

소흑산도 주변해역의 계절별 난류수의 분포

오 경 희 · 방 의 찬 · 노 흥 길*

제주대학교 해양학과, *제주대학교 어업학과

Seasonal Variations of the Warm Waters around the Sohksan-do

Kyung-Hee Oh, Ig-Chan Pang and Hong-Kil Rho*

Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

**Department of Fisheries, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea*

Seasonal variations of water mass distributions in the south-eastern Yellow Sea are studied with hydrographic data in February, May, August and November observed by Cheju National University and Korean Ocean Research & Development Institutes (KORDI) in order to see if warm waters flow into the West Sea in summer. Warm waters in the north-western sea of Cheju Island seem to link with those in the West Sea in May and August, which suggests that northward flows exist in the West Sea. Warm waters distributes more clearly in May than in August, which seems to result from that effects of tidal mixing is small in May than in August. Current measurements show clearly that warm and saline waters go northward from the south. The period of warm waters flow northward along the west coast of Korea, it seems that from when the front has disappeared in the south-eastern Yellow Sea in spring to in late fall.

Key words : warm waters, inflow of warm waters into the west sea

서 론

여름철에는 황해 중앙부를 따라 황해저층냉수가 남하하기 때문에 여름철에 서해안으로 고온·고염수를 유입시킬수 있는 유일한 통로는 황해남부에서 제주 북서해역으로 이어지는 소흑산도 주변해역뿐이다. 그러나 이 해역에는 여러 해수가 분포하며 강한 조류에 의한 혼합의 영향으로 전선이 형성되는 등 고온·고염수의 서해유입을 설명하기에는 매우 복잡한 해황을 갖고 있다. 이런 복잡한 해황 외에도 황해로 유입되는 난류수는 황해냉수나 대마난류수, 쿠로시오 해류들과 같은 뚜렷한 특징들을 갖

고 있지 않기 때문에 많은 관측에도 불구하고 여름철 황해난류수의 서해유입은 부인되어 왔다 (Nakao, 1977; Lie, 1984, 1985; Kim et al., 1991). 그러나, 최근 행해진 관측과 분석들은 여름철 서해안을 따라 황해난류수의 유입이 있음을 보이고 있다 (Pang et al., 1992, 1998; Pang and Hyun, 1998). 이 논문에서는 여름철 난류수의 북상경로로 생각되는 해역에서 관측된 자료를 수집하여, 각 계절별 난류수의 북상을 알아보기 위해 관측년도는 다르지만 각 계절을 대표하는 2월과 5월, 8월, 11월의 해수분포를 살펴보았다. 분석해역은 황해남부해역과 제주도 북서해역을 잇는 소흑산도 주변해역이며 사용된 자료는 한국해양연구소에서 관측한 CTD 자료

(1986년 2월, 1983년 8월, 1984년 11월)와 1997년 5월 제주대학교에서 관측한 CTD자료 및 해류계자료이다. Fig. 1은 2월, 5월, 8월, 11월의 관측점을 나타낸 것이다. 5월달 관측점에서 동그라미로 표시된 곳은 해류계를 계류시켰던 지점이다.

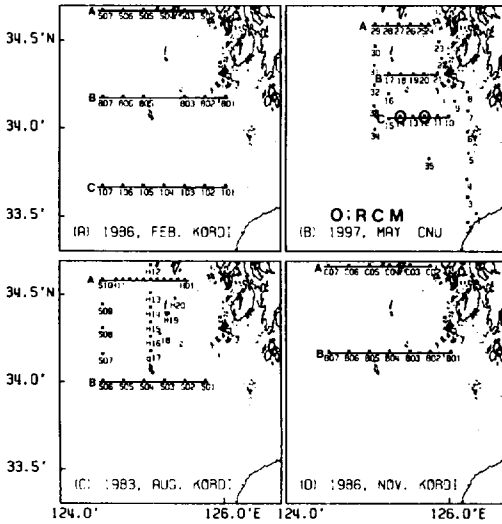


Fig. 1. Observation stations in (A) Feb. 1986, (B) May 1997, (C) Aug. 1983 and (D) Nov. 1984.

해수특성

Fig. 2는 2월, 5월, 8월, 11월에 연속관측된 CTD 자료를 수심 1m 간격으로 구분한 뒤 수온과 염분의 특성을 나타낸 T-S diagrams인데, 각 관측지점이 조금씩 다르기 때문에 해수특성범위가 약간 다를수 있다. T-S diagrams에 나타난 해수특성들은 연속적으로 무리지어 있기 때문에 구분하는 것이 쉽지 않으나 다음에 설명하는 분포해역의 차이로 구분해 볼 수 있다. 2월 관측에서 33.8%이상의 고염분수는 제주도 북서연안 해역에 분포하며, 5°C이하, 32%이하의 수괴는 관측해역의 북쪽끝에 분포하고, 그 중간 염분을 갖는 해수는 5-10°C사이의 특징을 가지며 두 수괴의 중간 해역에 분포하고 있다. 5월 관측에서 34%이상의 고염분수는 제주해협 부근에 분포하며, 8~12°C, 33.0~33.5%의 수괴는 황해 중앙부해

역에 분포하고, 이 두 수괴사이의 특징을 갖는 해수가 서해연안에 분포하고 있다. 이것은 관측해역의 해수가 겨울과 봄철에 제주해협, 고염분수와 황해 중앙부의 저염분수, 그리고 두 수괴사이의 특징을 갖는 서해연안수로 구분되어지고 있음을 보여준다.

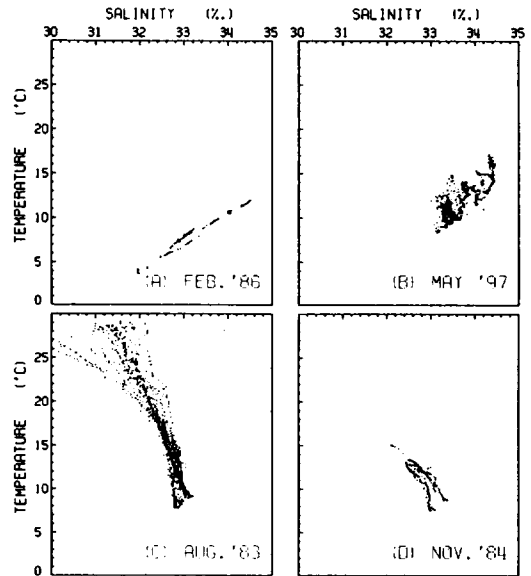


Fig. 2. T-S diagrams in (A) Feb. 1986, (B) May 1997, (C) Aug. 1983 and (D) Nov. 1984.

8월과 11월달의 해수특성분포는 8월달의 표층분포를 제외한다면 그다지 염분의 폭이 넓지 않으며, 수괴의 구분도 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 이것은 여름과 가을철에는 겨울과 봄철보다 수괴가 단순해졌다는 것을 의미한다. 8월달의 염분특성분포는 황해남부해역에 31%이하의 저염분수가 존재하고 있음을 보여주고 있는데 이것은 동중국해로부터 유입된 해수이다.

해수분포

관측해역의 계절별 해수분포를 보기 위해 계절에 따른 수평분포도와 수직단면분포도를 살펴보았다. Fig. 3은 5m, 30m, 50m의 수심별로 나타낸 2월달 수온과 염분의 수평분포도들이다. 2월달 해수분포

소흑산도 주변해역의 계절별 난류수의 분포

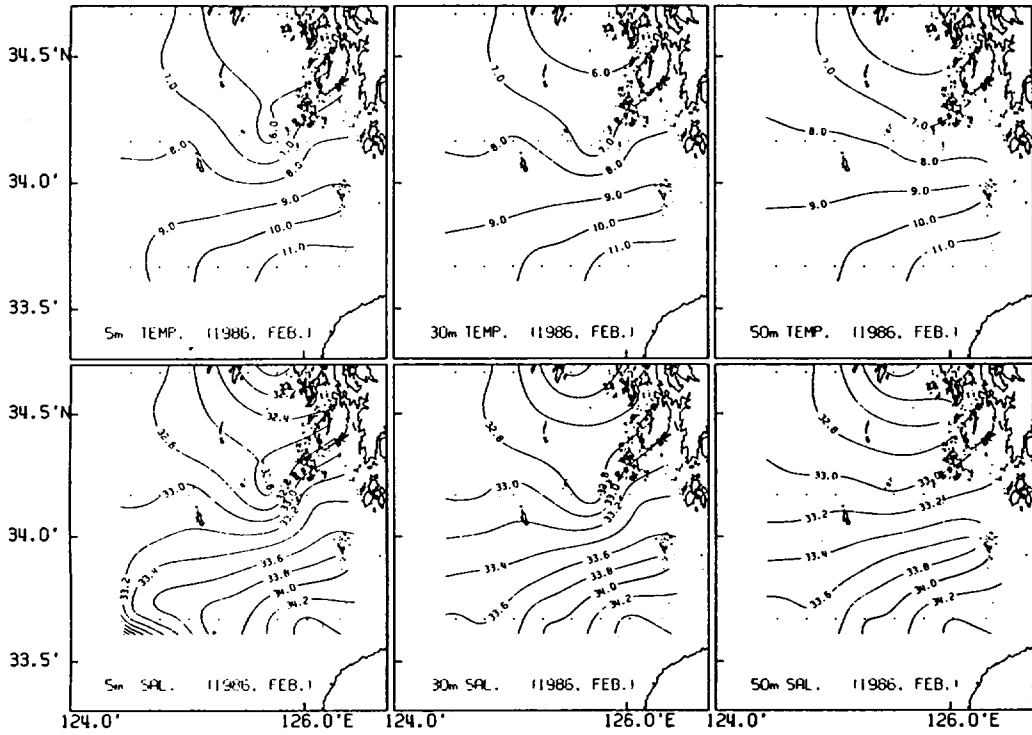


Fig. 3. Horizontal distributions of temperature and salinity on the depth of 5m, 30m and 50m in Feb. 1986.

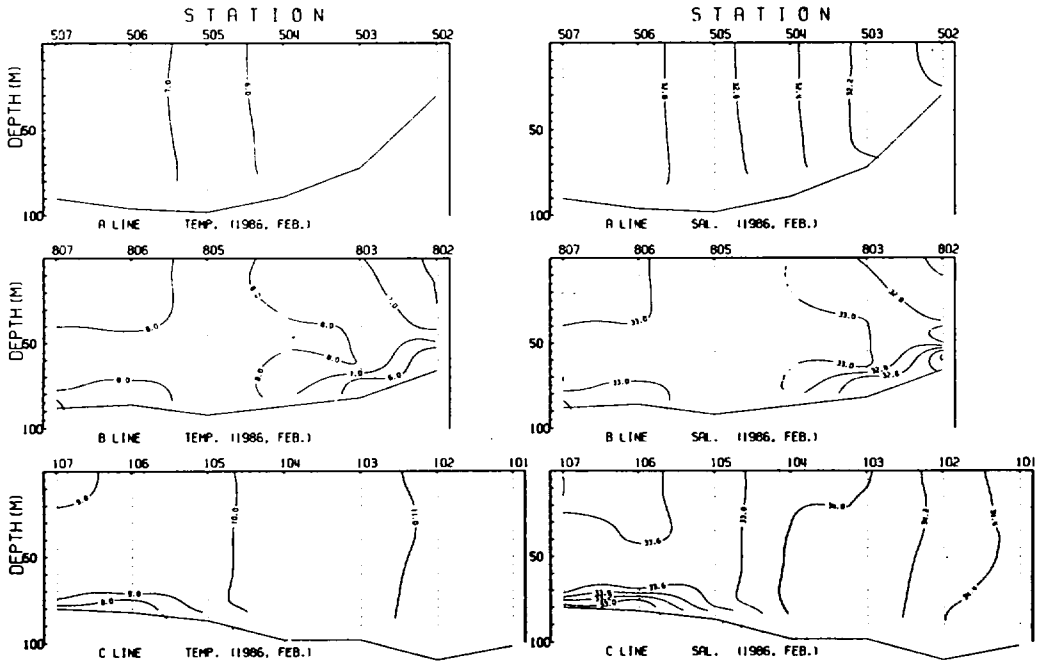


Fig. 4. Vertical distributions of temperature and salinity in Feb. 1986.

는 황해남부해역과 제주도 북서해역 사이에 전선이 형성되어 있음을 보여준다. Fig. 4는 2월달 관측선 중에서 A선과 B선, C선의 수직단면분포도이다. 2월달 수직단면분포도는 C선에서는 동쪽(제주연안)의 해수가 고염고온인 반면 A와 B선에서는 서쪽(황해 중앙부)의 해수가 고온고염이다. 이것은 서해연안에는 냉수가 분포하고 황해 중앙부에는 난류수가 분포하고 있으며 이 난류수가 제주도 서쪽해역의 난류수와 연결될 수 있음을 시사하고 있다. 수평분포도에서 특이한 것은 수온전선이 형성된 해역(B선과 C선사이)이 A선에 비해 수직혼합이 잘 이루어지지 않고 있는 것이다.

Fig. 5는 5m, 30m, 50m의 수심별로 나타낸 5월달 수온과 염분의 수평분포도들이다. 5월달 관측에서는 전 층에서 등온선과 등염분선이 서해연안을 따라 남북방향으로 형성되면서 약 12°C와 33.5‰ 이상의 고온·고염수가 제주도 북서해역에서 서해연안으로 연결되고 있다. 이것은 2월에 A와 B선에

서 서해연안에 저온저염의 해수가 분포하는 것과 반대의 분포이다. 지금까지 대부분의 관측에서 등온선은 제주도 북서해역과 서해안 사이에서 연결되었으나, 강한 염분전선이 제주해협과 평행하게 형성되면서 등염분선은 제주도 북서해역과 서해연안이 분리되었다. 이것이 고온·고염수의 서해 유입을 부정하게 하는 주된 이유였다. 이와 같이 등온선과 등염분선이 다르게 형성되는 이유는 여름철에 표층의 고온저염수와 저층의 저온고염수가 조석혼합으로 상하혼합을 하기 때문이다. 그런데 5월에는 아직 상하층의 해수가 여름과 같이 확연히 구분되지 않아 조석혼합의 효과가 잘 나타나지 않으며, 제주도 북서해역과 서해안의 등염분선이 연결된 것으로 나타난 것이다. Fig. 6은 5월달 관측선중 동서방향의 A, B, C선에 대한 수온과 염분의 수직분포도들이다. 5월달 관측에서도 수직혼합이 나타나고 있는데, 외해인 황해 중앙해역에서는 수평방향의 등온선이 나타나는 반면 연안쪽에서는 연직방향

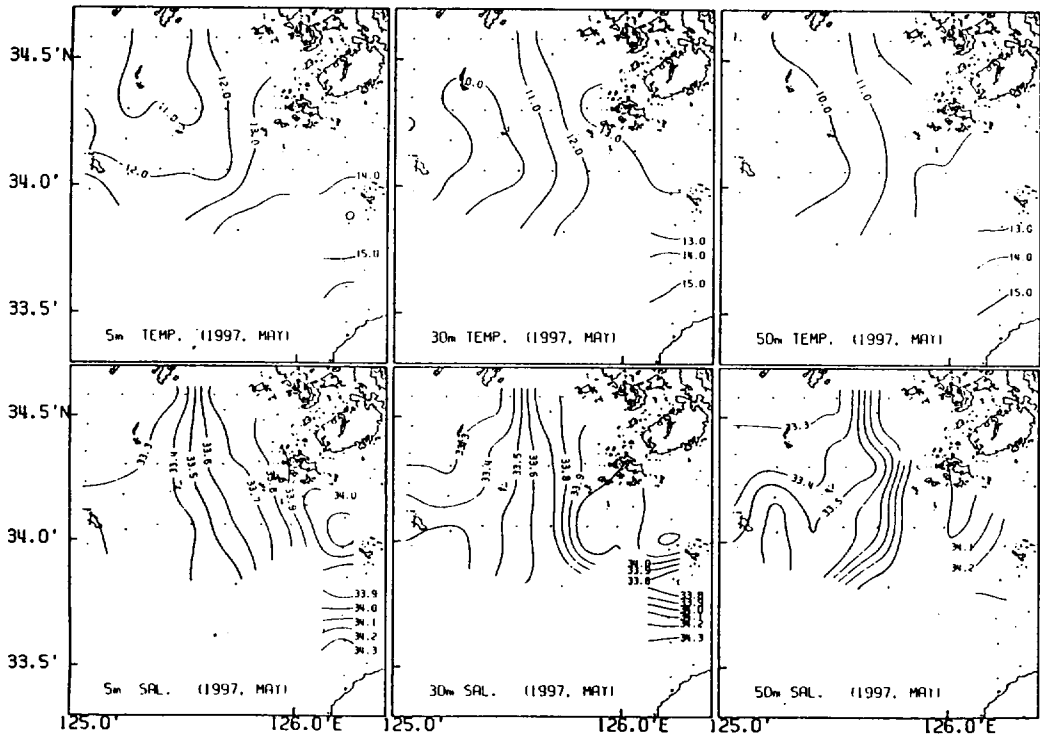


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature and salinity on the depth of 5m, 30m and 50m in May 1997.

소흑산도 주변해역의 계절별 난류수의 분포

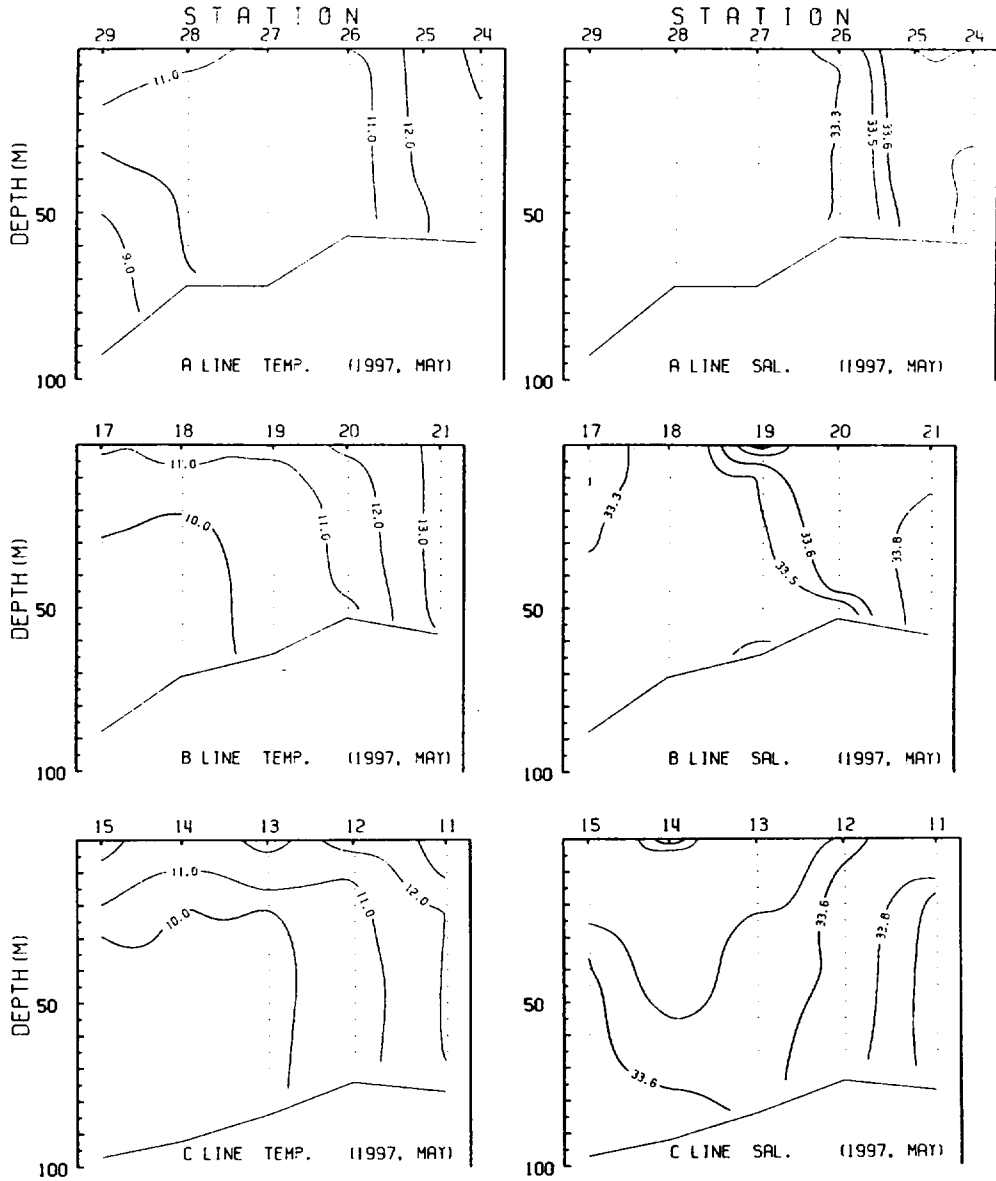


Fig. 6. Vertical distributions of temperature and salinity in May 1997.

의 등온등염분선이 나타나고 있다. 이것은 외해쪽의 해수에서는 약층이 형성된 반면, 연안쪽의 해수는 수직혼합을 하고 있음을 보여준다. 연안쪽에는 고온고염수가 분포하고, 황해 중앙부쪽에는 저온저염수가 분포하고 있다. 또한 10°C이하의 저온수가 C선으로 갈수록 동쪽으로 치우쳐 분포하여 저층냉

수가 제주해협으로 관입되고 있는 형태를 보여주고 있다. 그러나 이 형태는 염분으로는 보이지 않는다.

Fig. 7은 5m, 30m, 50m의 수심별로 나타낸 8월달 수온과 염분의 수평분포도들이다. 이 해수분포는 대부분의 8월 관측에서 제주해협을 따라 염분전선이 형성되어 있는 것과는 달리 8월달에도 표층과

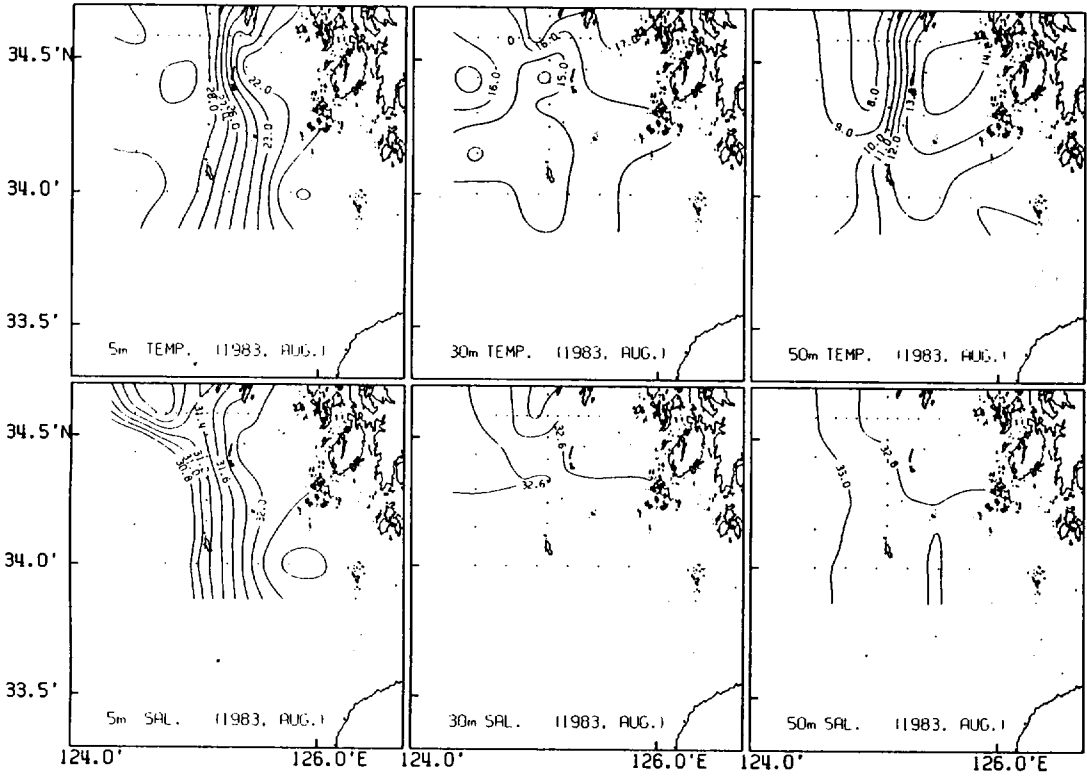


Fig. 7. Horizontal distributions of temperature and salinity on the depth of 5m, 30m and 50m in Aug. 1983.

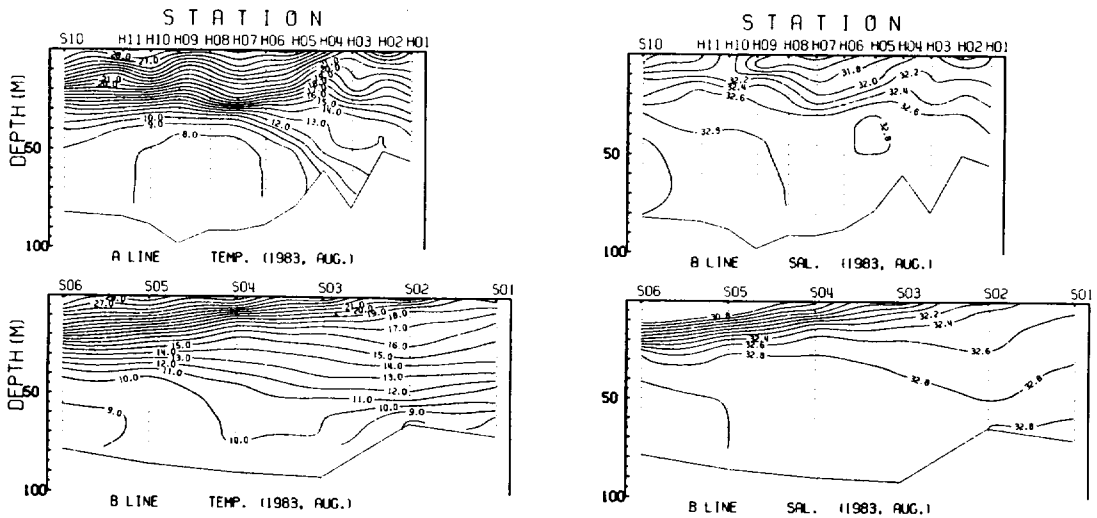


Fig. 8. Vertical distributions of temperature and salinity in Aug. 1983.

저층에서 서해연안을 따라 등온등염분선이 남북방향으로 이어지고 있음을 보여주고 있다. 여름철 해

수분포가 이런 특징을 보이는 것은 매우 드문 현상이다. 물론 관측이 제주해협부근까지 이루어지지

소흑산도 주변해역의 계절별 난류수의 분포

않아 여름철 강한 염분전선을 이루는 것으로 알려진 해역의 특징은 나타나지 않았을지 모른다. 그러나 황해남부해역에서 여름철에 등온등염분선이 서해안을 따라 연결된 것은 여름철에 고온·고염수의 서해유입 가능성을 암시해주고 있다. Fig. 8은 8월달 관측선 중 A선과 B선의 수직단면도를 나타낸 것이다. 중층에서는 강한 수온과 염분약층들이 형성되어 있으며 50m이하의 저층에서는 외해쪽으로는 9°C, 33‰의 저온수가, 연안쪽으로는 13°C, 32.8‰의 고온수가 분포하고 있다. 참고로 수평분포(Fig. 7)에서 표층과 저층의 해수분포와는 달리 수심 30m의 중층에서는 동서방향의 등염분선이 나타나고 있다. 그러나 이 분포로 제주도 북서해역의 고염분수가 서해연안과 연결이 되지 않는다고는 말할 수 없다. Fig. 8의 B선의 수직분포를 보면 연안쪽의 염분이 수직으로 거의 균일해진 것을 볼 수 있는데, 이것은 조석혼합에 의한 것으로 보이며, 이

경향으로 30m층 이상과 이하의 층에서 등염분선의 기울기가 바뀐다. 30m층은 그 중간의 층으로 수직 혼합의 효과가 나타나지 않는 층이다. 따라서 고염수가 남쪽해역에서 서해연안으로 연결된 것은 등염분선의 분포만으로는 판단할 수 없으며, 연안해수기둥 전체의 평균 염분값이 외해의 해수기둥 전체의 평균 염분값보다 높은 것으로 알 수 있다.

Fig. 9는 5m, 30m, 50m의 수심별로 나타낸 11월달 수온과 염분의 수평분포도들이다. 이 때는 겨울철과 여름철의 특징들이 혼합되어 나타나고 있다. 수온분포에서는 서해연안이 저온화되어 이미 겨울철 분포가 되어있는 반면 염분은 서해연안이 높아 아직 여름철의 분포가 지속되고 있다. 그러나 염분분포는 해역별 염분차와 관측점 부족으로 인해 연결이 되고 있지 않아 정확하다고 보기 힘들다. Fig. 10은 11월달 관측선 중 A선과 B선의 수직단면도를 나타낸 것이다. 아직은 표층과 저층이 완전히 혼합

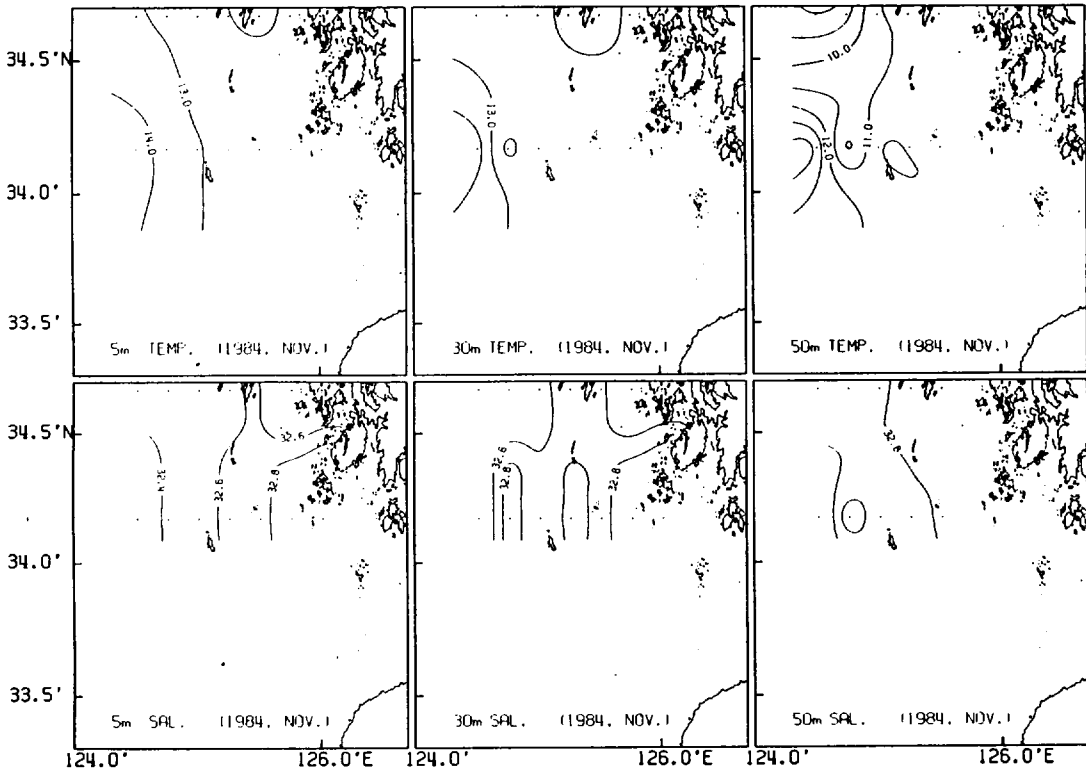


Fig. 9. Horizontal distributions of temperature and salinity on the depth of 5m, 30m and 50m in Nov. 1984.

되고 있지 않으며, 연안쪽보다 외해쪽에서 약층이 나타나고 있음을 알 수 있다.

해 류

Fig. 11은 5월 10일부터 15일까지 5일간에 걸쳐 정점 12 (20m) 와 14 (20m와 90m) 에서 관측된 해류관측 결과이다. 수평 수온 · 염분분포와 비교해보면 정점 12는 고온 · 고염수가 분포하는 해역이며 정점 14는 저층냉수가 분포하는 해역임을 알 수 있

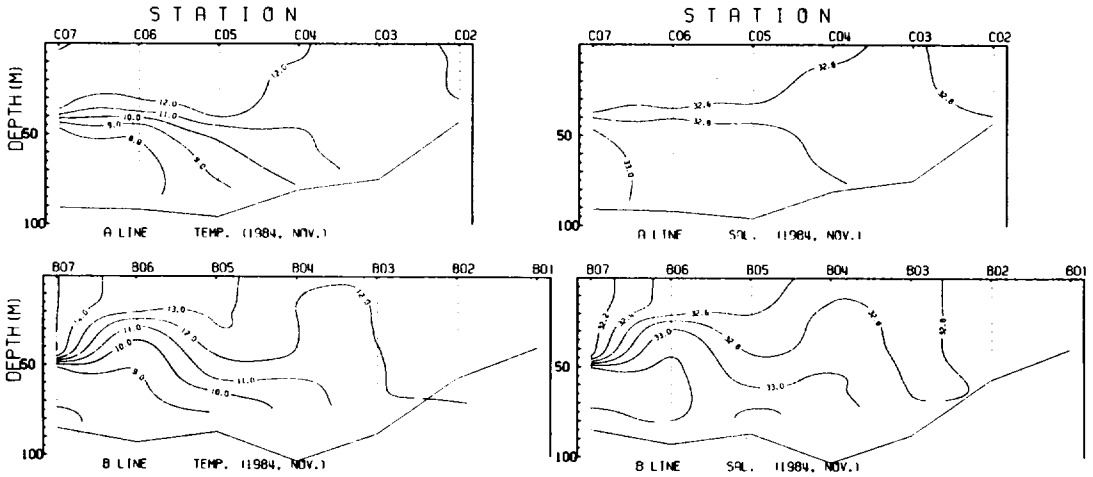


Fig. 10. Vertical distributions of temperature and salinity in Nov. 1984.

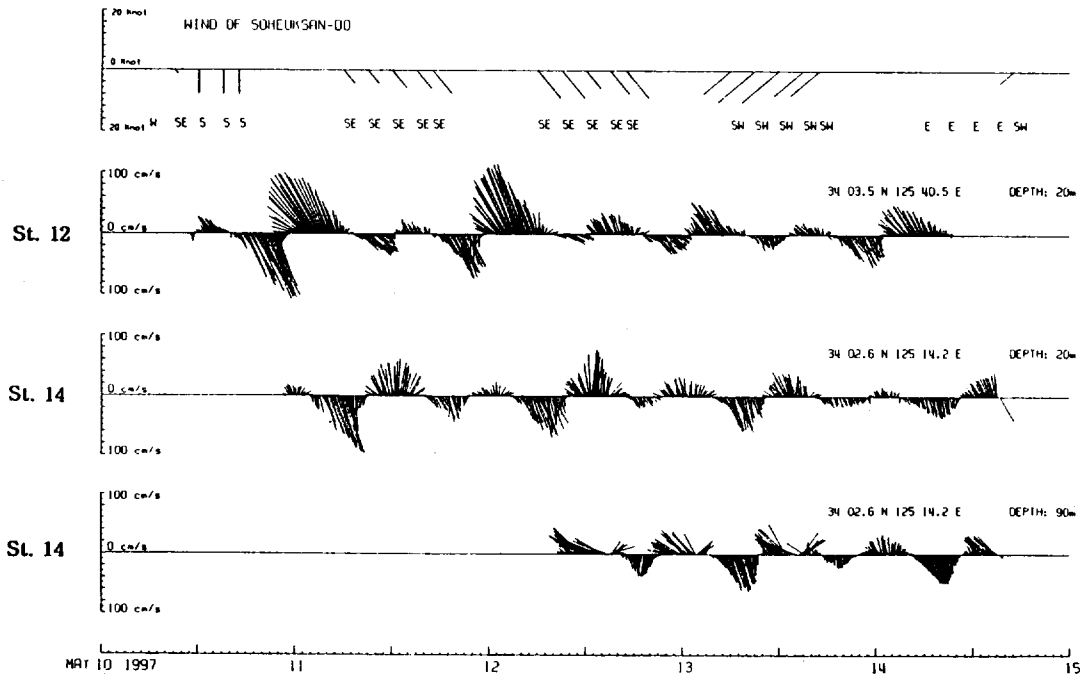


Fig. 11. Velocity vectors plotted at st. 12 (20m) and st. 14 (20m and 90m) in May 10-15.

소흑산도 주변해역의 계절별 난류수의 분포

다. 정점 12에서의 유속은 정점 14보다 빠르며 정점 14에서는 상층과 심층의 유속이 비슷하게 나타나 이 시기에 이 해역의 해류가 주로 순압류인 것을 보여준다. Fig. 12는 해류의 동서유향성분과 남북유향성분을 분리하여 나타낸 것이다. 대체적으로 동서성분보다는 남북성분이 우세한 것을 알 수 있다.

평균해류는 정점 12에서는 서향류 (-1.1cm/sec)가 약간 포함된 북향류 (2.5cm/sec) 인데 반해 정점 14의 20m층에서는 동향류 (3.5cm/sec)가 포함된 남향류 (-5.6cm/sec)이다. 이 결과는 고온·고염수가 서해안을 따라 황해로 유입되고 냉수가 황해 중앙부에서 남하하는 형태의 해수분포 결과를 뒷받침

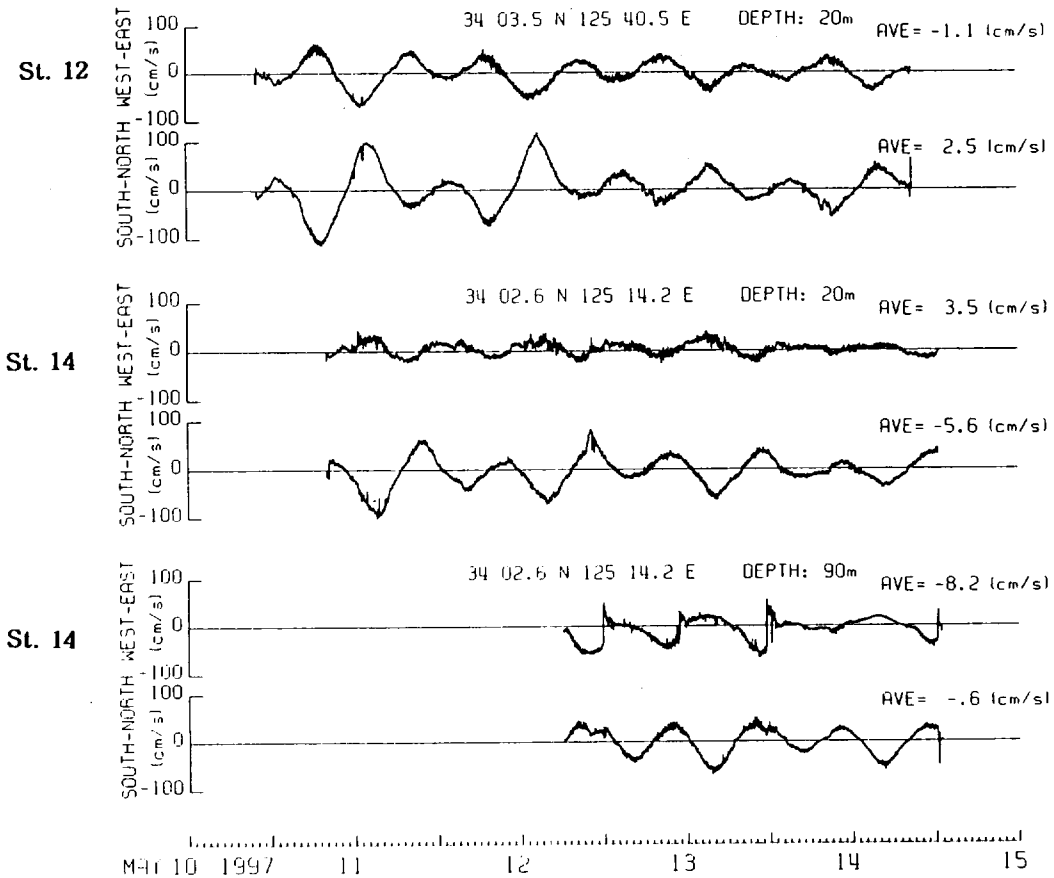


Fig. 12. West-east and south-north components of the currents and their means of st. 12 (20m) and st. 14 (20m and 90m) in May 10~15.

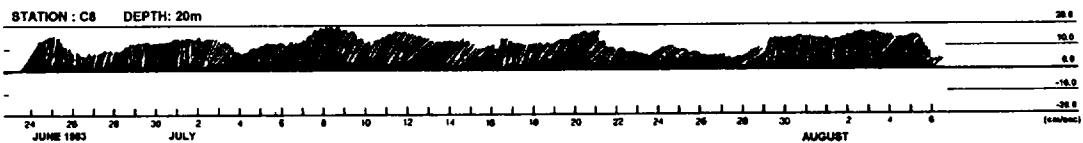


Fig. 13. Low-pass filtered velocity vectors plotted each hour from June to August 1983 at the place of 34° 35' N, 125° 17' E at 20m.

해주는 것으로서 5월에 서해연안을 따라 고온·고염수의 서해유입이 있음을 보여주고 있다. 이 관측 결과 외에도 1983년 한국해양연구소에서 관측한 ($125^{\circ} 15'$, $34^{\circ} 35'$) 해류자료 역시 여름철 난류수의 서해 유입을 뒷받침해주는 좋은 자료이다. Fig. 13은 1983년 6월 22일부터 8월 6일까지 수심 20m에서 15분 간격으로 관측한 해류자료에서 장주기성분을 제거한 유속과 유향을 나타낸 것이며 (KORDI, 1987), 10cm/s 내외의 북상류가 지속되는 것을 볼 수 있다. 1983년 8월에 관측된 수평분포도 (Fig. 7) 를 보면 남북방향으로의 등온등염분선이 나타나고 있다.

결 론

황해난류수에 대한 연구는 지금까지 꾸준히 이어지고 있는 과제중 하나이다. 그러나 겨울철 황해 중앙부를 통한 황해난류수의 북상에 대해서는 어느 정도 그 틀을 잡았다고 보이나 여름철 황해난류수의 서해 유입에 대해서는 아직도 논란의 여지가 많다. 이 논문에서는 황해난류수의 북상에 대해 알아보기 위해 황해남부해역과 제주도 북서해역을 잇는 소흑산도 주변해역에서의 난류수의 계절별 분포변화를 알아보았다.

분석결과 수심과 관측해역에 따라 등온등염분선이 조금씩 다른 모습을 보이지만 5월과 8월(봄과 여름)의 전반적 양상은 남쪽의 고온고염수가 서해연안으로 연결되는 해수분포를 보인다. 8월보다는 5월달 분포가 더 명확한 분포를 보이고 있는데 이는 여름철에 비해 봄철이 조석혼합에 의한 상·하층해수의 혼합 효과가 잘 나타나지 않기 때문으로 보인다. 특히 5월에는 황해 중앙부해역 방면에 저층냉수가 분포하고 있는데 10°C 이하의 저온수가 황해에서 남쪽으로 갈수록 동쪽으로 치우쳐 분포하여 저층냉수가 제주해협으로 관입될 수 있음을 보여준다.

8월에도 고온·고염수의 서해유입이 나타나고 있는데, 일반적으로 8월의 해수분포는 상층수와 하층수가 다른 구조를 가지며 강한 조석혼합의 효과로 인해 약층이 형성되는 것으로 알려져 있다. 이 자

료에서는 등염분선의 수평분포가 강한 약층이 나타나는 중층에서만 동서방향의 구조를 보이고 상·하층에서는 남북방향의 분포구조를 보여주고 있다. 그러나 고온·고염수의 서해유입은 서해연안의 해수를 전 수심에 걸친 평균으로 보면 외해보다 고온·고염이라는 것으로 알 수 있다. 해류관측결과도 이 해역에서 북상류가 있음을 말해주고 있어 결국 여름철에 난류수는 서해안을 따라 북상하고 있으며, 북상시기는 겨울철 황해남부해역에서 형성되는 전선이 소멸되는 봄철부터라고 생각된다.

요 약

여름철 난류수의 서해유입을 알아보기 위해 황해남부해역과 제주도 북서해역을 잇는 소흑산도 주변해역에서 난류수의 계절별 분포변화를 알아보았다. 자료는 한국해양연구소에서 관측한 자료(1986년 2월, 1983년 8월, 1984년 11월)와 제주대학교에서 관측한 자료(1997년 5월)를 사용하였다. 분석결과, 서해연안에 냉수가 분포하는 겨울철 형태는 봄부터 바뀌어 봄철과 여름철에는 서해연안에 난류수가 분포하며 제주도 북서해역의 고온·고염수가 서해연안으로 연결되고 있었다. 이런 해수분포는 여름철(8월)보다는 봄철(5월)에 더 뚜렷한데, 이것은 여름철에 비해 봄철이 조석혼합으로 인한 상·하층해수의 혼합 효과가 잘 나타나지 않기 때문으로 보인다. 해류관측에서도 서해연안 해역에서 북상류가 나타나고 있으며, 난류수가 서해안을 따라 북상하는 시기는 겨울철 황해남부해역에서 형성된 전선이 소멸되는 봄철부터 늦가을까지로 보인다.

주요어 : 난류수, 난류수의 서해유입

사 사

이 논문은 한국과학재단 97년도 핵심연구과제(971-0403-011-1)로 수행되었다.

참고문헌

- Kim, K., H. K. Rho and S. H. Lee. 1991. Water Masses and Circulation around Cheju-Do in summer. *J. Oceanog. Soc., Korea*, 26(3), 262~277.
- KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute), 1987. *Oceanographic Atlas of Korean Waters*. 1. Yellow Sea, p. 42~43.
- Lie, H. J., 1984. A Note on Water Masses and General Circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanog. Soc., Korea*, 19, 187~194.
- Lie, H. J., 1985. Wintertime Temperature and salinity Characteristics in the south-western Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanog. Soc., Japan*, 41, 281~291.
- Nakao T., 1977. Oceanic Variability in relation to Fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ. Spec. No. Nov.*, p. 199~366.
- Pang, I. C., H. K. Rho, and T. H. Kim, 1992. Seasonal Variations of Water Mass Distributions and their Causes in the Yellow Sea, the East China Sea, and the Adjacent Seas of Cheju Island. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 25(2), 151~163.
- Pang, I. C., H. K. Rho, J. H. Lee and H. J. Lie, 1998. Seasonal circulation in the southeastern Yellow Sea. *J. Acta Oceanologica Sinica, China*, 17, in Print.
- Pang, I. C. and K. H. Hyun, 1998. Seasonal Variation of Water Mass Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. *J. Oceanog. Soc., Korea*, 33(3), 41~52.