존 유기물의 이용능을 조사하고 이에 미치는 환경요인의 영향을 파악하기 위하여 미생물학적 요인과 물리화학적 환경요인의 연중 변화를 분석하였다. 총세균수는 $0.33 \sim 2.09 \times 10^7$ cells/ml의 변화폭을 나타냈으며, 오염부하량이 큰 정점에서 종속영양세균의 개체수와 비례하였다. 세균의 체적과 생물량은 각각 $0.064 \sim 0.156 \mu\text{m}^3/\text{cell}$, $0.163 \sim 1.036 \mu\text{g-C}/\text{ml}$ 을 나타냈다. 세균의 이차생산성은 $0.24 \sim 60.86 \mu\text{g-C}/\text{l/h}$ 의 범위로 측정되었으며, 부영양화 지표로 사용되는 환경인자와 밀접한 관계를 보였다. 담수역에 속하는 정점에서의 세균생산성의 계절별 변화는 동계에 최고치를, 하계에 최저치를 나타내어 갈수기의 오염부하량 증가와 밀접한 상관성을 보였다. 해수역에 속하는 다대의 경우 동계에 낮은 값을, 하계에 높은 값을 나타내고, 환경요인 중 엽록소 a, 수온 등과 밀접한 상관성을 보였다 ($r > 0.5$, $p < 0.05$). 이로 미루어 낙동강 하구의 하구언 상류역에서는 주위에서 유입되는 유기물이, 하구언 하류역에서는 식물성 플랑크톤의 광합성 산물이 세균의 이차생산성에 미치는 주 영양물질임을 암시하고 있다.

KEY WORDS □ bacterial secondary productivity, bacterial biomass, total bacterial number, Nakdong River Estuary

수계의 용존성 유기물은 생물의 사체, 일차생산자의 분비물, 외부로부터 유입되는 유기물 등 그 근원이 매우 다양하지만 대부분의 수계에서는 이러한 물질의 농도가 매우 낮아 이들의 농도 변화가 세균의 분포에 영향을 미치는 중요한 제한요인으로 작용한다 (23). 특히, 식물성 플랑크톤은 광합성 산물의 10~60%를 세포 외로 분비하지만 (21), 그 농도가 매우 낮아 다른 생물이 직접 이용할 수 없다. 그러나 종속영양세균은 많은 개체수, 낮은 기질 친화력, 빠른 증식 등으로 저농도의 용존 유기물을 기질로 하여 증식할 수 있다 (11). 따라서 세균은 저농도의 유기물이 먹이연쇄를 통하여 재순환되게 하는 중요한 작용을 한다 (12). 하구생태계는 각종 환경요인의 변화폭이 매우 크고, 서식 생물의 다양성과 환경내성 또한 매우 다양하다. 특히 하구는 풍부한 영양염류와 태양에너지, 조석 등 각종 에너지가 풍부하여 물질생산성이 매우 높고, 물질의 분해도 매우 활발하여 에너지의 순환이 매우 빠른 생태계이다 (26). 일반 자연수계의 경우 일차생산자에 의한 광합성 산물은 종속영양세균이 이용하여 이차생산성 (bacterial secondary productivity)으로 나타나고, 이차생산성이 일차생산성의 25~50%를 차지하지만 (15), 낙동강 하구의 경우 세균이 이용하는 수계의 용존성 유기물은 일차 생산자에 의한 광합성 산물 뿐만 아니라 주위에서 유입되는 유기물도 많은 부분을 차지할 것으로 사료된다.

낙동강 하구역은 인접한 도시와 농촌, 공단 등에서

유입되는 각종 오염물로 인한 오염 부하량이 매우 높으며, 특히 하구언 축조 이후 많은 환경요인이 변화하였고 수계의 정체화로 인한 영양물질의 증가로 부영양화 정도가 더욱 심화되었다 (3, 7). 따라서 본 연구에서는 acridine orange direct counts (AODC)와 ^3H -thymidine incorporation에 의한 세균성 2차 생산성을 측정하여 낙동강 하구의 세균에 의한 용존 유기물의 재사용을 측정하고, 세균의 분포와 활성에 영향을 미치는 주요 환경요인을 측정하여 낙동강 하구역에서의 물질순환에 미치는 세균의 기능과 역할을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

조사정점 및 채수: 낙동강 하구역에서 1991년 11월부터 1992년 10월까지 5개 정점을 정하여 채수하였다 (Fig. 1). 5개 정점 중 구포와 하단은 본류역에 위치하며, 선암과 녹산은 대동수문과 녹산수문에 의해 막힌 서낙동강 수역에 위치하며, 다대는 해수역에 속한다. 미생물 분석용 시료는 Bach sampler를 사용하여 멸균된 갈색 병 (500 ml)으로, 수질분석용 시료는 Van Dorn sampler를 사용하여 수심 1 m에서 채수하였다.

환경요인 분석: 수온, pH, suspended solid, alkalinity, DO, BOD, COD, chlorophyll a, 총질소, 총인, 무기영양염류 (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-})를

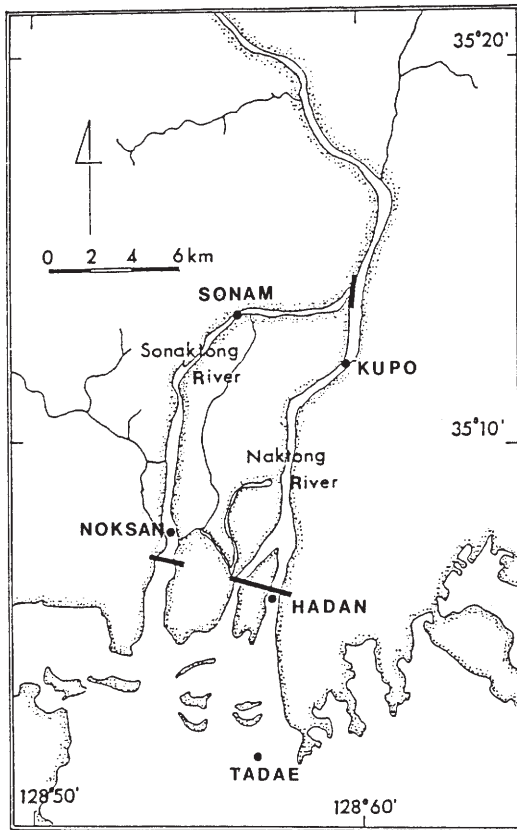


Fig. 1. Map showing the investigated stations at Nakdong River Estuary.

standard methods에 의거하여 측정하였다 (10).

세균수 및 세균 생물량 측정: 중속영양세균의 개체수는 시료를 염분의 농도가 다른 3종류의 영양배지에 접종하여 상온에서 5일 배양한 후 계수하여 측정하였다 (4). 총세균수는 현장에서 시료를 formalin으로 고정시킨 후 (3% v/v), 일정량을 acridine orange로 염색시키고, Sudan Black B로 염색된 polycarbonate filter (Nuclepore Co.; pore size 0.2 μm , diameter 25 mm)로 여과시킨 다음 형광현미경 (Olympus, BH-2)으로 시료당 20~30 fields 씩 관

찰하여 측정하였다 (19). 세균의 생물량은 형광현미경으로 각 세균의 폭과 길이를 측정한 자료를 사용하여 구하였다. 구균은 완전한 구형으로, 간균은 원통 부분과 양 끝의 두 반구로 가정하여 계산한 체적을 총세균수로 나누어 평균 체적을 구한 후, 체적과 탄소량의 conversion factor ($5.6 \times 10^{-13} \text{ g-C}/\mu\text{m}^3$)를 곱하여 세균의 생물량을 산출하였다 (14).

세균의 이차생산성 측정: 용존유기물을 이용한 세균의 이차생산성은 [methyl- ^3H]thymidine이 DNA에 동화되는 정도에 의해 측정하였다 (18). 시료 20 ml에 [methyl- ^3H]thymidine (85 Ci/mmol, Amersham)을 최종 농도가 10 nM되게 첨가하여 빛이 투과하지 않는 실온의 교반기에서 2시간 배양한 다음, 37% formalin에 sodium azide가 첨가된 용액 2 ml를 넣어 반응을 중지시켰다. 4°C의 10% trichloroacetic acid 20 ml를 첨가하여 5분간 교반한 후 membrane (pore size 0.2 μm)으로 여과하고 건조시켜 Liquid Scintillation Counter (Packard 2000 CA)로 방사능을 측정하였다 (16). 세균에 동화된 ^3H -thymidine의 양은 Parson 등 (22)에 따라 구하였으며, conversion factor를 사용하여 bacterial cell production으로 환산하고 (17), 다시 Bratbak (14)의 conversion factor를 사용하여 세균의 이차생산성을 구하였다.

통계학적 분석: 환경요인 사이의 상관관계는 SAS statistical program package를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

각 조사 정점에서 측정된 15개의 환경인자 중 지역적 차이가 비교적 뚜렷한 8가지의 환경인자의 평균치와 표준편차를 Table 1에 나타냈다. 고형부유물질 (SS)과 알칼리도는 하단과 다대에서의 조사치가 정체수역인 구포와 선암, 녹산에서보다 높게 나타나 해수의 유입에 의한 침전물의 부상과 해수성분의 영향 등에 의해 이들 두 환경인자의 지역적 차이를 나타내게 했다. 나머지 6가지 환경인자의 지역적 특성은 해수역에 위치한 다대에서 가장 낮았고, 해수의 유입이 수시로 일어나는 하구연과 인접한 하단에서도 낮은 값을 기록하였다. 낙동강 하구역의 하구연 측조에 따른 수계의 정체화는 오염물질의 증가를 초래

Table 1. Mean values \pm STD for some environmental parameters of invested stations in Nakdong Estuary.

Station	SS* (mg l ⁻¹)	Alkalinity (mg CaCO ₃ l ⁻¹)	Chlo. a (mg m ⁻³)	BOD (mg l ⁻¹)	NH ₄ ⁺ ($\mu\text{g-N l}^{-1}$)	NO ₃ ⁻ ($\mu\text{g-N l}^{-1}$)	Total-N (mg-N l ⁻¹)	Total-P ($\mu\text{g-P l}^{-1}$)
Kupo	13.8 \pm 6.2	2424 \pm 601	64.0 \pm 60.6	3.1 \pm 1.3	830 \pm 582	2478 \pm 1477	—	—
Hadan	34.5 \pm 14.8	3559 \pm 1261	23.6 \pm 15.6	2.8 \pm 1.1	678 \pm 550	1357 \pm 1081	1.01 \pm 0.42	66.7 \pm 32.9
Tadae	64.3 \pm 29.0	4498 \pm 1500	8.1 \pm 7.2	2.0 \pm 1.2	366 \pm 317	773 \pm 938	0.69 \pm 0.61	32.1 \pm 24.9
Sonam	21.3 \pm 9.6	2902 \pm 864	117.2 \pm 80.1	5.3 \pm 1.6	1017 \pm 677	1434 \pm 870	2.09 \pm 0.52	124.5 \pm 46.1
Noksan	34.4 \pm 17.4	3287 \pm 812	88.0 \pm 39.5	4.8 \pm 1.4	521 \pm 422	1769 \pm 1159	1.76 \pm 0.84	156.2 \pm 113.8

* suspended solid.

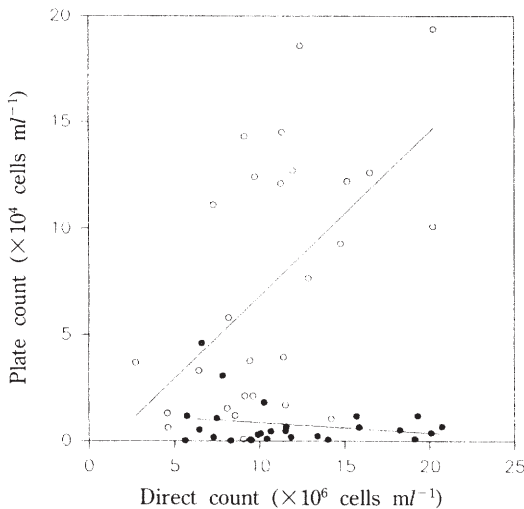


Fig. 2. Correlation between acridine orange direct counts and viable plate counts for Nakdong River Estuary.

○, data from Kupo, Sonam, and Noksan; ●, data from Hadan and Tadae.

하였으며 (3, 7), 본 조사에서도 구포와 선암, 녹산 등에서 뚜렷이 나타나 이들 정점에서의 영양물질 농도 및 염류소의 양이 다른 두 정점에 비해 높은 수치를 보였다 (Table 1).

종속영양세균의 개체수는 유기물의 오염 정도와 밀접한 관계를 지니고 있으며, 본 연구 결과에서도 오염 정도를 나타내는 환경인자와 유사한 지역적 분포 특성을 나타냈다. 그러나 acridine orange에 의한 총세균수의 측정 결과 ($0.33 \sim 2.09 \times 10^7$ cells/m)는 뚜렷한 지역적 차이를 보이지 않았지만 (Fig. 3A), 알칼리도와 음의 관계 ($r = -0.257$, $p < 0.05$)를 나타내어 알칼리도가 높은 해수의 유입이 개체수의 증감에 영향을 미침을 알 수 있었다. 정점별 평균치는 하단, 녹산, 구포, 선암, 다대의 순으로 다소 감소하여 각각 1.22 , 1.21 , 1.16 , 0.99 , 0.99×10^7 cells/m를 나타냈다. 이러한 결과는 안(5)이 하구언 측조 전의 동일 수역에서 측정된 개체수에 비해 2~10 배 많은 값이다. 종속영양세균과 총세균 사이의 상관성을 알아보기 위해 두 인자 사이의 상관성 (correlation coefficient, r)을 계산하였다. 전 조사 정점을 대상으로 할 경우 두 개체수의 측정치 사이에 $r = 0.282$ ($p < 0.025$)의 값을 나타냈다. 그러나 정점을 구분하여 계산한 결과, 종속영양세균의 개체수가 많은 구포, 선암, 녹산에서 두 인자 사이에 $r = 0.566$ ($p < 0.025$)의 상관성이 ($Y = 0.0077X - 9492$), 종속영양세균의 개체수가 적은 하단과 다대에서는 위의 3정점에 비해 떨어지는 $r = 0.213$ ($p < 0.025$)의 상관성을 나타냈다 ($Y = -0.0005X + 13308$) (Fig. 2). 본 연구에서 종속영양세균의 개체수는 N-0, N-10, Z-25 배지 (4)를 사용하여 측정하

였으며, Fig. 2의 종속영양세균 개체수는 각 배지에서 최대치를 기록한 수치이다. 종속영양세균의 개체수가 큰 토양 시료의 경우 두 방법에 의한 개체수 사이에 밀접한 관련성을 나타내나, 종속영양세균의 개체수가 적은 해양에서는 거의 상관성이 없는 것으로 나타나 (11), 본 연구 대상 정점 사이에서 나타난 결과와 일치하였다. 그러나 이와같은 결과는 해수의 영향이 크게 작용하는 하단과 다대에서의 종속영양세균 개체수 측정시 사용한 배지 조성, 배양 조건 등의 문제점도 작용하였을 것으로 사료된다.

세균의 평균 체적은 $0.064 \sim 0.156 \mu\text{m}^3/\text{cell}$ 의 변화 범위를 보였다 (Fig. 3B). 정점별 평균치는 $0.086 \sim 0.095 \mu\text{m}^3/\text{cell}$ 로 큰 차이가 없었으며, 월별로는 91년 10월에 $0.09 \mu\text{m}^3/\text{cell}$, 92년 8, 9, 10월에 $0.10 \mu\text{m}^3/\text{cell}$ 이상을 기록하는 등 하계에서 추계로 가면서 증가하는 유형을 나타냈으며, 다른 계절에는 거의 일정한 체적 ($0.08 \mu\text{m}^3/\text{cell}$)을 유지하였다. 또한 체적과 총세균수 사이에는 역관계 ($r = -0.347$, $p < 0.005$)를 나타냈다. 낙동강 하구에서의 세균의 평균 체적은 Lake Arlington (16)에서의 평균치보다는 낮지만, 다른 수계에서의 결과 (1, 2, 6, 13, 20, 24)와 유사하여 부영양화 정도와 체적 사이에는 큰 관련성이 없음을 알 수 있다.

총세균의 생물량은 $0.163 \sim 1.036 \mu\text{g-C}/\text{ml}$ 의 변화폭을 나타냈으며 (Fig. 3C), 그 평균치는 $0.542 \pm 0.197 \mu\text{g-C}/\text{ml}$ 로, 다른 수역에서의 결과보다 높았다 (1, 2, 16, 20, 24). 본 연구에서 사용한 volume-mass conversion factor (14)는 Watson 등 (25)이 구한 상수에 비해 4.6배 크지만, 이를 감안하여도 다른 수역에서의 값에 비해 2~10배 큰 세균 생물량이다. 월별 평균치는 92년 2, 3, 6, 7, 8월에 $0.6 \mu\text{g-C}/\text{ml}$ 이상의 높은 값을 기록하였다. 생물량 계산에 사용되는 총세균수와 평균 체적 중 전자는 생물량과 $r = 0.804$ ($p < 0.0005$)의 관계를, 후자는 $r = 0.233$ ($p < 0.1$)의 관계를 나타내어, 평균 체적 (Fig. 3B)은 크지만 개체수 (Fig. 3A)가 작았던 91년 10월과 92년 9, 10월의 생물량이 적은 값을 나타내는 이유를 설명하고 있다. 또한 세균수와 체적이 역관계 ($r = -0.347$)를 가져 생물량의 증감에는 개체수가 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

^3H -thymidine을 이용한 세균의 이차생산성은 $0.24 \sim 60.86 \mu\text{g-C}/\text{l}/\text{h}$ 의 변화 범위를 나타냈으며 (Fig. 4), 정점별 평균치는 녹산, 선암, 구포, 다대, 하단의 순으로 감소하여, 각각 26.88, 22.59, 12.56, 10.78, 8.33 $\mu\text{g-C}/\text{l}/\text{h}$ 였다. 해수의 영향이 미치지 않는 구포, 선암, 녹산에서는 동계에 높은 값을 나타내고, 춘계로 접어들면서 감소하여 하계에 최소값을 기록하고, 다시 추계에 증가하는 유형을 나타냈다 (Fig. 4A,D,E). 하단의 경우 (Fig. 4B), 92년 3, 6, 8, 10월에 증가하고 다음 달에 감소하여 뚜렷한 계절별 특성이 나타나지 않았다. 이는 하구언의 수문 조작에 의한 담수와 해수의 불규칙적인 교차 때문으로 사료된다. 다른 정점에 비해 부영양화 정도가 낮은 다대의 경우 (Table 1), 구포, 선암, 녹산 등과 다른 계절적 변동을 나타냈다. 추계의 높은 값이 동계로 접어들면서 감소하고,

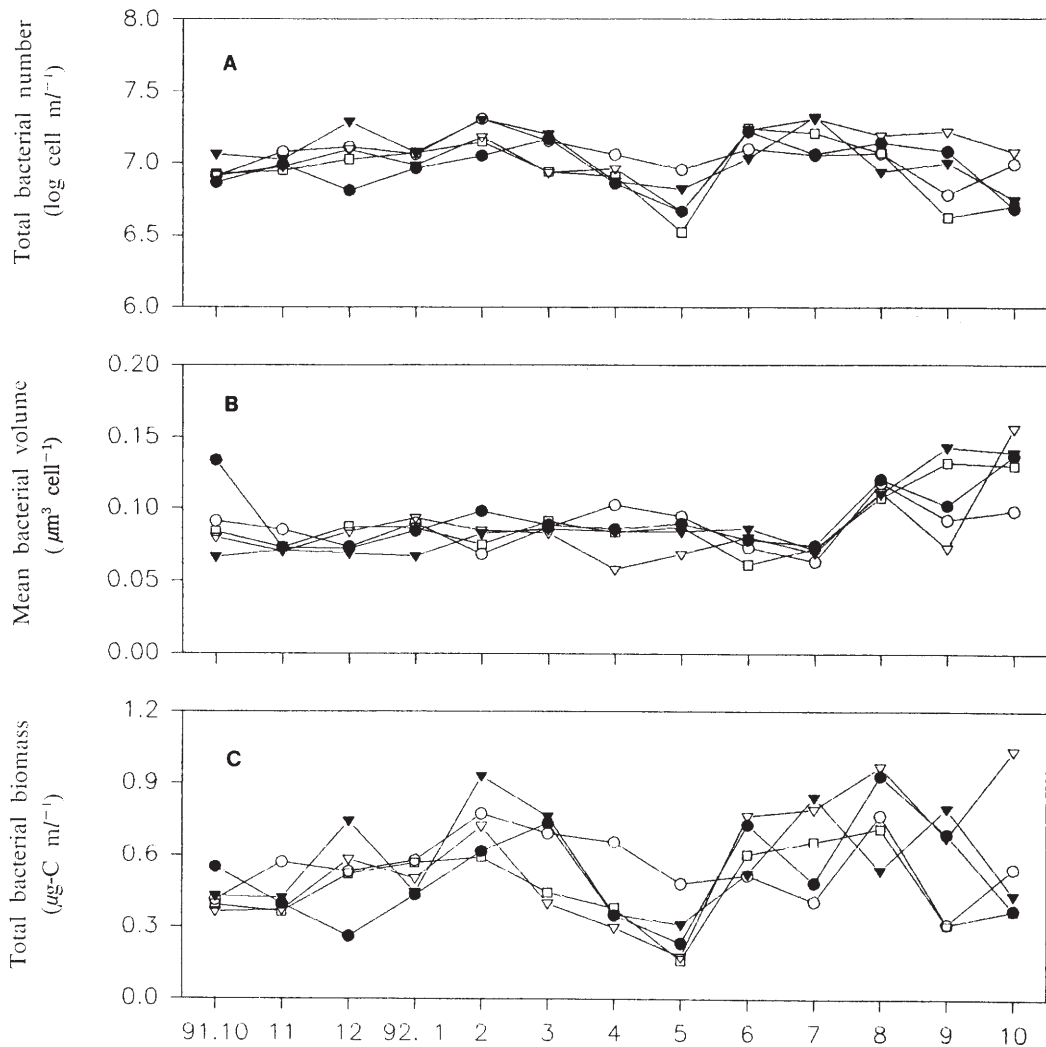


Fig. 3. Total bacterial number (A), mean bacterial biovolume (B), and total bacterial biomass (C) in Nakdong River Estuary.

○, Kupo; ●, Sonam; ▽, Noksan; ▼, Hadan; □, Tadae.

춘계에 증가한 후 일정 수준을 유지하다가 하계에 최고치를 기록하였으며, 이후 감소하는 변화 형태를 보였다 (Fig. 4C). 이와같은 다대에서의 계절별 변화 양상은 낙동강 하구에 비해 오염 정도가 낮은 곳에서 조사된 여러 보고 (1, 13, 16, 20)와 일치하였다. 또한 동일 수역에서 조사한 식물성 플랑크톤의 일차생산성 변화 (8)와 비교해 보면, 다대 수역에서만 식물성 플랑크톤과 세균에 의한 생산성의 계절별 변화양상이 일치하였다.

세균의 이차생산성에 미치는 환경요인의 영향을 파악하기 위해 정점별 상관성을 계산하였다 (Table 2). 전 정점을 대상으로 할 경우, 이차생산성은 강우량과

음의 관계를, BOD, COD, nitrate 등과는 양의 관계 ($p < 0.01$)를 나타내어 갈수기의 오염부하량 증가에 의해 세균의 이차생산성이 증가함을 나타내고 있다. 정점별로 구분하여 보면, 이차생산성의 계절별 유형이 비슷한 구포, 선암, 녹산 (Fig. 4)에서는 이차생산성이 강우량과 음의 관계를 나타냈고, 오염물질의 부하량을 나타내는 SS, BOD, nitrate 등과 밀접한 관계가 있음을 보였다 ($r > 0.5$, $p < 0.01$). 하단에서는 nitrate와 밀접한 관련성이 있음을 나타내나 다른 환경요인과는 특별한 관련성을 나타내지 않았다. 다대의 경우, 다른 정점에서 나타나지 않았던 수온, 염록소 a, 종속영양 세균의 개체수 등과 $r > 0.5$ ($p < 0.05$)의 상관성을 나

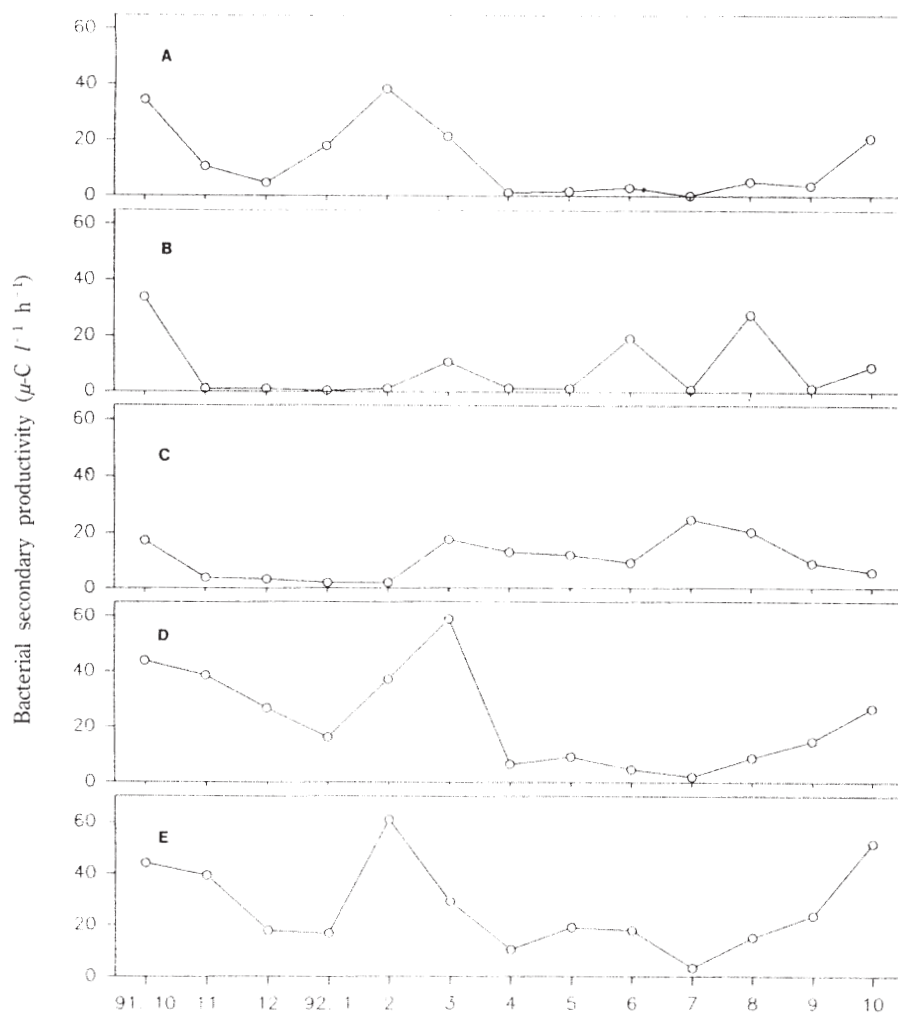


Fig. 4. Bacterial secondary productivity of Kupo (A), Hadan (B), Tadae (C), Sonam (D), and Noksan (E) in Nakdong River Estuary.

Table 2. Correlation coefficients of heterotrophic bacterial productivity with environmental parameters, overall and by station.

	Overall	By station				
		Kupo	Hadan	Tadae	Sonam	Noksan
Temp	— ^d	—	—	0.549 ^b	—	—
SS	—	0.679 ^c	—	—	0.645 ^c	0.646 ^c
Prec*	-0.349 ^d	-0.544 ^b	—	—	-0.532 ^b	-0.527 ^b
Chl. a	—	—	—	0.579 ^b	—	—
BOD	0.416 ^d	—	—	—	0.593 ^c	0.486 ^b
COD	0.253 ^c	—	—	0.727 ^c	—	—
NO ₃	0.511 ^d	0.757 ^d	0.817 ^d	0.758 ^d	0.704 ^c	—
Total-N	—	—	—	0.801 ^d	—	—
HBN**	—	—	—	0.727 ^c	—	—

^a $P > 0.05$, ^b $P < 0.05$, ^c $P < 0.01$, ^d $P < 0.005$.

* precipitation, ** heterotrophic bacterial number.

타냈다. 즉, 하계의 호조건에 의한 식물성 플랑크톤의 일차생산성 증가가 세균의 이차생산성 증가에 많은 영향을 미침을 짐작할 수 있으며, 또한 nitrate, 총질소 등과도 밀접한 상관성을 나타냈다. 따라서 낙동강 하구생태계에서는 하구언에 의한 해수와 담수의 차단으로, 오염부하가 많은 담수의 영향을 적게 받는 해수역 (3)에서의 세균의 이차생산성은 주로 식물성 플랑크톤의 광합성 산물에 의존하여 많은 영향을 받지만, 하구언 상부의 담수역에서는 주위에서 유입되는 유기물이 세균의 이차생산성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

사 사

이 연구는 1992년도 교육부 기초과학육성연구비의 지원에 의한 것임 (Project No. BSRI-92-428).

참 고 문 헌

- 강찬수, 김상중, 1989. 소양호에서의 세균군집의 분포 및 생리적 활성의 연중 변화. 한국육수학회지 22, 199-212.
- 강찬수, 이기승, 김명운, 권개경, 김용학, 박성주, 이 건형, 김상중, 1990. 경기만의 종속영양세균 군집의 분포 및 활성. 한국미생물학회지 28, 324-330.
- 권오섭, 1992. 낙동강 하구언 건설에 의한 환경요인의 변화. 한국육수학회지 24, 231-238.
- 권오섭, 하영철, 홍순우, 1987. 낙동강 하구에서의 미생물 다양성과 환경변화에 따른 내성 한계. 한국미생물학회지 25, 229-237.
- 이태영, 조기성, 하영철, 1991. 낙동강 하구의 세균 분포와 활성에 미치는 환경요인. 한국미생물학회지 29, 329-338.
- 이건형, 이다미, 김상중, 1991. 군산인근 해역에서 해양세균의 군체수와 biovolume. 한국미생물학회지 29, 420-407.
- 이진애, 조경제, 권오섭, 정익교, 1993. 낙동강 하구 생태계의 환경요인에 관한 연구. 한국조류학회지 8, 29-36.
- 이진애, 조경제, 권오섭, 정익교, 문병용, 1994. 낙동강 하구생태계 식물성 플랑크톤의 일차생산성. 한국육수학회지 27, 69-78.
- 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.
- APHA, 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed. APHA, Washington, D.C.
- Atlas, R.M. and R. Bartha, 1993. Microbial ecology, 3rd ed. Benjamin/Cummings Publishers Redwood City.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad, 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10, 257-263.
- Bjørnsen, P.K., B. Riemann, J. Pock-Steen, T.G. Nielsen, and S.J. Horsted, 1989. Regulation of bacterioplankton production and cell volume in a eutrophic estuary. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 1512-1518.
- Bratbak, G., 1985. Bacterial biovolume and biomass estimations. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 1488-1493.
- Brock, T.D. and J. Cline, 1984. Significance of algal excretory products for growth of epilithic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 47, 731-734.
- Chrzanowski, T.H. and J.G. Hubbard, 1988. Primary and bacterial secondary production in a southwestern reservoir. *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 661-669.
- Fuhrman, J.A. and F. Azam, 1980. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica, and California. *Appl. Environ. Microbiol.* 39, 1085-1095.
- Fuhrman, J.A. and F. Azam, 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface water: Evaluation and field results. *Mar. Biol.* 66, 109-120.
- Hobbie, J.E., R.J. Daley, and S. Jasper, 1977. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 1225-1228.
- Lee, S. and J.A. Fuhrman, 1987. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Appl. Environ. Microbiol.* 53, 1298-1303.
- Münster, U. and R.J. Chróst, 1990. Origin, composition, and microbial utilization of dissolved organic matter, p. 8-46. In J. Overbeck and R.J. Chróst (ed.), *Aquatic microbial ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Parson, T.R., Y. Morita, and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford.
- Rheinheimer, G., 1985. *Aquatic microbiology*, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Valdes, M. and L.J. Albright, 1981. Survival and heterotrophic activities of Fraser River and Strait of Georgia bacterioplankton within the Fraser River Plume. *Mar. Biol.* 64, 231-241.
- Watson, S.W., T.J. Novitsky, H.L. Quinby, and F. W. Valois, 1977. Determination of bacterial number and biomass in the marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 940-946.
- Wiegert, R.G., L.R. Pomeroy, and W.J. Wiebe, 1981. Ecology of salt marshes, p. 3-20. In L.R. Pomeroy and R.G. Wiegert (ed.), *The ecology of a salt marsh*. Springer-Verlag, New York.

(Received April 18, 1994)

(Accepted May 13, 1994)

ABSTRACT: Bacterial Biomass and Secondary Productivity in Nakdong River Estuary

Song, Sung Joo, O-Seob Kwon*, Hye Joo Lee¹, Jin Ae Lee, and Young Eui Kim (Department of Environmental Science, Inje University, Kimhae 621-749, and ¹Department of Biology, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea)

To investigate the bacterial potentials for utilizing dissolved organic matter in highly eutrophic estuary, the annual fluctuations of microbiological and physicochemical environmental parameters were analyzed in Nakdong River Estuary. Total bacterial number ranged from 0.33 to 2.09×10^7 cells/mL and correlated with the heterotrophic bacterial numbers in more eutrophic sites, especially. Bacterial biovolume and biomass varied between 0.064 and $0.156 \mu\text{m}^3/\text{cell}$, 0.163 and $1.036 \mu\text{g-C}/\text{mL}$, respectively. Bacterial secondary productivity ranged from 0.24 to $60.86 \mu\text{g-C}/\text{L}/\text{h}$, and showed high correlations with the environmental parameters of pollution indicator. The seasonal variation pattern of bacterial productivity in freshwater sites was high in winter and low in summer, which was interpreted as the results of pollution loads varied with the amount of rainfall. In seawater site, the pattern was different from those of freshwater sites; high in summer and low in winter. In this site, the values of bacterial productivity showed positive correlations with chlorophyll *a*, heterotrophic bacterial number, and temperature ($r > 0.5$, $p < 0.05$). These results suggested that the main source of organic matter which influences the bacterial productivity may be allochthonous materials in the upper freshwater zone of Nakdong River Barrage, and autochthonous algal excretory products in the lower seawater zone of Nakdong River Barrage.