

2006년 9월 황해저층냉수괴의 분포 특성

최 영 찬[†]
(제주대학교)

The Characteristics of Yellow Sea Bottom Cold Water in September, 2006

Young-Chan CHOI[†]
(Jeju National University)

Abstract

In order to understand the characteristics of the distribution and the nutrients of the Yellow Sea Bottom Cold Water during summer to fall, temperature, salinity and nutrients have been investigated in the fifteen stations in the Yellow Sea. In september, the Changjiang diluted water with more than 20℃ distributed in the surface and the Yellow Sea Bottom Cold Water distributed in the layer below 30m depth with less than 10℃. Specially, water mass with less than 5℃ in the layer below 50m depth expanded southward down to the north latitude of 35° with expanding more to the coasts of China than to the coasts of Korea. The salinity of the cold water mass with 8℃ in the deep layer of more than 50m depth was relatively high as 33.5 psu and expanded northward forming fronts of temperature and salinity. The concentration of total inorganic nitrogen was two times higher in the cold water mass than in the surface water, which means that resolution and consumption were low due to cold temperature in the bottom layer. In conclusion, the cold water expanded southward down to the north latitude of 35° by September and had high concentration of nutrients.

Key words : Yellow Sea Bottom Cold Water, Nutrients, Changjiang diluted water, Yellow Sea Warm Current

I. 서론

황해는 넓은 분지형의 대륙붕 해역으로 면적은 404,000km²이며, 총용량 약 120,000km³, 최대수심은 105m, 평균수심 44m로서 등심선은 해안선을 따라 평행하며, 수심 약 80m 내외의 골이 황해 중앙부의 남북방향으로 길게 뻗어있다(Korea-China Joint Research Group, 2002). 황해는 수심

이 비교적 얇기 때문에 쿠로시오나 대마난류와 같은 강하고 지속적인 해류는 존재하지 않고 계절적으로 풍속, 해표면의 복사열, 강우량 등에 의한 단기적인 해수순환의 변동형태를 보인다. 하계에는 강한 복사열과 많은 담수유입으로 강한 밀도 약층이 형성되어 복잡한 양상을 나타낸다. 계절에 따른 황해 난류수의 유입여부에 대하여 Pang and Hyun(1998)은 겨울철에 황해중앙부를

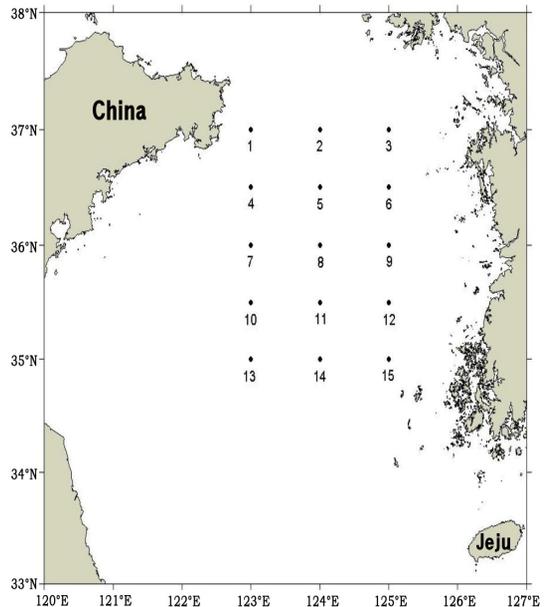
[†] Corresponding author : 064-754-3433, ycchoi@jejunu.ac.kr

따라 난류수가 북상하며, 반대로 여름철은 한국의 서해를 따라 고염 고염분의 난류수가 황해로 유입되고 있음을 밝힌 바 있다. 황해표층은 대체적으로 반시계방향의 흐름을 나타내지만, 중앙해역은 유속이 5cm/sec미만으로 매우 약하고 뚜렷한 운동성을 나타내지 않는다(Valencia, 1987; Howarth, 1988; Choi and Suh, 1991). 또한 Uda(1934) 등에 의하면 겨울에 차고 강한 북서계절풍의 영향으로 황해는 상·하층수의 혼합으로 전해역의 해수가 거의 균질한 냉수의 특성을 띠게 된다. 그러나 이러한 냉수괴는 봄부터 여름에 이르는 동안 기온의 영향으로 표층수온이 상승하여 저층수와의 강한 성층이 일어나게 되며 따라서 중층이심에서 겨울에 형성된 냉수가 연중 변질되지 않고 저층에 그대로 남게 되고 남하하게 된다. 이러한 수괴를 황해저층냉수괴라 한다(Uda, 1934; 大塚, 1964; 近藤, 1969; Nakato, 1977). 황해저층냉수는 수온 10~12°C 이하, 염분이 32~33.0psu인 것으로 알려졌다(近藤, 1969; 深瀬, 1975; Nakato, 1977) 황해 난류와 보류관계에 있고 그 변화는 시공간적으로 다양하게 분포하고 있다. 영양염류는 여러 해양환경에 서식하는 식물플랑크톤의 성장을 제한하여 식물플랑크톤의 조성 및 생산력의 시간적, 공간적 분포에 영향을 주는 중요한 화학적 환경요인으로(Howarth, 1988; Mackey et al. 1995; Taylor et al(1995), 김 등(1999), 김 등(1999), 김 등(2005), 김 등(2005)) 해양의 생태계를 파악하는데 있어 중요한 정보를 제공한다.

위의 연구들은 대부분 겨울에 이루어져 있으며, 양 등(1984)은 하계 황해저층냉수괴의 이상저온현상에서 평년보다 2~3°C 이상 낮은 저온현상을 보였다고 보고를 하고 있으며 분포범위는 제주도 서방 50마일까지 확장하였다고 하고 있다. 이에 본 연구는 이러한 황해저층냉수괴가 2006년 9월에 조사정점에서 어느 수심에서 얼마만큼의 남하하는지에 대한 분포양상을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 자료는 2006년 9월 11일~22일 사이에 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 현장관측된 자료이다. 조사대상 해역과 관측점은 [Fig. 1]과 같다. 황해저층냉수괴의 남하범위를 조사하기 위하여 황해 전반에 걸쳐 동경 123°~125°, 북위 35°~37°사이 15개의 정점에서 표층, 20m, 30m, 50m, 60m의 수심별 수온과 염분을 측정하였다([Fig.1]).



[Fig. 1] Location of sampling stations in the study area

수온과 염분은 현장에서 CTD(SBE 19)를 이용하여 측정하였으며, pH는 pH meter(YSI 63)를 이용하여 측정하였다. TIN은 총무기질소 농도로서 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소의 합으로 나타내었다. 암모니아 질소(NH₄⁺-N), 아질산 질소(NO₂⁻-N), 질산 질소(NO₃⁻-N)는 각각 Phenol hypochlorite method, Sulfanilamide-N.E.D method 그리고 cadmium reduction method에 준하여 측정하였다(해양수산부[2005]).

인산 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 Ascorbic acid method의 방법으로 측정하였다. 용존산소는 윙클러아지드변법으로 선상에서 측정하였고, Chlorophyll a 는 형광광도계에서 획득한 형광값을 아세톤으로 직접 추출하여 분석한 값(Parsons et al. 1984)으로 보정하였고 입자성 부유물질(Suspended Particulate Matter)은 여과 전·후의 여과지의 무게차를 산출하는 상압가열건조법으로 정량하였다. 총유기탄소(TOC)는 시료를 현장에서 인산(0.1mL of 50% H_3PO_4 /20mL of sample)처리 후 detergent(10%)와 염산(10% HCl)처리된 125mL HDPE sample bottle에 넣어 -20°C 이하에서 냉동 보관 후 TOC 분석은 HTCO(high-temperature catalytic oxidation)/NDIR(non-dispersive infrared gas analysis)의 방법(Sugimura and Suzuki[1988])으로 TOC-5000A(SHIMADZU)의 auto sampler를 이용하여 측정하였으며, carrier gas는 초순도 O_2 gas(CO , CO_2 , Hydrocarbon 1ppm 이하)를 사용하였고, Milli-Q reagent water를 UV로 산화시킨 후 분석용 blank로 사용하였다. Standard로서는 potassium hydrogen phthalate를 UV로 산화시킨 Milli-Q reagent water에 녹여 400mgC/L를 만든 후 회석하여 사용하였다. 분석은 시료에 2N HCL 처리 후 탈기시켜 무기탄소를 제거한 뒤 측정하는 NPOC(non-purgeable organic carbon)의 방법으로 측정하였으며, flow rate 150mL/min, sparging flow rate 120mL/min, sparging time 5min의 조건으로 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수온의 수평분포

[Fig. 2]는 표층, 20m, 30m, 50m, 60m의 수온 수평분포도이다. 표층수온은 아직까지 기온의 영향으로 북위 36° 이북에서는 21°C , $35^\circ 30'$ 의 정점까지와 한국쪽과 중국쪽에서는 35° 까지는 23°C 의 수온분포로 남쪽의 고온수가 황해 중앙부

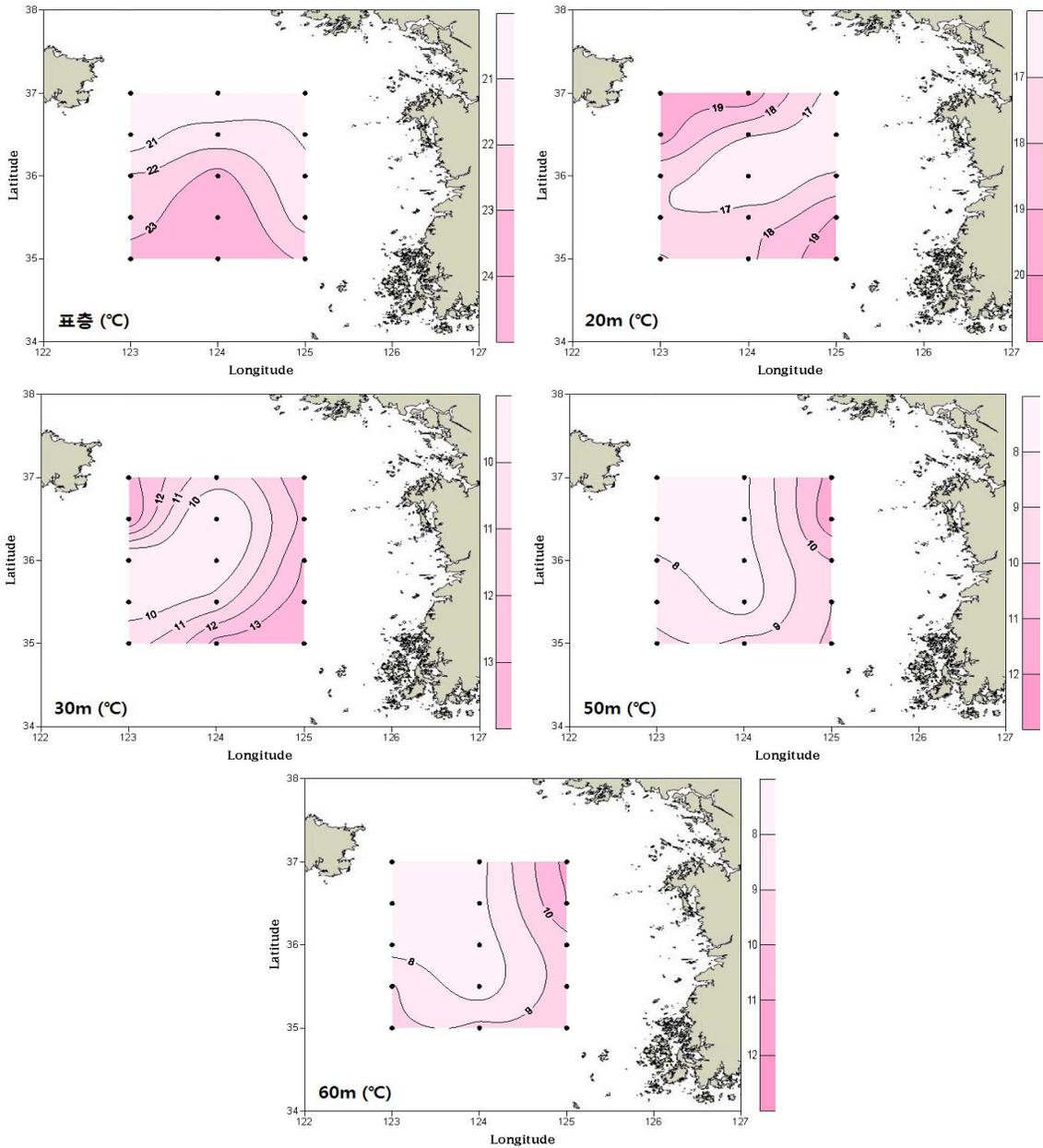
를 향해 위쪽으로 영향을 미치고 있었다. 수심 20m에서는 정점2와 3에서 정점 5, 7, 10, 11, 9를 잇는 해역까지 표층수온보다 $4\sim 6^\circ\text{C}$ 낮은 17°C 이하의 수괴가 형성되고 있으며 이 해역 위쪽과 남쪽에서는 18°C 이상을 보이고 있다. 30m수심에서는 20m수심과 10m정도밖에 차이가 나지 않지만 수온은 동경 123° 에서 124° 까지와 북위 35° 에서 37° 까지의 중앙부에서 10°C 이하의 저층냉수괴가 분포하고 있으며 이 해역 남동쪽에서는 13°C 의 수괴가 형성되고 있다. 50m수심에서는 한국연안 쪽인 동경 125° 선상 수심에서는 10°C 의 균일한 수괴가 조사 정점에서 중앙부와 중국 연안쪽까지는 8°C 이하의 냉수괴가 형성되고 있다.

이와 같은 수괴형성은 60m까지 같은 양상을 나타내고 있다. 이상과 같은 냉수괴형성은 양 등(1984)이 보고한 10°C 이하의 냉수괴가 수년을 통하여 잔존하고 최저수온(8°C)이 3월에 나타나고 있다고 보고하였지만 본 연구에서 9월에도 8°C 이하의 수온이 존재하고 있음을 보여주고 있다. 또한 20m이심에서 8월에 9°C 의 수온을 보고하였는데 9월에 실시된 본 연구는 17°C 를 보이고 있어 연도별 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

또한 1969년 8월에 50m 수심에서 황해 중앙부에서 서쪽과 남쪽으로 10°C 의 수온을 보이고, 1978년 같은 해역 같은 수심에서 15°C 를 보고하고 있지만 본 연구에서의 9월에는 10°C 이하를 나타내고 있어 연도별 황해저층냉수괴의 남하범위나 세력이 큰 차이를 보이고 있다. 위와 같은 현상은 본 연구 전년도인 2005년 황해 기상자료와 비교해 보면 이 때 겨울 기온이 -2.4°C 로서 평균 기온보다 3.4°C 낮은 결과로 인하여 황해 북부해역에서 수온이 낮은 표층수가 하강하여 이듬해에 황해저층냉수괴 세력이 커지면서 남하하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 양 등(1984), 윤 등(1991)의 결과와도 잘 일치하고 있다.

김 등[2000]에 의하면 북위 35° 의 황해해역까지 6월에 40m 이심층에서 8°C 이하의 저온수가 출현한다고 하였는데 본 연구에서 9월에도 8°C 이

최영찬



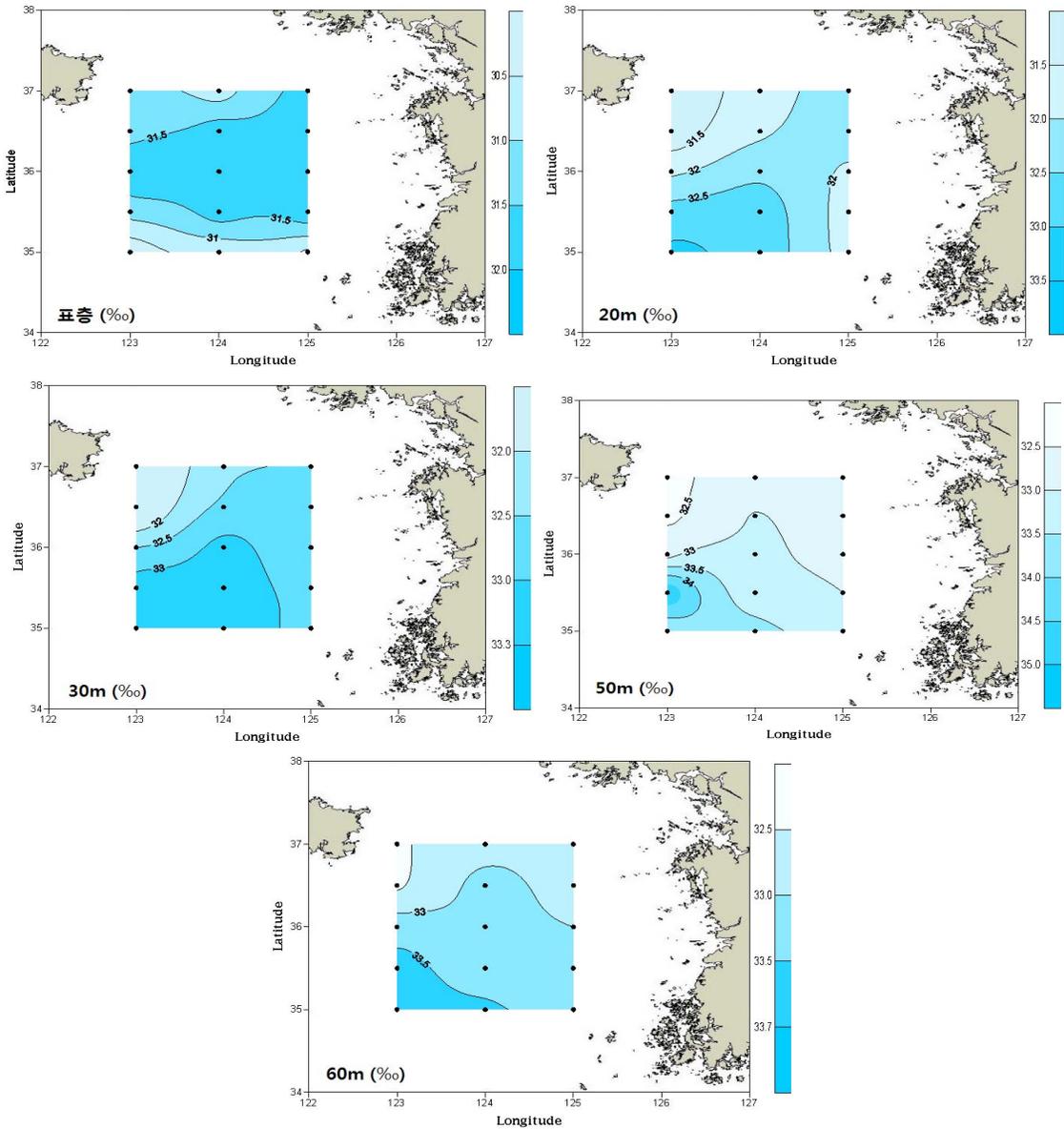
[Fig. 2] The horizontal distribution of Temperature(°C) of each depth in September 2006

하의 저층냉수괴가 있음을 보여준 것은 황해 저층수괴는 6월부터 그 세력이 남하하고 있음을 증명하는 것이라 보아진다.

2. 염분의 수평분포

[Fig. 3]은 연구해역의 수심별 염분분포도이다. 표층수의 염분분포는 31.5psu 이상으로 조사정점에서 한국 연안쪽에서 황해 중앙부와 중국쪽으로 뺨친 형태를 보이고 있다. 중국 연안 남부해역에서 이보다 낮은 30.5psu인 수괴가 형성되고 있다.

2006년 9월 황해저층냉수괴의 분포 특성



[Fig. 3] The horizontal distribution of salinity(psu) of each depth in September 2006

20m수심에서는 황해 서북부해역에서 32psu 이하로 상대적으로 낮게 분포하고 표층에서 황해 서남부해역의 낮게 보인 것과 대조적으로 이 수심해역에서 32.5psu, 한국연안 20m수심 해역에서는 32psu로 남쪽에서 북상하는 상대적 고염분의 해수는 황해 서남부 해역을 중심으로 영향을 미

치고 있다.

30m 수심층에서도 20m 수심층에서 보인 영향권까지 33psu, 50m 수심층에서는 33.5psu인 고염분수가 북상하는 것을 잘 보여주고 있다. 이러한 영향은 수온에서는 북쪽에서 남하하여 냉수괴와 만나는 8°C 이하의 수괴는 북위 35°선까지이며 남

쪽에서 북상하는 상대적 고염분수는 35°까지로 나타나고 있어 북위 35°, 동경 124° 해역에서 30m에서 50m 수심까지 전선역이 형성되고 있음을 보여주고 있다.

Park et al.(1998)에 의하면 1996년 7월에 동경 124° 30' 와 북위 36°의 40m 이심층에서 10.1~11.8°C, 11월에는 50m 이심층에서 8°C 이하의 냉수괴가 존재하고 있다고 보고하고 있다. 이처럼 7월보다도 11월에 수온이 더 낮은 냉수괴가 더 남하하고 있음을 보여주고 있는데 본 연구인 9월에 10°C 이하의 냉수괴조사는 이 해역보다 더 남하하고 있음을 나타내고 있다. 이 시기의 염분은 Park et al.(1998)에 의한 보고에서 7월에 40m 이심에서 33.5psu, 11월에 32.7psu를 보고하고 있었고 본 연구인 9월에는 33.5psu로 9월까지 남쪽의 해수가 북쪽으로 북상하는 양상을 보여주고 있다.

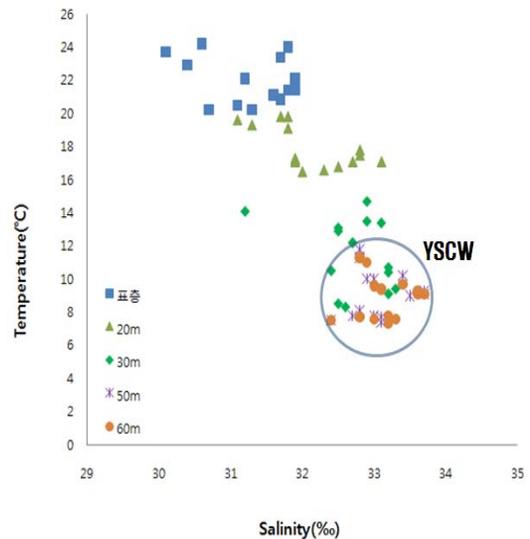
3. 수심별 수괴특성

가. 수온, 염분

Lie et al.[1984]은 황해내 수괴를 황해난류수(YSWC, Yellow Sea Warm Current), 황해냉수(YSCW, Yellow Sea Cold Water), 양자강 희석수(CCW, Coastal Current Water) 등으로 구분하고 있다. 또한 Lee[1990], Choi et al.(1995) 등은 황해는 지리적으로 계절풍 지역에 위치하여 강한 조석의 영향을 받아 수문학적으로 매우 복잡한 양상을 보인다고 하였다. Nakato(1977)는 동계에는 북서계절풍에 의한 강한 대기의 냉각효과로 수중전체가 혼합되어 황해냉각수는 형성되지 않으며, 양자강 희석수의 세력도 약해 황해난류수가 황해로 유입된다(과학기술처, 1995). 하계에는 강한 태양 복사열로 인해 계절적 수온약층이 형성되어 수직적인 혼합이 제한되며 저층에 황해냉수괴가 쉽게 소멸되지 않는다. 또한 강수량 증가로 육상기원 물질의 유입이 증가하고 연안수와 양자강 희석수의 세력이 커져 황해 난류수의 유

입이 차단된다(Park,1986; Kim et al. 1991; Gong et al.,1996).

본 연구에서 9월의 황해내 수괴의 분포특성은 수온·염분 상관도(T-S diagram)인 [Fig. 4]를 보면 표층수는 수온이 20°C 이상을 보이면서 염분은 32psu 이하를 나타내고 있다. 표층에서 20~30m 수심층까지는 수온변화폭이 11°C에서 18°C까지로 해역별 수온차가 크며 염분은 32~33psu 범위 내의 수괴를 형성하고 있다. 30m 이심층에서 수온은 10°C 이하, 염분은 33psu 전후로 일정한 수괴



[Fig. 4] The relationship between temperature and salinity

가 형성되고 있음을 잘 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 고온저염수인 표층수는 9월까지 양자강 희석수(CCW)가 황해로 유입되고 있음을 입증해 주고 있으며 저온고염인 황해냉수(YSCW)는 수심 30m 이심에서 저층까지 형성되어 남하하고 있음을 보여주고 있다.

나. 영양염류 등(화학적 성분)

수온이 20°C 이상을 보이는 표층수와 10°C 이하를 보이는 황해냉수괴에서 각종 성분들의 농도 분포는 <Table 1>과 같다. <Table 1>에서 보면

<Table 1> Range to chemical parameter of Surface water(>20°C) and Yellow Sea Cold Bottom Water (<10°C) in September 2006

	pH	Salinity (psu)	TIN (mg/L)	DO (mg/L)	TOC (mg/L)	Chl.a (µg/L)
20°C 이상 수괴	8.0~8.2	30.4~31.8	0.153~0.300	6.8~8.0	0.70~2.56	0.22~1.72
10°C 이하 냉수괴	7.7~8.1	32.4~33.7	0.237~0.797	6.1~11.1	0.77~2.66	-

표층수에서 pH는 8.0~8.2, 염분은 30.4~31.8psu, TIN은 0.153~0.300mg/L, DO는 6.8~8.0mg/L, TOC는 0.70~2.56mg/L인 반면 황해 냉수(10°C 이하 수괴)에서는 각각 7.7~8.1, 32.4~33.7psu, 0.237~0.797mg/L, 6.1~11.1mg/L, 0.77~2.66mg/L로 염분은 냉수대에서 표층수보다 2psu 이상, TIN은 표층수보다 2배 이상으로 냉수대에서 높은 농도를 나타내는 특성을 보이고 있었다. 이와 같은 결과는 동계에 황해 북부에서 차가운 해수가 침강하면서 봄, 여름을 거쳐 9월까지 저층수를 형성하여 남하하고 있으며 영양염을 소모할 수 있는 환경(수온 낮음)이 낮은 관개로 영양염 농도가 높게 유지되고 있음을 보여주고 있다.

김 등(2000)에 의하면 1996년 4월에 영양염 농도 중 질산염이나 인산염이 동경 125°, 북위 34°와 36° 저층수에서 타 해역보다 높은 농도를 보인다고 하였으며 이 해역수심에서는 수온이 7°C로 가장 낮은 냉수를 보인 것과 본 연구에서도 9월에 수온이 가장 낮은 7°C에서 영양염 중 총무기질소와 총유기탄소 농도가 높게 나타나고 있어 냉수괴의 고영양성분 농도가 높다는 것을 잘 나타내주고 있다.

IV. 요약

하계와 추계사이 황해저층냉수괴의 분포양상과 영양염 특성을 파악하기 위하여 2006년 9월에 황해 내 15개 정점에서 수온, 염분, 영양염류 등을 조사하였다. 9월에 연구해역의 표층수는 20°C 이상을 나타내는 양자강 희석수가 분포하고, 30m이

심층에서는 10°C 이하의 냉수괴가 분포하였다. 특히 50m이심층에서는 8°C 이하의 수괴가 북위 35°까지 남하하고 있었으며 조사정점에서 우리나라 연안쪽보다는 중국연안쪽에 확장되고 있음을 나타내고 있었다. 8°C의 냉수괴가 분포하는 50m이심층에서의 염분은 33.5psu로 상대적으로 높게 분포하며 북쪽으로 밀려 올라가고 있는 형상으로 수온, 염분 전선역이 형성되고 있음을 보여주고 있다. 영양염류 중 총무기질소 농도분포는 냉수괴에서 표층수보다 2배 이상 높은 농도를 보여 저층에서 저온현상에 의한 난분해와 소모가 낮음을 보여주고 있다. 결과적으로 9월까지 저층냉수괴는 북위 35°까지 남하하고 있으며 냉수괴 내 높은 영양염 농도를 함유하고 있었다.

참고 문헌

- 김민석·김종화·김삼곤(1999). 한국 제주도와 중국 청도의 향로상에 부유하는 해양폐기물의 분포에 관한 연구, 수산해양교육연구 11(2), 203~215.
- 김종규·김정현(1999). 우리나라 서해안 수산 및 수산교육기관의 변천과정에 관한 사적 고찰, 수산해양교육연구 17(3), 281~292.
- 김종규·김정현(2005). 해양 및 수산 자원 관리를 위한 해양경계정보 구축 방안에 관한 연구, 수산해양교육연구 11(1), 24~42.
- 김종화·김민석·김용복(2005). 하계 동해의 해양 폐기물 분포와 조성에 관한 연구, 수산해양교육연구 11(1), 58~66.
- 과학기술처(1995). 쿠로시오 해역과 동중국해의 해양순환-동중국해 동부지역 중심-(제1차년도)”, 한국해양연구소 BSPN 00275-812-1, 462.
- 김경홍·현정호·이재학·신경순·배세진·유신

- 재·정창수(2000). 수괴특성에 따른 춘계 황해의 영양염 분포 특성, 한국해양학회지 5(3), 224~232.
- 양성기·조규대·홍철훈(1984). 1981년 하계 황해 저층냉수의 이상저수온 현상, 한국해양학회지 19(2), 125~132.
- 윤용훈·박용향·봉종현(1991). 황해 저층냉수괴의 특성과 남하에 대한 재조명, 한국지구과학회지 12(1), 25~37.
- 해양수산부(2005). 한국해양환경공정시험법, 해양수산부.
- Choi, J.K., Noh, J.H. and Hong, K.S.(1995). The early autumn distribution of chlorophyll-a and primary productivity in the Yellow Sea 1992, *The Yellow Sea*, 1, 68~80.
- Choi. B.H. and K.S. Suh.(1991). Computation of meteorologically-induced circulation on the East China Sea using a three-dimensional numerical model, *Yellow Sea Res.*, 4, 15~20.
- Howarth, R.W.(1988). Nutrient limitation of net production in marine ecosystem, *Ann. Rev. Ecol.*, 19, 89~110.
- Kim, K., Rho, H.K. and Lee, S.H.(1991). Water masses and circulation around cheju-Do in summer, *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 26, 262~277.
- Lee, K.W.(1990). Chemical characteristics of the Yellow Sea and needs for international cooperation, *Yellow Sea Research*, 3, 21~26.
- Lie, H.J.(1984). A Note on Water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae), *J. Oceanogra. soc. Korea*, Vol. 19(2), 187~194.
- Lie, H.J. and Cho, C.H.(1997). Surface Current field in the eastern East China Sea, *J. Kor. Soc. oceanogr.*, 32, 1~7.
- Mackey, D.J., Parslow, J., Higgins, H.W., Griffiths, F.B. and Osul-livanm, J.E.(1995). Plankton productivity and biomass in the western equatorial Pacific: Biological and physical control, *Deep sea Research II*, 42, 499~533.
- Nakato, T.(1977). Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. Faculty of Marine Science Technology, Tokai University*, special Number 199~367.
- Park, Y.C., Lee, H.J., Son, J.W. and Son, S.K.(1998). Chemical envi-ronment of ocean dumping site in the Yellow Sea, *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 3, 203~213.
- Park, Y.H.(1986). Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer, *Prog. Oceanog.*, 17, 243~254.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M.(1984). A manual of Chemical and Biological methods for seawater analysis, Pergamon Press, Oxford, 173.
- Suginura, Y. and Suzuki, Y.(1988). A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample, *Mar. Chem.*, 24, 105~131.
- Taylor, D., Nixon, S., Granger, S. and Buckley, B.(1995). Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons, *Mar. Ecol. Progr. Seri.*, 127, 235~244.
- Uda, M.(1934). Hydrographical researches on the normal monthly conditions in the Japan Sea, theellow Sea, and the Okhotsk Sea, *Jour. Imp. Fish. Exp. Stn.* 5, 191~236.(in Japanese).
- 深瀬茂(1975). 東シナ海陸棚上の底層水, *海洋科學*, 19~26.
- 近藤正人(1969). 黃海冷水とまき網漁場たつて, *水産海洋研究會報*, 25, 165~175.
- 大塚一志(1964). 熱收から見た 1963年 冬季の東シナ海洋異常底水溫について, *研究時報*, 16(6), 14~21.

-
- 논문접수일 : 2011년 05월 31일
 - 심사완료일 : 1차 - 2011년 06월 30일
2차 - 2011년 07월 16일
 - 게재확정일 : 2011년 07월 31일