
NOAA/AVHRR 자료에 의한 동북아시아해역 표층해수온의 시공간분석

민승환* · 김대현** · 윤홍주*

Temporal and Spatial Analysis of SST in the Northeast Asian Seas
Using NOAA/AVHRR data

Seung Hwan Min* · Dae Hyun Kim** · Hong Joo Yoon*

이 논문은 BK사업 및 공간정보특성화대학원의 지원을 받은 연구임

요 약

1985~2009년 동안 동북아시아해역 해수면온도의 시·공간변화특성을 연구하였는데, 먼저 기상청 부이 8곳의 자료와 위성 자료를 비교하였다. 제곱평균오차와 편차는 얕은 연안으로 갈수록 증가하였다. 연구해역은 일본기상청에서 나눈 방식에 따라 7해역으로 구분하고, NOAA/AVHRR 자료를 사용하여 조화분해를 수행하여 각 해역의 중점을 비교·분석하였다. 평균해수표면온도는 8~26°C의 변화를 보였고, 연진폭은 7~24°C까지 변화하였다. 그리고 연위상은 7월말에서 8월말까지로 나타났다. 각 해역의 교차상관계수는 표면수온, 연진폭, 연위상이 각각 0.57~0.85, -0.04~0.81, 그리고 0.35~0.80으로 나타났다.

ABSTRACT

To study the spatial and temporal variations of sea surface temperature(SST) in the Northeast Asia sea during the period of 1985 to 2009. At first, the buoy data from Korea Meteorological Administration(KMA) and the satellite data have been matched up eight points. The root mean square error and the bias were increased towards the coastal shallow region. The study area which is divided 7 regions from Japan Meteorological Agency(JMA). We analyzed NOAA/AVHRR data by harmonic analysis which is comparison and analysis the center of the each regions. The mean SST varied between 8°C to 26.0°C. The annual amplitude varied between 7°C to 24°C. And the annual phase varied between end of July to end of August. Cross-correlation coefficients of mean SST, annual amplitude, and annual phase varied 0.57 to 0.85, -0.04 to 0.81 and 0.35 to 0.80 at all study area, respectively.

키워드

해수표면온도, 동북아시아해역, 부이자료, NOAA/AVHRR 자료, 조화분해

Key word

SST, Northeast Asian Sea, buoy data, NOAA/AVHRR data, Harmonic analysis

* 부경대학교 위성정보과학과 (교신저자, yoonhj@pknu.ac.kr)
** (주)오션테크 해양시스템연구소

접수일자 : 2010. 09. 20
심사완료일자 : 2010. 10. 18

I. 서 론

동북아시아 해역의 해양 변화 속도는 대양보다 수배 빠르게 일어나기 때문에, 기후변화로 인한 해양의 변화를 이해할 수 있는 최적의 ‘자연 실험실(Natural Laboratory)’로 알려져 있다. 특히 동해는 대양에서 일어나는 현상들이 축약되어 있는 ‘작은 대양’으로 불리고 있다[1]. 1993년에는 한·일·러 과학자들로 구성된 CREAMS (Circulation Research in East Asian Marginal Seas)에서 동해와 그 인접해역 연구를 하였고, 동해의 해양순환이 대양의 10배정도 빠르게 나타나는 사실을 밝혀 미래 대양의 변화를 예측할 수 있는 실험적 장소로 주목받고 있다. 2009년부터는 한반도근해의 과거, 현재, 미래의 기후변화 이해를 목적으로 OCCAPA (Ocean Climate Change: Analysis, Projection, Adaptation)가 진행 중이다[2].

해수면온도는 기후변화를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나로 빙하, 해수의 열팽창, 해양대순환을 변화시킨다. 적도부근 대양 동쪽의 해수면온도가 5개월 이상 평년보다 0.5°C 이상 높거나 낮을 때 일어나는 엘니뇨, 라니냐, 해수면온도가 26°C 이상일 때 발생하는 태풍은 해수면온도가 원인이 되는 주요한 현상이다. 해수온의 상승은 차가운 물에서 잘 녹는 CO_2 의 흡수를 감소시키고, 고온 고압에서 형성되는 메탄하이드레이트의 승화를 유발한다. 그리고 심각한 산호초 백화현상을 일으킨다[3].

해양 연구에는 장기간 자료 구축이 필요하다. 국립수산과학원에서는 1933년부터 하루 1회씩 연안정지관측을 실시하고 있으며, 1961년부터는 격월로 정선해양관측을 실시하고 있다. 그 외에도 기상청, 해양연구원, 국립해양조사원에서 지속적인 해양자료를 구축하고 있고, WMO (World Meteorological Organization)와 IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission)에서는 1998년부터 ARGO플로트를 이용하여 전 세계 해양을 준 실시간으로 관측하고 있다. 위성관측은 넓은 지역을 동시에 관측할 수 있다는 장점이 있지만 표면에 한정된다는 한계가 있기 때문에 해양 연구에는 현장자료와 위성자료의 상호보완적인 활용이 필요하다. NOAA위성은 현재 한 세대의 자료가 축적되어 해수온 관측 위성자료로는 가장 오래되었다.

기상청에서는 동북아시아의 다양한 해수온 자료를 이용하여 기후변화에 대해 연구하였다[1]. Kang and Choi는 30년간 일본 연안정지관측 수온자료를 분석하여 쿠로시오와 쓰시마해류지역 수온 연변화를 규명하였고[4], 서영상은 NOAA/AVHRR 해수온 자료를 이용하여 한반도 주변 해양의 중규모현상을 연구하였다[5]. Yoon et al. 은 동북아시아해역의 수온과 해수면 높이를 비교분석하였다[6]. 그리고 다년간 NOAA /AVHRR 해수온 자료를 조화분해를 수행하여 분석한 연구가 있었다[7,8].

지금까지 해수온에 관한 연구는 국지적이거나 한 해역 혹은 하나의 해류에 주목하여 연구해 왔다. 여러 해역을 포함하는 연구도 있었지만 연구해역의 전반적인 수온변화에 주목하였다. 동북아시아 해역은 한류와 난류가 지나고, 40°N 부근에서는 극전선을 이루며, 양자강 연안수 등 강물의 유입이 혼재한다. 그리고 수심은 수십~수천m까지 변하며 지형의 기복이 심하다. 이런 특성에 따라 동북아시아 해역을 몇 군데로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 JMA (Japan Meteorological Agency)의 해역구분에 따라 해역을 구분하고 각 해역 간 수온의 다년 변동을 비교분석하였다.

II. 자료 및 방법

본 연구의 연구해역은 그림1과 같이 JMA에 따라 동해중부(Central East Sea, CES), 동해남부(Southern East Sea, SES), 황해(Yellow Sea, YS), 동중국해북부(Northern East China Sea, NECS), 시코쿠&토카이북부(Northern part off the coast of Shikoku & Tokai Area, NSTA), 시코쿠&토카이남부(Southern part off the coast of Shikoku & Tokai Area, SSTA), 동중국해남부(Southern East China Sea, SECS)의 7개 해역으로 나누었다.

그림 1에 해당하는 각해역의 중심 3×3 픽셀을 해역간 수온비교에 사용하였고, 그 중심위치를 표 1에 나타내었다.

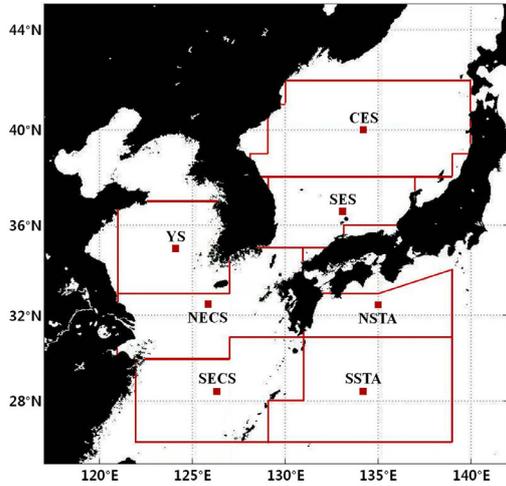


그림 1. 연구해역
Fig. 1 The study regions

표 1. 각 해역의 중심위치
Table. 1 Each regions central position

해역명	위치(°N, °E)
CES	40, 134
SES	36.5, 133
YS	35, 124
NECS	32.5, 126
NSTA	32.5, 135
SSTA	28.5, 134
SECS	28.5, 126.5

이 해역은 쿠로시오와 그 지류인 쓰시마난류, 대만난류 그리고 리만한류와 북한한류, 난류와 한류가 만나는 동해 극전선을 포함하는 해역이다.

본 연구에서 사용한 자료는 공간분해능 4km의 NOAA/AVHRR Pathfinder ver. 5.0 Optimally Interpolated SST이고, 1985년부터 2009년까지 25년의 자료를 사용하였다. 이 자료는 RSMAS (University of Miami's Rosentiel school of Marine and Atmospheric Science)와 NOAA NODC (National Oceanographic Data Center)에서 만들어 PO.DAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) JPL (Jet Propulsion Laboratory)에서 낮과 밤으로 나누어 제공하고 있다.

SST는 -3~35℃로 제한하였다. 본 연구에 사용한 1985년부터 2009년까지의 7일 자료 중 200036 밤, 200309 낮, 200310 낮, 200314 낮, 200337 낮, 200445 낮 자료에 결측을 발견하여 제거하고 보간 하였다.

위성자료의 검증을 위해 2005년부터 2009년까지 그림 2와 같이 기상청 부이 8곳의 수온자료를 사용하였다. 기상청 부이는 1시간 간격으로 관측하고 있고, 덕적도, 칠발도, 거문도, 거제도, 동해 부이는 2005년 이전부터 관측을 하였으나, 포항과 마라도는 2008년 11월 15일부터 관측을 시작하였으며, 외연도는 2009년 10월 22일부터 관측을 시작하였다.

기상청에서는 2005년부터 현재까지 자료부터 시작하여 과거 전 자료에 대하여 품질검사를 실시하고 있다. 하지만 아직 완전한 검사가 이루어지지 않았다. 그래서 본 연구에서는 기상청 '기상관측자료 실시간 품질관리 시스템' 방법에 따라 표2에 해당하는 오류자료를 제거하였다[9].

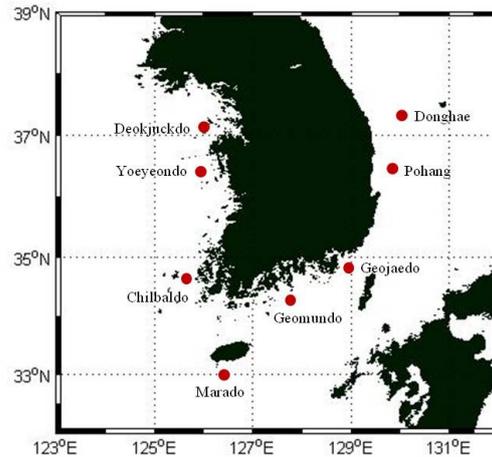


그림 2. KMA 부이 위치
Fig. 2 Locations of KMA buoy

표 2. 해수온 품질검사
Table. 2 Sea temperature quality control

검사	내용
결측자료검사	ST=9999, ST=99999
물리한계검사	ST<-2℃, ST>40℃
단계검사	ST _t - ST ₀ >4.98℃
지속성검사	13시간 동안 ST변동량=0℃

SST의 연변화 연구를 위하여 조화분해를 수행하였다.

$$T(t) = T_0 + T_1 \cos(\omega_1 t - \phi_1) + T_2 \cos(2\omega_2 t - \phi_2) \quad (1)$$

여기서, T_0 는 연평균 수온, ω_1, ω_2 는 각속도 값으로써, $\omega_1 = (2 \times \pi) / (365/7), \omega_2 = 2 \times \omega_1, t$ 는 시간, T_1 는 연진폭값, T_2 는 반년진폭값 그리고 ϕ_1 와 ϕ_2 는 각각 연위상과 반년위상이다. 식 (1)에서 T_1 와 T_2 는 실제 현상의 절반에 해당하는 값으로 표현된다. 여기에서는 이해를 돕기 위해 T_1 와 T_2 의 값을 두 배로 하였다.

III. 결 과

먼저, 위성자료의 유효성 검증을 위해 기상청 부이 8곳의 자료와 위성자료를 일치시켜 제공평균오차와 차를 계산하였다. 부이는 하루 24시간 자료를 평균하였고, 위성자료는 낮과 밤의 값을 평균하였다.

마라도, 포항, 동해 부이에서는 양의 편차가 나왔는데 이 지점은 쓰시마 난류가 흐르는 지점으로 연중수온이 높은 지점이다. 반면 덕적도, 외연도, 칠발도, 거제도, 거문도는 음의 편차가 나왔다. 이곳은 저온의 남해연안수(South Korean Coastal Waters)와 서해남부연안수(Yellow Sea Coastal Water)가 연중 존재하는 곳이다[10,11]. 그림 3(a), (c), (e), (h)와 같이 저온수가 발생하는 지점은 위성 관측 값이 실제보다 높게 나타났다. 반면 그림 3(b), (d), (f), (g)와 같이 쓰시마 난류가 흐르는 지점은 위성 관측 값이 실제수온보다 낮게 나타났다. 포항지점은 전체적으로 양의 편차를 보이지만 7월 9일부터 22일까지는 최대 -5.9°C 의 오차를 보인다. 이것은 같은 시기 포항지점의 냉수대 발달과 일치한다. 거문도 지점은 2008년과 2009년에 두드러지게 큰 음의 편차를 보였는데, 이것은 같은 시기에 거문도 지점 부이의 수온 하강과 일치하였다.

부이 수온과 위성관측 값이 차이가 생기는 또 다른 이유는 위성센서는 $10\mu\text{m}$ 이내의 해수 표층(skin SST)을 측정한다. 한편 부이는 수m의 깊이(subsurface SST)에서 측

정하게 된다. 이러한 수온을 Bulk수온이라고 한다. 표층과 표층에서 수m 사이에는 연직수온 구배에 따라 수 $^{\circ}\text{C}$ 의 수온차이가 생길 수 있다[12, 13].

연안은 제공평균오차와 편차가 크게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같이 위성자료에서 표 1과 같은 각 해역의 중심에 해당하는 3×3 픽셀을 선택하였다.

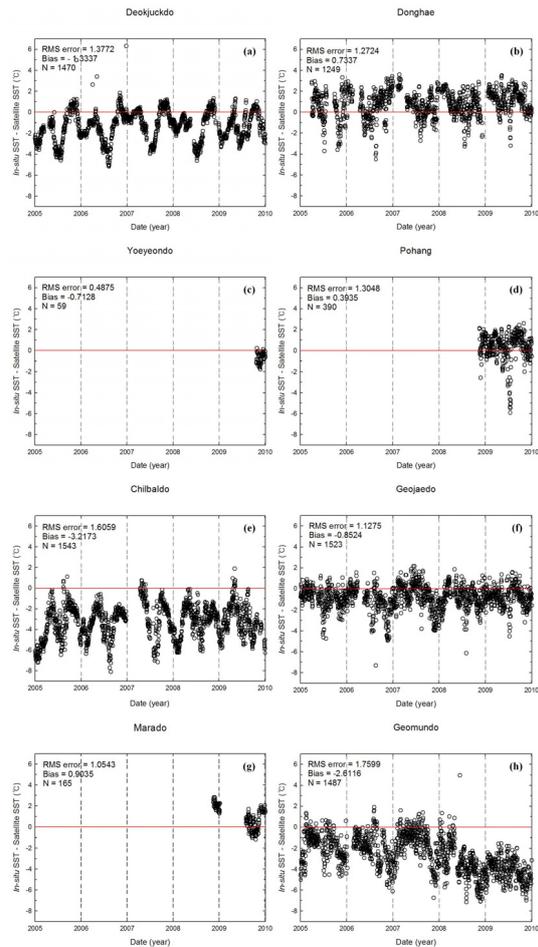


그림 3. 위성자료와 현장자료의 일 수온 편차
Fig. 3 Daily variations of SST errors for In-situ data to satellite data

1985년부터 2009년까지 25년간의 NOAA/AVHRR 7일 자료를 사용하여 조화분해를 수행하였다. 그림 4는 조화분해의 결과이다. 평균 해수표면수온에서 쿠로시오해역은 22°C 이상으로 높게 나타났고, 동해 북부는 1

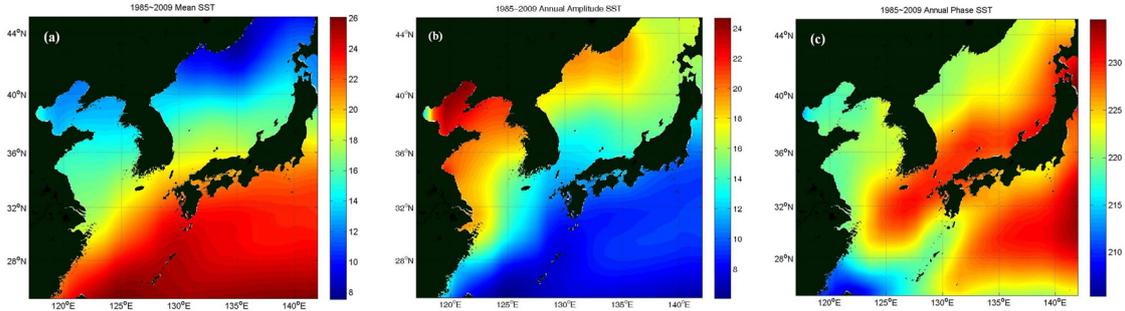


그림 4. 조화분해에 의한 평균해수표면수온, 연진폭, 연위상 분포
 Fig. 4. Distributions of Mean SST, Annual Amplitude and Annual Phase by harmonic analysis, respectively

2°C 이하로 나타났으며, 특히 블라디보스톡 앞바다는 1.0°C 이하로 가장 낮게 나타났다. 이곳은 블라디보스톡의 산악지역을 통과하면서 발생하는 강한 바람으로 연직 혼합이 잘 일어나는 지점이다[14].

쿠로시오 해역의 연진폭은 11°C 이하로 가장 낮게 나타나고, 황해 북부는 22°C 이상으로 가장 높게 나타났다.

연위상은 일본주변해역에서 8월 말로 가장 느리게 나타났고, 대륙과 인접한 동해중·북부, 황해, 동중국해 남부에서 8월 중순으로 빠르게 나타났는데 이것은 해양학적 기후를 보이는 해역이 대륙성 기후를 보이는 해역보다 빠른 위상을 나타내기 때문이다.

특히 보하이만은 인접해역보다 수온은 높고, 연진폭은 작으며, 위상은 빠르게 나타났는데, 이것은 수심이 수 m로 얕고, 수직적인 수온구조를 보이며, 인접해역과 역방향의 해류순환을 보이는데 그 원인이 있는 것으로 보인다[15].

그림 5에서 평균 표층수온과 연진폭, 연위상은 각각 13.1~24.0°C, 9.2~17.6°C, 222~230°의 범위를 보였고, 일반적으로 위도가 증가할수록 수온은 낮아지고 진폭은 커진다. 위상은 위도보다는 기후의 영향이 더 큰 것을 보였다. 단 황해는 같은 위도에 위치한 해역보다 수온은 낮고, 연진폭은 높은 것으로 나타났다. 평균 표층수온과 연진폭의 편차는 각각 0.3~0.6°C, 0.5~1.3°C로 위도가 증가할수록 커졌고, 연위상은 3~4°로 거의 비슷했는데, 이것은 각 지점의 SST 연변화가 대체로 비슷한 패턴으로 변화한다는 것을 알 수 있다.

표 3에서 반년진폭은 1.0~2.3°C의 범위를 보였고, 반년위상은 37~75°를 보였다. 반년위상의 표준편차는 13~36°로 연위상에 비해 큰 값을 보였는데 이는 반년진폭이 연진폭의 10% 정도의 크기를 보이는 반면 표준편차는 비슷하거나 조금 낮은 수준에서 변하기 때문이다.

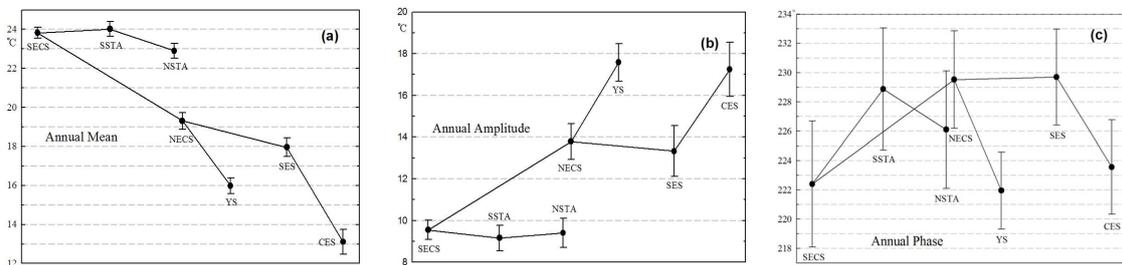


그림 5. 각 해역의 25년 간 해수표면수온의 연평균, 연진폭, 연위상과 각각의 표준편차
 Fig. 5 Annual mean, amplitude and phase of SST for 25 years and their standard deviations at each regions

표 3. 25년간 동북아시아해역 SST의 조화상수와 표준편차
Table. 3 Harmonic constants and their standard deviation of SST at the Northeast Asian Sea for 25 years

St.	$T_0(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$\phi_1(^{\circ})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$\phi_2(^{\circ})$
CES	13.1±0.6	17.2±1.3	224±3	2.3±0.7	75±21
SES	18.0±0.5	13.3±1.2	230±3	1.7±0.7	66±18
YS	16.0±0.4	17.6±0.9	222±3	2.1±0.5	58±13
NECS	19.3±0.4	13.8±0.9	230±3	2.0±0.5	55±15
NSTA	22.9±0.4	9.4±0.7	226±4	1.1±0.4	72±20
SSTA	24.0±0.4	9.2±0.6	222±4	1.0±0.5	51±33
SECS	23.8±0.3	9.6±0.5	222±4	1.0±0.5	37±36

그림 6은 7개 해역에서 1985년부터 2009년까지 25년 동안 연평균 해수표면수온, 연진폭, 연위상의 연 변화를 각각 나타낸 것이다. 각 지점마다 약간의 차이는 있지만 비슷한 패턴으로 변화하는 것을 알 수 있다. 연평균 해수 표면수온은 낮을수록 연간 수온변동이 커지는 경향이 있다. 2005년은 지난 150년간의 기상관측 이래 가장 더운 해였다[16].

하지만 그림 6(a)에서 동북아시아해역의 수온은 1998년이 가장 높은 것으로 나타났다. 1985년부터 1998년까지

는 0.0628°C/년의 증가를 보였다. 하지만 1998년부터 2009년까지는 -0.0559°C/년의 감소를 보였다. 연진폭은 고위도에서 저위도로 갈수록 연변화폭이 작아지는 경향이 있다. 반면 연위상은 고위도에서 저위도로 갈수록 연변화폭이 커졌다.

표 4는 25년간 NOAA/AVHRR 7일 자료를 이용하여 각 해역 간 연평균 SST의 상관계수를 구한 것이다. 평균 SST의 상관계수 범위는 0.57~0.85로 전체적으로 상관관계가 높았다.

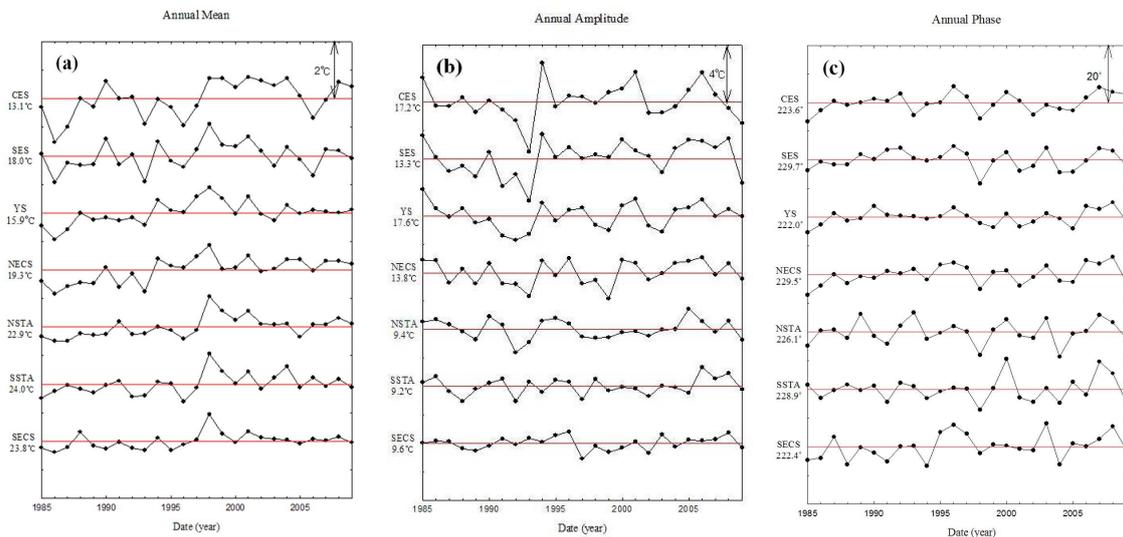


그림 6. 조화분해에 의한 평균 해수표면온도, 연진폭, 연위상 분포의 연 변동
Fig. 6. Interannual fluctuations of annual mean, annual amplitude and annual phase of SST by harmonic analysis, respectively

YS와 NECS (0.85), SSTA와 NSTA (0.83)과 같이 같은 해류가 흐르는 지점은 상관성이 높게 나타나고, NECS와 NSTA (0.61) 같이 같은 위도에 위치하더라도 다른 해류의 영향을 받는 지점은 상관성이 낮게 나타났다. 표 5

는 같은 각 해역 간 연진폭의 상관계수를 나타낸 것이다. 그 범위는 -0.04~0.81로 평균 SST에 비해 변화폭이 크게 나타났는데, CES와 SES (0.81)나 YS와 NECS (0.77) 같이 위도가 비슷할수록 높은 상관계수를 보였다.

표 4. 25년 동안 동북아시아 각 해역 간 평균 SST의 교차상관계수
Table. 4 Cross-correlation coefficients of mean SST for 25 years between each pair regions in the Northeast Asian Sea

St.	CES	SES	YS	NECS	NSTA	SSTA	SECS
CES	1.00	0.77	0.61	0.64	0.70	0.59	0.58
SES	0.77	1.00	0.73	0.77	0.66	0.59	0.62
YS	0.61	0.73	1.00	0.85	0.74	0.63	0.76
NECS	0.64	0.77	0.85	1.00	0.61	0.57	0.61
NSTA	0.70	0.66	0.74	0.74	1.00	0.83	0.83
SSTA	0.59	0.59	0.63	0.63	0.83	1.00	0.75
SECS	0.58	0.62	0.76	0.76	0.83	0.75	1.00

표 5. 25년 동안 동북아시아 각 해역 간 연진폭의 교차상관계수
Table. 5 Cross-correlation coefficients of annual amplitude for 25 years between each pair regions in the Northeast Asian Sea

St.	CES	SES	YS	NECS	NSTA	SSTA	SECS
CES	1.00	0.81	0.73	0.62	0.48	0.07	-0.04
SES	0.81	1.00	0.73	0.75	0.56	0.19	0.07
YS	0.73	0.73	1.00	0.77	0.52	0.15	0.01
NECS	0.62	0.75	0.77	1.00	0.67	0.30	0.34
NSTA	0.48	0.56	0.52	0.67	1.00	0.42	0.47
SSTA	0.07	0.19	0.15	0.30	0.42	1.00	0.60
SECS	-0.04	0.07	0.01	0.34	0.47	0.60	1.00

표 6. 25년 동안 동북아시아 각 해역 간 연위상의 교차상관계수
Table. 6 Cross-correlation coefficients of annual phase for 25 years between each pair regions in the Northeast Asian Sea

St.	CES	SES	YS	NECS	NSTA	SSTA	SECS
CES	1.00	0.70	0.69	0.66	0.45	0.48	0.47
SES	0.70	1.00	0.64	0.76	0.72	0.54	0.51
YS	0.69	0.64	1.00	0.80	0.41	0.35	0.47
NECS	0.66	0.76	0.80	1.00	0.61	0.42	0.71
NSTA	0.45	0.72	0.41	0.61	1.00	0.66	0.60
SSTA	0.48	0.54	0.35	0.42	0.66	1.00	0.39
SECS	0.47	0.51	0.47	0.71	0.60	0.39	1.00

반면 YS와 SECS (0.01), CES와 SECS (-0.04)같이 해역 간 거리가 멀수록 상관계수가 낮게 나타났다. 표 6은 각 해역 간 연위상의 상관계수를 나타낸 것으로 0.35~0.80의 범위를 보였다. YS와 NECS (0.80)는 두 곳 모두 대륙성 기후의 영향이 큰 곳으로 높은 상관성을 보인 반면, 같은 위도에 위치하였지만 대륙성기후의 영향이 큰 SECS와 해양성기후의 영향이 큰 SSTA (0.39)는 낮은 상관성을 보였다.

IV. 결론 및 고찰

1985년부터 2009년까지 25년간의 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 동북아시아 해역 SST의 시공간변화를 연구하였다. 연구해역은 JMA의 기준에 따라 7곳으로 구분하였다. 위성자료의 검증에 위해 2005년부터 2009년까지 KMA의 8곳의 부이자료와 비교하였다. 품질검사를 거친 부이자료와 위성자료를 비교해본 결과 제곱평균오차는 0.49~1.76으로 나타났고, 편차는 -3.22~0.90로 나타났다. 저온수가 발생하는 덕적도, 외연도, 칠발도, 거문도는 위성 관측 값이 실제보다 높게 나타났다. 반면 연중 난류가 흐르는 마라도, 거제도, 포항, 동해 지점은 위성 관측 값이 실제 수온보다 낮게 나타났다. 그래서 냉·온수의 영향이 적은 각 해역의 중심에 해당하는 지점을 조화분해를 이용하여 비교·분석하였다.

분석결과 평균해수표면온도는 8~26°C의 범위를 보였는데, 쿠로시오해역은 22°C 이상으로 높게 나타났고, 동해 북부는 12°C 이하로 나타났다. 특히 블라디보스톡 앞바다는 10°C 이하로 가장 낮게 나타났다. 연진폭은 4.5~8.8°C의 범위를 나타내었는데 평균해수표면온도와 거의 반대의 경향을 보였다. 쿠로시오 해역의 연진폭은 1°C 이하로 가장 낮게 나타났고, 황해 북부는 22°C 이상으로 가장 높게 나타났다.

연위상은 7월말에서 8월말의 범위를 보였다. 일본주변 해역에서 8월 말로 가장 느리게 나타났고, 대륙과 인접한 동해중·북부, 황해, 동중국해 남부에서 8월 중순으로 빠르게 나타났는데 이것은 해양학적 기후를 보이는 해역이 대륙성 기후를 보이는 해역보다 빠른 위상을 나타내기 때문이다.

각 해역의 연평균온도, 연진폭, 연위상의 연변동에서 연평균 해수표면수온은 평균수온이 낮을수록 연간 수

온변동이 커지는 경향이 있다. 동북아시아해역의 수온은 1998년이 가장 높게 나타났다. 1998년을 기준으로 수온변동을 비교해본 결과 1985년부터 1998년까지는 0.0628°C/년의 증가를 보인 반면 1998년부터 2009년까지는 -0.0559°C/년의 감소를 보였다. 연진폭은 고위도에서 저위도로 갈수록 연변화폭이 작아지는 경향이 있다. 반면 연위상은 고위도에서 저위도로 갈수록 연변화폭이 커졌다.

조화분해결과에 의한 각 해역 간 연평균 표면수온의 상관계수 결과 YS와 NECS, SSTA와 NSTA 같이 같은 해류가 흐르는 지점은 상관성이 높고, NECS와 NSTA 처럼 같은 위도에 위치하더라도 다른 해류의 영향을 받는 지점은 상관성이 낮았다. 연진폭의 상관계수는 CES와 SES나 YS와 NECS 처럼 인접한 해역일수록 상관성이 높게 나타났다. 연위상의 상관계수에서는 해양성기후와 대륙성기후 중 영향을 많이 받는 기후에 따라 상관성이 달라졌다.

참고문헌

- [1] 기상청, “기후 변화에 따른 한반도 주변해 및 동북아시아 해수 온도의 장기 변동 추세”, 2009.
- [2] “Sea-level Change: Past, Present, and Future”, *OCCAPA Workshop*, 2010.
- [3] Hoegh-Guldberg O., “Climate change, coral bleaching and the future of the world’s coral reefs”, *Mar. Freshwater Res.*, vol.50, pp. 839-866, 1999.
- [4] Kang Yong Q., Seong Won Choi, “Annual and Interannual Fluctuations of Coastal Water Temperatures in the Tsushima Current and the Kuroshio Regions”, *Bull. Korean Fish. Soc.*, vol.18, no.6, pp. 497-505, 1985.
- [5] 서영상, “위성 원격탐사에 의한 한반도 근해의 해양학적 특성”, 부경대학교 박사학위논문, 2001.
- [6] Yoon Hong-Joo, Heung-Soon Kang and Han-Keun Cho, “Variations of Sea Level and Sea Surface Temperature in Korean Seas by Topex/Poseidon and NOAA”, *Korean Journal of Remote Sensing*, vol.23, no.1, pp. 59-63, 2007.
- [7] Kang Y. Q., Sang-Bok Hahn, Young-Sang Suh and Sung-Joo Park, “Variations of SST around Korea

Inferred from NOAA AVHRR Data, *Korea Journal of Remote Sensing*, vol.17, no.2, pp. 183-188, 2001.

- [8] Min Seung Hwan, Dae Hyun Kim, Jin Kwon Kim and Hong Joo Yoon, "Variability of the Northeast Asia Seas SST past 1985-2008 years", *International Symposium on Remote Sensing 2009*, 2009.
- [9] 박남철, 허복행, 이진아, 유동봉, "기상관측자료실시간 품질관리시스템(I) 활용법", p. 49, 2006.
- [10] 나정열, 한상규, 조규대, "한반도 근해의 해류와 해수 특성", 한국수산학회지, 제23권, 제4호, pp. 267-279, 1990.
- [11] 한상복, 강영실, 정희동, 진현국, 강청미, 서영상, 오현주, 박정훈, 장이현, "한국근해 30년평균 수온 염분 용존산소 수평분포도 (1966~1995)", 국립수산진흥원, 1998.
- [12] 박경애, Futoki Sakaida, Hiroshi Kawamura, "북동아시아 해역에서 인공위성 관측에 의한 해수면온도의 오차 특성", 한국지구과학회지, 제29권, 제3호, pp. 280-289, 2008.
- [13] Donlon C. J., P. J. Minnett, C. Gentemann, T. J. Nightingale, I. J. Barton, B. Ward, M. J. Murray, "Toward Improved Validation of Satellite Sea Surface Skin Temperature Measurements for Climate Research", *Journal of Climate*, vol.15, pp. 353-369, 2002.
- [14] Kawamura Hiroshi, Peiming Wu, "Formation mechanism of Japan Sea Proper Water in the flux center off Vladivostok", *Journal of Geophysical Research*, vol.103, no.10, pp. 21,611-21,622, 1998.
- [15] Hainbucher D., W. Hao, T. Pohlmann, J. Sündermann, and S. Feng,, "Variability of the Bohai Sea circulation based on model calculations", *J. of Marine Systems*, vol. 44, pp. 153-174, 2004.
- [16] Gore, L., "불편한 진실", 좋은생각, 2006.

저자소개

민승환(Seung Hwan Min)



2008년: 부경대학교 해양학과 (이학사)
2009년~현재: 부경대학교
위성정보과학과 석사과정

※ 관심분야: 해양 RS, 기후변화

김대현(Dae Hyun Kim)



1996년: 부산수산대학교 해양학과 (이학사)
1998년: 부산수산대학교 해양학과 (이학석사)

2008년: 부경대학교 해양학과 (이학박사)
2010년 현재: (주)오션테크 해양시스템연구소
※ 관심분야: 원격탐사, 용승, HF 레이더, 기후변화

윤홍주(Hong Joo Yoon)



1983년: 부산수산대학교 해양공학과 (공학사)
1985년: 부산수산대학교 해양공학과 (공학석사)

1997년: Grenoble I 대학교 지구물리환경공학과 (공학박사)
1997년: 기상청 기상연구소 연구관
1999년: 여수대학교 해양공학과 조교수
2002년~현재: 부경대학교 위성정보과학과 부교수
※ 관심분야: 해양 RS & GIS, 기후변화