

## 한국연안 이상고수온과 저수온의 지속성 기간의 정량화

서 영 상 · 황 재 동 · 장 이 현 · 강 용 균\*  
국립수산진흥원 해양연구과, \*부경대학교 해양학과  
(2000년 7월 18일 접수)

### Quantifying of the Persistent Periods of the Positive and Negative Sea Surface Temperature Anomalies at the Coastal Areas of the Korean Peninsula

Young-Sang Suh, Jae-Dong Hwang, Lee-Hyun Jang and Y. Q. Kang\*  
Oceanographic Division, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea  
\*Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea  
(Manuscript received 18 July 2000)

The magnitudes of sea surface temperature (SST) anomalies at 13 coastal stations along the Korean peninsula in the summer and winter for the past 29 years (1969-1997) are more larger than those in the spring and autumn. The periods of positive SST anomalies (negative SST anomalies) longer than 1°C were 75(74.5) months in the eastern coast of Korea, 47.8(51.6) months in the southern coast of Korea and 69.5(69.8) months in the western coast of Korea during the past 348 months (1969-1997). The predominant periods of the low-pass filtered monthly SST anomalies are 3 years or 13 months, even another predominant period is 24 months. The spatial variation of SST anomalies were confined by regional seas of the Korean peninsula, such as the East Sea, the South Sea and the West Sea itself.

Key words : SST Anomaly, Predominant Period

#### 1. 서 론

한반도 연안에는 연안어업과 수산물양식이 활발히 이루어지고 있어 조업 및 양식어장환경에 크게 영향을 미치는 이상 고수온과 저수온의 지속기간과 주기를 정량화하여 이해 할 필요가 있다.

지금까지 한국연안에서의 표면수온변동에 대한 계절적 변화와<sup>1)2)</sup>, 대마난류의 주된 영향을 직접 받는 대한해협에서 표면수온의 경년변동이 연구되었다<sup>3)4)</sup>. 장기간 관측된 자료를 이용하여 한국연안을 따라 이상 고수온 및 저수온 현상이 나타난다는 것과 이러한 현상과 기온과의 연관성에 관한 연구도 수행되었다<sup>5-7)</sup>. 하계 동해 연안수온의 이상변동의 일부 원인이 되는 연안 냉수대에 관해 송(1984)<sup>8)</sup>은 동해남부의 용승에 관한 수치실험을 하여 바람과 해안선에 의해 용승이 발생한다는 것을 제시하였다. 그러나 이들 연구에서는 냉수대 등의 해양 특이 현상이 한국연안 수온의 계절변동을 배제한 이상 표면수온의 변동양상에 영향을 주는 연구는 포함하고 있지 않다.

본 연구에서는 자료는 30년 이상 장기간 동안 한국연안의 13개 연안정지 관측점에서 매일 관측한 표면수온 자료를 사용하였으며, 연구목적은 표면수온의 계절변화

를 배제한 이상치들(anomalies)을 이용해 이상수온이 발생 후 그 지속기간과 발생주기가 어느 정도인지를 정량화 하였다. 이상치의 발생 주기를 통해 한국 연안의 이상 고수온과 저수온의 탁월주기를 분석하고 밝히고, 이상치들의 지역적 상관관계를 통해 해역별 공간적 상관성을 살펴보고자 하였다.

#### 2. 자료 및 방법

##### 2.1. 표면수온 이상치(SST anomalies)

국립수산진흥원이 한국연안 13개 연안정지관측점 (Fig. 1)에서 1969년부터 1997년까지 29년간 매일 오전 10시에 관측한 일별 자료를 이용하여 단기 변동성분을 제거하기 위해 월별 평균 표면수온 자료를 만들었다. 이렇게 구한 29년간의 월별 평균 표면수온 자료를 이용하여 각 월별로 평균을 구한 월별 표면수온 평년치(monthly normal)를 구하였다. 29년간(1969-1997)의 월별 평균값에다 월별 평년치를 뺀 29년(348개월)의 월별 이상치(monthly anomalies)를 구하였다(Fig. 2). 월별 이상치 자료로부터 이상 고수온과 저수온의 발생시기와 지속기간의 빈도도 구하였다.

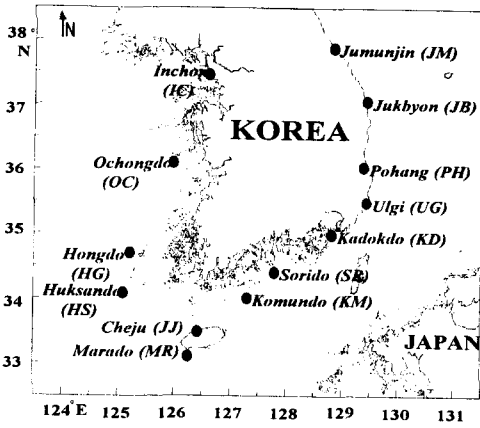


Fig. 1. Locations of 13 coastal stations in Korea.

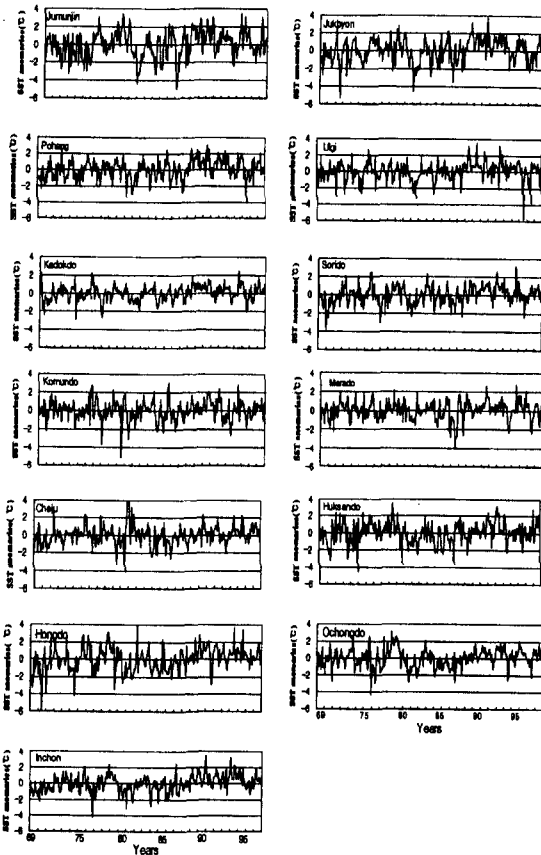


Fig. 2. Monthly anomalies of SST at 13 coastal stations in Korea during 1969-1997.

2.2. 주기분석

주기분석(spectral analysis)을 통해 13개 연안정지 관

측정점별 탁월 주기를 구하였다. 주기분석을 위해 Wiener-Khinchine정리를 이용하여 식 (1)과 같이 자기상관함수(auto-correlation function)의 Fourier Transform을 수행하였다.

$$S(f_j) = \sum_{\tau=0}^{n-1} R(\tau)e^{-2\pi i f \tau} \quad f = \frac{j}{n} \quad (1)$$

여기서  $S(f_j)$ 는 j번째 주파수에서 Spectral density,  $R(\tau)$ 는 주어진 시계열의 자기상관함수,  $\tau$ 는 시간지연(time lag)이며,  $n$ 은 시계열의 자료 개수이다.

Power Spectrum의 신뢰구간(오차범위)을 줄이기 위해 자료를 몇 개의 구간으로 나누어, 그 나누어진 구간을 이동하면서 계산하는 Smoothed power spectrum을 이용하였다. 본 연구에서는 총 348개 (29년)의 월별 이상수온자료를 이용하여 autocorrelation function(자기상관함수)을 구하고, 72개월의 Triangular lag window를 이용하여 식 (2)와 같이 Fourier Transform을 수행 후 Smoothed power spectrum을 구하였다<sup>9)</sup>.

$$\bar{S}(f_j) = \sum_{\tau=-M}^M W(\tau)R(\tau)e^{-2\pi i f \tau} \quad f = \frac{j}{n} \quad (2)$$

여기서  $\bar{S}(f_j)$ 는 j번째 주파수에서 Smoothed Spectral density,  $W(\tau)$ 는 window,  $M$ 은 window 길이,  $R(\tau)$ 는 주어진 시계열의 자기상관함수,  $\tau$ 는 시간지연(time lag)이며,  $n$ 은 시계열의 자료 수이다. 각 정점별 Smoothed power spectrum을 이용하여 동, 서, 남해의 해역별 및 한국연안의 13개 조사 정점을 합한 한국연안의 composite power spectrum을 구하였다.

편의상 13개 연안정지관측점 중 울기, 포항, 죽변과 주문진을 동해연안으로, 제주, 마라도, 거문도, 소라도 및 가덕도를 남해연안으로, 인천, 어청도, 홍도와 흑산도를 서해연안으로 임의 구분하였다.

2.3. Low-pass filter

계절변화를 배제한 이상치에 대한 장주기 성분을 보기 위해 Hamming window를 이용해 24개월 이상의 성분만을 포함하는 Low-pass filter를 수행하였다. Hamming window는 Gibb's 현상을 줄이는데 이용하였으며<sup>10)</sup>, 본 연구에서는 24개월의 window length를 이용하였다. 따라서 총 348개월의 원 자료에서 앞, 뒤로 24개월을 뺀 300개월의 자료를 이용하였다. 24개월 이상의 장주기 성분을 구하고 13개 연안정지 관측점에 대해 24개월 이상의 장주기성분의 지역간 상관계수를 구하였다.

3. 결과

대부분의 한국 연안정지 관측점에서 1°C 보다 높은 이상수온의 지속기간은 봄(4, 5, 6월)과 가을(10, 11, 12월)보다 겨울(1, 2, 3월)과 여름(7, 8, 9월)에 길게 나타났다(Fig. 3a, b, c, d). 또한 총 348개월 조사기간 중 1°C 이상의 고수온(저수온)현상이 나타난 지속기간은 동해연

안에서 75(74.5)개월, 남해연안에서 47.8(51.6)개월, 서해연안에서 69.5(69.8)개월이었다(Fig. 3e).

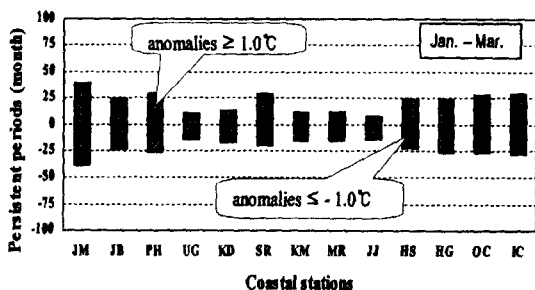


Fig. 3a. Persistent periods of the SST anomalies with more than 1°C at each station in winter season for 29 years(1969-1997).

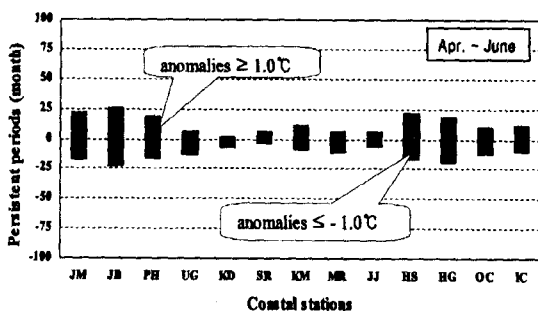


Fig. 3b. Same as the fig. 3a, except for spring season.

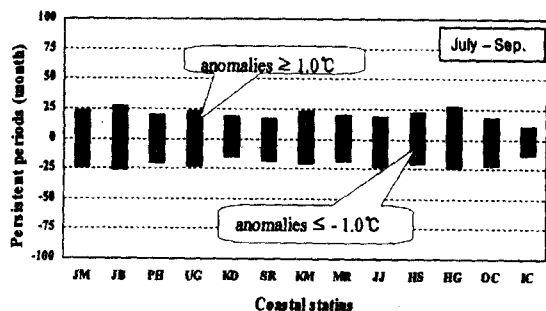


Fig. 3c. Same as the fig. 3a, except for summer season.

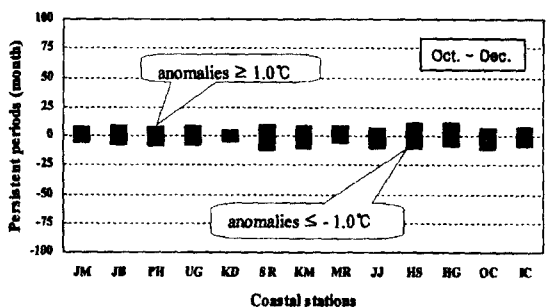


Fig. 3d. Same as the fig. 3a, except for autumn season.

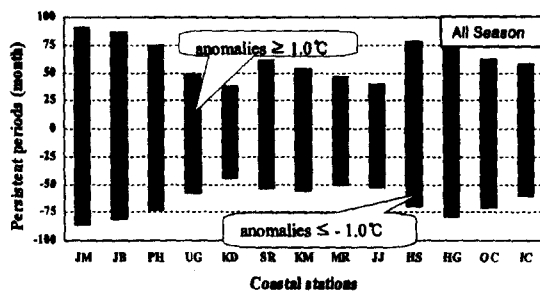


Fig. 3e. Same as the fig. 3a, except for all season.

총 348개월 중 1°C보다 높은 이상 고수온이 발생 시작하여 소멸까지 지속기간 및 빈도는 동해의 경우 1개월 정도 지속된 것이 17회로 가장 많은 빈도 수를 보였고, 7개월 지속된 것이 3회로 나타났다. 남해의 경우 최다빈도 출현기간인 1개월 지속은 15회였으며, 7개월 지속된 것이 3회였다. 서해의 경우 최다 출현빈도 기간이 1개월 지속으로 17회였으며, 13개월 지속된 경우가 1회였다 (Table 1a). 총 348개월 중 -1°C보다 낮은 이상 저수온이 발생, 소멸했던 지속기간의 빈도는 동해의 경우 1개월이 19회, 12개월이 1회였다. 남해의 경우 1개월이 15회, 7개월이 1회였다. 서해의 경우 1개월이 17회, 8개월이 1회였다 (Table 1b).

Table 1. Occurring numbers and persistency of SST anomalies with than 1°C at each station for 29 year (1969-1997).(a) Positive SST anomalies. (b) Negative SST anomalies

Sub area	St.	(a)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
East area	Jamunja	16	7	3	4	3	0	3	0	0	0	0	0	0
	Jukbyeon	16	9	6	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0
	Pohang	17	11	3	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
	Ulji	18	6	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
South area	Inokdo	17	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sorido	12	11	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Komado	18	5	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Marado	14	5	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
West area	Chju	13	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Huksando	21	8	4	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	Hwangdo	19	7	4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0
	Ochoangdo	13	8	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Incheon	Incheon	14	7	5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Sub area	St.	(b)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
East area	Jamunja	19	9	5	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0
	Jukbyeon	15	7	4	3	2	1	0	0	0	0	0	1	0
	Pohang	19	14	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Ulji	22	7	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
South area	Inokdo	15	7	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sorido	19	9	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Komado	14	11	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Marado	9	5	7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
West area	Chju	21	6	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Huksando	17	7	0	2	1	3	1	0	0	0	0	0	0
	Hwangdo	16	2	3	2	4	1	2	0	0	0	0	0	0
	Ochoangdo	16	5	4	1	3	1	0	1	0	0	0	0	0
Incheon	Incheon	17	4	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0

\* Persistence months of SST anomalies at each station in months.

표면수온 이상치(SST anomalies)의 탁월 주기는 해역 별로 보면 동해연안에서 33개월, 남해연안에서 각각 37개월, 13개월, 10개월, 서해연안에서 37개월, 13개월로 나타났다(Fig. 4). 한반도 대부분 연안에서의 이상수온의 탁월주기는 3년 및 13개월로 나타났다(Fig. 5). 24개월 보다 장주기를 가지는 이상수온의 발생시 한반도 연안정점 간의 상호 공간적 상관도는 동해연안역에서 포항-주문진간(0.65), 남해연안역에서 가덕도-소리도간(0.76), 서해연안역에서 흑산도-어청도간(0.78) 및 어청도-인천간(0.70)에서 높게 나타났다(Table 2).

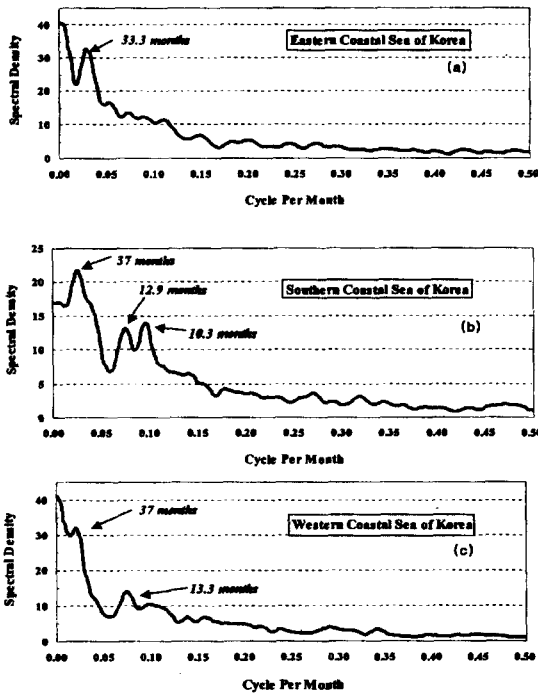


Fig. 4. Composite spectrum of SST anomalies of the Korean coastal areas for 29years. (a) 4 stations in the eastern coast of Korea. (b) 5 stations in the southern coast of Korea. (c) 4 stations in the western coast of Korea. Numbers at spectral peaks denote the predominant periods.

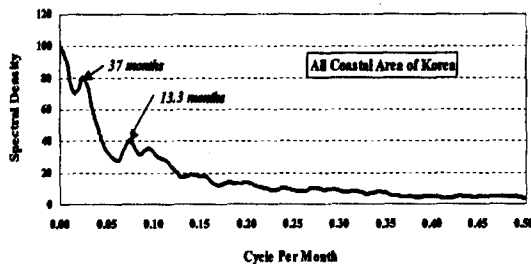


Fig. 5. As shown in the fig. 4, except for all coastal Seas.

Table 2. Cross-correlation coefficients of the monthly SST anomalies for the low-pass (more than 24months) series at each station

St.	JM	JB	PH	UG	KD	SR	KM	MR	JJ	HS	HD	OC	IC
JM	100	22	65	54	30	34	-2	31	37	29	-1	41	22
JB	22	100	8	59	34	60	-10	-11	-23	-29	-11	26	64
PH	65	8	100	53	57	51	32	9	2	27	-30	52	42
UG	54	59	53	100	48	22	3	-12	66	16	-11	34	18
KD	30	34	57	48	100	76	39	4	6	48	5	57	67
SR	34	60	51	22	76	100	47	40	13	31	0	62	79
KM	-2	-10	32	3	39	47	100	8	9	31	42	33	38
MR	31	-11	9	-12	4	40	8	100	53	2	1	42	35
JJ	37	-23	2	66	6	13	9	53	100	12	-39	43	4
HS	29	-29	27	16	48	31	31	2	12	100	-28	78	62
HD	-1	-11	-30	-11	5	0	42	1	-39	-28	100	-43	-33
OC	41	26	52	34	57	62	33	42	43	78	-43	100	71
IC	22	64	42	18	67	79	38	35	4	62	-33	71	100

4. 결론 및 고찰

1°C 보다 높은 이상수온이 출현하여 지속하는 기간은 봄, 가을보다는 겨울과 여름에 높은 것은 여름과 겨울에 우세하게 발생하는 아시아 몬순계절풍의 기인하는 것으로 추정된다.

한반도 연안의 월별 이상수온(monthly SST anomalies)에 대한 탁월주기는 13개월 및 3년으로 나타났다. 13개월의 경우는 연안을 거쳐 지나가는 해류의 변동<sup>11)</sup>과 평균해수면의 변동<sup>12)</sup>에 나타나는 것과 같은 Pole-tide주기이며, 3년 주기는 적도 Kelvin wave와 Rossby gravity의 영향을 받는 것으로 추정된다.

한반도 내륙 및 연안에서 이상 기온의 공간적 변동의 지역적 상관성은 한반도의 중규모적 공간스케일(mesoscale)에 대해 제한을 받지 않았으나<sup>7)</sup>, 한반도 연안에서 이상수온은 24개월 이상의 장주기 변동은 동·서·남해라는 공간 규모에 각각 분리되어 부분적으로 다르게 나타나는 중규모 이하의 공간적 변동을 보이는 제한성을 가지고 있는 것으로 생각된다.

최근 강(2000)<sup>13)</sup>에 의한 연안수온의 장기변동 추세의 분석 결과를 보면 추위겨야할 겨울이 춥지 않음으로 생기는 연안수온의 상승효과 현상이 나타난다. 따라서 5년 또는 10년간의 이동평균(moving average) 등의 방법을 이용하여 장기 수온 상승에 기인된 최근 상대적 이상고수온을 detrend 처리 후 경향성을 배제하여 이상수온 지속시간의 정량화를 정밀 연구해 볼 필요가 있겠다.

참 고 문 헌

- 1) Gong, Y. 1968. On the seasonal variation of coastal surface water temperature. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 3: 57-79.
- 2) Kang, Y. Q. and M. S. Jin, 1984. Seasonal variation of surface temperature in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 31-35.
- 3) Kang, Y. Q. and B. D. Lee, 1984. Year-to-year fluctuations of seasonal variation of surface temperatures in the Korea Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.* 17:557-565
- 4) Kang, Y. Q. and S. W. Choi, 1985. Annual and

- interannual fluctuations of coastal water temperature in the Tsushima current and the Kuroshio regions. *Bull. Korean Fish Soc.*, **18**:497-505.
- 5) 서영상, 1988. 한반도 연안의 표면수온과 기온의 상관성. 부산수산대학교 석사학위 논문. 29pp.
  - 6) 장이현, 1996. 한국 연안 표면수온과 기온의 상관성에 관한 연구. 부경대학교 석사학위 논문. 63pp.
  - 7) Kang, Y. Q. and Y. S. Suh, 1986. Relationships between air temperature and sea surface temperature anomalies in Korea. *J. Korean Meteorol. Soc.*, **22**(3):7-13.
  - 8) Seung, Y. H. 1994. A numerical experiment of the effect of coastline geometry on the upwelling along the East Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **19**(1):24-30
  - 9) Jenkins, G. M. and D. G. Watts, 1968. *Spectral Analysis and Its Application*. Holden-Day, 525 pp.
  - 10) Kim, H. J. and Y. Q. Kang, 1984. A note on oceanographic applications of digital filters. *J. Oceanol. Soc. Korea* **19**(2).
  - 11) Maximov, I. V., E. I. Sarukhanyan and N. P. Smirnov, 1972. Long-term variations of North Atlantic Current and their possible causes. *Rapports et Proces-Verbauxdes Reunion, Conseil International I'Exploration de lar Mer*, **162**:159-166
  - 12) Lisitzin, E. 1974. *Sea-Level Changes*. Elseveir. Sci. Pub., Amsterdam, 286pp
  - 13) Kang, Y. Q., 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years (1936-1995). *Bull. Korean Fish Soc.*, (in print)