

## 하계 동중국해 북부 해역에서 저층 냉수괴의 거동

장성태\* · 이재학 · 김철호 · 장찬주 · 장영석

한국해양연구원 기후·연안재해연구부

### Movement of Cold Water Mass in the Northern East China Sea in Summer

SUNG-TAE JANG\*, JAE HAK LEE, CHEOL-HO KIM, CHAN JOO JANG AND YOUNG SUK JANG  
*Climate Change & Coastal Disaster Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute,  
P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea*

황해저층냉수는 지난 동계의 차고 건조한 바람에 의해 생성되어, 하계에 황해 중앙골을 따라 남하하는 것으로 알려져 있다. 동중국해 북부해역에서 황해저층냉수의 특성과 거동을 파악하기 위해 2003년부터 2009년까지 하계에 관측한 자료를 분석하였다. 수괴분석을 통해 본 연구해역에 영향을 미치는 황해저층냉수를 새롭게 정의하여 북서저층냉수라고 명명하였고, 수온 13.2 °C 이하, 염분 32.6~33.7 psu와 밀도 24.7~25.5  $\sigma_t$ 로 특성지었다. 지형류 계산에 의하여 연구해역에서 북서저층냉수는 약 2 cm/s 이하의 속도로 남하하는 것으로 추정하였다. 정의한 북서저층냉수는 수온의 범위와 차지하고 있는 영역에서 연간 변동을 보이며, 이러한 변동은 이전 해 동계 황·동중국해의 표층수온의 변화와 밀접한 관련이 있었고, 동계 표층수온의 변화는 동계 기온에 의한 영향이 지배적임을 확인하였다. 동계 동중국해 표층수온은 북극진동 지수와 높은 상관성을 보이며, 동계의 북극진동이 음일 때 동중국해 표층수온이 하강하였고, 이러한 영향으로 북서저층냉수 세력이 동중국해 북부 해역까지 저수온을 보이면서 확장하였다. 동 연구는 동계의 북극진동지수, 황·동중국해 겨울철 표층수온, 동중국해 북부의 북서저층냉수가 역학적으로 관련이 있음을 보였고, 이를 바탕으로 하계 동중국해 북부해역에서 저층냉수의 거동을 유추할 수 있을 것으로 사료된다.

The Yellow Sea Cold Water (YSCW) is formed by cold and dry wind in the previous winter, and is known to spread southward along the central trough of the Yellow Sea in summer. Water characteristics of the YSCW and its movement in the northern East China Sea (ECS) are investigated by analyzing CTD (conductivity-Temperature-Depth) data collected from summertime hydrographic surveys between 2003 and 2009. By water mass analysis, we newly define the NorthWestern Cold Water (NWCW) as a cold water mass observed in the study area. It is characterized by temperature below 13.2 °C, salinity of 32.6~33.7 psu, and density ( $\sigma_t$ ) of 24.7~25.5. The NWCW appears to flow southward at about a speed less than 2 cm/s according to the geostrophic calculation. The newly defined NWCW shows an interannual variation in the range of temperature and occupied area, which is in close relation with the sea surface temperature (SST) over the Yellow Sea and the East China Sea in the previous winter season. The winter SST is determined by winter air temperature, which shows a high correlation with the winter-mean Arctic Oscillation (AO) index. The negative winter-mean AO causes the low winter SST over the Yellow Sea and the East China Sea, resulting in the summertime expansion and lower temperature of the NWCW in the study area. This study shows a dynamic relation among the winter-mean AO index, SST, and NWCW, which helps to predict the movement of NWCW in the northern ECS in summer.

**Key words:** Yellow Sea Cold Water, East China Sea, interannual variation, Arctic Oscillation, Yellow Sea

### 서 론

북서태평양의 연해인 동중국해는 대부분 수심 200 m 이내의 넓은 대륙붕으로 이루어져 있으며, 쿠로시오(Kuroshio) 및 그 지류인 대마난류(Tsushima Warm Current), 대만난류(Taiwan Warm

Current)와 양자강 유출수(Changjiang River Discharge) 외에 중국과 한국 연안수의 영향을 직접 받는 해역으로 계절풍에 의한 바람과 대기와의 열 교환 등으로 해황의 계절 변동이 뚜렷하게 나타난다(Beardsly *et al.*, 1985; Chen *et al.*, 1994). 쿠로시오와 대만난류는 외해에서 열과 염 및 각종 물질과 생물을 이동시켜 동중국해와 한국 연근해의 물리적 특성과 해양 생태계에 중요한 영향을 미친다. 동중국해와 황해로 유입되는 담수량의 80%를 차지

\*Corresponding author: stj@kordi.re.kr

하는 양자강 유출수의 유량은 연변화와 계절 변동이 크며(Shen *et al.*, 1998), 이동 방향도 계절에 따라 변해 동계에는 중국 연안을 따라 하구의 남쪽으로 좁게 흐르는 반면 하계에는 북동쪽 제주도 방향으로 확장하는 것으로 알려져 있다(Beardsley *et al.*, 1985). 양자강 유출수와 동중국해 해수가 혼합되어 생성된 양자강 희석수(Changjiang Diluted Water)가 동쪽으로 확장되는 계절은 남동풍 계열의 바람이 우세해지는 6월 경부터이고 염분 30 psu 이하, 두께 10~20 m의 고립된 덩어리 형태로 분포하는 것이 보고된 바 있다(Lie *et al.*, 2003). 이러한 저염수의 영향은 제주도 서쪽 해역에 20 psu 이하의 극저염수로 나타나기도 한다(김 등, 1998). 중국 양자강 증류에 2009년 완공된 높이 185 m에 길이 2,300 m인 산사댐(Three Gorges Dam)은 동중국해로 유입되는 양자강수의 수량과 영양염 공급을 변화시킴으로써 동중국해 해황 변동을 야기하는 새로운 요인으로 작용하고 있으며, 이러한 담수와 부유물질의 감소는 동중국해 해양생태계에도 큰 영향을 미친다(Wu *et al.*, 2003; 해양수산부, 2006; Gong *et al.*, 2006; Stone, 2008). 산사댐이 완공된 후 변화된 수량에 의해 육지의 온도 변화가 야기되어 지역적으로 강우량의 변동도 초래할 수 있음이 보고된 바 있다(Wu *et al.*, 2006).

동계의 황해와 동중국해는 차고 건조하여 강한 북서풍에 의한 혼합으로 수직적으로 해수 물성이 균질하며, 하계의 상층은 태양 복사열과 양자강 희석수를 포함한 연안수의 영향으로 고온저염화되어 밀도가 낮아지는 반면에 하층은 쿠로시오와 황해저층냉수(Yellow Sea Cold Water)의 영향으로 저온고염의 특성을 띄게 되어 상하층 간의 성층이 강화된다. 하계 황해의 중앙골을 통해 동중국해로 유입되는 황해저층냉수와 상층수의 태양 가열에 의해 두 수괴간에 강한 수온약층(thermocline)이 형성되며 이로 인하여 표층과 저층 사이의 혼합이 억제된다. 남동쪽으로 남하하는 황해저층냉수는 제주도 서편과 양자강을 잇는 선의 남쪽인 동중국해 북부해역으로 직접 유입되어 하계순환에 영향을 미치므로 황해저층냉수의 역할을 파악할 필요가 있다.

수심이 얇은 동중국해 북부해역은 해양-대기와의 상호작용에 민감하고, 고온저염의 양자강 희석수, 고온고염의 쿠로시오 기원수와 저온저염의 황해저층냉수의 영향을 직접 받아 해수 물성이 매우 복잡하다. 황해저층냉수는 Uda(1934)가 언급한 이래로 많은 연구자에 의해 하계 황해 이남에 영향을 미치는 중요 수괴로 알려져 왔다. 그러나, 아직까지 황해저층냉수의 정의가 명확하지 않을 뿐만 아니라 시공간적인 변동이 큰 동중국해 북부해역에서의 거동에 관해서는 명확하게 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 2003년부터 2009년까지 동중국해 북부 해역에서 하계에 관측한 자료를 바탕으로 하계 저층냉수의 분포 특성과 거동을 고찰하고 연간 변동성을 분석하였다. 아울러 지구적 규모의 순환에 의한 영향과 그 상관성에 대하여 살펴 보았다.

### 황해저층냉수에 대한 기존 연구

하계에 황-동중국해에 영향을 미치는 중요한 수괴 중 하나인 황해저층냉수는 동계의 차고 강한 북서 계절풍에 의해 전 층이 혼합되어 형성되며, 균질한 냉수의 특성은 춘계로부터 하계에 이르는 동안 강한 수온(밀도)약층 아래 저층에서 거의 변질되지 않은

채 남아있다(Uda, 1934). Zhang *et al.*(2008)에 의하면, 이러한 황해저층냉수는 하계 황해에 두 개의 저층냉수의 형태로 존재하며, 산둥(Shandong) 반도 위의 북쪽 황해저층냉수와 황해 골에 위치한 남쪽 황해저층냉수로 구분하였다. Nakao(1977)는 남쪽 황해저층냉수를 황해 중앙해역의 저층에서 동계에 형성되어 춘계에서 추계까지 나타나는 10 °C 이하의 수온과 32.0~32.5 psu 범위의 염분을 갖는 해수라고 하였고, Lie(1984)는 수온 10 °C 이하와 Nakao(1977)가 정의한 염분범위보다 넓은 32.0~33.0 psu 범위를 남쪽 황해저층냉수로 정의하였다. 반면에 제주도 서남방 해역에서 관측한 자료를 바탕으로 Park(1985)은 12 °C 이하의 수온, 33.5 psu 이하의 염분과 5 ml/l 이상의 용존산소(dissolved oxygen)를 갖는 해수가 황해저층냉수에 기원을 둔 해수라 언급하였다. 이와 같이 아직까지 황해저층냉수에 대한 일관된 정의가 없으며 연구자에 따라 서로 다른 정의를 사용하여, 그 영향의 범위를 이해하기가 쉽지 않았다.

수심이 얇은 황해의 해황은 기상의 영향을 쉽게 받아 계절적 변동이 큰 것이 특징이고, 동계의 해양과 대기와의 열수지가 황해저층냉수 형성에 밀접한 관련성이 있다. 양 등(1984)은 황해에서 전 해 동계 기상의 이상저온이 하계에 나타나는 황해저층냉수의 이상저온과의 상관성이 높으며, 제주도 서편 50마일까지 황해저층냉수가 확장하였음을 보고하였다. 동계에 형성되어 하계 저층에 분포하는 고밀도의 황해저층냉수는 표층으로부터 수온, 염분에 대한 변화를 차단하는 강력한 수온약층의 발달로 하계까지 황해 중앙골 저층에서 그 성질을 유지한 채 바람에 의한 역풍류(upwind current)에 의해 남하하며(Park, 1986a), 일부는 혼합되어 동중국해 북부해역인 본 연구해역에 나타난다.

### 관측자료

한국해양연구원은 다양한 수괴가 분포하는 동중국해 북부 중앙대륙붕해역(31°30'~34°39'N, 123°54'~128°53'E)에서 2003년부터 2009년까지 총 9회 관측을 하계에 실시하였다(Fig. 1). 관측은 한

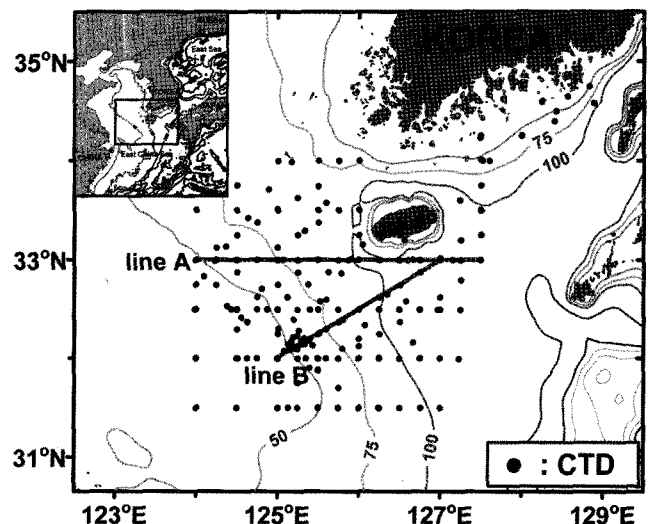


Fig. 1. Study area with all CTD stations (closed circles) occupied in summer from 2003 to 2009 in the northern East China Sea. The bathymetry is shown with contours in meters. Line A and line B indicate where vertical distributions of water properties are examined.

**Table 1.** Summary of CTD observations conducted by KORDI from August 2003 to August 2009 in the northern East China Sea in summer

Periods	R/V	CTD	Stations
Aug. 26 ~ Sep. 3, 2003	Eardo	SBE 911plus	55
Jul. 13 ~ Jul. 17, 2004	Eardo	SBE 911plus	41
Sep. 2 ~ Sep. 3, 2004	Eardo	SBE 911plus	18
Aug. 21 ~ Aug. 29, 2005	Eardo	SBE 911plus	51
Jul. 19 ~ Jul. 23, 2006	Haeyang 2000	SBE 911plus	34
Aug. 12 ~ Aug. 16, 2006	Eardo	SBE 911plus	36
Jul. 20 ~ Jul. 27, 2007	Eardo	SBE 911plus	51
Aug. 1 ~ Aug. 6, 2008	Eardo	SBE 911plus	26
Jul. 30 ~ Aug. 4, 2009	Eardo	SBE 911plus	32

국해양연구원 소속의 이어도호와 국립조사원의 해양 2000호를 이용하여 해수물성(수온, 염분, 용존산소 등)을 CTD(SeaBird사 911plus CTD)로 관측하였다. 모든 관측은 9일 이내에 완료하여 최대한 자료의 동시성을 유지하였다. 관측정점은 최소 18 정점에서 최대 55개 정점하였고, 연도별 하계 관측 기간과 관측 개요를 Table 1에 정리하여 나타내었다. 이 때 관측 일시는 CTD 관측 개시일로부터 종료일까지로 하였다.

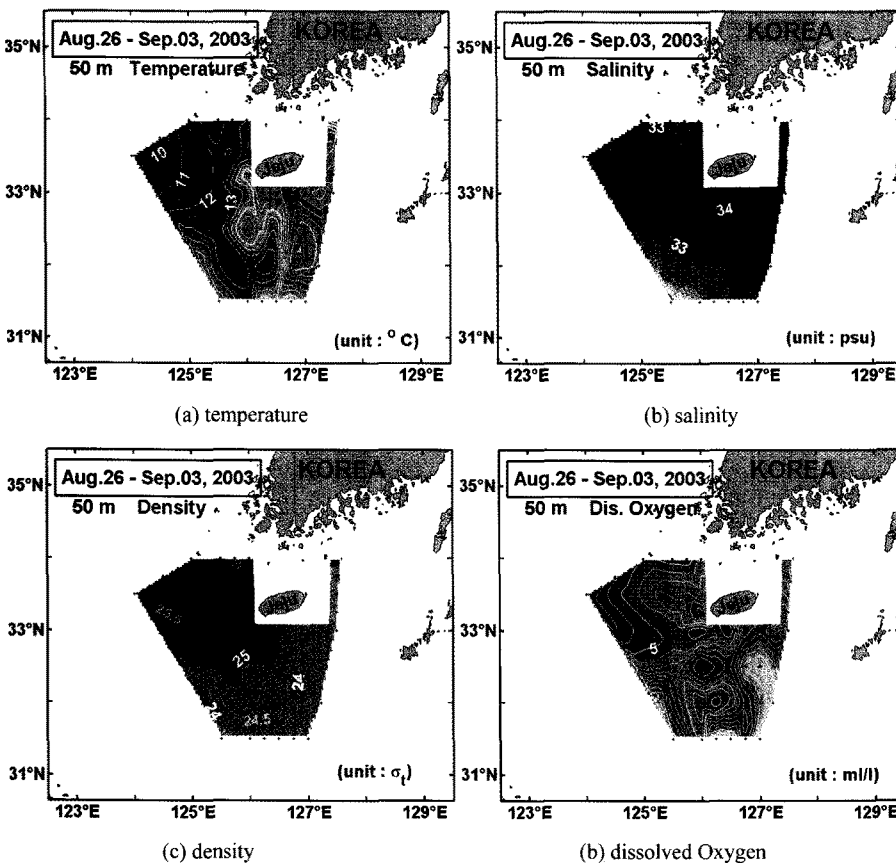
본 연구에서는 조사 정점 중 동서 방향의 관측 단면과 제주도 남방의 남동편과 양자천퇴를 잇는 단면에서의 해수물성을 분석하였다. Chu *et al.*(1997)은 황해에서 수온의 시공간 분포를 통계 분석할 경우 수온의 계절변동을 파악하기 위해서는 정점 사이 간격이 50-80 km 이내, 조사기간이 4-6일 이내가 적절함을

제시하였다. 본 연구의 조사해역 해황도 황해와 크게 다르지 않아서 관측점 사이 약 50 km 이내의 거리는 Chu *et al.*(1997)가 제시한 공간 동시성을 만족하지만 기상 상태에 제약을 받아 관측기간은 그러하지 못하다. 하지만 대부분 조사가 5-9일이 소요되어 계절적 특성을 파악하는 데는 무리가 없을 것으로 판단한다.

**결 과**

**북서저층냉수의 수평분포**

Hur *et al.*(1999)은 40년 이상의 자료를 분석하여 5월부터 11월 까지 황해 중앙골을 따라 수심 40 m 부근에서 황해저층냉수가 항상 존재한다고 하였지만, 본 연구해역이 황해 중앙골 남쪽에 위치한 관계로 2003년 하계 50 m 층에서의 분포를 통해 황해저층냉수의 특징을 살펴보았다(Fig. 2). 50 m 층에서의 수온은 조사해역의 북서쪽에서 남동쪽으로 갈수록 증가하며, 제주도 남단인 126° 30'E에서 남북으로 강한 수온전선이 형성되어 쿠로시오 혼합수로 알려진 대마난류수의 영향이 있음을 짐작하게 한다. 동계에 형성되어 황해 중앙골에 위치한 황해저층냉수는 시간의 경과와 공간적인 이동에 따라 주변해수와 일부 혼합이 된다. 윤 등(1991)은 제주 서편과 제주해협 12 °C 이하의 냉수괴는 주변 고온의 해수와 구별이 되며 그 분포양상이 황해남부의 황해저층냉수와 연결되어 있다고 하였다. 이러한 황해저층냉수의 남하에 대한 통계적 증거는 충분하지 않지만, 남하 가능성에 관해서는 여러 연구에서 언급되었다(Nakao, 1977; 양 등, 1984; Park, 1986a; 윤 등, 1991).



**Fig. 2.** Horizontal distributions of temperature, salinity, density, and dissolved oxygen observed at 50 m depth in August, 2003.

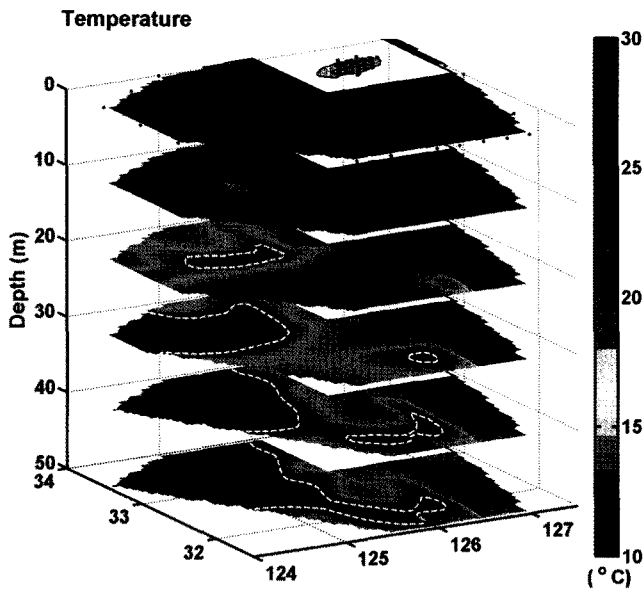


Fig. 3. Horizontal distributions of temperature at the surface, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, and 50 m in August, 2003. Dotted line indicates an isotherm of 13 °C.

본 연구해역에서 13 °C 이하의 황해저층냉수 혼합수(이후 저층혼합수로 명명)의 영향이 관측해역의 북서단에서 뚜렷하게 나타났고, 제주도 서편 125°30'E 부근까지 나타났었다. 저층혼합수 영역의 염분은 32.9에서 33.4 psu 이하의 분포를 가지며, 밀도( $\sigma_t$ )는 25.0 이상의 고밀도를 보인다. Park(1985, 1986b)이 언급하였던 황해저층냉수의 특징 중 하나인 5 ml/l 이상의 용존산소도 저층혼합수역에 자리잡고 있다. 이러한 저층혼합수의 영향을 각 수심별 수온의 수평분포에서 보면(Fig. 3), 표층은 강한 일사량에 의해 가열되어 수심 10 m까지 그 영향이 나타나지 않고, 20 m에 제주도 서편 2개 정점에서 저층혼합수가 일부 나타났고, 30 m 이상 수심에서부터 중앙골을 따라 남하하는 저층혼합수의 영향이 뚜렷이 나타난다. 50 m 수심에서 저층혼합수는 가장 넓은 범위에 걸쳐 분포한다. 20 m 수심에서는 126°30'E에 가장 강한 수온전선이 형성되어 대마난류수의 영향을 추정하게 한다.

하계 저층혼합수의 분포가 중앙골을 중심으로 나타나므로 중앙골이 위치한 제주도 서편의 정점들을 중심으로 그 특성을 분석하였다(Fig. 4). 수온염분도(T-S diagram) 상에 나타난 적색 동그라미는 각 관측정점에서 50 m 이상 수심의 값을 도시한 것이다. 여기에서 Lie(1984)가 정의하였던 황해저층냉수(YSCW)는 가장 적게 나타나 이 정의만으로는 본 연구해역에서 냉수괴의 특성을 말하기 어렵고, 제주도 남단을 관측하였던 Park(1985)이 제안한 황해바닥저층냉수(YCBCW)의 정의를 적용해도 중앙골을 따라 50 m 이상에서 관측한 값을 대변할 수 없었다. 이러한 사실을 토대로 7년간 하계에 관측한 자료를 바탕으로 연구해역에서 중앙골을 따라 존재하는 수온 13.2 °C 이하, 염분 32.6~33.7 psu와 밀도 24.7~25.5  $\sigma_t$ 의 황해저층냉수 혼합수를 북서저층냉수(North Western Cold Water : NWCW)로 명명하여 연구해역에서 나타나는 저층냉수로 정의하였다.

북서저층냉수의 특징을 고찰하기 앞서 하계의 황해 중앙골에서

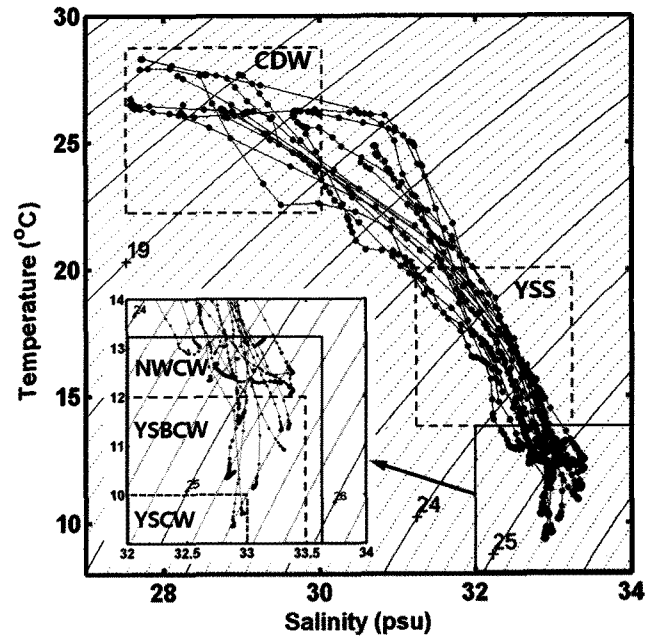


Fig. 4. T-S diagram for CTD stations west of Jeju in August, 2003. Closed red circles indicate the values deeper than 50 m depth. YSCW stands for the Yellow Sea Cold Water by Lie (1984), YCBCW: the Yellow Sea Bottom Cold Water by Park (1985), CDW: the Changjiang Diluted Water by Lie *et al.* (2003), YSS: the Yellow Sea Surface Water by Hur *et al.* (1999), and NWCW: newly defined North Western Cold Water.

황해저층냉수의 분포를 살펴보았다. 이를 위해 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Centre : KODC)의 황해와 동중국해 북부해역에 해당하는 307-317 단면의 2003년부터 2008년까지 8월에 관측하였던 50 m 수심의 수온분포를 살펴보았다(Fig. 5). 6년간의 수온범위는 6.7~26.0 °C이고, 전반적으로 황해 중앙골을 따라 10 °C 이하의 황해저층냉수가 자리잡고 있고, 제주 남동부해역은 쿠로시오 혼합수로 알려진 대마난류수가 분포한다. 그 사이 해역은 저온저염의 황해저층냉수 수괴와 고온고염의 대마난류수괴의 세력에 따라 변동이 크게 나타났고, 한국 연안 서편 끝단에 해당되는 흑산도 주변해역은 조석운동에 의한 수층 내 수직혼합으로 동일 위도상 정점들에 비해 높은 15 °C 이상이 나타났다. 황해저층냉수의 분포 범위를 살펴보면 2003년의 10 °C 등온선은 33°24'N 남단까지 나타났고 2007년에는 34°43'N에 나타나 남북으로 1° 이상 차이를 보이며, 동서로는 2004년에 125°38'E까지와 2007년에는 125°12'E로 0.5° 정도의 공간적인 차이를 보이고 있다. 최저 수온은 황해 중앙골을 따라 2003년이 6.7 °C이고 2007년이 8.1 °C로 1.4 °C 차이를 보였다. KODC 관측망이 124°30'E 동쪽에 국한되어 황해저층냉수의 분포를 전부 대변할 수는 없지만 그 공간적인 변동은 뚜렷하게 파악할 수 있다. 남하하는 저층냉수는 제주해협을 북쪽 저층을 따라 확장하면서 동향하며(김 등, 1991), 제주해협을 통해 남해로도 유입된다(조와 김, 1994). KODC 자료를 통해서 황해 중앙골을 따라 저층에 자리잡고 있는 하계 황해저층냉수의 분포가 연간변동성이 있고 황해저층냉수 세력의 정도에 따라 저층냉수의 최저수온이 달라짐을 확인하였다.

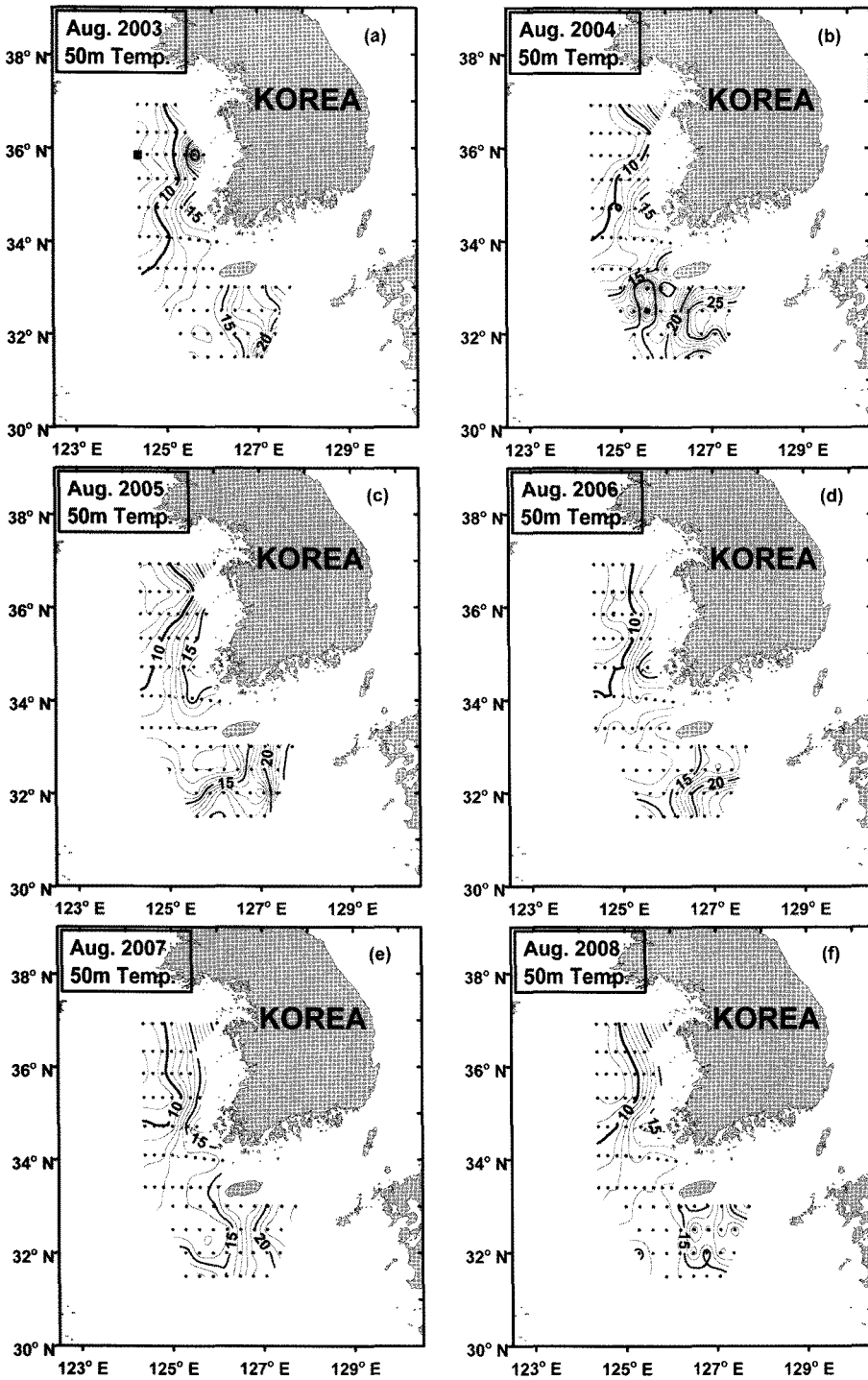


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature observed at 50 m depth by KODC in August from 2003 to 2008. The closed box in (a) denotes KODC station 309-10 where coherence squared of sea surface temperature and air temperature (Fig. 10) has been calculated.

**북서저층냉수의 수직분포**

북서저층냉수와 대마난류수가 만나 변동이 크리라 예상되는 A 단면(Fig. 1)에서 2003년부터 2009년까지 하계관측 자료를 이용하여 수온과 염분의 수직 분포 단면을 Fig. 6에 나타내었다. 2003년에는(Fig. 6a) 제주도 서편은 비교적 균질한 저층수가 존재하고, 표층수와 저층수 사이에 강한 수온약층과 염분약층이 발달해 있다. 수온약층은 10~15 m로 얇고 수심이 얇은 곳의 저층을 10.9~12.7 °C 범위와 33.0~33.3 psu 범위인 균질한 북서저층냉수가 채우고 있고(북서저층냉수의 경계를 점선으로 표시), 126°E을

경계로 대마난류수와 상접하고 있다. 2003년은 전 관측기간 중 북서저층냉수의 범위가 가장 넓고 수온이 가장 낮아 그 영향이 강하게 나타난 해이다. 2004년에는(Fig. 6b) 수심 15 m까지 29.0 psu 이하 패치(patch) 형태의 저염수가 분포하고 2003년에 비해서는 수온약층이 약하게 나타난다. 북서저층냉수도 2003년에 비해 깊은 수심에 나타나고, 그 범위도 좁다. 2005년에는(Fig. 6c) 북서저층냉수의 영향이 126°E의 동편까지 나타났고 수온약층의 형태도 복잡하다. h6 정점의 표층에서 33 m까지는 수온 0.5 °C 이하의 차이를 보이는 혼합층(mixed layer)이 존재하고, c9 정점의 50~60 m

에서는 수평혼합에 의한 고온고염수의 관입이 뚜렷하게 나타났다. 126°E 동편에서 대마난류수의 영향은 모든 관측 연도 중 가장 깊은 수심에서 나타났고 그 범위는 가장 적었다. 2006년에는(Fig. 6d)는 저염의 영향이 가장 강하게 나타난 해로써 27.0 psu의 저염이 제주도 서편에서 발견되었고, 저염의 양자강 희석수가 유입되면서 30 m 수심까지 32.0 psu 이하의 수괴가 자리잡고 있고 수온약층도 약하게 나타났다. 2007년에는(Fig. 6e) 북서저층냉수가 수온이 12.9 °C 이상으로 다른 해에 비해 높았고 d2, d3 정점의 수심 34 m 이상에서만 분포하여 그 범위가 가장 좁았다. 염분은 125°30'E의 동편부터 34.0 psu 이상의 고염이 가장 넓은 영역에서 존재하였다. 2008년에도(Fig. 6f) 북서저층냉수가 정점 d2에서 57 m, d3의 30 m와 d4의 40 m 이상에서만 나타나 그 범위가 좁았다. 2009년에는(Fig. 6g) 정점 d2, d3의 30 m 이상과 d4의 30-50 m 사이

에서만 나타나 상대적으로 좁은 해역에서 분포하였다.

하계 A 단면에서 나타나는 북서저층냉수는 수온약층이 강할 때 수온약층 아래에서 균질한 형태로 존재하지만, 수온의 범위와 차지하고 있는 영역은 연간 변동성이 있음을 관찰할 수 있었다. 아울러 대마난류수도 연간 변동이 있음을 확인하였다.

A 단면에서 북서저층냉수의 평균분포와 연간변동성을 정량적으로 살펴보기 위해 수온과 염분의 7년 평균과 편차를 구하였다(Fig. 7). 평균분포를 살펴보면, 북서저층냉수는 124°E 동편에서 125°30'E 까지 수심 30 m 이상에서 나타나고, 양자강 희석수의 주 통로인 서편을 중심으로 10 m 수심까지 30.0 psu 이하의 양자강 희석수가 존재한다. 34.0 psu 이상의 고염수는 126°E 동편의 50 m 이심에 분포한다. 수온의 편차가 크게 나타난 곳은 수온약층 근처로 10~25 m에서 3 °C 이상의 편차를 보이고, 편차가 가장 적게

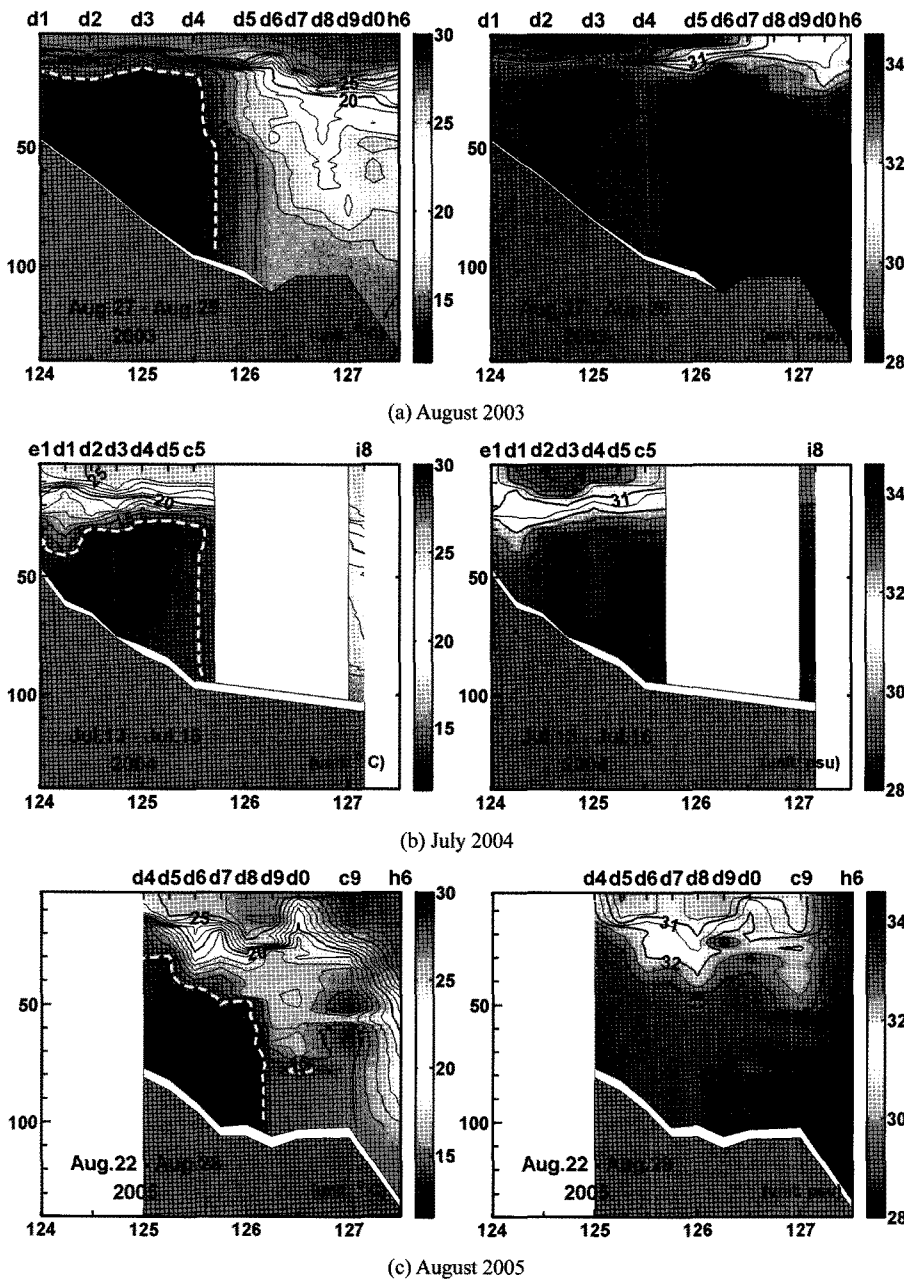


Fig. 6. Vertical distributions of temperature and salinity observed along transect A in Fig. 1 in summer from 2003 to 2009. Dashed line indicates the boundary of the NWCW.

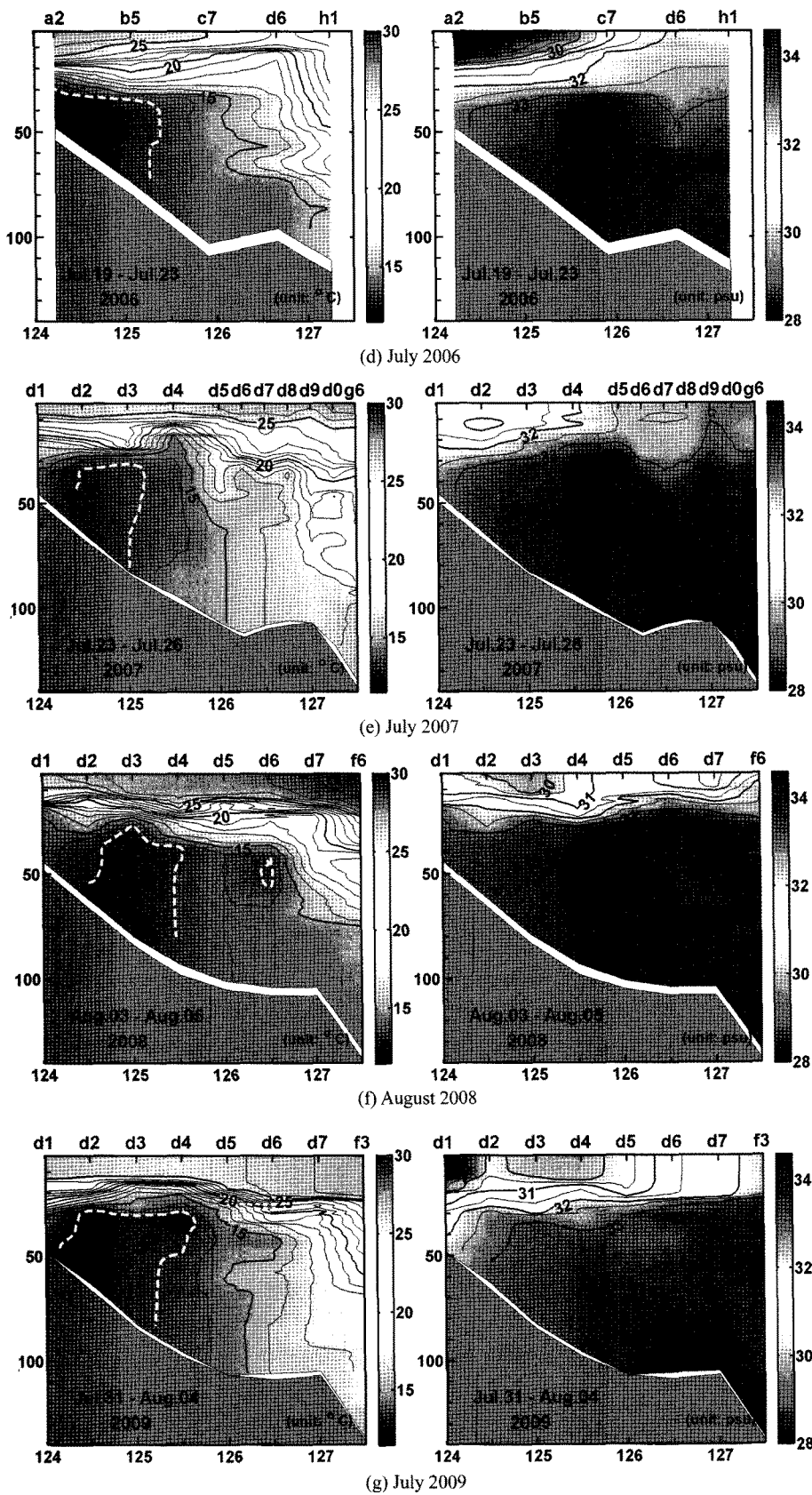


Fig. 6. Continued

나타난 곳은 북서저층냉수가 상존하는 제주도 서편의 저층이다. 크게 나타나며, 양자강 희석수의 주 통로인 서편 끝 정점 d1에서 염분편차는 양자강 희석수가 상존하는 표층에서 10 m 사이에서 가장 크다.



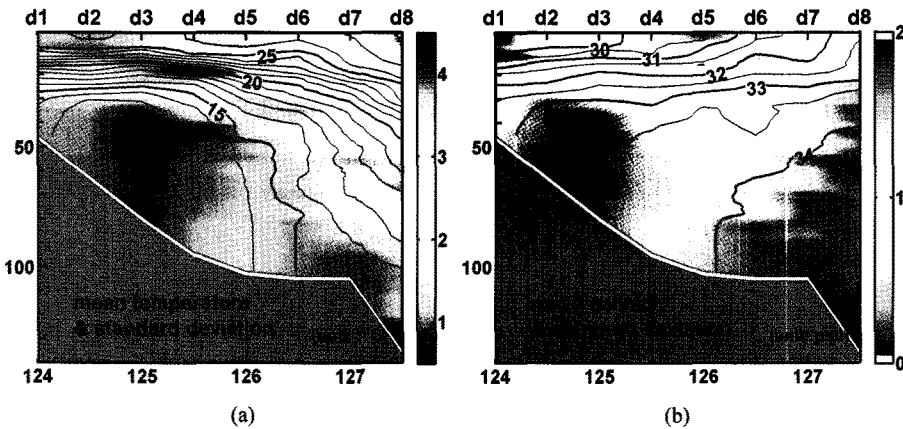


Fig. 7. Vertical distributions of 7-year averaged (a) temperature and (b) salinity contour lines along transect A in summer from 2003 to 2009. Standard deviations are shown in color.

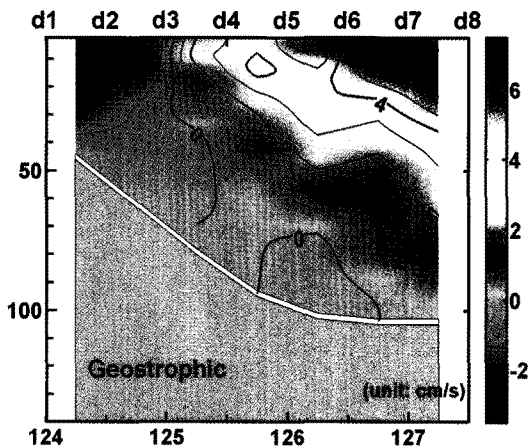


Fig. 8. Vertical section of the geostrophic velocity based on 7-year averaged temperature and salinity along transect A in summer from 2003 to 2009.

북서저층냉수의 남하를 고찰하기 위해 7년 간 수온과 염분의 평균 자료를 이용하여 지형류(geostrophic velocity)를 계산하였고 (Fig. 8), 무류면은 관측 최저수심으로 하였다. 제주도 서편에서 125°30'E까지는 남하하는 흐름이 나타났고, 그 동편은 북상하는 흐름으로 양분되어 나타났다. 남하하는 흐름이 나타나는 곳은 북서저층냉수의 영역과 일치하므로 남하하는 북서저층냉수의 영향을 짐작하게 한다. Park(1986a)은 수치모형을 이용하여 남풍속도가 2.6-5.2 m/s 일 때 황해골을 남하하는 역풍류 속도는 1-5 cm/s 이었으며, 지형류 계산 결과에 의하면 북서저층냉수가 나타나는 30 m 이상 수심에서 남하속도가 2 cm/s 이하로 Park(1986a)의 결과와 일치하였다.

A 단면에서는 북서저층냉수가 해마다 그 분포와 물성이 달랐지만 모든 해에 존재하였다. 그 이남에 위치한 양자천퇴에서 제주도 남단에 이르는 B 단면에서의 남하를 파악하기 위하여 2004년부터 2007년까지 수온과 염분의 수직분포(Fig. 9)를 살펴보았다. 양자천퇴쪽은 조석혼합의 영향으로 수온과 염분의 변화가 적고, 관측 위치가 A 단면보다 남쪽인 양자천퇴쪽에서 제주도 남단에 위치하여 북서저층냉수의 영향도 적게 나타났다.

2004년에는(Fig. 9a) 수온약층 아래의 수온이 13.8 °C 이상으로

높아 북서저층냉수의 영향이 나타나지 않았다. 2005년에는(Fig. 9b) 20~30 m에 강한 수온약층이 존재하고 정점 c8의 수심 67~76 m 에서만 북서저층냉수의 흔적을 발견할 수 있다. 2006년은 2005년에 비해 수온약층은 약하지만 정점 b3의 40 m 이상, b4의 47 m 이상의 수심과 b5의 59~66 m에서 북서저층냉수가 나타나, B 단면 관측 중 북서저층냉수가 가장 넓은 분포를 보였다(Fig. 9c). 2007년에도(Fig. 9d) 2004년처럼 북서저층냉수의 영향이 전혀 나타나지 않았다.

관측자료를 통해 본 연구해역에서는 저온저염의 황해저층냉수 기원의 수괴(북서저층냉수)와 고온고염의 쿠로시오 기원의 수괴(대마난류수)와 함께 공존함을 관찰할 수 있었다. 서로 다른 두 수괴는 연간 변동성이 있으며 다음 장에서 그러한 변동성의 원인을 고찰해보았다.

### 북서저층냉수의 연간 변동성과 표층수온 및 기온과의 관계

Guan(1963)은 하계 산동반도 위쪽에 위치한 북쪽 황해저층냉수 저층의 수온이 전 해 동계 기온과 상관성이 높다고 하였다. 황해 중앙골에 위치한 남쪽 황해저층냉수에서도 유사한 상관성이 있다고 양 등(1984)이 언급하였다. 해양-대기와의 열교환을 살펴보기 위해 표층수 대류(convection)에 영향을 미치는 기온과 표층수온(sea surface temperature: SST)과의 상관관계를 살펴보았다. 황해 중앙골에 위치하여 비교적 황해저층냉수의 생성을 고찰하기 적합한 관측점 KODC 309-10 정점(Fig. 5(a))에서 KODC 정선해양관측자료에서 제공하는 자료를 이용하여 동계인 2월 기온과 표층수온의 관계를 도시하였다(Fig. 10). 1967년부터 2008년까지의 기간 중 기온과 표층수온은 연간 변동이 크며 특히 1977~1984년 기간에는 두 변수 사이의 변동이 잘 일치함을 볼 수 있다. 기온과 표층수온의 상관성을 파악하기 위해 사용한 일치 스펙트럼(coherence spectrum) 결과에 의하면 두 변수 사이의 상관관계가 높아서 기온이 표층수온에 직접 영향을 미침을 알 수 있다.

전 해 동계의 해황을 살펴보기 위해 동계 평균 표층수온을 분석하였다. 사용된 표층수온 자료는 AVHRR, MODIS와 극초단파(microwave)를 이용해서 병합한 토후쿠대학의 일평균 자료이다 (<http://www.ocean.caos.tohoku.ac.jp/~merge/sstbinary/actualbm.cgi>). 여기서 정의한 동계는 그 전 해 12월과 그 해 1월, 2월을 말한다(예를



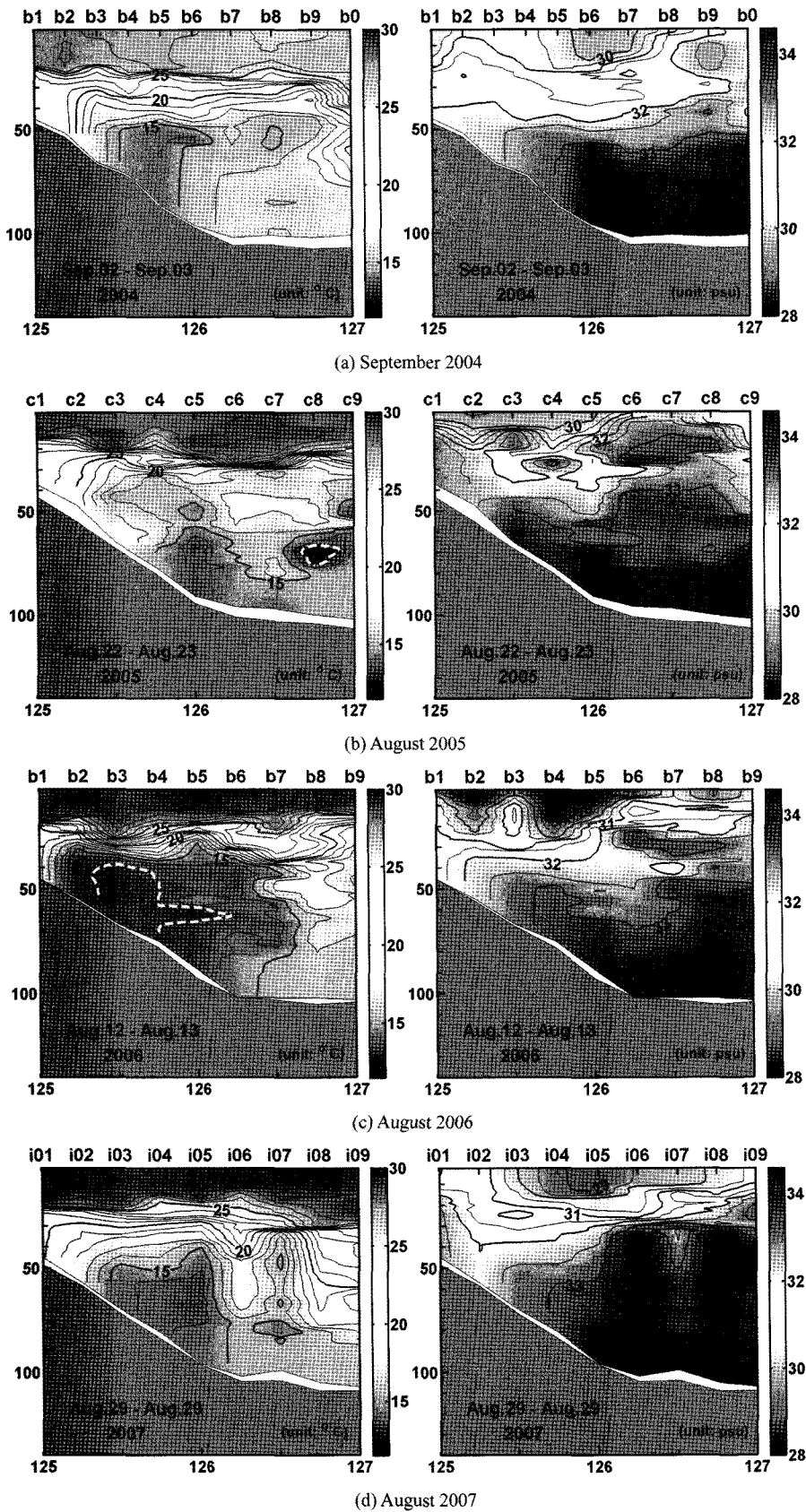


Fig. 9. Vertical distributions of temperature and salinity observed along transect B in Fig. 1 in summer from 2004 to 2007. Dashed line indicates the boundary of the NWCW.

들면, 2009년 동계 표층수온은 2008년 12월과 2009년 1, 2월 평균을 나타낸다). 2002년 12월부터 2009년 2월까지의 자료를 이용

하여 2003년부터 2009년의 전 기간 동계 표층수온 평균에 대한 편차(anomaly)를 구하여 2003년부터 2008년까지 Fig. 11에 나타

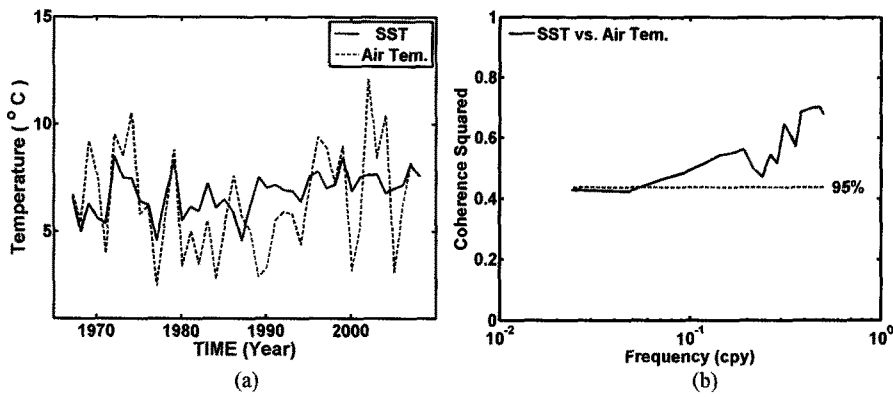


Fig. 10. (a) Sea surface temperature (solid line) and air temperature (dashed line) at KODC station 309-10 (marked by in Fig. 5(a)) in February from 1967 to 2008 and (b) the result of coherence analysis for SST and air temperature. Dashed line indicates 95% confidence level.

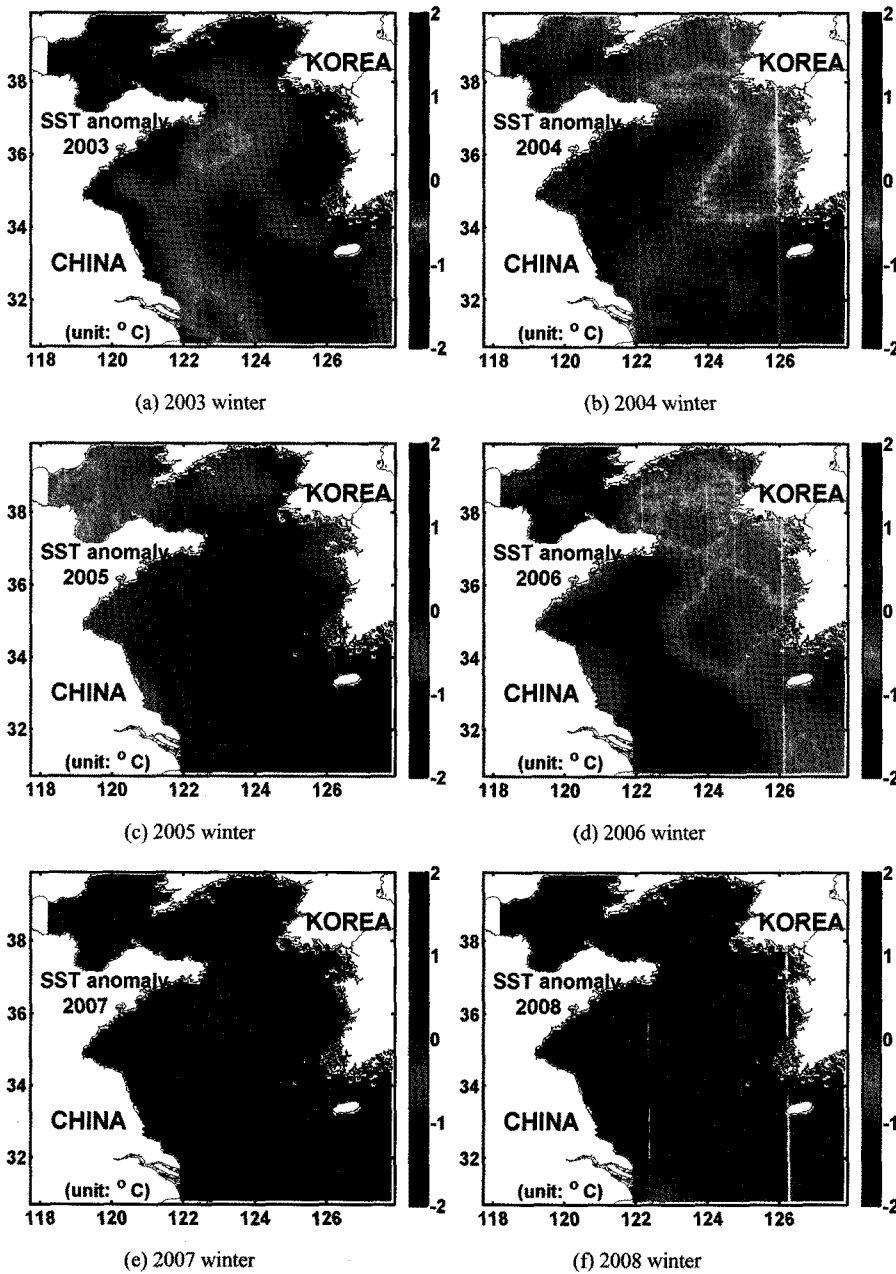


Fig. 11. Sea surface temperature anomalies in winter from 2003 to 2008, showing relatively cold year in 2003 when the NWCW was colder and wider in the study area, and relatively warm year in 2007.

내었다. 각 해의 동계 평균 분포는 그림으로 나타내지 않았지만 연안쪽은 저온수가 존재하지만 연별로 다소 차이를 보인다. 각 연 10 °C 등온선이 모두 산둥반도를 향해 혀 모양으로 분포하며 중국 도별 동계 표층수온의 편차에서 음의 평균값은 2003년, 2004년과

2006년(각각은 -1.01, -0.22와 -0.66)에 나타나고, 양의 평균은 2005년, 2007년, 2008년과 2009년(각각은 0.30, 0.76, 0.57과 0.25)에 나타난다. 음의 평균값이 가장 큰 2003년의 경우 새로 정의한 북서저층냉수가 서편의 수심 20 m부터 바닥까지와 동쪽으로 125° 30'E까지 나타나 단면상에서 북서저층냉수의 면적은 8.4 km<sup>2</sup>로 가장 넓은 분포를 보였다(Fig. 6a). 양의 평균값이 가장 큰 2007년의 북서저층냉수는 정점 d2와 d3의 수심 34 m 이하에서만 존재하여 그 영향이 가장 적고 면적은 2.51 km<sup>2</sup>으로 가장 좁았다(Fig. 6c). 관측 기간 중 두 번째 큰 음의 평균값을 보인 2006년의 북서저층냉수는 정점 a2의 30 m 이상과 b5의 35 m 이상의 수심에서 나타나 그 범위가 상대적으로 좁게 나타나 이는 다른 해에 비해 적은 관측 정점에 의한 영향으로 판단된다(Fig. 6d). 하지만 A 단면보다 남쪽에 위치한 B 단면에서는 2006년 정점 b3과 b4의 수심 50 m 이하에서 북서저층냉수가 관측이 이루어진 3년 중에서 가장 넓은 범위로 존재하였다(Fig. 9c). 표층수온의 양의 편차가 두 번째로 컸던 2008년의 경우 정점 d2, d3과 d4의 수심 57 m, 30 m와 40 m 이상에서 북서저층냉수가 나타나 북서저층냉수가 차지한 면적은 2.62 km<sup>2</sup>로 표층수온의 편차가 가장 높았던 2007년에 비해 조금 넓은 분포를 보였다(Fig. 6f). 반면 2005년에는 표층수온의 편차가 양의 값을 보였음에도 북서저층냉수가 출현하였고, 이 때 북서저층냉수는 A 단면의 서편 경계였던 125°E의 정점 d4에서는 31 m 부터 그리고 126°E에 위치한 d8에서는 50 m 이상 수심에서 나타나 다른 해에 비해 북서저층냉수가 가장 동편으로 편향되어 나타났다(Fig. 6c), B 단면에서도 동편 끝단에 해당하는 c8 정점에서 북서저층냉수의 흔적이 보였다(Fig. 9b).

각 연도별 동계 표층수온 평균분포를 바탕으로 A 단면의 하계에 출현하였던 북서저층냉수의 평균수온과 최저수온을 비교하여 분석하였다(Fig. 12). 표층수온이 최저로 나타났던 2003년의 경우 북서저층냉수의 평균수온 11.8 °C와 최저수온은 10.9 °C로 최저를 나타내었고, 표층수온이 최고 값을 보였던 2007년은 북서저층냉수의 평균수온이 13.1 °C와 최저수온은 12.97 °C로 가장 높은 온도를 나타내었다. 동계 표층수온의 분포와 하계 제주도 남쪽 33°N에 출현한 북서저층냉수의 평균수온과 최저수온은 연관성을 보인다.

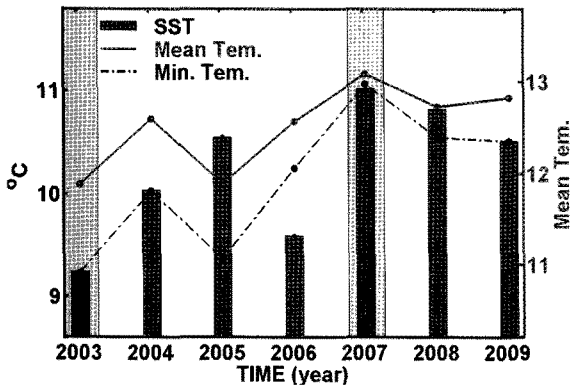


Fig. 12. Mean SST (bar) during winter (December, January and February) from 2003 to 2009, mean temperature (line) and minimum temperature (broken line) of the NWCW observed during summer of each year. Color shadings in 2003 and 2007 denote cold and warm years, respectively.

### 북극진동과의 상관관계

앞 절의 결과에 의하면 동계 표층수온의 변화는 하계 연구해역에 나타나는 북서저층냉수의 범위와 수온을 조절하는 요소임을 알 수 있었으며, 동계 표층수온의 변화는 동계 기온에 의한 영향이 지배적임을 확인하였다. 본 절에서는 동계 황-동중국해 표층수온의 변화와 북극진동과의 상관관계를 살펴보고자 한다.

북극진동(Arctic Oscillation)은 북극 지역과 중위도 지역의 해면 기압이 서로 반대의 위상을 가지고 진동하는 현상이다. 이러한 북극진동은 북극뿐만 아니라 전 지구 해양과 대기에 영향을 준다. 유라시아 대륙의 표층 기온변동과 북극진동은 밀접한 관련이 있고 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation)과도 관련이 있고 (Thompson and Wallace, 1998), 동아시아 동계 몬순 순환의 변동도 국지적인 현상이 아니라 전지구 규모 기후와 관련성이 있어 동아시아 동계 몬순의 변동성과 북극진동에 영향을 받는다(Gong *et al.*, 2001). Gong and Ho(2002)는 동계 유라시아 대륙의 기온에 영향을 미치는 시베리아 고기압의 세기 변동이 북극진동의 변동성에 영향을 받는다고 주장하였다. Isobe and Beardsley(2007)는 북극진동이 연간변동성이 있으며 동계 북극진동이 양일 때 동중국해가 따뜻함을 언급하였다. 임과 안(2004)은 한반도 지상관측 자료를 통해 온난화 경향을 제거하고 한반도 동계의 기온 패턴과 북극진동의 위상이 높은 상관이 있고, 그 영향이 한반도 전역에 미침을 제시하였다. 여기서 북극진동이 양일 때, 즉 극지방의 기압이 낮고 중위도 기압이 높으면 편서풍이 강해져 찬 공기가 극지방에 제한되며 한반도 기후는 따뜻해진다. 반대로 북극진동이 음이면 시베리아 고기압이 확장해서 북서풍의 찬 공기가 한반도에 유입됨으로 기온이 떨어진다.

Fig. 13은 2003년부터 2009년까지 구한 동계 황-동중국해의 평균 표층수온과 같은 해 동계 평균 북극진동 지수(AO Index)를 보여준다. 사용한 북극진동 지수는 NOAA 기후예측센터(Climatic Prediction Center)에서 구축한 북극 20°N 영역의 해면기압 1000 mb의 편차에서 구한 일 자료이다(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>). 동계의 평균 표층수온과 북극진동은 잘 일치하여 상관성이 높다. 동계 표층수온의 영향이 황해저층냉수의 생성에 직접 관련이 있음을 앞에서 언급하였고, 표층수온이 낮았던 연도의 북극진동은 음의

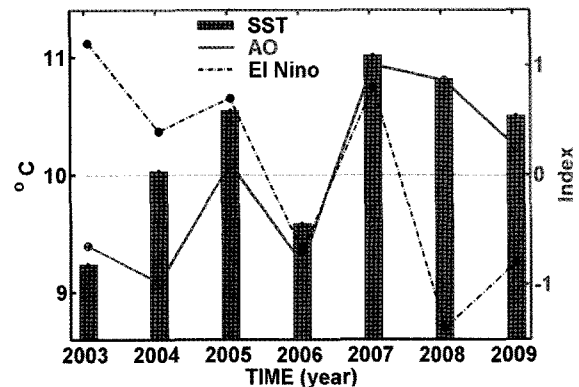


Fig. 13. Mean SST (bar), mean Arctic Oscillation index (line) and mean El Niño index (broken line) during winter (December, January and February) from 2003 to 2009.

값을 보인다. 동계의 북극진동이 음을 나타낸다는 것은 북극의 찬공기가 중위도로 남하하여 한파와 폭설현상이 나타남을 의미하며, 한반도 주변은 북극진동의 영향으로 시베리아 고기압이 강하게 확장하여 황해를 냉각시키며 이는 하계의 황해저층냉수를 넓게 분포하였을 가능성을 제시한다. 동계의 찬 기온에 의해 황해저층냉수는 저수온의 냉수를 더 형성하여 그 해 하계 북서저층냉수의 영향을 강하게 하는 주요인으로 작용함을 분석 결과 알게 되었다. 북극진동이 양이 되면 반대로 평균기온이 상승하고 한반도 주변해역의 표층수온을 상승시켜 황해저층냉수의 온도를 높일 수 있음이 예상된다.

## 결론 및 토의

수심이 얇은 대륙붕으로 이루어진 동중국해 북서해역은 해양-대기의 상호작용에 민감하고, 하계의 해수는 계절 및 연간변동을 보인다. 하계의 복잡한 여러 요인 중 저층에 위치하여 중요한 요소로 작용하는 황해저층냉수 혼합수의 영향을 고찰하기 위해 2003년부터 2009년까지 동중국해 북부 중앙 대륙붕해역에서 관측한 현장관측자료를 토대로 동중국해 북서해역에 영향을 미치는 저층냉수에 대해 분석한 결과 본 관측해역에 출현하는 수온 13.2 °C 이하의, 염분 32.6~33.7 psu와 밀도( $\sigma_t$ ) 24.7~25.5 범위의 해수를 북서저층냉수라 명명하였다.

제주도 남단인 33°N에 위치한 A 단면의 수온과 염분의 7년 평균자료에서 새로 정의하였던 북서저층냉수가 연간 변동이 있음을 확인하였고, 제주도 서편 30 m 이상의 수심에서 항상 존재함을 알게 되었다. 지형류 계산에 의하면 북서저층냉수는 약 2 cm/s 이하의 속도로 남하한다.

연구결과 동계 표층수온의 변화는 본 연구해역의 하계에 나타나는 북서저층냉수 출현과 세력의 확장에 밀접한 상관관계를 이루고 있음을 자료를 통해 밝혔다. 동계 표층수온의 변화는 기온과도 상관성이 높아 동계 기온에 의한 영향으로 동계 표층수온은 낮아져 대류에 의한 영향으로 황해 중앙골에 위치한 황해저층냉수의 저수온 냉수를 더욱 형성시킬 수 있음을 확인하였다. 동계 표층수온의 변화는 전지구적인 기상현상 중 하나인 북극진동과 잘 일치하여 밀접한 연관성이 있음도 알게 되었다. 동계의 북극진동이 음을 나타낼 때 찬 시베리아 고기압이 확장하여 동계 황동중국해를 냉각시켜 황해저층냉수를 더욱 차고 넓게 확장하여 그 해 하계 북서저층냉수의 영향을 강하게 하는 주요인으로 작용하였다. 북극진동이 양이 되면 동계 동중국해의 표층수온을 상승시켜 반대의 상황으로 바뀐다.

엘니뇨(El Niño)도 지구상의 기상이변을 일으키는 주요한 한 요인으로 기상뿐만 아니라 해양에도 물리, 생물, 지화학적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(McPhaden *et al.*, 2006). 이러한 엘니뇨는 중위도 기후에도 영향을 주는 것으로 알려져 있고, 차 등(1999)은 1953년부터 1996년까지의 지상관측자료 분석을 통해 엘니뇨해 한반도 동계의 기온이 평년에 비해 대체적으로 높게 나타난다고 하며, 강(1998)도 엘니뇨가 발생한 동계의 경우가 온난하다고 하였다. Kug *et al.*(2009)은 NINO 3, 4 온도 지수를 이용하여 동태평양과 중태평양에서 표층수온의 공간적인 분포에 따라 CT(cold tongue) 엘니뇨와 WP(warm pool) 엘니뇨로 구분하였고, 윤과 예(2009)는 EP(eastern Pacific)와 CP(central Pacific) 엘니뇨로

명명하였다. 두 경우 모두 엘니뇨가 발생한 동계에 우리나라 동계의 기온이 평년 이상의 분포를 보여 황해와 동중국해의 수온이 상승하는 효과를 보여 동계의 기온변동에 엘니뇨의 영향도 하나의 요소로 작용할 수 있음을 제시하였다. 이를 확인하기 위해 미국의 NOAA에서 제공하는 동계 엘니뇨 지수를 Fig. 13에 함께 나타내었다. 동계 표층수온이 최고 값을 나타내었던 2007년을 보면 북극진동 지수의 영향이 잘 반영되어 나타났고, 여기에 더해 엘니뇨의 영향으로 표층수온의 상승을 촉진시켰을 가능성을 제시한다. 2005년도 엘니뇨시기라 강(1998)과 차 등(1999)이 언급한 것처럼 황해의 수온을 상승시킨 결과로 추측할 수 있다. 하지만 표층수온이 최저를 나타내었던 2003년은 관측기간 중 강한 엘니뇨 시기였음을 고려해 볼 때, 모든 경우에 엘니뇨와 상관성이 있는 것은 아니었다.

본 연구에서 짧은 시기의 관측과 관측해역이 황해를 제외한 제주도 서남쪽 해역에 제한되고 해수물성과 동시에 관측한 직접해류자료가 없어 황해저층냉수의 생성과 거동에 관한 보다 심도있는 결과를 도출하지는 못했지만 황해의 경계역에 해당하는 본 연구해역에서 북서저층냉수의 거동에 관해서는 방향성을 제시하였다. 향후 황해저층냉수의 거동특성을 보다 심도 깊게 연구하기 위해서는 관측영역의 확대와 자료의 축적이 필수적이다. 황해저층냉수역은 항상 수온이 낮고 풍부한 영양염을 함유하고 있어 냉수성 어족의 증가에도 영향을 미치므로 정확한 황해저층냉수 거동의 이해는 해양 생태계변동에 도움을 줄 수 있으리라 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국토해양부 출연사업(PM55580, PM55670, PM55980, PM55640)의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구의 조사에 협조해주신 이어도호와 해양 2000호의 승조원분들에게 감사 드립니다. 아울러 세세한 부분까지 조언해주신 심사위원들과 담당 편집위원이신 장경일교수님께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- 강인식, 1998. 엘니뇨와 한반도 기후변동의 관련성. 한국기상학회지, 34(3): 390-396.
- 김 구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변 해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, 26(3): 262-277.
- 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998. 1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성. 한국해양학회지(바다), 3(3): 165-169.
- 양성기, 조규대, 홍철훈, 1984. 1981년 하계 황해저층냉수의 이상저수온현상. 한국해양학회지, 19(2): 125-132.
- 윤진희, 이상욱, 2009. 서로 다른 두 유형의 엘니뇨와 동아시아 인근 해역 표층 온도 상관성 연구. *Ocean and Polar Research*, 31(1): 51-61.
- 윤용훈, 박용향, 봉중현, 1991. 황해저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명. 한국지구과학회지, 12(1): 25-37.
- 윤홍주, 변혜경, 2005. NOAA/AVHRR 자료를 이용한 한반도 주변해역의 해수면온도 및 수온전선의 시·공간 변화. 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, 2028-2041.

- 임은순, 안중배, 2004. 한반도 겨울철 기온 변동과 대규모 순환지수와의 상관성 분석. *한국기상학회지*, **40**(4): 441-452.
- 조양기, 김 구, 1994. 여름철 남해 저온수의 특성과 기원. *한국해양학회지*, **29**(4): 414-421.
- 차은정, 전종갑, 정효상, 1999. 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **35**(1): 98-117.
- 해양수산부, 2006. 산사댐 건설로 인한 남해(동중국해)의 해양환경 영향연구. 한국해양연구원 연구보고서, 547p.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, H. Yu and G.A. Cannon, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 57-76.
- Chen, C., R.C. Beardsley, R. Limeburner, H. Yu and K. Kim, 1994. Comparison of winter and summer hydrographic observation in the Yellow and East China Sea and adjacent Kuroshio during 1986. *Cont. Shelf Res.*, **14**: 909-929.
- Chu P., S.K. Wells, S.D. Daeger, C. Szczechowski and M. Carron, 1997. Temporal and spatial scales of the Yellow Sea thermal variability. *J. Geo. Res.*, **102**(C3): 5655-5667.
- Gong, D.Y. S.W. Wang and J.H. Zhu, 2001. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **28**(10): 2073-2076.
- Gong, D.Y. and C.H. Ho, 2002. The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia. *Theor. Appl. Climatol.*, **72**: 1-9.
- Gong, G.C., J. Chang, K.P. Chiang, T.M. Hsiung, C.C. Hung, S.W. Duan and L.A. Codispoti, 2006. Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam? *Geophys. Res. Lett.*, **33**: L07610, doi:10.1029/2006GL025800.
- Guan, B.X., 1963. A preliminary study of the temperature variations and the characteristics of the circulation of the cold water mass of the Yellow Sea. *Oceano. Limn. Sinica*, **5**: 255-284.
- Hur, H.B., G.A. Jacobs and W.J. Teague, 1999. Monthly variations of water masses in the Yellow and East China Seas, November 6, 1998. *J. Oceanogr.*, **55**: 171-184.
- Isobe, A. and R.C. Beardsley, 2007. Atmosphere and marginal-sea interaction leading to an interannual variation in cold-air outbreak activity over the Japan Sea. *J. Climate*, **20**: 5707-5714.
- Kug, J.S., F.F. Jin and S.I. An, 2009. Two types of El Nino Events: Cold Tongue El Nino and Warm Pool El Nino. *J. Climate*, **22**: 1499-1515.
- Lie, H.J., 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **19**(2): 187-194.
- Lie, H.J., C.H. Cho, J.H. Lee and S. Lee, 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, **108**(C3): 3077, doi:10.1029/2001JC001194.
- McPhaden, M.J., Zebiak S.E. and Glantz M.H., 2006. ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, **314**: 1740-1745.
- Moon, J.H., Pang I.C. and Yoon J.H., 2009. Response of the Changjiang diluted water around Jeju Island to external forcings: A modeling study of 2002 and 2006. *Cont. Shelf Res.*, **29**: 1549-1564.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Tech.*, 190-367.
- Park, Y.H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **20**(1): 12-21.
- Park, Y.H., 1986a. A simple theoretical model for the upwind flow in the Southern Yellow Sea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **21**(4): 203-210.
- Park, Y.H., 1986b. Water characteristics and movements of the Yellow Sew Warm Current in summer. *Prog. Oceanog.*, **17**: 243-254.
- Shen, H., C. Zhang, C. Xiao, and J. Zhu, 1998. Change of the discharge and sediment flux to estuary in Changjiang River. *Health of the Yellow Sea* edited by G. H. Hong, J. Zhang, and B. K. Park, 129-148.
- Stone, R., 2008. Three Gorges Dam: Into the Unknown. *Science*, **321**: 628-632.
- Thompson, D.W. and Wallace J.M., 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(9): 1297-1300.
- Uda, M., 1934. Hydrographical researches on the normal monthly conditions in the Japan Sea, the Yellow Sea and the Okhotsk Sea. *J. Imp. Fish. Exp. Sta.* **5**: 191-236.
- Wu, J., J. Huang, X. Han, X. Xie and X. Gao, 2003. Three-Gorges Dam-Experiment in Habitat Fragmentation? *Science*, **300**: 1239-1240.
- Wu, L., Q. Zhang and Z. Jiang, 2006. Three Gorges Dam affects regional precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, **33**: L13806, doi:10.1029/2006GL026780.
- Zhang, S.W., Q.Y. Wang, Y. Lu, H. Cui and Y.L. Yuan, 2008. Observation of the seasonal evolution of the Yellow Sea Cold Water Mass in 1996-1998. *Cont. Shelf Res.*, **28**: 442-457.

2010년 7월 14일 원고접수

2011년 2월 7일 수정본 채택

담당편집위원: 장경일