

황해와 동중국해 표층수온의 계절변화

강재훈·방익찬·장경일*
제주대학교 해양학과 · * 한국해양연구소

Seasonal Variations of SST in the Yellow Sea and the East China Sea

Jae-Hoon Kang, Ig-Chan Pang and Kyung-Il Chang *

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

**Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

In the time series data of sea surface temperatures (SST) observed in July, 1998 to July, 1999 using AVHRR sensor of satellite NOAA 12, 14, the seasonal variation of SST was the largest in the Yellow Sea, and smaller in the East China Sea, and the smallest in Kuroshio area. It was extremely large in the coastal area of the depth less than 50m in the Yellow Sea, which shows that it is larger in shallower depth. The fact that it is the smallest in the Kuroshio area implies that the atmospheric influence is more important in the East China Sea and the Yellow Sea. Due to the local difference of SST variations, sea surface gradients and so the pressure gradient forces will seasonally vary. The pressure gradient force, which is basically forward the fellow Sea from the East China Sea, is larger in winter season than in summer season, and the strengthened pressure gradient seems to increase the transport toward the Yellow Sea, not toward the Korea Strait. In winter season, SST decreases much more in the Yellow Sea than in the East China Sea so that the pressure gradient force toward the Yellow Sea is strengthened, which is likely to increase the transport to the Yellow Sea and so decrease the transport to the Korea Strait.

Key words : sea surface temperature (SST), seasonal variation, Yellow Sea, East China Sea

서론

황해와 동중국해의 해수순환을 파악하는데 있어서 어려운 점은 전 해역에 걸친 해수특성 자료를 연속적으로 갖고 있지 않다는 것이다. 인공위성을 통한 관측은 이러한 자료를 얻기에 아주 좋은 방법인데 이 방법의 한계는 기상의 효과가 가장 크게 나타나는 표층의 수온밖에 관측할 수 없다는 점과 염분을 관측할 수 없다는 점이다. 그럼에도 불구하고 넓은 해역을 단 시간에 관측할 수 있고 연속적으로 관측할 수 있

다는 잇점 때문에 인공위성으로 관측한 표층수온(SST) 자료에는 다른 자료에서 얻을 수 없는 정보가 포함되어 있다.

표층수온의 변화에는 기상의 효과와 해수순환의 효과가 포함되어 나타난다. 특히 황해와 동중국해와 같이 수심이 얇은 해역에서는 이들의 효과가 뚜렷이 대조를 이루면서 나타난다. 전 해역에 걸친 이들 효과를 종관적으로 파악하는 것은 해수순환을 파악하는데 도움이 된다. 황해와 동중국해의 해수순환을 파악하는 데에 중요한 점은 압력경도력의 변화와 해류

의 변화를 이해하는 것이다. CSK자료를 분석한 결과로는 황해방면으로 향하는 동중국해역의 압력경도력이 여름보다는 겨울에 강한 것으로 나타난다(오, 1998). 이것은 지형류의 개념으로 생각할 때 대한해협이 여름보다는 겨울에 강한 것으로 나타나는 결과(Yi, 1966; Toba et al., 1982; Mitta and Ogawa, 1984; Pang and Kim, 1990)와는 반대 현상이다. 전해역에 걸친 종관적인 표층수온 자료에는 압력경도력의 변화가 어떻게 나타나는지는 이러한 점에서 필요하다. 이 논문에서는 이러한 연구를 위하여 인공위성 자료를 분석하였다.

해역별 표층수온의 계절변화

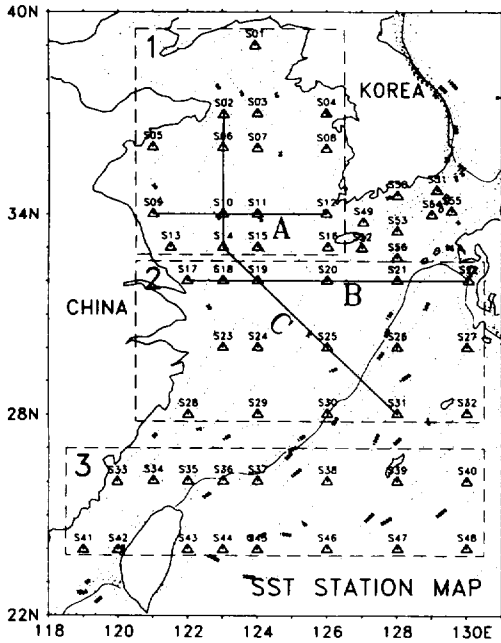


Fig. 1. 56 stations selected to analyze SST data observed by Satellite NOAA 12 and 14 from July, 1998 to July, 1999 in the East China Sea and the Yellow Sea. The study area is divided into Areas 1, 2, and 3, each of which includes 16 stations, to see their time series in Fig. 2. A, B, and C lines are also selected to see spatial SST gradients in Fig. 5.

NOAA 12, 14호의 AVHRR 센서를 이용한 1998, 7~1999, 7 동안의 표층수온 자료에서 Fig. 1에 표시된 점의 표층수온(SST) 변화를 살펴보았다. Fig. 2는 Fig. 1에 표시된 56개 지점 중 남해를 제외한 48개 지점의 표층수온 시계열들이다. 편의상 Fig. 2의 48개 지점은 16지점씩 나누었으며 그들은 각각 Fig. 1에 구획된 해역 1, 2, 3에 해당한다. 표층수온 자료에는 주간과 야간의 값이 함께 포함되어 있어 각 시점의 시계열은 분산되어 있는 것을 볼 수 있는데 그들의 분산정도를 보면 황해는 아주 낮고 쿠로시오 유역은 현저하게 높으며 동중국해는 그 중간이다. 이것은 황해보다도 쿠로시오 유역의 표층수온이 야간에 더 많이 급강하함을 보여준다.

해역에 따라 최고수온은 대부분 8월~9월에 나타나지만 최저수온이 나타나는 시기는 해역에 따라 1~4월로 분산되어 나타난다. Fig. 3은 최저수온이 나타나는 달의 수평분포이다. 수심이 50m미만인 황해북부 연안과 황해의 중국연안 모두가 북서계절풍이 가장 강한 2월에 최저수온을 보이며 한국 서해안에서는 2~3월에, 동중국해의 중국 연안, 한국 남해 연안이나 일본 연안에서는 3월에 최저수온을 보이고 있다. 그리고 황해난류의 유로 상에 있는 해역 S10, S11, S16, S20에서는 최저수온이 다소 늦은 4월에 나타나는 경향이 보인다. 연안역을 제외한 해역의 최저수온 분포는 황해북부와 중부가 3월, 황해남부가 3~4월, 동중국해가 3월인데 비해 위도 26°N이하의 해역에서 최저수온은 거의 1월에서 2월에 분포하고 있다. 이것은 표층수온에 영향을 주는 요인들이 여름에는 주로 태양열이며 해역에 따른 변화가 크지 않음에 비해 겨울에는 바람에 의한 냉각과 난류수의 유입 등으로 해역에 따라 큰 차이가 있음을 의미한다.

수온의 계절변화를 보면 황해에서는 계절변화가 가장 뚜렷하며 연교차가 평균 20°C에까지 이르고 동중국해에서는 보다 작아 연교차는 평균 14°C가 된다. 쿠로시오 유역에서 연교차는 더욱 작아져 평균 8.5°C이다(남해의 연교차는 평균 15.3°C이다). Fig. 4는 각 해역의 표층수온 연교차의 수평분포를 나타낸 그림이다. 연교차는 황해, 동중국해, 쿠로시오 유역 순으로 작아지며 동중국해와 쿠로시오 유역의 같은 위도에서는 동쪽으로 가면서 작아진다. 황해에서는 중국연안

황해와 동중국해 표층수온의 계절변화

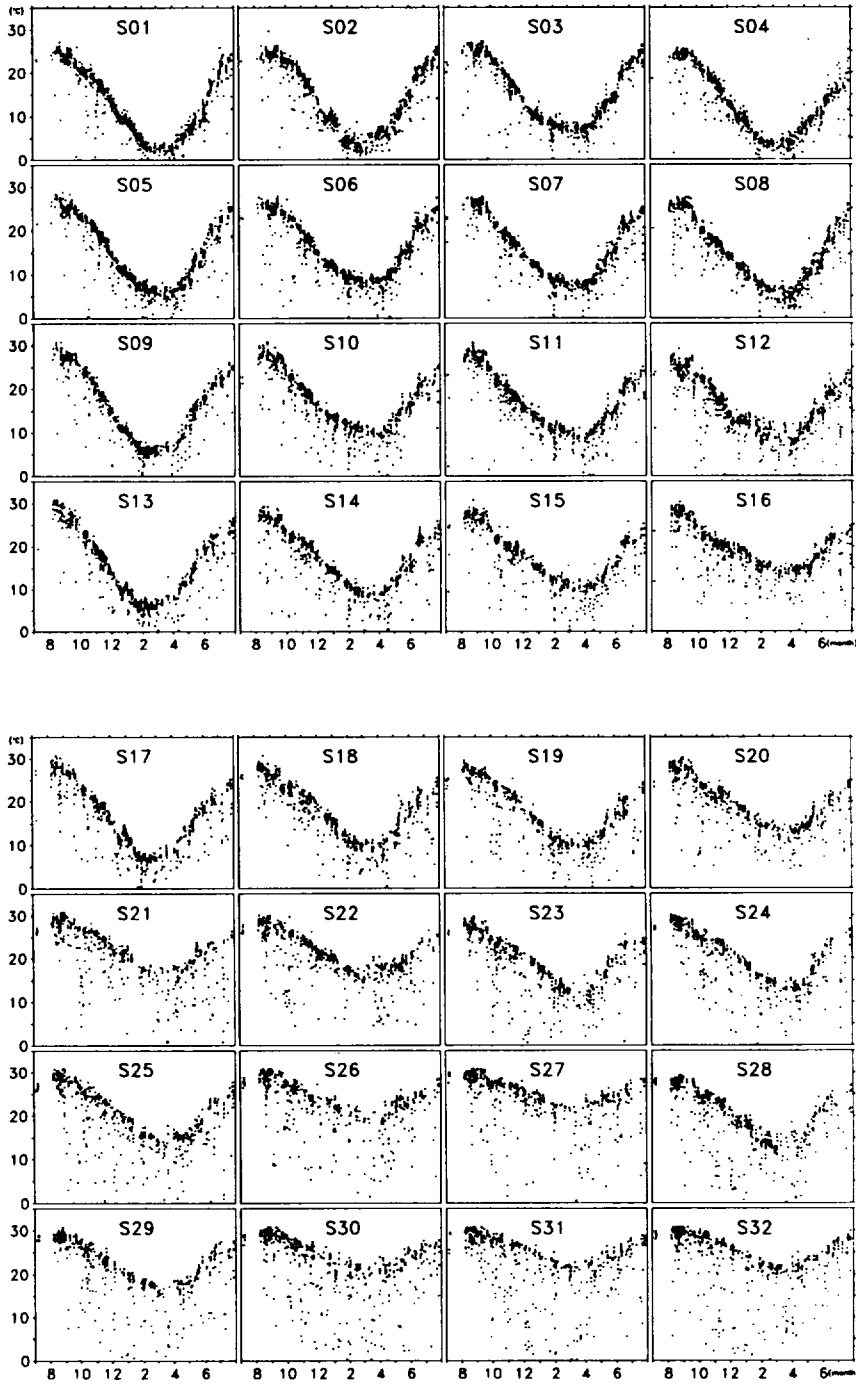


Fig. 2. Time series of SST at (1), (2), and (3) areas shown in Fig. 1.

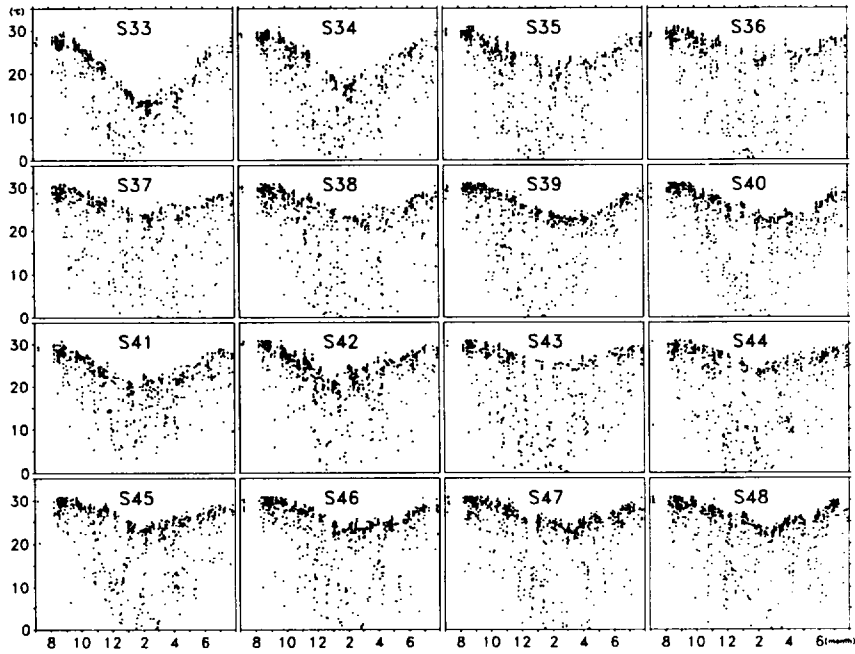


Fig. 2. (C) Continued.

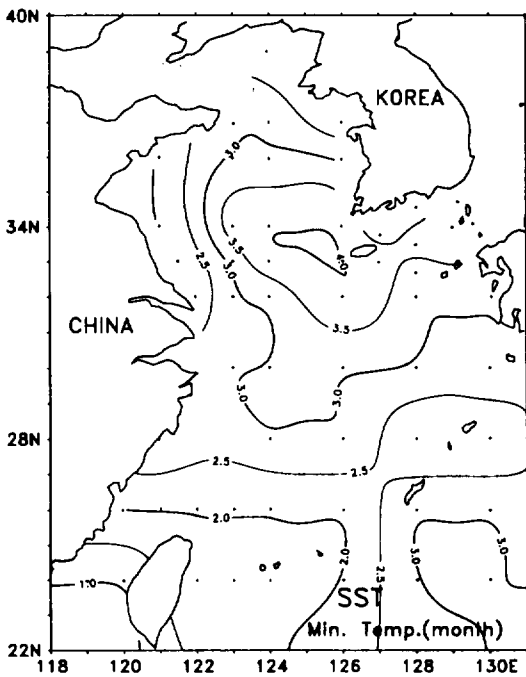


Fig. 3. Horizontal distribution of the month showing the lowest temperature in a year.

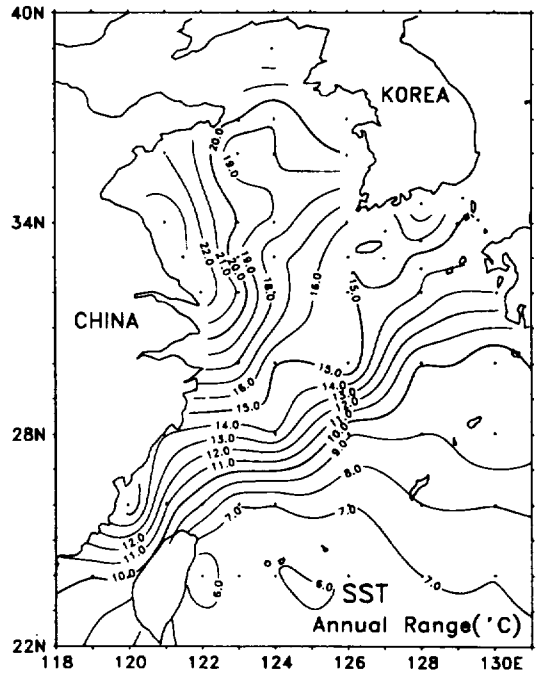


Fig. 4. Horizontal distribution of the annual ranges of seasonal SST variation ($^{\circ}\text{C}$).

황해와 동중국해 표층수온의 계절변화

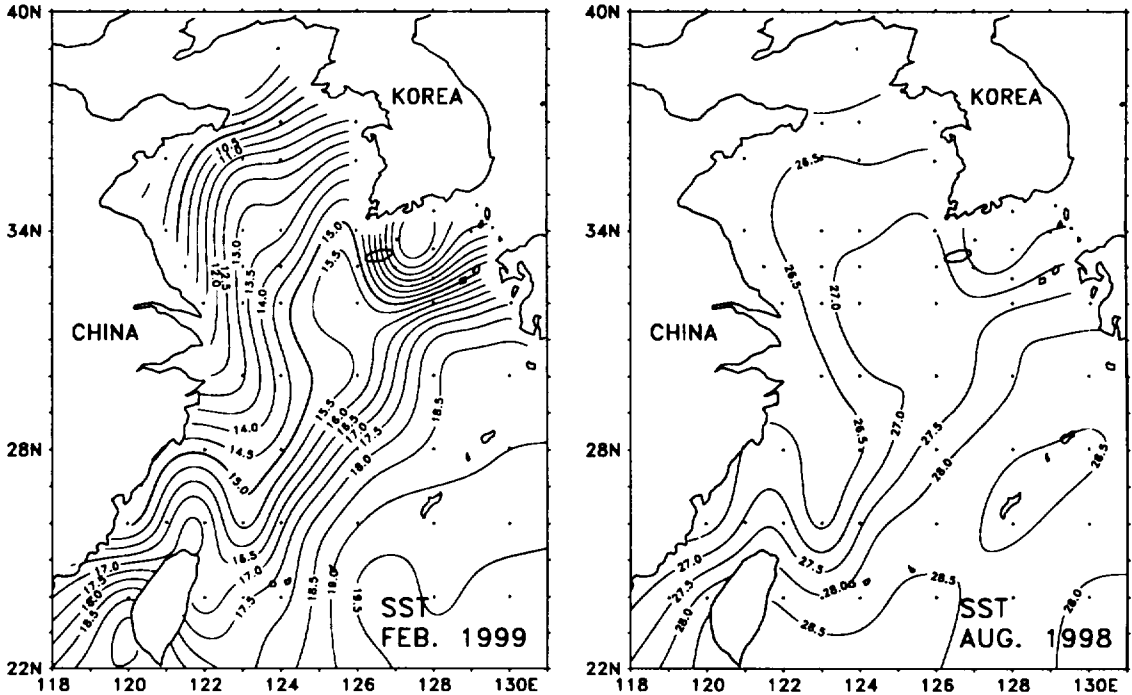


Fig. 5. Horizontal distribution of the monthly mean SST (°C) in Feb., 1999 and Aug., 1998.

과 중심부의 연교차의 차이가 뚜렷해서 황해중심부에 비해 중국해안에서는 연교차가 커져 수온의 계절변화와 수심이 관계가 있음을 보여준다. 황해북부와 한국 서해안, 특히 중국 항주만 연안까지 이르는 지역에서 연교차가 20°C 이상이며 수심이 깊은 황해의 중심부보다도 평균 4°C정도 크게 나타나고 있다. 그러나 중국연안과 서해안을 비교하면 같은 수심이라도 서해안에서 작다. 이것은 수심에 따른 기상효과 외에 해수순환의 효과가 나타난 것으로 보인다. 겨울철에 황해 중앙부를 통해 황해로 유입된 난류수는 주로 서해안을 따라 남하하여 황해를 빠져나가기 때문이다(Pang and Hyun, 1998). 남해에서는 주변보다는 중앙부일수록 연교차가 크게 나타나고 있다. 대륙붕단의 쿠로시오 유역에서는 등치선이 쿠로시오 해류의 유로를 따르며 쿠로시오 해역에서는 연교차가 10°C 이하이고 상대적으로 깊이 작는데 비해 대륙붕단의 급격히 수심이 얕아지는 해역에서 등치선이 조밀해 진다. 대륙붕단을 지나서는 15°C 등치선이 수심 50-150m폭을 갖는 동중국해 넓은 해역에 걸쳐 사행구조를 보인다.

이것은 15°C 등치선을 따른 해역에 와류가 분포함을 시사한다. 황해와 동중국해의 표층수온 연교차의 분포는 대체로 해저지형의 모습을 닮아 해저지형이 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

표층수온으로 본 압력경도력의 계절변화와 해류의 계절변화

Fig. 5는 2월과 8월의 월평균 표층수온 분포이다. 연구지역 전체로 볼 때 표층수온은 남동에서 북서방향의 경사를 이루고 있으며 쿠로시오 유역 남단에서 황해북부 해역에 걸친 표층수온의 차이는 2월에는 약 10°C인데 비해 8월에는 약 2°C이다. 이러한 차이로 인한 표층수온 기울기의 계절변화를 보이기 위해 Fig. 5의 월평균 표층수온 자료를 사용하여 Fig. 1에서 보인 A, B, C 선을 따라 2월과 8월의 수온을 그려보았다 (Fig. 6). Fig. 6에 보이는 바와 같이 A, B, C 선에 나타난 수온경사는 여름철에 각각 0.97°C,

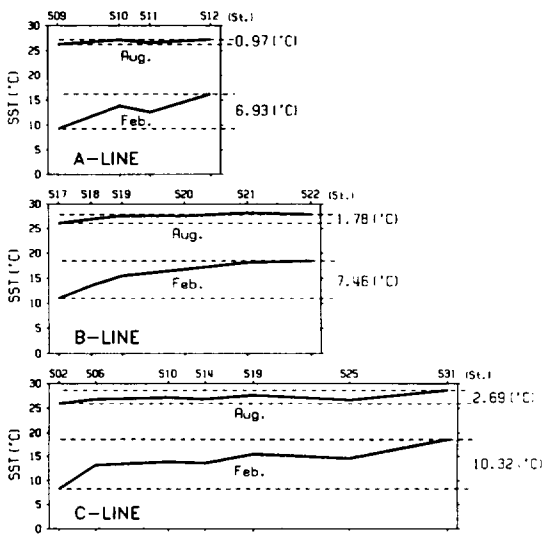


Fig. 6. Spatial SST gradients along Lines A, B, and C shown in Fig.1 in Feb. and Aug.

1.78°C, 2.69°C이고 겨울철에는 각각 6.93°C, 7.46°C, 10.32°C로서 여름철의 수온차이가 겨울철의 수온차이에 비해 0.22 정도에 지나지 않음을 보여준다. 이것은 표층수온으로 볼 때 황해 쪽으로 기울어져 있는 해수면경사는 여름보다 겨울에 훨씬 강해짐을 보여준다.

표층수온만으로 해수면경사를 계산할 수는 없다. 그러나 표층수온의 계절변화로부터 해수면 경사의 계절변화를 어느 정도 유추할 수 있다. 왜냐하면 전 수심의 수온을 표층수온으로 대체할 경우 표층수온의 계절변화가 계절에 따른 해수면경사의 최저 값을 주기 때문이다. 예를 들어 쿠로시오 해역과 황해를 비교해 보자. 쿠로시오의 상층 약 200m까지는 겨울에도 표층수온의 값과 비슷하기 때문에 겨울의 수온 값은 모든 해역에서 표층수온 값으로 대체할 수 있다. 여름에는 표층 이하의 수온은 수심이 얕아 기상의 영향을 많이 받는 황해 쪽이 더 높아진다. 그러므로 표층이하의 수온을 표층수온으로 대체할 경우 쿠로시오 해역 쪽의 해수면이 더 높아진다. 다시 말해 그러한 경우는 여름철의 해수면경사가 실제보다 더 커지게 된다. 즉, 겨울과 여름의 해수면경사의 차이는 실제보다 작아지게 된다. 해수면에 대한 염분의 효과도 계절에 따른 해수면경사의 최소값을 구하는 데는 문제

가 되지 않는다. 저염화는 황해쪽이 쿠로시오 해역 쪽보다 크기 때문에 염분이 계절에 따라 변화하지 않는다고 가정한다면 역시 겨울과 여름의 해수면경사의 차이는 실제보다 작아지게 된다. 그러므로 표층수온 경사의 계절변화를 해수면경사의 계절변화로 해석할 경우 계절변화의 최소값을 구한 것으로서 실제 변화는 이 값보다 크게 된다.

C-line을 본다면 겨울철이 여름철에 비해 수온경사(따라서 해수면경사)가 크기 때문에 지형류인 해류는 이 선을 가로질러 대한해협으로 흐르는 해류가 겨울에 더 강할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 실제 대한해협의 유량은 겨울보다 여름에 증가하는 뚜렷한 계절변화를 보인다(Yi, 1966; Toba et al., 1982; Mitta and Ogawa, 1984; Pang and Kim, 1990). 이와 같이 상반되어 보이는 현상은 해수분포의 계절변화로 이해할 수 있다. 황해와 동중국해에서의 해수분포는 계절에 따라 뚜렷한 변화를 보이는데 겨울철에는 대마난류수가 황해 쪽으로 확장하는 반면, 여름철에는 대마난류수의 분포범위가 동중국해 쪽으로 후퇴하고 있다(Pang and Kim, 1989; Pang and Hyun, 1998). 이것으로 겨울철에 황해방면으로 강화된 압력경도력은 대한해협으로 향하는 유량을 증가시키는 것보다 황해로 향하는 유량을 더 증가시키며 이로 인해 대한해협으로 향하는 유량이 감소된다고 볼 수 있다. 그러나 계절에 걸쳐 변하는 압력경도력이 어떻게 지형류를 강화하는 것 보다 압력경도력 방향의 흐름을 왜 강화시키는지의 앞으로 연구해야 할 과제이다.

B-line의 겨울철 수온경사를 보면 S20의 동쪽(대략 제주도 동쪽)의 수온경사는 여름에 비해 그다지 많이 강화되지 않는데 비해 S20의 서쪽(대략 제주도 서쪽)의 수온경사는 여름보다 많이 강화되고 있다. 이러한 수온경사의 강화가 어떤 방향의 흐름을 강화시키든 황해로 유입되는 유량은 이로 인해 많아질 것이다. A-line에서도 이러한 경향은 지속되고 있는 것으로 보인다.

결론

동중국해 표층수온의 계절변화를 알아보기 위해

NOAA 12, 14로 관측된 표층수온 자료를 56개 지점을 중심으로 분석하였다. 그 결과 표층수온은 황해에서 계절변화가 가장 컸고 쿠로시오 해역에서 가장 작았으며 동중국해에서는 그 중간으로 나타났다. 특히 황해에서도 수심이 50m미만인 중국연안역에서 표층수온의 계절변화가 압도적으로 크게 나타난다. 같은 수심이며 같은 위도인 서해안은 중국연안보다 표층수온의 계절변화 폭이 약간 작는데 이것은 겨울철에 황해 중앙부로 유입된 황해난류수가 서해안으로 남하하여 서해안이 해수순환의 영향을 받기 때문일 것이다. 황해와 동중국해의 연교차 분포는 대체로 해저지형의 모습과 비슷하여 수심이 얇은 해역에서는 표층수온의 연변화에 해저지형이 중요하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이와함께 쿠로시오 해역의 계절변화는 상대적으로 작아 황해와 동중국해의 표층수온 변화에는 쿠로시오의 영향 외에 기상의 영향이 중요함을 알 수 있다.

표층수온에 의한 해수면은 모든 계절에 걸쳐 황해방면이 낮고 동중국해 방면이 높아 동중국해에서 황해로 향하는 경사를 갖는데 이러한 해수면의 경사는 겨울철에 강화되는 뚜렷한 계절변화를 하고 있다. 이로 인해 동중국해에서 황해로 향하는 압력경도력은 여름철보다 겨울철에 커지는데 이 강화된 경사는 대한해협으로 향하는 해류를 강화시키지 않고 황해로 향하는 해류를 강화시키는 것으로 보인다. 따라서 겨울철에는 황해로 향하는 압력경도력이 강화되고 해수가 황해로 유입되면서 대한해협의 유량이 감소되는 것으로 해석 할 수 있다.

요 약

인공위성 NOAA 12, 14호의 AVHRR센서를 이용하여 1998년 7월부터 1999년 7월 사이에 관측한 표층수온을 분석한 결과, 표층수온의 계절변화는 황해에서 가장 컸고 쿠로시오 해역에서 가장 작았으며 동중국해에서는 그 중간으로 나타났다. 계절변화는 특히 황해에서도 수심이 50m미만인 중국연안역에서 매우 커서 수심이 얕을수록 큼을 보여 주었다. 쿠로시오 해역에서 계절변화가 가장 작다는 것은 황해와 동중

국해의 표층수온 변화에서 기상의 영향이 중요하게 작용하는 것을 보여준다. 이런 차이로 인해 표층수온에 의한 해수면경사의 계절변화가 뚜렷하게 나타나며 해수면은 모든 계절에 걸쳐 동중국해에서 황해로 갈수록 낮아지는 경사를 갖는다. 즉 해수면경사에 의한 압력경도력은 동중국해에서 황해방면으로 향한다. 이 압력경도력은 여름철보다 겨울철에 커지는데 이 강화된 압력경도력은 대한해협으로 향하는 흐름을 강화시키지 않고 황해로 향하는 흐름을 강화시키는 것으로 보인다. 따라서 겨울철에는 황해로 향하는 해수면 경사가 강화되고 해수가 황해로 유입되면서 대한해협의 유량이 감소하는 것으로 추론할 수 있다.

주요어 : 표층수온(SST), 계절변화, 황해, 동중국해

참고문헌

- 방익찬·김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환. 제주대학교 논문집, 28, 61~73.
- 방익찬·김태희, 1990. 황해와 동지나해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 논문집, 31, 49~61.
- 오경희, 1998. 동중국해 해수순환의 계절변화와 대한해협의 유량변화. 제주대학교 석사학위논문, 24~30.
- Mitta, T. and Y. Ogawa, 1984. Tsushima currents measured with Current meter and Drifters : In Ocean hydrodynamic of the Japan and East China sea. T. Ichiye, editor, Elsevier, Amsterdam, 67~76.
- Pang, I. C. and K. H. Hyun, 1998. Seasonal Variation of Water Mass Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. J. of Kor. Soc. of Oceanography, 33(3), 41~52.
- Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa and K. Hanawa, 1982. Seasonal and year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause. La mer

(Tokyo), 20, 41~51. Also in "Proceedings of the First JECSS Workshop"(ed. by T. Ichiye and K. Takano). The Japanese-French Oceanogr. Soc., 5~15.

Yi S. U., 1966. Seasonal and Secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. J. Oceanogr. Soc. Korea, 12, 7~13.