

2004년 7월 북돋바다의 썰물, 전류 및 밀물시 수온과 염분 분포

최용규, 조은성, 박종현
남해수산연구소 자원환경팀

서론

남해 연안역은 넓은 대륙붕이 발달하고 또한 복잡한 해안 지형에 의해 형성된 만들이 산재해 있어 어류 등의 산란장 및 생육장으로서 중요한 역할을 한다. 북돋바다는 남해안의 중앙에 위치하고 있다. 겨울에는 개도, 금도, 소리도에 의해서 가려진 및 광량과 인공적이고 구분되며, 서쪽으로 는 내리도도와 외리도도에 의해서 겨울수와 밀 혼합인과 경계를 이루고 있다. 북해에 여타지역이 어선선도와 그물선도에 둘러 쌓여 있으며, 남쪽으로는 남해와 접해 있다. 이 때문에 북돋바다는 북쪽의 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 남쪽의 개항된 만으로 유입되는 외해수의 영향을 모두 받는 해역이다.

연안역의 물리적 과정은 외양력과 밀의 같은 수심으로 인하여 기상적인 요소의 영향이 크고, 외양력에 비해서 해류의 변동 주기가 짧다. 특히 연안역에서 조석 주기에 따른 해류의 변동은 급박할 만하여서, 북돋 바다와 인접하고 있는 개도수역에서 수온과 염분의 특성에 따른 영향을 설명하고자 하였다. 또한 개도수역과 인접한 북돋바다에서 조석 주기에 따른 수온과 염분의 특성을 설명하고자 하였다. 또한 개도수역과 인접한 북돋바다에서 조석 주기에 따른 수온과 염분의 특성을 설명하고자 하였다. 또한 개도수역과 인접한 북돋바다에서 조석 주기에 따른 수온과 염분의 특성을 설명하고자 하였다.

연안역에서의 수온과 염분은 결정되는 요인으로 조석 주기, 대양 복사열 담수 유입 그리고 바람 등이다(Shimppson and Bowers, 1991; Bowers and Simpson, 1997; Catrom et al., 1998; Lee, 1994). 수온 강화 요인은 대양 복사열과 담수 유입이다. 혼합을 일으키는 요인은 조류와 바람이다. 조류의 요인에 대한 해석적인 결과는 남해 연안에서 특판(Lee, 1994)과 개도수역(조 등, 1997)에서 하였다. 이에 본 연구는 북돋바다에서 조석 주기에 따른 수온과 염분의 변동에 대해 정성적인 설명을 시도하고자 하였다. 또한 개도수역과 인접한 북돋바다에서 조석 주기에 따른 수온과 염분의 변동에 대해 정성적인 설명을 시도하고자 하였다.

자료 및 방법

북돋바다는 어자과 북돋바다 사이에 있는 남도에서부터 북돋바다의 동쪽 경계의 남단에 있는 소리도까지, 북서-남동 길이 약 30km이다. 그리고 내리도(내리도)에서 개도(개도)까지 남서-북동 폭은 약 19km(약 20km)로, 남해 연안 중앙역에서 북서-남동으로 위치한 직사각형의 개항형 만이다. 너로는 수심이 약 10m 이천으로 깊고, 외리도도와 금도도를 연결하는 지협의 남북은 수심이 20m 이상으로 북돋바다의 안쪽 해역에서 비교적 해역으로 갈수록 수심이 완만하게 낮아지는 경계 지형을 나타내고 있다. 그리고 개도와 남도쪽에 수심이 20m 이상의 깊은 골이 형성되어 있다(Fig. 1).

조석에 따른 수온, 염분 및 수층의 안정도를 보기 위하여 2004년 7월 20일, 23일, 26일의 3일간 연구 해역의 12개 정점(Fig. 1)에서 남해수산연구소 소속의 RV 탐구 11호(1837)를 이용하여 수온과 염분을 관측하였다. 수온과 염분은 YSI 660 MDS(T)를 incorporated, USA)를 사용하여 표층에서 저층까지 수심별로 약 4~7m 간격으로 측정한 후 정성적으로 기록하였다. 0.1m 가의 수심 정점마다 10분간격으로 측정하여 10분마다 평균값을 산출하여 기록하였다. 그리고 수층의 안정도를 측정하기 위하여 수층의 수온과 염분을 10분마다 측정하였다.

그리고 관측 기간 동안의 연구 해역에 대한 조류 변화와 조류의 유속을 보기 위하여 한국해양연구원 발행의 조석표(NOD, 2004)와 조류도(NFI, 1965)를 사용하였다. Fig. 2는 2004년 7월 한달 동안의 조류 변화와 관측 시간대별의 조류 변화를 나타낸 것이다. 관측 시기와 조석의 변화를 보면, 7월 20일은 대조와 밀조, 7월 23일은 대조와 소조 사이의 전류시, 그리고 7월 26일은 소조가 밀물로 개항한다.

그리고 수층의 정성적인 해석을 하기 위하여 수층의 안정도를 적분된 Burnt-Vaisala 주파수(the integrated burnt-Vaisala frequency)로써 계산하였다(Castro et al., 2000).

그리고 조류에 의한 지층 교란에 의해 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 산정해 보았다(Mosley and Schumann, 1980).

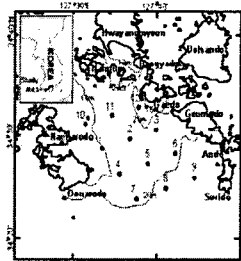


Fig. 1. Study area showing the location of the observation stations with numbers (1-12). The 10 km line indicates the scale bar by 10m and 20m.

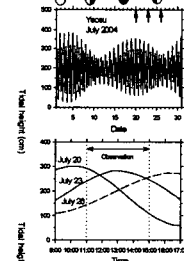


Fig. 2. Predicted tidal height (m) (upper) and time on the date of observation (July 20, 23, 26, 2004) (middle) and the date and time of observation (lower).

결과 및 고찰

1. 조석의 변화에 따른 해황

북돋바다와 인접한 개도의 조석의 형태수는 0.25로 혼합 범위에 미치는 유동은 반일주조가 지배적이다(이 등, 1995). 북돋바다와 인접한 개도의 해황 변화가 뚜렷하다(최 등, 1995; 이 등, 1996). 따라서 이들 만의 중간에 위치한 북돋바다도 반일주조에 의한 해황 변화가 뚜렷한 해역이라고 볼 수 있다. 연구 기간 동안 북돋바다는 조석의 변화에 상관없이 수층이 교란되어 있다. 소리도 해역에서 조석 변화에 따른 지층 수온의 변화 폭은 1°C 이하이지만, 염분은 33.8~34.0psu이다(Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5). 이것은 북돋바다의 소리도 해역에서 여름철 염분 31.0psu 이하의 남해 연안역(FY00, 2001)보다도 약 2.0psu 높은 것으로 나타났다. 그리고 내리도도 해역에서 나타나는 고온 저염수는 조석 주기에 상관없이 북돋바다 북서쪽 해역에서만 나타났고 있다. 이것은 남해 연안역보다도 고온의 외해수가 유입되고 있음을 시사한다. 최(2001)는 여름철 내리도도 소리도 사이 해역의 해수는 주로 남해 외해역의 영향을 받는 해수 특성에 의해 지배된다고 하였다. 또한 이 등(2000)과 최(2001)는 북돋바다는 북서-남동으로 펼쳐 있는 개항된 만으로 외해수의 유입이 빈번하다고 하였다. 또한 이 등(1995)은 여름철에 수심이 얕은 내리도도의 고온수와 외해역의 저온수가 대조기에 조류에 의해 빠르게 이동하므로 수온이 반전되고 하였다. 비록 본 연구 해역에서는 지층 수온의 변화를 볼 수 없었지만 소리도 해역의 지층에서 남해 연안 수역보다도 높은 고온수가 나타났다는 사실은, 외해수 유입을 있음을 말하고 있다. 또한 북돋바다에서 유입된 경우와는 조석 변화에 상관없이 수층이 형성될 수 있음을 시사하고 있다. 이와 조(1998)은 1998년 여름철 개도의 수온과 염분 분포를 설명하면서 개도의 수온은 22.5~29.4°C, 염분은 31.7~33.0psu의 범위나 1월에 비해서는 고온이라고 하였다. 이러한 고온 저염의 해역이 나타나는 수온이 21°C 이하이고 염분이 33.0~33.4psu로 염분이 다소 높은 저온수인 개도의 해수가 조류에 의해서 수층을 통해 유입된 것으로 판단된다.

2. 수층의 안정도

북돋바다에서 조석 기간 동안의 안정도는 전류시나 내리도 인접 해역에서 가장 높았다(Fig. 6). 이것은 내리도 인접 해역에 한정으로 있는 저염수 때문이라고 보인다. 북돋바다에서 개도와의 해황과 개항을 통해 유입되는 유속은 이들 지역과 북돋바다 해역에 영향을 준다(최, 2001). 그러나 수층 강화 요인이 없을 시 수심 20m 이상의 정점들은 혼합 가능성이 크다(Fig. 7). 이와 같이 북돋바다에서의 지층수는 내리도도 인접 해역에 한정되어 있으며(Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5), 연구 기간(7월) 하층수의 비열은 7월 한달 동안의 평균 총용량 3.9m/s는 작은 2.9m/s였다. 또한 조석 기간(7월) 하층수의 비열은 7월 한달 동안의 평균 총용량 17.6MJ/m² 보다도 훨씬 많은 23.7MJ/m²이었다(Fig. 8). 연안역에 있어서 수층의 수온과 염분은 조석, 담수 유입, 대양 복사열 그리고 바람 등에 의해서 영향을 받는다(Shimppson and Bowers, 1991; Bowers and Simpson, 1997; Catrom et al., 1998; Lee, 1994). 또한 30m 이천의 수심에서는 바람이 기인한 혼합은 중요한 요인으로 작용한다(Bowers and Simpson, 1997). 그리고 여름철에 열용량적인 열의 복사열이 기인하는 연안역에서는 조류 혼합이 형성되기 때문에 수층은 쉽게 발달하지 않지만, 연안역으로 외해수의 유입이 있을 때 수층은 여름철과 유사한 수층이 형성된다(Catrom et al., 1998). 이와 같은 사실은 조석 기간 동안에 북돋바다에서의 수층은 일시적인 수층 혼합이 북돋바다의 수층을 강화시키는 것으로 작용하였음을 뒷받침한다. 또한 앞에서 설명한 외해수의 유입도 북돋바다의 수층을 발달시킨 요인으로 해석된다.

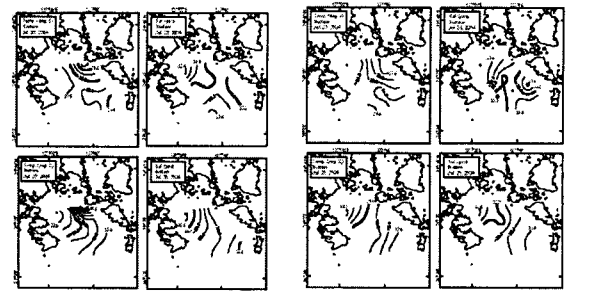


Fig. 3. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during low tide in July 20.

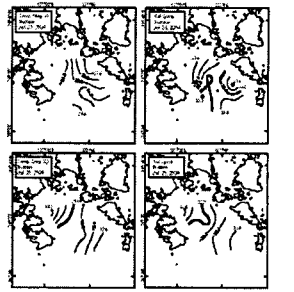


Fig. 4. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during low tide in July 23.

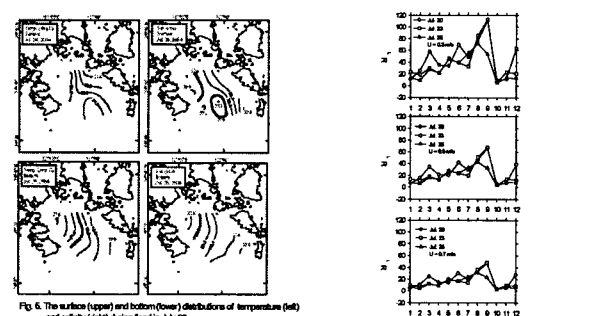


Fig. 5. The surface (upper) and bottom (lower) distributions of temperature (left) and salinity (right) during low tide in July 20.

Fig. 6. Variation of the layer Richardson number, R_L , at each stations over U=0.3m/s (upper), U=0.5m/s (middle) and U=0.7m/s (lower), respectively.

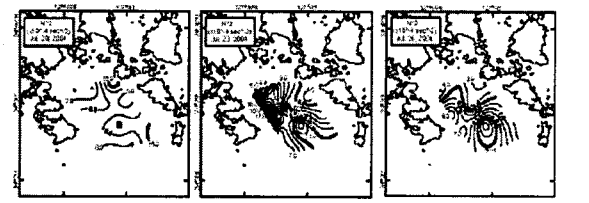


Fig. 6. Horizontal distributions of integrated burnt-Vaisala frequency (BV) in July 20 (left), 23 (middle) and 26 (right), respectively.

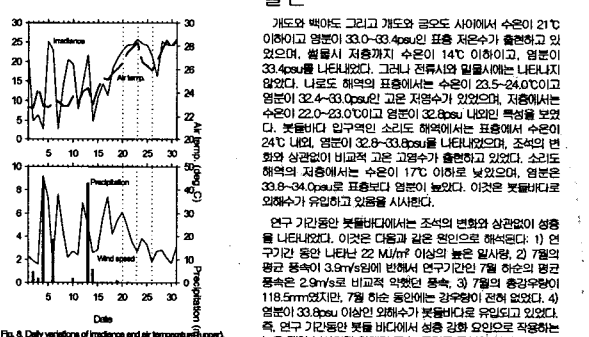


Fig. 7. Daily variations of irradiance and air temperature (upper), and wind speed and precipitation (lower) in July 20, Yeosu Weather Station.

결론

개도와 북돋바다 그리고 개도와 금도 사이에 수온이 21°C 이하이고 염분이 33.0~33.4psu인 표층 저온수가 출현하고 있었으며, 북돋바다 저층까지 수온이 14°C 이하이고, 염분이 33.4psu를 나타내었다. 그러나 전류시와 밀물 때에는 나타내지 않았다. 내리도 해역의 표층에서는 수온이 23.5~24.0°C이고 염분이 32.4~33.0psu인 고온 저염수가 있었으며, 저층에서는 수온이 22.0~23.0°C이고 염분이 32.0psu 이하의 특성을 보였다. 북돋바다 인공적인 소리도 해역에서는 표층에서 수온이 24°C 이하, 염분이 32.9~33.0psu를 나타내었으며, 조석의 변화에 상관없이 비교적 고온 고염수가 출현하고 있었다. 소리도 해역의 저층에서는 수온이 17°C 이하로 낮았으며, 염분은 33.9~34.0psu로 표층보다 염분이 높았다. 이것은 북돋바다로 외해수가 유입되고 있음을 시사한다.

연구 기간 동안 북돋바다는 조석의 변화와 상관없이 수층을 나타내었다. 이것은 다음과 같은 원인으로 해석된다. 1) 연구 기간 동안 나타낸 22 MJ/m² 이상의 높은 일사량, 2) 7월의 평균 풍속이 3.9m/s로 비교적 약해서 연구 기간(7월) 해역의 평균 풍속은 2.9m/s로 비교적 약해서 풍속, 3) 7월의 총강수량이 118.5mm였지만, 7월 하순 동안에는 강수량이 전혀 없었다. 4) 염분이 33.0psu 이상인 외해수가 북돋바다로 유입되고 있었다. 즉, 연구 기간 동안 북돋바다에서 수층 강화 요인으로 작용하는 높은 태양 복사열과 약한 풍속, 그리고 고온의 외해수 유입이 조석의 변화와 상관없이 수층을 유지하는 데 크게 작용했다고 판단된다. 연구 기간 동안 수층이 안정된 것은 담수 유입으로 인한 수층 강화 요인이 있었던 것으로 해석된다. 앞으로 담수 유입 및 조석 에너지를 계산하고, 바람의 상관 관계를 밝혀서, 북돋바다에서의 수층과 혼합에 관한 정량적인 해석이 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

이 등(1995) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 2(1), 1-10.
 이 등(1996) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 3(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.
 최(2001) 개도의 해황 및 수층의 변화에 관한 연구. 한국해양학회지, 8(1), 1-10.