

한반도 근해 수온 및 염분의 장기변화 추이

정희동 · 황재동 · 정규귀 · 허 승 · 성기탁 · 고우진 · 양준용* · 김상우

국립수산과학원 해양연구과, 서해수산연구소 자원환경과*

Long Term Trend of Change in Water Temperature and Salinity in Coastal Waters around Korean Peninsula

Hee Dong Jeong · Jae Dong Hwang · Kyu Kui Jung · Seung Heo · Ki Tach Sung

Woo Jin Go · Jun Yong Yang* · Sang Woo Kim

Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

*Fisheries Resources and Environment Division, West Sea Fisheries Research Institute, Incheon 400-420, Korea

요 약 : 국립수산과학원에서 장기간 관측한 정선해양관측자료와 연안정지관측자료를 이용하여 한국주변해역의 수온과 염분의 장기변화경향과 수층별 상관성을 보고자 하였다. 장기변화의 분석결과 한국연안수온은 하계냉수역이 발생하는 한국남서연안을 제외하고 상승하는 것으로 나타났다. 근해수온은 동해의 경우 표층은 상승하는 경향을 보인 반면 50m 와 100m 수층은 하강하는 경향을 보였다. 남해의 경우 전 수층에서 상승하는 것으로 나타났으며, 서해의 경우 표층에서는 상승하나 50m 수층은 하강하는 것으로 나타났다. 근해염분은 동해의 경우 표층에서 하강하는 경향을 보인 반면, 50m 수층에서는 상승하는 경향을 보였으며, 100m 수층 하강 정도가 미미하게 나타났다. 남해의 경우 표층에서는 하강하는 경향을 보였으며, 50m 와 100m 수층에서는 상승하는 경향을 보였다. 서해의 경우 표층과 50m 수층 모두 하강하는 경향을 보였다. 수층별 상관성을 보면 수온의 경우 동해와 남해에서 50m 수층과 100m 수층이 높은 상관도를 보였으나 서해의 경우 표층과 50m 수층 사이에는 상관성이 없는 것으로 나타났다. 염분의 경우 동해에서 표층과 50m 수층이, 남해에서는 50m 와 100m 수층이, 서해에서는 표층과 50m 수층이 높은 상관도를 보였다.

핵심용어 : 수온, 염분, 장기변화, 정선, 연안정지

Abstract : *The long-term trend and inter-relationship with depth of temperature and salinity in coastal waters of Korea are studied using coastal oceanographic observation and serial oceanographic data measured by National Fisheries Research and Development Institute. Temperature of coastal waters of Korea except south-western sea of Korea where cold water appears to increase in summer. In case of temperature offshore, surface temperature of East Sea increases, the reverse, for 50m and 100m decreases. Temperature in South Sea of Korea increases in whole depth and for the Yellow Sea, surface temperature increases, but for 50m decreases. In case of salinity offshore, surface salinity of East Sea decreases, but for 50m increases. Surface salinity in South Sea of Korea decreases, the reverse, form 50m and 100m increases. salinity in the Yellow Sea decrease in whole depth. According to the result of inter-relationship analysis, for temperature relationship coefficients of 50m and 100m in the East Sea and South Sea of Korea is higher, however, for the Yellow sea the inter-relationship between 50m and 100m is lower. In case of salinity, the inter-relationship between surface and 50m, and for the South Sea of Korea, between 50m and 100m, and for the Yellow Sea, between surface and 50m is higher.*

Key words : *Water temperature, Salinity, Long term trend, Serial oceanography data Coastal oceanography data*

1. 서 론

미국 하와이에서 Keeling이 대기중 이산화탄소 농도를 측정 한 이후로 전 세계적으로 기후변화에 많은 관심을 가지고 연구하고 있으며, 특히 온실효과를 유발시키는 온실가스와 기후의 변화에 대해 활발한 연구가 이루어지고 있다 (Khalil and Rasmussen, 1984; Thompson and

Cicerone, 1986; Novelli *et al*, 1994).

이런 기후변화는 기상변화를 야기하며 해양은 기상과 밀접한 상호작용을 하기 때문에(Gill, 1982) 기후변화는 해양에서 수온과 염분의 변화를 발생시키기도 한다. 해양에서 수온과 염분의 변화는 해양생태계의 변화에 영향을 미친다 (Zhang *et al*, 2000). 따라서 해양 수온 및 염분의 장기

변화는 기후변화를 반영 할뿐만 아니라 해양생태계변화에 대한 지표가 될 수 있기 때문에 해수온과 염분의 장기변화를 파악하는 것은 중요하리가 생각된다.

한국근해에 대한 장기변화 연구로는 Hahn (1997), 국립수산진흥원 (1998) 및 Kang (2000)이 있다. Hahn (1997)과 Kang (2000)은 연안정지관측점에서 측정한 표층수온값을 사용하여 수온이 상승하는 경향이 있다고 밝혔으며 특히 Hahn은 여름철과 겨울철을 구별하여 장기변동의 경향을 연구했는데 이 결과에 의하면 겨울철의 수온은 상승하는 경향을, 여름철의 수온은 하강하는 경향을 보였다. Kang은 최근 60년, 최근 30년 자료로 다시 재구성하여 분석한 결과 최근 30년이 최근 60년보다 연간 수온상승정도가 높다는 것을 밝혔다. 그러나 이들 연구에는 95년까지의 자료를 사용했기 때문에 이후 7년간의 최근 자료를 포함한 변화를 살펴 볼 필요가 있다. 또한 국립수산진흥원 (1998)은 1997년까지의 정선자료를 사용하여 동해, 남해, 서해에서 표층수온과 염분의 장기변화를 분석했는데 수온은 동해, 남해, 서해에서 모두 상승하는 것으로 나타났으며, 염분은 동해에서 상승하고 남해, 서해에서 하강하는 것으로 나타났다. 그러나 최근의 자료를 추가하여 분석할 필요가 있으며, 특히 수층별 장기변화를 알아볼 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 국립수산과학원에서 장기간 관측한 수온, 염분 정선해양관측자료 및 표층수온 연안정지관측자료로부터 한국주변해역의 표층수온 뿐만 아니라 수층별 수온과 염분의 변화경향과 수온 및 염분에 대해 수층별 상관성을 제시하고자 한다.

2. 자료 및 방법

국립수산과학원에서 과거 35년(1968~2002년) 동안 장기간 관측한 정선관측자료 중 표층, 50m, 100m 수층의 수온 및 염분자료와 연안정지관측점 중 연안 12개 지점에서 매일 10시에 관측하는 표층수온자료를 사용하여 한국 연근해 수온 및 염분의 장기변화를 분석하였으며, 정선해양관측지점과 연안정지관측점을 Fig. 1에 나타내었다.

정선관측자료와 연안정지관측자료 중 뚜렷한 계절변동을 보이는 수온 (국립수산진흥원, 2001; 국립수산과학원, 2003)은 식 (1)과 같은 조화분해식을 사용하여 연도별 연평균 수온을 계산하였고, 뚜렷한 계절변동을 보이지 않는 염분은 산술평균에 의해 연도별 연평균 염분 자료를 계산하였다.

$$T(t) = T_0 + A_1 \cos(\omega_1 t - \phi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t - \phi_2) \quad (1)$$

여기서 $T(t)$ 는 시간 t 일 때의 수온, T_0 는 연평균 수온,

A_1 는 연진폭, A_2 는 반년진폭이며, ω_1 는 연주기, ω_2 는 반년주기이며, ϕ_1 는 연위상, ϕ_2 는 반년위상이다.

이렇게 구한 연 평균자료 중 수온과 염분 정선관측자료에 대해서는 Fig. 1에 도시된 동해, 남해 및 서해 해역 (국립수산진흥원, 2001)과 같이 정점자료들을 공간 평균한 연도별 해역별 평균자료로 다시 계산하였다.

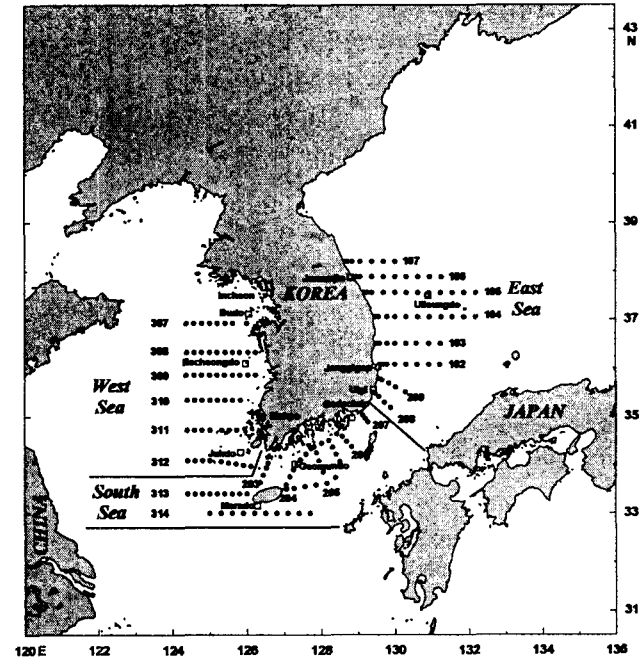


Fig. 1. Location map of coastal and serial stations (●: serial stations, □: coastal stations).

해역별로 연 평균된 수온과 염분 시계열 자료와 연 평균된 수온의 연안정지 시계열 관측자료를 이용하여 식 (2)와 같은 1차 선형회귀식에 의해 장기 변화를 구하였다.

$$Y = aT + b \quad (2)$$

여기서 T 는 시간이며, Y 는 시간 T 에서 1차 선형회귀식에 의해 구한 값이며, a 는 기울기이고, b 는 절편이다.

해역별로 평균된 수온 및 염분의 연도별 연평균 자료를 상호상관계수(Cross correlation coefficient)를 구하는 식 (Chatfield, 1980)인 식 (3)을 사용하여 수온과 염분에 대해 각각 수층별 상관성을 살펴보았다.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XY - \sum_{i=1}^n X \sum_{i=1}^n Y}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X^2 - (\sum_{i=1}^n X)^2][n \sum_{i=1}^n Y^2 - (\sum_{i=1}^n Y)^2]} \quad (3)$$

여기서 r 은 상호상관계수를 나타내며, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 이고 n 은 시계열의 개수이며, X 와 Y 는 각각

n개의 시계열자료를 가지는 변수들이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연안정지관측

연평균된 수온 시계열자료를 이용하여 1차 선형회귀식을 계산한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2로부터 연간수온상승 정도를 보면 주문진은 0.0251℃, 울릉도 0.0254℃, 장기갑 0.0213℃, 울기 0.0049℃, 가덕도 0.0142℃, 거문도 0.0031℃, 마라도 0.0074℃, 죽도 -0.0014℃, 목포 0.0102℃, 어청도 -0.0023℃, 부도 0.0087℃, 인천 0.0271℃로 나타났다. 이 결과를 Kang (2000)의 최근 60년 결과와 비교 해 보면 상승정도에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.2 정선관측자료

3.2.1 수온의 장기변화

지난 35년간 장기 관측된 수온자료를 이용하여 분석한 수온의 장기변화를 Fig. 3에 나타내었다. 매년 수온상승 정도를 보면 동해의 경우 표층은 0.0226℃, 50m는 0.0073℃, 100m는 -0.0221℃의 경향을 보였으며, 남해의 경우 표층은 0.0267℃, 50m는 0.0117℃, 100m는 0.0055℃의 경향을, 서해의 경우 표층은 0.0232℃, 50m는 -0.0103℃로 나타났다.

표층의 경우 동해, 남해 및 서해 모두 상승하는 것으로 나타났으며, 상승정도는 거의 비슷하게 나타났다. 50m 수층의 경우 서해에서는 하강하는 것으로 나타났으나 동해와 남해의 경우 상승하는 것으로 나타났다. 100m 수층의 경우 동해는 하강하지만 남해는 상승하는 것으로 나타났다.

국립수산진흥원 (1999)의 결과와 비교하면 동해와 남해의 표층에서 상승정도가 더 큰 것으로 나타나 최근 들어 동해와 남해의 수온 상승이 계속 진행 증임을 알 수 있으며, 서해의 표층은 상승정도가 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 따라서 최근 지구온난화와 관련하여 매년 한국근해 표층수온의 상승정도가 높은 해역도 있으나 상승정도가 낮아지는 해역도 있는 것을 알 수 있다.

수온의 수층별 상관성을 Table 1에 나타내었다. 수층별 상관성을 해역별로 보면 동해의 경우 0m와 100m 사이의 상관계수 0.47을 제외하고 모두 높게 나타났다. 특히 50m와 100m는 상관계수가 0.88로써 연별 변화가 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 남해의 경우 동해와 달리 50m와 100m 수층의 상관성만 높게 나왔고, 대체로 낮은 상관성을 보였다. 서해는 0m와 50m 수층간에 상관성이 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Cross correlation coefficient of temperature in each layer; (a) East Sea, (b) South Sea, (c) West Sea

(a)	0m	50m	100m	(b)	0m	50m	100m	(c)	0m	50m
0m	1.00	0.64	0.47	0m	1.00	0.47	0.44	0m	1.00	0.06
50m	0.64	1.00	0.88	50m	0.47	1.00	0.78	50m	0.06	1.00
100m	0.47	0.88	1.00	100m	0.44	0.78	1.00			

3.2.2 염분의 장기변화

Fig. 4에 나타낸 염분의 장기변화를 보면 매년 염분의 변화는 동해의 경우 표층은 -0.0015psu, 50m는 0.0011psu, 100m는 -0.0009psu의 경향을 보였으며, 남해의 경우 표층은 -0.0062psu, 50m는 0.0013psu, 100m는 0.0032psu의 경향을, 서해의 경우 표층은 -0.0083psu, 50m는 -0.0064psu로 나타났다.

표층의 경우 동해, 남해 및 서해 모두 하강하는 것으로 나타났으나 하강정도는 동해가 남해 및 서해에 비해 매우 작게 나타났다. 50m 수층의 경우 동해 및 남해가 상승하는 것으로 나타났으나 서해의 경우는 표층과 마찬가지로 하강하는 현상이 나타났다. 100m 수층의 경우 남해는 상승하는 것으로 나타났으며, 동해는 하강은 하지만 그 정도가 매우 작게 나타났다.

국립수산진흥원 (1999)의 결과와 비교하면 한국근해에 서의 염분하강정도가 더 크게 나타났다. 따라서 최근들어 염분의 하강이 진행 증임을 알 수 있다.

염분의 수층별 상관성을 Table 2에 나타내었다. 수층별 상관성을 해역별로 보면 동해의 경우 각 수층별로 상관성이 있는 것으로 나타났으나, 50m와 100m 수층 사이의 상관성은 수온보다 낮게 나타났다. 남해의 경우 수온과 비슷하게 50m와 100m 수층 사이만 상관성이 높게 나타났다. 서해의 경우 0m와 50m 수층의 상관계수는 0.92로써 수온과 달리 매우 높게 나타났다.

Table 2. Cross correlation coefficient of salinity in each layer; (a) East Sea, (b) South Sea, (c) West Sea

(a)	0m	50m	100m	(b)	0m	50m	100m	(c)	0m	50m
0m	1.00	0.73	0.52	0m	1.00	0.39	0.09	0m	1.00	0.93
50m	0.73	1.00	0.69	50m	0.39	1.00	0.67	50m	0.93	1.00
100m	0.52	0.69	1.00	100m	0.09	0.67	1.00			

한반도 근해 수온 및 염분의 장기변화 추이

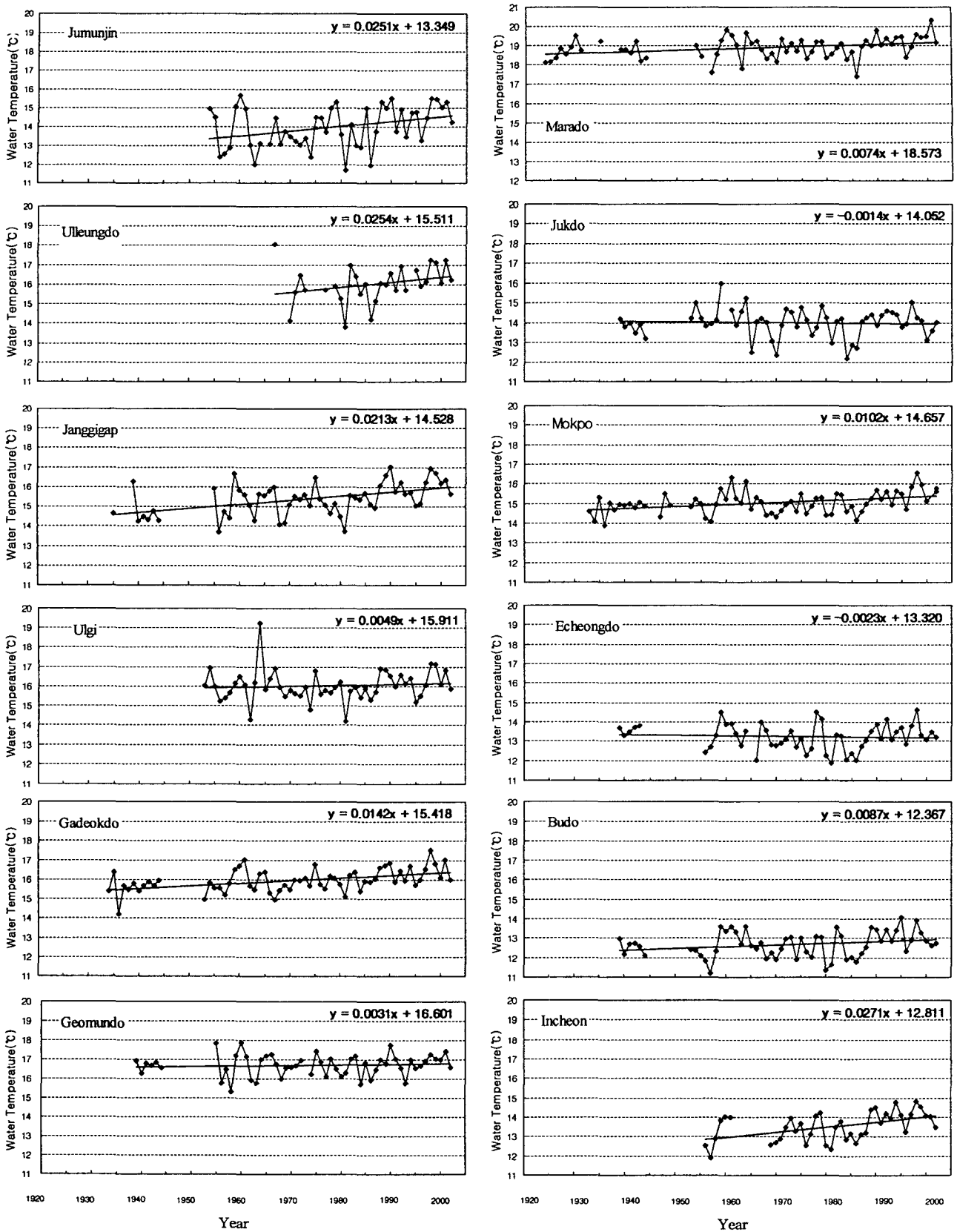


Fig. 2. Long term trend of change in water temperature at 12 coastal stations in Korea.

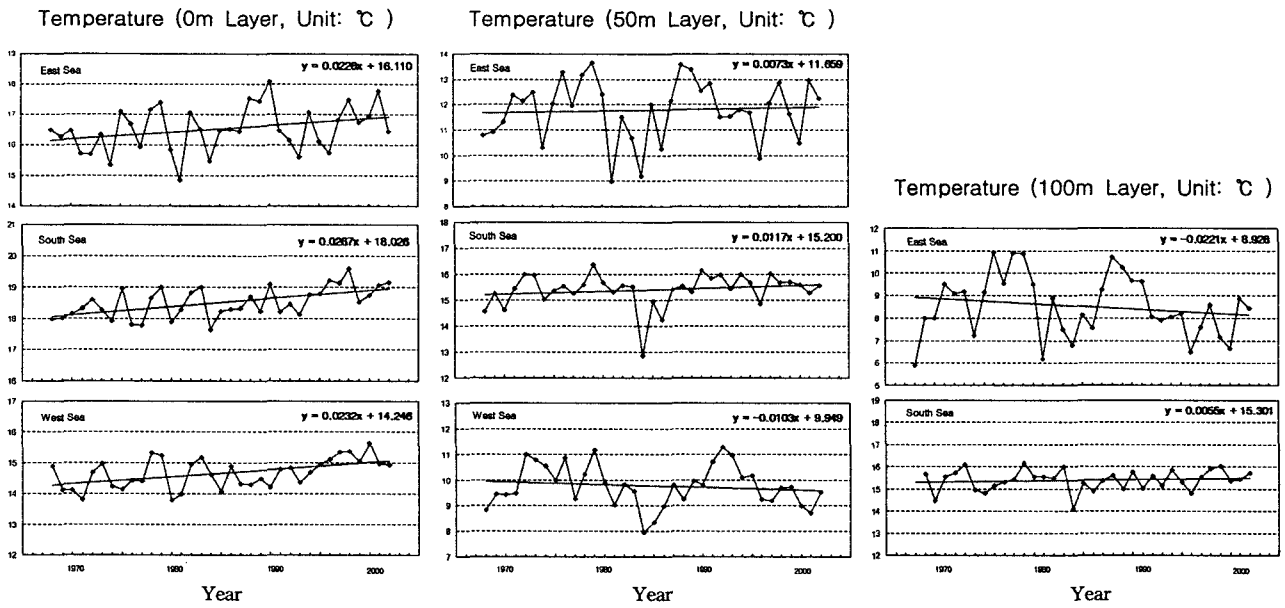


Fig. 3. Long term trend of change in water temperature at each water layer in East Sea, South Sea and West Sea.

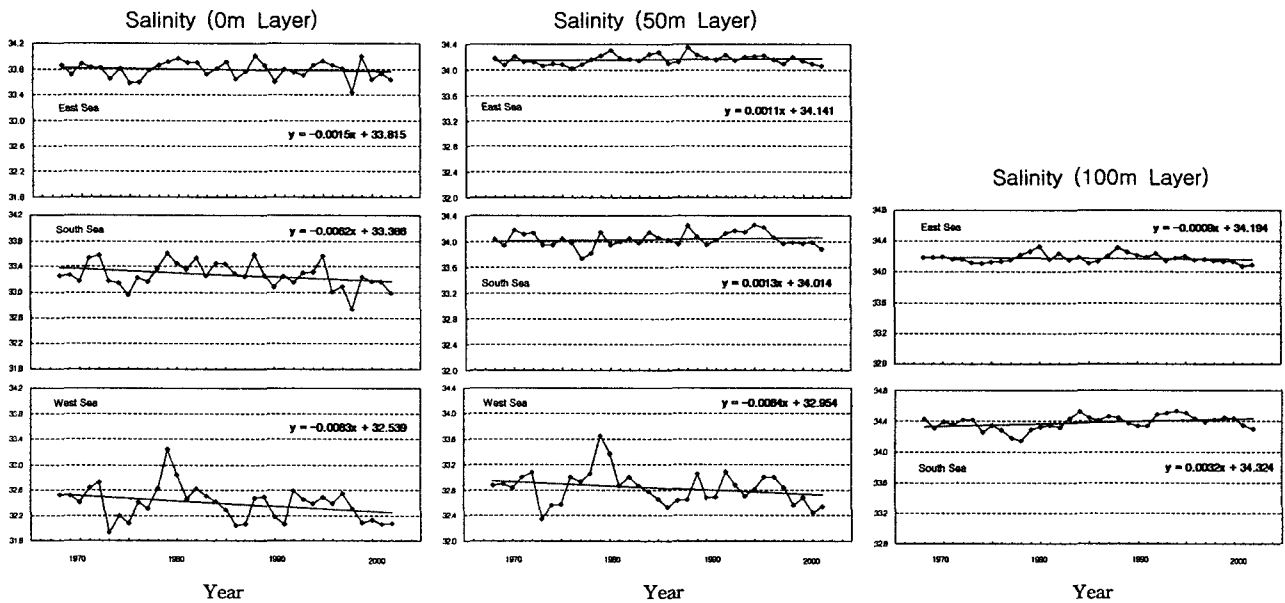


Fig. 4. Long term trend of change in salinity at each water layer in East Sea, South Sea and West Sea of Korea.

4. 결론

연안정지관측 분석 결과로부터 우리나라 연안수온은 상승하는 것으로 나타났으나 하계 냉수역이 발생하는(정, 2001) 죽도와 어청도에서는 오히려 연안 수온이 하강하는 것으로 나타났다.

정선해양관측자료의 분석결과를 보면 수온의 경우 35년간 표층의 변화 추이는 동해 0.7910℃, 남해 0.9345℃, 서해 0.8120℃의 상승 경향을 나타내었다. 50m 수층에서는 동해 0.255℃, 남해 0.4095℃, 서해 -0.3605℃로 동해와 남해는 수온이 상승하는 반면 서해는 수온이 하강하는 현상이 나타났다. 100m 수층의 경우 동해는 -0.7735℃, 남해는 0.1925℃로 100m 수층에서 동해는 수온이 하강하는 경향을 보였다.

염분의 경우 35년간 표층의 변화 추이는 동해 -0.0525, 남해 -0.2170, 서해 -0.2905로 우리나라 근해 표층의 염분은 낮아지는 것으로 나타났다. 50m 수층의 경우 동해는 0.0385, 남해는 0.0455, 서해는 -0.2240으로 서해에서 낮아지고 있으며, 100m 수층에서는 동해 -0.0315, 남해 0.1120으로 동해는 하강하며 남해는 상승하는 경향으로 나타났다.

5. 감사의 말

본 연구는 국립수산과학원 주요 과제인 '한국 해양관측 및 해양변동연구'의 일환으로 수행 되었습니다.

참고문헌

[1] 국립수산진흥원. 1999. 한국해양연보 1998. 46pp.

[2] 국립수산진흥원. 2001. 한국해양편람 제4판. 436pp.
 [3] 국립수산과학원. 2002. 연안정지 해양관측 성적. 585pp.
 [4] 정희동, 2001. 한국남서연안 해역의 하계 저수온 출현의 기작과 해양 변동. 부경대학교 이학박사학위논문. 130pp.
 [5] Chatfield, C. 1980. The Analysis of Time Series: An Introduction (2nd Ed.). Chapman and Hall. London. pp 23-24.
 [6] Gill, A. E. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic Press, 662pp.
 [7] Hahn, S. D. 1997. Role of SST warming for living resources in Korean coastal waters. KODC Newsletter, 30, 19-28.
 [8] Kang, Y. Q. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years (1936-1995). J.Fish. Sci. Tech. 3(3,4), 173-179.
 [9] Khalil, M. A. K., and R. A. Rasmussen, 1984. Carbon monoxide in the Earth's atmosphere: Increasing trend, Science, 224, 54-56.
 [10] Novelli, P. C., K. A. Masarie, P. P. Tans, and P. M. Lang, 1994. Recent changes in atmospheric carbon monoxide, Science, 263, 1587-1590.
 [11] Thompson, A. M. and R. J. Cicerone, 1986. Possible perturbation of CO₂, CH₄ and OH, J. Geophys. Res. 91, 10853-10864.
 [12] Zhang, C. I., J. B. Lee, S. Kim and J. H. Lee, 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean water. Progress in Oceanography, 44:171-190

원고접수일 : 2003년 11월 18일

원고채택일 : 2003년 12월 30일