

위성자료와 경험직교함수를 이용한 제주도 주변해역의 중국대륙연안수 영향 연구

윤홍주*† · 조한근* · 안유환**

부경대학교 위성정보과학과*, 한국해양연구원 해양위성연구단**

Influence Analysis of China Coastal Water in the Seas Surrounding Jeju Island using Satellite Data and Empirical Orthogonal Function Analysis

Hong-Joo Yoon*†, Han-Keun Cho*, and Yu-Hwan Ahn**

Department of Satellite Information Sciences, Pukyong National University*

Ocean Satellite Research Group, KORDI**

Abstract : China Coastal Waters (CCW) usually appears in the seas surrounding Jeju Island annually (June to October) and is very pronounced in August. Generally, low-salinity water appears to the western seas of Jeju Island from June through October and gradually propagates to the eastern seas, where CCW meets the Tsushima Current. Empirical orthogonal function (EOF) analysis of SLAs and SSTs indicated that the variance in SLAs and SSTs was 95.05% (the first mode to third mode) and 98.09% (the first mode), respectively. The PSD of the western waters for the first mode of EOF analysis of SLAs was stronger than that of the eastern waters because of the influence of CCW. The PSD for the EOF analysis of SSTs was similar in all areas (the Yangtze Estuary and the seas to the west and east of Jeju Island), with a period of approximately 260 days.

Key Words : CCW, EOF, Harmonic analysis, PSD, Salinity, SLA, SST.

요약 : 중국 대륙연안수(CCW; China Coastal Waters)는 해에 따라 다소 다르지만 보통 하계인 6월~10월 사이에 제주도 주변해역에서 두드러지게 나타난다. 즉, 6월에 나타나기 시작하여 8월에 가장 큰 영향을 미치며 10월로 접어들면서 그 세력이 점차 소멸해간다. 해수면편차와 해수면온도의 경험직교함수 분석 결과 해수면편차는 1~3모드가 총 분산의 95.05%를 차지하였고, 해수면온도는 1모드가 총 분산의 98.70%를 차지하였다. 해수면편차 경험직교함수분석의 첫 번째 결과에 대한 파워스펙트럼분석에서는 중국대륙연안수에 의한 영향으로 동쪽해역보다 서쪽해역이 43일 주기의 세력이 더 강하게 나타났다. 해수면온도에 대해서는 양자강 하구를 비롯한 제주도 동쪽·서쪽해역의 주기가 모두 260일 주기가 나타남으로서 중국대륙연안수는 43일, 120일 등의 짧은 주기 보다는 비교적 장주기라 할 수 있는 260일 주기에 더 큰 영향을 미쳤다.

2005년 8월 24일 접수 ; 2005년 12월 20일 수리.

† 교신저자: 윤홍주(yoonhj@pkn.ac.kr)

1. 서론

제주도 주변해역은 기본적으로 제주도 남쪽 해역에서 북상하는 대만난류수의 영향을 받고(Rho, 1985), 제주도 해협의 북쪽에는 한국 남해안 연안수가 영향을 미치며(Choi, 1989) 그리고 하계 표층은 고온 및 저염인 중국 대륙연안수의 영향을 받는다(Kim and Rho, 1994). 이처럼 제주도 주변 해역은 다양한 이질 수괴가 출현하고 이들 이질 수괴의 경계역엔 계절에 따라 복잡한 해양학적 특성이 나타난다(Yang *et al.*, 1998). 또한 한국 남서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선은 동계에는 대만난류 및 황해난류, 황해냉수, 한국 남서해 연안수 등이 출현하고, 하계에는 고온 저염의 중국대륙연안수가 표층을 점유하면서 중·저층에는 황해 저층 냉수, 한국 남서해 연안수, 대만난류 등이 출현하여 이러한 이질 수괴들이 시기와 계절별로 서로 상접하여 복잡한 해황을 형성한다(Kim, 1995; Nakao, 1977; Rho, 1985; Kim and Rho, 1994; Zhang *et al.*, 1996).

이러한 외해역 환경에 영향을 받는 제주도 연안 천해역의 환경은 이들 수괴의 세력변화에 의해 크게 좌우되지만 이외에도 제주도의 강수량, 기온, 북서계절풍 등과 같은 기상 상태나 육수 유입, 파랑, 조석 상태 등에 의해서도 시·공간적 차가 생길 수 있다. 그 중 양자강 배출수가 주 원인이 되는 중국대륙연안수는 하계가 되면 동중국해를 거쳐 확장해 오기 때문에(宇田, 1934, 1936; 井上, 1974) 제주도 주변해역은 물론 한국 남해 및 동해 남부해역까지 염분을 매우 저하시키고, 해수면의 높이를 상승시키는 것으로 알려져 있다(Kang, 1971, 1974; Lim, 1976; Moriyasu, 1972). 중국대륙연안수의 흐름에 관해서는 宇田(1936)등에 의해 동중국해 해류계와 표층염분분포로부터 동중국해에서 연안수의 이동경로가 추정되었고, 또 Beardsey *et al.*(1983), Le(1983), Limeburner *et al.*(1983) 등은 양자강 배출수는 처음에는 중국대륙연안을 따라 남쪽으로 흐르다가 대만해류수와 혼합된 후에는 그 방향을 바꾸어 제주도 방향인 북동쪽으로 흐른다고 했다.

본 연구에서는 위성자료와 현장자료간의 비교를 통하여 위성자료의 객관성을 증명하고, 중국대륙연안수의 관측에 위성자료의 활용가치를 제시하였다. 또한 경험

직교함수를 통하여 제주도 주변해역에서의 중국대륙연안수가 갖는 시간 및 공간적인 변화양상을 파악하였다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구의 대상 해역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 양자강 하구에서부터 한국 남해 및 제주도 주변해역이다. 이 해역은 쿠로시오 해류, 양자강 저염분수 그리고 황해냉수의 영향을 받는 지역이며 북위 31°~35°, 및 동경 120°~129°의 범위에 위치한다. 본 연구에서는 편의상 임의로 제주도를 중심으로 서쪽 해역을 *Je_W*(33° 00' N~34° 00' N; 125° 00' E~126° 00' E), 동쪽 해역을 *Je_E*(33° 00' N~34° 00' N; 127° 00' E~128° 00' E)로 구분하였다. 그리고 station a, station b, station c, station d에서 각각 해수면높이, 해수면온도, 염분의 시계열변화를 조사 하고 해수면변화와 해수면온도에 대해서 경험직교함수 분석을 하였다.

계절에 따른 수괴의 변화양상을 규명하기 위해 수괴의 특성을 나타내는 해수면편차자료와 해수면온도자료를 이용하여 조화분석을 행하였다. 조화분석은 Kang and Jin 및 Jo *et al.* 의 방법을 사용하였다. 즉, 해수면편차와 해수면온도에 대한 각각의 조화함수를 $X(t)$ 라고 하면,

$$X(t) = \bar{X} + X_1 \cos(\omega_1 t - \phi_1) + X_2 \cos(\omega_2 t - \phi_2)$$

\bar{X} 는 평균, X_1 과 X_2 는 연 변화 및 반년변화의 진폭, ω_1 와 ω_2 는 연 변화 및 반년변화의 각속도, ϕ_1 와 ϕ_2 는 연 변화 및 반년변화의 위상 그리고 t 는 조사간격을 나타낸다. 이 조

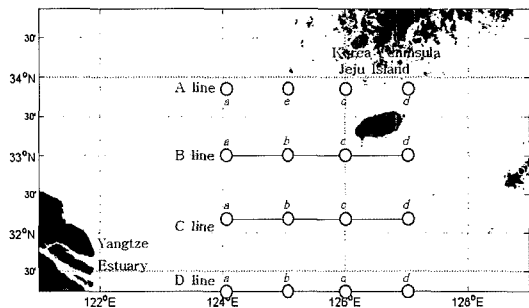


Fig. 1. Map shows the studied area.

화분석 방법은 시계열 자료가 일정하게 분포하지 않더라도, 수온 및 염분에 대한 계절 변화를 잘 나타낼 수 있다.

해양에서는 여러 원인들이 복합적으로 작용하여 하나의 원인에 의한 효과를 분리해 내기가 용이하지 않다. 이 때 가장 편리하게 사용될 수 있는 방법이 경험직교합수 분석법이다. 경험직교합수분석은 시계열 자료로부터 직교 함수를 검출하는 것으로서 다수의 직교 함수를 동시에 계산하고, 하나의 모드에 해당하는 공간 구조가 일정하기 때문에 진폭의 시간변화만을 알 수 있다. 이 방법의 장점은 시간 및 공간적인 변화 양상을 동시에 볼 수 있다는 점이다.

연구기간은 1995년부터 1999년에 걸쳐서 조사를 수행하였는데 그것은 1996년에 이례적으로 제주도 서부 해역에 대체로 30.0 psu 이하의 폭넓은 저 염분역이 형성되었으며, 저 염분 코어(core)는 제주도 서쪽 약 30해리 지점에서 20.0이하로 나타났다. 그리고 1998년에는 중국 대홍수로 인하여 양자강 유역에 주요 우기(6월~8월) 동안 700 mm~900 mm를 기록하였으며, 또한 1999년에도 6월에 중국양자강 유역에 400 mm 이상의 폭우가 내리기도 하였다. 따라서 이 기간 동안의 해수면 편차, 해수면 온도 그리고 염분의 시계열 변화와 염분의 월별 분포(4월, 6월, 8월, 10월)를 조사했다. 또한 해수면 편차와 해수면온도의 시간 및 공간적인 변화양상을 경험직교합수에 의해 분석하였다.

위성자료로서 본 연구에 사용한 해수면편차자료는 프랑스 CNES/AVISO에서 제공하는 약 $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ 으로 보정된 Topex/Poseidon의 고도계자료로서 85번 사이클부터 268번 사이클의 자료를 사용하였고, 위성자료와 현장자료간의 비교를 통해 중국대륙연안수 관측에 있어 위성자료의 객관성을 검증하였다. 이때 위성 해수면이란 위성이 제공해주는 해수면자료를, 현장자료란 연안정지관측 지점에서 얻어진 해수면자료를 말한다. 해수면온도 자료는 NOAA/AVHRR(약 $0.17^{\circ} \times 0.17^{\circ}$)의 자료를 사용하였고, 위성자료와 비교를 위해 사용한 현장자료는 연안정지관측지점에서 얻어진 수온 자료이다. 현장관측 자료인 염분자료는 국립수산과학원의 해양관측정선 중 제주도 주변 해역에 위치하고 있는 203~209 라인 그리고 311~316 라인에서의 표층 염분자료를 각각 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 해수면편차(Sea Level Anomaly)

Topex/Poseidon 위성 고도레이더로부터 관측된 해수면과 제주도주변해역의 조위계에서 관측된 해수면을 비교하여 두 자료의 연계성을 분석하고 위성에서 관측된 해수면자료의 객관성을 검증하여 본 연구에 Topex/Poseidon(T/P) 위성 고도계자료를 사용하는 데에 있어 타당성을 증명하였다. 따라서 국립수산과학원의 연안정지관측지점에서 관측한 조위 값($33^{\circ} 45' N$, $126^{\circ} 32' E$) 자료와 비교하였다.

비교 위치는 조위관측소와 가장 가까운 Fig. 2의 station 1, station 2, station 3지역과 비교하였다. 각 지점의 상관 값은 각각 0.70, 0.66, 0.75의 값을 보였다 (Table 1). 여기서 하나 주시할 점은 AVISO에서 보정되어 나온 자료이지만 조위관측소와 가장 가까이에 있는 station 2 보다 station 3이 더 높은 상관 값을 보인다는 것이다. 그것은 고도계 위성자료는 육지와 연안 지역의 영향을 받지 않은 원해(외해) 해역으로 나아갈수록 일치도가 높아지기 때문이다. 이 차이는 M2, S2, K1 분조 등

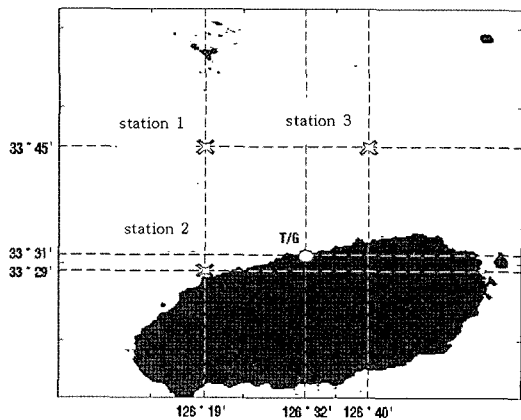


Fig. 2. Tide Gauge station (●) and T/P station (×).

Table 1. Correlation coefficient between tide gauge and Topex/Poseidon

	①	②	③
1995~1999	0.70	0.66	0.75

에 의한 조석 변형 때문에 발생하는 현상이며, 육지와 연안 지역의 영향을 받지 않은 원해(외해) 해역으로 나아갈수록 고도계 위성자료의 정확도가 높았다. 각 station의 현장관측지점에서부터 거리는 station 1은 35.03 km, station 2는 24.11 km, station 3은 29.56 km 이다.

2) 해수면온도(Sea Surface Temperature)

NOAA AVHRR에서 관측된 해수면온도와 제주도 주변해역의 연안정지관측지점에서 관측된 해수면온도를 비교하였다. 비교 위치는 조위관측소와 가장 가까운 Fig. 4의 마라도와 우도이다. 해수면편차자료와는 다르게 현장관측 값과 위성자료의 값이 거의 일치하게 나타났다. 각 위치의 상관값은 마라도에서 0.93, 우도에서 0.95의 높은 상관 값을 나타냈다.

위성자료와의 비교에서 해수면편차와 현장관측 값과의 상관계수가 해수면온도에서보다 낮게 나타나는 것은 고도계 위성자료는 거의 균일한 분포를 보이는 반면, 현장관측 값은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 불규칙한 에러 값들이 많이 존재하기 때문인 것으로 생각된다.

3) 해수면편차와 해수면온도의 조화분해

제주도 주변해역의 계절 변화를 보기 위하여 해수면 편차와 해수면 온도에 대한 조화분석으로부터 구한 연진폭 및 연 위상을 Fig. 6에 각각 나타내었다.

제주도 동부해역(*Je_E*)의 해수면 편차의 진폭은 13 cm이며, 이때의 위상은 267°(8월 말)이고, 서부 해역(*Je_W*)의 진폭은 8~9.5 cm이며, 이때의 위상은 275°(9월 초)로서 동부해역(*Je_E*)이 서부 해역(*Je_W*)보다 약 8일 정도 빠르게 나타난다.

제주도 동부해역(*Je_E*)의 해수면 온도의 진폭은 5.5~6 °C로 나타났으며 이때의 위상은 보통 242°(8월 초)이다. 제주도 서쪽해역(*Je_W*)의 해수면온도의 진폭은 7~8.5 °C이며, 이때의 위상은 236°(7월 말)이다. 따라서 제주도의 동부해역(*Je_E*)이 서부해역(*Je_W*)보다 해수면 온도가 약 6일 정도 늦게 나타난다(Table 3).

동부해역과 서부해역의 해수면편차 값과 해수면온도 값의 위상이나 진폭 값이 서로 다르게 나타나고, 제주도 동부 해역과 서부해역에서의 해수면 편차는 해수면 온도보다 약 한 달 정도 늦게 최대 값이 나타나는 것은 동

쪽해역은 쿠로시오해류에 의한 영향으로 서쪽해역은 중국대륙연안수에 의한 영향으로 두 수괴의 다른 특성 때문에 생긴 것으로 보인다.

4) 염분

전 조사기간의 염분 분포 중 1996년의 염분이 제주도 서남쪽 부분에 가장 낮게 분포하였다. 그 시기는 6월(32 psu)부터 낮아지기 시작하여 8월(22 psu 이하)에 가장 낮았고, 그 후 10월(31 psu)로 접어들면서 다시 염분이 높아졌다. 다른 해도 마찬가지로 1996년의 8월만큼 낮은 염분농도를 보이지 않았지만 보통 1996년과 같이 제주도의 서남해 해역이 6월부터 염분이 낮아지기 시작하여 8월에 가장 낮은 염분 분포를 보이다가 10월에 다시 염분이 높아지는 것을 보였다. 따라서 제주도 주변해역에서의 중국대륙연안수는 6월에 출현하기 시작하여 8월에 가장 큰 세력을 나타냈다가 10월로 접어들면서 그 세력이 점차 소멸하는 것으로 추정되었다.

1996년의 4월 부터 10월까지 제주도 주변해역의 염분 분포를 Fig. 7에 나타냈다. 그 중 1996년 8월은 다른 해보다도 서쪽 해역과 동쪽해역의 염분의 차가 약 9 psu 정도 낮은 염분분포를 보였다.

해마다 그 위치가 정확하게 같지는 않지만 대개 제주도 서남쪽 해역에서부터 염분농도가 낮아지기 시작하는 것을 발견하였다. 즉 중국대륙연안수는 제주도 서남쪽 해역을 입구로 하여 우리나라의 남해에 들어오는 것으로 볼 수 있다.

염분농도의 분포가 서쪽해역부터 중국대륙연안수의 영향이 나타나서 동쪽으로 진행되는 형상을 보이며, 제주도 동쪽 해역과 남해안으로 진행하면서 제주도 동쪽으로 흐르는 쿠로시오 영향으로 점차 그 세력이 약해져갔다.

Table 4에 1995년부터 1999년까지의 6월, 8월, 10월의 제주도 서쪽해역과 동쪽해역의 최저염분을 나타냈다. 이 표에서 알 수 있는 것처럼 제주도의 서쪽해역은 동쪽해역보다 대체로 1~3 psu 정도의 낮은 염분 분포를 보임으로서 동쪽해역보다 서쪽해역이 중국대륙연안수의 영향을 더 받았다.

5) 태풍과 중국대륙연안수의 관계

1996년과 마찬가지로 1998년과 1999년은 양자강 유역에 많은 강수가 있었음에도 불구하고 1996년과 같은

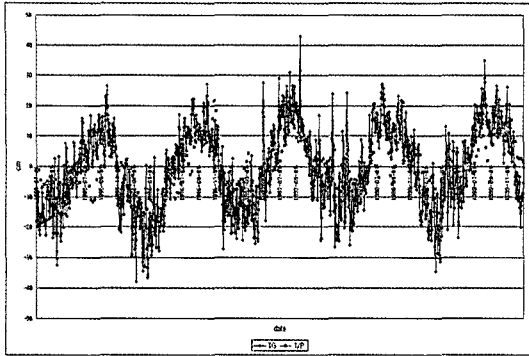


Fig. 3. Comparison between tide gauge sea levels and Topex/ Poseidon sea levels.

Table 2. Correlation coefficient between in-situ and NOAA

	marado	wodu
1995~1999	0.93	0.95

Table 3. Harmonic Analysis of SLA and SST

		SLA	SST
Je_E	Amplitude	Over 13cm	5.5~6°C
	Phase	267°(the end of August)	242°(the early of August)
Je_W	Amplitude	8~9.5cm	7~8.5°C
	Phase	275°(the early of September)	236°(the end of July)

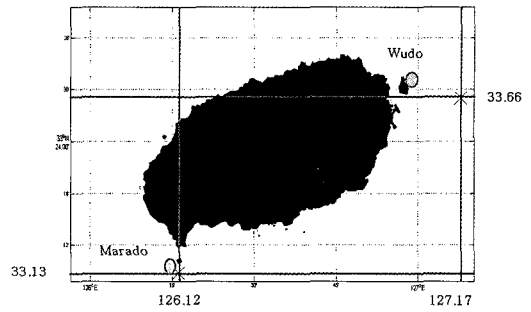


Fig. 4. In-situ SST station (●) and NOAA SST station (×).

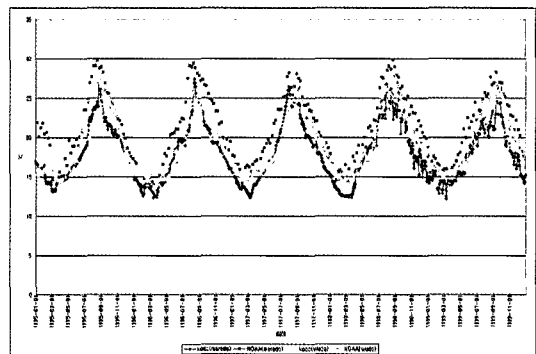


Fig. 5. Comparison between in-situ(marado and wudu) and NOAA.

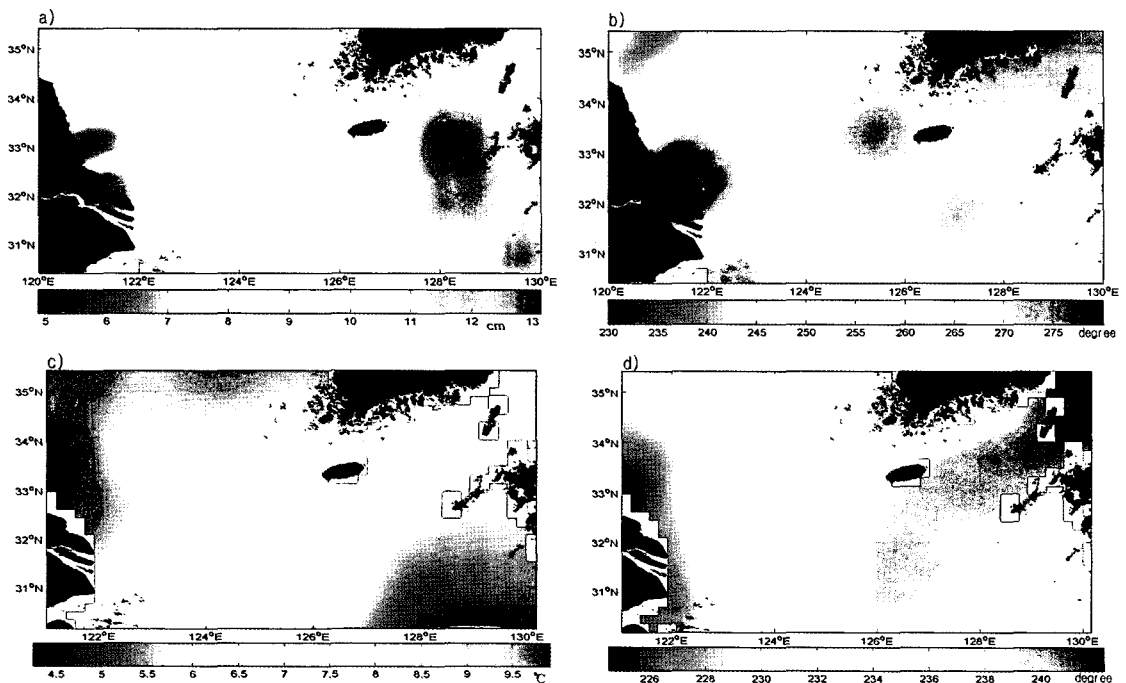


Fig. 6. Harmonic analysis of SLA and SST, a) SLA annual-amplitude, b) SLA annual-phase, c) SST annual-amplitude and d) SST annual-phase.

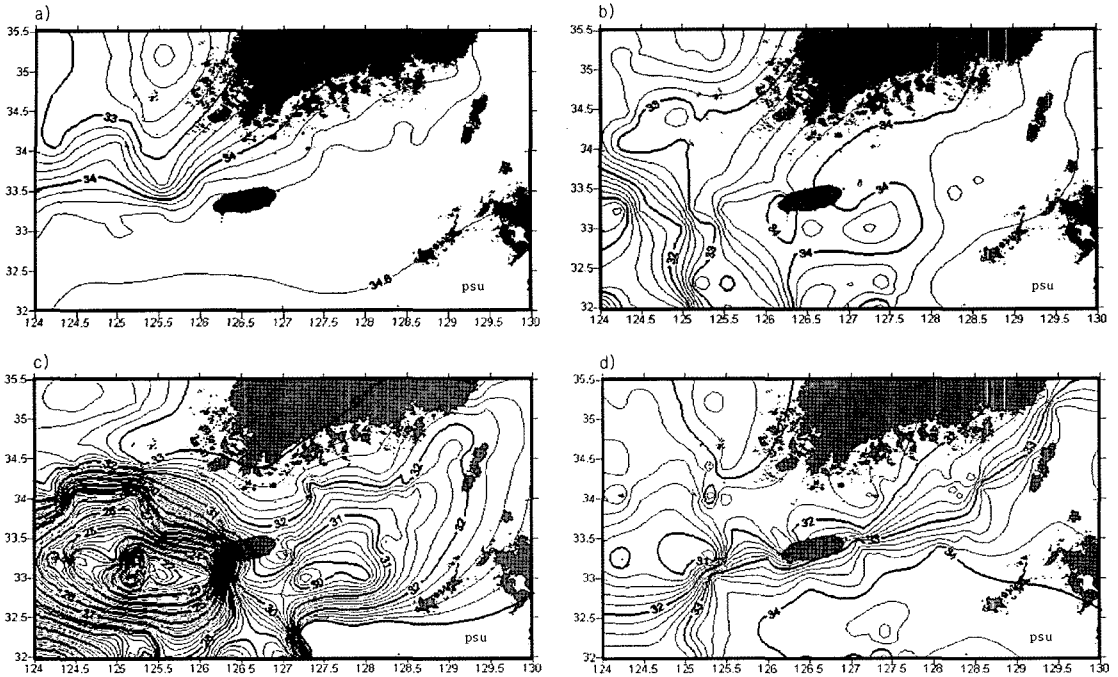


Fig. 7. Distribution of salinity in 1996, a) April, b) June, c) August and d) October.

Table 4. Distributions of salinity in 1996(psu)

	June		August		October	
	Je_W	Je_E	Je_W	Je_E	Je_W	Je_E
1995	32.0	33.8	28.0	28.0	31.0	33.0
1996	32.0	34.0	22.0	30.0	31.0	34.0
1997	30.0	32.0	30.0	32.0	31.8	33.0
1998	33.0	31.8	28.0	31.0	31.0	33.0
1999	31.8	34.0	28.0	33.0	32.0	32.0
Mean	31.8	33.1	27.2	30.8	31.4	33.0

제주도 주변해역에 큰 피해를 주지 않았다. 이러한 원인으로서는 여름철 기상요인인 바람이나 태풍에 의한 영향으로 보고 각 해에 우리나라에 미친 태풍의 현황을 기상

청 자료에서 비교한 결과 제주도 주변해역에 미치는 양자강 수는 태풍에 큰 영향을 받고 있었다.

Table 5는 연도별 태풍 발생 및 우리나라에 영향을 미친 태풍현황을 나타낸 표이다. 표에서 보듯이 1996년 7월과 8월에 우리나라에 영향을 미친 태풍은 각각 1건씩이었으며 1998년에는 7월에 1건, 8월에 3건이었다. 또한 1999년에는 7월에 1건, 8월에 2건이었다. Fig. 7.의 8월과 10월의 염분분포도에서 알 수 있는 것처럼 태풍 발생수가 적었던 8월에는 제주도 서남쪽 해역에서 22 psu 이하의 염분을 나타냈다가 10월에는 32 psu 이상의 값을 나타낸다. 1996년의 9월 태풍발생 수는 8월보다 훨씬 많은 6건이었으므로 8월과 10월 사이의 염분 값이 크

Table 5. Number of typhoons which influenced the area between the Yangtze River watershed and Jeju Island (KMA)

Year \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	total
1995				1		1	2(1)	6(1)	5(1)	6	1	1	23(3)
1996		2		1	2		5(1)	6(1)	6	2	2	1	26(1)
1997				2	3	3(1)	4(1)	6(2)	4(1)	3	2	1	28(5)
1998							1	3	5(1)	2(1)	3	2	16(2)
1999				2		1	4(1)	6(2)	6(2)	2	1		22(5)

*() shows the occurrence of typhoon in the Korean peninsula.

게 차이가 나는 것은 태풍에 의한 영향으로 생각된다.

6) 해수면편차, 해수면온도, 염분의 시계열 변화

Fig. 8, 9, 10은 해수면편차, 해수면온도, 염분농도의 시계열 변화이다. 시계열 변화의 관측 위치는 제주도주변해역인 A~D line의 station a~station d이다. B line의 a point는 관측 지점이 없어 제외하였다. 조사 대상지점에서 해수면편차와 해수면온도는 뚜렷한 연 주기를 보이면서 계속해서 높아지는 값을 나타냈다. 반면 염분농도는 값의 변화가 거의 없었다.

염분의 시계열에서 보는 것처럼 1996년의 B line의 b point와 c point의 염분 값이 가장 낮다. 하지만 d point의 염분 값은 약 30.5 psu 의 값을 나타냈다. 이것은 1996년에 station b와 station c는 중국대륙연안수의 영향을 받았지만 station d의 위치에서는 중국대륙연안수의 영향을 거의 받지 않았다는 것이다. B line의 1995년에는 station b와 station c의 염분은 약 30 psu의 값을 나타내는 반면 station d에서는 약 27 psu의 값을 나타냈다. 따라서 중국대륙연안수가 해마다 제주도 주변해역을 향해 진행하지만 그 진행 경로는 해마다 다르게 진행하였다.

또한 태풍에 의한 영향에서 알 수 있듯이 양자강 저염수의 이동에 영향을 미치는 요인 중 하나는 바람에 의한 것으로 사료된다. 그 이유는 양자강 저염수가 흐르는 해역이 비교적 수심이 얇고 해류가 강하지 않아서 바람의 영향이 미칠 것으로 생각된다. 따라서 위성에 의한 정확한 바람자료를 확보한다면 양자강 저염수의 이동경로를 좀더 정확하게 알 수 있을 것이며, 실시간적인 자료의 제공을 통해 제주도 주변해역에 도달하는 시기를 파악할 수 있을 것이다.

7) 경험직교함수에 의한 해수면 편차와 해수면 온도의 형태와 원인 분석

경험직교함수를 통해서 조사기간 동안 해수면편차와 해수면온도의 시간 및 공간적인 변화양상을 분석하였다. 각 모드별 주성분들을 통해서 중국연안과 제주도 주변해역에서 나타나는 요인들을 조사하였다.

(1) 해수면 편차

이 지역의 해수면 변화의 형태와 그 원인에 대해서 연구하기 위해 해수면 편차 자료를 경험직교함수를 통

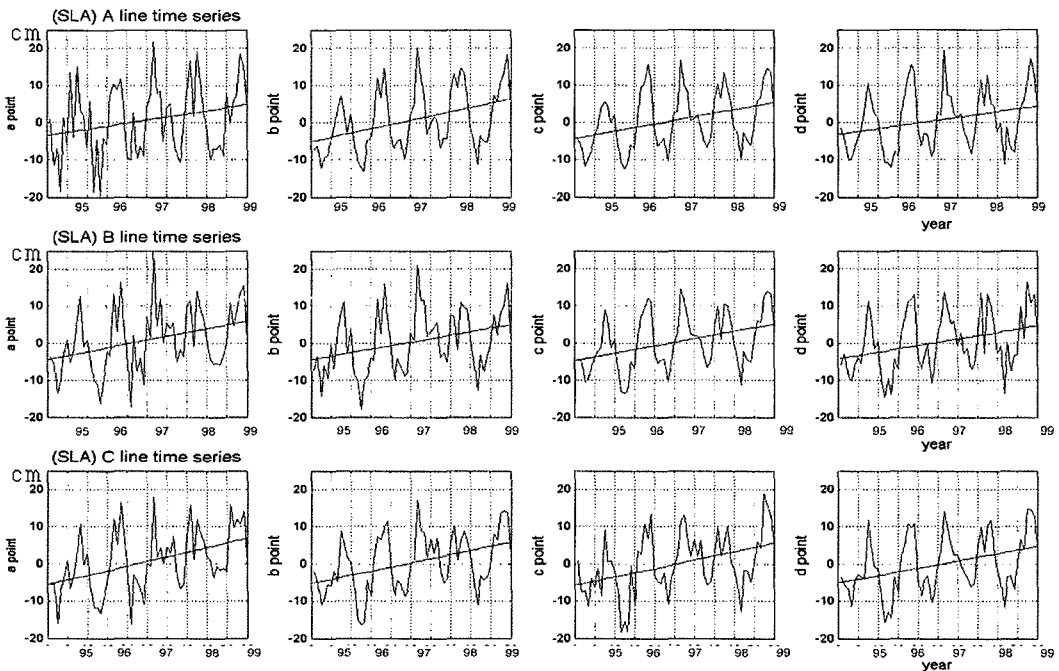


Fig. 8. Time series of SLA.

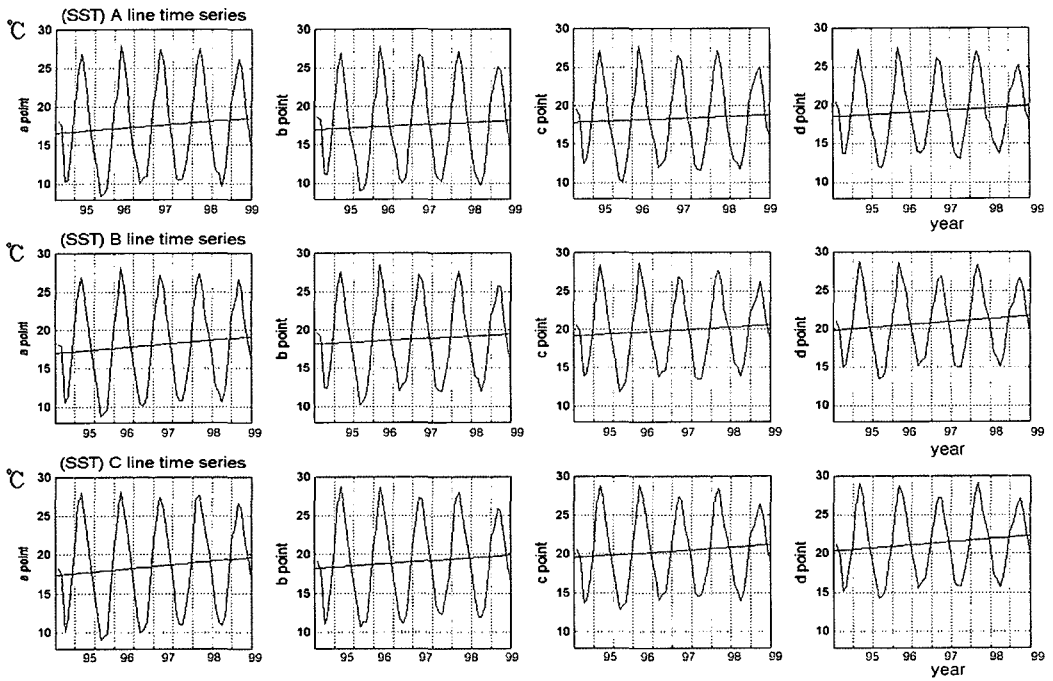


Fig. 9. Time series of SST.

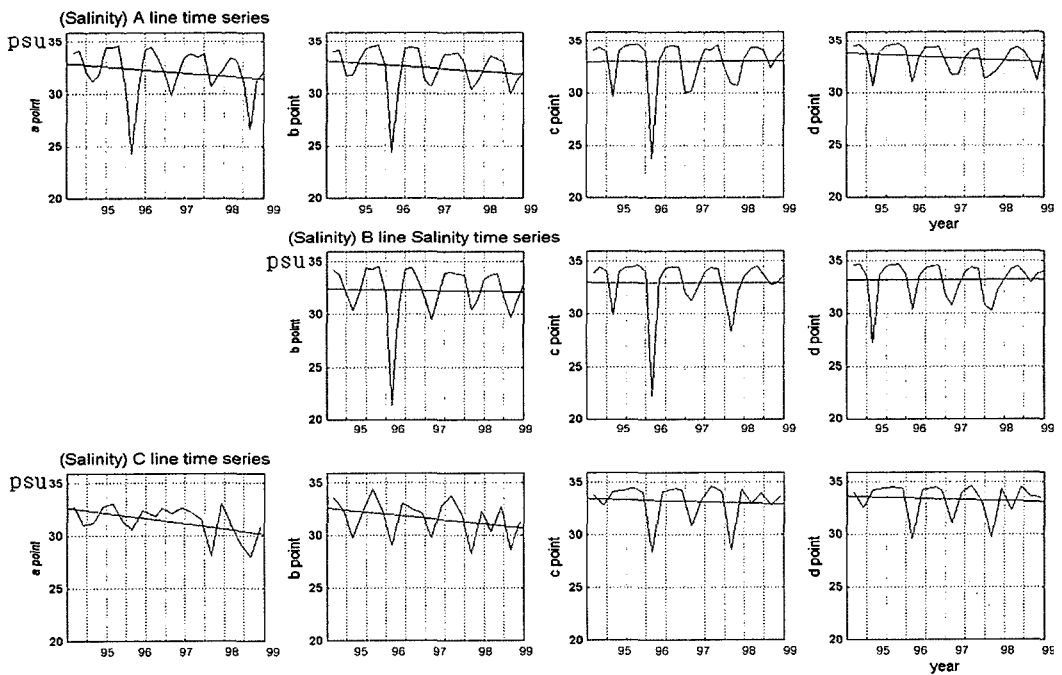


Fig. 10. Time series of salinity.

하여 분석하였다. 제 1 모드, 제 2 모드, 제 3 모드는 각각 총 분산의 55.70%, 26.22%, 13.13%를 차지하였다. 1~3 모드까지의 누적 분포가 총 분산의 95.04%를 차지하고 있어서 연구해역의 해수면 변화는 대략 이 3개의 모드로 설명할 수 있다.

Fig. 11의 (a), (b), (c)는 총 분산의 57.70%를 차지하는 제 1모드의 공간패턴, 스펙트럼분석, 시간계수의 누년월 평균이다. (a) 그림에서처럼 이 해역에서 가장 크게 영향을 미치는 요인으로는 중국연안에서 발생하는 연안수에 의한 것이었다. 다른 해역에서의 값들에 비해 중국연안에서 월등히 높은 값이 나타났다. 또한 스펙트럼 분석에서 43일 주기의 변화가 가장 강하게 나타난다. 따라서 이 43일 주기는 중국연안에서 발생하는 현상으로 인한 주기로 볼 수 있다. (c)는 시간계수의 누년 월 평균에서는 1월 달에는 낮은 변화 값을 2월에는 높은 변화 값을 보이면서 43일 정도의 주기를 보이면서 반복적으로 홀수 달에는 낮은 값을 짝수 달에는 높은 값을 갖는다. 이러한 변화의 요인으로는 중국대륙연안수 외의 다른 해양학적이나 기상학적 원인에 의해 보여지는 것으로 생각된다.

Fig. 12는 총 분산의 26.22%를 차지하는 제 2 모드를 나타낸다. (a)의 공간분포에서 제 1 모드와 마찬가지로 중국연안에서 가장 높은 값이 나타났고 그 외에 제주도 주변해역에서 제 1 모드에서 나타나지 않던 값들이 나타났다. 한국 남해에서는 남해안 연안수에 의한 영향을 보이고 서 남부해역에서는 황해 냉수에 의한 영향을 보였다. 제 1 모드에서 강하게 나타났던 43일 주기의 세기가 떨어지면서 120일 주기, 260일 주기가 나타난다. 이러한 주기는 한국 남해안 연안수, 황해냉수, 쿠로시오해류 등과 관련 있을 것으로 사료된다. 해수면 편차의 공간패턴에서도 양자강 하구의 변화 값이 작은 값을 보이면서 다른 해역에서의 변화가 나타난다. 시간계수의 누년 월 평균에서는 43일 주기변화를 보이면서 연 변화와 비슷한 주기를 갖는다(Fig. 12(c)). 또한 3월에 큰 변화 값을 보이고 9월과 10월 사이에 작은 변화 값을 보인다.

Fig. 13은 총 분산의 13.12%를 차지하는 세 번째 모드이다. 이 모드에서도 공간분포는 중국연안에서 높은 값들이 나타났다. 따라서 전체 모드에서 가장 큰 영향을 미치는 것은 중국연안에서 발생하는 연안수의 영향으로 볼 수 있다. 그 외의 현상들은 제주도 동남해 부분에

서 쿠로시오 해류에 의한 것으로 생각되는 값들이 나타났다. 시간계수의 누년 월평균은 43일 정도의 주기를 나타내면서 약 3월쯤에 작은 변화 값을, 9월과 10월 사이에 큰 변화 값을 보이는 전형적인 연주기를 볼 수 있다(Fig. 13(c)). 이러한 연주기 적인 변화의 원인으로는 쿠로시오에 의한 영향이 가장 큰 것으로 사료된다.

(2) 해수면온도

해수면온도에 대한 경험직교함수의 결과는 제 1 모드가 총 분산의 98.70%를 차지하고 있어서 연구해역의 해수면온도 변화는 첫 번째 모드만으로 설명할 수 있다.

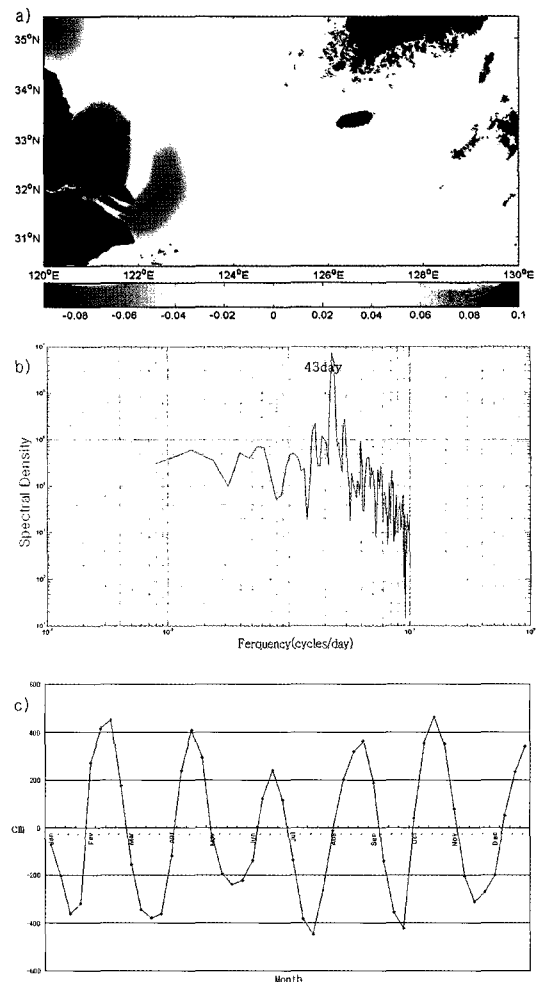


Fig. 11. First mode of SLA (55.70%), a) spatial pattern, b) PSD for the time coefficient and c) mean first mode of SLA.

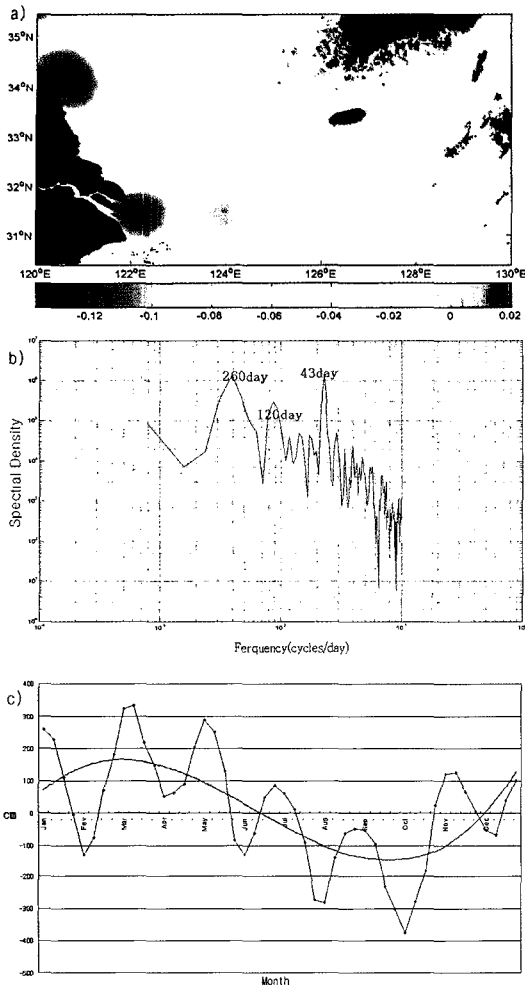


Fig. 12. Second mode of SLA (26.22%), a) spatial pattern, b) PSD for the time coefficient and c) mean of the time coefficient.

Fig. 14는 경험직교함수를 통한 제 1 모드 해수면온도의 결과이다. 공간분포(a)는 제주도를 기준으로 동쪽과 서쪽해역으로 크게 구분해서 나타났다. 서쪽해역은 낮은 값을 동쪽해역은 높은 값을 보였다. 이것은 고온의 쿠로시오해류에 의한 영향으로서 동쪽해역에서는 높은 값을 보인다. 상대적으로 서쪽해역이 낮은 수심으로 인한 대기와의 열 교환에 의해서 동쪽해역 보다 낮은 값을 보인다. 시간계수 변화에서 보듯이 경험직교함수를 통한 해수면온도변화의 제 1 모드는 연 주기 성분을 보이고 있다(Fig. 14(c)). 260일 주기가 나타나는 것은 이 지역이 쿠로시오 해류에 의한 영향 외에 다른 원인들로 인

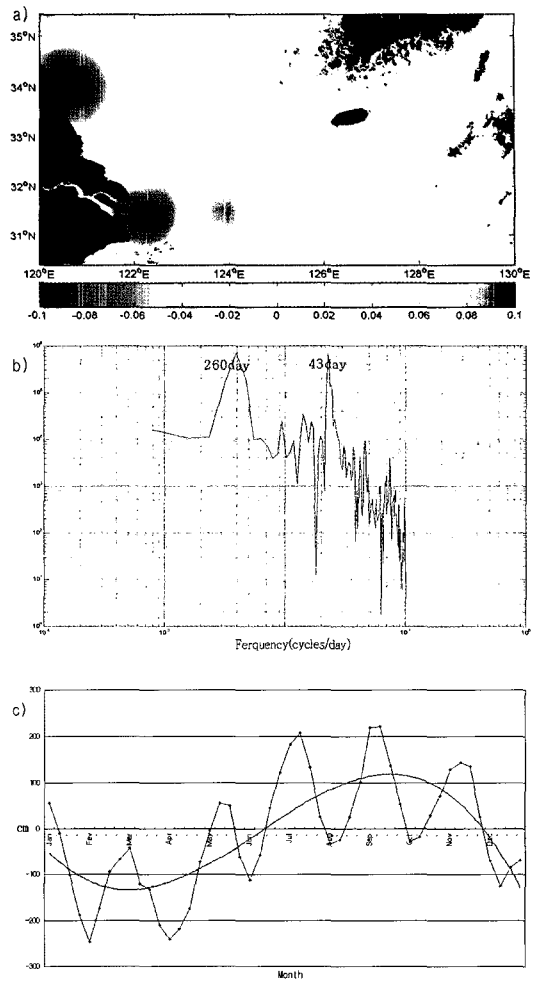


Fig. 13. Third mode of SLA (13.12%), a) spatial pattern, b) PSD for the time coefficient and c) mean of the time coefficient.

하여 260일 정도의 주기가 나타난다고 생각된다. 다른 원인들로는 중국대륙연안수나 황해 냉수 등을 생각할 수 있다. 시간계수의 누년 평균값은 연 주기 변화를 보이면서 3월, 4월에 높은 변화 값을, 9월, 10월에 낮은 변화 값을 나타내고 있다.

(3) 경험직교함수를 통한 양자강하구와 제주도 주변 해역의 해수면편차와 해수면온도의 비교

경험직교함수분석을 통해 나타나는 260일과 43일 주기성분을 알아보기 위해 주기분석범위를 양자강하구(A)와 제주도 서쪽해역(B)과 제주도 남동쪽(C)해역으로

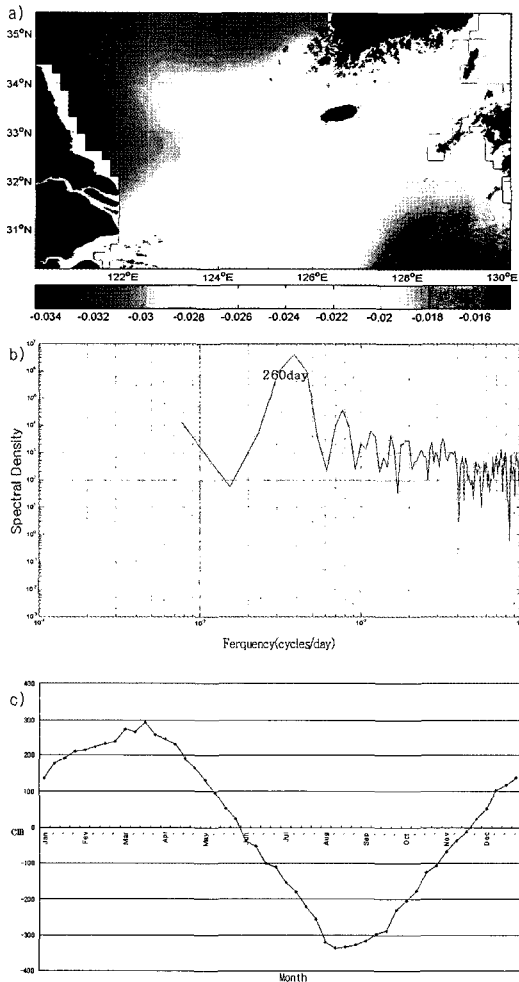


Fig. 14. First mode of SST (98.70%), a) spatial pattern, b) PSD for the time coefficient and c) mean of the time coefficient.

제한하여 분석하였다. 따라서 Fig. 15에서처럼 임의로 A, B, C 해역으로 구분하여 각 해역에서의 스펙트럼분석 값을 비교하였다.

A 해역, 즉 양자강 하구에서는 43일 주기가 강하게 나타났고, B 해역에 해당하는 제주도 서쪽해역에서는 260일 주기, 120일 주기 43일 주기가 나타났으며, C 해역인 제주도 동쪽해역에서는 제주도 서쪽해역과 비슷한 주기가 나타났지만 120일, 43일 주기의 세력이 약하게 나타남으로서 제주도 서쪽해역이 동쪽해역에서보다 중국대륙연안수의 영향을 더 크게 받았다(Fig. 16). 그 결과 양자강 하구에서 가장 강하게 나타나는 43일 주기가

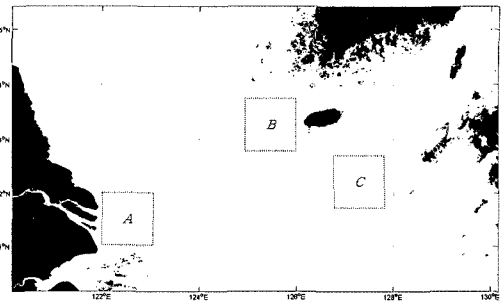


Fig. 15. Areas A, B and C show Yangtze estuary, the western part of Jeju island and the Eastern part of Jeju island, respectively.

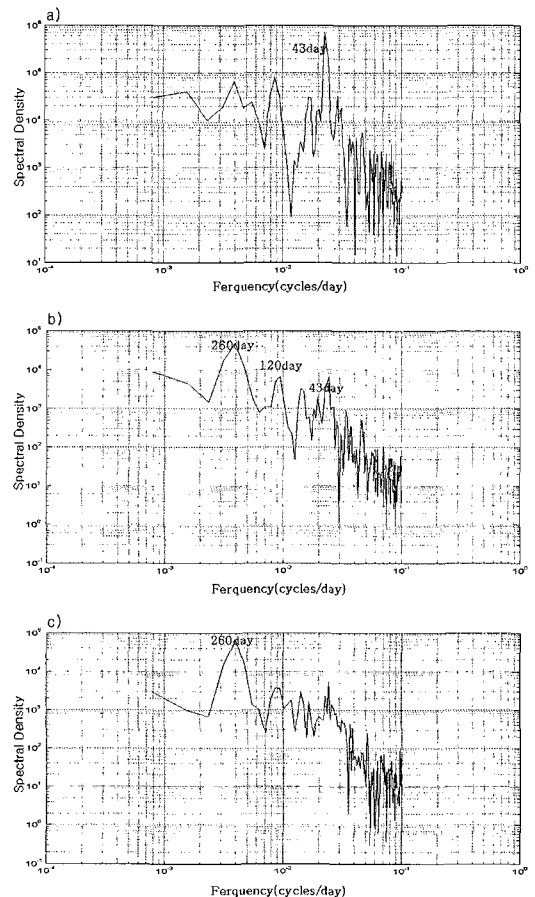


Fig. 16. PSD of SLA in a) Yangtze estuary, b) the left side water of Jeju Island and c) the right side water of Jeju Island.

연안수에 의해 나타나는 것임을 확인 하였다.

해수면온도에 대한 스펙트럼결과에서는 Fig. 16에서

4. 결론

본 연구에서는 위성자료(해수면편차, 해수면온도)와 현장관측자료(염분)를 사용하여 중국대륙연안수가 제주도 주변해역에 미치는 영향을 알아보았다.

우선 해수면편차와 해수면온도를 현장관측 값과 비교하여 자료의 타당성을 검증하였고 염분 값의 분포(4월, 6월, 8월, 10월)를 통해 중국대륙연안수의 출현 및 소멸시기를 조사하였다. 마지막으로 경험직교합수를 통해 각 모드별 주 성분들을 조사하였고 각 모드에서의 주기를 분석함으로써 위성자료를 통한 중국대륙연안수의 관측에 위성자료의 활용가치를 제시하였다.

고도계자료와 해수면온도의 위성자료를 현장관측 값과 비교한 결과 각각 0.66~0.75와 0.93~0.95 정도의 상관값이 나타났다. 해수면편차 값과의 비교에서 현장관측 값의 에러 값들 때문에 0.66~0.75의 상관값이 나타났지만 에러 값들에 대한 보정만 이루어진다면 더 높은 상관값이 나타날 것으로 보인다. 따라서 중국대륙연안수의 관측에 있어 위성자료를 이용한다면 좀더 쉽고 빠르게 조사를 할 수 있을 것이다.

이 해역에서의 계절변화를 보기위하여 해수면편차와 해수면온도에 대해 조화분해를 실시하였다. 해수면편차의 조화분해에 의한 분포는 제주도 동부해역의 진폭 값이 서부해역의 진폭 값보다 약 5 cm 정도 높았고, 연 위상은 동부해역이 서부해역보다 약 8° 정도 빠르게 나타났다. 해수면온도의 조화분해는 제주도 동부해역의 진폭 값이 서부해역의 진폭 값보다 약 2 °C 정도 낮은 값을 보였고, 연 위상은 동부해역이 서부해역보다 약 6° 정도 늦게 나타났다. 이 원인으로는 서로 다른 성질을 갖고 있는 중국대륙연안수와 쿠로시오해류에 의해 나타나는 현상으로 생각된다.

조사기간의 염분 분포는 보통 6월(32psu)부터 낮아지기 시작하여 8월(22psu 이하)에 가장 낮았고, 그 후 10월(31psu)로 접어들면서 다시 염분이 높아졌다. 염분 값을 통해서 중국대륙연안수는 보통 제주도 서남해역을 입구로하여 들어오는 것을 알 수 있다.

시간 및 공간적인 변화양상을 보기위한 경험직교합수의 해수면편차 결과는 제 1 모드, 제 2 모드, 제 3 모

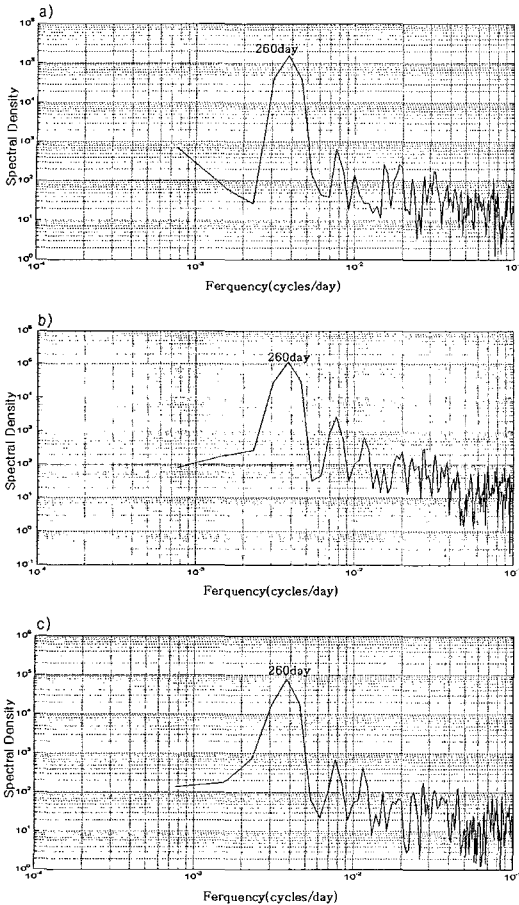


Fig. 17. PSD of SST in a) Yangtze estuary, b) the left side water of Jeju Island and c) the right side water of Jeju Island.

와 다르게 전 해역에서의 스펙트럼 결과가 약 260일 주기로 세 해역에서 모두 비슷하게 나타났다(Fig. 17). 따라서 양자강수가 주 원인이 되는 중국대륙연안수의 해수면편차에서와는 다르게 해수면온도에는 120일 주기, 43일 주기 등의 단주기 보다 장주기인 약 260일 정도의 주기에 큰 영향을 미치는 것으로 경험직교합수분석을 통해서 알 수 있었다.

해수면편차나 해수면 온도의 파워스펙트럼 분석에서 260일이나 43일 정도의 주기가 나타나는 것은 양자강수의 유출량과 관련 있을 것으로 생각된다.

드는 각각 총 분산의 55.70%, 26.22%, 13.13%를 차지하였다. 해수면온도에 대한 결과는 제 1 모드에서 98.70%를 차지하여 연구 해역에 대한 해수면 온도에 대한 변화는 제 1 모드로 설명 할 수 있다.

경험직교함수분석을 통해 나타나는 260일과 43일 주기성분을 밝혀내기 위해 양자강 하구, 제주도 서쪽해역과 동쪽해역으로 구분하여 제한적으로 스펙트럼분석을 한 결과 해수면편차에서의 43일, 120일 주기와 해수면온도에서의 260일 주기는 연안수에 의해 생기는 주기임을 알 수 있다.

사 사

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

참고문헌

- 강철중, 1971. 한국서해 해황의 계절적 변동에 관하여. 국립수산진흥원 연구보고, 8: 9-29.
- 강철중, 1974. 한국 남해안 연안수의 계절변동에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, 12: 107-121.
- AVISO, 1995. Aviso Users Handbook : Sea Level Anomaly files, Technical Report, AVI-NT-011-312-CN, Edition 1.
- Bearsdsley, R. C., R. Limeburner, D. Hu, K. Le, G. A. Cannon, and D. J. Pashinski, 1983. Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea during June 1980. Int. Symp. on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea Hangzhou, April, 243-260.
- Cheong, H. B. and Kwon, I. H., 2003. EOF Analysis of th Normal Mode Rossby Waves, *Korea Meteorological society*, 39(5): 607-619.
- 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.
- Choi, C. M., 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. MS Thesis, Cheju Nat'1.Univ., 44 pp.(in Korean).
- Kim, I. O. and Rho, H. K., 1994. A Study on China Coastal Water Appeared in thje Neighbouring Seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27(5): 515-528.
- Kim, S. H. and Rho, H. K., 2004. Oceanographic Conditions in the Neighboring Seas of Cheju Island the Appearance of Low Salinity Surface Water in May 2000. *Jour. Korean Fish. Soc.*, 37(2): 148-158.
- Ko, J. C., Kim, J. T. Kim, S. H., and Rho, H. K., 2003. Fluctuation Characteristic of Temperature and Salinity in Coastal Waters around Jeju Island. *Jour. Korean Fish*, 36(3): 306-316.
- Le, K. 1983. Some Results from th study of the path of the changjiang diluted water. Int. Symp. On Sedimentation on the continental Shelf, with Special Reference to the East China Sea, Hangzhou, April, 346-351.
- Lim, D. B., 1976. The Movement of the waters off the South Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 11(2): 77-88.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima Current. In Kuroshio, its physical aspects. edited by H. Stommel and K. Yoshida. Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- 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.*: 199-367.
- Oh, I. S. and Park, M. S., 1994. A Study on the Variation of Monthly Mean Sea Level of the Northeastern Asia by Empirical Orthogonal

- Functions, *Jour. Korean Earth Science Society*, 15(3): 207-218.
- Rho, 1985. Studies on marine environments of fishing ground in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo : 255.
- Yanagi, T., T. Shimizu, and H. J. Lie, 1998. Detailed structure of the Kuroshio frontal eddy along the shelf edge of the East China Sea, *Continental Shelf Research*, 18: 1039-1056.
- Yoon, H. J., 1998. On characteristics of environmental correction factors in the South Indian Ocean by Topex/Poseidon satellite altimetric data. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 14(2): 117-128.
- 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.
- Yoon, H. J., 2003. Sea Level Observation in the Korean Seas by Remote Sensing, *J. KIMICS*, 1(4).
- Zhang, Q. L and A. C. Weng, 1996. Analysis of water masses in the south Yellow Sea in spring. *The Yellow Sea*, 2(1): 74-82.