

PD13) 동중국해 북부해역 수온, 염분의 분포 변동 특성

장이현, 김상우, 고우진, 야마다 게이코, 서영상
국립수산과학원 해양연구팀

1. 서 론

동중국해는 중국대륙 연안을 따라 흐르는 저온, 저염, 고영양염의 양자강 희석수 (Changjiang Diluted Water), 대륙붕단을 따라 흐르는 고온, 고염, 빈영양의 쿠로시오 난류수 (Kuroshio Warm Water) 그리고 대만해협에서 유입되는 고온, 고염, 빈영양의 대만 난류수인 쿠로시오 분기수 (Kuroshio Branch Water) 등이 만나는 복잡한 해황 특성을 지닌 해역이다 (Chikuni, 1985; Zhang and Weng, 1996). 또한 동중국해는 고등어, 꽁치 및 오징어와 같은 어종들의 산란장 및 월동장으로서 그 역할과 중요성이 매우 큰 해역이다.

최근 산사댐이 완공되면서 대륙에서 유입되는 양자강수의 변동이 인접한 동중국해의 해황과 생태계에 미칠 영향에 대해 많은 관심이 모아지고 있다. 동중국해를 대상으로한 기존의 연구로는 수온, 염분 등의 해양조사관측 자료를 이용한 해양전선과 수괴에 관한 계절적인 분포양상 (Shin, 1994; Shin *et al.*, 2001; Son *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 1998), 해류기원과 분기현상 (Pang and Oh, 1995), 한국 제주 연안의 저염분수 출현과 관련된 연구 (Kim and Rho, 1994; Kim and Rho, 2000) 및 수치모델을 이용한 바람과 조석에 의한 해수 순환 및 부유물의 이동 등 (Choi and Suh, 1992; Jeon and An, 1997; Lee *et al.*, 2000) 많은 연구가 있다. 플랑크톤의 종조성과 군집 구조, 수괴와 동물플랑크톤의 분포, 식물플랑크톤의 생태특성과 군집구조 등 생물분야에 관한 연구도 많이 이루어졌다 (Oh, 1999; Roh, 2000). 이는 단기간 혹은 특정시기동안의 수온, 염분 등을 조사하여 수행한 결과로서 동중국해에서의 대표적인 계절별 해황특성을 파악하기에는 미흡하였다. 동중국해처럼 외양수와 대륙이나 해양에서 유출되는 담수의 영향을 받는 해역에서 계절별 해황특성을 파악하기 위해서는 장기간의 해양관측자료 분석이 필요하며 수온변화와 더불어 염분의 변동추이를 파악하는 것이 중요하리라 생각된다.

본 연구에서는 장기간의 해양관측자료를 이용하여 동중국해 북부해역에서 계절별 수온, 염분의 변동 특성을 파악하고자하였다.

2. 재료 및 실험 방법

본 연구에서는 동중국해 수온, 염분의 계절변동을 파악하기 위해 국립수산과학원에서 7년 동안 (2000~2006) 계절별(2, 5, 8, 11월)로 조사한 3개 Line (315, 316, 317 (124° 00' ~127° 30' E, 31° 30' ~32° 30' N)), 32개 정점에서의 관측 수온, 염분자료를 사용하였다. 표준수심(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125 m)에서 관측된 수온, 염분자료를 정점별, 수심별로 평균하여 사용하였다. 또한 계절별 수괴의 경년변화를 보기 위하여 해역별 수온, 염분의 계절별 변

동추이를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표층 수온 분포

연중 최저 표층 수온분포를 나타내는 동계 수온은 9~17°C로서 대륙연안수역에서는 10°C 내외로 가장 낮은 값을 보였으며 쿠로시오의 영향이 우세한 동중국해 동부해역인 대마난류수역에서는 17°C 내외의 수온분포를 나타내었다. 125°E (정점 20) 이서의 중국대륙 연안수역에서는 Nakaoo(1977)가 언급한 황해내부와 중국대륙연안수의 영향을 받은 저온의 황해냉수가 혀모양(tongue shape)으로 남동방향으로 뻗어있는 형상으로 동쪽의 대마난류수계의 고온수와 경계를 이루어 해역의 중앙부에서는 두 해역의 수계가 서로 만나 13°C 등온선을 중심으로 0.05°C/km의 강한 수온전선대가 남동-북서 방향으로 형성되었다. Son, et al.(2003)은 이 해역에서 Γ 형태의 수온전선이 형성된다고 하였으며, 분석을 통해 동계에 이를 확인할 수 있었다. 춘계에는 동계에 비해 수온이 급격히 상승하는데 그 상승폭은 127°E 이동해역에서는 동계에 비해 약 3°C, 124° 30' 이서해역에서 약 7°C의 상승하여, 수온상승에는 공간적인 차이가 있었다. 하계에는 표층수온이 27~28°C로 연중 가장 높은 값을 나타내며, 전 해역에서 균일한 수온분포를 보였다. 추계 표층수온은 20~23°C의 동고서저형 수평분포로 나타나고 등온선의 남북방향으로 분포하는 양상을 나타내었고, 수온 하강은 대륙연안수역이 7°C내외로 대마난류수역의 5°C 보다 하강폭이 크게 나타났다. 계절별 표층수온은 동계에는 10°C로 낮은 대륙연안수와 17°C로 높은 대마난류수계의 영향이 뚜렷하게 구분된다. 그러나 춘계와 추계에는 두 수계의 구분이 불분명하였으며, 특히 태양복사량이 가장 많은 8월에는 전 해역에서 약 29°C로 나타나 표면수온 분포로 해역의 영향 수계를 파악하기는 매우 어렵다. 표면수온의 연교차는 서부해역에서 20°C로 높게 나타났고, 동부해역에서는 약 12°C로 상대적으로 안정된 변동을 보였는데 이는 동부해역에서는 열 공급원인 대마난류수의 영향을 지속적으로 받기 때문으로 생각된다.

3.2. 연직 수온분포

동계에는 혼합에 의해 9~16°C로 표층부터 저층까지 균일한 분포를 나타내었다. 춘계에는 혼합층이 얇아지면서 20~30 m 층에서 15°C 등온선을 중심으로 수온약층이 형성되었으며, 저층에는 수온 13°C 이하의 냉수괴가 분포하였다. 이 냉수괴는 동계에는 표면냉각으로 전수심에서 균일한 수온 분포를 보이다가 춘계에 해표면이 서서히 가열되면서 따뜻한 연안수와 외양수 사이에 고립되어 설상형(舌狀形)으로 하계에까지 잔존하였다. 하계에는 10~30 m 수층의 25°C 등온선을 중심으로 강한 수온약층이 형성되었다. 추계에는 서부해역(정점 19, 125.3°E 이서 중국대륙 연안역)의 전 수심과 대마난류수역의 50 m 층까지는 수온구조가 균일하게 나타났다. 또한 대마난류수역인 정점 15 (126.5°E) 이동의 수심 75~100m 층 사이에 약 20°C 등온선을 중심으로한 수온약층이 존재하고 있다.

3.3. 표층 염분분포

동계 표층염분은 32.6~34.4 psu로 연중 최고치를 나타내며, 대마난류수의 영향이 우세한 동부해역에서는 34.4 psu 이상의 고염 분포를 보였고, 중국 대륙 연안역인 서부해역은 하천

수 유입에 의해 형성된 저염 수계인 중국 대륙연안수의 영향이 우세하여 32.6 psu 이하의 저염 분포를 나타내었다. 춘계에는 31.0~33.6 psu로 동계에 비해 0.8~1.6 psu 내외 낮게 나타났다. 대마난류수의 영향이 지배적인 동부해역(정점 17, 126°E 이동)에서는 33.0 psu 이상의 분포를 나타내었으며, 저염의 대륙연안수의 영향을 받는 서부해역(125°E 이서)에서 32.0 psu 이하의 저염분 분포를 나타내어 제주 남서해역으로부터 33 psu 이하의 저염수가 제주 주변해역으로 점차 확장하는 형태를 나타내고 있다. Kim and Rho (2000)는 5월에 제주 주변해역에 나타나는 저염분수(33.0 psu 이하)의 주축은 제주도 남서쪽이며, 이는 동계부터 확장한 대륙연안수의 가장자리 부분으로 언급한바 있으나, 본 연구에서 춘계에 북서방향으로 확장 진행하는 저염수의 존재는 확인하였으나 그 근원이 대륙연안수인지는 확인할 수 없었다. 하계에는 표층염분 분포는 매우 조밀하고 복잡한 양상을 나타내며, 표층염분은 28.0~32.4 psu로 연중 가장 낮게 나타났다. 해역별로는 126.5°E(정점 15)를 기준으로 양자강 희석수 영향이 큰 중국 대륙쪽 해역은 30.0 psu 이하의 값을 나타내었고, 126.5°E 이동의 동부해역은 저염의 양자강 희석수와 고염의 난류수계가 혼합되어 30.0~32.0 psu로 나타났다. 추계에는 32.6~34.0 psu의 범위를 나타내었으며, 동고서저형 수평분포를 보였다. 서부해역에서는 33.0 psu 이하 설상형 저염 분포가 남동쪽으로 관입되는 형태로 나타났으며, 동부해역에서는 고온의 대마난류수의 영향으로 34.0 psu 보다 높게 나타났고, 두 해역의 중앙부에서는 동계의 염분전선과 이어지는 남북방향의 수평 염분전선이 형성되고 있다.

3.4. 연직 염분분포

동계에는 표층에서 저층까지 균일한 염분 분포를 보였고, 동부해역(정점 13 이동 외해역)에서는 전층에서 34.4 psu 이상의 고염의 분포를, 서부해역(정점 21 이서, 연안역)에서는 33.0 psu 이하의 저염의 분포를 나타내었다. 춘계에는 서부해역(정점 21 이서, 연안역) 표층에서는 32.0 psu 이하의 염분 값을 보였다. 제주 주변해역은 12월에서 4월까지의 표저층 해황이 균질한 동계의 해황 분포를 나타내며, 5월에는 춘계의 해황이 시작되는 시점임을 감안할 때 (Kim and Rho, 1997), 이 시기부터 동중국해 북부해역 표층은 연안수의 영향으로 저염화되는 되는 것으로 짐작된다. 하계에는 표층에서는 30.0 psu 이하의 낮은 값을 보였고, 동부해역(정점 14 이동, 외해역) 수심 약 75 m 이심에서는 34.0 psu 이상의 높은 염분 값을 보였으며, 표면에서 30m 층까지 매우 강한 염분약층이 형성되었다. 추계에는 표면에서 수심 50 m 까지는 연직적으로 균일한 염분 분포를 보이고, 수심 75 m의 저층에서는 약 34.4 psu 등염선을 중심으로 약한 염분약층이 존재하고 있다.

3.5. 수괴 특성 분석

해역별 수괴의 계절변동은 뚜렷하였으며, 계절변동은 수온 변화 이외에도 염분 변화가 중앙부 및 서부해역에서 변동에 큰 요인으로 작용하였다. 동부해역에서는 염분 32.5~34.5 psu 이고, 수온 16.5~28.0 °C 범위로 염분보다는 주로 수온의 계절변화에 의한 수괴의 변동이 지배적이다. 계절별로 수온은 춘계와 하계 사이에 7°C로 가장 크고, 염분은 하계와 추계 사이에 약 1.5 psu 차로 나타났 다른 시기에 비해 크게 나타났다. 서부해역은 염분은 28.5~32.5 psu 이고, 수온은 9~27°C 범위로 하계에 27°C, 28.5 psu의 고온, 저염, 그 외 시기는 다른 두 해역에 비해 1.5°C, 1.5 psu 낮은 저온, 저염을 나타내었다. 중앙부 해역의 염분은 28.5

~34.3 psu 이고, 수온은 15~27°C로 수온보다는 염분의 계절 변동 값이 크게 나타났다. 즉 염분은 8월에 서부해역과 유사한 28.5 psu로서 중국대륙 연안수의 특징이 뚜렷하고 동계 수온은 대마난류수와 유사한 동부와 서부 해역의 중간적인 특징을 나타내었다.

4. 요약

본 연구에서는 장기간의 현장관측 수온, 염분자료를 분석하여 동중국해 북부해역에서 계절별 수온, 염분의 변동 특성을 조사하였다.

표층의 경우 춘계 수온상승에는 공간적인 차이가 있다. 또한 서부해역(125°E 이서)에서는 32 psu 이하의 저염 분포가 나타나고 제주 남서해역에서 33psu 이하의 저염수가 춘계부터 제주 주변해역으로 확장한다. 하계 표층염분은 28.0~32.4 psu로 연중 최저값을 보이며, 전해역 표층 염분이 33psu 이하로 저염의 양자강 희석수가 하계에 동중국해 북부해역 표층 전체에 영향을 미치고 있다. 추계의 표층수온과 염분은 동고서저형의 수평분포를 나타낸다. 수온 하강은 서부해역인 대륙 연안수역이 동부의 대마난류수역에 비해 크고, 서부해역에서 33psu 이하의 설상형 저염분포가 이시기에 남동쪽으로 관입되는 형태로 나타나 동계의 남북방향의 염분전선과 이어지게 된다.

연직해황의 경우 동계 수온과 염분은 활발한 대륙작용에 의해 전수층에서 균일한 분포를 나타내며, 대륙연안수역에서는 저온, 저염(12°C, 33psu 이하)의 분포를, 대마난류수역에서는 고온, 고염(16°C, 34.4psu 이상)분포의 지역적인 특성으로 구별된다. 춘계에는 수온약층이 형성되며, 저층에는 동계에 형성되어 대륙연안수와 외양수 사이에 고립된 13°C 이하의 냉수괴가 분포한다. 염분은 표층 저염화가 시작된다. 하계에는 양자강 유출수의 영향으로 전해역 표층에서는 30psu 이하로 전해역에서 저염화 양상이 나타나며, 표층에서 30m 층까지 매우 강한 염분약층이 형성된다. 추계 수온 염분은 균일한 연직수온분포가 나타나며, 동부해역에서는 수심 75~100m 사이에서 수온, 염분약층이 형성된다. 동중국해의 수괴는 뚜렷한 계절변동을 보이며, 대마난류수역인 동부해역에서는 수괴 계절변동의 요인으로 계절 수온변동이 지배적이고, 수온변동은 춘계와 하계 사이에 가장 크다. 중앙부와 대륙연안역인 서부해역에서는 수괴 계절변동에 수온외에 염분 변화가 주요한 요인으로 작용하며, 염분은 하계와 추계 사이에 가장 변동이 크게 나타난다. 즉, 동중국해의 수괴변동에는 변동요인에 따른 공간적인 차이가 있으며, 수괴변화 특성으로 동중국해는 수온변화가 수괴변동에 직접요인이 되는 동부 대마난류수역과 염분변화가 수괴변동의 직접요인인 서부의 대륙연안수역으로 구분된다.

참 고 문 헌

- Chikuni, S. 1985. The fish resources of the northwest Pacific. FAO Fisheries Technical Paper 266, 6~7.
- Zhang Q. L. and X. C. Weng. 1996. Analysis of water masses in the south Yellow Sea in Spring. The Yellow Sea, 2(1), 74~82.
- Oh, H. J. 1999. Ecological characteristics of phytoplankton in the northern part of east

- China sea. Doctor degree thesis, Pusan National University. 192pp. (in Korean)
- Rho, J. H. 2000. A study on the phytoplankton distribution and primary production in the yellow sea and the east China sea. Doctor degree thesis, Inha National University, 130pp.
- Jeon, H. J and H. S. An. 1997. Numerical Simulation of the Circulation and Suspended Materials Movement in the Yellow Sea and the East China Sea by Tidal Residual and Wind -Driven Current. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 18(6), 529~539.
- Pang, I. G and I. S. Oh. 1995. Warm water circulation and its origin by sea level fluctuation and bottom topography. *Journal of Korean Fish. Society*, 28(5), 677~697. (in Korean)
- Kim S. H. and H. R. Rho. 2000. Oceanographic conditions in the neighboring seas of cheju island and the appearance of low salinity surface water in May 2000. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37(2), 148~158. (in Korean)
- Shin H. R. 1994. Analysis of seasonal distribution of water mass in the Korea Strait and the East China Sea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 15(2), 81~90. (in Korean)
- Shin, H. R. S. C. Hwang and C. H. Kwak. 2001. Seasonal distribution of oceanic conditions and water mass in the Korea Strait and the East China Sea: Correction of atmosphere cooling effect. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 22(1), 47~64. (in Korean)
- Son, Y. T, S. H. Lee, J. C. Lee, J. C. Kim. 2003. Water masses and frontal structures in winter in the Northern East China Sea. *The Sea, J. of the Korean Society of Oceanogr.*, 8(3), 327~339. (in Korean)
- Yang, Y. J., S. H. Kim and H. K. Rho. 1998. A study on the temperature fronts observed in the South-West Sea of Korea and the northern area of the East China Sea. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 31(5), 695~706. (in Korean)
- Nakao, T. 1977. Oceanic variability in the relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol. Tokai Univ., Spec. No.*, 199~367.
- Kim S.H. and H.K. Rho. 1997. Characteristics of hydrographic conditions of the Cheju Strait in winter. *Bull. Mar. Res. Inst. cheju Natl. Univ.*, 21. 65-73. (in Korean)