

제주도 중문관광단지 연안해역 수질의 계절변동

장승민⁽¹⁾, 최영찬⁽²⁾

Seasonal Variations of Water Quality in the Coastal Sea of Jungmun Resort Complex in Jeju Island

by

Seung-Min Jang⁽¹⁾ and Young-Chan Choi⁽²⁾

Abstract

This study has been carried out to find the water quality in coastal sea of Jungmun area, southern Jeju Island. In-situ observations and water sampling had been made every month from July 1997 to June 2000. The distributions of water temperature and salinity over the study area have been 13.8~27.0°C and 30.0~34.7‰, respectively. Salinity is showed low salinity from June to September (rainy season) because of rain. Tsushima Warm Waters (TWW) as $\geq 15^{\circ}\text{C}$ and $\geq 34\text{‰}$ influence the adjacent sea around Jeju Island all year round. Yangtse Coastal Waters (YCW) influence the surface layer around Jeju from June to September and so strong stratification (thermocline, halocline) resulted at the depth of between 20~30m at outer-sea. However the stratification does not happen even in summer at inner-sea, which seem to be caused due to vertical mixing by wind, waves and tides. A water mass of high value of water temperature and salinity (respectively 14.1~17.7°C, 33.9~34.1‰) stayed at the lower layer in outer-sea all the year round. It is probably formed by mixing between TWW and YSBCW(Yellow Sea Bottom Cold Water). The mean value of DO was the lowest in summer and the highest in winter. COD and TIN were the highest in summer and the lowest in winter. However, TP showed the 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 other seasons. The phosphate would be a limiting factor in the growth of phytoplankton in summer. Nitrate would be a limiting factor in other seasons. Distribution of chlorophyll a did not show any seasonal change in the study period, but especially increased during April and May in the first year(1998) and the second year(1999) all over the study area, which suggested that phytoplankton inhabitation distributed widely in the study area. The space averaged values were the highest for TIN in rainy season and lower for TP in rainy season than in other seasons. It suggests that river runoff influences the inner-sea.

Keywords: TWW(대마난류), YCW(양쯔강 연안수), YSBCW(황해저층냉수), TIN(총무기질소), TP(총인)

(1) 제주지방기상청, Jeju Meteorological Agency

(2) 제주대학교, Department of Oceanography of Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

1. 서 론

수심 200m이내의 육지에 가까운 수역을 대륙붕 수역이라 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, 공단등 경제활동의 중심지로서 뿐만 아니라 관광과 레저 활동이 이루어지는 휴양지로서의 기능도 가지고 있다. 이러한 연안역은 물리·화학적 변화가 매우 큰 해역이며 육상으로부터 유기물, 영양염등 물질이 여러 경로를 통하여 유입되기 때문에 수질환경의 변화가 크고 유지·관리가 어렵다.

따라서, 미국에서는 1992년 연안역 관리법(US Coastal Zone Management Act)이 지정되어, 육상과 바다를 하나로 통합하는 연안역의 관리 범위가 설정 되었고, 이용과 보전을 종합적으로 계획하고 실행하는 제도적 장치를 마련하게 되었다. 1992년 유엔환경개발회의에서 연안역 통합관리와 관련하여 각 연안국에게 연안역 통합관리 정책의 수립 및 법제도 정비, 연안역 이용 실태 파악, 주요연안역 관리사안에 대한 대책 마련, 연안역 관리계획 및 실행시 사전예방적 대책 수립, 연안 자원 및 환경에 대한 적절한 경제적 평가방법 사용, 연안역 관리계획 수립 및 정책 결정과정에 이해 당사자가 참여 할 수 있는 제도적 정치 마련 등 권고하고 있다. 이에 각 연안국은 의제 21의 권고사항을 수용하기 위해 법을 제정하거나 연안역 관리를 위한 노력을 벌이고 있다. 우리나라는 1996년 2월 해양 개발기본계획을 수립하여 연안역 관리법의 제정, 연안역 개발·이용·보전을 위한 계획을 수립하는 등 연안역에 대한 중요성을 인식하고 있다.

본 연구해역인 중문연안역은 국제적 관광도시로 성장하고 있는 제주도의 대표적인 관광지로 중문관광단지가 인접하고 있으며, 또한 화순화력발전소와 서귀포시 서부하수 종말처리장이 해안선 주변에 위치하고 있다. 그리고 해상국립공원의 추진 등 주변지역 및 연안해역의 개발에 따른 생태계의 변화가 예상되는 해역이다. 이러한 해역에 대한 연구는 홍과 방[1998]에 의해 물리

해양 환경의 연 변화가 조사되었으며, 김과 최[2000]가 연구한 모델링을 통한 환경용량 산정 등이 있을 뿐이다. 그 밖의 제주도 주변 연안역의 연구는 해안선 주변역(최 등[1989], 이 등[1989]), 동부역(최 등[1993], 이 등[1993]), 북부역(최 등[1991]), 그리고 남부해역의 해양환경연구는 최 등[1992]과 최과 문[1991]에 의해 해수 특성과 생물 종조성 및 일차 생산성에 관한 연구가 이루어졌다.

제주도 남부 해역을 포함한 제주도 주변 해역은 고온·고염의 대마 난류의 지류 영향과 중국 대륙 연안수, 강우시 육상수의 영향을 받는 복잡한 해황 특성을 갖는 지역이며(최 등[1991], 홍과 방[1998]), 그 밖에 황해 저층 냉수와 이외에 연안에서 형성되는 연안수들에 의해 영향을 받고 있다. (Pang et al.[1992], 방 등[1995]). 이와 같이 본 연구 대상 해역에서는 단편적인 물리적 특성만이 연구가 이루어졌을 뿐이다.

그래서 본 연구는 화학해양학적인 특성과 연 변화를 연안부분과 외양부분으로 구분하여 규명하고자 하며 또한 육상 유입수에 따른 영향을 알아보기 위해 조사지역의 월 강수량(제주 기상청)과 해역으로 유입하는 하천수에 따른 화학해양환경의 변화를 비교·조사하여 앞으로 시행될 연안역 통합관리 방안에 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 지역 개괄

연구해역 육지부에는 세계적인 중문 관광단지에 특급에서 일반 여관까지 숙박업소는 물론 여미지등 관광코스 및 골프장이 위치하고 있으며 연안해역은 하수종말처리장과 중문 천제연폭포 등에서 유출되고 있는 육상수가 년중 해역에 유입되고 있다.

연구해역으로 유입되고 있는 육상수는 1997년 7월부터 2000년 6월까지 화순천에서 8,640~12,100 m³/day, 황개천에서 1,720~12,960 m³/day, 색달천에서 860~11,200 m³/day, 중문천에서 19,000~23,300 m³/day로 일평균 하천수유입량은 32,000~57,000 m³/day이며 계절별 일별 변화량은 2배 이상의 차이를 보여주고 있다.

제주도 중문관광단지 연안해양 수질의 계절변동

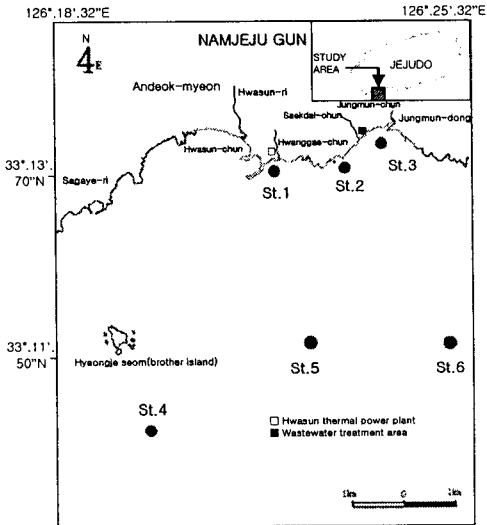


Fig. 1 Sampling station in the study area of southern Jeju Island.

2.2 시료채취

중문 연안해양 수질의 특성을 조사하기 위하여 Fig. 1에서처럼 정점 1지점인 화순화력발전소부터 정점 3인 중문해수욕장까지 총 6개 정점을 선정하여 1997년 7월부터 2000년 6월까지 3개년에 걸쳐 매월 관측을 실시하였다.

1차 년도는 1997년 7월부터 1998년 6월까지이고

2차 년도는 1998년 7월부터 1999년 6월까지이며, 마지막 3차 년도는 1999년 7월부터 2000년 6월까지이다. 채수한 수층은 0, 10, 20, 30, 50, 75m로 구분하였으며 각 수층의 해수를 반돈(용량 약 5ℓ) 채수기를 이용하여 채수하였다.

2.3 수질분석

수질분석은 해양환경공정시험법 및 그에 준하는 시험방법을 행하였다.

수온 및 염분은 현장에서 CTD(SBE19)를 이용하여 측정하였다. 용존산소는 현장에서 산소병에 고정하여 실험실로 옮긴 후 바로 Winkler 아자이드화 방법으로 측정하였다.

화학적 산소요구량(COD)은 알카리성과 망간산칼륨법으로, 암모니아성 질소(NH₄⁺N), 아질산성 질소(NO₂⁻N), 질산성 질소(NO₃⁻N)는 각각 Phenol Hypochlorite Method, NED Method, Cadmium Reduction Method에 준하여 분석하였으며, 인산염인(PO₄³⁻P)은 Ascorbic Acid Method에 준하여 분석을 행하였다. 총무기질소(TIN)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합으로 나타내었다. Chlorophyll a (염록소 a)는 시수를 GF/C로 여과하여 90% Acetone 10ml를 첨가하고 20시간 암냉소에 보관한 후 3,000 ~ 4,000rpm에서 15분간 원심분리 시켜서 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서 흡광도를 측정한 값을 SCOR/UNESCO 식으로 계산하였다(Strickland and Parsons[1972]).

Table 1 Range and mean values of water temperature and salinity at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Jungmun 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 ~ 27.0	18.9
	Mean	19.5	18.8	19.7	18.4	19.0	17.8		
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 ~ 34.7	33.6
	Mean	33.5	33.8	33.5	33.9	33.3	33.7		

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

1st year ; 1997. 7~1998. 6, 2nd year ; 1998. 7~1999. 6, 3rd year ; 1999. 7~2000. 6

3. 결과 및 고찰

1997년 7월부터 2000년 6월까지 3개년에 걸쳐 매월 제주도 서남부 중문 연안역의 6개 정점에서 채수하여 수온, 염분, 용존산소, 화학적 산소 요구량, 영양염류, 식물색소 등을 분석하였고 그 결과를 Table 1에 나타내었으며 이를 토대로 본 조사 해역의 화학 해양학적 특성과 육상 유입수에 대한 영향을 파악하고 성분들 사이의 상호 관련성을 고찰하였다.

3.1 해수의 물리적 특성

수온과 염분을 내해(정점 1, 2, 3)와 외해(정점 4, 5, 6)로 구분하였으며 3개년의 각 년차별로 변화를 비교·조사하였다. 조사 해역의 수온(Table 1)은 범위가 13.8~27.0°C이고 평균은 18.9°C이다. 연별 수온의 변화 양상을 살펴보면(Fig. 2) 외양에서 7월과 8월에 20~30m 수심에서 성층이 형성되어 성층 이천은 22.4~25.8°C의 분포를 나타내고 성층 이심에는 15.2~17.4°C의 분포를 나타내고 있었다. 9월부터 성층이 약해지기 시작하

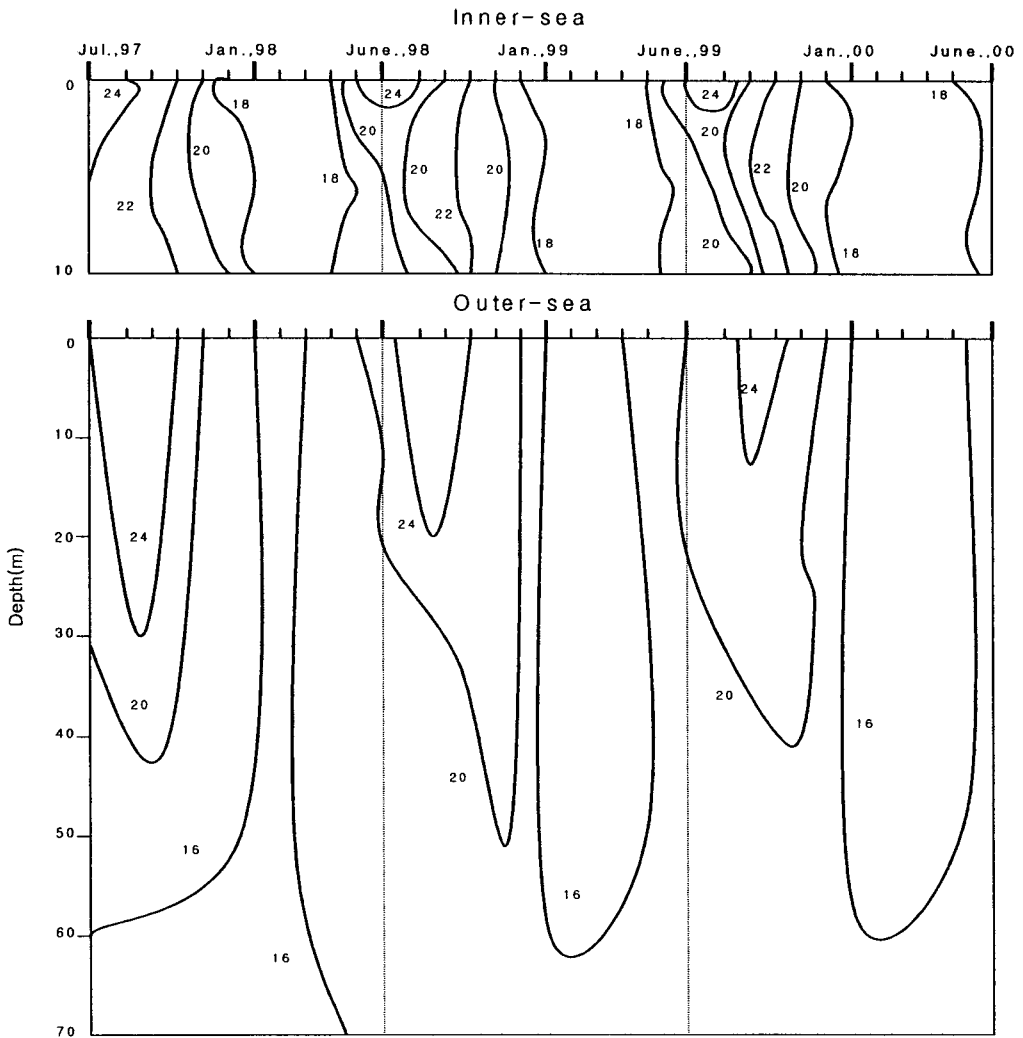


Fig. 2 Temporal Vertical distribution of water temperature(°C) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

며 11월부터 상하층이 혼합되고 있다. 그러나 연안의 경우 수심이 10m 내외로 3차년인 99년 8월에 표층과 저층 간의 수온은 1.9℃(24.5~22.6℃)의 차이를 보였을 뿐 거의 성층이 형성되지 않고 있다. 홍과 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℃정도

로 분포하다 12월부터 다시 하강하고 있었다.

염분의 각 차년도별 범위와 평균(Table 1)은 1, 2, 3차년 각각 31.8~34.7%(33.7%), 31.2~34.5%(33.7%), 27.4~34.6%(33.5%)로 나타나며 각 차년변화 특성을 살펴보면(Fig. 3) 1차년의 7월과 8월에 30m 이천에서 31.8~32.6%의 저염수가 나타나고 있으며, 따라서 30m 수심에 염분 약층이 형성되고 염분 약층 이심에는 33.2~34.2%의 염분을 보이고 있어 성층 이천에 비해 상대적으로 높은 염분농도를 나타내었다. 이러한 성층은

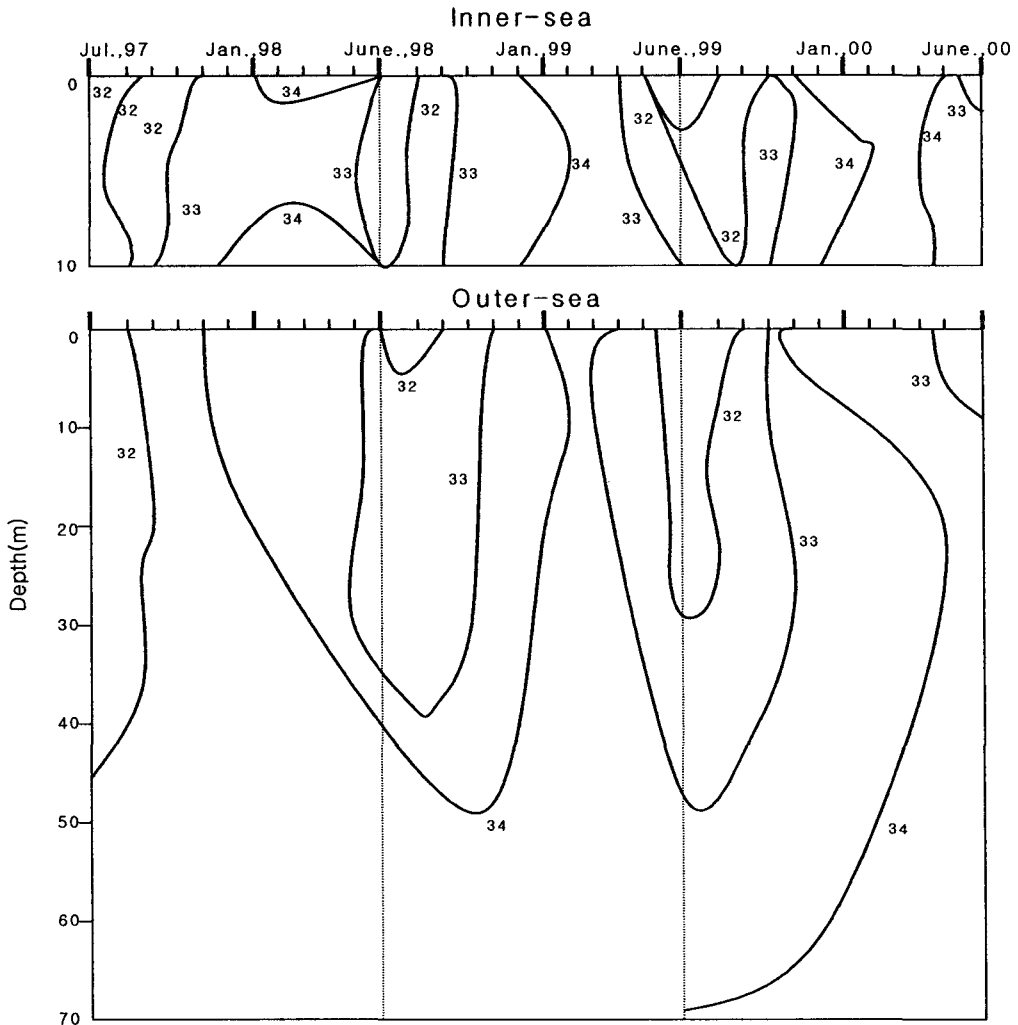


Fig. 3 Temporal Vertical distribution of salinity(‰) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

9월부터 33%이상의 염분 농도를 보이면서 소멸한다. 연안·외양에서 97년 11월의 34.0%의 농도가 98년 5월까지 계속 유지되며 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 염분농도 차가 있고 10~30m 사이에 염분 약층이 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 낮아지기 시작하여 다음해인 99년 5월(34.3~34.5%)까지 유지되고 있다. 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 20~30m 사이에 형성되고 있으며 성층이심($\leq 30m$)에는 34%이상의 수괴가 연중 영향을 주고 있었다.

여름철에는 양자강 하구에서 유입되는 저염의 양자강 연안수와 저층에서 황해 저층냉수의 영향을 받는다는 홍과 방[1998]의 연구 결과와 최등[1994]의 인접지역인 서부 연안역인 고산주변 해안역의 해수특성 연구, 김[1986]의 여름철 중국 대륙 연안수가 제주도 서쪽을 우회하여 우리나라 남해안까지 그 세력을 확장에 관한 보고 등 제주도 주변 해역에 영향을 주는 수괴에 대한 연구와 유사한 결과를 보여 고온고염($15^{\circ}C \leq, 34\% \leq$)의 대마난류가 조사해역인 중문연안역 전체에 걸쳐 연중 분포하고 있으며, 하계인 6월

부터 9월까지 표층에는 연안수의 영향을 받아 저염수가 출현하여 20~30m 수심에 염분 약층과 수온 약층이 형성되고 있다. 저염수는 연안역에서는 파랑, 조석 등의 영향으로 성층이 형성되지 않았다. 또 외양역에서는 수온약층과 염분약층이심에 저온고염의 수괴가 하계에도 나타나고 있었으며 이를 현과 방[1998]은 제주도 서부해역의 저층에 나타난 34%이상의 고염의 근원을 쿠로시오에서 오는 것으로 보고하고 있으나 홍과 방[1998]은 동일 조사 해역에서 황해 저층냉수의 영향이라 보고하고 있다. 따라서 하계에 본 연구 해역의 저층에 나타난 수괴는 황해저층냉수의 특성인 수온 $10^{\circ}C$ 이하, 염분 33.0%과 차이는 있으나 조사 해역의 수심이 깊지 않은 점을 감안한다면 제주도 주변에 연중 영향을 주는 고온고염 대마난류수와 저온 고염의 황해 저층냉수의 혼합수로 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 $3.0^{\circ}C$, 8월이 $0.5^{\circ}C$ 정도 낮았으며 염분은 0.3~0.8%정도 낮게 분포되고 있어 하계 강수에 의한 육상수의 유입이 조사해역의 저염화를 가중시키고 있었다.

3.2 화학적 환경요인의 시·공간적 분포

3.2.1 용존산소(DO)

해역의 용존산소(DO)의 분포(Table 2)는 3개년 평균 7.59mg/l를 나타냈으며 이는 Joh,H.[1986]

Table 2 Range and mean value of dissolved oxygen and chemical oxygen demand at the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

		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 ~10.5	7.59
	Mean	8.39	7.94	7.21	6.87	7.69	7.45		
	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	
Mean	1.14	1.24	1.46	1.74	1.30	1.33			

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

1st year: 1997. 7-1998. 6, 2nd year: 1998. 7-199. 6, 3rd year: 1999. 7-2000. 6

제주도 중문관광단지 연안해역 수질의 계절변동

이 제안한 저서 생물에 대한 용존산소 기준 4.3 mg/l 보다는 높게 나타나 본 해역에서의 용존산소(Inner 7.21~8.39mg/l, Outer 6.87~7.94mg/l) 농도 분포는 해양생물의 성장에 양호한 환경으로 판단된다.

97년 7월부터 98년 6월까지의 7월을 제외하면 동계인 12월부터 이듬해 5월까지 표층과 저층에 걸쳐 높은 용존산소 농도(Inner 6.48~10.5mg/l, Outer 6.16~9.66mg/l)을 보이고 있다.

2차년('98. 7~'99. 6)에는 상하층간의 용존산소

가 9월에 가장 큰 변동폭(1.31mg/l)을 보이며 12월까지 상하층의 차이가 가장 작은 변동폭(0.81mg/l)을 보인다. 그러나 11월과 12월은 표층만이 낮게 나타나고 나머지 수심에서는 혼합이 이루어지고 있었다. 그리고 추계부터 지속되는 용존산소의 표·저층간의 혼합은 4월까지 유지되며 5월부터 표·저층간의 농도차를 나타나기 시작하였다.

3차년('99. 7~2000. 6)에는 표·저층간의 차이는 9월(0.83mg/l)까지 뚜렷이 나타나고 있으나

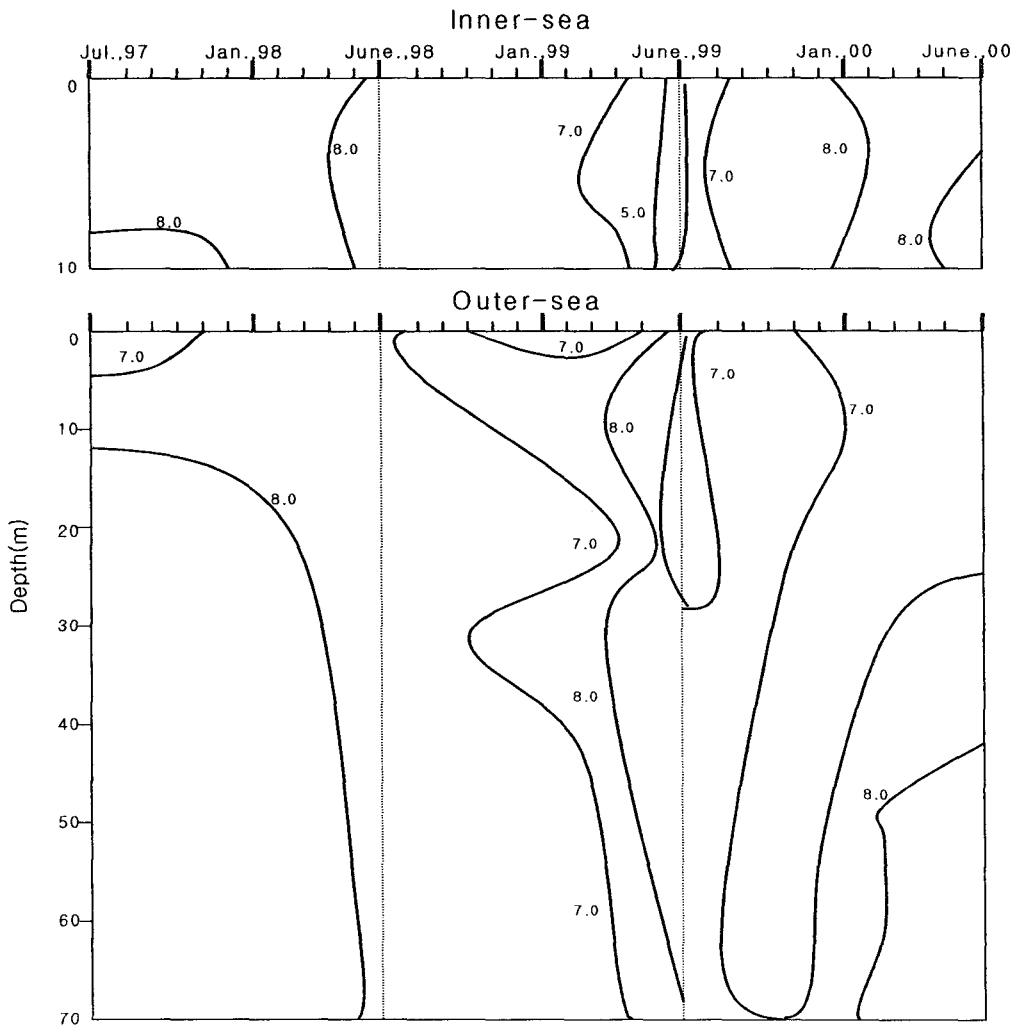


Fig. 4 Temporal Vertical distribution of dissolved oxygen (DO ; mg/l) at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

10월(0.44mg/l)부터는 거의 차이가 나지 않는 등 수심 75m를 제외하고는 표층과도 혼합이 잘 이루어지고 있다.

이와 같은 결과로 보면 용존산소의 계절적인 변화는 하계에서 동계로 갈수록 증가하는 경향을 보이는데, 이는 해양에서 용존산소의 일반적인 변화 특성으로써 동계에는 낮은 수온과 바람에 의해 용존산소포화량 증가가 일어나고 하계에는 유기물이 다른 계절에 비해 많이 산화되고, 생물체에 의해 용존산소의 소비가 증가되기 때문이라고 사료된다.

3.2.2 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량(COD)은 각 연차별로 각각 0.10~2.83mg/l, 0.40~4.29mg/l, 0.40~3.40mg/l의 범위(Table 2)를 보였으며 2차년인 98년 7월~10월(1.94~4.29mg/l)과 3차년인 2000년 5월

과 6월(1.47~3.00mg/l)이 비교적 높은 농도를 보이고 그 밖의 조사기간에는 1mg/l 전후의 농도를 보여 해역 수질등급 I 등급 정도의 수준으로 조사해역은 양호한 수준이었다.

내해와 외해간의 COD 농도차가 거의 나지 않았으며 부분적으로는 외해가 높게 나타나고 있었다. 연안역의 경우 일반적으로 COD는 육상수의 유입에 따라 증가하며 조사 해역은 강수량이 많은 하계에 외해가 내해보다 높은 기간도 있어 육상으로부터의 과도한 유기물의 유입이 없으며 연안의 풍부한 용존산소에 의해 충분히 유기물이 분해되는 것으로 판단된다.

3.3 무기영양염류

3.3.1 총 무기질소

각 연도별 계절변화(Fig. 5)를 보면 97년도에는 연·외양에 걸쳐 9월과 10월을 제외하면 0.1mg/l

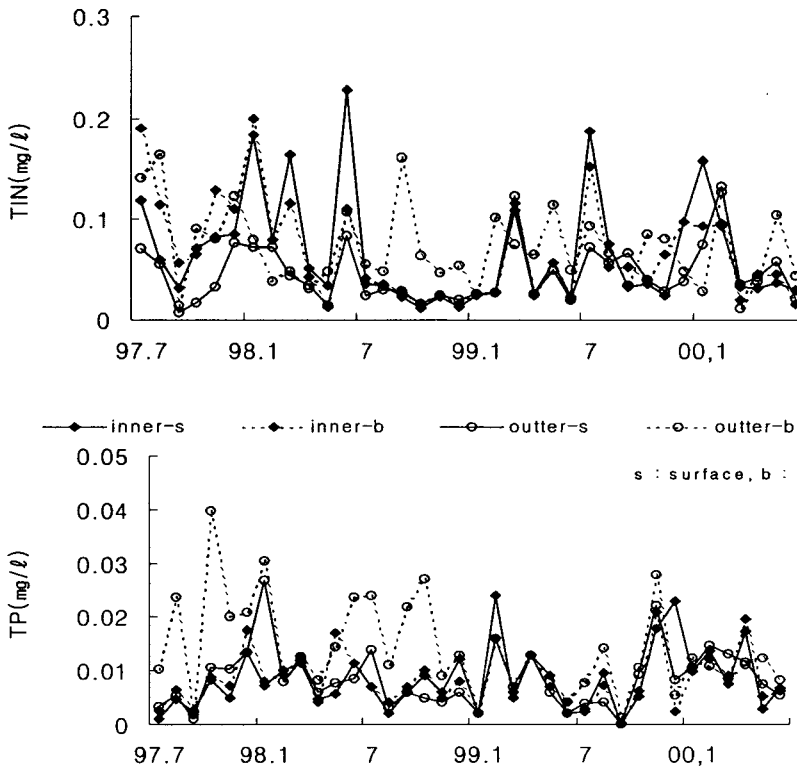


Fig. 5 Monthly Variation of mean value of TIN, TP and at inner-sea and outer-sea in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

이상을 보이고 있었으며 내해(mean 0.01mg/ℓ)가 외해(mean 0.006mg/ℓ)에 비해 높게 나타나고 있다. 그러나 표층과 저층간의 상하혼합이 잘 이루어지고 있다. 성층현상은 외양에서 9월과 10월에 30m에서 약하게 나타나고 있다.

98년에는 하계인 7월과 8월의 표층에서 높은 농도(0.261~0.448mg/ℓ)의 무기질소 농도를 나타내고 있었으며, 외양의 경우도 50m 이심에서 높은 농도를 보이며 5월 이후에는 표층과 차이가 뚜렷이 나타나고 있다.

2000년도에는 내해의 경우 초여름까지 표저층간 혼합이 잘 이루어지고 있었으며 외해(mean 0.055mg/ℓ)에 비해 약간 높은 농도(mean 0.058mg/ℓ)를 보이고 있었다. 외양에서는 5월과 6월에 저층인 75m 수심에서 상대적으로 높은 무기질소 농도를 보이고 있어 다른 조사기간과 유사한 경향을 보였으며 75m 이천에서는 균일한 농도 분포를 보이고 있었다.

일반적으로 질소는 춘계로 접어들면서 식물성 플랑크톤의 활발한 대사능력으로 인해 낮은 농도를 보이며 하계에는 연안역에 많은 강수량에 의한 담수로부터의 유입으로 지역에 따라 매우 높은 농도를 보인다. 동계의 높은 값은 수온의 저하로 인한 식물 플랑크톤의 흡수율의 감소와 mixing에 의한 저층으로부터의 질산성 질소의 수직 혼합에 의한 것으로 알려져 있다.

박[1982]은 제주도 연안 2마일 이내 해역 10m 이내 수심에서 질산질소 0.014~0.056mg/ℓ 정도라고 보고하고 있으며, 양[1990]과 최 등[1989]은 여름철 질산 질소 농도가 외양보다 연안이 높고 해안선 주변역의 질소 공급원은 육상 유입수에 의한 것으로 보고하고 있는데 본 연구에서 보면 5월부터 9월까지 많은 강우량을 보이고 있다. 그러나 외양의 저층에서 하계에도 연안보다 높게 나타나고 있는데 이는 해저면 퇴적물의 재부유 등 해양 내부적인 원인에 의한 것으로 판단된다. 연구기간 중 동계의 외양에서 높은 총무기질소 농도를 보이는 것은 식물플랑크톤의 소비감소에 의한 것으로 판단되는데 12월과 1월의 엽록소 a량은 1차년 0.43~0.53 mg/m³, 2차년 0.50~0.64 mg/m³, 3차년 0.28~0.42 mg/m³으로 엽록소 a의 전체 평균농도가 0.821 mg/m³인데 비해 12월과 1월의 엽록소 a량은 평균에 훨씬 못 미치는 값을 나타내고 있다. 이는 동계의 수온 및 일사

량 감소로 인해 식물플랑크톤의 양이 감소한 것을 나타내며 식물플랑크톤이 감소하는 이 기간 동안 식물플랑크톤에 의한 무기질소의 소비속도가 다른 계절에 비해 상대적으로 작기 때문에 높은 총무기질소 농도를 보이는 것으로 사료된다.

3.3.2 총인(TP)

인산염의 농도범위는 0.001~0.055mg/ℓ의 분포를 보였으며 외해의 50m 이심에서 비교적 높은 인산염 농도를 보였으며 외해에 비해 내해가 낮은 인산염 농도를 보였다.

연구기간 3년 동안에 동계(11~3월)에는 표층과 저층간의 농도 차가 미미하였으나 하계(6월~9월)보다는 전체적으로 높게 나타나고 있었다(Fig. 5). 최 등[1992]에 의하면 제주 남부역에서 인산염이 8월에 외해역의 저층에서 상층수와 혼합이 안되어 고농도수가 존재한다고 하였으나 본 조사해역에서는 동계부터 년 중 60m 이심의 저층에 높은 인산염이 분포하고 있었다.

3.3.3 N/P, Si/P비의 공간적특성

본 연구해역의 N/P, Si/P비는 Table 3에 나타내었으며, 내해와 외해역에서의 염분에 대한 상관성은 Fig. 6과 같다.

내해와 외해 모두 N/P, Si/P비가 저층수보다 표층수에서 높았다.

또한 염분에 대한 상관성은 내해에서는 표, 저층간에 뚜렷한 특성은 보이고 있지 않고 있다. 이는 내해 수심이 15m 이내로 상하혼합이 항상 이루어지고 있음을 뜻하는 것으로 생각된다. 그러나 외해에서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 표층수에서는 두 개의 패턴을 보여주고 있지만 저층에서는 그렇지 않고 있다. 이는 이곳 수심이 50m이상이므로 염분농도가 크게 변하지 않고 N/P, Si/P 비가 년중 일정한 값을 유지하고 있기 때문이라 생각된다. 이러한 저층수에서의 특성은 표층에서 염분이 높을 때는 저층과 같은 하나의 패턴을 유지하고 있는 것으로 보아 외해수 유입이 강하거나 N/P, Si/P비가 이 해역에 일정한 것이라고도 생각할 수 있다.

특히 하계인 6월에 N/P 비가 높게 나타나고 있었다. 내해의 전체 평균 N/P 비는 10~15로 전체적으로 보면 질산염이 제한인자로 나타나고

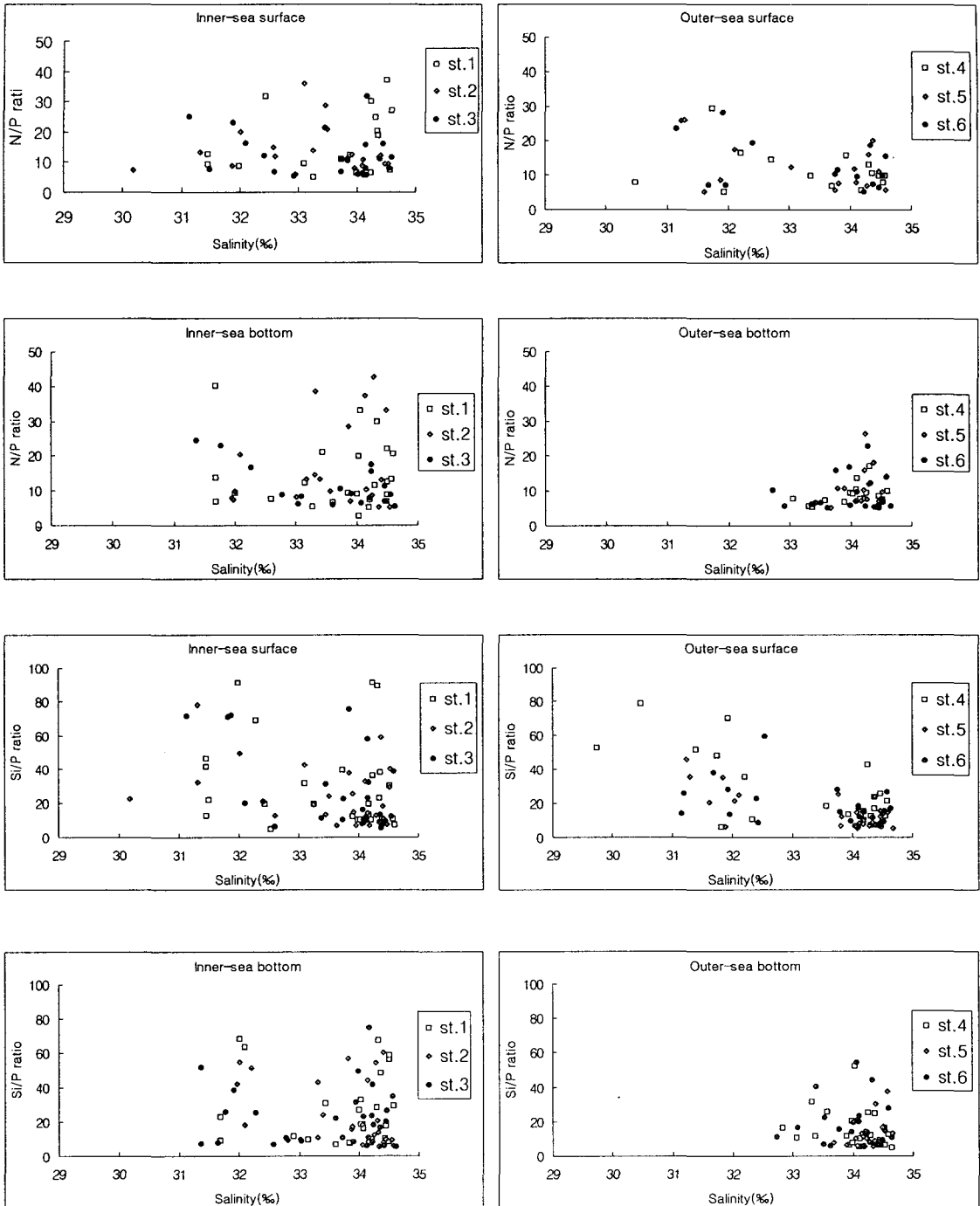


Fig. 6 Relations between N/P ratio and Salinity, and between Si/P ratio and Salinity at Inner-sea(Left) and Outer-sea(Right).

제주도 중문관광단지 연안해역 수질의 계절변동

있으나 일부기간동안 인산염이 극도로 부족한 기간이 나타나는 등 하계에는 인산염이 제한인자였으며 그 밖에는 일부 동계를 제외하고 연중 질산염이 조사해역에서 제한인자 역할을 하고 있었다. 외해에서 일부기간에 질산염 성분이 상당량 부족한 경우도 있었다. 이러한 결과는 문 [1990]의 제주도 북방 함덕 해역에서의 결과와 유사하나 최[1996]의 제주도 서북방 해역에서의 결과와 제주도 동·서해역에서 하계에 무기질소가 제한인자인 것(조[1998])과는 다른 결과를 보였으며 또한 인이 제한인자인 하계에는 엽록소 a의 양이 다른 시기보다 낮은 점으로 보아 강수

량이 많은 이 시기에 육상으로부터 유입되는 담수중에 인 성분보다는 무기질소 성분이 과량으로 함유되어 있음을 추측할 수 있다. Raymount [1980]은 연안역의 표층수층의 N/P비는 일반적인 값과 아주 다르게 나타날 수도 있다고 보고한 바 있듯이 연안역인 조사해역은 물리적인 환경뿐만 아니라 화학적 환경도 복잡한 해역임을 알 수 있었다.

3.3.4 엽록소 a

조사해역에서의 엽록소 a의 범위(Table 4)는 0.001~3.78mg/m³였다. 계절별 변화특성을 보면

Table 3 Range and mean values of N/P, Si/P ratio of surface and bottom water at each station from July 1998 to June 2000.

ST	Item	N/P Ratio		Si/P Ratio	
		surface	bottom	surface	bottom
1		5~37	3~40	5~91	7~68
		16	14	31	26
2		6~36	5~43	7~78	6~60
		13	17	24	25
3		5~32	5~24	5~76	5~75
		17	11	25	22
Range		5~37	3~43	5~91	5~75
Mean		15	14	27	24
4		5~29	5~17	6~79	5~53
		12	9	26	14
5		5~26	5~26	5~46	5~37
		12	11	16	12
6		5~28	5~23	7~59	6~54
		13	9	18	18
Range		5~29	5~26	5~79	5~54
Mean		12	10	20	15

Inner-sea : (St. 1, 2, 3), Outer-sea : (St. 4, 5, 6)

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

		1st Year		2nd Year		3rd Year		Range	Mean
		Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer		
Chl · a (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 ~3.78	0.75
	Mean	0.98	0.70	0.74	0.60	1.08	0.45		

매년 뚜렷이 나타나는 것은 아니나 4월경부터 증가하기 시작하여 5월경에 최고조에 이르렀으며 내해·외해의 표·저층에서 비슷한 양상의 변화와 농도를 보이고 있었다. 엽록소 a가 높은 4, 5월에 영양염(TIN, TP)의 분포는 거의 최저

에 가까운 농도(Mean TIN 0.057mg/l)를 보였으며 강수량도 4월과 5월에 140mm와 180mm로 연 평균 190mm에 못 미치고 있어 육상에서 유입되는 물질의 양도 적은 시기이므로 이러한 영양염의 감소와 식물플랑크톤에 의한 소비도 크

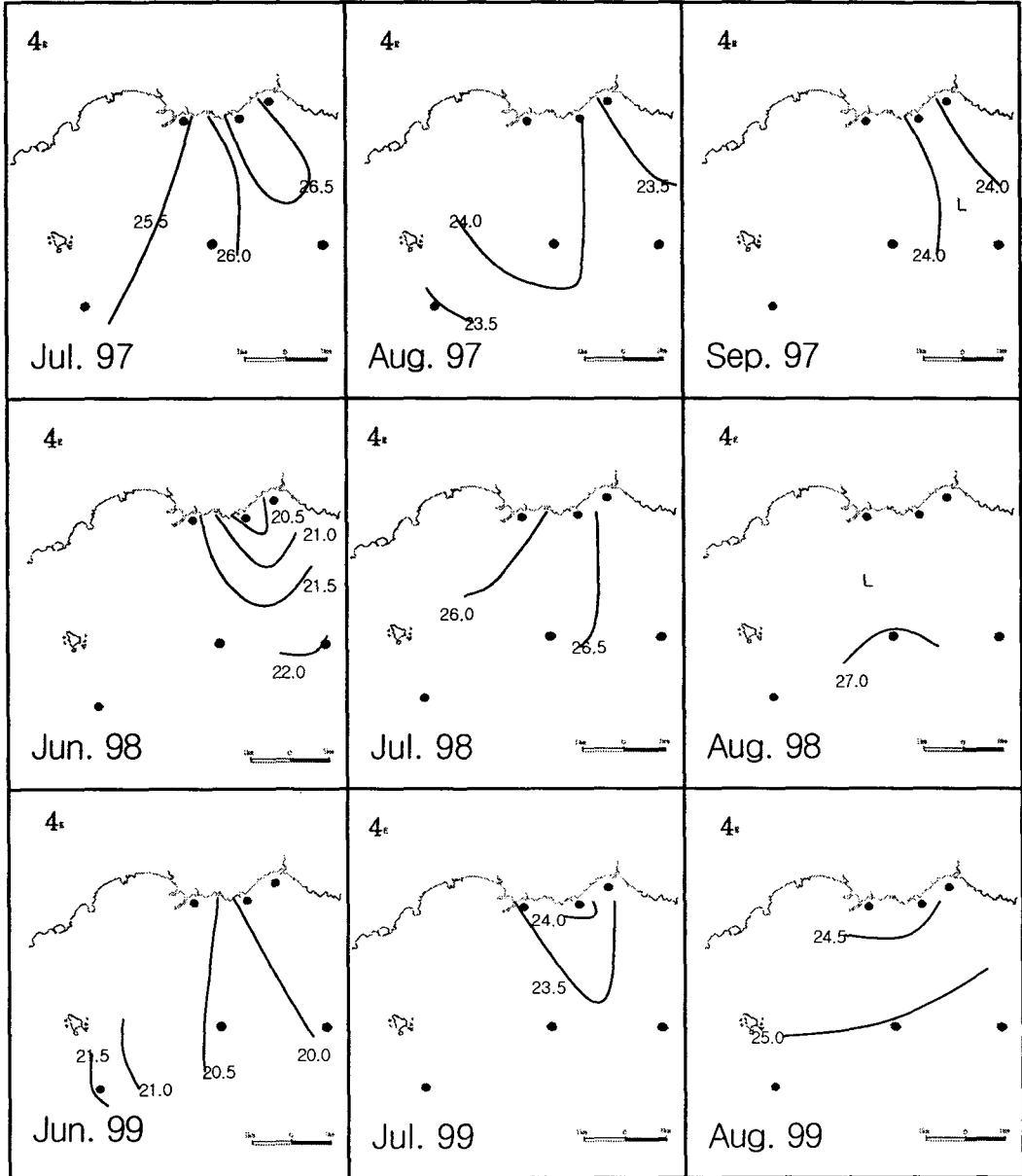


Fig. 7 Horizontal distribution of water temperature (°C) in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

계 작용한 것으로 판단된다.

3.5 육상 유입수에 의한 영향

우천시 영양염류 등이 육상으로부터 다량의 빗물에 함유되어 연안해역으로 유입되어 연안수질에 직·간접적인 영향을 준다. 제주도의 경우 과

거 30년간의 총 강수량은 2860백만 m^3 ~3516백만 m^3 의 범위로 년 평균 1807mm로 조사되었으며 하천이나 지표층을 통해 해상으로 유출되는 양은 총강수량의 18.8~26.0%에 이른다고 한다(제주도 [2000]).

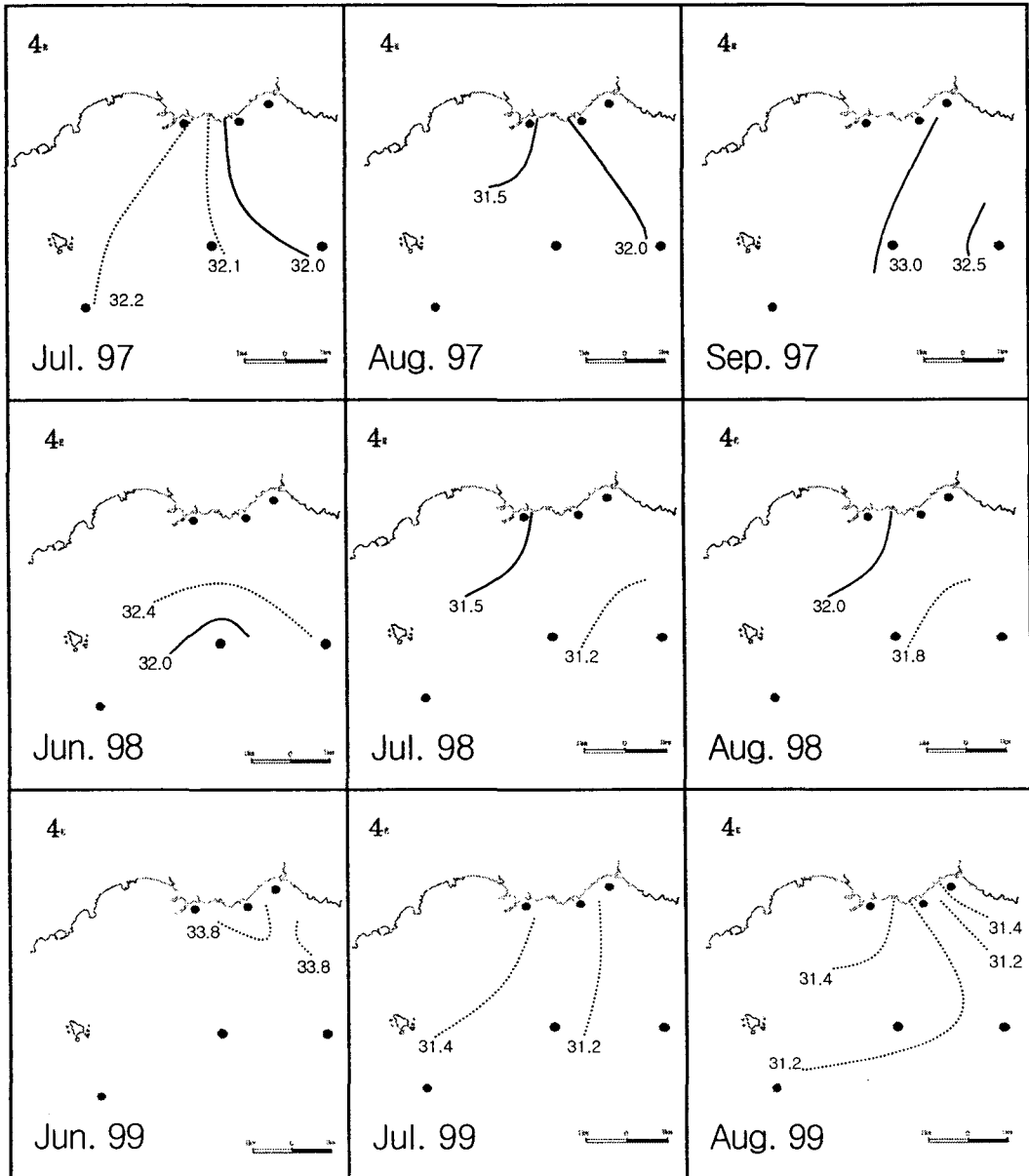


Fig. 8 Horizontal distribution of salinity (‰) in the coastal sea of Jungmun from July 1997 to June 2000.

Fig. 1에서 보면 정점 1지점의 해역으로 화순천과 황개천, 정점 2와 3 사이에 하수종말 처리장(색달천), 그리고 정점 3의 동쪽으로 중문천이 위치하고 있다. 연구해역으로 유입되는 육상수는 화순천에서 8,640~12,100m³/day, 황개천이 1,720~12,960m³/day, 색달천이 860~11,200m³/day, 중문천이 19,000~23,300m³/day로 일평균 32,000~57,000m³로 계절별, 일별 변화량은 2배 이상의 차이를 보이고 있다.

3.6 수온 및 염분의 영향

육상 유입수에 대한 영향정도를 알아보기 위해 강수량 및 외부의 영향을 가장 많이 받는 표층의 수온과 염분의 수평분포를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 수온과 염분은 하계(7, 8, 9월)에 23.5~27.0℃, 29.5~33.0‰의 고온 저염의 분포를 보이고 있다. 98년 6월(617mm)에는 정점 2와 정점 3 사이를 중심으로 20.5~22.0℃ 정도의 수온과 3.2‰ 이하의 염분수가 외양으로 확산되고 있었다. 99년 7월(918mm)과 8월(666mm)이 조사기간 중에 가장 많은 강수량을 보였을 때 수온의 경우 7월이 23.5~24.0℃의 분포, 8월이 24.5~25.0℃의 분포를 보여 98년도와 26.5와 27.0℃보다 3.0℃ 정도의 낮은 수온을 보였고 97년 7월의 26.5와 8월에 24.0℃의 분포와는 7월에는 3.0℃, 8월에 0.5℃ 정도의 낮은 분포를 보였다. 염분의 경우 99년 7월과 8월은 31.2‰~31.4‰의 낮은 분포를 보였으며 97년(31.5~32.2‰)보다 0.3~0.8‰ 정도 낮게 분포하여 강수량에 의해 표층에서의 저염수 현상이 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

있는 것으로 보아 외양수가 연안역까지 그 세력을 미치고 있다고 판단된다.

3.7 무기영양염류의 영향

Table 5은 해역에 유입하고 있는 하천수량과 COD, TN, TP부하량을 나타낸 것이다. 해역에 유입하는 육상수량은 중문천이 년중 가장 많은 양을 또한 COD, TN, TP량도 최대였다.

정점 1, 2, 3 해역의 내해 수심이 15m, 해안선에서 외해로 500m까지 일일 2번의 조석변동을 고려한 해수량은 6×107m³으로 계산하였을 때 유입되는 부하량의 희석 후 농도는 COD와 TP는 흔적이하, TN은 0.016ppm 정도의 부하농도를 나타낼 수 있었다.

이러한 계산결과로 보면 중문관광단지 주변 해역은 육상수 유입에 따른 부하농도 증가에 따른 큰 영향은 보이지 않고 있다.

TIN의 분포를 살펴보면 강수량에 따라 그 농도분포가 상당히 증가하는 반면 TP의 경우는 큰 차이를 보이지 않아 육상으로부터 유입되는 담수에는 질소성분이 인산성분에 비해 다량 함유된 것으로 보이며 이에 대한 정확한 결과를 규명하기 위해서는 육상유입수에 대한 좀 더 세밀한 조사가 필요하다.

4. 결 론

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

수온과 염분은 6월부터 9월까지 표층에는 저염

Table 5 Ranges of runoff flow rates and pollution loads of COD, TN and TP from shore streams.

Area	Stream	Water mass(m ³ /day)	COD(kg/day)	TN(kg/day)	TP(kg/day)
Jungmun	Jungmun	5,552~23,328	18.7~45.6	130.2~263.7	0.86~3.33
	Sackdal	864~11,232	3.1~13.5	9.5~232.2	0.05~0.23
Hwasun	Hwanggae	864~12,096	5.2~21.8	20.3~241.5	0.02~0.19
	Hwasun	8,640~12,096	1.9~33.6	152.2~226.5	0.06~0.55

수가 출현하여 수심 20~30m에서 수온약층 및 염분 약층을 형성하고 있었다.

외해역에서는 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 황해 저층냉수의 혼합수로 판단된다. 용존 산소는 2.73~10.5mg/l의 분포이며 1998년과 1999년 5월과 6월을 제외하면 6mg/l 이상의 높은 용존산소량을 보이며 하계에서 동계로 갈수록 용존산소 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 화학적 산소요구량은 0.10~4.29mg/l의 범위를 보이며 하계에 비교적 높게 나타내고 있었다. 영양염류인 TIN과 TP는 각각 0.007~0.350 mg/l, ND~0.550mg/l의 분포범위를 나타내며 TIN은 하계에 높은 농도를 보이는 반면 TP는 낮게 나타나고 있다. 이로 인해 하계 일부 기간 동안 N/P ratio가 16이상을 보여 인산염이 제한인자였으며 그 밖의 기간동안은 N/P ratio가 16 이하로 질산염이 제한인자였다.

염록소 a는 4월과 5월에 증가하는 경향을 보이나 전반적으로 계절적 변화가 뚜렷이 나타나지 않았다. 또한 내해·외해의 차이가 거의 없어 연구해역에서는 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 분포되고 있어 하계 강우에 의한 육상수의 유입이 조사해역의 저염화를 가중시키고 있었다. 영양염류 중 TIN은 이 시기에 높은 농도(0.1~0.4 mg/l)를 보이고 있었다.

후 기

본 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 연구비(KPF-1997-022-H00020)에 의해 연구되었다.

참고문헌

- [1] 제주도, 2000. 제주도 지하수보전·관리계획 보고서, pp. 170~186
- [2] 고유봉·노홍길·방익찬·오봉철·윤석훈·윤정수·이준백·최영찬, 1998, "濟州의 바다", 사단법인 제주도 수산해양개발협의회, pp. 11~94.
- [3] 제주기상청, 2000.
- [4] 김광수·최영찬, 2000, 생태계 모델을 이용한 제주도 남부연안 해역의 환경용량산정, 해양환경 공학회, 3(1).
- [5] 김인옥, 1986, 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구, 제주대학교, 석사학위논문.
- [6] 문영석, 1990, 제주도 함덕북방해역에서의 해수의 화학적 특성, 제주대학교, 석사학위논문.
- [7] 박길순, 1982, 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구, 한국수산학회지, 15: pp. 255~262.
- [8] 방익찬·노홍길·이재학, 1995, 제주도 북서해역의 해수분포의 계절변화와 여름철의 황해난류, 제주대 해양연구소 연구논문집, 19: pp. 49~66.
- [9] 양동범, 1990, 한국 연근해의 기초생산, 한국수산학회 추계심포지엄, pp. 1~26.
- [10] 이준백·최영찬·고유봉, 1989, 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산, 한국지구과학회지, 10(1): 62~67.
- [11] 이준백·좌중현·고유봉·최영찬, 1993, 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구(II), 성산주변해역의 식물플랑크톤 군집생태학적 기초생산력, 한국지구과학회지, 14(4): pp. 458~466.
- [12] 조인숙, 1998, 하계 제주도 동·서해역 해수 특성의 일부변화, 제주대학교, 석사학위논문.
- [13] 최영찬·고유봉·이준백, 1989, 제주도 해안선 주변의 해수특성 (1987년 6월~1988년 4월), 한국지구과학회지, 10(1): pp. 54~61.
- [14] 최영찬·문영석, 1991, 제주도 남방연안역의 4월달 해수특성, 제주대 해양연보, 15: pp.73~80.
- [15] 최영찬·문영석·고유봉·이준백, 1991, "제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구-제주도 북방함덕해역의 화학적 특성-", 한국지구과학회지, 12(1): pp. 38~45.
- [16] 최영찬·고유봉·이준백, 1992, 제주도 남부연안역의 생물생태학적 기초연구(I) 서귀포주변

- 연안역의 해수특성, 한국지구과학회지, 13(3): pp. 327~335.
- [17] 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1993, 제주도 동부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I) 우도주변 연안역의 해수특성, 한국지구과학회지, 14(1): pp. 450~457.
- [18] 최영찬 · 이준백 · 고유봉, 1994, 제주도 서부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I)고산주변 연안역의 해수특성, 제주대 해양연구보고, 18, pp 39~48.
- [19] 최영찬, 1996, 제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동, 제주대 해양연보, 20: pp. 31~39.
- [20] 홍창수 · 방익찬, 1998, 제주도 중문 연안역의 물리해양환경의 년변화, 제주대 해양연구논문집, 22: pp. 57~67.
- [21] 현경훈 · 방익찬, 1998, 제주도 주변해역의 여름철 이상저염수에 관한 연구, 제주대 해양연구논문집, 22: pp. 69~78.
- [22] APHA, AWWA, APCF, 1989, Standard methods for examination of water and wastewater, 16th ed. pp.417~463.
- [23] Joh, H., 1986, Studies on the mechanism of eutrophication and the effect of it on fisheries production in Osaka Bay. Bulletin of the Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station, 7: pp. 174
- [24] 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 Jeju Island. Bull. Kor. Fish. Soc, 25(2): pp. 151~163.
- [25] 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.
- [26] Raymont J. E. G., 1980, Plankton and productivity in the oceans 2nd ed. Vol. 1. Pergamon Press., pp. 1~489.
- [27] Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis, Bul. Fish. Res. Bd. Can., 167
- [28] Solorzano, L., 1969, Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. Limnol. Oceanogr., 14: pp. 779~801.
- [29] 日本分析化学会 北洋道支部, 1985, 水の分析, pp. 198~168.
- [30] 日本气象厅篇, 1979, 海洋観測指針. pp. 155~168.