

## 2004년 7월 봇돌바다의 썰물, 전류 및 밀물시 수온과 염분 분포

최 용 규 · 조 은 섭 · 이 용 화 · 이 영 식

국립수산과학원 남해수산연구소

(2004년 9월 15일 접수; 2004년 12월 31일 채택)

### Distributions of temperature and salinity in relation to ebb, turn of tide and flood of the Bottol Bada in July, 2004

Yong-Kyu Choi, Eun-Seob Cho, Yong-Hwa Lee and Young-Sik Lee

South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea

(Manuscript received 15 September, 2004; accepted 31 December, 2004)

Based on the observation on 20, 23 and 26 July 2004, the distributions of temperature, salinity and stratification was investigated in relation to ebb, turn of tide and flood. The results are as follows: 1) The high temperature and low saline water with 23.5~24.0°C and 32.4~33.0psu existed at Naro Island. 2) The cold surface water below 21.0°C and 33.0~33.4psu appeared in the area near Gae Island and Geumo Island. 3) The cold and saline water, below 24.0°C at the surface and 17.0°C near the bottom, 32.8~33.8psu at the surface and 33.8~34.0psu near the bottom, existed in Sori Island. These waters were more saline compared to the South Sea Coastal Water with about 31.8psu. This suggests that the oceanic saline water intruded into the Bottol Bada through the area near Sori Island.

The stratification appeared during all the observation periods due to a high solar radiation of 22MJ/m<sup>2</sup>, and a weak wind speed of 2.9m/s on the average while the mean speed of wind in July is around 3.9 m/s. It qualitatively suggested that the stratification was maintained during the observation periods because of a high solar radiation, a weak wind speed and intrusion of saline oceanic water.

Key Words : Stratification, Ebb, Turn of tide, Flood, Intrusion

#### 1. 서 론

남해 연안역은 넓은 대륙붕이 발달해 있고 또한 복잡한 해안 지형에 의해 형성된 만들이 산재해 있어 어패류의 산란장 및 생육장으로서 중요한 역할을 한다. 봇돌바다는 남해안의 중앙에 위치하고 있다. 동쪽으로는 개도, 금오도, 소리도에 의해서 가막만 및 광양만 입구역과 구분되며, 서쪽으로는 내나로도, 외나로도, 외도도에 의해서 거금수로 및 득량만과 경계를 이루고 있다. 북쪽에 여자만이 여수반도와 고흥반도에 둘러 쌓여 있으며, 남쪽으로는 남해와 접해 있다. 이 때문에 봇돌바다는 북쪽의 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 남쪽의 개방된 만구로

인하여 유입되는 외해수의 영향을 모두 받는 해역이다.

연안역의 물리적 과정은 외양역과 달리 얕은 수심으로 인하여 기상적인 요소의 영향이 크고, 외양역에 비해서 해황의 변동 주기가 짧다. 특히 연안역에서 조석 주기에 따른 해황의 변동은 팔목할 만한 것이어서, 봇돌 바다와 인접하고 있는 거금수로에서 수온과 염분의 특성에 따른 성층을 설명하였고<sup>1)</sup>, 가막만의 유동<sup>2,3)</sup>이나 수괴 특성<sup>4)</sup>을 기술하였다. 또한 거금수로와 인접한 득량만에서 조석 주기에 따른 성층과 혼합을 설명하였으며<sup>5,6)</sup>, 그리고 남해 연안의 봇돌바다에서 적조가 최초로 발생하는 것은 여름철에 빈번히 발생하는 외해수 유입에 따른 성층의 구조 변화와 밀접한 관계가 있다고 보고하였다<sup>7,8)</sup>. 이처럼 연안역은 얕은 수심으로 인하여 태양복사열, 담수 유입, 바람 및 조류 등에 의해서 연안역의 해황이 변하기도 하고, 또한 연안수와 외양수간의 상

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

호 작용에 의해서 단기적인 해황의 변동이 뚜렷한 특성을 나타낸다.

연안역에서의 성층과 혼합을 결정짓는 요인으로 조석 주기, 태양 복사열 담수 유입 그리고 바람 등이다<sup>9~12</sup>. 성층 강화 요인은 태양 복사열과 담수 유입이며 혼합을 일으키는 요인은 조류와 바람이다. 각각의 요인들에 대한 해석적인 결과는 남해 연안에서 득량만<sup>12</sup>과 거금수로<sup>1</sup>에서 행해졌다. 이에 본 연구는 북돌바다에서 조석의 변화에 따른 해황의 변동을 살피고자 정성적인 방법으로 성층 현상을 설명하고자 하였다. 또한 여름철 북돌바다에서 조석의 변화에 따라서 나타나는 수온과 염분의 단기적인 분포를 살펴보고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

북돌바다는, 여자만과 북돌바다 사이에 있는 낭도에서부터 북돌바다의 동쪽 경계의 남단에 있는 소리도까지, 북서-남동 길이가 약 30km이다. 그리고 내나로도(외나로도)에서 개도(금오도)까지 남서-북동 폭은 약 15km(약 20km)로, 남해 연안 중앙역에서 북서-남동으로 위치한 직사각형의 개방형 만이다. 나로도쪽은 수심이 약 10m 이천으로 얕으며, 외나로도와 금오도를 연결하는 지선의 남쪽은 수심이 20m 이심으로 북돌바다의 안쪽 해역에서 바깥쪽 해역으로 갈수록 수심이 완만하게 깊어지는 해저 지형을 나타내고 있다. 그리고 개도와 낭도쪽에 수심이 20m 이심인 깊은 골이 형성되어 있다(Fig. 1).

조석에 따른 수온, 염분 및 수층의 안정도를 보기

위하여 2004년 7월 20일, 23일, 26일의 3일간 연구해역의 12개 정점(Fig. 1)에서 남해수산연구소 소속의 R/V 탐구 11호(16G/T)를 이용하여 수온과 염분을 관측하였다. 수온과 염분은 YSI 650 MDS(YSI incorporated, U.S.A)를 사용하여 표층에서 저층까지 수심별로 약 4~7m 간격으로 측정하여 현장에서 기록하였다. 여기서 수심 간격을 정점마다 등간격으로 하지 못한 것은 관측선이 너울이나 파도에 상하 혹은 좌우로 흔들렸기 때문에 등간격 수심 측정을 할 수 없었다.

그리고 관측 기간 동안의 연구 해역에 대한 조위 변화와 조류의 유속을 보기 위하여 국립해양조사원 발행의 조석표<sup>13</sup>와 조류도<sup>14</sup>를 사용하였다. Fig. 2는 2004년 7월 한달 동안의 조위 변화와 관측 시간동안의 조위 변화를 나타낸 것이다. 관측 시기 및 조석의 변화를 보면, 7월 20일은 대조기 썰물, 7월 23일은 대조기와 소조기 사이의 전류시, 그리고 7월 26일은 소조기 밀물에 해당된다.

그리고 성층의 정성적인 해석을 하기 위하여 수층의 안정도를 적분된 Brunt-Vaisälä 주파수(the

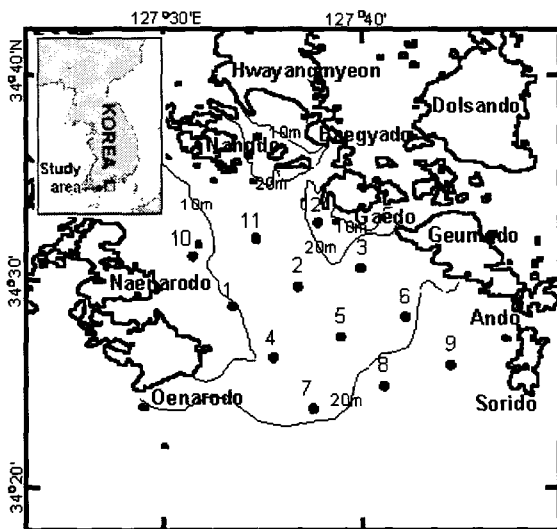


Fig. 1. Study area showing the observation stations. The thin lines indicate the isobaths by 10m and 20m.

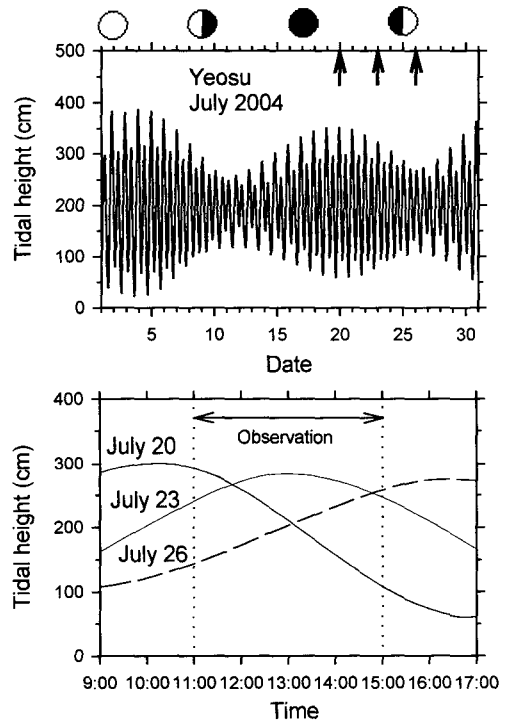


Fig. 2. Predicted tidal height in July (upper) and time on the date of observation (lower) for Yeosu in 2004. The arrows (upper) and dot line (lower) show the date and time of observation, respectively.

integrated Brunt-Vaisälä frequency)로써 계산하였으며, 그 식은 다음과 같다<sup>15)</sup>.

$$N^2 = \frac{g}{z} \ln \frac{\rho_z}{\rho_0}$$

여기서  $g$ 는 중력가속도( $m/s^2$ ),  $z$ 는 수심(m)이며,  $\rho_z$ 와  $\rho_0$ 는 각각 표층과 저층 밀도( $kg/m^3$ )이다.

그리고 조류에 기인한 저층 교란에 의해서 발생하는 혼합이 얼마나 효과적인가를 보기 위하여 리차드슨 수(the layer Richardson number)를 조류 유속( $U=0.3m/s, 0.5m/s$  및  $0.7m/s$ )에 따라서 산정해보았으며, 그 식은 다음과 같다<sup>16)</sup>.

$$R_L = \frac{gh(\rho_b - \rho_s)}{U^2 \rho_0}$$

여기서  $g$ 는 중력가속도( $m/s^2$ ),  $h$ 는 수심(m)이며,  $\rho_b$ 와  $\rho_s$ 는 각각 표층과 저층 밀도( $kg/m^3$ )이다.  $U$ 는

조류 속도( $m/s$ ),  $\rho_0$ 는 수주의 평균 밀도이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 썰물, 전류 및 밀물시 수온, 염분 분포

##### 3.1.1. 썰물시

Fig. 3은 7월 20일 썰물시 관측된 표층과 저층의 수온 및 염분의 수평 분포도이다. 표층 수온은 개도와 금오도 사이에서 약 21°C의 낮은 수온을 나타내었고, 나로도도 해역에서 24°C의 분포를 나타내었다. 저층 수온은 내나로도 해역에서 23°C로 높았고, 소리도 해역으로 갈수록 수온은 점점 낮아져 17°C를 나타내었다. 표층 염분은 내나로도 해역에서 32.4psu로 가장 낮았으며, 금오도 해역에서 33.4psu로 가장 높았다. 저층 염분도 내나로도해역에서 32.8 psu로 가장 낮았으며 소리도 해역으로 갈수록 염분은 점차 높아져서 34.0psu를 나타내었다.

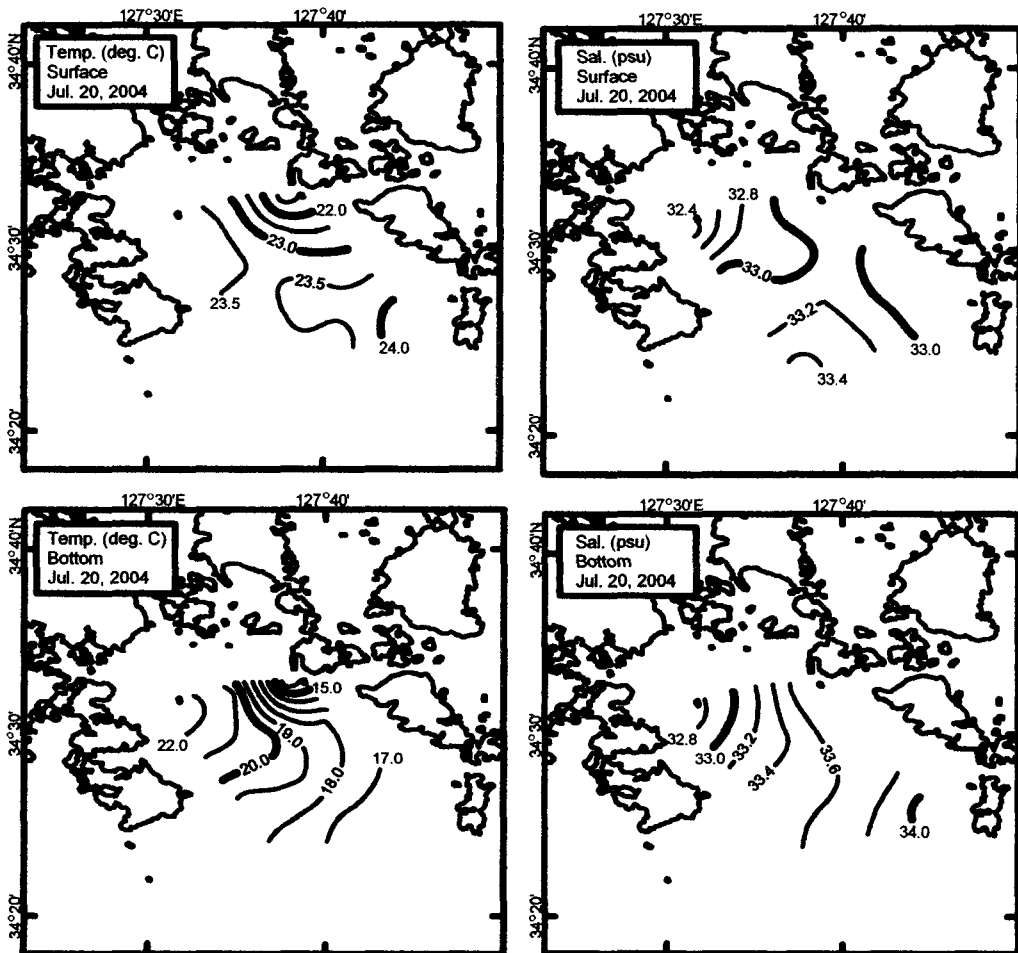


Fig. 3. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during ebb in July 20.

Fig. 4는 7월 20일 썰물시 관측된 붓돌바다 중앙 해역의 정점들에서 나타낸 수온, 염분 그리고 밀도의 연직 단면도이다. 표층에서 약 4m 수심까지 수온은 23~24°C로 일정하게 분포하며 수온 약층을 형성하였다. 21°C 등온선은 정점 11에서 저층까지 분포하였고, 정점 2부터 정점 8까지는 약 6m 수심에 분포하였다. 정점 2의 약 6m 수심에서 33.4psu의 등염선이 21°C의 등온선과 거의 유사한 형태로 분포하고 있으며, 정점 11의 전 수층과 정점 2의 약 4m 수심까지는 염분이 33.2psu 이하인 저염한 물이 분포하였다. 밀도의 분포에서, 23.0kg/m<sup>3</sup>인 등밀도선이 21°C의 등온선과, 33.4psu의 등염선과 유사한 분포 형태를 보였다.

### 3.1.2. 전류(turn of tide)시

Fig. 5는 7월 23일 전류시 관측된 표층과 저층의 수온 및 염분의 수평 분포도이다. 표층 수온은 개도와 금오도 사이에서 21°C 이하로 낮았으며, 나로도 해역으로 갈수록 수온은 높아져서 23~24°C의 분포를 보였다. 저층 수온은 내나로도 해역에서 23°C로 높았으며, 소리도 해역으로 갈수록 낮아져서 17°C 이하의 수온 분포를 나타내었다. 이러한 수온 분포는 썰물시의 수온 분포와 유사하였다. 표층 염분은 내나로도 해역에서 32.4psu로 낮았으며, 금오도 해역에서 33.4psu의 높은 염분을 나타내었다. 저층 염분도 내나로도 해역에서 32.6psu로 낮았으며, 소리도 해역으로 갈수록 33.6psu로 높았다.

Fig. 6은 7월 23일 전류시 관측된 붓돌바다 중앙 해역의 정점들에서 나타낸 수온, 염분 그리고 밀도의 연직 단면도이다. 22°C의 등온선이 약 4m 수심에 분포하였으며, 21~22°C의 수온 약층이 4~8m 수심에 분포하였다. 그리고 정점 2의 8m 수심 이천의 만의 바깥쪽으로는 20°C 이하의 분포를 보였으며, 밀물시의 수온 연직 분포도와 유사한 형태로 수

온은 약 1°C 낮은 분포를 나타내었다. 염분은 정점 2의 표층에서 33.0psu 이상을 나타내는 염분이 저층으로 갈수록 그리고 외양역으로 갈수록 33.4psu 이상의 고염상을 나타내었다. 밀도는 정점 2의 표층에서 23.6kg/m<sup>3</sup> 이상의 무거운 물이 나타났으며, 정점 11, 정점 5 그리고 정점 8에서는 22.0kg/m<sup>3</sup> 이하의 가벼운 물이 나타났다. 23.0kg/m<sup>3</sup>의 등밀도선이 나타나는 약 4~8m 수심에 밀도 약층이 나타났다.

### 3.1.3. 밀물시

Fig. 7은 7월 26일 밀물시 관측된 표층과 저층의 수온 및 염분의 수평 분포도이다. 표층 수온은 21~24°C의 분포를 보이며 개도 해역에서 21°C로 낮은 수온이 나타났으며, 외나로도 해역으로 갈수록 표층 수온은 점차 높아져서 24°C를 나타내었다. 저층 수온은 표층 수온과 달리 내나로도 해역에서 23°C로 가장 높았으며, 소리도 해역으로 갈수록 낮아져서 17°C를 나타내었다. 표층 염분은 나로도 해역에서 32.8psu의 낮은 염분 분포를 보였으며, 소리도 해역으로 갈수록 염분이 높아져서 33.8psu를 나타내었다. 저층 염분은 표층 염분의 분포와 유사하게 내나로도 해역에서 32.8psu로 낮고, 소리도 해역에서 33.8psu로 높은 염분 분포를 나타내었다.

Fig. 8은 7월 26일 썰물시 관측된 붓돌바다 중앙 해역의 정점들에서 나타낸 수온, 염분 그리고 밀도의 연직 단면도이다. 수온의 경우, 22°C 등온선이 약 6m 수심에서 거의 수평으로 분포하며, 정점 2의 해저에서 나타나는 20°C 등온선이 정점 5에서는 약 9m 수심에 분포하고 있었다. 염분은 전류시의 염분 단면도와 유사한 분포를 나타내고 있었다. 특히 33.2psu 이상의 고염수가 정점 2의 약 4m 수심까지 나타났다. 밀도도 전류시의 밀도 분포와 유사한 분포를 보이지만, 정점 2에서 밀도가 22.6kg/m<sup>3</sup>을 나타내는 반면에, 다른 정점에서는 이보다 낮은 22.4

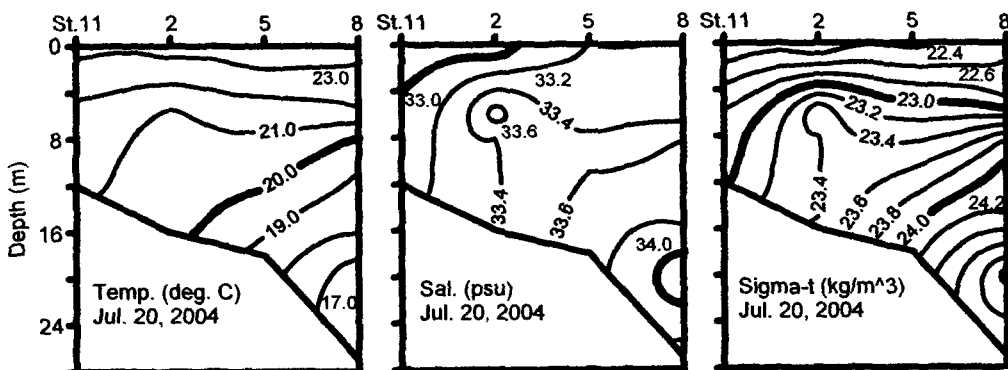


Fig. 4. Vertical distributions of temperature (left), salinity (middle) and sigma-t (right) during ebb in July 20. of tide in July 23.

2004년 7월 북돌바다의 썰물, 전류 및 밀물시 수온과 염분 분포

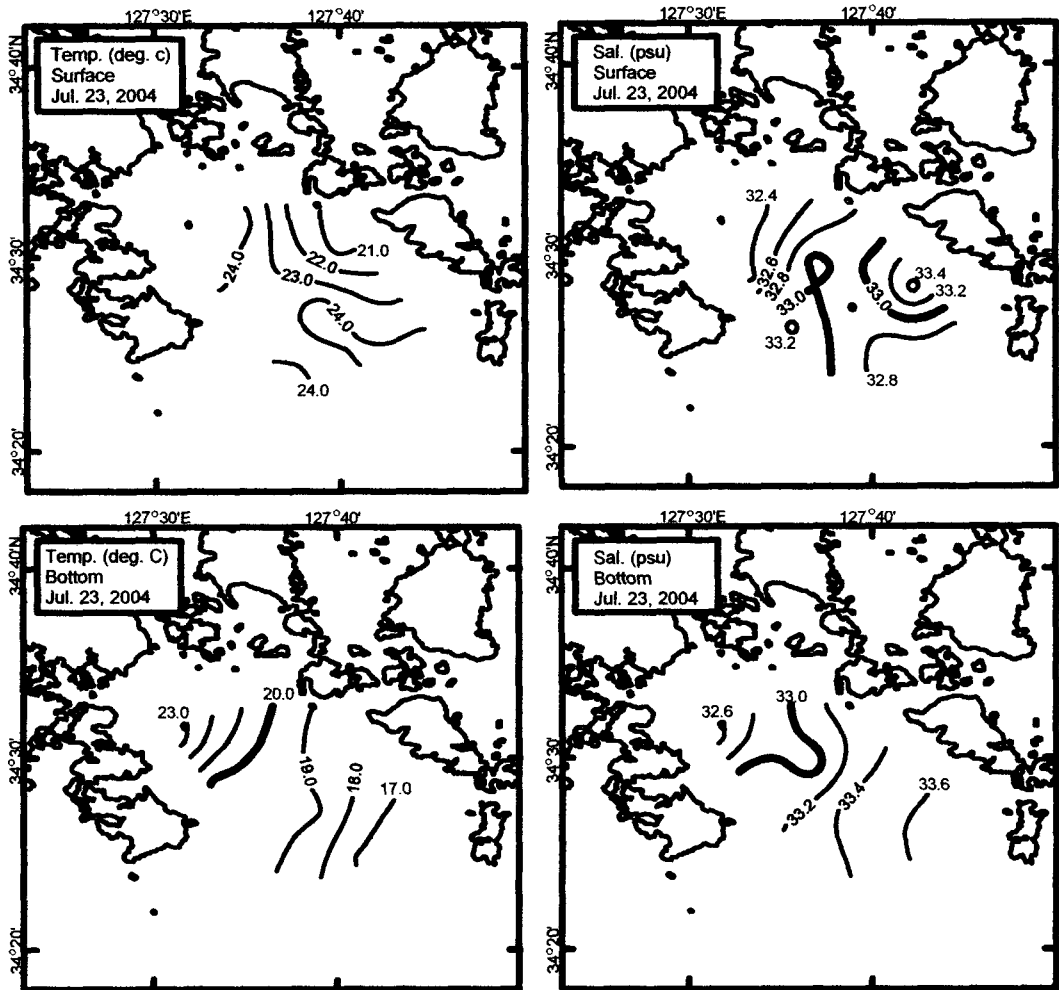


Fig. 5. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during turn of tide in July 23.

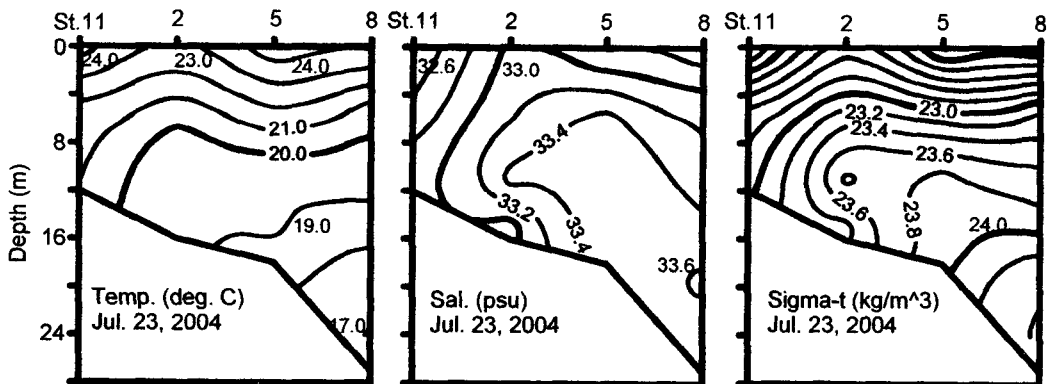


Fig. 6. Vertical distributions of temperature (left), salinity (middle) and sigma-t (right) during turn of tide in July 23.

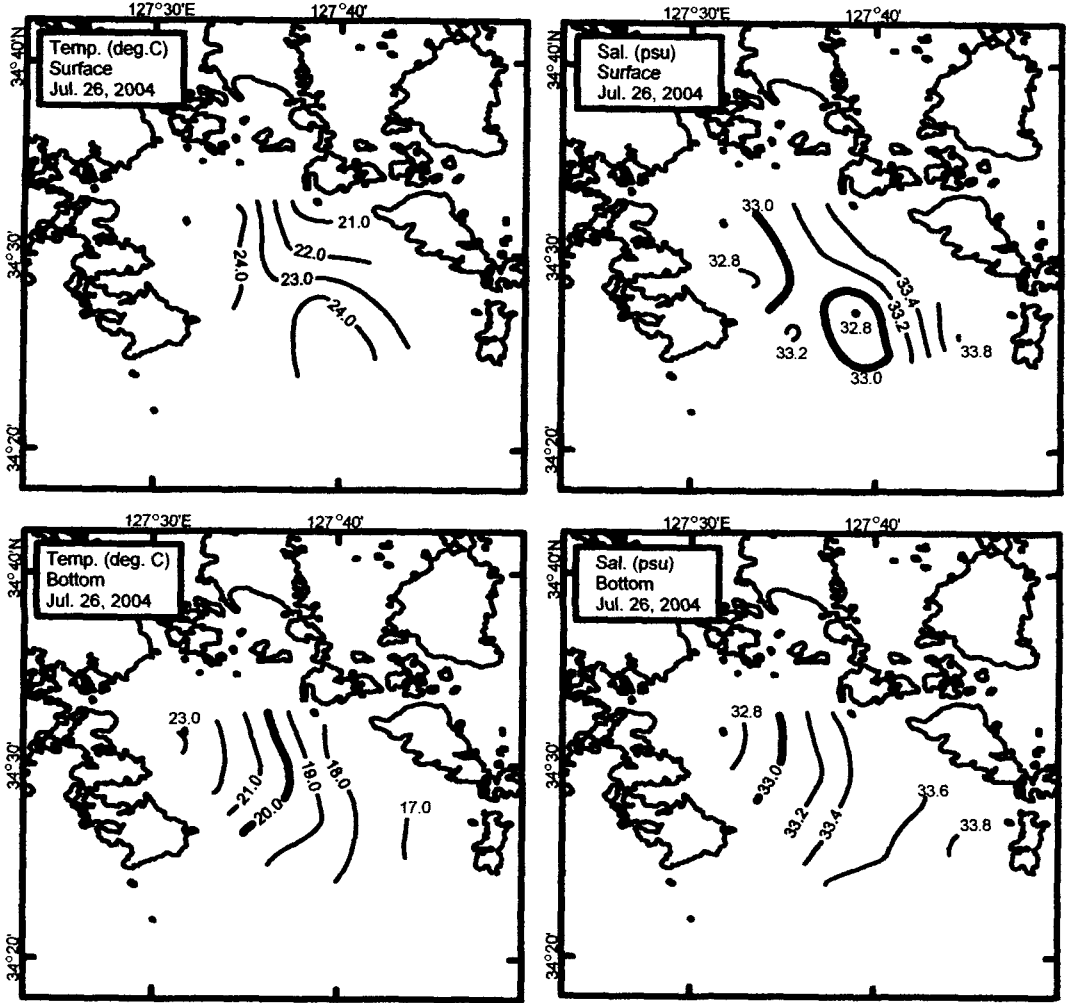


Fig. 7. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during flood in July 26.

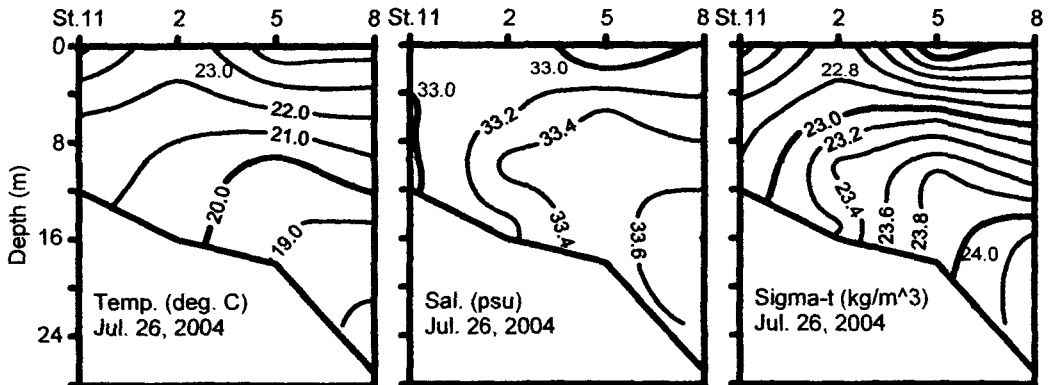


Fig. 8. Vertical distributions of temperature (left), salinity (middle) and sigma-t (right) during flood in July 26.

kg/m<sup>3</sup> 이하의 밀도 분포를 나타내었다.

### 3.2. 조석의 변화에 따른 해황

북돌바다와 인접한 가막만의 조석의 형태수는 0.25로 해황 변동에 미치는 유동은 반일주조가 지배적이며<sup>3)</sup>, 득량만도 반일주조에 의한 해황 변화가 뚜렷하다<sup>5,6)</sup>. 따라서 이들 만의 중간에 위치한 북돌바다도 반일주조에 의한 해황 변동이 우세한 해역이라고 볼 수 있다. 연구 기간동안 북돌바다는 조석의 변화에 상관없이 성층화 되어 있다(Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8). 소리도 해역에서 조석 변화에 따른 저층 수온의 변화 폭은 1°C 이내이지만, 염분은 33.8~34.0psu이다(Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7). 이것은 북돌바다의 소리도 해역에서 여름철 염분이 31.8psu 내외인 남해 연안수<sup>17)</sup>보다도 약 2.0psu 높은 고염수이다. 그리고 내나로도 해역에서 나타나는 고온 저염수는 조석 주기에 상관없이 북돌바다 북서쪽 해역에서만 나타나고 있다. 33.8psu 이상의 고염 외해수는 정점 5의 약 12m 수심(Fig. 4), 정점 8의 약 20m 수심(Fig. 6) 그리고 정점 5의 약 15m 수심(Fig. 8)에서 볼 수 있다. 이것은 남해 연안수보다도 고염인 외해수가 유입되고 있음을 시사한다. 여름철 나로도와 소리도 사이 해역의 해수는 주로 남해 외해역을 통과하는 해수 특성에 의해 지배된다<sup>8)</sup>. 또한 북돌바다는 북서-남동으로 뻗어 있는 개방된 만으로 외해수의 유입이 빈번하다<sup>7,8)</sup>. 그리고 여름철에 수심이 얕은 내만역의 고온수와 외해역의 저온수가 대조기에 조류에 의해 빠르게 이동하므로 수온이 변한다<sup>3)</sup>. 비록 본 연구 해역에서는 저층 수온의 변화를 볼 수 없었지만 소리도 해역의 저층에서 남해 연안수보다도 높은 고염수가 나타난다는 사실은, 외해수 유입이 있음을 말하고 있고, 또한 북돌바다에서 외해수가 유입될 경우에는 조석 변화에 상관없이 성층이 형성될 수 있음을 시사하고 있다.

1988년 여름철 가막만의 수온과 염분 분포를 설명하면서 가막만의 여름철 수온은 22.5~29.4°C, 염분은 31.7~33.3psu의 범위이나 평년에 비해서는 고온이라고 하였다<sup>4)</sup>. 이처럼 개도 해역에서 나타나는 수온이 21°C 이하이고 염분이 33.0~33.4psu로 염분이 다소 높은 저온수(Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7)는 가막만의 해수가 조류에 의해서 수로를 통해 유입된 것으로 판단된다.

### 3.3. 안정도와 기상요소

썰물, 전류 그리고 밀물시의 조류 변화에 따른 수층의 안정도를 보기 위하여 7월 20일, 23일 그리고 26일에 각각의 적분된 Brunt-Vaisälä 주파수를 계산하여 Fig. 9에 나타내었다. 썰물시의 안정도는 7.0~10.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>이었으며, 전류시에는 4.0~17.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>의 범위였고, 밀물시에는 3.0~12.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>의 범위였다. 개도 해역(정점 12)에서는 썰물시 10.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>, 전류시 7.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>, 그리고 밀물시 3.0×10<sup>-4</sup>/sec<sup>2</sup>이었으며, 조류 변화에 따라서 정점별 안정도의 값이 차이가 컸다. 전반적으로 나로도 해역이 대체로 안정도가 높은 경향을 나타내었으며 개도 해역에서 조류 변화에 따른 안정도의 값이 크게 변하였다.

Fig. 10은 리차드슨 수(the layer Richardson number)를 나타낸 것이다. 여기서 나타낸 조류의 유속은 조류도<sup>14)</sup>에서 관측된 북돌 바다의 조류의 유속 중에서 최저 유속(U=0.3m/s)과 최대 유속(U=0.7m/s) 그리고 중간 유속(U=0.5m/s)에 대해서 산정한 것이다. 여기서 나타낸 리차드슨 수는 조석의 변화에 따른 혼합의 정도를 정량적으로 측정하는 방법이다. Ri<2이면 조류에 의한 난류가 표층과 저층을 혼합시킬 수 있음을 나타내고, Ri>20이면 조류에 의한 난류 혼합이 약하여 수층은 성층을 나타낸다<sup>16)</sup>. 외양쪽 정점(정점 7, 8, 9)은 유속의 크기에 상관없이 Ri값

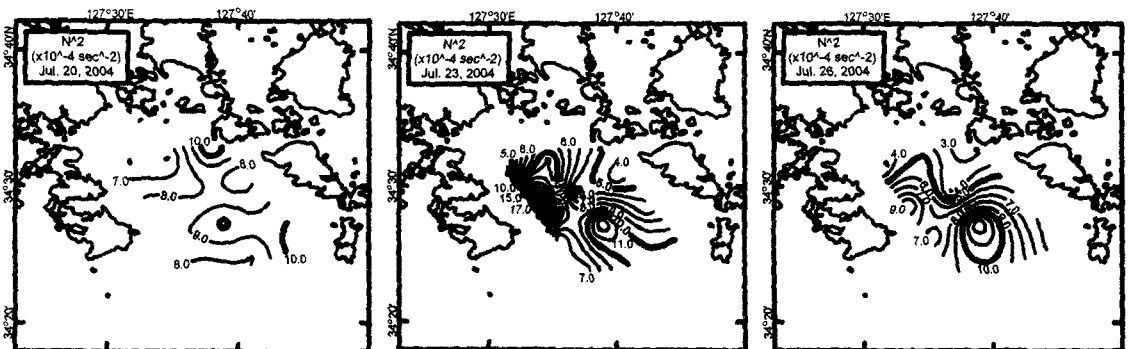


Fig. 9. Horizontal distributions of integrated Brunt-Vaisälä frequency ( $N^2$ ) in July 20 (left), 23 (middle) and 26 (right), respectively.

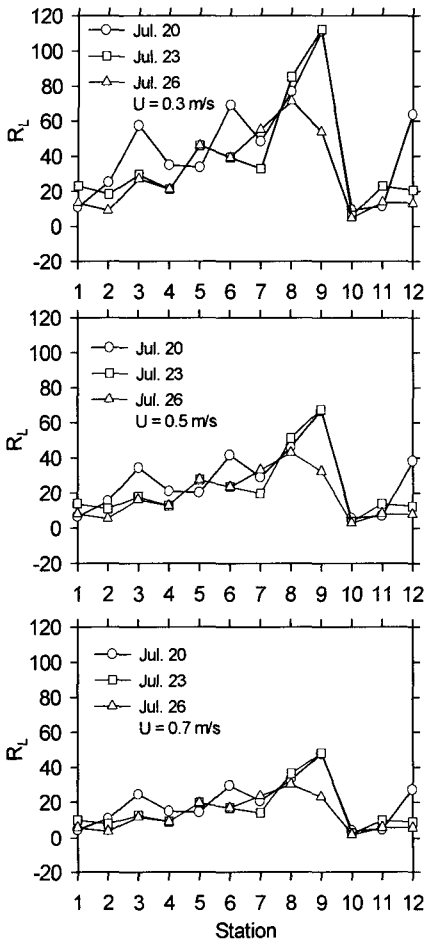


Fig. 10. Variation of the layer Richardson number,  $R_L$ , at each stations over  $U=0.3\text{m/s}$  (upper),  $U=0.5\text{m/s}$  (middle) and  $U=0.7\text{m/s}$  (lower), respectively.

이 20이상이며, 그 외의 정점은 유속이 클수록  $R_L$  값이 전 정점에서 작아진다. 정점 1, 2, 10, 11, 12에서는 유속이 커질수록  $R_L$  값이 약 2에 근접하고 있다. 또한 이 정점들은 유속이 작더라도  $R_L$  값이 2와 20 사이이다. 이것은 개도와 나로도 사이의 해역에서 유속이 커지게 되면 난류 혼합에 의해서 표층과 저층이 혼합될 수 있음을 시사한다.

Fig. 11은 수온과 염분 분포에 영향을 준다고 생각되는 2004년 7월의 기상 요인들 즉, 일사량과 기온 그리고 풍속과 강수량을 각각 나타낸 것이다. 일사량은  $3\sim 25\text{MJ/m}^2$ 의 범위였다. 특히, 관측일(7월 20일, 23일, 26일) 동안은  $22\text{MJ/m}^2$  이상의 높은 일사량을 보였다. 기온은 7월 한달 동안 점차 높아지는 경향이였다. 7월 26일의 기온은 약  $26^\circ\text{C}$ 로 7월 20일(약  $27^\circ\text{C}$ )과 23일(약  $28^\circ\text{C}$ )보다  $1\sim 2^\circ\text{C}$  낮았다. 관측

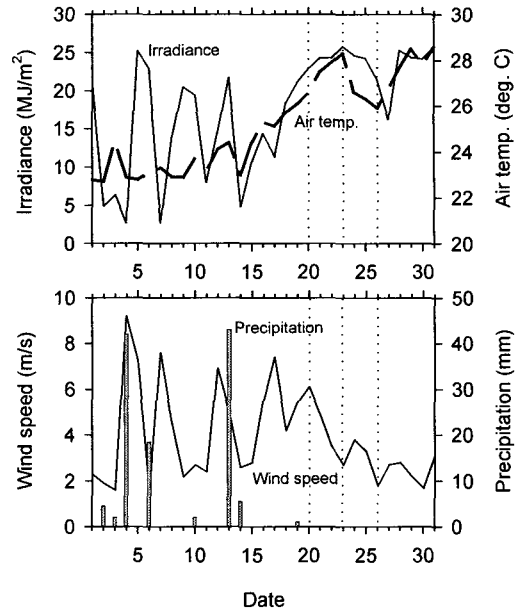


Fig. 11. Daily variations of irradiance and air temperature (upper), and wind speed and precipitation (lower) in July at the Yeosu Observatory.

일이 포함된 7월 하순의 평균 풍속은  $2.9\text{m/s}$ 로 7월 초(평균 풍속  $4.1\text{m/s}$ )와 7월 중순(평균 풍속  $4.8\text{m/s}$ )보다 전반적으로 풍속이 약했다. 7월 동안 총 강수량은  $118.5\text{mm}$ 였다. 7월 동안의 총 강수량 중에서 7월 초순에 총강수량의 58%가 있었으며, 7월 중순에 총강수량의 42%를 차지하였고, 7월 하순에는 강수량이 전혀 없었다. 즉, 관측일 동안 강우가 없었고, 바람도 약했으며, 일사량이 높았다는 것은 조류 혼합이나 바람에 의한 혼합 강도가 태양복사열 등에 의한 혼합 강도보다 훨씬 작았음을 시사하고 있다.

### 3.4. 성층의 정성적 해석

북돌바다에서 조사 기간동안의 안정도는 전류시에 나로도 인접 해역에서 가장 높았다(Fig. 9). 이것은 나로도 인접 해역에 한정되어 있는 저염수 때문이라고 할 수 있다. 북돌바다에서 여자만과 해창만 간석지를 통해 유입되는 육수는 이들 지역과 가까운 북서쪽 해역에만 영향을 준다<sup>8)</sup>. 이와 같이 북돌바다에서의 저염수는 내나로도 인접 해역에 한정되어 있으며(Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8), 연구 기간(7월 하순)동안의 바람은 7월 한달 동안의 평균 풍속  $3.9\text{m/s}$ 보다도 작은  $2.9\text{m/s}$ 였다. 또한 조사 기간(7월 하순)동안의 일사량은 7월 한달 동안의 평균 일사량  $17.6\text{MJ/m}^2$ 보다도 훨씬 많은  $23.7\text{MJ/m}^2$ 이었다(Fig. 11). 연안역에 있어서 수주의 성층과 혼합은 조석, 담수 유입, 태양복사열 그리고 바람 등에 의해서 영향을



받는다<sup>9-12)</sup>. 또한 30m 이천의 수심에서는 바람에 기인한 혼합 효과가 중요한 요인으로 작용한다<sup>10)</sup>. 그리고 여름철에 평균적인 태양 복사열이 있더라도 연안역에서는 조류 혼합이 왕성하기 때문에 성층은 쉽게 발달하지 않지만, 연안역으로 외양수의 이류가 있을 때 성층은 여름동안 지속될 수가 있다<sup>11)</sup>. 이와 같은 사실은 조사 기간 동안에 북돌바다에서의 많은 일사량과 약한 풍속이 북돌바다의 성층을 강화시키는 요인으로 작용하였음을 뒷받침한다. 또한 앞에서 설명한 외양수의 유입도 북돌바다의 성층을 발달시킨 요인으로 해석된다.

#### 4. 결 론

연구 기간동안 북돌바다에서는 조석의 변화와 상관없이 성층을 나타내었다. 이것은 다음과 같은 원인으로 해석된다: 1) 연구기간 동안 나타난 22 MJ/m<sup>2</sup> 이상의 높은 일사량, 2) 7월의 평균 풍속이 3.9m/s 임에 반해서 연구기간인 7월 하순의 평균 풍속은 2.9 m/s로 비교적 약했던 풍속, 3) 7월의 총강우량이 118.5mm였지만, 7월 하순 동안에는 강우량이 전혀 없었다. 4) 염분이 33.8psu 이상인 외해수가 북돌바다로 유입되고 있었다. 즉, 연구 기간동안 북돌바다에서 성층 강화 요인으로 작용하는 높은 태양 복사열과 약했던 풍속, 그리고 고염의 외해수 유입이 조석의 변화와 상관없이 성층을 유지하는 에너지로 작용했다고 판단된다. 연구 기간 동안 강우량이 없었던 것은 담수 유입으로 인한 성층 강화 요인이 없었던 것으로 해석된다. 앞으로는 열수지 및 조석 에너지를 계산하고, 바람과의 상관 관계를 밝혀서, 북돌바다에서의 성층과 혼합에 관한 정량적인 해석이 필요하다고 생각된다.

#### 감사의 글

현장 관측에 협조하여 주신 탐구 11호 직원분들께 감사드립니다. 이 결과는 남해적조조사 사업의 일환으로 부분 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 추효상, 이규형, 윤양호, 1997, 거금수로 해역의 수온과 염분의 변동, 한국수산학회지, 30(2), 252-263.
- 2) 이명철, 장선덕, 1982, 가막만의 해수교환, 한국해양학회지, 17(1), 12-18.
- 3) 이재철, 추효상, 이규형, 조규대, 1995, 1994년 7-8월 가막만의 조석 및 해류, 한국수산학회지, 28(5), 624-634.
- 4) 이규형, 조규대, 1990, 가막만의 수온과 염분의 분포, 한국수산학회지, 23(1), 25-39.

- 5) 최용규, 조규대, 이병걸, 홍철훈, 1995, 수심에 따른 득량만의 키조개 어장의 환경 특성, 한국어업기술학회지, 31(2), 127-141.
- 6) 이병걸, 조규대, 최용규, 1996, 득량만의 조석주기 및 계절변동에 따른 투명도의 변동 특성, 한국어업기술학회지, 32(4), 386-394.
- 7) 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000, 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구: 1. 물리·화학적인 특성, 한국해양학회지 "바다", 5(1), 16-26.
- 8) 최현용, 2001, 한국 남해 나로도와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계, 한국해양학회지 "바다", 6(2), 49-62.
- 9) Shimpson, J. H. and D. Bowers, 1981, Models of stratification and frontal movement in shelf seas, Deep-sea Research, 28A(7), 727-738.
- 10) Bowers, D. G. and J. H. Simpson, 1987, Mean position of tidal fronts in European-shelf seas, Continental Shelf Research, 7(1), 35-44.
- 11) Czitrom, S. P. R., G. Budeus and G. Krause, 1988, A tidal mixing front in an area influenced by land runoff, Continental Shelf Research, 8(3), 225-237.
- 12) Lee, B. G., 1994, A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical models in summer, Ph.D. Thesis, Pukyong National Univ., 100pp.
- 13) National Oceanographic Research Institute, 2004, 조석표(한국연안), 서지 제510호, 해양수산부 국립해양조사원, 292pp.
- 14) National Oceanographic Research Institute, 1995, 조류도(여수에서 완도), 서지 제1421호, 해양수산부 국립해양조사원, 21pp.
- 15) Castro, C. G., F. F. Pérez, X. A. Álvarez-Salgado and F. Fraga, 2000, Coupling between the thermohaline, chemical and biological fields during two contrasting upwelling events off the NW Iberian Peninsula, Continental Shelf Research, 20, 189-210.
- 16) Mackay, H. M. and E. H. Schumann, 1990, Mixing and Circulation in the Sundays River Estuary, South Africa, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 31, 203-216.
- 17) National Fisheries Research and Development Institute, 2001, 한국해양편람 제4판, 해양수산부 국립수산물진흥원, 436pp.