

복합위성자료(Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)를 이용한 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화와 해수면 온도의 상관성 연구

하경자[†] · 정기용 · 장새롬 · 김기영

부산대학교 지구환경시스템학부

Variation of the Sea Surface Height around the Korean Peninsula with the Use of Multi-satellite Data (Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat) and its Association with Sea Surface Temperature

Kyung-Ja Ha[†], Gi-Yong Jeong, Sae-Rom Jang, and Ki-Young Kim

Division of Earth Environmental System, Pusan National University

Abstract : Sea surface height (SSH) around the Korean Peninsula was investigated as a rising rate of 3.89 mm yr⁻¹ on the average from 1993 to 2005, which is 1.3 times higher rising rate, compared to the world ocean. In the present study, to investigate SSH changes in regional sections of the East Sea, the Yellow Sea, the South Sea, and the Korea Strait, DT-MSLA (Delayed Time-Maps of Sea Level Anomalies) with multi-satellite data (Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat), provided by AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data), was used.

The periodicity in interannual variability was dominant for 4 ~ 5 year in summer, and 3 year in winter as well as an increasing trend. The amplitude and phase for the annual and semi-annual mode in SSH and SST were investigated with harmonic analysis. The geographical distribution of amplitudes for comparison of SSH and SST are slightly reverse in southwest-northeast tilted direction. The monthly SST and SSH is highly correlated correlation coefficient about 0.7 with lag of one or two months over the East Sea and the South Sea during June-August. These results suggest that the Kuroshio stream is dominant during summer over these regions.

Key Words : Sea Surface Height (SSH), Sea Surface Temperature (SST), Multi-satellite data, Interannual variation, Lag correlation.

요약 : 한반도 주변해역에서의 해수면 고도는 1993년부터 2005년까지의 기간 동안 연평균 3.89 mm yr⁻¹ 상승하였으며, 이는 전세계 해수면 상승률의 1.3배에 해당한다. 본 연구에서는 AVISO(Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data)에서 제공하는 복합위성자료 (Topex/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat)인 DT-MSLA(Delayed Time-Maps of Sea Level Anomalies)를 이용하여 동해와 황해, 남해, 한국해협에서의 해수면 고도 변화를 연구하였다.

해수면 고도의 평균적인 변화는 증가하는 경향을 보임과 동시에, 여름에는 4~5년, 겨울에는 3년의 주기성을 가지고 진동하였다. 조화분석을 통하여 해수면 고도와 해수면 온도의 연주기 모드와 반년주기 모드의

진폭과 위상을 나타내었다. 해수면 고도의 연주기 진폭은 한반도 주변해역에서 남동쪽이 높게, 북서쪽이 낮게 나타나는 반면, 해수면 온도는 이와는 반대의 분포를 보였다. 월별 해수면 고도와 해수면 온도의 상관을 구한 결과, 6~8월에 동해와 남해에서 1/2달 시간지연 일 때, 상관계수가 0.7정도로 높게 나타났다. 이러한 결과를 통해 여름철 동해와 남해가 쿠로시오 해류의 영향을 크게 받고 있음을 짐작할 수 있다.

1. 서론

지구온난화로 인한 기후변화 중 인간사회에 가장 큰 악영향을 줄 수 있는 요소 중의 하나가 해수면 고도(Sea Surface Height, SSH)의 상승인 것으로 평가되고 있다(IPCC, 2001a). 해수면 고도는 기준타원체(reference ellipsoid)에서 해수면까지의 거리를 의미하며, 해수면 온도, 해면기압, 바람, 조석, 해류 등의 인자들에 의하여 영향을 받는다. 이러한 인자들은 각 지역에서 그 중요성에 차이가 있는데, 그 예로 일본의 연안지역에서는 수온과 대기압의 변화가 중요한 역할을 하고(Nomitsu and Okamoto, 1927), 중국에서는 주로 몬순 바람에 의해 영향을 받는다고 밝힌바 있다(Tvi, 1970). 반면에, 한반도 연안에서 해수면 고도는 하계에 높고 동계에 낮은 계절적 경향을 유지하며, 열과 염의 변화, 기압의 변화에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(이석우, 1967). 이러한 주기적 변동은 대기압 변화, 열과 염의 변화, 바람 응력의 변화, 해류의 계절적 변화와 같은 환경적 요인과 증발, 강수, 강물 유출 등과 같은 담수변화를 조절하는 요인 등에 직·간접적으로 복잡하게 영향을 받는다(Kang and Lee, 1985).

2001년 발표된 IPCC 보고서(IPCC, 2001a)에서는 20세기에 해수면이 10 cm 이상 상승했다는 보고가 있으며, 21세기에는 해수면이 최소 10 cm, 최대 88 cm 올라갈 것으로 전망했다(IPCC, 2001b). 또한, 전 세계 해수면 상승률이 $3.1 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ 에 달했다는 보고가 있다(Cabanes *et al.*, 2001). 한반도 주변해역의 해수면은 9년 동안의 Topex/Poseidon(T/P)자료를 이용한 연구에서 동해지역 해수면 상승률이 $5.4 \pm 0.3 \text{ mm yr}^{-1}$, 동해남부지역에는 $6.6 \pm 0.4 \text{ mm yr}^{-1}$ 를 기록하였음을 밝힌바 있다(Kang *et al.*, 2004). 해수면 상승은 자연생태계 및 사회경제적으로 주요한 연안지역에 저지대 및 습지의 범람, 해안 침식, 강이나 지하수로의 해수 유입, 강 수위 증가 및 범람, 조석 및 파동 변화, 퇴

적상의 변화 등의 다양한 영향을 준다. 따라서 해수면 상승은 자연생태계, 인간거주지, 수자원 및 산업시설 등에 악영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 그 예로 1999년 태평양에 위치한 두 섬(테부아 타라와 섬, 아바누에 아 섬)이 지도상에서 사라졌으며, 호주 근처의 섬나라인 투발루는 해수면 상승으로 인하여 전 주민을 뉴질랜드로 이주시키고 국토를 포기하기로 결정하였다(Brown, 2001).

해수면에 영향을 미치는 주요 기후요소 중 한가지가 해수면 온도이다. 한반도 주변해역에서의 1968 ~ 2000년까지의 해수면 온도 장기 변동 추세는 동해에서 $0.022^\circ\text{C yr}^{-1}$ 로 33년 동안 0.72°C 상승한 경향성을 나타내었고, 남해의 경우, $0.016^\circ\text{C yr}^{-1}$ 로 33년 동안 0.53°C 서해에서는 $0.030^\circ\text{C yr}^{-1}$ 로 33년 동안 0.99°C 상승하는 경향을 보였다(서영상 외, 2003). Maldives 연안의 해수면과 해수면 온도의 변화에 대한 연구에서는 해수면 고도와 해수면 온도의 한 달, 두 달의 시간 지연 상관계수가 각각 +0.79, +0.78로 높은 상관도를 밝힌바 있다(Singh *et al.*, 2001). 본 연구에서는 복합위성자료를 이용하여 1993년부터 2005년까지 13년 동안의 한반도 주변해역에서 해수면 변화를 지역별로 조사하고자 한다. 그리고 해수면 온도는 시공간적으로 좋은 분해능과 정확성이 있고, 오랜 기간의 자료가 축적되어 한반도 주변해역에서의 해수면 고도 변화 경향 분석에 도움이 될 것으로 보아 해수면 고도 변화와 해수면 온도와의 상관성을 찾고자 한다.

2. 자료와 분석방법

해수면 고도(SSH)는 다음과 같이 정의 될 수 있다(윤용훈 외, 2000).

$$\text{SSH} = \text{Orbit height} - (\text{Altimeter range} + \text{Corrections}) - \text{Geoiderrors} \quad (1)$$

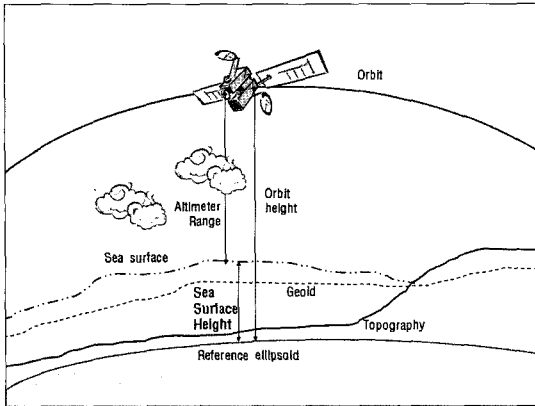


Fig. 1. Schematic diagram to illustrate the SSH.

여기서, orbit height는 궤도고도로서 기준타원체에서 위성까지의 거리를 의미하고, 고도거리(altimeter range)는 해수면에서 위성까지의 거리를 의미한다. 보정(corrections)은 궤도, 전리층의 영향, 건조·습윤 대기의 영향, 해면의 상태, 조석의 영향, 대기압의 영향 등의 보정을 의미하며, 지오이드오류(geoiderrors)는 모델 지오이드에서 발생 가능한 모든 오차를 의미한다 (Fig. 1).

본 연구에서는 해수면 변화를 연구하기 위한 해수면 고도 편차(Sea Surface Height Anomaly, SSHA)자료로서 프랑스 AVISO(Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data)에서 제공하는 DT-MSLA(Delayed Time-Maps of Sea

Level Anomalies) 자료를 이용하였다. 본 자료는 T/P와 Jason-1, ERS, Envisat의 통합을 통하여 자료를 제공한다. T/P와 Jason-1은 시간 규모가 좋은 자료를 제공하고, ERS와 Envisat은 공간 규모가 좋은 자료를 제공하고 있으며, 이 자료들의 통합을 통하여 시공간적으로 더 좋은 자료로 제공된다. 본 연구에서 사용된 자료는 1993년 1월부터 2005년 12월까지 13년 동안의 자료이며 해수면 고도 자료의 수평격자 간격은 $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ 이다.

해수면 온도 자료는 미국국립환경연구센터(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)에서 제공하는 OIv2 SST(Optimum Interpolation Sea Surface Temperature analysis version 2)를 이용하였다. 이 자료는 최적내삽법 (Reynolds and Smith, 1994)을 사용하여 재구성한 자료이며, 1981년 12월부터 현재까지 자료가 제공되고 있다. 본 연구에서 사용된 자료의 기간은 해수면 고도 자료와 동일한 1993년 1월부터 2005년 12월까지 13년 동안의 월별 자료를 이용하였으며, 수평격자 간격은 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 이다.

한반도는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 영역에 따라 수심, 해류 등의 환경적 차이가 존재한다. 이에 따른 해수면 고도의 변화 또한 다를 것이다. 본 연구에서는 한국해양연구원에서 제공하는 한국해역 종합 해양환경도(Fig. 2a)를 기준으로 한반도 연안의 바다를 네 영역(Fig. 2b)으로 구분하여 각 영역에 대한 해수면 고도와 해수면 온도의 변화를 연구하였다.

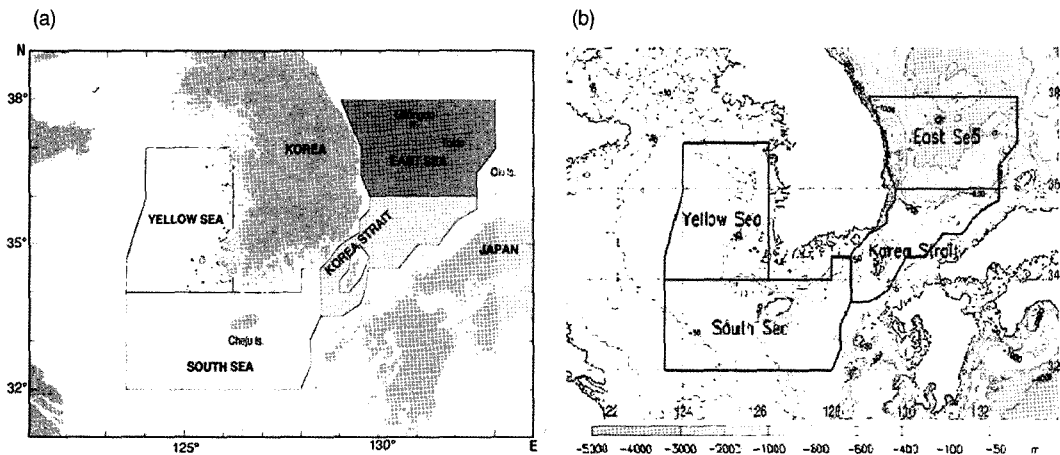


Fig. 2. (a) The oceanographic atlas of the Korean waters of KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute), (b) four regions (the East Sea, the Korea Strait, the Yellow Sea, and the South Sea) for performing this study draw boundary (solid line), and the submarine topography (shading).

3. 해수면 고도의 경년변화 분석

1) 해수면 변동의 요인

해수면 고도의 변화(h_{ssh})는 여러 가지 인자들에 의하여 영향을 받는데, 수식적으로 나타내면 아래와 같다.

$$h_{ssh} = h_{tide} + h_{ib} + h_{wind} + h_{current} + h_{steric} \quad (2)$$

각 인자들은 조석(h_{tide}), 해면기압(h_{ib}), 바람(h_{wind}), 해류($h_{current}$), 스테릭(h_{steric})을 의미하며, 대체로 제시된 5가지 인자들에 의해서 해수면 고도의 변화가 좌우된다. 앞서 제시한 바와 같이 한반도 주변 해역은 주로 열과 염의 변화, 기압의 변화에 의해 영향을 받는데, 여기

서 해수면 온도의 변화는 열의 변화를 나타낼 수 있으며, 스테릭에 영향을 주는 주요 요인이다. 해수면 온도의 상승은 스테릭 항의 값을 상승시켜 해수면 고도의 상승을 야기하고, 반대로 온도의 하락은 해수면 고도의 하락을 야기한다.

2) 해수면 고도 평균장의 계절별 분석

해수면 고도의 분포를 이해하기 위해서 계절별 평균장을 나타내었다(Fig. 3). 한반도 연안에서의 해수면 고도 편차는 가을에 3 ~ 9 cm 정도로 가장 높게 나타나고, 봄(3, 4, 5월)에 -9 ~ -3 cm 정도로 가장 낮은 값을 보인다. 이에 비해 해수면 온도는 여름에 21 ~ 24°C로 가장 높게 나

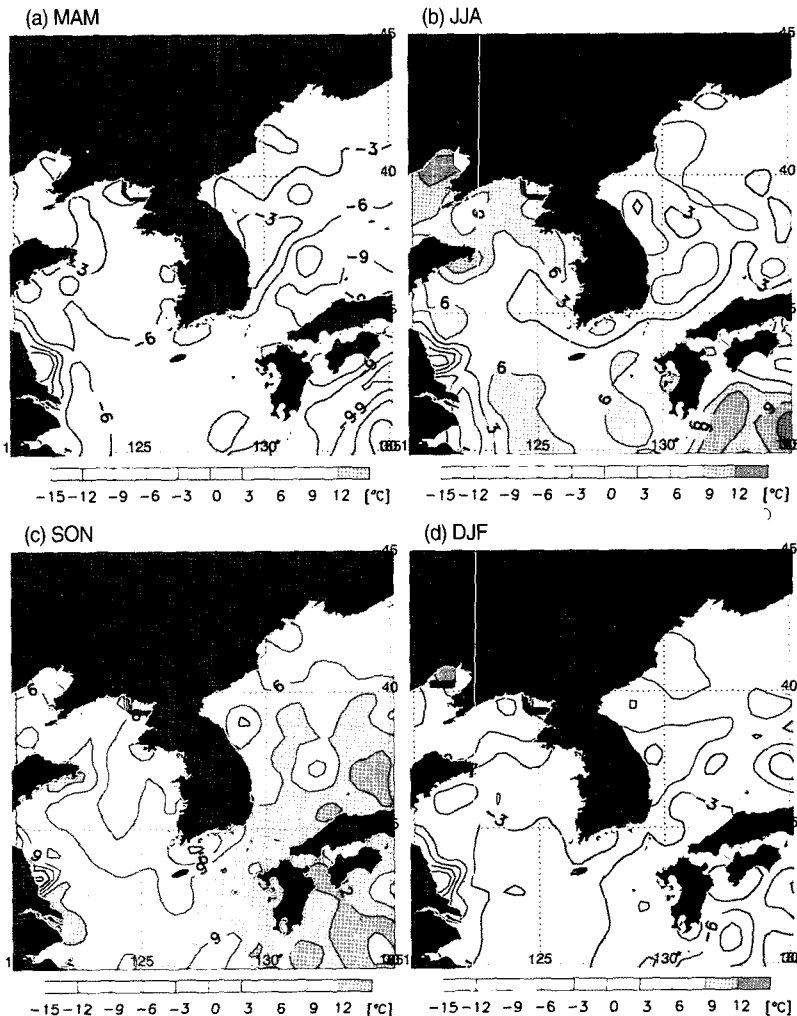


Fig. 3. Seasonal mean of sea surface height anomaly for 13 years (1993 ~ 2005), (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.

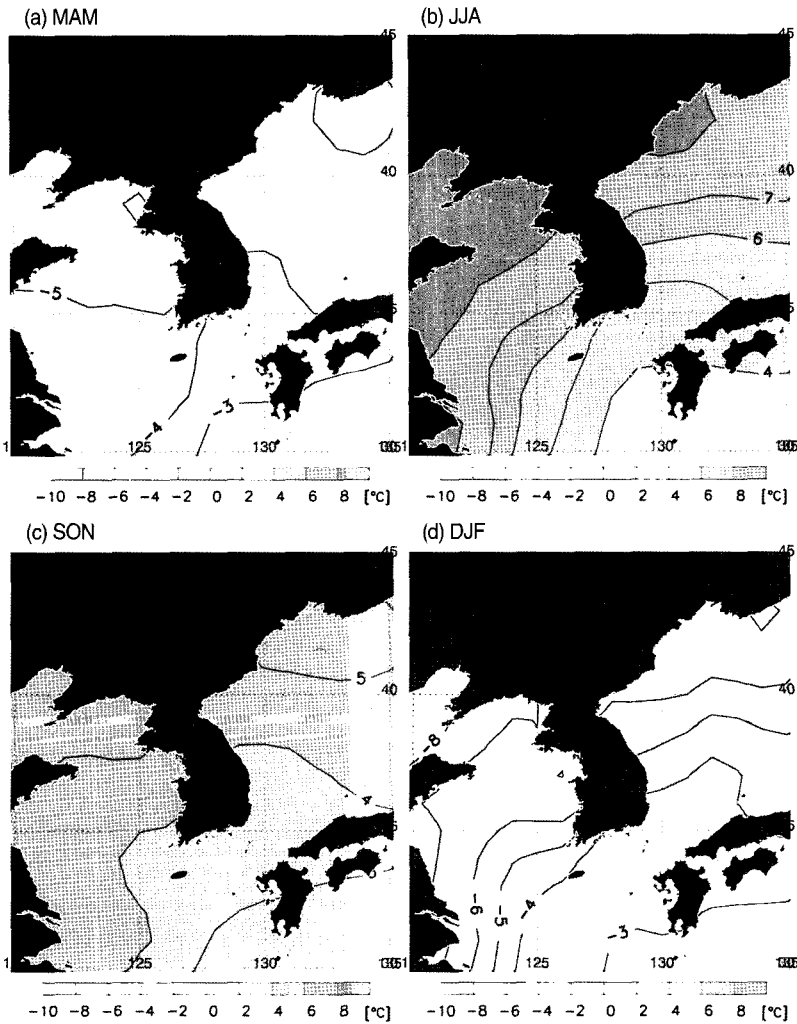


Fig 4. Seasonal mean of sea surface temperature anomaly (SSTA) for 13 years (1993 ~ 2005), (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.

타나고, 겨울철에 9 ~ 18°C로 가장 낮은 값을 보인다(Fig. 4). 이와 같이 해수면 고도와 해수면 온도가 최대값과 최소값을 가지는 시기에 차이가 있으며, 해수면 온도의 변화가 해수면 고도의 변화보다 그 시기가 앞서고 있다. 또한, 봄에 전반적인 지역에서 북쪽으로 갈수록 해수면 고도가 높게 나타나고 있는 반면, 가을에는 북쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이를 통해 남쪽이 북쪽에 비해 연간 해수면 고도의 변화량이 더 크다는 것을 알 수 있다.

3) 해수면 고도의 경년변화

1993년부터 2005년까지 13년 동안 해수면 고도 편차의 경년변화를 각 영역에 따라 분석하였다(Fig. 5). 경년

변화에서는 전반적으로 해수면 고도가 상승하는 추세를 보여주고 있으며, 전 영역의 상승률은 3.89 mm yr⁻¹이다. 각 영역별 상승률은 Table 1과 같다. 동해에서의 상승률이 5.04 mm yr⁻¹로 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 황해, 남해, 한국해협 순으로 상승률이 높게 나타난다. 하지만, 1993년과 1996년에 해수면 고도 편차가 이례적으로 작은 값을 기록하고 있으며, 특히 동해에 평년보다 약 5 cm 낮은 수치를 기록하고 있다. 이와 관련하여 1993, 1995, 1997년에 여름철에 Yamato basin에서 낮은 해수면 고도가 기록되었으며, 선박관측에서 Yamato basin가 위치한 37°N 주변의 수온약층이 평년보다 낮은 수온과 얇은 담수층에 의해서 높은 밀도를

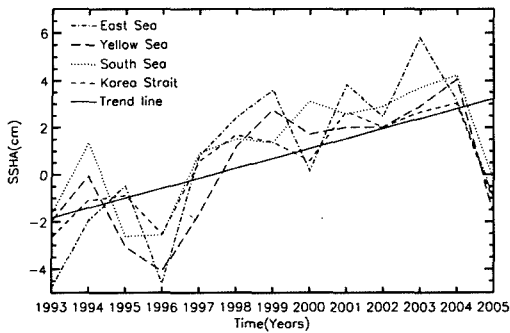


Fig. 5. Interannual variation of SSHA over the East Sea (dash dot line), the Yellow Sea (long dash line), the South Sea (dotted line), and the Korea Strait (dash line) during the period from 1993 to 2005, and total region trend (solid line).

Table 1. Results of interannual variation trend analysis performed on SSHA. (Unit: mm yr⁻¹)

Region	Trend	Region	Trend
East Sea	5.04	South Sea	3.55
Yellow Sea	3.70	Korea Strait	3.10
Total region	3.89		

나타내었고 T/P의 관측에서도 낮은 해수면 고도가 기록되었다는 보고가 있다(Hirose and Ostrovskii, 2000). 특히, 한국해협과 동해는 쿠로시오 해류와 연관성이 높은데, 쿠로시오 해류가 강할 때 동해와 한국해협의 해수면 고도가 낮아지고, 해류가 약할 때 고도가 높아지는 특성을 보인다(Gordon and Giulivi, 2004).

1993년부터 2005년까지 13년 동안 해수면 고도 편차의 계절별 변화를 각 영역에 따라 분석하였다(Fig. 6). 전반적으로 해수면 고도 편차는 가을에 가장 높은 값을 나타내고 있으며, 여름, 겨울, 봄 순으로 높게 나타난다. 전 영역에서의 상승률은 여름에 5.46 mm yr⁻¹로 가장 높은 값을 나타내고 있으며, 가을과 겨울에 각각 4.19 mm yr⁻¹, 4.14 mm yr⁻¹로 유사한 상승률을 나타낸다(Table 2). 이를 통해서 한반도에 강수량이 집중 되는 여름과 가을에 해수면 상승 폭이 크다는 것을 알 수 있으며, 태풍이 내습할 때에나 폭풍우가 칠 때에는 연안지대나 저지대에 침수, 홍수 등이 더욱 빈번하게 발생할 수 있다. 각 영역별 상승률을 살펴보면 동해에서의 상승률이 다른 지역에 비해 모든 계절에서 가장 높은 값을 나타내고 있다.

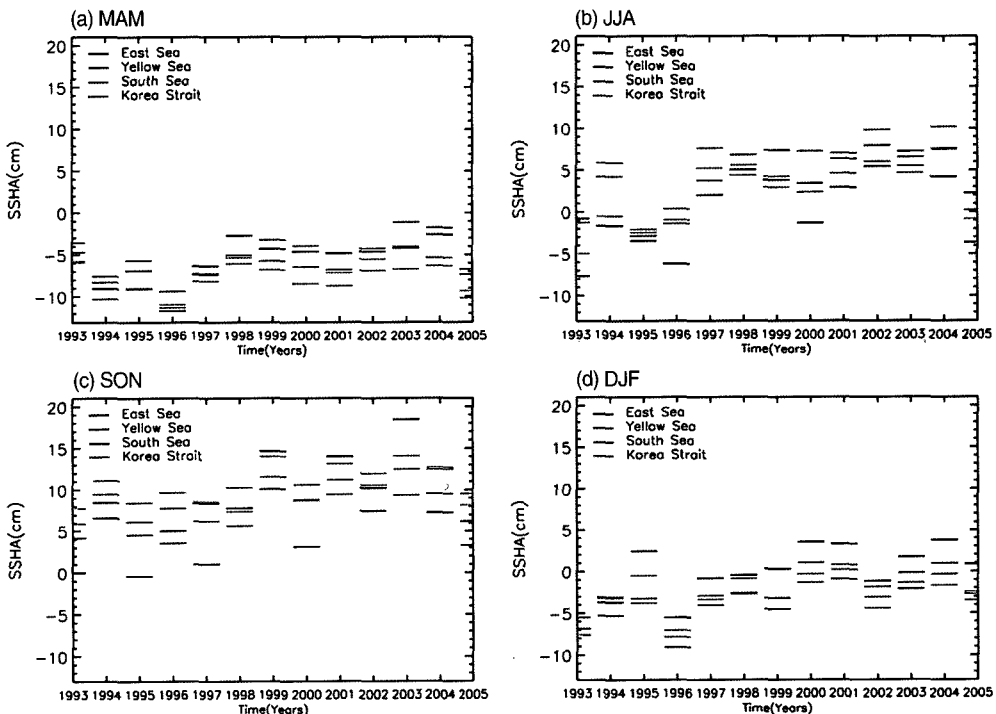


Fig. 6. Seasonal variation of SSHA over the East Sea, the Yellow Sea, the South Sea and the Korea Strait in (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF during the period from 1993 to 2005.

Table 2. Results of seasonal variation trend analysis performed on SSHA.

(Unit: mm yr⁻¹)

	Spring (MAM)	Summer (JJA)	Autumn (SON)	Winter (DJF)
East Sea	2.53	6.48	5.73	5.41
Yellow Sea	2.35	4.40	3.62	4.41
South Sea	0.99	5.42	4.19	3.61
Korea Strait	1.18	5.67	2.82	2.75
Total region	1.78	5.46	4.19	4.14

4. 연주기 모드와 반 년 주기 모드의 분석

$$X(t) = A_0 + A(n) \cos \left[\frac{2\pi n}{T} (t - \theta(n)) \right] \quad (3)$$

해수면 고도와 해수면 온도의 변화 사이에 상관성을 이해하기 위하여 푸리에 조화분석을 수행하였다. 분석에 사용된 수식은 다음과 같다.

T 는 주기이고, n 은 파수, A_0 는 시간 평균된 진폭, $A(n)$ 은 푸리에 하모닉의 사인, 코사인 함수에서의 진폭을 나타내며, $\theta(n)$ 은 상의 값을 나타낸다.

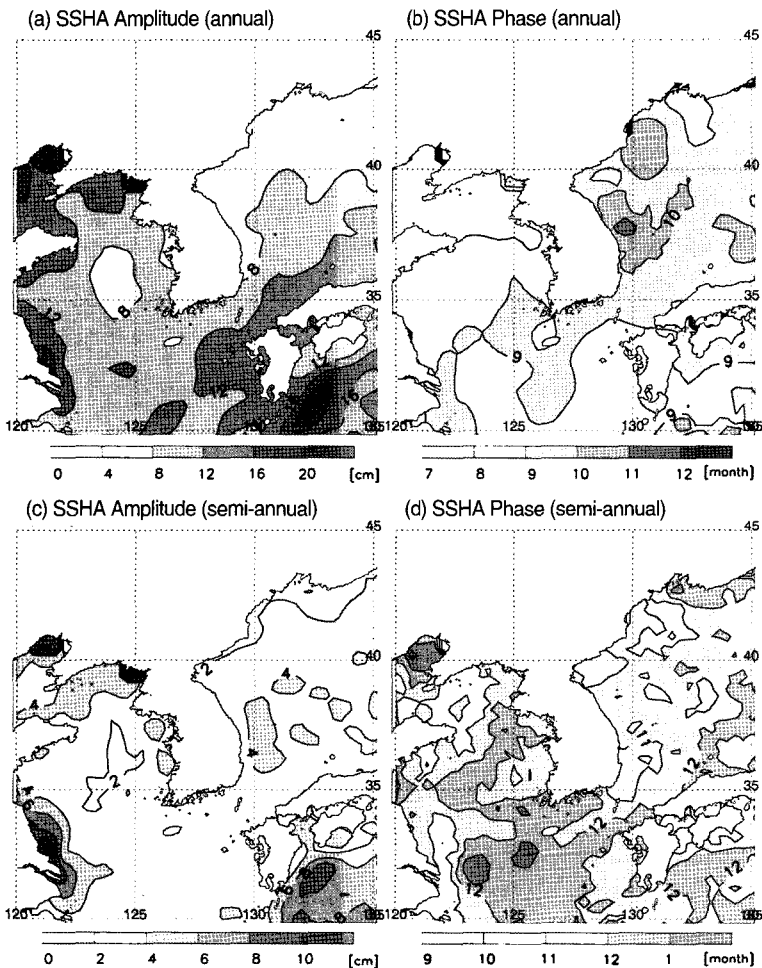


Fig. 7. Amplitude and phase of annual cycle (a, b) and semi-annual cycle (c, d) in sea surface height anomaly.

한반도 연안에서 일 년 주기의 해수면 진폭이 약 6 ~ 12 cm이다(Fig. 7a). 영역별로 살펴보면, 한국해협이 10 ~ 12 cm 정도로 한반도 연안에서 진폭이 가장 큰 지역이고 남해는 9 ~ 12 cm 정도이다. 황해 지역의 진폭은 7 ~ 10 cm 정도로 앞에 두 지역에 비해 작은 편이다. 동해의 진폭은 약 6 ~ 11 cm 정도이고 다른 해역보다 작은 편이다. 해수면이 최대가 되는 시기(Fig. 7b)를 보면 황해가 8월부터 9월 초까지로 가장 빠르며, 남해는 9월 초에서 9월 중순 사이이다. 한국해협 또한 해수면 고도의 극대가 나타나는 시기가 9월 초에서 9월 중순 사이였지만, 일부 지역에서는 10월 초에 최대값이 나타났다. 동해는 대부분의 지역이 9월 말부터 10월 사이에 해수면이 최고점에 도달하지만 일부 지역은 11월이 되어야 최대

값을 이루는 지역도 있다. 한반도 연안을 제외한 영역에서 진폭이 큰 지역은 일본 남부 지역이었는데 그 중에서 가장 큰 지역은 135 ~ 139°E, 32 ~ 33°N에 위치한 지역으로 해수면의 진폭이 무려 30 cm 이상이었다.

한반도 연안에서 반년 주기성분의 진폭은 대략 2 ~ 3.5 cm 정도 인데 동해와 한국해협 북쪽에 일부 지역은 4 ~ 4.5 cm 정도로 다른 지역에 비해 상대적으로 큰 진폭을 가진다(Fig. 7c). 해수면 고도의 반년 주기가 최대로 나타나는 기간은 보통 10 ~ 12월 사이로 황해와 남해 지역은 11월에서 12월 말까지 반년 주기 성분에 최대가 나타나며 한국해협과 동해는 10월과 11월 사이에 극대가 나타난다. 한반도 연안을 제외한 영역에서는 일 년 주기성분이 강했던 일본 남부 쪽에서 반년 주기성분 또

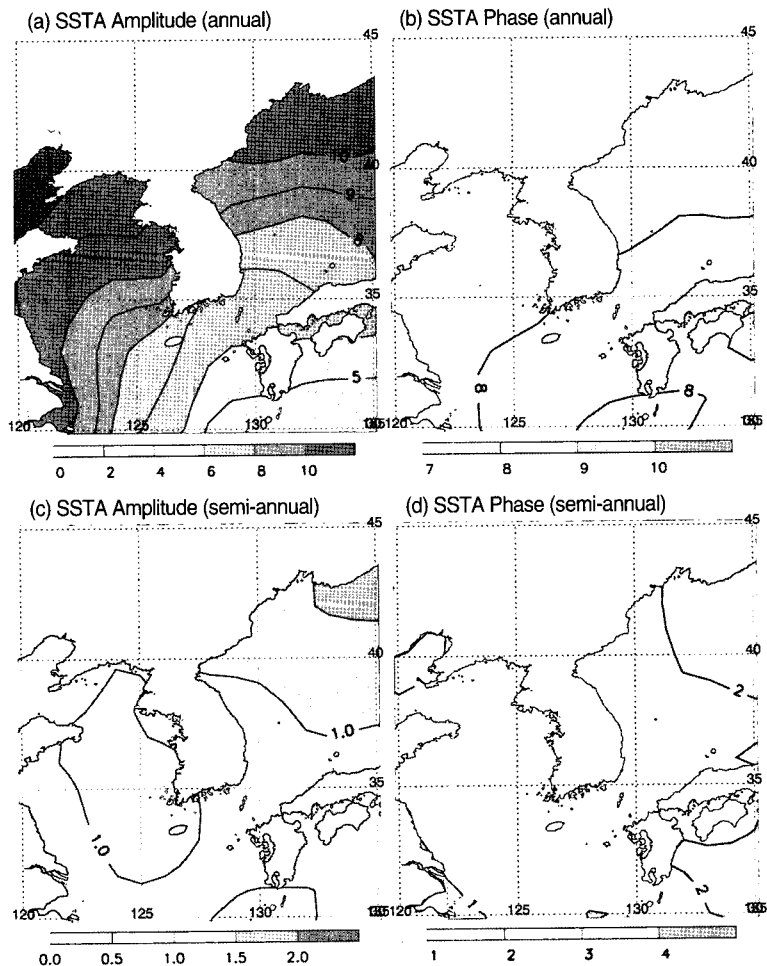


Fig. 8. Amplitude and phase of annual cycle (a, b) and semi-annual cycle (c, d) in sea surface temperature anomaly.

한 강했다(Fig. 7d).

해수면 온도의 일 년 주기는 진폭이 6 ~ 10°C 정도로 위도에 나란하게 극에 가까워 질수록 큰 진폭을 나타내는데, 특히, 황해가 8 ~ 10°C 정도로 가장 큰 값을 보인다(Fig. 8a). 해수면 온도가 가장 높게 나타나는 시기는 여름으로 남해와 한국해협은 8월, 황해와 동해는 7월로 나타난다(Fig. 8b). 반 년 주기는 진폭이 0.5 ~ 1.0°C 정도이며, 황해가 1.0°C 이상으로 가장 높게 나타난다(Fig. 8c). 그리고 해수면 온도가 가장 높게 나타나는 시

기는 대부분 지역이 1월이다(Fig. 8d).

5. 해수면 고도와 해수면 온도의 상관관계

한반도 연안에서의 해수면 고도와 해수면 온도의 관계를 알아보기 위하여 두 변수의 경년변화를 나타내었다(Fig. 9). 90년대에 해수면 고도와 해수면 온도의 변화가 거의 유사한 패턴을 보이고 있는 반면, 최근에는 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 변화를 각 영역으로 구분하여 나타낸 것이 Fig. 10과 같다. 동해와 한국해협은 두 변수가 유사한 패턴을 보이는 반면, 황해와 남해는 그 변화 패턴에 차이가 보이는 것을 알 수 있다.

전 영역에 대한 두 변수의 연변화를 분석하였다(Fig. 11). 최대값을 나타내는 시기는 해수면 온도가 8월, 해수면 고도 편차는 10월로써 두 달의 시기 차이를 보이고 있으며 전반적으로 해수면 온도가 해수면 고도의 변화에 앞서고 있다. Fig. 12에서는 이러한 변화를 각 영역으로 구분하여 나타내었으며, 변화 패턴은 Fig. 11과 유사하게 나타난다.

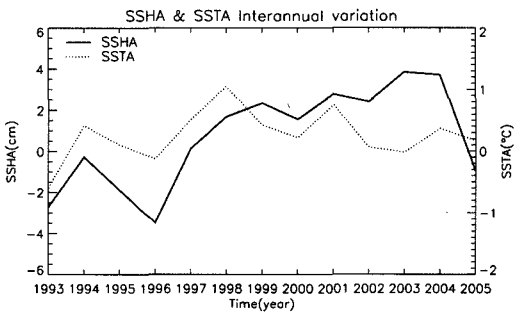


Fig. 9. Interannual variation of SSHA (solid line) and SSTA (dotted line) at total region.

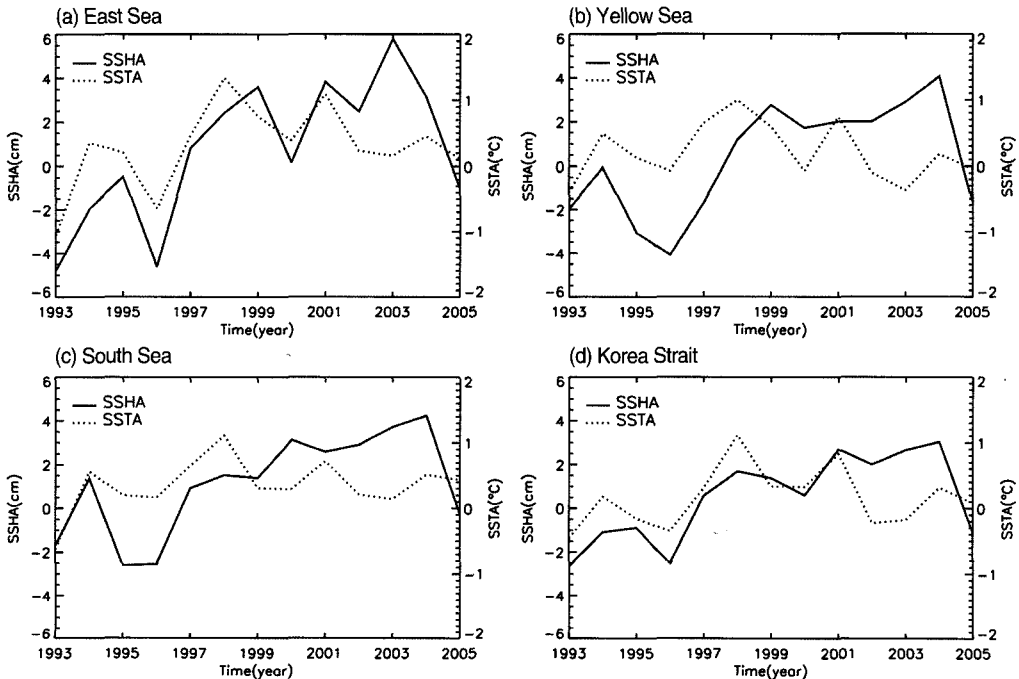


Fig. 10. Interannual variation of SSHA (solid line) and SSTA (dotted line) at (a) the East Sea, (b) the Yellow Sea, (c) the South Sea, and (d) the Korea Strait.

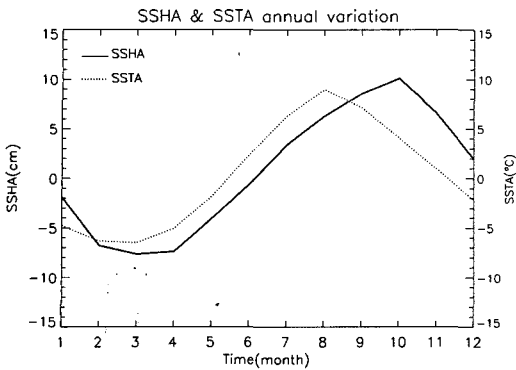


Fig. 11. Annual variation of SSHA (solid line) and SSTA (dotted line) at total region.

시간지연에 따른 상관계수의 연변화를 살펴보기 위해서 각 영역별로 시간지연 상관계수를 Fig. 13에 나타내었다. 여기서 상관계수의 값은 월별로 해수면 고도에 0, 1, 2달의 시간지연을 줌으로써 해수면 온도가 해수면 고도에 앞서는 변화를 가질 때의 상관계수를 13년간 자료를 통하여 나타내었다. 상관계수는 95% 유의수준에서 0.55 이상 99%에서 0.68 이상 일 때 유의하다. x축

의 시간(월)은 해수면 고도를 기준으로 하였다. 해수면 온도와 상관성은 동해에서 가장 높은 값을 나타내고 있으며, 황해에서는 낮은 값을 보이고 있다. 대부분 영역에서 6월에 가장 높은 상관관을 보이고 있으며, 9 ~ 10월에 급격히 낮아지고 있다. 영역별 상관계수의 값에서는 동해와 황해, 남해에서는 1달 / 2달의 시간지연 상관계수가 높은 값을 보이고 있는데, 특히 동해는 7월에 1달 / 2달 시간지연 상관계수 모두 약 0.8의 높은 상관관을 보이고 있으며, 4월에는 2달 시간지연 상관계수가 약 0.8의 높은 상관관을 보인다. 또한, 12월부터 5월까지의 기간 동안은 동일한 기간과 1달 시간지연 상관계수가 95% 이상의 유의값을 가지고 있다(Fig. 13a). 이에 비해 황해는 6월에 가장 높은 상관계수를 가지고 있지만, 1달 시간지연 상관계수만이 약 0.6의 값을 가짐으로써 95% 유의값을 만족하고 있다(Fig. 13b). 남해는 6월에 1달 시간지연 상관계수 약 0.7의 높은 상관관을 나타내고, 2달 시간지연 상관계수는 6, 8, 9월에 약 0.65의 상관관을 보이고 있다(Fig. 13c). 한국해협은 동일한 기간의 상관이 높게 나타나고 있는데, 1, 3, 4, 6월에 약 0.7의 높은 상

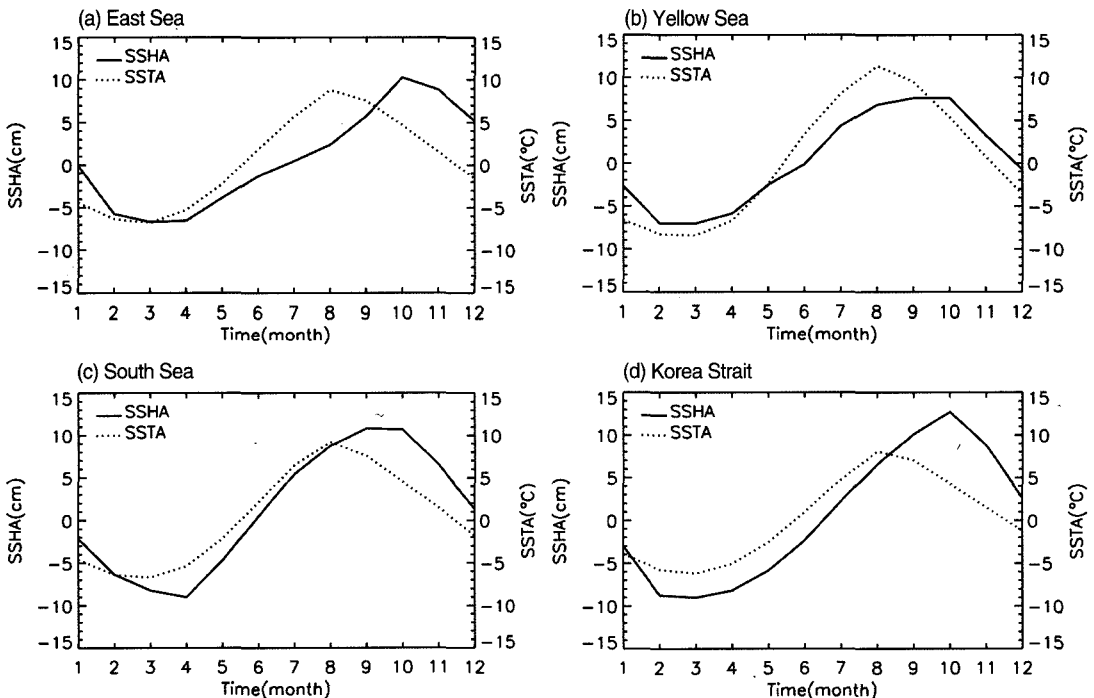


Fig. 12. Annual variation of SSHA (solid line) and SSTA (dotted line) at (a) the East Sea, (b) the Yellow Sea, (c) the South Sea, and (d) the Korea Strait.

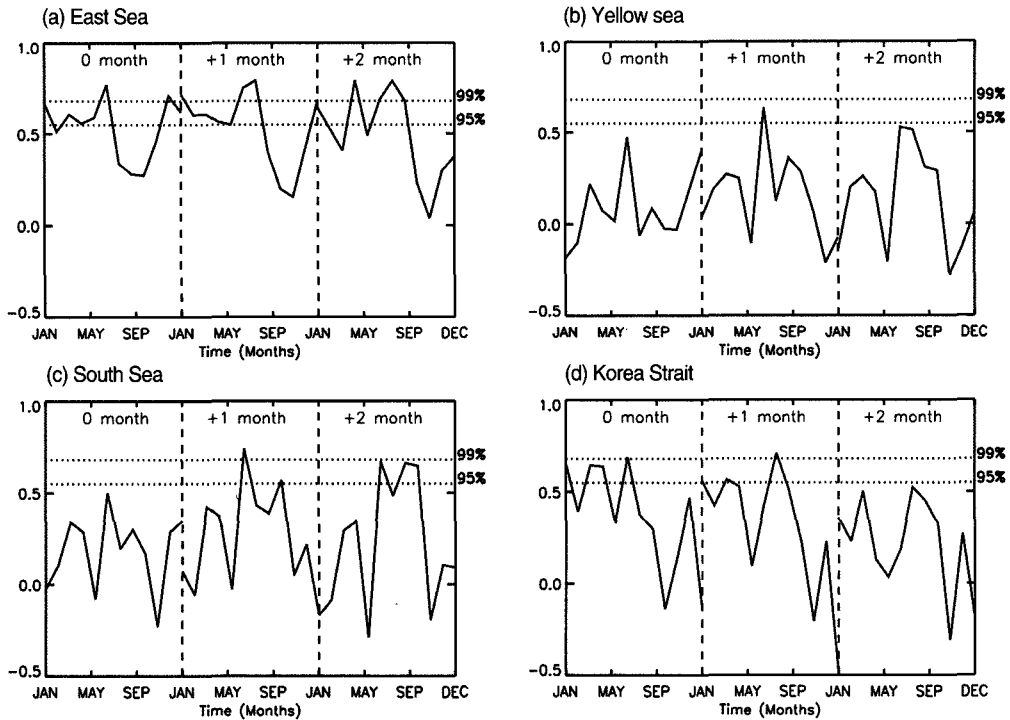


Fig. 13. Lag correlation coefficients between time series of SSHA and SSTA at (a) the East Sea, (b) the Yellow sea, (c) the South Sea, (d) the Korea Strait: 0 month, +1 month, +2 month denotes the month after the reference SSHA.

관을 보인다. 또한, 1달 시간지연 상관계수는 7월에 약 0.7의 높은 상관을 보이며, 1월과 3월에도 약 0.55의 상관을 가짐으로써 95% 유의값을 만족하고 있다(Fig. 13d). 한국해협은 쿠로시오 해류와 가장 밀접한 관계가 있는 영역으로 이에 따른 해수면 고도의 변화 또한 빠르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 한국해협의 해수면 고도 변화에 관한 연구에서 쿠로시오 해류를 통한 분석의 중요성을 제시할 수 있다. 또한, 앞서 제시한 바와 같이 한반도에 강수량이 집중되는 여름철에 해수면 고도와 해수면 온도의 상관이 높게 나타나고 있다. 태풍이 내습할 때에나 폭풍우가 칠 때에 연안지대나 저지대의 피해를 방지하기 위해서 해수면 고도에 대한 연구의 필요성이 증대되며, 해수면 온도를 통한 분석의 중요성을 제시할 수 있다.

6. 결론 및 고찰

한반도 연안의 해수면 고도의 변화와 해수면 온도와

의 상관성을 이해하기 위해서 한반도 연안을 네 개의 영역(동해, 남해, 황해, 한국해협)으로 나누고 그 영역에 따른 변화를 분석하였다. 해수면 고도는 전 영역에 대해서 3.89 mm yr^{-1} 의 상승률을 보이고 있고, 각 영역별로 구분하였을 때, 동해가 5.04 mm yr^{-1} 로 가장 큰 값을 나타내고 있다. 해수면 고도는 가을에 가장 높게 나타나는 반면, 계절별 변화에서는 여름에 5.46 mm yr^{-1} 로 가장 높은 상승률을 기록하고 있다. 해수면 고도와 해수면 온도는 일 년, 반 년 주기가 가장 뚜렷한데, 해수면 고도의 일 년 주기의 진폭은 6 ~ 12 cm이며, 한국해협이 10 ~ 12 cm로 가장 진폭이 크게 나타난다. 해수면이 최대가 되는 시기를 공간적으로 살펴보면 황해가 8 ~ 9월로 가장 빠르게 나타나고, 동해가 10 ~ 11월로 그 시기가 가장 느리다. 반 년 주기는 진폭이 2 ~ 4 cm 정도이고, 동해와 한국해협에 걸쳐 4 cm이상의 큰 진폭이 나타난다. 또한 반 년 주기에서 해수면이 최대가 되는 시기는 11 ~ 1월 사이인데, 한국해협이 10 ~ 11월로 가장 빠르고, 황해와 남해에 11 ~ 12월로 가장 느리게 나타난다. 이에 비해 해수면 온도는 진폭이 6 ~ 10°C 정도

로 위도에 나란하게 극쪽에 가까워 질수록 큰 진폭을 나타내는데, 특히, 황해가 8 ~ 10℃정도로 가장 큰 값을 보인다. 해수면 온도가 가장 높게 나타나는 시기는 여름으로 남해와 한국해협은 8월, 황해와 동해는 7월로 나타난다. 반 년 주기는 진폭이 0.5 ~ 1.0℃정도이며, 황해가 가장 높게 나타난다. 그리고 해수면 온도가 가장 높게 나타나는 시기는 대부분 지역이 1월이다. 해수면 고도와 해수면 온도의 상관도를 분석하기 위해서 해수면 고도와 해수면 온도의 경년변화와 연변화를 전 영역, 각 영역별로 구분하여 나타내었으며, 해수면 온도가 해수면 고도에 앞서는 변화를 보이고 있다. 시간지연 상관계수 분석을 통해서 황해보다 동해와 남해에서 1달 / 2달의 시간지연에 따른 해수면 고도와 해수면 온도의 상관도가 높음을 확인하였다. 특히 동해는 7월에 1달 / 2달 시간지연 상관계수 모두 약 0.8의 높은 상관을 보이고 있으며, 12월부터 5월까지의 기간 동안은 동일한 기간과 1달 시간지연 상관계수가 95% 이상의 유의값을 가지고 있다. 남해는 6월에 1달 시간지연 상관계수가 약 0.7의 높은 상관을 나타내고, 2달 시간지연 상관계수는 6, 8, 9월에 약 0.65의 상관을 보이고 있다. 한국해협은 동일한 기간의 상관이 높게 나타나고 있는데, 1, 3, 4, 6월에 약 0.7의 높은 상관을 보인다. 또한, 1달 시간지연 상관계수는 7월에 약 0.7의 높은 상관을 나타낸다. 황해는 6월에 가장 높은 상관계수를 가지고 있지만, 1달 시간지연 상관계수만이 약 0.6의 값을 가짐으로써 95% 유의값을 만족하고 있다. 이를 통해 6, 7월에 한반도 주변 해역의 해수면 고도가 기압이나 바람보다 열적변화에 더 민감함을 알 수 있다. 본 연구의 결과를 통하여 황해에 비하여 남해와 동해 여름철 1달 / 2달 지연 상관이 높아 여름철 쿠로시오 해류의 영향을 크게 받고 있음을 짐작할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 서 영상, 장이현, 황재동, 2003. 지구환경 변화와 관련된 한국 연근해 해양 이상변동, 한국환경과학회지, 12(3): 257-263.
- 윤 용훈, 오임상, 김기현, 박용향, 2000. 동아시아 주변 해역에서의 TOPEX/POSEIDON 고도 자료와 현장 해수면 자료의 비교, 한국해양학회지, 5(4): 267-275.
- 이 석우, 1967. 한국연안의 월평균해면의 변화에 대하여, 한국해양학회지, 2: 24-33.
- Brown, L. R., 2001. Rising Sea Level Forcing Evacuation of Island Country, Eco-Economy Update, Earth Policy Institute, 4pp.
- Cabanes, C., A. Cazenave, and C. L. Provost, 2001. Sea Level Rise During Past 40 Years Determined from Satellite and in Situ Observations, Science, 294: 840-842.
- Gordon, A. L. and C. F. Giulivi, 2004. Pacific decadal oscillation and sea level in the Japan/East sea, Deep-Sea Research I, 51: 653-663.
- Hirose, N. and A. G. Ostrovskii, 2000. Quasi-biennial variability in the Japan Sea, J. Geophys. Res., 105(C6): 14011-14027.
- IPCC, 2001a. Climate Change, 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge Univ. Press., 1032pp.
- IPCC, 2001b. Climate Change, 2001. The Scientific Basis. Cambridge Univ. Press., 811pp.
- Kang, Y. Q. and B. D. Lee, 1985. On the annual variation of mean sea level along the coast of Korea, J. Korean Soc. Oceanogr., 20: 22-30.
- Kang, S. K., J. Y. Cherniawsky, M. G. G. Foreman, H. S. Min, C. H. Kim, and H. W. Kang, 2004. Patterns of recent sea level rise in the East/Japan Sea from satellite altimetry and in situ data, J. Geophys. Res., 110, doi:10.1029/2004JC002565.
- Nomitsu, T. and M. Okamoto, 1927. The causes of

- the annual variation of the mean sea level along the Japanese coast, *Memoirs Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. A*, 10: 125-161.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation, *J. Climate*, 7: 929-948.
- Singh, O. P., T. M. A. Khan, F. Aktar, and M. A. Sarker, 2001. Recent Sea Level and Sea surface Temperature Changes Along the Maldives Coast, *Marine Geodesy*, 24: 209-218.
- Tvi, N. N., 1970. Seasonal sea-level variations of the South China Sea and their causes, *Oceanography*, 10: 465-471.

