

경험직교함수 분석에 의한 한반도 주변해역의 해수면온도 및 수온 전선의 시·공간 변화

윤홍주* · 변혜경*

*부경대학교 위성정보과학과

Temporal and spatial variations of SST and Ocean Fronts in the Korean Seas by Empirical Orthogonal Function

Hong-Joo Yoon* · Hye-Kyung Byun*

*Department of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

yoonhj@pknu.ac.kr

요 약

한반도 주변 해역에 대하여 1993~2000년, 8년간의 인공위성 자료(NOAA/AVHRR MCSST)를 사용하여 해수면온도 및 수온전선의 시·공간 분석을 연구하였다. 경험직교함수(EOF, Empirical Orthogonal function) 분석에서 제1모드는 분산값이 97.6%로써 한반도 주변 해역의 수온의 변화를 잘 설명할 수 있었다. 시간 변화는 뚜렷한 연변동을 보였고, 육지에 가까워질수록 수온 변화가 커지는 공간 분포를 보였다. 제2모드는 비록 그 영향력은 미약하나 93, 94, 95년에 걸쳐 시간 계수 값이 다른 해에 비하여 강한 값이 나타났고, 이는 엘리뇨의 발생 년도와 일치하는 것으로써 한반도 주변해역에서의 엘리뇨 영향을 설명할 수 있는 결과로 판단되었다. 수온전선을 구분하기 위해서 수온구배를 이용한 Sobel Edge Detection Method를 사용하였다. 그 결과로 수온전선은 동해 남·북해역의 아극전선대, 동중국해의 쿠로시오전선, 남해의 연안전선을 추출할 수 있었고, 미약하지만 서해에서도 조석전선이 형성되는 것을 목격할 수 있었다. 대체로 수온전선의 위치는 해저지형의 경사도가 가파른 해역에서 나타났으며, 수온의 EOF 분석 1모드에서 경계를 이루는 위치와 흡사한 분포를 보였다. 수온전선들의 시·공간 분포를 알아보기 위해 수온 경사 값을 EOF 분석하였다. 분산값이 64.55%인 제1모드에서는 뚜렷한 연변화를 보이면서 아극전선대, 쿠로시오전선, 남해연안전선이 3월에 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 제2모드에서는 아극전선대와 남해연안전선은 '-'값을, 쿠로시오전선은 '+'값을 강하게 나타내며 대조적인 분포를 보였고, 그 시기는 '+'값은 5월, '-'값은 10월에 강하게 나타남을 알 수 있었다. 제3모드에서는 시간 계수 값이 일년에 두번의 peak를 가지며 계절변화를 뚜렷하게 보여주었다. 공간분포에서 아극전선대는 3월, 10월에 강한 '+'값을 보였고, 이것은 제1, 2모드를 반영하는 결과였다. 위와 같이 EOF분석을 통하여 한반도 주변해역의 수온전선들의 시·공간적 변화를 정량적으로 제시 할 수 있었다.

ABSTRACT

In the Korean seas, Sea Surface Temperature (SST) and Thermal Fronts (TF) were analyzed temporally and spatially during 8 years from 1993 to 2000 using NOAA/AVHRR MCSST. As the result of EOF method applying SST, the variance of the 1st mode was 97.6%. It is suitable to explain SST conditions in the whole Korean seas. Time coefficients were shown annual variations and spatial distributions were shown the closer to the continent the higher SST variations like as annual amplitudes. The 2nd mode presented higher time coefficients of 1993, 94, and 95 than those of other years. Although the influence is a little, that can explain EINIÑO effect to the Korean seas. TF were detected by Sobel Edge Detection Method using gradient of SST. Consequently, TF were divided into 4 fronts; the Subpolar Front (SPF) dividing into the north and south part of the East sea, the Kuroshio Front (KF) in the East China Sea (ESC), the South Sea Coastal Front (SSCF) in the South sea, and the Tidal Front in the West sea. TF located in steep slope of submarine topography. The distributions of 1st mode in SST were bounded in the same place, and these results should be considered to influence of seasonal variations. To discover temporal and spatial variations of TF, SST gradient values were analyzed by EOF. The time coefficients for the 1st mode (variance : 64.55%) showed distinctive annual variations and SPF, KF, and SSCF was significantly appeared in March. the spatial distributions of the 2nd mode showed contrast distribution, as SPF and SSCF had strong '-' value, where KF had strong '+' value. The time of '+' and '-' value was May and October, respectively. Time coefficients of the 3rd mode had 2 peaks per year and showed definite seasonal variations. SPF represented striking '+' value which time was March and October. That was result reflected time of the

1st and 2nd mode. We can suggest specific temporal and spatial variations of TF using EOF.

키워드

SST, Thermal Fronts, Sobel Edge Detection Method, EOF

1. 서 론

해수면 온도 (SST, Sea Surface Temperature)는 해양의 변화를 관찰하는데 기본적인 요소로서 해수면 온도의 장기 변화 연구는 해양 연구에 있어서 기본적인 필수적인 과제이다. 한반도 주변 해역에서의 해수면 온도 변화에 대한 연구는 오랜 시간에 걸쳐 많은 학자들에 의해 연구되어져 왔으며, 한반도 주변 해역의 해양학적 현상을 밝히는데 많은 기여를 하였다[1-4].

해양 전선은 물리·화학·생물학적으로 서로 다른 속성을 가진 두 수괴가 만나 혼합이 이루어지는 해역을 말하며, 수렴대, 와동류(eddies)를 동반하며 강한 mixing과 stirring, 높은 생물생산량, 대기경계층전선과 관련이 있다. 이처럼 해양 전선은 해양에서 급격한 변화가 일어나는 한 부분으로써, 그에 대한 연구가 필수적이고, 현재까지 위성데이터를 사용한 다양한 수온전선 연구가 있어왔다[5-8]. 특히, 넓은 해역의 해양학적 현상을 연구하기 위해서는 위성데이터를 이용함이 적합한데, 우리는 [9]에서 NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)의 MCSST (Multi-Channel Sea Surface Temperature) 자료를 사용하여 한반도 주변 해역의 전반적인 해수면 온도의 시·공간적 분포를 알아보고, 수온 전선을 추출하였다. 한반도 주변 해역에 관한 수온 전선 연구들은 부분적인 해역에 관한 연구가 대부분이어서 우리는 한반도 연안에 국한하지 않고 그 영역을 넓혀 한반도에 영향을 미치는 전선을 연구하고자 하였다. 나아가 본 연구에서는 경험적교합수 분석을 통해 수온 전선들의 시·공간 변화를 정량적으로 해석하였으며, 수온 변화와도 연계하여 분석하였다.

II. 자료 및 방법

1) 자료 및 연구해역

(1) 연구 해역

연구 해역은 북위 25°~45°, 동경 117°~142°이며 SST 영상의 크기는 142×114 픽셀, 공간해상도는 1.1km×1.1km이다. (Fig. 1).

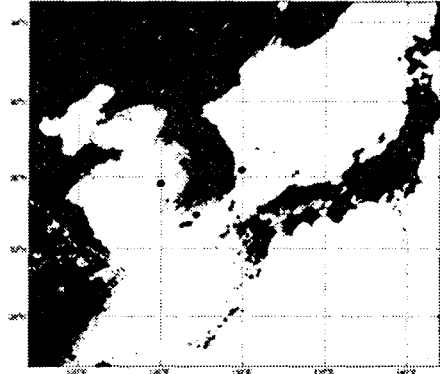


Fig. 1. Study Area (* : serial oceanographic data station)

(2) 해수면온도

SST는 1993년부터 2000년까지 8년간의 JPL PO.DAAC (Jet Propulsion Laboratory, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 NOAA AVHRR/MCSST를 이용하였다. 이 자료는 기본적인 보정이 이루어진 낮과 밤의 8일 평균에 대한 자료이다[10]. PO.DAAC에서 제공하는

$$SST(^{\circ}C) = 0.15 \times DN - 2.1 \quad (1)$$

(1)식을 이용하여 SST를 산출해 내었고, 낮과 밤의 SST를 평균하여 총 415주에 대한 각각의 SST 영상을 만들었다.

위성에 의한 SST 자료는 이미 많은 연구들을 통해 그 실효성을 입증 받은 바 있으므로 본 연구에서는 수산과학원의 동, 서, 남해의 정선 관측지점 한 곳과 가장 근접한 SST 픽셀 값을 비교하였다. 그 결과, 세 관측 지점에서의 SST와 실측 수온과의 상관계수는 0.8이상으로 높은 상관성을 보였다(Table 1).

Table 1. Location and correlation of validation data in Serial Oceanographic Data (SOD) and Satellite SST

		East Sea	West Sea	South Sea
SOD	Location	St. 103-7	St. 309-7	St. 205-3
		36.30°N 130.00°E	35.51°N 125.00°E	34.05°N 127.56°E
	Mean SST	17.26 °C	15.31 °C	18.61 °C
Sat.	Location	36.29°N 129.99°E	35.59°N 125.06°E	34.01°N 127.52°E
	Mean SST	18.61 °C	16.03 °C	19.25 °C
Correlation Coefficient		0.89	0.92	0.89

2) 경험적교합수 (EOF, Empirical Orthogonal Function)

SST와 수온전선의 시·공간 변화를 알아보기 위하여 EOF 분석법을 사용하였다. EOF 분석 방법은 시·공간 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 대표적인 방법 중 하나이다[11]. EOF는 아래의 식으로 표현할 수 있고, i 는 모드, Q_{ij} 는 EOF Function으로 공간 변화, C_{ij} 는 시간 계수 값으로써 시간 변화를 각각 나타낸다.

$$F(x, t) = \sum_{i=1}^n e_i(x) c_i(t) \quad (2)$$

III. 결과 및 고찰

1) 경험적교합수에 의한 수온의 시·공간 분석

한반도 주변해역의 수온을 시·공간적 분석을 하기 위해 EOF 분석법을 사용하였다. EOF 제1모드는 97.46 %, 제2모드는 1.54%, 그 외 모드는 더 작은 분산값이 나타났다. 제1모드의 공간 분포는 육지에 가까워질수록 수온 변화가 커짐을 알 수 있었다(Fig. 2). 시간 계수는 일정한 연변동을 보여주며 여름에 '+peak', 겨울에 '-peak'를 보였다(Fig. 3).

제2모드의 공간 분포는 동해 남·북부해역은 '+'값을 그 외의 해역은 '-'값을 보이며 대한해협을 중심으로 대조적인 분포를 보였고(Fig. 4), 시간 계수는 일정한 변화를 나타내지는 않았지만 93, 94, 95년에 걸쳐 눈에 띄게 강한 값을 보였다(Fig. 5). 이 시기는 엘니뇨 기간과 맞물림으로써 비록 제2모드의 영향력은 미약하나 엘니뇨가 한반도 주변해역에 영향을 미치는 것을 설명할 수 있는 객관적인 결과로 제시할 수 있겠다.

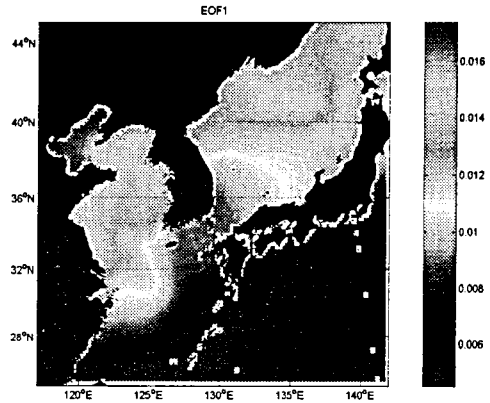


Fig. 2. The 1st mode of SST for spatial distributions.

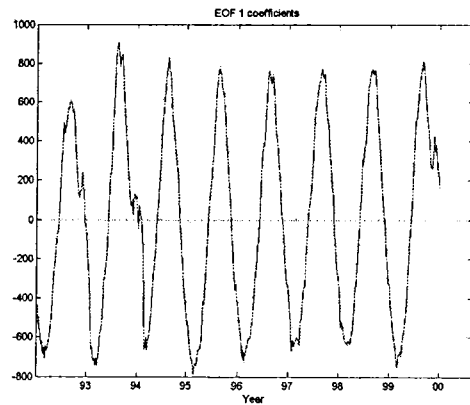


Fig. 3. The 1st mode of SST for temporal variations.

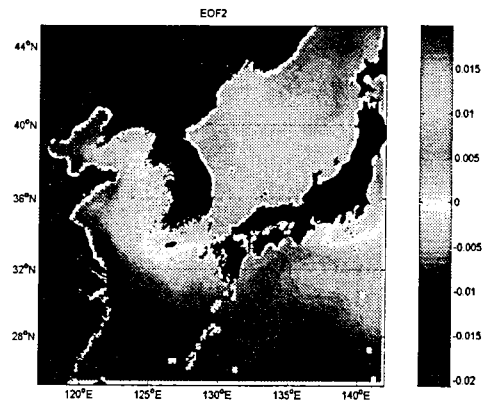


Fig. 4. The 2nd mode of SST for spatial distributions.

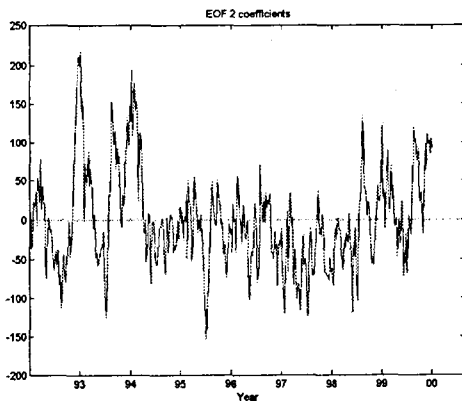


Fig. 5. The 2nd mode of SST for temporal variations.

2) 수온 전선의 경험적고함수 분석

[9]에서는 한반도 주변 해역의 8년간의 평균 SST를 SEDM을 사용하여 수온전선을 구하였다. 넓은 해역의 연평균 SST를 사용하여 상대적으로 강하게 나타나는 수온전선만을 추출하였다(Fig. 6). 이를 통하여 우리는 한반도 주변 해역에서 원해 전선인 아극전선대, 대륙붕전선인 쿠로시오전선, 남해 연안에서 발생하는 연안전선, 서해에서 조석전선이 발생함을 알 수 있었고, 이는 [12]가 분류한 전선의 각 분류에 해당하는 전선을 모두 포함하고 있었다.(Fig. 7) 그러므로 한반도 주변 해역은 해양 전선 연구에 탁월한 조건을 갖고 있음을 알 수 있었다. 또한 수온 전선의 위치는 수온의 EOF 분석 1모드에서 변화가 일어나는 경계와 흡사한 것으로 나타났다.

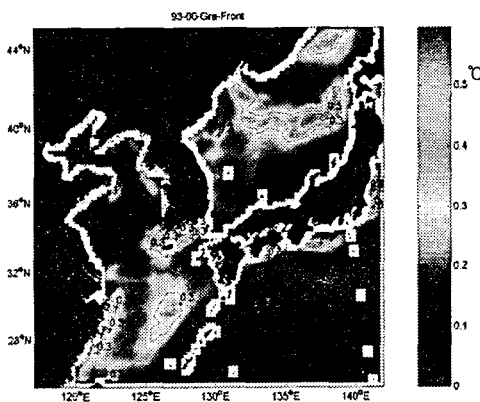


Fig. 6. Distributions of SST gradient value (°C) and Thermal Fronts (red dotted line) [9].

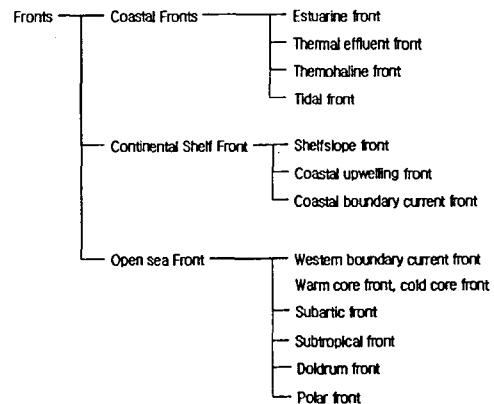


Fig. 7. Classification of ocean fronts [12].

위에서 추출된 수온 전선 영상을 EOF 분석을 통하여 해수 표면의 수온 전선의 월별 상대적인 시간변화를 더욱 자세하게 살펴보았다. 분산값은 제1모드가 64.55%, 제2모드는 22.86%, 그리고 제3모드는 12.58%였다. 세 모드의 합이 99.99%로 이 세 모드로 수온전선의 분포를 설명할 수 있었다. 제1모드의 공간 분포에서는 아극전선대, 쿠로시오전선, 남해의 연안전선은 모두 강한 '-'값을 보였다(Fig. 8). 시간 계수 값은 연변화가 두드러지게 나타나며 '-'값이 3월(이른 봄)에 강하게 나타났다(Fig. 9). 따라서 위의 세 수온 전선은 3월에 강하게 나타남을 알 수 있었다. 제2모드의 공간분포에서는 아극전선대와 남해연안전선은 '-'값이 강하게 나타난 반면, 쿠로시오전선은 '+'값이 강하게 나타났다(Fig. 10). 시간 계수 값과 연관하여 분석하면 일정한 연변화와 함께 '+'값은 5월(늦은 봄)에, '-'값은 10월(가을)에 강하게 나타났다(Fig. 11).

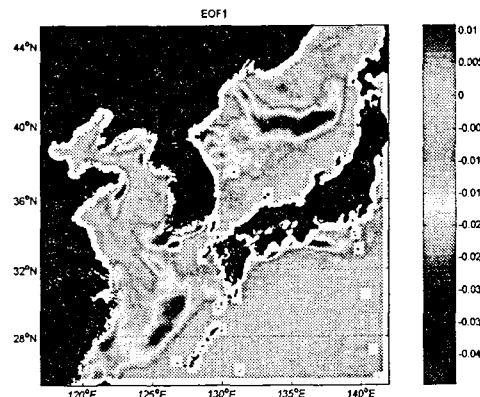


Fig. 8. The 1st mode of SST gradient for spatial distributions.

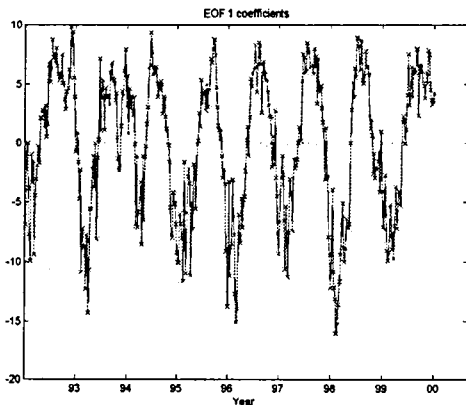


Fig. 9. The 1st mode of SST gradient for temporal variations.

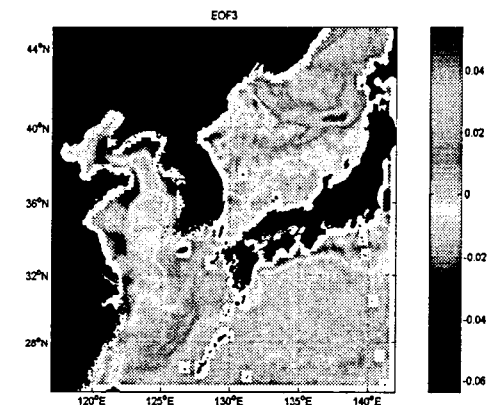


Fig. 12. The 3rd mode of SST gradient for spatial distributions.

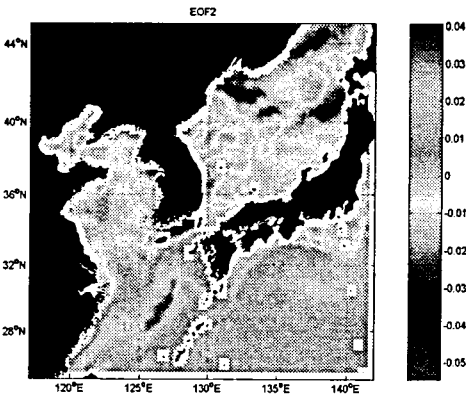


Fig. 10. The 2nd mode of SST gradient for spatial distributions.

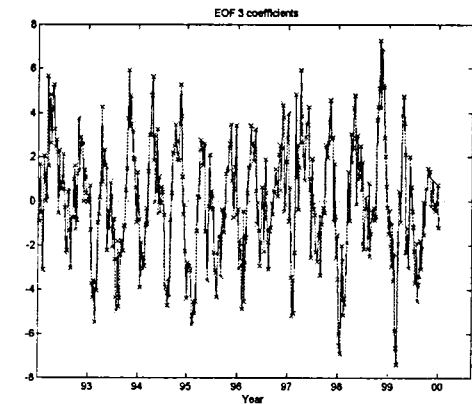


Fig. 13. The 3rd mode of SST gradient for temporal variations.

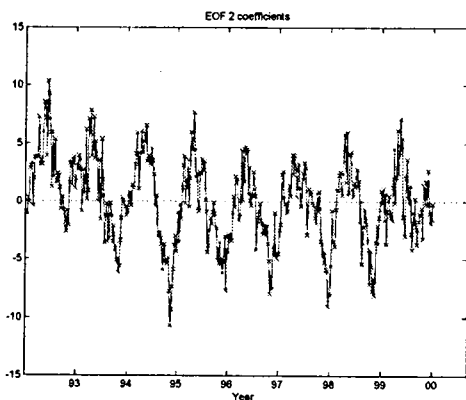


Fig. 11. The 2nd mode of SST gradient for temporal variations.

제3모드에서는 아극전선대만이 '+'값이 강하게 나타났고, 서해의 조석전선이 '-'값을 강하게 보였다 (Fig. 12). 시간 계수 값은 1년에 두 번의 peak를 가지며 계절변화를 뚜렷하게 보여주고 있고, '+'값의 두 번의 peak는 3월, 10월로 제1,2모드의 결과를 반영하고 있으며, '-'peak는 1월(겨울), 8월(여름)에 강하게 나타났다(Fig. 13).

4. 결론

한반도 주변 해역에서의 수온의 시·공간 변화를 분석하기 위하여 경험적교합수 분석법을 이용하였다. 제 1모드가 97.6%로 연구 해역의 수온 변화를 전체적으로 설명하기에 적합하였고, 시간적으로 일정한 연변동을 보이면서 대륙에 가까운 수목 수온변화도 커짐을 보여주었다. 제2모드는 1.54%로 그 영향력은 미약하였지만 대한해협을 경계로 북동쪽과 그 외의 해역으로 나뉘어 대조

적인 분포를 보였고, 시간 변화에서는 일정한 변화를 보이지는 않았지만, 엘니뇨 발생년도인 1993, 94, 95년에 상대적으로 강한 값을 보임으로써 한반도 주변 해역의 엘니뇨 영향을 설명할 수 있는 결과로 제시할 수 있을 것으로 사료되어진다.

[9]에서 우리는 한반도 주변 해역의 8년간의 평균 SST를 SEDM을 사용하여 수온전선을 추출할 수 있었고, 연구 해역에 원해 전선인 아극전선대, 대륙붕전선인 쿠로시오전선, 남해 연안에서 발생하는 연안전선, 서해에서 조석전선이 발생함을 알 수 있었다. 이는 [12]가 분류한 전선의 각 분류에 해당하는 전선을 모두 포함하고 있었다.(Fig. 7) 그러므로 한반도 주변 해역은 해양 전선 연구에 타당한 조건을 갖고 있음을 알 수 있었다. 또한 수온 전선이 발생하는 위치는 수온의 EOF 분석 1모드에서 변화가 일어나는 경계와 흡사한 것으로 나타났다. 따라서 수온의 계절 변화는 수온 전선과 많은 연관성이 있음을 알 수 있다.

수온 전선의 구체적인 시·공간 변동을 살펴보기 위하여 Sobel Edge Detection Method의 경사값을 EOF 분석하였다. 제 1, 2, 3 모드의 분산이 각각, 64.55%, 22.66%, 12.58%로 그 합이 99.99%로 이 세가지 모드로 한반도 주변해역의 수온 전선의 시·공간 변화를 설명할 수 있겠다. 제1모드의 공간 분포에서는 아극전선대, 쿠로시오전선, 남해연안전선이 모두 강한 '↓'값을 보였다. 시간 계수값과 연계하여 분석하면 일정한 연변화를 보이며 '↓'값은 3월(이른 봄)에 강하게 나타남을 알 수 있었다. 한편, 제2모드는 아극전선대와 남해연안전선은 강한 '↓'값, 쿠로시오전선은 강한 '↑'값으로 대조적인 분포를 보였다. 시간 계수값은 일정한 연변화를 보이며 아극전선대와 남해연안전선은 10월(가을)에 강하게 나타났고, 대륙붕전선은 5월(늦봄)에 강하게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 제3모드에서는 아극전선대가 강한 '↑'값을 보였고, 시간 계수 값은 1년에 두번의 peak를 가지며 명확한 계절변동을 보여주었으며, 이 시기는 제 1, 2 모드의 결과를 반영하듯 3, 10월에 강하게 나타남을 보였다.

본 연구에서는 인공위성을 이용한 SST로 한반도 주변 해역의 SST의 EOF 분석을 통하여 SST와 수온전선의 시·공간적 분포를 정량적으로 제시하였으며, 둘의 위치상관을 밝혔다. 하지만 해역별로 특성이 다양하여 수온 전선을 분류하는 경계를 객관적으로 제시하기에는 어려움이 있었다. 따라서 인공위성 자료를 이용하여 객관적이며 정확한 수온전선의 분포에 대한 연구가 필요하다고 사료되어진다.

사사

본 연구는 한국 과학 재단 특정기초연구(R01-2002-000-00369-0)지원으로 수행되었음

참고문헌

- [1] Kang, Y. Q. 1984. Seasonal Variation of Surface Temperatures in the Neighbouring Seas of Korea, *Journal of Oceanol. Soc. Korea*, 19(1):31-35.
- [2] 박성주, 1998. NOAA 원격탐사자료에 의한 한반도주변해역의 표면수온 변동, 부경대학교 석사학위 논문.
- [3] Gould W. Richard and Arnone A. Robert, 2004. Temporal and spatial variability of satellite sea surface temperature and ocean colour in the Japan/East Sea, *International Journal of Remote Sensing*, 25(7-8):1377-1382.
- [4] Yoon, H. J., 2001. On Climatic Characteristics in the East Asian Seas by satellite data(NOAA, Topex/Poseidon), *Journal of the Korean Environ. Sci. Soc.*, 10(6): 423-429.
- [5] Berkin I. and Cornillon P., 2003. SST fronts of the pacific coastal and marginal seas, *Pacific Oceanography*, 1(2):90-113.
- [6] Chiswell, S. M., 1994. Variability in sea surface temperature around New Zealand from AVHRR images, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 28(2):179-192.
- [7] Everson, R., Cornillon, P., Sirovich, L., and Webber. A., 1997. An empirical eigenfunction analysis of sea surface temperatures in the Western North Atlantic, *Journal of Physical Oceanography*, 27(3):468-479.
- [8] Hickox R., I.M. Belkin, P. Cornillon, and Z. Shan, 2000. Climatology and seasonal variability of ocean fronts in the East China, Yellow and Bohai Seas from satellite SST data, *Geophysical Research Letters*, 27(18):2945-2948.
- [9] 윤홍주, 변혜경, 2004. 인공위성 자료를 이용한 한반도 주변해역의 해수면 온도 및 수온 전선의 시·공간 분석. *해양정보통신학회 추계 학술발표대회지*.
- [10] JPL. PO.DAAC, http://podaac.jpl.nasa.gov:2031/DATASET_DOCS/avhrr_wkly_mcst.html.
- [11] 나 정열, 한 상규, 서 장원, 노 의근, 강 인식, 1997. 한국 동해에서의 해면기압, 해수면온도와 해상풍의 경험적 직교함수 분석, *한국수산학회지* 30(2):188-202.
- [12] Yanagi, T., 1987. Classification of 'siome' streaks and fronts, *Journal of Oceanogr. Soc., Japan*, 43:149-158.