BSPE 00086-145-4

진해만의 질소화합물순환에 대한 연구

A Study on the cycle of nitrogenous compounds in Jinhae Bay

1987. 2.

한 국 과 학 기 술 원
해 양 연 구 소

提　出　文

海洋研究所長　貴下

本　報告書를　"진해만의　질소화합물순환에　대한　연구"事業의　最終報告書로　提出합니다.

1987年　2월　28일

韓國科學技術院　海洋研究所

研究責任者：梁　東　範

요 약

진해만에서 해수중 질소화합물의 분포와 산소소비율에 대해 조사를 수행하였다. 내만에 유입된 육수는 표층에만 크게 영향이 미치며 하계에는 밀도약층의 발달로 만내부에 무산소환경이 나타났다.

마산지역의 폐수유입을 받는 정점에서는 표층수의 DIN, DON, PN이 각각 735.6, 1261.8, 48.5 μgatN/ℓ였으며 마산내만의 입구에서는 DIN, DON, PN이 각각 79.1, 73.0, 39.5 μgatN/ℓ로 감소한다. PN은 내·외만의 차이가 적어 육지로부터 공급되는 질소원은 주로 DIN과 DON인것으로 보인다. 마산수로의 저층에서 NH_3-N은 49.1 ~ 66.0 μgatN/ℓ로 하계에 저층수, 퇴적물에서의 유기물분해가 활발한듯 하다. 마산수로에서의 저층수중 NO_3 제거율은 3.5 μgN/ℓ/day 정도로 추산된다. 8월에 마산내만에서의 일차생산성은 표층에서 1167 mgC / m^2 / day였으며 식물성플랑크톤에 의한 N요구량은 평균 167 mgN / m^2 / day였다. 8월에 ETS활동도는 마산내만의 표층수에서 7.2 ~ 212.1 $\mu\ell O_2/\ell$/h의 분포를 보였으며 마산내만입구의 저층수에서 호흡에 의한 산소소비율은 442 mℓ O_2/m^2/day였다.

ABSTRACT

Studies on the distribution of nitrogenous compuunds and respiratory oxygen consumption in the water column were carried out in Jinhae Bay where large amount of industrial and domestic wastewaters are discharged into the inner Masan Bay. The surface layer was significantly influenced by freshwater input. Below the seasonal pycncline, anoxic condition was developed in the innermost part of the Masan Bay.

Concentrations of DIN, DON and PN were 735.6, 1261.8 and 48.5 μgatN/l at the head, and was 79.1, 73.0, 39.5 μgatN/l at the mouth of the inner Masan Bay, respectively.

PN introduced via freshwater discharge was not apparent in August as the mixing curve of PN and salinity suggest. Ammonium contents in the bottom waters of Masan Waterway ranged from 49.1 to 66.0 μgatN/l. The high concentration of ammonium suggests that the intense degradation of organic materials occurs in the bottom waters and underlying sediments.

Nitrate removal is likely to proceed at a rate of 3.5 μgN/l /day via denitrification in the Masan Waterway. Phytoplankton carbon production was 1167 mgC/m^3/day which indicates about 167 mgN/m^3/day of nitrogen would be required by phytoplankters in

the surface waters of the inner Masan Bay.

ETS activities varied from 7.2 to 212.1 $\mu l O_2/l/h$ in the surface waters of the inner Masan Bay. Respiratory oxygen consumption rate in the water column at the mouth of the inner Masan Bay was estimated to be $442 ml O_2/m^2/day$.

목 차

제Ⅰ장 서 론 13

제Ⅱ장 조사내용및 방법 18

제 1 절 조사해역및 조사시기 18

제 2 절 측정및 분석방법 20

제Ⅲ장 조사결과및 고찰 24

제 1 절 일반수질지수 24

제 2 절 질소화합물및 기타영양염 31

1. 86년 8월 31

2. 86년 9, 10월 42

제 3 절 산소소비율 45

제 4 절 일차생산성 51

제Ⅳ장 결 론 52

CONTENTS

Chapter 1. Introduction 13

Chapter 2. Materials and methods of analysis 18

1. Sampling period and location 18

2. Analytical methods 20

Chapter 3. Results and discussion 24

1. General water quality parameters 24

2. Nitrogenous compounds and other nutrients 31

1) August, 1986 31

2) September and October, 1986 42

3. Oxygen consumption rate 45

4. Primary productivity 51

Chapter 4. Conclusions 52

List of figures

Fig. 1. The nitrogen cycle in the sea. 14

Fig. 2. Sampling stations in Jinhae Bay. 19

Fig. 3. The oxidation reduction reaction between INT and the ubiquinone cytochrome-b complex. 22

Fig. 4. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 2 in Aug., 1986. 25

Fig. 5. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. A in Aug., 1986. 26

Fig. 6. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. B in Aug., 1986. 28

Fig. 7. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 4 in Aug., 1986. 29

Fig. 8. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St, 11 in Aug., 1986. 30

Fig. 9. Relationship between salinity and DIN in the surface waters in Aug., 1986. 38

Fig. 10. Relationship between salinity and N/P ratio in the surface waters in Aug., 1986. 38

Fig. 11. Relationship between salinity and DIN in the surface waters in Aug., 1986. 40

Fig. 12. Relationship between salinity and NO_2-N in the surface waters in Oct., 1986. 41

Fig. 13. Decrease of DO content in the bottom waters of St. 6 from April to July, 1981. 50

List of Tables

Table 1. Free energy change and oxidation reduction potential during nitrification (Aleem, 1970). ... 16

Table 2. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the inner Masan Bay in August, 1986. 32

Table 3. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the Masan Waterway in August, 1986. 34

Table 4. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the western part of Jinhae Bay in August, 1986. 35

Table 5. Distribution of general water quality parameters and nutrients in Jinhae Bay in September, 1986. 43

Table 6. Distribution of general water quality parameters and nutrients in Jinhae Bay in October, 1986. 44

Table 7. ETS activity and respiratory oxygen consumption rate in Jinhae Bay. 47

제 I 장 서 론

질소는 단백질을 구성하는 중요한 원소로 해수중에는 용존성무기질소의 농도가 낮아 일차생산자인 식물성플랑크톤의 성장을 제한한다. 그러나 연안역에서는 흔히 도시하수, 공업폐수등의 유입에 의해 식물성플랑크톤의 과다한 성장을 초래하여 부영양화현상, 적조현상등이 발생하는데 그 중요한 원인의 하나로 질소화합물의 과잉공급을 들 수있다. 진해만은 일찍부터 많은 연안수산자원의 산란장및 치어성육장으로 활용되어 연근해어업대상자원의 보급원 역할을 해왔다. 또한 1960년대에 들어 굴·홍합 양식장으로서 개발되었고 근래에는 피조개양식장으로서 새로운 각광을 받는등 그 중요성을 더해왔다. 그러나 1970년대에 임해공업단지의 건설과 인구의 집중에 의한 폐수의 영향으로 부영양화현상이 가속되었으며 1981년 7월에는 대규모적조가 발생하는등 매년 적조의 발생빈도가 높아가는 추세에 있다. 부영양화현상을 나타내는곳에서는 표층에서 떨어지는 많은 식물성플랑크톤의 잔해가 저층수에서 재분해되어야하기 때문에 저층수중의 산소소비율이 높아지게 된다. 그러나 하계에는 표층수의 수온상승으로 성층이 발달하여 표층수의 풍부한 용존산소가 저층으로 공급되는 비율이 줄어들기 때문에 저층수에서는 용존산소가 소모된 무산소환경이 나타나게된다.

적조생물의 독소와 이러한 무산소환경은 수산자원에 치명적인 피해를 주기 때문에 이러한 피해를 줄이기 위해서는 부영양화를 유발하는 물질의 유입및 이동등에 대해 정밀한 조사를 필요로 하며 연구결과에 입각한 효과있는 환경보전책이 수립되어야한다.

해수중에 존재하는 여러형태의 유기, 무기질소들은 Fig. 1에서 볼 수 있

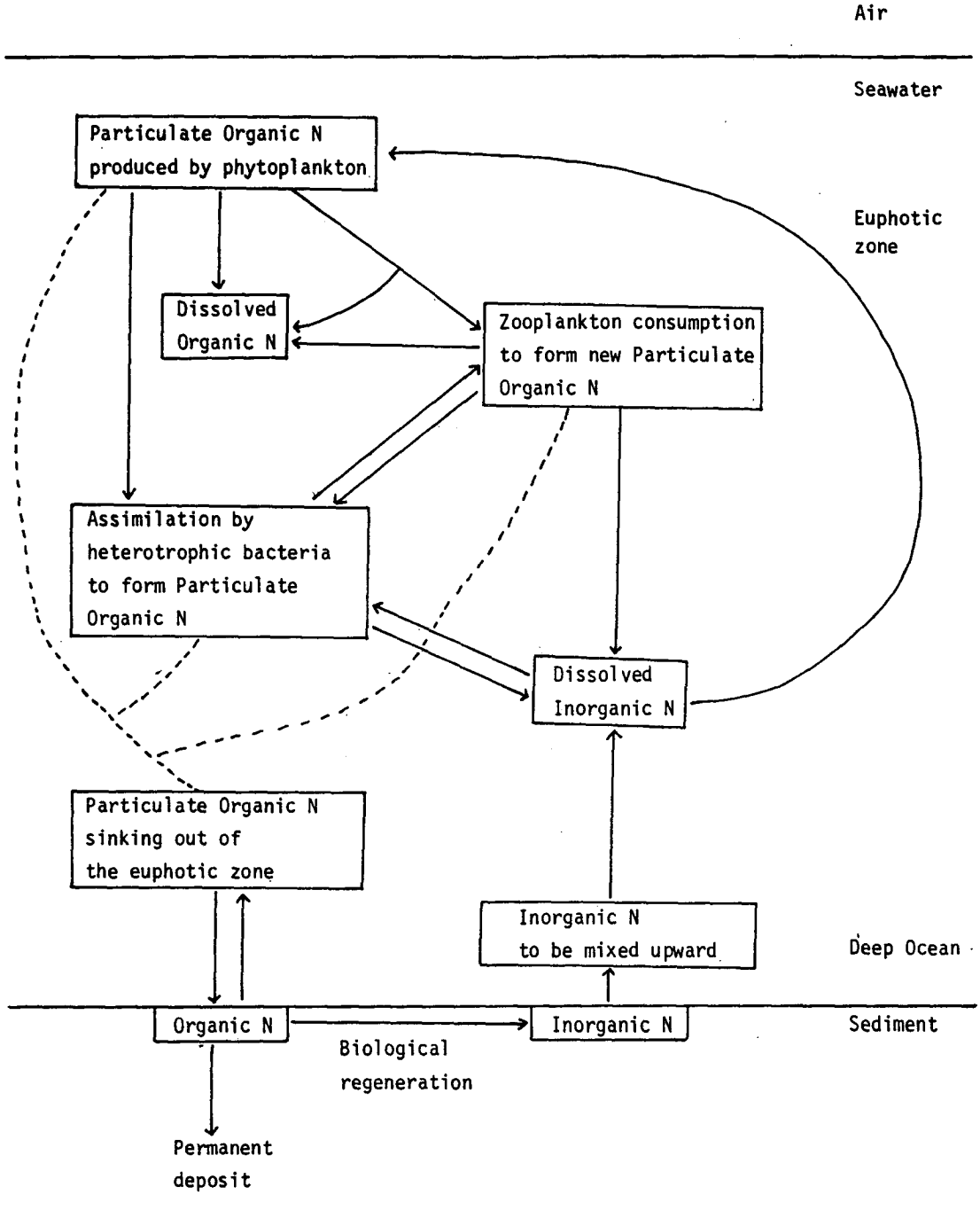

Fig. 1. The nitrogen cycle in the sea.

는 것처럼 주로 생물학적 요인에 의해 그 형태가 바뀌어져간다. 해수중에는 용해된 원소상질소(N_2)가 많은 양을 차지하지만 생물생산과는 별로 관계가 없다. 입자상질소(Particulate Nitrogen)는 생물체, detritus, 육지에서 유입된 물질등을 모두 포함한다. 생물생산에 중요한 용존성무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen)에는 질산염-질소(NO_3-N), 아질산염-질소(NO_2-N), 암모니아-질소(NH_3-N)등이 있다. 위의 세가지형태의 무기질소화합물가운데 가장 다량으로 존재하는 것은 NO_3-N이며 NO_2-N은 생물이 NO_3-N을 동화또는 이화하는 과정에서 배출되는 물질인데 그다지 안정하지 않다. NH_3-N은 생물의 분해과정에서 배출되며 연안해역에서는 도시하수에 의해 다량공급된다. 용존성유기질소(Dissolved Organic Nitrogen)중 요소(urea -N)는 연안해역의 일부 식물성플랑크톤에 의해 사용되며 용존된 아미노산도 질소원으로 사용될 수 있다(Wheeler *et al.*, 1974). 이외에도 멕시코만에서 흔히 대증식을 이루는 *Oscillatoria erythraea*는 질소원으로 해수중의 N_2를 고정한다(Rounsefell and Dragovich, 1966).

해양에서 생물사체중의 질소는 박테리아에 의해 다시 분해되어 암모니아가 되며 이는 질화반응(nitrification)에 의해 NO_2^-, NO_3^-로 산화되어간다. 산화되는 각 과정에서의 자유에너지 변화와 산화 환원전위는 Table 1과 같다. 이러한 무기화과정은 생물체중 각 원소의 평균조성비로 다음과 같이 표시하기도 한다.

$$(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 138O_2 \rightarrow 106CO_2 + 16HNO_3 + H_3PO_4 + 122H_2O$$

위의 과정은 해수중에 용존산소가 있을때의 경우이고 용존산소가 없어진 무산소상태에서는 NO_3^-가 유기물의 산화제로 쓰이는 탈질소반응이 일어난다.

Table 1. Free energy change and oxidation reduction potential during nitrification (Aleem, 1970).

	$\Delta F'$ (kcal/at.N)	E_o' (volt)
$NH_4^+ + 1/2O_2 \rightarrow NH_2OH + H^+$	+3.85	+0.899
$2NH_2OH + O_2 \rightarrow N_2O_2^{2-} + 2H^+ + 3H_2O$	−68.98	−0.142
$2NH_2OH + 3/2O_2 \rightarrow 2NO + 3H_2O$	−117.43	−0.036
$N_2O_2^{2-} + 1/2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2NO + H_2O$	−48.45	+0.358
$N_2O_2^{2-} + O_2 \rightarrow 2NO_2^-$	−49.70	+0.275
$2NO + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+$	−1.25	+0.373
$NH_2OH + O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + H^+$	−68.89	+0.066
$NH_4^- + 3/2O_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + H^+$	−65.04	+0.344
$NO_2^- + 1/2O_2 \rightarrow NO_3^-$	−18.18	+0.420

* pH 7.0

$$(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 84.8\,HNO_3 \rightarrow 106\,CO_2 + 42.4N_2 + 148.4\,H_2O + 16\,NH_3 + H_3PO_4$$

이러한 탈질소반응이 계속되어 NO_3^-가 아주낮은 상태까지 떨어질 때에는 SO_4^{--}가 유기물의 분해에 사용되어 H_2S가 생성된다.

$$(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 53\,SO_4^{--} \rightarrow 106\,CO_2 + 53\,S^{--} + 16NH_3 + 106H_2O + H_3PO_4$$

이러한 현상은 외부해수와의 교환이 잘 안되는 폐쇄된 해역에서나(Richards, 1965) 유광층에 생물생산이 활발한 페루해역(Fiadeiro and Strick-

land, 1968) 등에서 일어난다.

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). 적조발생시 질소화합물의 분포에 대한 조사로는 Yang and Hong (1982), Yang *et al.*, (1983), Yang and Lee (1983) 등이 있다.

본 조사에서는 하계에 진해만에 존재하는 각 형태의 질소화합물의 분포를 조사하여 육수유입원으로 부터 외만에 이르기까지 이들의 함량변화를 알아내고 저층의 산소소비율과 관련하여 이들의 연안환경에서의 거동을 조사함을 목적으로 하였다.

제 Ⅱ 장 조사내용및 방법

제 1 절 조사해역및 조사시기

조사해역은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 마산내만, 마산수로, 진해만서부 해역일부를 그 대상으로 하였다. 마산내만에서는 오염원의 유입이 가장 클 것으로 예상되는 수출자유지역앞의 하천입구(St. 1), 창원공단의 하수가 흘러드는 곳(St. 2), 마산내만의 서쪽 쌍용공장앞(St. 3)등에서 조사를 실시하였다. 돝섬안쪽의 St. 4에서 부터는 부도수도를 통하여 외해쪽으로의 화학적특성을 조사하기위해 3 *km* 간격으로 St. 5, St.6 (모개등대옆), St. 7, St. 8, St. 9 (실리도옆)를 설정하였다. 진해만의 서부해역에서는 흑암등대옆의 St. 10과 흑암등대와 수야방도사이의 St. 11에서 조사를 실시하였다. 또한 8월의 용존산소농도의 수직분포를 조사하기 위해 용호동양식장앞의 St. A와 소모도옆의 St. B에서 조사를 실시하였다.

부영양화가 심한 하계에 집중조사를 실시하고 그 영향을 조사할 목적으로 1986년 8월 11, 12, 13일, 9월 24일과 10월 23, 24일에 현장조사를 실시하였다.

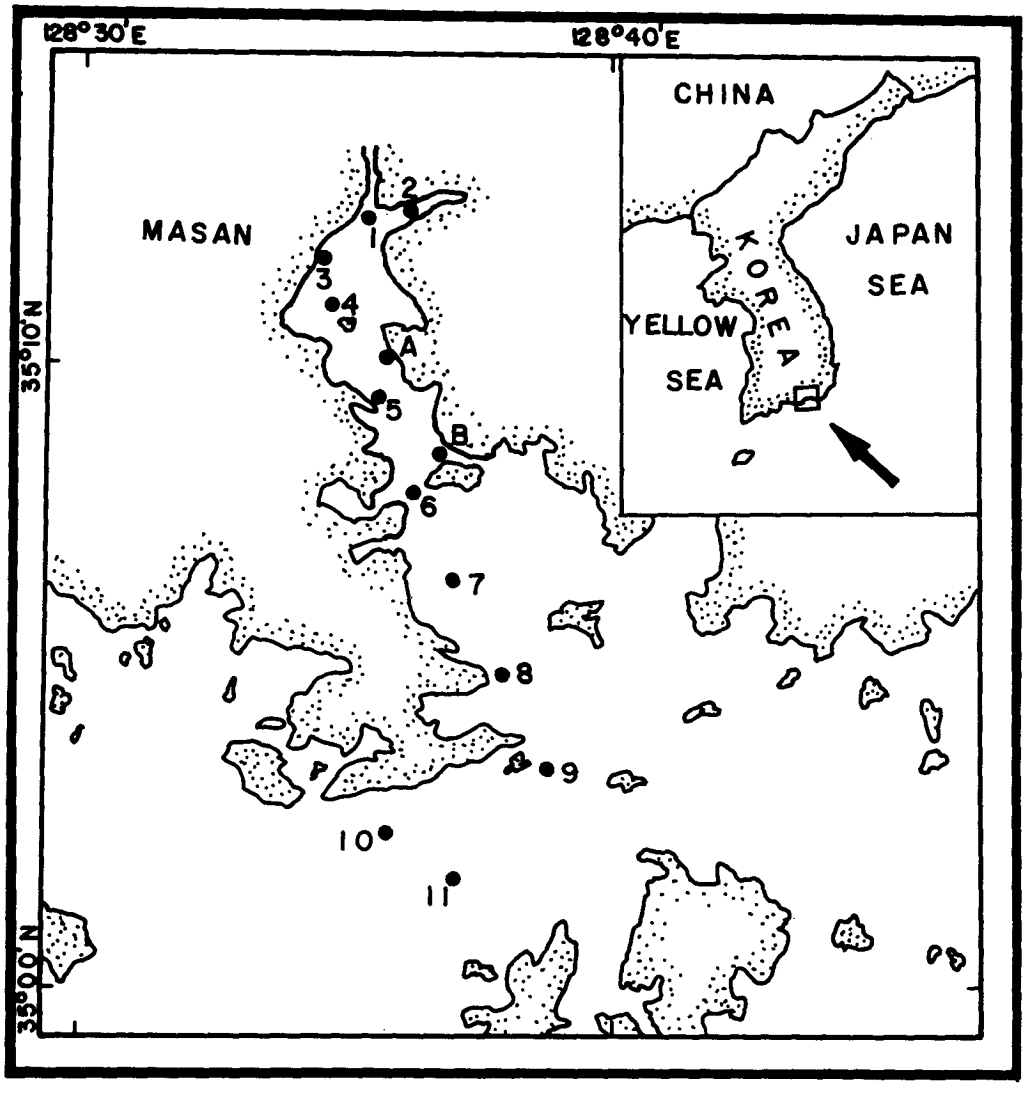

Fig. 2. Sampling stations in Jinhae Bay.

제 2 절 측정및 분석방법

1. 일반수질지수

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.

2. 영양염

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

1) 아질산염-질소 (NO_2 -N)

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

2) 질산염-질소 (NO_3 -N)

시료를 Cd - Column에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨후 NO_2 - N 측정과 같은 방법으로 발색시켰다 (Strickland and Parsons, 1972).

3) 인산염-인(PO_4 - P)

시료를 ammonium molybdate, 황산, potassium artimonyl tartrate의 혼합시약으로 발색시킨후 ascorbic acid를 환원제로 사용하였다(Strickland and Parsons, 1972).

4) 규산염-규소[$Si(OH)_4$ - Si]

시료를 ammonium molybdate를 가하여 silico-molybdate complex를 만들고 수산, 황산으로 발색시킨뒤 ascorbic acid를 환원제로 사용하였다.

3. 암모니아-질소(NH_3 - N)

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

4. 용존성유기질소(DON)

시료 20 *ml* 정도를 Virtis # 10 - 100 Freeze Dryer에서 냉동건조시켜 Elemental Analyzer(Perkin Elmer Model 240 B)를 사용하여 분석하였다(Gordon and Sutcliffe, 1973). 냉동건조된 시료에서 측정된 값은 용존성총질소(Dissolved Total Nitrogen)이기 때문에 여기서 용존성무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen)와의 차이를 계산하여 용존성유기질소의 농도를 구하였다.

5. 입자성질소, 탄소(PN, PC)

해수시료를 미리 450 ℃에서 2시간이상 연소시킨 GF/C filter paper에 여과하여 여과지를 Elemental Analyzer (Perkin Elmer Model 240 B)로 분석

하였다(Kerambrun and Szekielda, 1969).

6. 일차생산성

표층시료에 한하여 300 ml BOD bottle에 10 μCi의 14C를 가하여 자연광에서 2～4시간 배양하였다. 여과된 시료의 radioactivity는 Packard Tricarb C Liquid Scintillation Counter를 사용하여 측정하였다.

7. ETS 활동도

ETS(Electron Transport System)활동도는 Kenner and Ahmed (1975)에 의거 해수시료 200～500 ml를 GF/F filter paper에 여과하여 Tissue Grinder로 마쇄시킨후 Substrate와 함께 15.5～16.5℃에서 배양하였다. INT－Formazan반응(Fig. 3)에 의하여 발색된 시료는 Spectrophotometer

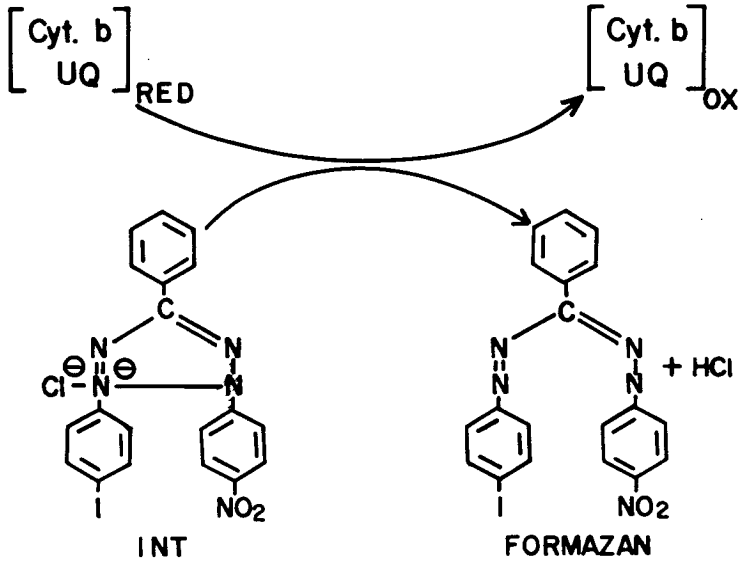

Fig. 3. The oxidation reduction reaction between INT and the ubiquinone cytochrome-b complex.

(Lambda 3)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 값은 다음과 같은 Arrhenius 공식에 의하여 현장온도에서의 활동도값으로 보정하였다.

$$ETS_t = ETS_o \exp \frac{15.8}{R} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_t} \right)$$

R : 기체상수

T_o: 배양온도

T_t: 현장온도

제Ⅲ장 조사결과 및 고찰

제 1 절 일반수질지수

마산내만에서는 각종육수원의 유입에 의해 표층수에서 낮은 염분을 보이는데 육수유입량에 따라 시간적인 염분의 변화가 심하다. 하계에는 표층수의 수온상승과 육수유입량증가에 따라 강한 밀도약층이 형성되며 표층수와 저층수간의 교환이 적어지게 된다. 표층수중의 용존산소는 대기와의 교환 및 광합성에 의한 산소생산으로 항상 높은값을 유지한다. 그러나 저층수에는 하계에 표층수로부터의 산소공급이 줄어들고 유기물의 분해가 활발해져 용존산소의 농도가 낮아지게 된다.

86년 8월 수출자유지역앞의 St.1에서는 표층에서 염분이 1.8‰이었으나 1 *m*층에서 23.0‰, 2 *m*층에서 27.9‰을 나타내 유입된 육수의 분포가 얇은층에 국한되는 것을 알수있다. DO는 표층에서 8.0 *㎖*/ *ℓ*의 높은 농도를 보이나 1 *m*층부터는 0.7 *㎖*/ *ℓ*로 낮아진다. 창원공단측의 하수가 흘러드는 St.2에서는 표층수의 염분이 5.3‰이며 2 *m*층에서 26.9‰, 4 *m*층에서 29.7‰로 증가되어 역시 유입된 육수가 얇은층을 따라 흐르는것을 알 수 있다(Fig. 4). St.2에서 DO는 표층에서 2.2*㎖*/ *ℓ*이며 3 *m*층이하에서는 DO가 측정되지 않는 무산소상태를 나타냈다.

용호동 양식장앞의 St. A에서는 수온이 표층의 27.0℃에서 16 *m*층의 17.4℃까지 점차 감소하며 염분은 표층에서 22.9‰로 육수의 영향을 보이지만 2 *m*층부터는 28‰이상이었다(Fig. 5). DO는 표층에서 5.1*㎖*/ *ℓ*이

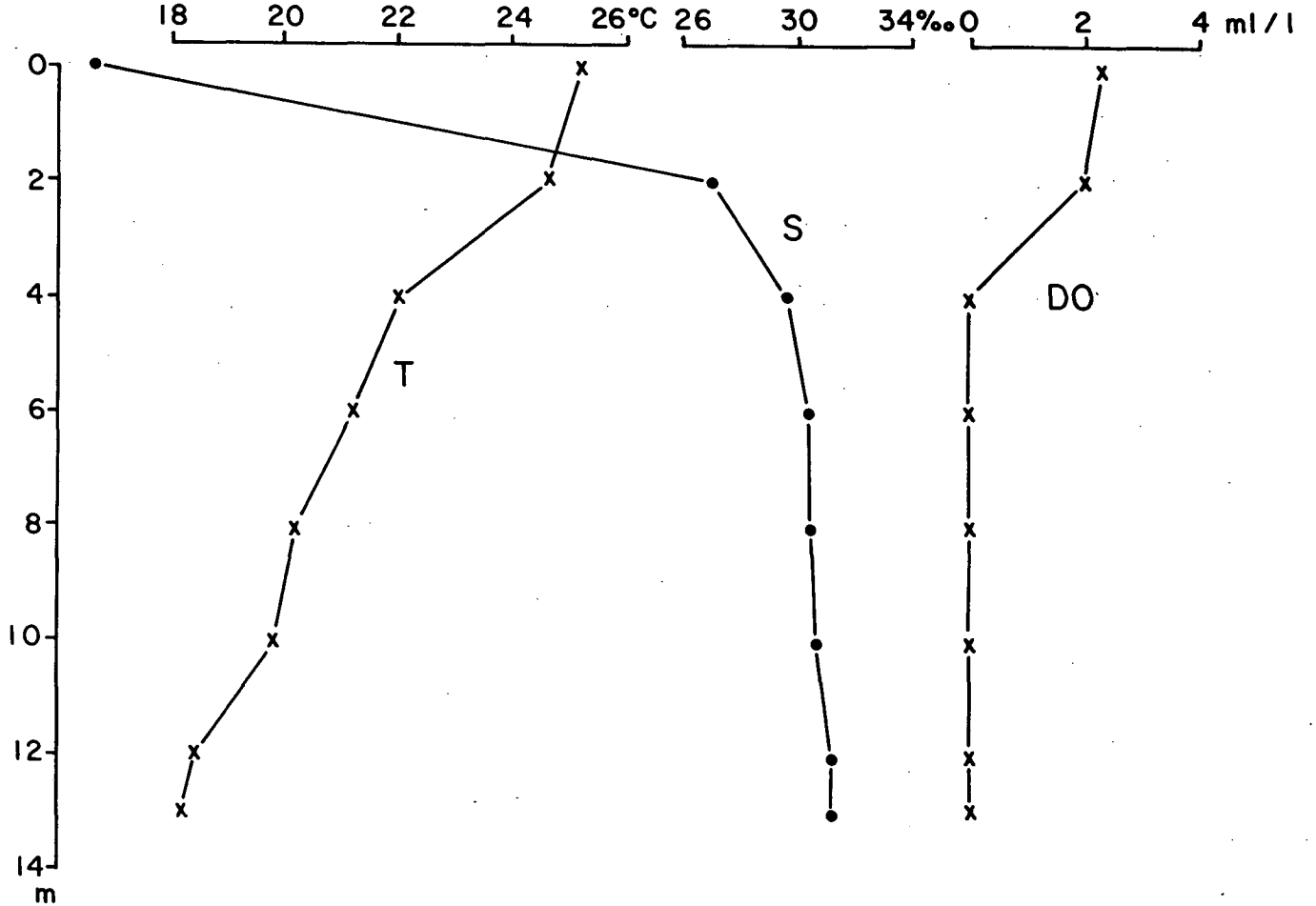

Fig. 4. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 2 in Aug., 1986.

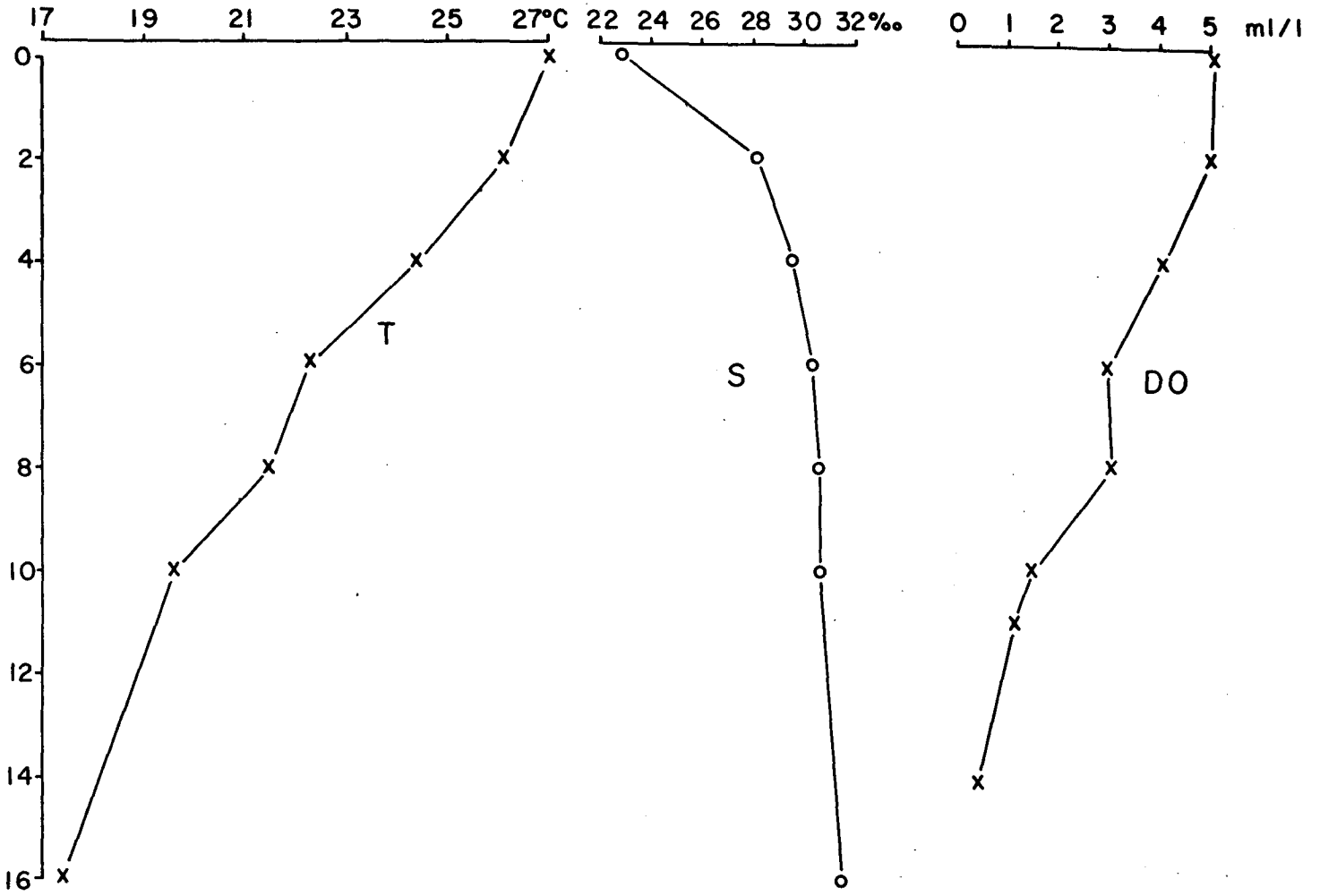

Fig. 5. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. A in Aug., 1986.

고 10 m층에서는 1.5 ml/ℓ의 낮은 값을 보였다. 소모도옆의 St.B에서는 표층수의 염분이 25.0‰, 2 m층이 28.6‰이며 4 m층부터는 약간씩의 변화만을 보인다. 수온은 2 m층까지 25℃이상이고 4 m층부터 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6). DO는 8 m층에서 3.3 ml/ℓ였다가 10 m층에서는 1.9 ml/ℓ로 감소하며 12 m층 부터는 무산소상태를 나타냈다.

돌섬안쪽의 St. 4에서 질소화합물에 대한 조사전일에 측정한 일반수질지수의 수직분포는 Fig. 7과 같다. DO는 표층에서 5 m층까지 5 ml/ℓ이상을 보였다. 그러나 5～6 m사이에서 DO는 5.3 ml/ℓ에서 1.4 ml/ℓ로 급격한 감소를 보이고있다. 이는 수온과 염분의 분포에서 볼수있는바와 같이 강한 밀도약층에 의해 표층수중의 산소가 저층수에 잘 공급되지 못하며 저층수중에는 유기물의 분해에 많은 산소가 소모되기 때문이다. 8월에 마산수로해역에서는 표층의 수온이 23.0～25.0℃였으며 저층에서는 17.0～21.0℃였다. St. 5,6에서는 표층의 염분이 각각 27.63, 26.92‰로 낮은 분포를 보이고 그 바깥쪽으로는 30‰을 넘는다. 저층수의 염분은 32.02～33.26‰로 표층에 비해 높은 값이었다.

표층의 DO는 3.74～5.01 ml/ℓ의 분포를 나타냈고 저층수에서는 St. 5와 St. 6에서 무산소상태를 보였으며 St. 7, 8, 9에서는 저층수에서 3.52～3.81 ml/ℓ의 농도를 보였다. 진해만 서부해역에서는 표층수중에 육수유입의 영향이 적었으며 St. 11의 경우 DO는 10 m층부터 5.1 ml/ℓ로 표층보다 약간 낮은 값을 보였을뿐 저층의 산소소모가 나타나지 않았다(Fig. 8).

86년 9월에 마산수로해역에서는 표층수의 수온이 20.5～21.0℃ 였으며 저층수에서는 19.8～20.2℃로 표·저층간의 수온차가 8월에 비해 훨씬 적어진 것을 알 수있다. 염분은 St. 5, 6, 7에서 각각 24.16, 26.10, 24.48‰로 8월보다 낮은 값을 나타내고있다. 저층수의 경우 염분이 31.37～31.70‰로 내만쪽과 외만쪽사이에 별 차이를 보이지 않았다. 표층수의 DO는

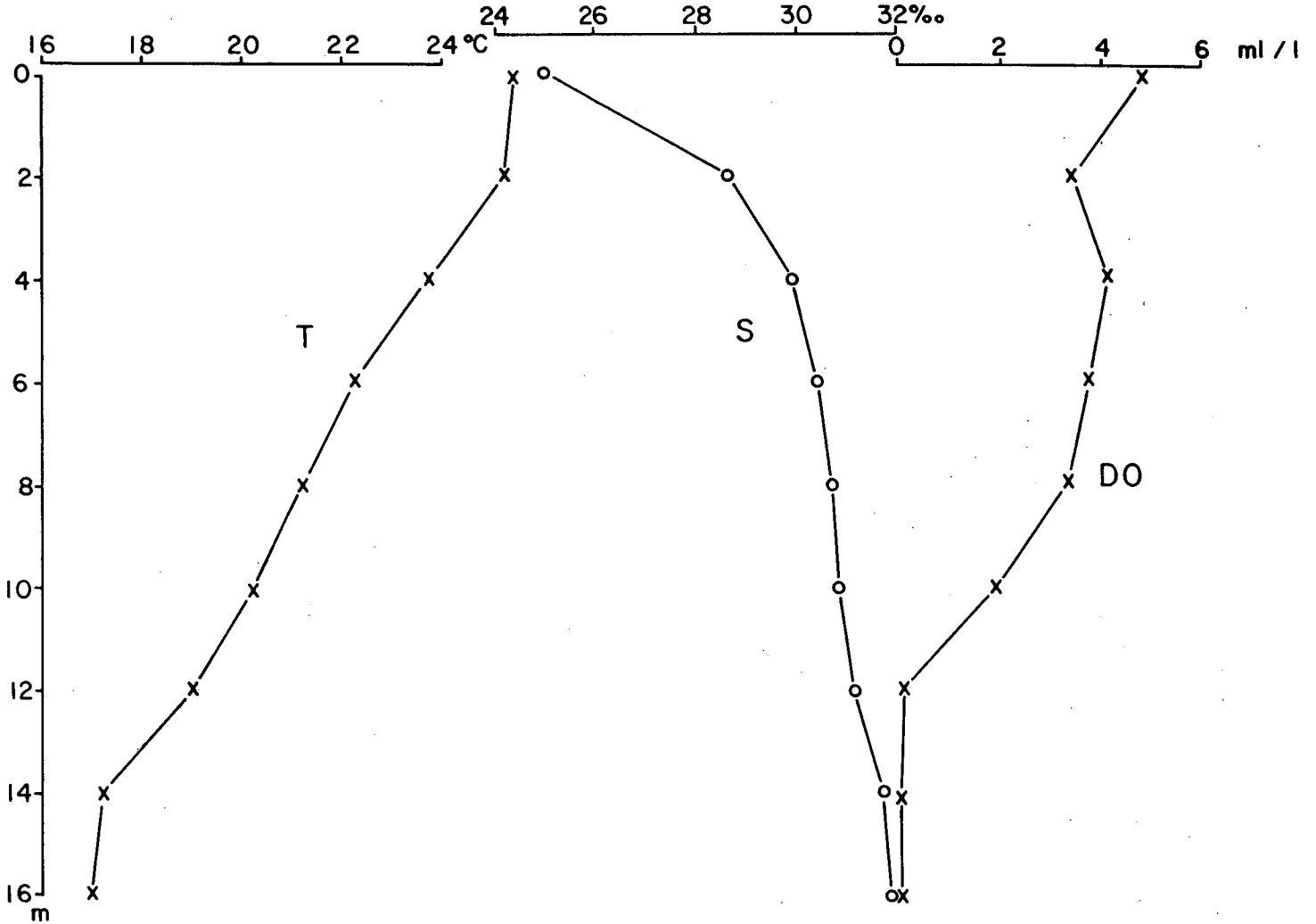

Fig. 6. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. B in Aug., 1986.

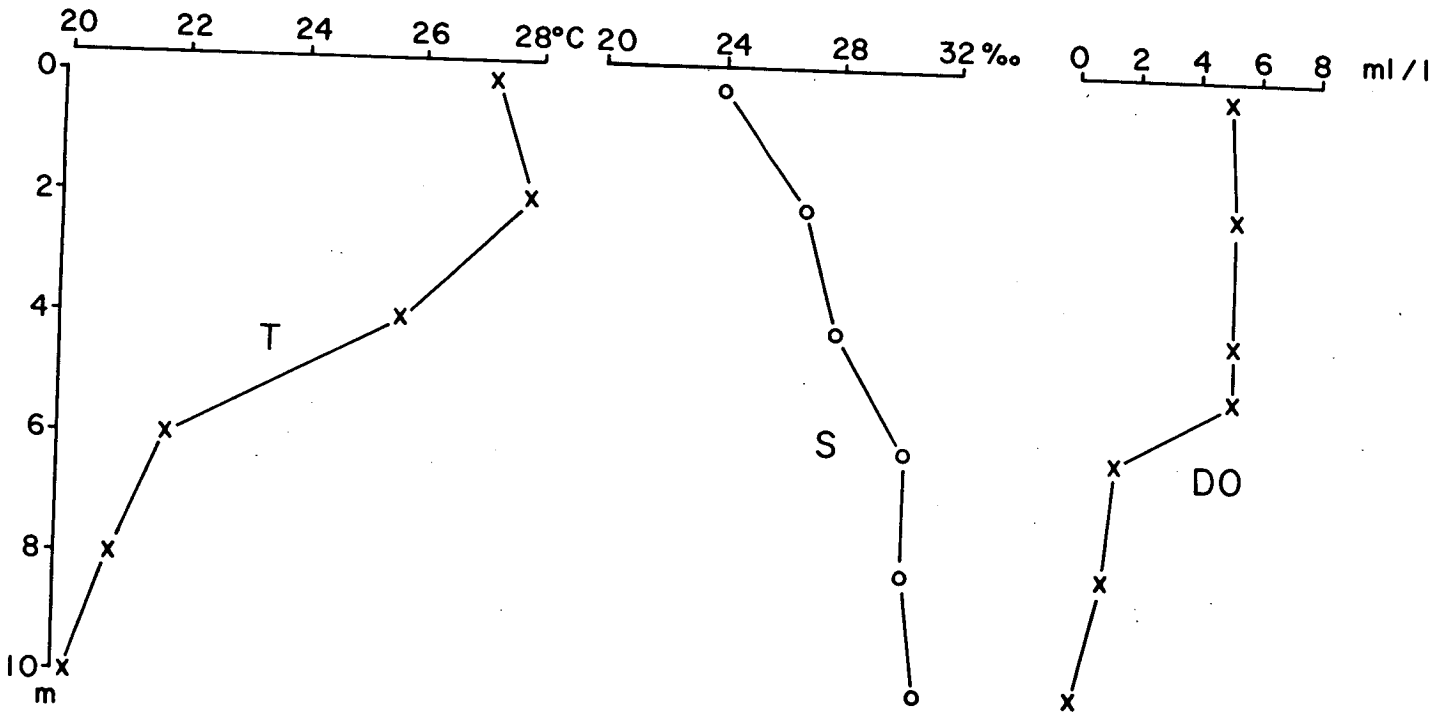

Fig. 7. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 4 in Aug., 1986.

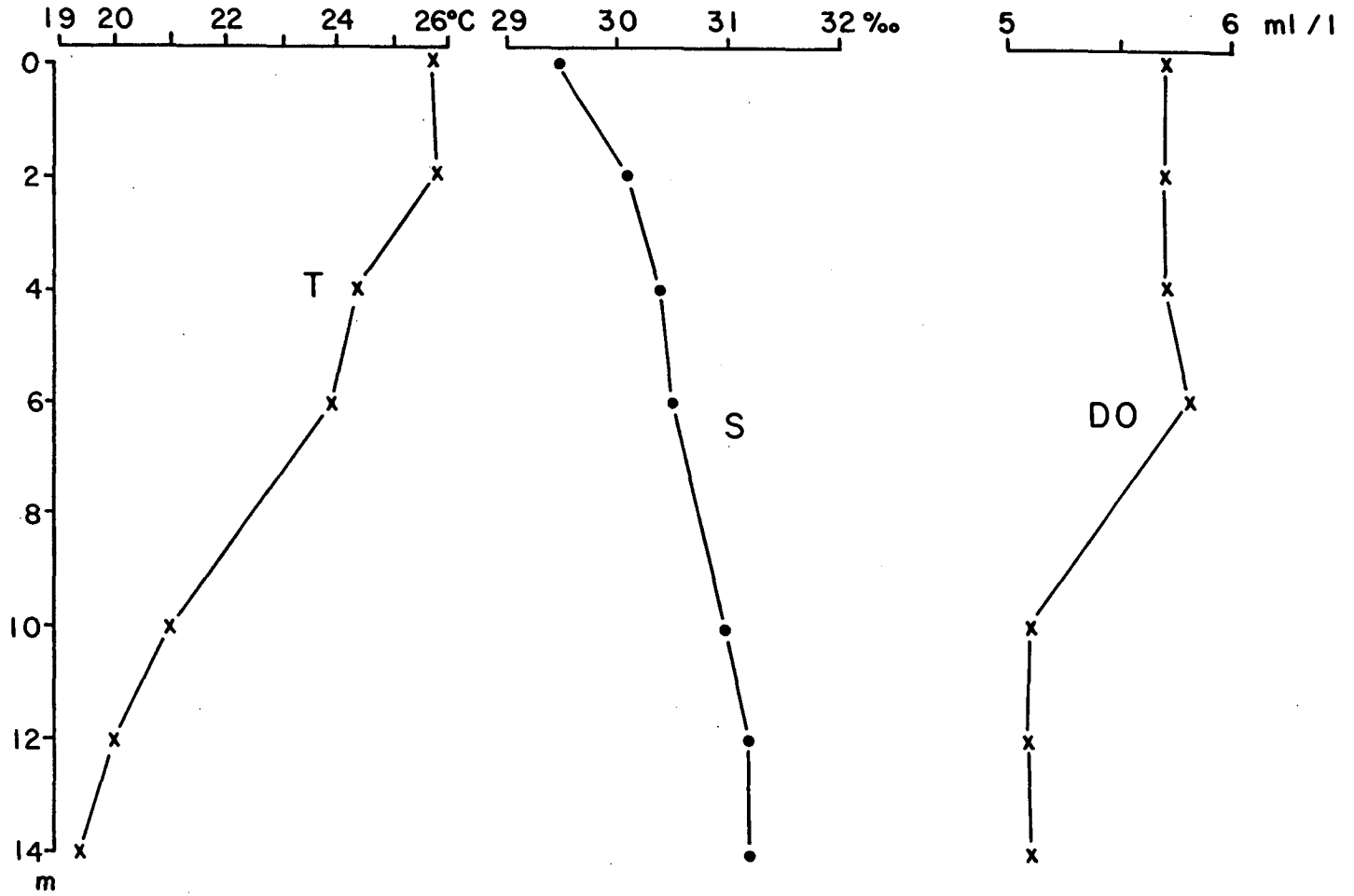

Fig. 8. Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at St, 11 in Aug., 1986.

St. 4의 9.9 ml/ℓ로 부터 외만쪽으로 갈 수록 점차 감소한다. 저층수에서는 St. 4, 5, 6에서 DO가 각각 1.0, 1.1, 1.3 ml/ℓ로 무산소상태는 나타나지않으나 아직 표·저층간의 산소교환은 원활하지 못하다고 보인다.

86년 10월에는 전역에 걸쳐 표층수의 수온이 17.0～18.9℃ 였으며 저층수에서는 16.0～18.8℃의 분포를 보였다.

마산내만에서는 표층의 염분이 St. 1, 2, 3에서 각각 26.59, 31.18, 30.56 ‰로 육수유입의 영향이 적었다. 마산수로에서는 염분이 표층에서 31.19～31.72 ‰ 이었으며 저층에서 31.22～31.76 ‰로 표·저층간의 염분차이가 적었다.

마산수로의 경우 본 조사에서 측정된 표층의 염분은 해양연구소에서 1980, 1981년에 조사한값과 비슷하다(이등, 1980, 1981). 그러나 1983년에는 하계에 이 해역에서 7～11.35 ‰의 낮은 염분을 기록한바 있어(이등, 1983) 강수량에 따른 염분변화가 년도별로 심한것을 보여준다. 저층수의 용존산소량은 St. 6에서 이등(1981)이 1981년 7, 8, 9월에 각각 nd, 0.6, 1.1 ml/ℓ를 보고한바있어 본 조사치와 비슷하다.

제 2 절 질소화합물 및 기타 영양염

1. 86년 8월

1) 암모니아－질소(NH_3-N)

8월의 NH_3－N 분포는 마산지역의 폐수가 흘러드는 St. 1의 표층에서 349.3 μg at N/ℓ로 가장 높은값을 보이며 창원공단하수가 흘러드는 St. 2에서는 이보다 훨씬 낮은 86.3 μg at N/ℓ를 보였다(Table 2). NO_3－N이 낮았던 St. 3에서는 309.1 μg at N/ℓ로 도시하수의 영향이 큰듯하다.

Table 2. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the inner Masan Bay in August, 1986.

St.	Depth	T (℃)	S (‰)	DO (ml/ℓ)	NH_3 (μg at N/ℓ)	NO_3 (μg at N/ℓ)	NO_2 (μg at N/ℓ)	DIN (μg at N/ℓ)	DON (μg at N/ℓ)	DTN (μg at N/ℓ)	PN (μg N/ℓ)	PC (μg C/ℓ)	PO_4 (μg at P/ℓ)	Si (μg at Si/ℓ)
1	0	24.9	1.8	8.0	349.3	368.9	17.41	735.6	1,261.8	1,997.4	679	2,325	10.33	-
	3	21.0	28.0	0.7	86.3	48.8	4.34	139.4	-	-	409	1,055	6.86	153.5
2	0	25.2	5.3	2.2	85.5	309.1	8.79	403.4	-	-	728	2,191	4.73	37.4
	3	23.0	28.0	nd	35.5	1.4	0.92	37.8	-	-	72	461	4.13	21.3
	12	18.4	31.2	nd	54.8	-	-	-	-	-	204	963	-	-
3	0	25.8	12.2	2.9	124.2	7.7	4.81	136.7	148.2	284.9	556	2,577	2.00	9.4
	6	21.3	30.2	1.6	47.4	4.1	0.45	52.0	-	-	248	556	5.60	8.0

돝섬앞의 St. 4에서는 표층의 NH_3-N이 31.7 μg at N/ℓ로 10배정도 희석된 값을 나타낸다(Table 3). St. 6의 표층에서는 48.9 μg at N/ℓ로 비교적 높은 값이 나타나는데 이는 이 부근에 위치한 마산의 분뇨처리장의 영향인듯 하다.

저층수에서는 NH_3-N의 농도가 St. 2의 경우 3 m층에서 35.5 μg at N/ℓ로 감소하나 10 m층에서는 54.8 μg at N/ℓ로 증가한다. 마산수로의 경우 저층수에서의 NH_3-N은 St. 4~7에서 49.1 ~ 66.0 μg at N/ℓ로 표층보다 높은 농도를 보이며 이는 저층수에서의 유기물 분해가 크게 작용하는듯 하다. 저층수중의 이러한 높은 NH_3-N농도는 Rowe *et al.* (1975)의 견해대로 저층수와 퇴적물에서의 유기물분해가 주원인인듯하다. 일본의 Beppu Bay에서는 퇴적물의 공극수에서 650 μg at N/ℓ의 NH_3-N이 검출되었으며 저층수에 대한 NH_3-N의 공급원이라 보고된바 있다(Yamaoka *et al.*, 1983).

진해만서부해역에서는 NH_3-N이 St. 10의 표층에서 5.45 μg at N/ℓ 였고 수온약층인 10 m층에서도 4.36 μg at N/ℓ를 보여 subsurface ammonium maximum이 나타나지 않고 있다(Table 4). 안등(1986)은 돝섬앞(St. 4)의 정점에서 암모니아+아미노산 질소는 하계에 높은 농도를 나타내는 주기성을 보이며 평균치가 표·저층에서 4.36, 4.08 μg at N/ℓ 로 보고한바 있는데 본 조사에서 보다 훨씬 낮은 값이다.

2) 질산염-질소(NO_3-N)

8월에 표층의 질산염-질소(NO_3-N)의 농도는 St. 1에서 368.9 μg at N/ℓ로 가장 높았으며 St. 2의 표층에서도 309.1 μg at N/ℓ이 높은 값을 보였다. 마산내만의 저층의 경우 St. 1의 3 m층(28.0 ‰)에서는 48.8 μg at N/ℓ로 높은 값을 보이나 St. 2의 3 m층(28.0 ‰)에서는 1.4 μg

Table 3. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the Masan Waterway in August, 1986.

St.	Depth	T (℃)	S (‰)	DO (㎖/ℓ)	NH_3 (μg at N/ℓ)	NO_3 (μg at N/ℓ)	NO_2 (μg at N/ℓ)	DIN (μg at N/ℓ)	DON (μg at N/ℓ)	DTN (μg at N/ℓ)	PN (μg N/ℓ)	PC (μg C/ℓ)	PO_4 (μg at P/ℓ)	$Si(OH)_4$ (μg at Si/ℓ)
4	S	26.0	22.74	5.08	31.69	36.1	11.35	79.1	73.0	152.1	553	2,750	3.20	15.8
	B	21.0	31.48	1.13	49.14	4.2	0.78	54.1	16.8	70.9	161	740	5.40	5.5
5	S	24.0	27.63	4.37	29.79	22.7	4.90	57.4	90.0	147.4	511	1,599	2.66	17.7
	B	17.0	32.47	nd	64.75	1.7	0.67	67.1	60.2	127.1	279	1,231	7.33	13.4
6	S	25.0	26.92	3.74	48.94	34.0	3.45	86.4	16.8	103.2	315	1,593	4.20	7.9
	B	17.0	32.64	nd	55.82	nd	0.80	56.6	50.2	106.9	-	-	5.66	26.6
7	S	24.0	30.46	4.73	7.57	-	1.12	8.7	46.1	54.8	465	1,677	1.46	23.4
	B	21.0	32.02	3.53	65.98	0.2	0.43	66.4	75.6	142.0	375	1,561	7.46	25.0
8	S	23.0	31.10	4.38	2.32	3.4	0.92	6.6	75.2	81.9	444	1,697	1.53	6.4
	B	21.0	32.29	3.52	13.22	6.1	1.08	20.4	-	-	-	-	2.80	7.3
9	S	24.0	31.14	5.01	1.09	1.0	0.30	2.4	59.8	62.2	889	2,381	1.33	9.4
	B	18.0	33.26	3.81	1.57	3.4	0.60	5.6	43.1	48.6	702	3,323	2.06	7.2

Table 4. Distribution of nitrogenous compounds and other related parameters in the western part of Jinhae Bay in August, 1986.

St.	Depth	T (℃)	S (‰)	DO (ml/ℓ)	NH_3 (μg at N/ℓ)	NO_3 (μg at N/ℓ)	NO_2 (μg at N/ℓ)	DIN (μg at N/ℓ)	PN (μg N/ℓ)	PC (μg C/ℓ)	PO_4 (μg at P/ℓ)	$Si(OH)_4$ (μg at Si/ℓ)
10	0	25.6	28.4	5.8	5.45	6.4	1.33	13.2	481	1,724	0.83	8.6
	10	20.6	31.2	5.5	4.36	4.3	0.65	9.3	60	437	1.76	8.7
	17	18.0	31.9	3.2	1.50	1.0	0.67	3.3	-	-	1.93	14.3
11	0	25.7	29.5	5.7	0.75	3.8	0.71	5.3	120	892	0.83	6.6
	12	20.0	31.4	5.1	1.23	10.1	0.45	11.8	250	404	1.40	5.8

at N/ℓ에 불과해 높은 NO_3-N농도가 염분의 경우와 마찬가지로 표층에 국한된 것으로 보인다. St. 4의 표층에서는 NO_3-N이 36.1 μg at N/ℓ로 NH_3-N의 경우와 마찬가지로 수출자유지역앞(St. 1)에서의 농도보다 10배정도 희석된 값을 보였다. St. 8, 9에서 NO_3-N은 각각 3.4, 1.0 μg at N/ℓ의 낮은 값을 보이고 있다. St. 10에서는 표층의 NO_3-N이 6.4 μg at N/ℓ이며 10 m층에서 4.3 μg at N/ℓ, 17 m층에서 1.0 μg at N/ℓ로 깊이에 따라 감소한다. 마산수로에서 무산소상태가 나타나는 St. 5, 6의 저층에서는 NO_3-N이 각각 1.7 μg at N/ℓ, nd의 분포를 보이고 있어 유기물분해에 NO_3-N이 소비되는 탈질소반응이 일어나는 것으로 보인다. Yang *et al.* (1983)은 1979-1982년의 조사에서 적조발생시에는 마산수로의 NO_3 + NO_2의 농도가 평균 24.1 μg at N/ℓ이고 적조가 발생하지 않을 시에는 평균 12.9 μg at N/ℓ라고 보고한 바 있는데 86년 8월의 조사에서는 NO_3-N이 적조발생시의 평균농도보다 약간 높은 값을 나타내고 있다. 안등(1986)은 돝섬앞(St. 4)의 정점에서 NO_3-N의 평균치가 표층에서 29.5 μg at N/ℓ라고 보고한바 있는데 이는 8월 본 조사의 수치보다 약간 낮은 값이다.

3) 아질산염-질소(NO_2-N)

8월에 NO_2-N은 St. 1의 표층에서 17.41 μg at N/ℓ로 가장 높고 St. 2, 3의 표층에서도 각각 8.79, 4.81 μg at N/ℓ를 보였다. 마산수로에서는 St. 5에서 St. 9까지 4.9 μg at N/ℓ에서 0.30 μg at N/ℓ의 낮은 농도를 보인다. 진해만서부해역의 St. 10에서는 표층이 1.33 μg at N/ℓ를 보이며 10, 17 m층에서는 각각 0.65, 0.67 μg at N/ℓ였다.

4) 용존성무기질소(DIN)

NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N을 합한 용존성무기질소(DIN, Dissolved Inor-

ganic Nitrogen)의 총량은 8월에 St. 1의 표층에서 735.6 μg at N/ℓ로 가장 높은 농도를 보였다. 마산내만의 경우 DIN은 St. 2, 3의 표층에서 각각 403.4, 136.7 μg at N/ℓ의 농도를 보이며 마산수로에서는 외만쪽으로 가며 점차 감소하고 있다. 일본의 수산환경수질기준에서는 적조가 일어나기 위한 DIN의 최소농도를 7.14 μg at N/ℓ (일본수산자원보호협회 ; 1972) 로 보고 있는데 조사해역의 경우 마산수로에서는 St.8, 9의 표층이 각각 6.6, 2.4 μg at N/ℓ로 위의 값보다 낮으며 진해만서부해역의 St. 11에서도 표층이 5.2 μg at N/ℓ로 이 값을 넘지 않고 있다.

조사해역에서 용존성무기질소는 주로 마산내만에 유입되는 질소원이 점차 희석되어 전역에 공급되는 것으로 알려져있다(Yang and Hong, 1982 : Yang *et al.*, 1983,1984). 그러나 수출 자유지역앞의 St. 1에서는 NO_3-N, NH_3-N이 다같이 높고 창원공단하수가 흘러드는 St. 2에서는 NO_3-N이 상대적으로 높고 St. 3에서는 NO_3-N은 낮으나 NH_3-N은 높은 양상을 보여 마산내만에 유입되는 각 육수원이 용존성무기질소의 성분에서 각각 다른 조성을 보임을 알 수있다. Fig. 9에서 볼 수있는 바와 같이 마산내만과 마산수로의 정점들에 대해 염분과 DIN의 관계를 고려하면 St. 1에서부터 염분에 따라 DIN농도가 점차 감소하는 것이 아니라 중간의 염분범위에서 상관관계가 변하는 것을 알 수 있는데 이는 유입되는 여러 육수원의 DIN농도가 각기 다르기 때문이다. 영국의 Clyde Estuary에서도 여러 육수원에 따른 이러한 NO_3-N과 염분의 관계가 보고된바 있다(Mackay and Leatherland, 1976).

5) N/P비

DIN과 PO_4의 비로 계산한 N/P비는 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이 표층의 경우 염분이 낮은 마산내만에서 높은 값을 보이고 외만쪽으

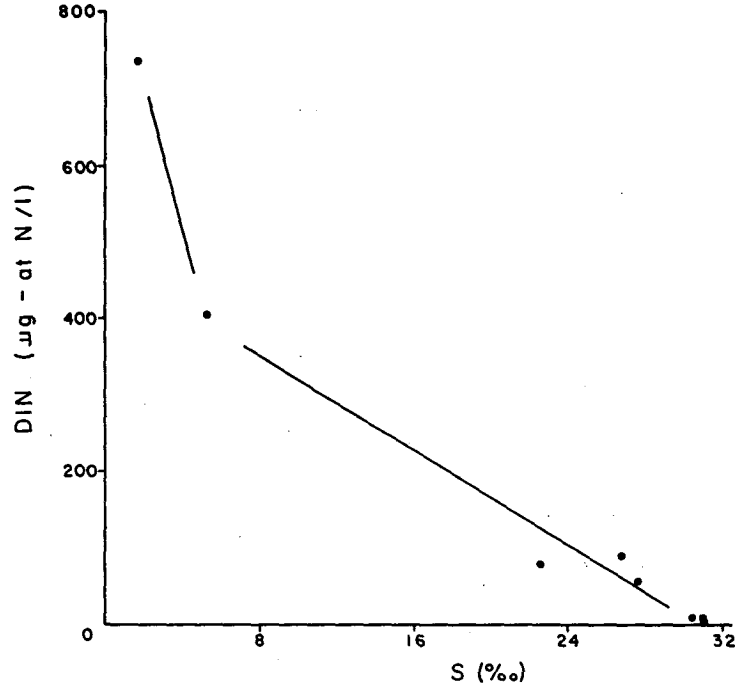

Fig. 9. Relationship between salinity and DIN in the surface waters in Aug., 1986.

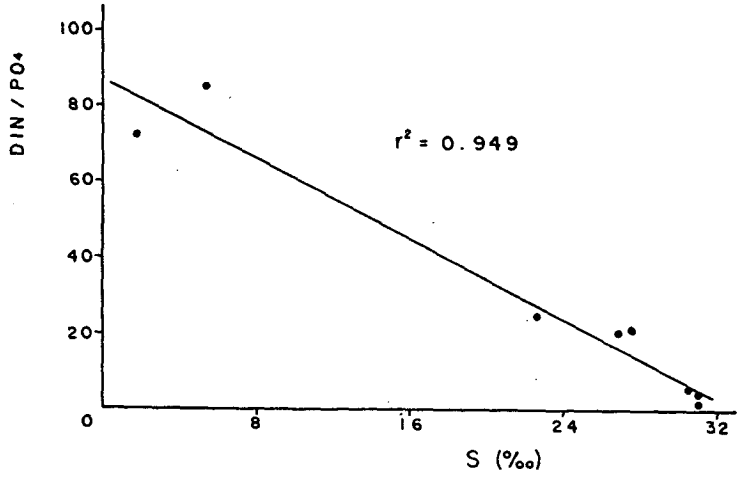

Fig. 10. Relationship between salinity and N/P ratio in the surface waters in Aug., 1986.

로 가며 점차 감소한다. N/P비의 이러한 염분에 따른 변화는 마산내만에 유입되는 육수에 상대적으로 용존성무기질소가 풍부하기 때문이다. 질소와 인은 실물성플랑크톤의 성장을 제한하는 중요한 인자들이기 때문에 흔히 N/P비에서 부터 어느 원소가 주어진 환경에서의 성장제한인자인가를 구별하는 경우가 많다. Redfield(1958)는 원양에서 식물플랑크톤의 N/P비를 원자비로 15라고 밝혔고 여기에 근거하여 유기물의 분해와 산소소비에 대한 정량적인 해석이 시도되었다. Ryther and Dunstan(1971)에 의하면 식물성플랑크톤의 N/P비는 3에서 30까지 변할수 있고 최적조건인 비율을 제시할 수 없지만 대체로 5 : 1에서 15 : 1까지라고 보고한바 있다. 또한 해양의 생태계에서 인은 질소에 비해 그 순환속도가 약 1.5배라고 알려져있어 (Pomeroy *et al.*, 1963) N:P는 16 : 0.67로서 식물플랑크톤의 성장에 충분하다는 견해도 있다. 그리고 오염된 하구역에서는 처리안된 폐수가 유입될시 N/P비가 10정도이며 처리된 폐수에서는 5정도라고 알려져있다 (Ryther and Dunstan, 1971). 조사해역의 경우 St.8,9에서 N/P비가 각각 5,95, 4.34로 낮은 값을 보이며 DIN농도가 낮은 것을 볼때 이 정점들에서는 질소가 식물성플랑크톤의 성장을 제한한다고 볼 수있다.

6) 용존성유기질소(DON)와 용존성총질소(DTN)

DON은 St.1의 표층에서 1261.8μgat N/ℓ로 가장높고 PON에 비해 30배이상 높은 값을 보인다. St.3의 표층에서는 148.2μgat N/ℓ를 보였고 St. 4, 5의 표층에서는 각각 73.0, 90.0μgat N/ℓ로 외만에 비해 높은 값을 보인다. Sasaki and Matsukawa(1982)가 Toyo River 하구에서 조사한 하계의 DON은 최고 약 40μgat N/ℓ를 보여 본조사의 마산수로에서의 값과 비슷한 분포를 보이고 있다. DTN의 분포에서도 여러 육수유입원의 성분차이에 의해 염분에 따라 농도변화가 직선이 아니라 exponential regression의 관계($r^2 = 0.926$)를 보이고 있다(Fig.11).

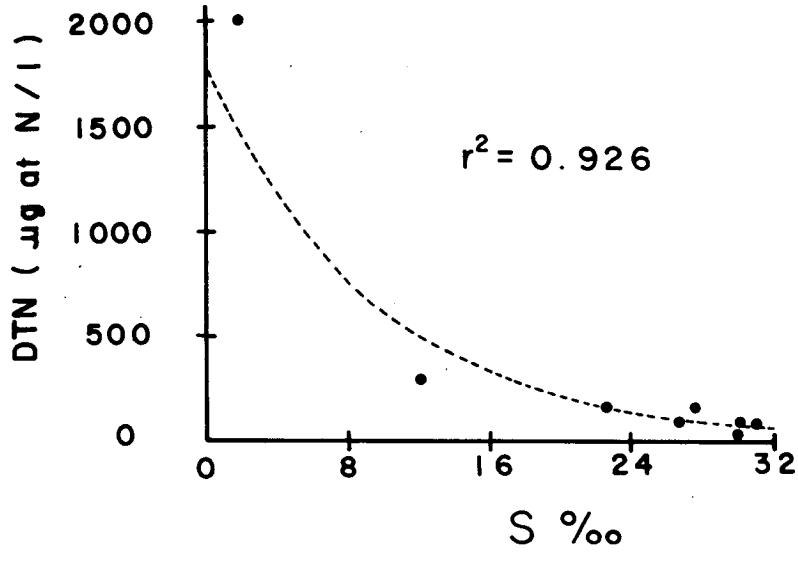

Fig. 11. Relationship between salinity and DIN in the surface waters in Aug., 1986.

7) 입자상질소(PN)와 입자상탄소(PC)

PN은 8월에 St.1,2의 표층에서 각각 679, 728μg N/ℓ 였으며 St.4에서 St.6까지는 553에서 315μg N/ℓ까지 감소하나 St.9의 표층에서는 889μg N/ℓ의 높은 값이 기록되었다. DIN과 DON이 육수유입원에서 마산수로에 이르는 동안 크게 변화하는데에 비해 PN은 St.1, 2와 마산수로 해역사이에 변화가 크지 않으며 이러한 변화는 식물성플랑크톤의 현존량차이에 따라 생길 수도 있다. 따라서 마산내만에 육수로 부터 유입되는 질소원은 조사시기의 경우 주로 용존성무기, 유기질소에 의한 것이고 입자상질소의 유입은 아주 적었다고 할 수 있다. 저층은 표층보다 PN이 적어 St.2의 3, 10 m층에서는 각각 71.5, 203.7μg N/ℓ를 보였다.

입자상탄소(PC)는 St.1,2의 표층에서 각각 2325, 2195μg C/ℓ였으며 St.4의 표층에서는 2750μg C/ℓ로 높은 값을 보였다. 저층에서는 대체로 표

층보다 PC의 농도가 낮은편이었다. 1983년 7월 마산수로에서 Yang *et al.*(1984)이 조사한 PC, PN의 농도에 비해 본 조사치는 PC의 농도는 비슷하나 PN이 다소 높은편이다. 입자상유기물의 C/N비는 표층수에서 2.68~7.46의 분포를 보였으며 내만의 St.1,2에서 각각 3.42, 3.01이었고 외만쪽에서는 이보다 높은 값을 보인다. 식물성플랑크톤의 C/N비는 3 : 1에서 9 : 1까지 변한다고 알려져 있으며(Parsons *et al.*, 1961), Strickland(1965)는 영양염이 풍부한 연안해수에서 C/N비를 3으로 보고 있다. 조사해역에서 입자상유기물이 주로 식물성플랑크톤이라고 생각하면 마산내만측의 C/N비는 Strickland(1965)의 값과 비슷하다.

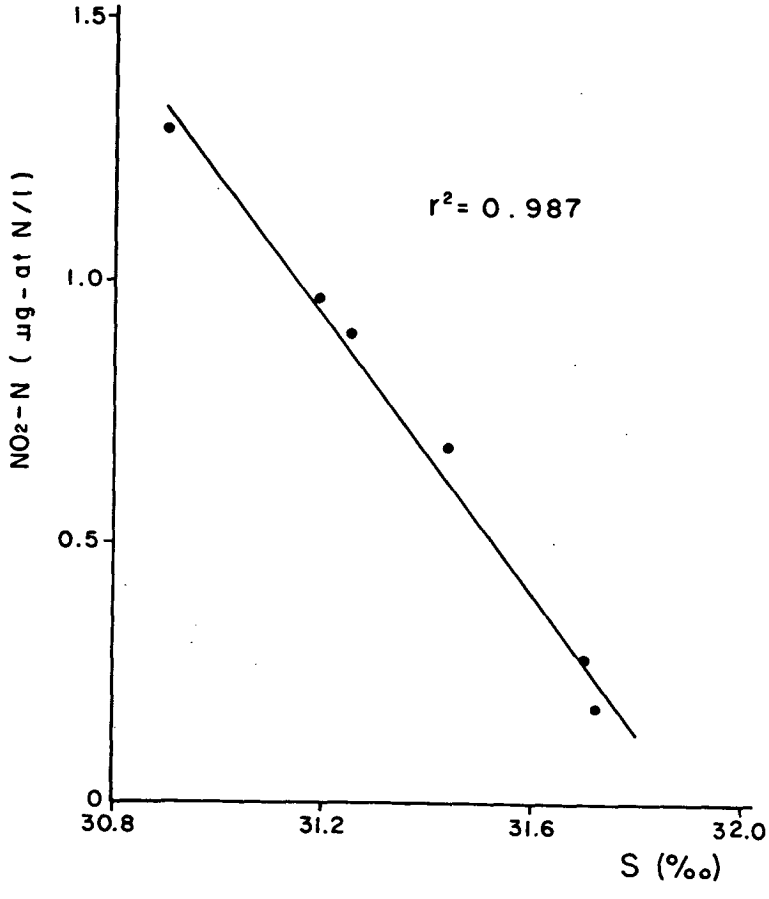

Fig. 12. Relationship between salinity and NO_2-N in the surface waters in Oct., 1986.

8) 인산염-인(Po_4-P)과 규산염-규소〔$Si(OH)_4$-Si〕

8월에 Po_4-P의 농도는 St.1에서 10.33μgat P/ℓ로 가장 높고 St. 4의 표층에서는 3.20μgat P/ℓ였으며 가장 바깥쪽의 St.9에서는 1.33μgat P/ℓ의 농도를 보였다. Kuhl(1974)에 의하면 PO_4-P가 0.6 μg at P/ℓ이상이면 식물성플랑크톤성장의 제한인자가 아니라고 보는데 St.10,11 에서도 모두 0.38 μg at P/ℓ로 이 값을 넘고 있다. $Si(OH)_4$-Si는 St.2와 7의 표층에서 각각 37.4,23.4 μg at Si/ℓ이상으로 다른정점들에서 보다 높은 값을 나타냈다. 저층수에서는 St.6과 7에서 각각 26.6,25.0 μg at Si/ℓ의 높은 농도를 보였다.

2. 86년 9, 10월

9월에 표층의 NO_3-N은 St.4, 5에서 각각 79.9, 61.9μgat N/ℓ로 8월보다 높은 값을 보였다(Table 5). 저층수에서는 탈질소반응이 중지되고 다시 NO_3-N의 공급을 받은듯 농도가 4.2~5.1μgat N/ℓ를 보였으며 내만과 외만쪽의 차이가 적었다.

NO_2-N은 St.4의 표층에서 5.07μgat N/ℓ로 역시 8월보다 높은 값을 보였다. 저층수에서는 0.75~0.99μgat N/ℓ로 내·외만의 차이가 적었다.

PO_4-P는 9월에 마산수로의 표층에서 0.63~1.76μgat P/ℓ의 분포를 보여 8월보다 낮은 값을 기록했으며 $Si(OH)_4$-Si는 8월에 비해 큰 차이가 없었다.

10월에 NO_3-N은 마산수로에서 St.4의 경우 31.0μgat N/ℓ로 8월과 비슷한 값이나 St.5, 6에서는 8월보다 낮은 값을 보였다(Table 6). NO_2-N은 표층의 경우 내만에서 외만쪽으로 가며 그 농도가 감소하는데 Fig. 12에서 볼 수 있는 바와 같이 염분에 대해 매우 좋은 상관관계(r^2 =

Table 5. Distribution of general water quality parameters and nutrients in Jinhae Bay in September, 1986.

St.	Depth	T (°C)	S (‰)	DO (mℓ/ℓ)	NO_3 (μg at N/ℓ)	NO_2 (μg at N/ℓ)	PO_4 (μg at P/ℓ)	$Si(OH)_4$ (μg at Si/ℓ)
4	S	21.0	24.22	9.9	79.9	5.07	1.76	20.4
	B	20.2	31.37	1.0	5.0	0.88	3.50	15.2
5	S	20.5	24.16	7.4	61.9	2.36	1.10	18.9
	B	20.0	31.69	1.1	5.1	0.99	1.73	16.1
6	S	20.5	26.10	6.5	33.4	2.61	0.63	10.9
	B	19.8	31.69	1.3	4.9	0.89	1.70	16.7
7	S	20.8	24.48	5.8	8.3	0.92	0.65	8.5
	B	19.8	31.70	3.4	4.6	0.80	1.10	11.4
8	S	20.5	29.93	5.8	11.5	1.11	0.63	8.4
	B	19.8	31.62	3.9	4.2	0.75	0.88	-
9	S	21.0	30.63	5.8	-	-	-	-
	B	20.0	31.59	4.1	-	-	-	-

Table 6. Distribution of general water quality parameters and nutrients in Jinhae Bay in October, 1986.

St.	Depth	T (℃)	S (‰)	DO (mℓ/ℓ)	NO_3 (μg at N/ℓ)	NO_2 (μg at N/ℓ)	PO_4 (μg at P/ℓ)	$Si(OH)_4$ (μg at Si/ℓ)
1	S	17.0	26.59	1.1	49.8	2.54	3.69	17.6
2	S	18.5	31.18	2.9	10.0	0.57	2.25	11.7
	B	18.8	31.52	2.5	3.5	0.22	1.70	6.4
3	S	18.2	30.56	3.7	27.0	1.59	2.27	12.8
	B	18.2	31.44	3.9	9.6	0.42	1.66	7.7
4	S	17.0	30.90	3.6	31.0	1.29	1.98	11.4
	B	17.0	31.43	5.6	9.4	0.44	1.91	8.4
5	S	17.0	31.19	5.6	9.9	0.97	1.28	11.2
	B	17.0	31.55	5.9	4.1	0.35	1.14	6.6
6	S	17.0	31.25	5.6	15.8	0.90	1.43	10.1
	B	16.0	31.60	5.8	2.1	0.25	0.99	5.1
7	S	16.5	31.44	5.7	9.9	0.68	1.05	6.7
	B	16.5	31.22	5.8	3.1	0.23	0.78	4.4
8	S	17.0	31.70	5.7	2.3	0.28	0.93	6.8
	B	17.5	31.68	5.8	2.1	0.26	0.95	7.1
9	S	17.0	31.72	5.7	1.9	0.18	0.85	5.1
	B	17.5	31.76	5.8	2.6	0.22	0.91	6.9
11	S	18.9	31.64	5.7	1.4	0.28	0.82	5.3
	B	18.4	31.67	5.7	1.9	0.21	0.91	5.7
12	S	18.9	31.74	5.8	2.5	0.22	0.82	5.9

0.983)를 나타냈다.

해양연구소의 1979~1982년의 조사에서(Yang *et al.*, 1983)적조발생시 마산수로의 표층수에서 NO_3+NO_2가 24.1μgat N/ℓ, 적조가 발생하지 않을시 12.9μgat N/ℓ라고 보고한것과 비교하면 86년 9월의 표층수중 NO_3-N 농도는 적조발생시의 값을 훨씬넘으며 10월의 값은 적조가 발생하지 않을 때의 농도와 비슷하다.

10월의 PO_4-P는 St.1의 표층에서 3.69μgat P/ℓ로 가장 높은 값이었고 St.9와 진해만서부해역에서는 0.82~0.85μgatP/ℓ로 8월과 비슷한 분포를 보였다. $Si(OH)_4$-Si의 분포역시 PO_4-P와 같이 외만쪽으로 가며 감소하는데 9월보다는 다소 낮은 값이었다.

제3절 산 소 소 비 율

해수중의 용존산소는 비보존성성분중 가장 널리 연구된 것이며 그 분포는 해수-대기면의 교환, 광합성에 의한 생산, 생물의 호흡에 의한 소비, 물리적인 작용에 의한 교환등에 의해 변화한다. 생물의 호흡에 의한 산소소비는 매우 낮은 비율로 진행되고 측정이 힘들다. 그러나 이는 해양생태계에서 유기물질의 합성및 분해, energy flow를 이해하기 위해 필수적으로 알아야할 요소이다.

지금까지 호흡에 의한 산소소비율(Respiratory oxygen consumption rate)은 ^{14}C에 의해 간접측정하거나(Eppley and Sloan, 1965), 농집된 플랑크톤시료에 의해(Pomeroy and Johannes, 1968 : Hobbie *et al.*, 1972), 그리고 심해의 경우 advection - diffusion model에 의해(Craig, 1971 : Kroopnick, 1974)측정되었다. 60년대부터는 호흡에 사용되는 효소의 활동도를 측정함으로서 간접적으로 산소소비율을 측정하는 방법이 시작되었다(Curl and Sandberg,1961).

호흡에 있어서 속도를 제한하는 인자는 Electron Transpot System(ETS)이며 이는 동식물에 거의 공통된 것이다. ETS의 활동도는 여러가지 보정을 거쳐 산소소비율로 환산되며 측정방법이 단순하고 낮은 농도에까지 적용될 수 있어 널리 사용되고 있다(Kenner and Ahmed, 1975). 또한 근래에는 Winkler 측정이 정확해지게되어 현장배양에 의한 산소소비율의 직접측정도 가능해지게 되었다(Packard and Williams, 1981).

86년 8월에 조사한 진해만의 ETS 활동도는 Table 7과 같다.

ETS의 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 많은곳은 0.43을 사용하였다. 또한 호흡율(RQ)을 1로보고 소비된 탄소량(C loss)을 계산하였다.

조사해역에서 가장 높은 ETS 활동도는 St.1의 표층에서 212.1$\mu\ell$ O_2 / ℓ/h였으며 St.2의 표층에서도 11.3$\mu\ell$ O_2/ℓ/h로 다른 정점들에서보다 높은 값을 나타났다. 마산수로에서 표층수중의 ETS 활동도는 외만으로 갈수록 점차 감소하여 St.7, 8, 9의 표층에서는 4.4~4.6$\mu\ell$ O_2/ℓ/h의 분포를 보였다. 저층에서는 2.5~13.4$\mu\ell$ O_2/ℓ/h의 범위를 보였는데 무산소상태인 St. 5, 6의 저층에서 각각 2.5, 2.8$\mu\ell$ O_2/ℓ/h로 낮은 값을 나타냈다. 마산수로에서의 본 조사치는 Packard(1979)가 upwelling이 일어나는 북서아프리카해역에서 조사한 8.5$\mu\ell$ O_2/ℓ/h와 비슷한 값이며 역시 upwelling 해역인 페루의 27.6$\mu\ell$ O_2/ℓ/h 보다 훨씬 낮은 값이다. California Bight의 산업폐수가 배출되는 해역에서 조사한 ETS 활동도는 1~5 $\mu\ell O_2/\ell$/h (Packard, 1985)로 마산수로에서의 측정치는 이보다 다소 높은 값이다. 저층수의 용존산소농도는 식물성, 동물성플랑크톤및 어류의 호흡에 의한 산소소비, 박테리아의 유기물분해에 사용되는 산소소비, 저서생물의 물질대사에 의한 산소

Table 7. ETS activity and respiratory oxygen consumption rate in Jinhae Bay.

St.	Depth	ETS ($\mu\ell\ O_2/\ell/h$)	R ($\mu\ell\ O_2/\ell/h$)	C loss ($\mu g\ C/\ell/hr$)
1	0	212.1	31.82	17.06
2	0	11.3	1.70	0.91
	3	10.1	1.52	0.81
	12	8.7	3.74	2.00
3	0	7.2	1.08	0.58
	6	9.5	4.09	2.19
4	S	7.1	1.07	0.57
	B	7.2	3.10	1.66
5	S	9.8	1.47	0.79
	B	2.5	-	-
6	S	5.4	0.81	0.43
	B	2.8	-	-
7	S	4.6	0.69	0.37
	B	9.1	3.91	2.10
8	S	4.4	0.66	0.35
	B	13.4	5.76	3.09
9	S	4.6	0.69	0.37
	B	2.8	1.20	0.64

소비, 표층수로 부터의 공급등에 의하여 변하게 된다. 밀도약층아래에서도 식물성플랑크톤의 호흡에 의한 산소소비는 상당한량에 달할 수 있어 NY Bight의 경우 1976년 하계에 5400 $m\ell O_2/m^2/day$를 나타내 이는 저서생물 호흡량의 1.5배에 달하여 무산소상태가 되는데 주 역할을 했다(Falkowski *et al.*, 1980). 표층수에서 저층수로의 용존산소확산은 다음과 같은 Fick의 확산법칙을 사용하여 계산할 수 있다.

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

Kz의 값은 주어진 물리조건에 따라 변하며 측정하기 어려운데 Eppley *et al.*(1979)과 King and Devol(1979)은 0.05～1.10 cm^2/sec를 보고한바 있다. Kz가 0.1 cm^2/sec인 경우 St.4에서는 용존산소의 수직분포로 부터 밀도약층을 통한 산소공급이 112.2 $m\ell O_2/m^2/day$ 정도가 될것이라 계산할 수 있다. St.4의 밀도약층아래에서의 호흡에 의한 산소소비율은 ETS활동도로 부터 442 $m\ell O_2/m^2/day$의 값을 얻을수 있다. 이 정점에서 밀도약층아래 6 m 두께의 저층수에는 16,400 $m\ell O_2/m^2$의 용존산소가 포함되어 있다. 수층의 산소소비율만으로 무산소상태가 되기까지 걸리는 시간을 계산해 보면 표층수로 부터 확산되는 산소량을 뺀 330 $m\ell O_2/m^2/day$로 수층내의 용존산소량을 나누어 50일 정도의 값을 얻을수 있다. 그러나 여기에는 동물성플랑크톤과 저서생물의 호흡에 의한 산소소비가 포함되어 있지 않기 때문에 실제로는 훨씬 더 빨리 무산소상태가 된다고 생각할 수 있다.

퇴적물에 의한 산소소비율은 본 조사에서 직접 측정되지 않았으나 퇴적물의 표면 1 cm층의 ETS 활동도는 8월에 조사해역에서 4.1 $\mu\ell O_2/cm^3/h$였다(Yang, in preparation). Christensen(1983)은 Puget Sound와 Buzzards Bay에서 표층 1 cm층의 ETS 활동도와 bell jar에 의한 산소소비율(R)을 비교

한 결과 R = 0.17±0.03ETS의 관계식을 얻은바있다. St.4의 경우 이 관계식을 적용하면 퇴적물에 의한 산소소비율은 138～197 $m\ell\ O_2/m^2/day$이다. 퇴적물에 의한 산소소비율까지 감안하면 St.4에서 31～35일후에는 용존산소가 저층수에서 완전소모되어 무산소상태가 될것으로 예측할 수 있다.

퇴적물에 의한 산소소비율로서의 위의 값은 Puget sound의 180～450 $m\ell\ O_2/m^2/day$(Pamatmat,1977), N. Baltic에서 Nedwell *et al.*(1983)이 측정한 200 $m\ell\ O_2/m^2/day$ 등과 비슷한 값이다.

산소소비율은 Christensen and Packard(1976)처럼 정기적인 현장조사에서 구한 용존산소농도의 시간별감소량에 의해서도 추산할 수 있다. 이들은 Dabob Bay에서 염분이 같은 해수중의 용존산소농도의 감소로 부터 18.5±5.7 $\mu\ell\ O_2/\ell/day$의 산소소비율을 계산했다.

같은 조사해역에서 1979～1983년에 해양연구소에서 조사한 결과를 보면 St.4와 St.6에서는 매년 하계에 무산소환경이 나타나고 있다. 용존산소농도의 감소는 일반적으로 4월부터 시작되지만 완전히 산소가 소모되는 시기는 6～8월이며 매년 다른 산소소비속도를 보이고 있다. 1981년에 St.6의 위치에서 월별로 조사된 저층수의 용존산소농도는 Fig.13과 같으며 0.068 $m\ell\ O_2/\ell/day$의 소비율을 보이고 있으며 돌섬옆의 정점에서도 같은 소비율을 보였다. 그러나 표층수중의 용존산소가 계속적으로 저층수에 확산되기 때문에 실제 저층수에서의 생물에 의한 산소소비율은 위의 수치보다 더욱 빠를것이다.

무산소상태가 나타나며 NO_3-N이 1.7 $\mu gat\ N/\ell$의 낮은 농도를 보인 St.5의 경우 ETS활동도로 부터 탈질소반응의 속도를 추산할 수 있다. ETS활동도 2.5 $\mu\ell\ O_2/\ell/h$는 NO_3 제거율로 환산할시 3.32 $\mu g\ N/\ell/day$가 된다. 조사해역의 저층수에는 무산소상태가 아닌 같은 염분의 해수에서 NO_3가 약 56$\mu g\ N/\ell$이므로 이러한 비율이라면 약 17일정도후에는 NO_3가 소모되

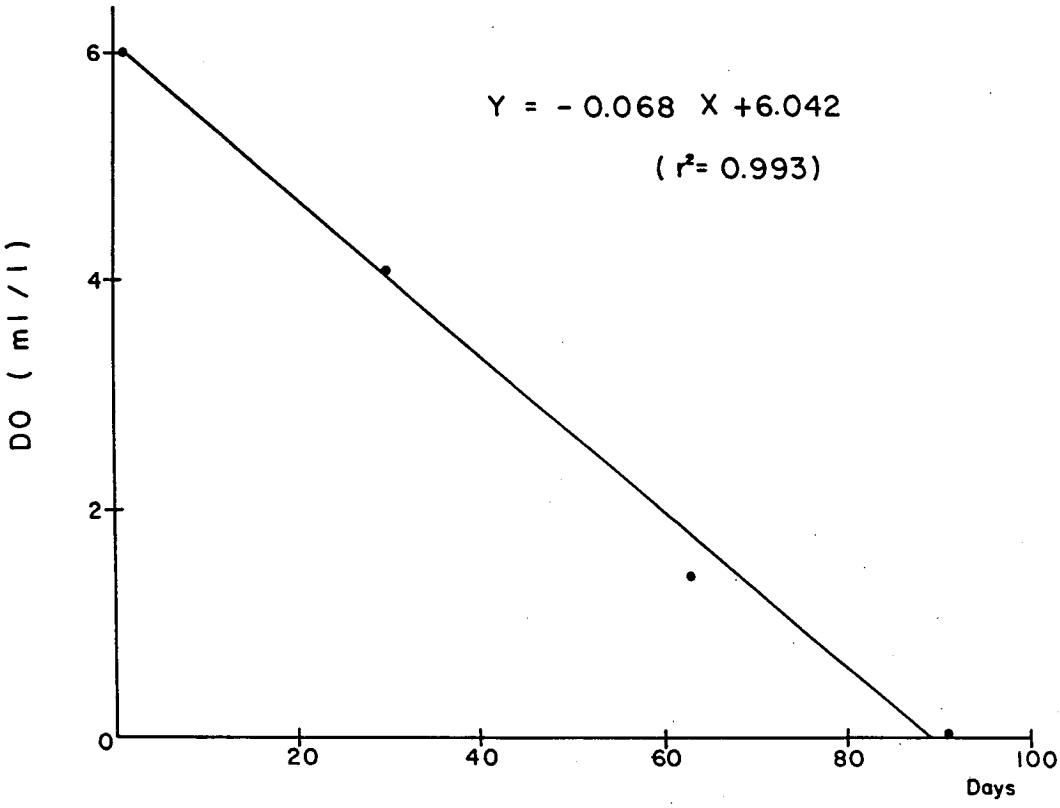

Fig. 13. Decrease of DO content in the bottom waters of St. 6 from April to July, 1981.

고 sulfate reduction이 시작되어 유독한 H_2S가 생성될것으로 추정할수 있다.

그러나 NO_3는 표층수로 부터 공급될 수 있고 퇴적물로 부터의 탈질소 반응도 있어 실제 NO_3가 완전소모되는데 걸리는 시간은 위의 값과 많이 차이가 날것으로 보여진다. St. 6에서는 NO_3 제거율이 3.72 $\mu g N/\ell/day$ 로 St. 5와 비슷하였다.

또한 St. 4의 저층수에서 호흡에의한 산소소비가 모두 유기물분해에 사용되었다면 1.66 $\mu gC/\ell/h$의 비율로 유기물이 분해되어진다고 할 수 있다. 저층수전체에 대해서는 유기물분해율이 177$mg\ C/m^2/day$ 정도가 된다.

제 4 절 일 차 생 산 성

86년 8월에 표층에서 식물성플랑크톤에 의한 일차생산성은 마산내만의 St.2에서 1034 ㎎C/㎥/day였으며 St.3에서 1300 ㎎C/㎥/h로 높은 값을 나타냈다. St.6에서는 539 ㎎C/㎥/day로 마산내만의 반정도의 생산성을 보였으며 St.11에서는 이보다 훨씬 낮은 109 ㎎C/㎥/h였다. 식물성플랑크톤의 C/N비를 7로 보고 N요구량을 계산해보면 St.2,3에서는 각각 148,185 ㎎N/㎥/day이다.

진해만 서부해역의 St.11에서는 표층의 DIN이 72.8 ㎍N/ℓ이기 때문에 C/N비를 7로 보고 N요구량을 계산할경우 계속적인 N의 공급이 없으면 4.7일 정도후에 DIN이 완전소모된다고 볼 수 있다.

St.2,3에서 가까우며 섬안쪽인 St.4의 저층수와 퇴적물에서의 산소소비율이 468～527 ㎖O_2/㎡/day이므로 분해되는 탄소로 계산하면 250～282 ㎎C/㎥/day이다. 본 조사시 수층전체에 대한 일차생산조사가 이루어지지 않아 표층의 1m층에서만의 일차생산량을 기준으로 계산한다면 여기서 고정된 유기탄소중 21～24%가 저층에서 분해된다고 볼 수 있다.

제Ⅳ장 결 론

해수중의 질소화합물분포가 중요시되는 이유는 질소가 생물생산의 제한인자인 필수적인 원소로 생태계내의 역학적인 관계를 밝히는데 큰 역할을 하기 때문이다. 1986년 8월의 조사에서 나타난 진해만의 해양환경에서는 유입된 육수가 표층 1~2m층정도까지만 크게 영향이 미치며 밀도약층의 발달로 마산내만과 마산수로의 일부지역에서 무산소환경이 나타났다. 마산내만에 유입된 풍부한 질소원은 외만으로 갈수록 해수와의 혼합에 의해 그 농도가 감소한다. 마산지역의 폐수유입을 받는 정점에서는 표층수의 DIN 735.6 μgat N/ℓ중 NH_3-N, NO_3-N, NO_2-N이 각각 368.9, 349.3, 17.4 μgatN/ℓ를 차지했다. 같은 정점에서 DON은 1261.8μgat N/ℓ로 DIN보다 높으며 PN은 48.5μgat N/ℓ에 불과했다. 이러한 풍부한 질소원은 외만으로 갈수록 점차 희석되어 마산내만입구에서는 DIN, DON, PN이 각각 73.1, 73.0, 39.5 μgat N/ℓ까지 감소한다. 내만입구로부터 12 ㎞ 떨어진곳에서는 각각 8.7, 46.1, 33.2μgat N/ℓ의 분포를 보여 PN은 큰차이가 없으나 DIN은 크게 감소한값을 보였다. PN이 내·외만간의 차이가 적은것으로 미루어 육지에서 유입되는 유기물중 입자형태가 적은것으로 보인다. 진해만의 서부해역에서는 마산내만으로부터의 영향이 적은듯 DIN농도가 낮은편이었다. 저층수에는 NO_3-N이 6μgat N/ℓ이하로 낮은 값을 보이며 무산소상태인 마산수로의 정점에서는 검출되지않아 탈질소반응의 결과로 보여진다. NH_3-N은 49.1~66.0 μgat N/ℓ의 높은 농도를 보여 하계에 저층수와 퇴적물에서의 활발한 유기물분해의 결과라 보여진다.

N/P비는 염분의 증가에 따라 감소하며 외만쪽과 진해만서부해역에서는

낮은 N/P와 낮은 DIN농도가 나타나 질소가 식물성플랑크톤성장의 제한인자가 될수 있다고 보여진다. 입자상유기물의 C/N비는 2.68～7.46이었으며 내만에서 3정도의 낮은 값을 보였다.

86년 9월에는 표층의 NO_3-N이 8월보다 높은 값을 보였으며 10월에는 8월과 비슷한 값을 나타냈다.

86년 8월에 ETS의 활동도는 마산내만의 표층에서 7.2～212.1 $\mu\ell O_2/\ell$/h의 분포를 보였다. 마산내만입구의 저층수에서 호흡에 의한 산소소비율은 442 $m\ell O_2/m^2$/day, 퇴적물에 의한 산소소비율은 138～197 $m\ell O_2/m^2$/day이고 표층수로 부터의 산소공급은 112.2 $m\ell O_2/m^2$/day이기 때문에 31～35일 정도후에는 저층수중의 용존산소가 완전소모되어 무산소환경이 나타날것이라 추산할 수 있다. 무산소상태가 나타나는 마산수로의 두 정점에서는 탈질소반응에 의한 저층수중 NO_3 제거율을 ETS 활동도로 부터 3.32, 3.72 μg N/ℓ/day로 구할 수 있었다. 8월에 마산내만의 일차생산성은 St.2, 3의 표층에서 각각 1034, 1300 $mg C/m^2$/day였으며 C/N비를 7로 했을때 식물성플랑크톤에 의한 N요구량은 각각 148, 185 $mg N/m^2$/day였다.

진해만에서 질소화합물의 순환과 무산소환경의 발생을 이해하기 위해서는 위와같은 조사가 보다 장기적으로 계획성있게 이루어져야 할것으로 본다. 질소화합물의 순환을 파악하기 위해서는 식물성플랑크톤에 의한 질소흡수율, 플랑크톤으로부터의 질소화합물방출, 퇴적물로부터 유리되는 속도등이 체계있게 규명되어야 할것이다. 그리고 무산소환경의 발생을 예측하기 위해서는 물리적환경의 계절변화와 여러생물들에 의한 산소소비율에 대해 보다 광범위한 조사가 이루어져야 한다고 본다.

참 고 문 헌

박주석, 1980. 한국 남해안의 식물성플랑크톤 출현량및 조성과 이들의 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향, 국립수산진흥원 연구보고 23 : 5 ~ 92.

박주석, 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화 국립수산진흥원 연구보고 28 : 55 ~ 88.

안태석, 안태영, 권오섭, 조기성, 1986. 마산만에서의 인과 질소의 동태에 관하여 수질보전 2 : 64 ~ 70

유광일, 이종화, 1976. 마산만의 환경학적 연구 2 . 식물성플랑크톤의 년변화, 한국해양학회지 11 : 34 ~ 38

이광우, 남기수, 허형택 등 . 1980. 진해만의 적조및 오염모니터링시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소보고서 BSPE-00022-43-7

이광우, 남기수, 허형택 등. 1981. 진해만의 적조및 오염모니터링시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소보고서 BSPE-00031-56-7

이광우, 남기수, 곽희상 등. 1982. 진해만의 적조및 오염모니터링시스템 개발을 위한 연구, 해양연구소보고서 BSPE-00044-66-7

이광우, 남기수, 곽희상 등. 1983. 적조및 오염모니터링연구. 해양연구소보고서 BSPE-00048-80-7

조창환, 1979. 1978년 진해만 적조와 양식굴의 대량폐사, 한국수산학회지 12 : 27 ~ 33

日本水產資源保護協會, 1972. 水產環境水質基準

Aleem, M.I.H. 1970. Oxidation of inorganic nitrogen compounds. Ann. Rev. Plant Physiol. 21: 67-90.

Christensen, J.P. 1983. Electron transport system activity and oxygen consumption in marine sediments. Deep-Sea Res. 30: 183-194.

Christensen, J.P., and T.T. Packard. 1976. Oxygen utilization and plankton metabolism in the Washington fjord. Estuarine Coastal Mar. Sci. 4: 339-347.

Craig, H. 1971. The deep metabolism: Oxygen consumption in abyssal ocean water. J. Geophys. Res. 21: 5078-5086.

Curl, H. Jr., and J. Sandberg. 1961. The measurement of dehydrogenase activity in marine organisms. J. Mar. Res. 19: 123-138.

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.

Fiadeiro, M., and J.D.H. Strickland. 1968. Nitrate reduction and the occurrence of a deep nitrite maximum in the ocean off the west coast of South America. J. Mar. Res. 26: 187-201.

Gordon, D.C., Jr., and W.H. Sutcliffe, Jr. 1973. A new dry combustion method for the simultaneous determination

of total organic carbon and nitrogen in seawter. Mar. Chem. 1: 231-244.

Hobbie, J.E., O. Holm-Hansen, T.T. Packard., L.R. Pomeroy, R.W. Sheldon, J.P. Thomas, and W.I. Wiebe. 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.

Kerambrun, P., and K.H. Szekielda. 1969. Dosage simultané du carbone, de 1'hydrogène et de 1'azote dans le matériel en suspension dans 1'eau de mar. Tethys. 1: 581-584.

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 O_2-CO_2-13C system in the eastern equatorial pacific. Deep-Sea Res. 21: 211-227.

Kuhl, A. 1974. Phosphorus. Bot. Monogr, 10: 636-654.

Mackay, D.W., and T.M. Leatherland. 1976. Chemcal processes

in an estuary receiving major inputs of industrial and domestic wastes. In Estuarne Chemistry ed. by J.D. Burton and P.S. Liss, Academic Press, P. 185-218.

Nedwell, D.B., S. Hall, A. Andersson, A.F. Hagstrom, and E.B. Lindstrom. 1983. Seasonal changes in the distribution and exchange of inorganic nitrogen between sediment and water in the Northern Baltic (Gulf of Bothnia). Est. Coastal and Shelf Sci. 17: 169-179.

Packard, T.T. 1979. Respiration and respiratory electron transport activity in plankton from the Northwest African upwelling area. J. Mar. Res. 37:711-742.

Packard, T.T. 1985. Oxygen consumption in the ocean: Measuring and mapping with enzyme analysis. In: Mapping strategies in Chemical Oceanography, ed. by A. Zirino, American Chemical Society, P. 177-209.

Packard, T.T., and P.J. leB Willams. 1981. Rates of respiratory oxygen consumption and electron transport in surface seawater from the northwest Atlantic. Oceanol. Acta. 4: 351-358.

Pamatmat, M.M. 1971. Oxygen consumption by the seabed. VI. Seasonal cycle of chemical oxidation and respiration in Puget Sound. Int. Revue ges. Hydrobiol. 56: 769-793.

Pamatmat, M.M. 1977. Benthic community metabolism: a review

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.

Yang, D.B., S.H. Kim, and K.W. Lee. 1984. Vertical distributions of chemical oceanographic parameters in Jinhae Bay in July, 1983. J. Oceanol. Soc. Kor. 19: 89-93.

Yang, D.B., and K.W. Lee. 1983. Vertical distributions and diurnal variations of dissolved nutrients and chlorophyll *a* in Masan Bay. Bull. KORDI. 5: 9-13.

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.