

碩士學位論文

濟州道 咸德北方海域에서의 海水의 化學的特性

濟州大學校 大學院

海洋學科



1990年 12月

濟州道 咸德北方海域에서의 海水의 化學的特性

指導教授 崔 永 贊

文 榮 錫

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

1990年 12月

文榮錫의 理學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 광 의 진
委 員 楊 城 基
委 員 崔 永 贊

濟州大學校 大學院

1990年 12月

Chemical properties and characteristics of seawater
in the Northern Sea of Cheju Island off Hamduck

Young—Suk Moon
(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

1990. 12

목 차

Summary -----	1
I. 서 론 -----	3
II. 재료 및 방법 -----	4
1. 조사방법 -----	4
2. 분석방법 -----	4
III. 결과 및 고찰 -----	7
1. 수평농도분포 -----	7
1) 수온, 염분 -----	7
2) 용존산소 -----	11
3) 영양염류 -----	13
4) 클로로필-a -----	17
2. 시,공간적 분포특성 -----	19
1) 밀도 -----	19
2) 용존산소 -----	22
3) 영양염류 -----	25
4) 클로로필-a -----	31
5) 월별 변화특성 -----	35
6) N/P비 변화특성 -----	37
3. 각 성분간의 상관관계 -----	40
1) 상관관계 분석 -----	40
(1) 연안역 -----	40
(2) 외양역 -----	41
2) 환경요인 분석 -----	41
IV. 요 약 -----	45
참고문헌 -----	48
감사의 말씀	

List of Tables

Table 1. Concentrations of each composition in surface water(0m) at each stations from June,1989 to June,1990. -----	8
Table 2. Correlation of each compositions at inner(St.1 - St.8) Station. -----	40
Table 3. Correlation of each compositions at outter(St.9 - St.11) Station. -----	41



List of Figures

Fig 1.	A chart of the study area with stations occupied. -----	6
Fig 2.	Seasonal cycles of mean surface water temperature and air temperature of all stations at the studied area from June, 1989 to June, 1990. -----	9
Fig 3.	Comparison of the yearly mean concentrations of water temperature and salinity in near surface water(0m-10m) at A line from June, 1989 to June, 1990. -----	9
Fig 4.	Seasonal variations of mean water temperature in euphotic layer(0m-30m) at A line from June, 1989 to June, 1990. ; Spring (April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February). -----	10
Fig 5.	Seasonal variations of mean salinity in euphotic layer (0m-30m) at A line from June, 1989 to June, 1990. ; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February). -----	11
Fig 6.	Variations of the yearly mean concentrations of dissolved oxygen in near surface water(0m-10m) at A line from June, 1989 to June, 1990. -----	12
Fig 7.	Seasonal variations of mean dissolved oxygen in euphotic layer(0m-30m) at A line from June, 1989 to June, 1990. ; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February). -----	12
Fig 8.	Comparison of the yearly mean concentrations of chloro- phyll-a and nitrate in near surface water(0m-10m) at A line from June, 1989 to June, 1990. -----	13

Fig 9. Seasonal variations of mean concentrations of nitrate in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	14
Fig 10. Comparison of the yearly mean concentrations of phosphate and silicate in near surface water(0m-10m) at A line from June,1989 to June,1990. -----	15
Fig 11. Seasonal variations of mean concentrations of phosphate in euphotic layer(0m-30) at A Line from June,1989 to June, 1990. -----	16
Fig 12. Seasonal variations of mean concentrations of silicate in euphotic layer(0m-30m) at A Line from June,1989 to June, 1990. -----	17
Fig 13. Seasonal variations of mean concentrations of chloro-phyll-a in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990. -----	18
Fig 14. Vertical distributions of Sigma.t with seasons from June, 1989 June,1990.; Spring(April), Summer(June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	19
Fig 15. Monthly and vertical distribution of sigma.t at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	21
Fig 16. Vertical distributions of dissolved oxygen with seasons from June,1989 to June,1990.; Spring(April), Summer (June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	22
Fig 17. Monthly and vertical distribution of dissolved oxygen at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	23
Fig 18. Monthly and vertical distribution of saturation percent of dissolved oxygen at station 11 from June,1989 to June, 1990. -----	24

Fig 19. Vertical distributions of nitrate with seasons from June, 1989 to June,1990.; Spring(April),Summer(June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	26
Fig 20. Monthly and vertical distribution of nitrate at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	27
Fig 21. Vertical distributions of phosphate with seasons from June, 1989 to June,1990.; Spring(April), Summer(June,1990), Fall (October),Winter(February). -----	28
Fig 22. Monthly and vertical distribution of phosphate at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	29
Fig 23. Vertical distributions of silicate with seasons from June, 1989 to June,1990.; Spring(April), Summer(June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	30
Fig 24. Monthly and vertical distribution of silicate at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	31
Fig 25. Vertical distributions of chlorophyll-a with seasons from June,1989 to June,1990.; Spring(April), Summer(June,1990), Fall(October), Winter(February). -----	32
Fig 26. Monthly and vertical distribution of chlorophyll-a at station 11 from June,1989 to June,1990. -----	33
Fig 27. Vertical profile of Sigma.t, Chlorophyll-a and Dissolved Oxygen in summer(June,1990) at station 10. -----	35
Fig 28. Seasonal changes of mean concentration of chlorophyll-a and silicate in euphotic layer(0m - 30m) at studied area from June,1989 to June,1990. -----	36
Fig 29. Seasonal changes of mean concentration of nitrate and phosphate in euphotic layer(0m -30m) at studied area from June,1989 to June,1990. -----	36

Fig 30. Comparison of N/P ratio in euphotic layer(0m -30m) at A line from June,1989 to June,1990. -----	38
Fig 31. Seasonal changes of N/P ratio in euphotic layer(0m -30m) from June,1989 to June,1990. -----	39
Fig 32. Percent of important parameters which contributes the concentration of chlorophyll-a on A,B,C Line from June, 1989 to June,1990. -----	44



Summary

Hydrographic conditions (water temperature, salinity, dissolved oxygen), nutrients and chlorophyll.a have been studied in the northern sea of Cheju Island off Hamduck during June, 1989 - June, 1990.

In the surface water, the ranges of water temperature, salinity, dissolved oxygen, nitrate, phosphate, silicate and chlorophyll.a have been 13.7-26.5°C, 28.51-34.37‰, 4.47-7.14ml/l, 0-7.14µg-at/l, 0-1.47 µg-at/l, 2.33-24.1µg-at/l, and 0.02-2.24mg/m³ respectively.

Station 6 shows different characteristic values from those of the other points. Yearly mean values of the near surface waters(0m-10m) at station 6 show high temperature, nitrate, chlorophyll.a and low dissolved oxygen, phosphate, silicate. The vertical profiles are likely to show the possibility of upwelling in fall and tidal front in summer. These might be important factors on phytoplankton growth so that high production and productivity could be expected at near the C line.

The concentrations of chlorophyll.a averaged over the whole area are high in April(1mg/m³) and August(0.8mg/m³) and low in February(0.20 mg/m³). This is reversed from those of nutrients, especially silicate.

N/P ratios vary spatially from 35 inshore to 15 offshore and seasonally from 45 in summer to 15 in winter. These are similar variations of water temperature. N/P ratio of April is, however, the lowest(8) which probably indicate that phosphates have been consumed to phytoplankton faster than nitrates.

It turns out that the most important properties to the

concentration of chlorophyll.a are nitrate on B,C line and water
temperate on D line.



I. 서 론

제주도는 사면이 바다로 둘러싸여 있으며 남해, 황해 및 동지나해와 인접하고 있어서 그 주변 해황은 매우 복잡하고 시,공간적 변화도 매우 심하다. 즉, 남동방해역에는 흑조에서 분기된 대마난류의 영향을 받고 있으며, 그 지류인 황해난류수는 서남방 연안까지 접근한다고 보고하고 있다(김, 1980; 김과 노, 1982; Park, 1986). 그리고 황해중앙해역에서 겨울철에 형성된 황해 저층냉수는 여름철에 제주도 남서해역까지 남하 확장한다고 한다(Nakao, 1977; Park, 1985).

이와같이, 제주도 주변해역의 수괴특성이 시,공간적으로 다르게 나타나므로 해양 화학적인 현상들도 이에 따라 다양하게 나타날 것으로 생각된다. 특히, 제주도 해안선 부근에는 다량의 용천수가 용출되고 있으며(박, 1985), 강우기에는 대부분의 육수가 바다로 직접 유입되고 있기 때문에 연근해역에서는 특이한 환경이 조성되고 있다. 이러한 수괴의 물리적특성과 해수의 유동확산과정에 대해서는 비교적 많이 연구되어 왔고(노와 정, 1975; 노와 平野, 1983; 윤, 1987; 방 등, 1989), 해수의 화학적특성 연구도 해안선 주변해역에서는(최, 1989; 박, 1982, 1984; 고 등, 1984) 활발히 이루어지고 있지만 어느지역에 한정되었거나 연,근해를 비교할 수 있는 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 이러한 특성을 갖는 제주도 주변 해역중 함덕북방해역을 선정하여 연안역과 외양역간의 해양화학적 성분들의 분포특성과 이들 성분이 계절적인 변화양상을 파악하고, 영양염류, 클로로필-a, 용존산소의 해역별 농도특성과 수온, 염분의 분포특성으로부터 기초생산 관련 성분들의 상호 연관관계를 파악하는데 그 목적이 있다.

I. 자료 및 방법

1. 조사방법

본 조사는 1989년 7월부터 1990년 7월까지 제주도 북제주군 함덕리 북방해역에서 연안역의 8정점과 외양역의 3정점을 선정하여 제주대학교속 실습선 올림픽 29호(5.2톤)를 이용하여 매월 실시하였다(Fig 1).

수심 30m 이내인 연안역의 정점에서는 수심 10m 간격으로, 외양역의 정점에서는 표준수심인 0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m를 기준으로 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였다.

2. 분석방법

채수된 시료는 곧바로 실험실로 옮겨와서 12시간 이내에 분석을 하였다.

1) 수온 (Water Temperature)

연안역의 정점 1부터 정점 5까지는 봉상온도계로, 그밖의 정점에서는 CTD를 이용하여 측정.

2) 염분 (Salinity)

연안역의 정점 1부터 정점 5까지의 시료는 실험실에서 Salinometer (TSURUMI SEIKI, E-2)로 측정하였고, 외양역에서는 CTD로 측정.

3) 수소이온농도 (pH)

pH Meter (Jenway, PH M6)로 측정.

4) 용존산소 (Dissolved Oxygen)

현장에서 고정시킨 후 Winkler Azid 방법으로 측정.

5) 식물색소 (Chlorophyll-a)

시수를 GF/C로 여과하여 90% Aceton 10ml를 첨가하고 20시간 암냉소에 보관한 후 3800rpm에서 15분간 원심분리시켜서 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서의 흡광도를 SCOR/UNESCO 식으로 계산.(Strickland and Parsons, 1972)

6) 아질산 질소 ($\text{NO}_2^- - \text{N}$)

Griess Romijn 시약에 의한 발색법. (일본분석화학회, 1971)

7) 질산 질소 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

Zn분말을 첨가하여 아질산 질소로 환원시킨 후 Griess Romijn 시약으로 발색시켜 측정. (일본분석화학회, 1971)

8) 인산 인 ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)

Ascorbic Acid법에 의한 비색정량. (Strickland and Parsons, 1972)

9) 규산 규소 ($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)

몰리브덴 청법에 의한 비색정량. (JIS, 1980)



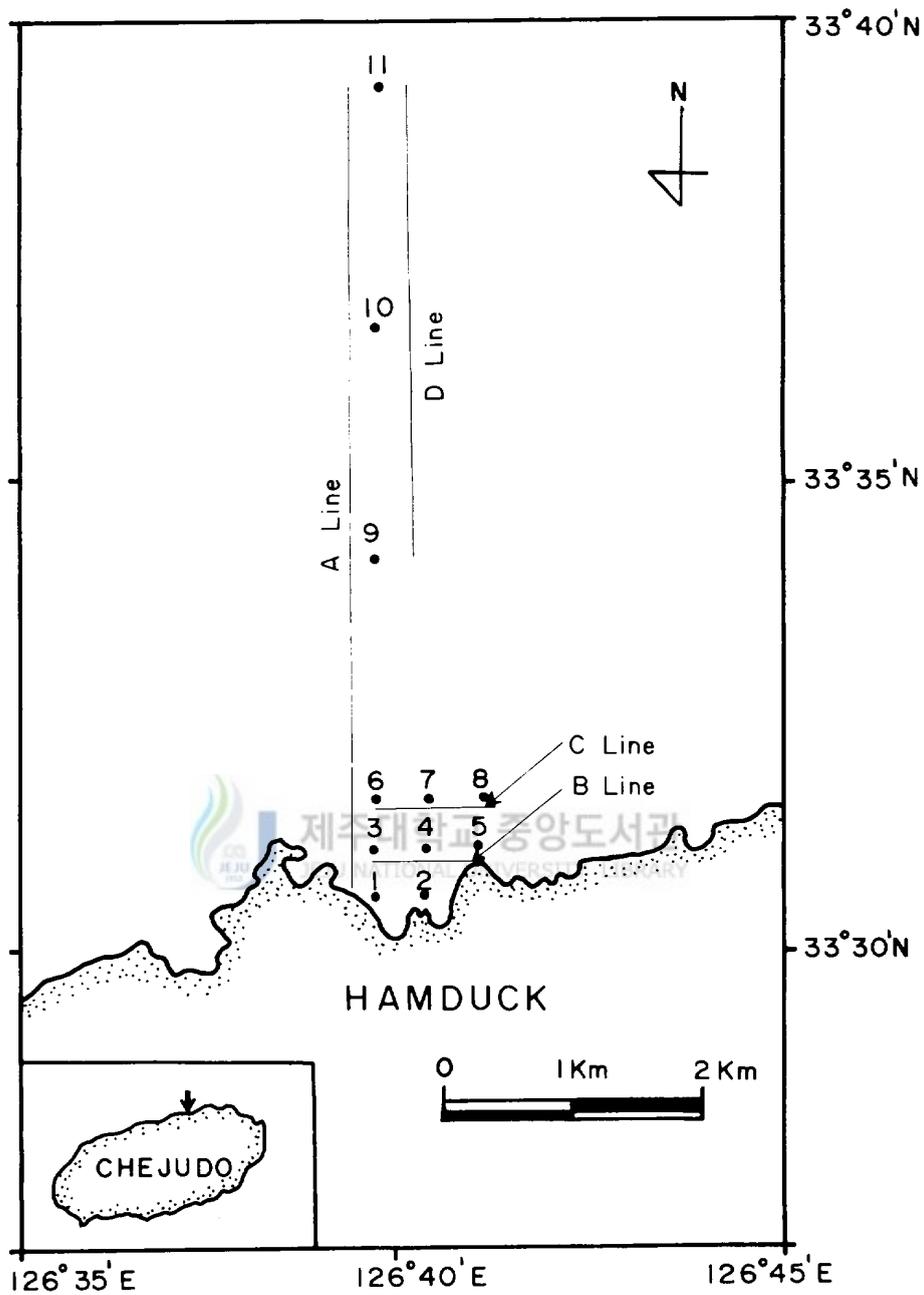


Fig 1. A chart of the study area with stations occupied.

I. 결과 및 고찰

정점별, 계절별 변화특성을 파악하기 위하여 연안역과 외양역을 잇는 일직선상의 정점(A Line)에 대하여 각 성분별 수평, 수직 분포특성을 고찰하였고, 가장 외양역에 위치한 정점 11에서의 월별 수심에 따른 분포로서 각 성분들간의 상호관련특성 및 클로로필-a 농도에 영향을 미치는 요인에 대해서 수심이 30m 이내인 연안역의 8개 정점과 그 이심인 외양역의 3개 정점으로 나누어 고찰하였다.

1. 수평농도분포

1989년 7월부터 1990년 7월까지 표층수층의 각 성분별 농도범위와 년평균값을 정점별로 표 1에 나타내었고, A Line에서의 각 성분에 대한 표층부근(0m - 10m)에서의 년평균값으로 정점간 특성을 비교, 고찰하였다. 또한, 계절별 변화특성을 알기 위하여 Fig 2의 월평균 기온과 월평균 표층수온의 변화에서 수온과 기온의 위상이 바뀌는 계절을 봄(5월)과 가을(10월)로, 그리고 기온이 수온보다 높은 여름(7월)과 기온보다 수온이 높은 겨울(2월)로 나누어 각각 해당하는 달을 그 계절을 대표하는 달로 하여 연안역의 최대수심인 30m이전의 평균값으로 계절별 변화를 A Line에 대해서 정점별로 비교, 고찰하였다.

1) 수온 및 염분

년중 표층수온의 범위는 13.7 - 26.5°C로서 최고값은 7월에 연안역의 정점 1, 4, 5에서, 최저값은 4월에 가장 외양역인 정점 11에서 나타났다. A Line에서 정점별 년평균 표층수온의 분포(Fig 3)는 대체적으로 연안역에서 외양역보다 높게 나타났는데, 외양역의 정점 9에서 가장 낮았고, 연안역의 정점 1에서 가장 높게 나타났다. 정점별 년평균수온의 변화에서 최고값은 연안역에서, 최저값은 외양역에서 나타난 것은 수심의 차이와 육수에 의한 영

Table 1. Concentrations of each composition in surface water(0m) at each stations from June,1989 to June,1990.

STN.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
TEMP. (°C)	Range	14.00	14.30	14.20	14.30	14.20	14.40	14.30	14.30	14.40	13.80	13.70
		26.50	26.40	26.40	26.50	26.50	26.24	25.86	25.83	26.48	25.90	26.10
	Mean	19.64	19.43	18.75	18.61	19.60	19.18	18.53	19.67	18.15	18.39	18.32
SAL. (‰)	Range	28.68	28.66	28.76	28.69	28.78	28.68	28.71	28.78	28.64	28.69	28.51
		34.36	34.37	34.36	34.34	34.36	34.20	34.20	34.26	34.30	34.24	34.29
	Mean	32.32	32.57	32.53	32.81	32.53	32.65	32.50	32.69	32.72	32.59	32.52
D.O. (ml/l)	Range	5.24	5.08	4.97	4.83	5.20	4.94	4.54	4.47	5.00	5.11	5.28
		7.14	6.64	6.29	6.40	6.50	6.25	6.39	6.43	6.22	6.25	6.33
	Mean	6.07	5.84	5.77	5.64	5.73	5.55	5.46	5.46	5.61	5.66	5.72
NO2-N (µg-at/l)	Range	0.00	0.00	0.08	0.04	0.08	0.07	0.07	0.07	0.02	0.07	0.00
		0.83	0.78	0.78	0.62	0.72	0.63	0.44	0.53	0.47	0.58	0.53
	Mean	0.31	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.27	0.27	0.26	0.27	0.26
NO3-N (µg-at/l)	Range	0.00	1.03	1.16	0.45	0.50	0.59	0.44	1.62	0.04	0.35	0.16
		14.83	11.57	13.08	9.15	13.58	15.42	10.40	8.45	7.39	9.16	8.64
	Mean	5.53	4.26	4.58	4.36	4.12	5.45	4.45	4.48	2.86	2.84	2.83
PO4-P (µg-at/l)	Range	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.00	0.00
		1.47	1.03	2.32	0.64	0.58	0.58	0.74	0.67	1.07	0.81	0.55
	Mean	0.25	0.30	0.45	0.23	0.24	0.26	0.28	0.20	0.34	0.21	0.11
SiO2-Si (µg-at/l)	Range	6.65	4.63	5.19	5.80	4.35	2.33	2.89	3.56	2.72	3.31	3.20
		24.01	21.30	23.34	16.92	21.56	11.79	18.46	20.40	17.17	17.17	14.46
	Mean	11.76	10.12	11.13	9.46	10.04	9.01	9.95	9.54	8.58	8.19	8.03
CHL.a (mg/m ³)	Range	0.12	0.09	0.23	0.07	0.09	0.09	0.02	0.09	0.12	0.09	0.10
		2.24	1.06	1.12	1.52	1.29	1.47	1.22	1.36	0.68	0.89	1.43
	Mean	0.80	0.60	0.60	0.67	0.56	0.54	0.60	0.55	0.37	0.40	0.47

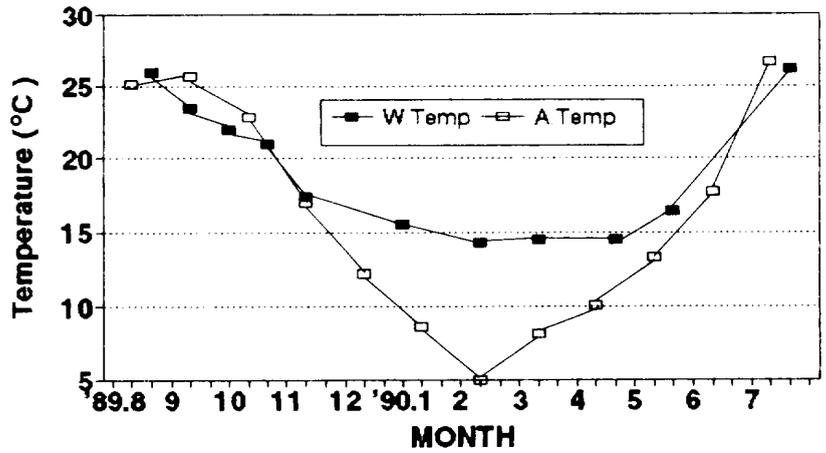


Fig 2. Seasonal cycles of mean surface water temperature and air temperature of all stations at the studied area from June,1989 to June,1990.

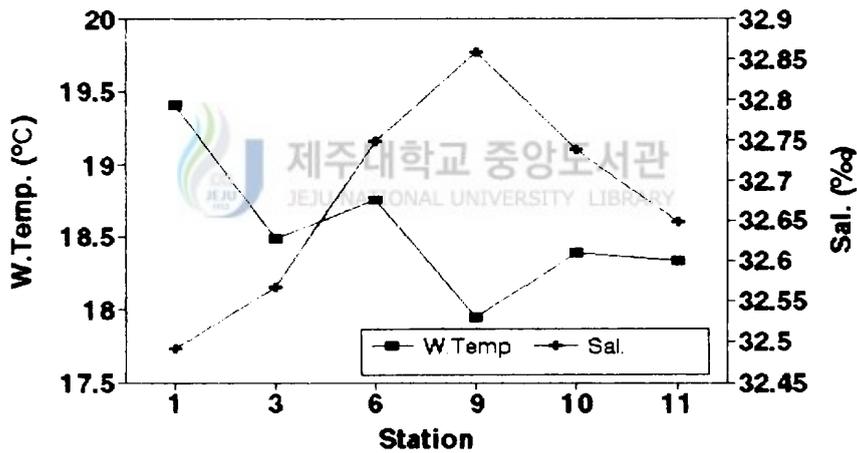


Fig 3. Comparison of the yearly mean concentrations of water temperature with salinity in near surface water(0-10m) at A line from June,1989 to June,1990.

향도 있겠지만 연안역에서는 전기간동안에 측정이 된 반면, 최저값이 나타 난 정점 9에서는 수온이 높은 계절의 자료가 누락되어 평균값을 산출하는데

영향이 있는 것으로 생각된다.

A Line에서의 계절별, 정점에 따른 평균수온(0m - 30)분포(Fig 4)에서 여름에는 26°C내외로 외양쪽에서 낮았고, 가을에는 19 - 22°C정도의 범위로 정점 6에서 가장 낮았다. 봄과 겨울에는 14 - 17°C범위로서 겨울에는 외양역의 연안쪽 정점부근에서 다소 수온이 증가하는 경향을 나타내었다.

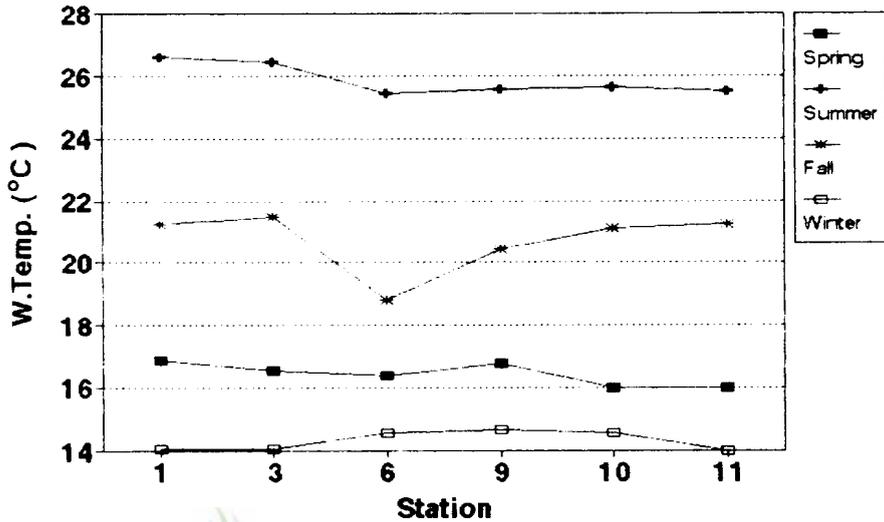


Fig 4. Seasonal variations of mean water temperature in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990.: Spring (April), Summer(June,1990),Fall(October),Winter(February).

년중 표층염분농도 범위는 28.51 - 34.37‰로서 최고농도는 2월에, 최저농도는 7월에 나타났다(표1). 정점별 표층수중의 년평균농도의 분포는 정점 4에서 32.81‰로서 가장높았고, 정점 1에서 32.32‰로서 가장낮게 나타났다. 특히, 연안역의 정점내에서는 동쪽에 위치한 정점 7,8에서 저온,고염현상을 나타내었다. A Line에서 년평균 염분농도의 정점간변화는 최고농도를 나타낸 정점 9를 기준으로 연안과 외양쪽으로 갈수록 낮아지는 특징을 보였으며, 또한 이곳에서는 수온이 낮고 염분농도가 높은 고염,저온현상이 가장 뚜렷하게 나타났다. 수온과 염분과의 관계는 일률적으로 서로 상반되는 분포를 하였으나 정점 6에서는 예외적으로 수온이 다소 높게 나타났

다.(Fig 3). A Line에서 염분의 계절별, 정점별 변화는(Fig 5)는 여름을 제외한 전계절에 32.5 - 34.5%의 범위로서 비교적 비슷하여 여름철의 29%미만의 분포와 확연히 구분되었다. 이와같이, 여름을 제외한 전 계절에 가장 연안역의 정점까지 염분농도가 크게 차이나지 않는 것으로 보아 외양수의 세력이 연안역까지 미치고 있다고 보아진다. 이와같은 결과는 최 등(1989)의 보고에서도 외양수는 10월에서 4월까지 해안선 주변역에 영향을 미친다는 보고와 잘 일치하고 있다.

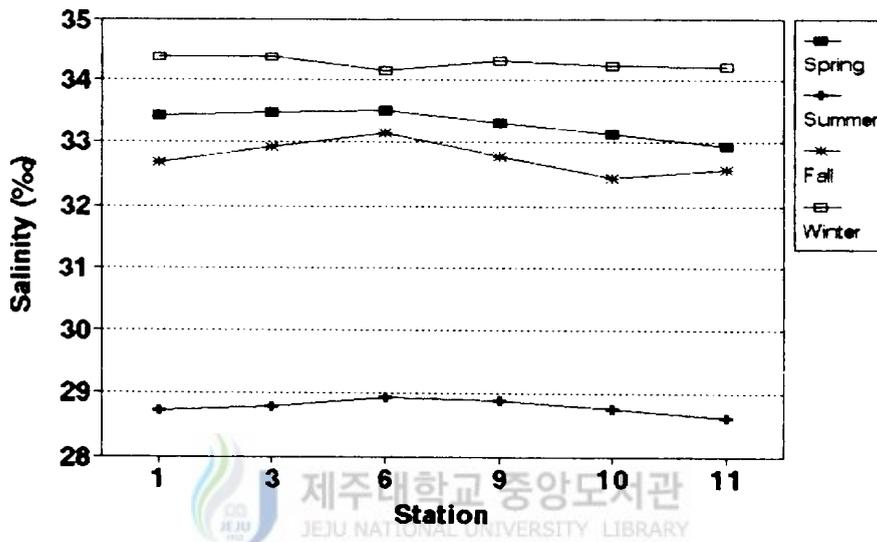


Fig 5. Seasonal variations of mean salinity in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990.; Spring(April), Summer (June,1990),Fall(October),Winter(February).

2) 용존산소 (Dissolved Oxygen)

표층수중의 용존산소의 농도범위는 4.47 - 7.14ml/l로서 최저농도는 10월에 외양역인 정점 8에서, 최대농도는 2월에 연안역인 정점 1에서 나타났다(표 1). A Line에서 년평균농도의 분포특성(Fig 6)은 정점 6에서의 최저농도를 중심으로 연안과 외양쪽으로 가면서 증가하였는데 최고농도는 정점 1에서 6.07ml/l로 나타났다. 이 지점은 수심이 5m이내로 알아서 대기와의

접촉면 증가와 해조류에 의한 광합성 결과 생산된 산소량의 증가에 의한 영향으로 보아진다.

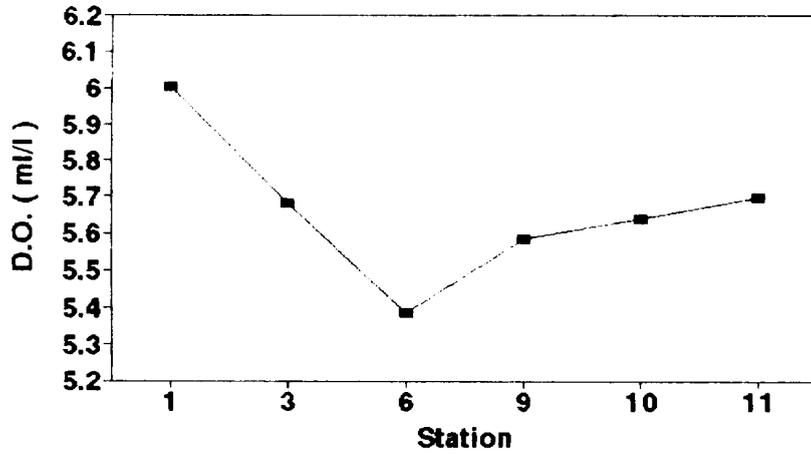


Fig 6. Variations of the yearly mean concentrations of dissolved oxygen in near surface water(0m-10m) at A line from June,1989 to June,1990.

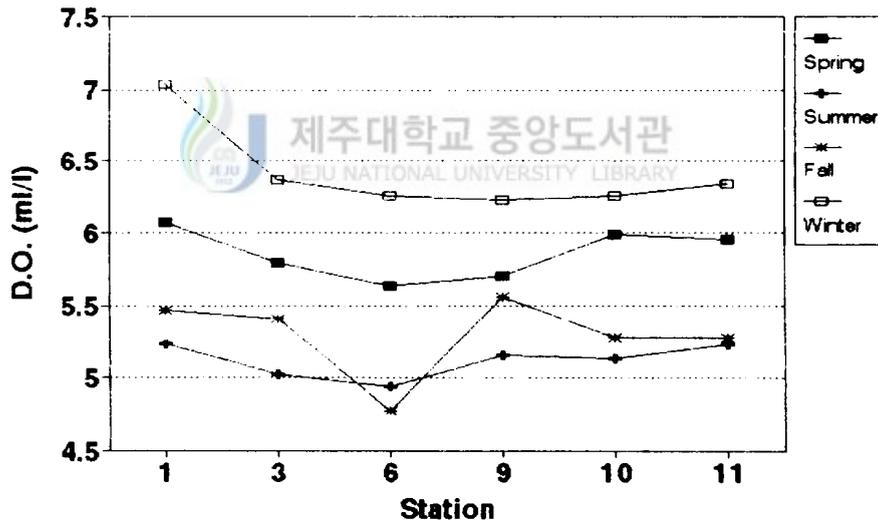


Fig 7. Seasonal variations of mean dissolved oxygen in euphotic layer (0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990.; Spring (April), Summer (June, 1990), Fall (October), Winter (February).

A Line에서 계절별, 정점별 변화(Fig 7)는 수온이 낮고 염분이 높은 계절일수록 높게 나타났는데, 이는 용존산소의 포화량이 염분량보다는 수온에 의하여 큰영향을 받고 있다고 생각 할 수 있다. 전 계절에 5ml/l 이상을 나타내고 있지만 특별히, 가을에 정점 6에서 가장 낮은 농도가 나타났다.

3) 영양염류 (Nutrients)

(1) 질산 질소 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

년중 표층수층의 질산 질소의 농도 범위는 0 - 15.42 $\mu\text{g-at/l}$ 로 정점 1에서 최저값(10월)과 최고값(9월)을 나타내어 전 정점중에서 농도차이가 가장 크게 나타났다. 정점별 년평균농도 범위는 2.83 - 5.53 $\mu\text{g-at/l}$ 로 연안역에서의 고농도 분포와 외양역에서의 저농도 분포로 확연히 구분되었다(표 1). A Line에서 농도분포는 연안역의 3개 정점에서 모두 4.5 - 5 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도로 비슷하게 분포한 반면, 외양역의 3정점에서는 3 - 3.5 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도로 연안역에 비해 모두 낮은 분포를 하였다(Fig 8). 이러한 분포는 클로로필-a의 농도분포와 유사하여 두 성분 모두 연안역에서는 높고 외양역에서는 낮게 나타났다.

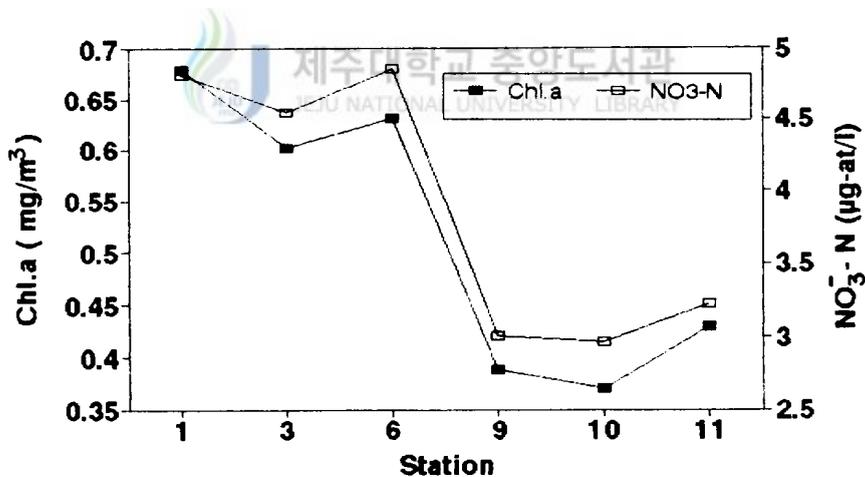


Fig 8. Comparison of the yearly mean concentrations of chlorophyll-a with nitrate in near surface water(0m-10m) at A line from June, 1989 to June, 1990.

A Line에서 계절별, 정점별 변화(Fig 9)에서 봄과 겨울간의 농도폭은 $5\mu\text{g-at/l}$ 이상으로 나타났으며, 정점별 농도분포는 봄과 여름에는 연안역에서 외양역으로 갈수록 낮아지다가 가장 외양역인 정점 11에서 증가하였고 가을에는 연안역에서 높고 외양역에서 낮았다. 특히, 가을철에 정점 6에서 높게 나타난 반면, 겨울에는 고농도로 일정하게 분포하다가 정점 6에서 가장 낮은 농도를 나타내어 계절별에 따라 정점 6에서의 변화가 심하게 나타났다.

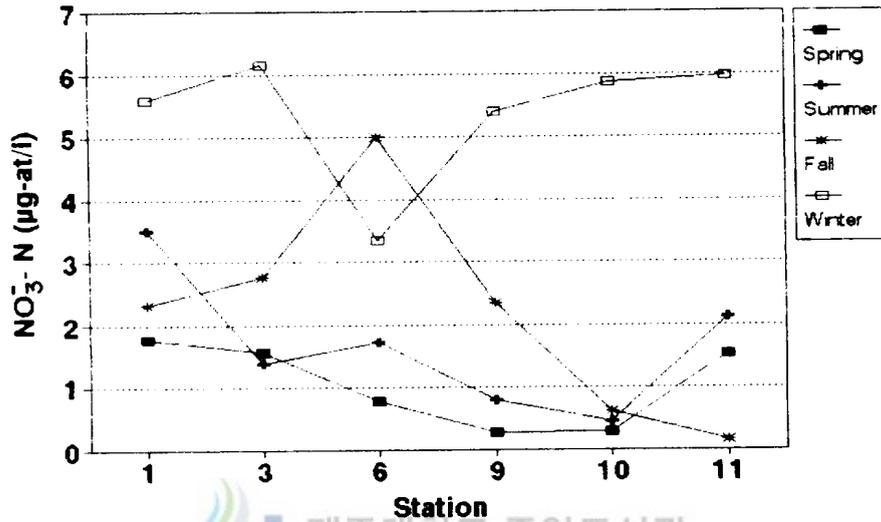


Fig 9. Seasonal variations of mean concentrations of nitrate in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990.; Spring(April),Summer(June,1990),Fall(October),Winter(February).

(2) 인산 인 ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)

년중 표층수층의 인산 인의 농도범위는 $0 - 1.47\mu\text{g-at/l}$ 로서 8월에 정점 10,11과 10월에 정점 1에서 검출한계 이하였으며, 최고값은 9월에 정점 1에서 나타났다. 정점별 년평균농도 범위는 $0.11 - 0.45\mu\text{g-at/l}$ 로 나타났다. 정점 1에서는 질산 질소나 인산 인의 농도가 시기에 따라 최고, 최저값을 나타내었는데 이는, 정점 1이 육지와 가장 인접하여 있으며 주변에 해조류가 다량 번식하고 있어서 환경의 변화가 가장 크기 때문이라 생각된다(표 1).

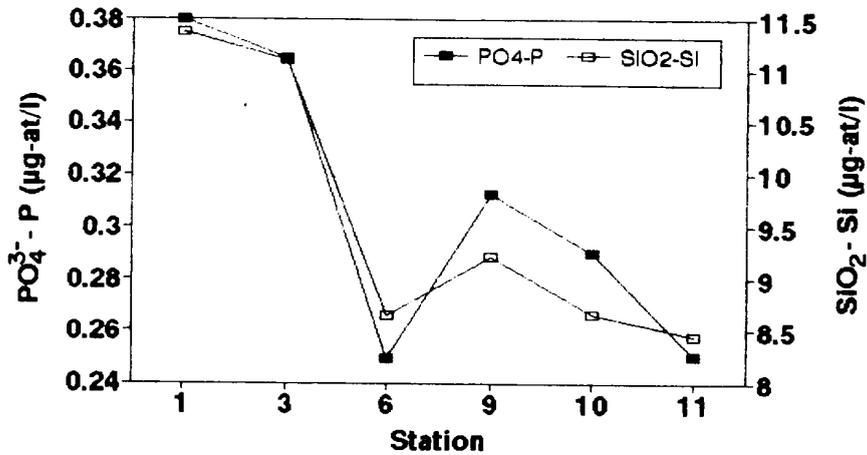


Fig 10. Comparison of the yearly mean concentrations of phosphate with silicate in near surface water(0m-10m) at A line from June,1989 to June,1990.

A Line에서 인산 인의 년평균농도(Fig 10)는 연안역에서 외양역으로 갈수록 점차 감소하였는데 정점 6에서는 특별히 낮은 농도를 나타내었다. 이러한 분포는 규산 규소의 분포도 비슷하여 두 성분 모두 정점 6에서 최저 농도를 나타내었다. 그러나, Fig 8에서 질산 질소와 클로로필-a는 정점 6에서 고농도를 나타내었고, 정점 6과 연안에 나란히 위치한 정점 7,8에서도 저온, 고염, 저산소의 분포를 하는 것으로 보아 이 부근해역에서 특이한 환경이 조성되는 것으로 생각된다. 즉, Fig 8에서 클로로필-a와 질산 질소 모두 정점 6에서 최고치에 가까운 농도를 나타낸 반면 인산 인과 규산 규소의 농도는 최저치를 나타내었고 그외 정점들에서도 이들 성분들 간에 다소 역상관 관계가 나타나는 것으로 보아, 본 조사지역에서 식물플랑크톤의 성장에 질산 질소 보다 인산 인과 규산 규소가 제한요인으로 작용하는 것으로 사료된다. 그러나, 이와같은 현상은 년평균값으로 보았을 때의 경우로서 해석상의 오류를 범할 수 있으므로 다른 각도에서 다른 성분들과 비교하면서 고찰하고자 한다.

A Line에서 계절별, 정점별 분포(Fig 11)에서 봄과 겨울간의 농도폭은 0.4µg-at/l로 나타났다. 정점별로는 연안역에서 외양역으로 갈수록 증가했

는데, 정점 6에서는 겨울에 최저치를 나타낸 반면, 가을에는 최고치를 나타냈다.

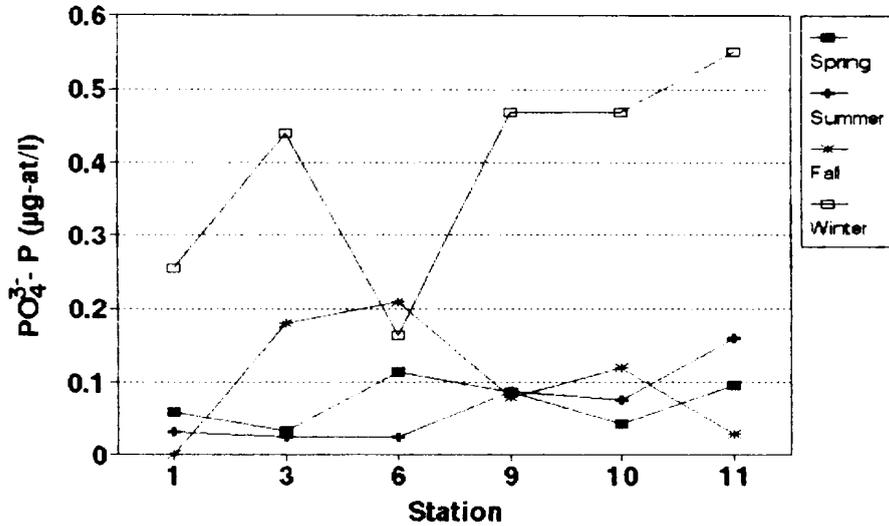


Fig 11. Seasonal variations of mean concentrations of phosphate in euphotic layer(0m-30) at A Line from June, 1989 to June, 1990.

(3) 규산 규소 ($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)

년중 표층수중의 규산 규소의 농도범위는 $2.33 - 24.1 \mu\text{g-at/l}$ 로서 농도의 변화폭이 크게 나타났는데, 최저값은 4월에 정점 6에서, 최대값은 2월에 정점 1에서 나타났다.

A Line에서의 정점별 년평균 농도범위는 $8.03 - 11.76 \mu\text{g-at/l}$ 로서 연안역에서 외양역으로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 나타내었는데 특히, 정점 6에서 연안역보다 매우 낮은 농도를 나타낸 후 다시 증가하고 있는 특징을 보였다(Fig 10).

A Line에서 계절별 농도분포(Fig 12)는 연안에서 외양으로 가면서 감소했는데 계절간 농도분포는 겨울을 제외한 전 계절에 $5 - 12 \mu\text{g-at/l}$ 의 범위로 비슷하게 분포하였다. 겨울에는 전 계절중 최고농도 분포를 했지만 정점 6에서는 오히려 타 계절보다 낮게 나타나서 정점 6에서의 계절간 농도변화

폭이 타 정점에 비해 크지 않았다. 즉, 계절별로 구분했을 때 정점 6에서 겨울에 최저값을, 가을에 최대값을 나타내어 다른 영양염류와 비슷한 경향을 나타내었다.

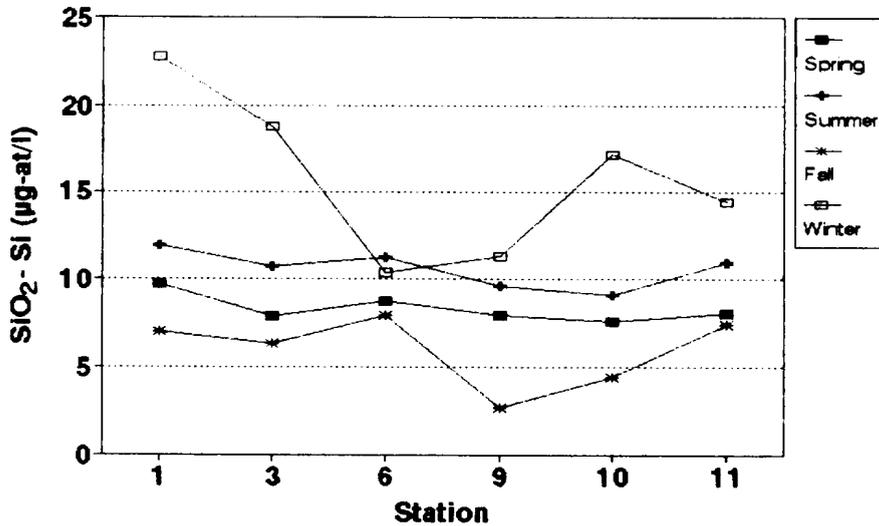


Fig 12. Seasonal variations of mean concentrations of silicate in euphotic layer(0m-30m) at A Line from June,1989 to June,1990.

4) 클로로필-a (Chlorophyll-a)

년중 표층수층의 클로로필-a농도의 범위는 0.02 - 2.24mg/m³로서 최저값은 2월에 정점 7에서, 최고값은 8월에 정점 1에서 나타났다(표 1).

A Line에서 정점별 년평균농도범위는 0.37 - 0.67mg/m³으로서 가장 연안역인 정점 1에서 최대값이 나타났으며, 정점 10에서 최소값이 나타났다. 정점별 년평균 농도는 연안역의 3정점에서는 0.6 - 0.67mg/m³의 고농도로, 외양역의 3정점에서는 0.37 - 0.47mg/m³의 범위로 낮게 분포하여 연안역에서 외양역보다 0.2mg/m³정도 높게 뚜렷한 농도차이를 나타내었다(Fig 8).

이러한 농도는 고 등(1984)이 본조사해역과 인접한 삼양연안에서의 6월 평균 1.31mg/m³, 9월평균 12.64mg/m³로 보고 했는데, 본 조사해역의 연안역에서 7월평균 0.39mg/m³, 9월평균 0.69mg/m³과 비교할때 연안역에서 클로로필-a농도는 낮지만 전 등(1983)이 제주연안해역에서 6월에 평균 0.376mg/m³

의 분포로 보고 한 것과는 일치하고 있다.

A Line에서의 계절별 농도분포(Fig 13)에서 봄에는 연안역과 외양역간의 농도차이가 거의 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 정도로 연안역에서 높게 나타났는데, 이는 연안역에서 식물플랑크톤의 증식이 타 계절에 비하여 활발함을 나타내는 것으로 영양염류의 농도도 다른 계절보다 낮은 것으로 보아 식물플랑크톤에 의해 소비된 것으로 사료된다. 이러한 농도분포는 외양역의 정점 9까지 확장분포 하였는데, 이는 연안역의 풍부한 영양염류가 정점 9까지 상부수층을 따라 확장분포 하였기 때문인 것 같다.

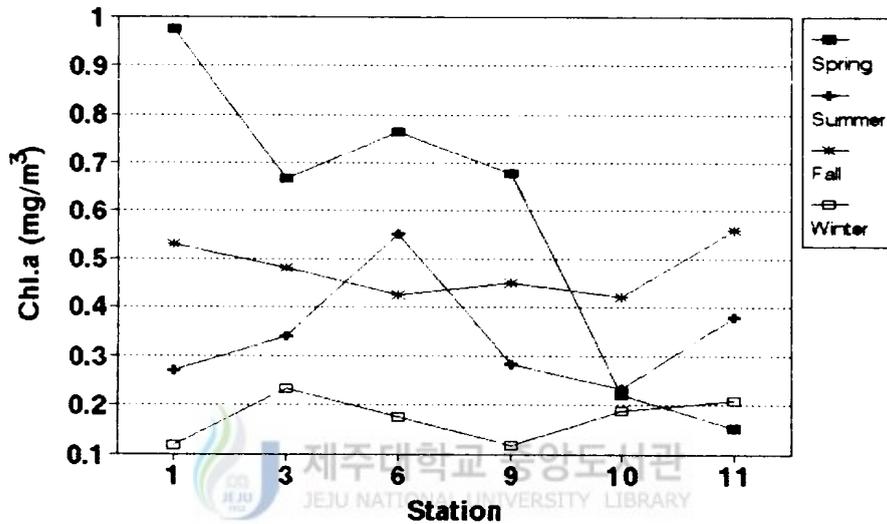


Fig 13. Seasonal variations of mean concentrations of chlorophyll-a in euphotic layer(0m-30m) at A line from June,1989 to June,1990.

여름에는 정점 6에서 영양염류의 농도변화가 두드러지지 않는데도 불구하고 클로로필-a의 농도는 제일높게 나타나서 계절에 따라 다른 정점과는 달리 특이하게 나타났다. 가을에는 연안역과 외양역간에 별차이 없이 나타나다가 외양역의 정점에서 높게 나타났는데, 이는 용승역에서 클로로필-a의 분포가 바로 용승하는 지점에서 외양쪽으로 떨어진 곳에서 높게 나타나는 형태와 유사하여 가을에 용승의 가능성이 있는 것으로 생각되며 이에 대해서는 뒷부분에 수직분포를 통하여 좀더 고찰하고자 한다.

2. 시,공간적 분포특성

1) 밀도 (Sigma.t)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 14)에서 봄에는 전 해역, 전 수심에서의 밀도가 24이상으로서 가장연안역인 정점 1과 외양역의 표층부근에서는 24이하의 저밀도가 나타났다. 즉, 표층부근에서는 정점 6과 9를 중심으로 연안과 외양쪽에서 저밀도 분포를 하였다.

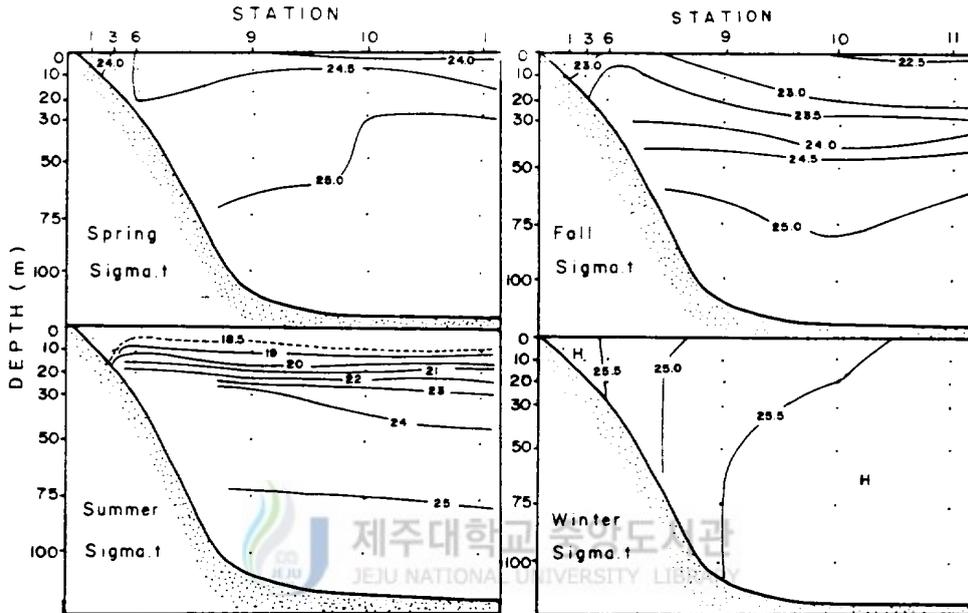


Fig 14. Vertical distributions of Sigma.t with seasons from June, 1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February).

여름에는 표층부근에서 태양복사열의 증가로 상(18.5), 하(25)층간에 밀도차이가 커졌는데, 정점 6의 안쪽과 외양역의 10m이천에서는 18.5이하의 저밀도수가 분포하였다. 상, 하층간의 밀도차이는 수심 20m부근의 강한 밀도약층을 중심으로 7이상의 밀도구배를 나타내었다.

가을에는 표층부근에서 밀도가 증가하여 상, 하층간의 밀도구배가 작아졌는데, 여름철에 저층에 존재하였던 고밀도수는 가을철에도 비슷한 수심에

존재하는 것으로 보아 표층부근에서 수온의 감소에 의해 상,하층간의 밀도의 차이가 줄어들 것으로 생각된다. 정점 6부근에서는 외양역의 23.5정도의 고밀도수가 연안역으로 오면서 상승하여 거의 표층까지 밀쳐 올라와서 정점 6을 중심으로 연안과 외양으로 가면서 밀도가 낮아지는 용승의 형태를 나타내었다. 제주측후소 자료에 의하면 1989년 10월(본 논문에서는 가을)에는 동풍이 우세하였는데 방 등(1990)에 의하면 동 조사 해역에서 동풍이 우세한 시기에 용승현상이 생길 수 있으며 용승으로 인해 내만이 외해보다 고염저온화 될 것이라고 하였다. 이는 물리적인 요인만을 고려하였을 경우인데 여기서는 화학적인요인을 추가하여 가을철에 용승의 가능성을 좀더 고찰해보겠다.

겨울철에는 연안역과 외양역에서 모두 전층에서 균일하게 고밀도 분포를 하여 연직혼합이 활발히 일어났음을 알 수 있다. 그러나, 표층수의 수평분포는 다른 계절과는 달리 정점 6에서 낮게 나타났다.

일반적으로 하계에 조류가 강한 연안역에서 수심이 깊은 곳은 태양복사열의 증가와 더불어 안정한 성층을 이루고, 수심이 얇은 곳은 저층난류로 인한 연직혼합이 크므로 연안과 외해간의 수온차가 현저하게 되어 전선이 형성된다. 이러한 전선을 조석전선이라고 하는데, 추 등(1984)이 황해에서 관측한 바에 의하면 조류가 1m/sec 정도로 커서 수심 얇은 연안역에서는 저층에서 마찰손실이 크므로 성층을 이루지 않지만 수심이 깊은 곳에서 성층이론 외해역과의 사이에 조석전선이 형성됨을 발표했다. 이러한 전선은 서로 다른 물리적 특성의 수괴가 만날때 그 경계면에서 여러종류의 형태로 나타나는 것으로 전선의 경계지역은 생물,화학적으로 독특한 양상을 보이며 화학적으로는 전선경계면에서 영양염이 집적되기도 한다(Pingree and Simpson, 1977). 또한, 조석전선에서는 연안쪽의 수직으로 혼합된 영양염이 풍부한 해수가 전선을 지나 외해역의 유광대에 공급될 수 있어서 충분한 광조건과 수층의 안정성을 가진 이곳에서 식물성플랑크톤의 증식이 활발히 이루어 질 수 있다(양;1990). 제주도 연안의 조류는 바블때 대체로 1knot 이상의 유속으로 이 유속은 표층과 저층간에 큰차이가 없으며(노 등;1982), 본 조사해역에서 관측한 수직단면(Fig 14)에서 정점 6에서 부터 수심이 급격히

증가하여 겨울을 제외한 전 기간에 정점 6을 기점으로 연안역과 외양역간에 전선이 형성됨을 볼 수 있다. 따라서, Fig 8에서 정점 6부근을 경계로 외양쪽에서 각 성분이 급격히 변화됨은 이러한 전선역의 특성때문에 나타나는 것으로 생각된다. 이는 양(1984)이 본 조사해역과 인접한 삼양연안역에서 여름철에 천해조석전선이 형성된다는 보고도 뒷받침 되지만 전선의 형성에 대한 확실한 근거는 좀더 조사해 보아야 할 것이다.

이러한 밀도의 정점별 변화는 가장 외양역의 밀도가 연안역까지 영향을 미치고 있으므로 정점 11에서의 시,공간적 특성을 살펴보면(Fig.15) 2월초부터 5월초까지 전층에서 균일하게 분포하였고, 5월중순부터 1월말까지는 혼합층내에서 급격한 밀도구배를 나타내었다. 2월중순에서 3월말까지는 전층에서 25.5이상의 고밀도로서 전층에서 균일한 분포를 나타내었는데, 2월중순에 최고밀도를 나타내었다. 6월이후에는 약층이 형성되기 시작하여 여름으로 이어지면서 밀도약층이 심하게 나타났는데, 이는 양(1984)이 삼양 외양역에서 6월부터 성층이 나타나기 시작하여 8월에 가장 현저하며 30m층에서는 강한 수온 및 염분의 성층이 형성되고 있다는 보고와 일치하고 있다.

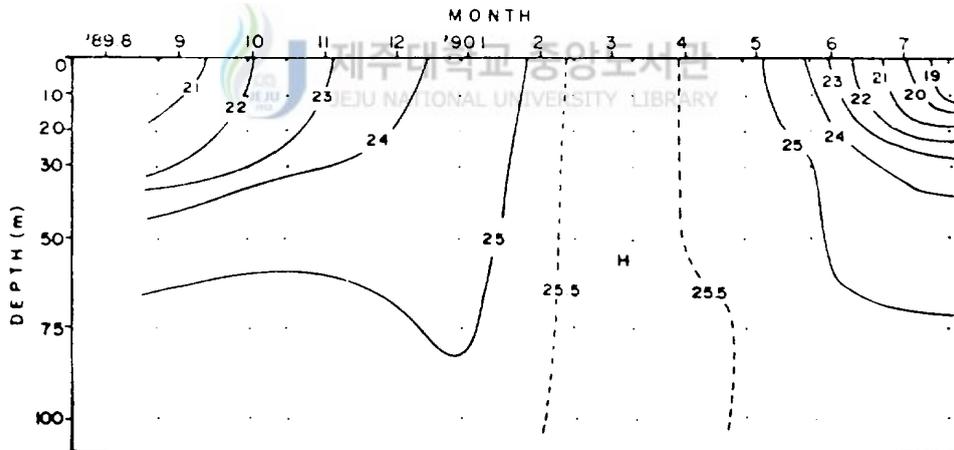


Fig 15. Monthly and vertical distribution of σ_{t} at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

2) 용존산소 (Dissolved Oxygen)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 16)에서 봄에는 전 정점에서 5 - 6ml/l범위의 농도로서 수심에 따라 비교적 농도구배가 일정하게 감소하였으며, 표층부근에서는 정점 6과 9를 중심으로 연안과 외양쪽으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 형태는 겨울을 제외한 전 계절에 나타났다.

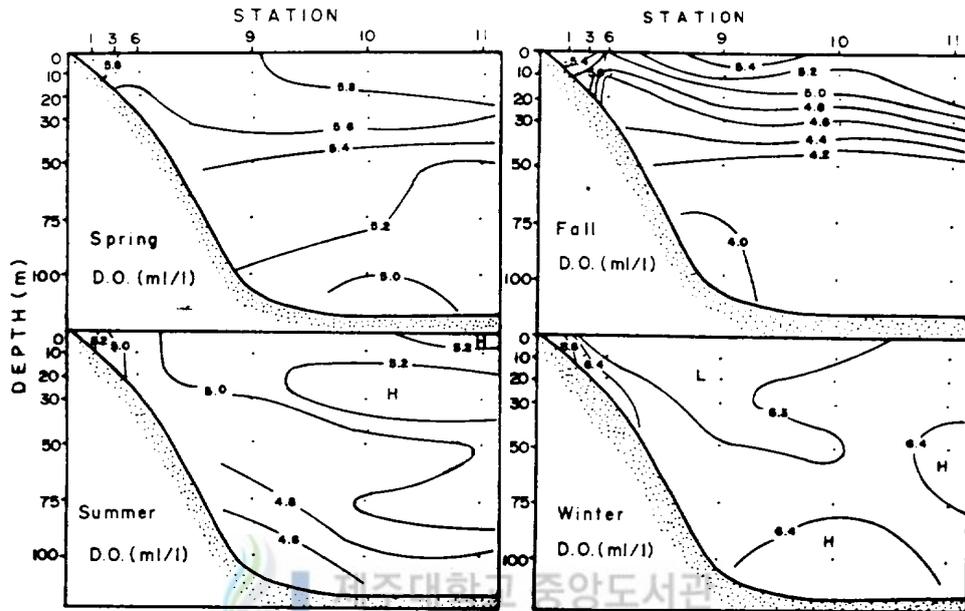


Fig 16. Vertical distributions of dissolved oxygen with seasons from June, 1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall (October), Winter(February).

여름에는 수층간의 농도차이가 작아졌으며 정점 11의 저층에서부터 정점 6의 표층에 걸쳐서 5ml/l이하로 낮게 분포하였는데, 정점 9의 저층에서는 4.6ml/l이하로 낮아졌다. 표층부근에서는 정점 6을 중심으로 연안과 외양쪽으로 갈수록 높아졌으며, 외양역인 정점 10, 11의 20 - 30m 수층에서 높게 나타났다. 이러한 최대층의 존재는 여름철에 상부의 몇 m에서 태양복사열에 의해 대워진 따뜻한 표층수와 대기간의 평형에 의해 표층근처에서 용존산소의 농도가 낮아지고 수심이 깊어 질수록 겨울철의 풍부한 산소가 열대류의

영향을 적게 받아 표층 밑부근에서 최대층이 나타난다(REID,1962)는 물리적인 입장과 연안역에서 7-8월에 10 - 25m층에서 포화도 110%이상의 값이 나타나는 것은 여름철에 강한 밀도약층의 바로 밑부근에서 광합성작용의 결과 나타난 것(STEFANSSON et al., 1964; ANDERSON,1969)으로보는 물리,생물학적 입장이 있는데, 여기서는 후자의 경우가 적용되는 것으로 생각된다(E.SHULENBERGER et al.,1981).

가을에는 수심 50m까지 수심에 따라 농도가 급격히 낮아져서 농도차이가 1.2ml/l이상 나타났으며, 그 이심에서는 일정한 분포를 하였다. 외양역의 저층에서 저농도수가 정점 6의 표층쪽으로 상승하는 형태는 밀도의 분포와 비슷하여 용승의 현상을 뒷받침 해주고 있다.

겨울에는 연직혼합에 의해 가을에 형성되었던 4ml/l이하의 저층수가 사라지고 전층에서 6.2ml/l이상의 고농도 용존산소가 균일하게 분포하였으며, 연안역부근에서 가장 높은 농도를 나타내었다.

가장 외양역인 정점 11에서 용존산소의 시,공간적분포(Fig 17)는 12월부터 5.5ml/l이상의 농도로 연직혼합되어 2월에는 6.0ml/l이상으로 최고농도를 나타내었으며, 3월부터는 저층에서부터 다시 농도가 감소하여 6월까지 상부층에서 5.5ml/l로 분포하였다. 여름 이후부터는 저층에서 용존산소의 농도가 감소하였는데, 가을로 갈수록 용존산소의 농도가 더욱 감소하는 형

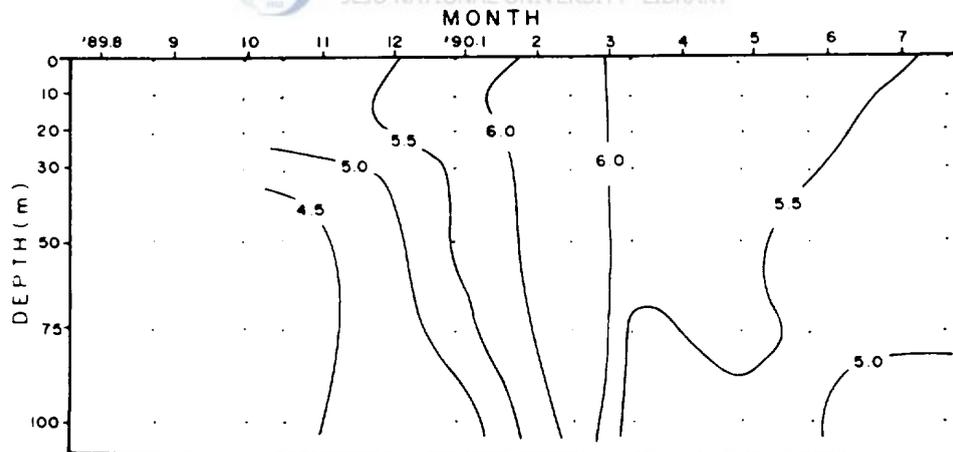


Fig 17. Monthly and vertical distribution of dissolved oxygen at station 11 from June,1989 to June,1990.

태를 나타내었다. 이는, 여름에 밀도약층의 형성으로 표층으로부터 유입되는 산소의 공급이 차단되어 농도가 감소하는데 가을로 이어지면서 저층의 유기물을 분해하는데 산소소모가 계속되었기 때문이라 생각된다.

정점 11에서는 12월부터 전층에서 고농도 분포로 연직혼합이 이루어지고 있는데, 최 등의(1989) 탐동연안역 보고에서는 11월에 연직혼합이 이루어지는 계절이라고 보고한 것과는 달리 외양역에서는 1개월정도 늦게 나타나는 현상을 보였다.

(1) 산소포화백분율 (Percent of DO saturation)

수온, 염분값으로 Weiss(1970)의 식에 의해서 계산한 용존산소포화량과 측정된 용존산소량으로 포화백분율을 구하여 본 결과 그분포(Fig 18)는 용존산소의 분포와 비슷한 형태로 나타났다. 수심 20m이전의 혼합층에서는 3월에서 5월초 사이를 제외한 전기간 동안에 100%이상의 산소 포화백분율을 유지했으며, 1월말에서 3월초까지는 전층에서 산소백분율이 105%이상으로 가장 높은 값이 나타났다. 여기서 과포화상태를 나타내지 않은 3-5월은 식물플랑크톤이 증식할 수 있는 시기로서 이들의 광합성작용에 의해 산소가

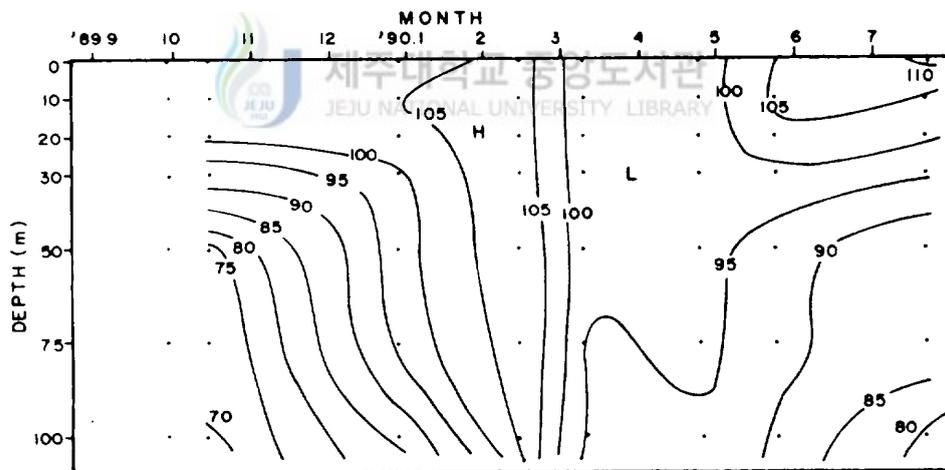


Fig 18. Monthly and vertical distribution of saturation percent of dissolved oxygen at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

증가할 수 있음에도 불구하고 년중 이기간에 미포화 상태를 나타내는 것으로 보아, 본 조사지역에서의 용존산소는 생물학적인 요인보다 수온, 염분의 차이에 의한 물리적인 요인에 의하여 크게 조절되는 것으로 생각된다. 이는 본 조사 해역과 인접한 삼양연안역에서의 산소포화백분율이 3월이 되면서 10%이상 떨어져서(고 등, 1984) 미포화 상태가 나타내는 시기는 일치하지만, 과포화 되는 시기는 삼양연안역이 4월인데 비해 함덕 외양역에서는 1개월정도 늦은 5월부터 과포화되기 시작했다.

5월부터는 표층수온의 증가로 인해 산소포화량이 감소하여 7월에는 산소포화백분율이 110%이상으로 최대포화백분율을 나타내었다. 이것은 성층의 형성으로 인하여 표층의 산소가 저층으로 가라앉지 못하여 혼합층 이내에 머무르기 때문에 혼합층내의 용존산소량은 비교적 일정하게 유지되지만 산소포화량은 감소하였기 때문인 것으로 생각된다.

성층이 형성되기 시작하는 5월부터는 혼합층하부에서 포화백분율값이 급격히 떨어지고 가을로 접어들수록 더욱 감소하여 10월에 저층근처에서 70%까지 떨어졌다.

3) 영양염류 (Nutrients)

(1) 질산 질소 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 19)에서 봄에는 대부분 $8\mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도로서 전 계절중에서 전반적으로 낮은 농도분포를 하였는데, 수심이 깊어지면서 점차 농도가 증가하였다. 또한, 연안역에서 비교적 고농도수가 외양역으로 갈수록 그 두께가 얇아지면서 감소하여 정점 10,11의 표층부근에서는 $0.3\mu\text{g-at/l}$ 로 저농도 분포를 하였다. 이는 겨울에 연직혼합에 의해 영양염이 풍부해진 표층부근에서 태양복사량의 증가로 수층도 점차 안정해지고 광합성에 충분한 일사량으로 연안역에서부터 식물플랑크톤의 증식에 따른 소모로 저농도수가 외양역까지 확산된 것으로 생각된다. 가장 외양역인 정점 11에서는 20m, 75m수심에서 저농도 분포로서 규산 규소도 비슷하며, 밀도의 분포도 이부근에서 조밀한데 클로로필-a농도는 낮게 나타나는 것으로 보아 성질이 다른 수괴의 유입에 의한 것이라고 생각된다.

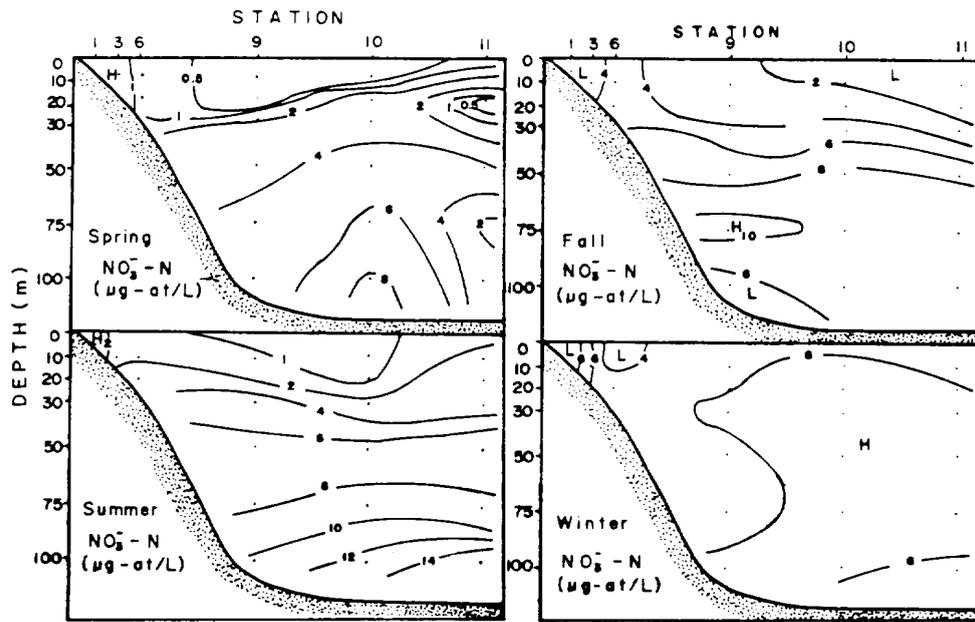


Fig 19. Vertical distributions of nitrate with seasons from June, 1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February).

여름에는 밀도약층이 형성되어있는 20m부터 수심에 따라 비교적 일률적으로 증가하여 저층에서는 $14\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도수가 분포하였다. 밀도약층 상부의 혼합층에서는 연안역의 고농도수가 외양역으로 갈수록 점차 감소하여 봄철과 비슷하게 나타났다.

가을이 되면서 표층부근의 농도는 정점 6을 기준으로 연안과 외양쪽으로 갈수록 감소하였는데, 이는 저층의 고농도수가 정점 6의 표층부근으로 떠오르면서 고농도 분포를 했기 때문이다.

겨울에는 전층에서 농도가 비교적 균일하게 분포하여 혼합이 잘 이루어진 것으로 보인다. 그러나, 정점 6의 표층부근에서는 $4\mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도 분포 현상을 보이고 있었다.

가장 외양역인 정점 11에서 시,공간적 농도분포(Fig 20)는 성층이 형성되어 있는 여름에 성층하부에 존재했던 $8.0\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도수가 성층

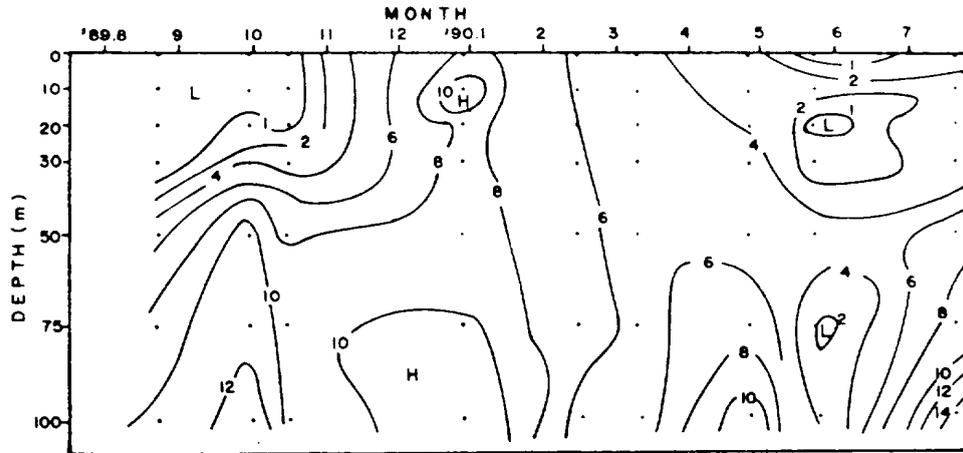


Fig 20. Monthly and vertical distribution of nitrate at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

이 사라지는 겨울에 표층까지 이어져서 1월경에는 전층에서 높은 농도값을 나타내었다. 1월 이후에 전층에서 농도가 낮아지다가 4월경에 저층에서 증가한 후 5월경에는 전층에서 저농도 분포를 하였다. 이는 4,5월 사이에 식물플랑크톤 증식이 활발히 일어나서 영양염이 급격히 소비되었기 때문에 시기적으로 뒤이어 낮은 농도 분포를 나타낸 것으로 생각된다. 이시기부터 표층부근에서는 농도가 감소하여 9,10월경에는 표층부근에서 $0.5\mu\text{g-at/l}$ 이하로 최저치를 나타내었으며, 30m이심 부터는 밀도구배가 커서 저층에서 고농도 분포를 하였다. 여름에는 수심 30m정도에서의 질산염악층을 경계로 상, 하층간에 뚜렷한 농도 구분이 나타났지만, 겨울철에는 상, 하층간에 비교적 균일한 분포를 하였다.

(2) 인산 인 ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 21)에서 봄에는 정점 9,10의 30m이심에서의 고농도 분포와 그외 지역에서의 저농도 분포로 크게 구분이 된다. 정점 11에서는 10m층부근을 제외하고 전층에서 $0.05\mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도수가 분포하였는데, 표층부근에서는 정점 6,9를 중심으로 연안과 외양쪽에서 고농도 분포를 하였다.

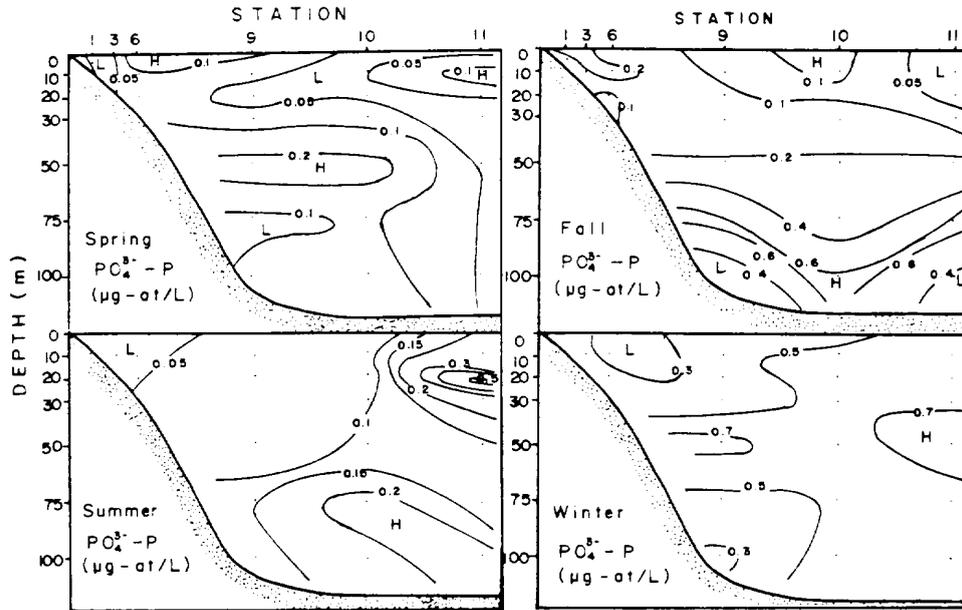


Fig 21. Vertical distributions of phosphate with seasons from June, 1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall (October), Winter(February).

여름에는 정점 10의 표층과 정점 9의 60m를 잇는 $0.1\mu\text{g-at/l}$ 의 농도선을 중심으로 연안쪽의 저농도와 외양쪽의 고농도분포로 구분지어졌다. 혼합층 내에서는 연안역에서 외양역으로 갈수록 점차 증가하여 연안역에서 소비가 많이 이루어 졌음을 알 수 있다. 정점 11의 30m층에서는 $0.5\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도층이 분포하였는데, 클로로필-a농도도 특별히 높게 나타나는 것으로 보아 밀도약층 하부에 집적된 식물플랑크톤들이 무기화 되면서 증가한 것으로 생각된다. 이 층에서 질산 질소와 규산 규소의 농도도 다소 증가하는 것으로 보아 뒷받침된다.

가을에는 연안역에서 외양역으로 갈수록 농도가 감소하였는데, 저층에서 $0.1\mu\text{g-at/l}$ 이상의 수괴가 연안까지 확장하여 분포하였다. 저층에서는 수심에 따라 증가하여 $0.6\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도 분포를 하였다.

겨울이 되면서 전층에서 농도가 증가하였는데, 정점 6에서는 저농도를 나타내어 연안에서 외양으로 갈수록 점차 증가하였다.

가장 외양역인 정점 11에서 월별, 연직분포(Fig 22)는 가을에 성층하부에서 존재했던 $0.5\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도수가 겨울철에 표층으로 이어져 전층에서 고농도로 분포했다가 그 이후 감소했다. 4월말에는 표층이심에서 다소 농도가 높아졌다가 6월경에는 전층에서 농도가 감소한 것은 질산 질소의 경우와 마찬가지로 식물플랑크톤의 춘, 하계증식시 소비된 것이 시기적으로 늦게 저농도 분포를 한 것으로 생각된다. 표층부근에서는 3월에서 6월까지, 그리고, 9,10월경에도 수심 30m이천에서 $0.1\mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도 분포를 하였다.

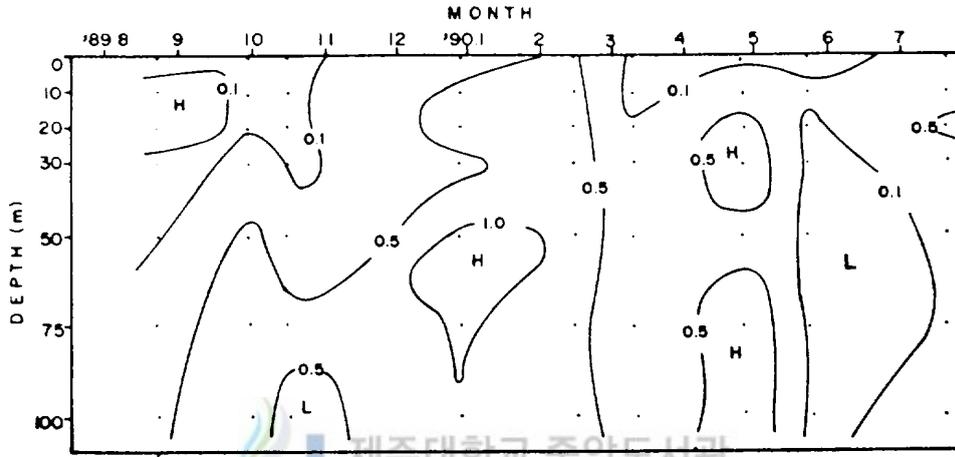


Fig 22. Monthly and vertical distribution of phosphate at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

(3) 규산 규소 ($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 23)에서 봄에는 저층의 일부를 제외한 전층에서 $10\mu\text{g-at/l}$ 이하로서 다른계절에 비해 가장 낮은 농도분포를 하였다. 상, 하층간의 농도차이도 $3\mu\text{g-at/l}$ 정도로써 큰 차이가 없었고, 전 정점에서 표층부근에서 $8\mu\text{g-at/l}$ 이하로 저농도 분포를 하였다.

여름에는 밀도약층이 형성되어있는 수심 30m부근을 경계로 표층부근의 저농도 분포와 저층의 고농도 분포로 구분지어졌고 수심 30 - 70m까지는 균일한 분포를 하였다. 정점 6이내의 연안역에서는 연직혼합이 잘 이루어져서

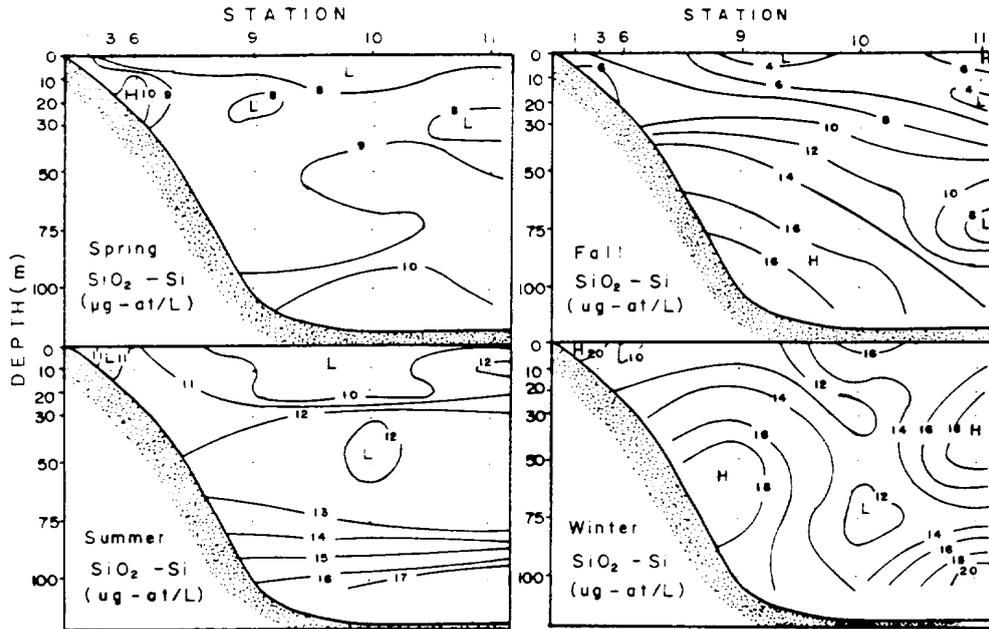


Fig 23. Vertical distributions of silicate with seasons from June, 1989 to June, 1990.: Spring(April), Summer(June, 1990), Fall(October), Winter(February).

정점 6을 기준으로 안밖의 정점에서 저농도 분포를 하였다. 즉, 정점 6에서 전선이 형성되는 형태를 나타내었다. 정점 9와 10부근의 30m이전에서는 $10 \mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도 분포를 하였는데, 이 시기의 질산 질소와 인산 인의 농도도 저농도로 분포하는 것으로 보아 밀도약층의 형성으로 저층에서의 풍부한 영양염 공급이 차단된 상태에서 표층부근에서 식물플랑크톤에 의해 소비되었기 때문으로 생각된다.

가을이 되면서 표, 저층간의 농도차이가 $10 \mu\text{g-at/l}$ 이상으로 크게 나타났는데, 정점 9, 10의 저층에서 고농도수가 연안역으로 확장하는 분포를 나타내었다. 정점 11에서는 20m층과 75m층에서는 다소 낮은 농도분포를 나타내었다.

겨울에는 정점 9와 11에서 고농도 분포를 하였고 그 사이에 있는 정점 10에서는 전층에서 저농도로 분포하였는데, 정점 6의 표층부근에서 가장 낮

은 농도분포를 하였다.

가장 외양역인 정점 11에서 규산 규소의 농도분포(Fig 24)는 질산 질소와 인산 인의 분포와 비슷한 경향을 나타냈는데, 봄에는 전층에서 다소 낮은 농도분포를 나타냈다가 7월경에는 다른 영양염류의 분포와는 달리 전층에서 $10\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도분포를 하였다. 5월과 10월에 표층부근에서는 $5\mu\text{g-at/l}$ 이하로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

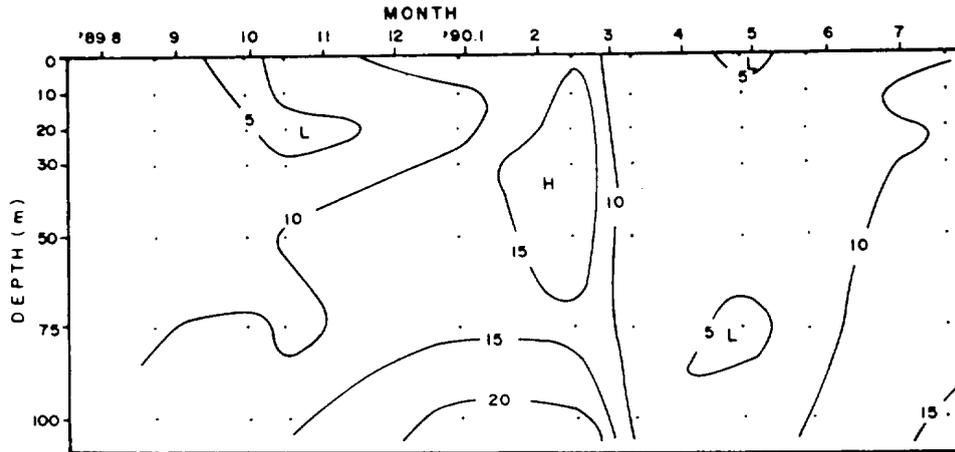


Fig 24. Monthly and vertical distribution of silicate at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

4) 클로로필-a (Chlorophyll-a)

A Line에서의 계절별 연직분포(Fig 25)에서 봄에는 연안역에서 0.8mg/m^3 이상의 고농도수가 외양쪽으로 가면서 감소하여 정점 10의 표층부근에서는 0.2mg/m^3 이하로 감소하여 연안역에서 년중 가장 높은 농도분포를 하였다. 30m이심에서는 10m정도의 수층에서 0.2mg/m^3 이하인 설상의 저농도층이 존재하였고 그 바로밑층에서는 다시 농도가 증가하였다.

여름에는 정점 6의 15m이전에서 0.4mg/m^3 이상의 고농도수가 외양쪽으로 가면서 점차 깊어져서 정점 11의 30m층에서 1.4mg/m^3 이상의 고농도층을 중심으로 표층에서부터 50여m까지 분포하였다. 이러한 고농도층은 밀도약층을 따라 형성되어 표층부근에서 생산된 식물플랑크톤 개체들이 밀도약층 하단

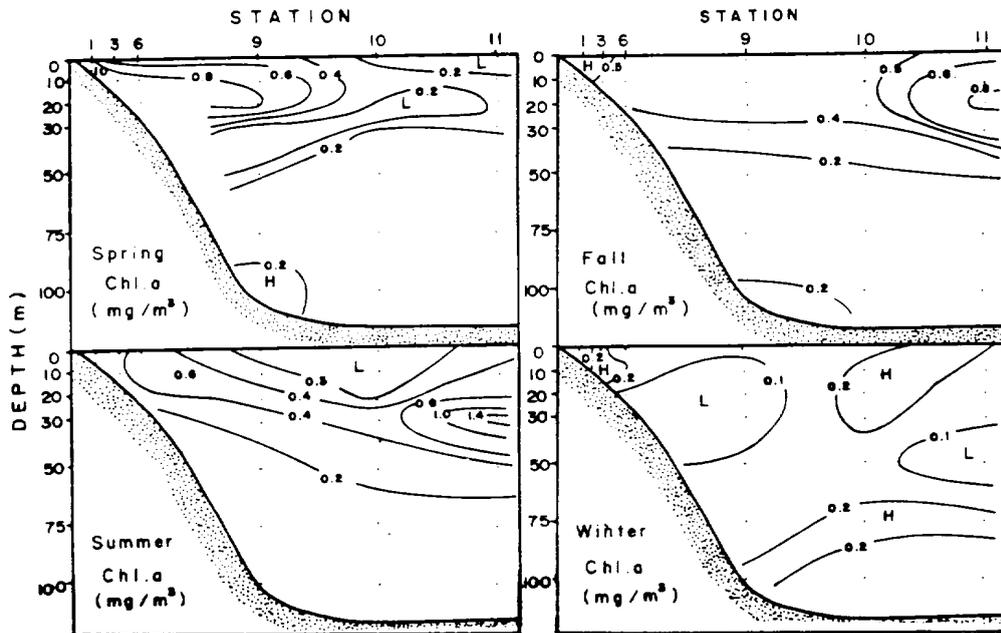


Fig 25. Vertical distributions of chlorophyll-a with seasons from June, 1989 to June, 1990.; Spring(April), Summer(June, 1990), Fall (October), Winter(February).

부에 집적됨을 나타내는 것으로 생각된다. 저층에서는 농도가 급격히 감소하여 거의 검출이 되지 않았는데, 이는 유광층내에서 형성된 식물플랑크톤 개체들이 밀도약층의 장해로 저층으로 가라앉지 못하고 밀도약층내에 머물렀기 때문으로 생각된다.

가을에는 20 - 30m층 상부에서 0.4mg/m³이상의 고농도 분포를 하였는데, 정점 11의 20m층에서는 0.8mg/m³이상의 고농도수가 분포했다. 여기서 클로로필-a농도는 정점 6에서 외양으로 가면서 증가하지만, 다른 성분들의 연직 분포는 정점 6에서 저온, 고염, 저산소, 고영양염류의 분포를 나타내었다. 이는, 전형적인 용승의 형태를 나타내는 아프리카 남서해역의 분포(H.J.Minas et al., 1986)와 비슷하게 나타나는 것으로 보아 본 조사해역에서 가을에 용승이 일어나고 있는 것으로 생각된다.

겨울에는 전층에서 저농도로써 비교적 일정하게 분포하였고 정점 3부근,

정점 10과 11의 표층부근, 외양역의 75m부근에서 다소 높게 나타났다.

외양역의 정점 11에서 클로로필-a의 분포(Fig 26)는 대체적으로 가을과 봄에 혼합층내에서 높은농도를 나타냈으며, 겨울과 성층이 형성되는 시기에 성층 밑수심에서 낮은 농도값을 나타내었다.

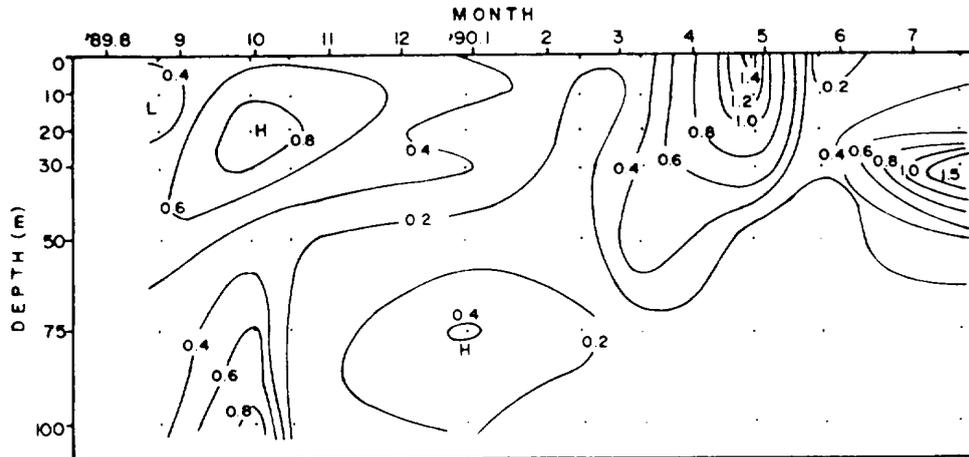


Fig 26. Monthly and vertical distribution of chlorophyll-a at station 11 from June, 1989 to June, 1990.

10월경에는 전층에서 고농도분포를 하였는데, 수심 20-30m사이에서 클로로필-a농도가 $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ 이상으로 고농도층이 형성되었다. 이것은 이시기에 유광층내에서 식물플랑크톤이 활발히 증식된것이 저층으로 가라앉으면서 밀도구배가 심한층에서 천천히 가라앉아서 혼합층하부에 집적되어 이층에서 생산이 활발히 진행된 것으로 영양염의 농도 또한 낮게 나타나는 것으로 보아 알수있다. 수심 100m부근에서도 고농도값이 나타난 것은 정점 9,10에서도 비슷한데, 영양염류의 농도 또한 높게 나타나서 추계 증식시에 저층에 가라앉았던 유기물들이 무기화되는 과정에서 모든 성분이 높게 나타났는지 확실치 않다.

1월부터 3월초까지는 여름에 성층이 형성되었을때 성층밑에 존재하던 저농도수가 약층이 파괴되는 겨울에 표층으로 이어져서 전층에서 낮은 농도값이 나타났다. 4,5월경에는 혼합층내에서 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 이상의 고농도분포를 하였는데, 표층부근에서는 $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 이상으로 높게 나타났으며 50m이심부터는 농

도가 낮아져서 75m이심에서는 거의 검출할 수 없었다. 이는, 봄이 되면서 태양복사량의 증가로 수층이 안정되고 표층부근에서 겨울철에 풍부한 영양염을 이용한 활발한 광합성작용으로 유광층내에서 클로로필-a의 농도가 증가한 것으로 생각된다. 또한, 이 시기의 영양염의 연직분포는 유광층내에서는 광합성작용에 이용되어 저농도로 분포하지만 저층에서는 다소 높게 나타났다.

7월에는 수심 30m에서 $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 이상의 고농도층을 중심으로 높게 나타났는데, 이는 표층부근에서 생산된 식물플랑크톤이 침강하면서 밀도약층이 강하게 형성되어 있는 30m수층 부근에서 집적되어 나타난 것으로 생각된다. 고농도층이 나타난 30m이심에서는 봄과 마찬가지로 저농도 분포를 하였는데 영양염류의 농도는 이시기부터 저층에서 고농도분포 하는 것으로 보아 봄에 유광층내에서 새로 생성된 유기물들이 침강하여 퇴적된 것들이 수온이 차가운 계절에는 빨리 무기화되지 못하다가 수온이 증가하는 여름철부터 무기화 과정이 활발히 진행되어 영양염류의 농도가 증가하였으며, 따라서 유기물들이 분해되는 과정에서 산소의 소비도 많아져서 용존산소의 농도도 여름에서 가을철로 갈수록 감소한 것으로 생각된다.

성층이 강하게 형성되어 있는 여름(7월)에 성층의 영향에 따른 각 성분의 수직분포특성을 연관지어 알아보기 위하여 투광도를 측정된 외양역인 정점 10에서의 밀도, 용존산소, 클로로필-a의 수직분포를 비교하여 Fig 27에 나타내었다.

밀도의 연직분포는 수심 30m이내에서 급격히 변하여 혼합층을 형성하고 그 이심에서는 비교적 일정하게 나타났다. 용존산소와 클로로필-a의 농도는 표층에서부터 수심이 깊어지면서 증가하여 혼합층의 하단부에서 최대값을 나타냈는데, 용존산소농도의 최대층이 클로로필-a농도의 최대층보다 상부에 존재했다. 이는 표층부근에서 광합성작용으로 생산된 산소가 저층으로 확산되면서 밀도약층부근에서는 표층으로 부터 유입되는 속도보다 저층으로 확산되는 속도가 느리기 때문에 밀도약층하부에 축적되었고, 표층부근에서는 대기중의 산소와 평형을 이루려는 성질때문에 과잉산소는 대기로 방출되어 밀도약층부근 수심에서 용존산소 최대층이 형성된 것으로 생각된다.

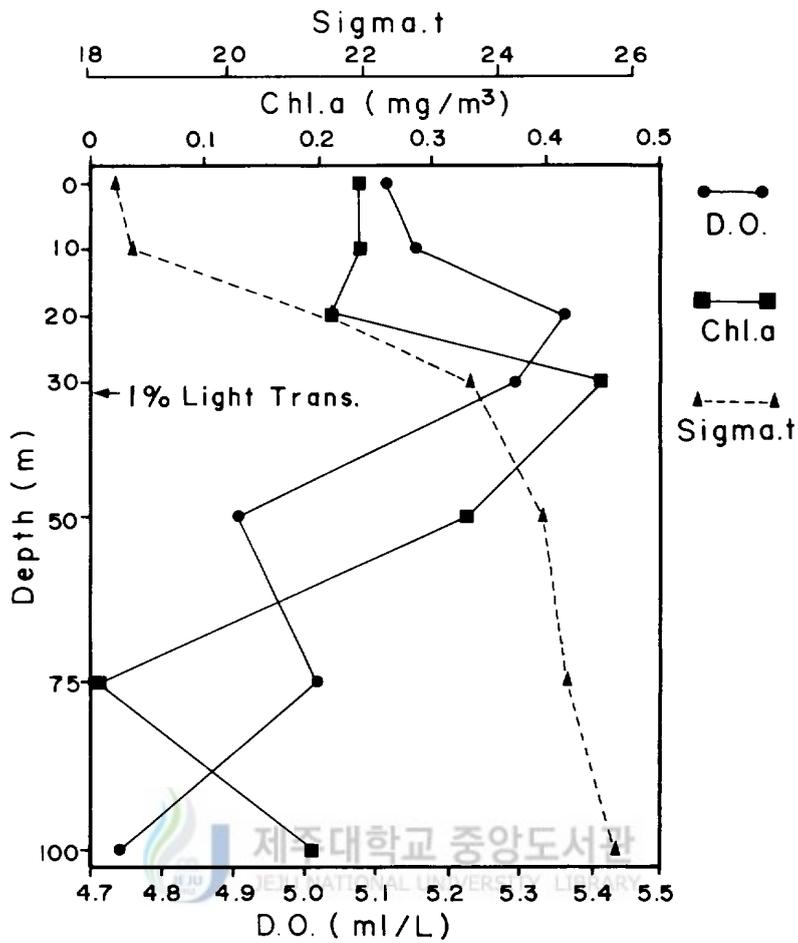


Fig 27. Vertical profile of Sigma.t, Chlorophyll-a and Dissolved Oxygen in summer (June, 1990) at station 10.

정점 10에서 조도 1%에 해당하는 깊이는 32.5m로써 클로로필-a값의 최대농도가 나타나는 수심 30m와 거의 일치하는 것으로 보아 유광층 이내에서 생산된 식물플랑크톤 개체들이 저층으로 침강하면서 밀도약층부근에서 침강속도가 감소하여 밀도약층부근에서 축적되었음을 유추할수있다.

5) 월별 변화특성

해양에서 식물플랑크톤 생물량의 척도로 흔히 이용되는 클로로필-a함량

과 그에 영향을 미치는 영양염류농도간의 상호관계를 비교, 고찰하기 위하여 유광층(0m -30m)이내 수심에서의 년중 월별평균농도로서 Fig 28과 29에 나타내었다.

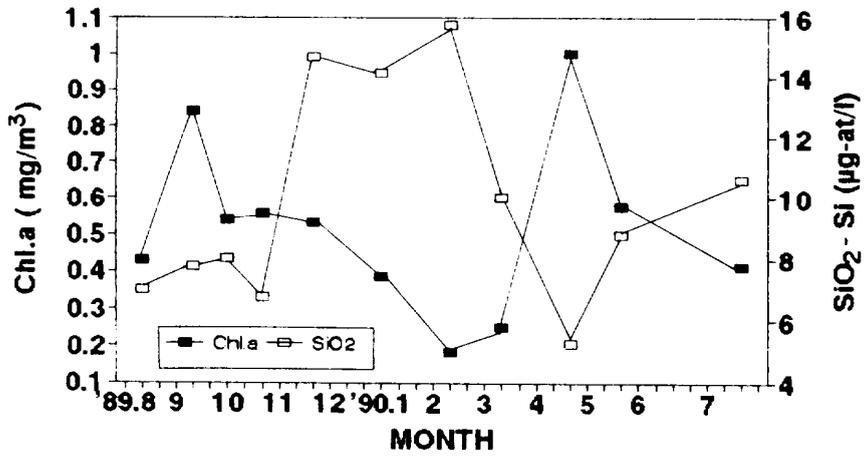


Fig 28. Seasonal changes of mean concentration of chlorophyll-a and silicate in euphotic layer(0m - 30m) at studied area from June,1989 to June,1990.

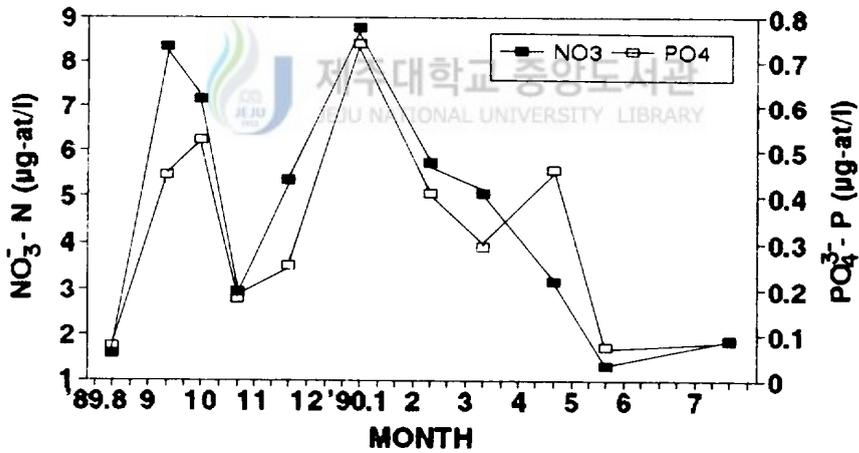


Fig 29. Seasonal changes of mean concentration of nitrate and phosphate in euphotic layer(0m -30m) at studied area from June,1989 to June,1990.

월별 클로로필-a 평균농도의 변화(Fig 28)는 9월경에 고농도값이 나타나서 겨울로 가면서 감소하여 2월경에 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 이하의 농도로 최저치를 나타낸 후 봄이되면서 급격히 증가하여 4월말에는 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 정도로 가장 높은농도를 나타내었다. 봄에 최대값을 나타낸 이후에는 여름으로 가면서 다시 서서히 농도가 감소하였다. 따라서, 본 조사해역에서 클로로필-a의 농도는 춘계에 가장높게 나타났고, 가을철에 다시한번 고농도분포를 하여 전형적인 온대역의 분포특성을 나타내었다.

영양염류농도의 월별변화는 전반적으로 클로로필-a의 분포와 반대로 나타났는데, 규산 규소(Fig 28)의 경우 9,10월경까지 저농도로 분포하다가 11월부터는 급격히 증가하여 겨울에는 $14\mu\text{g-at}/\text{l}$ 이상의 고농도를 유지하였고 3월부터는 다시 급격히 떨어져 4월말에는 $5\mu\text{g-at}/\text{l}$ 이하의 농도로서 년중 최저치를 나타내었다. 5월이후에는 다시 농도가 증가하여 7월로 이어지면서 $10\mu\text{g-at}/\text{l}$ 이상의 농도를 나타내었다. 이러한 분포는 클로로필-a농도와 밀접하게 관련되어 시기적으로 클로로필-a량이 증가하는 가을과 봄에는 규산 규소의 농도가 낮아졌고, 겨울에 클로로필-a량이 감소하는 시기에 규산 규소농도는 증가하여 식물플랑크톤에 의한 소비의 정도에 따라 상대적으로 낮게 나타난 것으로 생각된다.

질산 질소와 인산 인의 월별 분포(Fig 29)도 규산 규소의 분포와 다소 비슷한 양상으로 나타났는데, 가을과 봄에는 농도가 감소하였고 겨울에는 증가하는 형태를 나타내어 두 성분간에 비슷한 변화를 하였다. 그러나, 클로로필-a농도 분포와의 관계는 규산 규소보다는 덜 밀접하여 본 조사지역에서의 식물플랑크톤의 분포는 클로로필-a농도 분포와 규산 규소간에 시기적으로 상호 반대의 분포를 하였다.

6) N/P비의 변화특성

일반적으로 해수중의 N/P비는 플랑크톤내의 N/P와 비슷하여 원소의 비율로 비교할때 해수에서는 16, 식물플랑크톤 자체로는 15.5로서 비슷하게 나타나서 유광층내에서 영양염의 소비된 정도를 알아낼때 간편하게 이용되는데(Redfield,1963)연안역의 표층수중의 N/P비는 일반적인값과 아주다르게 나타난다(Raymont J.E.G; 1980).

A Line에서 30m이천의 유광층에서 질산 질소와 인산 인의 년평균 비로서 정점간 비교하여 Fig 30에 나타내었는데, 전반적으로 연안역에서 높고 외양역에서 낮아서 정점 1에서 N/P비가 42로서 가장높고 정점 9에서는 N/P비가 8로서 가장낮게 나타났다. 이러한 분포는 Fig 3의 수온분포와 유사하게 나타나서 수온이 높을수록 N/P비는 높게 나타나고 있다.

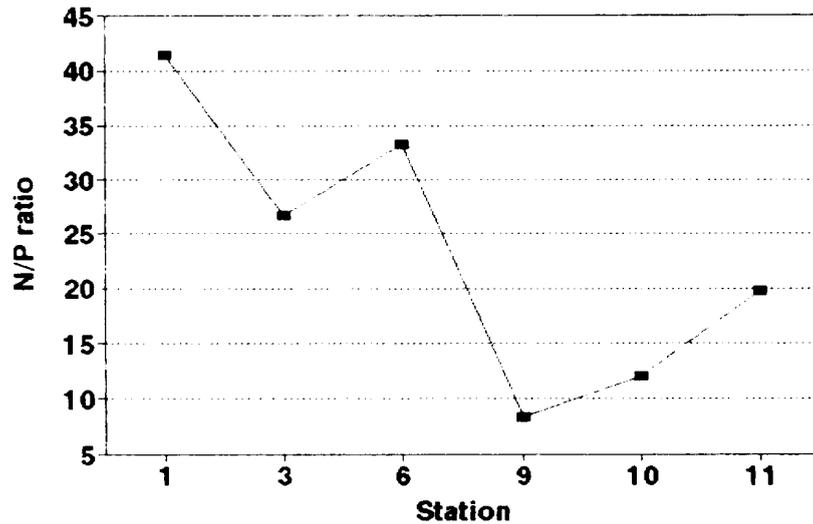


Fig 30. Comparison of N/P ratio in euphotic layer(0m -30m) at A line from June,1989 to June,1990.

외양역의 정점내(D Line)에서 N/P비값은 정점 11(N/P비 20)에서 정점 9(N/P비 8)로 올수록 감소하여 연안쪽으로 올수록 질소성분이 식물플랑크톤의 증식에 제한적으로 작용하는 것으로 생각된다. 그러나, 보다 연안역인 정점 6에서의 N/P비는 30이상으로 급격히 증가하였는데, 이는 정점 6은 물리적으로 특이한 지역으로서 인근 정점보다 수온이 높아서(Fig 3) 생물생산이 활발하여 질산 질소보다 규산 규소와 인산 인의 소비가 상대적으로 많았기 때문(Fig 11)으로 생각된다. 여기서 질산질소의 농도가 특히 높은것은 물리적인 요인에 의하여 다른성질의 수괴가 유입되었는지 또는 동물플랑크톤의 대량증식에 따른 배설로 인하여 질산 질소의 농도가 증가하였는지 그 원인은 확실치 않아서 그에 대해서는 앞으로 좀더 연구 해보아야 할 것이다.

식물플랑크톤의 성장과 영양염류의 소비관계를 나타낼때 쓰이는 N/P비는 계절에 따라 변화하는데 Long Island Sound에서 12개월간 관측한바에 의하면 N/P비가 12.6-19.8로 변화하였는데(Harris and Riley,1956), 본 조사지역에서의 월별 N/P비의 변화(Fig 31)는 여름에는 40이상으로 높고 겨울에는 15-20정도로 비교적 낮게 나타났으며, 4월에는 10이하로서 최저값을 나타내서 비교적 변화 범위가 크게 나타났다. 이러한 분포는 Fig 2의 년중 월별 평균수온분포와 비슷하게 나타났다. 온대 연안해역에서는 계절과 수괴의 성층에 따라 영양염농도가 변화하여 춘계 대증식 초기에는 질산염이 쉽게 이용되고 이후부터는 질소의 다른 형태들이 이용되는데(Raymont J.E.G;1980), Fig 31에서 4월에 N/P비값이 낮은것은 이러한 까닭으로 이시기에 질산 질소의 소비가 많아졌기 때문으로 생각된다.

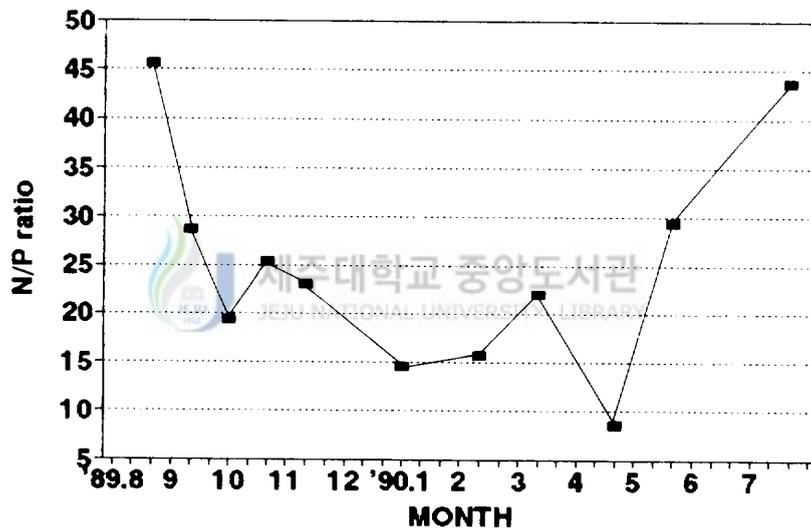


Fig 31. Seasonal changes of N/P ratio in euphotic layer(0m -30m) from June,1989 to June,1990.

3. 각 성분간의 상관관계

수질환경변수 사이의 관계를 통계 Package(MINITAB)를 이용하여 연안역(정점 1 - 8)과 외양역(정점 9 - 11)간의 연안역의 최대수심인 30m와 비교하기 위하여 외양역의 30m이천 자료를 이용하여 각 성분간의 상호관계를 분석하였다(표 2,3).

1) 상관관계 분석

(1) 연안역

연안역에서 클로로필-a량과 환경요인과의 상관관계(표2)는 수온(0.199)을 제외한 모든 환경요인과는 역의 상관관계로서 아질산 질소(-0.229)와 규산 규소(-0.376)와의 상관계수는 다른변수들에 비해 높은 상관성을 나타내었다. 그 외에 용존산소(-0.163), 질산 질소(-0.136)와의 상관계수는 염분(-0.029), 인산 인(-0.054)보다 높은 상관관계를 나타내었다.

영양염간의 상관관계는 모두 정의 상관관계로서 질산 질소와 인산 인과의 상관계수가 0.527로 가장높게 나타났으며, 가장낮은 상관관계를 나타낸 인산 인과 규산 규소(0.063)간의 관계를 제외한 그 외의 성분간에는 0.273 - 0.376으로 나타났다.



Table 2. Correlation of each compositions at inner(St.1 - St.8)

Station.

	Chl.a	W.Temp.	Sal.	D.O.	NO2-N	NO3-N	PO4-P
W.Temp.	0.199						
Sal.	-0.029	-0.832					
D.O.	-0.163	-0.710	0.538				
NO2-N	-0.229	-0.690	0.488	0.648			
NO3-N	-0.136	-0.132	0.106	-0.056	0.304		
PO4-P	-0.054	-0.252	0.171	0.109	0.314	0.527	
SiO2-Si	-0.376	-0.316	0.141	0.430	0.376	0.273	0.063

(2) 외양역

외양역에서 클로로필-a량과 환경요인과의 상관관계(표3)는 엽분(0.031)을 제외한 모든 환경요인이 음의 상관관계로서 연안역에서의 수온과 엽분의 경우와 반대로 나타났다.

클로로필-a량과 규산 규소와의 상관계수는 -0.335로 가장높게 나타났으며, 용존산소(-0.15), 아질산 질소(-0.168), 질산 질소(-0.161)와의 상관계수는 비슷한 값을 나타내었다. 수온(-0.02)과 인산 인(-0.054)은 거의 상관성이 없었다.

영양염간의 상관관계는 질산 질소와 인산 인과의 상관계수가 0.844로서 가장 높게 나타났고, 다른 성분들간에도 모두양의 상관관계(0.466 - 0.64)

Table 3. Correlation of each compositions at outter(St.9 - St.11) Station.

	Chl.a	W.Temp.	Sal.	D.O.	NO2-N	NO3-N	P04-P
W.Temp.	-0.021						
Sal.	0.031	-0.858					
D.O.	-0.150	-0.718	0.628				
NO2-N	-0.168	-0.791	0.647	0.541			
NO3-N	-0.161	-0.586	0.470	0.272	0.640		
P04-P	-0.154	-0.422	0.315	0.303	0.489	0.844	
SiO2-Si	-0.335	-0.314	0.123	0.273	0.466	0.609	0.526

로서 비교적 높게 나타났다.

2) 환경요인 분석

본 조사해역에서 연안에서 외양으로 가면서 클로로필-a농도에 영향을 미치는 각 환경요인의 중요도를 알아보기 위하여 연안의 B Line과 C Line, 그리고 외양의 D Line에 대하여 연안역의 최대수심인 30m이천 수층내의 성분들에 대해서 클로로필-a량을 종속변수로 놓고 수온, 엽분, 용존산소, 아질산 질소, 질산 질소, 인산 인, 규산 규소의 농도를 독립변수로 하여 중회귀분석한 결과 클로로필-a량을 예측할 수 있는 중회귀식은 다음과 같이 나

타났다.

가) B Line ($r^2 = 0.57$)

$$\text{Chl.}a = -1.08 + 0.0106 \text{ Temp.} + 0.121 \text{ Sal.} - 0.437 \text{ D.O.} + 0.847 \text{ NO}_2^- \text{-N} \\ - 0.0894 \text{ NO}_3^- \text{-N} + 0.240 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P} - 0.0108 \text{ SiO}_2 \text{-Si}$$

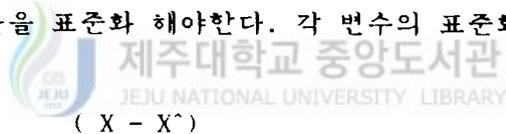
나) C Line ($r^2 = 0.40$)

$$\text{Chl.}a = 3.46 - 0.234 \text{ Temp.} - 0.0299 \text{ Sal.} - 0.223 \text{ D.O.} - 0.036 \text{ NO}_2^- \text{-N} \\ - 0.0578 \text{ NO}_3^- \text{-N} + 0.423 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P} - 0.0243 \text{ SiO}_2 \text{-Si}$$

다) D Line ($r^2 = 0.31$)

$$\text{Chl.}a = 6.43 - 0.0817 \text{ Temp.} - 0.0428 \text{ Sal.} - 0.555 \text{ D.O.} + 0.0472 \text{ NO}_2^- \text{-N} \\ - 0.245 \text{ NO}_3^- \text{-N} + 0.0701 \text{ PO}_4^{3-} \text{-P} + 0.487 \text{ SiO}_2 \text{-Si}$$

그러나, 위의 회귀식에 나타난 수질환경변수들은 그 변화의 범위와 단위가 다르므로 계수값이 크다고 하여 클로로필-a량에 영향을 크게 미치는 것은 아니다. 따라서, 클로로필-a량에 영향을 미치는 정도를 알기 위해서는 각 환경변수들을 표준화 해야한다. 각 변수의 표준화는 다음식에 의한



$$X^* = \frac{(X - \bar{X})}{S_x}$$

여기서, X^* : 표준화된 변수의 값

X : 측정치

\bar{X} : 평균치

S_x : X 의 표준편차

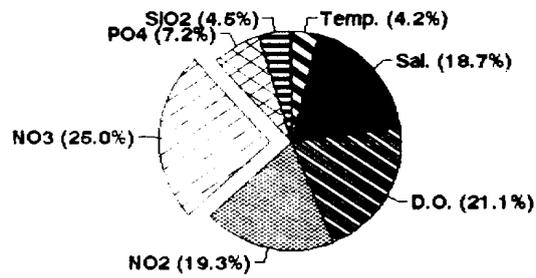
이렇게 표준화된 값으로 회귀분석을 하였을 때의 계수를 표준화계수라고 하며, 이 값이 크면 클수록 회귀모형에는 기여도가 크며 각 환경의 중

요도(percent of importance)는 이 값으로 부터 구할 수 있다.

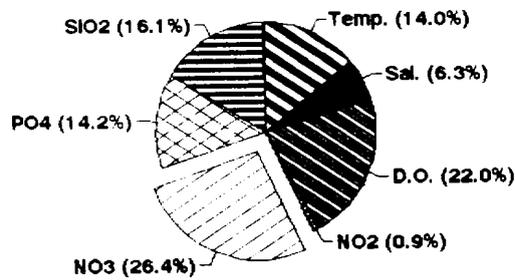
환경변수의 표준화 계수

$$\text{중요도(PC.I)} = \frac{\text{표준화 계수들의 총 합}}{\text{표준화 계수들의 총 합}}$$

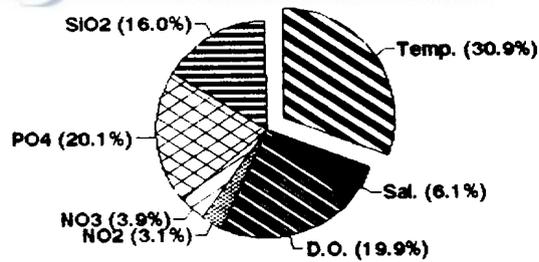
윗 식에 따라 계산한 연안역에서의 중요도그림(Fig 32)에서 연안역의 B Line과 C Line에서는 질소(NO_2^- -N + NO_3^- -N)의 중요도가 각각 44.3과 40.6으로 제일 크게 나타났으며 외양역의 D Line에서는 수온이 30.9로서 제일 중요하게 작용하는 것으로 나타났다. 즉, 연안역 일수록 질소성분이 중요하게 작용하고 외양역에서는 물리적인 요인이 중요하게 작용하는 것으로 나타났다. 그외 영양염중 인산 인과 규산 규소는 B,C,D Line으로 갈수록 중요하게 나타났는데 특히 인산 인의 경우에 그러하다. 수온의 경우에는 외양역으로 갈수록 중요하게 나타난 반면, 염분은 반대로 나타났으며 용존산소는 비슷한 비율로 나타났다. 여기서, 조석전선이 형성되는 것으로 여겨지는 C Line부터 외양쪽에서는 인산 인과 규산 규소의 중요도백분율이 높게 나타나서 연안의 안쪽 정점과는 구분되어 진다. 즉, C Line보다 연안 쪽에서는 물리적인 요인보다 영양염류(특히 질산 질소)가 중요하게 작용하는데, C ,D Line에서는 B Line과 달리 인산 인과 규산 규소의 중요도가 높게 나타났다.



(B Line)



(C Line)



(D Line)

Fig 32. Percent of important of parameters which contributes the concentration of chlorophyll-a on B,C,D Line from June,1989 to June,1990.

N. 요약

제주도 함덕북방해역에서 연안역과 외양역간의 화학적분포특성과 계절별 분포특성은 다음과 같다.

1) 본 조사해역에서 각 성분별 년중 표층수중의 범위는 수온(13.7 - 26.5℃), 염분(28.51 - 34.37‰), 용존산소(4.47 - 7.14ml/l), 질산 질소(0 - 7.14 μ g-at/l), 인산 인(0 - 1.47 μ g-at/l), 규산 규소(2.33 - 24.1 μ g-at/l), 클로로필-a(0.02 - 2.24mg/m³)로 나타났다. 연안과 외양을 잇는 A Line에서 0m-10m사이의 년평균농도는 대체로 염분을 제외한 전 성분이 연안역에서 높고 외양역에서 낮게 나타났으며, 정점 6에서는 성분별로 다른 정점과는 달리 특이하게 나타났다. 즉, 정점 6에서 년평균 수온은 염분과의 관계를 비교해볼때 다소 높게 나타났으며, 클로로필-a와 질산 질소는 다른 정점에 비해 고농도 분포를 한 반면, 인산 인, 규산 규소 그리고 용존산소는 최저치를 나타내어 정점 6에서는 생물생산이 활발히 일어나며 규산 규소와 인산 인이 생물생산에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다.

2) A Line에서 30m이전의 평균농도를 계절별로 구분하여 비교했을때 용존산소의 농도는 수온, 염분에 따른 포화량이 높은 겨울 - 봄 - 가을 - 여름 순으로 높게 나타났으며, 클로로필-a농도는 봄과 가을에 높은 반면 이에 영향을 미치는 영양염류의 분포는 봄에는 세성분 모두 낮아서 춘계 식물플랑크톤 증식시에 소비된 것으로 보아진다. 규산 규소의 경우에는 전 계절중 가을에 가장 낮은 농도를 나타내어 가을에 규조류의 번식에 의한 규산 규소의 소비가 많아진 것으로 생각된다.

3) 계절별로는 가을에 정점 6에서 저온, 고염, 저산소, 고영양염류의 분포를 나타낸 반면, 클로로필-a량은 정점 6보다 외양역으로 갈수록 고농도분포를 하여 용승의 형태를 나타내었다. 이러한 형태는 A Line의 수직분포에서 가을에 외양역의 저층에 존재하는 고밀도, 저산소, 고영양염류의 수괴가 연안 쪽으로 확장하여 정점 6부근의 표층쪽으로 떠오르는 형태로 보아 뒷받침된

다. 또한, 계절별 각 성분의 연직분포에서 정점 6을 기점으로 연안역과 외양역간에 전선이 형성되고 있는 것으로 생각된다.

4) 월별 수직분포에서 밀도는 5월부터 11월까지 상부혼합층이 형성되었고, 12월부터 4월까지 연직혼합이 활발히 이루어져서 전층에서 고밀도분포를 하였다. 용존산소의 분포는 밀도와 유사하게 나타났는데, 산소포화백분율값은 2월에서 4월까지를 제외한 전 기간에 20m이천에서 과포화 상태를 나타내었다. 클로로필-a농도는 봄과 가을에 혼합층내에서 고농도분포를 하였는데, 이시기의 영양염의 농도는 최저치를 나타내어 식물플랑크톤의 춘, 추계 증식시에 유광층내에서 소비되었기 때문으로 생각된다. 그러나, 저층에서는 봄부터 가을로 가면서 농도가 증가하였는데, 이는 봄에 유광층내에서 새로 생성된 유기물들이 저층으로 침강하여 퇴적되어 수온이 낮은 계절에는 빨리 무기화되지 못하다가 수온이 증가하는 여름부터 활발히 무기화작용이 이루어져서 고농도 분포를 하였으며, 무기화과정에서 산소의 소비도 따라서 증가하여 용존산소의 농도는 가을에 저층에서 가장 낮은 분포를 한 것으로 생각된다.

5) 전 해역에서 30이천에서 월별 평균농도의 변화는 클로로필-a의 경우 춘계와 추계에 높은 반면 영양염류는 낮는데 특히, 규산 규소와는 거의 정반대의 분포를 나타내어 본 조사해역에서는 규조류의 번식이 활발한 것으로 생각된다.

6) 연안역과 외양역간의 N/P비는 연안역에서 높고 외양역에서 낮는데, 이는 수온의 분포형태와 유사하여 수온이 높을수록 N/P비도 높게 나타났다. 특히, 정점 6에서는 연안쪽의 정점 3에서 보다는 N/P비가 높는데 수온 역시 높은 것으로 보아 수온의 증가에 따라 기초생산이 활발한 시기에 질산 질소보다 인산 인과 규산 규소의 소비가 상대적으로 많이 이루어지는 것으로 생각된다. N/P비의 월별변화도 수온의 월별 변화와 유사하여 겨울에 낮고 여름에 높는데, 4월에 최저치를 나타낸것은 식물플랑크톤의 춘계 증식초기에 질산 질소가 쉽게 이용되었기 때문으로 사료된다.

7) 통계 Package(MINITAB)를 이용하여 연안역과 외양역의 유광층내에서의 각성분별 상관관계를 분석하여 본 결과 연안역에서는 클로로필-a와 각

성분간의 상관계수가 수온을 제외하고 음의 상관으로 낮는데, 규산 규소와 제일 밀접하게 나타났다. 외양역에서는 클로로필-a와의 상관계수가 엽분외에는 음의 상관관계로서 연안역에서와 마찬가지로 규산 규소와 제일 밀접하게 나타났다. 영양염간의 상관계수는 질산 질소와 인산 인과의 상관관계가 제일 높는데 연안역(0.527)보다 외양역(0.844)에서 높게 나타났다.

8) 표준화계수를 이용하여 클로로필-a를 종속변수로 하고 각 성분을 독립변수로하여 중회귀분석을 한 결과 클로로필-a에 중요하게 영향을 미치는 환경요인은 연안역일수록 질소성분이 중요하게 작용하고 외양역에서는 물리적인 요인이 중요하게 작용하는 것으로 나타났다. 또한, 조석전선이 형성되는 것으로 여겨지는 C Line부터 외양쪽에서는 인산 인과 규산 규소의 중요도백분율이 연안쪽보다 높게 나타났는데, 특히, 인산 인의 경우에 그러하다. 수온의 경우에는 외양역으로 갈수록 중요하게 나타났지만 엽분은 반대로 나타났다으며, 용존산소는 연안역과 외양역간에 비슷한 비율로 나타났다.

참고 문헌

- 고유봉, 박길순, 박용항, 윤정수, 양성기, 전득산, 1984. 제주 조천지구 해양관광단지 조성에 따른 해양학적 기초조사. 연구보고서(단행본), PP.1-196
- 고유봉, 전득산, 1984. 제주도 삼양 연안역에서의 플랑크톤 연구. 제대 해자연보, 8:19-30.
- 김 구, 1980. 한국남서해의 해류분포와 그 영향에 관한 연구. 서울대학교 자연과학대학, 미발표 기술보고.
- 김 구, 노홍길, 1982. 한국남서해의 해류분포와 그 영향에 관한 연구. 서울대학교 자연과학대학, 미발표 기술연보.
- 노홍길, 정공흔, 1975. 제주해협 하계해황에 관하여. 제주대학교 어업연구지, 7:13-20.
- 노홍길, 平野敏行, 1984. 제주해협 동쪽입구에 출현하는 설상의 난수. 한국수산학회지, 16:299-304.
- 노홍길, 박길순, 이기완, 임기봉, 전기옥, 1982. 제주도산 전복이패 방류어장의 환경조건에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, 29:41-58.
- 박길순, 1982. 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구. 한국수산학회지, 15:255-262.
- , 1984. 제주도 삼양 연안해수의 영양염류 분포에 관하여. 제주대 해자연보, 8:9-18.
- 박용항, 1985. 조천연안역의 용천수와 해수유동 및 환경요인의 대상분포에 대한 고찰. 제주대 해자연보, 9:13-14.
- 방익찬, 노홍길, 김유근, 김태희, 1990. 제주도북방 함덕해역에서의 기상과 해황의 관계. 제대논문집, 30:31-51.
- 심재형, 양성렬, 이원호, 1989. 춘계 한국 동해 남부해역에서의 식물수문학적 수역과 질산염악층의 수직양상. 한국해양학회지, 24(1):15-28.

- 양동범, 1990. 한국 연근해의 기초생산. 한국수산학회 추계심포지움, p.1-26.
- 양성기, 1984. 제주도 삼양연안해역의 해양환경학적 연구. 제대 해자연보, 8:1-8.
- 윤용훈, 1987. 황해저층냉수의 특성규명과 남하증거, 제주대학교 석사학위 논문, 55 PP.
- 전득산, 고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 Chlorophyll-a함량분포. 제주대 해자연보, 7:23-27
- 정창수, 심재형, 박용철, 박상갑, 1989. 한국 동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계. 한국해양학회지, 24(1):52-61.
- 최영찬, 김재하, 1988. 제주도 북방 탐동연안역의 동계 수질변화. 제주대 해자연보, 12:55-62.
- 최영찬, 고유봉, 이준백, 1989. 제주도 해안선주변의 해수특성 (1987년 6월 -1989년 4월). 한국지구과학회지, 10(1):54-61.
- 추효상, 조규대, 1984. 1982년 서해안 조석전선의 구조. 한국수산학회지, 17(2):83-91.
- 홍기훈, 양동범, 이광우, 1988. 연중 수직적으로 충분히 혼합된 한국연안해역에서의 영양염류와 미량금속. 한국해양학회지, 23(4):159-168.
- 日本分析化學會 北海道支部, 1985. 水質の分析, 日本, PP.198-201
- Anderson G.C., 1969. Subsurface chlorophyll maximum in the northeast Pacific Ocean. Limnology and Oceanography, 14:386-391.
- APHA, AWWA, APCF, 1985. Standard methods for examination of water and wastewater, 16th ed.
- Dale A. Kipper and James N. Kremer, 1981. Origins of vertical patterns of phytoplankton and nutrients in the temperate, open ocean: a stratigraphic hypothesis. Deep-Sea Research, 28, 1087-1105
- 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, 1990. Modelling the seasonal cycle
of dissolved oxygen in the upper ocean at Ocean Wether Station
P. Deep-Sea Research,37:463-491
- H.J.Minas and M.Minas,T.T.Packard, 1986. Productivity in upwelling
areas deduced from hydrographic and chemical fields.
Limnol.Oceanogr,31(6):1182-1206.
- J.J.Goering,D.D.Wallen, and R.M.Noumann, 1970. Nitrogen uptake by
phytoplankton in the discontinuity layer of the eastern
subtropical pacific ocean. Limnol.Oceanogr,15:789-796.
- JIS, 1981. 工場排水試験方法 (K O 1 0 2)
- Menzel D.W.and J.H.Ryther, 1960. The annual cycle of primary produc-
tion in the sargasso sea off Burmuda. Deep-Sea Research,
6:351-367
- Michael E.Q.Pilson, 1985. Annual cycle of nutrients and chlorophyll in
Narragansett Bay,Rhode Island. J.Mar.Res.,43:849-873.
- Nakao,T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the
East China Sea and the Yellow Sea. J.Fac.Mar.Sci.Tech.,Tokyo
Univ.,Japan,Spec.No.:190-367.
- Park,Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the
East China Sea. J.Oceanogr.Soc.Korea, 20:12-21.
- , 1986. Water characteristics and movements of the Yellow Sea
Warm Current in summer. Prog.Oceanog.,Vol.17,PP.243-254.
- Pingree,R.D. and J.H.Simpson, 1977. Shallow sea fronts produced by
tidal stirring. Springer Verlag B.H.N.Y.,29-47.
- Redfield,A.C.,B.H.Krtchum and F.A.Richards, 1963. The influence of
organisms on the composition of seawater. The Sea.Vol.2.
Interscience Publishers New York-London.

- Reid J.L., 1962. Distribution of dissolved oxygen in the summer thermocline. *J. of Marine Research*, 20:138-148.
- Raymont, J.E.G., 1980. *Plankton and Productivity in the Oceans* 2th Edition Vol.1. Pergamon press. PP.1-489.
- Stefansson U. and F.A.Richards, 1964. Distribution of dissolved oxygen, density, and nutrients off the Washington and Oregon coast. *Deep-Sea Research*, 11:355-380.
- Stefansson U., Thorunn Thordardottir and Jon Olafsson, 1987. Comparison of seasonal oxygen cycles and primary production in the Faxafloi region, southwest Iceland. *Deep-Sea Research*, 34(5/6):725-739.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. *Bul. Fish. Res. Bd. Can.*, PP 167
- S.V.Smith, 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol.Oceanogr*, 29(6):1149-1160.
- Thomas L. Hayward, 1987. The nutrient distribution and primary production in the central North Pacific. *Deep-Sea Research*, 34:1593-1627
- Trevor Platt, 1984. Primary productivity in the central North Pacific : comparison of oxygen and carbon fluxes. *Deep-Sea Research*, 31(11):1311-1319.
- Weiss R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research*, 17:721-735.

감사의 말씀

우선 하나님께 감사를 드립니다.

본 논문이 있기까지 항상 지켜봐 주시고 바쁘신 중에도 당신의 시간을 쪼개어 가며 정성으로 지도하여 주신 최영찬 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한, 부족한 능력을 채찍질하여 주셔서 이 글을 쓰기까지 인도하여 주신 고유봉 교수님, 방익찬 교수님, 윤정수 교수님, 그리고, 논문교정에 많은 도움을 주신 이준백 교수님, 양성기 교수님께 심심한 감사를 드립니다.

시료채수에 같이 수고하여 주신 올림픽 29호 선원들과 곁에서 많은 조언을 해주신 선배님들, 대학원 학우들 그리고 같이 고생하면서 많은 도움을 준 김태희, 홍영자 동학에게 고마움을 전합니다.

특히, 시료분석시 곁에서 많은 도움을 준 주위 동료들과 한 가족으로서 기쁨과 어려움을 같이 하여준 영실,재상, 그외 해양화학 실험실원들에게 사랑의 마음을 전합니다.

끝으로 지금까지 늘 기도로서 인도하여 주시고 뒷바라지를 하여주신 부모님과 숙부모님 그리고 형님가족들에게 이 작은 결실을 드립니다.