

제주도 바다목장화개발 해역인 차귀도 연안해역의 이화학적특성

최영찬¹ · 김진석^{1*}
¹제주대학교 해양과학부

Distribution of Physico-chemical Characteristics on the Development of Marine Ranching Program in the Chagwi-Do Coastal Waters, Jeju Island

Young Chan Choi¹ and Jin Seok Kim^{1*}

¹College of Ocean Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

요 약

2004년 9월, 11월 그리고 2005년 3월, 5월, 8월, 11월 총 6회에 걸쳐 제주도 차귀도 연안해역 10개 정점에서 표층수와 저층수를 채수하여 물리, 화학적 수질특성을 조사하였다. 수온은 12.2~28.9 °C로 변동폭이 16 °C 정도였으며 특히 8월에 저층수온이 13 °C로 저온수가 출현하는 양상을 보였다. 염분은 30.2~34.9‰의 범위였으며 8월에 가장 낮은 염분농도를 보인 것은 육상수의 영향으로 보인다. 식물플랑크톤의 성장인자인 N/P비는 5~76으로 계절별, 정점별로 다양했다. 그러나 평균적으로 22이상을 보이고 있어 인산인 성분이 식물플랑크톤 성장에 제한인자로 나타나고 있었다. 유기탄소 농도는 TOC가 92.5~438.3 μM의 범위였고 평균은 217 μM이었으며 DOC는 82.5~299.2 μM의 범위로 평균은 130 μM이었다. DOC/POC비는 60%로 용존유기탄소가 많았다.

Abstract – The surface and bottom water were sampling in ten stations of the coastal area of Chagwi-Do, Jeju Island, which was repeated 6 times in several different months(September, November, 2004 and March, May, August, and November 2005) in order to examine the physico-chemical characteristics of water. The temperature varied by approximately 16 °C, ranging somewhere between 12.2 °C and 28.9 °C. Specifically, the temperature of bottom water was 13 °C, implying the emergence of low temperature water. The salinity ranged from 30.2 to 34.9‰, and the lowest salinity in August may be attributable to the effect of land-based water. N/P ratio, the growth factor of phytoplankton, ranged from 5 to 76, which varied depending on the season and station. The ratio, however, was over 22 on the average, suggesting that phosphate phosphorus is an factor that restricts the growth of phytoplankton. TOC in the concentration of organic carbon ranged between 92.5 μM and 438.3 μM, and the mean was 217 μM. DOC ranged from 82.5 μM to 299.2 μM, and the mean was 130 μM. The ratio of DOC/POC was 60% with abundant dissolved organic carbon.

Keywords: Chagwi-Do(차귀도), Physico-chemical characteristics(이화학적 특성), N/P ratio(N/P비), Dissolved organic carbon(용존유기탄소)

1. 서 론

연안어장의 생산성 저하를 막고 어업인들의 소득 향상 및 어촌 사회 기반을 조성하기 위하여 세계 연안국들은 연안자원 조성에 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라도 1970년대부터 연안의 수산자원을 조성하기 위한 방안으로 인공어초시설과 수산종묘의 방

류사업을 실시하고 있고, 세계 각국도 자국의 연안 자원량을 증대시키기 위해 인공어초 투입 및 종묘방류 사업을 실시하고 있다. 특히 일본에서는 재배어업 또는 기르는 어업의 실현을 위하여 세계에서 가장 많은 투자를 하고 있다.

우리나라도 1985년에는 「연안 어장 목장화 계획」을 수립 추진하여 연안 어장을 종래의 생산 중심에서 관리중심으로 전환하였다. 이러한 연안의 자원조성 방안 중 가장 환경 친화적이고 생

*Corresponding author: jskim80@jejubidi.or.kr

태 보존적이며 대규모의 첨단기술을 도입한 수단이 바다목장이라고 할 수 있다.

특히 어업생산구조를 “기르는 어업”으로 전환하기 위하여 전국 연안 5개소에 시범 바다목장을 조성하고 중장기적으로는 전국 연안을 바다목장화 하는 사업을 추진 중이다. 그 첫 번째 사업으로 지난 1998년부터 한국해양연구원이 주관연구기관이 되고 국립수산물품질관리원과 한국해양수산개발원, 관련 대학이 공동으로 연구에 참여하여 경상남도 통영시 산영읍 일대를 “통영 바다목장”으로 조성하여 현재까지 방류된 어류가 이곳에서 순조롭게 성장하고 있어 언론 및 현지 어업인에게 큰 호평을 받고 있다. 그리고 앞으로 2010년까지 제주도 차귀도 해역에 바다목장을 조성하여 중장기적으로는 전국 연안으로 확대발전시켜 고수익이 보장되는 전천후 자원관리형 어장을 만들어 나갈 계획을 세우고 있다.

한편, 바다목장화 사업해역으로 지정되고 사업이 진행되고 있는 제주도 차귀도 해역의 해양환경에 관한 조사연구는 노[1985]가 제주도 주변해역의 어장 해양환경에 관한 연구, 강 등[1996]의 제주도 남서부 연안해역의 해수화학적 특성과 용승현상, 방 등[1993]의 제주도 서부 연안역의 용승, 최 등[1989]의 제주도 연안선 주변의 해수특성, 고 등[1994]의 제주도 서부연안역의 생물생태학적 기초연구, 해양연구소[1996]의 푸른 바다를 위하여와 이 등[1989, 1990], 전 등[1983] 및 오[1987]의 연구가 이루어져 왔다.

그러나 이러한 연구는 단기간의 연구 결과에 국한되어 있어 본 연구는 2년간에 걸쳐 국지적이지만 샘플링 포인트를 연안, 외해역으로 구분하여 조사연구가 이루어졌으며 이러한 자료로부터 계절별 및 주기성을 밝히고 바다목장화 모델 개발의 신뢰성을 높이는 데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 현장조사는 2004년 9월, 11월과 2005년 3월, 5월, 8월, 11월에 Fig. 1의 정점 10개소에서 표층, 저층수를 채취하여 분석하였다.

수온과 염분은 현장에서 CTD(SBE 19)를 이용하여 측정하였으며 TIN은 총무기질소 농도로서 아질산 질소, 암모니아 질소, 질산 질소의 합으로 나타내었다. 암모니아 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)를 각각 Phenol hypochlorite method, Sulfanilamide -N.E.D method 그리고 Cadmium reduction method에 준하여 측정하였다(해양수산부, 해양환경공정시험법, 2002). TP는 인산 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)이며 Ascorbic acid method으로 측정하였다. 용존산소(Dissolved Oxygen)는 현장에서 산소를 고정하여 실험실에 옮겨온 후 윙클러-아지드화 나트륨변법으로 측정하였고, 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand)은 알칼리성과망간산칼륨법으로 측정하였다.

총유기탄소(TOC) 및 용존유기탄소(DOC)는 시료를 현장에서 인산(0.1 ml of 50% H_3PO_4 /20 ml of sample)처리 후 detergent (10%)와 염산(10% HCl)처리된 125 ml HDPE sample bottle에 넣

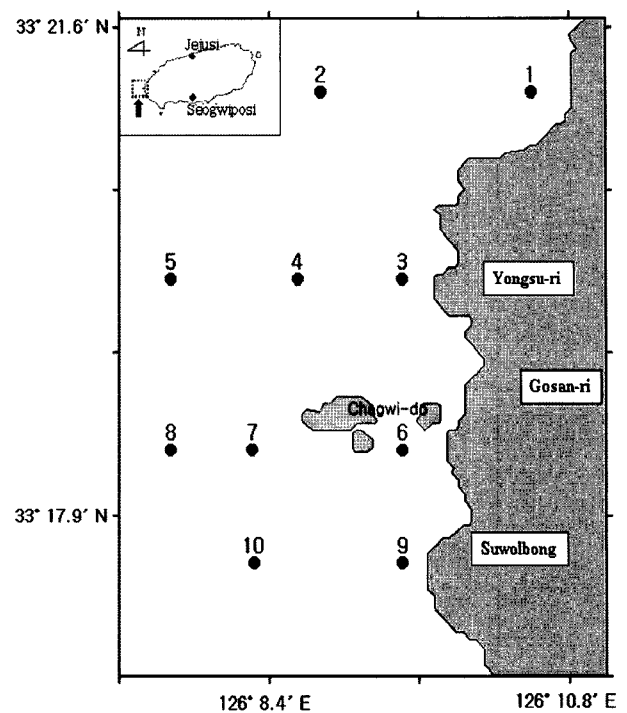


Fig. 1. Location of sampling stations Chagwi-Do, Jeju-Island.

어 냉동 보관 후 실험실로 옮겨와서 Sugimura와 Suzuki[1988]의 방법에 따라 측정하였다.

HTCO(high-temperature catalytic oxidation)/NDIR(non-dispersive infrared gas analysis)의 방법(Sugimura and Suzuki, [1988])으로 TOC-5000A(SHIMADZU)의 Auto sampler를 이용하여 측정하였으며, Carrier gas는 초순도 O_2 gas(CO , CO_2 , Hydrocarbon 1ppm 이하)를 사용하였고, Milli-Q reagent water를 UV-oxidize시킨 후 분석용 Blank로 사용하였다. Standard로서는 Potassium hydrogen phthalate를 UV-oxidize 시킨 Milli-Q reagent water에 녹여 400 mgC/l를 만든 후 희석하여 사용하였다. 분석은 시료에 2N HCL 처리 후 탈기시켜 무기탄소를 제거한 뒤 측정하는 NPOC(non-purgeable organic carbon)의 방법으로 측정하였으며, Flow rate 150 ml/min, Sparging flow rate 120 ml/min, Sparging time 5min의 조건으로 분석하였다.

용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon)는 시료를 GF/F filter paper(Whatman. 0.7 μm)로 여과 후 총유기탄소와 동일한 방법으로 분석하였다. 입자유기탄소(Particulate Organic Carbon)는 총유기탄소량에서 용존유기탄소량을 감산하였다.

3. 결과 및 고찰

연구해역의 수질성적은 Table 1에 나타내었다.

3.1 수온 및 염분의 계절변화

연구해역의 정점을 연안(St. 1, 3, 6, 9)과 외해(St. 2, 4, 5, 7, 8, 10)로 나누어 고찰하고자 한다. 연구기간동안 6회에 걸쳐 조사된

Table 1. Range and mean values of physico-chemical parameters of surface and bottom water in Chagwi-Do, Jeju Island

| | St. | Temp. (°C) | Sal. (‰) | TIN (µM) | PO ₄ ³⁻ -P (µM) | N/P Ratio |
|----|---------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------|
| 1 | surface | 13.9~28.9(21.0) | 31.2~34.9(33.2) | 1.99~8.37(6.26) | 0.13~0.51(0.24) | 15~42(28.5) |
| | bottom | 13.9~26.9(20.4) | 31.2~34.9(33.2) | 3.03~10.74(6.61) | 0.16~0.46(0.27) | 16~42(26.5) |
| 2 | surface | 14.2~28.6(21.6) | 30.2~34.9(32.8) | 1.48~12.50(5.00) | 0.10~0.41(0.20) | 8~47(27.8) |
| | bottom | 13.7~21.0(17.5) | 32.2~34.8(33.7) | 4.48~12.49(8.18) | 0.17~0.58(0.35) | 9~40(27.8) |
| 3 | surface | 14.0~27.9(20.7) | 31.0~34.8(33.3) | 2.72~8.83(5.51) | 0.09~0.49(0.21) | 8~58(33.5) |
| | bottom | 14.0~21.1(18.7) | 31.4~34.9(33.6) | 3.60~8.03(6.28) | 0.13~0.29(0.22) | 16~45(30.7) |
| 4 | surface | 14.2~27.9(20.7) | 31.1~34.7(33.2) | 3.76~9.89(6.02) | 0.17~0.51(0.35) | 8~40(22.0) |
| | bottom | 13.1~21.1(17.7) | 31.3~34.7(33.6) | 2.07~12.14(7.77) | 0.13~0.69(0.37) | 6~38(24.3) |
| 5 | surface | 14.3~28.2(21.7) | 30.4~34.7(33.0) | 2.84~11.50(5.84) | 0.12~0.23(0.16) | 29~51(37.2) |
| | bottom | 12.3~21.1(17.1) | 32.5~34.9(33.9) | 5.29~12.61(8.98) | 0.20~0.66(0.39) | 8~44(27.7) |
| 6 | surface | 14.1~26.5(20.7) | 31.2~34.5(33.2) | 2.92~13.73(6.93) | 0.10~0.25(0.19) | 26~76(37.3) |
| | bottom | 14.0~22.4(19.2) | 31.6~34.8(33.6) | 2.85~8.32(5.03) | 0.17~0.49(0.27) | 7~40(20.8) |
| 7 | surface | 14.2~25.8(20.6) | 31.3~34.9(33.3) | 3.44~7.32(5.28) | 0.13~0.41(0.22) | 11~46(27.2) |
| | bottom | 13.5~21.0(17.4) | 32.6~34.6(33.8) | 2.08~11.93(6.27) | 0.13~0.74(0.40) | 6~32(17.0) |
| 8 | surface | 14.4~28.1(21.3) | 30.8~34.7(33.1) | 2.53~7.72(5.31) | 0.10~0.33(0.19) | 11~51(31.3) |
| | bottom | 12.8~20.9(17.0) | 32.9~34.9(33.9) | 2.46~10.59(6.20) | 0.16~0.69(0.43) | 9~35(16.2) |
| 9 | surface | 14.0~26.2(20.9) | 31.4~34.7(33.3) | 1.83~8.11(4.99) | 0.08~0.82(0.28) | 5~42(25.7) |
| | bottom | 12.6~20.9(17.2) | 32.8~34.7(33.8) | 3.77~13.02(7.17) | 0.16~0.82(0.38) | 6~49(24.7) |
| 10 | surface | 14.3~27.7(21.3) | 31.1~34.8(33.1) | 1.59~9.58(4.96) | 0.07~0.53(0.23) | 8~63(29.0) |
| | bottom | 12.2~20.7(16.9) | 32.8~34.5(33.9) | 4.23~14.34(8.60) | 0.20~0.63(0.40) | 11~32(23.0) |
| | St. | DO (mg/l) | TOC (µM) | DOC (µM) | DOC/TOC (%) | |
| 1 | surface | 7.09~8.53(7.77) | 134.3~312.5(204.3) | 86.7~153.3(114.3) | 36.3~72.2(58.3) | |
| | bottom | 7.07~8.72(7.70) | 132.5~244.2(175.0) | 78.3~151.7(113.9) | 50.5~73.4(65.0) | |
| 2 | surface | 7.02~8.58(7.81) | 123.3~310.8(224.3) | 86.7~169.2(134.4) | 44.3~87.9(63.8) | |
| | bottom | 6.82~8.61(7.66) | 118.3~217.5(170.0) | 73.3~168.3(117.9) | 53.8~83.2(69.2) | |
| 3 | surface | 6.74~8.61(7.55) | 131.7~367.5(216.0) | 95.8~179.2(152.4) | 48.8~84.7(71.6) | |
| | bottom | 6.71~8.50(7.43) | 130.0~305.0(197.6) | 89.2~189.2(134.7) | 48.9~85.6(69.4) | |
| 4 | surface | 7.05~8.84(7.89) | 160.0~344.2(214.0) | 85.0~222.5(136.3) | 43.2~82.8(64.0) | |
| | bottom | 6.85~8.25(7.55) | 106.7~272.5(180.1) | 85.8~148.3(113.5) | 41.3~81.7(67.3) | |
| 5 | surface | 6.94~8.61(7.53) | 161.7~438.3(243.2) | 91.7~299.2(167.2) | 56.7~85.9(68.3) | |
| | bottom | 6.54~8.22(7.48) | 104.2~264.2(175.6) | 67.5~145.8(117.9) | 40.1~85.4(69.7) | |
| 6 | surface | 6.89~8.84(7.54) | 143.3~358.3(222.5) | 90.0~200.0(146.8) | 55.8~79.0(67.1) | |
| | bottom | 6.87~8.44(7.54) | 122.5~250.8(178.2) | 75.0~195.8(118.9) | 48.2~86.9(68.1) | |
| 7 | surface | 6.87~8.70(7.69) | 93.3~510.8(274.3) | 77.5~225.0(168.5) | 44.0~83.0(66.8) | |
| | bottom | 6.82~8.53(7.51) | 116.7~290.0(191.4) | 70.0~139.2(114.4) | 41.7~83.6(62.8) | |
| 8 | surface | 6.98~8.70(7.81) | 105.0~446.7(209.3) | 71.7~178.3(139.3) | 39.9~88.2(73.5) | |
| | bottom | 6.76~8.47(7.41) | 109.2~290.0(163.1) | 52.5~150.0(103.1) | 37.9~81.2(66.6) | |
| 9 | surface | 7.02~8.70(7.80) | 92.5~225.0(183.8) | 82.5~173.3(131.1) | 56.9~90.3(74.2) | |
| | bottom | 6.71~8.14(7.41) | 100.0~278.3(175.4) | 70.8~130.0(107.9) | 42.8~83.8(64.5) | |
| 10 | surface | 7.00~8.72(7.69) | 115.0~201.7(173.2) | 87.5~153.3(111.1) | 49.8~87.2(66.5) | |
| | bottom | 6.77~8.61(7.40) | 93.3~170.0(123.5) | 73.3~132.5(93.9) | 60.7~83.7(76.1) | |

수온분포의 특성은 3월에 표, 저층 모두 14 °C를 보이다가 5월에 표층수는 17.8~20.0 °C, 저층수는 16.6~18.0 °C로 3월보다 표층수는 4 °C이상, 저층수는 2 °C이상 높아지고 있다. 8월에는 표층수가 25.8~28.9 °C, 저층수는 12.2~26.9 °C로 5월보다는 표층수가 7 °C 이상, 저층수는 평균적으로 2 °C정도 낮아지고 있다. 특히 8월을 기점으로 표층수는 낮아지고 있으나 저층수는 11월이 8월보다 4 °C이상 높아지고 있었다.

외해역 중 2, 5, 7, 8, 10과 정점 9는 연안해역이지만 다른 연안 정점보다 특이하게 표, 저층수온 변화폭이 8월에 8 °C이상을,

9월에 6 °C이상이었지만 11월부터 3월, 5월까지는 1 °C이하로 상하 혼합된 상태의 수온분포를 보이고 있다.

그 외 정점인 1, 3, 4, 6인 연안쪽에서는 8월에 표, 저층수간의 수온차가 7 °C 이하였다가 9월부터 시작하여 11월, 3월, 5월까지는 1 °C이하의 수온차를 보여주고 있다.

최고수온은 연안역인 정점 1에서 8월에 28.9 °C이고 최저수온은 정점 10에서 8월에 12.2 °C로 나타났으며 연간 변동폭은 정점 1은 수심이 10 m정도여서 대기수온에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났으며 가장 수심이 깊은 정점 7, 8에서(수심 60 m이상)

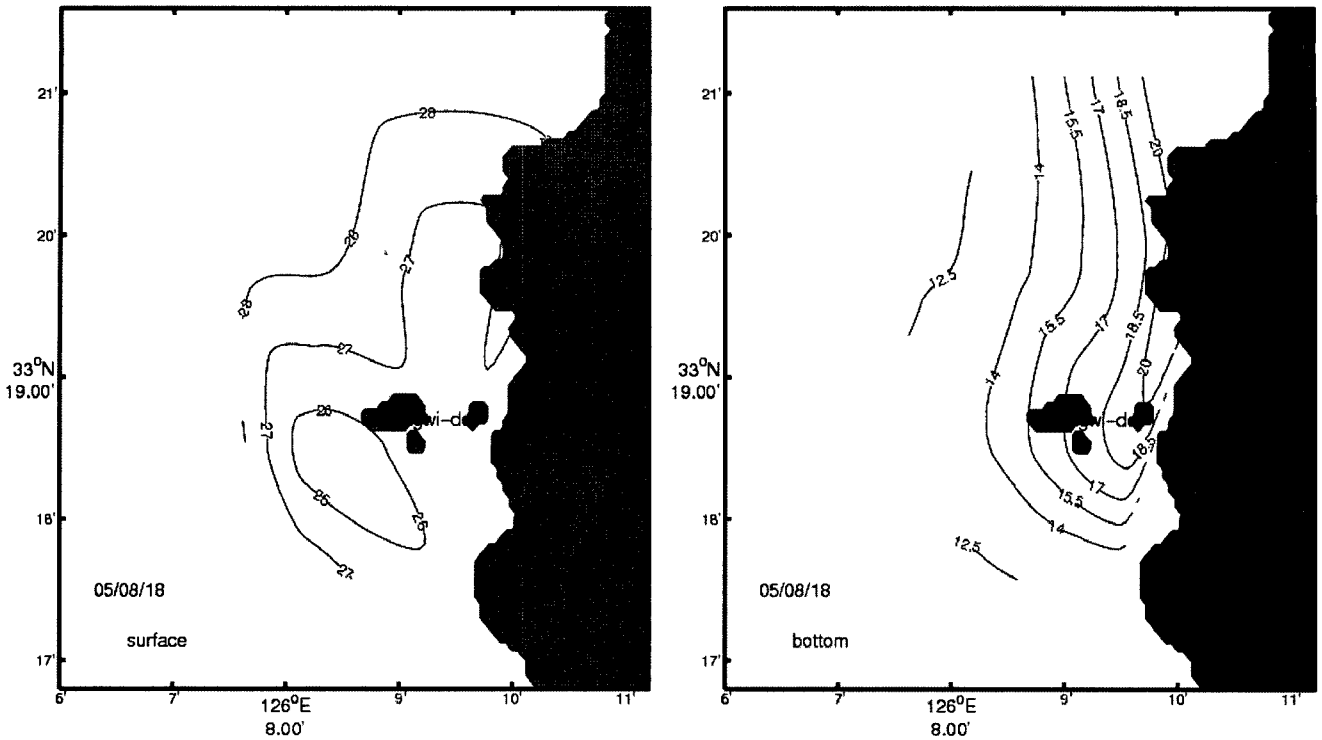


Fig. 2. Horizontal distributions of temperature of surface and bottom water in August 2005.

표층수의 연간 변동폭은 11~13°C, 저층수에서는 6~7°C로 표층층간 수온 변동폭은 연안쪽보다 표층수에서는 1°C정도, 저층수에서는 5°C정도의 차이로 연안쪽의 변동폭이 컸다.

특히, Fig. 2에서 보면 8월에 접어들면서 표층수온이 26~27°C 인데 반해 저층수온은 연안쪽은 16~20°C, 동쪽연안과 외해역을 잇는 해역에서 13°C까지 하강한 특성을 보이고 있다. 이는 5월에 연구해역 표층수온이 17~18°C이고 저층수온이 16~17°C와 비교 된다.

8월의 저층수온이 5월보다도 하강한 것은 황해저층냉수괴가 영향을 이끈까지 미치고 있는지는 차후 조사가 이루어져야 하겠다. 이처럼 이 해역에 8월에 냉수온이 출현한다는 사실은 주목해야 할 일이다.

염분농도의 분포는 30.20~34.90‰로 변동폭은 4.70‰로 나타났다. 표저층간 농도폭은 8월에 가장 외해역 정점인 St. 8에서 30.80~33.80‰로 3.0‰의 차이를 보여 가장 컸다. 이때 연안역 정점인 St. 1에서는 31.20~31.80‰로 0.6‰정도의 변화를 나타내고 있었다. 계절별로는 8월과 9월에 상대적으로 낮은 농도로 9월부터 11월, 3월, 5월까지 상승하였다가 다시 하계인 8월에 전 정점에서 낮게 나타나고 있는 것으로 보아 육상수 유입이 연구해역 전반에 미치고 있다고 보아지며 외양수 영향권이 8월에는 연구해역까지 미치지 못하고 있다고 보인다. 그러나 염분농도가 낮아져도 31‰ 이상을 보이고 있어 해양생물 생육에는 지장이 없다고 보인다. 최 등[1989]의 제주도 해안선 주변의 염분농도 29.91~34.27‰과 비교해보면 비슷한 농도분포로 이러한 농도범위가 제주도 연

안해역의 염분분포라고 보인다.

3.2 무기영양염류(Nutrients)

3.2.1 총무기질소

연구해역의 영양염류 중 총무기질소(TIN) 농도 특성을 보면 연구해역의 조사기간중에 1.48~14.34 μM이었다. 계절별로는 5월에 표저층 농도가 가장 낮고(1.48 μM, 2.07 μM), 8월에 가장 높게(13.73 μM, 14.34 μM) 나타나는 특성을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 동일한 해역의 Chlorophyll a 농도가 4월에 최대농도(Affan, A. et al.[2007])를 보이는 것을 보면 이해가 된다.

최 등[1989]의 제주도 해안선주변 연구에서 TIN 농도분포인 2.68~49.56 μM과 비교해 본다면 본 연구해역에서는 낮은 농도분포였지만 고산 해안선주변의 3.16~12.16 μM과 비슷하였다. 그리고 태안바다목장에서 2004년 조사된 TN의 농도범위는 3.619~14.255 μM로 평균 8.018 μM이었고, 울진바다목장에서 2004년 조사된 TN의 농도범위는 0.036~0.252 mg/l로 평균 0.112 mg/l(8.00 μM)을 보여 본 연구해역의 전체 평균 6.35 μM보다 약간 높은 농도분포들을 보였다.

계절적인 특성은 표, 저층수 모두 5월에 전 정점에서 가장 낮은 농도분포를 보이다가 8월에 가장 높게 나타났으며 이후 9월, 11월까지 낮아지다가 3월에 농도가 상승하고 있었다.

표저층간의 농도차는 표저층간 수온차가 6°C이상 되는 8월과 9월에만 저층수 농도가 1.2배 이상을 보이고 있다(Fig. 3).

3.2.2 인산 인(PO₄³⁻-P)

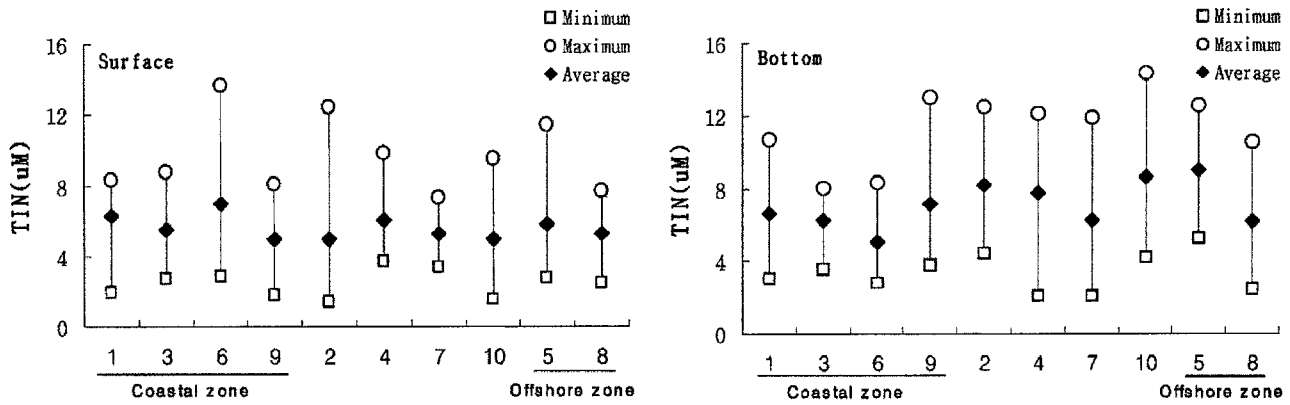


Fig. 3. Variations of the yearly maximum, minimum and average of TIN in near surface and bottom water.

연구해역의 인산 인 농도분포는 표층수가 0.07~0.82 µM, 저층수가 0.13~0.82 µM이었다. 표층수의 특성은 5월(St.10, 0.07 µM)에 가장 낮은 농도분포였으며 11월(St. 9, 0.82 µM)에 최고치를 보이고 있다.

저층수는 표층수와 같이 5월(St. 3, 4, 7, 0.13 µM)에 가장 낮은 농도를, 11월(St. 9, 0.82 µM)에 가장 높은 농도를 나타내고 있어 총무기질소 농도특성 중 최저농도는 5월과 동일하게 나타나고 있으나 최고농도는 TIN8월보다 높은 11월에 나타나고 있다. 이 시기는 수온에서 보면 표층수는 8월에 최고 수온이지만 저층수는 11월에 나타나는 것과 일치되고 있는 특성을 보이고 있어 TIN은 표층수 농도상승이 하계 육상유입수에 의한 영향이 큰 것으로 보인다. 그리고 이러한 현상은 인산 인이 수화철에 의해 제거, 현탁물질에 의해 흡착 및 탈착되었기 때문이며 수온, 염분 및 산화환원상태 등의 환경변화에 흡착, 탈착 등의 차이 때문에 나타난 것으로 알려져 있다(Tanaka *et al.*[1987]). 인산 인은 11월에 저층수에 나타나는 것은 하계 왕성한 동, 식물 플랑크톤의 데드리스가 가라앉으면서 수온이 상승된 11월 저층수에서 분해되어 높게 나타나는 것으로 보인다.

그리고 태안바다목장에서 2004년 조사된 TP의 농도분포는 0.129~0.899 µM로 평균 0.575 µM이었고, 울진바다목장에서 2004년 조사된 TP의 농도분포는 0.004~0.026 mg/l로 평균 0.016 mg/l (0.516 µM)을 보여 본 연구해역의 전체 평균 0.288 µM보다 높은

농도분포들을 보이고 있었다.

이와 같은 농도는 최 등[1989]이 제주도 해안선 주변연구에서 인산 인 농도는 0.05~0.88(0.31 µM)과 비교해보면 약간 낮은 농도분포이다(Fig. 4).

3.2.3 N/P 비율

무기태질소와 인산 인의 비는 식물플랑크톤의 성장요인에 중요한 변수이다. 연구해역의 N/P비율은 5~76으로 변화폭이 매우 크다. 계절별로는 2004년 11월에 표층수 14.7, 저층수 10.2로 가장 낮았으며 2005년 8월에 44.5, 35.0으로 가장 높았다. 정점별로는 연구해역 동쪽인 6, 7, 8, 9, 10에서가 다른 해역보다 상대적으로 낮은 N/P비율을 보이고 있다.

최 등[1989]의 제주도 해안선주변의 N/P비율보다는 낮았으나 연구해역 주변 고산해역의 평균 27.1과는 비슷하게 나타났다. 낙동강 하류역 63.5~119.6(최와 박, [1986]), 진해만, 마산만(양, [1987])에서의 높은 값은 육상수 유입의 질소계가 주된 요인이었다고 하였다. 본 연구해역에서도 N/P비율이 높은값은 하계에 나타나고 있었다.

또한 식물플랑크톤이 해양에서 성장 최적조건은 5:1에서 15:1(Ryther, [1971])이라는 값과 비교해보면 본 연구해역은 인 성분보다 질소계 성분이 많음을 보여주고 있어 인 성분이 제한인자로 나타났다.

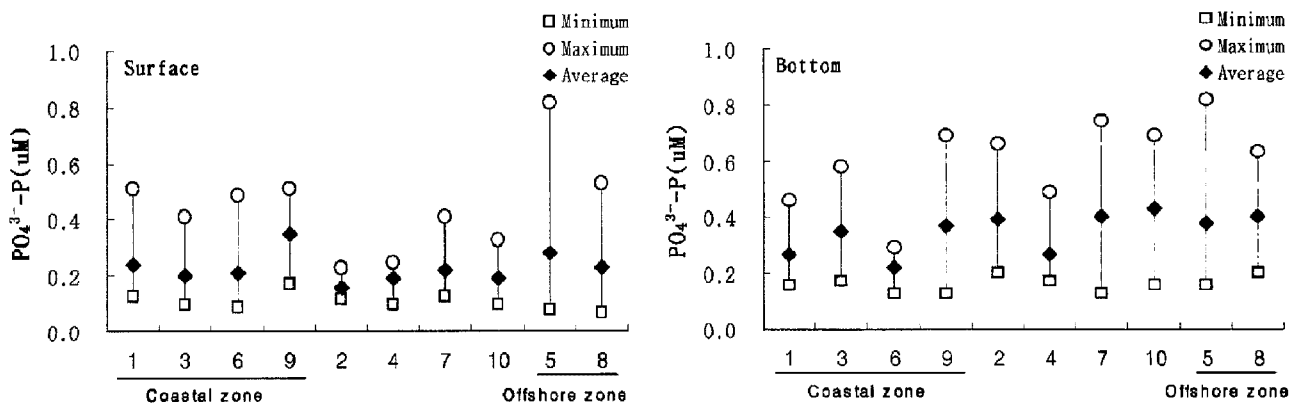


Fig. 4. Variations of the yearly maximum, minimum and average of phosphate phosphorus in near surface and bottom water.

3.3 용존산소(Dissolved Oxygen)

해역에서의 용존산소 농도는 식물플랑크톤에 의한 광합성작용 및 대기에서의 용해작용으로 증가요인과 수온상승과 생물의 호흡, 유기물 분해에 의한 소모 등으로 증감의 변화가 일어난다.

본 연구해역에서의 용존산소 농도는 표층수에서 6.74~8.84 mg/l, 저층수에서는 6.54~8.72 mg/l로 표, 저층간의 농도 차는 거의 없었다.

계절별로는 표층수에서 5월(St. 4, 6, 8.84 mg/l)에 최대농도, 8월(St. 3, 6.74 mg/l)에 최저농도를 보이고 있었고, 저층수에서는 11월(St. 5, 6.54 mg/l)에 최저농도, 5월(St. 1, 8.72 mg/l)에 최대농도를 나타내고 있었다.

표층수에서는 5월에 무기질소와 인산 인 농도가 가장 낮은 농도를 보인 것으로 보아 식물플랑크톤의 왕성한 성장에 기인하여 광합성작용으로 인한 용존산소 농도증가로 보아지며 저층수에서의 11월 최저농도는 수온상승과 하계 플랑크톤 증식 후 사후 침강에 의한 분해가 활발하게 이루어져 용존산소 소모가 많은 것으로 보인다. 또한 COD농도에서도 표층수에서 5월에 최대를 보이고 있어 이를 뒷받침을 해주고 있다.

3.4 TOC와 DOC

유기화합물 중 용존유기탄소(DOC)는 탄소 순환에 있어 중요한 역할을 하는데, 이는 탄소 이동기작 중 주요한 중간물이고, 해양의 탄소모델의 핵심적인 요소이다(Packard *et al.*[2000]). 용존유기탄소를 생성하는 과정들로 phytoplankton exudation(Karl *et al.*[1998]), 미생물에 의한 입자유기물의 용해, zooplankton sloppy feeding, 그리고 benthic remineralization등은 잘 알려진 사실들이며(Burdige *et al.*[1992]; Deuffel *et al.*[1992]; Chen and Wangersky,

[1993]; Hygum *et al.*[1997]), 강물로 유입된 용존유기탄소 중 하구역에서 제거되는 양은 약 20%(범위4~60%) 정도로 알려져 있다(Fox, [1991]).

연구해역의 총유기탄소의 농도분포는 표층에서 1.11~8.26 mg/l, 평균 2.70 mg/l 이었다. 저층수에서는 1.12~5.56(평균 2.11 mg/l)를 나타내고 있다. 연구기간 중 계절별 특성은 표, 저층수에서 평균농도로 11월에 가장 낮은 농도를, 3월에 가장 높은 농도를 나타내고 있었다. 정점별로는 표층수에서 연안, 외해역 중간역인 정점 7에서 가장 높은 농도를, 연안역인 남쪽 정점 9에서 가장 낮은 농도 분포를 보이고 있었다. 두 정점간의 농도차는 2배 이상을 보이고 있는 특성을 나타내고 있다.

저층수에서는 용수리 연안역인 정점 3에서 가장 높은 농도를, 수월봉 외해역인 정점 10에서 가장 낮은 농도를 보이고 있으며 농도차는 2배정도를 보이고 있다. 손 등[2003]의 한국연안수 연구에서의 인천연안 1.06~9.20 mgC/l, 형산강 지역 1.60~12.64 mgC/l의 결과치와 비교해보면 본 연구해역이 약간 낮은 값을 보이고 있는데 이는 손 등[2003]의 연구해역은 강과 항만이 인접하여 육상수 공급이 지속적으로 유입되고 있어 육상유기물 공급에 의하였지만 본 연구해역은 육상유기물 공급원이 없어 낮은 값을 나타낸다고 볼 수 있다.

용존유기탄소(DOC) 농도분포는 표층수에서 1.05~3.59(1.68)mg/l, 저층수에서는 0.63~2.35(1.37)mg/l였고 표층수의 농도가 저층수보다 높은 특성을 보이고 있었다.

연구기간 중의 평균값으로 표층수에서 계절별 특성은 3월에 가장 높은 농도를 보이다가 5월에 가장 낮은 농도를 보이고 있다. 저층수에서는 표층수와 마찬가지로 3월에 최대농도를, 5월에 가

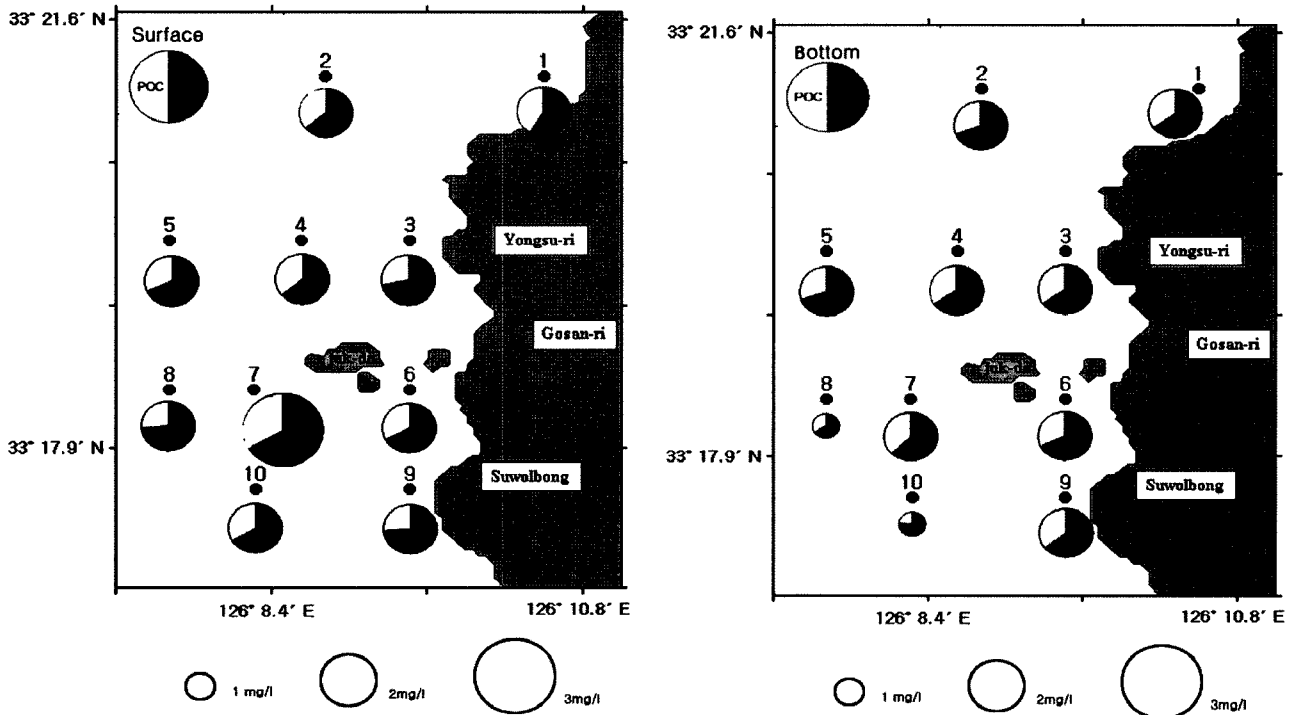


Fig. 5. Horizontal distributions of TOC/DOC ratios of surface and bottom in Chagwi-Do.

장 낮은 농도를 나타내고 있었다. 이와 같은 농도분포는 해양표층에서의 용존유기탄소(DOC)값 0.84-0.96 mgC/l(Guo *et al.*[1995])와 비교하면 이보다도 높은 농도로 연안역이 계절에 따라 육상유입에 의한 영향이 크다는 것은 보여주고 있다.

3.4.1 DOC/TOC 비율

연구해역에서의 총유기탄소 중 용존유기탄소의 비율은 표층수에서 36.3~90.3(67.4)%, 저층수에서는 37.9~86.9(67.9)%를 나타내고 있다. 계절별 특성은 표층수에서 9월(St. 1, 36.3%)에 최소비율을, 9월(St. 9, 90.3%)에 최대비율을 나타내고 있으며, 저층수에서는 3월(St. 8, 37.9%)에 최소, 8월(St. 6, 86.9%)에 최대값을 보이고 있다.

정점별 특성은 가장 외해역인 정점 5와 8에서 표, 저층수 모두 DOC/TOC비율이 연구기간 중 최소값과 최대값 차가 가장 크게 나타나 있는 것은 수심이 깊지만 연직혼합이 잘되고 3월에서 5월(수온, 염분)과 잘 일치되고 있어 저층에 있던 난분해성 유기체실물들이 표층까지 이동되어져 용존유기탄소량 값은 적어졌다고 볼 수 있다.

Gustave Cauwet 등[2002]의 흑해 계절별 DOC연구에서 POC 40~150 μM, DOC는 150~250 μM의 결과와 비교해보면 본 연구해역의 POC는 표층에서 10~285.8 μM, 저층에서 18.3~180.0 μM, DOC는 표층에서 71.7~299.2 μM, 저층에서 52.5~195.8 μM로 비슷한 농도분포였다.

또한 문 등[1993]의 아산만 연구해역에서 POC값이 125 μM 정도로 본 연구해역에서는 육상유입원 담수영향이 없지만 유기탄소량은 다른 해역과 비슷하였다(Fig. 5).

감사의 글

본 연구는 2004년, 2005년 북제주해역의 바다목장화 사업에 의해 지원되었습니다. 이 연구에 참여한 김진석은 2006년도 친환경 해양산업뉴프론티어전문인력양성사업의 지원을 받아 연구하였으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 강은숙, 1993, 완도 연안해역의 해양환경특성, 교육학석사 학위논문, 조선대학교, 38pp.
 [2] 강태연, 최영찬, 고유봉, 1996, 제주도 주변 용승역의 생물생태학적 기초연구(I). 제주도 남서부 연안해역의 해수화학적 특성과 용승현상. 한국수산학회지, 29(5), 603-613.
 [3] 김성근, 1991, 완도 근해의 해양환경에 관한 연구, 교육학석사 학위논문, 조선대학교, 35pp.
 [4] 김성수, 이재성, 김귀영, 정래홍, 2002, 강진만 수질의 계절변동 특성, 2002년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, 한국수산학회, 233-234.
 [5] 문창호, 박철, 이승용, 1993, 아산만의 영양염 및 입자성 유

기물. 한국수산학회지, 26(2), 173-181.
 [6] 방익찬, 김태희, 1993, 제주도 서부 연안역의 용승, 제주대학교, 해양연보, vol. 17, 1-12.
 [7] 손주원, 박용철, 이효진, 2003, 한국 연안수에서 총유기탄소 및 화학적 산소요구량 분포 특성. 한국해양학회지, 8(3), 317-326.
 [8] 양동범, 1987, 진해만의 질소 화합물 순환에 대한 연구, 한국과학기술원 해양연구소.
 [9] 오봉철. 1987, 제주도 주변해역의 동물플랑크톤 생산량 추정과 군집구조에 관한 연구. 제주대 석사논문, p67.
 [10] 이준백, 고유봉, 최종현, 1990, 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, 5(2), 159-171.
 [11] 이준백, 최영찬, 고유봉. 1989, 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10(1), 62-67.
 [12] 전득산, 고유봉, 1983, 제주도 주변해역의 chlorophyll a 함량분포. 제주대 해양연보, 7, 23-27.
 [13] 최영찬, 고유봉, 이준백, 1989, 제주도 해안선 주변의 해수특성(1987년 6월~1988년 4월), 한국지구과학회지, 10(1), 54-61.
 [14] 최영찬, 박칭길, 1986, 낙동강 하류역의 부영양화 현상에 관한 연구, 한국수산학회지, 19(4), p. 339-346.
 [15] 최영찬, 이준백, 고유봉, 1994, 제주도 서부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I) - 고산주변 연안역의 해수특성 -. 제주대. 해양연구보고. 18, 39-48.
 [16] 한국해양연구소, 1996, 푸른바다를 위하여, 한국해양연구소.
 [17] 해양수산부, 2005, 동-서-제주해역 바다목장화 개발 연구용역-울진바다목장-, 해양수산부.
 [18] 해양수산부, 2005, 동-서-제주해역 바다목장화 개발 연구용역-태안바다목장-, 해양수산부.
 [19] Abu affan, Joon-Baek Lee, Jun-Teck Kim, Young-Chan Choi, Jong-Man Kim, and Jung-Gpp Myoung, 2007, Seasonal Dynamics of Phytoplankton and Environmental Factors around the Chagwi-do off the West Coast of Jeju Island, Korea. *Ocean Science Journal*, Vol. 42 No. 2, 117-127.
 [20] Burdige, D.J., M.J Alperin, J. Homsteas and C.S. Martins, 1992, The role of benthic fluxes of dissolved organic carbon in oceanic and sedimentary carbon cycling. *Geophysical Res. Letters*, 19, 1851-1854.
 [21] Cauwet, G, Déliat, G, Krastev, A., Shtereva, G, Becquevort, S., Lancelot, C., Momzikoff, A., Saliot, A., Cociasu, A., Popa, L., 2002, Seasonal DOC accumulation in the Black Sea: a regional explanation for a general mechanism. *Mar. Chem.*, 79, 193-205.
 [22] Chen, W. and P.J. Wangersky, 1993, A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of marine dissolved organic carbon and its comparison with the UV photo-oxidation method. *Mar. Chem.*, 42, 95-106.
 [23] Druffel, E.R.M., P.M. Williams, J.E. Bauer and J.R. Ertel, 1992, Cycling of dissolved and particulate organic matter in the open ocean. *J. of Geophysical Res.*, 97, 15639-15659.
 [24] Fox, L.E., 1991, The transport and composition of humic substances in estuaries. In: *Organic Substances and Sediments in Water*, Vol. I, edited by Baker. R.A., Humics and Soils, Lewis

- Publishing, Chelsea, MI, pp. 129-162.
- [25] Guo, L., P.H. Santschi and K.W. Warnken, 1995. Dynamics of dissolved organic carbon(DOC) in oceanic environments. *Limnol. Oceanogr.*, **40**(8), 1392-1403.
- [26] Hygum, B.H., J.W. Petersen and M. Sondergaard, 1997. Dissolved organic carbon released by zooplankton grazing activity—a high quality substrate pool for bacteria. *J. of Plankton Res.*, **19**, 97-111.
- [27] Karl, D.M., D.V. Hebel, K. Bjorkman and R.M. Letelier, 1998. The role of dissolved organic matter release in the productivity of the oligotrophic North Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **43**, 1270-1286.
- [28] Ryther, J.H. and Dunstan W.M., 1971, Nitrogen, Phosphorus, and Eutrophication in the Coastal Marine Environment, *Science*, **171**, p. 1008-1013.
- [29] Tanaka, K. and S. Hamada, 1987, Investigations on nutrients in turbid estuaries: Buffering of phosphate concentration by suspended sediments. *Bull. Coast Oceanogr.*, **24**, 125-133.
- [30] Thomas, C., Cauwet, G., Minster, J.F., 1995 Dissolved organic carbon in the equatorial Atlantic Ocean. *Mar. Chem.*, **45**, 155-169.
- [31] 盧洪吉, 1985, 濟州道 周邊海域의 漁場海洋環境에 關する 研究. 博士學位論文, 東京大學, 215p.

2007년 4월 11일 원고접수

2008년 5월 19일 수정본 채택