

2010년 하계 보돌바다의 수온과 염분 특성

조은섭*

* 국립수산물과학원 수산해양종합정보과

Characteristics of Water Temperature and Salinity in the Bottol Bada, Yeosu during Summer in 2010

Eun-Seob Cho*

* Fishery and Ocean Information Division, NFRDI, Busan, 619-705, Korea

요 약 : 본 연구는 2010년 보돌바다의 수온과 염분 분포를 파악하여 수괴 특성을 조사했다. 조사 정점은 보돌바다 내측과 외측을 중심으로 총 3 정점에 대하여 2010년 7월 29일, 8월 13일, 8월 30일에 각각 조사했다. 조사 시기는 전류시에 모두 해당되고 조사 시간은 오전 11시부터 오후 3시까지 조위가 낮아지는 시기로 조사 조건은 모두 동일하게 실시했다. 정점 1의 경우 7월 29일만 수심 4m에서 수온약층이 발견되었으나, 8월 13일과 8월 30일에는 약층을 볼 수 없고 표층과 저층간의 수온차는 정점 2와 3에 비하여 큰 차이가 없었다. 정점 2와 3은 7월 29일 수온약층이 강하게 형성되어 8월 30일까지 지속적으로 나타났다. 특히 수심 15m부터 저층까지의 냉해수 수괴는 매우 강력하게 유지되고 있는 것으로 보인다. 수온에 비하여 염분은 정점 2와 3에서 8월 13일과 8월 30일 수심이 깊어짐에 따라 농도가 높아지는 경향을 보인 반면에 정점 1은 조사 기간 동안 균일한 염분농도를 보였다. 투명도는 정점 2를 기준으로 하여 정점 1과 정점 3은 조사 회수에 따라 변동폭이 매우 큰 반면에 정점 2는 균일하게 나타났다. 따라서 정점 2는 정점 1과 정점 3의 경계 수역임을 알 수 있고 보돌바다는 내·외측 상이한 수괴를 형성하고 있으며 보돌바다 외측의 뚜렷한 성층화는 많은 일조량과 약한 풍속 및 8월부터 보돌바다 외측에 고염의 외양수 유입으로 인하여 이러한 성층화 발달의 주요 요인으로 생각된다.

핵심용어 : 보돌바다, 수온, 염분, 성층화, 수괴

Abstract : This study was determined to analysis the characteristics of water mass in the Bottol Bada, Yeosu in August, 2010 based on the data from the distribution of water temperature and salinity. Sampling was carried out a total of three times (i.e. July 29, August 13, and August 30, 2010) and performed at three stations. Observation was done during the period of time 10:00-15:00, indicating the decreasing tidal height and turn of tide. In July 29, thermocline was found at 4 m in St. 1, but the stratification did not observe in August 13 and August 30. The remarkable water temperature between surface and bottom was found in St. 2 and St. 3, whereas St. 1 did not find. A particular finding during this study showed a cold water mass at bottom layer from St. 2 and St. 3, which was first occurred in July 29 and persisted in August 30 without any of destruction. Water temperature had a remarkable fluctuation between surface and bottom, whereas salinity had a unique in St. 1. St. 2 and St. 3 showed the increasing salinity according to water depth in August 13 and August 30. Transparency had considerable fluctuations in St. 1 and St. 3 depending to sampling date, but St. 2 did not fluctuate. Consequently, the Bottol Bada had a significantly different water mass between inner and outer waters. Furthermore, strong irradiance and weak wind play an important role in developing the stratification between surface and bottom, in particular the introduction of offshore waters contribute to highly developing the stratification in the Bottol Bada during the period of August in 2010.

Key Words : Bottol Bada, Water temperature, Salinity, Stratification, Water mass

1. 서론

보돌바다는 남해안의 중앙에 위치하고 있으며 동쪽으로 개도, 금오도, 소리도, 서쪽으로 내나로도, 외나로도 등의 섬들로 둘러싸인 만과 같은 지형구조로서 북쪽에는 여자만이 위치

하고 있다. 이러한 지형적 이유로 북쪽의 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 남쪽의 개방된 만구로 들어오는 외해수의 영향을 받아서 대규모 유해성 *Cochlodinium polykrikoides* 적조가 최초로 발생하는 해역으로 잘 알려져 있다(Yang et al., 2000; Choi, 2001; Shu et al., 2003; Cho and Choi, 2005; Lee and Moon, 2008). 따라서 보돌바다에서 *C. polykrikoides* 적조가 최초로 발생하는 원인으로 여름철 빈번히 발생하는 외양

* 정회원, escho@nfrdi.go.kr, 051-720-2256

수 유입에 따른 성층의 구조변화와 밀접한 관계가 있다고 언급한 바 있으며(Yang et al., 2000; Choi, 2001), Lee and Moon(2008)은 기상인자 중 일조량과 환경인자 중에서 수온이 *C. polykrikoides* 적조발생에 있어서 가장 지배적인 요인으로 판단된다고 보고한 바 있다. 이처럼 연안역은 얕은 수심으로 인하여 복사열, 담수유입, 바람 및 조류 등과 같은 외부요인에 의하여 해황이 쉽게 변하기도 하고, 외양수와 연안수의 상호작용에 의해서 단기적인 해황변동이 뚜렷한 특성을 갖고 있다. 또한 보돌바다는 여러 작은 섬들 사이의 좁은 수로를 통하여 연결되어 있기 때문에 조류에 따라 움직이는 수괴의 흐름이 수로 부근에서는 부분적으로 복잡한 유동 형태를 나타내는 해역이기도 하다. 이러한 보돌바다의 수괴분석을 위하여 Choi et al.(2005b)은 조석변화에 따른 해황변동과 영양염의 시·공간적 단기변동을 조사한 바 있다(Choi et al., 2005a). 따라서 본 연구는 2010년 보돌바다의 8월의 수온과 염분 분포를 분석하여 수괴특성과 성층을 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사 정점은 보돌바다의 내측, 외측과 외해역으로 3개 정점으로 설정했다(Fig. 1). 내측은 내나로도와 개도의 중앙 지점과 외측은 외나로도와 금오도의 중앙 지점 및 외해역은 소리도 근해해역을 대상으로 했다. 조사 시기는 2010년 7월 29일, 8월 13일, 8월 30일 총 3회에 걸쳐 남서해수산연구소 소속 R/V 탐구 11호(16 G/T)를 이용하여 수온과 염분을 관측하였다. 수온과 염분은 YSI 650 MDS(YSI incorporated, USA)를 사용하여 표층에서 저층까지 수심별로 측정했다. 관측 기간 동안의 연구 해역에 대한 조위 변화, 일조량, 강수량 및 태풍 정보 등은 기상청(<http://www.kma.go.kr>) 자료를 참고하였다. 또한, 인공위성 자료는 국립수산물과학원(www.nfrdi.go.kr) 자료를 참고하여 판단하였다.

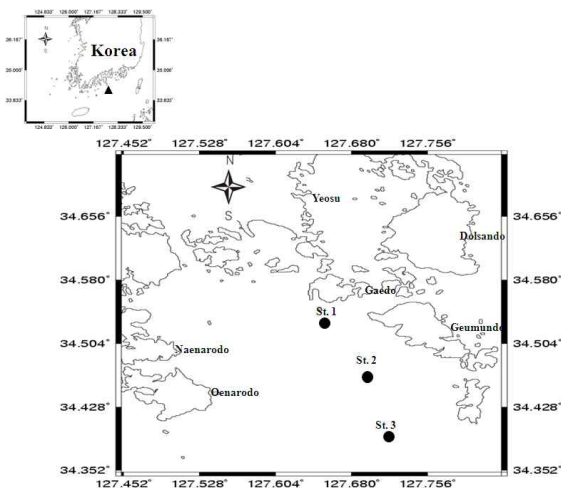


Fig. 1. Map showing the sampling locations.

Fig. 2는 2010년 7월과 8월의 조위 변화와 관측 시간동안의 조위 변화를 나타낸 것이다. 조사한 7월 29일, 8월 13일, 8월 30일은 모두 대조기와 소조기 사이의 전류시에 해당된다. 조사 시간은 오전 11시부터 오후 3시까지의 조위 변화를 보면 7월 29일, 8월 13일, 8월 30일 모두 조위가 서서히 낮아지는 시간에 실시했다.

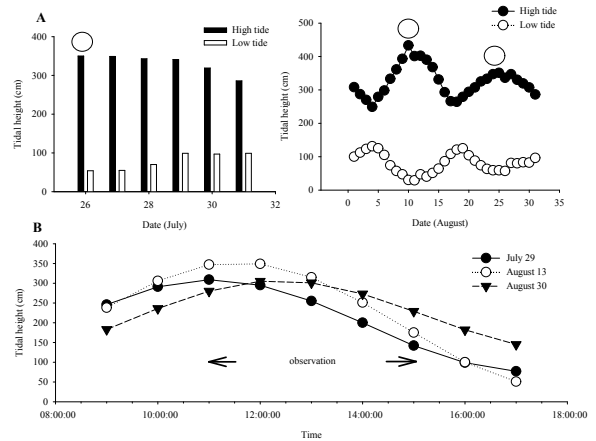


Fig. 2. Marine environmental characteristics. Predicted tidal height (A) and time on the date of observation (B) in the Bottol Bada, Yeosu. Arrow indicates times of observation. Circle means the date of the full moon.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 2010년 7월 29일 보돌바다의 수심별 수온과 염분 분포를 나타낸 것으로 정점 1은 보돌바다의 내측을 대표하는 정점으로 거의 보돌바다 중앙에 해당하는 수역으로 수심은 14m로 표층은 24 °C 정도이지만 수심이 깊어짐에 따라 수온이 떨어지는 경향을 보이고 있다. 표층과 저층간의 수온차는 약 3 °C 이상으로 나타났다. 염분은 표층과 저층간의 차이는 약 0.5 정도로 매우 미미한 것으로 거의 균일화된 염분밀도를 보이고 있다.

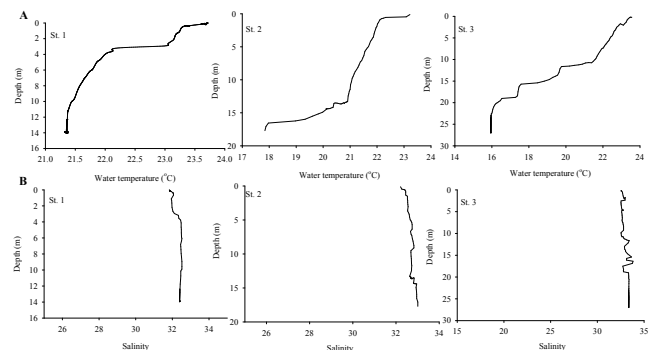


Fig. 3. Vertical profiles of temperature (A) and salinity (B) depending on sampling stations in July 29, 2010.

정점 2는 보돌바다의 내측과 외측사이의 경계 수역으로 수심이 16m 정도 되는 외나라도와 금오도 사이의 중간 지점이다. 표층과 저층간의 수온차는 약 5℃ 이상 차이가 나타남을 알 수 있고 수심 2m 이하부터 수온이 2℃ 이상 떨어지는 경향을 보였다.

특히 15m 이상의 저층에서는 19℃ 이하의 차가운 물 수괴가 1m 정도 형성되어 있음을 알 수 있다. 염분도 표층에서 32에 근접하는 경향을 보였으나 수심이 깊어짐에 따라 약간씩 상승되는 경향을 보여 저층 15m 이상에서는 33 이상을 나타내고 있다. 정점 3은 보돌바다 소리도 서남쪽 해역으로 수심이 25m로 조사 정점 중 가장 깊은 곳이다. 표층은 24℃를 보이고 있지만 저층은 16℃로 수온차가 8℃ 내외로 나타내고 있다. 수심 20-25m 사이는 16℃ 정도의 매우 차가운 수괴가 강하고 깊게 형성하고 있는 것이 큰 특징이다. 수온약층은 5m에서 보이고 있지만 수괴의 단면도는 약간 불규칙적인 모양을 보이고 있다. 그러나 염분은 수온과 달리 표층과 저층사이의 차이는 미비하여 거의 균등한 염분밀도를 나타내고 있다. 2010년 8월 13일의 경우를 보면 정점 1은 수심별에 따라 수온이 내려가기 시작하여 표층과 저층간의 차이는 약 2℃ 내외로 큰 차이를 보여주고 못하고 있고 염분도 32 정도로 거의 균일한 밀도를 나타내고 있다(Fig. 4).

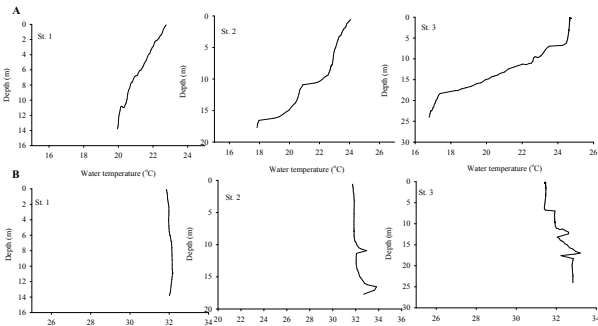


Fig. 4. Vertical profiles of temperature (A) and salinity (B) depending on sampling stations in August 13, 2010.

정점 2는 10m에서 뚜렷한 수온약층이 발견할 수 있고 저층에는 18℃ 정도는 되는 차가운 냉해수가 아주 얇게 형성하고 있다. 염분은 표층에 비하여 저층으로 내려감에 따라 약간씩 밀도가 높아지는 것을 알 수 있다. 정점 3도 수심 10m 정도에서 수온이 급격히 떨어지는 성층화를 보이기 시작하여 20m부터 18℃ 이하 되는 매우 차가운 냉해수가 저층까지 강하게 형성되는 것을 보이고 있다. 염분도 수심 10m에서 증가되기 시작하여 저층까지 증가되는 경향을 보이고 있다. 2010년 8월 30일 정점 1의 수온 단면도를 보면 표층으로 2m 이상부터 수온이 급격히 떨어지지만 거의 저층과 비슷한 수온양상을 보이고 있다(Fig. 5). 또한 염분도 표층과 저층 모두 균일한 32 정도의 수준을 보이고 있다. 정점 2에서는 2m 수심에서 수온약

층이 강하게 형성하고 있고 저층으로부터 1m 정도까지 수온 18℃ 정도의 차가운 냉해수가 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 염분도 수심이 증가함에 따라 지속적으로 증가되어 최대 34 정도에 근접하는 염분밀도를 나타내고 있다. 정점 3도 표층과 저층간의 수온차이는 8℃ 이상을 보여주고 있다. 특히 수심 15m에서 저층까지 18℃ 이하의 냉해수가 약 10m 정도 강하게 형성하고 있으며, 염분도 수심이 깊어짐에 따라 지속적으로 높아지는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 투명도를 나타낸 것으로 2010년 7월 29일의 경우 정점 1은 2m 정도를 나타내었으나 외해측으로 진행됨에 따라 높아지는 경향을 보여 정점 3은 최대 3m를 보였다. 8월 13일의 경우를 보면 정점 1에서 최대 4m까지 보인 반면에 정점 2는 1m 정도를 보여 가장 낮은 투명도를 나타내었다. 8월 30일의 경우 정점 1과 2는 2.5m 이하로 보였으나 정점 3은 약 3배 정도 높은 6m 정도까지 매우 높은 투명도를 보였다.

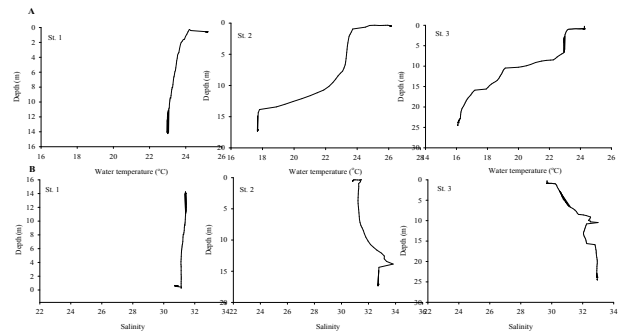


Fig. 5. Vertical profiles of temperature (A) and salinity (B) depending on sampling station in August 30, 2010.

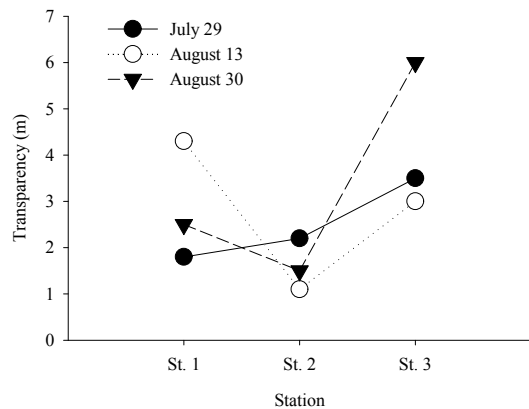


Fig. 6. Fluctuation of transparency in July 29, August 13, and August 30, 2010.

Fig. 7은 2010년 7월과 8월의 강수량, 일조량, 기온, 풍속을 나타낸 것이다. 7월의 강수량을 보면 7월 1일부터 5일까지는 5mm 이하의 적은 강수량을 보였으나 10일 이후부터 강수량

이 많아져서 16일에 최대 90 mm 정도를 보였다. 그러나 조사 당일인 29일에는 강수량이 10 mm 이하로 최대 강수량에 비하면 매우 적었다. 또한 일조량도 일별에 따라 변동폭이 매우 심하다는 것을 알 수 있다. 최대 일조량은 6일에 12시간인 반면에 일조량이 전혀 없는 일수도 다소 많이 나타났다. 29일은 일조시간이 2시간 정도로 다른 일수에 비하여 매우 적은 양에 해당된다. 8월도 7월처럼 강수량과 일조량의 변동폭은 매우 크게 나타났다. 10일에 최대 110 mm 정도의 강수량을 보였으나 조사 당일인 13일에는 강수량이 전혀 없고 30일에도 10 mm 이하의 아주 적은 양이 내렸다. 반면에 13일의 일조시간은 9시간 정도로 쾌청한 날씨임을 알 수 있고 30일은 1시간 정도로 13일과는 대조적으로 보였다. 평균 기온은 7월과 8월 모두 일수에 관계없이 거의 25 °C 내외로 나타낸 반면에, 평균 풍속은 7월과 8월 모두 변동폭이 크게 나타났다. 7월 29일 평균 풍속은 3 ms⁻¹로 다소 강하게 불었으나, 8월 13일과 30일 평균 풍속이 1 ms⁻¹ 내외로 매우 약한 바람이 보돌바다에 불었다. 본 연구의 조사 시간동안의 풍향과 풍속을 보면 7월 29일의 경우 오전 11시부터 서서히 강하게 불기 시작하여 오후 1시경에 5 ms⁻¹ 정도까지 강한 바람이었으나 오후 1시 이후 풍속이 감소되어 3 ms⁻¹까지 불었고 풍향각은 233°에서 시간이 경과함에 따라 210°까지 남방향 쪽으로 변화되는 것을 알 수 있다(Fig. 8 A). 8월 13일 오전 11시부터 오후 3시까지 풍속의 범위는 0-5 ms⁻¹로 변동폭이 매우 강하게 나타났고 풍향각도 280°에서 1시간 동안 180° 정도까지 급선회한 후 오후 3시에는 남동쪽으로 변하는 것을 알 수 있다(Fig. 8 B). 8월 30일의 풍향각을 보면 오전 50°에서 오후 2시에는 250°로 풍향이 시간이 경과함에 따라 북쪽에서 서쪽 방향으로 3시간 동안 변하는 것을 볼 수 있고 풍속도 오전 11시에는 0 ms⁻¹에서 오후 2시에는 2.3 ms⁻¹까지 증가하는 경향을 나타내고 있다(Fig. 8 C).

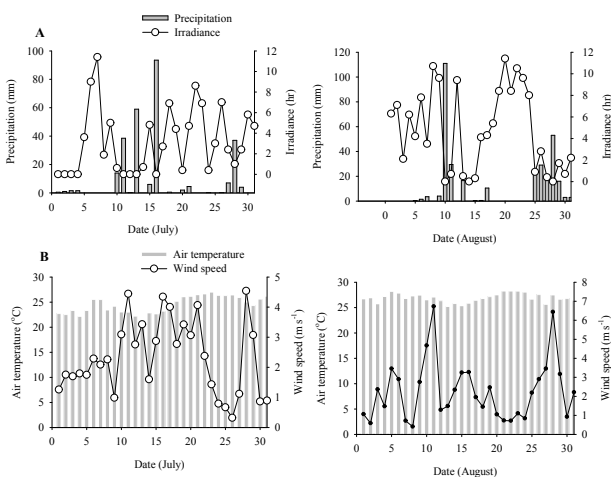


Fig. 7. Daily variations of precipitation/irradiance (A) and air temperature/wind speed (B) in Bottol Bada, Yeosu.

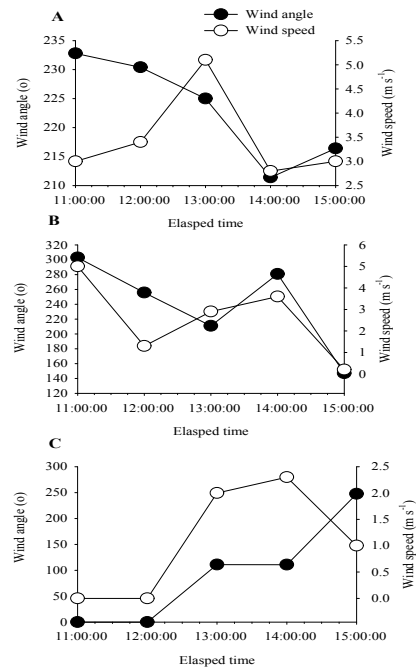


Fig. 8. Fluctuations of wind speed and angle according to elapsed time during the observation in the Bottol Bada, Yeosu. July 29 (A), August 13 (B), and August 30 (B), 2010.

본 조사를 통하여 보돌바다의 큰 특징으로는 내·외측 수역이 현저한 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 하나의 예로 수괴의 특성을 분류하는데 수온과 염분에 비하여 성격이 비교적 뚜렷하게 나타나며, 관측이 비교적 용이한 투명도를 보면 쉽게 알 수 있다. 정점 1과 3은 조사 일수에 따라 많은 변동폭을 보이지만, 정점 2는 거의 균일한 투명도를 보여 정점 2를 경계로 수괴가 상이한 것을 알 수 있다(Fig. 6). 따라서 외나라도와 금오도를 경계로 수온 전선대가 강하게 형성하고 있는 특징을 갖고 있는 점이 본 연구에서도 잘 나타나고 있다.

한편, 보돌바다 내측에 위치한 정점 1의 경우 조사시간 동안 성층이 나타났으나 외측에 위치한 정점 2와 정점 3에 비하면 매우 약한 수온약층을 보이고 있다. 일반적으로 연안역에서는 조류 혼합이 활발하기 때문에 성층이 쉽게 발달하지 않는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서 나타난 정점 1의 약한 성층 형성은 연안역으로 이류가 발생되어 여름동안 단기적으로 지속된 것으로 생각된다(Czitrom et al., 1988). 또한, Fig. 8에서 보듯이 보돌바다의 바람 속도와 방향은 시간별로 많은 차이를 보여주기 때문에 정점 1과 같은 연안역에 위치한 수역은 바람에 따라 성층구조에 많은 영향을 미칠 것으로 생각되어 강한 수온성층을 유지하기에는 매우 어려운 환경임을 알 수 있다. 따라서 보돌바다 내측의 수괴특성으로는 왕성한 조류 혼합 및 바람의 영향으로 일시적인 성층은 형성될 수 있으나 지속적이고 강한 수온약층 형성은 매우 어려운 해양환경 특성을 갖고 있다.

반면, 보돌바다 외측에 위치하고 있는 정점 2와 정점 3에서 나타난 수심 15 m부터 저층까지 형성하고 있는 차가운 해수 수괴는 2010년 7월 29일 수온분포 조사에 관찰되어 2010년 8월 10일 태풍 ‘텐류’(www.kma.go.kr) 영향으로 소멸될 것으로 예상되었으나 2010년 8월 13일 조사 시에도 1차 조사와 동일한 저층 수온상을 보여 이러한 보돌바다 외측의 냉해수 수괴는 매우 강하고 깊게 형성되어 있는 것으로 보인다. Shimpson and Bowers(1981)의 주장에 따르면 성층과 혼합을 결정짓는 요인으로 조석 주기, 태양 복사열, 담수 유입 및 바람 등으로 설명하고 있으며 성층 강화 요인으로 태양 복사열과 담수 유입인 반면에 혼합을 일으키는 요인으로 조류와 바람으로 해석하고 있다. 최근 Choi et al.(2005b)은 보돌바다의 성층 강화 요인으로 많은 일사량과 약한 풍속으로 설명한 바 있듯이 본 조사에서도 2010년 8월의 일조량은 많은 변동폭을 보이고 있지만 하루에 8시간 이상의 일조량을 보인 경우도 많은 반면에, 풍속이 3 m s^{-1} 이하의 약한 바람이 부는 일수가 훨씬 많기 때문에(Fig. 7) 보돌바다의 성층화 발달의 주요 요인으로 판단된다. 또한 보돌바다는 남쪽의 개방된 만구로 인하여 유입되는 외해수의 영향을 모두 받는 해역이므로 보돌바다 외측 정점의 강한 성층은 외해수의 영향으로 인하여 성층을 더욱 더 강화시킨 것으로 사료된다. 본 조사 자료를 보면 2010년 7월 29일의 염분 분포는 정점 1, 2, 3 모두 표·저층 균일한 농도를 보였으나, 8월 13일과 8월 30일은 정점 2와 3에서 수심이 깊어짐에 따라 염분이 증가하는 경향은 아마 8월 초순경에 고염의 외해수 유입이 작용한 것으로 보인다. 따라서 보돌바다 외측의 성층 강화 요인으로 작용하는 높은 태양 복사열과 약한 풍속, 고염의 외해수 유입이 조석의 변화와 상관없이 성층을 강하게 유지시키는 에너지로 작용했다고 판단된다. 앞으로 보돌바다의 성층과 혼합에 관한 정량적인 해석이 필요하다고 생각된다.

5. 결론

본 연구는 2010년 보돌바다의 수온과 염분 분포를 파악하여 수괴 특성을 조사했다. 조사 정점은 보돌바다 내측과 외측을 중심으로 총 3 정점에 대하여 2010년 7월 29일, 8월 13일, 8월 30일에 각각 조사했다. 조사 시기는 전류시에 모두 해당되고 조사 시간은 오전 11시부터 오후 3시까지 조위가 낮아지는 시기로 조사 조건은 모두 동일하게 실시했다. 정점 1의 경우 7월 29일만 수심 4m에서 수온약층이 발견되었으나, 8월 13일과 8월 30일에는 약층을 볼 수 없고 표층과 저층간의 수온차는 정점 2와 3에 비하여 큰 차이가 없었다. 정점 2와 3은 7월 29일 수온약층이 강하게 형성되어 8월 30일까지 지속적으로 나타났다. 특히 수심 15m부터 저층까지의 냉해수 수괴는 매우 강력하게 유지되고 있는 것으로 보인다. 수온에 비하여 염분은 정점 2와 3에서 8월 13일과 8월 30일 수심이 깊어짐에 따라 농도가 높아지는 경향을 보인 반면에 정점 1은 조사 기

간 동안 균일한 염분농도를 보였다. 투명도는 정점 2를 기준으로 하여 정점 1과 정점 3은 조사 회수에 따라 변동폭이 매우 큰 반면에 정점 2는 균일하게 나타났다. 따라서 정점 2는 정점 1과 정점 3의 경계 수역임을 알 수 있고 보돌바다는 내·외측 상이한 수괴를 형성하고 있으며 보돌바다 외측의 뚜렷한 성층화는 8월에 외측으로부터 유입된 고염의 외양수가 주요 요인으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물연구원(수산업의 기후변화에 대한 영향 연구 및 대응전략, RP-2011-ME-032)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Cho, E. S. and Y. K. Choi(2005). The characteristics of marine environment and phytoplankton community around southwestern waters for ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* monitoring programme. Journal of Environmental Science, Vol. 14, pp. 177-184.
- [2] Choi, H. Y(2001), Oceanographic condition of the coastal area between Narodo Is. and Sorido Is. in the southern sea of Korea and its relation to the disappearance of red-tide observed in summer 1998. The Sea, Vol. 6, pp. 49-62.
- [3] Choi, Y. K., E. S. Cho, K. Y. Kwon, Y. H. Lee and Y. S. Lee(2005a), Temporal variations of nutrients and chlorophyll-a in the Bottol Bada in July, 2004. Journal of Environmental Science, Vol. 14, pp. 397-404.
- [4] Choi, Y. K., E. S. Cho, Y. H. Lee and Y. S. Lee(2005b), Distributions of temperature and salinity in relation to ebb turn of tide and flood of the Bottol Bada in July, 2004. Journal of Environmental Science, Vol. 14, pp. 167-175.
- [5] Czitrom, S. P., R. G. Budeus and G. Krause(1988), A tidal mixing front in an area influenced by land runoff. Continental Shelf Research, Vol. 8, pp. 225-237.
- [6] Lee, M. O. and J. H. Moon(2008), Marine environments in the neighborhood of the Narodo as the first outbreak region of *Cochlodinium polykrikoides* bloom. Journal of Korean Society Marine Environmental Engineering, Vol. 11, pp. 113-123.
- [7] Shimpson, J. H. and D. Bowers(1981), Models of stratification and frontal movement in shelf seas. Deep Sea Research, Vol. 28, pp. 727-738.

- [8] Shu, Y. S., L. H. Jang and H. G. Kim(2003), Relationships between spatio-temporal distribution of *Cochlodinium polykrikoides* red tide and meso-scale variation of oceanographic environment around the Korean waters. Korean Association Geography Information Study, Vol. 6, pp. 139-150.
- [9] Yang, J. S., H. Y. Choi, J. H. Jeong, J. Y. Jeong and J. Y. Park(2000), The outbreak of red tides in the coastal waters off Kohung, Chonnam, Korea: 1. Physical and chemical characteristics in 1997. The Sea, Vol. 5, pp. 16-26.

원고접수일 : 2011년 08월 30일

원고수정일 : 2011년 11월 07일

게재확정일 : 2011년 12월 26일