

진해만의 유기물 순환과 무산소 환경 발생에
대한 연구

A study on the cycle of organic materials and
development of anoxic condition in Chinhae Bay

1990. 2.

한국과학기술연구원
해양연구소

제 출 문

해양연구소장 귀하

본 보고서를 “진해만의 유기물 순환과 무산소환경발생에 대한 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1990. 2

연구책임자 : 양동범 (해양화학연구실)

홍기훈 (/)

연구원 : 정창수 (/)

조성록 (/)

이선경 (/)

박선규 (/)

김종근 (/)

요 약 문

I. 제목 : 진해만의 유기물 순환과 무산소 환경발생에 대한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

진해만은 일찍부터 많은 연안수산자원의 산란 및 치어성육장의 역할을 해왔으며 피조개등 많은 수산자원의 양식이 활발히 행해지고 있다.

그러나 1970년대에 공업단지의 건설, 주변도시의 인구증가에 따라 많은 량의 도시하수, 산업폐수가 진해만에 유입되어 해수와 해저퇴적물의 오염이 심화되어왔으며, 부영양화현상이 가속화되어왔다.

부영양화현상을 나타내는 곳에서는 저층수의 산소소비가 증가하여 무산소환경을 나타내는 곳이 많아 수산자원에 막대한 피해를 초래한다.

본 연구에서는 무산소환경이 발생하는 해역에 대해 유입되는 영양염의 분포와 유기물의 특성을 조사한다. 그리고 유기물의 분해특성과 저층수중의 용존산소 소비율을 조사하여 무산소환경의 발생가능성을 사전예측하는데 기본자료로 활용한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 하계에 진해만의 부영양화현상과 이에 관련된 무산소환경발생에 중점을 두고 마산수로와 고현성만에서 조사를 실시하였다.

조사해역에서 수온약층형성과 용존산소의 수직분포를 비교하여 하계에 저층수의 빈산소화과정을 관측하였다. 또한 영양염 및 플랑크톤색소량의 분포를 조사하여 유입되는 육상기원물질의 분포 및 식물성플랑크톤에의 영향을 조사하였다.

그리고 부유물질중 아미노산의 조성특성을 파악하였으며 퇴적물 트랩을 사용하여 침강되는 아미노산의 양을 측정하였다.

방사성동위원소를 사용하여 일차생산력과 미생물에 의한 유기물이용도를 조사하여 해수내 유기물순환과정에 대한 기초자료로 사용하였다.

또한 저층수의 산소소비율을 측정하여 무산소환경발생의 사전예측을 위한 자료로 활용하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

89년 8월 진해만의 해양환경조사에서는 전해역에 걸쳐 밀도약층의 분포와 함께 저층수의 빈산소화 현상이 나타났다. 마산만의 경우 수온과 염분은 2-3m층부터 급격한 변화를 보이며 용존산소의 경우 내만은 3m층부터 외만은 10m층부터 1ml/l이하의 빈산소층이 나타난다.

고현성만의 경우 표층의 염분이 29% 정도로 마산만보다 높았고 저층에서는 빈산소층이 나타났다. 마산만의 소모도근처에서는 표층의 클로로필 a 가 30 $\mu\text{g}/\ell$ 이상 이었고 NO_3 가 50 $\mu\text{g at N}/\ell$ 이상으로 주위수괴와는 다른 특성을 보였다.

이 수괴에서는 PO_4 와 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 가 특히 낮은 농도를 보였다. NH_3 와 PO_4 는 저층수에서 높은 농도를 보여 하계에 저층수와 퇴적물에서의 활발한 유기물 분해의 결과로 보여진다.

고현성만의 경우 NO_3 는 표층에서 1.0 - 5.4 $\mu\text{g at N}/\ell$ 로 낮으며 클로로필 a 는 표층보다 중층에서 높은 값을 보였다.

ETS의 활동도는 마산내만의 표층수에서 286.1 $\mu\ell \text{ O}_2/\ell/\text{h}$ 였으며 밀도약층 아래에서 호흡에 의한 산소소비율은 1320 $\text{ml O}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 였다. 일차생산력은 마산내만에서 14.9 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{day}$ 였고 고현성만에서 0.7 $\text{g C}/\text{m}^2/\text{day}$ 였다. Glucose uptake rate는 마산만에서

평균 $2.9\mu\text{g C}/\ell/\text{h}$, 고현성만은 평균 $0.7\mu\text{g C}/\ell/\text{h}$ 로 일차생산력과 마찬가지로 두 해역사이에 상당한 차이를 보여주었다. 마산내만에서 퇴적물 트랩에 침강된 아미노산은 $264\text{ mg C}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 표층에서 생성되는 아미노산의 6.8%가 저층에 이르며 고현성만에서는 $95\text{ mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 표층에서 생성된 양의 50.8%가 저층까지 도달한다.

본 연구에서는 지금까지의 조사와는 다르게 표층수중 NO_3 가 풍부한 해수가 마산수로의 중간쯤인 소모도근처에서 나타났고 식물성플랑크톤 역시 이해역에서 가장 풍부했다. 마산만에서 NO_3 는 마산, 창원지역의 폐수에 기원을 두고 있고 이처럼 육상기원의 물질이 많은 곳에 식물성플랑크톤이 풍부하다는 것이 지금까지의 조사결과이다.

그러나 NO_3 가 풍부한 수괴가 마산수로의 중간에서도 나타나는 것처럼 마산만은 해수특성에 있어 복잡한 미세구조를 나타낸다. 그러므로 앞으로의 조사에서는 이해역을 집중적으로 조사하여 유입되는 물질의 분포와 일차생산성의 관련에 대해 정확한 비교연구가 필요하다고 본다.

일차생산성은 마산내만에서 높으나 생성된 아미노산이 저층에 도달하는 비율은 고현성만에서 훨씬 높기 때문에 유기물의 생성 및 이용형태, 침강률이 두해역사이에 큰차이를 보여 이에대한 집중적 연구가 필요하다고 본다.

미생물의 유기물이용도와 산소소비율은 유기물이 많이 유입되거나 자체생성되는 해역의 유기물분해와 무산소환경발생연구에 필수적이므로 이들자료를 축적하면 연안의 각종 유기물 오염피해예측에 매우 효과적일 것으로 생각된다.

Summary

In August 1989 oxygen deficient condition of bottom waters largely occurred in Chinhae Bay together with steep pycnocline. In Masan Bay decrease of temperature and increase of salinity were observed from about 3 m depth on the vertical profile. Dissolved oxygen contents were lower than 1 ml/l from 3 m depth in the inner Masan Bay and from 10 m depth in the outer Masan Bay.

In Kohyonsong Bay surface salinity was about 29 ‰ and oxygen deficient condition occurred in the bottom waters. Near Somodo island surface waters containing more than 30 µg/l of chlorophyll α and over 50 µg at N/l of nitrate could be distinguished from adjacent water masses. In Masan Bay ammonia and phosphate contents increased with increasing depth suggesting the active degradation of organic materials in the bottom waters and leaching from sediments.

In Kohyonsong Bay nitrate contents ranged from 1.9 to 5.4 µg at N/l in the surface waters and subsurface maximum of chlorophyll α could be observed. ETS activity was 286.1 µl O₂/l/h in the surface waters of the Masan Bay and respiratory oxygen consumption is likely to proceed at a rate of 1320 ml O₂/m³/day in the bottom waters of this bay. Primary productivity was 14.9 gC/m³/day in the inner Masan Bay and 0.7 gC/m³/day in Kohyonsong Bay.

Mean glucose uptake rate was 2.9 µgC/l/h in Masan Bay and 0.7 µgC/l/h in Kohyonsong Bay. Amino acids contents in the sinking materials collected by the sediment trap deployed at the bottom layer was 264 mgC/m³/day. This amount is equiva-

lent to 6.8% of the amino acids produced in the water column by primary prouction. In Kohyonsong Bay 95 mg C/m³/day of amino acids was collected which corresponds to 50.8% of amino acids produced in the water column. In Kohyonsong Bay large fecal pellets produced in shellfish farms could be easily settled down on the sediment because of weak current regime.

목 차

제 1 장 서 론.....	17
제 2 장 조사내용 및 방법.....	19
제 1 절 조사해역 및 조사시기.....	19
제 2 절 측정 및 분석방법.....	19
제 3 장 조사결과 및 고찰.....	27
제 1 절 일반수질지수.....	27
제 2 절 영양염 및 플랑크톤 색소량.....	41
제 3 절 산소 소비율.....	50
제 4 절 일차 생산력.....	52
제 5 절 부유미생물에 의한 유기물 이용도.....	55
제 6 절 아미노산.....	57
제 4 장 결 론.....	60

Contents

Chaper 1. Introduction.....	17
Chapter 2. Materials and methods of analysis.....	19
1. Sampling period and location.....	19
2. Analytical methods.....	19
Chapter 3. Results and discussion.....	27
1. General water quality parameters.....	27
2. Nutrients and plankton pigments.....	41
3. Oxygen consumption rate.....	50
4. Primary productivity.....	52
5. Heterotrophic activity.....	55
6. Amino acids.....	57
Chapter 4. Conclusions.....	60

List of figurss

Fig. 1.	Sampling stations in Masan Bay.	20
Fig. 2.	Sampling stations in Kohyonsong Bay.	21
Fig. 3.	The oxidation reduction reaction between INT and the ubiquinone cytochrome-b complex.	23
Fig. 4.	Vertical distribution of temperature in Masan Bay (°C).	29
Fig. 5.	Vertical distribution of salinity in Masan Bay(‰).	30
Fig. 6.	Vertical distribution of dissolved oxygen in Masan Bay(ml/l).	31
Fig. 7.	Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St, 8.	32
Fig. 8.	Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St, 14.	33
Fig. 9.	Vertical distribution of chlorophyll α in Masan Bay ($\mu\text{g}/\ell$).	43
Fig. 10.	Vertical distribution of nitrate in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).	44
Fig. 11.	Vertical distribution of nitrate in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).	45
Fig. 12.	Vertical distribution of ammonia in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).	46
Fig. 13.	Vertical distribution of dissolved inorganic nitrogen in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).	47
Fig. 14.	Vertical distribution of phosphate in Masan Bay ($\mu\text{g at P}/\ell$).	48
Fig. 15.	Vertical distribution of silicate in Masan Bay ($\mu\text{g at Si}/\ell$).	49

List of tables

Table 1. Distribution of biologically important parameters in Chinhae Bay.....	34
Table 2. ETS activity and respiratory oxygen consumption rate in Chinhae Bay.....	52
Table 3. Glucose uptake rate in Chinhae Bay.....	56
Table 4. Amino acids composition of the sinking materials in Chinhae Bay.....	58

제1장 서론

진해만은 일찍부터 많은 연안수산자원의 산란장 및 치어성육장으로 활용되어 연근해 어업대상자원의 보급원 역할을 해왔다. 또한 1960년대에 들어 굴, 홍합 양식장으로서 개발되었고 근래에는 피조개등 많은 수산자원의 양식이 활발히 행해지고 있다. 그러나 1970년대에 공업단지의 건설, 주변도시의 인구증가에 따라 많은 량의 도시하수, 산업폐수가 진해만에 유입되어 해수와 해저퇴적물의 오염이 심화되어 왔다. 이에따라 진해만의 부영양화 현상이 가속화되어 1981년에는 대규모 적조가 발생하는등 매년 적조현상의 빈도가 증가하고 있다.

부영양화 현상을 나타내는 곳에서는 표층에서 떨어지는 많은 식물성플랑크톤의 잔해가 저층수에서 재분해되어야 하기 때문에 저층수층의 산소소비율이 높아지게 된다. 또한 양식장의 각종 노폐물도 저층수와 퇴적물중에서 분해되며 많은 량의 용존산소를 필요로 한다. 그러나 하계에는 표층수의 수온상승으로 성층이 발달하여 용존산소가 저층수로 공급되는 량이 줄어들기 때문에 저층수에서는 용존산소가 소모된 무산소 환경이 나타난다. 이러한 무산소환경은 양식생물을 폐사시켜 막대한 피해를 초래하게 되며 근본적으로 생태계를 파괴하기 때문에 이에대한 시급한 대책이 요구되고 있다. 1983년 하계의 경우 진해만 전역 497km²중 266km²에서 저층수의 용존산소량이 2ml/l 이하로 나타났으며 마산만, 행암만, 고현성만등에서 특히 심한 용존산소의 소모를 나타냈다.

본 연구에서 무산소환경이 발생하는 해역에 대해 유입되는 영양염의 분포와 유기물의 특성을 조사한다. 그리고 유기물의 분해특성과 저층수중 산소소비율을 조사하여 무산소환경의 발생가능성을 사전 예측하는데 기본자료로 활용한다.

진해만에서는 지금까지 해양환경과 적조발생에 대한 많은 조사가 있었으며(조, 1979 ; 박, 1980, 1982 ; 유와이, 1976 ; 안등, 1986) 해양연구소에서 다년간 집중적인 조사를 행하여 왔다(이등, 1980, 1981, 1982, 1983). 그러나 무산소 환경발생과 관련된 연구로는 양(1986), Yang and Hong(1988)등이 있을 뿐으로 극히 미진한 상태이다.

국외에서는 미국의 경우 N. Y. Bight 에 대한 Falkowski *et al.* (1980)의 연구, Puget Sound에 대한 Christensen(1983)의 연구등 저층수의 무산소환경 발생에 대해 많은 연구가 있으며 일본에서도 부영양화와 관련된 무산소환경발생이 심하여 Ochi (1988)의 연구등 많은 조사가 이루어져 왔다.

제2장 조사내용 및 방법

제1절 조사해역 및 조사시기

조사해역은 마산만의 경우 마산내만(St.1)으로부터 마산수로를 따라 7개정점을 설정하였으며 돌섬옆의 St.8에서 일차생산성과 퇴적물 트랩 실험을 하였다(Fig.1). 고현성만에서는 진해만 중앙부로부터 거제도쪽으로 4개의 정점을 설정하였으며 가조도옆의 St. 14에서 일차생산성과 퇴적물 트랩 실험을 하였다(Fig. 2). 현장조사는 하계에 밀도약층이 강한 시기인 1989년 8월18일부터 21일 까지 실시하였다.

제2절 측정 및 분석방법

1. 일반수질지소

1) 수온, 염분

휴대용 TS Bridge(Type M.C. 5 National Institute of Oceanography)를 사용하여 현장에서 측정하였다.

2) 용존산소량

휴대용 DO meter (Yellow Springs Instruments Co. Model 57)를 사용하여 현장에서 측정하였다.

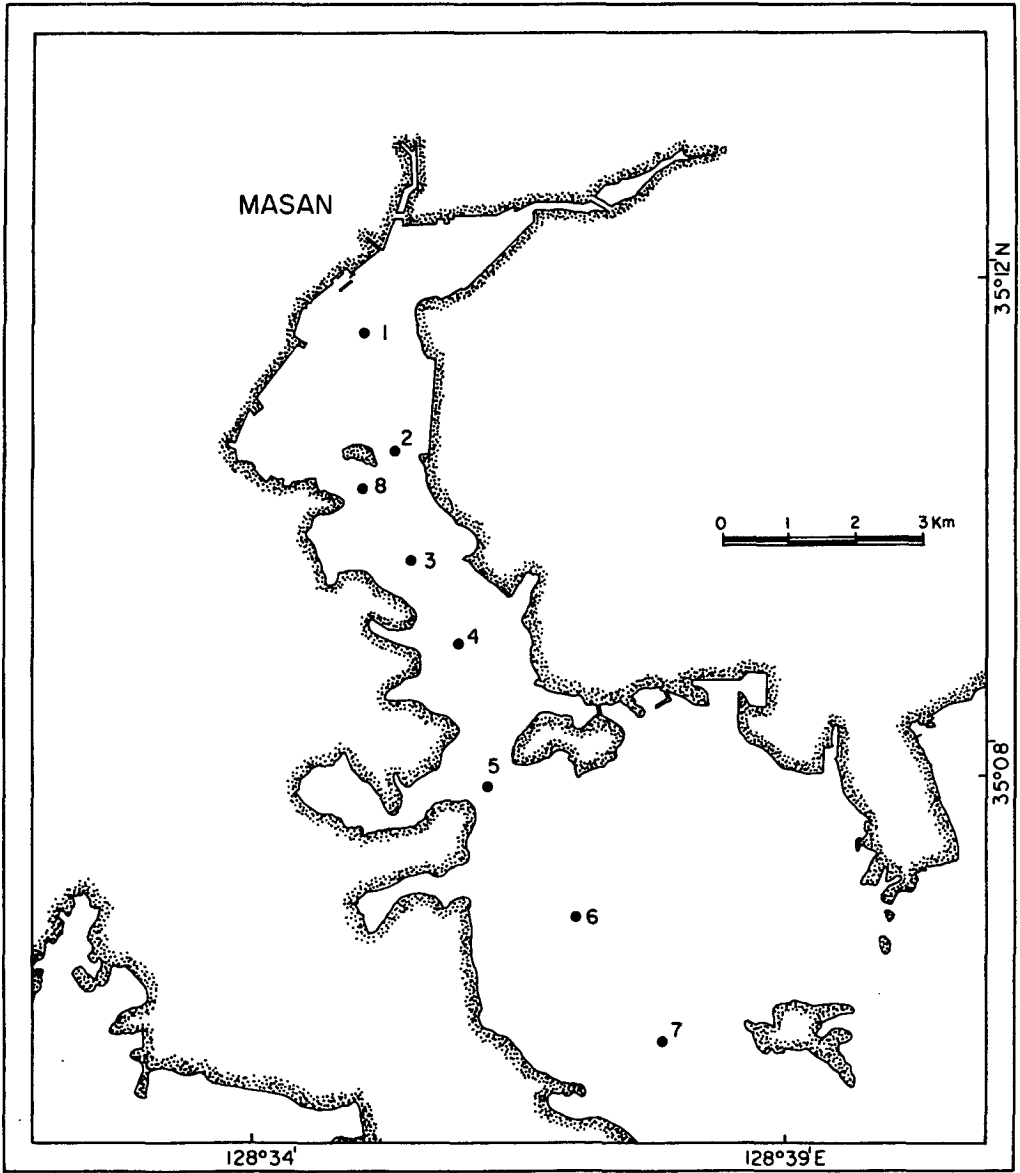


Fig. 1. Sampling stations in Masan Bay.

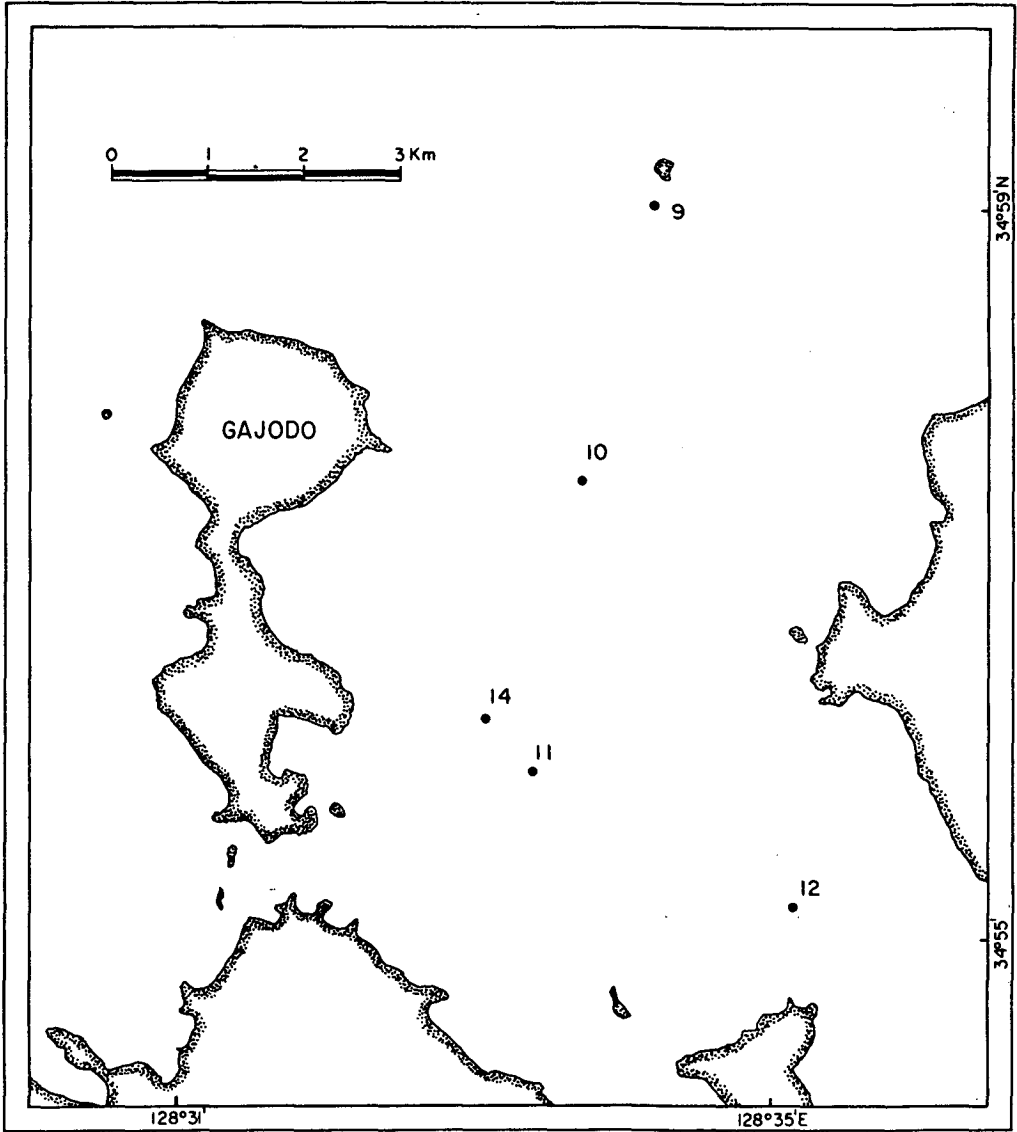


Fig. 2. Sampling stations in Kohyonsong Bay.

3) 영양염

암모니아를 제외한 용존성영양염은 Zimmermann *et al.* (1977)에 의거 Technicon Autoanalyzer II 자동분석기를 사용하여 측정하였으며 여기에 사용된 분석원리는 다음과 같다.

1) 아질산염-질소($\text{NO}_2\text{-N}$)

시료에 Sulfanilamide와 N(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride를 가하여 발색시켰다(Strickland and parsons, 1972).

2) 질산염-질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

시료를 Cd-column에 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 후 $\text{NO}_2\text{-N}$ 측정과 같은 방법으로 발색시켰다(Strickland and Parsons, 1972).

3) 인산염-인($\text{PO}_4\text{-P}$)

시료를 ammonium molybdate, 황산, potassium antimonyl tartrate의 혼합 시약으로 발색시킨 후 ascorbic acid를 환원제로 사용하였다(Strickland and Parsons, 1972).

4) 규산염-규소[$\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$]

시료를 ammonium molbdate를 가하여 silico-molybdate complex를 만들고 수산, 황산으로 발색시킨뒤 ascorbic acid 를 환원제로 사용하였다.(Strickland and Parsons, 1972).

3. 암모니아-질소($\text{NH}_4\text{-N}$)

Koroleff(1969)에 의거 시료를 여과하여 현장에서 발색시킨뒤 실험실로 옮겨 Spectrophotometer(Perkin Elmer Lambda 3)로 측정하였다.

4. ETS 활동도

ETS(Electron Transport System)활동도는 Kenner and Ahmed(1975)에 의거 해수 시료 200-500ml를 GF/F filter paper에 여과하여 Tissue Grinder로 마쇄시킨 후 substrate와 함께 15.5-16.5 °C에서 배양하였다.

INT-Formazan 반응(Fig. 3)에 의하여 발색된 시료는 Spectrophotometer(Lambda 3)로 490nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 값은 다음과 같은 Arrhenius 공식에 의하여 현장온도에서의 활동도값으로 보정하였다.

$$ETS_i = ETS_o \cdot \exp 15.8/R(1/T_o - 1/T_i)$$

R : 기체상수

T_o : 배양온도

T_i : 현장온도

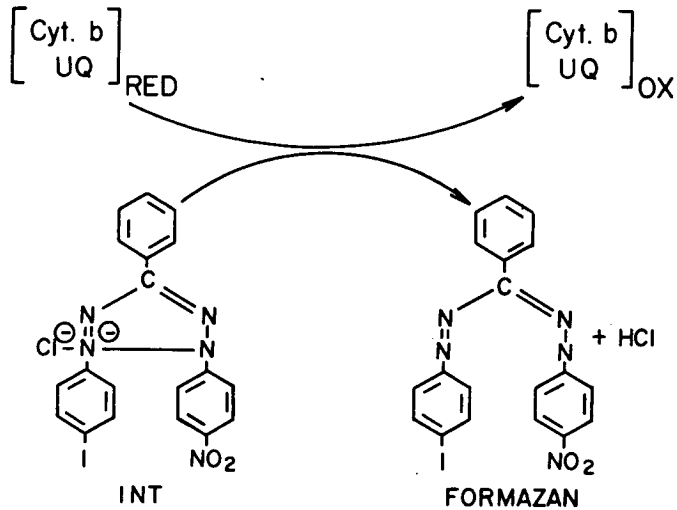


Fig. 3. The oxidation reduction reaction between INT and the ubiquinone cytochrome-b complex.

5. 일차생산력

각각의 선택된 깊이에서 해수를 채수한 후 5 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 의 ^{14}C sodium bicarbonate를 가하여 여러 광조건(0, 5, 12, 25, 50, 100%)하에서 약 2-3시간 정도 배양시켰다. 배양이 끝난 후 pore size 0.45 μm 의 millipore filter paper를 이용하여 여과시키고 염산용액으로 산중발시킨 후 scintillation cocktail(instagel)에 넣어 liquid scintillation counter로 측정하였다. 또한 해수내의 총 이산화탄소량은 현장에서 산적정법으로 측정하였고, 수광대 깊이는 Secchi disc를 이용하여 추정하였다. 일일기초생산력은 PI (photosynthesis/irradiation)곡선과 incident light를 이용하여 계산하였다(Parsons *et al.* 1984).

6. 미생물에 의한 유기물 이용도 (Heterotrophic activity)

부유미생물에 의한 유기물 이용도를 측정하기 위하여 선택된 수심에서 채수된 시료 80 ml에 방사능 동위원소 D-(1 ^3H) glucose (S.A. ; 8.3 Ci/mmole)을 이용하여 측정하였다.

Parsons 등(1984)의 방법에 의하여 최종농도를 500 nM로 하였으며, stock radioactivity를 2 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 로 하여 현장에서 dark 상태로 3시간동안 배양시킨 후 HA Millipore (pore size : 0.2 μm)로 여과하고 scintillation system (LKB)을 이용하여 dpm값을 측정하였다.

보정을 위한 blank는 배양 후 즉시 여과하였고, Parsons 등(1984)의 방법으로 계산하였다.

$$\mu\text{g glucose} / \ell / \text{h} = (\text{Rs} - \text{Rb}) \times \text{A} / (\text{C} \times \text{A})$$

A : 첨가된 유기물의 농도 ($\mu\text{g}/\ell$)

Rs : 여과시료의 radioactivity (dpm)

Rb : 각 시료의 radioactivity (dpm)

C : 시료에 첨가된 총 radioactivity (dpm)

t : 배양 시간(hour)

생산력은 [methyl ^3H] thymidine (S.A. 85 Ci / mmole)의 DNA (deoxyribo-nucleic acid)에 결합되는 정도로 측정하였다(Furman and Azam, 1982). 선택된 수심에서 채수된 시료 20ml에 최종농도가 5 nM이 되도록 하여 현장 해수온도에서 5-7시간 배양 후 TCA (trichloroacetic acid) 10% 를 첨가하여 DNA를 추출한 후 pore size 0.2 μm 여과지로 여과하여 scintillation counter로 측정하였다. Blank는 배양전에 formalin(40%) 0.2 ml 를 첨가하여 측정하였다.

$$\text{mmole of thymidine} / \ell / \text{h} = (U \times 4.5 \times 10^{-13}) / (S \times t \times V)$$

U ; 시료의 DPM - blank 의 DPM

S ; specific activity (S.A. 85 Ci / mmole)

t ; 배양시간 (h)

V ; 시료의 volume (ℓ)

윗식으로 계산된 값은 Furman and Azam (1982) 의 conversion factor 2.4×10^{15} (cells / mmole of thymidine incorporated)에 의해 cell productivity 로 환산하였다.

7. 아미노산

트랩시료를 여과한 거름종이를 6N 염산 10ml가 담겨져 있는 ampule에 넣고 질 소기체를 5분간 흘려주어 용존산소를 날려 보낸 다음 ampule을 막아 110°C에서 22시간 동안 가수분해 시켰다.

반응이 끝나면 ampule을 수돗물로 식힌 후 열어 용액을 여과한 다음 용매를 증발시켰다. 반응액을 중화시키고, 반응중 발생된 암모니아를 제거하기 위해 0.02 N

NaOH 용액 10ml를 넣고 다시 용매를 증발시켰다. 얻은 가수분해 생성물을 10ml의 증류수에 녹여, 그중 1ml의 증류수에 녹여, 그중 1ml를 취해 OPA-완충용액 1ml와 잘 섞은후, 정확히 2분 뒤에 LC에 주입하였다.

이 방법은 “pre-column derivatization : OPA”으로서 여기서 사용한 OPA-완충용액은 pH 9.5의 borate buffer 용액 200ml에 2-mercaptoethanol 1ml와 0-phthalaldehyde 100ml을 10ml의 ethanol에 녹인 용액을 더해 만들었다. LC는 Beckman system을 사용하였으며, 고정상으로는 Altex Ultraspher-ODS(4.6mmID * 15cm, 5 μ)을 사용하였다. 이동상으로는 메탄올과 물을 가지고 기울기용리법을 이용하였다. 30% MeOH를 5분간 흘려준 다음 1.7%/min 속도로 80% MeOH까지 흘려주었다. 검출기는 Spectra/glo Filter Fluorometer를 사용하였다.

8. 퇴적물 트랩

유기물의 침강속도를 구하기 위하여 내경 140 mm 외경 150 mm인 원통형 아크릴관의 한쪽을 막은 트랩을 2개씩 St. 8에서는 12m 깊이에 St. 14에서는 22 m깊이에 설치하였으며, 각각 7시간 계류하였다. 계류가 끝난 후 현장에서 GF/F 여과지로 여과하여 냉동보관하였다.

제3장 조사결과 및 고찰

제1절 일반 수질 지수

마산내만에서는 각종 육수원의 유입에 의해 표층수에서 낮은 염분을 보인다. 하계에는 표층수의 수온상승과 육수유입량 증가에 따라 강한 밀도약층이 형성되며 표층수와 저층수간의 교환이 적어지게 된다. 표층수층의 용존산소는 대기와의 교환 및 광합성에 의한 산소생산으로 항상 높은 값을 유지한다.

그러나 저층수에서는 하계에 표층수로 부터의 산소공급이 줄어들고 유기물의 분해가 활발해져 용존산소의 농도가 낮아지게 된다. 마산만에서의 수온의 수직분포는 Fig 4와 같다.

표층수에서는 25°C 이상의 분포를 보이며 St. 4, 5에서는 26°C이상이었고 깊이에 따라 급격한 수온변화를 보인다. 특히 St. 3에서는 2m까지 25.4°C였으나 3m에서 23.8°C로 감소한다.

8m 층 아래에서는 전반적으로 21-22°C로 수온의 변화가 적었다.

염분은 표층에서 St. 1, 2, 3 이 각각 26.6, 26.8 ‰ 이었으나 St. 4, 5에서는 26.5‰ 쯤을 기록했다.

Fig 5 에서 볼 수 있는바와 같이 마산만의 수직분포에서도 깊이에 따라 염분은 급격히 증가한다. St. 2의 경우 표층의 26.6 ‰ 에서 2m 층에서는 27.6‰, 3m층에서는 29.5 ‰ 로 급격한 염분의 증가를 보였다. 10m 층 이하에서는 대체로 31‰로 균질한 해수의 분포를 보였다. 마산수로의 경우 본 조사에서 측정된 표층의 염분은 해양

연구소에서 1980, 1981년에 조사한 값과 비슷하다(이등, 1980, 1981). 그러나 1983년에는 하계에 이해역에서 7-11.35%의 낮은 염분을 기록한 바 있어(이등, 1983) 강수량에 따른 염분변화가 년도별로 심한 것을 보여준다. 마산만에서 용존산소의 분포는 Fig 6에서 볼 수 있는 바와 같이 표층에서는 식물성플랑크톤의 광합성에 따라 높은 값을 유지하고 있으나 깊이에 따라 급격한 감소를 보여 내만의 경우 3m층부터, 외만의 경우 10m층 이하에서 $1\text{ml}/\ell$ 이하를 보이고 있다.

이러한 빈 산소 환경은 하계에 밀도약층의 발달로 표층수의 풍부한 용존산소가 저층수에 잘 공급되지 못하며 또한 저층수에서는 활발한 유기물의 분해작용이 진행되기 때문이다. 클로로필 α 의 농도가 높았던 St. 4,5의 표층에서는 용존 산소의 포화율이 각각 172.6, 184.7%로 심한 과포화 현상을 보였다. St. 1의 경우 표층과 1m층에서 각각 7.01, 6.75 ml/ℓ 로 과포화 현상을 보이거나 1.5m층에서 3.11 ml/ℓ , 2m층에서는 1.26 ml/ℓ 로 급격히 감소 하였고 3~4m층에서 $1\text{ml}/\ell$ 이하의 빈산소층을 보였다. St. 5에서도 용존산소의 약층이 뚜렷하게 나타나 7m층이하부터 $1\text{ml}/\ell$ 이하를 보이고 있다.

퇴적물 트랩을 설치한 St. 8에서는 표층의 용존산소가 10.47 ml/ℓ 로 214.4%의 과포화 현상을 보였다(Fig 7). 그러나 3m층 부터는 $1\text{ml}/\ell$ 이하의 낮은 용존산소 농도를 보이고 있다. 고현성만에서는 표층의 수온이 24.9-25.3 $^{\circ}\text{C}$ 로 마산만과 비슷한 값을 보이거나 표층의 염분은 29% 정도로 마산만에 비해 훨씬 높다(Table 1). 저층의 염분은 14m층 부터 대체로 31% 이상으로 마산만과 비슷한 값을 보였다. St. 11, 12에서는 29.5% 이하의 해수가 6-8m 층 깊이까지 분포하고 있었는데 용존산소의 분포도 이에따라 이 깊이까지 6 ml/ℓ 이상의 높은 값을 유지하고 있다. 그러나 이 깊이아래에서는 밀도약층의 존재로 용존산소량의 급격한 감소를 가져오며 저층에서는 $1\text{ml}/\ell$ 이하의 빈산소층이 분포하고 있다.

St. 9에서는 깊이에 따라 염분이 심한 증가를 보이며 이에 따라 용존산소도 4

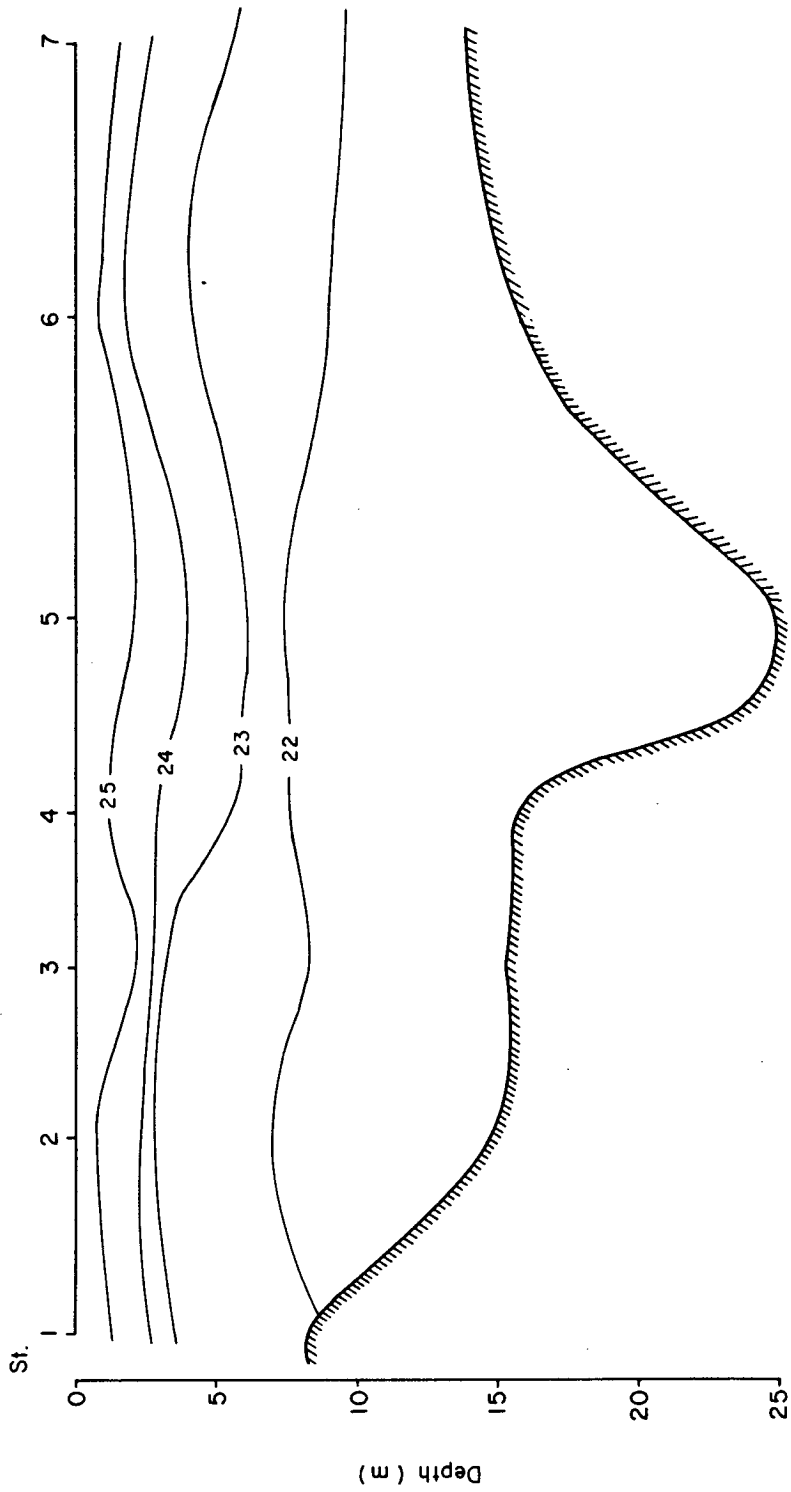


Fig. 4. Vertical distribution of temperature in Masan Bay(°C).

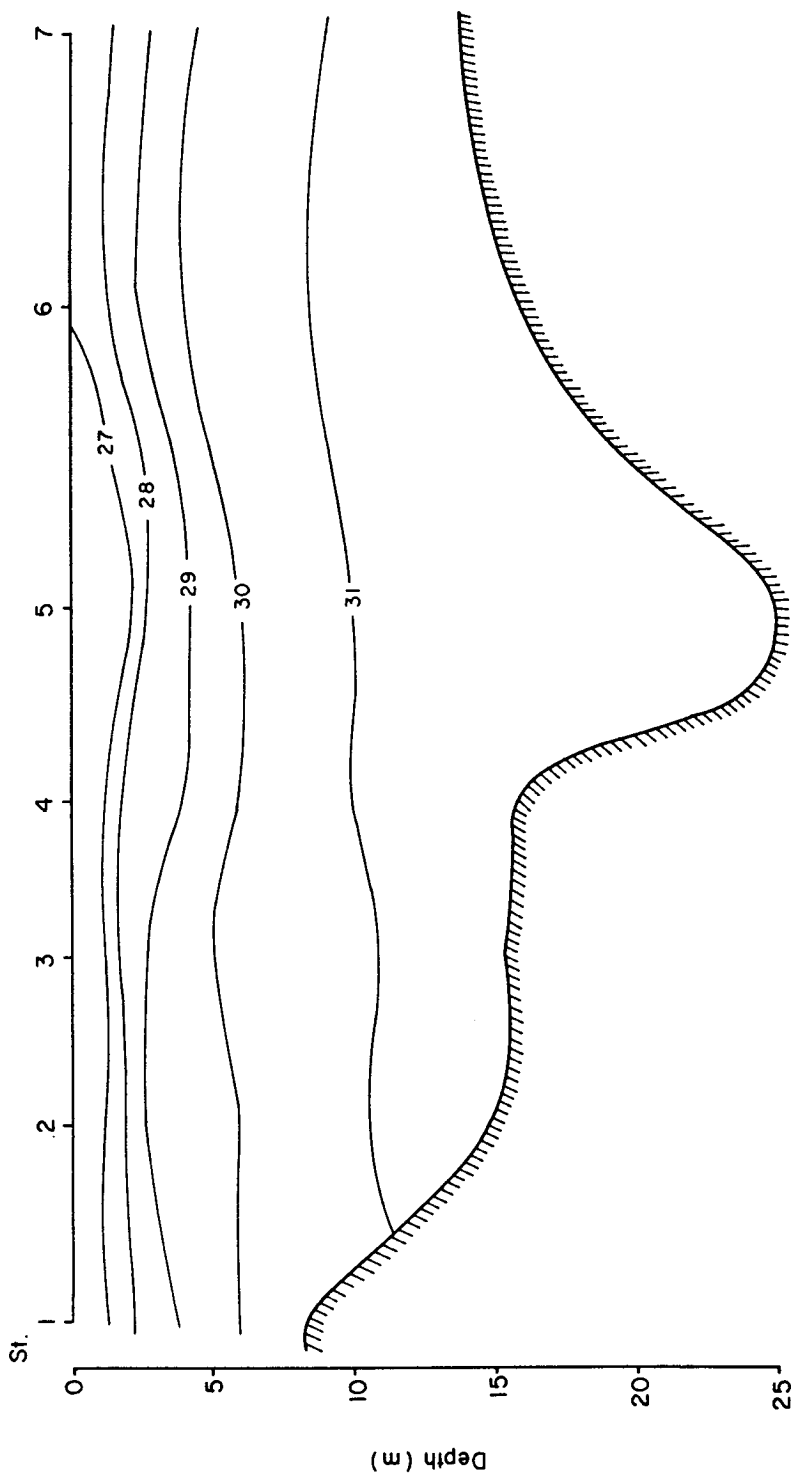


Fig. 5. Vertical distribution of salinity in Masan Bay(‰).

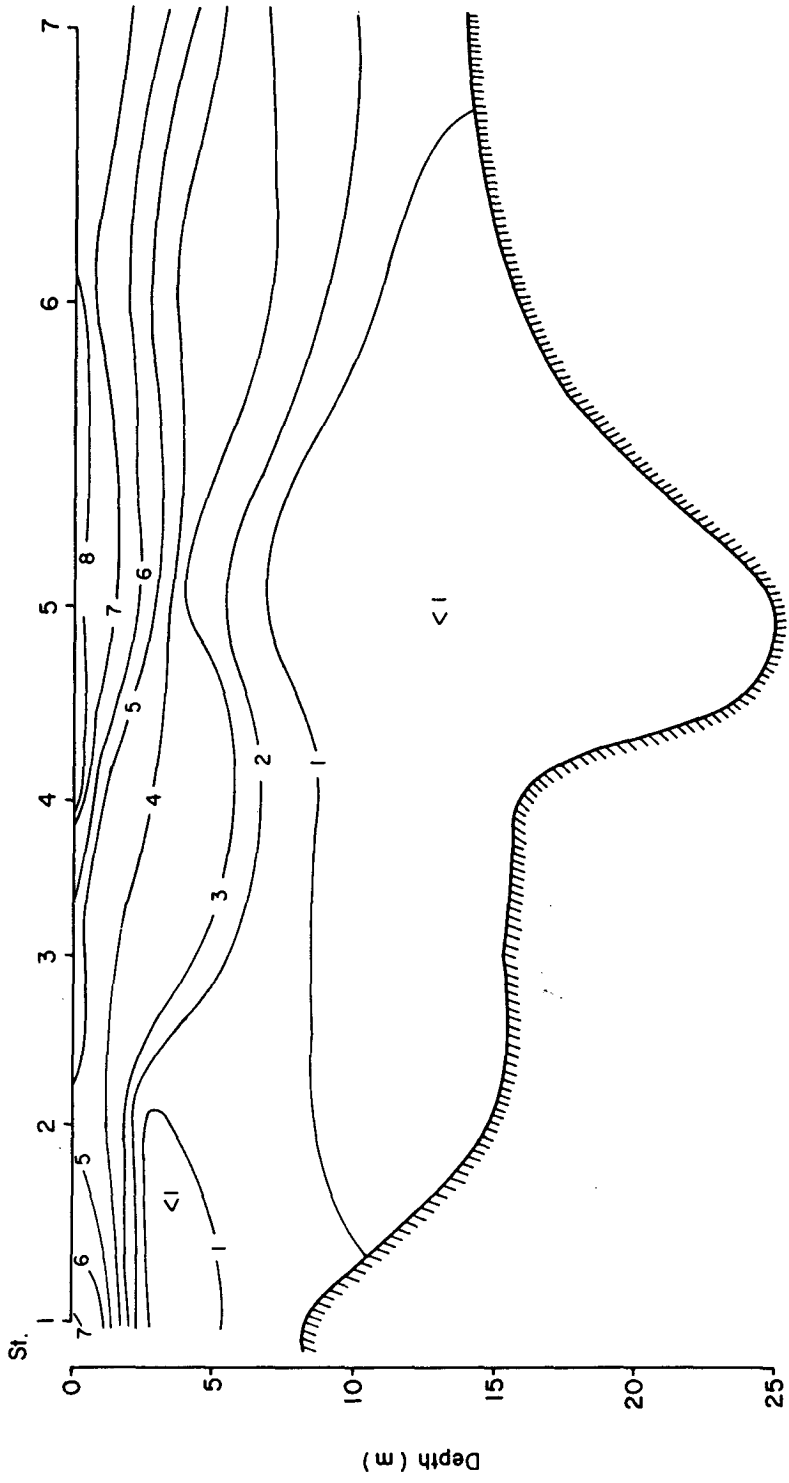


Fig. 6. Vertical distribution of dissolved oxygen in Masan Bay(ml/l).

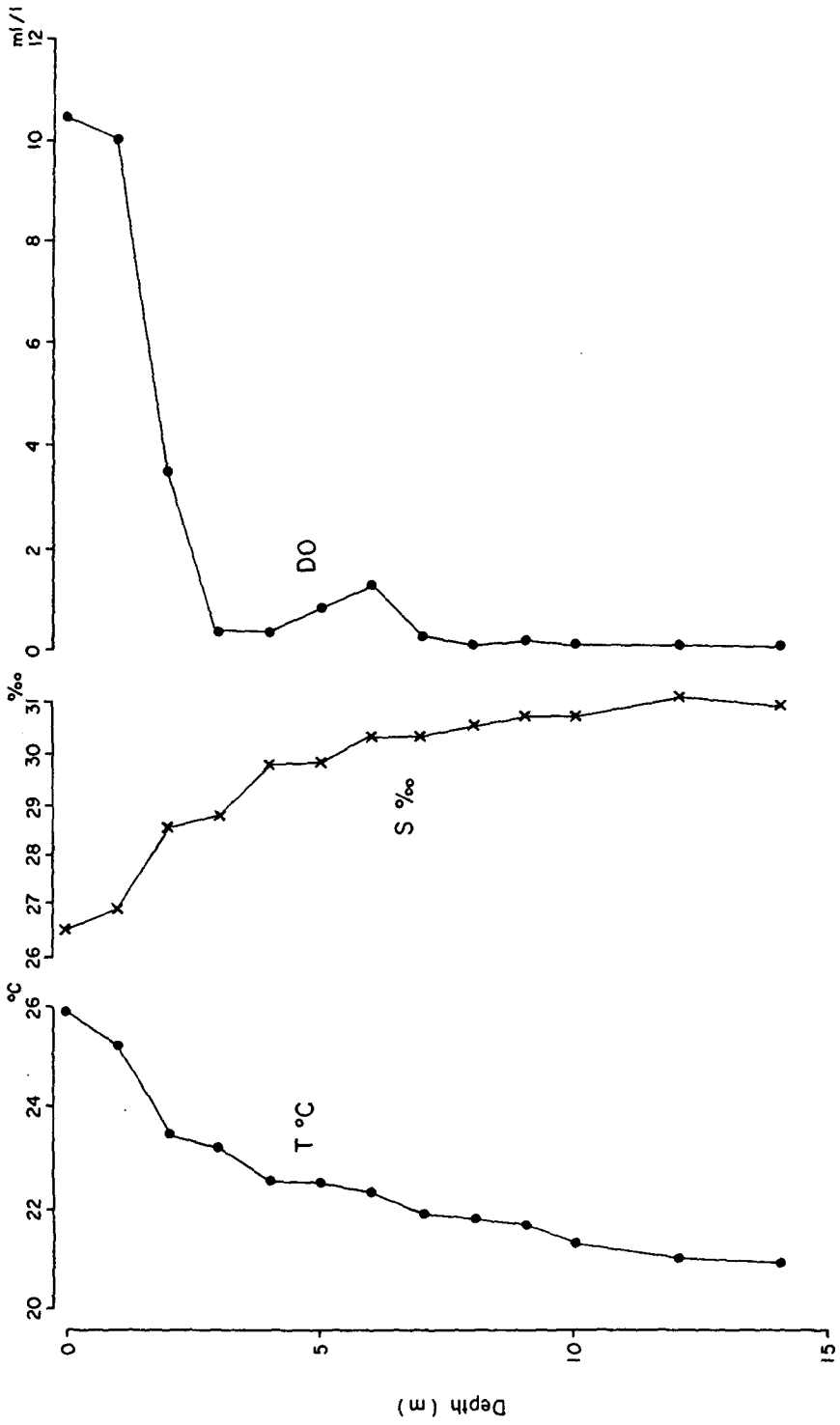


Fig. 7. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 8.

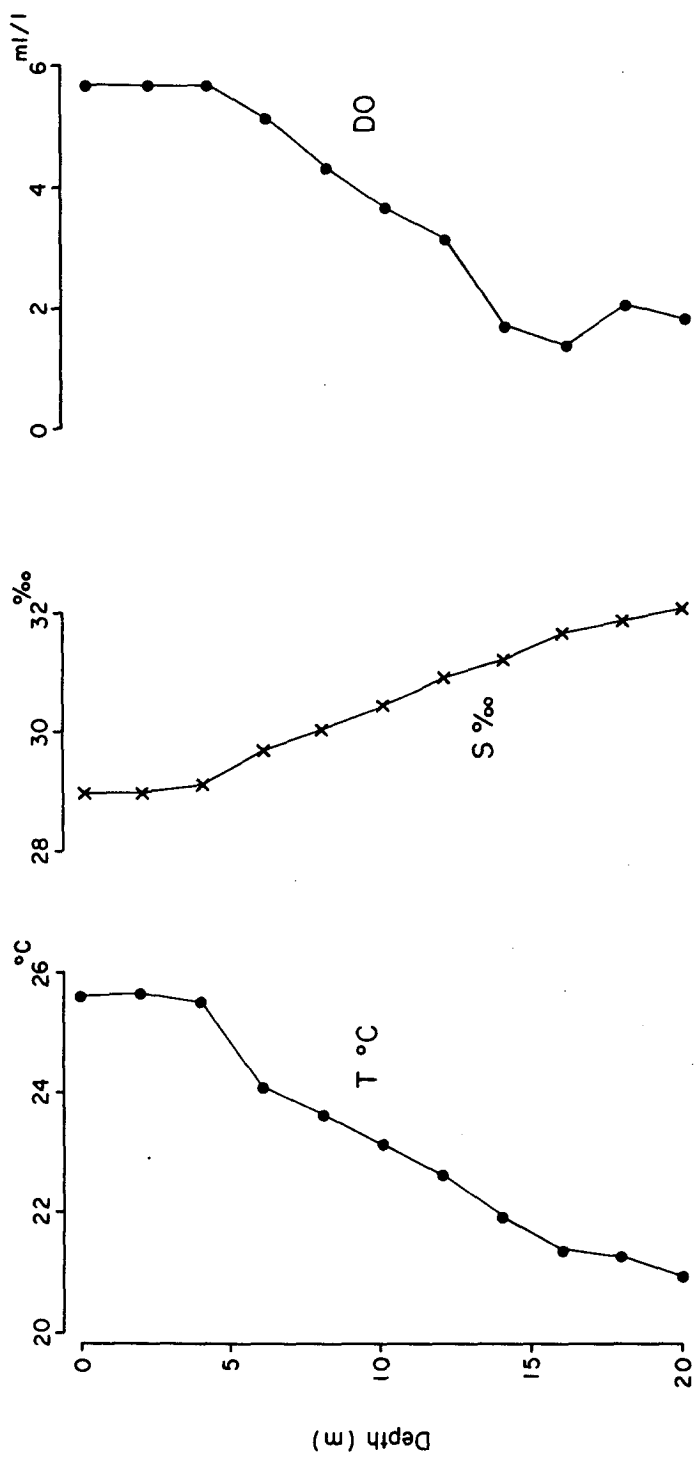


Fig. 8. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 14.

Table 1. Distribution of biologically important parameters in Chinhae Bay.

Station	Dep. (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO. (mg/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)
1	0	25.6	26.0	7.01	142.5	37.65	22.9	5.1	0.7	3.6	14.8	42.8
	1	25.5	26.2	6.75	137.0							
	1.5	24.4	27.2	3.11	62.4							
	2	24.3	27.9	1.26	25.3							
	3	23.5	28.5	0.66	13.2							
	4	22.7	29.3	0.14	2.8							
	6	22.4	30.0	1.82	35.8		2.96	1	4.1	39.6	31.7	37.2
7	22.3	30.2	5.74	34.1								
2	0	25.6	26.6	4.98	101.4	24.67	29.1	3.9	1.7	10.6	22.8	55.8
	1	24.7	26.8	4.19	84.2							
	2	24.2	27.6	2.41	48.2							
	3	22.9	29.5	0.95	18.8							
	4	23	29.6	1.67	33.0							
	5						7.27	6.9	2.3	20.9	11.4	19.2
	6	22.6	30.1	2.37	46.8							
	8	21.7	30.5	0.28	5.4							
	10	22.2	30.8	0.11	2.2							
	13	21.1	33.2	0.09	1.8		2.57	2.9	0.1	5.9	30.4	33.4

Station	Dep. (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO (ml/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)	
3	0	25.4	26.8	5.56	113.1	26.5	23.8	3.7	2.1	12.6	7.5	35.0	
	1	25	26.8	4.93	99.5								
	2	25.4	28.3	3.86	79.1								
	3	23.8	28.5	2.83	56.6								
	4	23.2	29.8	3.31	65.9								
	5	23.1	30.0	3.49	69.3	5.61	9.2	0.8	1.7	18.4	-	-	
	6	22.3	30.2	1.41	27.8								
	7	22.1	30.4	1.33	26.1								
	8	22	30.5	1.07	21.0								
	9	21.7	30.7	0.35	6.8								
	10	21.5	30.9	0.29	5.6								
	12	21.3	31.1	0.10	1.9								
	13						1.94	2.4	0.1	5.3	37.7	51.7	54.2
	14		21.3	31.5	0.08	1.6							
4	0	26.1	26.5	8.40	172.6	34.25	50.5	6.1	0.5	1.1	9.3	65.8	
	1	24.9	26.6	5.79	116.5								
	2	24.1	28.4	4.21	84.4								
	3	24	28.8	3.97	79.7								
	4	3.7	29.0	3.74	74.7								
	5	23.4	29.6	3.47	69.3	2.70	6.5	1	1.5	18.1	13.0	20.5	
	6	22.9	30.0	2.92	57.8								
	7	22.1	30.7	1.53	30.1								
	8	21.9	30.8	1.24	24.2								
	10	21.5	31.1	0.38	7.4								
	12	21.2	31.3	0.10	1.9								
	13						1.70	3.4	0.6	5.6	51.4	26.1	30.1
	14		21.3	31.6	0.14	2.7							

Station	Dep.* (m)	Temp.* (°C)	Sal.* (‰)	DO.* (ml/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)		
5	0	26.3	26.5	8.96	184.7	3301	50.6	6.4	0.5	0.8	10.2	67.2		
	2	25.1	26.5	6.27	126.6									
	3	24.5	28.2	4.62	93.2									
	4	24	28.8	2.70	54.2									
	5	23.2	29.8	2.97	59.2	7.90	6.9	0.9	1.3	14	9.3	17.1		
	6	23.1	29.9	1.78	35.5									
	7	22	30.7	0.99	19.3									
	8	21.9	30.8	0.76	14.9									
	10	21.6	31.0	0.36	7.1	0.84	3.7	0.8	5.3	54.2	34.7	39.2		
	12	22.3	31.5	0.13	2.6									
	14	21.3	31.6	0.18	3.5									
	16	21.2	31.6	0.12	2.3									
	18	21.3	31.7	0.35	6.8									
	20	21.3	31.7	0.34	6.7									
	23													
	6	0	25.8	27.0	8.59	176.1	19.23	5.5	1.5	5.8	48.3	29.8	36.8	
		1	24.7	27.9	6.14	124.1								
		2	24.1	28.9	5.94	119.6								
		3	23.4	29.8	4.40	87.8								
		4	22.9	30.2	3.59	71.3								
		5	22.7	30.4	3.26	64.6	4.82	2.5	1.5	0.7	18.4	12.4	16.4	
		6	22.7	30.4	3.25	64.3								
		7	22.6	30.7	3.31	65.5								
8		22.3	30.9	2.65	52.2									
10		21.8	31.3	1.30	25.5									
12		21.6	31.5	0.8	16.4									
14		21.4	31.7	0.69	13.4	4.34	6.2	1.3	4.5	37.4	29.2	36.7		

Station	Dep. (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO. (mg/l)	S-DO (%)	Chl. a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)
7	0	25.5	27.6	7.94	162.6	-	11.7	1.3	0.9	1.4	9.6	22.6
	1	25.4	27.8	7.89	161.3							
	2	24.7	28.4	7.93	160.7							
	3	24	28.9	5.77	115.9							
	4	23.8	29.5	5.20	104.4							
	5	23.6	29.8	4.87	97.6	7.64	2.6	0.4	0.4	7	28.9	31.9
	6	22.9	30.2	3.59	71.3							
	7	22.5	30.7	2.98	58.9							
	8	22.3	30.9	2.83	55.9							
	10	22	31.2	2.06	40.4							
	12	21.6	31.6	1.26	24.6	3.10	6.1	1.9	4.3	54.4	17.6	25.6
	8	0	25.9	26.5	10.47	214.4	28.32					
1		25.2	26.9	10.01	203.32							
2		23.5	28.5	3.50	69.5	15.12						
2.3												
3		23.2	28.8	0.35	6.9							
4		22.5	29.8	0.35	6.9							
5		22.5	29.8	0.85	16.8							
6		22.3	30.3	1.27	24.9							
7		21.9	30.3	0.32	6.3							
8		21.8	30.5	0.11	2.0							
9		21.7	30.7	0.20	4.0							
10		21.3	30.7	0.07	1.4	2.22						
12	21	31.1	0.08	1.5								
14	20.9	30.9	0.06	1.2								

Station	Dep ^o (m)	Temp ^o (°C)	Sal ^o (‰)	DO ^o (mg/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)
9	0	25	29.1	6.29	128.8	0.01	5.4	0.1	0.4	1.7	6.5	12.0
	2	24.7	29.2	6.29	128.2							
	4	24	29.7	5.03	101.5							
	6	23.7	30.0	4.47	89.8							
	8	23.6	30.0	4.42	88.8							
	10	23.2	30.2	4.08	81.4	1.20	2.6	0.4	0.8	12	2.9	5.9
	12	22.7	30.6	3.51	69.5							
	14	22.2	31.0	2.82	55.5							
	16	21.5	31.6	1.94	37.8							
	18	21.3	31.8	2.00	39.0							
	20	21.1	32.0	1.91	37.1	0.91	7.5	1.5	1.8	41.3	4.7	13.7
10	0	24.9	29.0	6.51	132.9	0.24	2.4	0.1	0.3	1.7	5.3	7.8
	2	24.9	29.0	6.55	133.8							
	4	24.8	29.1	6.66	135.7							
	6	24	29.7	5.33	107.5							
	8	23.6	30.0	4.75	95.2							
	10	23.3	30.2	4.21	84.2	1.16	2.6	0.4	0.6	12.8	2.9	5.9
	12	22.6	30.8	3.53	69.9							
	14	22	31.1	2.54	49.9							
	16	21.4	31.6	1.59	30.9							
	18	22.4	31.8	2.27	45.0							
	20	21.1	32.0	2.34	45.5	0.01	11.0	1.0	1.7	24.8	4.4	16.4

Station	Dep. (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO (mg/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)
11	0	25.4	29.0	6.03	124.3	0.25	1.9	0.1	0.2	1.1	2.0	4.1
	2	24.9	29.0	6.12	124.9							
	4	24.7	29.1	6.16	125.4							
	6	24.4	29.3	6.10	123.7							
	8	24.1	29.5	6.03	121.7							
	10	23.6	29.9	3.45	69.2	3.80	10.3	1.2	2.5	51.6	5.0	16.5
	12	22.3	30.7	2.81	55.4							
	14	21.5	30.9	1.27	24.8							
	16	21.3	31.4	1.32	25.7							
	18	20.8	31.6	0.43	8.4							
	20	20.6	31.9	0.27	5.1	1.31	10.3	1.2	2.5	50.2	2.0	13.5
12	0	25.3	29.0	6.31	129.7	0.34	2.5	0.02	0.3	1.4	2.3	4.8
	2	25.1	29.1	6.36	130.4							
	4	24.7	29.2	6.57	133.9							
	6	24.2	29.4	5.97	120.7							
	8	23.8	29.6	5.32	106.9							
	10	23.4	30.0	2.50	50.0	3.66	3.1	0.4	0.4	12.8	8.7	12.2
	12	22	30.7	1.69	33.2							
	14	21.6	31.2	1.78	34.8							
	16	21.1	31.4	0.80	15.4							
	18	20.9	31.7	0.66	12.7							
	20	20.5	31.9	0.28	5.4	1.09	5.3	0.7	0.9	19.5	5.0	11.0

Station	Dep. (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO (mg/l)	S-DO (%)	Chl-a (µg/l)	NO ₃ (µg atN/l)	NO ₂ (µg atN/l)	PO (µg atP/l)	Si (µg atSi/l)	NH ₃ (µg atN/l)	DIN (µg atN/l)
14	0	25.6	29.0	5.67	117.2	0.37						
	2	25.6	29.0	5.68	117.5							
	4	25.5	29.1	5.71	117.7							
	6	24.1	29.7	5.17	104.4							
	8	23.6	30.0	4.31	86.6							
	10	23.1	30.4	3.63	72.8	0.37						
	12	22.6	30.9	3.14	62.3							
	14	21.9	31.2	1.72	33.8							
	16	21.3	31.6	1.43	27.7							
	18	21.1	31.8	2.07	40.1							
	20	20.9	32.0	1.85	35.9							

m층에서는 $5.03\text{m}/\ell$, 12m층에서 $3.51\text{m}\ell/\ell$ 를 나타냈다. St. 14에서도 깊이에 따른 염분의 변화가 심하며 용존산소도 14m 층에서 $1.72\text{m}\ell/\ell$ 를 보였다(Fig. 8).

제2절 영양염 및 플랑크톤 색소량

89년 8월 마산만의 클로로필 α 수직분포는 Fig. 9 와 같다. 클로로필 α 농도가 가장 높았던 곳은 St. 4, 5로서 표층에서 각각 $34.25, 33.01\mu\text{g}/\ell$ 를 보였다. St. 4, 5는 주위보다 염분이 다소 낮은 곳이었고 질산염의 분포도 높은 특이한 수괴로 여겨진다. 이 수괴내에서는 육상기원의 다양한 식물성플랑크톤의 증식촉진 인자가 분포할 것으로 생각되며 주위 수괴와는 분리되는 특성을 가진다.

염분이 가장 낮았던 St. 1 에서도 표층의 클로로필 α 는 $22.9\mu\text{g}/\ell$ 였으며, St. 2, 3 에서도 각각 $24.67, 26.50\mu\text{g}/\ell$ 를 보였다. 89년 8월 마산만의 NO_3 농도는 클로로필 α 의 분포와 매우 유사하다(Fig. 10). 클로로필 α 의 농도가 높았던 St. 4, 5의 표층에서는 각각 $50.4, 50.6\mu\text{g at N}/\ell$ 로 높은 값을 보였다. 염분이 26‰로 가장 내만에 위치한 St. 1의 표층에서도 NO_3 농도는 $22.9\mu\text{g at N}/\ell$ 였으며 St. 2, 3 에서도 $29.1, 23.8\mu\text{g at N}/\ell$ 로 이와 비슷하였다. 5m층에서는 $2.5-9.2\mu\text{g at N}/\ell$ 로 표층보다 훨씬 낮은 농도를 보였다. 저층에서는 일반적으로 $5\mu\text{g at N}/\ell$ 이하였으나 St. 5, 6, 7의 저층수에서는 $5\mu\text{g at N}/\ell$ 이상을 나타냈다. 마산수로의 경우 이러한 NO_3 의 농도는 86년 8월의 조사치 (양, 1986)보다 훨씬 높은 값이다. 또한 지금까지의 조사에서 표층수중 NO_3 농도가 내만에서 가장 높고 외만으로 갈수록 점차 희석되어가던 것과는 대조적인 결과이다.

Yang *et al.* (1986)은 1979-1982년의 조사에서 적조발생시에는 마산수로의 $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ 의 농도가 평균 $24.1\mu\text{g at N}/\ell$ 이고 적조가 발생하지 않을시에는 평균 $12.9\mu\text{g at N}/\ell$ 라고 보고한 바 있는데 89년 8월의 NO_3 농도는 적조발생시의 평균농도보다

높은 값이다.

NO₂는 클로로필 α 의 농도가 높았던 St. 4, 5에서 역시 가장 높아 6.1, 6.4 μg at N/ ℓ 를 나타냈고 염분이 가장 낮았던 St. 1의 표층에서도 5.1 μg at N/ ℓ 를 나타냈다 (Fig.11). 증층에서는 대체로 1 μg at N/ ℓ 이하의 농도를 보였으나 St. 5, 6, 7의 저층에서는 1.3-1.9 μg at N/ ℓ 로 비교적 높았다.

암모니아의 분포는 표층의 경우 St. 2에서 가장 높아 22.8 μg at N/ ℓ 를 기록했고 St. 4,5에서는 각각 7.5, 9.3 μg at N/ ℓ 이었다 (Fig. 12). 용존산소가 부족한 저층수에서는 암모니아의 농도가 매우높아 St. 1, 2, 3의 저층에서 각각 31.7, 30.4, 51.7 μg at N/ ℓ 이었다. 안등(1986)은 돌섬앞의 정점에서 암모니아 + 아미노산 질소는 하계에 높은 농도를 나타내는 주기성을 보이며 평균치가 표, 저층에서 4.36, 4.08 μg at N/ ℓ 로 보고한 바 있는데 본 조사에서 보다 훨씬 낮은 값이다.

용존성 무기질소의 총량은 St. 4, 5의 표층에서 가장 높아 65.8, 67.2 μg at N/ ℓ 였고 St. 1, 2에서는 각각 42.8, 55.8 μg at N/ ℓ 이었다(Fig.13). PO₄의 분포는 NO₃와는 아주 다른 양상을 보이고 있다. 클로로필 α 가 높고NO₃가 높았던 St. 4, 5에서는 PO₄가 0.5 μg at P/ ℓ 에 불과하여 식물성플랑크톤의 활발한 소비에 기인한 것이 아닌가 보여진다(Fig. 14).

표층수중 St. 2, 3 에서는 1.7, 2.1 μg at P/ ℓ 로 비교적 높았고 증층에서도 0.4 - 2.3 μg at P/ ℓ 를 나타냈다. 빈산소층이 형성되는 저층에서는 PO₄가 높아 5.3 - 5.9 μg at P/ ℓ 를 보였다. 이는 빈산소환경에서 저층 퇴적물로 부터 용출되는 P에 기인하는 것으로 보여진다. Si(OH)₄의 분포도 PO₄와 비슷한 양상을 보여 St. 4, 5에서는 각각 1.1, 0.8 μg at Si/ ℓ 에 불과하여 식물성플랑크톤에 의한 활발한 소비에 기인하는 듯 하다(Fig. 15). St. 2, 3의 표층에서는 각각 10.6, 12.6 μg at Si/ ℓ 로 주변해역보다 높았다. 증층에서는 대체로 14.0 - 20.9 μg at Si/ ℓ 의 분포를 보였으며 저층에서도 37.4 - 54.4 μg at Si/ ℓ 의 높은 값을 보였다.

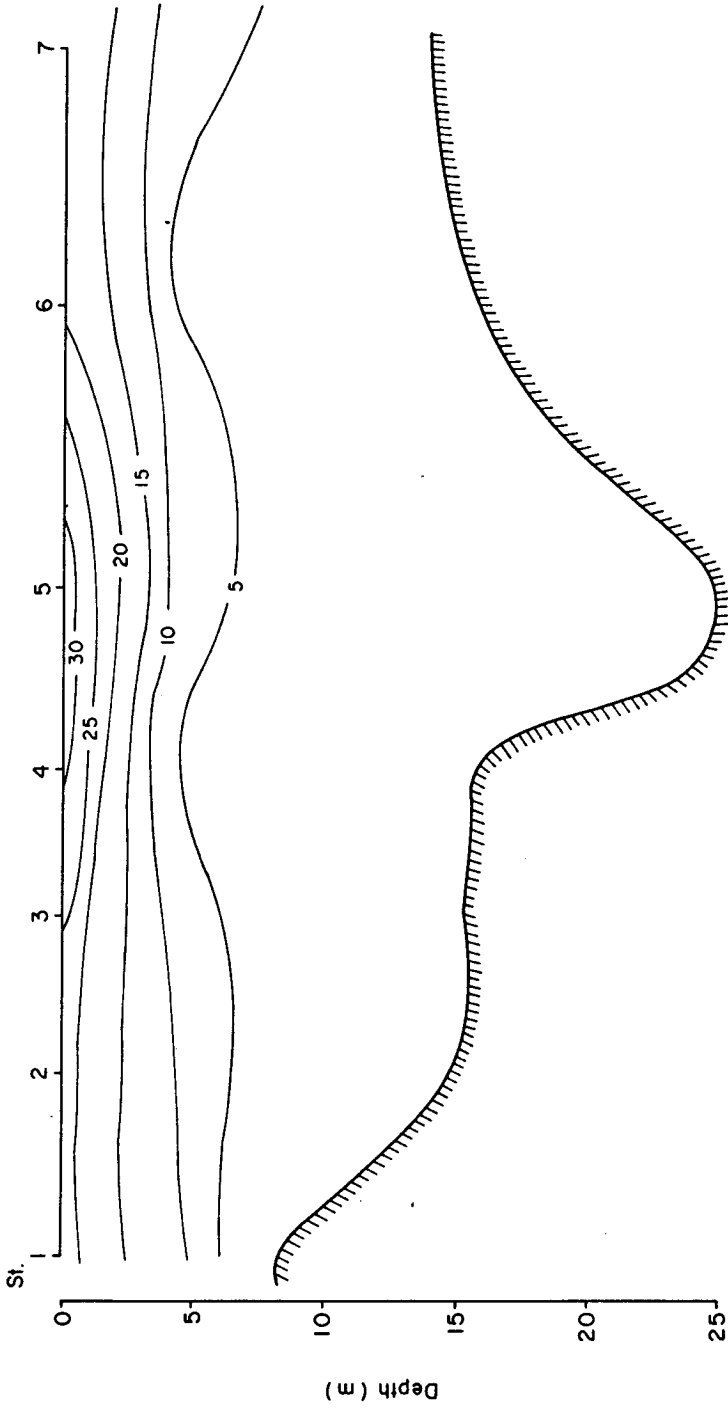


Fig. 9. Vertical distribution of chlorophyll a in Masan Bay ($\mu\text{g}/\ell$).

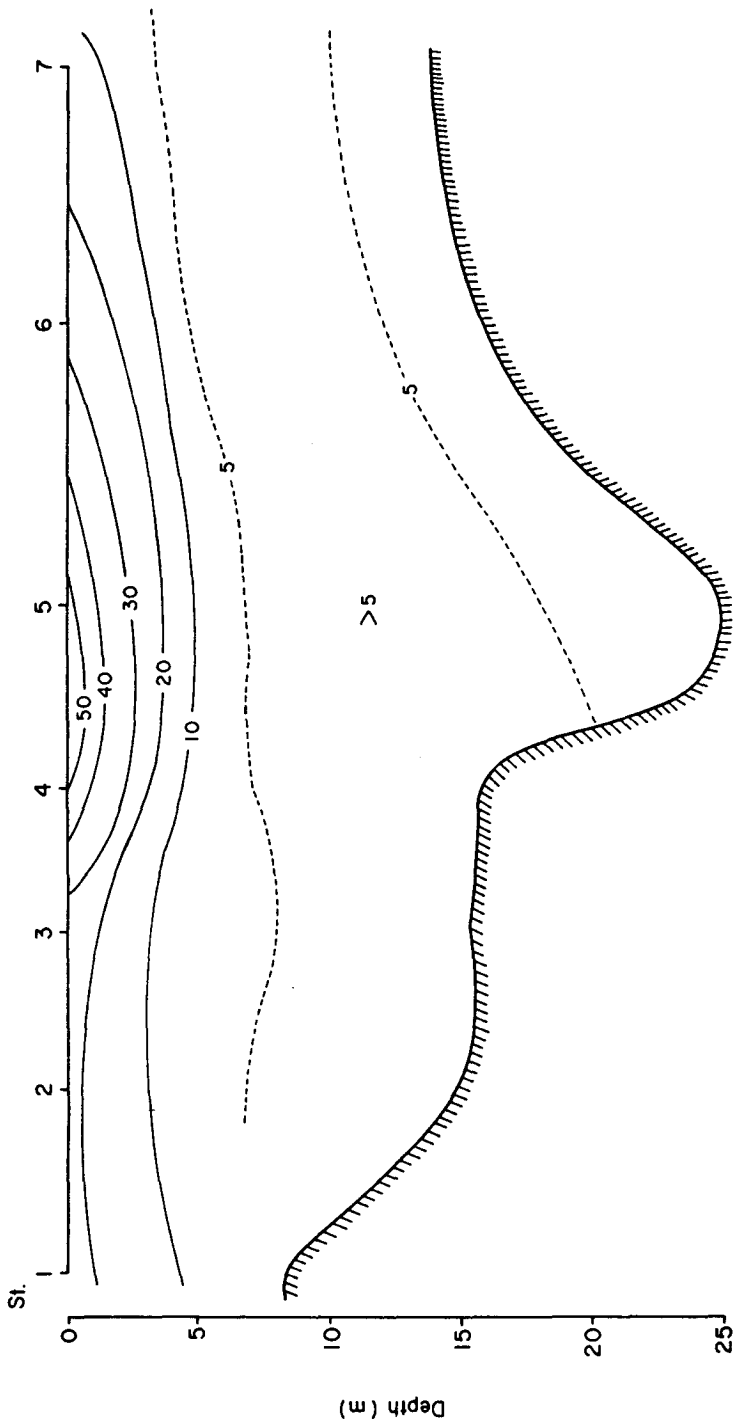


Fig. 10. Vertical distribution of nitrate in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).

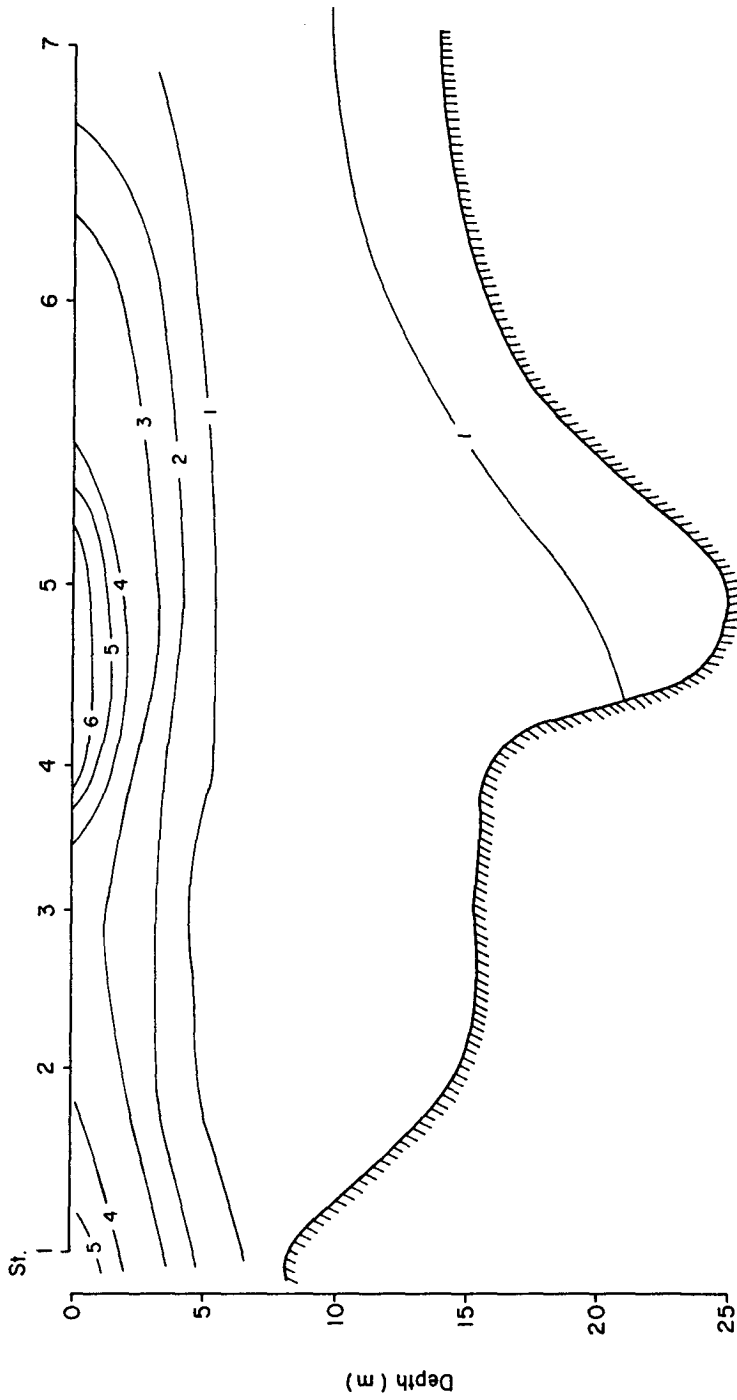


Fig. 11. Vertical distribution of nitrate in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).

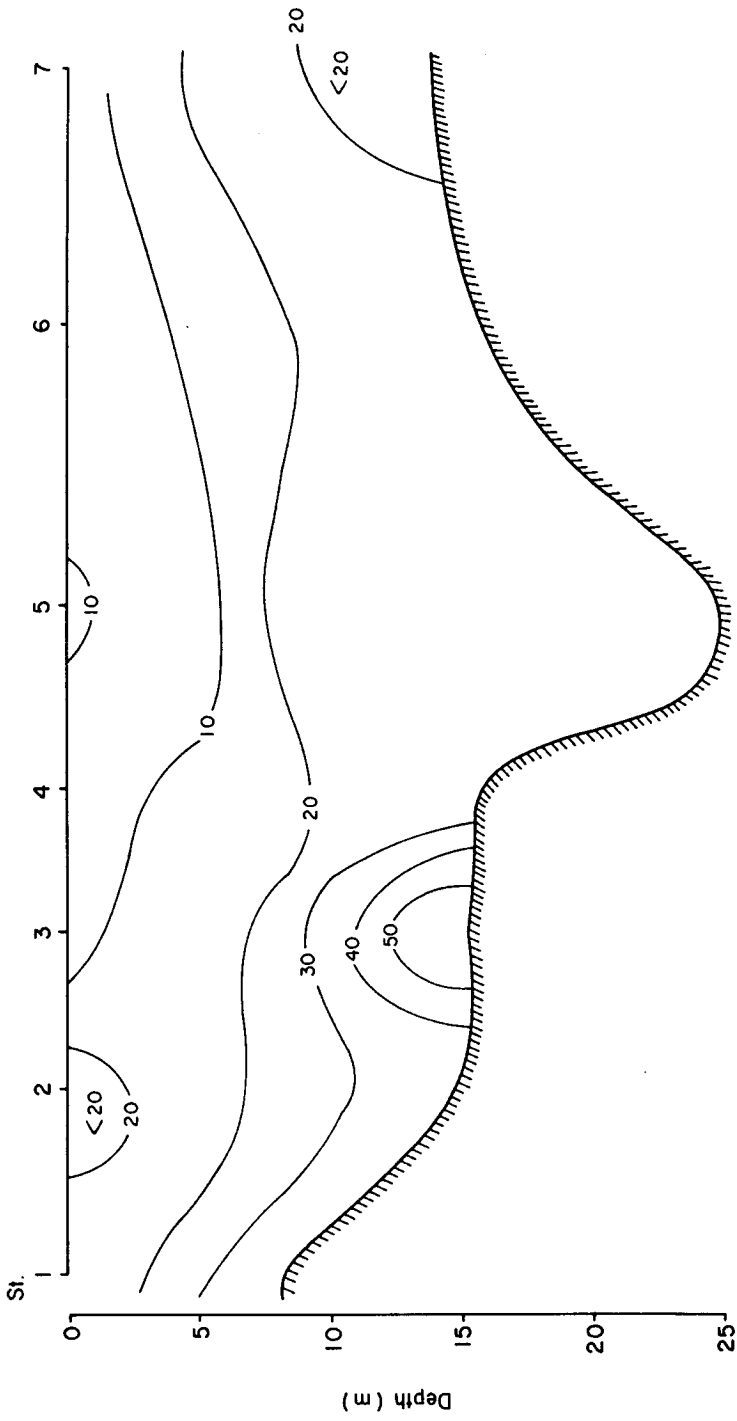


Fig. 12. Vertical distribution of ammonia in Masan Bay ($\mu\text{g at N}/\ell$).

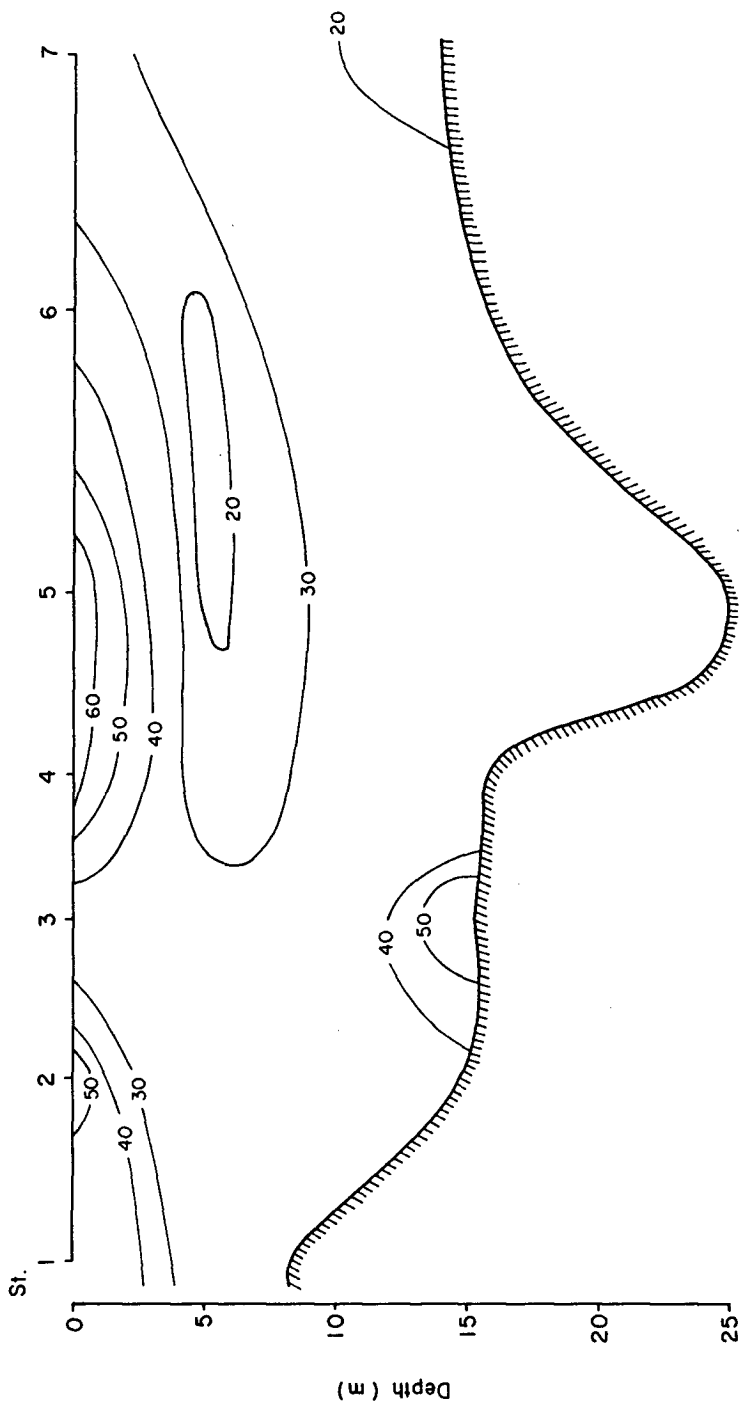


Fig. 13. Vertical distribution of dissolved inorganic nitrogen in Masan Bay(µg at N/l).

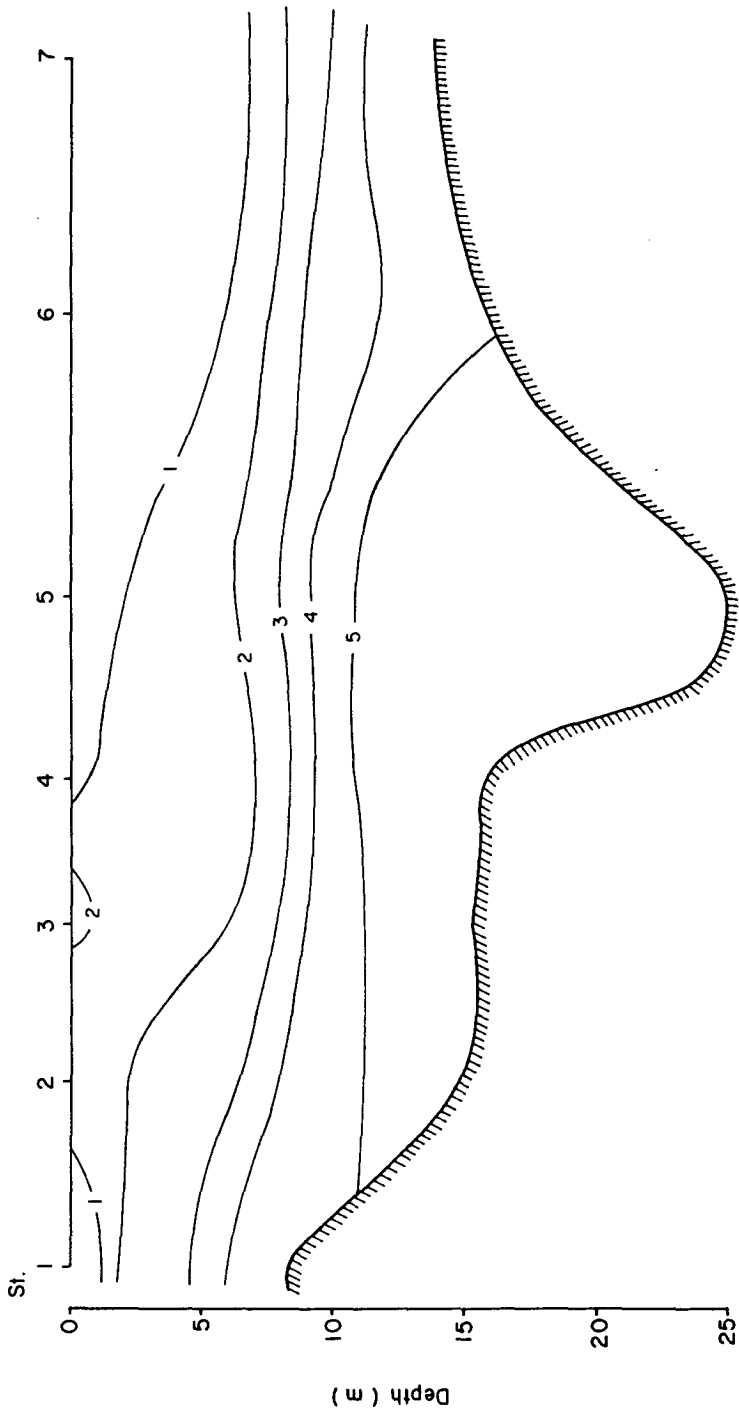


Fig. 14. Vertical distribution of phosphate in Masan Bay (μg at P/ℓ).

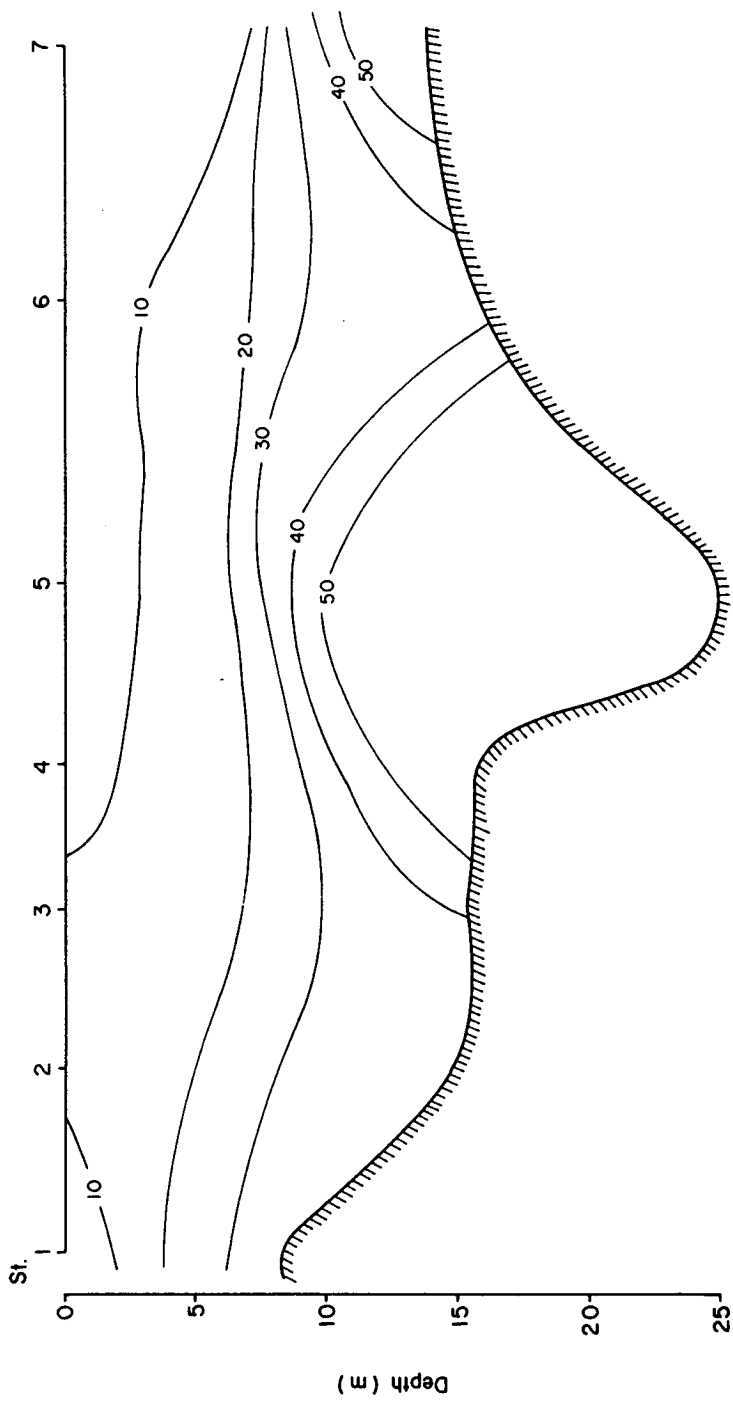


Fig. 15. Vertical distribution of silicate in Masan Bay ($\mu\text{g at Si/l}$).

고현성만의 클로로필 α 분포는 표층에서는 $0.01 - 0.34\mu\text{g}/\ell$ 로 아주 낮은 값을 보이며 중층에서 chlorophyll maximum을 보였다(Table 1).

특히 St. 11, 12에서는 10m층에서 각각 $3.80, 3.66\mu\text{g}/\ell$ 를 보였다. 저층에서는 $0.01 - 1.31\mu\text{g}/\ell$ 의 낮은 값이었다. 고현성만의 NO_3 분포는 표층에서 $1.9 - 5.4\mu\text{g at N}/\ell$ 로 비교적 낮으며 St. 11의 10m층과 St. 10, 11의 저층에서 $10\mu\text{g at N}/\ell$ 이상의 높은 값을 보였다. NO_2 는 표층에서 $0.02 - 6.5\mu\text{g at N}/\ell$ 의 아주 낮은 값을 보였고 중층에서 $0.4 - 1.2\mu\text{g at N}/\ell$, 저층에서 $0.7 - 1.5\mu\text{g at N}/\ell$ 이었다.

암모니아는 표층에서 $2.3 - 6.5 \mu\text{g at N}/\ell$, 중층에서 $2.9 - 8.7\text{Ag at N}/\ell$ 저층에서 $2.0 - 5.3\mu\text{g at N}/\ell$ 로 매우 낮은 편이었다. 용존성무기질소의 총량은 전반적으로 $4.0 - 16.5\mu\text{g at N}/\ell$ 를 보였다. 고현성만에서 PO_4 는 표층에서 $0.2 - 0.4$, 10m층에서 $0.4 - 2.5$, 저층에서 $0.9 - 2.5\mu\text{g at P}/\ell$ 로 마산만에 비해 훨씬 낮은 값이었다.

$\text{Si}(\text{OH})_4$ 는 표층에서는 $1.1 - 1.7\mu\text{g at Si}/\ell$ 의 낮은 농도를 보였으나 저층에서 높은 농도를 보였고 특히 St. 11에서는 10m와 19m층에서 각각 $51.6, 50.2\mu\text{g at Si}/\ell$ 의 높은 값을 나타냈다.

제3절 산소 소비율

해수중의 용존산소는 비보존성 성분중 가장 널리 연구된 것이며 그 분포는 생물의 호흡에 의한 소비, 광합성에 의한 생산, 해수-대기면의 교환, 물리적인 작용에 의한 교환등에 의해 변화한다. 생물의 호흡에 의한 산소소비는 매우 낮은 비율로 진행되고 측정이 힘들지만 이는 해양생태계에서 유기물질의 합성 및 분해, energy flow를 이해하기 위해 필수적으로 알아야 할 요소이다.

지금까지 호흡에 의한 산소소비율(respiratory oxygen consumption rate)은 ^{14}C 에

의해 간접 측정하거나(Eppley and Sloan, 1965), 농집된 플랑크톤 시료에 의해(Pomeroy and Johannes, 1968 ; Hobbie *et al.* 1972), 그리고 심해의 경우 advection-diffusion model에 의해 (Craig, 1971 ; Kroopnick, 1974) 측정되었다. 본 연구에서는 호흡에 사용되는 효소의 활동도를 측정함으로써 간접적으로 산소 소비율을 측정하는 방법인 ETS 활동도를 이용하였다. 호흡에 있어서 속도를 제한하는 인자는 Electron Transport System이며 이는 동식물에 거의 공통된 것이다. ETS의 활동도는 여러가지 보정을 거쳐 산소소비율로 환산되며 측정 방법이 단순하고 낮은 농도에 까지 적용될 수 있어 널리 사용되고 있다(Kenner and Ahmed, 1975).

본 조사에서는 89년 8월에 St. 8과 St. 14에서 ETS 활동도를 측정하였으며 그 값은 Table 2와 같다. EST의 활동도를 호흡에 의한 산소소비율(respiratory oxygen consumption rate)로 계산하기 위해서 Packard(1985)에 의거하여 표층수처럼 식물성플랑크톤이 많은 곳은 0.15의 상수를 사용하였고, 저층수처럼 박테리아에 의한 소비가 많은 곳은 0.43을 사용하였다.

ETS활동도는 식물성플랑크톤이 많았던 St. 8의 표층수에서 $286.1\mu\text{LO}_2/\ell/\text{h}$ 로 가장 높았으며 St. 14에서는 전반적으로 낮은 값을 보였다. California Bight의 산업폐수가 배출되는 해역에서 조사한 ETS 활동도는 $1-5\mu\text{LO}_2/\ell/\text{h}$ (Packard, 1985)로 마산수로에서의 측정치는 이보다 훨씬 높은 값이다. 저층수의 용존산소농도는 식물성, 동물성플랑크톤 및 어류의 호흡에 의한 산소소비, 박테리아의 유기물 분해에 사용되는 산소소비, 저서생물의 물질대사에 의한 산소소비, 표층수로 부터의 공급등에 의하여 변하게 된다.

표층수에서 저층수로의 용존산소확산은 다음과 같은 Fick의 확산법칙을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\frac{\partial O_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial O_2}{\partial z} \right)$$

Table 2. ETS activity and respiratory oxygen consumption rate in Chinhae Bay.

St.	Depth (m)	ETS ($\mu\text{lO}_2/\text{l}/\text{h}$)	R ($\mu\text{lO}_2/\text{l}/\text{h}$)
8	0	286.1	42.9
	5	10.6	4.6
	12	12.4	5.3
14	0	6.4	1.0
	10	3.4	1.5
	20	3.5	1.5

K_z 의 값은 주어진 물리조건에 따라 변하며 측정하기 어려운데 Eppley *et al.* (1979)은 $0.05 - 1.10 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 를 보고한 바있다.

St. 8에서는 용존산소의 수직분포로부터 K_z 가 $0.1 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 인 경우 밀도약층을 통한 산소공급이 $206 \text{ mlO}_2/\text{m}^3/\text{day}$ 정도가 될것이라 계산할 수 있다. St. 8의 밀도약층 아래에서의 호흡에 의한 산소소비율은 ETS 활동도로 부터 $1320 \text{ mlO}_2/\text{m}^3/\text{day}$ 의 값을 얻을 수 있다. 이 정점에서 밀도약층아래의 저층수에는 $3810 \text{ mlO}_2/\text{m}^3$ 의 용존산소가 포함되어 있다. 수층의 산소소비율만으로 무산소상태가 되기까지 걸리는 시간을 계산해 보면 3.5일 정도의 값을 얻을 수 있다. 그러나 여기에는 퇴적물에 의한 산소소비율이 포함되지 않았기 때문에 실제로는 훨씬 더 빨리 무산소상태가 된다고 생각할 수 있다. 그러나 이상의 결과는 수직분포의 1차원적 관점에서 본 것이고 해수의 수평이동을 고려한다면 무산소 상태가 되기 까지 걸리는 시간은 크게 변할 수 있다.

제4절 일차생산력

1989년 8월에 식물플랑크톤에 의한 일일 일차생산력은 마산만의 St. 8에서 표층이

5.1gC/m³/d이고 전수층을 깊이 적분할 경우 14.9gC/m³/d로서 상당히 높은 값을 보인 반면에 고현성만의 St. 14에서는 표층이 0.1gC/m³/d이고 전수층이 0.7gC/m³/d로서 진해, 창원 및 마산등 대도시가 인접해 있는 마산만과 그렇지 않은 고현성만과의 일차생산력은 상당한 차이를 보였으며, 마산만의 일차생산력값은 1988년 8월 본조사 정점보다는 외만쪽에 가까운 모도근처의 측정값 1.3gC/m³/d보다 약 11배 정도의 높은 값을 보였다(해양연구소, 1989).

본 연구해역에서 20μm이하의 nanoplankton에 의한 일차생산력의 기여도를 측정된 결과 St. 14에서는 nanoplankton에 의한 표층의 일차생산력이 0.04gC/m³/d로서 총 일차생산력중 31% 인데 반해 St. 8에서는 5.0gC/m³/d로서 98%에 달하였다.

일반적으로 해양에서의 식물플랑크톤에 의한 일차생산력중 80%정도가 10-20μm mesh screen을 통과하는 nanoplankton에 의해서 기여하지만 보통 연안환경에서는 대부분의 생산력이 20μm 이상의 netplankton에 의해서 기여된다고 알려져 왔다. 그럼에도 불구하고 마산만의 경우처럼 nanoplankton에 의한 일차생산력의 기여도가 큰 이유는 St. 8은 netplankton보다 nanoplankton이 서식하기가 더 유리한 환경이라는 것을 의미한다.

St. 8과 14에서의 일차생산력을 이용하여 식물플랑크톤의 질소요구량(NRP)으로 환산할 경우 각각 표층에서만 70mgN/m³/d, 1.4mgN/m³/d이었다. 이 두정점에서의 질소계영양염을 측정하지 못해 정확한 값을 구할 수 없지만 부근의 St. 2와 11에서의 질소계영양염 측정값을 인용하여 식물플랑크톤에 의한 turnover time을 구할 경우 St. 8은 0.4일, St. 14는 1.2일로서 마산만의 St. 8은 식물성플랑크톤에 의한 질소회전율이 급격히 빨라짐을 알 수 있고, 또한 하계의 수온상승 및 저염의 육상수의 영향으로 인한 강한 밀도약층의 형성은 표층수와 저층수간의 혼합을 방해하여 저층수로부터의 영양염 유입을 방해하기 때문에 높은 일차생산력에 요구되는 과다의 영양염들의 소비로 인하여 영양염들이 부족할 것으로 생각되고, 또한 이러한 높은

질소계영양염의 요구량을 충족시키기 위하여 주변수로부터 상당한 질소계 영양염이 유입되고 있는 것으로 예상되어 진다.

그리고 일반적으로 식물플랑크톤의 대번식후 영양염의 농도가 낮은 상태에서는 크기가 작은 종이 큰종보다 영양염 섭취와 광합성에 있어서 유리하다고 알려져 있어 (Banse, 1976), 이러한 이유가 높은 nanoplankton에 의한 기초생산력의 기여도의 원인중 하나일 것이라 사료된다. 광합성율과 광도와의 곡선(PI curve)는 광합성에 미치는 주변환경요인들을 예측하고, algae의 특성을 진단하는데 좋은 자료를 제공할 수 있다.

마산만의 St. 8에서의 Pmax는 표층이 53mgC/mgChl-a/h인데 반해 2.5m의 수심(표층광의 25%수심)에서는 15mgC/mgChl-a/h이고 고현성만의 St. 14는 표층이 48mgC/mgChl-a/h, 9.0m의 수심(표층광의 12%)에서는 23mgC/mgChl-a/h로서 표층에서는 두 정점간의 차이가 근소한데 반해 수광대층의 하층부에서는 St. 14에서는 표층광의 12%인데도 불구하고 St. 8보다 오히려 높은 Pmax 를 보였다.

본해역에서의 Pmax값은 Chesapeake의 Osborne Cove 에서의 최대값인 107mgC/mgChl-a/h보다는 상당히 낮은 값이지만 다른 여러지역들과 비교할 경우는 비교적 높은 Pmax값을 보였다(Parsons *et al.* 1977).

또한 St. 8의 경우 2.5m수심의 photosynthetic activity (initial slope)와 Pmax를 표층과 비교할 경우 상당히 낮다. 이는 밀도약층 하부에서의 유기물분해에 따른 산소고갈 및 부유물질 증가에 따른 광저하등 환경의 악화에 따라 photosynthetic activity가 낮아짐에 따라서 Pmax가 감소한것으로 사료된다. 그리고 표층과 저층간의 식물플랑크톤 군집은 서로 다른 Iopt(optimum light intensity)를 보여 이들 두층간의 혼합이 잘 이루어 지지 않고 있음을 뒷받침하고 이로인하여 식물성플랑크톤군집이 서로 다른 광도에서 적응되어 있다는 것을 보인다.

반면에 고현성만의 St. 14는 표층과 9m수심에서의 photosynthetic activity는 서로

비슷하지만 표층보다는 약 절반정도의 낮은 P_{max} 값을 보여, 표층과 저층의 식물 성플랑크톤 종들이 거의 유사한 것으로 해석되어지며, 수층별 무기영양염들의 농도분포 양상은 표층과 저층간이 서로 유사하거나 오히려 저층에서의 농도가 더 높고 수온간의 차이는 근소한 것으로 보아 저층에서의 낮은 P_{max} 값은 낮은 광도의 영향때문인 것으로 사료된다.

제5절 부유미생물에 의한 유기물 이용도

연안생태계내에서 미생물 군집은 유기물을 분해하는 분해자로서 탄소순환 과정에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

이러한 물질순환과정에 있어서의 부유미생물의 단당류에 대한 이용도를 파악하기 위하여 glucose를 이용하여 측정된 glucose uptake rate는 0.12-16.5 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 의 범위를 보였는데 마산만(St. 1-8)의 0.3-16.5 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 로서 평균 2.9 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 에 비해서 고현성만(St. 9-14)은 0.12-1.8 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 로서 평균 0.7 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 을 보여 이 두만과의 차이가 일차생산력과 마찬가지로 상당한 차이를 보여주어 마산만에서의 유기물 공급이 고현성만에 비해 훨씬 원활함을 보여준다. 또한 정점별 수직분포를 살펴 볼 경우 저층이 표층에 비하여 상당히 낮은 glucose uptake rate를 보였다(Table 3).

또한 부유미생물의 cell production은 St. 8에서 표층이 $34.6 \times 10^6 \text{ cells}/\ell/\text{h}$, 저층(12 m)이 $6.1 \times 10^6 \text{ cells}/\ell/\text{h}$ 를 보였고, St. 14에서는 표층이 $5.5 \times 10^6 \text{ cells}/\ell/\text{h}$, 저층(10m)이 $3.2 \times 10^6 \text{ cells}/\ell/\text{h}$ 로 cell production 역시 일차생산력 및 부유미생물 활성도와 마찬가지로 St. 14에서보다 St. 8에서 월등하게 높았고, St. 14에서는 표층과 저층간의 차이가 비교적 근소한 반면에 St. 8에서는 표층에서 수심이 증가할수록 급격한 감소를 보였다.

Table 3. Glucose uptake rate in Chinhae Bay.

Station	Depth	Glucose up take rate ($\mu\text{g C}/\ell/\text{h}$)	Cell production (Cells/mmmole thymidine)	
1	0	16.5		
	7	0.45		
2	0	11.72		
	5	1.2		
	13	0.45		
3	0	5.24		
	5	0.9		
	14	0.76		
4	0	3		
	5	1.2		
	13	0.6		
5	0	2.84		
	5	1.04		
	10	0.3		
6	0	3.16		
	1.1	0.44		
7	0	7.1		
	5	0.9		
	12	0.45		
8	0	6.32		3.46E + 07 6.10E + 06
	12	0.6		
9	0	1.64		
	10	1.8		
	19	0.9		
10	0	1.04		
	10	0.44		
	19	0.12		
11	0	0.76		
	10	0.3		
	19	0.15		
12	0	0.76		
	10	0.45		
	19	0.3		
13	0	1.05		
	6	0.3		
14	0	0.45	5.50E + 06 3.20E + 06	
	10	0.3		

제6절 아미노산

해양의, 표층수에서 생물체에 의해 합성된 유기물은 생물학적 분해를 받게 된다. 이 분해과정은 유기물의 총량과 성분조성에 영향을 미침으로서 입자성 유기물의 영양가치와 퇴적되는 유기물의 성분등에 영향을 미친다.

이러한 과정을 조사하기 위하여 입자성 유기물의 더 정확한 영양가치, 미량금속과의 반응, 유기물의 재분해과정등에 대해 상세한 정보를 얻어야 하며 유기화합물 각각의 성분에 대해서도 조사가 이루어 져야 한다.

단백질의 구성체인 아미노산은 많은 생물의 유기질소중 가장 중요한 부분을 차지하며 해양환경에 유기물 분해의 좋은 지표이다. 아미노산은 해수와(Williams *et al.*, 1976 ; Lee and Bada, 1977 ; Dawson and Gocke, 1978)해저퇴적물(Degens *et al.*, 1964 ; Schroeder, 1975 ; Whelan, 1977)에서 널리 조사되어진 항목이나 침강되는 유기물중의 분포에 대해서는 조사가 미흡하다.

본 조사에서는 마산내만의 St. 8과 고현성만의 St. 14에서 퇴적물 트랩을 사용하여 침강되는 입자들을 취하여 아미노산 분석을 행하였다. 조사해역에서 퇴적물 트랩에 채취된 아미노산의 각성분별 분포는 Table 4와 같다.

St. 8 에서는 Glu와 Thr이 300 μ g을 넘고 있으며 Asp, Ala, Tyr, Leu등이 200 μ g을 넘고 있다.

St. 14에서는 Glu, Thr, Leu등이 100 μ g을 넘고 있다.

His은 부유물질중에서 n.d.-3.8%를 차지한다고 알려져 있는데(Romankevich, 1978) 본 조사에서도 St. 8, 14에서 각각 73, 59 μ g/l가 검출되었다. 마산내만의 St. 8에서는 일차생산량이 14.8gC/m³/day로 이중 25%가 아미노산이라고 가정하면 약 3.9gC/m³/day의 아미노산이 일차생산에 의해 합성되어 진다고 볼 수 있다. St. 8에설치한 트

Table 4. Amino acids composition of the sinking materials in Chinhae Bay(μg)

	St.8	St.14
Asp	205	85
Glu	376	113
Ser	73	33
His	73	59
Thr	341	161
Gly	153	80
Ala	277	85
Tyr	231	42
Arg	189	92
Met	198	77
Val	70	11
Phe	26	6
Ile	150	52
Leu	293	106
Lys	196	23

랩에서의 아미노산 총량을 탄소단위로 환산하면 $264\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 이다. 그러므로 표층에서 생성되는 아미노산의 6.8%만이 12m 깊이까지 도달하는 것으로 볼 수 있다.

고현성만의 St. 14에서는 일차생산량이 $0.75\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$ 이므로 $187\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 아미노산이 일차생산에 의해 합성되어진다고 볼 수 있다. 22m 층에 설치한 트랩에서의 아미노산총량을 탄소단위로 환산하면 $95\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 이다. 따라서 이점에서는 표층에서 생성되는 아미노산의 50.8%가 22m 깊이까지 도달한다고 볼 수 있다.

고현성만에서는 양식활동이 활발하여 패류 입자가 큰 배설물들이 쉽게 침강되어 위와같은 높은 침강비율을 보인다고 생각된다. Yang and Hong(1988)은 표층퇴적물중의 유기탄소, 유기질소의 양이 일차생산량이 낮은 고현성만에서도 높게 나타나는 반면 마산내만에서는 예상외로 낮게 나타나 이를 생태계의 특성 및 침강되는 입자의 크기때문이라고 발표한 바 있다. 유실되는 아미노산은 일부 분해되는 것도 있으나

대부분은 용존성 아미노산의 형태로 된다. 즉 식물성플랑크톤에 의해 직접 용존성 아미노산으로 방출되거나 동물성플랑크톤에 먹힌 후 대사물질중의 용존성 아미노산의 형태로 되며 식물성 플랑크톤에 섭취되거나 박테리아의 분해작용으로 쉽게 해수중에서 제거되어 진다(Hobbie *et al.*, 1986 ; Lee and Bada, 1977).

위와같이 아미노산은 생태계내의 유기물 순환에 유용한 정보를 제공하나 아미노산의 해수내 순환을 더 자세히 이해하기 위해서는 해양생물과 용존성, 입자성 아미노산과의 관계를 보다 광범위하게 규명하여야 할 것이다.

제4장 결론

해수중의 무산소환경발생이 중요시 되는 것은 이 현상이 수산자원에 막대한 피해를 초래하기 때문이다. 89년 8월 진해만의 해양환경조사에서는 전해역에 걸쳐 밀도약층의 분포와 함께 저층수의 빈산소화현상이 나타났다.

마산만의 경우 수온은 표층에서 25°C 이상이며 2-3m층부터 급격한 함소를 보인다. 표층의 염분은 26% 정도이며 저층에서는 31% 정도를 나타냈다. 용존산소는 내만의 경우 3m층부터 외만의 경우 10m층부터 1ml/l 이하의 빈산소층이 나타났다. 고현성만의 경우 표층의 염분이 29% 정도로 마산만 보다 높았고 저층에서는 역시 빈산소층이 나타났다. 마산만의 소모도 근처에서는 표층의 클로로필 α 가 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상이었고 NO_3 가 50 $\mu\text{g at N}/\text{l}$ 이상으로서 주위 수괴와는 다른 특성을 보인다. 이수괴에서는 PO_4 와 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 가 특히 낮은 농도를 보였다. NH_3 와 PO_4 는 저층수에서 높은 농도를 보여 하계에 저층수와 퇴적물에서의 활발한 유기물 분해의 결과라 보여 진다.

고현성만의 경우 NO_3 는 표층에서 1.9-5.4 $\mu\text{g at N}/\text{l}$ 로 낮으며 저층으로 갈수록 증가한다. 클로로필 α 는 표층보다 중층에서 높은 값을 보였다. ETS의 활동도는 마산내만의 표층수에서 286.1 $\mu\text{lO}_2/\text{l}/\text{h}$ 를 보였다.

마산내만의 밀도약층 아래에서의 호흡에 의한 산소소비율은 1320ml $\text{O}_2/\text{m}^3/\text{day}$ 였으며 표층수로부터의 공급은 206ml $\text{O}_2/\text{m}^3/\text{day}$ 정도여서 수층의 산소소비율만으로 무산소상태가 되기까지 걸리는 시간을 계산해보면 3.5일 정도의 값을 얻을 수 있었다. 일차생산력은 마산내만에서 14.9gC/ m^3/day 였고 고현성만에서 0.7g C/ m^3/day 이었다. 마산내만에서는 nanoplankton에 의한 일차생산력의 기여도가 98%인 반면 고현성만에서는 31%이었다.

식물플랑크톤에 의한 turnover time을 구할 경우 마산내만은 0.4일, 고현성만은 1.2일로서 마산내만은 식물성플랑크톤에 의한 질소회전율이 급격히 빨라짐을 알수 있다. Glucose uptake rate는 마산만에서 평균 $2.9\mu\text{g C}/\ell/\text{h}$, 고현성만은 평균 $0.7\mu\text{g C}/\ell/\text{h}$ 로 일차생산력과 마찬가지로 두해역사이에 상당한 차이를 보여주었다. 마산내만에서 퇴적물 트랩에 침강된 아미노산은 $264\text{mg C}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 표층에서 생성되는 아미노산의 6.8%가 저층에 이르며 고현성만에서는 $95\text{mg C}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 표층에서 생성된 량의 50.8%가 저층까지 도달한다. 이러한 침강비율의 차이는 고현성만의 경우 양식활동이 활발하여 패류의 입자가 큰 배설물이 쉽게 침강되기 때문이라 생각된다.

진해만에서 유기물의 순환과 이에 관련된 무산소환경발생을 이해하기 위해서는 위와같은 조사가 보다 장기적으로 계획성있게 이루어져야 할 것으로 본다. 특히 광합성에 의해 생성된 유기물의 해양환경내에서의 이용, 분해등에 대한 정량적인 연구가 수행되어야 한다. 또한 저층수, 퇴적물에 의한 산소소비율을 광범위하게 측정함으로써 연안해역의 용존산소수지에 대한 모델을 정립해야 한다.

참 고 문 헌

- 박주석, 1980. 한국 남해안의 식물성 플랑크톤 출현량 및 조성과 이들의 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향, 국립수산진흥원 연구보고 23 : 5-92.
- 박주석, 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화, 국립수산 진흥원 연구보고 28 : 55-88.
- 안태석, 안태영, 권오섭, 조기성, 1986. 마산만에서의 인과 질소의 동태에 관하여, 수질보전 2 : 64-70.
- 양동범, 1986. 진해만의 질소 화합물 순환에 대한 연구. 해양연구소 보고서 BSPE 00086-145-4.
- 유광일, 이종화, 1976. 마산만의 환경학적 연구 2. 식물성 플랑크톤의 년변화. 한국 해양학회지 11 : 34-38.
- 이광우, 남기수, 허형택 등, 1980. 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소 보고서 BSPE 00022-43-7.
- 이광우, 남기수, 허형택 등, 1981. 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소 보고서 BSPE 00031-56-7.
- 이광우, 남기수, 곽희상 등, 1982. 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소 보고서 BSPE 00044-66-7.
- 이광우, 남기수, 곽희상 등, 1983. 적조 및 오염모니터링 연구. 해양연구소 보고서 BSPE 00048-80-7.
- 조창환, 1979. 1978 진해만 적조와 양식굴의 대량폐사. 한국수산학회지 12 : 17-33
- 해양연구소, 1989. 연안환경 보전기술 개발 연구. BSPG 00083-242-4. pp359
- Banse, K., 1976. Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae as related to cell size—a review. J. Phycol., 12 : 135-140

- Christensen, J. P. 1983. Electron transport system activity and oxygen consumption in sediments. *Deep-Sea Res.* 30 : 183–194.
- Craig, H. 1971. The deep metabolism : Oxygen consumption in abyssal ocean water. *J. Geophys. Res.* 21 : 5078–5086.
- Dawson, R. and K. Gocke, 1978. Heterotrophic activity in comparison to the free amino acid concentrations in Baltic seawater samples. *Oceanol. Acta* 1 : 45–54.
- Degens, E. T., J. H. Reuter and K. N. F. Shaw, 1964. Biochemical compounds in offshore California sediments and seawaters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28 : 45–66.
- Eppley R. W., and P. R. Sloan. 1965. Carbon balance experiments with marine phytoplankton. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 22 : 1083–1097.
- Falkowski, P. G., T. S. Hopkins, and J. J. Walsh. 1980. An analysis of factors affecting oxygen depletion in the New York Bight. *J. Mar. Res.* 38 : 479–506.
- Furman, J. A., and F. Azam, 1982. Thymidine incorporation as measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface water : Evolution and field results. *Mar. Biol.* 66 : 109–120.
- Hobbie, J. E., C. C. Crawford and K. L. Webb, 1968. Amino acid flux in an estuary. *Science* 159 : 1463–1464.
- Hobbie, J. E., O. Holm-Hansen, T. T. Packard., L. R. Pomeroy, R. W. Sheldon, J. P. Thomas, and W. I. Wiede. 1972. A study of the distribution and activity of microorganisms in ocean water. *Limnol. Oceanogr.* 17 : 544–555.
- Kenner, R. A. and S. I. Ahmed. 1975. Measurements of electron transport activities in marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 33 : 119–128.
- King, F. D. and A. H. Devol. 1979. Estimates of vertical eddy diffusion through the thermocline from phytoplankton nitrate uptake rate in the mixed layer of the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 24 : 645–651.

- Koroleff, F. 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Int. Con. Explor. Sea, C.M. 1969/C* : 9.
- Kroopnick, P. 1974. The dissolved O₂-CO₂-13C system in the eastern equatorial pacific. *Deep-Sea Res.* 21 : 211–227.
- Lee, C. and J. Bada 1977. Dissolved amino acids in the equatorial pacific, the Sargasso Sea, Biscayne Bay. *Limnol. Oceanogr.* 22 : 502–510.
- Lee, C. and C. Cronin, 1982. The vertical flux of particulate organic nitrogen in the sea : decomposition of amino acids in the Peru upwelling area and the equatorial Atlantic. *J. Mar. Res.* 40 : 227–251.
- Ochi, T. 1989. The development of anoxic water and red tide associated with eutrophication in Hiuchi Nada, Japan. In T. Okaichi(ed.) *Red Tides*, Elsevier pp201–204.
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave. 1977. *Biological Oceanographic Processes*, 2nd Ed. Pergamon Press, Oxford 332 pp.
- Parsons, T. R., Y. Maita, and C. M. Lalli, 1984, *A manual of chemical and biological method for seawater analysis*. Pergamon Press, 173p.
- Pomeroy, L. R., and R. E. Johannes. 1968. Occurrence and respiration of ultraplankton in upper 500meters of the ocean. *Deep-Sea Res.* 15 : 381–391.
- Romankevich, E. A., 1978. *Geochemistry of organic matter in the ocean* *Vestnic Akademii Nauk SSSR*, 334pp.
- Schroeder, R. A., 1975. Absence of β -alanine and γ -aminobutyric acid in cleaned foraminiferal shells. *Earth planet. Sci. Lett.* 25 : 274-278.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Bull. Fish. Res. Bd. Can. No. 167, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.

- Whelan, J. K., 1977. Amino acids in a surface sediment core of the Atlantic abyssal plain. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41 : 803-810.
- Williams, P. J. LeB., T. Berman and O. Holm-Hansen, 1976. Amino acid uptake and respiration by marine heterotrophs. *Mar. Biol.* 35 : 41-47.
- Yang, D. B., and J. S. Hong, 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September, 1983. *Bull. Korean Fish. Soc.* 21 : 195-205.
- Yang, D. B., E. S. Kim, and K. W. Lee, 1983. Seawater quality and red tides in Jinhae Bay in 1979-1982. *Bull. KORDI.* 5 : 15-20.
- Zimmermann, C., M. Price, and J. Montgomery, 1977. Operation, methods and quality control of Technicon Autoanalyzer II system for nutrient determinations in seawater. Harbor Branch Foundation Inc., Technical Report No. 11.