
碩 士 學 位 論 文

濟州道 南西部 沿岸海域의 海水 化學的特性과
湧昇現狀

濟 州 大 學 校 大 學 院

海 洋 學 科

康 泰 淵

1 9 9 4 年

Upwelling phenomenon and chemical properties of seawater in
the southwestern coastal area of Cheju Island

Tae-Youn Kang
(Supervised by Professor Young-Chan Choi)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

December, 1994

濟州道 南西部 沿岸海域의 海水 化學的特性과
湧昇現狀




指導教授 崔 永 贊

康 泰 淵

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

1994年 12月

康泰淵의 理學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長	유 정 수	
委 員	방 의 칸	
委 員	崔 永 贊	

濟州大學校 大學院

1994年 12月

목 차

Summary	2
I. 서론	4
II. 재료 및 방법	6
1. 조사방법	6
2. 유기물 분해실험	7
3. 수질분석 방법	9
III. 결과	10
1. 물리적 특성	10
1)수온, 염분 분포	10
2)용존산소 분포	14
3)용승현상	18
2. 화학적 특성	26
1)영양염류	26
2)식물색소, 부유물질, 휘발성 부유물질	34
3. 유기물 분해속도 상수	36
IV. 고찰	40
1. 연구지역의 물리적 특성	40
2. 해수의 화학적 분포특성	42
3. 유기물 분해능력	47
V. 요약	49
VI. 참고문헌	51
부록	56
감사의 말씀	

summary

Hydrographic conditions (water-temperature, salinity, dissolved oxygen), nutrients, chlorophyll-a, suspended solid and decomposition of organic matter have been studied in the western sea of Cheju Island from April 1993 to March 1994.

Vertical temperature, salinity and chemical properties (nutrients, dissolved oxygen, chlorophyll-a) distributions in the western sea of Cheju Island shows a upwelling feature, Although it is not clear in winter season, it seems to be continued through the year.

In the surface water at upwelling areas, the range of dissolved oxygen, nitrate, phosphate and silicate are $3.30\sim 8.43$ ml/l, $0\sim 7.12$ $\mu\text{g/l}$, $0.03\sim 1.75$ $\mu\text{g-at/l}$ and $2.75\sim 22.32$ $\mu\text{g-at/l}$, respectively. Nutrients is higher in shore water than in offshore water. Because of sufficient supply of nutrient from bottom water by coastal upwelling, this area may be eutrophication.

In November, especially highest concentration silicate was observed at all station and depth in study area. At all station of bottom water (down to the depth 60 meter), concentration value of dissolved oxygen is high as 8ml/l , which is a characteristics of this study area.

The mean values of N/P shown 8.0, it is lower than Redfield ratio 16. Also, the mean values of Si/P was observed to 46.3 in western sea Cheju Island.

Chlorophyll-a has the concentration value of $0.04\sim 2.36$ $\mu\text{g/l}$. Chlorophyll-a in surface water at all station the study area is especially higher in spring than in other seasons.

The mean concentration value of suspended solids is 3.14mg/l (range $0.75\sim$

8.47mg/ℓ). The ratio of volatile suspended solids to suspended solids is higher in inshore water(53%) than in offshore water(46%), and higher in surface water than in bottom water.

The decomposition rate constants have been determined by Thomas slope method. The values of rate constants for station 1 and 5 in surface water added glucose and glutamic acid shows 0.14/day and 0.15/day.

I. 서 론

우리나라 최남단에 위치한 제주도 주변해역은 해양생물 생산성이 높고 동중국해와 황해, 남해의 어업전진기지 뿐만 아니라 해양 관광지로도 활용 가치가 매우 높다. 제주도 주변에는 주로 육지에서 분기된 고온고염의 대마난류수와 기상의 영향을 받아 형성된 양자강연안수, 저온저염의 황해저층 냉수, 황해연안수, 남해연안수등의 연안수계가 영향을 받는 복잡한 양상을 보이고 있다(방, 김 1980; Park 1985, 1986; 윤 등 1991; 방과 김 1989). 최근에 와서는 산업화와 인구의 도시 집중, 생활수준의 향상으로 인한 가정하수와 산업폐기물등 각종 오염 물질의 배출 뿐만아니라 제주도 주변연안에는 148개소에 달하는 대단위 육상 수조식양식장의 건립(노 1994) 등으로 연안해역의 수질 상태가 계속 악화되어 주변 생태계에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히, 제주도 주변해역 생태계의 보호와 관리를 위해서는 주변환경을 정확히 파악하는 해양학적 기초 연구가 지속적으로 수행되어야 하는데, 지금까지는 특정 지역과 계절에 편중된 연구를 간헐적으로 수행되어 왔다. 제주도 주변 해역에 대한 해양학적 기초연구는 1987년부터 고와 이, 최 등(1989, 1990, 1991, 1992, 1993)에 의해 제주도 주변 해역을 “해안선 주변, 북부연안해역, 남부연안해역, 동부연안해역, 서부연안해역”으로 구분하여 “생물 생태학적 기초 연구”가 수행되었다.

특히, 김 등(1980)과 Kim and Lee(1982)에 의하면 제주도 서부해역은 연안용승 해역으로 해류가 제주도를 시계 방향으로 선회하면서 용승이 발생하는 지역으로 지적하였고, 여름철 저온 저염의 황해저층냉수가 수온약층 직하부를 따라 제주 주변해역까지 남하한다는 보고(윤 등, 1985, 1991)와 양자강 하구에서 흘러나오는 중국 대륙연안수의 영향으로 하계의 연구지역의 표층을 저염화시킨다는 보고 (양 등, 1990, 1991)등 주류인 대마난류수와 혼합되어 매우 복잡한 해황을 나타내는 지역으로 규정하고 있다. 그러나 이 지역의 용승에 대한 연구는 물리적측면에서의 연구 (김 등, 1980; Kim and Lee, 1982; Pang etc. 1992; 방등, 1993)등 단편적인 연구에 국한되어 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 기 보고된 제주도 남서부해역의 용승현상이 과연 일어나고 있는지를 수온, 염분, 용존산소, 영양염류, 식물색소, 부유물질등과 같은 물리, 화학적 자료들을 가지고 그 현상을 밝히고자 하며, 아울러 이들 각성분들의 분포 특성과 계절적인 변화 양상 및 각 성분들 간의 상호 관련성을 규명하고자 한다. 또한 해역의 자정능력을 평가하는 수질관리 modeling을 위한 기본 매개변수로 유기물 분해속도상수를 구하여 기 연구된 제주도의 타 지역과 비교하여 본 연구해역의 해양학적 특성을 밝히는데 연구 목적이 있다.

II. 자료 및 방법

1. 조사방법

본 연구에 사용된 시수는 1993년도 4, 6, 8, 11월과 1994년 1, 3월에 제주도 서방해역의 6개정점을 선정하여 제주대학교 실습선 백경호와 아라 2호를 이용하여 조사하였다(Fig. 1).

각 정점별 채수 수심은 5l Niskin 채수기를 이용하여 30m간격(0m, 30m, 60m, 90m) 으로 채수하였으며, 시료는 곧바로 실험실로 옮겨와서 24시간 이내에 분석하였다. 또한 유기물 분해실험에 사용된 시수는 가장연안역의 정점 1과 외해역의 정점 5를 선정하여 1994년 6월 26일 표층과 저층으로 구분하여 채수하였다.

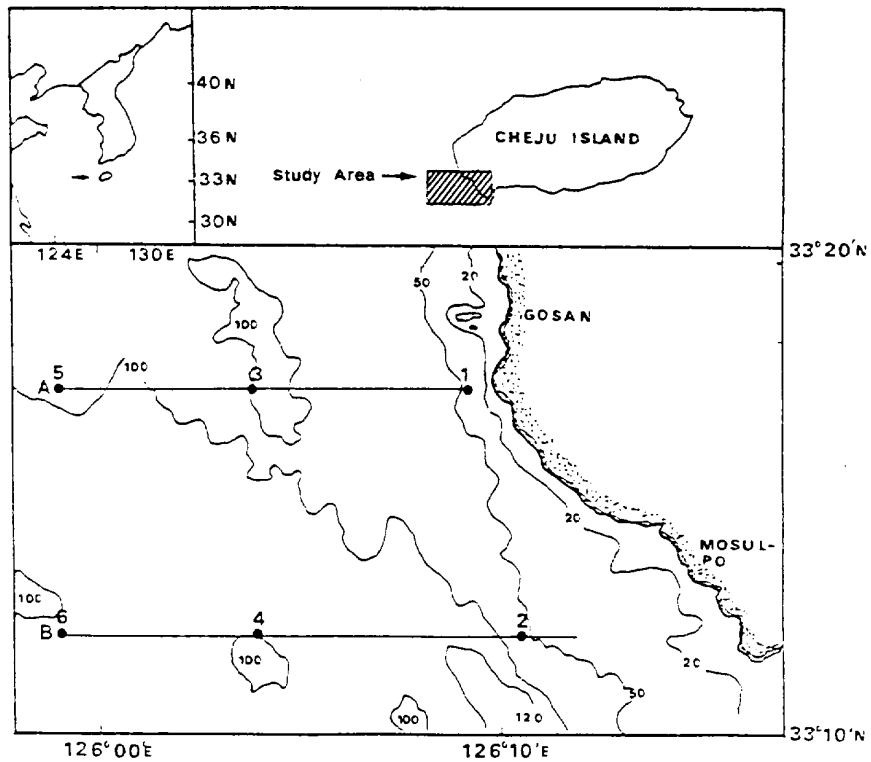


Fig. 1 Map of study area at the western sea of Cheju Island.

2. 유기물 분해실험

유기물 분해실험에 사용된 해수는 정점 1과 5의 표층 및 저층수를 채수하여 사용하였다. 여기에 투입된 순수 유기물은 glucose-glutamic acid을 각각 150mg/l로 조제하여 혼합한후 3.5mg/l 되도록 희석하여 사용하였다. 이들 시험용액을 BOD병에 분주하여 항온 부란기에서 20℃로 배양하면서 매일의 산소 소모량을 측정하여 유기물 분해속도 상수를 구하였다.

분해속도상수는 Thomas slope method로 산출하였다(Snoeyink, V.L and D. Jenkins, 1981). 미생물에 의한 유기물 분해과정은 1차반응으로 가정되며 이 반응은 용존산소 소모를 수반하므로 시간에 따른 용존산소 소모를 측정하여 탈산소계수(K')를 구하고 이것은 유기물 분해속도 상수를 대신한다.

L이 시간 t에 분해 가능한 유기물 농도라면 1차반응에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dL/dt = -K_1L \dots\dots\dots(1)$$

(1)식을 적분하면

$$L = L_0e^{-K_1t} \dots\dots\dots(2)$$

여기서

- L_0 : 생분해 가능한 유기물의 최종농도
- L : 시간 t에 가능한 유기물의 농도
- K_1 : 속도상수 (day^{-1})

시간의 함수로 구해질 수 있는 인자로서 L을 대치할 수 있도록 변형하면

$$Y = L_0 - L \text{로 된다.} \dots\dots\dots(3)$$

Y : t시간에 분해된 물질의 량

(2)식을 (3)식에 대입하면

$$Y = L_0(1 - e^{-K_1t}) \text{로 된다.} \dots\dots\dots(4)$$

상수 K_1 과 L_0 를 구하기 위해 t 에 대한 Y 를 분석하는 데는 여러가지 방법이 있으나 Thomas slope method는 다음 두식의 유사성에 기초를 둔다.

($1 - e^{-k_1 t}$)항을 Taylor급수로 전개하면

$$1 - e^{-k_1 t} = K_1 t \left[1 - \frac{K_1 t}{2} + \frac{(K_1 t)^2}{6} - \frac{(K_1 t)^3}{24} + \dots \right] \dots \dots (5)$$

$[K_1 t (1 + K_1 t / 6)^{-3}]$ 항을 Maclaurin급수로 전개하면

$$K_1 t (1 + \frac{K_1 t}{6})^{-3} = K_1 t \left[1 - \frac{K_1 t}{2} + \frac{(K_1 t)^2}{6} - \frac{(K_1 t)^3}{21} + \dots \right] \dots \dots (6)$$

으로 되어 (5)식과 (6)식으로 부터 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$L_0 (1 - e^{-k_1 t}) \approx L_0 \left[K_1 t (1 + \frac{K_1 t}{6})^{-3} \right] \dots \dots \dots (7)$$

(4)식과 (7)식으로 부터

$$Y \approx L_0 \left[K_1 t (1 + \frac{K_1 t}{6})^{-3} \right] \dots \dots \dots (8)$$

이 된다.

(8)식을 직선 방정식 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\left(\frac{t}{Y} \right)^{\frac{1}{3}} = (L_0 K_1)^{-\frac{1}{3}} + (K_1^{\frac{1}{3}} / 6 L_0^{\frac{1}{3}}) t \dots \dots \dots (9)$$

여기서

$$(L_0 K_1)^{-\frac{1}{3}} = a,$$

$$(K_1^{\frac{1}{3}} / 6 L_0^{\frac{1}{3}}) = b \text{라 두면}$$

$$K_1 = 6 b / a \dots \dots \dots (10)$$

$$L_0 = 1 / K_1 a^3 \dots \dots \dots (11)$$

로 된다.

Y와 t를 관련시킨 실험 자료로부터 $(t/Y)^{1/2}$ 을 시간에 대해 나타내어 기울기 b와 절편 a를 구하고, 따라서 K_1 값과 L_0 값을 구할 수 있다. K_1 값은 자연 로그 형태이므로 상용로그로 전환시키면 $K' = K_1/2.303$ 이 된다. 또한 이 값은 20℃에서의 실험 값이므로 현장의 수온값으로 다음식에 의해 보정하였다.

$$K't = K'_{20} \times 1.047^{T-20}$$

3. 수질분석방법

- 1)수온 : STD(SBE 19) 및 봉상수온 온도계로 현장측정(℃)
- 2)염분 : STD(SBE 19) 로 현장 측정
- 3)암모니아질소 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) : Indophenol blue method에 의한 비색 정량(FAO, 1975)
- 4)아질산질소 ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) : Sulfanilamide 와 n-1-naphthylthlene diamine method에 의한 비색 정량 (Standard method, 1985)
- 5)질산질소 ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) : Cadmium reduction method에 의한 비색정량
- 6)인산인 ($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$) : Ascorbic acid method에 의한 비색 정량 (Strickland and parsons, 1972)
- 7)규산규소 ($\text{SiO}_2 \text{-Si}$) : Molybden blue method에 의한 비색정량 (JIS, 1980)
- 8)용존산소 : STD(SBE19)로 현장측정 또는 현장에서 고정 시킨후 Winkler 법의 아지드화 나트륨 변법에 의해 측정
- 9)식물색소 (Chlorophyll a) : 시료 1ℓ를 GF/C로 여과하여 90% aceton 10ml를 첨가하고 20시간 냉암소에 보관한 후 4000rpm에서 10분간 원심분리 시켜 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서의 흡광도를 측정하여 SCOR/UNESCO식으로 계산. (Strickland and parsons, 1972)
- 10)부유물질 : 시수를 GF/C로 여과하여 105℃에서 2시간 건조시킨후 무게를 달아 여과 전후의 여과지의 무게차로 산출함. (VSS-450℃에서 회화후 무게측정)

Ⅲ. 결 과

1993년 4월 부터 1994년 3월까지 제주도 서방 해역의 6개정점에 대하여 격월로 조사분석한 수온, 염분, 용존산소, 영양염류, 식물색소, 부유물질등의 자료를 통하여 연구지역의 각 성분들의 정점별, 계절별 물리, 화학적 분포특성과 용승현상, 각 성분들의 상호관련성을 나타내었고, 연안역의 정점 1과 외양역의 정점 5의 표층 및 저층수의 유기물 분해능력을 분석하였다. 조사분석 결과는 부록(Appendix)에 나타내었다.

1. 물리적 특성

1) 수온, 염분분포

Fig. 2는 연구해역의 수온의 년변화를 나타내었다. 수온의 연간 변화 범위는 표층수에서 14.5~25.7℃ 로 가장 크게 나타 났고, 30m층에서는 14.5~20.9℃, 심층수(60m 이심)에서는 13.2~17.9℃로 수심증가와 함께 수온 변화 폭이 감소 하였다. 정점별로 보면 표층수의 최고 수온값은 25.6℃로 8월에 외양역 정점 6에서 나타났고, 최저값은 3월에 연안역인 정점 1에서 14.6℃로 나타났다. 30m층에서 최고수온 값은 20.9℃로 11월에 정점 3에서 보였고, 최저값은 3월에 정점 1에서 14.5℃로 나타났다. 또한 심층수에서는 11월에 정점 3에서 최고값(17.9℃), 8월에 정점 6에서 최저값(13.2℃)을 보이고 있다. 특히, 8월에 표층수의 수온상승에도 불구하고 저층수에서 오히려 수온이 더 낮아져서 최저의 수온을 나타내는 것은 저온이 황해저층냉수가 확장되어 이 지역까지 영향을 미치고 있다고 보아진다. 연안역의 정점 1과 외해역의 정점 5에 대하여 계절별 수온분포를 보면 1월에서 4월까지는 상하혼합이 잘 이루어지고 있어 15℃전후로 정점과 수심에 관계없이 다소 일정한 수온을 보여주고 있지만, 6월부터 표층수온이 서서히 상승하면서 성층이 형성되기 시작하여 8월에 강한 수온약층이 형성되고 있으며, 이 성층은 11월에 가서 약해 지고 있는 것을 보여주고 있다(Fig. 4).

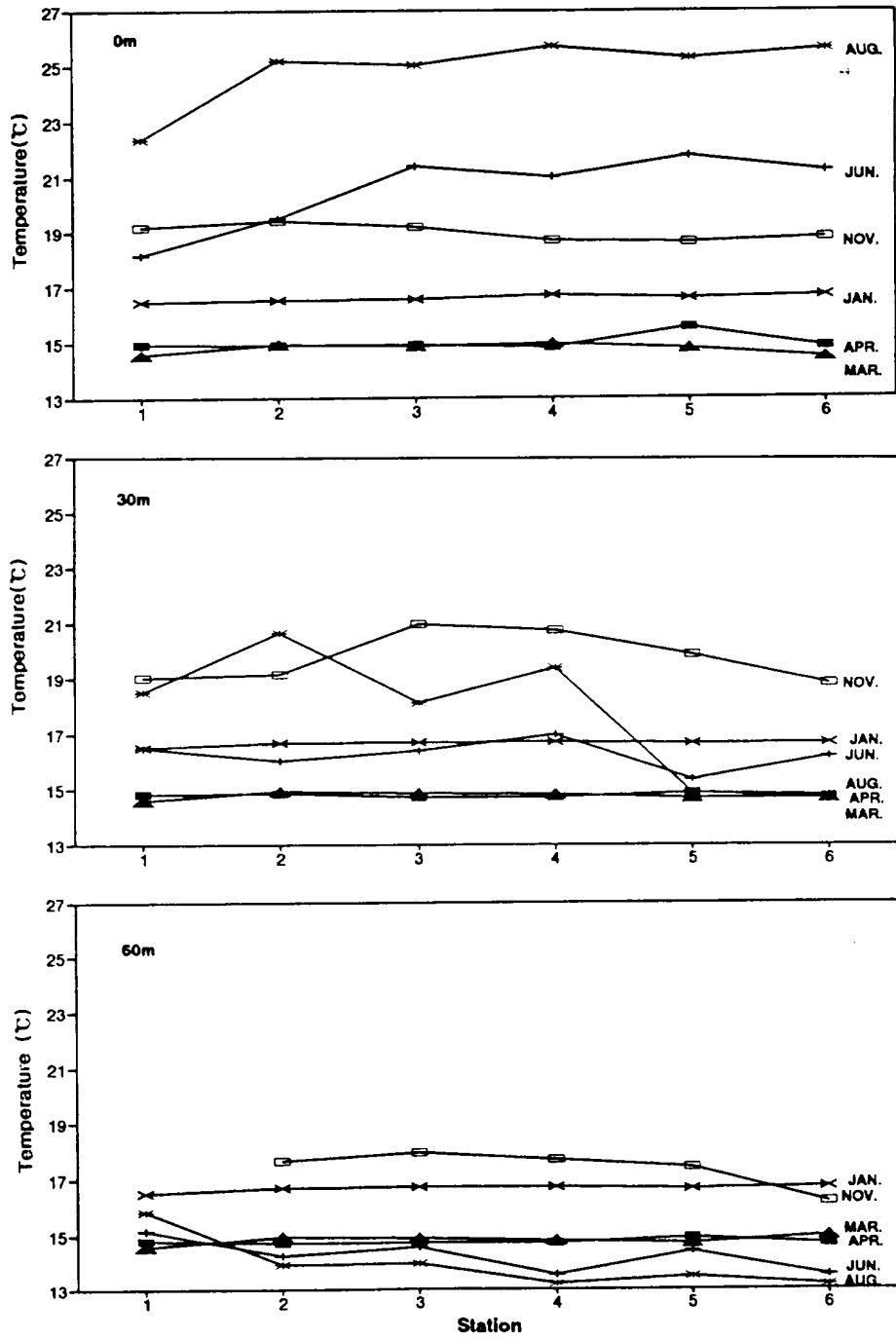


Fig. 2 Seasonal variations of temperature of all stations at the studied area from April, 1993 to March, 1994

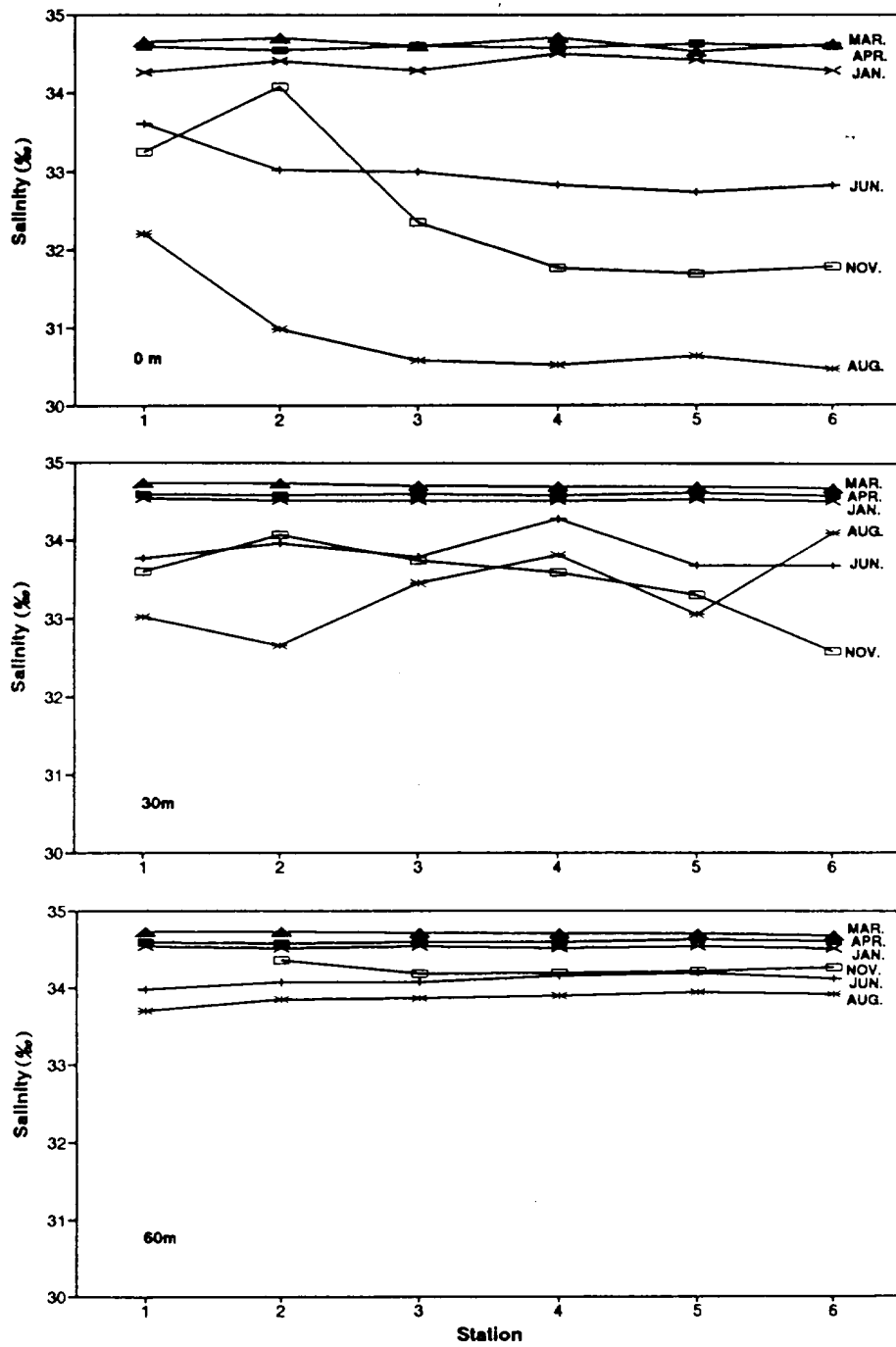


Fig. 3 Seasonal variations of salinity of all stations at the studied area from April, 1993 to March, 1994

염분농도는 표층수에서 30.46~34.71%의 범위 였으며, 최고농도는 3월에, 최저농도는 8월에 나타났다. 정점별로는 정점 4의 저층에서 가장 높았고, 정점 6의 표층에서 가장 낮게 나타났다. 수심별 연간 염분농도 범위는 수온과 같이 수심이 증가함에 따라 염분변화 폭이 감소하여 표층수에서 30.46~34.71%로 연간4.15%의 차이로 가장 크게 나타났고, 30m 층에서는 32.66~34.71%로 2.05%의 농도 변화를, 심층에서는 33.70~34.72%로 1.2%에 불과하여 농도 변화가 미미한 것을 보여주고 있다(Fig. 3).

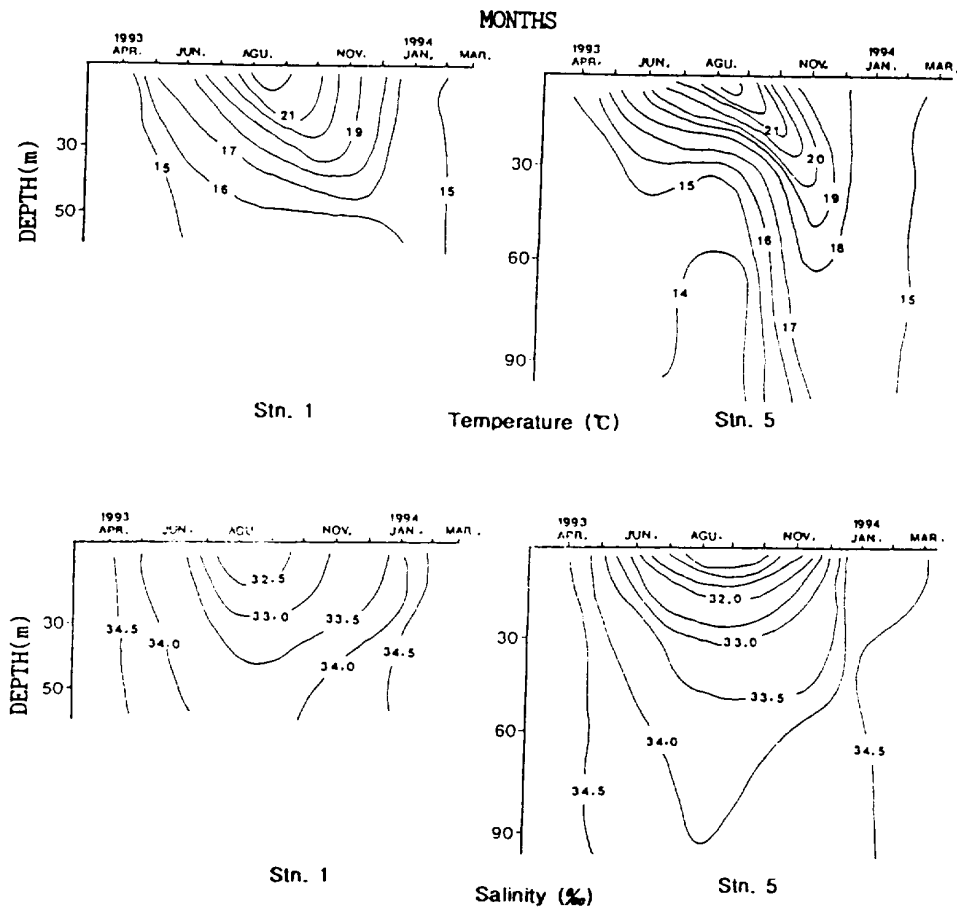


Fig. 4 Seasonal fluctuations of temperature and salinity at Stn. 1(inner part of coast) and Stn. 5(out part of coast)

겨울(1월)과 초봄(3,4월)에 저수온($15\pm 1^\circ\text{C}$) 고염분값($34.5\pm 0.3\%$)이 각 정점과 수심에 관계없이 균일하게 나타나고 있고, 여름(6,8월)과 가을철(11월)에 정점별로 다소차이를 보여 표층수의 경우 연안쪽 정점인 1에서 비교적 저온, 고염현상이, 외양에 위치한 정점 5와 6에서 고온, 저염현상을 보이고 있다(Fig. 3,4).

2) 용존산소분포

표층수중의 용존산소농도범위는 $3.30\sim 7.92\text{ml/l}$ 로 최고값은 4월에 정점 2에서 최저값은 8월에 정점 5에서 측정되었고, 정점 1과 5의 계절별 용존산소의 변화를 보면 8월과 11월의 표층(0-30m층)이 모든 정점들에서 특이하게 4ml/l 이하의 낮은값을 보이고 있다. 해양의 용존산소 수직분포의 일반적인 경향은 대체로 표층에서 고농도 저층에 저농도인데 반해 이 연구지역은 수심증가와 함께 용존산소가 증가하여 저층에 고농도의 산소가 분포하고 있다(Fig.5). 연안역(정점 1) 과 외해역(정점 5)의 각 수층별 포화농도와 현장농도의 차인 겉보기 산소소모량을 구해보면, 연안역의 표층과 30m층은 각각 $-0.06\sim +1.98$ (포화율 101~64%), $-1.48\sim +1.58$ (포화율 125~72%)로 나타났고, 외해역에서 각각 $-0.71\sim +1.74$ (포화율 112~66%), $-3.16\sim +1.35$ (포화율 154~75%)를 보였다.

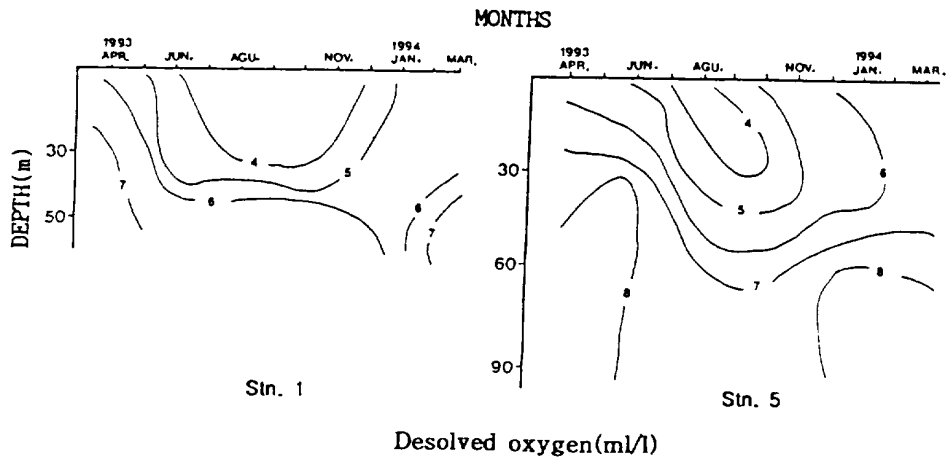


Fig. 5. Seasonal fluctuation of dissolved oxygen at Stn. 1 and 5

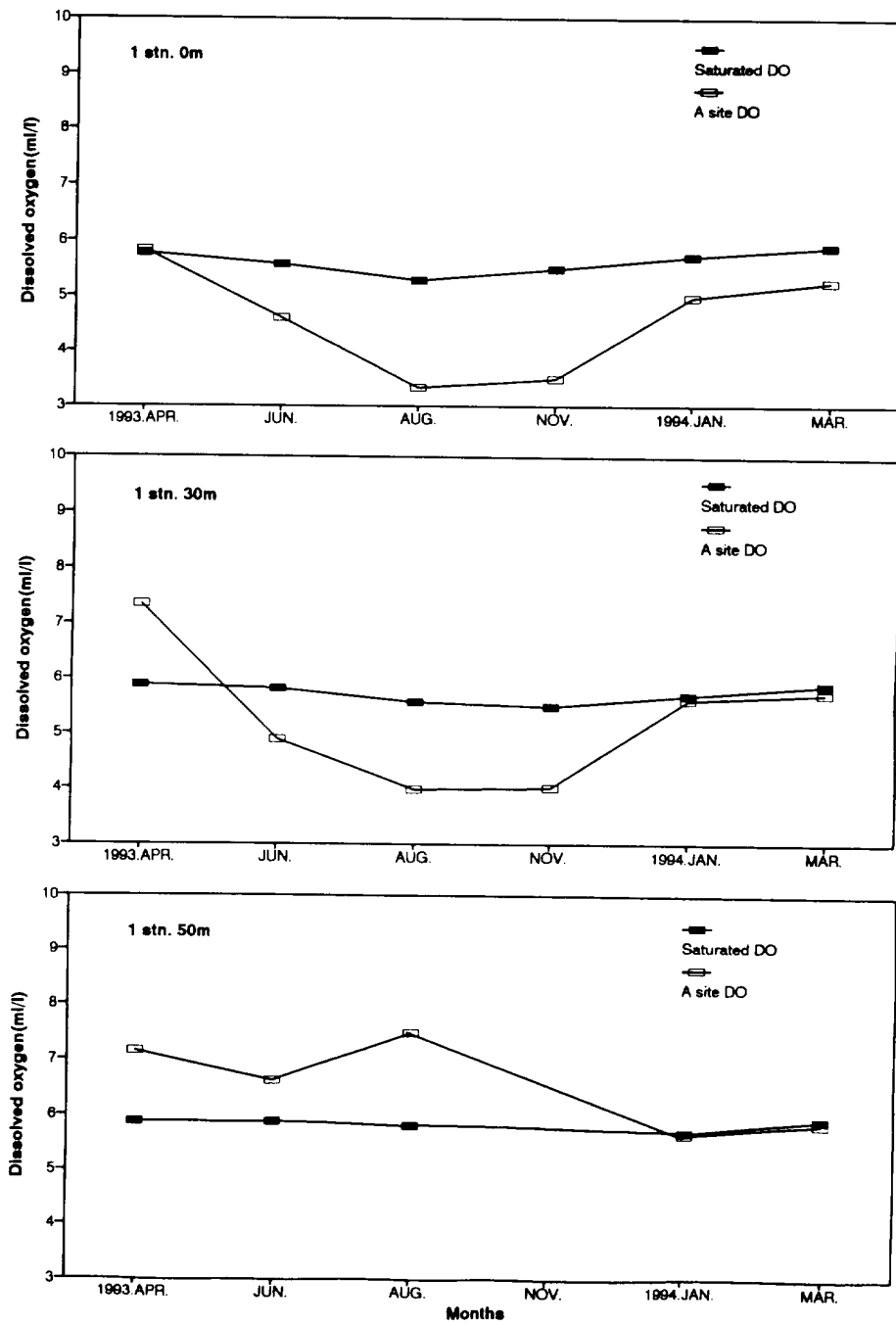


Fig. 6 Seasonal Variations of a sited and saturated dissolved oxygen(DO) in euphotic layer(0-60m) at station 1.

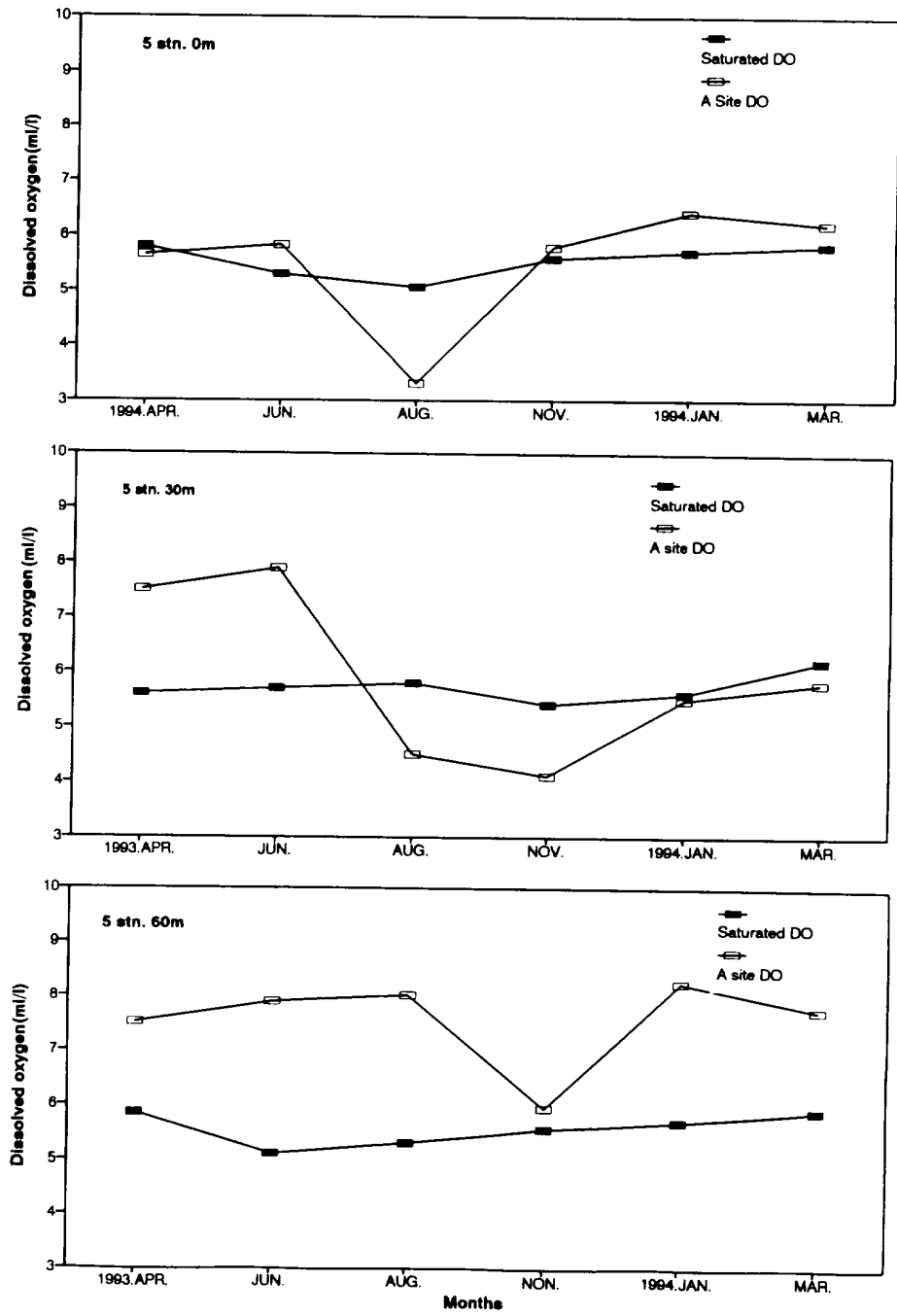


Fig. 7 Seasonal variations of a sited and saturated dissolved oxygen in euphotic layer (0-60m) at station 5.

정점 1의 표층과 30m층에서 과포화 상태인 음의 값이 4월에, 그외의 달에는 불포화상태를 보였다. 정점 5에서 과포화는 표층수에서 1,3,11월에, 30m층에서 4,6월에 나타났다. 그러나, 저층수에서는 전 계절에 걸쳐 과포화 상태의 음의 값을 나타내고 있다(Fig.6,7). 그러므로 이 지역의 용존산소 농도의 분포 특징은 수심에 따라 증가하여 저층의 고농도의 산소가 분포하고 있는 것으로 보인다.

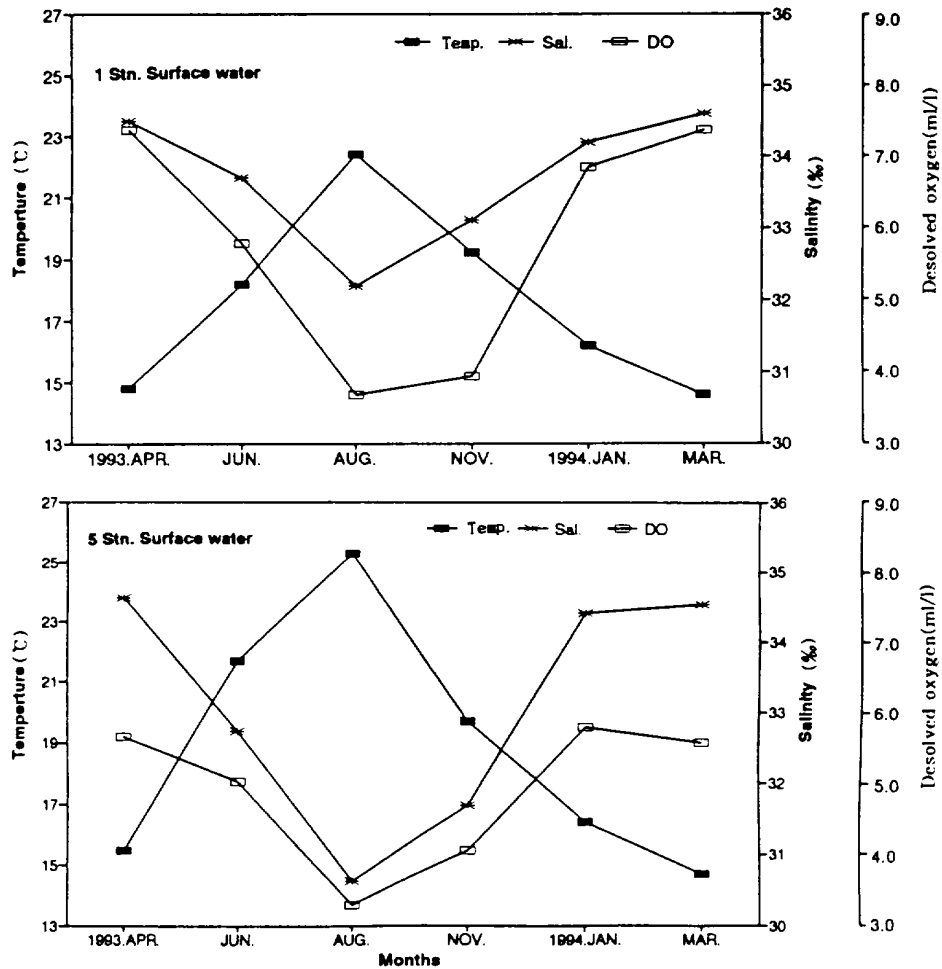


Fig. 8 Seasonal variations of temperature, salinity and dissolved oxygen in surface water at stations 1 and 5.

이와 같이 저층에 고농도의 용존산소가 존재하는 원인이 산소를 많이 함유한 황해저층냉수괴의 영향이 아닐까? 하는 의심은 가지만 겨울철의 고농도의 산소값은 이것으로 해석이 곤란하므로 이 지역의 용존산소의 분포에 관한 문제는 향후에 지속적인 연구가 요구된다. 산소와 수온, 염분의 변화량을 보면 수온과 용존산소는 역의관계를 보이고, 염분과는 비슷한 농도 분포로 보아 용존산소의 포화량은 염분 보다 수온에 크게 영향을 받고 있는 것으로 보인다 (Fig.8).

3) 용승현상

수온, 염분, 영양염류(질산질소, 인산인, 규산규소)등의 물리, 화학적 성분들의 수직, 수평분포도를 보면 용승의 징후를 뚜렷하게 볼수 있다.

Fig. 9은 1993년 6월부터 11월의 수온의 수직분포도를 나타내었다.

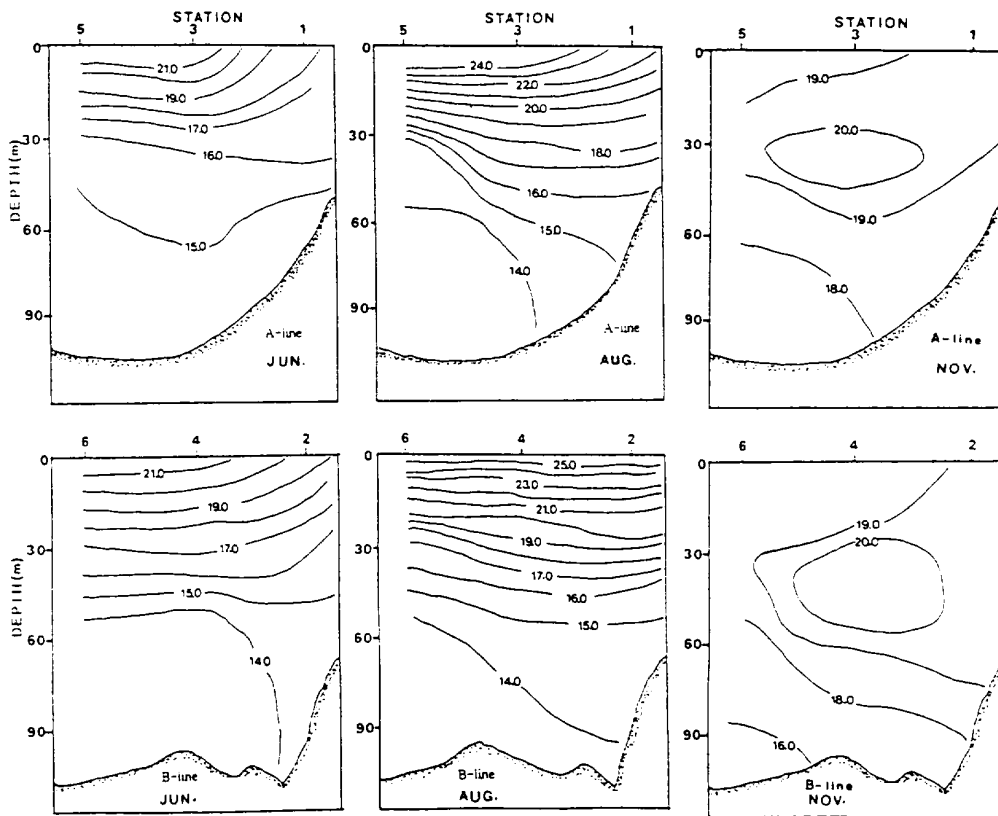


Fig. 9 Vertical distribution of temperature(°C) from June to November, 1993.

6월의 A line의 등온선은 중.상층에서 해안으로 갈수록 해수면으로 상승하는 형태의 용승이 미미하게 나타나고 있고, B line에서는 중.상층에서 해안으로 갈수록 등온선이 상승하고 중.하층에서는 해저면으로 침강하는 형태의 용승을 보여주고 있다. 8월의 경우는 표층의 강한 성층으로 상층용승은 뚜렷하지 않지만 중.하층에서 등온선이 침강형태의 하층침강형은 뚜렷하게 나타나고 있다. 11월은 A B line 모두 등온선이 폭이 넓고 용승의 징후가 분명하지 않다.

Fig. 10의 염분수직분포를 보면 6월과 8월은 A B line 모두 수온의 등온선과 비슷한 경향의 등염분선분포로 상하분산형의 용승을 보여주고 있고, 11월에는 수온과 달리 강한 용승이 나타나고 있다.

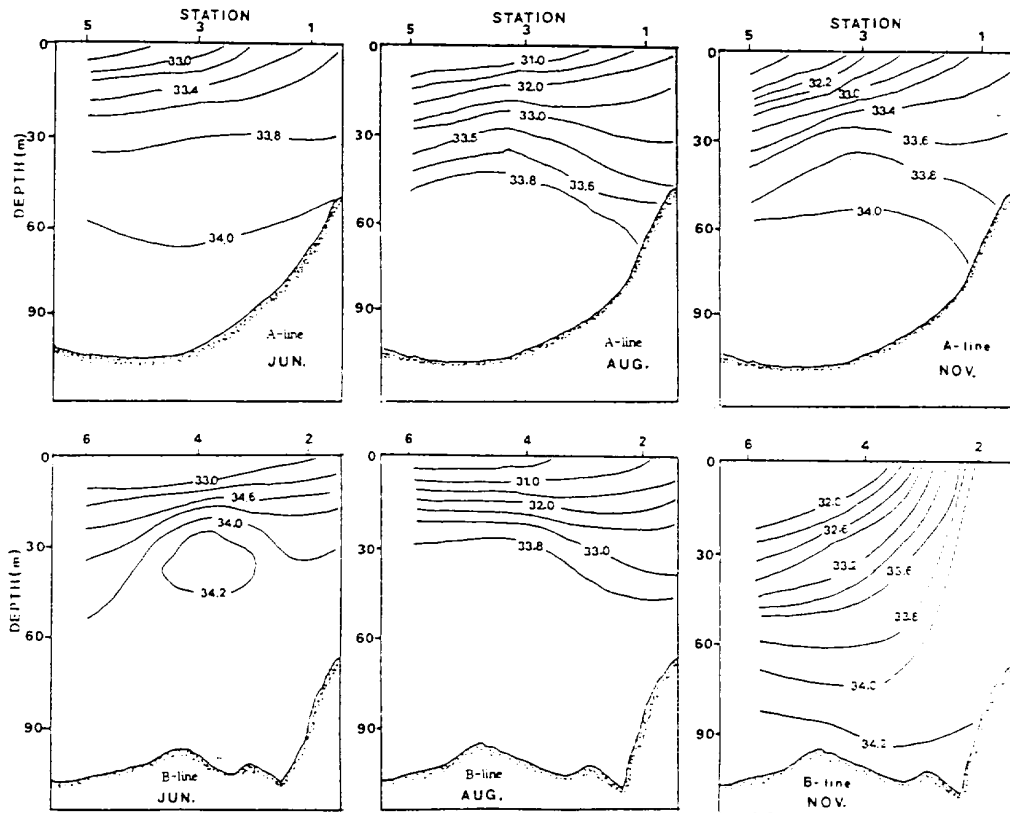


Fig. 10 Vertical distribution of salinity(%) from June to November, 1993.

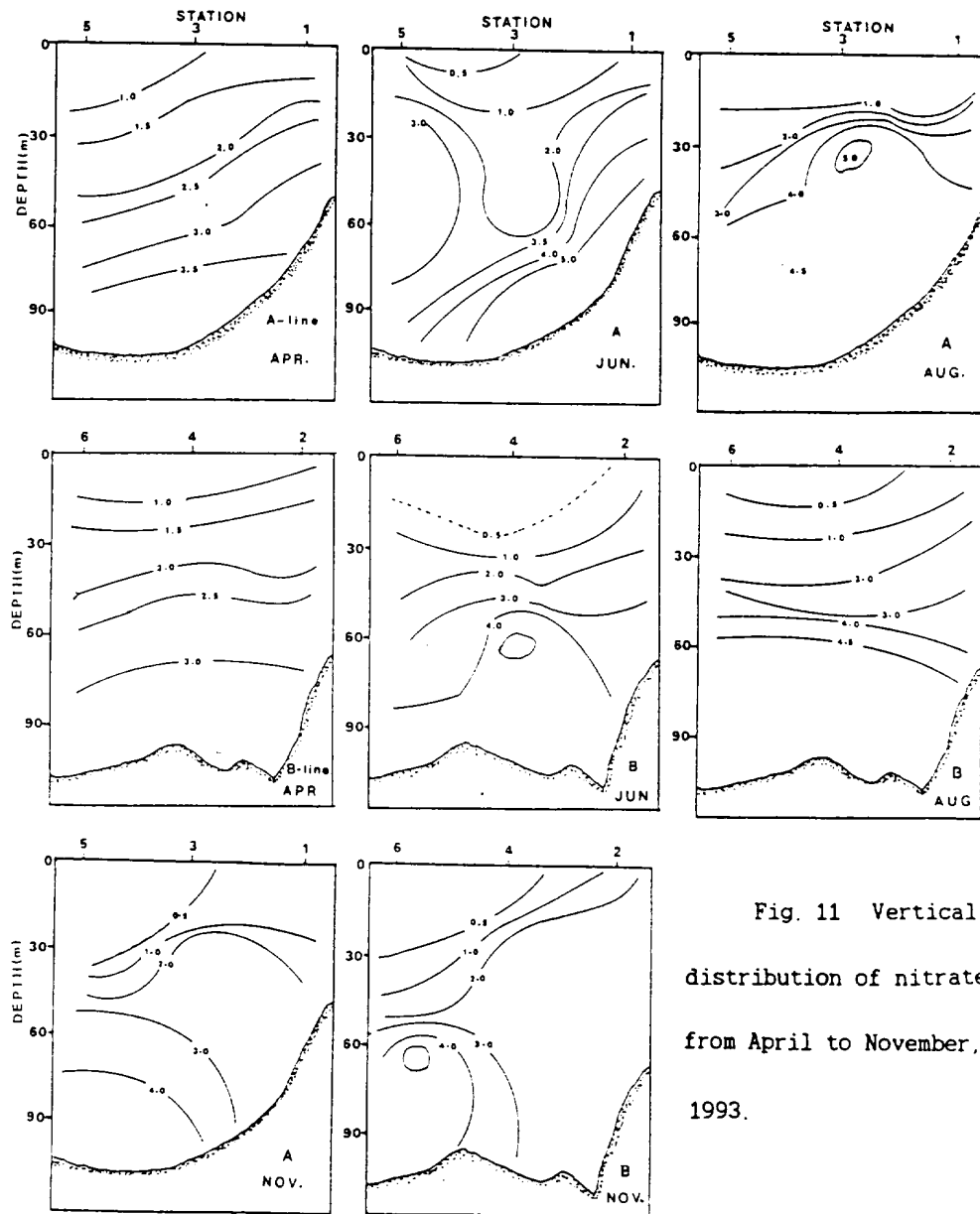


Fig. 11 Vertical distribution of nitrate from April to November, 1993.

특히, B line에서 더욱 강하여 등염분선이 해안으로 갈수록 저층에서 부터 표층으로 상승하는 용승의 형태가 뚜렷하게 나타나고 있다. 이와같은 용승현상은 화학적성분들의 수직분포도에서도 볼 수 있다.

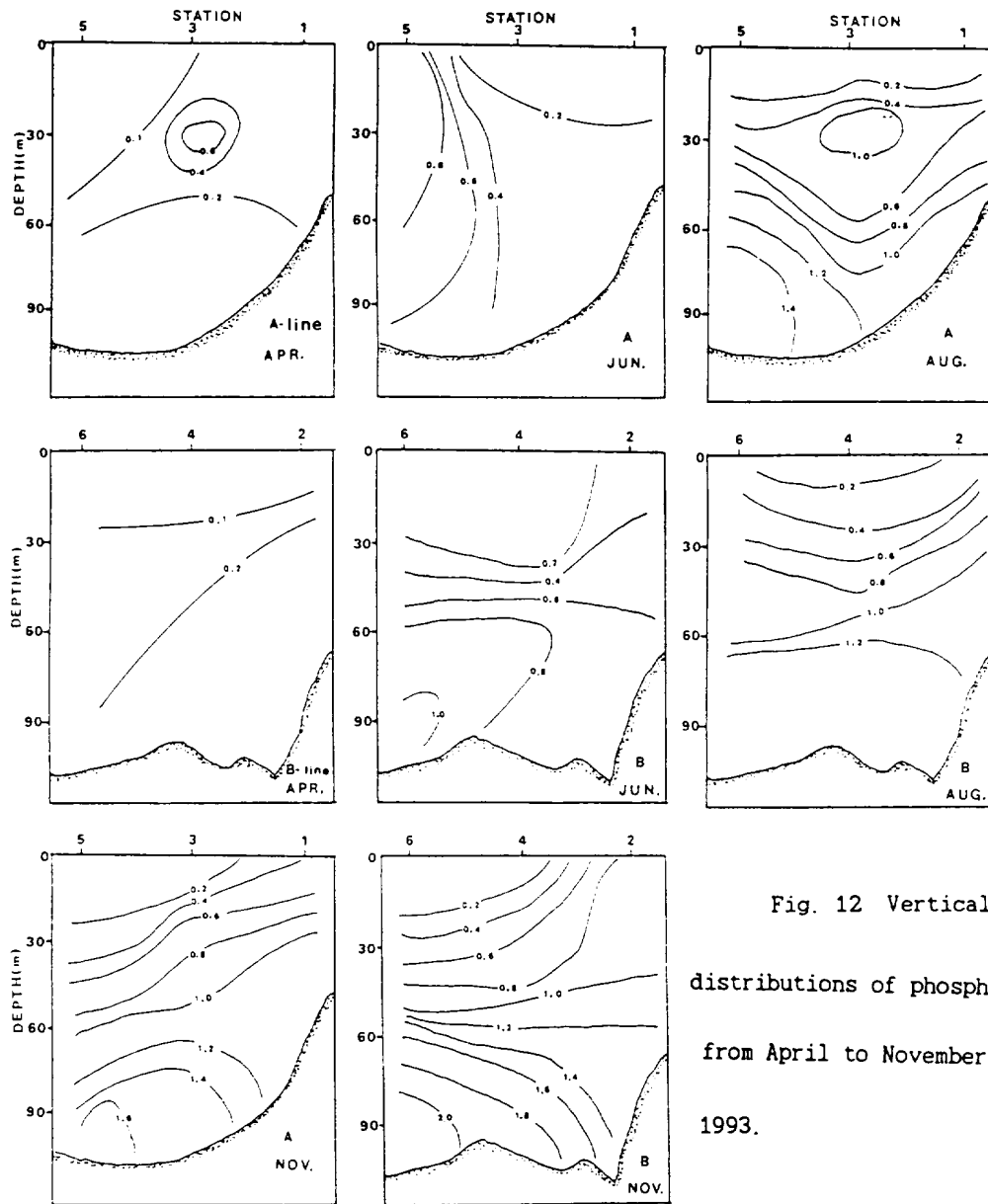


Fig. 12 Vertical distributions of phosphate from April to November, 1993.

Fig. 11~13는 1993년 4.6.8.11월의 질산질소, 인산인, 규산규소의 수직분포도를 나타내었다. 질산질소의 수직분포도(Fig.11)를 보면 4월은 A,B line 모두 해안선으로 갈수록 등농도선이 상승하는 용승현상이 미미하게 나타나고 있고, 6~11월은 6월의 A line(저층에서 상승형의 용승)을 제외하고는 등농도

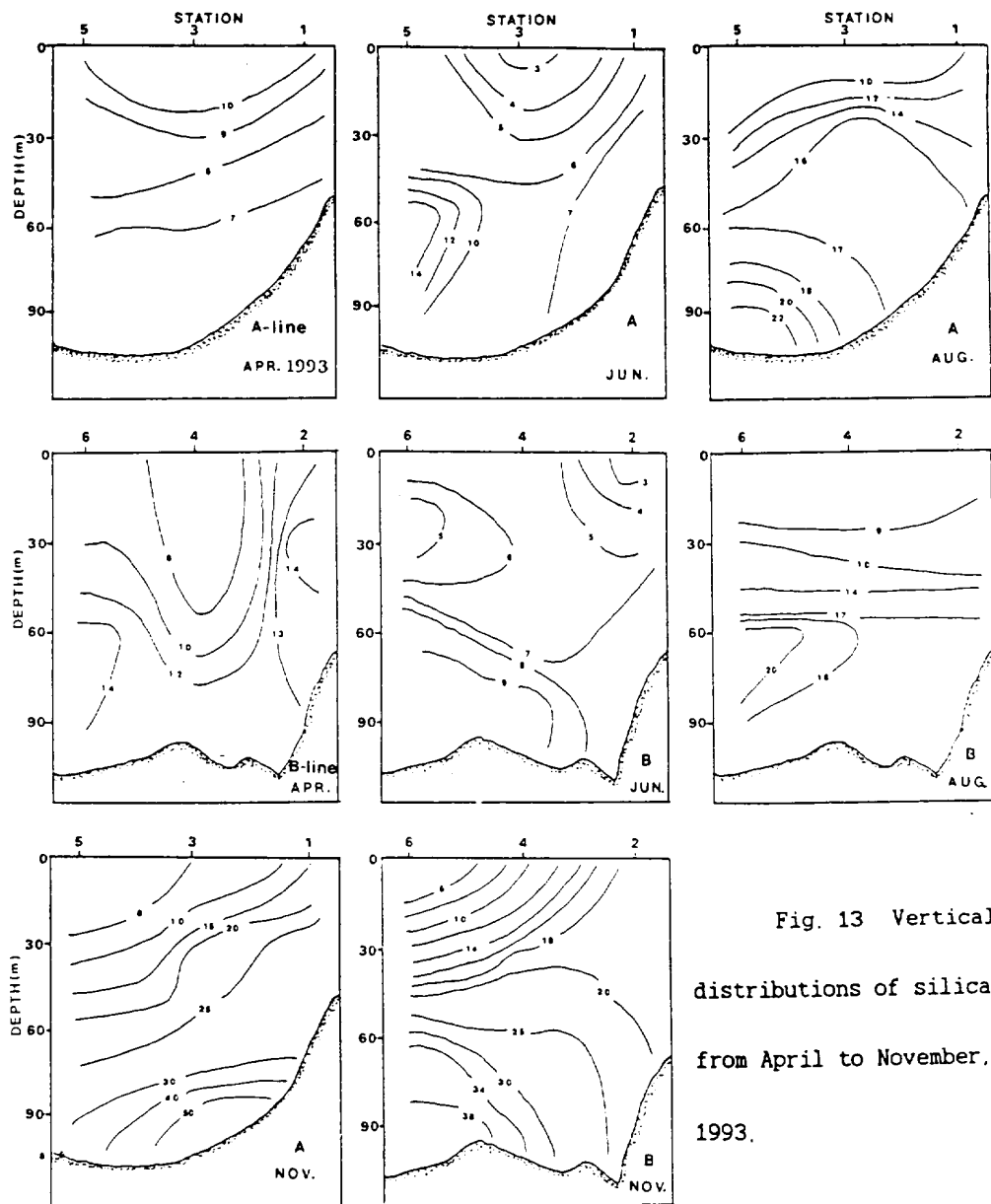


Fig. 13 Vertical distributions of silicate from April to November, 1993.

선이 중.상층에서 상승하고 중.하층에서 침강하는 상하분산형의 용승이 나타나고 있다. 인산인의 수직분포도(Fig.12)에서도 6월의 A line을 제외하면 4~11월 A B line에서 질산질소의 등농도선과 비슷한 형태의 용승현상을 보여 주고 있다.

동계철에 규산규소의 수직분포도(Fig. 13)의 경우도 질산질소와 인산인의 분포와 비슷하여 등농도선이 해안으로 갈수록 중.상층에서 상승, 중.하층에서 침강하는 형태의 용승이 나타나고 있다. 이와같이 화학적 성분(질산질소, 인산인, 규산규소)의 수직분포도는 물리적 성분(수온, 염분)에서 뚜렷하지 않았던 4,8월의 용승을 볼 수 있었다. 연구해역 0,30m층의 화학적 성분들이 수평분포도를 보면 연안용승을 보다 명확히 볼 수 있다.

Fig. 14의 질산질소의 수평분포도를 보면 6월의 표층에서 해안쪽의 고농도의 질산염이 외해쪽으로 확산되어 가는 것을 볼 수 있으며, 등농도선의 간격도 외해로 갈수록 넓어지고 있다. 30m층에서도 0m 보다 상대적으로 농도는 높지만 등농도선의 분포 경향은 비슷하게 나타나고 있다.

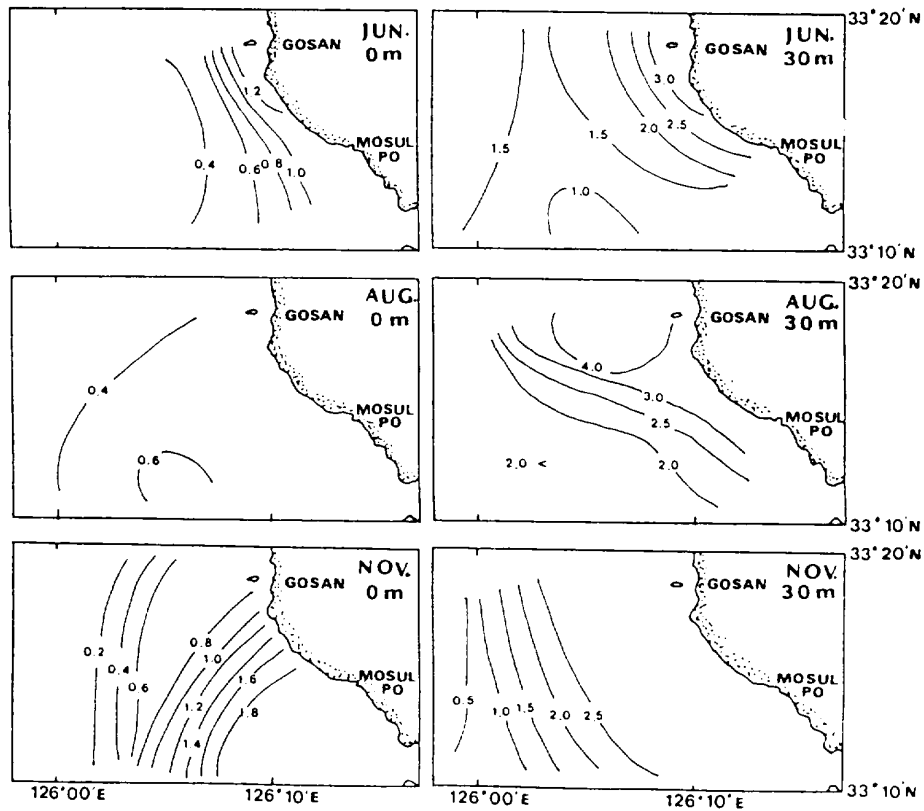


Fig. 14 Horizontal distribution of nitrate from June to November, 1993.

8월의 수평분포는 표층이 질산질소가 광범위하게 고갈되어 뚜렷한 농도구배는 없지만 연안쪽에 다소 높은 값을 보여 주고 있고, 30m층은 6월의 수평분포 경향과 같은 경향을 보이고 있다. 11월의 경우는 연안역에서 외해로 확산되고 있는 농도분포를 더욱 명확히 나타나고 있으며, 농도의 구배도 현저하여 연안역에서 고농도의 질산염이 분포하고 있다. 특히, A line 보다는 B line에서 더욱 강하게 나타나고 있다. Fig. 15의 인산인과 Fig. 16의 규산규소 수평농도 분포에서도 질산질소의 분포와 비슷하여 외해역 보다 해안쪽에 고농도가 나타나고 있고, 연안쪽으로 갈수록 농도구배도 뚜렷하게 나타났다. 이와같이 연안역의 고농도의 영양염류가 외해로 확산되어 가는 수평분포 경향은 용승에 의한 결과로 보아지는데, 이 지역이 제주도 남부, 동부, 북부지역과는 달리 소

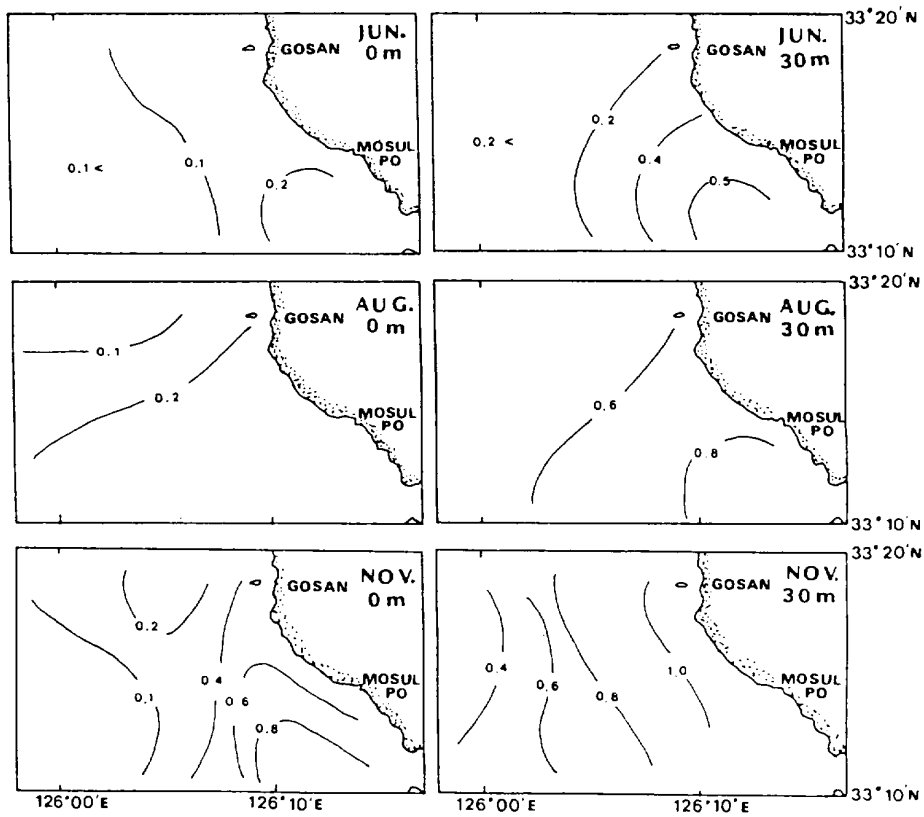


Fig. 15 Horizontal distribution of phosphate from June to November, 1993.

하천이 발달되어 있지않고, 인구밀도와 산업시설이 적은 데도 불구하고 4~11월에 걸쳐 연안역의 표층(0-30m)에 외해역 보다 높은 영양염류농도값은 용승에 의한 저층에서 영양염류의 공급으로 해석하는 것이 타당하다고 보아진다. 따라서, 물리, 화학적 성분들의 수직, 수평 농도분포로부터 이 지역의 용승현상을 종합해 보면 4~11월 동안에 연안 용승현상이 나타나고 있는 것을 보여주고 있으며, 용승의 형태는 4월은 저층에서 부터 등농도선이 상승하는 상층 용승형이 나타나고 있고, 6~11월은 상.중층에서 해안으로 갈수록 등농도선이 해수면으로 상승하는 상층용승형태를 보였고, 중.하층에서는 등농도선이 해저면으로 하강하는 하층침강형태의 용승이 나타났다. 용승의 강도는 11월에 가장 강하였으며, A line 보다 B line쪽에서 더 강하게 나타났다.

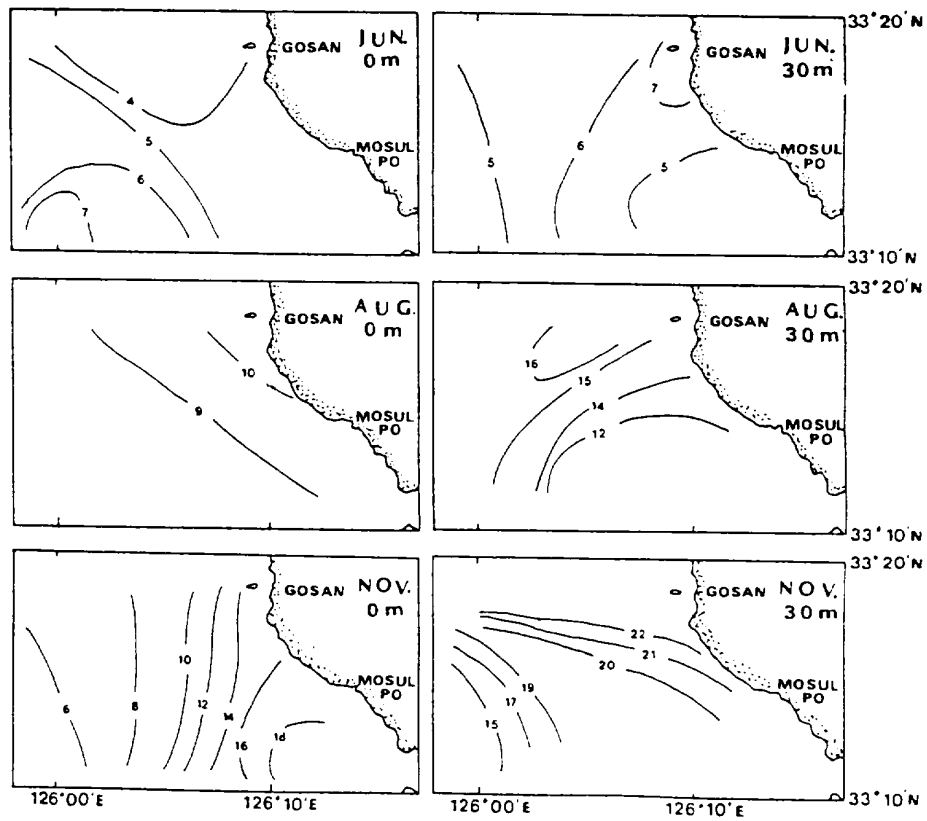


Fig. 16 Horizontal distribution of silicate from June to November, 1993.

2. 화학적 특성

1) 영양염류

질산질소(NO_3^- -N)

연구해역의 표층수의 연간 질산질소농도범위는 0~7.24 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 연평균 1.89 $\mu\text{g-at}/\ell$, 30m층에서 0.25~6.88 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 2.91 $\mu\text{g-at}/\ell$, 60m층은 1.48 ~ 8.19 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 4.27 $\mu\text{g-at}/\ell$ 를 보여 수심에 따라 증가 하였다. 계절별 최고농도는 정점 1의 저층수에서, 최저농도는 정점 4의 표층에서 나타났다. 계절별 분포를 보면 1월에는 정점과 수심에 관계없이 5 $\mu\text{g-at}/\ell$ 이상의 값이 나타나고 있으며, 4~11월에 5 $\mu\text{g-at}/\ell$ 이하의 값으로 낮게 나타나고 있다 (Fig.17,18). 연안역의 정점 1과 외해역의 정점 5의 계절별 연직분포를 보면 상하 혼합이 잘 이루어지는 1,3월에 2-8 $\mu\text{g-at}/\ell$ 의 고농도를 보였고, 4~11월의 수심별 농도구배는 수온, 염분의 구배와 비슷한 경향의 농도약층이 뚜렷하여 표층수에서 0.5 $\mu\text{g-at}/\ell$ 이하의 낮은 농도를 보이고 있으며, 이 농도의 폭은 4월 부터 차차 증가하여 11월에는 30m층 까지 확장되고 있음을 보여준다. 30m이심 부터는 질산질소의 농도가 차차 증가하여 3 $\mu\text{g-at}/\ell$ 이상이 값을 보이고 있다. 그러나 6월에 연안역 정점 1의 표층에서 특이하게 1.2 $\mu\text{g-at}/\ell$ 의 값을 보여 정점 5에 비해 다소 높은 값을 보여주고 있다(Fig.19). 특히, 질산질소의 농도는 용승의 보고된 4~11월에 연안의 정점 1과 2의 표층(0~30m)에서 1.52 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 나타났고, 외해역인 정점 5와 6은 1.07 $\mu\text{g-at}/\ell$ 보여 용승이 보고된 연안역에서 다소 높게 나타났다. 연안역 정점 1과 2에 대하여 COD, 질산염, 인산염을 가지고 Okaichi의 부영양화도를 계산한 결과 표층수의 연평균 부영양화도는 0.68로 나타났고, 1월의 표층수에서는 1.2로 부영양화도의 기준치 1를 상회하여 향후의 부영양화 가능성을 시사하고 있다.

인산인(PO_4^{3-} -P)

인산인의 연농도범위는 표층수에서 0.03~1.01 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 연평균 0.35 $\mu\text{g-at}/\ell$, 30m층에서 0.07~1.75 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 0.67 $\mu\text{g-at}/\ell$, 60m층에서 0.11~1.76 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 0.78 $\mu\text{g-at}/\ell$ 를 보였다.

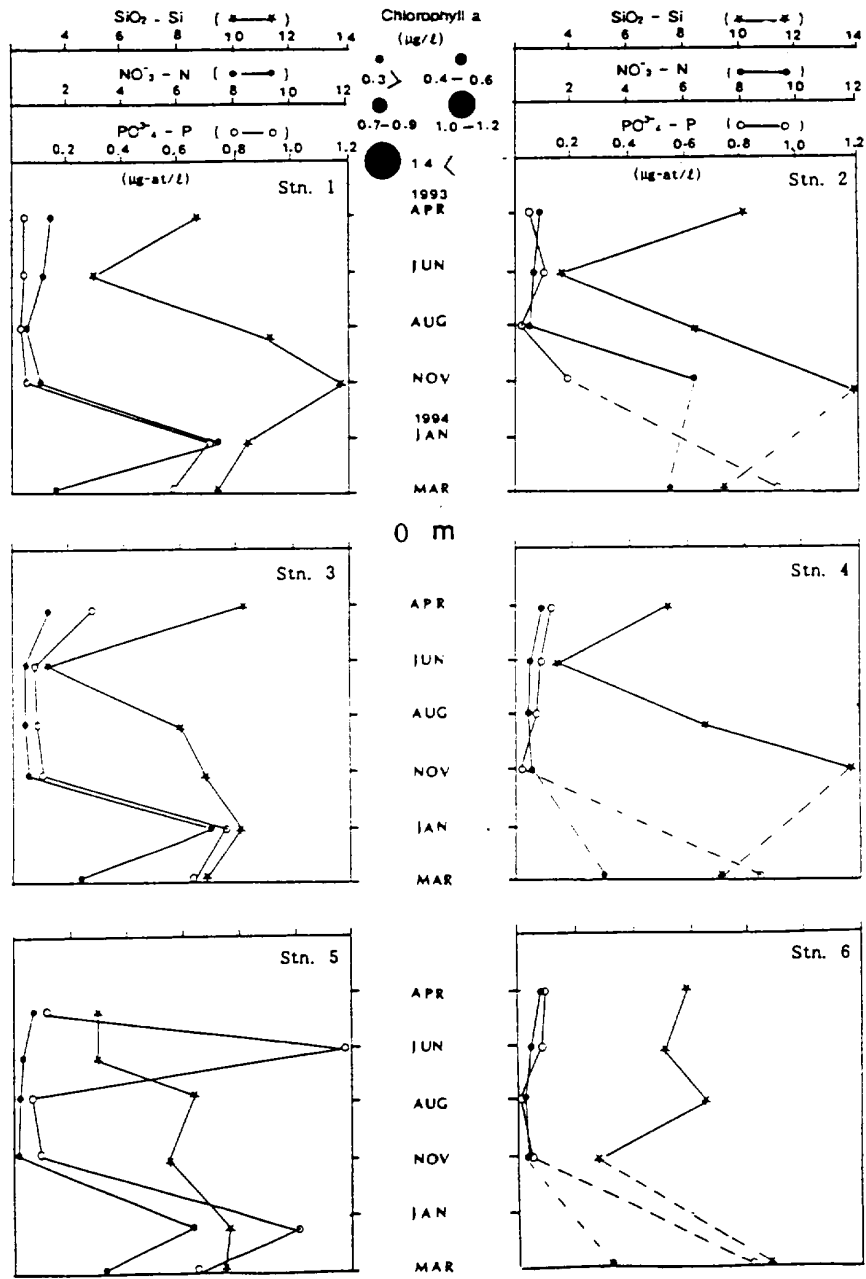


Fig. 17 Seasonal variations of chlorophyll-a, nitrate, phosphate, and silicate at all stations in the surface water.

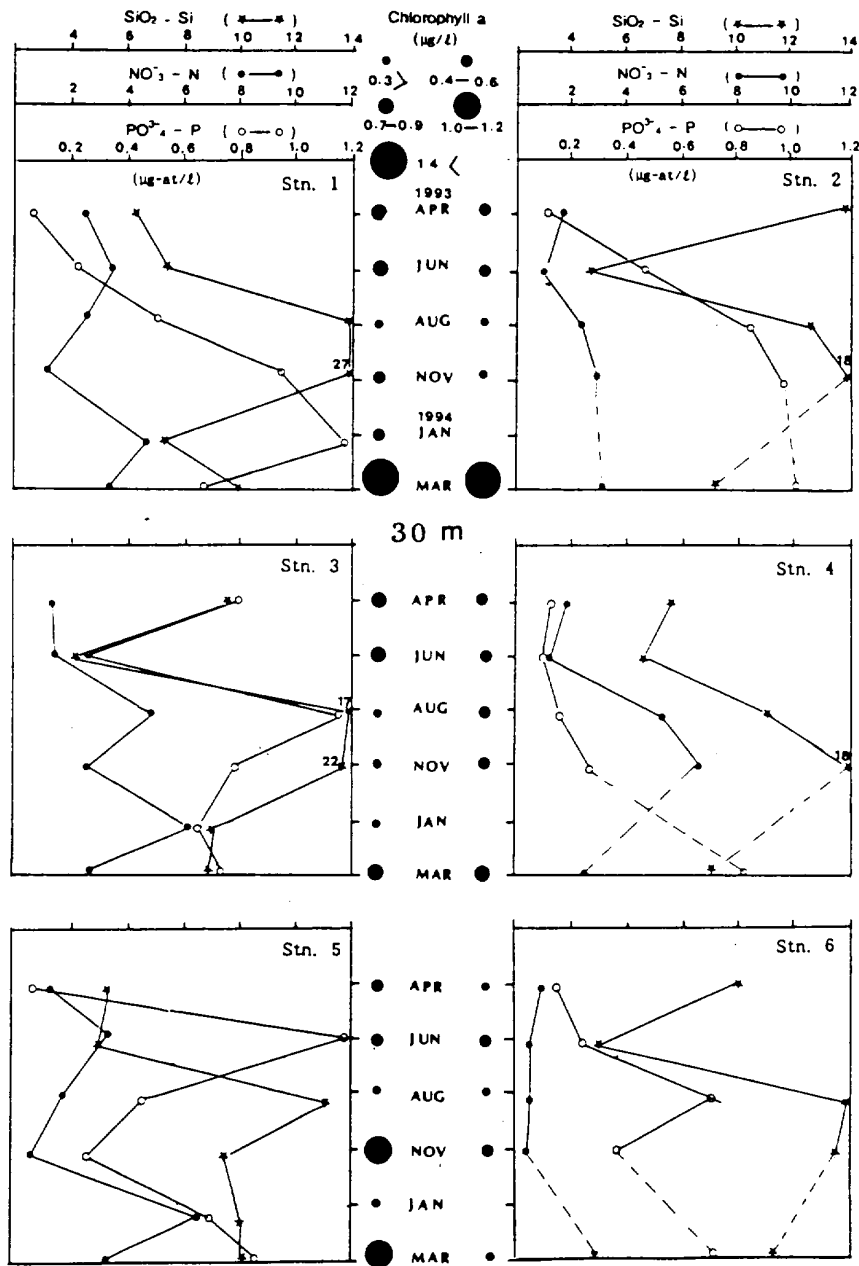


Fig. 18 Seasonal variations of chlororphyll-a, nitrate, phosphate, and silicate at all stations in the 30m water.

표층수의 최고 농도는 1월에 정점 5에서 나타났고, 최저농도는 4월에 정점 1에서 나타났다. 30m층의 최고농도는 1월에 정점 5에서 최저농도는 4월에 정점 1에서 보였으며, 60m층에서 최고최저농도는 각각 1월에 정점 1과 4월에 정점 3에서 나타났다(Fig. 17, 18).

정점 1과 5의 계절별 연직분포를 보면 상하 혼합이 잘 이루어지는 1월과 3월에 $0.6\mu\text{g-at}/\ell$ 이상의 고농도가 균일하게 분포하고 있고, 4~11월의 표층수에서 $0.3\mu\text{g-at}/\ell$ 이하의 낮은 농도를 보였다. 4~11월의 수심에 따른 농도분포는 질산의 농도분포와 같이 수심증가와 함께 증가하는 일반적인 경향을 보였지만, 4월에 두정점 모두 저층까지 심하게 고갈되었다. 11월의 0~30m 수심에서 외해역의 정점 5 보다 연안역의 정점 1에서 다소 높은 농도를 보이고 있으며 6월의 외해역 정점 5에서 저층(60m이하: 농도 $0.7\mu\text{g-at}/\ell$ 이하) 보다 표층(0~30m : 농도 $1.5\sim 4.5\mu\text{g-at}/\ell$)에 고농도의 인산염이 특이하게 분포하고 있는데(Fig. 19), 이 값은 제주도 주변 외해역 하계의 표층수에서 보고된 농도값이 수십배에 달하는 농도로 일반적인 제주 주변 해역의 농도값으로 보기가 어렵다. 왜냐하면 이 기간에 타 정점들의 표층수는 $0.2\mu\text{g-at}/\ell$ 이하의 낮은 농도를 보이고 있고, 정점 5의 저층수는 타 정점들의 농도값과 현저한 차이가 없이 표층수에만 국한되어 있기 때문이다. 그러므로 정점 5의 표층수의 고농도의 인산염은 이 지역에 일시적인 오염물질의 투기나, 시료채수병의 오염, 채수시점에 조사선의 주방세척수의 배출등에 의한 시료오염으로 보아야 할 것 같다. 이와같이 6월의 정점 5의 표층수를 제외하면 4~11월의 인산염값은 용승역인 연안역에서 다소 높게 나타나고 있다(Fig. 15, 17, 18)

규산규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

규산규소의 연간농도범위는 표층수에서 $2.75\sim 12.02\mu\text{g-at}/\ell$ 로 연평균 $8.78\mu\text{g-at}/\ell$, 30m층에서 $4.53\sim 23.85\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 $12.57\mu\text{g-at}/\ell$, 60m층에서 $6.97\sim 32.49\mu\text{g-at}/\ell$ 로 평균 $14.15\mu\text{g-at}/\ell$ 를 보였다. 연구지역의 최고농도는 $56.93\mu\text{g-at}/\ell$ 로 11월의 정점 3의 저층수에서 나타났고, 최저농도는 정점 3의 6월의 표층수에서 $2.75\mu\text{g-at}/\ell$ 로 나타났다.

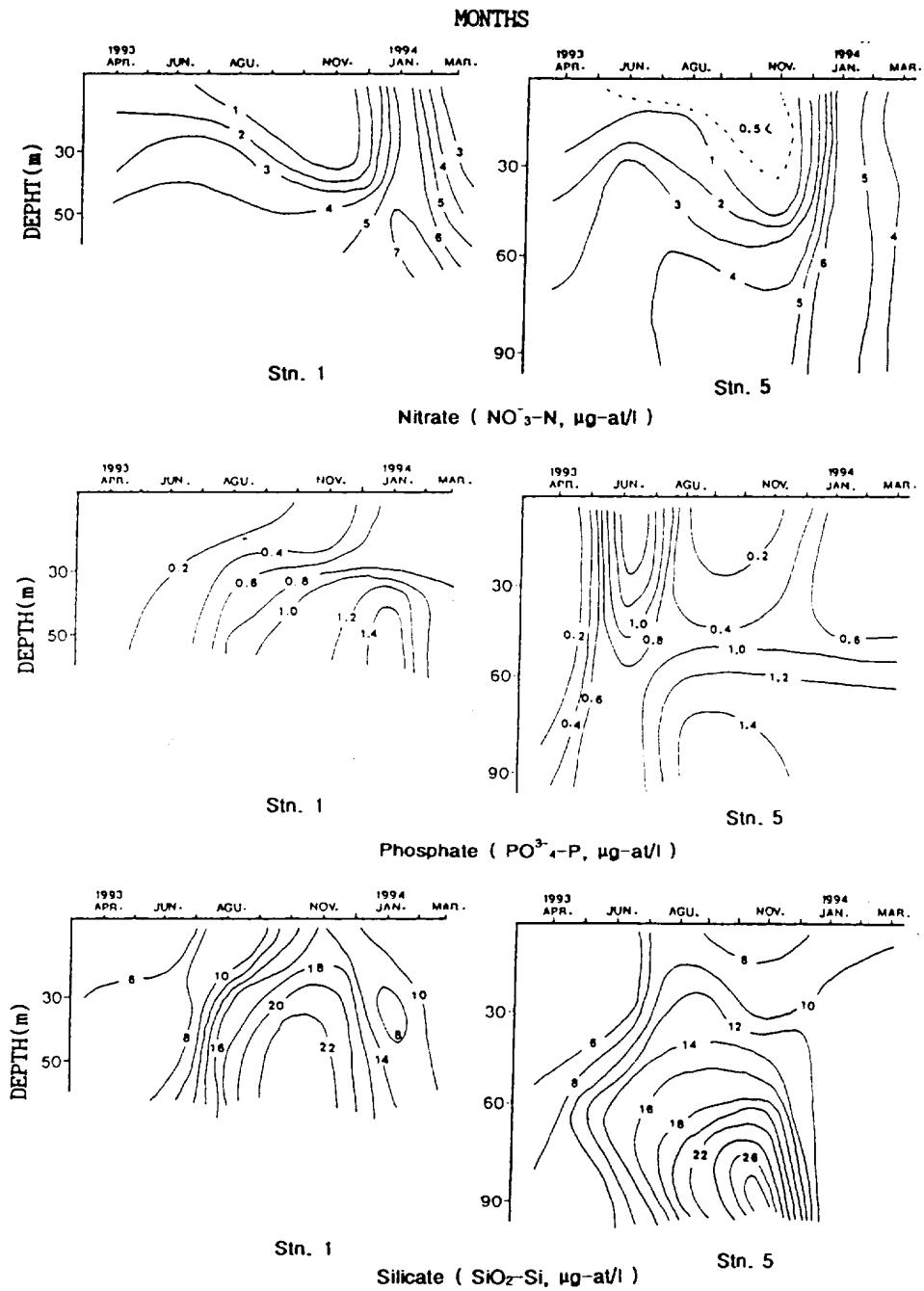


Fig. 19 Seasonal fluctuations of nitrate, phosphate and silicate at Stn. 1 and 5

수심증가에 따라 일반적으로 질산질소와 인산인의 경우와같이 증가하고 있지만 계절별 증가폭과 경향은 다르게 나타나고 있다(Fig. 17,18). 정점 1과 5의 계절별 연직분포를 보면 1~3월에는 상하혼합이 잘되는 계절로 위의 성분들과 같은경향으로 전 수심에 걸쳐 10 μ g-at/l 전후의 균일한 분포를 보이고 있고, 4~6월에 급격히 농도가 감소하여 저농도를 보이고 있다. 이것은 이 기간 동안에 식물색소의 값도 매우높게 나타나는 것으로 보아 봄철 규조류의 대증식으로 인한 소모가 아닌가 생각되지만 식물색소만으로 규조류의 영향으로 보기는 곤란하고 정확한 식물플랑크톤 동정자료가 있어야 명확한 해석이 가능하다. 8~11월에는 수층별 농도구배는 다른성분들과 같이 뚜렷하지만 질산질소와 인산인의 농도값은 정점 1을 제외하고 이 기간동안에 감소하는데 비해 규산규소농도는 특이하게 현저하게 증가하여 9~33.9 μ g-at/l의 고농도가 분포하고 있다(Fig.17,18).

Table 1. Ratio of nitrate, silicate and phoshate at each station

Ratio	Stn.	Depth (m)	Months						
			'93. APR.	JUN.	AUG.	NOV.	'94. JAN.	MAR.	Mean
N/P	1-2	0	20.4	9.4	7.3	2.5	8.7	9.6	3.1
		30-60	16.0	6.2	3.9	2.7	6.5	4.6	5.7
	5-6	0	11.1	14.8	4.3	5.7	7.8	7.0	4.0
		30-60	14.8	6.0	9.8	4.3	8.7	8.6	8.8
	total	0-60	16.6	9.1	6.4	3.8	8.0	7.5	5.4
	Si/P	1-2	0	224.8	49.0	64.9	27.2	66.2	15.2
30-60			99.8	29.5	32.2	33.5	36.0	8.7	12.1
5-6		0	150.4	49.0	66.3	62.1	58.5	9.6	13.6
		30-60	60.6	9.6	20.2	30.2	24.2	13.2	11.4
total		0-60	128.0	34.3	45.9	38.3	46.3	11.7	13.4

질산질소와 인산인(N/P), 규산규소와 인산인(Si/P)의 비

영양염류의 상호 비는 연안역의 정점 1과 2, 외해역의 5와 6로 나누워 계절별 수심별 비를 Table 1에 나타내었다. 이 값은 총 121개 자료가 이용되었고, 상대적 인의 값이 매우 높은 4개의 자료는 제외하였다.

N/P비는 년평균 8.0(3.8~20.4)으로 최고값은 4월의 연안 표층수에서 보였고, 최저값은 11월의 표층수에서 나타났다. 수역별로는 4월을 제외하고 연안역보다 외해역에서 다소 높게 나타났으며 그차이 미미하였다(Fig. 20). 표층과 30~60m층의 수심에 따른 변화를 보면 연안역의 경우 표층에서, 외해역에서는 저층에서 다소 높은 값을 보였고, 이 비는 수심 증가와 함께 증가한 질산, 인산, 규산염농도 분포와 같은 경향은 보이지 않았다.

Si/P비의 연간 범위는 8.7~224.8로 평균 46.3의 값으로 계절별 수심별 변화 폭이 크게 나타나고 있다(Fig. 20). 4월에 60.6~224.8로 전 정점에 걸쳐 높게 나타나고 있고 최고값은 연안역의 표층에서 보였다. 1~3월에 8.9~16.3 범위로 낮게 나타났으며 최저값은 1월의 저층에서 나타났다. 이들의 비는 대체적으로 겨울철에 낮고 봄, 여름철에 높은 값을 보였다.

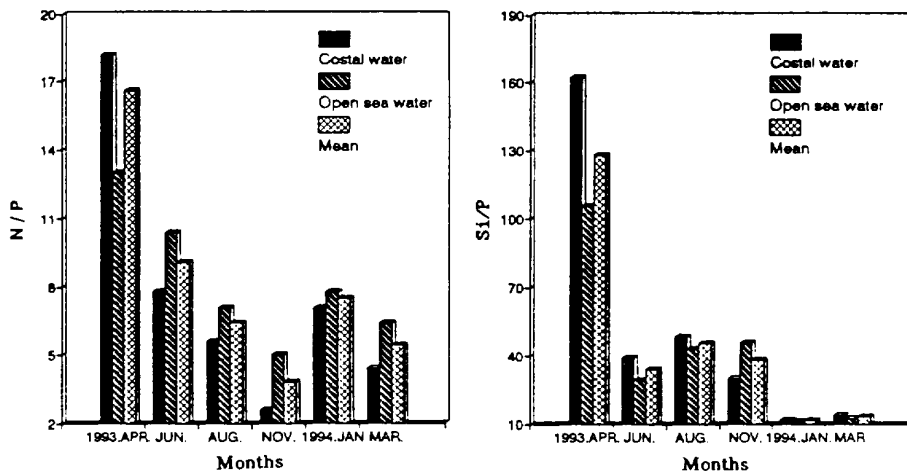


Fig. 20 Seasonal changes of means N/P and Si/P ratios at all depth from April, 1993 to March, 1994.

Fig. 21는 총자료 121개중 인산인이 질산질소 보다 높거나 매우낮은 자료 34개를 제외하여 87개 자료를 가지고 도식화 하여보면 N/P, Si/P비는 각각 4.5, 14.1로 더 낮게 나타나고 있다. 특히, Si/P의 경우는 3배가 더 낮게 나타나고 있다. 상호관련성은 N/P, Si/P모두 $r= 0.5$ 이하로 상호관련성이 별로 없는것으로 나타났다. 또한 N/P($r=0.50$) 보다는 Si/P($r=0.33$)가 더 상관성이 더 낮은 값을 보였다. 전 수층의 년평균 N/P값은 용승역인 연안역이 7.6, 외해역이 8.3으로 연안역에서 약간낮게 나타났다. Si/P값은 반대로 외해역에서 높은 값을 보였다(Table 1)

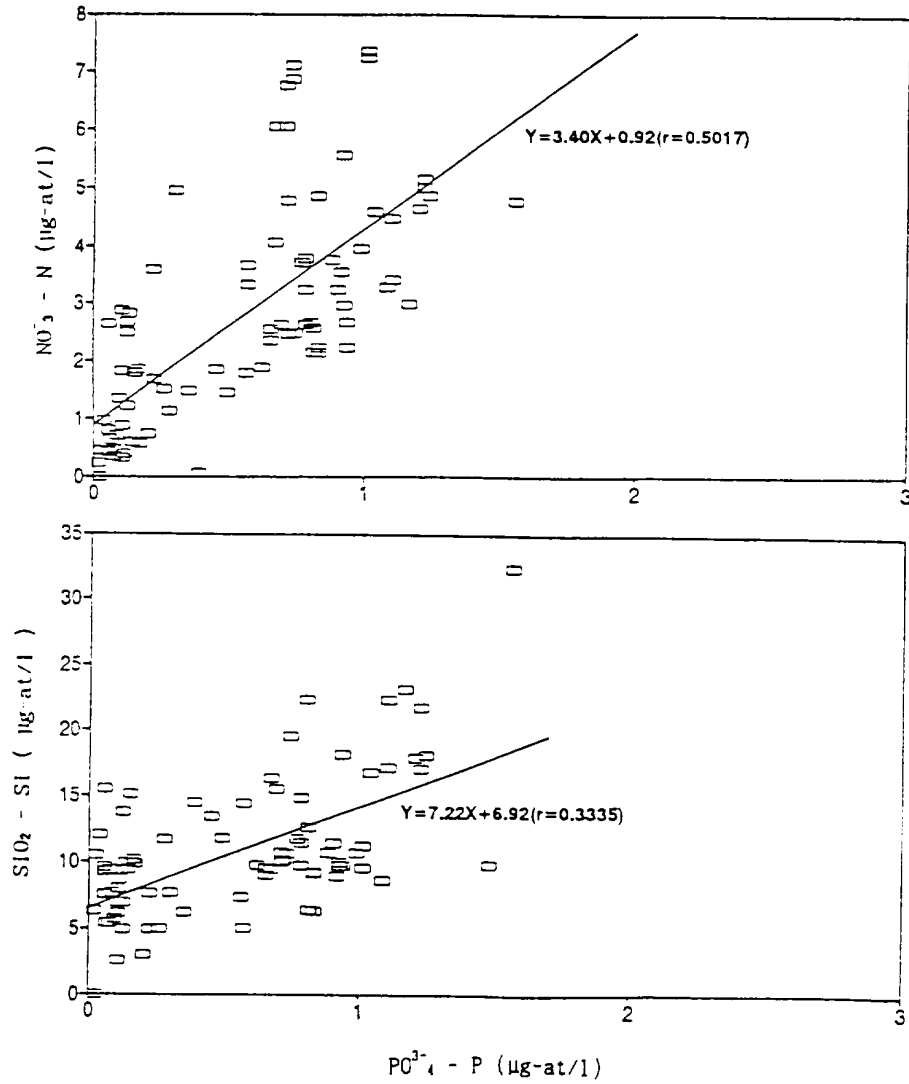


Fig. 21 Plots of nitrate and silicate against phosphate at all station

2) 식물색소(Chlorophyll-a), 부유물질(SS), 휘발성 부유물질(VSS)

연구 해역의 식물색소의 연간 농도범위는 $0.04 \sim 2.36 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 4,6월의 표층수에서 $2 \mu\text{g}/\text{l}$ 이상의 높은 값을 보였다. 연안역의 정점 1과 2의 표층에서 평균 $0.85 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 외해역의 정점 5와 6의 표층수 평균 $0.44 \mu\text{g}/\text{l}$ 보다 높게 나타났다. 30m층의 연안역에서 평균 $0.51 \mu\text{g}/\text{l}$, 외해역의 평균 $0.46 \mu\text{g}/\text{l}$ 를 보였고, 60m층의 연안역은 평균 $0.40 \mu\text{g}/\text{l}$, 외해역이 평균 $0.28 \mu\text{g}/\text{l}$ 였다. 식물색소의 농도는 용승의 일어나는 연안역에서 높은 값을 보여주고 있는데 이는 용승으로 연안역이 외해역에 비해 영양염류의 공급이 원활하기 때문으로 해석된다. 계절별로는 3,4,6,11월에 높은 값을 보였고, 1월과 8월에 낮은 값을 보였다. 이 식물색소의 높은값을 나타내는 3,4,6,11월의 표층수에는 영양염류농도가 감소하고 있는 경향을 보여주고 있는데, 이는 식물플랑크톤에 의한 소모의 결과라고 생각된다(Fig. 17,18). 1월의 낮은 식물색소의 값은 광조조건이 불충분하고 상하혼합으로 식물플랑크톤의 표층에 체류시간이 짧기 때문으로 사료되고, 8월의 경우는 강한성층으로 인한 영양염류의 공급차단 때문으로 해석된다.

부유물질(SS)의 평균값은 $3.14 \text{mg}/\text{l}$ ($0.75 \sim 8.47 \text{mg}/\text{l}$)였으며, 표층, 30m, 60m의 수심에서 각각 평균 3.18 , 3.14 , $3.09 \text{mg}/\text{l}$ 로 표층수에서 약간 높지만 비슷한 값을 나타내고 있었다. 계절별로는 정점 1의 6월에 최고값($6.5 \text{mg}/\text{l}$)을 나타내고 있고, 정점 5의 3월에 최저값($1.3 \text{mg}/\text{l}$)을 나타내고 있다. 연안역 정점 1의 표층의 부유물질 농도는 6월을 제외하고 전 계절에 걸쳐 $3 \text{mg}/\text{l}$ 이하의 낮은 농도가 폭넓게 나타나고 있다. 외해역의 정점 5의 표층의 계절변동은 정점 1과 비슷한 경향을 보였고, 3,11월의 $2 \text{mg}/\text{l}$ 이하의 농도를 제외하면 전 계절에 $3 \text{mg}/\text{l}$ 이상이 비교적 고농도가 분포하고 있다.(Fig. 22)

휘발성 부유물질(VSS)의 4~11월의 평균값은 $1.6 \text{mg}/\text{l}$ ($0.80 \sim 3.75 \text{mg}/\text{l}$)로 나타났다. SS 최고값이 나타난 6월에 최대값을 보였다. 4~11월의 수심별 SS에 대한 VSS 백분율을 구해 보면 표층수에서 연안역의 정점 1이 53%, 외해역의 정점 5가 46%로 나타났고, 30m층에서는 각각 46%와 32%, 60m층에서 각각 39%와 32%였다.

이 결과로 볼 때 표층이 심층보다 휘발 성분이 높고 반대로 심층으로 갈수록 고형 성분이 증가하였다. 또한 연안역의 정점이 외해역 보다 휘발 성분이 많게 나타났다.

Chlorophyll-a, SS, VSS의 계절변화 경향은 비슷하여 연안역에서 봄철(4,6월)과 가을(11월)에 높은값을 보였고, 1,3,8월에 낮은값을 나타내고 있다. 외해역에서는 SS와 VSS량은 연안역과 별차이가 없지만 엽록소a값에 있어서 큰 차이를 보이고 있다(Fig. 22). 이와 같이 이들 3성분이 비슷한 분포경향으로 보아 부유물질의 상당부분이 플랑크톤으로 보아진다.

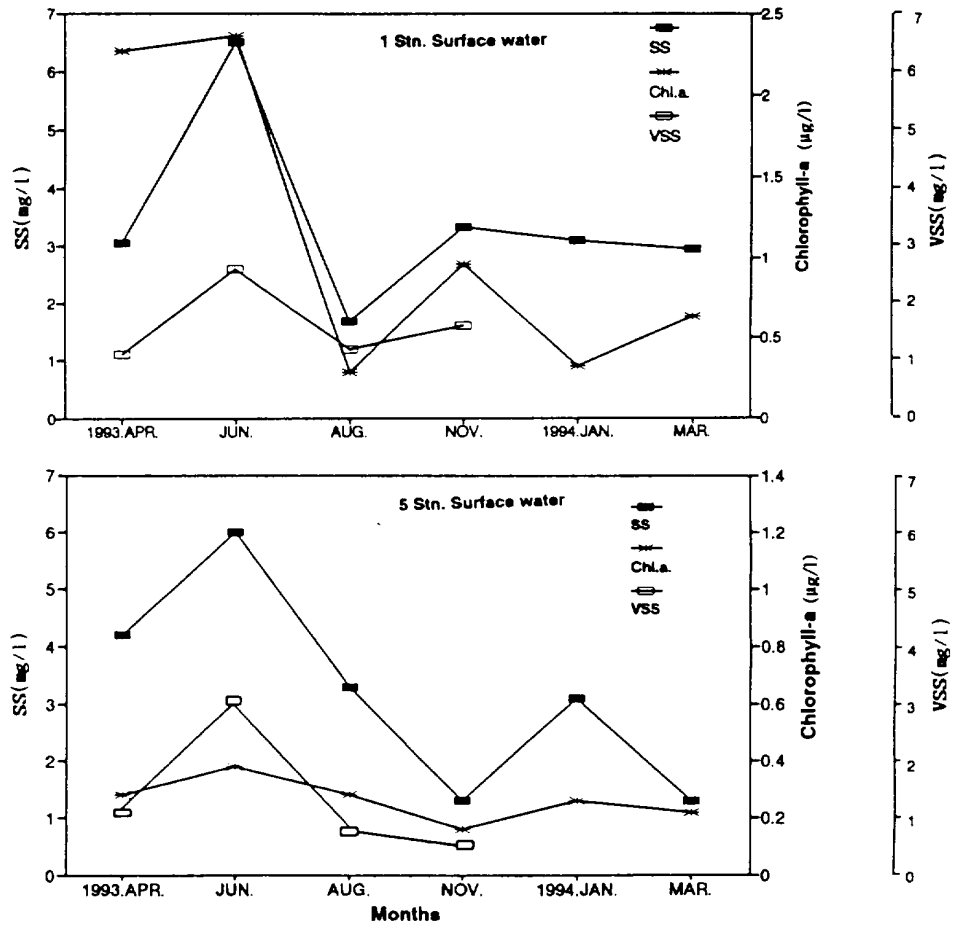


Fig. 22 Seasonal variations of chlorophyll-a, total suspended solid and volatile suspended solid at station 1, 5 from April, 1993 to March, 1994.

따라서, 봄철에 높은 기초생산량은 겨울철 상하혼합으로 풍부한 영양염류가 봄철의 수층의 안정과 광조건의 호전으로 식물플랑크톤의 대증식을 가져왔으며, 8월의 낮은 엽록소a 값은 광조건은 충분하나 강한성층으로 저층으로 부터 영양염류의 공급차단으로 영양염류가 제한요인으로 작용하기 때문이라 생각된다. 또한 11월의 엽록소a의 증가는 성층이 약해지면서 영양염류의 공급증가와 좋은 광량, 적수온, 수층의 안정으로 설명될는지 모른다. 위의 온대역의 광조건과 영양염류 및 기초생산력에 대한 일반적인 경향을 제외하고 이 지역에는 용승으로 인한 영양염류의 충분한 공급으로 외해역 보다 연안역에 상대적으로 높은 기초생산력이 예상되나 식물색소만으로는 기초생산력의 판단이 어렵고, 정확한 식물 플랑크톤 생물량의 측정으로 생산력의 비교 평가가 요구된다.

3. 유기물 분해속도상수

제주도 서방용승해역의 정점 1과 5의 표.저층수에 각각 glucose-glutamic acid를 실험 방법(송 등, 1991)에 따라 첨가한후 20℃ 인큐베이터에서 배양하여 매일 산소소모량을 측정한 결과는 Fig. 23과 같다. 5일 동안의 산소 소모량은 정점 1의 표층과 저층수에서 각각 3.53mg/l 와 3.71mg/l 이고, 정점 5의 표층과 저층수에서 각각 3.03mg/l 와 5.01mg/l 나타내어 표층수의 경우 정점 1에서 저층수의 경우는 정점 5에서 산소 소모량이 많았으며, 대체로 표층수보다 저층수에서 산소 소모량이 많았다. 또한 유기물을 투입하지 않은 자연수의 5일후 산소 소모량은 정점 1의 표층수가 0.37mg/l, 저층수가 0.42mg/l로 나타났고, 정점 5에서는 표층수와 저층수가 각각 0.25mg/l와 0.51mg/l로 유기물 투입 후의 산소소모량의 경향과 비슷하였다. 조사지점의 시수자체의 5일간 산소소모량은 정점 5의 표층에서 0.25mg/l로 최소값을, 저층에서 0.51mg/l로 최대값을 보였다. 영양염류의 값 또한 표층수보다 저층에서 높게 나타났고, 유기물 투입하여 5일간 배양 후 영양염류의 변동량을 보면 총질소(암모니아 질소+ 아질산질소+ 질산질소)농도는 약간높게 나타났으나, 인산인 농도는 별 차이를 보이지 않았다(Table. 2).

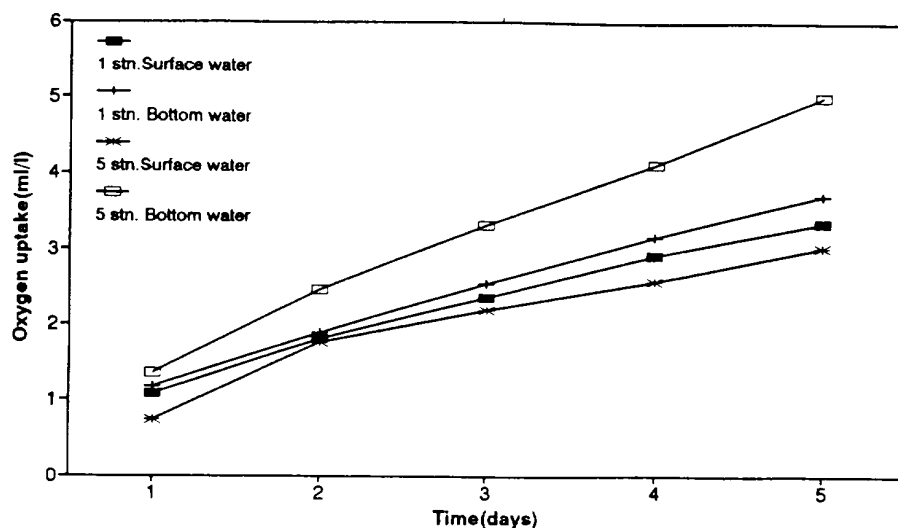


Fig. 23 The plot of oxygen uptake for each station seawater added a mixture of glucose and glutamic acid.

Table 2. General characteristic of receiving waters

Station	Water type	NDO_5 (mg/l)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ ()	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ ()	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ ($\mu\text{g-at/l}$)	TIN ()	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ()
Stn.1	surface	0.37	0.000	0.07	1.22	1.29	0.12
	water		(0.54)	(0.21)	(1.31)	(2.06)	(0.15)
	bottom	0.42	0.000	0.16	3.79	3.95	0.31
	water		(0.66)	(0.18)	(3.94)	(4.98)	(0.29)
Stn.5	surface	0.25	0.000	0.21	0.46	0.67	0.06
	water		(0.42)	(0.23)	(0.53)	(1.18)	(0.06)
	bottom	0.51	0.000	0.18	4.13	4.31	0.54
	water		(0.66)	(0.21)	(4.27)	(5.14)	(0.49)

NDO_5 : Oxygen uptake during 5days of nature water

() : Nutrients concentration each water in added glucos - glutamic acid after 5 days

Table 3. The experimental data relating oxygen uptake and time for each waters added a mixture of glucose and glutamic acid

Station, water type	Time, t, days	Oxygen uptake, y, mg/l	t/y	(t/y) ^{1/3}	
Stn. 1	surface water	1	1.07	0.9345	0.9777
		2	1.81	1.1050	1.0338
		3	2.35	1.2766	1.0848
		4	2.91	1.3746	1.1119
		5	3.34	1.4970	1.1440
	bottom water	1	1.17	0.9091	0.9687
		2	1.89	1.0582	1.0190
		3	2.54	1.1812	1.0571
		4	3.16	1.2658	1.0817
		5	3.71	1.3478	1.1046
Stn. 5	surface water	1	0.74	1.3514	1.1056
		2	1.75	1.1429	1.0455
		3	2.18	1.3761	1.1123
		4	2.57	1.5564	1.1589
		5	3.03	1.6502	1.1817
	bottom water	1	1.35	0.7407	0.9048
		2	2.46	0.8130	0.9333
		3	3.32	0.9036	0.9668
		4	4.11	0.9732	0.9910
		5	5.01	0.9980	0.9993

실험결과로 부터 분해속도 상수를 구하기 위하여 $t, Y, t/Y, (t/Y)^{1/3}$ 값을 Thomas slope method로 산출한 a, b, L_0, K' 값은 Fig. 24와 Table 3과 같다.

분해속도상수 K' 값은 정점1의 표층수 0.144/day, 저층수 0.090/day, 정점5의 표층수 0.147/day, 저층수 0.066/day로 최고값은 정점 5의 표층수에서 최저값은 정점 5의 저층수에서 나타났고, 저층수에 비해 표층수에서 높은 값을 보였다.

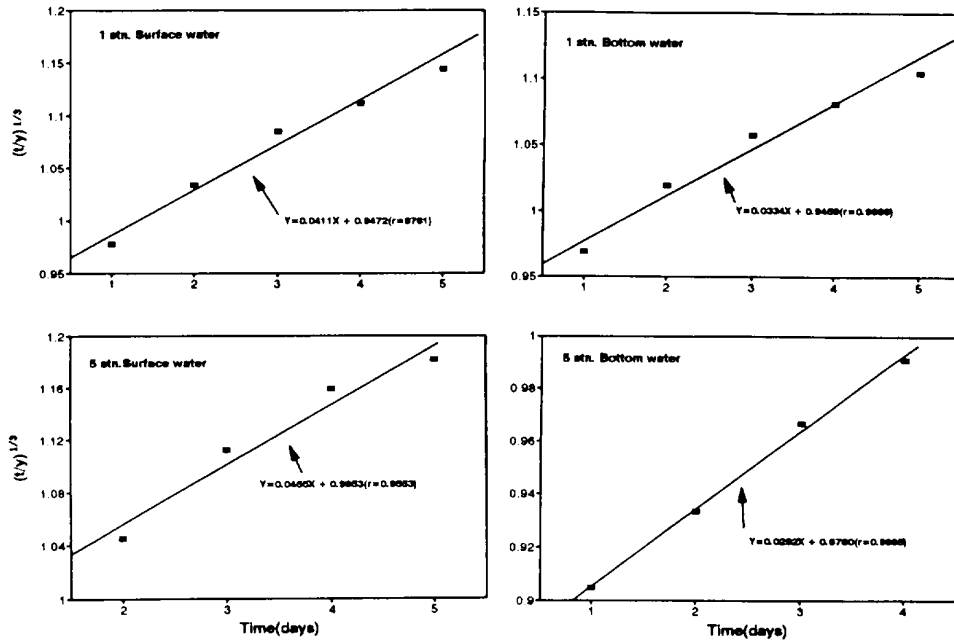


Fig. 24 The plot of $(t/y)^{1/3}$ versus time to determine K' and L_0 for seawater added a mixture of glucose and glutamic acid.

Table 4. Decomposition rate constants of each waters added a mixture of glucose and glutamic acid

Station	water type	a	b	L_0 (mg/l)	W.T. ($^{\circ}C$)	K' (day $^{-1}$)
1Stn.	surface water	0.9472	0.0411	4.53	22.5	0.144
	bottom water	0.9459	0.0334	5.57	19.5	0.090
5Stn.	surface water	0.9653	0.0455	3.93	21.1	0.147
	bottom water	0.8759	0.0292	8.50	14.1	0.066

IV. 고 찰

연구결과 고찰은 연구지역의 1)물리적특성, 2)화학적특성, 3)각성분들간의 상호관련성, 4)유기물 분해 능력 대하여 타연구자들의 연구결과와 비교하고 그 원인을 고찰하였다.

1. 연구지역의 물리적 특성

제주도 서부연안역에 영향을주는 수괴는 주로 고온 고염의 쿠로시로 해류계의 대마난류수와 저온저염의 황해저층냉수, 양자강및 대륙연안수등이 보고되고 있다. 1~4월에는 15℃안밖의 수온과 34.5%의 대마난류계의 해수가 균일하게 분포하고 있고, 6~11월에는 표층이 저염화되어 30‰까지 떨어지는데 이 저염화는 양자강연안수의 영향으로 보여진다(김, 1986). 또한 표층수가 나타나는 여름에 저층의 최고염분도 낮아져, 이 해역의 대마난류수의 세력이 약화되고 있음을 보여준다(방 등,1992). 그러나 저층수온의 값은 여름철 표층수온의 상승에 비해 년중 거의 일정하고 8월에 미미 하지만 오히려 하강하는 경향을 보이고있는데 이는 표층수의 영향으로 보기가 힘들고 황해저층냉수괴가 연구해역인 제주도 서부연안 까지 남하하는 것으로 보아야 할 것 같다. 김(1991)등, 윤(1991)등, 방(1992)등에 의해 황해저층냉수의 남하에 대하여 연구해왔지만 정확한 남하의 범위가 밝혀지지 않았다. 이 지역의 단순한 년평균 수온, 염분 농도범위는 최 등의 조사한 제주도 남부해역(1992), 제주도 북부해역(1991), 제주도 동부 해역의 수온,염분 년평균 수온값(수온범위 14~26℃)과 별차이가 없었다.

김과 이(1982)는 해류가 제주도 서부해역을 시계방향으로 선회함에 의해 연안역의 용승이 발생한다는 보고와 방 등(1992)황해와 동중국해에 1차적인 순환이 있으며 이 순환이 제주도 주변해역에서는 시계방향으로 흐름을 갖는다는 견해로 연안용승이 보고 되었다. 방 등(1993)은 이 연구와 동시점 동기간 동안에 조사한 수온 염분 자료를 통하여 연구해역의 용승현상을 설명하였는데

즉 등온선과 등염분선이 해안으로 갈수록, 상.중층에서는 해수면으로 상승하고(상층용승형) 중.하층에서는 해저면으로 하강하는(하층침강형) 형태(상하분산형)의 용승을 보고 하였다. 방 등(1993)은 용승의 원인을 해안쪽의 급격한 수심경사 지역을 해류가 흐르기 때문으로 보고 있고, 11월의 강한 용승은 북서계절풍에 의한 것으로 조사되었다. 이 지역의 해안이 수심이 얇기 때문에 수심의 변화가 완충되지 못하고 바로 해류 흐름에 영향을 주게되므로 만일 해류가 등 수심선을 가로 지르면 해수기둥은 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타난다. 또 해류가 등수심선을 따라 흐른다면, 해류가 북상할 때 등수심선이 폭이 넓어지기 때문에 해수의 수평분포는 발산되고 역시 해수기둥 길이가 줄어들어 (-)와도변화를 가지며 용승효과가 나타난다고 보고하고 있다. 그리고 침강효과는 등수심선폭이 증가로 인한 해수량의 부족은 저층에서 채워지므로 중.저층이 해수기둥이 길이가 늘어나 (+)의 와도변화를 갖게되어 침강효과가 나타난다고 보고있다(방 등,1993). 따라서, 수온, 염분 자료만을 가지고 보고된 이 지역의 용승은 본 연구에서 물리(수온, 염분), 화학적(질산질소, 인산인, 규산규소)자료들을 가지고 용승현상을 고찰하여 본 결과 물리적 성분에게서 뚜렷하게 나타나지 않았던 4월(상층용승)과 8월(상하분산형)의 용승을 화학적자료로 부터 뚜렷하게 볼 수 있었고, 6월과 11월의 용승은 수온, 염분과 유사하게 화학적 자료에서도 강하게 나타나고있다. 특히, 11월에 북서계절풍의 영향으로 가장 강한 용승이 일어났고, A line 보다 B line에서 더욱 강하게 나타났다(Fig.11~16). 이와같은 용승 현상은 상하혼합이 잘 이루어 지는 1월과 3월에는 물리, 화학적성분들이 균일하게 분포하여 각 성분들의 수직, 수평분포도로는 나타나고 있지 않지만, 이 지역 용승이 수심이 100m에서 급격히 낮아지는 해안을 해류가 흐르기 때문에 일어나므로 겨울철에도 용승이 있을 것으로 생각된다. 결국 이 지역의 용승현상에 대해서는 여러각도의 면밀한 조사를 통하여 더욱 명확히 밝혀져야 하겠지만, 용승원인이 본 연구에서와 같이 이 지역 수심변화에 의한 것이라면 용승은 년중 일어날 것으로 사료된다.

2. 해수의 화학적 분포특성

영양염류

이 연구지역의 질산질소의 농도는 상하혼합이 잘 이루어지는 1월에 $6\mu\text{g-at}/\ell$ 이상 균일하게 분포하여 있고 4, 6, 8, 11월에 표층과 저층간이 농도차가 심하게 나타나고 있으며, 특히, 6~11월이 표층수에서 질산염의 농도가 낮은 값을 보이고 있는데 이는 겨울철 동안의 상하혼합으로 공급된 질산이 수온의 상승과 표층과 저층간의 강한성층이 형성되어(수온약층) 저층의 고농도의 질산질소의 공급이 차단된 상태에서 식물플랑크톤의 활발한 증식으로 소모되었다고 판단되며, 이것은 실제 식물색소의 농도가 4월 이후에 급격히 증가와 잘 일치하고 있다(Fig. 17, 18). 이 지역의 년 평균질산질소의 범위는 표층이 $0.06\sim 7.12\mu\text{g-at}/\ell$, 30m층이 $0.25\sim 6.88\mu\text{g-at}/\ell$, 60층이 $1.48\sim 8.19\mu\text{g-at}/\ell$ 로 최 등(1989, 1991, 1993)의 제주 해안선 주변역과 제주북방 해역, 그리고 제주동부 해역의 결과와 비슷한 값을 나타내고 있고, 최 등(1988, 1992)의 제주항부근 해역과 서귀포 연안역의 연구결과 보다 다소 낮게 나타나고 있다. 이는 본 연구지역이 제주항 부근 해역이나 서귀포 연안해역에 비해 하천이 없고, 인구 밀도와 산업시설이 적어 육지로 부터 유입이 미미 하기 때문으로 생각된다.

인산인의 농도는 질산염과 마찬가지로 1~3월에 $0.63\sim 1.48\mu\text{g-at}/\ell$ 가 비교적 균일하게 분포되어 있고, 4~11월의 표층수에서 낮은 농도값을 보이고 있으며, 특이하게 4월에 60m수심층 까지 $0.2\mu\text{g-at}/\ell$ 이하의 낮은 값을 나타내고 있다. 이것은 질산질소와 같이 식물플랑크톤의 대량증식에 의한 소모의 결과라고 생각된다. 이와같은 생각을 가능케 하는것은 이 기간(4~6월)동안에 실제 식물색소값이 $0.7\sim 2.36\mu\text{g}/\ell$ 으로 높게 나타나고 있기 때문이다(Fig. 17).

이 지역의 인산인의 년평균 농도분포는 표층(0~30m)에서 $0.55\mu\text{g-at}/\ell$, 저층수(60~110m)에서 $0.68\mu\text{g-at}/\ell$ 이상을 나타내어 최 등(1991, 1993)의 제주북부 해역 및 동부해역의 평균 농도 보다 약 2배가 많게 나타나고 있다.

규산규소 농도의 연간 변화폭은 현저하게 나타나고 있다. 6월의 표층에서 3 $\mu\text{g-at}/\ell$ 안팎이 저농도와 11월의 저층에서 57 $\mu\text{g-at}/\ell$ 의 고농도가 분포하여 계절별 정점별 농도의 차가 크며, 특히 11월에 농도의 구배가 가장 현저하게 나타나고 있다. 4~6월의 표층수에서 규산규소의 농도가 급격히 낮아지고 있는데 이는 규조류와 같은 식물플랑크톤에 의한 소모의 결과로 보아지나 명확한 것은 기초생물량의 측정자료가 뒷받침되어야 알 수 있을 것 같다. 11월의 고농도의 규소값은 직접적으로는 봄철 대증식으로 발생한 규조류가 여름철 동안에 분해되어 저층에 고농도의 규산염이 성층이 약해지는 11월에 용승에 의해 전수심층으로 확산된 것으로 판단되며, 또한 간접적으로 이 지역에 영향을 주는 고농도의 규소를 함유한 양자강연안수와 같은 물리적 요인의 작용에 의한 것으로 생각된다. 제주도 해역의 타 지역의 규소 농도의 분포와 비교하여 보면 년평균 10 $\mu\text{g-at}/\ell$ 로 최 동(1991, 1993)의 제주도 북부 해역 및 동부 해역의 조사 결과 보다 비교적 높은 값을 보이고 있고, 최 동(1989, 1992)의 제주도 해안선 주변역과 서귀포 연안역의 결과와는 비슷한 값을 보이고 있다.

영양염류의 수직, 수평 분포도를 보면 연안역과 외해역의 영양염의 농도 구배가 뚜렷하게 나타나 연안의 고농도의 영양염이 외해로 확산되어 나가는 것을 뚜렷하게 볼 수 있는데 이와 같은 현상으로 볼 때 본 연구지역 연안역은 용승으로 저층에서 표층으로 영양염류의 공급이 잘 이루어진다고 사료 된다.

영양염류의 분포에는 해류, 조류, 대륙연안수의 유입 등 물리적 요인과 식물플랑크톤에 의한 소모와 같은 생물학적인 요인, 그리고, 박테리아 등의 미생물에 의한 유기물의 분해로 재생되는 영양염류와 같이 화학적 요인들에 의해서 분포특성이 결정되어 진다면, 이 지역의 영양염류의 분포 경향은 물리적 요인으로 수온 염분과 비슷한 분포 경향을 보이는 것으로 설명되며, 생물학적인 요인으로는 4~11월의 표층에 낮은 농도 분포와 높은 엽록소-a의 분포, 그리고 화학적 요인으로 수온 약층 하부의 높은 영양염류의 분포는 이를 뒷받침해 준다고 생각된다.

수온, 염분, 영양염류, 수직, 수평분포로 부터 이 지역의 연안용승이 설명되었는데, 상하분산형의 용승형태의 용승효과의 지속기간과 범위, 정확한 원인 등의 연구가 지속되어야하고 일반적인 용승지역에 보여주고 있는 높은 기초생산력이 본 연구지역에도 나타나는지 식물색소의 농도만으로는 정확한 판단이 어려우므로 생물학적인 연구와 종합하여 검토 한후 용승의 효과를 밝혀야 할 것이다.

용존산소, Chlorophyll-a, 부유물질

일반적으로 대양의 용존산소 분포는 표층에서 최고값, 수온약층 상부에서 최소값을 보이고 수심증가와 함께 약간증가하여 심층에서는 거의 일정한 값을 보이는것으로 보고되어 있다(Open Univ. 1989). 그러나 연안역의 용존산소의 분포 특성은 지역과 계절과 주변수의 영향에 따라 큰차이를 나타낸다. 본 연구에서 표층수에서 최저값, 저층에서 최대값을 보이고 있고 성층형성의 뚜렷한 8,11월에는 수온약층 상부의 30m층에서 최소값을 보이고 있다. 이지역은 특이하게 저층(50~100m)에서 대부분 과포화 상태에 있고, 표층(0~30m)에서는 4월을 제외한 계절에서 불포화 되어있다. 이것은 최 등(1991,1993)의 제주도 북부 해역과 동부해역의 용존산소 값과 비교하여 보면 표층수에서는 다소 비슷한 값을 나타내고 있지만, 저층수의 경우는 현저히 높은 값을 보이고 있다. 표층수중의 용존산소의 농도분포에 있어서 1~4월에 비교적 높은값은 광합성에 의한 산소발생과 수온감소에 따른 대기로 부터의 산소포화량의 공급증가, 6~11월의 낮은 산소값은 수온상승에 의한 포화량의 제한과 유기물 분해로 인한 소모등으로 설명이 가능 할지 모르지만 저층수중의 높은 산소값은 그것 들로는 설명의 곤란하다. Fig. 8에서 산소의 포화량은 염분보다 주로 수온에 의해 영향을 받는것으로 설명하였는데, 그렇다면 저층수의 높은 산소값은 산소를 많이 함유한 저온의 황해 저층냉수괴가 영향을 주고 있는 것인지 아니면 다른요인이 있는지 분명치가 않다. 본 연구에서 8월의 저층수온이 표층수의 온도상승에도 불구하고 오히려 낮아지고 있는 것으로 보아 황해저층냉수괴의 확장으로 보아지지만 아직까지 황해저층냉수가 본연구지역까지 영향을 주고 있다는 보고도 없으므로 황해저층냉수의 영향으로만 판단하기가 매우 어렵다.

따라서, 이 지역 저층수의 용존산소 고농도 분포에 대한 해석은 여러각도의 세밀한 조사연구가 이루어져야 가능 할 것이다.

이 지역의 식물색소의 함량이 3, 4, 6, 11월의 표층(0~30m)에서 높게 나타나 는 것으로 보아 식물플랑크톤이 폭넓게 발생하는 것으로 생각된다. 8월의 저 농도는 강한 성층에 의한 표층으로 영양염류의 공급차단으로 인한 것으로 사려 되고, 1월의 저농도값은 상하혼합으로 영양염류의 공급이 원활하나 광조건의 제한과 혼합에 의한 식물플랑크톤의 표층체류시간의 감소의 원인으로 생각된다. 최 등(1991, 1993)의 제주도 북부해역과 제주도 동부 해역에서 식물색소의 최대값이 각각 5월과 10월, 7월과 9월에 나타난것에 비해 이 지역의 식물 색소의 값은 8월과 겨울철을 제외한 전 계절에 높게 나타나고 있다(Fig. 17). 특히, 연안역의 정점 1과 2에서 0~60m층까지 $1\mu\text{g}/\text{l}$ 고농도를 보이는 것으로 보아 이 지역이 연안용승이 일어나고 있다는 것을 뒷받침해주고 있다. 연구해 역의 전 정점 표층에서 식물색소의 년평균값은 $0.52\mu\text{g}/\text{l}$ 로 높게 나타났고, 4~6월의 연안역 정점 1의 표층 식물색소 농도는 $2.0\mu\text{g}/\text{l}$ 이상으로 나타나, 전 등(1983)이 6월의 제주연안역 평균 $0.38\mu\text{g}/\text{l}$ 과 최 등(1991)이 7월평균 $0.35\mu\text{g}/\text{l}$, 고 등(1984)이 삼양연안의 6월 평균 $1.31\mu\text{g}/\text{l}$, 최 등(1991)이 제주도 서 남방해역의 4월평균 $1\mu\text{g}/\text{l}$ 보다 약 2배 이상 높게 나타나고 있다. 이것은 이 지역이 연안용승으로 동기간 동안에 영양염류의 공급이 충분하기 때문으로 사료된다.

연구지역의 부유물질 농도는 전 지역에서 $10\text{mg}/\text{l}$ 이하로 나타나 생물서식에 호적한 상태를 보이고 있고 년평균 $4.0\text{mg}/\text{l}$ 이하의 값으로 최 등(1988)이 제주탐동연안의 2월, 11월의 결과와 최 등(1993)이 제주 동부 연안역의 결과보다 다소 낮게 나타났다.

용승현상이 뚜렷한 6~11월동안에 연안역(Stn. 1, 2)과 외해역(Stn. 5, 6)의 엽록소a, 부유물질, 휘발성 부유물질을 비교하여 보면 연안역에서 엽록소a 는 2배이상 높게 나타나고 있고, SS 및 VSS의 분포경향은 비슷하지만 상대적으로 약간 높게 나타나고 있다. 이는 용승으로 인한 영양염류와 같은 무기염류의 보급이 외해역 보다 연안역에서 원활하여 연안역의 기초생산력에 도움을 주기 때문으로 사료된다.

N/P, Si/P의 비

일반적으로 대양수중의 N/P비는 16으로 알려져 있고, 이것은 동. 식물플랑크톤의 화학조성식의 16과 일치하는 값이다(Redfield, A. C., B. H. Krtchum and F. A. Richards, 1963). N/P비는 지역에 따라 큰 차이를 나타내고 있으며, 대체로 하구역이나 연안에서 낮게 나타나고 있다. 이것은 인산염에 비해 질산염이 생물에 보다 효과적으로 흡수 동화되기 때문으로 보고되었다(Ryther and Dunstan, 1971; Maita, 1982). 이 연구지역의 N/P비는 년 평균 8.0으로 최 등(1991, 1992, 1993)에 의한 제주도 남방해역의 4월달의 N/P값 9.4~15.4와 서귀포연안역의 값 15.8 그리고 제주도 북부해역 과 동부해역은 각각 8~42, 15.1-18.5로 보고된 N/P값 보다 낮게 나타나고 있으며, 양 등(1990) 제주도 서부해역의 8월의 표층, 50m층에서 각각 4.58과 4.06의 값과 이 지역의 8월의 표층에서 4.3~7.3, 30~60m층에서 3.9~9.8의 값으로 비슷하였다. 이것은 질산염에 비해 인산염의 농도가 상대적으로 높고, 이들 두영양염간의 생물에의 흡수와 재생속도의 차이 때문으로 생각된다. 양 등(1991)에 의하면 질산염이 낮은 이유를 제주도 남서쪽해역까지 남하한 황해저층냉수가 북상하는 대마난류수와 마주치면서 질산염이 거의 고갈된 표층의 해수와 수직혼합이 잘 이루어지기 때문으로 보고 있다. 그러므로 이지역은 N/P가 낮은 것이 특징이다. Si/P의 일반적인 해수의 값은 60으로 보고되어 있고(Tsunogai, 1972), 베링해에서는 150까지 측정되었다. Stefansson(1968)에 의하면 인산염의 농도가 $0.8\mu\text{g-at}/\text{l}$ 이하의 해수중 Si/P는 16보다 작고, 상관성도 낮다고 한다. 그 이유는 규산염의 인산염보다 재생속도가 낮기 때문이다. 이 연구지역의 Si/P비는 전 정점 년평균 46.3으로 나타났다. 이것은 최 등(1992)의 서귀포 연안역 26.7-38.4, 최 등(1993)의 제주 동부해역의 26.0-29.9보다 높게 나타나고 있다. 높은 Si/P의 값이 오래된 해수라는 연구결과(Tsunogai, 1972; 1979)로 비추어 단순히 비교하여 볼 때 이 지역은 제주도의 남부, 동부, 북부해역보다 해수의 교환이 잘 이루어진다고 볼 수 없다. 하지만 N/P, Si/P값은 4월의 식물플랑크톤 대중식으로 극심하게 고갈된 인산염의 농도비로 계산된 이들 비가 N/P비의 경우 타 계절의 2-3배, Si/P는 무려 3~5배에 달해 년평균 이들값을 크게 올려 놓았다는 것을 고려해야만 한다.

용승이 일어나는 연안역의 N/P값은 4월을 제외하고 외해역 보다 낮았으며, Si/P값은 11월을 제외하고 대체로 높았다. 이것은 용승에 의해 연안역의 저층에 상대적으로 더 풍부하고 빨리분해된 인산염이 용출로 인하여 고농도의 인산염이 확산된 결과라고 생각된다.

3. 유기물 분해능력

이 연구에서 연안역의 정점 1의 표층에서 0.144/day, 저층에서 0.090/day로 나타났고, 외해역의 정점 5의 표층과 저층에서 각각 0.147/day, 0.066/day 값을 보여 표층보다 저층에서 비교적 유기물 분해능력이 낮았다. 이 값은 Ishikawa와 Nishimura(1983)의 광합성 유기물 분해속도상수 0.132~0.434/day Ogura(1975)의 용존유기물 초기 분해속도 상수 0.045~0.25/day와 비슷한 값을 나타냈고 있다. 그러나, Yoshida등(1983)의 입자상유기물의 초기분해속도 상수 0.19~0.38/day 와 송 등(1991)의 해운대 부근 연안수와 동해남부해역의 외양수의 glucose-glutamic acid를 사용하여 각각 구한값 0.21/day, 0.23/day Standard method(1975)의 연안수와 외양수에서 동 유기물을 투입하여 구한 유기물 분해속도 상수 0.16~ 0.19/day보다 낮은 값을 보였다. Ogura(1975)에 의하면 일반적으로 0.45 μ filter로 통과한 유기물을 용존태유기물 통과하지 못하여 여과지에 남아 있는 유기물을 입자태유기물로 정의 하였는데 본 연구 결과에서 입자태유기물의 경우 표층에서 높고 저층으로 갈수록 낮게 나타났다. 또한 용존유기물의 경우 대양의 표층(0~500m)에서 대부분 분해되어 저층으로 갈수록 분해되기 어려운 물질로 구성하고 있다는 보고(Ogura, 1975)로 비추워 볼 때 연구지역 시수 채수지점의 수심이 Stn.1은 50m, Stn.5의 경우는 85m깊이의 시수로 이들 저층수에 분해가 어려운 유기물이 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 5일간의 배양을 통한 유기물분해 실험에서 산소소모량이 저층에서 높게 나타나는 것은 Seki(1965)의 수역별 분해세균의 분포조사에 의하면 표층부근의 세균수가 극히 적은 것으로 나타났는데, 이로 미루어 여름철

강한 일사로 인하여 해양세균이 음의 도광반응을 나타때문에 균수가 적어 아
올러 동일소모에 1일정도의 지체기가 필요한것으로 보고 있다(이 1987). 동해
의 조사에서 실제 표층보다는 다소 저층에서 산소소모량이 많았다. 이와 같은
결과로 볼때 이 지역에 대한 유기물 분해 능력에 대한 평가를 위해서는
POM, DOM, DOC, BOD등의 농도와 무기화 과정에 대한 면밀한 연구가 선행되어야 총
합적인 평가가 가능 하리라 생각된다.

V. 요 약

제주도 남서부용승해역의 해수의 화학적분포특성과 유기물분해능력은 다음과 같다.

1) 이 연구해역의 수온, 염분, 용존산소, 영양염류의 수직분포로부터 여안 용승현상을 볼 수 있었다. 4월은 상층용승형이 나타나고 있고, 6-11월은 상.중층에서 등농도선이 해수면으로 상승하고, 중.하층에서 해저면으로 하강하는 형태의 상하분산형 용승이 뚜렷하게 나타났다. 용승은 6월과 11월에 강하게 나타났으며, 폭도 넓게 형성되었다. 이와같은 용승현상은 연구해역이 해안으로 갈수록 급격한 경사를 이루는 해저면의 수심이 다른 곳을 해류가 흐르기 때문에 용승이 일어 나는 것으로 보인다. 또한 11월에는 북서 계절풍의 영향으로 강한 용승이 일어나고 있으며, B line에서 더욱 강하게 나타났다. 겨울철은 상하혼합이 잘 이루어져 뚜렷한 용승의 징후를 볼수 없었지만 급격한 수심경사로 인한 용승이 있을 것으로 판단되어 본 연구지역의 연안은 년중 용승이 일어난다고 생각된다.

2) 용승지역의 영양염류의 표층 농도범위는 질산질소가 $0.06\sim 7.12\mu\text{g-at/l}$, 인산인이 $0.03\sim 1.75\mu\text{g-at/l}$, 규산규소가 $2.75\sim 22.32\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내어 계절과 수심에 따라 큰차이를 보였다. 상하혼합이 잘 이루어지는 겨울과 초봄에 고농도의 영양염류가 균일하게 분포하고 있고, 여름과 가을철 표층에서 낮고 수심에 따라 증가하였다. 또한 용승해역인 연안역의 정점 1과 2의 표층수에서 영양염의 농도는 외해역보다 현저하게 높게 나타나고 있다.

3) 용승의 일어나는 연안역의 정점 1과 2의 표층수(0~30m)의 부영양화도는 년평균 0.68로 나타났고, 1월에 1.2를 보여 이 지역의 향후에 부영양화 가능성을 시사하고 있다.

4) 용존산소농도는 표층(0~30m)에서 년평균 5.28ml/l , 저층(60~100m)에서 7.30ml/l 를 나타내어 특이하게 저층에서 높았다. 이는 황해냉수괴의 영향인지 아니면 다른 요인이 있는 것인지 면밀한 조사가 요구된다.

또한 8~11월에 22~56 $\mu\text{g-at/l}$ 범위의 고농도 규산규소가 전 정점에 폭넓게 분포하고 있는데 이는 봄철 대증식으로 발생한 플랑크톤의 분해와 양자강연안수의 영향으로 보아진다.

5) 연구해역의 년평균 N/P비는 8.0, Si/P비는 46.3으로 나타나 제주도 북부, 남부, 동부와 비교하여 낮은 N/P값과 높은 Si/P값을 보였다.

6) 식물색소의 농도범위는 0.04~2.36 $\mu\text{g/l}$ 로 특히 봄철에 표층수에 2 $\mu\text{g/l}$ 이상의 높은값을 나타내었고, 특히 용승해역인 연안역이 외해역 보다 높게 나타났다.

7) 부유물질의 평균값은 3.14 mg/l (0.75~8.47 mg/l)로 생물의 서식하기에 호적한 상태였고, VSS/TSS백분율은 연안역의 정점 1에서 53%, 외해역의 정점 5에서 46%로 나타났으며 수심증가에 따라 감소하였다. 또한 연안역의 외해역 보다 휘발성분이 높고, 표층 보다 심층으로 갈수록 고형성분이 증가하였다.

8) 연안역의 정점 1과 외해역의 정점 5의 표.저층수에 순수유기물 glucose-glutamic acid를 첨가하여 유기물 분해속도상수를 측정된 결과 연안역의 표층 및 저층에서 각각 0.144/day, 0.090/day를 나타냈고, 외해역에서는 각각 0.147/day와 0.066/day를 보였다.

VI. 참고문헌

- 고유봉, 이화자, 손명호, 1992. 제주도 남부연안역의 생물생태학적 기초연구-
제주도 주변 부유성갑각류의 현존량과 생산량. 한국지주과학회
지, 13(3):336-341
- 김구, 심재형, 노홍길, 고유봉, 1980. 한국남서해의 해류분포와 그 영향에 관한
연구 (미발표 연구보고서)
- 김인옥, 1986. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구,
제주대학교 석사학위 논문, P. 46
- 노홍길 · 정공흔, 1976. 제주도 연안의 수온, 염분변동에 관한 연구(I),
제주대학교 논문집 8:115-122.
- 노홍길 · 정공흔, 1977. 제주도 연안의 수온, 염분변동에 관한 연구(II),
제주대학교 논문집 9:131-136.
- 박길순, 1982. 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구, 한국수산학회지,
15:255-262.
- 박용향, 1985. 조천연안역의 용천수와 해수유동 및 환경요인의 대상분포에
대한 고찰. 제주대 해양연구소 연구보고, 9:25-31
- 방익찬, 김태희, 1989. 동지나해의 해수분포의 계절변화와 해수순환, 제주대
학교 논문집. 28:61-73
- 방익찬 · 노홍길 · 김유근 · 김태희, 1990. 제주도 북방 함덕해역에서의 기상
과 해황의 관계, 제대논문집 30:31-51.
- 방익찬 · 김태희, 1993. 제주도 서부연안역의 용승, 제주대 해양연구소 연구
보고 17:1-12.
- 노섬, 변충규, 안희도, 1994. 제주도 바다목장화 모델개발 연구보고서. 미발표
연구보고서,
- 송교육, 박청길, 1991. 해수중 유기물분해와 영양염재생의 특성에 관한연구 .
한국수산학회지, 24(5):356-361

- 심재형 · 양성렬 · 이원로, 1989. 춘계한국동해남부해역에서의 식물수분학적 수역과 질산염약층의 수직양상, 한국해양학회지 24(1):15-28.
- 서익범, 1990. 제주도 남방서귀포연안산 산호의 종조성과 수직분포, 제주대학교 대학원 석사학위 논문, 제주대학교 대학원
- 양성기, 1984. 제주도 삼양연안역의 해양환경학적 연구-수온, 염분 및 용존 산소의 분포, 제주대 해양연구소 연구보고 8:1-8.
- 양성기, 1985. 동계 서귀포연안의 해양환경과 해수유동의 특성, 제주대학교 해양연구소 연구보고 9:13-24.
- 윤용훈 · 박용항 · 봉종현, 1991. 황해 저층 냉수의 특성과 남하에 대한 재조명, 한국지구과학회지, 12(1), 25-37.
- 이석모, 1987. 동계 동해남부 해역의 자정능력평가. 한국수산학지, 20(1):69-78
- 이준백 · 최영찬 · 고유봉, 1989. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산, 한국지구과학회지:10(1):62-67.
- 전득산 · 고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 Chlorophyll-a 함량분포, 제주대 해양연구소 연구보고 7:23-27.
- 정창수 · 김석현 · 강동진 · 홍기훈, 1991. 황해중심부해역의 하계일차생산력, 영양염류 및 용존산소 동태에 관한연구. 황해연구 4:89-102
- 정창수 · 심재형 · 방용철 · 박상갑, 1989. 한국동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계, 한국해양학회지, 24(1):52-61.
- 최영찬 · 김재하, 1988. 제주 해안선 주변의 해수특성 (1987년 6월-1989년 4월). 한국지구과학회지, 10(1):54-61.
- 최영찬 · 김재하, 1988. 제주도 탐동연안역의 동계 수질특성. 제주대 해양연구소 연구보고, 12:55-62
- 최영찬 · 정용진, 1989. 제주도 해안선 주변 1개 정점(용두암 근처에서) 해수특성의 일주변화, 제주대학교 해양연구소 연구보고, 13:27-33.
- 최영찬 · 문영석 · 고유봉 · 이준백, 1991. 제주도 북부 연안역의 생물생태학

- 적 기초연구-제주도 북방 함덕해역의 화학적 특성, 한국지구과학회지, 12(1):38-45.
- 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1992. 제주도 남부 연안역의 생물 생태학적 기초연구(1)-서귀포 주변 연안역의 해수특성, 한국지구과학회지 13(3): 327-335.
- 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1993. 제주도 동부 연안역의 생물 생태학적 기초연구(I)-외도 주변 연안역의 해수특성, 한국지구과학회지 14(4): 450-457.
- 日本分析化學會 北海道支部, 1985. 水質の分析, 日本. 198-201.
- APHA · AWWA · APCF, 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater, 14th ed, 548.
- APHA · AWWA · APCF, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. 417-463
- Brand, V., T.Rakestraw and C.E.Renn, 1937, The experimental decomposition and regeneration of nitrogenous organic matter in Seawater. Biol. Bull., 72, 165-175.
- Chung.C.S., J.H.Shim, Y.C.Park and S.G.Park, 1989, Primary productivity and nitrogeneous nutrient dynamics in the East Sea of Korea, J.Oceanol. soc. Korea, 24(1):52-61.
- Eric Shulenberger and Joseph L.Reid, 1981. The pacific Shallow Oxygen maximum, deep chlorophyll maximum, and primary productivity, reconsidered Deep-Sea Research, 28:901-919.
- FAO, 1975. Manual of method in aquatic environment research. U.S.A., P.145
- F.Thomas, V.Garcon and J.F.Minster, 1980. Modelling the seasonal cycle of dissolved oxygen in the upper ocean at Ocean Wether Station. Deep-Sea Research, 37:463-491.

- Ishikawa, M. and H. Nishimura, 1983. A new method of evaluating the mineralization of particulate and dissolved photoassimilated organic matter. *Journal of the oceanographical society of Japan*, 39:29-42.
- Kim, K. and S. H. Lee, 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island, *J. Oceanol. soc. Korea*, 17(2):59-68.
- Lee, J. C., 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. soc. Korea*, 18(2):149-160.
- Nishimura, M. and K. Matsunaga, 1969. Determination of nitrate by reduction to nitrite, *Japan Analyst*, 18(20):154-159.
- Ogura, N., 1975. Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal sea water. *Mar. Biol.*, 31:101-111.
- Open University, 1989. *Seawater: its composition, properties and behavior*. Pergamon Press, Oxford, 165
- Park, Y. H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 20: 12-21.
- , 1986 a. A simple theoretical model for the upwind flow in the Southern Yellow Sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21: 203-210
- , 1986 b. Water characteristics and movement of the Yellow Sea warm current in summer. *Prog. Oceanog.* 17: 243-254.
- Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992. Seasonal variations of water mass distributions and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island, *Bull Korea Fish. soc.* 25(2):151-163.
- Redfield, A. C., B. H. Kirtchum and F. A. Richards, 1963. *The influence of organisms on the composition of sea water*. The Sea. Vol. 2. Interscience publishers New York-London.

-
- Seki, H. 1965. Microbiological studies on the decomposition of Chitin in marine environment. XI. J. Oceanogr. Soc. Jap. 21: 258-260.
- Snoeyink, V. L. D. Jenkins, 1981: Water Chemistry, Wiley and sons. inc., 48.
- Tsunogui, S., 1979, Dissolved Silica as the primary factor determining the composition of phytoplankton classes in the ocean, Mem, Fac. Fish. hokkaido Univ. 30(4)314-322.
- Thomas, L. Hayward, 1987. The nutrient distribution and primary production in the central North pacific. Deep-Sea Research, 34:1593-1627.
- Yang, H.S., and S.S. Kim, 1991. A study on the Sea Water and Ocean Current in the Sea adjacent to Korea peninsula. II. Geographical distribution and chemical characteristics of different mid-bottom waters in the neighbouring sea of Cheju Island in Summer, Bull. Korean Fish. soc., 24(3): 177-184.

부 록(Appendix)

Concentrations of each depth waters at stations from April, 1993 to May, 1994.

Stn.	depth (m)	month	temp. (°C)	sal. (‰)	DO (ml/l)	NO ₂ -N (µg-at/l)	NO ₃ -N (µg-at/l)	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si (µg/l)	chl.a (µg/l)	SS (mg/l)	VSS	
1	0	'93. 4	14.94	34.59	5.83	0.37	0.45	0.03	10.46	2.27	2.05	1.10	
		6	18.16	33.61	4.59	0.30	1.22	0.13	4.90	2.36	6.50	2.75	
		8	22.34	32.21	3.33	0.23	0.44	0.06	9.29	0.28	1.67	1.20	
		11	19.18	33.25	3.49	0.21	0.60	0.40	14.51	0.94	3.33	2.27	
	'94. 1	1	16.47	34.26	4.97	0.62	7.12	0.74	10.65	0.32	3.10	-	
		3	14.57	34.63	5.26	0.11	1.88	0.63	9.78	0.63	0.95	-	
	30	'93. 4	4	14.82	34.59	7.35	0.37	2.58	0.82	6.42	0.34	2.20	0.80
			6	16.48	33.77	4.89	0.41	3.60	0.23	7.65	0.43	5.67	2.55
			8	18.50	33.02	3.98	0.23	3.33	0.58	14.45	0.28	4.47	2.07
			11	19.01	33.60	4.01	0.25	0.75	0.97	23.84	0.37	3.07	1.93
'94. 1		1	16.51	34.54	5.61	0.40	5.58	1.75	7.53	0.48	2.80	-	
		3	14.58	34.73	5.73	0.28	3.24	0.78	10.20	1.24	2.65	-	
50	'93. 4	4	14.81	34.59	9.15	-	-	-	-	-	-	-	
		6	15.17	33.97	6.60	0.27	4.95	0.31	7.72	-	3.95	1.65	
		8	15.84	33.70	7.47	0.27	4.59	1.04	16.77	0.14	4.00	1.27	
		11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	'94. 1	1	16.51	34.54	5.65	0.98	8.19	1.48	9.84	0.20	2.70	-	
		3	14.59	34.72	5.82	0.19	4.79	0.73	10.20	1.73	2.80	-	
2	0	'93. 4	14.92	34.55	5.10	0.48	0.97	0.04	12.02	0.47	3.25	1.60	
		6	19.48	33.02	4.74	0.05	0.74	0.21	2.97	0.56	6.75	2.15	
		8	25.17	30.98	3.37	0.14	0.23	0.22	8.86	0.20	2.53	1.80	
		11	19.41	34.07	6.37	0.06	1.97	0.81	18.06	0.20	2.13	1.93	
	'94. 1	1	16.53	34.40	6.00	-	-	-	-	-	-	-	
		3	14.94	34.70	5.49	0.70	5.56	0.93	9.78	1.17	1.75	-	

Stn.	depth (m)	month	temp. (°C)	sal. (‰)	DO (ml/l)	NO ₂ -N (µg-at/l)	NO ₃ -N (µg-at/l)	Po ₄ -P	SiO ₂ -Si (µg/l)	chl.a (µg/l)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	
30	'93.	4	14.84	34.58	6.77	0.44	1.79	0.16	15.14	0.26	3.15	1.85	
		6	16.03	33.97	4.32	0.32	1.20	0.48	4.53	0.35	4.50	1.35	
		8	20.62	32.66	3.60	0.27	2.16	0.82	12.64	0.28	2.87	2.00	
		11	19.15	34.07	3.61	0.21	2.68	0.94	18.16	0.25	3.80	2.07	
	'94.	1	16.67	34.51	5.63	-	-	-	-	-	-	-	
		3	14.94	34.74	4.92	0.45	3.28	1.08	8.70	1.37	2.53	-	
	60	'93.	4	14.74	34.57	7.32	0.60	2.67	0.13	13.76	0.36	3.55	1.45
			6	14.69	34.06	7.89	0.37	1.79	0.57	7.35	0.45	5.50	1.75
			8	14.16	33.89	7.75	0.14	4.64	1.20	17.97	0.14	4.20	1.87
			11	19.07	34.09	7.51	0.23	2.28	1.01	19.77	0.06	2.93	2.80
		'94.	1	16.68	34.51	7.75	-	-	-	-	-	-	-
			3	14.94	34.72	7.01	0.30	2.24	0.94	9.78	1.44	0.75	-
110		'93.	4	14.72	34.57	7.32	0.57	3.69	0.11	12.82	0.36	3.70	2.40
			6	14.24	34.07	7.88	0.27	4.40	0.79	7.06	0.45	6.10	1.55
			8	13.91	33.85	8.36	0.21	4.66	1.42	18.23	0.14	5.80	2.60
			11	17.67	34.36	7.23	0.15	2.17	1.12	22.93	0.00	3.87	0.87
		'94.	1	16.69	34.51	7.73	-	-	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	'93.	4	14.92	34.60	7.92	0.48	1.13	0.29	11.74	0.57	2.24	1.15
			6	21.37	33.00	4.61	0.34	0.32	0.11	2.57	0.66	6.80	3.55
			8	25.05	30.57	3.43	0.23	0.39	0.12	8.68	0.21	2.67	1.27
			11	18.88	32.35	6.06	0.08	0.60	0.15	9.46	1.14	2.93	2.07
		'94.	1	16.55	34.28	6.69	0.55	6.76	0.72	10.04	0.12	2.90	-
			3	14.87	34.60	5.31	0.15	2.55	0.66	9.03	0.64	1.55	-
30		'93.	4	14.73	34.60	9.51	0.34	1.58	0.82	9.91	0.57	3.85	1.05
			6	16.40	33.80	4.93	0.37	1.51	0.27	4.98	0.66	8.47	3.26
			8	18.12	33.46	3.84	0.32	5.15	1.22	17.11	0.13	2.47	1.53
			11	20.96	33.75	3.99	0.40	2.68	0.81	22.32	0.27	3.33	1.67
		'94.	1	16.71	34.51	5.63	0.58	6.05	0.68	9.50	0.26	2.90	-
			3	14.87	34.71	5.56	0.17	2.64	0.79	9.78	0.32	2.30	-

Stn.	depth (m)	month	temp. (°C)	sal. (‰)	DO (ml/l)	NO ₂ ⁻ -N (µg-at/l)	NO ₃ ⁻ -N (µg-at/l)	Po ₄ ³⁻ -P (µg-at/l)	SiO ₂ -Si (µg/l)	chl.a (µg/l)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	
60	'93.	4	14.72	34.59	9.06	1.10	2.87	0.11	7.98	0.47	2.55	0.80	
		6	15.29	33.94	7.96	0.41	1.48	0.36	6.24	0.56	6.45	2.35	
		8	14.64	33.85	7.59	0.39	4.06	0.68	16.34	0.21	2.93	1.53	
		11	18.89	34.11	7.06	0.21	2.99	1.16	23.14	0.02	3.47	1.73	
	'94.	1	16.72	34.51	7.05	0.55	6.05	0.72	10.78	0.12	2.60	-	
		3	14.87	34.71	6.07	0.17	2.46	0.73	10.20	0.63	2.80	-	
	70	'93.	4	14.72	34.59	9.05	0.85	3.77	0.11	6.88	0.76	5.45	2.00
			6	14.52	33.97	8.02	0.18	5.76	0.25	6.45	0.85	9.65	3.90
			8	13.93	33.70	7.98	0.32	4.79	1.20	17.54	0.13	4.47	1.80
			11	17.96	-	8.33	0.21	3.96	1.43	56.93	0.00	2.93	2.07
		'94.	1	16.71	34.54	7.32	0.58	6.52	0.70	10.65	0.18	2.20	-
			3	-	34.73	-	-	-	-	-	-	-	-
4		'93.	4	14.83	34.57	5.57	1.74	0.72	0.09	7.71	0.45	2.90	1.60
			6	20.99	32.83	4.32	0.00	0.23	0.02	6.31	0.54	5.65	2.20
			8	25.70	30.51	3.38	0.14	0.57	0.18	9.89	0.21	2.40	1.27
			11	18.68	31.77	6.19	0.11	0.00	0.13	9.13	0.58	3.40	1.33
		'94.	1	16.71	34.50	6.28	-	-	-	-	-	-	-
			3	14.97	34.71	5.82	0.17	2.24	0.83	9.20	0.53	1.75	-
	30	'93.	4	14.72	34.58	6.87	1.21	1.82	0.11	6.97	0.36	2.40	1.55
			6	17.00	34.28	4.08	0.76	0.89	0.11	6.16	0.45	6.05	2.10
			8	19.39	33.81	3.55	0.30	1.45	0.50	11.78	0.35	2.07	1.60
			11	20.76	33.59	3.76	0.34	2.48	0.75	19.48	0.27	2.53	2.33
		'94.	1	16.73	34.51	5.22	-	-	-	-	-	-	-
			3	14.81	34.70	5.03	0.15	2.14	0.84	9.28	0.64	1.80	-
60		'93.	4	14.71	34.59	7.35	0.87	2.82	0.14	9.91	0.36	2.55	1.60
			6	13.52	34.12	9.70	0.11	4.86	0.84	6.31	0.47	6.69	2.50
			8	14.18	33.98	8.00	0.39	4.86	1.24	18.15	0.13	3.20	2.13
			11	20.80	33.69	6.80	0.23	2.50	1.03	26.89	0.00	2.07	1.87
		'94.	1	16.73	34.51	7.65	-	-	-	-	-	-	-
			3	14.81	34.68	9.22	0.11	2.97	0.93	10.04	0.22	2.30	-

Stn.	depth (m)	month	temp. (°C)	sal. (‰)	DO (ml/l)	NO ₂ ⁻ -N (µg-at/l)	NO ₃ ⁻ -N (µg-at/l)	Po ₄ ³⁻ -P (µg-at/l)	SiO ₂ -Si (µg-at/l)	chl.a (µg/l)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	
100	'93.	4	14.70	34.59	7.47	1.17	3.23	0.11	12.66	0.26	2.96	2.10	
		6	13.53	34.14	7.53	0.50	4.27	0.73	10.17	0.35	7.10	2.00	
		8	13.19	33.89	7.48	0.23	3.01	1.14	13.76	0.14	2.73	1.73	
		11	17.72	34.19	7.19	0.27	2.84	1.67	31.46	0.00	3.00	2.13	
	'94.	1	16.73	34.51	7.73	-	-	-	-	-	-	-	
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5	'93.	4	15.53	34.63	5.64	2.13	0.64	0.07	5.41	0.30	4.25	1.10
			6	21.75	32.73	5.02	0.11	0.48	1.48	5.42	0.39	6.00	3.25
			8	25.28	30.63	3.30	0.16	0.34	0.08	9.37	0.28	3.33	1.20
			11	18.61	31.69	5.77	0.23	0.06	0.11	7.31	0.16	1.27	1.05
		'94.	1	16.61	34.42	6.40	0.55	7.24	1.01	9.63	0.26	5.10	0.93
			3	14.77	34.53	6.20	0.15	2.36	0.66	9.53	0.22	1.30	-
30		'93.	4	14.89	34.62	8.43	1.92	1.35	0.10	5.69	0.45	3.60	1.25
			6	15.37	33.69	9.01	1.21	3.67	4.58	4.98	0.54	3.80	1.25
			8	14.88	33.06	4.58	0.23	1.85	0.46	13.42	0.28	1.80	0.67
			11	19.88	33.30	3.97	0.27	0.25	0.26	9.74	1.12	2.27	1.60
		'94.	1	16.67	34.54	5.63	0.53	6.88	0.74	10.65	0.24	2.90	-
			3	14.70	34.70	6.06	0.17	3.76	0.89	10.70	1.15	1.55	-
	60	'93.	4	14.89	34.62	7.16	1.37	2.48	0.13	6.97	0.36	4.40	1.60
			6	14.52	34.07	7.10	0.18	3.79	0.79	14.85	0.45	5.05	2.50
			8	13.46	33.89	7.02	0.18	4.48	1.10	17.20	0.10	3.40	1.40
			11	18.11	34.17	5.94	0.25	3.41	1.10	22.32	0.04	2.20	1.33
		'94.	1	16.67	34.54	7.24	0.49	7.36	1.01	11.26	0.11	2.20	-
			3	14.69	34.70	6.74	0.15	3.95	0.99	10.70	0.85	1.30	-
90		'93.	4	14.89	34.62	7.30	0.69	3.90	0.36	8.81	0.14	2.30	0.65
			6	14.37	34.19	7.96	0.50	2.77	0.54	9.95	0.23	2.45	1.10
			8	13.46	33.94	7.42	0.21	4.90	1.76	22.19	0.06	4.60	1.53
			11	17.42	34.21	7.40	0.21	4.15	1.63	33.89	0.00	2.87	1.87
		'94.	1	16.67	34.54	7.97	0.51	7.12	1.05	10.92	0.18	2.80	-
			3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Stn.	depth (m)	month	temp. (°C)	sal. (‰)	DO (ml/l)	NO ₂ ⁻ -N (µg-at/l)	NO ₃ ⁻ -N (µg-at/l)	Po ₄ ³⁻ -P (µg-at/l)	SiO ₂ -Si (µg-at/l)	chl.a (µg/l)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	
6	'93.	4	14.84	34.60	6.40	0.71	0.80	0.06	9.63	0.36	4.20	2.70	
		6	21.23	32.82	4.46	0.00	0.41	0.06	7.58	0.45	4.30	2.00	
		8	25.60	30.46	4.00	0.14	0.40	0.20	9.20	0.20	1.00	0.73	
		11	18.78	31.78	5.60	0.11	0.00	0.09	5.07	0.75	1.53	1.20	
	'94.	1	16.67	34.28	6.37	-	-	-	-	-	-	-	
		3	14.46	34.62	5.35	0.17	3.24	0.79	11.46	1.48	2.50	-	
	30	'93.	4	14.73	34.58	7.14	0.99	1.84	0.17	10.18	0.24	3.30	1.60
			6	16.21	33.69	4.65	0.25	1.68	0.23	4.90	0.33	6.90	3.73
			8	14.80	34.10	4.89	0.30	2.64	0.70	15.57	0.21	2.60	1.47
			11	18.84	32.59	3.99	0.27	0.71	0.35	13.80	0.37	2.53	1.40
'94.		1	16.70	34.51	5.36	-	-	-	-	-	-	-	
		3	14.70	34.68	5.49	0.17	3.72	0.78	11.79	0.12	1.80	-	
60		'93.	4	14.69	34.60	7.31	1.12	2.64	0.06	15.50	0.34	1.60	1.25
			6	13.47	34.12	9.64	0.48	3.56	0.92	8.99	0.41	6.15	3.00
			8	13.19	33.91	8.22	0.37	4.99	1.22	21.76	0.16	3.53	1.40
			11	17.90	34.26	6.57	0.17	4.76	1.56	32.47	0.00	2.93	1.07
	'94.	1	16.71	34.51	7.81	-	-	-	-	-	-	-	
		3	14.36	34.72	7.74	0.15	3.24	0.91	11.46	0.22	1.50	-	
	90	'93.	4	14.67	34.60	7.76	1.26	3.42	0.16	13.03	0.26	4.30	2.40
			6	13.50	34.12	8.53	0.23	4.02	0.96	9.80	0.35	6.10	2.15
			8	13.18	33.91	7.49	0.37	4.18	1.06	16.77	0.14	5.20	1.67
			11	16.20	34.26	7.68	0.17	4.21	1.85	38.76	0.00	3.13	0.87
'94.		1	16.71	34.51	7.90	-	-	-	-	-	-	-	
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

感謝의 글

항상 큰 關心을 가져주시고 이 論文이 完成되기 까지 熱과 誠을 다해 指導해 주신 崔永贊 指導教授님께 忠心으로 感謝드립니다. 많은 가르침과 聲援을 보내주시고, 미흡한 論文을 細心하고 仔詳하게 다듬어 주신 高有峰 教授님, 尹正守 教授님, 方益燦 教授님, 李俊伯 教授님의 恩惠에 感謝를 드립니다.

또한, 學位科程을 시작할 수 있도록 配慮하여 주시고 助言을 아끼지 않으신 前 海洋研究所長 盧洪吉 教授님, 鄭相喆 教授님, 李棋完 教授님께도 깊은 感謝를 드립니다. 乘船의 어려움 속에도 時間과 肉體를 아끼지 않고 試料採集과 分析에 도움을 준 化學海洋學研究室 문영석, 박철준, 김홍민, 이경호, 김동규, 이동림, 김성유군에게도 고마움을 표합니다.

試料 採水시 마다 協助하여준 백경호 김진수 선장님과 여러 선생님, 아라2호 김명학, 송영호, 박양재 선생님, 資料定理를 도와준 고환봉 선생님과 苦樂을 함께하는 職場同僚 이영돈, 김영기, 고성대, 함창복, 장태곤, 변수철, 임진숙, 양순미 선생님에게도 고마움을 표합니다.

끝으로, 사랑과 精誠으로 心血을 다해 뒷바라지 해주신 父母님, 길환이 형님과 큰누님, 작은누님, 동생들, 늘 곁에서 말없이 내조해 준 아내 奉三씨와 사랑스런 아들 진국, 승국에게 이 작은 結實을 바칩니다.