

## 하계 동해연안역에서 발생하는 냉수역의 시공간적 변동 특성

서영상 · 장이현 · 황재동  
국립수산진흥원 해양연구과

### Temporal and Spatial Variations of the Cold Waters Occurring in the Eastern Coast of the Korean Peninsula in Summer Season

Young Sang SUH, Lee-Hyun JANG and Jae Dong HWANG  
Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute,  
Busan 619-902, Korea

Daily time series of longshore wind at 8 stations, sea surface temperature (SST) at 11 stations in the eastern coast of the Korean peninsula during 1983~1997 and the NOAA/AVHRR satellite data during 1990~1998 were used in order to study the temporal and spatial variations of the upwelling cold water which occurred in the summer season. The cold water occurred frequently in the eastern coastal waters of Korea such as Soimal, Kijang, Ulgi, Kampo, Pohang, Youngduk, Chukbyun, Chumunjin and Sokcho. During the upwelling cold water phenomenon, SST came down more than  $-5^{\circ}\text{C}$  in a day. The maximum of the averaged RMS amplitude of daily SST was  $5.8^{\circ}\text{C}$  along the eastern coast of Korea on Julian day 212 from 1983~1997. The cross correlation coefficients were higher than 0.5 between Sokcho and Chumunjin in the northern part of the East Sea, and along Soimal, Kijang, Ulgi, Kampo and Pohang in the southern part of the East Sea. In late July, 1995 the cold water occurred at Ulgi coastal area and extended to Ullung island which is located 250 km off the Ulgi coast. Even though the distance between Soimal and the Ulgi coast area is more than 120 km, the cross correlation coefficient related to the anomalies of SST due to upwelling cold water was the highest (0.7) in the southeastern coastal area of the Korean peninsula. This connection may be due to the cyclonic circulation of the Tsushima Current in this area and the topography of the ocean rather than the local south wind which induced the coastal upwelling.

**Key words:** Coastal upwelling, Cold water, SST, NOAA satellite, Temporal and spatial variations

#### 서 론

여름철 한국 동해연안에서 다소 정기적으로 출현하는 냉수대(cold water mass)는 중·저층수가 용승작용에 의해 연안 해역 표층으로 올라와 주변해역의 표면수온보다 상대적으로  $-5^{\circ}\text{C}$  이상 낮은 수온대를 형성한다(국립수산진흥원, 1996b; 1997; 1998). 주로 7~8월 동안 출현하여 1~2주간 유지되다 소멸하고 또 생성, 소멸을 반복하는 냉수대는 동해연안 양식어장에 일일  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 의 급격한 수온변화를 가져와 양식어류와 조류의 대량 폐사를 일으키며, 냉수대 발생해역에서는 잦은 해무의 발생으로 인해 빈번한 선박사고가 발생하고 있다(Hahn et al., 1995).

이러한 냉수대에 관한 많은 연구는 주로 냉수의 기원, 출현요인, 특히 바람과의 관계를 중점적으로 규명하였는데, 울기연안에 출현하는 냉수괴( $3\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,  $34.0\sim 34.4\text{‰}$ )는 하계 대한해협 서수도로 남하하는 북한한류가 울기연안에 인접하여 표면냉수로서 나타난다고 하였다(Kim and Kim, 1983; Lim and Chang, 1969). 한국 남동해역 냉수 출현요인으로서, 첫째 이 해역에서 Tsushima current의 cyclonic circulation이 용승에 간접 기여함(Lee, 1978), 둘째 울기-감포 해안에 발달한 동한난류(EKWC)로 인한 등온선의 baroclinic tilting(Lee and Na, 1985), 셋째 한국 남동해안 주변의 지형적 영향(부산에서 감포쪽으로 갈수록  $100\sim 150\text{m}$  등심선간 평탄 지형의 커짐)이 저층냉수의 용승에 기여함(Lee and Na, 1985), 넷째 대한해협으로 내려오는 냉수( $3\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,  $34.0\sim 34.3\text{‰}$ )가 울기연안에 인접 남하함(Lim and Chang, 1969), 다섯째 지

속되는 남서풍(Seung, 1974; Lee, 1983; Byun, 1989) 등이 보고되었다. 이러한 냉수 출현 요인 중 특히 바람을 주된 요인으로 간주한 연구결과를 보면, 냉수대는 평균  $3\text{m/sec}$ 의 남서풍이 7일간 계속 불었을 때 나타나거나(Seung, 1974), 평균  $4\text{m/sec}$ 의 남서풍이 3일 이상 지속될 때 출현한다(Lee, 1983). 또한 수일동안 지속되는 단속적인 남서풍(southwesterly transient wind)에 의해서도 완벽한 용승현상이 나타날 수 있으며, 여름철 냉수는 최소 바람역적(wind impulse)이  $10\text{m}^2/\text{sec}$  이상인 강한 바람이 작용하는 경우에만 표면에 나타날 수 있다(Byun, 1989). 울기연안에 출현하는 냉수대 하층의 흐름은 6월에 평균  $0.10\sim 0.35\text{kt}$ 의 유속을 나타내고(Lim, 1973), 용승속도는 평균  $3\text{m/sec}$  남서풍이 7일 이상 계속 불었을 때  $1.4\times 10\text{cm/sec}$  정도이다(Seung, 1974).

지금까지 하계 냉수의 출현 및 공간규모 변동에 대한 대부분의 연구는 한국 동해남부연안 해역에 국한되었으며(Lee et al., 1998), 통상적인 해양관측에 의한 자료의 이용으로 표면에서 매일 달라지는 냉수대의 수평적인 변동은 조사되지 못하였다(Byun, 1989; Lee, 1978; Lee, 1983; Lee and Na, 1985; Seung, 1988).

본 연구에서는 동해 남부, 중부, 북부에 위치한 연안정점별 일일 표면수온의 장기간 시계열 자료와 정선 해양관측에 의한 격월 연직 수온 분포자료 뿐만 아니라, 단기간 수평공간 변동을 보이는 냉수대의 양상을 파악하기 위하여 위성 원격탐사 자료를 활용하였다. 하계 동해연안 냉수대 발생의 주요인파 발생 후 시공간적 변동양상 및 냉수대 발생 해역간 상호 관련성을 밝히는 것이 이 논문의 목적이다.

자료 및 방법

1983년~1997년(15년)간 매일 오전 10시에 국립수산진흥원이 관측한 동해연안의 11개 정점에서의 일일 연안 수온자료를 이용하여 하계 동해연안에 나타나는 냉수대에 대한 시·공간적인 변동 양상과 냉수대 발생 해역간 상관성을 분석하였다. 그리고, 해역별 냉수대 발생과 바람간의 관계를 정밀 분석하고자 연안에 인접한 8개 기상관측소에서의 일일 평균 바람자료 (1983~1997년)를 이용하였다 (중앙기상대, 1987; 기상청, 1990; 1995). 또한 국립수산진흥원의 정선해양 관측점 중 동해 연근해의 주요 관측라인인 208 선과 104선 (Fig. 1)에서의 층별 수온 자료를 이용하여 (국립수산진흥원, 1988; 1992; 1996a), 냉수대 발생 해역의 연직 수온분포도를 작성하고 증층 냉수의 표면 출현시 광역 해황특성을 파악하였다.

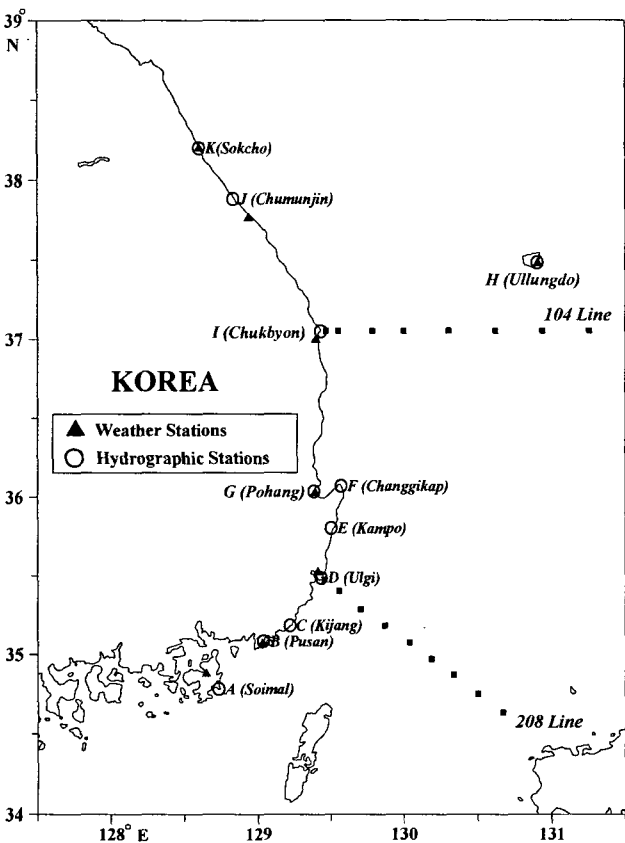


Fig. 1. Location of hydrographic and weather stations along coastal area of the East Sea.

한국동해 연안 11개 수온 관측점에서 최근 15년 (1983~1997) 동안의 일일 수온에 대한 이상치 (anomalies)의 변동진폭 (RMS amplitude)을 구해 평균하여 한국 동해 연안에서 수온의 비계절 변화가 심한 시기와 하계 냉수대의 영향으로 발생된 7월, 8월, 9월 해역별, 연별 최저 수온 값을 통계 처리하였다.

1990~1997년 동안 NOAA 위성에서 탑재된 고해상도 감지기 (AVHRR)의 적외선 band 자료와 가시영역 band 자료를 분석하

여 얻어진 수평 수온 분포 영상을 이용하여 (국립수산진흥원, 1996b; 1997; 1998) 냉수대의 단기적 공간변동 분포상황을 분석하였다 (SeaSpace, 1989).

6월부터 9월까지 동해연안 11개 연안역의 일일 수온자료에 대한 상호상관계수 (cross correlation coefficient, Bennett, 1979)를 이용하여 냉수대 출현, 소멸과 관련된 수온의 동시 하강 및 상승변동의 해역간 상관성을 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 동해 연안수온의 일별 비계절 변동과 냉수대

Fig. 2는 이상수온 값들의 변동폭을 조사한 결과이다. 그림에서 보면, 1983~1997 (15년)동안 연안에서의 일별 이상수온 값 (sea surface temperature anomalies)은 연중 6월 말 (Julian day, 180일)경부터 약 9월초 (Julian day, 250일) 정도까지 큰 변동 값을 나타내었다. 특히 7월 말과 8월 중순 (Julian day, 210일 및 230일)에 최대 값들을 나타내었다. 이와 같은 결과는 동해연안에 이상수온변동을 가져오는 요인인 냉수대가 하계 동해연안에 출현하나, 특히 7월 초순부터 8월 중순까지는 그 시공간적 변동이 일일단위로 크게 일어남을 시사한다.

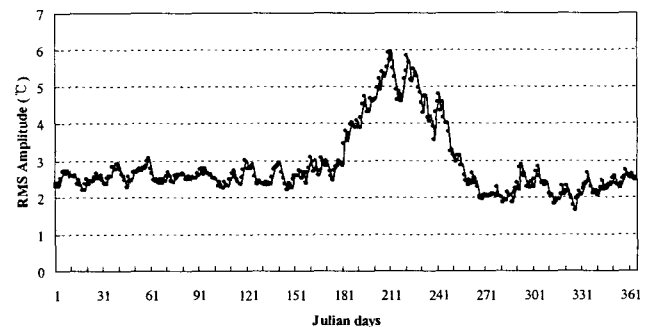


Fig. 2. Averaged root mean square amplitudes of the daily SST at 11 stations along the eastern coast of the Korean peninsula during 1993~1997.

2. 하계 냉수대 출현과 최저 이상 수온 발생

Fig. 3은 최근 15년 (1983~1997)간 동해 연안 11개 연안수온 관측점에서 매년 7월, 8월, 9월 동안의 일일 수온 값들 중 최저 수온값을 그림으로 나타낸 것이다.

7, 8, 9월에 대한 15개년 누년별 최저수온 값을 평균한 결과, 7월의 경우 16°C, 8월 19°C, 9월 20°C로 하계 냉수대 세력이 가장 강하게 나타난 시기는 7월이었다. 이러한 최저수온 평균값들은 정상적 계절 수온분포의 평균값들에 비해 5°C 이상 낮은 값이다.

월별 최저 수온값들 중 기록적인 최저 수온값은 7월의 경우 1987년 죽변연안에서 7°C로 나타났다. 이는 죽변연안에서 41년 (1955~1995)간 월 누년 평균수온인 18.7°C보다 11.7°C 낮고, 심지어 동일 연안에서 한겨울의 2월 누년 평균수온인 9.0°C보다도 2.0°C나 낮은 최저 수온이었다. 8월의 경우 1997년에 울기~감포 연안에서 11.5°C로 나타

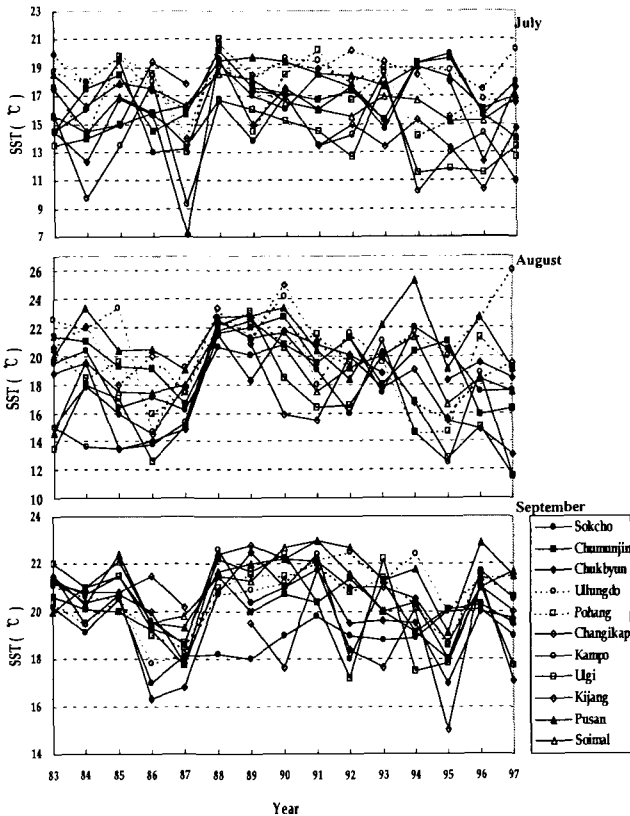


Fig. 3. Year to year fluctuations of the minimum SST in July, August and September during 1983~1997.

났으며, 9월의 경우 1995년에 기장연안에서 15.0°C이었다.

월별 (7, 8, 9월) 최저수온의 연별 (1983~1997) 변동 중 11곳 대부분 연안의 수온이 동시에 낮아지는 경향을 나타낸 연도 및 월은 1987년의 7월, 8월, 9월과 1995년의 8월, 9월이었다. 이러한 결과는 1987년과 1995년도에 대부분 동해 연안역에 걸쳐 냉수대가 발생하였음을 시사한다.

3. 위성영상으로 본 냉수대의 분포양상과 확장

위성영상 수온자료를 분석한 결과 하계 냉수대는 동해 남부연안 (기장~울기~감포)을 중심으로 나타났으며 (Fig. 4-a), 거제도 남단의 서이말 연안에서도 출현할 수 있음 (Fig. 4-b)과 동해 중부연안에서도 냉수대가 발생함을 볼 수 있었다 (Fig. 4-c).

1995년 7월 27일 (Julian day, 208) NOAA 위성 수온 영상자료와 당시의 울릉도 연안 수온의 일일 변동값으로 하계 동해연안에 냉수대 발생시 냉수가 표층에서 확장되어 울릉도 연안수온변동에까지도 영향을 미칠 수 있음을 볼 수 있었다 (Fig. 5-a, Fig. 5-b).

동해 먼바다의 표면수온은 23~26°C 정도로 나타났으나 냉수대의 중심으로 판단되는 울산~감포 연안 수온은 13°C 정도로 수평공간상의 수온 분포차가 10~13°C 이상을 나타내었다 (Fig. 5-a). 7월 13일 동해 남부 (기장~울기)연안에서 약 13.5°C의 냉수대가 7월 27일 표면에서 울릉도 연안까지 확장되어 울릉도 연안에서 19°C 수온으로 영향을 미침이 NOAA 수온 영상에 나타났다. 울릉도 연안 수온 관측점에서 1995년 7월 20일 관측수온이 23.2°C였

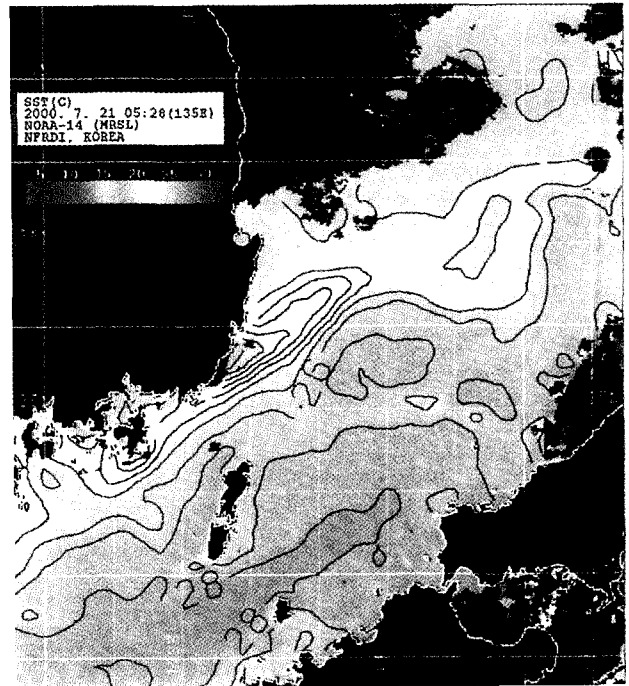


Fig. 4-a. Distribution of sea surface temperature derived from NOAA satellite (July 21, 2000).

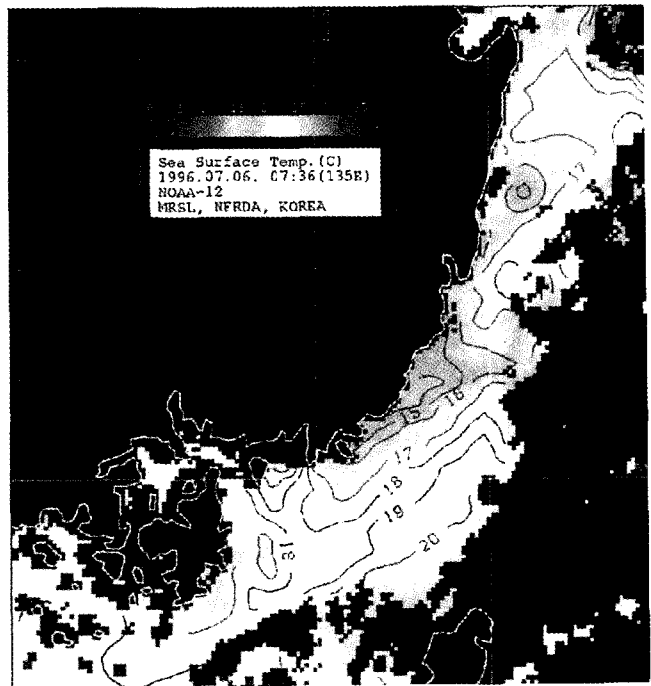


Fig. 4-b. Distribution of sea surface temperature derived from NOAA satellite (July 6, 1996).

으나, NOAA 수온 영상에 나타난 것처럼 냉수대가 확장되어 울릉도 연안에 영향을 끼친 날인 7월 27일에는 20.5°C로 2.7°C 하강하였다 (Fig. 5-b).

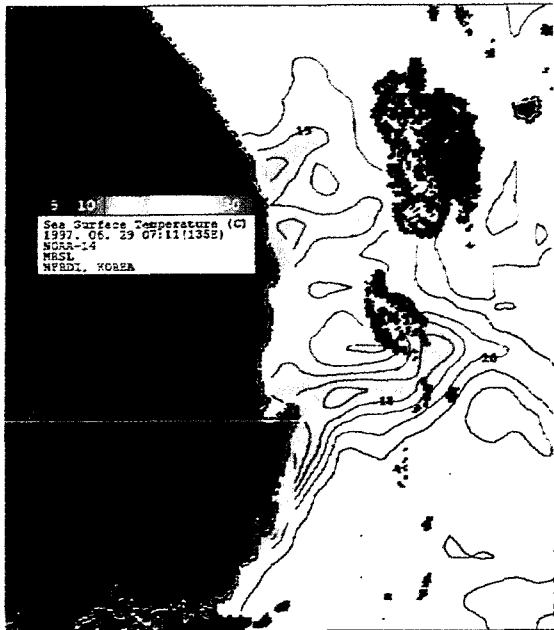


Fig. 4-c. Distribution of sea surface temperature derived from NOAA satellite (June 29, 1997).

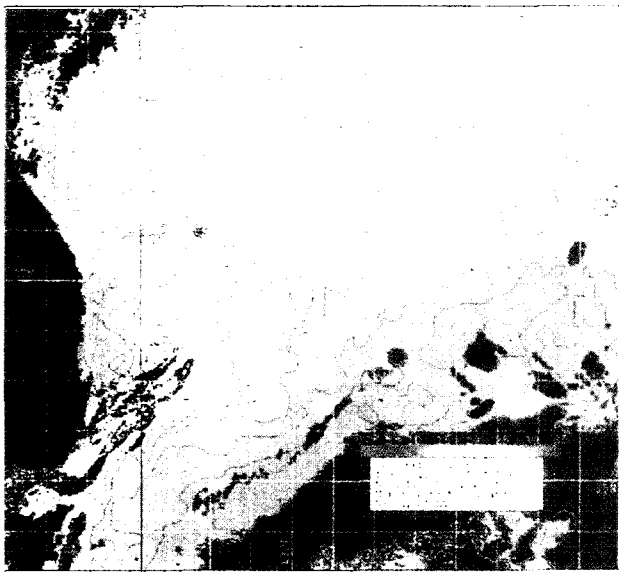


Fig. 5-a. Distribution of sea surface temperature derived from NOAA satellite (July 27, 1995).

4. 이상수온변동의 연안해역간 상호 상관

15년 동안 (1983~1997) 연중 하계 (6월~9월) 연안수온에 대한 이상변동치간 상호 상관계수 (Table 1) 중에서 상관계수가 0.5 이상인 곳을 그림으로 나타내었다 (Fig. 6). 거제도 남단 서이말 하계 연안수온은 특이하게도 근접한 부산 및 기장연안 수온 변동과의 연안역 관계성보다는 멀리 떨어져 있는 울기연안 수온변동과 상관성이 높게 나타났다 (Fig. 6-a). 기장연안 수온 변동은 울기연안 수온과 관련성이 높았다 (Fig. 6-c). 울기 연안의 경우는 감포 (0.72),

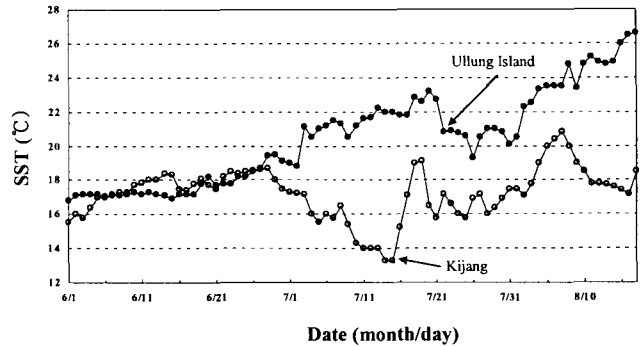


Fig. 5-b. Daily variations of SST at Ullung island and Kijang from June 1 to August 17, 1995.

Table 1. Cross-correlation coefficients among daily variation of SST anomalies at 11 stations along eastern coastal areas of the Korean peninsula from June to September (1983~1997)

	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
K	1.00	0.78	0.46	0.54	0.24	0.30	0.08	0.02	0.01	0.31	0.12
J	0.78	1.00	0.51	0.52	0.28	0.35	0.14	0.11	0.07	0.38	0.17
I	0.46	0.51	1.00	0.41	0.51	0.51	0.45	0.38	0.27	0.41	0.32
H	0.54	0.52	0.41	1.00	0.39	0.44	0.26	0.20	0.17	0.45	0.28
G	0.24	0.28	0.51	0.39	1.00	0.63	0.66	0.57	0.43	0.51	0.47
F	0.30	0.35	0.51	0.44	0.63	1.00	0.58	0.48	0.42	0.56	0.46
E	0.08	0.14	0.45	0.26	0.66	0.58	1.00	0.72	0.61	0.51	0.62
D	0.02	0.11	0.38	0.20	0.57	0.48	0.72	1.00	0.70	0.52	0.73
C	0.01	0.07	0.27	0.17	0.43	0.42	0.61	0.70	1.00	0.54	0.67
B	0.31	0.38	0.41	0.45	0.51	0.56	0.51	0.52	0.54	1.00	0.68
A	0.12	0.17	0.32	0.28	0.47	0.46	0.62	0.73	0.67	0.68	1.00

Station A~K: the same as Fig. 1.

기장 (0.7), 서이말 (0.73)과 상호상관이 높게 나타났다 (Fig. 6-d). 울릉도의 경우 동해의 어떤 연안과도 0.7 이상의 높은 상관계수를 보이지 않았다 (Fig. 6-h). 속초 연안 수온은 인접한 주문진 연안의 수온변동과 상관관계 ( $r=0.78$ )가 높았다 (Fig. 6-k).

5. 바람과 연안 냉수대

동해 연안 냉수 출현과 연안의 풍향 및 풍속간의 관계성을 비교자 연안수온 관측 정점에 인접한 8개 측후소의 일일 평균 바람 자료 (1983~1997)와 8개소의 일일 연안수온과의 변동을 비교했다. 이 중 냉수대가 크게 일어났던 대표적인 시기인 1995년 이상수온의 일일변동을 그림으로 나타내었다 (Fig. 7).

속초의 경우 하계 (Julian day 180~240일) 동안 냉수현상이 나타나지 않았으나 주문진 연안의 경우 늦여름 (Julian day 241~270일), 즉 8월말에서 9월 중순까지 냉수 출현 현상이 나타났으며 남서풍이 3 m/sec 이상으로 우세하였다. 죽변 연안의 경우 210일부터 220일경까지 3 m/sec 이상의 남동 또는 남서풍이 우세하였으며 평년비 1.5°C 낮은 수온 값을 보였다. 240일부터 270일까지 평년비 2.5~5°C 이상 저수온 현상을 나타내었으며 바람은 남동, 남서풍으로 5 m/sec 정도였다. 울릉도 연안수온의 경우는 200~210일과 240~260일에 음 (-)의 이상 수온 값 (negative anomalies)

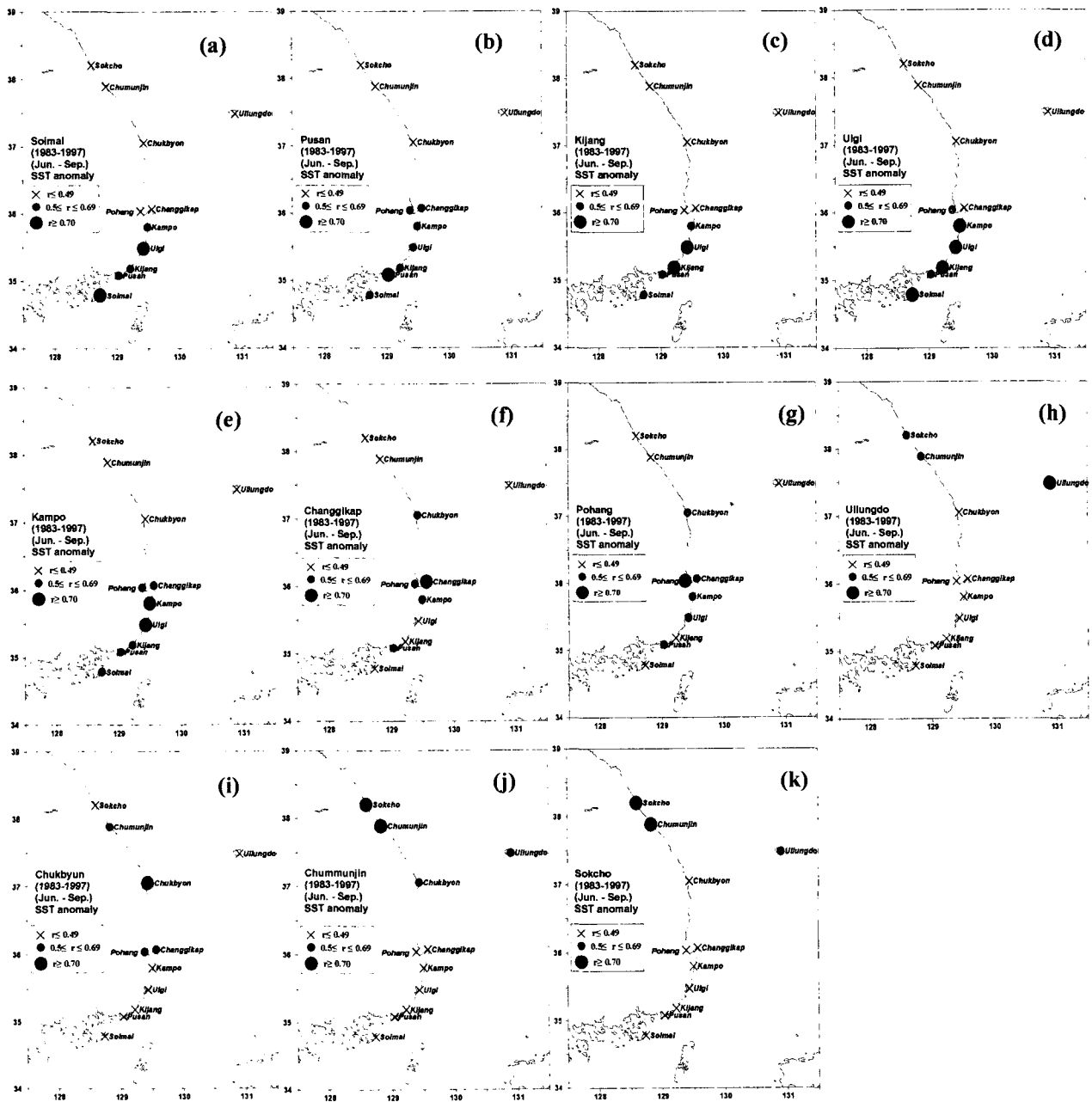


Fig. 6. Distribution of cross-correlations among daily variation of SST anomalies at 11 stations along the east coast of Korea from June to September (1983~1997).

을 보였으며, 바람은 남서풍이 우세하였고 풍속은 5 m/sec 이상이였다. 포항연안의 경우 5월 말경 (151일 전후)에 음의 이상수온 값을 나타내었다. 190일~250일까지 장기간에 걸쳐 뚜렷한 음의 이상수온 값 (2~7°C)을 나타내었으며, 당시 바람은 남서풍이 우세하였고 평균 5 m/sec의 풍속을 나타내었다. 장기갑 연안의 경우 3°C 이상의 뚜렷한 음의 이상수온값은 200~270일 사이에서 약 10일 간격으로 발생을 반복하였으며, 발생시 남서풍 (3 m/sec 이상)이 우세하였고, 소멸시 북풍이 다소 우세하였다. 감포 연안의 경우 180일~270일 동안 뚜렷한 음의 이상수온 값을, 특히 211일 전후와

241일 전후에 평년비 5°C 이상의 큰 음의 편차값을 나타내었으며, 남서풍이 5 m/sec 이상으로 우세하였다. 울기 연안도 감포 연안의 경우와 비슷하게 180~260일까지 5°C 이상의 뚜렷한 음의 이상수온 값을 나타내었으며, 3 m/sec 이상의 남서풍이 우세하게 나타났다. 기장 연안도 울기 연안의 경우와 비슷하게 180~260일까지 평년비 5°C 내외의 뚜렷한 음의 이상수온 값을 보였으며, 바람은 5 m/sec 이상으로 남서풍이 우세하였다. 부산연안의 경우 200~240일까지 2.5°C 정도로 음의 이상수온 값을 나타내었으며, 바람은 5 m/sec 이상의 남서풍이 우세하였다 (Fig. 7). 하계 동해 대부분

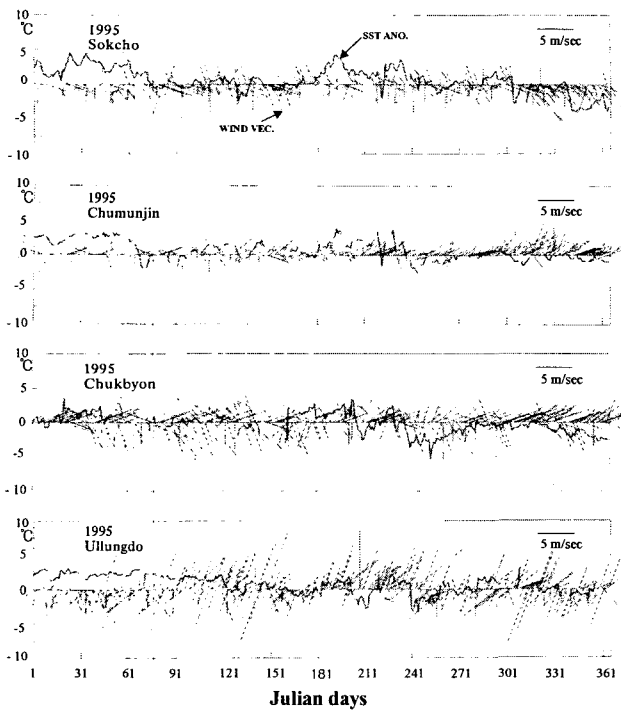


Fig. 7. The relations between Sea Surface Temperature (SST) anomalies and wind vectors in 1995 at 11 stations along the eastern coast of Korea.

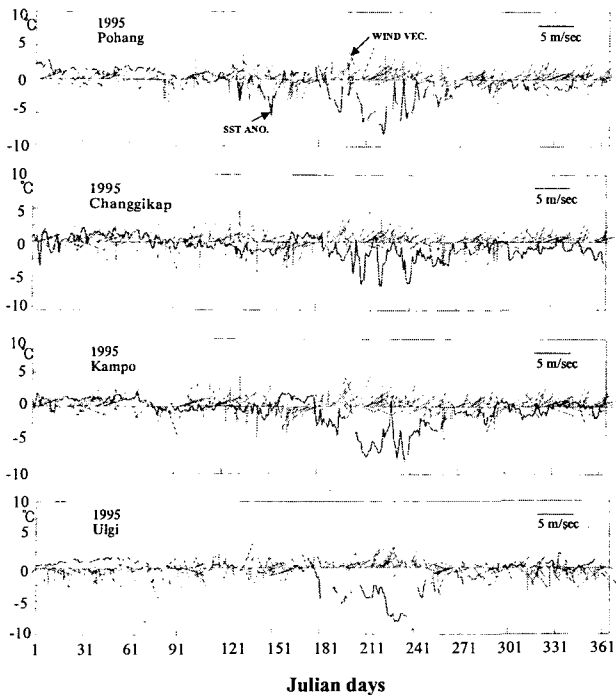


Fig. 7. Continued

연안에서 음의 이상수온 값 출현과 풍향 풍속간의 관계가 지금까지의 연구결과와 비슷하게 나타났다 (Lee et al., 1998; Byun, 1989; Lee, 1983).

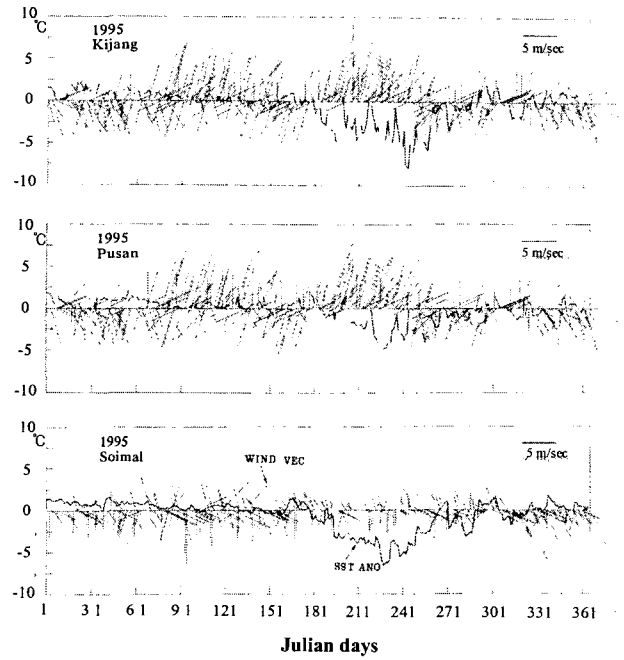


Fig. 7. Continued

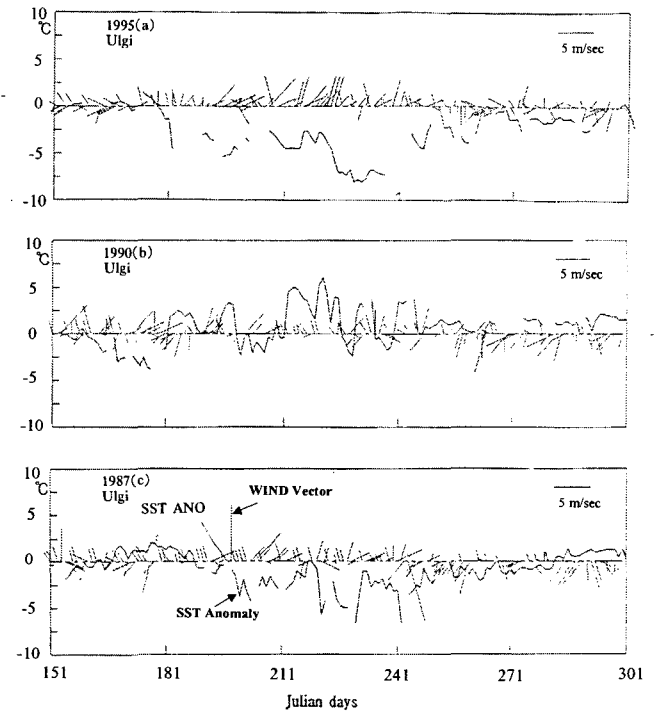


Fig. 8. The relations between SST anomalies (curves) and wind vectors (sticks) at Ulgi station in 1995 (a), 1990 (b), and 1987 (c).

그러나 거제도 남부에 위치한 서이말 연안의 경우, 190~270일까지 5°C 내외의 음의 이상수온 값을 보였음에도 당시 바람은 3 m/sec 이하의 남동 또는 북풍이 우세하였다 (Fig. 7). 한편 하계 동해연안에 냉수대가 크게 발생하였던 1987년, 1995년과 냉수가

거의 나타나지 않았던 1990년에 울기연안의 이상수온 (anomalies)과 풍향, 풍속간의 관계를 비교한 결과 냉수가 거의 출현하지 않았던 1990년의 풍향이 1987, 1995년과 다를 바 없이 남풍계열이었고, 바람세기 또한 비슷하였다 (Fig. 8). 이러한 연구결과를 통해 냉수대의 출현이 바람의 영향과 밀접한 관련성은 있으나 필수적인 출현기작으로 작용하지는 않음을 알 수 있었다. 그러므로 동해연안에 냉수대가 발생할 때의 해양 연직구조를 면밀히 분석할 필요가 있었다.

6. 연직수온 분포와 연안 냉수대

바람의 영향이 냉수대를 일으키는데 필수적인 발생 기작이 아니었으므로 다른 기작을 구명코자 동해 연안에서 냉수가 대규모로 자주 일어나는 연안해역인 죽변과 울기 연안에서 냉수가 최소 (1990년 8월)와 최대 (1987년 및 1995년 8월)로 출현하였던 연도의 연직 수온 분포 (Fig. 9) 및 30년 (1966~1995)간 평년에 대한 연직 수온 편차분포의 양상을 비교하였다 (Fig. 10).

울기 남동방 정선 관측점 208선의 연직 수온분포를 보면 (Fig. 1, Fig. 9), 냉수대가 크게 일어났던 1987년과 1995년 8월의 연직 수온분포에서 수심에 대한 15°C 이하인 등온선들의 기울기가 심한 반면, 냉수대가 일어나지 않았던 1990년에는 15°C 이하의 등온선은

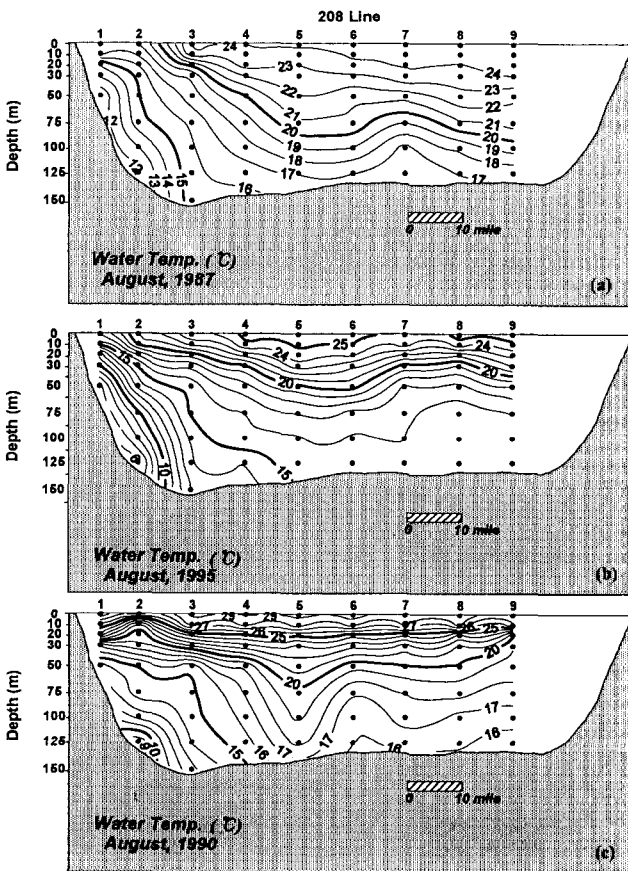


Fig. 9. The vertical distributions of water temperature in 208 (Ulgi) line in August of 1987 (a), 1995 (b), and 1990 (c).

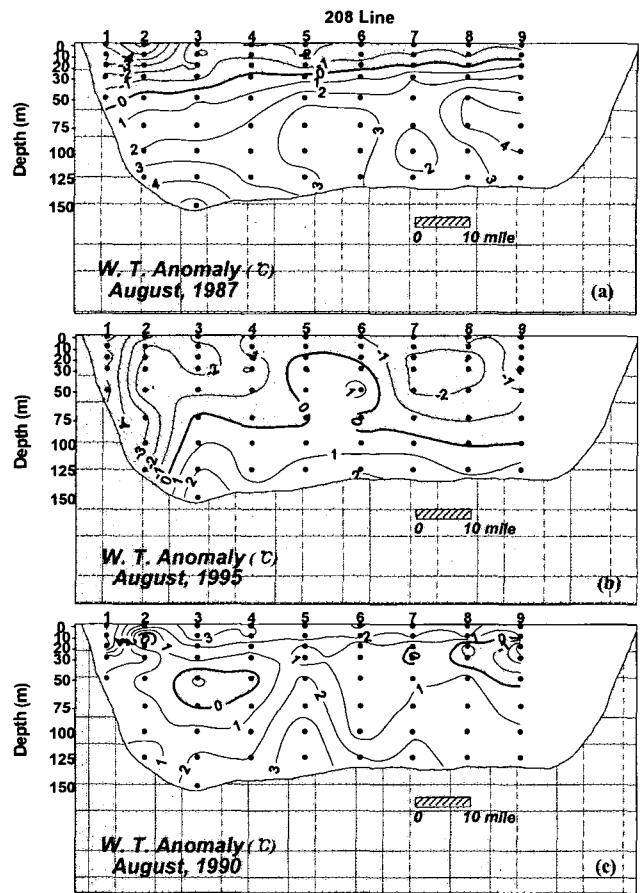


Fig. 10. The vertical distributions of water temperature anomalies in 208 (Ulgi) line on August in 1987 (a), 1995 (b), and 1990 (c).

수심 방향에 대해 수평 분포를 나타내었다. 연직 수온의 평년편차는 1987년과 1995년 8월 경우 울기 연안측 수심 50 m까지의 연직 수온 분포가 평년비 1~5°C 뚜렷한 저수온 현상을 보인 반면, 1990년 8월에는 1~5°C의 뚜렷한 고수온 현상을 나타내었다 (Fig. 10).

죽변 동방 정선 관측점 104선의 연직 수온분포를 보면 (Fig. 1, Fig. 11), 냉수대가 표면에 크게 일어났던 1987년과 1995년 8월에는 10°C 등온선이 죽변 연안 얕은 수심 30~50 m에 나타났고, 1°C 등온선의 경우 수심 130~180 m층에서 나타났다. 반면 냉수대가 표면에 발생하지 않았던 1990년에는 125 m 수심에서 10°C 등온선이 존재하였으며, 1°C 등온선은 심지어 수심 500 m의 매우 깊은 곳에서 존재하였다. 죽변연안측 연직수온의 평년편차는 1987년과 1995년 8월의 경우 수온이 평년에 비해 1~5°C 정도 뚜렷한 저수온 현상을 나타낸 반면, 1990년에는 1~7°C 정도의 뚜렷한 고수온 현상을 나타내었다 (Fig. 12). 이러한 결과를 통해 냉수가 표면에 크게 일어나는 연도에는 연직적 수온분포가 전체적으로 뚜렷한 저수온 현상을 나타내는 해황이었음을 알 수 있었다.

7. 동해 남부 연안의 난류 흐름과 냉수대

연안냉수가 빈번히 출현하는 동해 남부연안에서 해류의 흐름

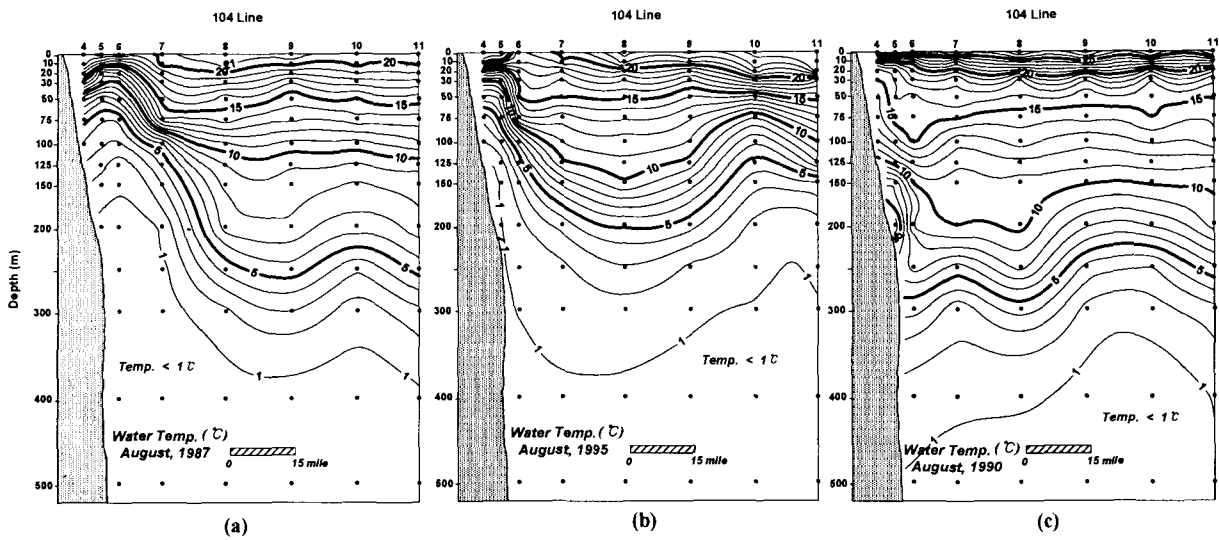


Fig. 11. The vertical distributions of water temperature in 104 (Chukbyun) line on August in 1987 (a), 1995 (b), and 1990 (c).

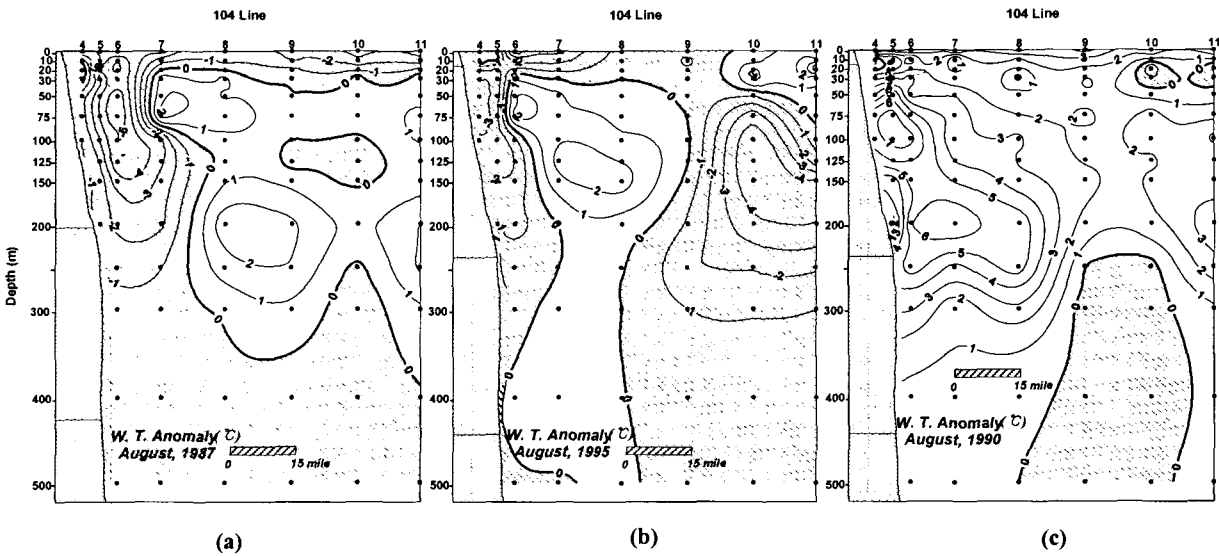


Fig. 12. The vertical distributions of water temperature anomalies in 104 (Chukbyun) line on August in 1987 (a), 1995 (b), and 1990 (c).

방향을 포텐셜와도 (potential vorticity)와 관련시켜 파악 하고자 하는 연구가 이론 및 수치실험을 통하여 수행되었다 (Lee et al., 1998; Seung, 1984, 1988).

본 연구에서는 이러한 수치실험과 이론적 근거에 대해 동해 남부연안을 따라 북상하는 동한난류의 흐름패적을 여름 (1999년 9월 8~11일)과 겨울 (1998년 12월 9~14일)에 두 개의 ARGOS 표류부이를 투하하고 위성으로 추적하여, 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

부산 인접 연안에서 외해역으로 멀어지며 홀리건 부이는 울산 연안으로부터 수심이 깊은 가장 먼바다 쪽에 위치하였으나, 계속 북상하면서 수심이 얕아지는 장기갑 연안쪽으로 접안하는 모양을

보였다. 이는 동해 남부 연안에서 해류의 흐름방향에 대해 많은 연구자들이 수치 실험한 결과 및 이론적 배경의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

이와 같은 ARGOS 표류부이의 궤적처럼 해류가 부산을 벗어나 기장~울산~감포연안 일대로는 접안하지 않고 먼바다로 멀어져 북상하던 중 장기갑 부근에서 연안쪽으로 접안한다면, 동해 남부 연안 일대에서 해류는 부산연안에서 외해역으로 벗어나 장기갑 연안에 다시 접안하는 반시계 방향의 흐름을 가짐으로써 하계에 이 일대 연안에서 표면 아래의 냉수를 표면으로 용승시키는 작용을 할 수 있을 것으로 추측된다. 앞으로 이러한 관점에서 많은 위성추적 부이를 투하하여 추정에 불과한 이론적 논리를 증명하는



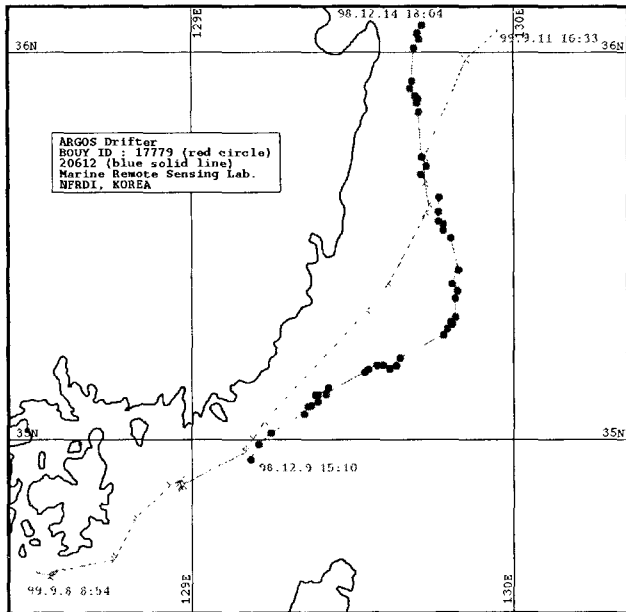


Fig. 13. Trajectory of the ARGOS drifters along the southeastern coast of Korea during Dec. 9~14, 1998 and Sept. 8~11, 1999.

원격탐사 실험이 본격적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

동해 연안에서 장기간 관측한 일일 수온과 바람자료간 상관분석과 NOAA 위성의 영상표면수온자료를 이용하여 하계 동해연안 냉수대의 시공간적 변동특성을 구명하였다.

울릉도 연안수온의 계절변화는 동해 인접 연안수온의 변동과 무관하게 생각되나, 하계 동해연안에 나타난 냉수대가 외해역으로 확장되어 울릉도 연안수온에 영향을 미칠 수도 있는 특이한 해양 현상을 NOAA 위성 측정 수온과 현장 연안수온 변화로 알게 되었다. 하계 냉수대 발생시 동해연안과 울릉도간 해역에 평년보다 강한 수온약층이 형성되고, 강한 남풍계열의 바람이 지속적으로 이 해역에 영향을 미칠 때 이와 같은 현상이 발생될 수 있을 것으로 추정된다.

하계 동해연안에 나타난 냉수대는 지금까지 주로 연구된 기장~울기~감포연안 뿐만아니라 동해 남부연안에서 북부연안까지인 서이말, 기장, 울기, 감포, 포항, 영덕, 죽변, 주문진, 속초연안에서도 출현빈도가 높게 나타난다.

동해연안에서 냉수대 출현, 소멸과 관련하여 연안역간 수온변동의 상관성은 동해 북부의 경우 매우 인접한 연안역간에 높은 관계성을, 동해 중부의 경우 비교적 넓은 공간의 연안역에 걸쳐 높은 상관 (상관계수 0.5 이상)을 가졌다. 동해남부의 경우, 거제도의 서이말 연안부터 포항일대까지의 연안역간에도 상관성이 비교적 높게 나타났는데 (상관계수 0.5 이상), 냉수대 발생시 동해남부 남단에 위치한 거제도의 서이말 연안수온은 인접한 부산과 기장

연안 수온의 변동관계성보다 약 120 km 떨어져 있는 울기 연안의 수온 변동과 높은 상관성 (상관계수 0.7)을 보이는 원거리 연결 (teleconnection) 현상을 발견할 수 있었다.

지금까지 하계의 풍향, 풍속 등의 조건이 중층의 냉수를 용승시켜 연안의 표면에 냉수출현을 가져다주며 냉수대의 출현 빈도와 강세 등 시공간적 변동양상을 결정하는 것 같은 다수의 연구 결과가 있으나, 가장 주된 냉수대 출현의 요인은 전체 해양 수피가 평년에 비해 뚜렷한 저수온 현상을 보이는 해황 조건이라고 사료된다. 또한 1°C, 10°C 등의 등온선 분포수심이 외해역의 깊은 수심에서 연안역의 얕은 표면까지 급경사로 올라오는 기울기의 정도에도 밀접한 관계가 있다고 사료된다. 바람의 방향과 세기는 상기의 조건을 만족하는 해황에서 다만 부수적인 냉수대 출현, 변동의 요인이 될 수 있겠다.

향후 하계 동해연안 냉수변동과 밀접한 관련성을 갖는 동해 해황의 뚜렷한 저수온 현상 원인 규명을 위해서는, 동해 전해역에 걸친 광역 및 장기적 수온변동의 기작 구명과 변동주기의 정량화에 대한 연구가 수행되어야 하겠다.

감사의 글

국립수산진흥원 해양조사팀, 부경대 강용균 교수님 그리고 심사위원님의 노고에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Bennett, R.J. 1979. Spatial Time Series; Analysis, Forecasting and Control. Pion Ltd., London, 674pp.  
 Byun, S.K. 1989. Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: Wind effect. J. Oceanol. Soc. Korea, 24, 121~131.  
 Hahn, S.D., Y.S. Suh and Y.H. Ahn. 1995. Mapping cold water zone and warning service for aquaculture groups at the southeastern coast of Korean peninsula. In *Proceeding of International Symposium on Remote Sensing*, 11th Fall Symposium of KSRS, pp. 67~74.  
 Kim, C.H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 73~83 (in Korean).  
 Lee, D.K., J.I. Kwon and S.B. Hahn. 1998. The wind effect on the cold water formation near Gampo-Ulgi coast. J. Korean Fish. Soc., 31, 359~371 (in Korean).  
 Lee, J.C. 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 1~14.  
 Lee, J.C. and J.Y. Na. 1985. Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20, 6~19.  
 Lee, K.B. 1978. Study on the coastal cold water near Ulsan. J. Oceanol. Soc. Korea, 13, 5~10.  
 Lim, D.B. 1973. The movement of the cold water in the Korea strait. J. Oceanol. Soc. Korea, 8, 46~52.  
 Lim, D.B. and S. Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea

- strait. J. Oceanol. Soc. Korea, 4, 71~82.
- SeaSpace. 1989. Terascan Users Manual, Vol. 2, 203pp.
- Seung, Y.H. 1974. A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August. J. Oceanol. Soc. Korea, 9, 52~58 (in Korean).
- Seung, Y.H. 1984. A numerical experiment of the effect of coastline geometry on the upwelling along the east coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 24~30.
- Seung, Y.H. 1988. An advection-diffusion model for the distribution of surface cold water near Ulgi (Ulsan), SE Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 23, 13~23.
- 국립수산진흥원. 1988. 1987년도 해양조사연보. 제 36권, 556 pp.
- 국립수산진흥원. 1992. 1990년도 해양조사연보. 제 39권, 448 pp.
- 국립수산진흥원. 1996a. 1995년도 해양조사연보. 제 44권, 519 pp.
- 국립수산진흥원. 1996b. 1991~1995년도 한국근해수온분포도.
- 국립수산진흥원. 1997. 1996년도 한국근해수온분포도. 277 pp.
- 국립수산진흥원. 1998. 1997년도 한국근해수온분포도. 233 pp.
- 기상청. 1990. 1990년 기상월보 (1월~12월호).
- 기상청. 1995. 1995년 기상월보 (1월~12월호).
- 중앙기상대. 1987. 1987년 기상월보 (1월~12월호).

---

2001년 6월 28일 접수

2001년 9월 3일 수리