

錦江 河口 堆積土의 理化学的 性質과 從屬營養細菌의 分布에 關하여

李建炯* · 河永七 · 洪淳佑

군산대학 생물학과* 서울대학교 자연과학대학 미생물학과

Distribution of Heterotrophic Bacteria and Physico-Chemical Characteristics of Sediments in Kum River Estuary

Lee, Geon-Hyoung*, Yung-Chil Hah, Soon-Woo Hong

*Department of Biology, Kunsan National University

Department of Microbiology, Seoul National University

Abstract; Vertical distribution of heterotrophic bacteria and physico-chemical characteristics were measured in Kum River estuarine sediments. And interrelationship between heterotrophic bacteria and environmental factors was also studied. The type of sediment of Site 1 was silty clay, and sand at Site 2. Annual pH ranges were between 7.1 and 7.7 in the clay type sediment (Site 1) and 6.9-7.2 in the sand type sediment (Site 2). It was shown that organic matter contents were higher in the clay type sediment than those of sand type sediment. Redox potential values of sediments were decreased rapidly with depth at Site 1, but those of Site 2 showed vertical fluctuation.

Nitrogens(ammonia + amino acid-N, nitrate-N, nitrite-N) and phosphate in the clay type sediment showed higher values than those of sand type sediment. Annual distribution of heterotrophic bacteria were ranged 6.71×10^4 cells/g dry wt. -2.50×10^6 cells/g dry wt. In the clay type sediment and 2.67×10^3 cells/g dry wt. -1.94×10^6 cells/g dry wt. in the sand type sediment. Distribution of proteolytic, lipolytic, and amylolytic bacteria were decreased with the depth and the highest density was found in April and the lowest in January. Bacterial populations in sediments were closely correlated with such environmental factors as pH, redox potential, moisture content, organic matter contents, and inorganic nutrients such as nitrite-N and phosphate-P.

Key words: heterotrophic bacteria, vertical distribution, Kum river sediment

하구지역은 담수와 해수가 교차되며, 많은 양의 영양염류가 유입되고 상층수와 저층 퇴적토간의 물질순환이 활발하게 일어난다. 이러한 지리적 특징 때문에 물리, 화학 및 생물학적 특성이 다른 지역에 비해 다양하며, 이와같은 다양성과 낮은 염도등은 그 지역 생물상의 구성과 동태 및 온도, 영양염류, 퇴적토의 침전등에도 지대한 영향을 준다. 또한 하구지역은 담수의 유입량과 간만의 차

이 등에 의해서 퇴적입자의 분포가 구성되며, 이러한 퇴적입자의 분포는 이곳에 서식하는 저서성 생물의 분포뿐만 아니라 분해자로서 중요한 역할을 담당하고 있는 미생물의 분포를 결정하는데도 중요하다.

하구퇴적층에서 미생물은 유기적 분해(Johnson and Calder, 1973; Litchfield *et al.*, 1975) 뿐만 아니라 물질순환(Herbert, 1982; Nedwell,

1982) 및 저서성 생물의 먹이로도 역할을 담당하고 있어 하상퇴적토의 생태를 이해하는데 매우 중요하다. 그래서 외국의 경우 퇴적토의 환경(Malcolm, 1982), 영양염류의 순환과정(Chatarpaul, and Robinson, 1979), 미생물의 측정방법(Scheraga 1979) 및 저서 무척추동물과의 관계(Fry, 1982) 등이 활발히 연구되고 있으며, 국내에서도 홍等(1985)에 의해서 낙동강 하구 간척지의 세균의 층별조성 및 특성에 관한 연구와 金等(1985)에 의해 세균의 분포 및 활성도 등이 연구된 바 있다.

본 연구에서는 금강 하구 지역을 대상으로 퇴적토의 입자크기가 서로 상이한 지역에서 총세균, 단백질 분해세균, 지방 분해세균 및 전분 분해세균의 분포를 조사하여 이지역에서의 유기물 분해와 물질순환에 중요한 역할을 담당하는 증속영양 세균의 분포상 및 환경요인과의 상호관계를 알아 보고자 한다.

材料 및 方法

研究 對象 地域

본 연구는 全北 沃溝郡 聖山面 聖德里에 위치한 錦江하구둑 부근의 퇴적토를 대상으로 하여 실시하였다. 본 연구의 조사대상 지역은 Fig.1에서 보는 바와 같이 정점1 과 정점2는 현재 건설중인 금강하구둑 부근으로 인근에는 자연재방으로 막혀있어 비교적 자연상태가 잘 유지되어 있었으며 특히 정점1 은 간조시 퇴적토가 노출될 때 粘土의 특성을 지닌 지역이고 정점2는 砂土의 특성을 지닌 지역이다.

採集 方法

각 정점별 퇴적토 시료는 Parks(1978)가 고안한 방법을 이용하여 PVC sediment corer (직경 7cm, 길이 60cm)를 나선형 방향으로 10cm 간격의 구멍(직경 9.5mm)을 뚫은 후 퇴적토 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 실험실로 즉시 운반된 후 일정량의 퇴적토를 멸균된 주사기를 이용하여 각 층별로 채취하여 분석 하였다.

堆積土의 理·化學的 特性 分析

퇴적토의 입도 조성 분석은 각 층별로 퇴적토를 20g 씩 채취하여 standard dry-sieve analysis와 pipette analysis (Carver, 1971)에 의해 분석하였

으며, 퇴적토의 pH 및 산화환원 전위(Eh)는 현장에서 pH 및 이온메타 (DMS, Model DP-135)로 측정하였다.

퇴적토가 함유하는 수분함량은 Dry oven (D.Y. S. Model 0560)에서 100℃로 24시간 건조후, 건조 전후의 무게의 차로 계산하였다. 총 유기물량은 채취한 퇴적토를 110℃에서 8 시간 건조하여 계량하고 전기로에서 600℃로 4 시간 태운다음 다시 계량하여 (Satorius 2004 MP) ignition loss의 차로 계산하였다.

한편 무기 영양염류로서 질소 (ammonia+ amino acid-N, nitrite -N, nitrate-N)는 Standard Methods (APHA, 1981)에 의하여, 인산염인(PO₄-P)는 Strickland and Parsons (1977)에 의하여 측정하였다.

퇴적토내에 존재하는 총 세균의 측정은 Sedi-ment Corer에서 멸균된 주사기로 1cm³를 채취한 후 멸균된 생리식염수(0.85% NaCl)에 진탕한 다음 0.1ml를 따서 Marine Agar 2216e 배지에 희석 도달하여 25℃에서 7 일간 배양후 생긴 균체수를 계수하였으며 퇴적토내의 최종 개체군 밀도 (population density)는 cells/g dry wt. 단위로 환산하였다.

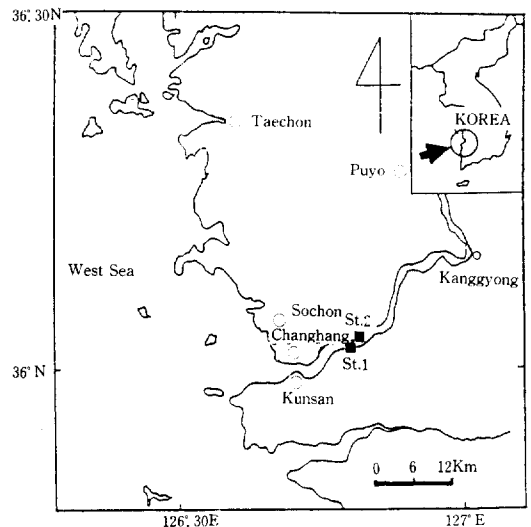


Fig. 1. Map of the research area and sampling sites in the mudflat of the Kum river estuary. Site 1 was mainly consisted of clay and silt components and in Site 2 sand was a major component.

한편 퇴적토의 각 층내에 존재하는 생리적 특성균으로 단백질 분해세균, 지방 분해세균, 전분 분해세균의 측정은 Gelatin, Tween 80, Soluble Starch를 각각의 유일한 탄소원과 에너지원으로 첨가하여 최종농도를 Gelatin이 0.4%, Tween 80이 1.0%, Soluble Starch 0.2% 되게 하였다 (Holding and Collee, 1971).

結果 및 考察

理·化學的 特性 分析

입도 조성 분석 조사지역인 정점1, 정점2에서 퇴적토의 입자크기를 측정하기 위하여 표층 1cm 부터 10cm까지는 5cm 간격으로, 10cm부터 50cm까지는 10cm 간격으로 퇴적토 시료를 채취하여 측정한 결과 각 깊이별 입자 크기는 정점1의 경우 입자의 크기는 깊이에 따라 다소 차이는 있었지만 Fig.2에서 보는 바와 같이 입자 직경이 3φ (0.125mm-)이하가 81.6%~99.11%를 차지하여

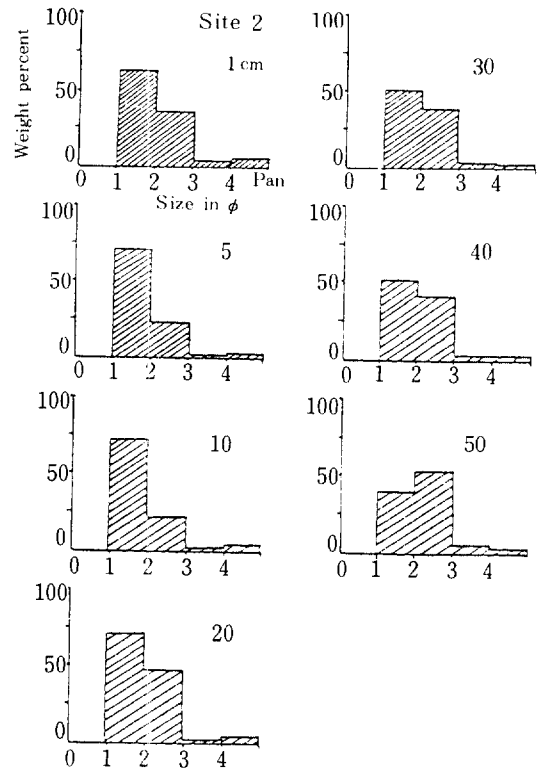


Fig. 3. Histograms of the grain size distribution at Site 2 of Kum river

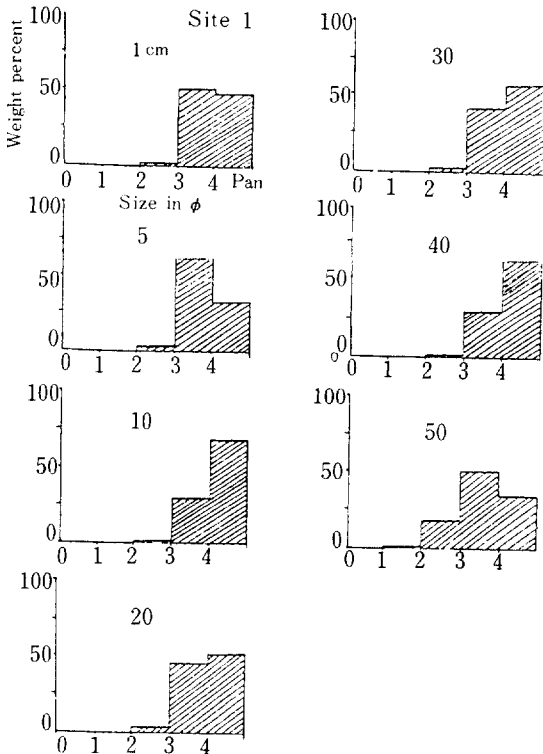


Fig. 2. Histograms of the grain-size distribution at Site 1 of Kum river.

silty clay의 성질을 나타낸다. 정점2의 경우는 정점1과는 대조적으로 입자의 직경이 Fig.3에서 보는 바와 같이 1φ (0.5mm)~3φ (0.125mm)가 전체의 95.19%~97.03%를 차지하여 sand의 특성을 잘 나타내고 있는 지역이다.

각 정점의 깊이별 입자의 조성을 살펴보면, Table 1에서 보는 바와 같이 정점1을 sand가 30.07%~70.30%를 차지하고 silt+clay가 29.70%~69.93%로 깊이별 입자의 분포는 비교적 고른 편이었으며, 高等(1984)이 조사한 서해안 조간대 지역의 퇴적토 보다는 입자의 크기가 비교적 컸지만, 金等(1984)이 조사한 금강 하구 간석지의 입도 조성 분포와 유사한 양상을 지니고 있어 전형적인 하구 지역의 입자 분포를 나타내고 있다. 한편 정점2의 경우는 정점1의 입자 분포와는 달리 sand가 95.19%~97.03%, silt+clay가 2.97%~4.81%로 sand가 평균 96.41%, silt+clay가 평균 3.59%로 구성되어 있어 정점1과는 입자 구성면에서 뚜렷한 대조를 보이는 지역이다. 이와같

Table 1. Percent composition of grain size distribution at each sampling site.

Site cm Depth	Site 1		Site 2	
	Sand	Silt + Clay	Sand	Silt + Clay
0	52.66	47.34	95.19	4.81
5	67.15	32.85	97.03	2.97
10	30.07	69.93	96.71	3.29
20	47.75	52.25	96.75	3.25
30	41.65	58.35	96.54	3.46
40	34.99	65.01	96.25	3.75
50	70.30	29.70	96.42	3.58

이 특정적 입자 조성분포를 나타내는 것은 정점1과 정점2와 같은 기수지역에서는 입자의 분포가 유입되는 담수량과 조수에 의한 간만의차, 유속 등에 의해서 주로 결정되기 때문이다(Levinton, 1982; Malcolm and Stanley, 1982).

물리 화학적 특성 조사정점 퇴적토의 pH 값은 정점1의 경우 pH7.1~pH7.7, 정점2는 pH6.9~pH7.2로 정점1이 정점2에 비해 높은 pH 값의 분포를 보였다 (Fig.4). 이와같은 현상은 金等(1984)에 의해서도 측정되었는데 이는 주로 정점1의 유기물 함량이 2.34%~3.83%로 정점2의 0.52%~0.92%에 비해 많아서 이러한 유기물

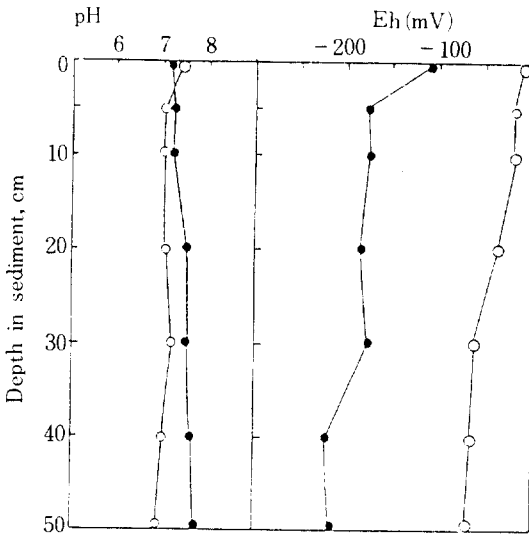


Fig. 4. Vertical changes of pH and redox potential in the Kum river estuarine sediments. ●—● Site 1, ○—○ Site 2.

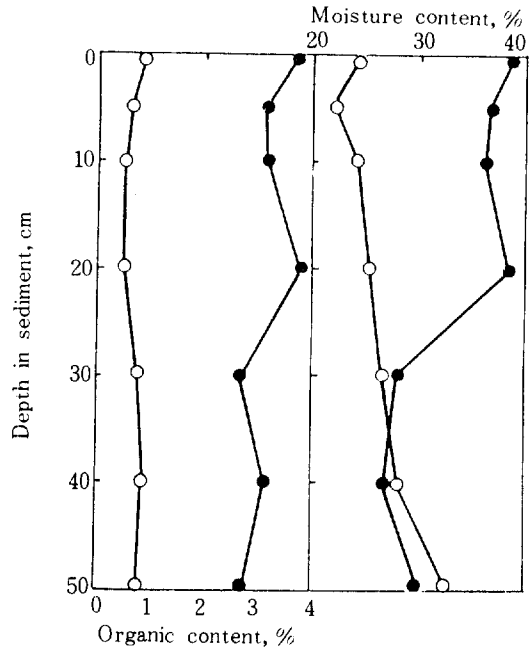


Fig. 5. Vertical changes of moisture content and organic matter contents in the Kum river estuarine sediments. ●—● Site 1 ○—○ Site 2.

이 분해될 때 각 깊이별 암모니아 등의 함량이 증가되기 때문인 것으로 생각된다 (Malcolm and Stanley, 1982). 산화환원 전위의 측정값도 pH와 유사하게 정점1이 -108mV~-216mV로 정점2의 -10mV~-68mV에 비해서 상당히 낮은 값을 보였는데, 이러한 산화환원 전위의 낮은 유기물의 분해율이 높은 곳일수록 산화환원 전위 값은 낮은 값을 나타내어(Malcolm and Stanley, 1982) 정점1이 정점2에서 보다 미생물에 의한 유기물의 분해활동이 더 활발한 것을 알 수 있다. 또한 퇴적토에 함유되어 있는 유기물의 함량은 Fig.5에서 보는바와 같이 정점1의 경우 2.34%~3.37% 정점2의 0.52%~0.94% 보다 상당히 높은 값을 보이고 있어 퇴적토 입자의 크기와 유기물 함량과는 반비례하고 있음을 알 수 있다. 퇴적토의 함수율도 유기물의 함량에서와 마찬가지로 입자크기가 작음에 따라 함수율은 증가하여 정점1에서는 깊이에 따라 26.7%~38.6%의 높은 함수율을 갖는 반면 정점2에서는 22.3%~32.9%로 정점1보다 깊이에 따른 함수율의 변화가 심했으며 함수율도 낮은 편이었다(Fig.5).

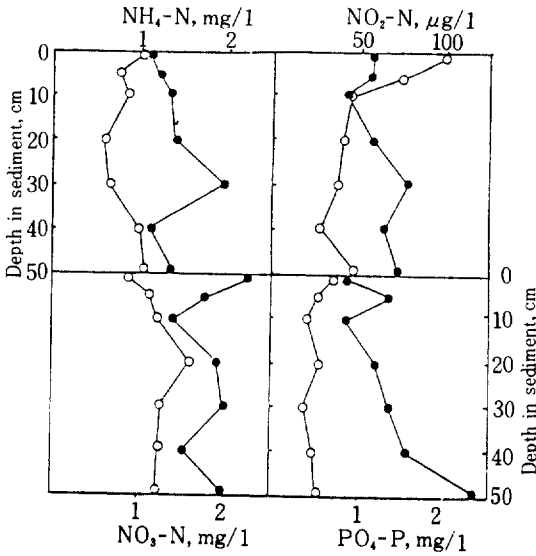


Fig. 6. Vertical changes of ammonia+amino acid-N, nitrite-N, nitrate-N and phosphate-P values in the Kum river estuarine sediments. ●—● Site 1 ○—○ Site 2.

무기 영양염류로서 질소의 동태를 살펴보면(Fig. 6), Ammonia+Amino 산염 질소는 정점1에서 1.11mg-at N/L~1.95mg-at N/L, 정점2에서는 0.57mg-at N/L로 변화하여 유기물 함량이 높은 정점1이 정점2에 비해 2~3 배 높은 값을 보였다. 반면 아질산염 질소는 정점1이 42μg-at N/L~78μg-at N/L, 정점2가 27μg-at N/L~99μg-at N/L로 정점1은 표층이 저층에 비해 측정값이 낮았으나 정점2에서는 오히려 표층이 저층보다 높은 값을 보였다.

한편 질산염 질소의 값은 호기성호흡이 활발한 곳에서 최대값을 보이고 denitrification 될수록 감소되어 (Bender, 1977) 질산염 질소의 값이 최대가 되는 곳이 호기성과 혐기성 퇴적토의 경계가 되는 것이다. 이러한 점에서 볼 때 정점1의 점토형 퇴적토는 표층 부위에서부터 혐기성 퇴적토로 전환되는 것을 알 수 있고, 정점2의 사토형 퇴적토에서는 표층보다 낮은 부위부터 혐기성 퇴적토로 전환되는 것을 알 수 있다.

한편 인산염 인의 분포도 암모니아염 질소의 분포와 마찬가지로 정점1에서는 840μg-at P/L~2328μg-at P/L, 정점2에서는 384μg-at P/L~708μg-at P/L로 변화하여 정점1이 정점2에

서 보다 2~3 배 높은 값을 나타내어 더 많은 미생물의 활동이 예상됨을 알 수 있다.

微生物學의 分析

각 정점별 총 세균의 분포를 살펴보면, 정점1의 경우 (Fig.7), 표층에서 50cm 깊이까지 각 층별로 연간 분포를 측정한 결과 6.71×10^4 cells/g dry wt.~ 2.50×10^6 cells/g dry wt.의 범주에서 변화하여 金等(1985)이 조사한 낙동강 하구보다는 균체수가 다소 낮았다. 깊이별로 살펴보면 표층이 년평균 1.13×10^6 cells/g dry wt.로 최고 값을 보였고 10cm 깊이에서 6.01×10^5 cell/g dry wt.로 균체수가 감소한 후 50cm 깊이에 이르러서 년평균 1.58×10^6 cells/g dry wt. 최저값을 나타냈다.

층별로 총세균의 분포는 다소 차이가 있었지만 대체로 표층에서 저층으로 내려갈수록 감소되었는데 이러한 현상은 Litchfield 등(1975)이

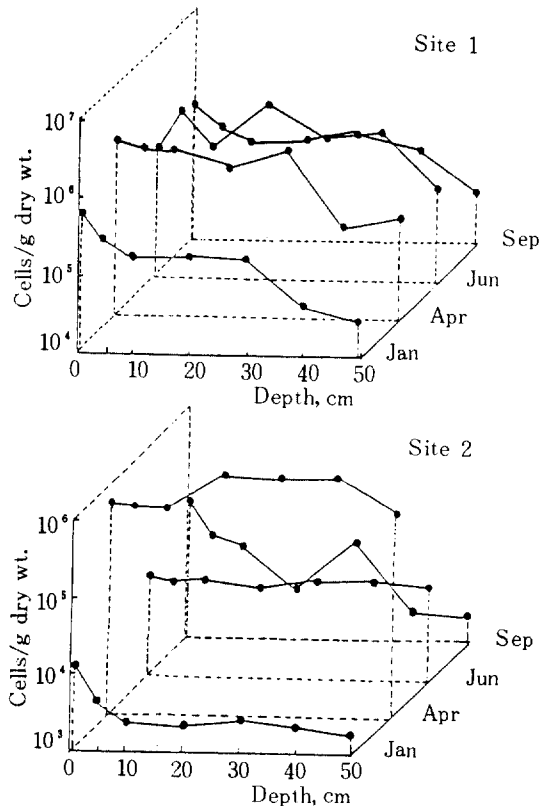


Fig. 7. Three dimensional diagrams of seasonal changes in total heterotrophic bacteria at different depth in the Kum river estuarine sediments.

Raritan 만이 퇴적토에서 측정된 균체수의 변화와 Rherinheimer 등(1974)이 South Persian Gulf 에서 측정된 결과와도 일치하였다. 계절별로 살펴 보면 4 월이 1.21×10^6 cells/g dry wt.로 최고값을 보였으며 1 월이 3.04×10^5 cells/g dry wt.로 최저값을 보였다.

한편 정점2 의 경우는 2.67×10^5 cells/g dry wt.~ 1.94×10^6 cells/g dry wt.로 정점1 에 비하여 총 세균 분포의 변화폭이 컸다. 깊이별로 살펴 보면 40cm 부위가 년평균 5.02×10^5 cells/g dry wt.로 최고 값을 나타냈으며 50cm 부위가 1.76×10^5 cells/y dry wt.로 최저 값을 나타내어 총세균의 깊이별 분포를 비교하여 볼 때 정점1 에서는 대체로 표층 부위가 높은 반면 정점2 에서는 하층 부위가 높아 지역에 따라 분포 양상이 다소 다름을 알 수 있다. 반면 계절적 변화는 4 월에 1.09×10^6 cells/g dry wt.로 최고 값을 보였으며 1 월에 5.48×10^5 cells/g dry wt.로 최저값을 보여 정점1 과 분포 변화가 일치 됨을 알 수 있다. 또한 정점1 과 정점2 간의 총 세균의 분포를 비교할 때 전반적으로 퇴적토의 입자크기가 작은 정점1 이 정점2 에 비해 균체수가 높았는데 이러한 결과는 Weise 와 Rheinheimer(1978)가 North Sea 에서 조사한 결과와도 일치하였으며 이러한 현상은 여러가지 요인에 의한 수도 있으나 사토는 점토에 비해 입자크기가 크기 때문에 세균의 부착력이 떨어지며 (Dale, 1974), 사토는 점토에 비해 제한된 양의 유기물이 축적될 수 있기 때문인 것으로 생각된다(Tate and Churchman, 1978).

堆積土에서의 生理的 特性菌의 分布

퇴적토 환경에서는 유기물로서 단백질(40%), 탄수화물(47%) 지방(1%)이 존재하며 (Bruni et al., 1982) 이러한 유기물은 대개는 동식물 사체에서 유래된 것으로 여러 종류의 미생물에 의해서 분해되어 수계환경에 방출되며 다시 다른 생물에 의해서 이용되어 물질의 재순환이 이루어진다. 따라서 퇴적토 환경에서 생리적 특성균의 분포를 밝힘으로써 물질 순환의 과정을 이해할 수 있다.

생리적 특성균으로 단백질 분해세균, 지방 분해세균, 전분 분해세균의 분포를 살펴보면 Table 2 에서 보는 바와 같이 년평균 분포는 정점1 에서는 단백질 분해세균의 경우 2.08×10^5 cell/g dry wt.

Table 2. Mean heterotrophic bacterial densities of Kum river estuarine sediments from January to September, 1985.

		($\times 10^5$ cells/g. dry wt.)			
Site	Bacteria	Month			
		Jan.	Apl.	Jun.	Sept.
1	Sapro.	3.04	12.10	10.30	3.26
	Proteo.	2.35	9.18	9.90	2.08
	Lipo.	1.63	8.73	8.35	2.03
	Amylo.	0.99	11.60	7.19	2.77
2	Sapro.	0.06	10.90	0.35	2.43
	Proteo.	0.05	7.17	0.20	2.17
	Lipo.	0.04	3.51	0.28	2.31
	Amylo.	0.05	8.81	0.27	2.45

~ 9.90×10^5 cells/g dry wt., 지방 분해세균의 경우 1.63×10^5 cells/g dry wt.~ 8.73×10^5 cells/g dry wt., 전분 분해세균은 9.90×10^4 cells/g dry wt.~ $1.16 \sim 10^6$ cells/g dry wt.로, 정점2 에서는 각각 5.0×10^5 cells/g dry wt.~ $7.17 \sim 10^5$ cells/g dry wt. 4.0×10^5 cells/g dry wt.~ 3.51×10^5 cells/g dry wt., 5.0×10^3 cells/g dry wt.~ 8.81×10 cells/g dry wt.로 변화하여 총 세균의 분포에서와 같이 함수량과 유기물이 풍부한 정점1 이 정점2 에서 보다 전반적으로 높은 분포를 나타냈으며, 金(1985)의 결과에서와 같이 단백질 분해세균의 다른 분해세균에 비해 높은 분포를 보였다

계절별 분포를 살펴보면, 정점1 의 경우 4 월과 6 월에 각 분해세균의 분포가 1 월과 9 월보다 높았다. 하지만 정점2 에서는 1 월, 4 월, 9 월의 경우는 정점1 과 유사한 경향을 보였으나 6 월의 경우는 각 분해세균의 분포가 급격히 낮아졌는데 이는 우기인 6 월에 정점2 의 경우는 구성 퇴적토의 입자가 정점1 에서 보다 크므로 증가되는 유량과 간만의 영향을 받으면서 정점1 에 비해 부착할 수 있는 표면적은 상대적으로 적기 때문에 세균수가 급격히 감소된 것으로 생각된다. 깊이별로 살펴 보면 최고 값은 표층 부위에서 나타났으나 최저 값은 깊이와 지역에 따라 각각 달라 일정한 경향을 알 수 없었다.

細菌의 分布와 環境要因과의 相關關係 分析

조사된 퇴적토의 물리 화학적 환경요인과 총 세

석지에 존재하는 세균의 분포에 영향을 주는 환경 요인의 조사에서도 나타난 바가 있으며 Nybakken(1985)도 조간대에서 영양염류는 세균의 분포에 커다란 영향을 주지 않는다고 했다.

한편 정점2에서 종속영양세균 분포에 영향을 주는 환경요인은 pH, 산화환원 전위, 함수량, 아질산염 질소, 인산염 인 등이었는데 이중 95% 신뢰구간에서 상관관계를 나타내는 요인으로는 pH, 산화환원 전위 및 아질산염 질소였으며 이중 아질산염 질소는 단백질 분해세균과 99.9%의 신뢰구간에서 정 상관관계를 나타내어 아질산염 질소의 농도와 단백질 분해세균의 분포간에는 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이밖에도 pH는 지방 분해세균의 분포와 산화환원 전위(Eh)는 단백질 분해세균의 분포와 함수량은 전분 분해세균의 분포와 95%의 신뢰구간에서 정 상관관계를 보여 생리적 특성군에 따라 분포에 영향을 주는 환경

요인은 상이 하였다.

이상에서 본 바와 같이 퇴적토의 특성에 따라 종속영양 세균의 분포에 영향을 주는 요인은 상이하여 정점1에서는 주로 pH와 산화환원 전위가 분포에 영향을 주는 반면, 정점2에서는 아질산염 질소가 종속영양 세균의 분포에 영향을 주는 요인으로 작용하였다. 퇴적토의 특성과 환경요인과의 상관관계는 Hargrave(1972)와 Dale(1974)에 의해서도 언급된 바가 있는데 Dale(1974)은 퇴적토의 입자 크기가 균체수와 상관관계가 있다고 보고하였고 Weise와 Rheinheimer(1978)도 North Sea의 사토형 퇴적토에서 이와같은 관계를 확인한 바가 있었지만 Kiel Bright에서는 상관관계를 찾지 못하였다. 또한 Meyer-Rail(1978)은 Baltic Sea의 사토형 퇴적토에서 미생물활성에 영향을 주는 환경요인은 함수량과 유기물량 및 입자의 크기 등이라고 보고한 바 있다.

適 要

금강하구 기수지역의 퇴적토를 대상으로 종속영양 세균의 계절에 따른 수직분포와 환경요인과의 관계에 대하여 조사하였다. 점토의 특성을 지닌 정점1이 사토의 특성을 지닌 정점2에 비해 pH, 유기물함량, 함수량 및 산화환원 전위의 측정값이 높게 나타났다.

영양염류로서 Ammonia+Amino 산염 질소, 질산염 질소, 아질산염 질소 및 인산염 인의 측정값도 정점1의 정점2에 비해 높은값을 나타냈다.

총세균의 연간 분포는 점토형 퇴적토에서는 6.71×10^4 cells/g dry wt.~ 2.50×10^6 cells/g dry wt., 사토형 퇴적토에서는 2.67×10^3 cells/g dry wt.~ 1.94×10^6 cells/g dry wt.의 범주에서 변화 하였다.

생리적 특성군의 분포는 전반적으로 포층에서 저층으로 갈수록 감소되었으며 계절별로는 4월이 최고값을 보였고 1월이 최저값을 나타내어 사토형 퇴적토보다 점토형 퇴적토에서 생리적 특성군의 분포가 더 높았다.

종속영양 세균의 분포에 영향을 주는 환경요인은 산화환원전위, 함수량, 유기물의 함량 및 아질산염 질소와 인산염 인이었다.

REFERENCES

1. 高哲煥, 朴龍安, 李昌馥. 1974. 서해안 조간대 지역의 해양지질학적 제반현상 및 저생생물 군집에 관한 연구, 서울대학교 자연대학 종합연구소.
2. 金相鍾, 洪淳佑, 李潤. 1985. 낙동강 하구간 석지에 존재하는 세균의 분포 및 생리적 활성도. 한국미생물학회지, 23: 215-220.
3. 金俊鎬, 文炯泰. 1984. 해안 간석지 생태계의 탄소, 질소 및 인의 동태, 서울대학교 자연과학 종합연구소.
4. 洪淳佑外 3人. 1985. 낙동강 하구 간석지에서 분리된 세균의 총별 종조성 및 특성에 관하여, 한국미생물학회지 23: 157-166.
5. APHA. 1981. Standard Methods for the examination of water and waste water. 15th ed.
6. Bruni, V.T., Maugeri and V. Alonzo. 1982. Lipolytic activity of marine bacteria. Influence of NaCl and MgCl. *Mar. Biol.* 67: 113-119.
7. Carver, R.E. 1971. Procedures in sedimentary Petrology. pp.69-94, John Wiley

- and Sons, Inc.
8. Dale, N.G. 1974, Bacteria in intertidal sediments: Factors related to their distribution. *Limnol. Oceanogr.* 19: 509-518.
 9. Fry, J.C. 1982, Interactions between bacteria and benthic invertebrates. In: Sediment Microbiology. (ed. D.B. Nedwell and C.W. Brown) pp.171-201. Society for General Microbiology. Academic Press.
 10. Hargrave, B.T. 1972, Aerobic decomposition of sediment and detritus as a function of particle surface area and organic area and organic content. *Limnol. Oceanogr.* 17: 583-596.
 11. Herbert R.A. 1982, Nitrate dissimilation in marine and estuarine sediments. In: Sediment Microbiology. (ed. D.B. Nedwell and C.M. Brown) pp.53-71.
 12. Holding, A.J. and J.G. Collee. 1971, Routine biochemical tests. In: Methods in Microbiology. Vol. 6A [ed. by Norris J. R. and D.W. Ribbons] pp.1-32. Academic Press Inc. Ltd. London and N.Y.
 13. Johnson, R.W., and J. Calder. 1973, Early diagenesis of fatty acids and hydrocarbon in a salt marsh environment. *Geochem. Cosmochim. Acta.* 37: 1943-1955.
 14. Levinton, J.S., 1982, Marine Ecology. p. 338-342. Prentice-Hall Inc., Englewood cliffs, New Jersey.
 15. Litchfield C.D., J.B. Rate, J. Sindulis, R. T. Watanabe, and D.J. Stein. 1975, Optimization of procedures for the recovery of heterotrophic bacteria from marine sediments. *Microb. Ecol.* 1: 219-233.
 16. Malcolm, S.T. and S.O. Stanley. 1982, The sediment environment. In: Sediment microbiology. Nedwell, D.B. and C.M. Brown (ed). pp.1-14. *Soc. Gen. Microbiol.* London.
 17. Meyer-Reil, L.A. 1978, Uptake of glucose by bacteria in the sediment. *Marine Biol.* 44: 293-298.
 18. Nedwell, D.B. 1982, The cycling of sulphur in marine and freshwater sediments. In: Sediment Microbiology. (ed. D.B. Nedwell and C.M. Brown). pp.73-106.
 19. Nybakken, J.W. 1982, Marine Biology: An Ecological Approach. p.206. Harper and Row Publishers, New York.
 20. Parkes, R. J., Bryder, M.J., Madden, R. H. and N.J. Poole. 1978, "Techniques for investigating the role of anaerobic bacteria in estuarine sediments", Methodology for biomass determinations and microbial activities in sediments, ASTM STP 673, C.D. Lichfield and P.L. Seyfried, Eds., American Society for Testing and Materials, 1979, pp.107-118.
 21. Rheinheimer, G. 1974, Aquatic Microbiology. John Wiley and Sons, London.
 22. Rheinheimer, G. 1977, Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Heidelberg. Springer, p. 291.
 23. Scheraga, M., Meskill, M., and Litchfield, C.D. 1979, Analysis of Methods for the quantitative recovery of bacteria sorbed into marine sediments. In: Methodology of biomass determinations and microbial activity in sediments ASTM STP 673, C.D. Litchfield and P.L. Seyfried, Eds., pp.21-39.
 24. Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1977, A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167(2nd.). Fisheries Research Board of Canada.
 25. K.R. and Churchman, G.J. 1978, Organomineral fractions of a climosequence of solis in New Zealand tussock glasslands. *J. Soil Science.* 29: 331-339.
 26. Weise, W. and G. Rheinheimer. 1978, Scanning electron microscopy and epifluorescence investigation of bacterial colonization of marine sand sediments. *Microb. Ecol.* 4: 175-188.

(Received Aug. 10, 1986)