

원문만(元門灣)의 해양세균분포와 산소소모량에 관한 연구

朴泳泰 · 李原在* · 朴周錫** · 李弼容** · 金鶴均**
釜山水產大學校 海洋學科 · 微生物學科* · 國立水產振興院**

Study on the distribution of marine bacteria and the consumption of oxygen in Wonmun bay¹⁾

Young-Tae PARK · Won-Jae LEE* · Joo-Suck PARK** ·
Pil-Yong LEE** and Hak-Gyoon KIM**

*Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea*

**Department of Microbiology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea*

***National Fisheries Research and Development Agency,
Yangsan, 626-900, Korea*

Hypoxic bottom ($\leq 2.0\text{ml/l}$, 40% oxygen saturation) is formed in the semi-closed Wonmun bay during summer and autumn early. This study was carried out to know seasonal distribution of marine bacteria and the role of marine bacteria for forming the hypoxic bottom at Wonmun bay during summer and autumn early, 1990.

During the study periods, 170 bacterial strains were isolated from sea water and sediment. Viable cell counts were ranged between $10^5 \sim 10^7 \text{cells/ml}$. The dominant species were *Acinetobacter* spp. in spring, *Flavobacterium* spp. in summer, *Pseudomonas* spp. in autumn, *Serratia* spp. in winter.

Because ETSA(Electron Transport System Activity) reveals potential consumption of oxygen in the aquatic microorganisms, the ETSA was used as potential consumption of oxygen in this study. The potential consumption of oxygen was in the range of 232.4~637.5 $\mu\text{l O}_2/\text{l/day}$ by marine organism and 142.6~432.4 $\mu\text{l O}_2/\text{l/day}$ by marine bacteria during the study periods. The ratio of potential oxygen consumption of marine bacteria to total marine microorganism was 0.54. The potential consumption of oxygen by marine bacteria closely related with the number of viable cells. Consequently, bacteria play an important role to form Hypoxic bottom at marine environment.

서론

한국 남해 연안해역중 해수의 유동이 적고, 유기물의 유입이 많은 반폐쇄만은 동계에는 상·하층간의 원활한 해수의 혼합으로 수직간 동질수괴를

형성하나, 하계에는 일사량 증가에 따른 표층수온의 상승으로 성층이 형성되어, 저층에는 저서생물에 치명적인 피해를 주는 용존산소량이 2ml/l 이하인 빈산소수괴가 형성되며(홍, 1987), 이로 인해 표층과 저층간에는 서로 다른 환경이 되어 미소생

물의 군집분포에 영향을 준다고 한다(Zehr *et al.*, 1987). 또한 수괴생태계에서 미생물의 종류와 군집의 크기는 물리·화학적 환경에 의하여 지배되며(Wimpenny *et al.*, 1983), Novitsky(1983)는 미생물의 분포를 알기 위해서는 환경요인을 우선적으로 검토하여야 한다고 했다.

해양생태계에서 미생물은 유기물의 분해 및 재합성 기능을 수행하여 물질순환에 기여하며 용존된 영양물질을 생체내에 흡수하여 영양단계가 더 높은 생물들에게 에너지를 공급하는 역할을 담당한다(Reinheimer, 1985). 이와 같은 해양세균의 역할 중 생물사체나 기타 생체 고분자물질과 같은 유기물을 무기화하는 과정이 가장 중요하며(Morita, 1982), 이로 인해 해양세균은 용존산소 소비과정 중의 생물적 소비과정에서 중요한 부분을 담당한다(Seki, 1973).

이와 같이 수괴에서 세균의 산소소모에 관한 연구로는 Smith(1974)가 Sandiego해협 수심 1,230m의 저질에서 용출 Chamber에 microelectrod를 연결하여 조사했으며, Seki(1973)는 Winkler법을 이용하여 부영양화된 동경만과 Aburatsubo하구에서 측정 비교하였으나, King and Packard(1975)는 물리·화학적 방법으로 측정하는 것은 감도가 낮으며, 미소생물의 탈수소효소(dehydrogenase)와 사이토크롬(cytochrome)을 포함한 호흡쇄를 통하여 생체내의 전자와 수소가 전자전달계(Electron transport system)의 마지막 결합인 산소와 결합하는 정도인 전자전달계 활성(Electron transport system activity; ETSA)을 측정하는 것이 비록 잠재적 산소소모량을 나타내지만, 감도가 높고, 실험방법이 간단하다고 하였으며, deep-sea plankton의 전자전달계 활성을 이용한 잠재적 산소소모량과 물리·화학적인 방법으로 구한 호흡량과의 관계를 보고하였다.

전자전달계 활성에 관한 연구는, 심해와 천해에서 서식하는 미소생물의 전자전달계 활성(Packard *et al.*, 1975; Christensen, 1983), 해양에서 서식하는 미소생물의 전자전달계 활성에 미치는 수온과 압력에 관한 연구(Packard and Williams, 1981), 천해의 저질에 서식하는 미소생물의 전자전달계 활성을 이용한 잠재적 산소소모량과 대사에 관한 연구(Weiser and Zech, 1976; Olanczuk-Neyman and Vosjan, 1977) 등이 있으며, 해양세균의 전자전달계 활성에 관한 연구로 Christensen and Packard(1979)는 해양세균을 배양해서 전자전달계 활성으로 구한 잠재적 산소소모량을 조사하였으며, Christensen *et al.*(1980)은 전자전달계 활성과 유기물

농도와와의 관계, Rüger(1984)는 저온성 및 중온성 해양세균을 대상으로 전자전달계 활성으로 잠재적 산소소모량을 구하였으며, 수온과의 관계를 연구 보고하였다.

따라서 본 연구는 양식장으로 이용되고 있는 반폐쇄만인 원문만을 모델로 선정하고, 계절별 미소생물의 잠재적 산소소모량인 전자전달계 활성(Electron Transport System Activity; ETSA)을 구하여 해양세균이 용존산소의 소모에 미치는 영향을 조사하고, 빈산소수괴의 분석자료, 양식장의 용량측정에 기초자료를 제공하고자 조사한 결과이다.

재료 및 방법

1. 연구해역 및 시료채취

연구해역인 원문만은 경남 통영군에 포함된 수심 10m 내외의 얕은 만으로 조사정점은 5개로서 정점간의 거리는 약 800m 정도이다(Fig. 1).

시료 채취는 1989년 8월부터 1990년 10월까지 총 7회에 걸쳐 실시하였으며, 채수는 Van Dorn 채수기와 Niskin(개량형) 세균 채수기를, 저질 시료는 주상형 채니기를 사용하여 채취하였다.

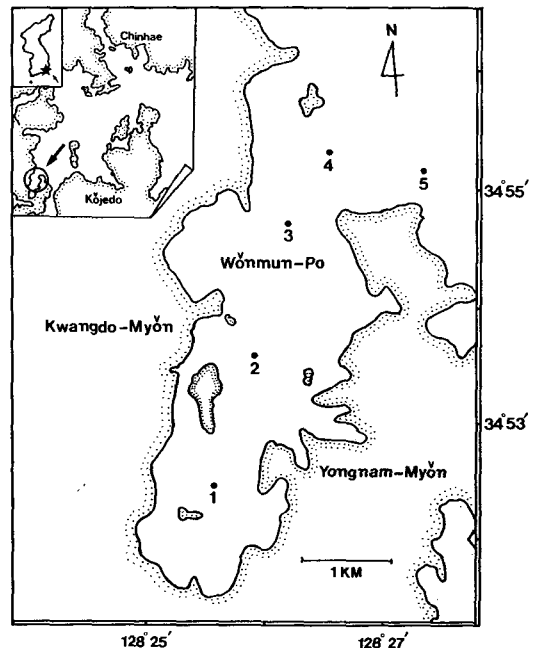


Fig. 1. The location of study area.

2. 생균수와 동정

생균수는 평판배양법(Buck and Cleverdon, 1960)으로 접종 후 호기적 조건으로 20°C에서 7일간 배양후 PPES-II배지(Taga, 1968)에 출현된 세균집락을 C.F.U(colony forming units)로 계수하였고, 출현 균락의 특징별로 분리된 균주를 Shewan *et al.* (1960), Shimidu *et al.* (1977), Krieg and Holt(1984)에 의하여 동정하였다.

3. 전자전달계 활성도(Electron Transport System Activity; ETSA)

Rüger(1984)의 방법에 의하여 시료에서 생성된 ρ -Iodo-Nitrotetrazolium(INT) formazan의 농도를 측정하였다. 수괴에 존재하는 미소생물(Marine microorganism)의 ETSA는 해수 그대로 하였으며, 해양세균(Marine bacteria)의 ETSA는 Schwaerter *et al.* (1988)에 따라 1.2 μ m에 거른 여과액을 사용하였다. 각 시료를 멸균된 cap tube에 10ml씩 넣어 2조씩 준비하였다. 한 cap tube는 반응후 측정시의 blank로 사용하였으며, 다른 cap tube에는 NAPH (0.88 mM, 250 μ l), NADPH(0.25 mM, 250 μ l), Sodium Succinate(0.4M, 500 μ l), 0.2% INT(ρ -Iodo-nitrotetrazolium Violet, 1ml), Nalidixic acid(0.2%, 100 μ l)를 첨가한 후 현상온도의 암소에서 2시간 배양하였다. 배양후 1:1(V/V) 1M H₃PO₄와 Conc. Formalin 1ml로 반응을 중지시킨후 분광광도계(Model UV-160, Japan Shimadzu)로 생성된 INT formazan의 농도를 측정하여 전자전달계 활성도 즉 미소생물의 잠재적 산소소모량(Potential consumption of oxygen)을 구하였다.

4. 환경요인 측정

수온, 용존산소는 현장에서 Hydro Lab. water

analyzer로써 수심 1m 간격으로 측정하였으며, 화학적 산소요구량은 과망간산 알칼리법(日本分析化学會北海道支部 編, 1983)으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 수온 · 용존산소 · COD의 분포

조사기간 수온 · 용존산소 · COD의 분포를 Table 1에 나타내었다. 수온은 표층이 7.1~28.7°C, 저층이 5.8~25.5°C의 변화를 보여주며, 고온의 표층수로 성층이 강하게 발달하는 하계와 수직적으로 해수의 물성이 균일한 동계가 뚜렷한 대조를 보여주었다. 즉 추계 초('89년 10월)에는 4~7m에서 성층이 형성되었으며, 동계('90년 2월)의 경우는 표층과 저층간의 수직혼합이 잘 이루어져, 수온은 표층평균이 7.2°C, 저층이 6.4°C이며, 춘계('90년 5월)의 경우는 일사량의 증가로 표층과 저층간의 수온 분포가 약 3~5°C차가 있었으며, 하계('90년 8월)는 수심 0~3m에서 수온약층이 형성되었으며, 표층 수온 평균이 27.8°C, 저층이 24.7°C였다(Fig. 2, 3).

용존산소의 분포는 표층이 4.34~8.28ml/l, 저층은 0.20~8.32ml/l로서, 표층에 비해 저층의 변화치가 컸다. 이는 하계동안 생성된 저층 빈산소수괴로 인한 결과이며, 홍(1987)은 1983년 하계동안 진해만 일대 조사해역 497km²중 약 54%인 266km²에서 저층 빈산소수괴가 형성된다고 했으며, 특히 마산만, 행암만, 가조도, 원문만, 진해만에서 많이 발생한다고 하였다. 추계 초('89년 10월)에는 표층이 4.34~4.76ml/l, 저층은 0.2~0.7ml/l로 큰 차가 있었으며, 수심 4m 부근에서 급격히 감소하여 수심 8m 이하에서는 1ml/l 이하로 빈산소층이 형성되었으며, 박(1975)이 부영양 해역인 진해만에서 조사한 표층 2.98~6.82ml/l, 저층 1.71~6.22ml/l에 비해 낮은 분

Table 1. The range of environmental factors during study periods

Month		Temperature (°C)	Dissolved oxygen (ml/l)	COD (ppm)	Apparent oxygen utilization
Oct. 1989	Surface	25.4~27.5	4.34~4.76	2.67~3.61	0.32~0.79
	Bottom	21.6~22.7	0.20~0.70	2.09~2.34	4.78~5.12
Oct. 1990	Surface	7.1~7.2	8.02~8.28	2.04~5.90	-1.91~-2.01
	Bottom	5.8~6.1	8.06~8.32	1.18~2.25	-0.51~-0.81
May	Surface	16.8~17.0	6.14~6.32	1.75~1.92	-2.07~-2.51
	Bottom	12.9~13.3	3.71~3.81	0.95~1.05	1.89~2.17
Aug.	Surface	26.8~28.7	4.50~4.59	2.01~3.21	0.07~0.13
	Bottom	18.9~25.5	0.84~2.94	1.26~2.16	2.35~2.88

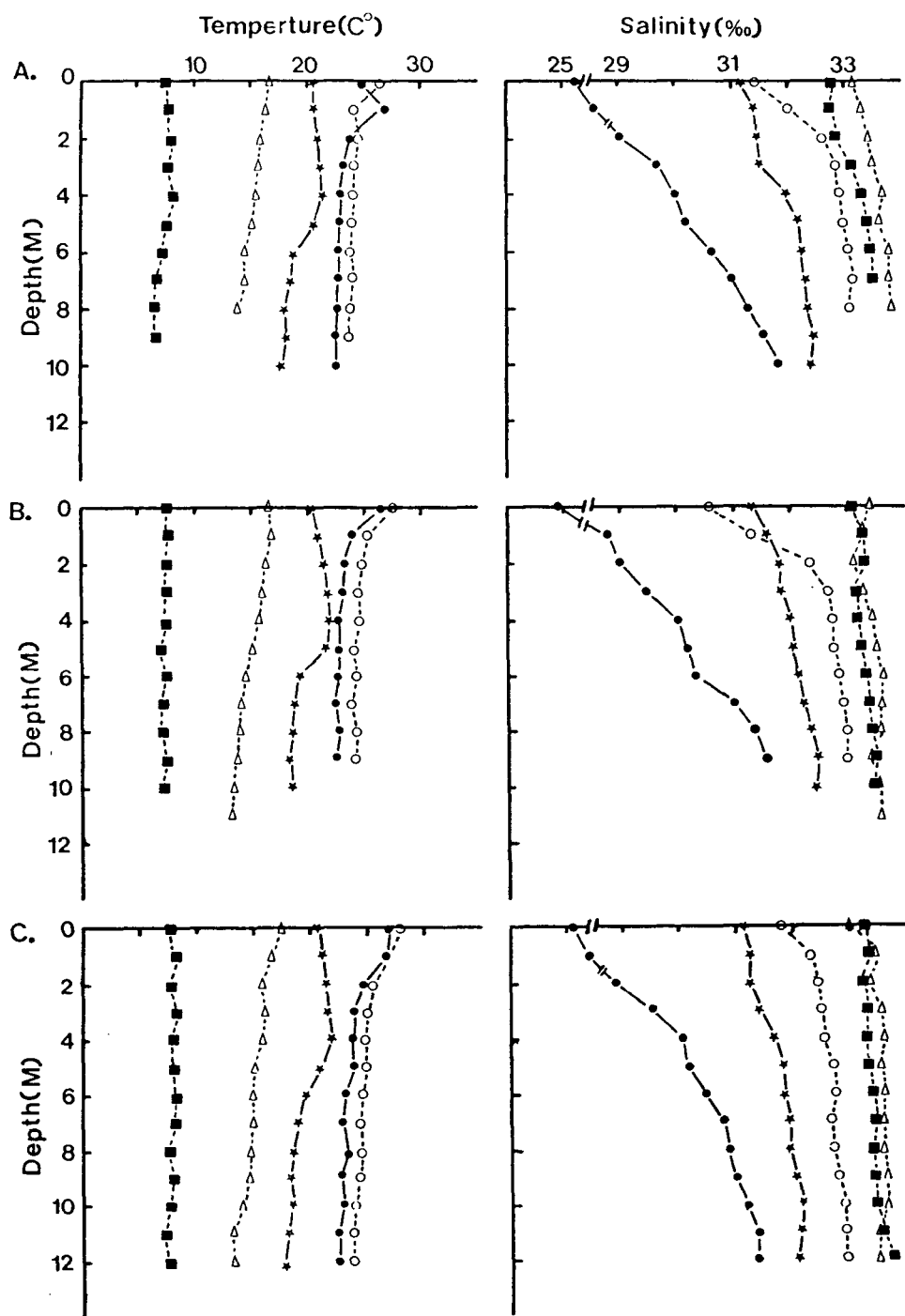


Fig. 2. The vertical distribution of temperature and salinity station 1(A), 2(B), 3(C) during the study periods. 1989. 8 —●—, 10 —★—, 1990. 2 —■—, 5, —△—, 8, —○—

포치를 보여주었다. 한편 동계('90년 2월)는 수층간의 원활한 수직혼합으로 인하여 표·저층간이 8.02~8.32ml/l로 균일한 분포를 보여주었으며, 수온이 증가하는 춘계('90년 5월)는 표층이 6.14~6.32 ml/l의 분포를 보이며, 수심이 증가함에 따라 감소하여 수심 4~6m 이하에서는 3.71~3.81ml/l의 분포를 보여주었다. 또한 수온이 증가함에 따라 하계('90년 8월)에는 용존산소의 양이 표층 4.50~4.59 ml/l, 저층 0.84~2.94ml/l로 감소하여 차층 빈산소층이 진행됨을 알 수 있었다. 겉보기 산소소모량(Apparent Oxygen Utilization: AOU)은 동계, 춘계

를 제외하고 (+)값을 보여주어 이 기간을 제외하고는 생물에 의한 산소의 공급보다는 소모가 많음을 알 수 있었다.

조사기간 COD는 표층 1.75~5.90ppm, 저층은 0.95~2.34ppm로 조와 김(1977)이 거제도 부근 굴양식장에서 조사한 표층 1.46~2.20ppm, 저층 0.19~2.13ppm과 비슷한 분포치를 보이며, 유사하게 표층이 저층에 비해 높은 분포치를 보여주었으며, 이 등(1990)이 부영양해역인 진해만에서 조사한 월별 평균 3.38ppm에 비해 낮은 분포치를 보여주었다.

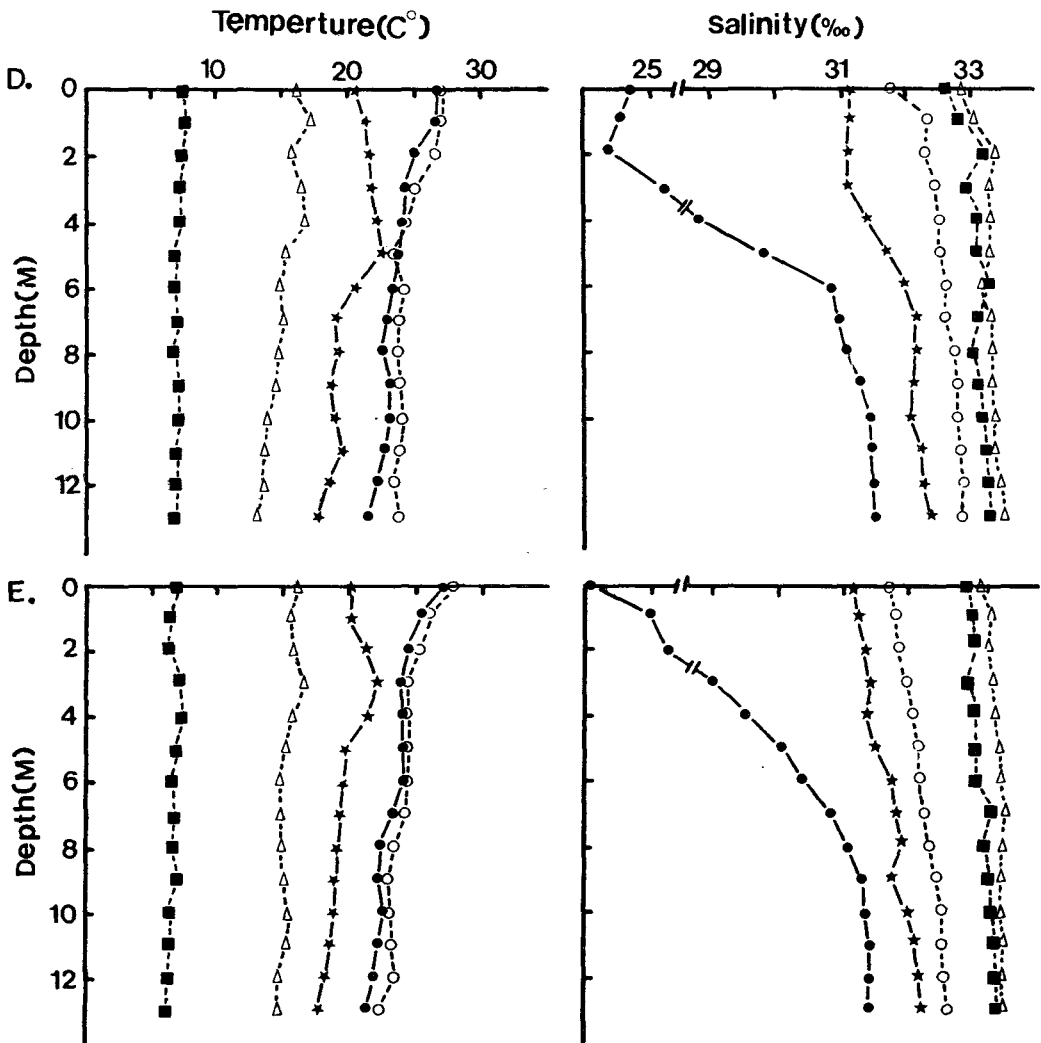


Fig. 3. The vertical distribution of temperature and salinity station 4(D), 5(E) during the study periods.
1989. 8 —●—, 10 —★—, 1990. 2 —■—, 5, —△—, 8, —○—

2. 해양세균의 분포와 세균상

조사기간 생균수의 분포 범위는 $10^5 \sim 10^7$ cells/ml 으로서 (Fig. 2), 이 등(1986)이 부영양해역인 진해만에서 조사한 $10^4 \sim 10^8$ cells/ml와 비슷한 분포 양상을 보여주었다. 저질에 $1.45 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^7$ cells/ml로서 가장 높게 출현하였으며, 표층은 $2.08 \times 10^5 \sim 2.25 \times 10^6$ cells/ml로서 저층의 $1.54 \times 10^5 \sim 1.34 \times 10^6$ cells/ml에 비해 다소 높게 출현하였는데, Seki (1966)는 동경만에서 해양환경과 해양세균과의 관계를 조사한 결과 세균수는 여러 환경요인중 특히 수온과 COD와 밀접한 관계가 있음을 보고하였으며, 본 조사기간에 수온과 COD는 저층에 비해 표층에 높게 출현하였는데 생균수의 분포는 이의 영향을 많이 받는 것으로 사료되어진다. 또한 생균수의 계절별 변화는 수온이 가장 낮은 동계('90년 2월)에 표층, 저층, 저질의 평균치가 2.08×10^5 cells/ml, 1.54×10^6 cells/ml, 1.28×10^6 cells/ml로 가장 낮은 분포치를 보여주며, 춘계('90년 5월)에 수온이 상승함에 따라 생균수가 증가하여 하계('90년 8월)에는 표층, 저층, 저질의 정점간 평균치가 2.12×10^6 cells/ml, 1.34×10^6 cells/ml, 1.55×10^7 cells/ml로서 가장 높은 분포치를 보여주었다.

Väätänen(1980)은 Filand연안에서 세균수와 환경요인간의 종회귀분석을 시도하여 관계를 조사한 결과 생균수는 수온, 유기물, Chlorophyll a의 변화에 약 50~60%의 영향을 받는다고 하였으며, 이 (1986)는 부영양해역에서는 연안으로 유입되는 하천수나 도시하수에서 유입된 유기물을 미생물이 이용하므로 환경의 변화에 영향을 받으며, 일반적으로 온도, 염분, pH, 중금속, 영양염 등으로 인하여 해양세균의 분포에 영향을 받게 된다고 하였다. 따라서, 조사기간 동안 계절별 세균수의 변화는 수온, 염분, Chlorophyll a 등의 변화와 수산양식생물의 사체 및 배설물인 유기물의 변동으로 인한 결과로 사료된다.

조사해역에서 분리된 세균상을 알아보기 위하여 170균주를 분리, 동정하였다. 총 170균주중 *Acinetobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Vibrio* spp.가 각각 35균주(20.6%), 30균주(17.6%), 26균주(15.3%)로서 가장 많이 출현하였으며 (Table 2), 이 등(1986)이 부영양해역인 진해만에서 조사한 *Acinetobacter* spp. 24.7%, *Pseudomonas* spp. 17.2%, *Vibrio* spp. 12.0%와 비슷한 분포양상을 보였으며, Shimidu et al. (1977), Shiba and Taga(1980)에 의하면 부영양화가 진행되는 해역에서는 *Acinetobacter* spp.가 우점을 이루며 많은 종이 다양하게 출현한다는 결과와 일치한다. Fig. 4는 계절별 종조성을 나타낸 것으로

Table 2. The composition of bacteria flora during study periods

Bacteria flora	Numbers	Percentage (%)
<i>Acinetobacter</i> spp.	35	20.6
<i>Pseudomonas</i> spp.	30	17.6
<i>Vibrio</i> spp.	26	15.3
<i>Serratia</i> spp.	18	10.6
<i>Staphylococcus</i> spp.	11	6.5
<i>Flavobacterium</i> spp.	10	5.9
<i>Micrococcus</i> spp.	9	5.3
<i>Citrobacter</i> spp.	7	4.1
<i>Moraxella</i> spp.	6	3.5
<i>Bacillus</i> spp.	6	3.5
<i>Corynebacterium</i> spp.	6	3.5
Unidentified	6	3.5

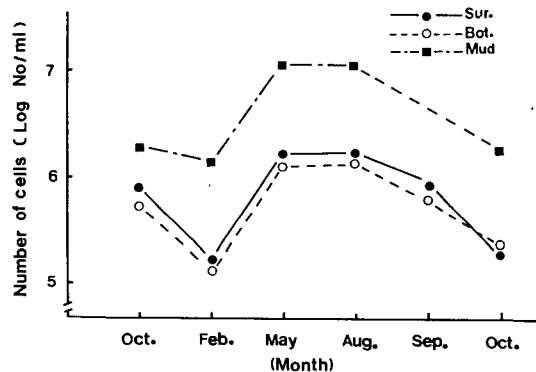


Fig. 4. monthly variation of viable cell count during the study period (1989~1990).

서, *Acinetobacter* spp.와 *Pseudomonas* spp.는 연중 출현하였으며, Austin et al. (1979)은 동경만과 Chesapeake만에서의 해양세균 분포를 조사한 결과, *Acinetobacter* spp.와 *Pseudomonas* spp.는 이 두지역에서 많이 출현하였으며, 특히 *Pseudomonas* spp.는 석유분해능이 뛰어나며 중금속에 관한 내성이 강하다고 하였으며, 오염된 해역에서 많이 출현된다고 하였다.

계절별 우점종은 추계('89년 10월)에는 *Pseudomonas* spp.(34.7%), 동계에는 *Serratia* spp.(41%), 춘계는 *Acinetobacter* spp.(29.2%), 하계('90년 8월)는 *Flavobacterium* spp.(37.5%)이었으며, 이 등(1986)이 부영양해역인 진해만에서 조사한 춘계 *Acinetobacter* spp., 하계 *Flavobacterium* spp.는 같으나 추계는 *Flavobacterium* spp., 동계는 *Acinetobacter* spp.가 우점하여 계절별 우점종이 달랐으며, 이는

같은 부영양화된 해역이지만 두 해역간의 환경의 차이로 인한 결과로 사료되어진다. 계절별 수층간 해양세균의 분포양상을 보면 강한 성층으로 빈산 소수괴를 형성하였던 추계 초('89년 10월; Fig. 6)

에는 표층에 *Acinetobacter* spp., *Corynebacterium* spp., *Pseudomonas* spp. 등 3개의 군집이 출현한 반면 저층에는 7개의 군집이 다양하게 출현하였다. Zehr et al.(1987)이 성층이 형성되는 호수에서 조사한 성

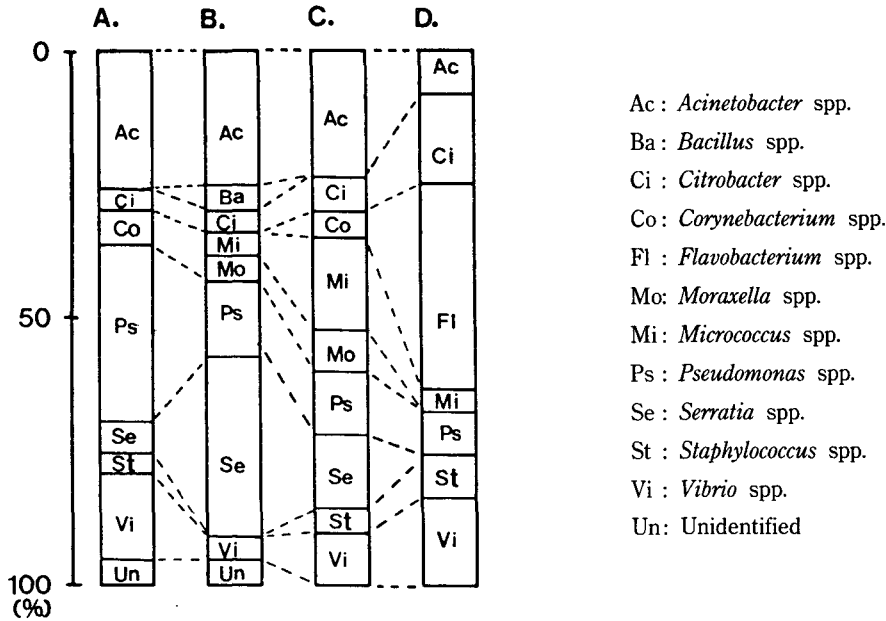


Fig. 5. The composition of marine bacteria during the study periods.
(A: Sep. 1989, B: Feb. 1990, C: May 1990, D: Aug. 1990)

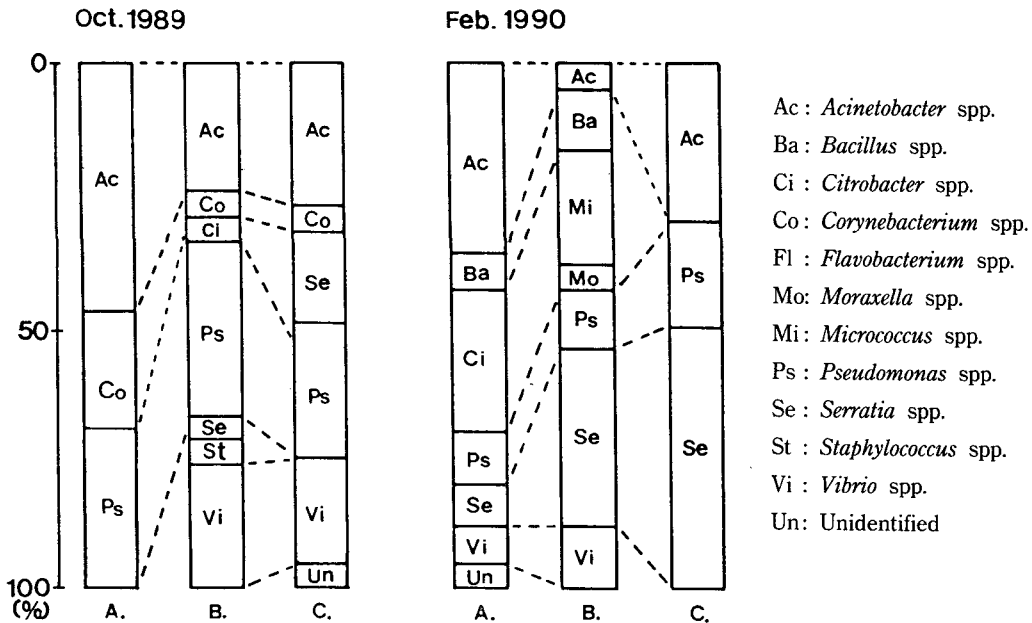


Fig. 6. The distribution of marine bacteria flora surface(A), bottom(B), mud(C) at October 1989 and February 1990.

층위의 표층에는 cocci 몇종만 출현한 반면, 성층아래 저층에서는 cocci, rod 등 다양한 종이 출현한 결과와 일치하며, Atlas(1986)는 수온 및 유기물 등의 환경요인에 의해 제한을 받는 환경에서는 잘 적응되는 종이 드물기 때문에 다양성이 높게 나타난다고 하였다. 동계('90년 2월)에는 표층과 저층간의 군집조성이 비슷하였으며 이 기간에는 수층의 혼합이 활발한 관계로 사료되어지며 저질에는 *Acinetobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Serratia* spp.로 3개의 genus가 출현하였다.

춘계('90년 5월, Fig. 7)에는 표층과 저층에서 *Acinetobacter* spp.가 우점한 반면 저질에는 많은 genus가 출현하여 다양한 군집조성을 이루었으며, *Micrococcus* spp., *Serratia* spp.가 우점하였다. 하계('90년 8월)에는 표층, 저층, 저질에서 *Flavobacterium* spp.가 우점하였으며, 이 등(1986)이 진해만 해역에서 적조 발생전·후, 진행중에 해양세균의 군집상을 조사한 결과 *Flavobacterium* spp.가 적조 발생중에 가장 우점하였으며, McMeekin *et al.* (1972)은 *Flavobacterium* genus의 대부분이 Yellow-Orange 색소를 가지며 주로 수계에 분포되어 있다고 하였다.

3. 전자전달계 활성(Electron Transport System Activity; ETS)으로 잠재적 산소소모량 측정

전자전달계 활성도는 수계에 서식하는 미소생물(microorganism)의 호흡량을 간접적으로 측정하는 것으로서, 전자전달계에 의한 INT(ρ -Iodo-Nitroterazolum) formazan 생성율로부터 미소생물의 잠재적 산소소모량을 계산한다. Packard and Williams (1981)는 전자전달계 활성도로서 수중에 서식하는 미소생물에 의한 현장 산소소모량을 측정하기 위해서는 시수속의 우점생물군(phytoplankton, bacteria, zooplankton)의 호흡으로 인한 산소소모량과 전자전달계 활성과의 관계가 조사되어야 한다고 했으며, Maine만에서 미소생물군집의 전자전달계 활성도와 precise microelectrode로서 미소생물군집의 현장 산소소모량을 조사한 결과 $ETS = 2.92 \text{ Respiration} + 99$ ($r = 0.89$, $n = 21$)이란 관계를 밝혔다. 또한 이에 관련된 연구로서는 King and Packard(1975)는 Marine zooplankton 15종을 대상으로 호흡에 의한 산소소모량과 전자전달계 활성도를 비교한 결과, 각 종마다 전자전달계 활성과 산소소모량이 다르며, $\text{Log Respiration} = 0.728 \text{ Log ETSA} + 0.057$ 인 관계가 있음을 보고하였다. Christensen *et al.* (1980)은 5종의 해양세균을 대상으로 $\text{Log(respiration per cell)} = 0.832 \text{ Log(ETS per cell)} + 0.727$ 인 관계를 밝혔으며, 이러한 관계가 계속 조사되어야만 간단히 실험할 수 있는 전자전달계 활성으로서 실제 수계에서 미소생물에 의해 소모

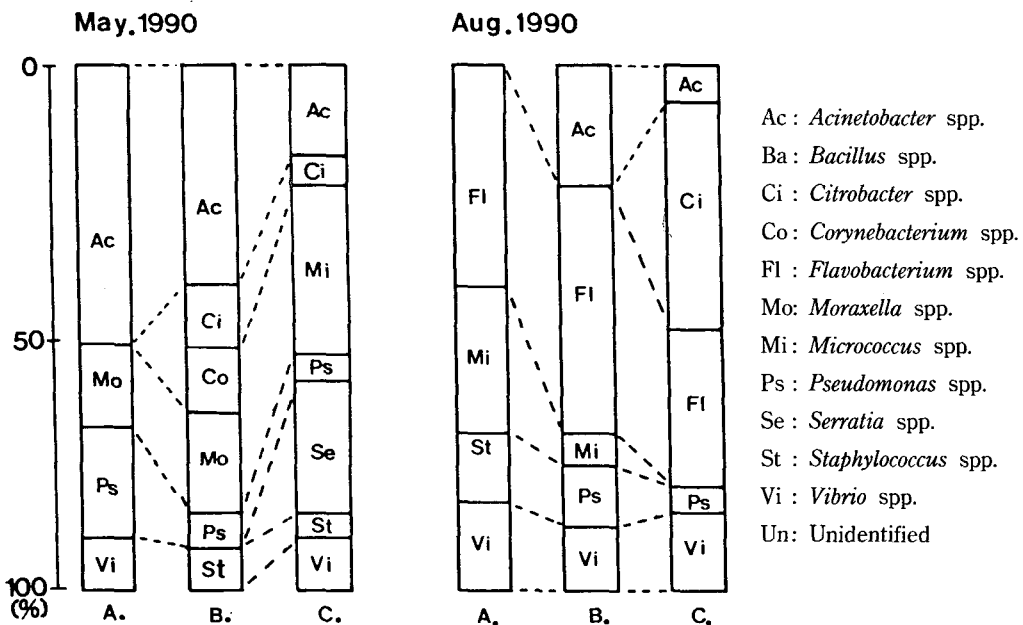


Fig. 7. The distribution of marine bacteria flora surface(A), bottom(B), mud(C) at May 1990 and August 1990.

되는 산소의 양을 구할 수가 있으며, 이로써 미소생물이 수괴 환경에 미치는 영향과 에너지 흐름 등을 간단히 파악할 수가 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 미소생물 군집전체와 세균의 전자전달계 활성을 구하여, 잠재적 산소소모량을 조사하였다.

조사기간('90년 8, 9, 10월) 미소생물군집의 잠재적 산소소모량은 232.04~637.5 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 이며 세균의 잠재적 산소소모량은 142.6~432.4 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 로 (Table 3), Hobbie *et al.* (1972)가 Sargasso sea 표층 (표층수온 19.4~22.4°C)에서 조사한 미소생물군집의 잠재적 산소소모량은 3.0~43.0 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 에 비해 월등히 높은 분포치를 보였다. 또한 Packard and Williams (1981)가 Maine bay의 표층에서 춘계에 조사한 204.8 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 에 비해 높은 분포치를 보여 주었다. 조사기간 생균수와 세균의 잠재적 산소소모량과의 상관관계를 Fig. 8에 나타내었다. 8월의 미소생물군집의 잠재적 산소소모량은 232.4~637.5 $\mu\text{O}_2/\text{day}$, 세균의 잠재적 산소소모량은 142.6~432.4 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 로 정점간 분포가 일정하지 않았으나 (Table 3), 정점별 생균수와 세균의 잠재적 산소

소모량의 상관관계를 조사해 본 결과 $R^2=0.794$ 이며, 9월은 생물군집 잠재적 산소소모량은 423.2~55.72 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 범위로 정점별 생균수와 세균의 잠재적 산소소모량과의 상관관계는 $R^2=0.833$ 이며, 10월은 생물군집 잠재적 산소소모량은 297.5~522.5 $\mu\text{O}_2/\text{day}$, 세균의 잠재적 산소소모량은 14.74~249.4 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 로 이 기간동안 생균수와 세균의 잠재적 산소소모량과의 정점간 상관관계는 $R^2=0.331$ 이었다. Hobbie *et al.* (1972)는 미소생물의 전자전달 활성은 Bacterial Biomass or chlorophyll과 비례한다고 하였으며, Christensen *et al.* (1980)은 5개 종의 해양세균을 배양하여 전자전달계 활성을 측정한 결과 각 종마다 생리적인 상태와 유기물의 종류에 따라 전자전달계 활성의 차가 난다고 하였다. 따라서 조사기간인 10월의 상관성이 낮은 것은 그 기간에 출현한 세균의 특징으로 인한 결과로 사료되어진다.

조사기간 월별 생물군집 잠재적 산소소모량에 대한 세균의 잠재적 산소소모량이 차지하는 비율을 Table 3에 나타내었다. 8월 표층의 미소생물군집 잠재적 산소소모량 614.5 $\mu\text{O}_2/\text{day}$ 에 비해 세

Table 3. The value of ETSA(Electron Transport System Activity) from August to October 1990 ($\mu\text{O}_2/\text{day}$)

Month(1990 yr.)		August		September		October	
Station		Total*	Bacterial**	Total*	Bacterial**	Total*	Bacterial**
1	Surface	620.1	325.8	551.2	334.5	297.5	147.4
	Bottom	232.4	142.6	520.2	206.6	522.5	198.3
2	Surface	597.7	214.5	557.2	320.4	408.6	214.5
	Bottom	294.6	147.5	528.3	336.8	402.6	249.4
3	Surface	627.3	286.2	490.5	226.1	377.9	198.0
	Bottom	419.3	242.6	432.2	237.7	354.4	244.7
4	Surface	637.5	407.7	415.7	235.2	357.4	237.4
	Bottom	484.6	432.4	424.1	187.9	327.8	221.3
5	Surface	589.9	212.6	433.9	152.3	353.2	212.3
	Bottom	572.7	229.4	449.6	348.1	398.3	222.1
Average							
	Surface	614.5	289.4	489.7	253.7	358.9	201.9
	Bottom	395.9	250.8	469.1	262.6	399.3	227.2
Percentage of bacterial ETSA to total community ETSA (%)	Surface		47.1		51.8		56.3
	Bottom		63.3		55.9		56.8

* Total Community ETSA

** Bacterial ETSA

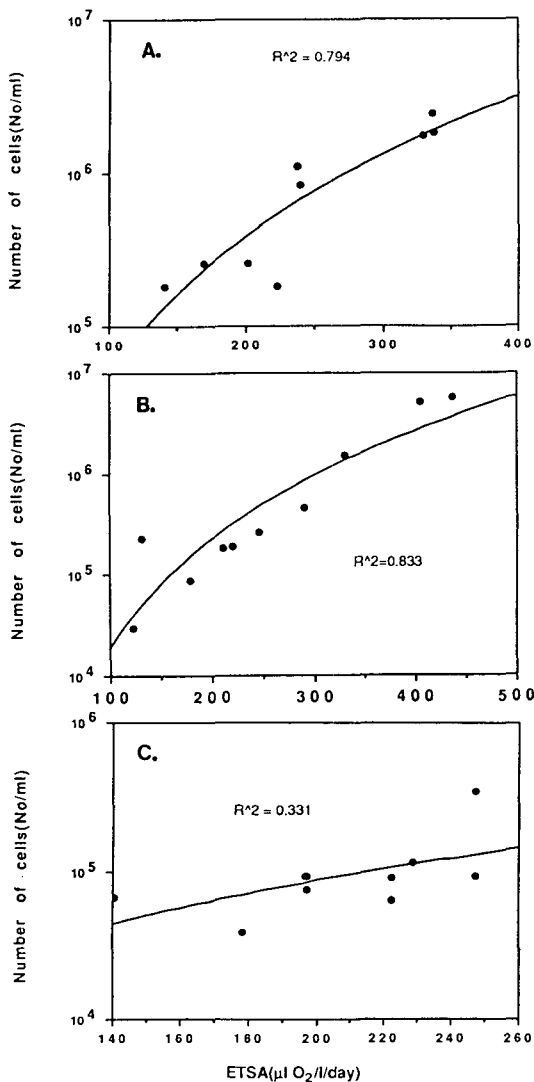


Fig. 8. The relationship between viable cell number of bacteria and bacterial ETSA at August(A), September(B), October(C) 1990.

균의 잠재적 산소소모량은 $289.4 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 로서 47.1%를 차지한 반면 저층은 미소생물군집 잠재적 산소소모량이 $395.9 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 이며 세균에 의한 것이 $250.8 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 로서 63.3%를 차지하였으며, 9월은 표층이 약 51.8%, 저층이 55.9%, 10월은 표층이 약 56.3%, 저층이 56.8%로서 전 조사기간 미소생물군집 잠재적 산소소모량의 평균치는 $454.6 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 세균의 잠재적 산소소모량 평균치는 $247.6 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 로서 약 54%를 차지하였다.

Smith(1973)는 연안의 저질에 microelectrode를 연결하여 산소소모정도를 조사한 결과, 화학적 산

소소모가 45%, 생물적 산소소모가 54.6%를 이중 세균에 의한 산소소모가 약 64%를 차지하며, Schwaerter *et al.*(1988)은 부영양호수에 GF/C filter로 거른 bacteria의 산소소모가 수괴의 생물적 산소소모의 50%라고 보고하였으며, 본 조사에서 측정한 생물학적 산소소모중 세균에 의한 정도는 54%로서 비슷한 값이었다. 따라서 원문만에서 하계와 추계초 빈산소수괴의 형성시 해양세균은 수괴의 용존산소 소모에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

요 약

반폐쇄만이며 하계동안 저층 빈산소수괴(Hypoxic bottom area)가 형성되는 진해만 일대 해역중의 하나인 원문만에서 해양세균의 계절적 분포와 해양세균이 용존산소소모에 미치는 영향을 알기 위하여 하계동안 미소생물의 전자전달계 활성도(Electron transport system activity)로서 잠재적 산소소모량(potential consumption of oxygen)을 구하였다.

해양세균의 계절별 우점종은 추계('89년 10월)에는 *Pseudomonas* spp., 동계('90년 2월)에는 *Serratia* spp., 춘계('90년 5월)에는 *Acinetobacter* spp., 하계('90년 8월)에는 *Flavobacterium* spp.가 우점하였다. 조사기간동안 생균수는 하계('90년 8월)에 표층, 저층, 저질의 평균치가 각각 $2.12 \times 10^6 \text{ cells/ml}$, $1.34 \times 10^6 \text{ cells/ml}$, $1.55 \times 10^7 \text{ cells/ml}$ 로 높은 분포치를, 동계에는 표층, 저층, 저질의 평균치가 각각 $2.08 \times 10^6 \text{ cells/ml}$, $1.54 \times 10^5 \text{ cells/ml}$, $1.28 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ 로 낮은 분포치를 보여주었다. 또한 전자전달계 활성(Electron Transport System Activity)으로 잠재적 산소소모량을 조사한 결과 하계동안 수괴에서 미소생물군집의 잠재적 산소소모량은 $232.4 \sim 637.5 \mu\text{l O}_2/\text{day}$, 이중 세균의 잠재적 산소소모량은 $142.6 \sim 432.4 \mu\text{l O}_2/\text{day}$ 로서 수괴의 미소생물군집의 잠재적 산소소모량의 약 55%를 차지하여, 하계동안 저층의 산소소모에 큰 영향을 미침을 알 수 있었으며, 세균의 잠재적 산소소모량은 생균수와 밀접한 관계가 있었다.

참 고 문 헌

- 박창길. 1975. 진해만해역의 부영양화와 클로로필의 분포. 한국수산학회지, 12(2): 121~126.
이원재, 정희동, 강창근, 박희열. 1986. 부영양해역

- 의 해양세균의 분리 및 분리균의 생리적 성질에 관하여, 1. 부영양해역의 환경 및 세균상. 한국수산학회지, 10(4): 586~592.
- 이원재, 김학균, 박영태, 성희경. 1990. 해양세균이 적조형성 생물에 미치는 역할, 1. 진해만의 해양세균과 와편모조류의 분포. 한국수산학회지, 23(4): 303~309.
- 조창환, 김용술. 1977. 굴 양식장의 미세환경에 관한 연구, 1. 거제도의 양식장밀도 및 부영양화에 관하여. 한국수산학회지, 10(4): 259~265.
- 홍재상. 1987. 1983년 진해만 일대해역의 여름철 저층 용존산소의 결핍과 저서생물량과의 관계. 한국해양학회지, 22(4): 246~256.
- Atlas, R. M. 1984. Diversity of microbial communities. *Advances in microbial ecology*, 7: 1~47.
- Austin, B., S. Garges, B. Conrad, E. E. Harding, R. R. cowell, U. simidu and N. Taga. 1979. Comparative study of the aerobic, heterotrophic bacterial flora of Chesapeake Bay and Tokyo Bay. *Appl. Environ. Microbiol.*, 37: 704~714.
- Buck, J. D. and R. C. Cleverdon. 1960. The spread plate as a method for enumeration of marine bacteria. *Limnol. Oceanogr.*, 5: 75~80.
- Christensen, J. P. and T. T. Packard. 1979. Respiratory electron transport activities in phytoplankton and bacteria: comparison of methods. *Limnol. Oceanogr.*, 24: 576~583.
- Christensen, J. P., T. G. Owens, A. H. Devol and T. T. Packard. 1980. Respiration and physiological state in Marine Bacteria. *Marine Biology*, 55: 267~276.
- Christensen, J. P.. 1983. Electron transport system activity and oxygen consumption in marine sediments. *Deep-Sea Research*, 30(2): 183~194.
- Hobbie, J. E., O. H. Hansen, T. T. Packard, L. R. Pomeroy, R. W. Sheldon, J. P. Thomas and Wiebe, W. J. 1972. A study of the distribution and activity microorganisms in ocean water. *Limnol. Oceanogr.*, 17(4): 544~555.
- King, F. D. and T. T. Packard. 1975. Respiration and the activity of the respiratory electron transport system in marine zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 20: 849~854.
- Krieg, N. R. and J. G. Holt. 1984. *Bergey's manual for systematic bacteriology*. Willams and Wilkins. Baltimore. Maryland.
- McMeekin, T. A., D. B. Stewart and J. G. Murray. 1972. The adanosinian Taxonomy and the deoxyribonucleic acid base composition of some Gram Negative, Yellow pigmented rods. *J. Appl. Bacteriol.* 35: 129~137.
- Morita, R. Y.. 1982. Starvation-survival of heterotrophs in the marine Environment. *Advances in Microbial Ecology*, 6: 171~198.
- Novitsky, J. A. 1983. Starvation-survival of heterotrophs in the marine Environment. *Advances in Microbial Ecology*, 6: 171~198.
- Olanckn-Keyman, K. M. and J. H. Vosjon. 1977. Measuring respiratory electron transport system activities in marine sediment. *Netherlands J. Sea Research*, 11(1): 1~13.
- Packard, T. T., M. L. Healy and A. Richards. 1971. Vertical distribution of the activity of the respiratory electron transport system in Marine plankton. *Limnol. Oceanogr.*, 16(1): 60~70.
- Packard, T. T., A. H. Devol and F. D. King. 1975. The effect of Temperature on the respiratory electron transport system in marine plankton. *Deep-Sea Research*, 22: 237~249.
- Packard, T. T. and P. J. Ieb. Williams. 1981. Rates of respiratory oxygen consumption and electron transport in surface seawater from the Northwest Atlantic. *Oceanologica Acta*, 4: 351~358.
- Reinheimer, G. 1985. *Aquatic Microbiology*. 3rd ed. pp. 158~159. Wiley and Sons.
- Rüger, H. J. 1984. Temperature effects on respiratory electron transport system(ETS) in psychrophilic and mesophilic marine bacteria. *Veröhl. Inst. Meeresforsch. Bremerh.*, 20: 29~40.
- Schwaerter, S, Morten Søndergaard, Bo Riemann and Lars Møller Jonsen. 1988. Respiration in eutrophic lakes: the contribution of bacterioplankton and bacterial growth yield. *J. Plankton Research*, 10(3): 515~531.
- Seki, H. 1966. Seasonal fluctuation of heterotrophic bacteria in the sea of Aburatsubo Inlet. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 22(3): 93~104.
- Seki, H. 1973. Microbial respiration in marine Environments during summer. *La mer*, 11: 147~152.

- shewan, J. M., G. Hobbs and W. Hodfkiss. 1960. The *Pseudomonas* and *Achromobacter* groups of bacteria in the spoilage of marine white fish. J. Appl. Bact., 23: 463~468.
- Shiba, T. and N. Taga. 1980. Heterotrophic bacteria attached to seaweeds. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 47: 251~258.
- Simidu, U., E. Kaneko and N. Taga. 1977. Microbiological studies of Tokyo Bay. Microbial Ecol., 3: 173~191.
- Smith, K. L., Jr. 1973. Respiration of a sublittoral community. Ecology, 54: 1065~1075.
- Smith, K. L., Jr. 1974. Oxygen demands of San-Diego through Sediments: an *in situ* study. Limnol. Oceanogr., 19(6): 939~944.
- Taga, N. 1968. Some ecological aspects of marine bacteria in the Kuroshio current. Bull. Misaki. Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ., 12: 65~76.
- Väätänen, P. 1980. Factor analysis of the impact of the environment on Microbial communities in the Tväminne Area, Southern coast of Finland. Appl. Environ. Microbiol., 40(1): 55~61.
- Vasjan, J. H. and G. Neuwland. 1987. Microbial biomass and respiratory activity in the surface waters of the east Banda Sea and northwest Araface Sea(Indonesia) of the time of the southeast monsoon. Limnol. Oceanogr., 32(3): 767~775.
- Weiser, W. and M. Zech. 1976. Dehydrogenases as tools in the study of marine sediments. Marine Biology, 36: 113~122.
- Wimpenny, J. W., T. Robert W. L. and Philip C. 1983. Laboratory model systems for the investigation of spatially and temporally organised microbial ecosystems. In Microbes in their natural environments. pp. 67~117. Cambridge Univ. Press.
- Zehr, J. P., Ronald W. Harvey, Ronald S. Oremland, James E. Cloern, Leah H. George and Judith L. Lane. 1987. Big Soda Lake(Nebada). 1. Pelagic bacterial heterotrophy and biomass. Limnol. Oceanogr., 32(4): 781~793.
- 日本分析化学會北海道支部 編. 1983. 水の分析 第3版. p. 240~244. 化学同人. 京都. 日本.

1991년 9월 7일 접수

1991년 9월 19일 수리