

위성 자료를 이용한 제주도 주변해역의 중국대륙연안수 영향에 관한 연구

조한근, 윤희주
부경대학교 위성정보과학과

A study on the influence of the China Coastal Waters nearby Jeju Island Using Satellite Data

Hong-Joo Yoon, Han-Keun Cho
Departement of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

요 약

중국 대륙연안수(CCW;China Coastal Waters)는 해에 따라 다소 다르지만 보통 하계인 6월~10월 사이에 제주도 주변 해역에서 두드러지게 나타난다. 즉, 6월에 나타나기 시작하여 8월에 가장 큰 영향을 미치며 10월로 접어들면서 그 세력이 점차 소멸해간다. 해수면편차와 해수면온도의 경험직교함수 분석 결과 해수면편차는 1^o3모드가 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.

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.

1. 서론

제주도 주변해역은 기본적으로 제주도 남쪽 해역에서 북상하는 대마난류수의 영향을 받고(Rho, 1985), 제주도 해협의 북쪽에는 한국 남해안 연안수가 영향을 미치며(choi, 1989) 그리고 하계 표층은 고온 및 저염인 중국대륙연안수의 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 대마난류 및 황해난류, 황해냉수, 한국 남서해 연안수 등이 출현하고, 하계에는 고온 저염의 중국대륙연안수가 표층을 점유하면서 중·저층에는 황해 저층냉수, 한국 남서해 연안수, 대마난류수 등이 출현하여 이러한 이질수괴들이 시기와 계절별로 서로 상접하여 복잡한 해황을 형성한다(Nakao, 1977; Kim and Rho, 1994; Rho, 1985; Kim, 1995; Zhang *et al.*, 1996; Yoon and Byun, 2004).

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(Go *et al.*, 2003).

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; Moriyasu, 1972; Lim, 1976). 중국대륙연안수의 흐름에 관해서는 宇田(1936)등에 의해 동중국해 해류계와 표층염분분포로부터 동중국해에서 이 연안수의 이동경로가 추정되었고, 또 Beardsely *et al.*(1983), Le(1983), Limeburner *et al.*(1983) 등은 양자강 배출수는 처음에는 중국대륙연안을 따라 남쪽으로 흐르다가 대만 해류수와 혼합된 후에는 그 방향을 바꾸어 제주도 방향인 북동쪽으로 흐른다고 했다.

본 연구는 하계 중국대륙연안수에 의한 제주도

주변해역의 염분농도, 해수면온도, 해면변화를 파악하고, 그리고 중국대륙연안수의 출현 및 소멸시기 등을 이해하는데 그 목적을 두었다.

2. 자료 및 방법

본 연구의 대상 해역은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 양자강 하구에서부터 한국 남해 및 제주도 주변 해역이다. 이 해역은 쿠로시오 해류, 양자강에서 흘러나오는 중국대륙연안수, 황해냉수의 영향을 받는 지역이며 북위 31°~35°, 및 동경 120°~129°의 범위에 위치한다. 본 연구에서는 편의상 임의로 제주도를 중심으로 서쪽 해역을 Je_W, 동쪽 부분을 Je_E로 구분하였고, 양자강 하구와 제주도 중간해역을 AA(북위 32°05'~33°45', 동경 124°~125°)로 설정하였다. 그리고 station a(32°55'N, 124°E), station b(32°55'N, 125°E), station c(32°55'N, 126°E), station d(32°55'N, 127°E)에서 각각 해수면 온도, 해면변화, 염분농도의 시계열변화를 조사하고 해면변화와 해수면 온도에 대해서는 스펙트럼 분석을 하였다.

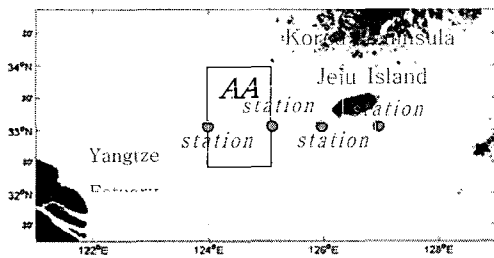


Fig. Map shows the studied area.

연구기간은 1995년부터 1999년에 걸쳐서 조사를 수행하였다. 이 기간 중에 1996년은 이례적으로 제주도 서부 해역에 대체로 30.0psu 이하의 폭넓은 저염분역이 형성되었으며, 저염분 코어(core)는 제주도 서쪽 약 30해리 지점에서 20.0이하로 나타났다. 그리고 1998년에는 중국 대홍수로 인하여 양자강 유역에 주요우기(6월 ~ 8월)동안 700mm ~ 900mm를 기록하였으며, 또한 1999년에도 6월에 중국양자강 유역에 400mm 이상의 폭우가 내리기도 했다.

위성자료로서 본 연구에 사용한 해수면변화자료는 Topex/Poseidon의 고도계자료로서 프랑스 CNES/AVISO에서 제공한다. 해수면자료는 NOAA/AVHRR의 자료를 사용하였다. 현장 관측 자료인 염분자료는 국립수산과학원의 해양관측정선 중 제주도 주변 해역에 위치하고 있는 203 ~ 209 및 214라인 그리고 311 ~ 316 라인에서의 표층 염분자료를 각각 사용하였다.

연구 대상지역에서의 해수면 변화를 파악하기 위하여 RMS(Root Mean Square)공식을 이용하였다. RMS는 중규모 스케일에 있어서의 주요한 해양역학적 현상들에 대한 변화특성을 잘 이해할 수 있게 해준다. RMS 식은 다음과 같이 주어진다.

$$S(i,j) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (h(i,j) - \bar{h}(i,j))^2}$$

여기서 $h(i,j)$ 는 고려된 픽셀(pixel)에서의 해수면온도(혹은 해수면변화)의 시간에 따른 변화값, $\bar{h}(i,j)$ 는 고려된 픽셀(pixel)에서의 해수면온도(혹은 해수면변화)의 변화를 평균한 값, 그리고 N 은 변화값의 개수이다.

해수면온도와 해수면변화의 계절적 특성을 파악하기 위해서 조화분석을 행하였다. 즉, 해수면온도 혹은 해수면변화에 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 연변화 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.

연구에 설정된 계절은 봄(4월 ~ 6월), 여름(7월 ~ 9월), 가을(10월 ~ 12월), 겨울(1월 ~ 3월)으로 각각 구분하였다.

1) 해수면 편차(Sea Level Anomaly)

해수면 편차의 평균값은 계절에 따라서 뚜렷하게 구분되어서 나타난다. 특히 1996년과 1999년에 여름과 가을의 해수면 높이가 조사기간의 다른 해들에 비해서 높게 나타났다(1996년, 여름 : 14.46cm, 가을 : 15.80cm; 1999년, 여름 : 14.44cm, 가을 : 15.99cm). 즉 1996년은 중국대륙연안수에 의한 저염분수의 유입, 그리고 1999년은 중국 양자강 유역에서 발생한 큰 폭우로 인한 영향으로 사료된다.

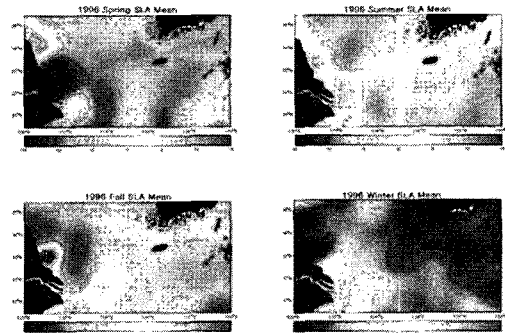


Fig. 2 Seasonal variations of SLA(1996).

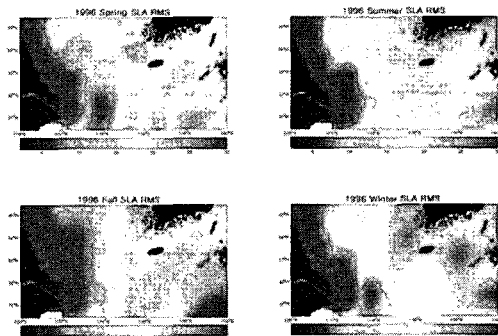


Fig. 3 Seasonal Variation of Sea Level Variability(1996).

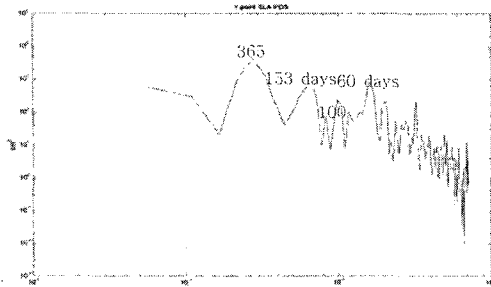


Fig. 4 Power Spectral Density of SLA at station b.

Fig. 3을 보면 대체로 중국연안에서 RMS분포 해수면 변화가 다른 해역에서보다 높게(30cm 이상) 나타남을 알 수 있다. 그리고 중국 연안을 제외한 제주도 남동부분은 쿠로시오의 영향으로 25cm 이상의 높은 값을 나타내었고, 제주도 남서쪽은 중국대륙연안의 영향으로 25cm 이상의 높은 값을 각각 나타냈다.

Fig. 4는 제주도과 양자강 하구의 중간지점(station b)에서의 해수면 편차에 대한 파워스펙트럼 분석을 나타낸 것이다. 그 결과 연 주기가 약 365일, 반 년 주기가 약 153일로 뚜렷하게 나타났고 약 100일 및 60일 주기도 각각 100일과 60일의 peak들은 중국대륙연안수와 쿠로시오 해류에 의해 관계되는 것으로 사료된다.

2) 해수면온도(Sea Surface Temperature)

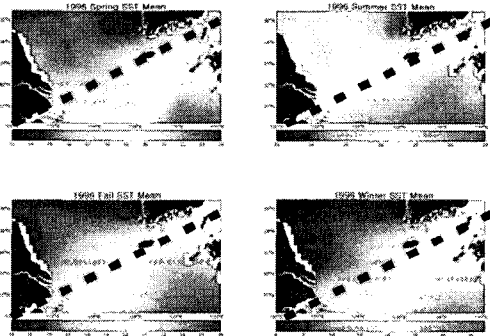


Fig. 5. Seasonal variations of SST(1996).

Fig. 5에서 해수면 온도에 대한 color bar의 설정은 계절에 따라 다르게 나타냈다. 즉 여름과 겨울의 온도 차이가 크기 때문에 같은 colorbar로 나타내면 각 계절별 온도 분포 특성을 잘 파악할 수 없다. 따라서 color bar를 봄(13~24℃), 여름(23~29℃), 가을(14~25℃), 겨울(6~20℃)으로 각각 구분하여 나타내었다(Table 2). 그 결과 전 계절에서 온도 분포 경향은 비슷하게 나타났다.

Fig. 5에 나타낸 점선을 기준으로 상대적으로 위쪽(황해 해역)은 낮은 온도를 아래 쪽(동지나 해역)은 높은 온도 분포를 나타낸다. 이 때 점선의 아래 쪽은 고온인 쿠로시오의 영향으로 높은 온도 분포를 보인다. 또한 황해해역과 동지나 해역의 경계를 이루는 온도분포 해역은 중국 대륙연안수의 영향으로 형성된 것으로 바리케이트적 역할을 하는 것으로 사료된다. 그리고 계절별 해수면 온도는 전 조사 기간에 대해 그 분포 양상이 서로 비슷하게 나타났

다. 점선의 위 쪽과 아래 쪽의 바리케이트의 형성도 해에 따라서 약간은 다른 위치에서 나타나지만 크게 다르지는 않았다. 따라서 이러한 바리케이트가 나타나는 지역이 중국대륙연안수의 흐름을 나타내는 것으로 추측되었다.

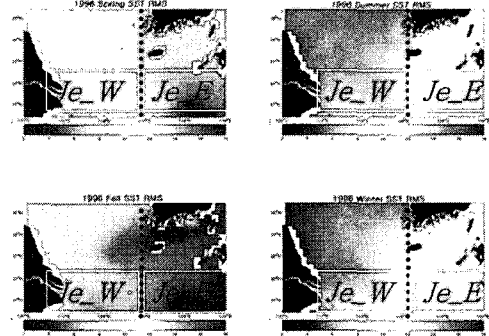


Fig. 6 Seasonal variations of Sea surface variability(1996).

Fig. 6에서 RMS분포 해수면 온도 값은 계절별로 뚜렷하게 구분되어 나타났다. 낮은 수심과 위도적으로 위쪽에 위치해 있는 황해의 여름과 겨울철에는 높은 값이 나타났다. 반면 봄과 가을에는 여름과 겨울보다 상대적으로 낮은 값을 보였다.

Fig. 7은 제주도과 양자강 하구의 중간지점(station b)에서 해수면 온도에 대한 파워스펙트럼 분석을 나타낸 것이다. 해수면 편차의 파워스펙트럼 분석과 비슷하게 연주기가 약 365일, 반 년 주기가 약 180일이 나타났다. 그 외의 주기 약 80일과 약 43일 주기가 각각 강하게 나타났다.

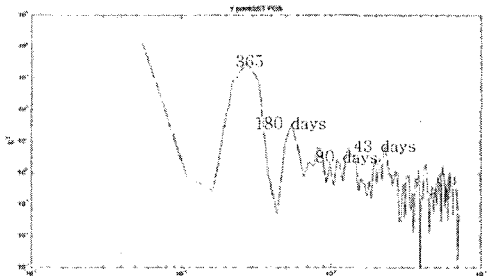


Fig. 7 Power Spectral Density of SLA at station b.

3) SLA and SST의 조화분해

제주도 주변해역의 계절 변화를 보기 위하여 해수면 편차와 해수면 온도 대한 조화분석 결과(연 진폭, 연 위상)를 Fig. 8에 각각 나타내었다. 제주도 동부해역의 해수면 온도의 진폭은 7~8.5℃로 나타났으며 이때의 위상은 보통 242°(8월 초)이다. 제주도 서쪽 해역의 해수면온도의 진폭은 5.5~6℃이며, 이때의 위상 236°(7월 말)이다. 따라서 제주도의 동쪽 해역이 서쪽해역보다 약 6일 정도 빠르게 나타난다.

제주도 동쪽해역의 해수면 편차의 진폭은 8~9.5cm이며, 이때의 위상은 267°(8월 말)이고, 서쪽 해역의 진폭은 13cm이며, 이때의 위상은 275°(9월 초)로서 동쪽해역이 서쪽 해역보다 약 8일 정도 빠르게 나타난다.

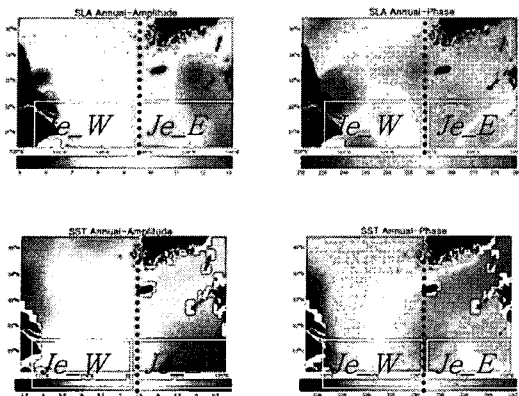


Fig. 8. Harmonic Analysis

4) 염분

전 조사기간의 염분 분포 중 1996년의 염분이 제주도 서남쪽 부분에 가장 낮은 염분이 분포함을 알 수 있었다. 그 시기는 6월(32psu)부터 낮아지기 시작하여 8월(22psu 이하)에 가장 낮았고, 그 후 10월(31psu)로 접어들면서 다시 염분이 높아졌다. 이것은 제주도 주변해역에서의 중국대륙연안수가 6월에 출현하기 시작하여 8월에 가장 큰 세력을 나타냈다가 10월로 접어들면서 그 세력이 점차 소멸하는 것으로 추정할 수 있었다.

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 보이고 있었다.

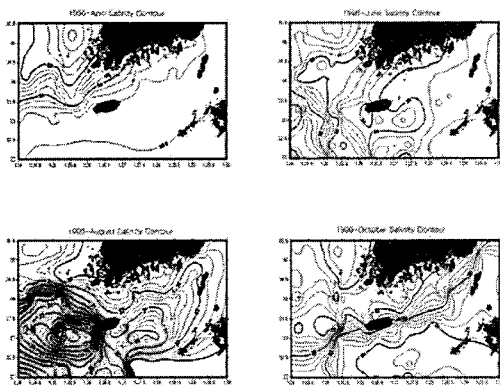


Fig. 10 Distribution of Salinity(1996).

Fig. 10.의 8월에서 제주도 서쪽해역은 동쪽해역보다 약 9psu 정도 낮은 염분분포를 보였다. 염분농도의 분포가 서쪽해역부터 중국대륙연안수의 영향이 나타나서 동쪽을 진행하는 형상을 보이며, 점차 그 세력이 약해짐을 알 수 있었다. 이러한 원인은 제주도와 일본 사이를 흐르는 고염의 쿠로시오해류의 영향으로 생각된다.

3. 결론

위성자료를 이용하여 제주도주변해역에 나타나는 중국대륙연안수를 파악하고자 해수면 편차, 해수면 온도, 염분 농도 자료를 사용하여 조사하였다.

해수면 편차의 평균값은 계절에 따라서 뚜렷하게 구분되어서 나타났다. 특히 1996년과 1999년에 여름과 가을의 해수면 높이가 조사기간의 다른 해들에 비해서 높게 나타났다. 즉 1996년은 중국대륙연안수에 의한 저 염분수의 유입으로, 그리고 1999년은 중국 양자강 유역에서 발생한 큰 폭우로 인한 영향으로 사료된다.

중국 연안에서 RMS 해수면 변화가 다른 해역에서 보다 높게(30cm 이상) 나타남을 알 수 있었다. 중국 연안을 제외한 제주도 남동부분은 쿠로시오의 영향으로 25cm 이상의 높은 값 나타내었고, 제주도 남서쪽은 중국대륙연안수의 영향으로 25cm 이상의 낮은 값이 나타났다.

조사대상해역 중 양자강 하구와 제주도주변해역의 중간지점(station b)에서의 파의 방향과 주기에 중국대륙연안수가 미치는 영향을 알아보기 위해 해수면 편차와 해수면 온도에 대해 파워스펙트럼 분석을 행하였다. 그 결과 두 인자 모두 연 주기(약 365일), 반 년 주기(약 180일)가 뚜렷하게 나타났다.

전 조사기간의 염분 분포 중 1996년의 염분이 제주도 서남쪽 부분에 가장 낮은 염분이 분포함을 알 수 있었다. 그 시기는 6월(32psu)부터 낮아지기 시작하여 8월(22psu 이하)에 가장 낮았고, 그 후 10월(31psu)로 접어들면서 다시 염분이 높아졌다. 이것으로 중국 대륙연안수의 출현시기 및 소멸시기 등을 파악할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 강철중. 1971. 한국서해 해황의 계절적 변동에 관하여. 국립수산진흥원 연구보고, 8, 9~29.
- [2] Beardsley, 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.
- [3] Choi, C.M. 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. MS Thesis, Cheju Nat'l.Univ., 44 pp.(in Korean).
- [4] Rho, 1985 Studies on marine environments of fishing ground in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo : 255.
- [5] 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.
- [6] 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.