

석사학위논문

제주도 중문 연안해역의 수질환경
특성에 관한 연구

110.417

제주대학교 대학원

해양학과

장 승 민

2000년 12월

A Study of Water Quality in the Coastal Sea of
Chung-Moon, Jeju Island

Seung-Min Jang

(Supervised by Professor Young Chan Choi)

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

This thesis has been examined and approved

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2000. 12

제주도 중문 연안해역의 수질환경 특성에 관한 연구

지도교수 최 영 찬

장 승 민

이 논문을 이학석사학위 논문으로 제출함

2000년 12월

장승민의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 이 조 백

위 원 방 익 찬

위 원 최 영 찬



제주대학교 대학원

2000년 12월

목 차

List of Tables.....	iii
List of Figures.....	iv
Summary.....	vi
I. 서 론.....	1
II. 재 료 및 방 법.....	3
2.1. 수온 및 염분.....	4
2.2. 용존산소(Dissolved oxygen).....	4
2.3. 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand).....	4
2.4. 무기영양염류.....	4
2.4.1 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$).....	5
2.4.2 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$).....	5
2.4.3 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$).....	5
2.4.4 인산염 인($\text{PO}_4\text{-P}$).....	5
2.5 Chlorophyll <i>a</i> (식물색소 <i>a</i>).....	5
III. 결 과 및 고 찰.....	6

3.1 해수의 물리적 특성.....	6
3.2 화학적 환경요인의 시·공간적 분포.....	11
3.2.1 용존산소(Dissolved oxygen).....	11
3.2.2 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand).....	13
3.2.3 무기영양염류.....	17
3.2.4 Chlorophyll <i>a</i>	25
3.2.5 N/P 비 변화특성.....	27
3.3 육상유입수에 의한 영향.....	30
3.3.1 수온 및 염분.....	32
3.3.2 무기영양염류.....	40
IV. 요약.....	47
참고문헌.....	49

List of Table

Table 1. Range and mean value of water temperature and salinity at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	6
Table 2. Range and mean value of dissolved oxygen and chemical oxygen demand at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	12
Table 3. Range and mean value of nutrients at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	18
Table 4. Range and mean value of chlorophyll <i>a</i> at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	25
Table 5. Mean value of precipitation (mm) in the Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	30

List of Figure

Fig. 1. Sampling station in the Chung-Moon area in the southern Jeju Island.....	3
Fig. 2. Vertical distribution of mean value of water temperature at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	9
Fig. 3. Vertical distribution of mean value of salinity at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	10
Fig. 4. Monthly distribution of mean value of water temperature and salinity at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	11
Fig. 5. Vertical distribution of mean value of dissolved oxygen (DO) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	15
Fig. 6. Vertical distribution of mean value of chemical oxygen demand (COD) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	16
Fig. 7. Monthly distribution of mean value of DO and COD at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	17
Fig. 8. Vertical distribution of mean value of total inorganic nitrogen (TIN) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	21
Fig. 9. Vertical distribution of mean value of total phosphorus (TP) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	23
Fig. 10. Monthly distribution of mean value of TIN, TP and N/P ratio at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	24

Fig. 11. Vertical distribution of mean value of chlorophyll <i>a</i> at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	26
Fig. 12. Monthly distribution of mean value of chlorophyll <i>a</i> at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	27
Fig. 13. Vertical distribution of mean value of N/P ratio at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	29
Fig. 14. Monthly and seasonal distribution of precipitation (mm) in the Chung-moon area from July 1997 to June 2000 (from Jeju Meterological Agency).....	32
Fig. 15. Horizontal distribution of water temperature in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	34,35,36
Fig. 16. Horizontal distribution of salinity in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	37,38,39
Fig. 17. Horizontal distribution of total inorganic nitrogen in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	41,42,43
Fig. 18. Horizontal distribution of total phosphorus in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.....	44,45,46

Summary

This study has been carried out to find the water quality in coastal sea of Chung-Moon area, southern Jeju Island. And through 6 station have been perform every month from July 1997 to June 2000.

The distribution of water temperature and salinity for physical property have been 13.8~27.0°C, 30.0~34.7‰, respectively.

Tsushima Warm Waters (TWW) as $\geq 15^{\circ}\text{C}$, $\geq 34\text{‰}$ influence on the adjacent sea around Jeju Island all year round and Yangtze Coastal Waters (YCW) influence on the surface layer around Jeju in summer from June to September and the stratify (termocline, halocline) resulted at the depth of between 20~30m at outer-sea, but the stratification does not happen even in summer at inner-sea, which seem to be caused by vertical mixing by wind, waves and tides

A high value of water temperature and salinity (respectively 14.1~17.7°C, 33.9~34.1‰) water mass stayed at the lower layer in outer-sea all year round. Considering that has been influence mixing water of TWW and Yellow Sea Bottom Cold Waters(YSBCW) on researching area.

The distribution of dissolved oxygen (DO) ranged from 2.73 to 10.5mg/ℓ, chemical oxygen demand (COD) ranged from 0.10 to 4.29mg/ℓ, total inorganic nitrogen (TIN) ranged from 0.007 to 0.350mg/ℓ, total phosphate (TP) ranged from 0.000 to 0.055mg/ℓ.

The mean value of DO was the lowest in summer and the highest in winter. COD and TIN was the highest in summer and the lowest in winter. However, TP showed lowest value in summer season, because the mean value of N/P ratio was over 16. The mean of N/P ratio was under 16 in another seasons. That phosphate would be a limiting factor in the growth of phytoplankton in summer. Nitrate would be a limiting factor in another seasons.

Distribution of chlorophyll *a* was not showed seasonal change in the study period, but especially increased during April and May in first year(1998) and second year(1999) at the all of the study area. which suggested that phytoplankton inhabitation distributed widely in the study area.

In conclusion, the water mass, stratified in summer and mixed in winter.

The monthly mean of precipitation value was 190mm in Chung-Moon. Especially, In the study period, showed low salinity from June to September (rainy season) because of rain.

Compare to another season, the mean value of water temperature ranged from 3.0 to 0.5°C and salinity ranged from 0.3 to 0.8‰ which ware lowest value during the study period

The mean of TIN value showed maximum in rainy season and TP was lower than another season. This phenomenon suggested that influence of river runoff on the inner-sea

I. 서론

수심 200m이내의 육지에 가까운 수역을 연안수역이라 하며 육지와 바다가 만나는 경계지대를 흔히 연안역이라고 부른다. 연안역은 수산생물의 산란장이나 서식지로서 매우 중요하며 생산력이 높아 보전할 가치가 매우 높은 생태계이다. 또한 연안역은 사회경제적인 측면에서도 매우 중요한 장소로 도시가 발달하고 인구가 집중되며 항만, 공단 등 경제활동의 중심지로서 뿐만 아니라 관광과 레저활동이 이루어지는 휴양지로서의 기능도 가지고 있다. 이러한 연안역은 물리·화학적 변화가 매우 큰 해역이며 육상으로부터 유기물, 영양염 등 물질이 여러 경로를 통하여 유입되기 때문에 수질환경의 변화가 크고 유지·관리가 어렵다.

따라서, 미국에서는 1992년 연안역 관리법(US Coastal Zone Management Act)이 제정되어, 육상과 바다를 하나로 통합하는 연안역의 관리범위가 설정되었고, 이용과 보전을 종합적으로 계획하고 실행하는 제도적 장치를 마련하게 되었다. 1992년 유엔환경개발회의에서 연안역 통합관리와 관련하여 각 연안국에게 연안역 통합관리정책의 수립 및 법제도 정비, 연안역 이용 실태 파악, 주요연안역관리사안에 대한 대책 마련, 연안역 관리계획 및 실행시 사전예방적 대책 수립, 연안 자원 및 환경에 대한 적절한 경제적 평가방법 사용, 연안역 관리계획 수립 및 정책결정 과정에 이해당사자가 참여할 수 있는 제도적 장치 마련 등 권고하고 있다. 이에 각 연안국은 의제 21의 권고사항을 수용하기 위해 법을 제정하거나 연안역 관리를 위한 노력을 벌이고 있다. 우리나라는 1996년 2월 해양개발기본계획을 수립하여 연안역 관리법의 제정, 연안역 개발·이용·보전을 위한 계획을 수립하는 등 연안역에 대한 중요성을 인식하고 있다.

본 연구해역인 중문 연안역은 국제적 관광지로 성장하고 있는 제주도의 대표적인 관광지로 중문관광단지가 인접하고 있으며 또한 화순화력발전소와 서귀포시 서부하수종말처리장이 해안선 주변에 위치하고 있다. 그리고 해상국립공원의 추진 등 주변지역 및 연안해역의 개발에 따른 생태계의 변화가 예상되는 해역이다. 이러한 해역에 대한 연구는 홍·방(1998)에 의해 물리해양 환경의 년변화가 조사되었으며, 김·최(2000)의 모델링을 통한 환경용량 산정 등이 있을 뿐이다. 그밖의 제주도 주변 연안역의 연구는 해안선 주변역(최 등, 1989, 이 등, 1989), 동부역(최 등, 1993, 이 등, 1993), 북부역(최 등, 1991), 그리고 남부해역에 해양환경연구는 최 등(1992)과 최·문(1991)에 의해 해수특성과 생물종조성 및 일차생산성에 관한 연구가 이루어졌다.

제주도 남부해역을 포함한 제주도 주변해역은 고온·고염의 대마난류의 지류

영향과 중국대륙연안수, 강우시 육상수의 영향을 받는 복잡한 해황 특성을 갖는 지역이며(최 등, 1991, 홍·방, 1998). 그밖에 황해저층냉수와 이외에 연안에서 형성되는 연안수들에 의해 영향을 받고 있다(Pang *et al.*, 1992, 방 등 1995).

이와 같이 본 연구대상해역에서는 단편적인 물리적 특성만이 이루어 졌을 뿐이다. 그래서 본 연구는 화학해양학적인 특성과 년변화를 연안역과 외양역으로 구분하여 그 특성을 규명하고자 하며 또한 육상유입수에 따른 영향을 알아보기 위해 조사지역의 월 강수량(제주기상청, 미발표자료)과 해역으로 유입하는 하천수에 따른 화학해양환경의 변화를 비교·조사하여 앞으로 시행될 연안역 통합관리 방안에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

중문 연안해역 수질의 특성을 조사하기 위하여 Fig. 1 에서처럼 정점 1인 화순화력발전소부터 정점 3인 중문해수욕장까지 총 6개 정점을 선정하여 1997년 7월부터 2000년 6월까지 3개년에 걸쳐 매월 관측을 실시하였으며 1차년도는 1997년 7월부터 1998년 6월까지이고 2차년도는 1998년 7월부터 1999년 6월까지이며 마지막 3차년도는 1999년 7월부터 2000년 6월까지이다. 채수한 수층은 0, 10, 20, 30, 50, 75m로 구분하였으며 각 수층의 해수를 Niskin(용량 약 5ℓ)채수기를 이용하여 채수하였고 분석항목 및 항목별 분석방법은 다음과 같다.

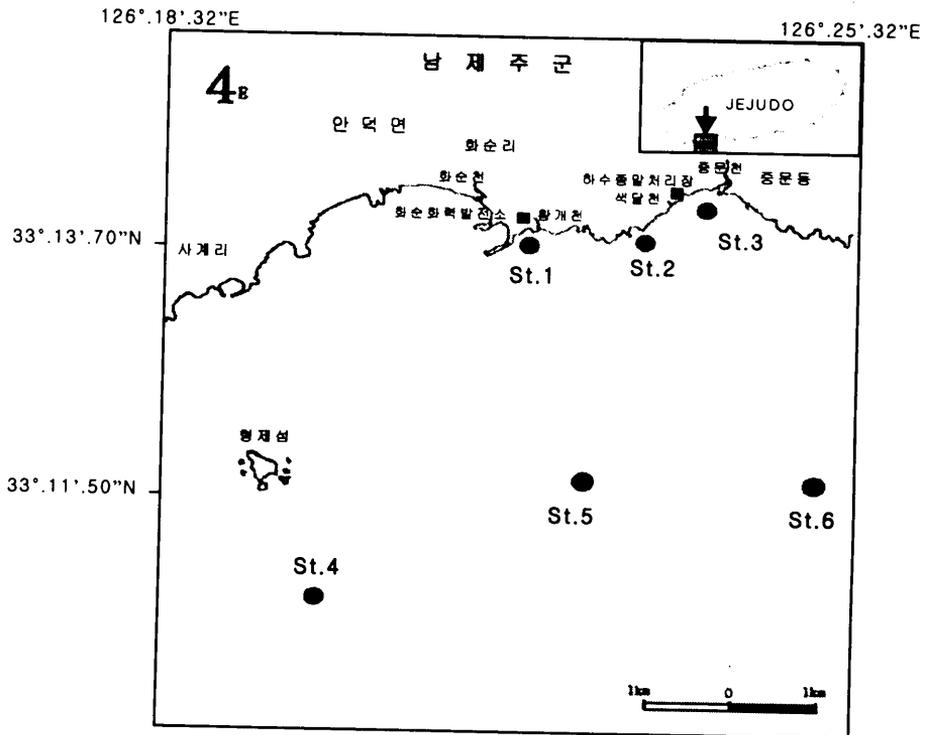


Fig. 1. Sampling station in the Chung-Moon area in the southern Jeju Island.

2.1 수온(Water temperature) 및 염분(Salinity)

현장에서 CTD(SBE 19)를 이용하여 측정하였다.

2.2 용존산소(Dissolved oxygen)

용존산소는 현장에서 산소병에 고정하여 실험실로 옮긴 후 바로 Winkler 아자이드화 변법으로 측정하였다(日本分析化學會, 1985).

시료에 황산망간과 수산화나트륨 용액을 주입하면 제 1수산화망간 침전이 생성되고 이 침전중에 망간은 주중의 용존산소와 반응해서 용존산소 당량 만큼의 제 2수산화망간으로 산화를 받는다. 이 침전은 요오드화 이온의 존재 하에서 황산을 가해 산성(pH<2.5)으로 하면 용존산소 당량 만큼의 요오드를 유리하게 된다. 유리된 요오드를 티오황산나트륨 표준용액으로 적정해서 용존산소를 정량하는 적정법을 사용하였다.

2.3 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand)

시료를 알카리성으로 하여 과망간산칼륨 일정 과량을 넣고 1시간동안 수욕상에서 가열·반응시키고 요오드화 칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산 칼륨에 의하여 유리된 요오드를 티오황산나트륨 표준용액으로 적정해서 산소의 양을 측정하는 알카리성과망간산칼륨법을 사용하였다.

2.4 무기영양염류

무기영양염류의 측정은 Niskin 채수기로 채수된 시료를 Standard Methods (1989), Solorzano (1969)의 방법에 따라 UV-흡수분광광도계(Model Shimarzu UV-1201)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

무기 영양염류는 암모니아성 질소(NH_4^+-N), 아질산성질소(NO_2^--N), 질산성 질소 (NO_3^--N)를 각각 Phenol Hypochlorite Method, NED Method, Cadmium Reduction Method에 준하여 분석하였으며 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)는 Ascorbic Acid Method에 준하여 분석을 행하였다. 총무기질소(TIN)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합으로 나타내었다.

2.4.1 암모니아성 질소(NH_4^+-N);

Phenol-Hypochlorite Method을 이용하여 시료에 phenol, sodium nitroprusside 용액을 가한 후 alkaline reagent와 sodium hydrochloride solution의 혼합 시료로 산화시킨 후 청색의 Indophenol이 생성되면 파장 640nm에서 흡광도를 측정하였다.

2.4.2 아질산성 질소(NO_2^--N);

NED Method로 아질산 이온이 산성용액(pH 2.0내지 2.5)에서 Sufanilamide (방향족 제 1아민)과 반응해서 생성되는 azo 화합물에 N-(1-naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride (방향족 아민류)을 가해서 적색의 azo화합물로 발색시켜 파장 540nm에서 흡광도를 측정하였다.

2.4.3 질산성 질소(NO_3^--N);

Cadmium Reduction Method를 이용하였으며 NH_4Cl Buffer 용액 상태에서 시료를 cadmium colum에 통과시켜 아질산으로 환원시킨 후 아질산성 질소의 분석 방법과 같은 NED Method로 분석하고 시료중에 원래 존재하는 아질산성 질소를 빼서 보정하였다.

2.4.4 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$);

Ascorbic Acid Method를 이용하였으며 Ammonium molybdate, H_2SO_4 , potassium antimonyl tartrate의 혼합 시약을 시료에 가하여 황색의 인 몰리브덴산 착제를 형성하고 이를 ascorbic acid로 환원하여 청색의 몰리브덴청이 생성되면 파장 880nm에서 흡광도를 측정하였다.

2.5 Chlorophyll *a* (식물색소 *a*)

시수를 GF/C로 여과하여 90% Aceton 10ml를 첨가하고 20시간 암냉소에 보관한 후 3,000~4,000rpm에서 15분간 원심분리시켜서 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서 흡광도를 SCOR/UNESCO 식으로 계산하였다(Strickland and Parsons, 1972).

III. 결과 및 고찰

1997년 7월부터 2000년 6월까지 3개년에 걸쳐 매월 제주도 서남부해역인 중문 연안역의 6개 정점에서 채수하여 수온, 염분, 용존산소, 화학적산소요구량, 영양염류, 식물색소 등을 분석하였고 그 결과를 Table 1~8에 나타내었으며 이를 토대로 본 조사해역의 화학해양학적 특성과 육상유입수에 대한 영향을 파악하고 성분들 사이의 상호관련성을 고찰하였다.

본 연구대상 해역은 연안에 인접한 정점 1, 2, 3은 수심이 10m이내의 얕은 곳으로 이 정점들을 연안역으로, 또한 바깥쪽 정점인 4, 5, 6은 수심이 30m이상을 나타내고 있어 연안역과 비교하기 위하여 외양역으로 구분하여 비교 고찰하였다.

Table 1. Range and mean value of water temperature and salinity at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

parameters	1st Year		2nd Year		3rd Year		Range	Mean
	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer		
Temp. (°C)	Range	14.6~26.3	14.8~25.3	14.6~26.3	15.0~27.0	13.8~26.2	13.9~26.3	13.8~
	Mean	19.5	18.8	19.7	18.4	19.0	17.8	26.3
Sal. (‰)	Range	31.9~34.6	31.8~34.7	31.3~34.4	31.2~34.5	29.6~34.6	27.4~34.6	27.4~
	Mean	33.5	33.8	33.5	33.9	33.3	33.7	34.7

Inner ; Inner-sea(ST. 1, 2, 3), Outer ; Outer-sea(ST. 4, 5, 6)

3.1 해수의 물리적 특성

본 연구 해역 해수의 물리적 특성을 알아보기 위해 수온과 염분을 연안(정점 1, 2, 3)과 외양(정점 4, 5, 6)으로 구분하였으며 3개년의 각 년차별로 변화를 비교·조사하였다. 조사해역의 수온분포(Table 1)는 1차년 14.6~26.3°C(mean 19.2°C), 2차년 14.6~27.0°C(mean 19.1°C), 3차년 13.8~26.3°C(mean 18.4°C)로

나타내고 있었다. 각 차년별 수온의 변화양상을 살펴보면(Fig. 2, 4) 외양에서 1차년의 경우 7월과 8월에 20~30m 수심에서 성층이 형성되어 성층 이천은 22.4~25.8℃의 분포를 나타내고 성층 이심에는 15.2~17.4℃의 분포를 나타내고 있었다. 9월부터 성층이 약해지기 시작하며 11월부터 상하층이 충분한 혼합이 되고 이러한 표·저층간의 혼합은 다음해 97년 3월까지 지속되며 4월경부터 상하층의 수온이 1.0℃(18.0~16.9℃)정도 차이가 나기 시작한다. 5월경부터는 표층과 저층간에 4.0℃(20.2~16.2℃) 정도로 확실히 차이가 나며 2차년의 7월과 8월에 최고치에 이르러 각각 10.7℃(26.4~15.7℃)과 11.4℃(27.0~15.5℃)의 차이를 보인다. 이러한 성층은 10월까지 나타나며 11월에 이르러 완전히 사라지고 상하층의 혼합이 이루어진다. 이러한 현상을 3차년도에도 같은 양상을 반복하고 있었다. 그러나 연안의 경우 수심이 10m 내외로 3차년인 99년 8월에 1.9℃(24.5~22.6℃)의 차이를 보였을 뿐 거의 성층이 형성되지 않고 있다. 홍·방(1998)은 조사해역의 천해역(연안역)이 파랑이나 조류에 의한 상하층의 혼합이 활발히 일어나기 때문이라고 하였다.

그리고 외양에서는 3, 4월경에 나타나는 15~16℃의 수괴가 수온약층 아래 50m 이심에서 8월까지 나타나고 있으며 11월까지 17~19℃ 정도로 분포하다 12월부터 다시 하강하고 있었다.

염분의 각 차년도별 분포(Table 1)는 1, 2, 3차년 각각 31.8~34.7‰(mean 33.7‰), 31.2~34.5‰(mean 33.7‰), 27.4~34.6‰(mean 33.5‰)로 나타나며 각 차년 변화 특성을 살펴보면(Fig. 3, 4) 1차년의 7월과 8월에 30m 이천에서 31.8~32.6‰의 저염수가 나타나고 있으며 따라서 30m 수심에 염분약층이 형성되고 염분약층 이심에는 33.2~34.2‰의 염분을 보이고 있어 성층 이천에 비해 상대적으로 높은 염분농도를 나타내었다. 이러한 성층은 9월부터 33%이상의 염분농도를 보이면서 소멸한다. 연안·외양에서 97년 11월의 34.0‰의 농도가 98년 5월까지 계속 유지되며 표·저층이 0~0.4‰의 차이로 상하층의 혼합이 잘 이루어지고 있는 듯하다. 6월(32.1~34.1‰)부터 표층에서 32.1‰이 나타나기 시작하여 2차년인 10월(32.8~34.1‰)까지 나타나며 표·저층간 1.2~4‰정도 염분농도차가 있고 10~30m사이에 염분약층이 생성되고 있다. 또 30m 이심의 저층에는 33.9~34.1‰의 고염의 수괴가 계속 남아 있었다. 11월부터 상하층간의 염분농도차(0.2‰ ;33.8~34.0‰)가 적어지기 시작하여 다음해인 99년 5월(34.3~34.5‰)까지 형성된다. 3차년 하계인 99년 7월 역시 성층이(2.9‰;31.2~34.1‰) 형성되기 시작하여 9월(4.5‰;29.5~34.0‰)까지 유지된다. 99년 하계(7월~9월)의 성층도 20~30m사이에 형성되고 있으며 성층 이심(≤30m)에는 34%이상의 수괴가 연중 영향을 주고 있었다.

연안에서는 외양과 같이 뚜렷한 성층은 없으나 10m 이심이 되는 수심에서 8

월과 9월에 나타나고 있고 그 외에는 연중 상하층의 혼합이 잘 이루어지고 있다. 3차년에는 2차년에 비해 표층의 저염수 현상이 나타나는 기간이 상대적으로 짧으나 98년에 비해 더 낮은 농도의 저염수가 나타나고 있었다.

수온과 염분의 결과를 종합해 보면 제주도가 고온고염의 대마난류수의 영향을 연중받고 있으며 특히 겨울철에 많은 영향을 받으며 여름철에는 양자강 하구에서 유입되는 저염의 양자강 연안수와 저층에서 황해 저층냉수의 영향을 받는다는 홍·방(1998)의 연구결과를 비롯한 최 등(1994)의 인접지역인 서부연안역인 고산주변 연안역의 해수특성 연구, 김(1986)의 여름철 중국대륙연안수가 제주도 서쪽을 우회하여 우리나라 남해안까지 그 세력을 확장에 관한 보고 등 제주도 주변해역에 영향을 주는 수괴에 대한 연구와 유사한 결과를 보여 고온고염($15^{\circ}\text{C} \leq$, $34\% \leq$)의 대마난류가 조사해역인 중문 연안역 전체에 걸쳐 연중 분포하고 있으며 하계인 6월부터 9월까지 표층에는 양자강 연안수의 영향을 받아 저염수가 출현하여 20~30m 수심에 염분약층과 수온약층이 형성되고 있다. 저염수는 연안 가까이 영향을 주고 있으나 연안역에서는 파랑, 조석 등의 영향으로 성층이 형성되지 않았다. 또 외양역에서는 수온약층과 염분약층 이심에 저온고염의 수괴가 하계에도 나타나고 있었으며 이를 현·방(1998)은 제주도 1996년 제주도 서부해역의 저층에 나타난 34%이상의 고염의 근원을 쿠로시오에서 오는 것으로 보고하고 있으나 홍·방(1998)은 동일 조사해역에서 황해저층냉수의 영향이라고 보고하고 있다. 따라서 하계에 본 조사해역의 저층에 나타난 수괴는 황해저층냉수의 특성인 수온 10°C 이하, 염분 33.0%과 차이는 있으나 조사해역의 수심이 깊지 않은 점을 감안한다면 제주도 주변에 연중 영향을 주는 고온고염 대마난류수와 저온고염의 황해저층냉수의 혼합수로 판단된다.

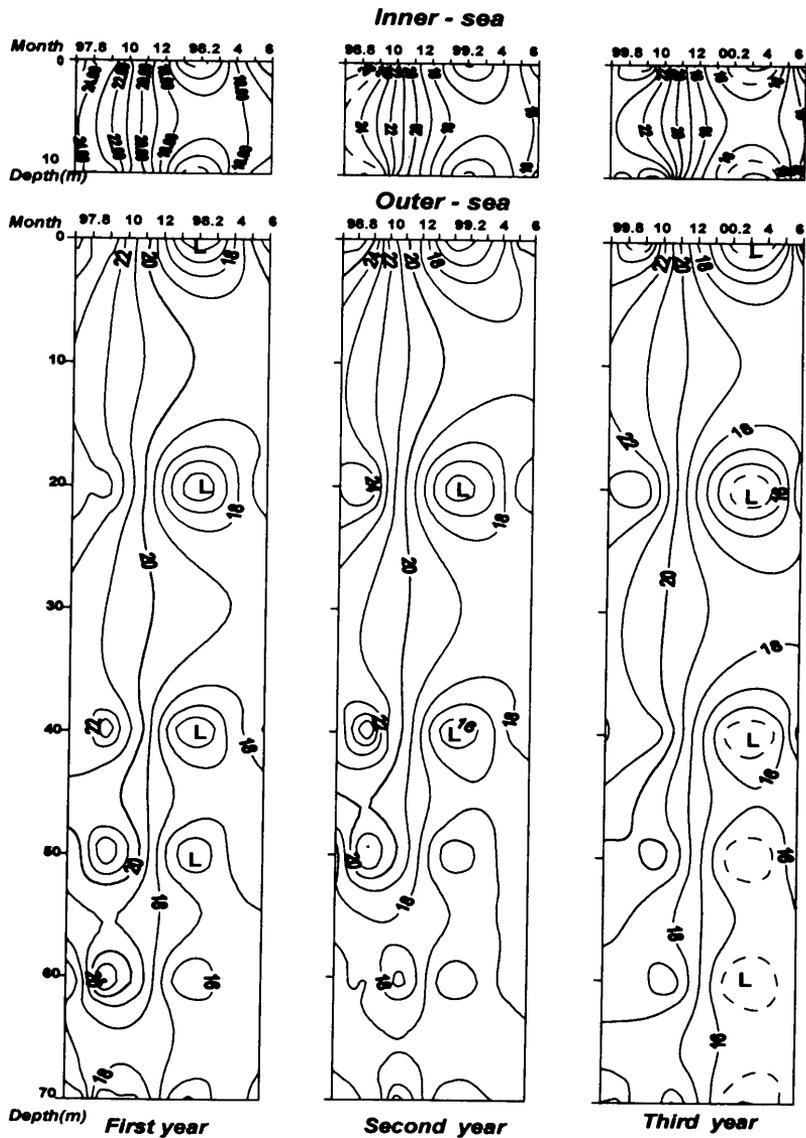


Fig. 2. Vertical distribution of mean value of water temperature(°C) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

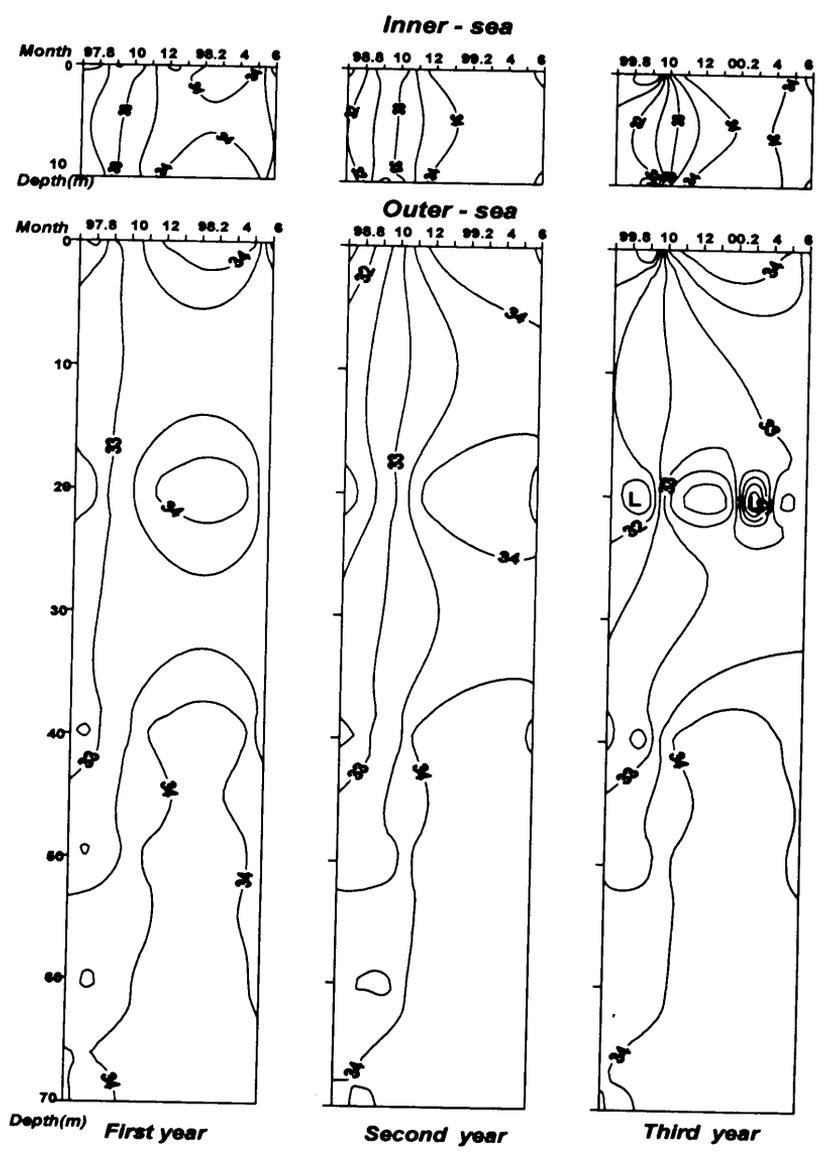
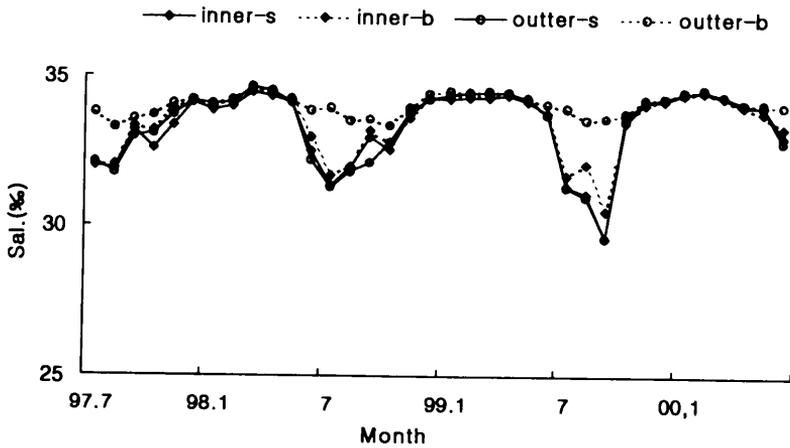
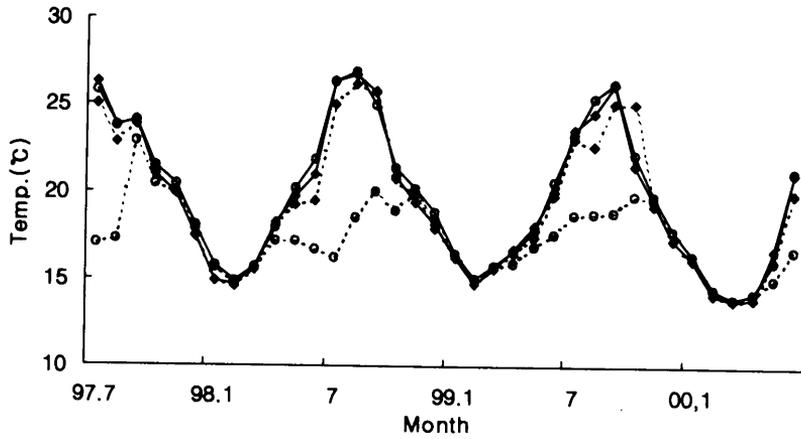


Fig. 3. Vertical distribution of mean value of salinity(‰) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.



Inner ; Inner-sea(ST. 1, 2, 3), Outer ; Outer-sea(ST. 4, 5, 6
s; surface, b; bottom

Fig. 4. Monthly distribution of mean value of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity (‰) at inner-sea and out-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July to June 2000.

3.2 화학적 환경요인의 시·공간적 분포

3.2.1 용존산소(DO; dissolved oxygen)

일반적인 해양 환경에서는 용존산소는 유기물의 생성과 분해와도 관련이 있으나, 수온과 염분의 물리적 특성에 의해 크게 영향을 받는다.

조사 해역의 용존산소(DO)의 분포(Table 2)는 3개년 각각 4.40~7.48mg/l (mean 5.83mg/l), 2.73~8.79mg/l (mean 8.04mg/l), 5.35~9.98mg/l (mean 7.57mg/l)로 나타났으며 97년과 99년 6월(inner 3.44~3.68mg/l, outer 2.73~4.37mg/l)높았다. 이는 Joh (1986)가 제안한 저서생물에 대한 용존산소 기준 4.3mg/l 보다는 높게 나타나 본 해역에서의 용존산소(Range of mean 5.83~8.04mg/l)농도 분포는 해양생물의 생장에 양호한 환경으로 판단된다.

Table 2. Range and mean value of dissolved oxygen and chemical oxygen demand at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

parameters	1st Year		2nd Year		3rd Year		Range	Mean	
	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer			
DO (mg/l)	Range	6.48~10.5	6.16~9.66	3.44~8.79	2.73~8.63	6.59~8.82	5.35~9.98	2.73	7.59
	Mean	8.39	7.94	7.21	6.87	7.69	7.45	~10.5	
COD (mg/l)	Range	0.36~2.36	0.10~2.38	0.43~3.01	0.40~4.29	0.40~3.50	0.37~3.40	0.10	1.37
	Mean	1.14	1.24	1.46	1.74	1.30	1.33	~4.29	

Inner ; Inner-sea(ST. 1, 2, 3), Outer ; Outer-sea(ST. 4, 5, 6)

DO ; Dissolved Oxygen, COD ; Chemical Oxygen Demand

용존산소의 수직분포와 월 변화분포를 Fig 5와 7에 나타내었다. 1차년(97.7~98.6)이 연안은 6.48~10.5mg/l, 외양은 6.16~9.66mg/l으로 나타났으며 7월의 연안과 외양의 표층과 저층에서 높은 용존산소(inner 10.5mg/l, outer 9.54mg/l)로 높게 나타나고 있으나 97년 7월을 제외하면 동계인 97년 12월부터 이듬해 5월까지 표층과 저층에 걸쳐 높은 용존산소 포화량(inner 8.11~9.20mg/l, outer 7.21~9.20)을 보이고 있다.

2차년(98.7~99.6)에는 연안 3.44~8.79mg/l, 외양 2.73~8.63mg/l의 분포범위를 보이고 있으며 9월에 가장 큰 변동폭(1.31mg/l)을 보이며 12월까지 상하층의 차이(0.81mg/l)를 보인다. 그러나 11월과 12월은 표층(0m)만이 낮게 나타나

고 나머지 수심에서는 혼합이 이루어지고 있었다. 연안이 다소 높게 나타나고 있으나 거의 비슷한 수준의 농도분포를 보이고 있으며 외양에서 저층이 표층보다 높은 용존산소 농도를 보이고 하계(6월~9월)가 동계에 비해 낮은 농도를 나타내어 동계로 갈수록 농도가 높아지고 있었다. 그리고 이듬해 추계부터 지속되는 용존산소의 표·저층간의 혼합은 4월까지 유지되며 98년도보다 빠른 5월(range 5.22~6.34mg/l)부터 표·저층간의 농도차를 보이고 있었다. 99년 6월이 연·외양에 걸쳐 평균 3.56mg/l로 낮은 경향을 보였으며 그밖의 기간에는 5.22mg/l 이상의 산소포화량을 보였다.

3차년(99.7~2000.6)에는 연안이 6.59~8.82mg/l, 외양 5.35~9.98mg/l의 분포를 보이고 있으며 표·저층간의 차이는 9월(0.83mg/l)까지 뚜렷이 나타나고 있으나 10월(0.44mg/l)부터는 거의 차이가 나지 않는 등 98년에 비해 표·저층간의 용존산소 농도차이가 적게 나타나고 75m를 제외하고는 표층과도 혼합이 잘 이루어지고 있었다. 연안에서는 수심이 얕은 관계로 상하층 간의 혼합이 연중 잘 이루어지고 있었으며 외양역 저층에서의 높은 용존산소농도(6.12~9.98mg/l)도 98년과 동일하게 나타나고 있었다. 하계인 7, 8월에 비교적 낮은 용존산소를 보이며 동계로 갈수록 높은 용존산소량을 보였다.

이를 종합해 보면 용존산소의 계절적인 변화는 하계에서 동계로 갈수록 증가하는 경향을 보이는데, 이는 해양에서 용존산소의 일반적 변화 특성으로써 동계에는 낮은 수온과 바람에 의해 용존산소포화량 증가가 일어나고 하계에는 유기물이 다른 계절에 비해 많이 산화되고, 생물체에 의해 용존산소의 소비가 증가되기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 표층에서의 용존산소 함량은 바람의 세기, 바람이부는 시간 그리고 기초생산력 등에 의하여 공급되는 산소량과 해수중이나 해저면에서 유기물의 산화시에 소모되는 양의 차이로서 결정되며 또 수온과 염분량에 따라 달라진다. 조사해역에서 수온과 염분의 분포(Fig. 2, 3)를 보면 외양, 특히 저층에서 낮은 수온과 높은 염분 분포를 보이고 있으며 용존산소도 저층에서 높게 나타나고 있다. 또한 수온이 1℃정도 낮아지면 포화량은 0.2mg/l 정도 증가한다고 한다(日本氣象廳, 1979).

조사기간 동안의 용존산소를 살펴보면 98년과 99년 5월과 6월을 제외하면 6mg/l 이상의 높은 용존산소를 보이고 있었다.

3.2.2 화학적 산소요구량(COD; chemical oxygen demand)

화학적 산소요구량(COD)은 수중의 피산화성 물질을 산화제에 의해 화학적으로 산화하였을 때 소비되는 산소량으로, 수중의 유기물질 등과 환원성 물질의 양을 아는 척도로서 질소와 인과 함께 해역의 부영양상태를 판단하는 지표로 이용되고 있다.

조사기간 동안 화학적 산소요구량은 각 년차별로 각각 0.10~2.38mg/l, 0.40~4.29mg/l, 0.40~3.40mg/l 의 분포(Table 2)를 보였으며 2차년인 98년 7월~10월(1.94~4.29mg/l)과 3차년인 2000년 5월과 6월(1.47~3.00mg/l)이 비교적 높은 농도를 보이고 그 밖의 조사기간에는 1mg/l 전후의 농도를 보여 해역수질등급 I 등급 정도의 수준으로 조사해역은 양호한 수준이었다.

그리고 연안과 외양간의 COD 농도차가 거의 나지 않았으며 부분적으로는 외양이 높게 나타나고 있었다. 연안역의 경우 일반적으로 COD는 육상수의 유입에 따라 증가하며 조사해역은 강수량이 많은 하계에 유기물이 증가하는 것으로 보이나 하계에 외양이 연안보다 높은 기간도 있어 육상으로부터의 과도한 유기물의 유입이 없으며 연안의 풍부한 용존산소에 의해 충분히 유기물이 분해되는 것으로 판단된다.

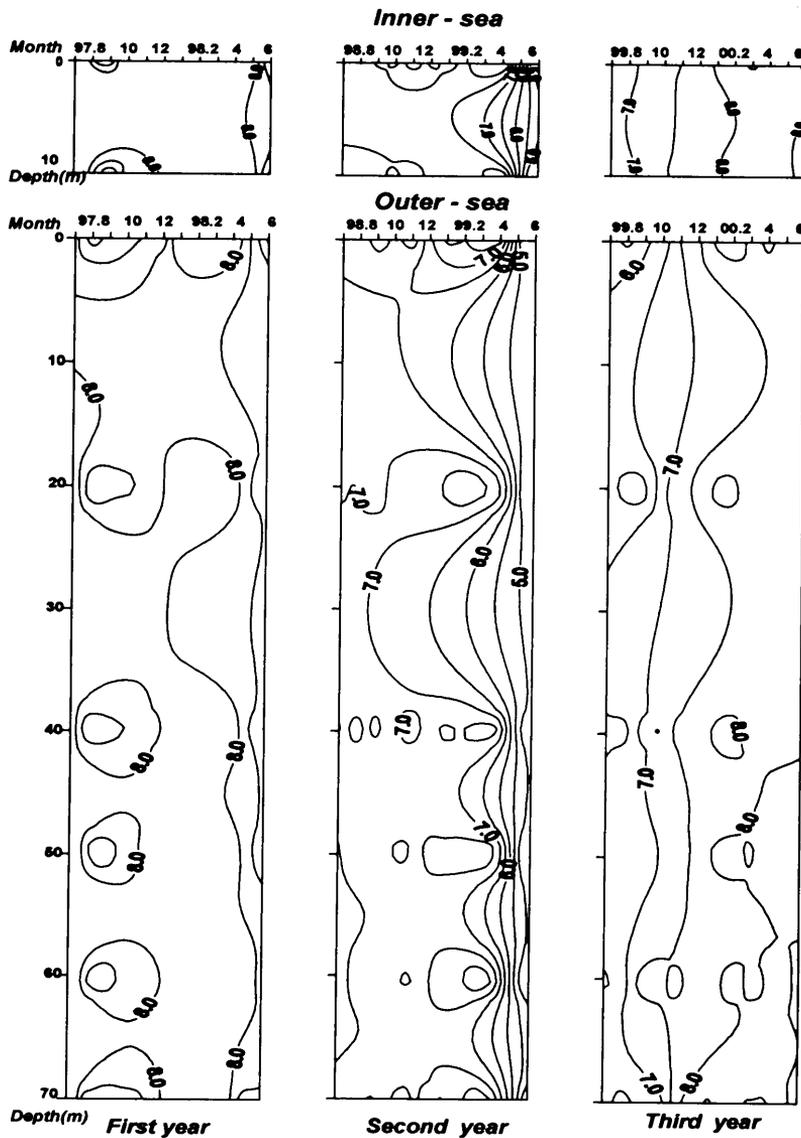


Fig. 5. Vertical distribution of mean value of dissolved oxygen (DO ; mg/ l) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

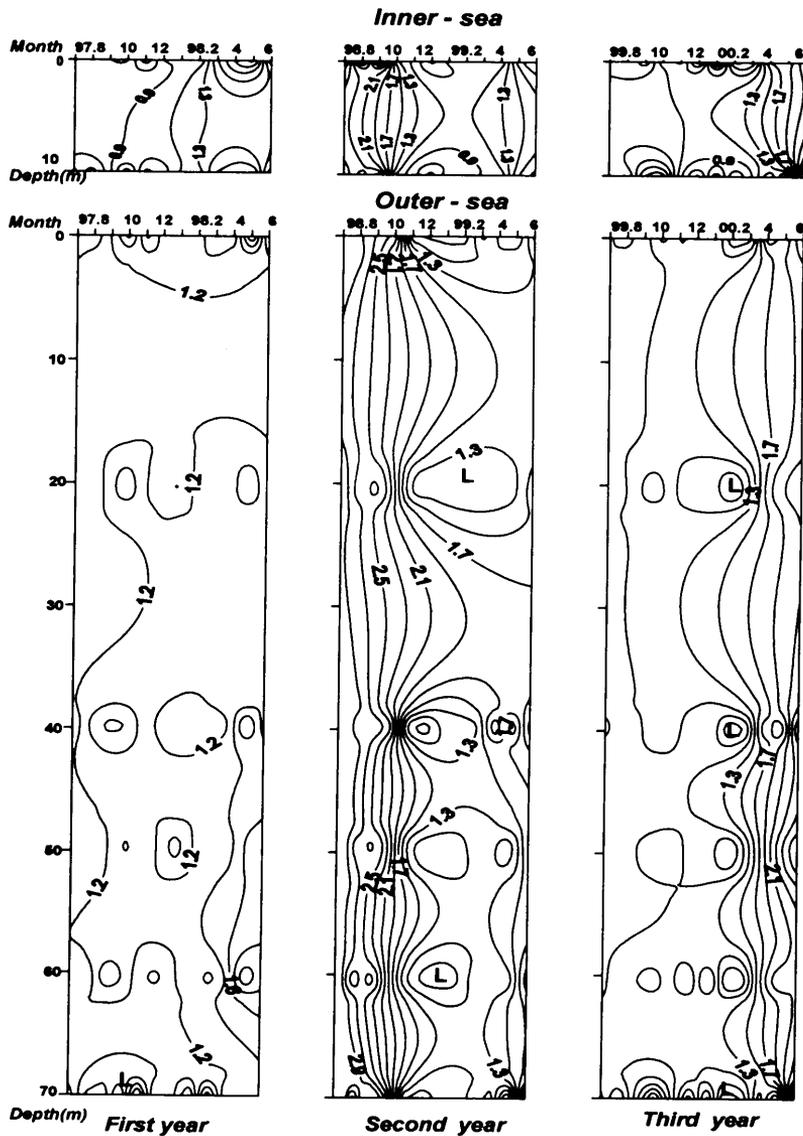


Fig. 6. Vertical distribution of mean value of chemical oxygen demand (COD ; mg/ℓ) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

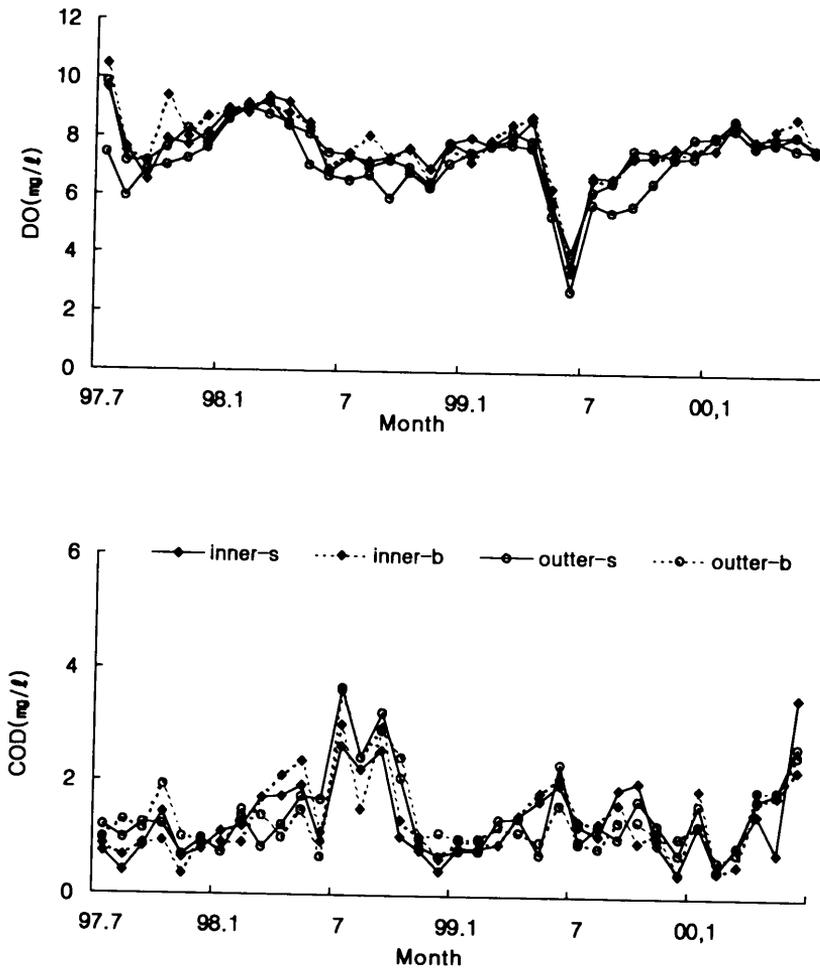


Fig. 7. Monthly distribution of mean value of DO and COD at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

3.2.3 무기영양염류(NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)

해수 중의 무기이온들은 식물체의 광합성 작용에 필수적으로 이용되고 있다. 이들 무기이온들 중 성장에 제한을 주는 무기염들을 영양염이라 하고, 부유식물에는 질소, 인, 규소 등의 염이 중요한 영양염으로 작용하고 있다. 영양염류는 정상적인 해양의 경우 해양식물의 성장에 매우 중요하고, 대부분의 경우 춘·하

계에는 왕성한 흡수 이용으로 인하여 매우 낮은 농도로 존재한다. 일반적으로 영양염류는 생성된 유기물질이 분해되어 재생산의 과정(remineralization)을 통하여 해양에서 자체 순환되는데 육상으로부터 과도한 양의 오염물질이 유입될 경우 이미 분해된 무기 영양염류와 분해되지 않은 유기물이 해수 내에서 부영양화를 일으키게 된다. 이러한 부영양화는 일차생산력의 증가, 식물 플랑크톤의 종조성 변화 및 특수종의 이상증식, 용존산소량 감소, 어족자원의 감소 등 많은 생물학적 변화를 유발하며 심한 경우에는 적조와 무산소 상태가 발생하여 어패류의 대량 폐사가 발생한다. 적당한 양의 영양염 유입은 긍정적이나 과도한 유입은 환경의 질을 저하시키는 원인이 된다.

Table 3. Range and mean value of nutrients at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

parameters	1st Year		2nd Year		3rd Year		Range	Mean	
	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer			
TIN (mg/ℓ)	Range	0.013~0.229	0.007~0.173	0.011~0.354	0.013~0.351	0.015~0.448	0.007~0.239	0.007 ~0.448	0.071
	Mean	0.100	0.068	0.048	0.058	0.085	0.064		
TP (mg/ℓ)	Range	0.001~0.018	0.001~0.055	0.002~0.024	0.001~0.050	ND~0.023	ND~0.044	ND	0.010
	Mean	0.008	0.014	0.008	0.011	0.009	0.010	~0.050	
N/P Ratio	Range	0.8~30	0.8~34	1.1~30	1.3~37	1.4~53	0.6~30	0.6	10.1
	Mean	14	8	8	8	14	9	~53	

Inner ; inner-sea(ST 1, 2, 3), Outer : outer-sea(ST 4, 5, 6)

TIN ; Total inorganic nitrogen(NH_4^+ -N+ NO_2^- -N+ NO_3^- -N), TP ; Total phosphorus

전지구적으로 볼 때 강을 통해 유입되는 양은 자연상태에서 추가되는 양과 비슷하다. 그러나 유입된 영양염류의 80~90%가 주로 연안해역에서 일차생산에 이용되므로 외해 생산력에의 기여도는 매우 낮다. 따라서 과다영양염에 의한 영향은 연안해역에 국한된다.

해수 중의 암모니아는 질소계 유기물의 분해시 가장 먼저 분해되어 나오는 무기 영양염류로서 해수 중의 질산화박테리아에 의해 순차적으로 산화되어 아질산염 그리고 질산염으로 산화되어 존재하게 된다.

총무기질소(TIN)

무기질소는 생물의 성장에 필수적인 원소이며 특히 인과 함께 어느 한쪽만 모자라도 생물의 성장에 제한요소로 작용하지만, 필요이상으로 과잉으로 존재하게 되면 부영양화 및 적조 등의 유해한 영향을 유발하기도 한다. 총무기질소(TIN)는 암모니아성 질소(NH_4^+-N), 아질산성질소(NO_2^--N), 질산성 질소(NO_3^--N)의 합으로 나타낸다.

Table 3의 총질소의 각 차년별 분포를 보면 1차년 0.032~0.191mg/l, 2차년 0.011~0.354mg/l, 3차년 0.007~0.448mg/l로 나타나고 있다. 전체 0.007~0.448mg/l (mean 0.071mg/l)의 범위를 보이고 있으며 1차년과 3차년의 평균이 각각 0.083, 0.075mg/l를 보였고 2차년도는 0.053mg/l로 해역수질 I 등급에 가까운 양호한 수질을 보이고 있었다. 그리고 1차년과 3차년 역시 일부 기간을 제외하면 I·II 등급 수질로 양호한 편이었다.

Fig. 8과 10의 각 년도별 계절변화를 보면 1차년도의 경우 97년도에는 연·외양에 걸쳐 9월과 10월을 제외하면 0.1mg/l 이상인 수심이 많이 보이고 있다. 연안(mean 0.100mg/l)이 외양(mean 0.066mg/l)에 비해 높게 나타나며 표층과 저층간의 상하 혼합이 잘 이루어지고 있고 외양은 9월과 10월에 30m에서 약하지만 성층을 이루고 있다.

98년은 연·외양 각각 0.011~0.229mg/l 과 0.012~0.351mg/l로 분포하고 있으며 연안(mean 0.080mg/l)이 외양(mean 0.052mg/l)보다 높게 나타나고 있으며 연안의 경우 6월부터 표층에서 높은 무기질소농도를 보이고 있으며 10m 수심에서 성층이 나타나고 있는 반면 외양은 표·저층간의 농도차가 거의 없이 일정하게 나타나고 있으며 저층이 표층보다 상대적으로 높은 농도를 보이고 있다.

99년에는 각각 0.022~0.261mg/l, 0.021~0.205mg/l로 연·외양의 분포를 보였으며 연안(mean 0.079mg/l)이 외양(mean 0.068mg/l)에 비해 높은 농도를 보이고 특히 하계인 7월과 8월에 표층에서 높은 농도(0.261~0.448mg/l)의 무기질소를 함유하고 있었다. 외양의 경우는 50m 이심에서 높은 농도를 보이며 5월 이후에는 표층과 차이가 뚜렷이 나타나고 있다.

2000년도에는 연안은 0.015~0.153mg/l, 외양 0.007~0.140mg/l mg/l의 무기질소 농도합량을 보였으며 연안의 경우 초여름까지 표저층간 혼합이 잘 이루어지고 있었으며 외양(mean 0.055mg/l)에 비해 약간 높은 농도(mean 0.058mg/l)를 보이고 있었다. 외양에서는 5월과 6월에 저층인 75m 수심에서 0.079~0.157mg/l의 상대적으로 높은 무기질소 농도를 보이고 있어 다른 조사기간과 유사한 경향을 보였으며 75m 이천에서는 큰 농도 차가 없었다.

일반적으로 질소는 춘계로 접어들면서 식물성 플랑크톤의 활발한 대사 능력으로 인해 낮은 농도를 보이며 하계에는 많은 강수량에 의한 담수로부터의 유

입으로 지역에 따라 매우 높은 농도를 보인다. 동계에 높은 값은 수온의 저하로 인한 식물플랑크톤의 흡수율의 감소와 mixing에 의한 저층으로부터의 질산성 질소의 수직 혼합에 의한 것으로 알려져 있다.

본 조사해역은 이러한 일반적인 해양에서 질산염의 계절적 변화를 보이고 있었다. 그리고, 박(1982)은 제주도 연안 2마일 이내 해역 10m 이내 수심에서 질산 질소 $0.014\sim 0.056\text{mg}/\ell$ 정도라고 했으며, 양(1990)과 최 등(1989)은 여름철 질산 질소 농도가 외양보다 연안이 높고 해안선주변역의 질소 공급원은 육상유입수에 의한 것이라고 하고 있는데, 본 연구에서 보면 강수량이 5월부터 9월까지 높은 강우량을 보이고 있다. 그러나 외양의 저층에서 하계에도 연안보다 높게 나타나고 있는데 이는 해저면 퇴적물의 재부유등 해양 내부적인 원인에 의한 것으로 판단된다. 연구기간중 동계에 외양에서 높은 TIN 농도를 보이는 것은 식물플랑크톤의 소비감소에 의한 것으로 판단되는데 12월과 1월의 Chlorophyll a 량을 살펴보면 1차년 $0.43\sim 0.53\text{mg}/\text{m}^3$, 2차년 $0.50\sim 0.64\text{mg}/\text{m}^3$ 3차년 $0.28\sim 0.42\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 엽록소 a 의 전체 평균농도가 $0.821\text{mg}/\text{m}^3$ 인데 비해 12월과 1월의 엽록소 a 량은 평균에 훨씬 못 미치는 값을 나타내고 있다. 이는 동계에 수온 및 일사량 감소로 인해 식물플랑크톤의 량이 감소한 것을 나타내며 식물플랑크톤이 감소하는 이 기간동안 식물플랑크톤에 의한 무기질소의 소비속도가 다른 계절에 비해 상대적으로 작기 때문에 높은 TIN 농도를 보이는 것으로 사료된다.

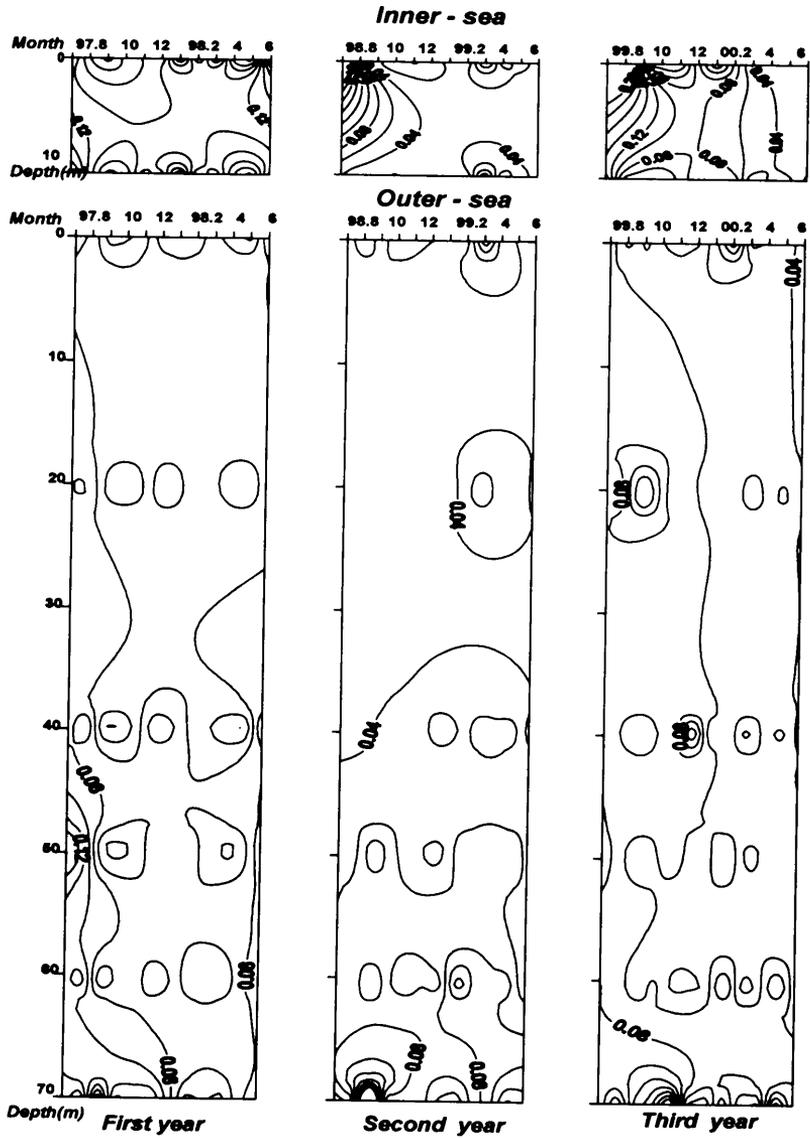


Fig. 8. Vertical distribution of mean value of total inorganic nitrogen (TIN ; mg/ℓ) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

총인(TP)

일반적으로 인은 연안에서는 육지로부터의 공급 때문에 풍부한 편이나 외양에서는 극도로 적은 것으로 알려져 있다. 특히 외양의 표층에서는 부유식물의 사용에 의해 극히 소량만 나타나고 있다. 그에 비해 저층에서는 표층으로부터 동·식물 사체가 떨어져 인을 공급하고 부유식물에 의한 이용이 없기 때문에 높은 농도가 유지되는 특성을 갖는다(Redfield *et al.*, 1963). 제주도 주변역 중 해안선 주변역에서는 계절별로는 여름에서 가을까지(8월~12월) 증가하는 경향을 보이고 있으며 외양역 표층수에서는 여름에 제주도 서쪽과 동남쪽역에서 낮은 농도($0.002\text{mg}/\ell \geq$)를 나타내고 있으나, 50m 이심에서는 서남쪽 외해역이 가장 낮은 농도($0.031\text{mg}/\ell \leq$)를 나타내는데 비하여 동남쪽이나 서북쪽해역에서는 고농도($0.093\text{mg}/\ell \leq$)를 보이고 있다(고 등, 1998).

조사해역의 인산염의 각차년별 $0.001 \sim 0.055\text{mg}/\ell$, $0.001 \sim 0.050\text{mg}/\ell$, ND~ $0.044\text{mg}/\ell$ 의 분포(Table 3)를 보였으며 1, 2차년 외양의 50m 이심에서 비교적 높은 인산염농도를 보였으며 외양 50m 이천과 연안은 낮은 경향이였으며 외양에 비해 연안이 낮은 인산염 농도를 보였다.

Fig. 9와 10의 TP의 수직분포와 월분포 변화를 각년도별로 보면 1차년의 경우는 연안과 외양에서 각각 $0.001 \sim 0.018\text{mg}/\ell$ (mean $0.008\text{mg}/\ell$), 외양 $0.001 \sim 0.055\text{mg}/\ell$ (mean $0.014\text{mg}/\ell$)의 분포범위를 보였으며 전해역에서 하계에서 동계로 갈수록 높게 나타나고 있었으며 외양은 97년 9월을 제외하고 50m 이심에서 높은 인산염의 수괴가 존재하고 있었다. 동계(1, 2월)에서 춘계(4, 5월)에 비교적 높은 농도를 보였다.

2차년도를 보면 98년 7월부터 12월까지 표·저층에서 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 98년 7월~10월까지 외양 50m 이심의 저층에 $0.015\text{mg}/\ell$ 이상의 비교적 높은 인산염농도를 보이고 있었으며 연안이 외양에 비해 년중 낮은 농도를 보였다. 3차년도인 99년 7월부터 2000년 6월까지 연·외양에서 각각 ND~ $0.023\text{mg}/\ell$ (mean $0.003\text{mg}/\ell$), ND~ $0.044\text{mg}/\ell$ (mean $0.010\text{mg}/\ell$)분포 범위를 나타내었다. 3차년도에도 하계에 저층에 표층에 비해 높은 인산염 농도를 보이고 있으나 전반적으로 그 폭이 좁았으며 전체적인 농도도 1, 2차년도에 비해 낮게 나타나고 있다. 조사기간동안 동계(11월~3월)에는 표층과 저층간의 농도차가 거의 없거나 좁았으며 하계(6월~9월)에 비해 전체적으로 높게 나타나고 있었으며 하계로 갈수록 표층에서의 인산염 농도가 낮게 나타나고 있었고 이로 인해 저층의 인산염 농도가 상대적으로 높게 보이고 있었다. 최 등(1992)에 의하면 제주 남부역에서 인산염이 8월에 외해역의 저층에서 상층수와 혼합이 안되어 고농도수가 존재한다고 하였으나 본 조사해역에서는 동계부터 년중 50m 이심의 저층에 높은 인산염이 분포하고 있었다.

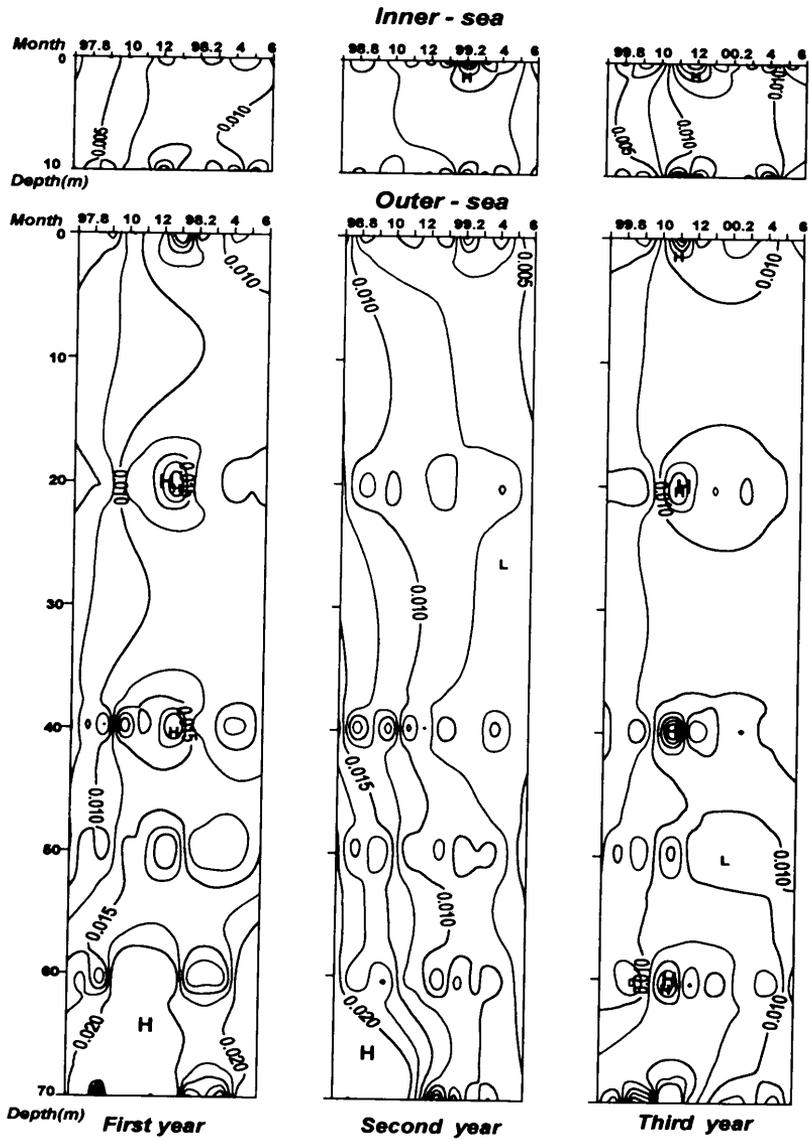


Fig. 9. Vertical distribution of mean value of total phosphorus (TP ; mg/ℓ) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to 2000.

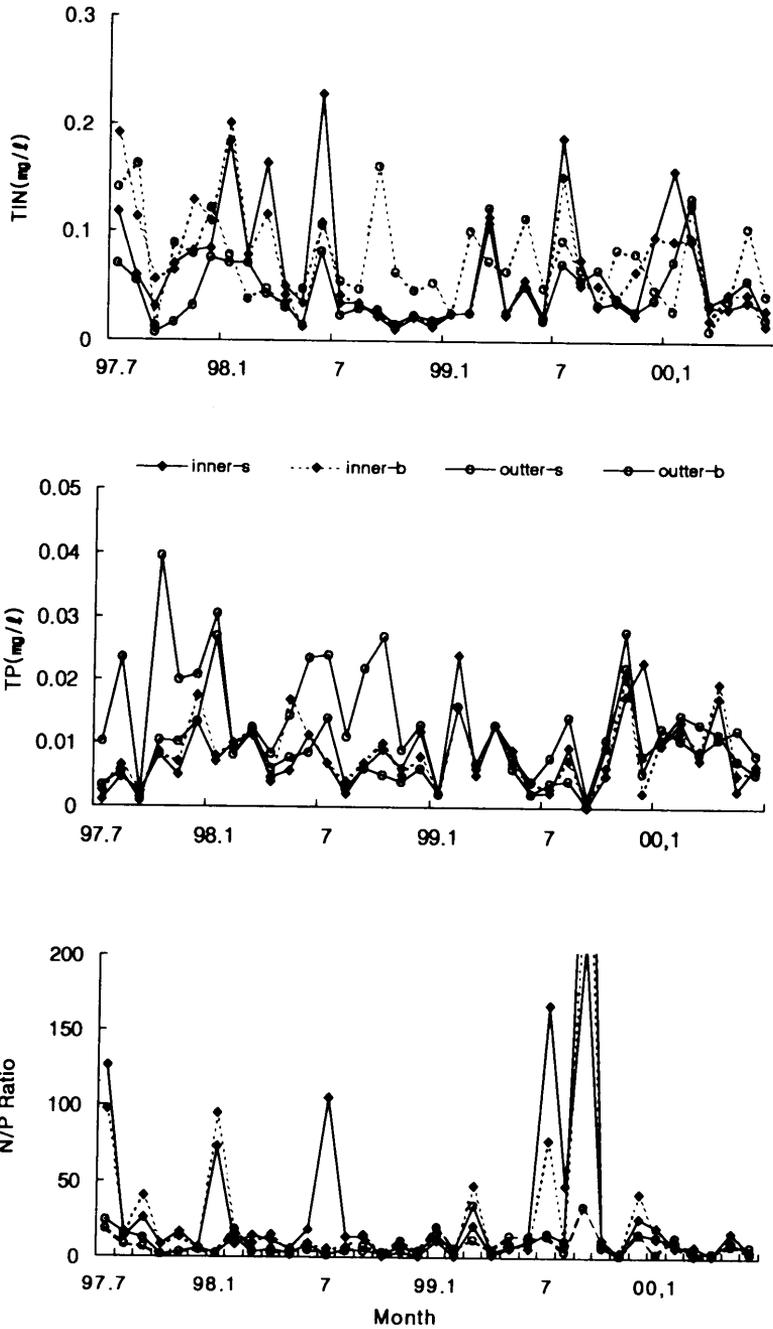


Fig. 10. Monthly distribution of mean value of TIN, TP and N/P ratio at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

3.2.4 Chlorophyll *a* (엽록소 *a*)

조사해역에서의 Chlorophyll *a* 의 분포(Table 4) 범위는 1차년 0.08~3.78mg/m³(mean 0.84mg/m³), 2차년 0.01~2.69mg/m³(mean 0.67mg/m³), 3차년 0.04~3.43mg/m³(mean 0.77mg/m³)이다.

Fig. 11과 12은 Chlorophyll *a* (엽록소 *a*)의 수직분포와 월별 변화를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 1차년 연·외양에서 0.08~3.46mg/m³(mean 0.98mg/m³)과 0.08~3.78mg/m³(0.70mg/m³)을 각각 나타냈으며 증감을 격월간격으로 반복하고 있다 특히 98년 5월에(1.99~3.78mg/m³) 엽록소 *a* 양이 증가하고 있었다. 2차년은 0.14~2.69mg/m³(mean 0.74mg/m³), 0.01~1.97mg/m³(mean 0.60mg/m³)으로 연·외양에서 각각 나타났으며 99년 4월과 5월에 각각 1.25~1.92mg/m³, 0.49~2.69mg/m³로 높게 나타나고 있었다. 3차년 0.18~3.43mg/m³(mean 1.08mg/m³), 0.04~1.17mg/m³(mean 0.45mg/m³)으로 연·외양에서 각각 분포를 보였고 2000년 4월과 5월에는 1, 2차년도와 같은 엽록소 *a* 의 증가세가 없었으며 오히려 99년 하계인 7월과 8월에 특히 연안에서(1.19~1.97mg/m³) 높게 나타나고 있었다. 계절별 변화특성을 보면 매년 뚜렷이 나타나는 것은 아니나 4월경부터 증가하기 시작하여 5월경에 최고조에 이르렀으며 연·외양의 표·저층에서 비슷한 양상의 변화와 농도를 보이고 있어 식물플랑크톤의 생육환경은 조사해역 전체에 걸쳐 있음을 알 수 있으며 Chlorophyll *a*가 높은 4, 5월에 영양염(TIN, TP)의 분포는 거의 최저에 가까운 농도(Mean TIN 0.057mg/ℓ, TP 0.009mg/ℓ)를 보였으며 강수량도 4월과 5월에 140mm와 182mm로 년 평균 190mm에 못미치고 있어 육상에서 유입되는 물질의 양도 적은 시기이므로 이러한 영양염의 감소는 식물플랑크톤에 의한 소비도 크게 작용한 것으로 판단된다.

Table 4. Range and mean value of chlorophyll *a* at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

parameters	1st Year		2nd Year		3rd Year		Range	Mean
	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer		
Chl- <i>a</i> (mg/m ³)	Range	0.08~3.46	0.08~3.78	0.14~2.69	0.01~1.97	0.18~3.43	0.04~1.17	0.01
	Mean	0.98	0.70	0.74	0.60	1.08	0.45	~3.78

Inner ; Inner-sea(ST. 1, 2, 3), Outer ; Outer-sea(ST. 4, 5, 6)

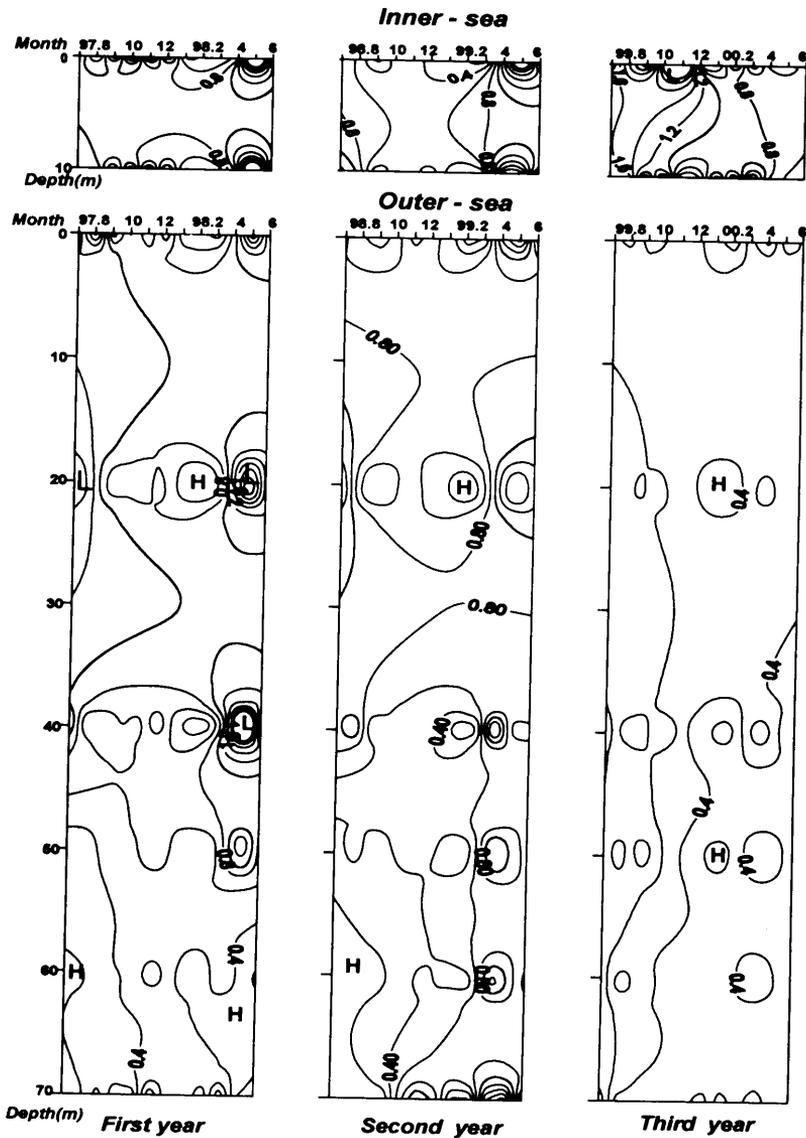
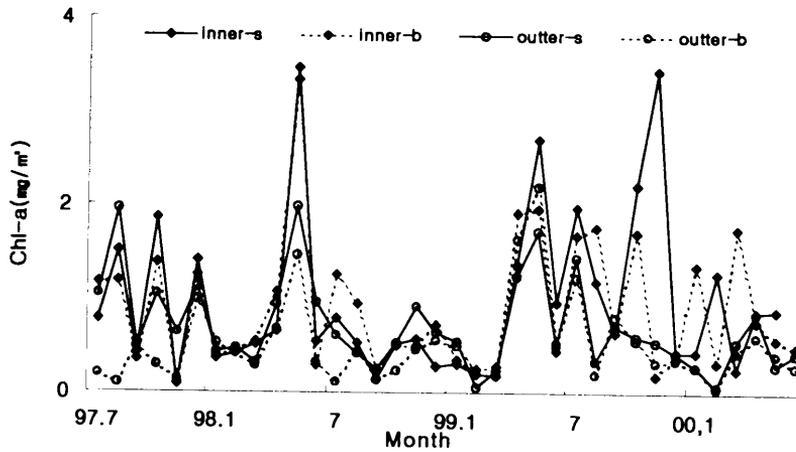


Fig. 11. Vertical distribution of mean value of chlorophyll *a* (mg/m^3) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.



Inner ; inner-sea(ST 1, 2, 3), Outer : outer-sea(ST 4, 5, 6)
 s; surface(0~10m), b; bottom(≥ 20 m)

Fig. 12. Monthly distribution of mean value of chlorophyll *a* at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

3.2.5 N/P비 변화특성

해수를 생활의 기본 영양분으로 하고 있는 1차 생산자와 생체 구성 중 질소와 인의 비율은 16:1의 Redfield 비로서 잘 알려져 있다. 이는 기본적으로 식물의 성장에 제한을 주고 있는 영양소의 인자로서 질소와 인만을 한정하여 생각한다면 수중의 N/P비가 16:1이상인 경우에는 인에 비해 무기질소가 상대적으로 많아 식물플랑크톤의 성장은 인의 용존량에 의해서 지배된다고 볼 수 있으며 16:1 보다 작은 경우에는 이와 반대의 현상으로 간주할 수 있다(Redfield *et al.*, 1963).

본 조사지역에서 N/P의 비는(Table 3) 1차년 0.8~34.7(mean 10.2), 2차년 1.1~37.0(mean 7.6), 3차년 0.6~53.5(mean 11.4), 2000년 0.6~16.0의 분포범위를 보였으며 99년 10월(range 21.2~651.2) 등 일부 기간을 제외하면 전체 평균 15:1의 비를 보이고 있었다.

Fig. 13과 10에 수직분포와 조사기간동안 월별 변화를 나타내었다. 1차년은 연·외양에서 각각 0.8~30.0(mean 14.1), 0.8~34.7(mean 6.2)을 나타냈으며 97년 7월에 연안 30이상을 보여 높게 나타났으며 외양에서는 30m 이천에서 21.

2~34.7로 높게 나타났다. 그 밖의 기간동안 외양은 16이하를 보였으며 연안에서는 97년 8, 9월 저층, 11월, 98년 1월과 6월 표층에서 16이상(16.7~22.0)의 비를 보이고 있어 불규칙한 변화를 보이고 있었으나 하계에서 동계로 갈수록 N/P비가 낮아지고 있었다. 2차년에는 연·외양에서 1.1~30.0(mean 7.6)과 1.3~37.0(mean 7.7)을 각각 나타냈으며 연안에서 98년 7월과 99년 3월 표층에서 16이상(20.0~53.3)을 보이고 있었으며 외양에서는 11월 20·30m 수심(17.0~23.3)을 제외하면 년중 16이하를 보였다. 계절적인 특징은 뚜렷하게 찾을 수 없었으며 연안에서 하계에서 동계로 접어들면서 N/P비가 작아지고 있었다. 3차년에는 각각 1.4~53.5(mean 13.7), 0.6~30.0(mean 9.1)의 비를 나타내고 있었다. 연안의 경우 99년 7월~9월, 12월 저층에서 16이상을 보였으며 외양은 1월 50m 이심, 7월 30m 이천, 9월에 16이상을 보였고 특히 9월에는 연·외양에서 N/P 비가 16:1보다 상당히 높았는데 이 기간동안 인산염의 분포를 보면 거의 zero에 가까운 수치를 보여 N/P의 비가 높게 나타난 듯 하다. 그 밖 기간에는 16:1 이하를 보이며 연중 균질하게 분포하고 있어 뚜렷한 계절변화를 찾을 수 없었으나 다른 년도와 마찬가지로 하계인 7월에 N/P비가 높게 나타나고 있었다. 2000년에는 16이하의 값을 보여 질산염이 제한인자였으며 하계로 갈수록 비가 증가하는 등의 변화는 찾을 수 없었다. 연구해역의 전체 평균 N/P 비는 8~14(mean 10)으로 전체적으로 보면 질산염이 제한인자로 자리 잡고 있으나 조사기간동안 일부기간동안 인산염이 극도로 부족한 기간이 나타나는 등 특히 하계에 인산염보다 질산염의 공급이 많은 것으로 보여 하계에는 인산염이 제한인자였으며 그밖에는 일부 동계를 제외하고 연중 질산염이 조사해역에서 제한 인자 역할을 하고 있었으며 외양에서 일부기간에 질산염 성분이 상당량 극도로 부족한 경우도 있었다. 이러한 결과는 문(1990)의 제주도 북방 함덕 해역에서의 결과와 유사하나 최(1996)의 제주도 서북방해역에서의 결과와 제주도 동·서해역에서 하계에 무기질소가 제한인자인 것(조, 1998)과는 다른 결과를 보였으며 또한 인이 제한인자인 하계에는 chlorophyll *a*의 양이 다른 시기보다 집중적으로 생성되지 않은 점을 보아 강수량이 많은 이 시기에 육상으로부터 유입되는 담수에 인성분보다는 무기질소성분이 과량으로 함유되어 있음을 추측할 수 있다. Raymont(1980)은 연안역의 표층수층의 N/P비는 일반적인 값과 아주 다르게 나타날 수도 있다고 보고한 바도 있듯이 연안역인 조사해역은 물리적인 환경뿐만 아니라 화학적 환경도 변화가 복잡한 해역인 듯하다.

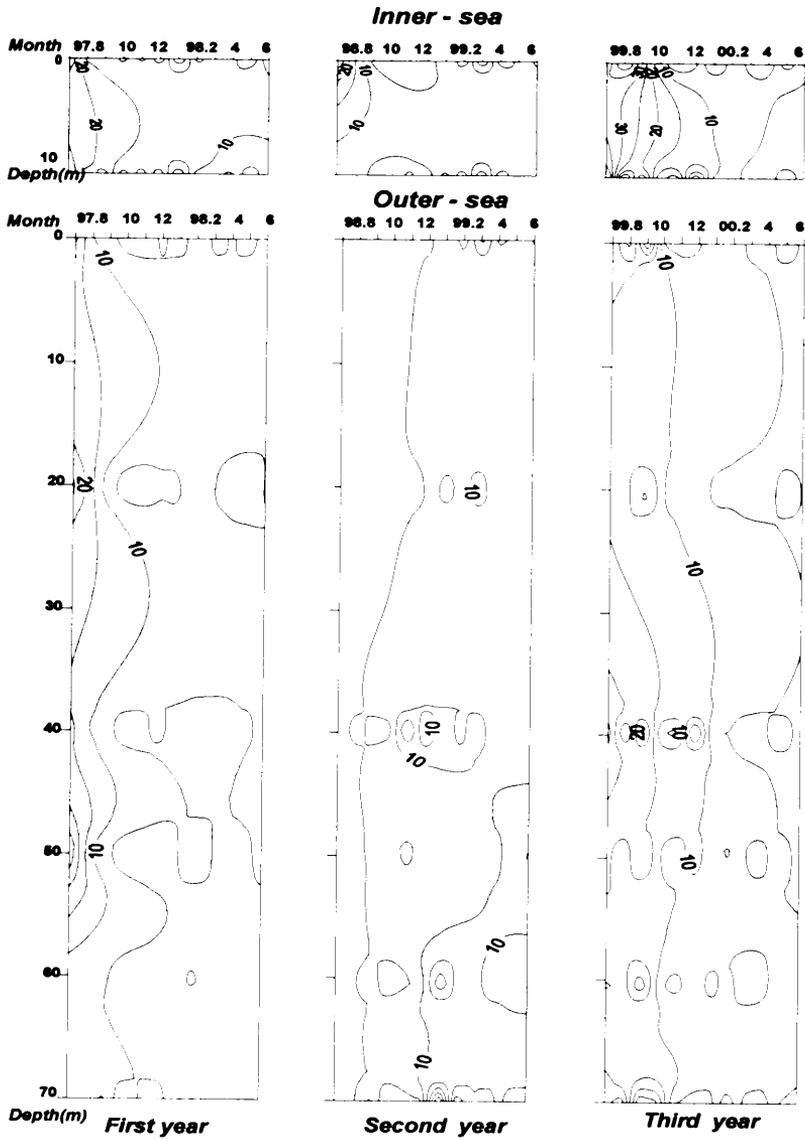


Fig. 13. Vertical distribution of mean value of N/P ratio at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

3.3 육상유입수에 의한 영향

조사해역은 연안역으로 영양염류 및 유기물이 육상으로부터 영향을 많이 받는 해역으로 우천시 다량의 빗물이 연안으로 유입되어 직·간접적인 영향을 준다. 제주도의 경우 과거 30년 간의 년평균 총강수량은 2,860백만m³~3,516백만m³의 범위로 년평균 1,807mm로 조사되었으며 직접 유출되는 양이 제주도에서는 19.6%인 353.6mm, 수자원공사에서는 352mm인 18.8%정도로 계산하고 있고 직접 유출되는 것을 포함하여 하천이나 지표수를 통해 해상으로 유출되는 양이 18.8~26.0%에 이른다고 한다(제주도, 2000)

따라서 육상유입수에 대한 영향을 알아보기 위해 제주기상청(2000, 미발표자료)의 강수량 자료와 비교하여 강수량의 양과 조사해역의 물리적 환경의 변화와 화학적 환경의 변화를 수평분포(Fig. 15~18)를 이용하여 규명하였다.

Table 5. Mean value of precipitation (mm) in the Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

	1st year												2nd year					
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precip. (mm)	235	250	33	3.6	282	126	145	158	148	271	92.6	617	283	111	478	65.2	19.8	4.7

	2nd year						3rd year											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Precip. (mm)	111	33.2	142	87.6	282	296	918	666	316	57.1	39.4	11.1	76.1	15.1	71.9	60.7	162	167

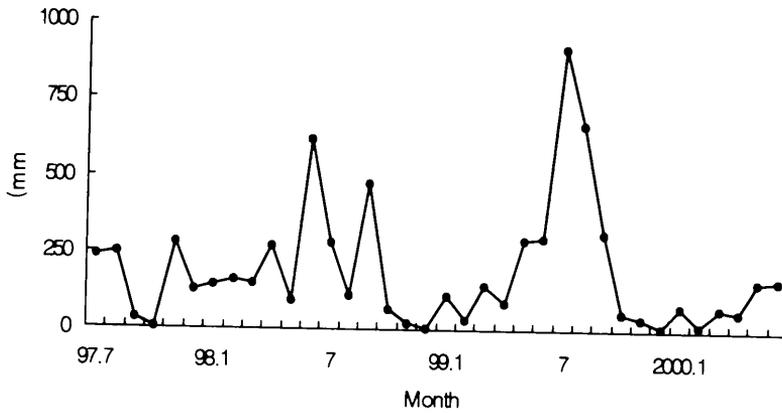
Fig. 1에서 보면 정점 1방면으로 화순천과 황개천, 정점 2와 3사이에 하수종말처리장(색달천), 그리고 정점 3에서 동쪽으로 중문천이 위치하고 있다.

조사기간동안 중문·화순지역에 내린 강수량은 3.6mm~918mm의 범위(Table 9)로 1997년 3.6~250mm (mean 155mm), 1998년 4.7~617mm (199mm), 1999년 11.1~666mm (247mm), 2000년 15.1~167.1mm (92mm)로 각년별 분포를 보였으며 월평균 190mm 였다.

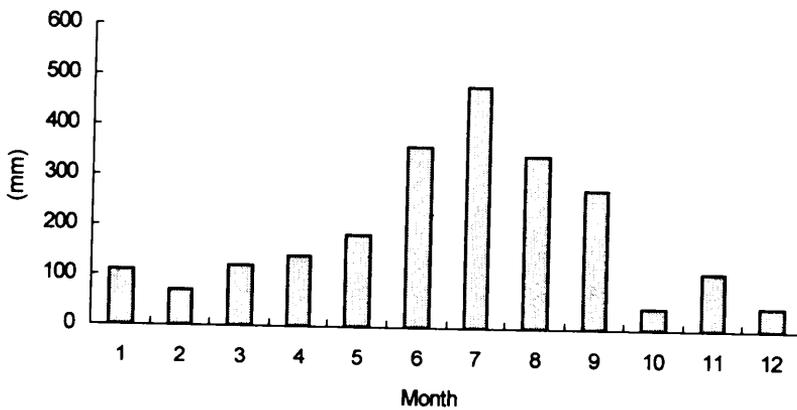
Fig. 14는 조사지역의 월별 강수량과 계절별 변화양상을 나타낸 것이다. 97년에는 7월과 8월(235~250mm)에 가장 많은 강수량을 보였으며 9월과 10월은 가뭄(3.6~3.3.1mm)을 보이고 11월(281.8mm)부터 강수량이 증가하고 있다. 98년에

는 1월부터 4월까지 145~271mm의 강수량을 보였으며 5월에 92mm가 내린 뒤 6월(617mm)에 장마가 시작되어 많은 강수량을 보였고 7월부터 9월까지(111~478mm) 비교적 많은 강수량을 보였다. 10월부터 12월(4.7~65mm)까지 가뭄현상이 나타났고 있다. 99년에는 98년 추계부터 시작된 가뭄이 111mm의 강수량을 보인 1월에 해갈되었으며 5월까지 격월간격으로 강수량이 증감하고 있다. 6월부터 9월(296~918mm)까지 조사기간 중 최고치를 보이며 많은 강수량을 보였고 10월부터 가뭄이 지기 시작하여 다음해인 2000년 4월(11~60mm)까지 지속되었다.

월평균 강수량을 나타낸 Fig. 14을 보면 장마가 시작하는 6월(mean 360mm; range 167~617mm)부터 강수량이 증가하여 7월(mean 479mm)에 최고치를 나타내고 9월까지 서서히 감소하다 10월(mean 42mm)급격히 감소하여 동계인 12~3월(47mm~120mm mean 86.8mm)까지 가뭄을 나타내고 있다. 결국 강수량이 많은 하계(6~9월)에 년 총강수량 2,282mm중 63.8%인 1,457mm가 집중되고 있었다.



Monthly distribution



Seasonal distribution

Fig. 14. Monthly and seasonal distribution of mean value of precipitation (mm) in the Chung-Moon area from July 1997 to June 2000(from Jeju Meterological Agency).

3.3.1 수온(Water temperature) 및 염분(Salinity)

조사해역에서의 육상유입수에 대한 영향정도를 알아보기 위해 강수량 및 외부의 영향을 가장 많이 받는 표층의 수온과 염분의 수평분포를 Fig. 15와 16에

나타내었다. 하계(7, 8, 9월)에 23.5~27.0℃, 29.5~33.0%의 고온저염의 분포를 보이고 있는데 강수량이 많은 98년 6월(617mm)에는 정점 2와 3사이를 중심으로 20.5~22.0℃정도의 수온과 32%이하의 염분수가 외양으로 확산되고 있음을 알 수 있다. 99년 7월(918mm)과 8월(666mm)이 조사기간 중 가장 많은 강수량을 보였으며 수온의 경우 7월이 24.0~23.5℃의 분포, 8월이 24.5~25.0℃의 분포를 보여 98년도의 26.5와 27.0℃보다 2.5~3.0℃정도의 낮은 수온을 보였고 97년의 26.5와 24.0℃의 분포와는 7월이 3.0℃, 8월은 0.5℃정도의 차이를 보여 비교적 많은 차이를 보였다. 염분의 경우 99년 7월과 8월은 31.2~31.4%로 낮은 분포를 보였으며 97년(31.5~32.2%) 보다 0.3~0.8%정도 낮았고, 98년(31.2~32.0%) 보다 최고 0.6% 정도 낮게 분포하여 강수량에 의해 표층에서의 저염수현상이 가중됨을 알 수 있다. 그 밖의 동계(12~3월)에는 수온의 경우 연안이 외양보다 낮은 수온분포를 보이고 있으며 염분의 경우 34%이상의 수괴가 조사해역 표층에 넓게 분포하고 있다.

(First year from July 1997 to June 1998)

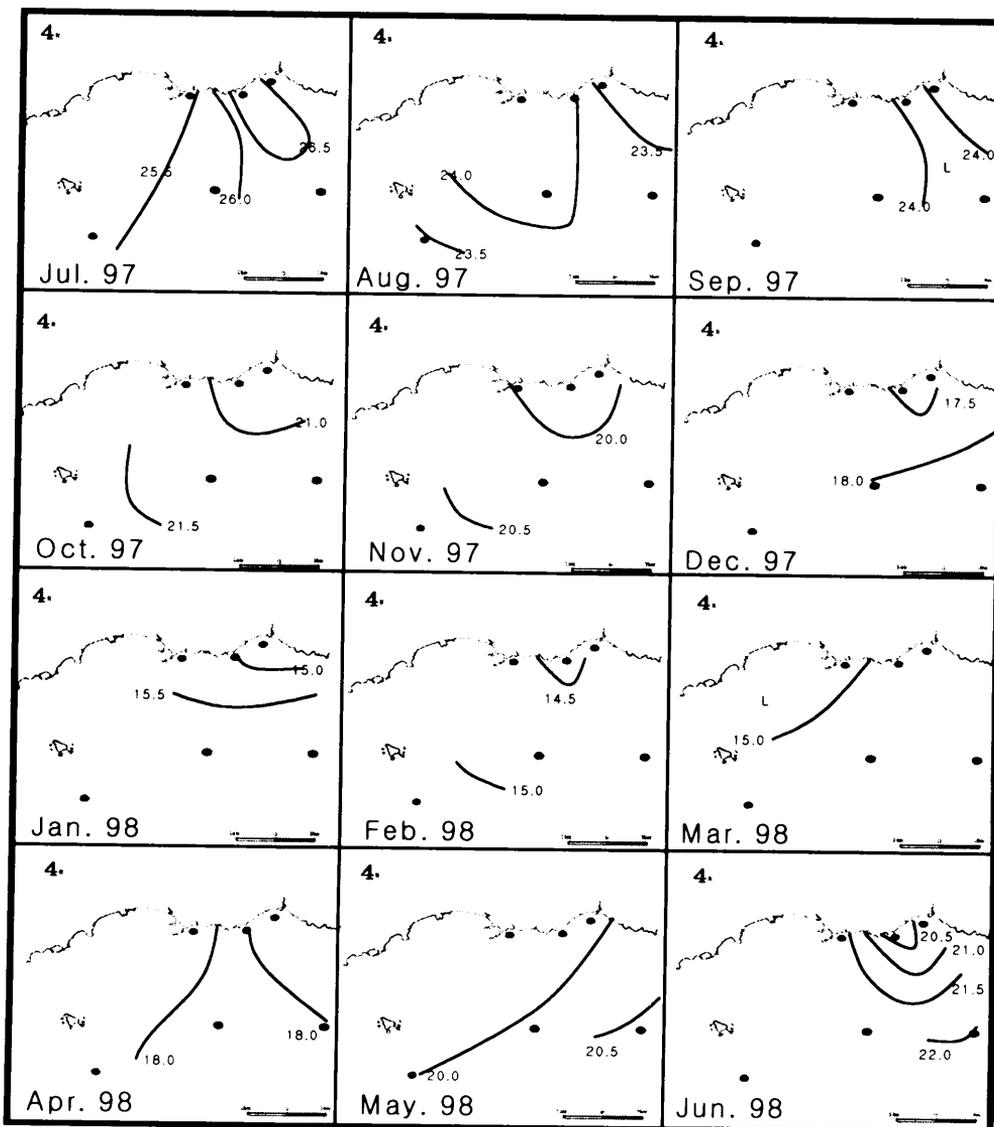
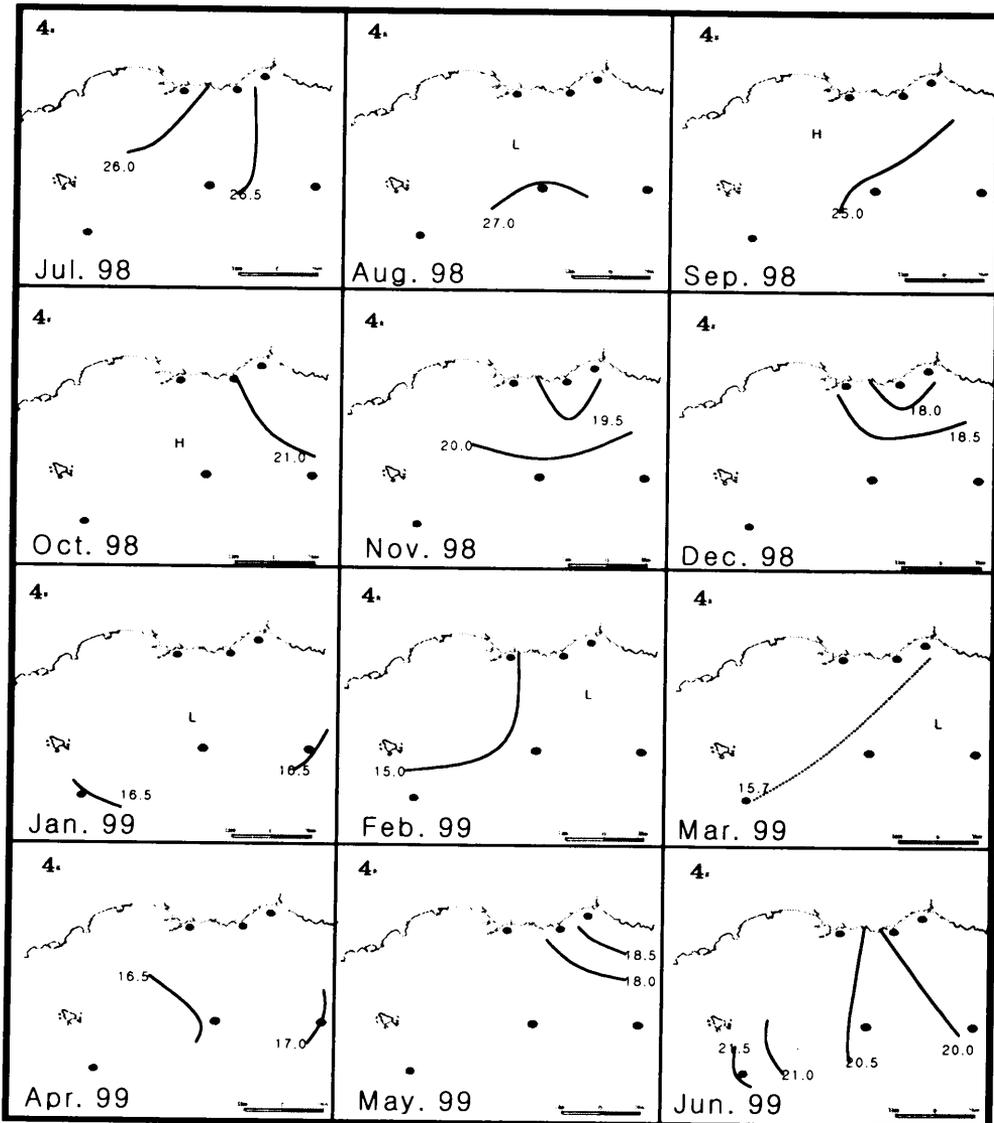


Fig. 15. Horizontal distribution of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

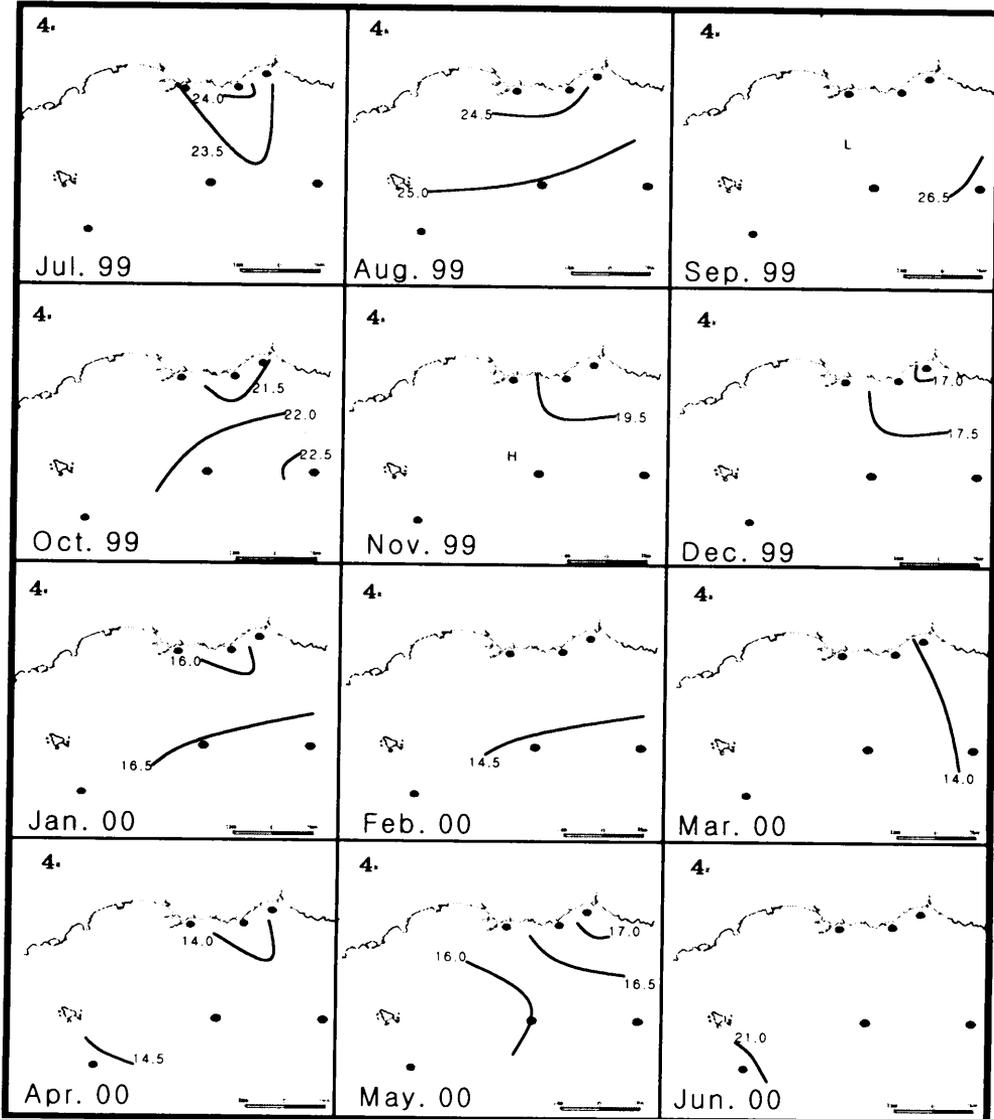
(continued)

(Second year from July 1998 to June 1999)



(continued)

(Third year from July 1999 to June 2000)



(First year from July 1997 to June 1998)

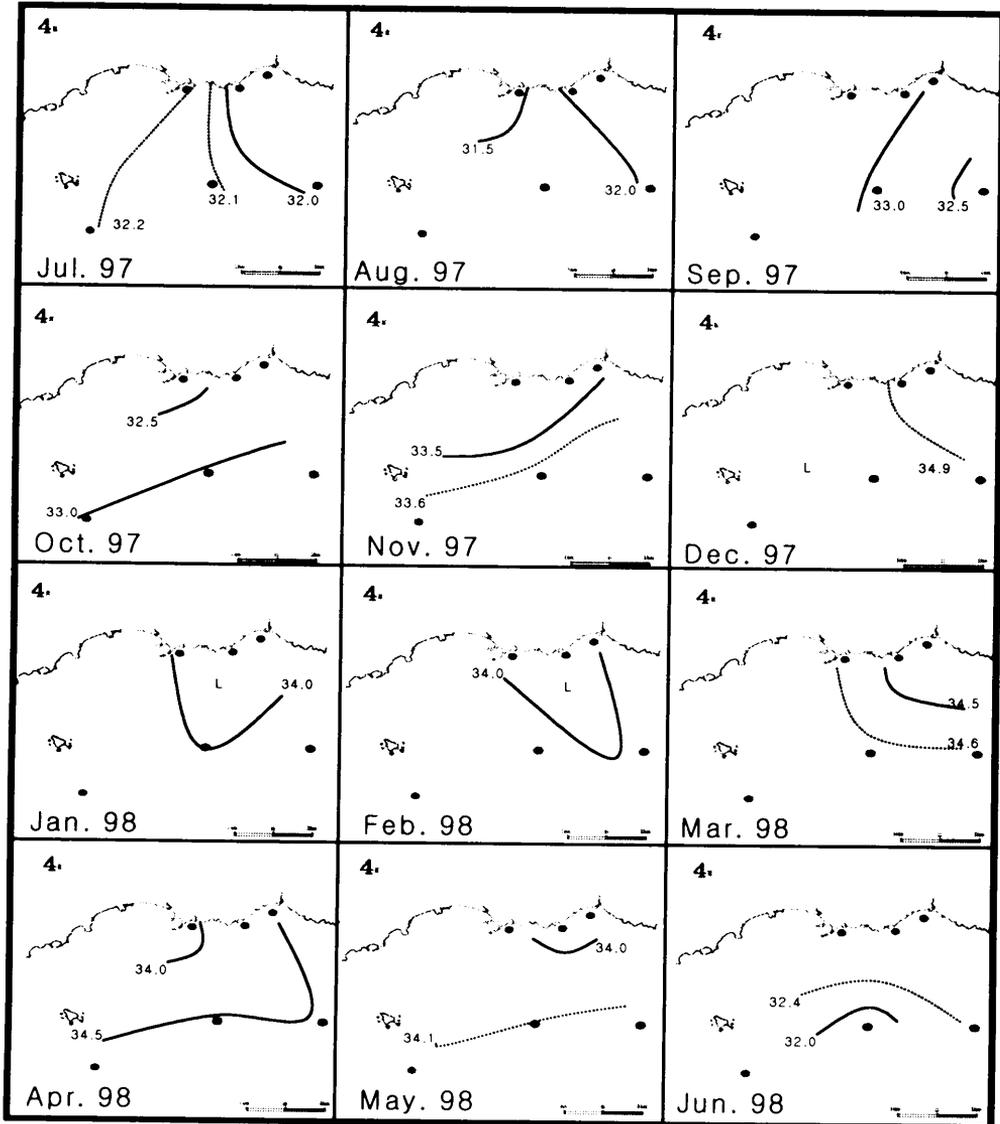
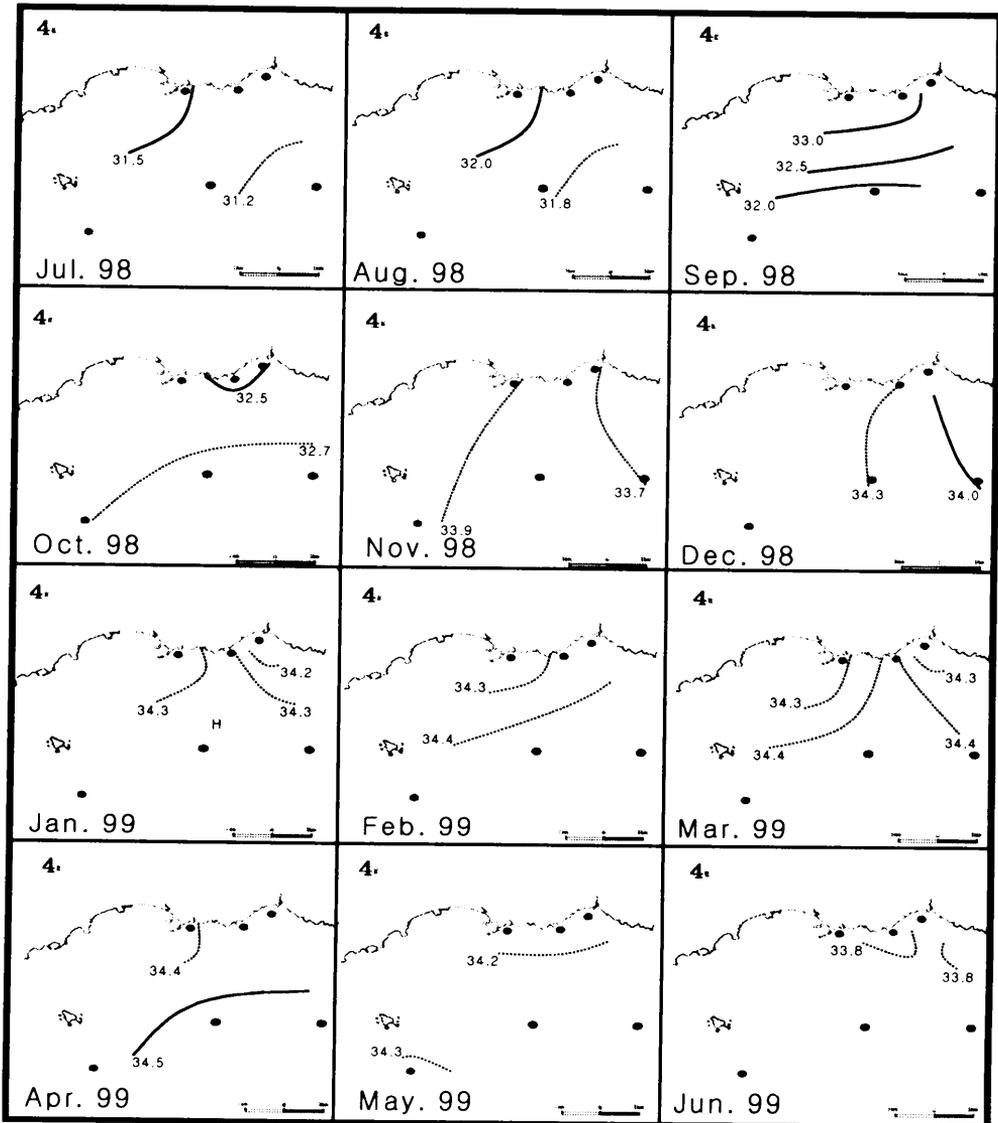


Fig. 16. Horizontal distribution of salinity (‰) in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

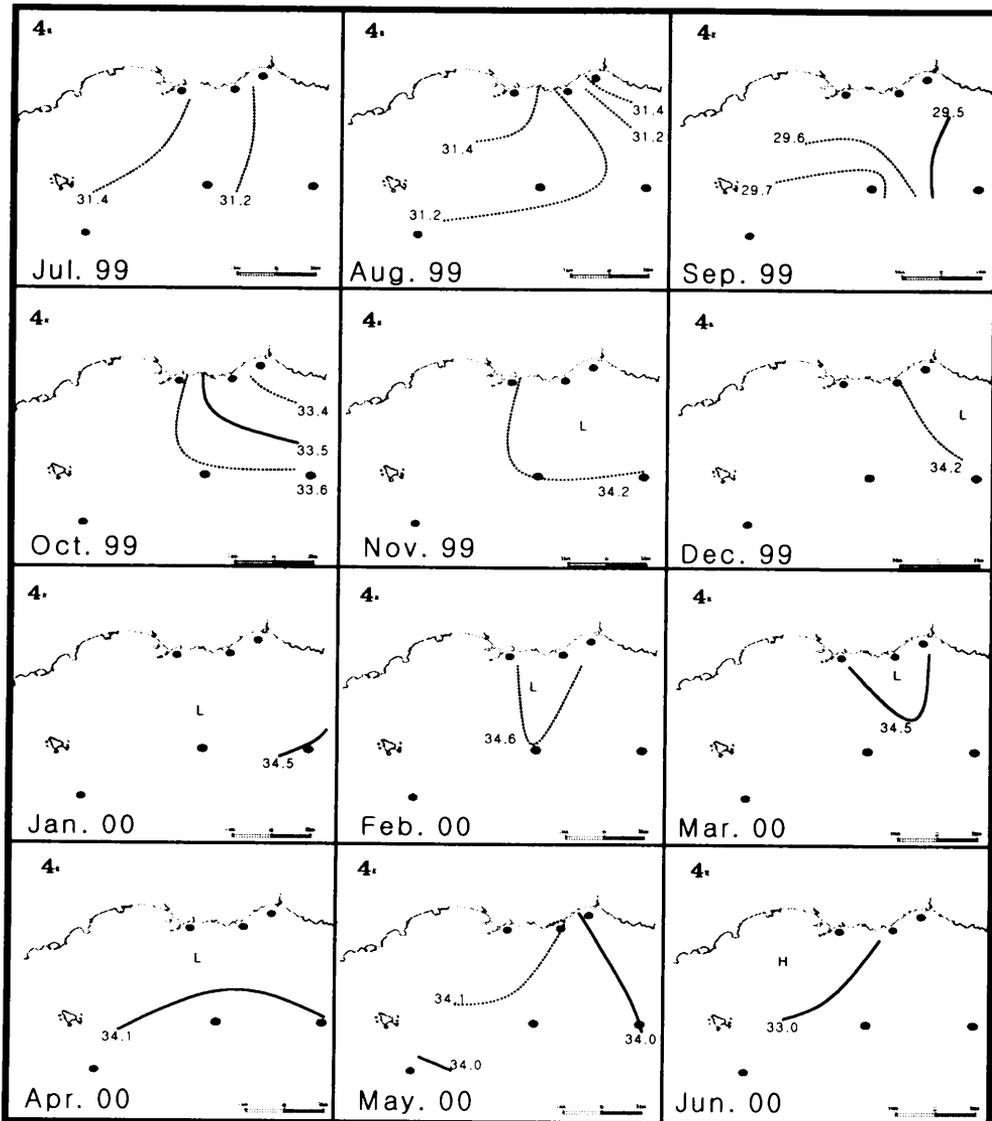
(continued)

(Second year from July 1998 to June 1999)



(continued)

(Third year from July 1999 to June 2000)



3.3.2 무기 영양염류

Fig. 17과 18은 TIN (Total inorganic nitrogen), TP (total phosphorus)의 표층(0m)에서의 수평분포를 나타낸 것이다. TIN의 경우 강우량이 많았던 98년 6월의 분포를 살펴보면 0.1~0.4mg/l의 분포를 보이며 정점 1을 중심으로 높은 농도가 확산되고 있다. 99년 6월 0.02mg/l, 2000년 6월 0.05mg/l에 비해 상당히 높은 농도를 보이고 있다. 99년 7월과 8월에는 정점 2를 중심으로 연안에 0.2mg/l 이상의 농도를 보이며 외양으로 확산되고 있다. 97년 7월과 8월 각각 0.1mg/l 이하, 0.05mg/l 이하, 98년 0.05mg/l 이하, 0.015mg/l 이하로 각각 분포하는 것에 비해 최고 0.185mg/l 정도의 높은 농도차를 보이고 있으며 그 밖의 조사기간과도 비교적 높은 농도차를 보이고 있었다. TP의 경우 98년 6월 정점 1을 중심으로 0.010mg/l 이상의 농도를 보이고 있어 같은 월의 99년 0.002mg/l과 2000년 0.007mg/l에 비해 높게 나타나고 있다. 99년 7월과 8월은 연안에서 0.005mg/l 이하, 0.007mg/l 이상 농도분포를 보이고 있으며 이는 97년 7월과 8월 각각 0.002mg/l 이하, 0.004mg/l의 분포와 98년의 0.007mg/l, 0.002mg/l의 농도분포와 상대적으로 높긴 하나 해역수질기준과 비교해 보면 모두 1등급 수질을 보여 강수량에 비해 낮은 농도분포를 보이고 있었다. TIN의 분포를 살펴보면 강수량에 따라 그 농도분포가 상당히 증가하는 반면 TP의 경우는 큰 차이를 보이지 않아 육상으로부터 유입되는 담수에는 질소성분이 인산성분에 비해 다량 함유된 듯하며 이에 대한 정확한 결과를 규명하기 위해서는 육상유입수에 대한 좀 더 세밀한 조사가 필요하다.

(First year from July 1997 to June 1998)

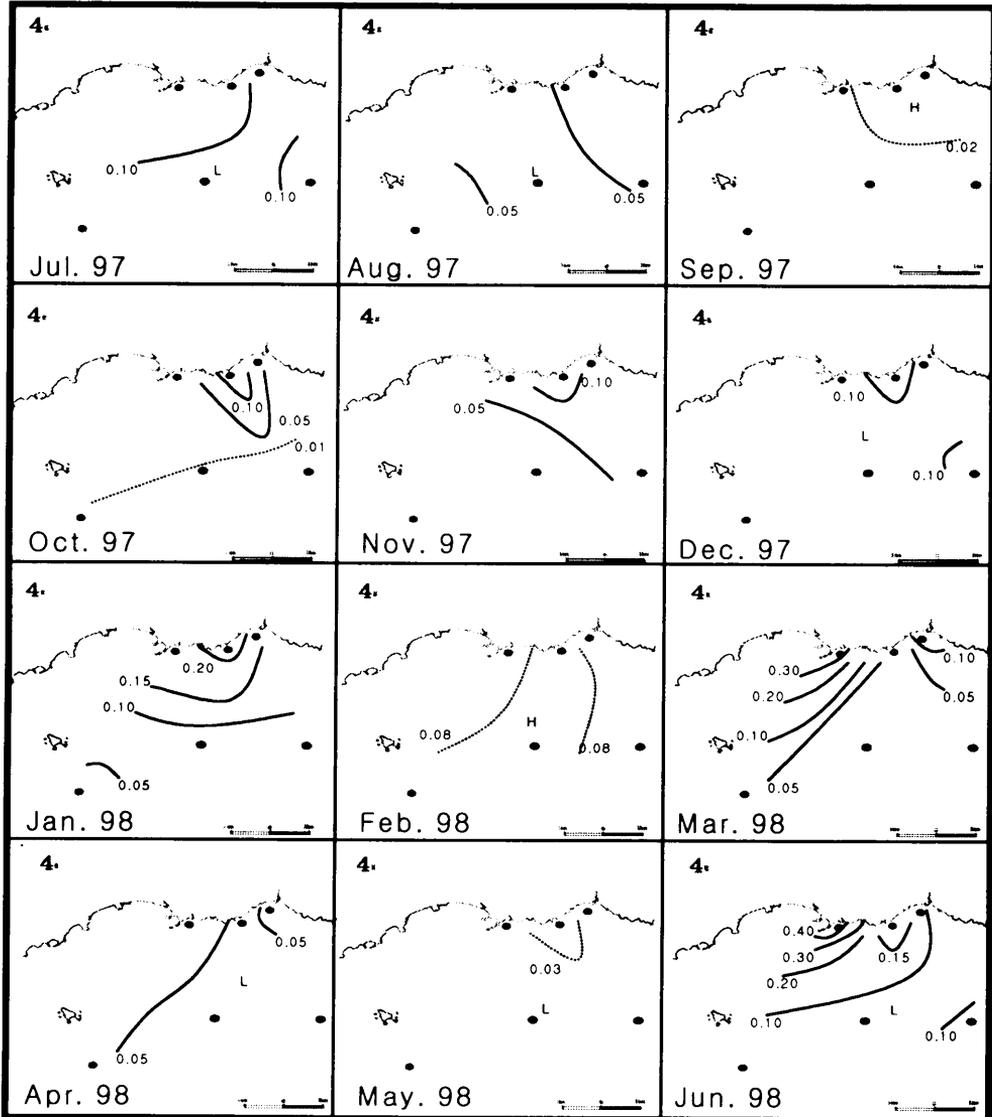
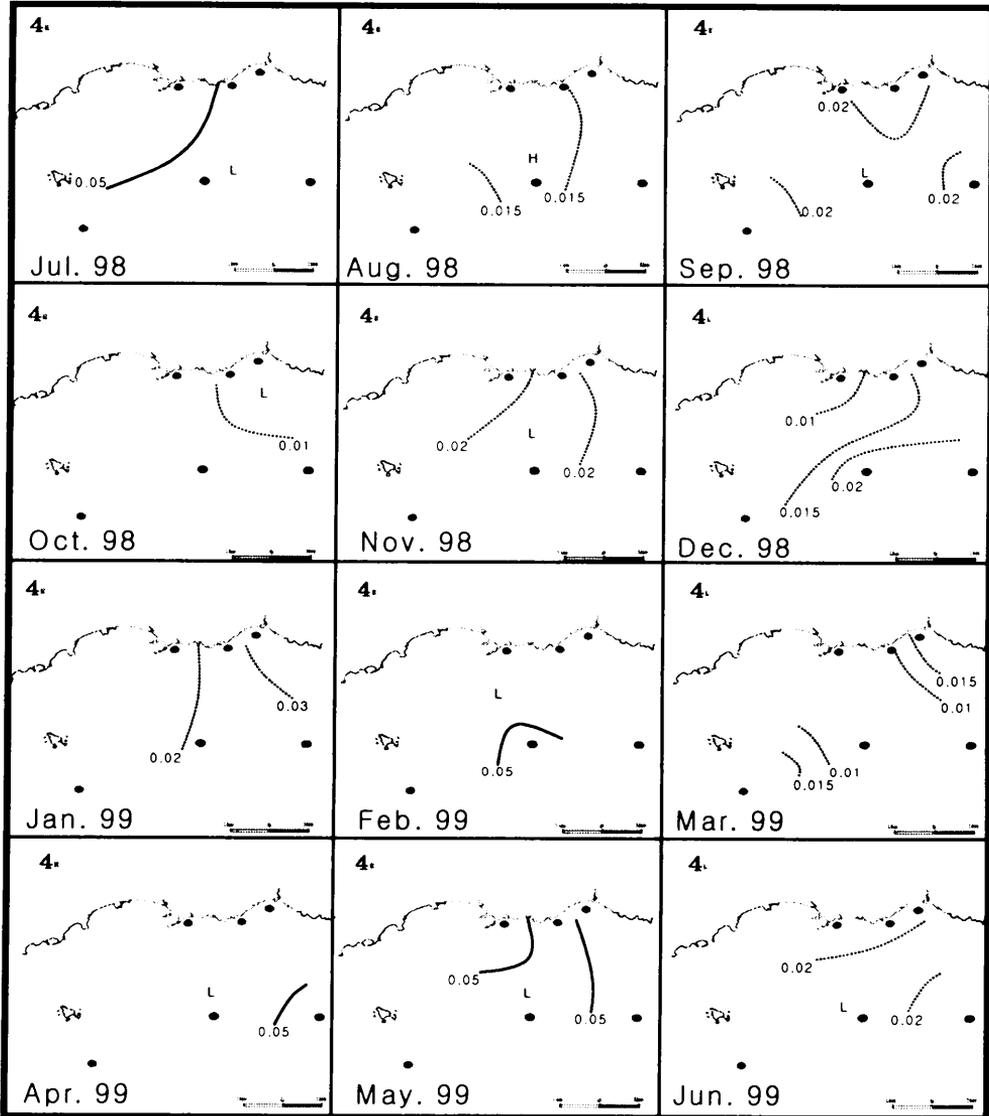


Fig. 17. Horizontal distribution of total inorganic nitrogen (mg/l) in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

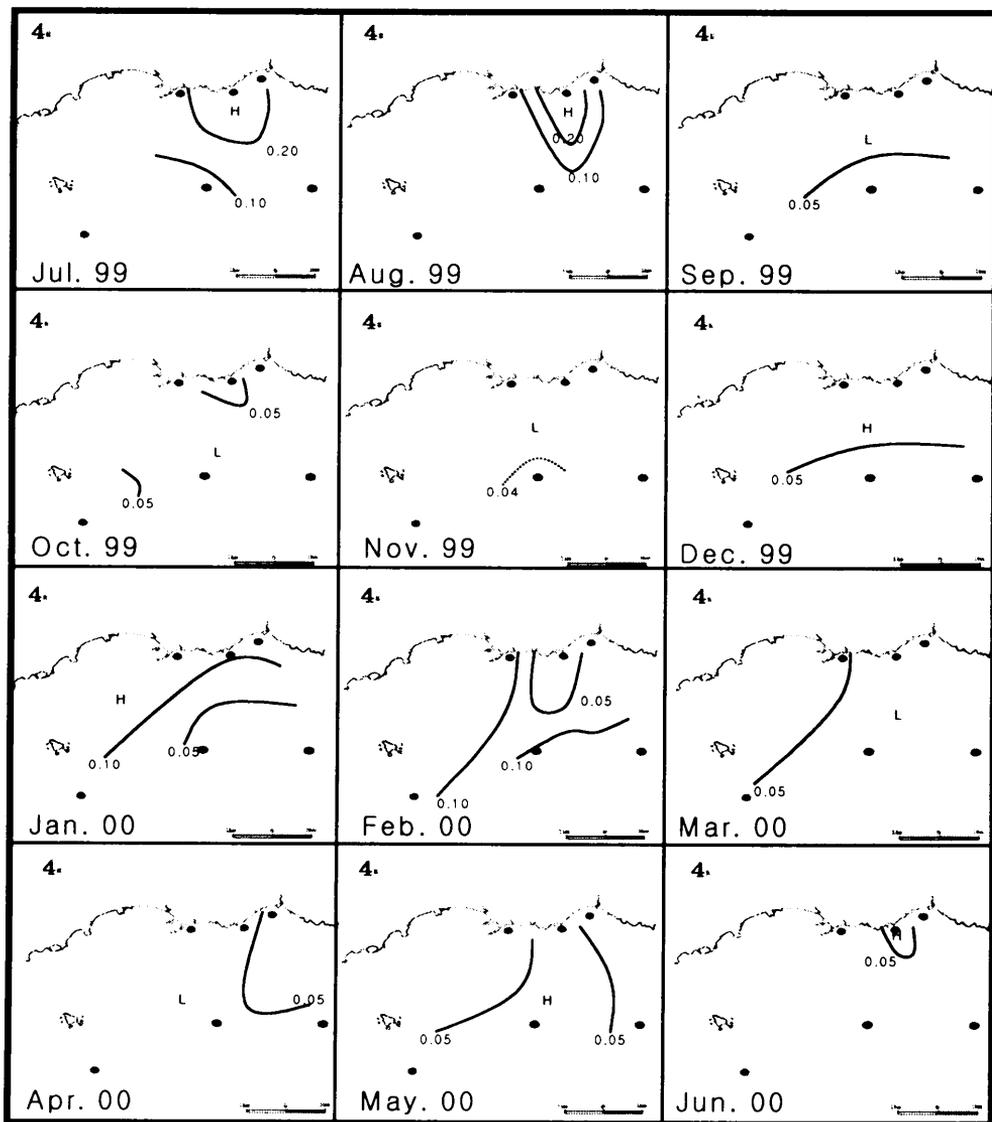
(contiued)

(Second year from July 1998 to June 1999)



(continued)

(Third year from July 1999 to June 2000)



(First year from July 1997 to June 1998)

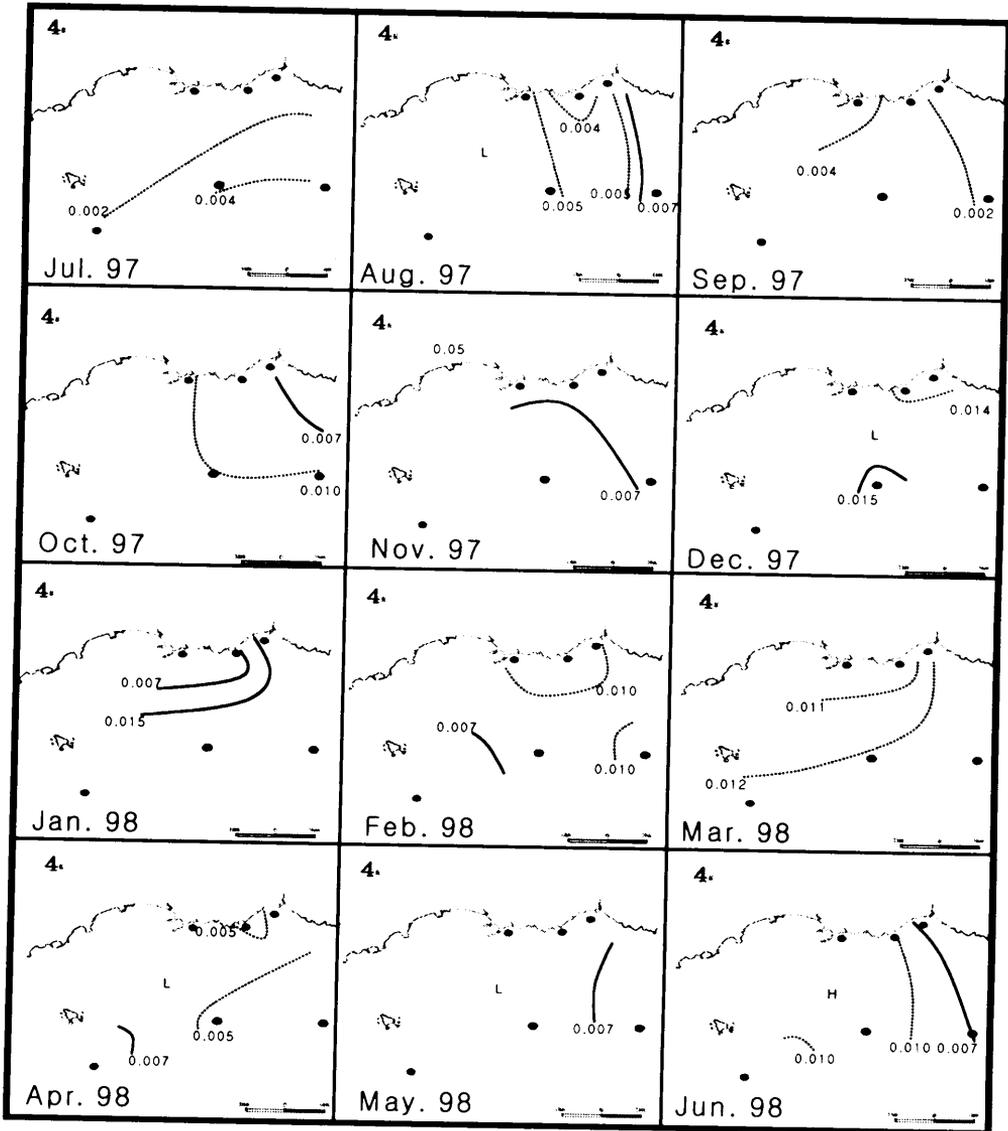
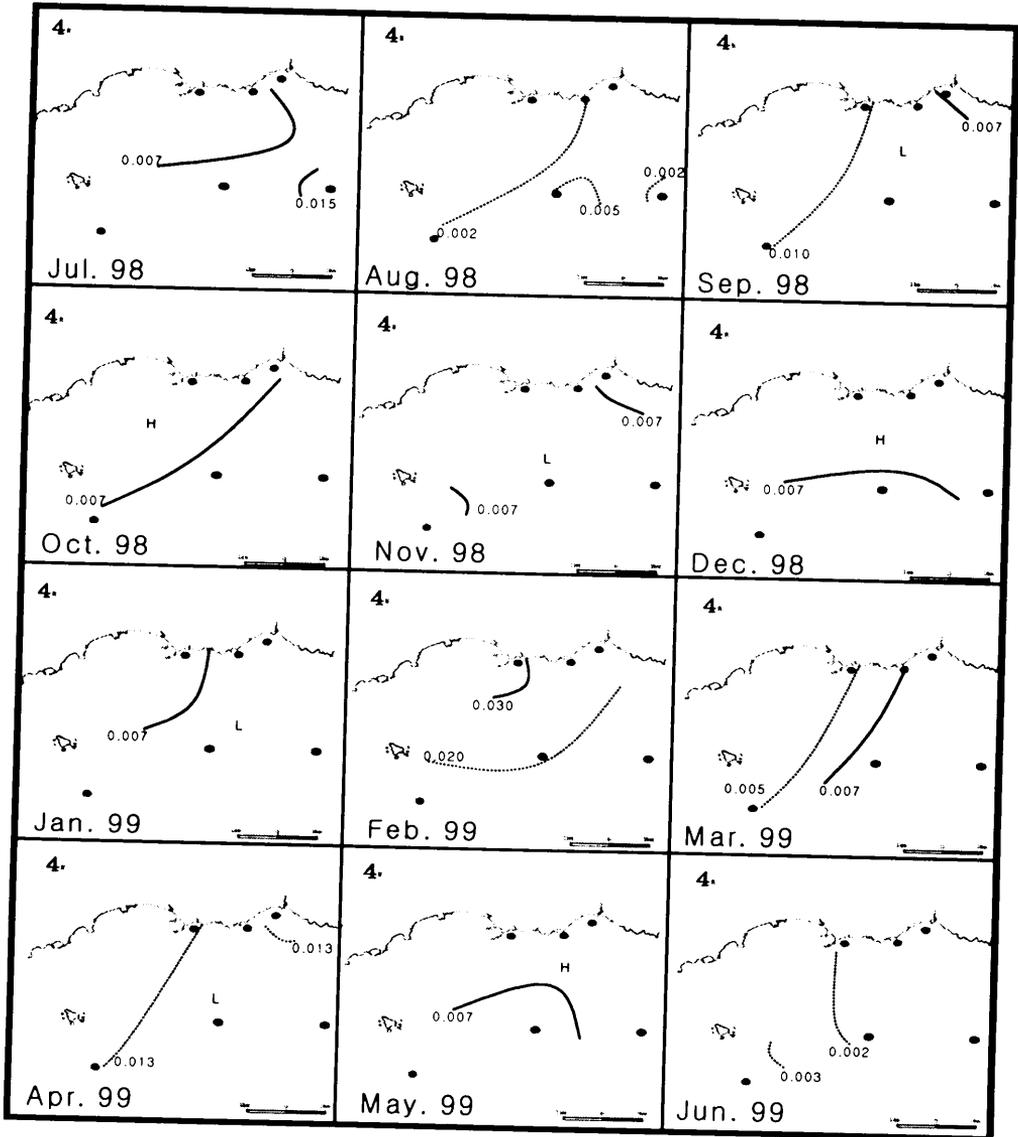


Fig. 18. Horizontal distribution of total phosphorus (mg/ℓ) in the coastal sea of Chung-Moon from July 1997 to June 2000.

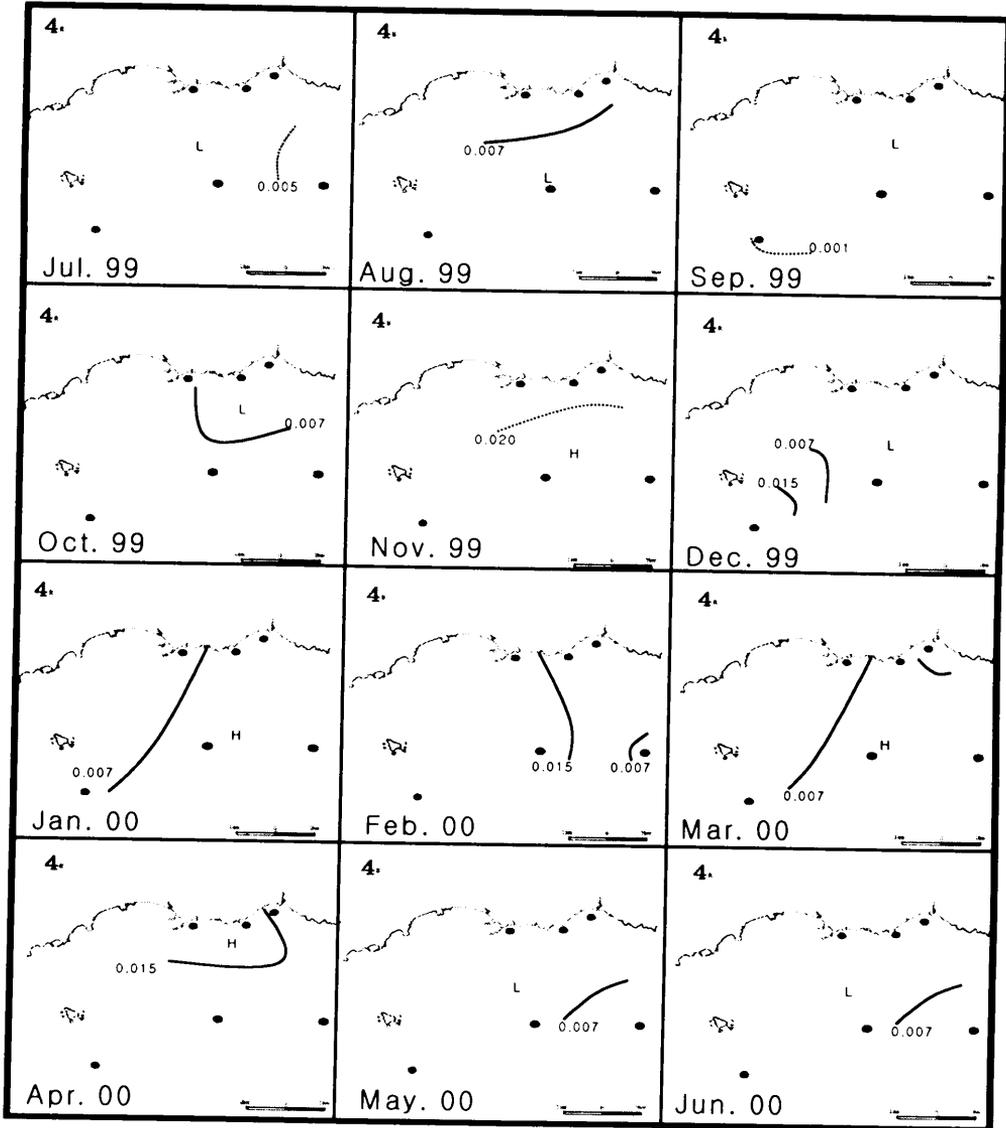
(continued)

(Second year from July 1998 to June 1999)



(continued)

(Third year from July 1999 to June 2000)



IV. 요 약

중문 연안해역의 수질의 특성을 규명하기 위하여 정점 1인 화순화력발전소부터 정점 3인 중문해수욕장까지 총 6개의 정점을 선정하여 1997년 7월부터 2000년 6월까지 3개년에 걸쳐 매월 관측을 실시하여 그 결과를 고찰하였다.

해수의 물리적 특성을 위한 수온과 염분은 각각 13.8~27.0℃, 27.4~34.7%의 분포를 나타내었다. 제주도 주변에는 대마난류수의 영향으로 15℃이상, 34%이상의 수괴가 연중 존재하고 있으며 하계인 6월부터 9월까지 표층에는 양자강 연안수의 영향을 받아 저염수가 출현하여 20~30m 수심에서 수온약층 및 염분약층을 형성하고 있었다. 저염수는 연안까지 영향을 주며 연안역의 경우 수심이 10m 안팎으로 조류와 파랑이 강하게 작용하여 성층이 형성되지 않았다.

그리고, 외양역에서는 수온약층과 염분약층 이심에 저온고염의 수괴가 하계에도 나타나고 있었다. 이 수괴는 조사해역의 수심이 깊지 않은 점을 감안한다면 제주주변해역에 연중 영향을 주는 고온고염의 대마난류수와 제주주변해역에 하계에 영향을 주는 황해저층냉수의 혼합수로 판단된다.

화학적 특성은 용존산소, 화학적 산소요구량, 영양염류 등을 분석한 결과를 고찰하였다. 용존산소는 2.73~10.5mg/l의 분포이며 1998년과 1999년 5월과 6월을 제외하면 6mg/l 이상의 높은 용존산소 포화량을 보이고 하계에서 동계로 갈수록 용존산소 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 화학적 산소요구량은 0.10~4.29mg/l의 범위를 보이며 하계에 비교적 높은 경향을 나타내고 있었다. 영양염류인 TIN과 TP는 각각 0.007~0.350mg/l, ND~0.550mg/l의 분포범위를 나타내며 TIN은 하계에 높은 농도를 보이는 반면 TP는 낮게 나타나고 있다. 이로 인해 하계 일부 기간동안 N/P ratio가 16이상을 보여 인산염이 제한인자였으며 그밖의 기간동안은 N/P ratio가 16이하로 질산염이 제한인자였다.

조사기간동안 Chlorophyll a는 계절적 변화가 뚜렷이 나타나지 않았고, 4월과 5월에 증가하는 특성을 보였다. 그러나, 연·외양의 차이가 거의 없어 식물플랑크톤의 생육환경은 조사해역 전체에 걸쳐 분포하는 등 중문연안해역은 식물플랑크톤 성장에 좋은 조건을 갖고 있는 것으로 판단된다.

육상유입수의 영향 정도를 알아보기 위한 중문지역의 강수량은 월평균 190mm 정도였으며 특히 매년 6월부터 9월까지 (296~918mm) 많은 강수량을 보였고 이 기간동안 연안표층의 수온은 7월이 3.0℃, 8월이 0.5℃정도 낮았으며

염분은 0.3~0.8‰ 정도 낮게 분포하였다. 영양염류 중 TIN은 이 시기에 높은 농도(0.1~0.4mg/l)를 보이고 있으며 TP 역시 비교적 높은 농도를 나타내고 있어 하계 강우에 의한 육상수의 유입이 조사해역의 저염화를 가중시키고 있었다.

참고문헌

- 제주도, 2000. 6., 제주도 지하수보전·관리계획보고서, pp 170~186
- 고유봉, 노홍길, 방익찬, 오봉철, 윤석훈, 윤정수, 이준백, 최영찬, 1998, 濟州의 바다, 사단법인 제주도 수산해양개발협의회, pp. 11~94.
- 제주기상청, 2000, 미발표자료.
- 김광수·최영찬, 2000. 생태계 모델을 이용한 제주도 남부연안 해역의 환경용량 산정. 해양해양환경공학회, 3(1); pp.
- 김인옥, 1986. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교, 석사학위논문.
- 문영석, 1990. 제주도 함덕북방해역에서의 해수의 화학적 특성, 제주대학교, 석사학위논문.
- 박길순, 1982. 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구. 한국수산학회지, 15: pp. 255~262.
- 방익찬·노홍길·이재학, 1995. 제주도 북서해역의 해수분포의 계절변화와 여름철의 황해난류. 제주대 해양연구소 연구논문집, 19: pp. 49~66.
- 양동범, 1990. 한국 연근해의 기초생산. 한국수산학회 추계심포지엄, pp. 1~26.
- 이준백·최영찬·고유봉, 1989. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10(1): 62~67.
- 이준백·좌종현·고유봉·최영찬, 1993. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구 (II), 성산주변해역의 식물플랑크톤 군집생태학적 기초생산력. 한국지구과학회지, 14(4): pp. 458~466.
- 조인숙, 1998, 하계 제주도 동·서해역 해수 특성의 일부변화, 제주대학교, 석사학위논문.
- 최영찬·고유봉·이준백, 1989. 제주도 해안선 주변의 해수특성 (1987년 6월~1988년 4월). 한국지구과학회지, 10(1): pp. 54~61.
- 최영찬·문영석, 1991. 제주도 남방연안역의 4월달 해수특성. 제주대 해양연보, 15: pp.73~80.
- 최영찬·문영석·고유봉·이준백, 1991. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구-제주도 북방함덕해역의 화학적 특성-. 한국지구과학회지, 12(1): pp. 38~45.

- 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1992. 제주도 남부연안역의 생물생태학적 기초연구 (I) 서귀포주변 연안역의 해수특성. 한국지구과학회지, 13(3): pp. 327~ 335.
- 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1993. 제주도 동부 연안역의 생물생태학적 기초연구 (I) 우도주변 연안역의 해수특성. 한국지구과학회지, 14(1): pp. 450~457.
- 최영찬, 이준백, 고유봉, 1994, 제주도 서부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I) 고산주변 연안역의 해수특성. 제주대. 해양연구보고. 18, pp 39~48.
- 최영찬, 1996. 제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동. 제주대 해양연보. 20: pp. 31~39.
- 홍창수 · 방익찬, 1998. 제주도 중문 연안역의 물리해양환경의 년변화. 제주대 해양연구논문집, 22: pp. 57~67.
- 현경훈 · 방익찬, 1998. 제주도 주변해역의 여름철 이상저염수에 관한 연구. 제주대 해양연구논문집, 22: pp. 69~78.
- 日本分析化學會 北洋道支部, 1985. 水の分析, pp. 198 ~168.
- 日本氣象廳篇, 1979, 海洋觀測指針. pp. 155~168.
- APHA,AWWA,APCF, 1989, Standard methods for examination of water and wastewater, 16th ed. pp.417~463.
- Joh,H., 1986. Studies on the mechanism of entrophication and the effect of it on fisheries production in Osaka Bay. Bulletin of the Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station, 7: pp. 174
- Pang I.C., H.K. Rho and T.H.Kim, 1992. Seasonal variation of water mass distribution and their cause in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. Bull. Kor. Fish. Soc, 25(2): pp. 151~163.
- Redfield. A.C., B.Ketchum and F.A. Richards, 1963. The influence of organism on the composition of sea water. In 'Hill. M.N.(ed). The Sea. Vol. 2. the composition of seawater comparative oceanography. John Wiley & Son, New York, pp 26~77.
- Raymont J.E.G., 1980. Plankton and productivity in the oceans 2nd ed. Vol. 1. Pergamon Press., pp. 1~489.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater Aalysis, Bul. Fish. Res. Bd. Can., 167
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natrual waters by the phenol hypochlorite method. Limmol. Oceanogr., 14: pp. 779~801.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 제자를 격려해주시며 바쁘신 중에도 당신의 시간을 쪼개어 정성으로 지도하여 주신 최영찬 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 본 논문을 심사하여 주신 이준백 교수님, 방익찬 교수님께 감사 드리며, 항상 따뜻하게 격려하여 주신 윤정수 교수님, 윤석훈 교수님께도 감사를 드립니다.

항상 옆에서 때로는 친구처럼 친형처럼 많은 도움을 주신 좌종현 선생님, 강경표 선생님 그리고 고윤영 선생님께 감사드리며 많은 조언과 격려를 아끼지 않으셨던 해양화학연구실 선배님께 감사드립니다. 그리고 채수를 나가서는 멀미와 싸우고 실험실에서는 졸음과 씨름하며 밤새 실험을 같이한 훈필, 문규, 동현, 경연, 명일, 수강, 재홍, 창환 등 해양화학연구실 여러 동기·후배들에게도 감사드립니다. 또한 함께 관측 나갔던 플랑크톤 연구실 여러분께도 감사드립니다.

마지막으로 지금까지 사랑과 정성으로 뒷바라지하여 주신 부모님과 매형 그리고 누님께 사랑의 마음을 전합니다.