

## 2004년 7월 붓돌바다의 영양염과 Chlorophyll-a의 단기 변동

최 용 규 · 조 은 섭 · 권 기 영 · 이 용 화 · 이 영 식  
국립수산과학원 남해수산연구소  
(2005년 1월 12일 접수; 2005년 4월 12일 채택)

### Temporal variations of nutrients and chlorophyll-a in the Bottol Bada in July, 2004

Yong-Kyu Choi, Eun-Seob Cho, Kee-Young Kwon, Yong-Hwa Lee and Young-Sik Lee  
South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea  
(Manuscript received 12 January, 2005; accepted 12 April, 2005)

In order to study the temporal variations of nutrients and chlorophyll-a in the Bottol Bada, three field observations were carried out on 20, 23 and 26 July, 2004. The low N:P values exhibit nitrogen deficiency during the periods of observation. This result is not representative of typical summer environment in the southern coast of Korea. The possible mechanisms are as follows: 1) The freshwater inflow was not sufficient for the supply of nitrogen because the total precipitation was 11.9 mm in July, 2004. This amount is no more than 5% in normal precipitation in July. 2) There was an inflow of oceanic water under the subsurface into the Bottol Bada. Even though the oceanic water comprises more nutrients, it produces the stratification between the surface and the subsurface water and seems to prevent the supply of nutrients to the surface layer. 3) The high chlorophyll-a concentration of 1.2 µg/L was shown near the narrow channel between Gae-do and Geumo-do. This seems to be resulted from the inflow of water from Gamak Bay.

Key Words : N:P, Bottol Bada, Stratification

#### 1. 서 론

남해 연안역은 넓은 대륙붕이 발달해 있고 또한 복잡한 해안 지형에 의해서 형성된 만들이 산재해 있어 어패류의 산란장 및 생육장으로서 중요한 역할을 한다. 붓돌 바다는 남해안의 중앙에 위치하고 있다. 동쪽으로는 개도, 금오도, 소리도에 의해서 가막만 및 여수해만과 구분되며, 서쪽으로는 내나로도 와 외나로도에 의해서 거금수로 및 득량만과 경계를 이루고 있다. 북쪽에 여자만이 여수반도와 고흥 반도에 둘러싸여 있으며, 남쪽으로는 남해와 접해 있다. 이 때문에 붓돌 바다는 북쪽의 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 남쪽의 개방된 만구조로 인하여 유입되는 외해수의 영향을 모두 받는 해역이다<sup>1-3)</sup>.

이러한 해양적 특성으로 인하여 붓돌 바다는 대규모 유해성 적조가 남해안에서 최초 발생하는 해역으로 알려져 있다<sup>1,2)</sup>. 특히 하계의 남해 연안역은 대규모 담수 유입에 의해서 일시적으로 영양염의 농도가 높은 연안 생태계를 이룬다<sup>4-6)</sup>. 그러나 연안역에서의 담수 유입은 해수와 물리적 혼합 과정에 의해서 농도가 크게 변한다<sup>6-8)</sup>. 또한 연안역이나 폐쇄된 만에서 영양염의 분포나 농도 변화는 식물플랑크톤의 대증식 및 분포에도 영향을 미친다<sup>5,7,9-11)</sup>.

붓돌바다는 섬으로 둘러싸인 만과 같은 지형구조로서 북쪽에는 여자만이 위치하고, 동쪽에는 나로도, 서쪽에는 소리도에 의해 둘러싸여 있으며, 남쪽으로는 한국 남해와 바로 연결되는 개방형 만의 구조를 가지고 있다. 이러한 특성으로 붓돌 바다는 북쪽의 내만성 해역과 남쪽의 외해역 사이에 위치한 경계 해역으로 볼 수 있다. 또한 서쪽에는 거금수로와 동쪽에는 가막만이 위치하고 있어 여러 작은 섬들 사이의 좁은 수로를 통하여 연결되어 있다. 따라서 붓돌 바다는 여러개의 좁은 수로를 통해서 조류에 따라 유

Corresponding Author : Yong-Kyu Choi, South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea  
Phone: +82-61-690-8948  
E-mail: uniproto@hanmail.net

직이는 수괴의 흐름이 수로 부근에서는 부분적으로 복잡한 유동 형태를 나타내는 해역이기도 하다.

또한 북돌 바다는 북쪽의 여자만과 남쪽의 남해 사이에 위치한 경계해역으로 저염한 담수의 유입 및 고염한 외해수의 상호 작용으로 해황의 시·공간적 변동이 클 것으로 생각된다. 지중해와 대서양을 연결하는 지브랄타해협에서 영양염의 분포는 생물학적 과정 및 연직혼합 과정에 의해서 큰 변동을 나타내며<sup>12)</sup>, 인도네시아의 자바 해협에서 영양염의 농도는 지역적으로 담수의 유입과 연안의 지형으로 인하여 큰 계절변화를 나타낸다<sup>9)</sup>. 특히 연안역에서 풍수기의 담수 유입은 영양염의 농도나 Chl-*a*의 현존량 증가를 야기한다<sup>8,13)</sup>. 우리나라 남해안도 풍수기와 갈수기에 따른 영양염 및 식물플랑크톤의 기초생산력의 변화가 계절적으로 크게 변한다<sup>4~6)</sup>. 그러나 본 연구에서는 계절변화보다는 담수 유입이 증가하는 풍수기인 여름철에 북돌바다의 화학적인 분포와 이에 따른 Chl-*a*의 변화를 보고자 하였다. 북돌바다에서 영양염의 시·공간적인 변화가 짧은 기간 동안에 어떻게 나타나는가 보려고 하였으며, 또한 영양염의 변동에 따른 식물플랑크톤 즉, Chl-*a*의 변화도 살펴보았다.

## 2. 재료 및 방법

북돌 바다에서의 영양염 및 Chl-*a*의 단기적인 분포를 보기 위하여 2004년 7월 20일, 23일 그리고 26일의 3일간 12개 정점(Fig. 1)에서 국립수산과학원

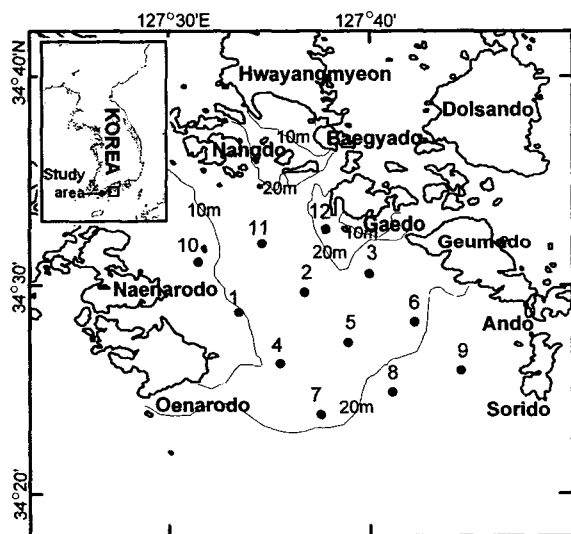


Fig. 1. Geographical location of the sampling stations in the Bottol Bada. The thin lines denote the isodepth of 10 m and 20 m.

소속의 R/V 탐구 11호(16G/T)를 이용하여 표층과 저층에서 각각 2L씩 해수를 채취하였다. 표층과 저층의 해수 채취에는 Niskin bottle(G/O 1.2L, USA)을 이용하였다. 채취된 해수는 1L 플라스틱 용기에 담아 냉장고에 보관 후 실험실로 옮겨 해양환경공정 시험방법<sup>14)</sup>에 의거 즉시 분석을 행하였다. 즉, 암모니아 질소는 인도페놀법을 이용하여 640nm에서 정량 측정하였고, 아질산 질소는 술피아미드 용액과 NED 용액으로 반응시켜 543nm에서, 질산 질소는 카드뮴-구리 환원관을 통과시켜 아질산 질소의 정량 방법에 의해서 정량하였다. 인산인은 885nm에서 정량 측정하였다. 정량측정에는 분광광도계(Cary-1E, Varian)를 사용하였다. 그리고 chl-*a*는 시료를 membrane filter로 여과한 후, 아세톤 용액을 이용하여 원심 분리 후에 흡광도를 측정하였다.

## 3. 결 과

연구 기간 동안 분석된 시료에 대해서 용존무기질소와 인산인의 비를 보기위해서 Fig. 2의 상단에 인산인에 대한 용존무기질소를 7월 20일, 23일 그리고 26일에 대해서 나타내었다. 인산인에 대한 용존무기

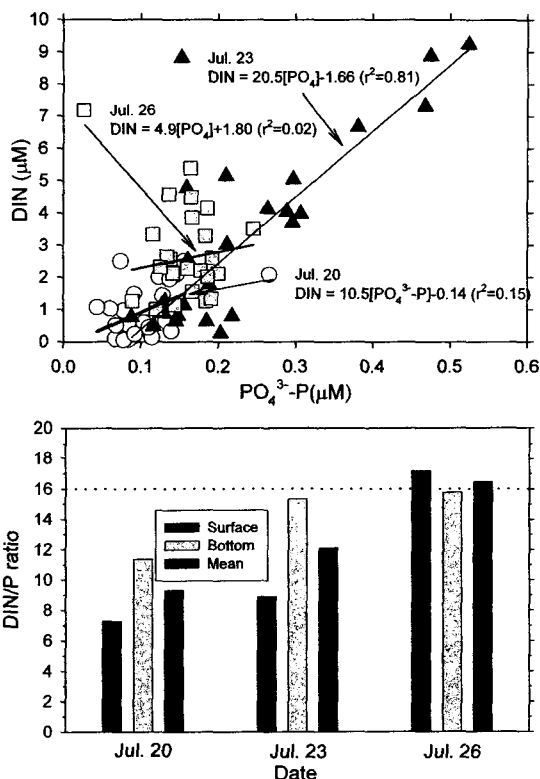


Fig. 2. Dissolved inorganic nitrogen plotted to phosphate (upper) and histogram of DIN/ $PO_4^{3-}P$  ratio (lower).

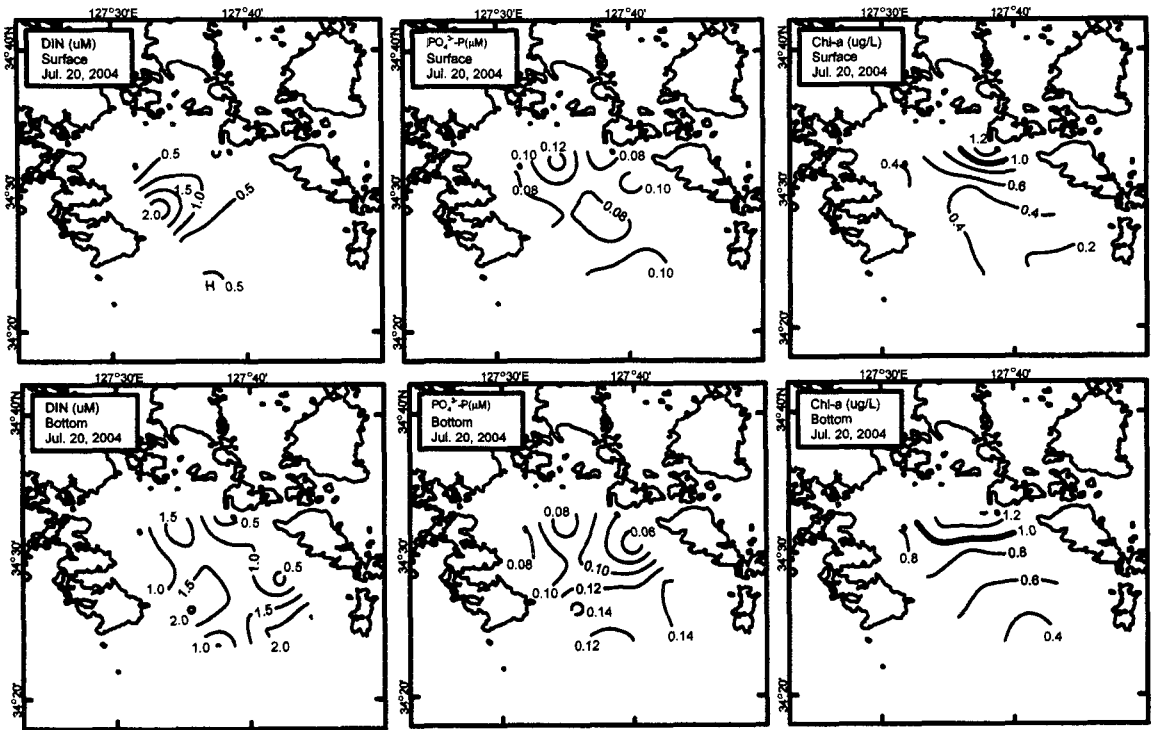


Fig. 3. Horizontal distributions of DIN (left),  $PO_4^{3-}-P$  (middle) and chl-*a* (right) in the surface (upper) and bottom (lower) waters in July 20.

질소는 7월 20일에 약  $0.1\mu M$  내외였으며, 26일에 약  $0.15\mu M$  내외였지만, 23일에는 인산인이 최대 약  $0.5\mu M$ 까지 증가하였다. 각 관측일에 대한 전체적인 용존무기질소에 대한 인산인의 비를 보기 위하여 Fig. 2의 하단은 표층, 저층 그리고 표층과 저층을 평균한 총용존무기질소에 대한 인산인의 비를 나타낸 것이다. 북돌바다에서 용존무기질소에 대한 인산인의 평균 비율은 7월 20일에 약 9.3, 23일에 약 12.1, 그리고 26일에 약 16.4였다. 관측 일자가 경과함에 따라서 용존무기질소에 대한 인산인의 비율은 점차 증가하는 경향을 나타내었다.

7월 20일과 23일 그리고 26일의 용존무기질소, 인산인 그리고 chl-*a*에 대한 수평분포도를 Fig. 3과 Fig. 4 그리고 Fig. 5에 표층과 저층을 구분하여 각각 나타내었다. 7월 20일에 용존무기질소는 북돌바다의 서쪽인 나로도해역에서 표층과 저층에서  $2.0\mu M$  이상이었으며 저층에서는 소리도해역에서  $2.0\mu M$ 로 높았다. 표층에서의 인산인은 개도해역에서  $0.12\mu M$ 로 높았으나 저층에서는 소리도해역에서  $0.14\mu M$ 로 높게 나타났다. Chl-*a*는 표층과 저층이 개도해역에서 모두  $1.2\mu g/L$ 로 높았다. 7월 23일에 용존무기질소는 북돌바다의 동쪽인 금오도해역에서 표층에서는

약  $4.5\mu M$ , 저층에서는  $8.0\mu M$  이상으로 높게 나타났다. 인산인은 표층에서 북돌바다의 중앙 해역과 소리도해역에서 약  $0.18\mu M$ 로 높았으며, 저층에서는 소리도해역에서 약  $0.45\mu M$  이상 높게 나타났다. Chl-*a*는 북돌바다의 서쪽 해역인 개도해역에서 표층( $2.0\mu g/L$  이상)과 저층( $2.5\mu g/L$ )이 모두 높게 나타났다. 7월 26일에 총용존무기질소를 보면 표층에서는 북돌바다의 외해역에서 약  $4.5\mu M$  이상이었으며, 저층에서는 표층과는 반대로 나로도해역( $3.0\mu M$  이상)과 금오도해역( $4.0\mu M$  이상)에서 높게 나타났다. 인산인은 표층에서는 북돌바다의 중앙 해역에서  $0.22\mu M$  이상이었으며, 저층에서는 금오도해역에서  $0.18\mu M$  이상으로 높았다. chl-*a*는 북돌바다의 서쪽인 개도해역에서 표층( $1.6\mu g/L$  이상)과 저층( $1.4\mu g/L$  이상)에서 높게 나타났다.

Fig. 6은 염분에 따른 영양염의 분포를 보기 위하여 염분에 대해서 아질산 질소, 질산 질소, 암모니아 질소 그리고 인산인을 나타낸 것이다. 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산인은 7월 23일의 경우 염분이 낮은 표층에서 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산인의 농도도 낮으며, 염분이 높은 저층에서 아질산 질소, 질산 질소 그리고 인산인의 농도도 또한 높게

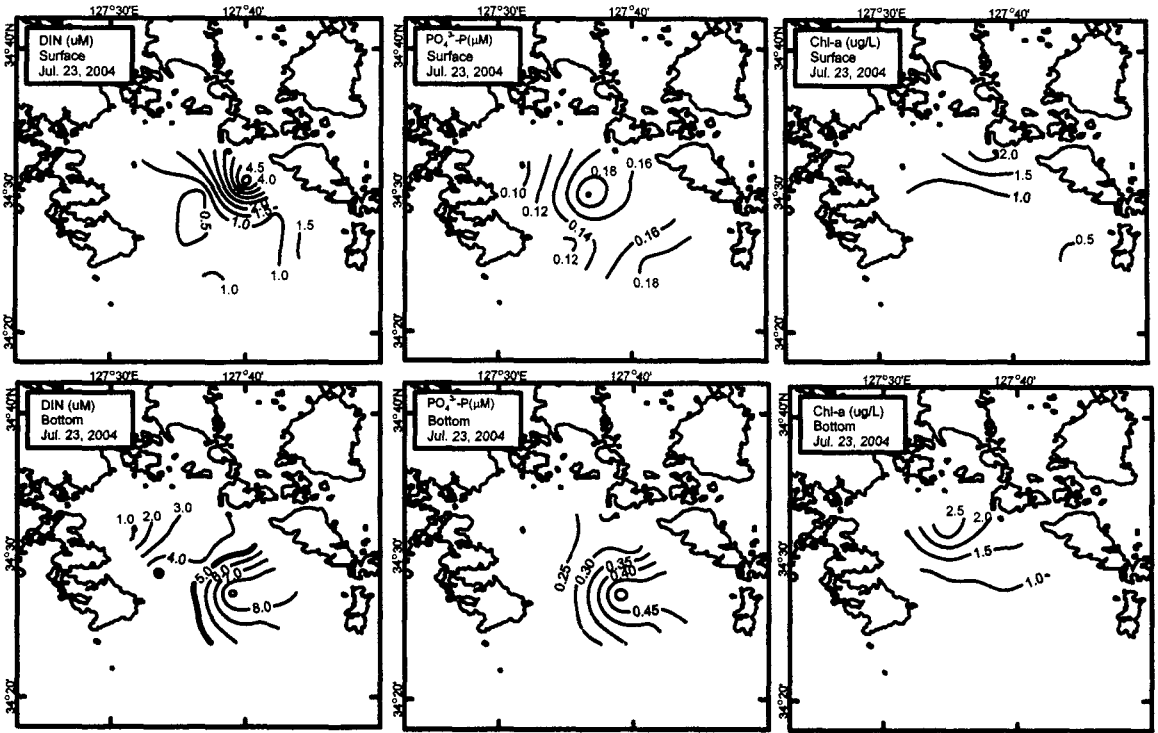


Fig. 4. The same as in figure 3 except for July 23.

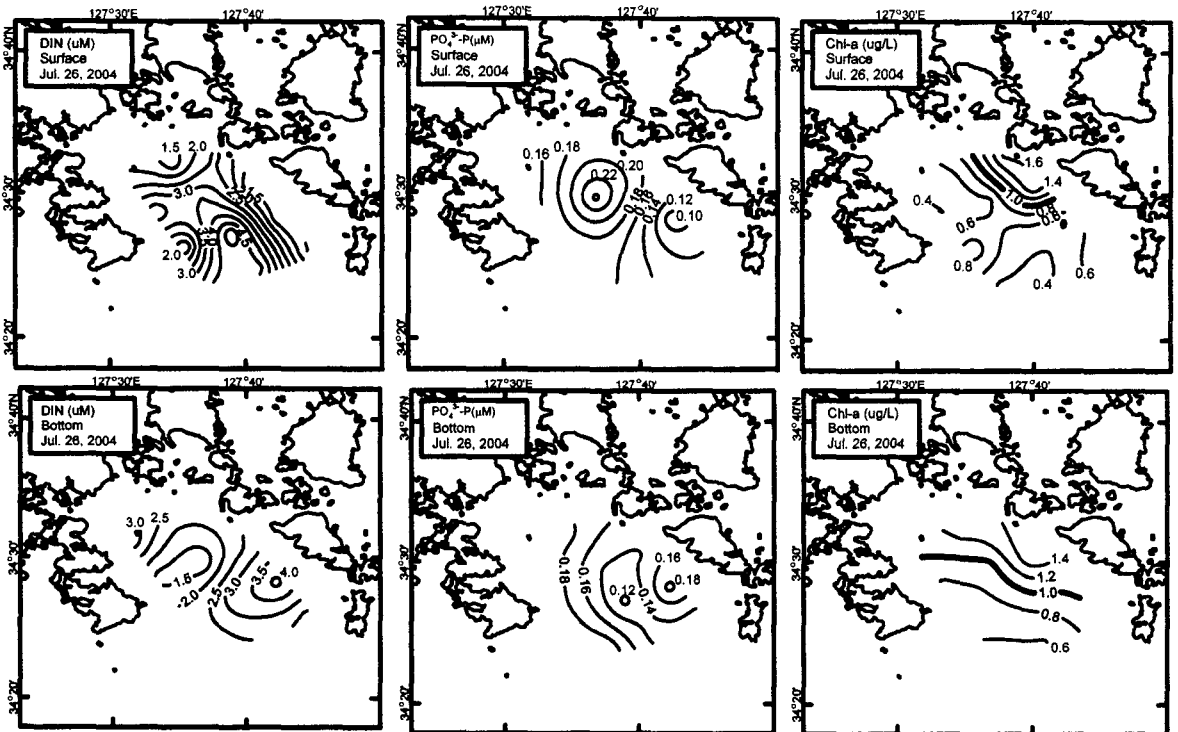


Fig. 5. The same as in figure 3 except for July 26.

2004년 7월 북돌바다의 영양염과 Chlorophyll-a의 단기 변동

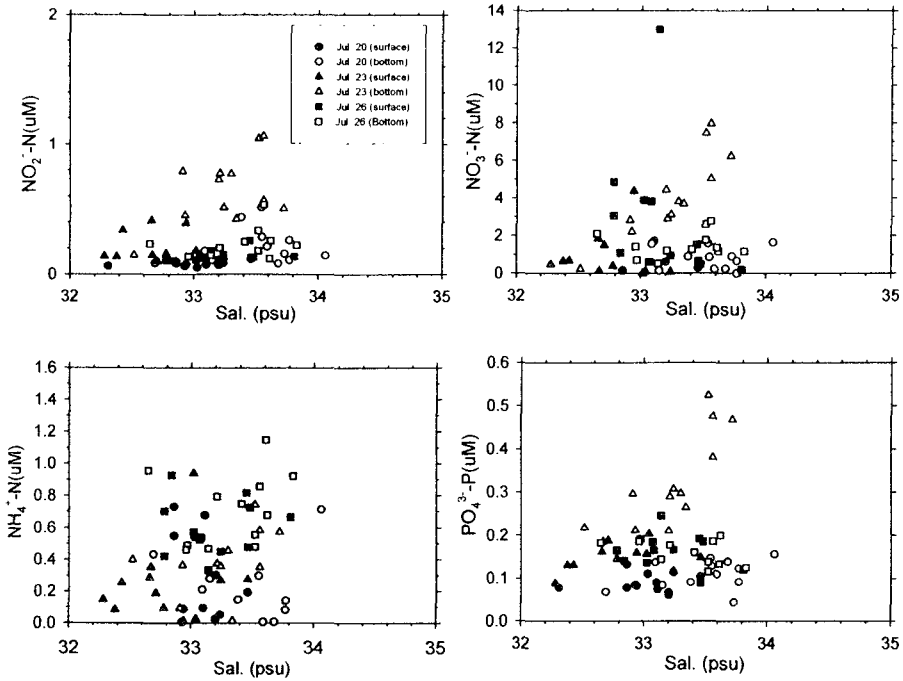


Fig. 6. Nitrite (upper left), nitrate (upper right), ammonia (lower left) and phosphate (lower right) plotted to salinity.

나타났다. 3일의 관측 기간 동안 특히 7월 23일에 영양염과 염분이 다른 관측일에 비해서 높은 경향을 보였다.

Fig. 7은 표층과 저층간의 밀도 차이에 대한 표층과 저층의 Chl-a의 분포를 나타낸 것이다. 뚜렷한 상관성을 나타내지는 않았지만, 표층과 저층 사이의 밀도 차이가 작을수록 Chl-a는 높아지는 경향이였다.

관측 기간 동안 북돌바다의 수형 분포를 보기 위하여 Fig. 8에 T-S도를 나타내었다. 전체 조사 기간의 수온은 13.2~23.9°C의 범위였고, 염분은 32.28~34.17psu의 범위였다. 이때의 밀도( $\sigma\text{-t}$ ) 분포는 21.5~25.3 $\text{kg}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타내었다. 조사 기간 동안 나타난 특징은 표층은 고온저염, 저층은 저온고염의 수괴 특성을 나타내어, 표층과 저층의 수괴가 성층화되어 있었다. 관측 기간 동안 각각의 수온과 염분 범위를 보면, 7월 20일에 수온은 13.2~24.4°C, 염분은 32.31~34.06psu의 범위였으며, 7월 23일에 수온은 16.0~24.6°C, 염분은 32.28~33.72psu의 범위였고, 7월 26일에 수온은 16.7~24.9°C, 염분은 32.65~33.83psu의 범위였다.

Fig. 9는 여수에서 2004년 7월의 강우량을 평년 강우량과 함께 나타낸 것이다. 7월의 평년의 총 강우량은 약 260.9mm로 7월 초순에 85.3mm(33%), 7월 중순에 93.7mm(36%) 그리고 7월 하순에 81.9mm(31%)로 강우량이 많고 적음은 있지만 7월 한달 동안 거의 일정하게 강우가 있었다. 그러나 2004년 7

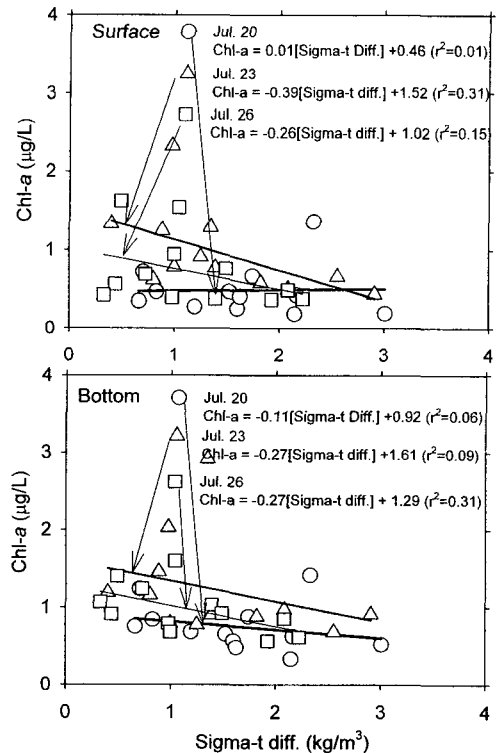


Fig. 7. The relationship between Chl-a and sigma-t difference in the surface water (upper) and the bottom water (lower). Solid lines denote the linear least square fit on each date.

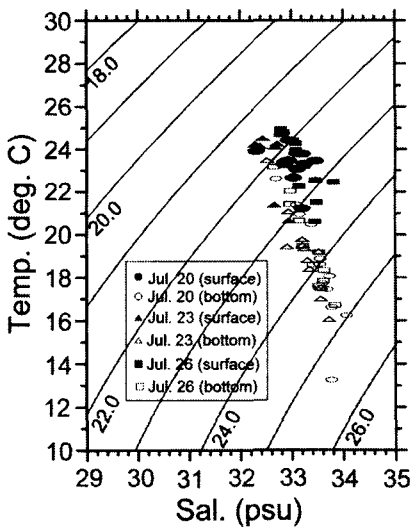


Fig. 8. T-S diagram of surface and bottom waters of study area on 20, 23 and 26 July, 2004.

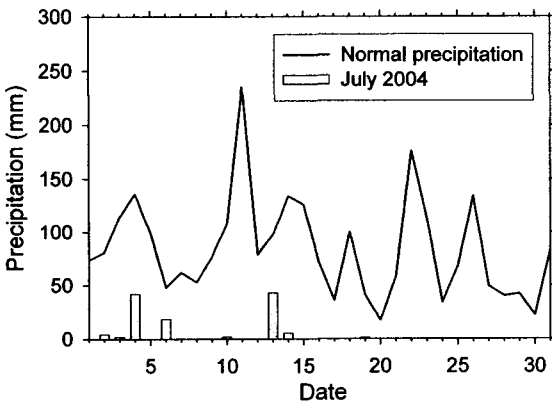


Fig. 9. Precipitation in July, 2004 (stick) and normal precipitation in July (line).

월의 경우에 총 강우량은 11.9mm로 7월 초순에 6.9mm(58%), 7월 중순에 5.0mm(42%)였고, 관측 기간인 7월 하순에는 강우량이 전혀 없었다.

#### 4. 고 찰

한국 남해 연안은 담수 유입의 영향으로 영양염들이 항상 충분히 존재하는 해역이며, 이러한 해수 중의 화학 성분들은 담수와 해수의 물리적 혼합 과정에 의해서 농도가 크게 변한다<sup>4-6</sup>.

연구 해역에서 인산인에 대한 용존무기질소의 비는 7월 20일에 가장 적었다가 조사 일자가 경과하면서 인산인에 대한 용존무기질소의 비는 증가하는 경향이였다. 7월 23일의 경우에는 인산인이 증가할수록 용존무기질소도 증가하는 뚜렷한 경향을 보였

다. 7월 20일과 23일에는 인산인에 대한 용존무기질소의 비가 모두 16이하였고, 7월 26일에는 인산인에 대한 용존무기질소의 비가 16.3이었다(Fig. 2). 식물 플랑크톤에 의한 기초 생산에 있어서 기수역이나 해양에서는 질소가 제한 인자이며, 담수에서는 인산이 기초 생산을 제한한다. 이 두가지 요소는 수괴내의 식물플랑크톤의 종조성에도 크게 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 Redfield 비가 16이하이면 질소가 제한인자이며, 16이상이면 인이 제한 인자로 작용한다. 식물플랑크톤에 의한 기초 생산에 있어서 7월 20일과 23일에는 질소가 제한 인자였으며, 7월 26일에는 인이 제한 인자였음을 나타내었다. 한국 남해 연안에서 질소대 인의 비를 설명하면서 남해 연안역은 질소가 제한 인자로 작용하는 생태계라고 하였다<sup>5</sup>. 한국 남해에서 여름과 겨울철 영양염 분포 특성을 설명하면서, 영양염의 질소대 인의 비는 여름철에는 인이 상대적으로 부족한 반면 겨울철에는 질소가 결핍되어 우기에 강우와 하천을 통한 질소의 유입이 남해 생태계 유지에 중요한 역할을 한다고 하였다<sup>4</sup>. 광양만에서 식물 플랑크톤 증식에 미치는 제한 영양염을 설명하면서, 담수 유입이 많은 시기에는 인이 제한 영양염이며, 가을부터 봄까지는 질소가 제한 영양염이라고 하였다<sup>11</sup>. 또한 전남 고흥 해역에서 북측 내만은 인근 육지에서 공급된 용존무기질소의 양이 전체 유입량의 70%를 차지하고 북측 내만을 제외한 해역에서는 외해로부터 유입된 용존무기질소가 전체 유입량의 98%로 주 유입원이 된다고 하였다<sup>11</sup>. 이와 같은 사실들은 남해 연안역이 여름철에는 인이 제한 영양염이며 질소의 주 유입원은 담수임을 밝히고 있다. 그러나 7월 20일과 23일에 질소가 제한 인자로 작용하였다는 것은 질소 유입 혹은 담수 유입이 없었다는 것을 나타낸다(Fig. 2). 그리고 붓돌바다의 북측 내만에서 용존무기질소가 높은 분포를 보이는 것은 인근 육지로부터 공급된 것임을 시사하고 있다. 이에 따른 풍부한 용존무기질소로 인하여 Chl-a도 붓돌바다의 북측에서 높게 나타났다(Fig. 3~Fig. 5). 이것은 식물플랑크톤의 대증식에 의한 용존무기질소의 소모가 관측 기간 동안 나타나지 않았음을 시사하고 있다.

하천을 통하여 유입되는 질산질소는 성층을 이루고 있는 연안역에서 식물플랑크톤을 크게 증식시키며, 또한 대증식 동안의 강한 성층은 저층으로부터의 영양염, 특히 인산인의 공급을 방해한다고 하였다<sup>5</sup>. 성층은 영양염의 분포뿐만 아니라 식물플랑크톤의 광합성 작용에도 영향을 미친다고 하였다<sup>7</sup>. Fig. 7에서와 같이 관측 기간 동안 성층은 어느 정도 형성되어 있지만, Chl-a의 농도는 성층과 뚜렷한 상관성을 보이지 않는다. 이것은 관측 기간 동안 붓

돌바다의 해양환경이 식물플랑크톤의 증식에 적합하지 않았음을 시사하고 있다.

나로도와 소리도 사이 해역의 하계 해황을 설명하면서 남해 외해역으로부터의 저염수의 유입이 있음을 설명하였다<sup>2)</sup>. 또한 전남 고흥 해역에서 높은 영양염과 고온·저염의 특징을 가진 외해 공급원은 하절기에 남해를 통과하는 고온·저염의 특성을 가진 양자강 희석수일 것으로 추정하였다<sup>1)</sup>. 그러나 염분이 높은 저층에서 아질산질소, 질산질소 그리고 인산인의 농도가 높게 나타나는 경향을 보이고 있다(Fig. 6). 남해 연안수의 염분이 하계에 31.8psu 내외의 특성을 가진다고 하였다<sup>15)</sup>. 또한 양자강 희석수의 영향을 33.0psu 이하의 염분으로 추정하였다<sup>2)</sup>. 본 연구에서 관측 기간 동안 염분의 범위는 32.28~34.06psu로 남해 연안수의 평균 염분보다도 약 0.48~2.26psu나 높았다. 그리고 양자강 희석수보다도 낮은 염분도 있지만 대부분의 저층 수형은 염분이 33.0psu이상의 분포를 나타내고 있다(Fig. 8). 이와 같은 사실은 관측 기간 동안 붓돌바다에 저염한 양자강 희석수가 아닌 고염의 외해수가 붓돌 바다의 표층 아래에서 유입되었음을 시사하고 있다. 또한 관측 기간 동안의 강우량은 평년 7월 강우량의 약 5%에 지나지 않았고, 이 역시 7월 초순과 중순에 집중되어 있어 관측 기간인 7월 하순에는 강우에 의한 담수 유입이 전혀 없었다(Fig. 9). 남해안에서 여름철에는 인이, 겨울철에는 이와 반대로 질소가 결핍되어 강우와 하천을 통한 질소의 유입이 남해 생태계 유지에 중요한 역할을 한다고 하였다<sup>4)</sup>. 또한 여름에 염분이 32.0 psu 이하의 저염수가 분포하는 남해 연안역에서 하천을 통한 질소의 공급은 식물플랑크톤의 기초생산력을 크게 향상시킨다고 하였다<sup>5)</sup>. 대서양에 접한 브라질 연안역에서 강우가 많은 시기에 Chl-a의 농도가 높아진다고 하였다<sup>8)</sup>. 여름철 동중국해에서 양자강 희석수는 영양염의 농도를 증가시키고, Chl-a의 현존량도 증가시킨다고 하였다<sup>13)</sup>. 그리고 붓돌바다에서 같은 시기에 관측된 수온과 염분 자료로서 외양수의 유입을 시사하였다<sup>3)</sup>. 이와 같은 사실들은 연구 기간 동안 붓돌바다는 여름철이었음에도 불구하고 담수 유입이 없어, 질소가 인에 비해서 상대적으로 부족한 겨울철과 유사한 영양염의 분포를 나타내었고, 이에 따라 식물플랑크톤에 의한 대증식도 없었다. 또한 외양수가 표층하에서 유입되었음을 시사하고 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 국립수산물학원(세부과제명: 남해해양환경연구, RP-05-ME-14)의 지원에 의해 운영되었

습니다.

#### 참고 문헌

- 1) 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000, 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구: 1. 물리·화학적인 특성, 한국해양학회지 「바다」, 5(1), 16-26.
- 2) 최현용, 2001, 한국 남해 나로도와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계, 한국해양학회지 「바다」, 6(2), 49-62.
- 3) 최용규, 조은섭, 이용화, 이영식, 2005, 2004년 7월 붓돌바다의 썰물, 전류 및 밀물시 수온과 염분 분포, 한국환경과학회지, 14(2), 167-175.
- 4) 이동섭, 1999, 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성, 한국해양학회지 「바다」, 4(4), 371-382.
- 5) Kang, C. H., P. J. Kim, W. C. Lee and P. Y. Lee, 1999, Nutrients and Phytoplankton Blooms in the Southern Coastal Waters of Korea: I. The Elemental Composition of C, N, and P in Particulate Matter in the Coastal Bay Systems, J. Korean Soc. Oceanogr., 34(2), 86-94.
- 6) 임동일, 엄인권, 전수경, 유재명, 정희수, 2003, 한국 남해 연안역에서 여름 홍수기에 형성된 연안 염하구 환경의 물리·화학적 특성. 한국해양학회지 「바다」, 8(2), 151-163.
- 7) Pingree, R. D., L. Maddock and E. I. Butler, 1977, The influence of biological activity and physical stability in determining the chemical distributions of inorganic phosphate, silicate and nitrate, J. mar. bio. Ass. U. K., 57, 1065-1073.
- 8) Ciotti, A. M., C. Odebrecht, G. Fillmann and O. O. Moller Jr., 1995, Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf, Continental Shelf Research, 15(14), 1737-1756.
- 9) Sachoemar, S. I. and T. Yanagi, 2001, Seasonal variation of water characteristics in the northern coastal area of Java, La mer., 39, 77-85.
- 10) Kress, N., S. L. Coto, C. L. Brenes, S. Brenner and G. Arroyo, 2002, Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary, Continental Shelf Research, 22, 51-66.

- 11) 이영식, 유 준, 권기영, 최용규, 조은섭, 2004, 광양만에서 식물플랑크톤 증식 제한영양염의 시·공간적 변동 특성, 대한환경공학회지, 26(8), 890-895.
- 12) Gomez, F., N. Gonzalez, F. Echevarria and C. M. Garcia, 2002, Distribution and Fluxes of Dissolved Nutrients in the Strait of Gibraltar and its Relationships to Microphytoplankton Biomass, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 51, 439-449.
- 13) Gong, G. C., Y. L. Chen and K. K. Liu, 1996, Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics, Continental Shelf Research, 16(12), 1561-1590.
- 14) 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 330pp.
- 15) 국립수산진흥원, 2001, 한국해양편람 제4판, 436pp.