

해양미생물과 식물플랑크톤의 상호관계

1. 수영만의 해양세균과 식물플랑크톤 우점종 간의 상호관계

김동원 · 이원재*

부산수산대학교 해양학과 · *부산수산대학교 미생물학과

Studies on Relationships between Marine Bacteria and Phytoplankton in Suyeong Bay

1. On Relationships of Dominant Species between Marine Bacteria and Phytoplankton

Dong-Won KIM and Won-Jae LEE

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

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

Monthly distribution of marine bacteria and phytoplankton in Suyeong Bay were investigated with laboratory experiment of dominant algal species and bacterial flora. During the periods of study, the highest density of phytoplankton and bacteria occurred in May with the number of 3.3×10^6 cells/l and 1.93×10^8 cells/ml, respectively.

10 genera of bacteria and 22 genera of phytoplankton were isolated and identified. In May when phytoplankton bloom occurred, dominant species of bacteria were *Acinetobacter calcoaceticus* (29.1%) and *Bacillus subtilis* (22.9%), and dominant species of phytoplankton were *Chaetoceros* spp. (62.8%) and *Skeletonema* spp. (19.4%). *Pseudomonas* spp., which was the most abundant bacterial species during the study periods, were rapidly decreased in May. In laboratory studies of culturing bacteria and phytoplankton isolated in May, the growth of *Pseudomonas vesicularis* seems to be influenced by the concentrations of excretion matter of *Chaetoceros* spp.

To examine the result colsely, the problem of pure isolation for phytoplankton must be solved and more experimental process have to be conducted.

서 론

해양에서의 기초생산을 담당하는 식물플랑크톤은 직접 유기물을 분비하거나 세포자체가 죽어서 세균의 분해로 인한 입자상태의 유기물생산에 중요한 역할을 담당하며, 해양 종속영양세균(heterotrophic bacteria)의 중요한 영양원을 제공하므로

수계에서 식물플랑크톤과 미생물은 밀접한 관계를 유지한다(Fuhrman and Azam, 1980). 한편, 만이나 간조수역은 외해보다 종속영양 세균의 수가 훨씬 많으며, 세균의 활성도 높다(Stevenson and Erkenbrechen, 1976). 수계에서 미생물의 분포는 모든 생물적 무생물적 요인의 상호 작용에 의해 좌우되어 계속적으로 변화하고(Rheinheimer, 1985), 식물

플랑크톤 우점종의 분비물질은 해양수계의 미생물 군집에 영향을 준다(Fukami *et al.*, 1985a, b, 1990).

수영만은 1988년부터 수영강 하구부근의 하수종말처리와 퇴적물준설로 다소 수질이 향상되었으며, 해류유통이 좋아 깊숙한 내만에서와 같은 오염축적은 아직 없다(김, 1991). 그러나 수영만은 도시에 인접한 연안 하구로서 수영, 광안리, 해운대 일대로부터 급증하는 생활 하수와 주변의 많은 공장폐수가 유입하므로써 인근 해역에 영향을 미칠 가능성이 크다.

지금까지 수영만에 대한 연구는 원과 이(1979)의 수영만 인근해수의 오탁분포, 이(1988)의 수영강 하구의 수질특성과 수질모델연구, 강(1989)의 수영강 수질관리 방안에 관한 연구, 이 등(1991)의 수영만의 수질환경과 대장균에 관한 연구, 그리고 수영만의 해수순환 및 확산에 관한 모델링(정과여, 1992)연구가 발표되었으나, 기초생산에 중요시되는 식물 플랑크톤과 유기물을 분해하여 무기질로 만드는 해양세균과의 상호관계에 관한 연구내용은 찾아보기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 수영만에 분포하고 있는 식물 플랑크톤을 월별로 분리하고 해양세균을 동시에 분리 동정하여 해양세균의 우점종과 식물플랑크톤 우점종의 상호 관계를 조사한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료채취

시료는 Fig. 1에 표시된 각 정점에서 1992년 1월부터 8월까지 채수하였다. 환경인자 분석용 시료는 Nansen채수기와 Van Dorn 채수기를 사용하여 채수하였으며, 세균용 시료는 Niskin개량형 채수기를 사용하여 채수된 시료를 Ice-box에 보관하여 실험실로 옮겨 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 생균수와 총균수 측정

생균수(VC; Viable bacterial cell counting)는 시료 1ml를 PPES-II배지(Taga, 1968)(Table 1)에 평판도말법(Buck *et al.*, 1960)으로 접종하여 나타난 colony를 CFU(colony forming unit)로 계산하였으며, 총균수(TC; Total bacterial cell counting)는 해수 100ml에 1% 증성 포르말린 용액일정량을 첨가하여 고정한 후 Irgalan black으로 전처리한 0.2

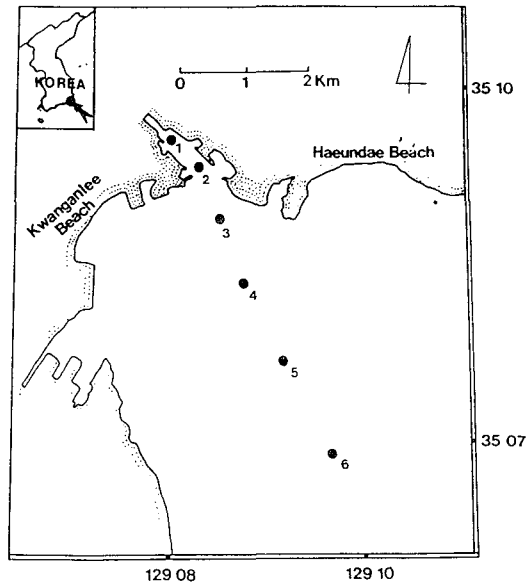


Fig. 1. Location of sampling stations in suyeong Bay.

Table 1. Composition of PPES-II medium

Polypepton	2.0g
Bacto Soyto(Difco)	1.0g
Protease Pepton No.3(Difco)	1.0g
Bacto Yeast extract(Difco)	1.0g
Ferric citrate(0.1%)	10.0ml
Bacto Agar(Difco)	15.0g
Seawater	1000ml
Final pH	7.6~7.8

μm millipore filter를 여과장치에 설치한 다음 시료 1ml에 DAPI시약($0.01\mu\text{g/ml}$) 0.1ml를 첨가한 후 5분간 방치하고 여과(70mmHg)하여 형광현미경($\times \frac{10}{1,000}$)으로 계수하였다.(Porter and Feig, 1980).

$$\text{총균수(No./ml)} =$$

$$\frac{\text{정사각형 내의 평균균수} \times \text{filter의 여과 면적}}{\text{시료수의 여과량(ml)} \times \text{정사각형 면적}}$$

2.2 해양세균의 분리 및 동정

PPES-II배지에서 7일간 배양한 특징 있는 colony를 순수 분리한 후, 형태관찰, Gram 염색성, 운동성검사, 편모염색, 단순염색, 생화학실험의 결과를 Shewan *et al.*(1960), Shimidu(1970) 및 Krieg and Holt(1984) 등과 비교하여 동정하였고, 우점종

의 동정은 MacFaddin(1980)을 참조하여 생화학적 실험과정을 통하여 증명까지 동정하였다.

2.3 식물플랑크톤의 분류 및 개체수 측정

식물플랑크톤의 종조성과 개체수를 조사하기 위해 각 정점의 표층수 250ml를 폴리에틸렌병에 채취하여 Lugol용액 1~1.5ml로 고정시키고 광을 차단한 후 실험실로 옮긴 다음 침전관에서 3~4일 침전시킨 후 상층액을 버리고 cap tube에 10ml가 되도록 농축한 다음 Sedgwick-Rafter Slide를 이용하여 100, 400, 1000배의 현미경 배율하에서 계수하고, 종의 동정은 日本海洋プランクトン圖鑑(山路, 1984)으로 행하였다.

2.4 *Chaetoceros* spp.와 해양세균의 배양

규조류 배지인 'f/2' 배지(Guillard, 1975)(Table 2)를 준비한 후 5월과 6월에 걸쳐 phytoplankton net($\phi=45cm$, mesh size=50~60 μm)로 채집한 규조류를 실험실의 현미경하에서 Pasteur pipette로 우점종을 세포배양 용기(24Hole, Coming 社)에 순수 분리하여 조도 3000lux, 온도 18~20 $^{\circ}C$ 를 유지하면서 배양하였다. 배양된 *Chaetoceros* spp.를 1l의 'f/2' 배지에 대량배양한 후 규조류와 해양세균의 성장관계를 조사하였다. 한편 해양세균은 *Chaetoceros*가 대량 발생한 5월에 출현한 종을 순수 분리하여 Nutrient broth(Difco)에 배양하여 보관하였다 (Fig. 2).

Table 2. Composition of 'f/2' medium

Major nutrients	
NaNO ₃	75mg
NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O	5mg
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	20mg
Trace metals	
Na ₂ · EDTA	4.36mg
FeCl ₃ · 6H ₂ O	3.25mg
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.01mg
ZnSO ₄ · 0.7H ₂ O	0.022mg
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.01mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.18mg
Na ₂ MoO ₄ · 0.2H ₂ O	0.006mg
Vitamins	
Thiamin · HCl	0.1mg
Biotin	0.5 μ g
B ₁₂	0.5 μ g
Seawater	1,000ml

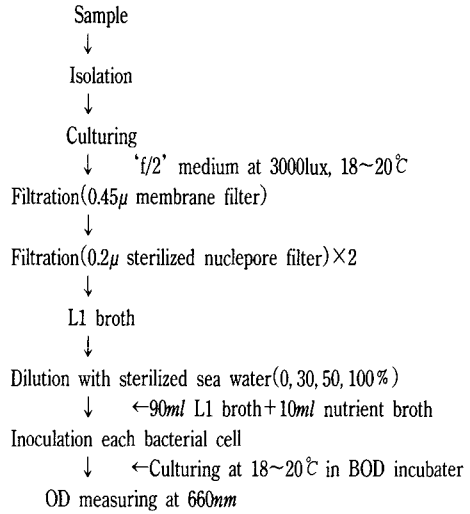


Fig. 2. Pure culturing process of the isolated algae and the process of bacterial culturing in L1 broths.

2.5 물리, 화학적 환경요인

수온은 봉상온도계로 현장에서 측정하였고 염분(salinity)은 Salinometer(Tsuri Seki Co., LTD)를 사용하여 측정하였고, 용존산소(DO)는 시료를 현장에서 고정한 후 Winkler 변법(Strickland and Parsons, 1972)으로 실험실내에서 측정하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 실험실 내에서 과망간산칼륨알카리법(水の分析, 1983)으로 측정하였으며, 영양염은 비색정량법(Strickland and Parsons, 1972)으로 분광광도계(Model; Shimadzu UV-160)를 이용하여 측정하였다.

엽록소 a(chlorophyll. a)는 시료 일정량(1000ml)을 membrane filter(ϕ 0.45 μm , 47mm dia.)로 여과하여 90% acetone를 첨가한 후 냉암소에서 24시간 방치하여 추출한 다음 추출액을 3500rpm에서 15분간 원심 분리하고 상등액을 750, 665, 645, 630nm에서 흡광도를 측정하여 chl. a의 양을 Strickland and Parsons(1972)식으로 계산하였다.

결 과

1. 해양세균의 분리 및 동정

1월부터 8월까지의 채수시료에 있어서 평판배지에 형성되는 colony를 특징별로 선별한 결과 분리한 전체 colony수는 303개였고 속명까지 동정한

결과 총 10개속이었다. 분리된 전체 균종의 동정결과를 Table 3에 나타내었으며 실험실 배양에 사용한 주요 균주의 생화학 test 결과는 Table 4에 나타났다. 분리된 균종중 *Pseudomonas* spp.가 30.4%로 가장 많았고, 다음으로 *Acinetobacter* spp.(18.8%), *Vibrio* spp.(12.5%), *Flavobacterium* spp.(12.2%), *Bacillus* spp.(8.9%) 등의 순으로 나타났다. 월별 분포를 보면 2월부터 4월 그리고 6월에는 *Pseudomonas* spp.가 40% 이상 우점하였으나 bloom이 일어난 5월에는 *Acinetobacter* spp.와 *Bacillus* spp., *Flavobacterium* spp., *Vibrio* spp.와 *Acinetobacter* spp.와 *Bacillus* spp.가 60% 이상 우점하였다. *P. spp.*와 *A. spp.*, *Bacillus* spp., *Flavobacterium* spp., *Vibrio* spp.는 8월까지 계속 나타나고 있으며 *Aeromonas* spp.는 춘계인 4월과 5월에만 다소 높게 나타나고 있었다. *Vibrio* spp.는 bloom이 일어나기 전에 높게 나타나다가 bloom이 일어난 5월에 감소하고 6월부터 계속 증가하였다(Fig. 3). 5월에 출현한 주요 균종은 *Pseudomonas vesicularis*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter calcoaceticus*로 나타났다.

Table 3. Number of bacterial flora identified in Suyeong Bay from Jan. to Aug., 1992

Bacterial flora	Months							Total
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Aug.	
<i>Pseudomonas</i> spp.	11	15	15	14	7	13	17	92
<i>Acinetobacter</i> spp.	7	7	3	5	14	10	11	57
<i>Vibrio</i> spp.	1	1	6	8	6	6	12	40
<i>Flavobacterium</i> spp.	6	6	7	4	2	3	9	37
<i>Bacillus</i> spp.	2	1	2	2	11	5	4	27
<i>Moraxella</i> spp.	5	3			1	2	1	12
<i>Aeromonas</i> spp.	2		4	5				11
<i>Arthrobacter</i> spp.				1	2	1	1	5
<i>Staphylococcus</i> spp.		1	1		1		2	5
<i>Micrococcus</i> spp.				1	1		2	4
Unidentified	1	2	1	2	3	2	2	13
Total	35	36	39	42	48	42	61	303

2. 식물플랑크톤의 분류 및 개체수

표층에서의 1/당 식물플랑크톤의 월별 출현종의 개체수를 Table 5에 나타내었다. 전체 6개정점의 표층에서 2월~6월 및, 8월에 채집한 시료를 관찰한 결과 전체 22속 이었고, 규조류의 월별 우점종은 2월에 총 6.2×10^5 세포/l 중 *Skeletonema* spp.가 4.23

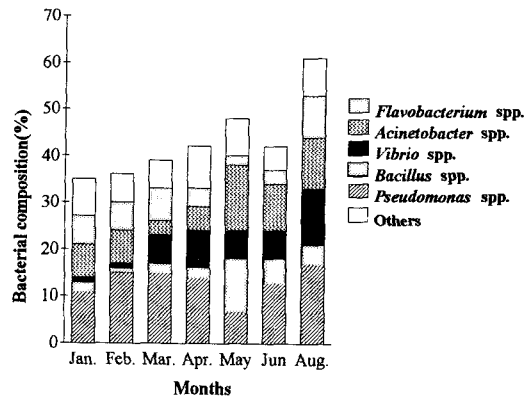


Fig. 3. Monthly abundance and composition of bacterial flora.

$\times 10^5$ 세포(68%)으로 가장 많았고, 다음으로 *Thalassiosira* spp. (11.6%), *Chaetoceros* spp.(8.7%), *Eucampia* spp.(6.4%)순으로 나타났다. 3월에는 총 1.50×10^6 세포 중 *Skeletonema* spp.(52%)가 우점했고 다음으로 *Chaetoceros* spp.(15.3%) *Nitzschia* spp.(10.7%)순이고, 4월은 총 8.13×10^5 세포 중 *Skeletonema* spp.(31.4%), *Chaetoceros* spp.(26.6%), *Thalassiosira* spp.(13.6%)순이었다. bloom이 일어난 5월에는 규조류 3.31×10^6 세포로서 최대치를 나타냈고 이중 *Chaetoceros* spp.가 62.8%로 거의 우점하였으며 다음으로 *Skeletonema* spp.(19.4%), *Melosira* spp.(6.65%), *Nitzschia* spp.(3.5%), *Eucampia* spp.(2.7%)순으로 나타났다. 하계인 6월과 8월에는 *Nitzschia* spp.가 각각 53.9%, 45.8%로 우점하였다(Fig. 4).

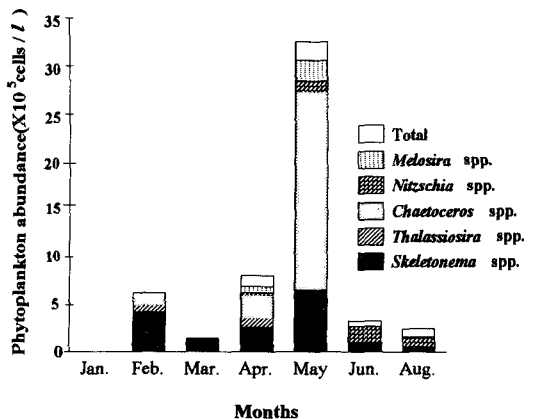


Fig. 4. Monthly abundance and composition of phytoplankton.

Table 4. Characteristics of each bacterial species

Test	<i>Pseudomonas vesicularis</i>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Vibrio</i> spp.
Gram stain	-	-	+	-
Morphology	rods	short rods	rods	comma
Spore forming	-	-	+	-
Motility	+	-		+
KIA/TSI		K/NC, K/K		
TCBS				yellow
KCN	NR	V		
Oxidase	+	-		+
Catalase	+	+ ^s	+	+
Galactose	-	+	-	
Nitrate reduction	-	-	+	+
Urea	-	-	V	
MacConkey agar	G ^w	G		
Citrate	-	V	+	
MR	-	-	+	
Voges-Proskauer	-	-	+	
Argn	+	+	+	
Lysn	+	-	+	
Orn	-	+	+	
Glucose(O)	O	O	O	-
Glucose(F)	-	F	-	F
Lactose	-	-	-	
Mannitol	-	-	-	
Inositol	-	-	-	
Sucrose	-	-	-	
Sulfur production	-	+	-	
Indole	-	-	-	+
Motility, 37°C	+	-	-	
NaCl (%)				
0	-	-	+	
1	+	+	+	
3	+	-	+	
6	+	-	-	

+; assimilation, fermentation or growth -; not assimilation, fermentation or growth

G^w; growth weekly V; variable +^s; strong K/NC; upper alkaly down no color

O; oxidative F; fermentative NG; no growth NR; no reaction K/A; upper alkaly down acid

+^s; strong +"; usually

하계인 6월부터 편모조류가 나타나기 시작하였는데 편모조류는 6월에 전체 식물플랑크톤 중 20.9%를 차지했고 이중 *Prorocentrum triestinum*이 3.16×10^4 세포(84%)로 우점했으며 8월에 나타난 편모조류는 6월보다 다양하게 나타났고 전체 식물플랑크톤 중 18.2%를 차지하였으며, 출현한 편모조류

중 *Katodinium* spp.가 45.1%로 우점하였다. 2월부터 4월까지 규조류의 우점종은 *Skeletonema* spp.였으나 bloom이 일어난 5월에는 *Chaetoceros* spp.가 우점하였으며 하계인 6월부터 *Nitzschia* spp.가 우점하기 시작하였다.

Table 5. Species and number of phytoplankton identified in Suyeong Bay from Feb. to Aug., 1992
(unit; ×100 cells/l)

Phytoplankton	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Aug.
<i>Skeletonema</i> spp.	4230	780	2555	6436	3236	388
<i>Thalassiosira</i> spp.	720	110	1105	24	24	-
<i>Chaetoceros</i> spp.	540	230	2165	20756	140	88
<i>Eucampia</i> spp.	160	160	390	1163	1744	1137
<i>Rhizosolenia</i> spp.	100	30	230	408	12	2
<i>Coscinodiscus</i> spp.	30	20	20	68	40	-
<i>Pleurosigma</i> spp.	20	30	45	504	32	-
<i>Melosira</i> spp.	-	110	678	2200	-	-
<i>Leptocylindrus</i> spp.	-	-	845	-	-	96
<i>Ditylum</i> spp.	-	-	5	-	-	-
<i>Thalassionema</i> spp.	-	-	-	64	48	-
<i>Lauderia borealis</i>	-	-	-	-	-	20
<i>Thalassiothrix</i> spp.	-	-	-	32	-	-
* <i>Prorocentrum triestinum</i>	-	-	-	-	316	88
* <i>Ceratium fusus</i>	-	-	-	-	-	204
* <i>Katodinium</i> spp.	-	-	-	-	-	72
* <i>Ceratium furca</i>	-	-	-	-	-	72
# <i>Scenedesmus</i>	-	-	-	-	-	62
* <i>Chroomonas salina</i>	-	-	-	-	-	56
* <i>Dictyocha fibula</i>	-	-	-	-	-	12
* <i>Distephanus</i> spp.	-	-	-	-	-	8
Unidentified	20	30	45	504	-	212
Total	6200	1470	8088	32555	3236	2483

*: Flagellates, #: Green algae

3. 해양세균과 식물플랑크톤의 상호관계

분리된 해양세균 중 우점종인 *Pseudomonas vesicularis*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter calcoaceticus*와 *Vibrio* sp.를 무균적으로 액체배지(Nutrients broth, Difco)에서 배양하였고, 구조류 중 순수분리한 *Chaetoceros* spp.를 대량 배양하여 추출한 여과액을 이들 세균에 처리하여 증식에 미치는 영향을 조사하였다(Guillard, 1975). *Chaetoceros* spp.의 밀도가 1000세포/ml 이상 되었을 때 *Chaetoceros* spp.의 여과액(L1 broth)을 각 농도별(0%, 30%, 50%, 100%)로 희석하고 세균의 영양소인 nutrient broth를 10ml 가하여 100ml로 만든 배지에서 시간별로 분리된 각각의 세균종들의 성장을 측정된 결과 Fig. 5와 같이 나타났다.

*Pseudomonas vesicularis*의 경우 L1 broth의 농도

가 증가함에 따라 대수기 간격이 15시간에서 30시간으로 길어지며 성장률 또한 낮아지고 있다. 반면에 *A. calcoaceticus*와 *B. subtilis*는 L1 broth의 농도가 높아질수록 OD(optical density at 660 nm) 값이 높아지는 높은 성장을 보였다.

Vibrio spp.는 다른 균종들에 비해 성장속도가 빠름을 알 수 있다. 즉 접종후 8시간부터 대수기가 시작되며 대수증식기 시간도 8시간 정도로 짧으며 정상기가 다른 균종에 비해 6~24시간 빨리 시작되고 있다.

Fig. 6은 각 균종들의 L1 broth농도에 따른 성장곡선을 나타낸 것이다. 마찬가지로 *P. vesicularis*는 다른 균종들에 비해서 L1 broth 100%농도에서 성장이 느린 반면 *A. calcoaceticus*와 *B. subtilis*, *Vibrio* sp.는 0%, 30%, 50%, 100%의 L1 broth에서 높

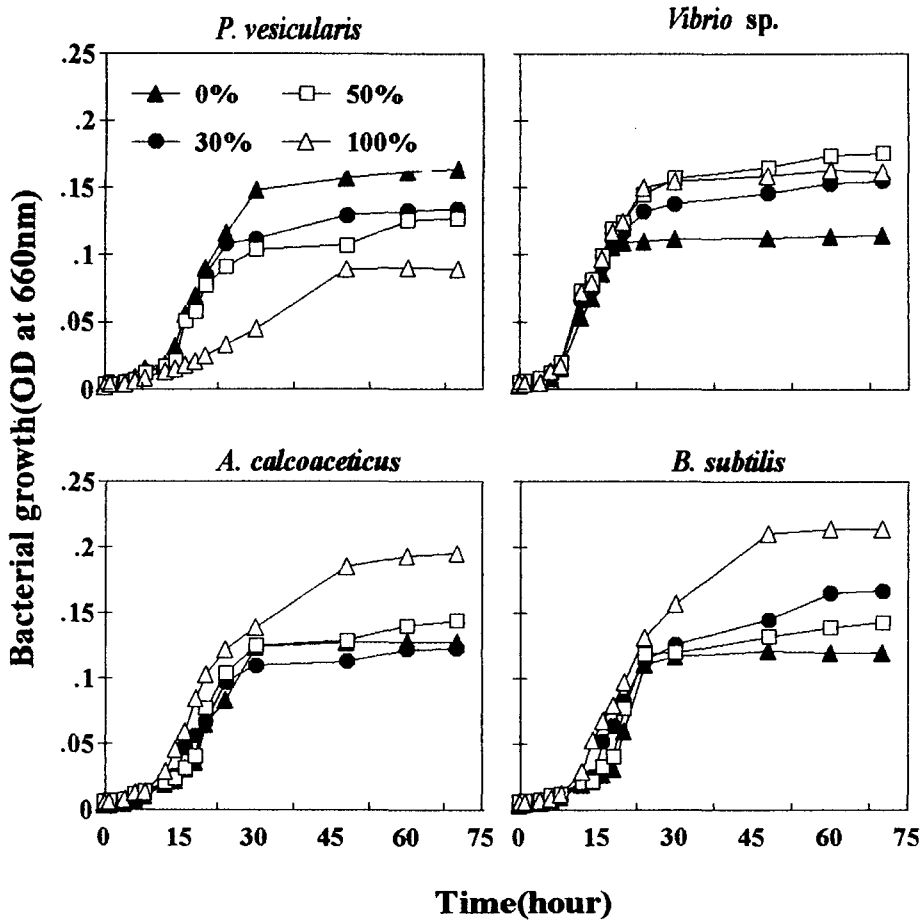


Fig. 5. Growth of some bacterial species with L1 brothe concentrations.

은 성장을 보이고 있다.

L1 broth농도에 따른 시간별 *Pseudomonas vesicularis* 총균수의 변화에서 L1 broth 농도 100%에서는 총균수의 시간에 따른 변화폭이 적게 나타났으며(Table 6.), 평판의 L1 broth에서 *Pseudomonas vesicularis* colony수의 변화는 L1 broth의 농도에 따라 뚜렷한 차이를 나타내고 있는데 농도가 높을수록 colony의 성장이 느리며 숫자도 적은 것으로 보아 5월의 *Chaetoceros* spp. bloom이 *P. vesicularis*에 선택적인 영향을 준 것 같다(Fig. 7). Fig. 8은 총균수와 chl.a의 월별분포양상을 나타낸 그림으로서 월별변화 양상이 유사함을 알 수 있는데 Väätänen(1980)은 생균수는 수온, 유기물, chl.a의 변화에 약 50~60% 영향을 받는다고 보고하였다. 본 조사에서도 총균수 각각에 대한 수온, 염분, chl.a, COD의 계절별 영향을 회귀분석으로 조사한 결과 COD

와 chl.a에 대한 총균수와 생균수는 40~60% 영향을 받았으며 생균수보다 총균수가 다소 높은 영향을 받았다(Table. 7).

4. 물리, 화학적 환경요인

1992년 1월부터 8월까지 조사된 표층의 환경분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 월별 염분은 평균 21.93~31.4‰ 정도로 변화가 심하며 특히 8월의 경우 강우의 영향으로 차이가 크게 나타났다.

표층의 영양농도는 수영장에서 대량으로 유입되는 유기물의 영향을 절대적으로 받는 장점 1, 2에서 높은 값을 나타내고 있다. 월평균을 보면 아질산염, 질산염, 암모늄염 그리고 규산염은 8월의 강우로 인한 담수유입의 증가로 높은 농도를 보이고 있는데, 이때의 화학적 산소요구량이 최대인 5.55ml/l이고 용존산소 또한 최소인 4.77ml/l로 나타났다. 특

Table 6. Total cells of *Pseudomonas vesicularis* counted with time at various L1 broth concentrations

Time (hours) L1 both Con.(%)	0	1	14	24	48	70
	Total Bacteria(No. cell/ml)					
0	1.29×10^7	3.08×10^7	1.04×10^8	3.87×10^8	4.88×10^8	5.25×10^8
30	1.25×10^7	2.52×10^7	4.77×10^7	2.01×10^8	3.73×10^8	4.04×10^8
50	1.33×10^7	1.68×10^7	3.36×10^7	1.29×10^8	3.08×10^8	3.39×10^8
100	1.28×10^7	1.61×10^7	1.96×10^7	6.45×10^7	9.12×10^7	1.05×10^8

Table 7. Seasonal correlation coefficients among the variable in Suyeong Bay

Independent	Dependent variables(R ² , %)		
	Winter	Spring (TC/VC)	Summer
Temp.	39/40	39/25	26/34
Sal.	53/32	40/42	35/53
COD	55/43	69/56	47/39
chl.a	57/45	64/53	64/52

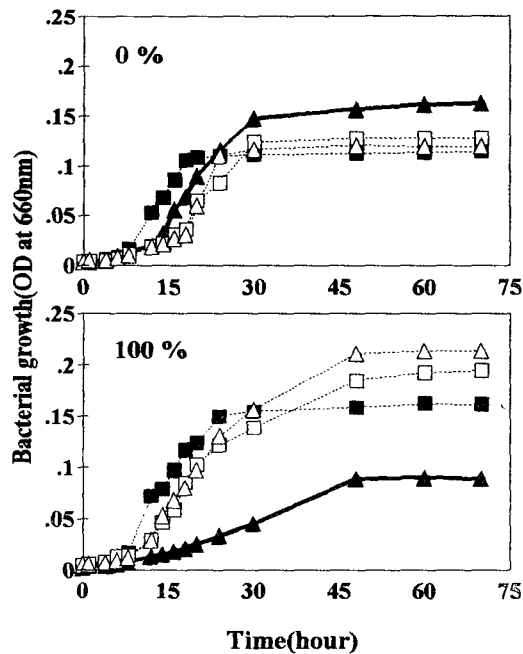


Fig. 6. Growth of bacterial species with L1 broth concentrations.

- ▲ *P. vesicularis* □ *A. calcoaceticus*
- *V. spp.* △ *B. subtilis*

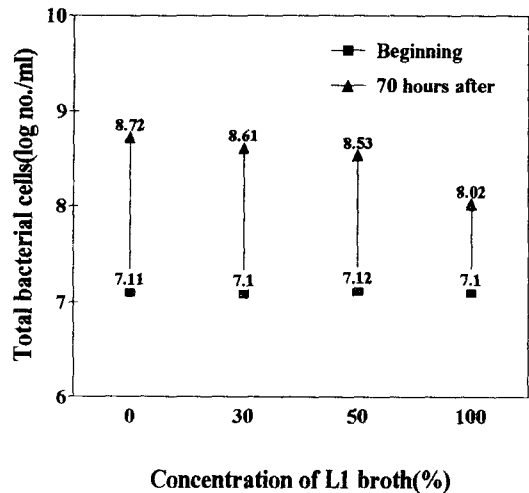


Fig. 7. Total bacterial cells counted at the time of beginning and 70hours later.

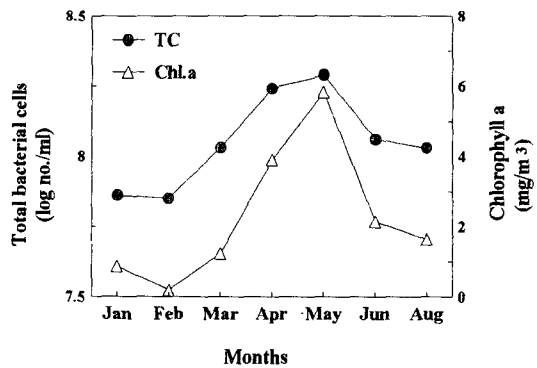


Fig. 8. Monthly value of total bacterial number and chlorophyll a concentration during study periods.

Table 8. Mean value of environmental factors

Months	Temp. (°C)	COD (ml/l)	DO	Sal (‰)	Nutrients(μat/l)					chl.a
					NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₂ -Si	
Jan.	10.72	1.82	5.64	29.54	3.26	4.54	38.41	4.53	29.89	0.86
Feb.	10.48	3.19	7.05	31.40	3.44	5.65	22.35	4.53	24.89	0.19
Mar.	14.13	3.36	5.54	28.70	0.94	5.13	52.03	3.22	58.40	1.22
Apr.	15.52	3.20	6.29	29.05	2.37	8.21	43.69	2.96	41.24	3.89
May	18.18	4.19	5.80	28.40	2.36	4.14	32.33	4.07	20.57	5.82
Jun.	18.43	3.66	6.65	30.35	1.82	2.82	72.45	4.97	35.71	2.13
Aug.	24.67	5.55	4.77	21.93	7.70	8.65	105.20	3.06	58.11	1.63

히 규조류의 대량 증식이 일어난 5월에 암모늄염과 규산염은 각각 32.22μg-at/l, 20.57μg-at/l로 최소를 나타내었다. 용존산소는 규조류가 대량 번식한 5월 보다 6월에 6.65ml/l로 증가하였고 반대로 화학적 산소 요구량은 감소하였다. Gilbert(1982), Carpenter et al.(1984), Park et al.(1986)은 해양에서 식물성 부유생물의 질소계 영양염 요구량은 대부분 동물성 부유생물과 부유미생물의 영양염 재순환에 의해 공급되어진다고 보고하고 있는데 조사기간 중 규조류의 bloom이 암모니아와 규산염의 농도감소를 초래한 것 같다(Fig. 9).

고찰

조사해역에서 분리된 303 균주 중 총 10속이 출현하였으며, 이 중 *Pseudomonas* spp.(30.3%), *Acinetobacter* spp.(18.8%), *Vibrio* spp.(12.5%), *Flavobacterium* spp.(12.2%), *Bacillus* spp.(8.9%) 등이 우점속으로 나타났는데, 김 등(1992)이 목포인근 갯 양식장 주변 해수에서 조사한 *Flavobacterium* spp., *Moraxella* spp., *Micrococcus* spp., *Bacillus* spp.가 우점한 결과와 다른 양상이었으나, 이 등(1986)의 부영양화 해역인 진해만에서의 연구와 清水(1974)가 일본의 연안 해역에서 조사한 우점속의 구조와는 비슷한 양상을 보였다. 식물플랑크톤의 bloom이 두드러진 5월에 있어 해양세균과 식물플랑크톤의 우점종변화는 세균의 경우 *Acinetobacter calcoaceticus*와 *Bacillus subtilis*가 50% 이상 우점하였고 식물플랑크톤은 *Chaetoceros* spp.가 62.8%로 우점하였다. 이러한 결과는 이 등(1986)의 보고에서 진해만의 경우 춘계와 동계에 *Acinetobacter* spp.와 *Flavobacterium* spp.가 많이 출현하며 박 등(1991)이 원

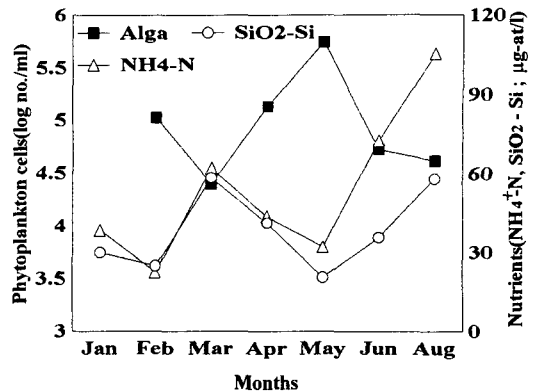


Fig. 9. The value of phytoplankton cells(log no./ml) and concentration of ammonia, silicate during study periods.

문만에서 추계에 *Pseudomonas* spp. 춘계에 *Acinetobacter* sp.가 역시 우점한다는 보고와 일치하며, Austin et al.(1979)이 동경만과 Chesapeake만에서 출현한 해양세균 비교에서 *Acinetobacter* spp.와 *Pseudomonas* spp.가 우점한다는 보고와 김 등(1985)이 낙동강 하류 수역에서 조사한 세균 중 *Pseudomonas* spp.가 42%로 연중 우점한다는 보고에서처럼 본 조사해역에서도 마찬가지로 현상을 나타내고 있었다. 그러므로 이 시기에 식물플랑크톤이 해양세균의 성장에 영향을 미치고 세균수와 식물플랑크톤 수는 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되며, 해양세균 우점종의 변화 또한 식물플랑크톤 우점종의 변화와 관계가 있는 것으로 생각된다. 특히 Riquelme et al.(1989)은 연안에서 식물플랑크톤인 *Asterionella glacialis*의 bloom이 해양세균인 *Pseudomonas* spp.에 선택적으로 영향을 주며, *A. glacialis*의 분비

물이 *Pseudomonas* spp.의 성장을 저해한다고 보고 했는데, 본 조사에서는 대부분 기간에 걸쳐 *Pseudomonas* spp.가 우점했으나, 식물플랑크톤인 *Chaetoceros* spp.의 bloom이 일어난 5월에 최소로 나타난 점으로 보아 *Chaetoceros* spp. 성장이 *Pseudomonas vesicularis*의 성장에 밀접한 영향을 준 것으로 생각 되고, 이 시기에 나타난 다른 세균인 *Acinetobacter calcoaceticus*와 *Bacillus subtilis*, *Vibrio* sp.의 성장에는 영향을 미치지 않았다.

실제 규조류인 *Chaetoceros* spp.를 배양하여 성장 곡선이 최대일 때 여과한 규조류 배양액(L1 broth)의 농도 0, 30, 50, 100%에 분리균인 *Pseudomonas vesicularis*, *Vibrio* sp., *Bacillus subtilis*의 성장을 각각 조사한 결과 *P. vesicularis*는 L1 broth의 농도가 증가할 수록 성장이 느려진 반면 *B. subtilis*와 *Vibrio* sp.는 오히려 농도가 높은 50%, 100%에서 높은 성장을 보인 것으로 보아 *Chaetoceros* spp.의 분비 물질이 *Pseudomonas vesicularis*에 영향을 준 것 같다.

한편 *Vibrio* spp.는 bloom이 일어나기전인 4월에 가장 많이 나타났는데 이것은 Riquelme et al.(1989)의 연구결과와 같은 경향을 나타냈다. 또한 Bird and Kalf(1984)는 미생물의 수가 규조류처럼 영양염의 변화에 민감한 반응을 보이지 않지만 미생물 총균수와 chl.a와의 높은 정의 상관관계를 보인다고 보고했는데 Wright(1978)는 총균수의 분포가 식물플랑크톤과 밀접한 관계가 있고, 식물플랑크톤의 유기물 배설 및 자가분해로 인해 수계내의 유기물이 증가되면 세균수도 증가한다고 보고하였다.

한편, bloom이 일어난 5월의 식물플랑크톤 밀도는 3.31×10^6 세포/l로 최대를 보였으며 chl.a의 농도도 가장 높은 반면 질소계 영양염류는 4월부터 감소하여 5월에는 매우 낮게 나타났다. 특히, 암모니아와 규산염의 경우 정점 4, 5, 6월에서 5월에 각각 평균 $3.93 \mu\text{g-at/l}$, $3.14 \mu\text{g-at/l}$ 로 매우 낮게 나타났는데, 이것은 동물성 부유생물의 대사 및 미생물의 유기물대사의 최종 생산물인 ammonia는 식물플랑크톤의 주된 영양원으로서 NO_3 나 NO_2 보다 먼저 선택적으로 이용되어 bloom이 일어난 5월의 식물플랑크톤의 영향을 받은 것으로 생각되며(Carpenter et al., 1972; McCarthy et al., 1977), 규산염의 경우도 제한요소로 규조류의 대량 번식으로 급격히 감소된 것 같다. 그러나 정점 1, 2에서의 영양염 농도의 변화는 생물의 작용보다 강으로부터의 많은 유기물유입과 조류의 영향이 크기 때문인 것으로 보고 있다(강, 1989; 정 등, 1992). 특히 박(19

75)은 강하구의 만에서 chl.a양과 영양염류와의 관계에서 인산염의 양과는 높은 상관성이 없고 질소성분의 영양염류와 밀접한 상관관계를 가진다고 보고했는데, 본 조사에서는 암모니아와 규산염의 규조류에 대한 상관관계에서 높은 상관성을 나타내었다.

그러므로 앞에서 언급한 것처럼 수영만으로 대량 유입되는 유기물이 수온이 상승하는 5월에 활발한 세균의 분해로 인해 외해와 수영장 입구의 중간 지역인 정점 4, 5, 6에 많은 무기 영양소를 제공하여 규조류가 대량 번식하여 직접, 간접적으로 생균수와 총균수 및 해양세균의 종 구성에 영향을 준 것으로 생각된다.

요 약

1992년 1월부터 8월까지 해양세균과 식물플랑크톤의 상호관계를 알기 위해 미생물과 식물플랑크톤량 및 종의 분포를 조사하고 실험실에서의 세균종가 규조류인 *Chaetoceros* spp.의 배양에 의한 세균과의 관계를 조사하였다.

1. 전체 조사기간에 출현한 세균상종 *Pseudomonas* spp.가 32.3%로 가장 우점했으며, bloom이 일어난 5월에 출현한 세균 중 *Acinetobacter calcoaceticus*와 *Bacillus subtilis*가 51%로 우점했으며, 그외에 *Vibrio* spp., *Pseudomonas vesicularis*가 주로 분리되었다.

2. 조사기간 동안 식물플랑크톤은 5월에 3.3×10^6 cell/l로 bloom을 형성했다. 우점종은 *Chaetoceros* spp.(62%)로 나타났으며 6월과 8월에 걸쳐 편모조류인 *Prorocentrum triestinum*과 *Katodinium* spp., *Ceratium* spp.가 $7.4 \times 10^3 \sim 3.2 \times 10^4$ 세포/l로 나타났다.

3. L1 broth의 농도에 따른 *Pseudomonas vesicularis*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Vibrio* sp.의 성장을 조사한 결과 *P. vesicularis*는 L1 broth의 농도 증가할수록 성장이 느려지며 반대로 다른 균종은 L1 broth의 농도 증가와 함께 성장이 증가한 것으로 보아 *Chaetoceros* spp.의 증가가 *P. vesicularis*의 성장에 영향을 준 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

강현주. 1989. 수영장 하구의 수질관리 방안에 관한

- 연구, 부산수산대학교 공학석사 학위논문, 5~95.
- 김동선. 1991. 수영만의 물리해양학적 특성. 부산수산대학교 이학석사 학위논문, 3~4.
- 김상중 · 홍순우 · 이 윤. 1985. 낙동강 하구 간석지에 존재하는 세균의 분포 및 생리적 특성도. 한국미생물학회지, 23(3), 215~220.
- 김정희 · 이건형 · 신윤근 · 김중래. 1992. 서해산 김엽상체의 미소생물과 김의 병해와의 관계에 대한 연구 II. 목표 인근 김 양식장 주변해수에서의 종속영양세균의 계절적 변화, 한국수산학회지, 25(4), 307~313.
- 박영태 · 이원재 · 박주석 · 이필용 · 김학균. 1991. 원문만의 해양세균분포와 산소소모량에 관한 연구. 한국수산학회지, 24(5), 303~314.
- 박정길. 1975. 진해만 해역의 인산염분포의 특성에 관하여, 한국수산학회지, 8(2), 68~72.
- 山路 勇. 1984. 日本海洋プランクトン圖監. pp. 122~124.
- 원종훈 · 이배정. 1979. 수영만 연근해수의 오타쿠포에 대하여. 한국수산학회지, 12(4), 267~276.
- 이병현. 1988. 수영강 하구의 수질 특성과 수질 모델에 관한 연구. 부산수산대학교 연구 보고, p. 84.
- 이원재 · 박영태 · 김무찬 · 성희경. 1991. 수영만의 수질환경과 대장균. 1. 하계의 수질환경과 대장균에 관하여, 한국수산학회지, 4(1), 15~21.
- 이원재 · 정희동 · 강찬근 · 박희열. 1986. 부영양화 해역의 해양세균 분리 및 분리균의 생리적 성질에 관하여, 한국수산학회지, 19(6), 586~592.
- 日本分析化學 北海道支部篇. 1983. 水の分析 第3版, 化學同人, 京都, 日本, pp. 189.
- 정연철 · 여석준. 1992. 수영만의 해수순환 및 확산에 관한 수치모델링. 한국수산학회지, 25(2), 133~143.
- 清水 湖. 1974. 海洋細菌の分類. 海洋微生物(多賀信夫篇), 東大出版會, 東京, pp. 45~65.
- Austin, B., S. Garges, B. Conrad, E. E. Harding, R. R. Colwell, U. Simidu and N. Taga. 1979. Comparative study of aerobic, heterotrophic bacteria flora of Chesapeake Bay and Tokyo Bay. *Appl. Environ. Microbiol.*, 37, 704~714.
- Bird, D. F. and J. Kalf. 1984. Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 41, 1015~1022.
- Buck, J. D. and R. C. Cleverdon. 1960. The spread plate as a method for enumeration of marine bacteria. *Limnol. Oceanogr.*, 5, 75~80.
- Carpenter, E. J., B. H. Brinkhuis and D. G. Capone. 1984. Primary production and nitrogenous nutrient cycling in Great South Bay. In *Great South Bay*, ed. by H. Carter.
- Carpenter, E. J., C. C. Remsen and S. W. Watson. 1972. Utilization of urea by some marine phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 265~269.
- Fukami, K., S. Ohara and Y. Ishida. 1990. Effect of extracellular organic carbon(EOC) from phytoplankton on the community structure of oligotrophic bacteria. *Arch Hydrobiol. Beith Ergebn. Limnol.*, 34, 43~47.
- Fukami, K., U. Simidu and N. Taga. 1985 a. Microbial decomposition of phyto-and zooplankton in seawater. I. Changes in organic matter, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21, 1~5.
- Fukami, K., U. Simidu and N. Taga. 1985 b. Microbial decomposition of phyto-and zooplankton in seawater. II. Changes in the bacterial community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21, 7~13.
- Fuhrman, J. A. and F. Azam. 1989. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica and California. *Appl. Environ. Microbiol.*, 29, 1085~1095.
- Gilbert, P. M. 1982. Regional studies of daily, seasonal and size fraction variability in ammonium remineralization. *Mar. Biol.*, 68, 209~222.
- Guillard, R. R. L. 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In *Culture of Marine Invertebrate Animals*. ed. by W. L. Smith, and M. H. Chanley, 29~60. Plenum, New York.
- Krieg, N. R. and J. G. Holt. 1984. *Bergey's manual for systematic bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland. ed. 2, 20~300.
- MacFaddin, J. F. 1980. *Biochemical tests for identification of medical bacteria*. Williams and Wilkins. Baltimore/London. pp. 15~340.
- McCarthy, J. J., W. R. Taylor and J. L. Taft. 1977. Nitrogenous nutrition of the plankton in Che-

- sapeake Bay I. Nutrient availability and phytoplankton preferences. *Limnol. Oceanogr.*, 22, 996~1011.
- Park, Y. C., E. J. Carpenter and P. G. Falkowski. 1986. Ammonium excretion and glutamate dehydrogenase activity of zooplankton in Great south Bay. New York. *J. Plankton Res.* 8(3), 489~503.
- Porter, K. G. and Y. S. Feig. 1980. The use of DAPI for indentifying and counting aquatic microflora. *Limnol. oceanogr.*, 25, 943~948.
- Rheinheimer, G. 1980. Aquatic Microbiology. 2nd ed., John Willey and Sons. pp. 77~85.
- Riquelme C. E. and Yuzabro Ishida. 1989. Interaction between microalgae and bacteria in coastal seawater. *Mem. Coll. Agric.*, Kyoto Univ., 134, 1~60.
- Stevenson, L. H. and C. W. Erkenbrecher. 1976. Activity of bacteria in the estuarine environment. *In Estuarine processes*. vol. 1. ed. by M. Willey, 381~394. Academic Press.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed., The Alger Press. pp. 11~137.
- Taga, N. 1968. Some ecological aspects of marine bacteria in the Kuroshio current. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ.*, 12, 65~76.
- Vääätänen, P. 1980. Factor analysis of impact of environment on microbial communities in Tvarminne Area, southern Coast of Finland. *Appl. Environ. Microbiol.*, 40(1), 55~61.
- Wright, R. T. 1978. Measurement and significance of specific activity in the heterotrophic bacteria of natural waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 36 (2), 297~305.

1993년 8월 2일 접수

1993년 9월 4일 수리