

지구환경 변화와 관련된 한국 연근해 해양 이상변동

서 영 상 · 장 이 현 · 황 재 동

국립수산과학원 해양연구과

(2002년 12월 30일 접수; 2003년 3월 21일 채택)

Anomalous Variation of the Oceanic Features around Korean Waters Related to the Global Change

Young-Sang Suh, Lee-Hyun Jang and Jae-Dong Hwang

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

(Manuscript received 30 December, 2002; accepted 21 March, 2003)

Oceanographic features around Korean waters related to the global change were studied by analysis of the longterm variation of water temperature, dissolved oxygen, sea level of the surface layer with 1°C temperature, spatial position of the subpolar front in the East Sea/Japan Sea (the East sea hereafter) and the Wolf Sunspot Number.

With the global warming, the temperature of Korean waters has been increased 0.5~1.0°C for 33years (1968~2000). In case of the dissolved oxygen in the East Sea has been decreased 0.46mℓ/ℓ.

Year to year vertical fluctuations of the monthly anomalies of the surface layer with 1°C water in the East Sea have predominant periods with 15years as the longterm variation of Arctic climate, 12 and 18years as the El Nino-Southern Oscillation.

Spatial position of the subpolar front in the East Sea moved to northern part of the sea from the southern part of the sea with the increasing sea surface temperature.

The relationship between the number of Wolf Sunspot and the anomalies of sea surface temperature was very closer after the late of 1980s than those before the early of 1980s in Korean waters.

Key words : Global Warming, Longterm Variation, Sea Level, Sunspot Number, Korean Waters

1. 서 론

인류 문명의 발달과 더불어 화석 연료의 사용 등에 의해 발생되는 CO₂ 등 온실가스 증가로 온난화 현상이 전 지구적으로 일어나고 있다¹⁾(Fig. 1, 2). 또한 지구온난화로 인한 기후변화는 해양의 이상변동 현상을 초래하는 연결 관계를 보이고 있다^{2,3)}.

최근 전지구 기후 변화와 연관하여 발생된 기후 체제변화(regime shift)가 해양생태계 및 어류 분포상을 변화시키고 있다는 연구가 진행되고 있다^{4~6)}. 그러나 이와 같은 전지구 체제변화가 거대한 대륙 경계역과 해양성 기후의 전이지대(transitional zone)

및 아극전선대와 아열대 해역사이에 위치한 한반도 및 주변의 해양, 기상 변동과 해양생태계에 어떠한 영향을 미치고 있는가는 분명한 해답이 없는 실정이다⁷⁾.

이와 같은 지구온난화 현상이 우리나라 연근해역의 해양환경에 영향을 미치고 있는지를 밝히는 것은 한국 연근해역에서 발생될 급격한 해양생태계 변동에 효율적으로 대처하고 해양생태계 환경 보존에 중요한 기반정보가 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 한국근해 및 주요어장의 표면수온 장기변동, 동해 심층냉수의 표층 수위 장주기변동, 동해 아극전선 변동, 동해 용존산소량의 장기변동, 태양 흑점 개수와 근해 표면수온의 장기변동을 중심으로 지구 온난화와 관련되는 것으로 추정되는 한국 근해의 이상 해양현상을 규명 및 정량화하고자 한다.

Corresponding Author : Young-Sang Suh, Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea
Phone : +82-51-720-2222
E-mail : yssuh@nfrdi.re.kr

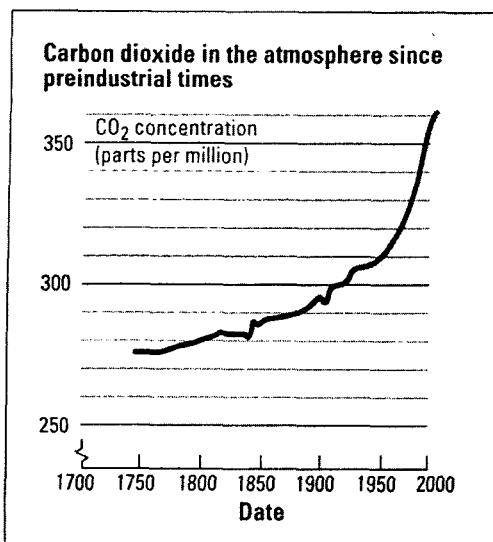


Fig. 1. The trend in carbon dioxide in the atmosphere since 1750(Cox, 2000).

2. 자료 및 방법

국립수산과학원에서 NOAA 위성으로부터 매일 수신한 수온 자료 중 1991년부터 2002년까지의 위성자료를 이용하여 한국근해의 표면수온 및 동해·아극전선대의 시공간적 변동을 분석하였다.

국립수산과학원 정선 해양관측점에서 정규적으로
장기간(1961~2000년) 관측해온 한국 근해의 표준
수층별(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200,
250, 300, 400, 500m) 수온 및 용존산소 자료를 활용하여 최근 지구온난화와 관련된 수온의 상승이나
용존산소의 감소 경향의 장기간 변동을 분석하였다
(Fig. 3).

동해 심층수의 표층 수위 변동을 파악하고자 동해의 해표면에서 수직 수심증가 방향으로 1°C 수온을 처음 나타내는 심층 냉수의 표층 수심을 간단한 내삽법으로 도출하였다. 표층수위의 월별 normal 값과 anomaly 값을 구하고, anomaly 값에 대해 power spectrum을 이용하여 주기성을 분석하였다⁸⁾. 또한 태양 흑점 개수(Wolf Sunspot Number)의 장기변동(1961~1994년)과 동, 서, 남해 인근해역 및 마라도 연안의 장기수온 변동간의 관계성을 구하였다⁹⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 한국 근해의 장기 표면수온 변동

1968년부터 2000년까지의 동, 서, 남해 180여 정선 관측점에서 장기간(1968~2000) 관측한 표면수온 자료를 각 해역별(동, 서, 남)로 수평 공간적으로

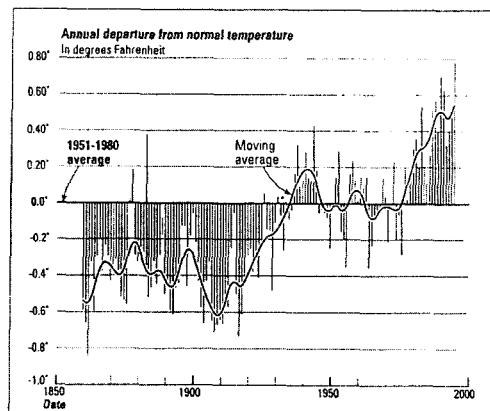


Fig. 2. Average world temperatures since 1861(Cox, 2000).

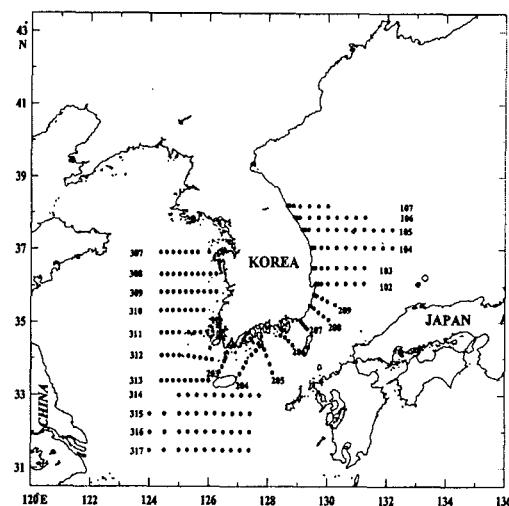


Fig. 3. Serial oceanographic observation stations.

연별 평균하여 그 연별 변동을 살펴보고 장기간 수온변동의 기울기 및 이상수온변동을 정량화하였다.

동해 표면수온의 장기 변동 추세는 연평균이 16.7°C이며, 1년에 0.022°C, 즉 33년(1968~2000) 동안 0.72°C 상승한 경향성을 나타내었다. 남해 표면수온의 경우, 연평균은 18.6°C이며, 1년에 0.016°C, 즉 33년 동안 0.53°C 상승하는 경향을 보였다. 서해 표면수온의 경우, 연평균은 14.2°C이며, 1년에 0.030°C, 즉 33년 동안 0.99°C 상승하는 경향을 보였다 (Fig. 4).

동, 서, 남해 근해역의 장기 이상수온변동의 경향성은 1980년대 후반부터 뚜렷한 이상 고수온 현상을 나타내었다. 이는 1980년 후반, CO_2 증가에 의한 저지구 온난화 현상이 뚜렷이 나타나 기간과 때

지구환경 변화와 관련된 한국 연근해 해양 이상변동

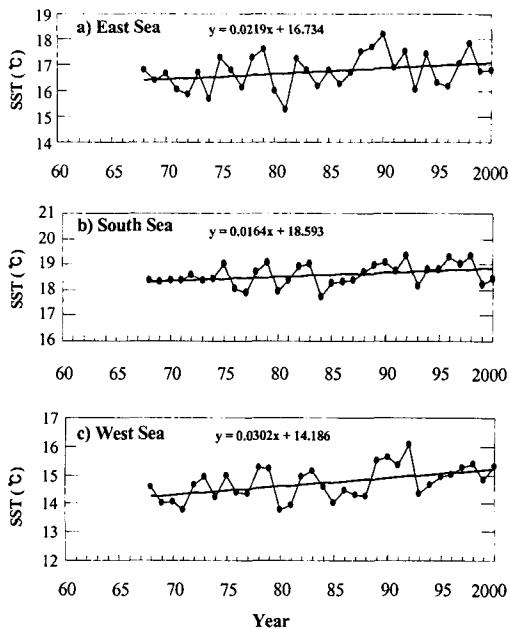


Fig. 4. Long term variation and the trend of the composite SSTs in (a) the East Sea, (b) the South Sea and (c) the West Sea for 33 years (1968-2000).

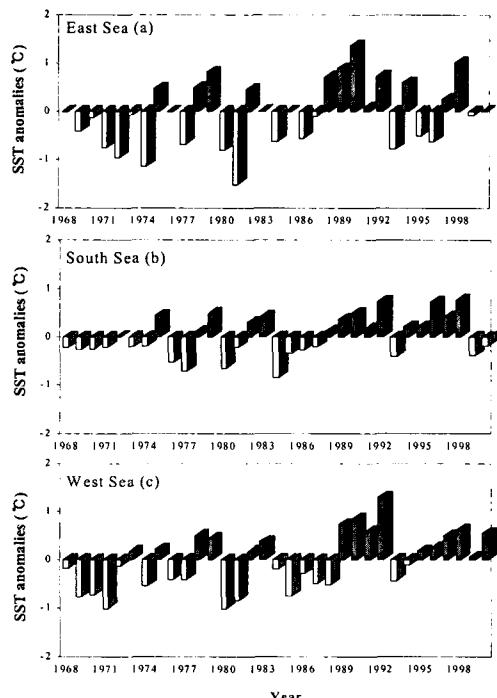


Fig. 5. Sea surface temperature anomalies (°C) in (a) the East Sea, (b) South Sea and (c) West Sea for 33 years (1968-2000).

우 유사한 변동 경향성을 보였다(Fig. 2, 5).

3.2. 주요어장의 장기 표면수온 변동

한국 근해의 주요 조업어장(울릉도, 제주도, 이어도 근해)에 대해 위성추정 표면 수온 변동(1991~2001년)을 연별로 파악한 결과 울릉도, 제주도, 이어도 근해에서 동계(2월) 및 하계(8월) 표면수온이 1990년대 중반이후 $0.5\sim1.5^{\circ}\text{C}$ 정도의 뚜렷한 고수온 현상을 나타내었다(Fig. 6).

3.3. 동해 심층냉수의 표층수위 주기 변동

1°C 동해 심층냉수의 표층 수위는 동해북부 연안에서 비교적 얕은 수심층(약 250 m)에서 계절 변동을 하였으나, 동해 중남부 연안해역에서는 비교적 깊은 층(약 300m)에서 계절변동을 하였다. 계절 변동폭은 $\pm 50\text{m}$ 정도였다. 1°C 동해 심층냉수의 표층 수위에 대한 월별 이상 값들의 연별 변동폭은 $+150\text{m}\sim-200\text{m}$ 범위로 크게 나타났으며, 대체적으로 15년의 장주기 변동이 우세하게 나타났다(Fig. 7, 8). 한편, 동해 중남부 해역(103-07 정선점)에서는 1990년 이후 뚜렷한 연별 변동이 나타나지 않고 있다.

동계(2월)와 하계(8월)로 나누어, 각 연구 조사점

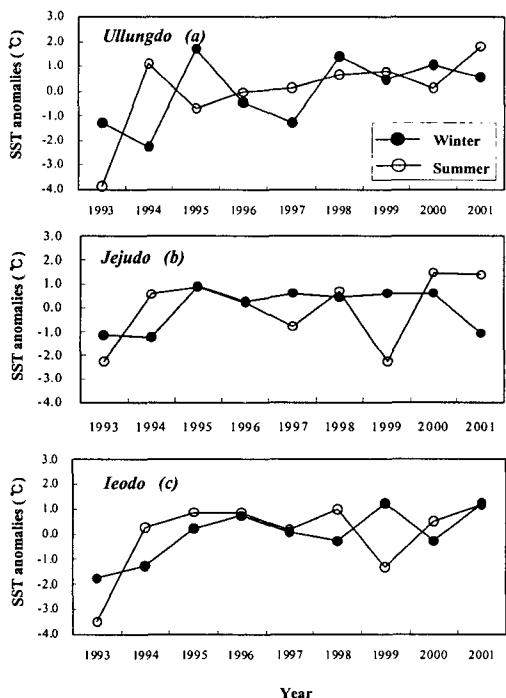


Fig. 6. Variations of the estimated SST anomalies from NOAA satellite in (a) Ullung Is., (b) Jeju Is. and (c) Ieo Is. around the Korean waters for 9 years (1993-2001).

서 영 상 · 장 이 현 · 황 재 동

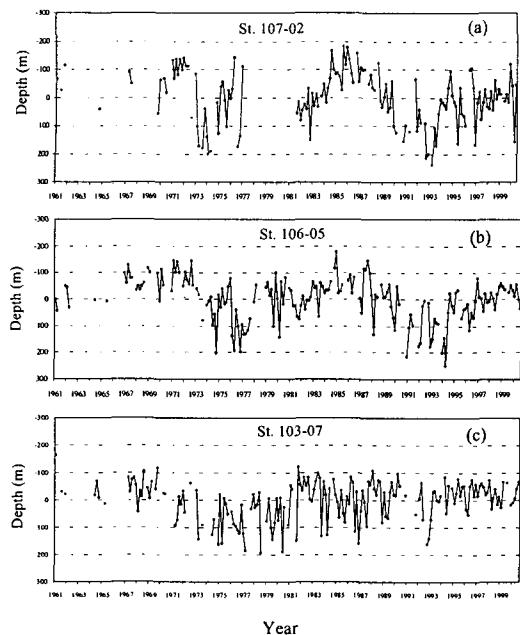


Fig. 7. Annual fluctuation of the monthly anomalies of the surface level variability on the East Sea deep water with 1°C water temperature at 3 stations in the East Sea.
((a) 107-02, (b) 106-05 and (c) 103-07) for 40 years (1961~2000)

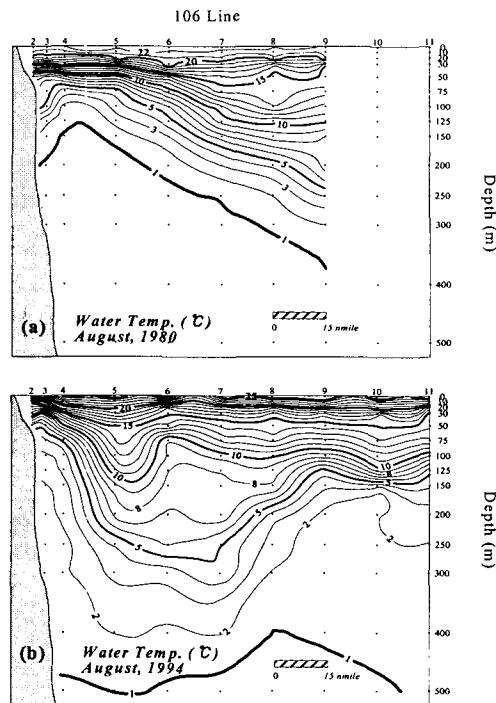


Fig. 8. The vertical distributions of water temperature in 106 (Jumunjin) line in August
(a) 1980 and (b) 1994.

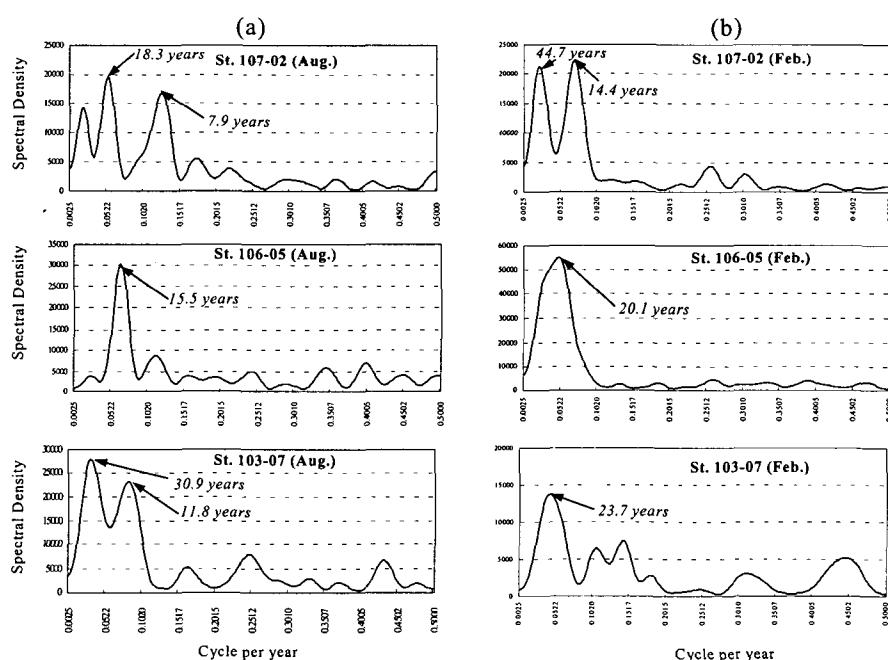


Fig. 9. Spectrum of the sea level anomalies with 1°C water temperature at 3 stations in the East Sea (107-02, 106-05, 103-07) in (a) August and (b) February for 40 years (1961~2000).
Numbers at spectral peaks are predominant periods in years.

지구환경 변화와 관련된 한국 연안해 해양 이상변동

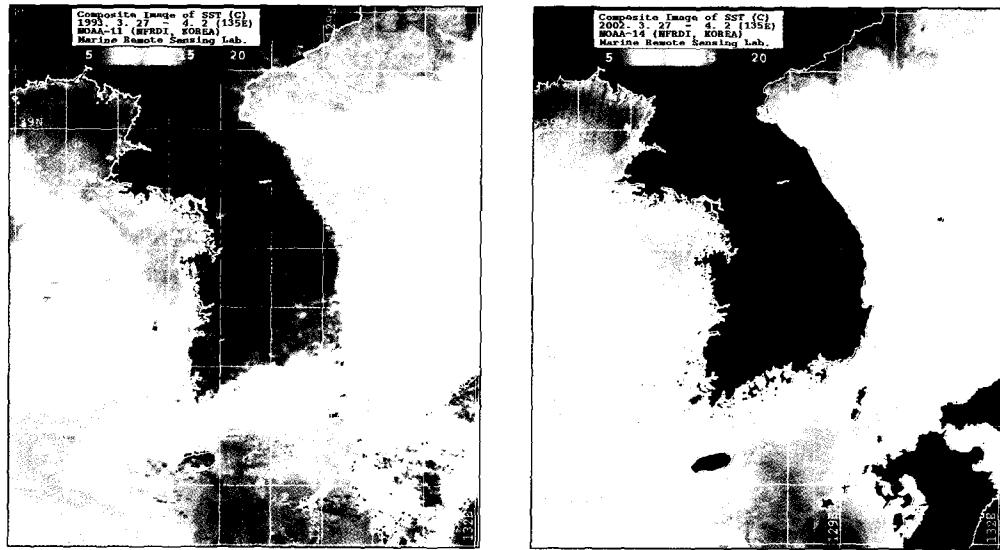


Fig. 10. Distributions of sea surface temperature (°C) derived from NOAA satellite data. Thermal IR imageries around the Korean waters in April, (a) 1993 and (b) 2002.

에서의 장주기 변동에 대한 타월주기를 도출한 결과, 동계 각 관측점에서 타월주기는 5, 8, 14, 24, 26, 34년으로 나타났으며, 하계에는 8, 12, 15, 18, 22, 31년으로 나타났다(Fig. 9).

최근 북극기후와 북극해 해빙 양의 변동이 삼년 이상의 장주기를 결정하는 기후 물리적 변동과정에 대한 연구가 있었다¹⁰⁾. 또한 북해와 발틱해에서 적용된 해빙과 해양의 복합 모델에서 수온 1°C를 나타내는 해수면 변동을 연구한 결과 등에서, 발틱해의 해빙과 관련된 염분약층 (halocline)의 변동 주기가 15년으로 나타났다¹¹⁾. 이러한 북극 기후 시스템의 가장자리에 위치한 동해 북부해역에서도 원거리 관계성이 있을 것으로 추정한다. 북극기후의 이상 저온현상이 동해북부 표면수온을 냉각시켜 저층으로 침강함으로써 심층수가 발달되면 동해연안을 따라 심층수의 표층수위가 상승하고, 반대로 심층수가 발달되지 않으면 심층수의 표층수위가 하강할 것으로 가정된다. 북극 기후시스템의 장주기 변동과 ENSO (El Niño-Southern Oscillation)의 9~13년, 18년 등 의 장주기 모드¹²⁾에 대한 동해북부에서의 심층수 형성 변동 등의 2차적 관계성 연구도 향후 흥미로운 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

3.4. 동해 아극전선대의 변동

3. 4월 (해수 혼합층이 깊어지는 동계에 속하면서도 좋은 위성 영상을 획득할 수 있는 시기), 동해에서 한류와 난류가 만나 이루는 아극전선대 (subpolar front)의 위도별 년별 (1991~2001년) 변동을 NOAA 위성으로 추정한 표면 수온분포 영상

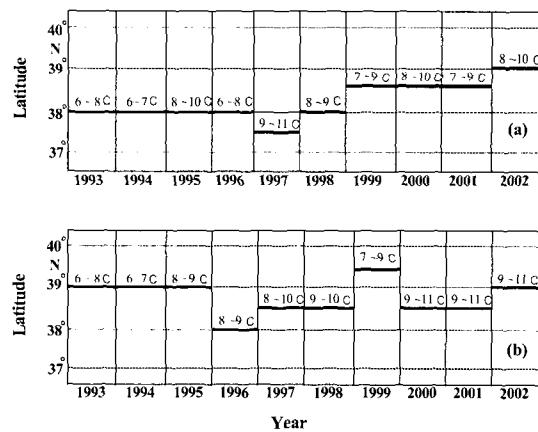


Fig. 11. Meridional variation and sea surface temperature (°C) of subpolar front in the East Sea in (a) March and (b) April, 1993~2002.

을 처리하여 도식화하였다. 동해 연안해역 (위도 37° N~40° N, 경도 129° E~135° E)에서 수평공간상 비교적 조밀한 수온분포의 위치와 아극전선대의 중심수온을 파악한 결과, 아극전선대 중심 수온이 1~3°C 증가하였으며, 전선대 위치도 수평공간 분포상 고위도로 이동하는 경향을 나타내었다(Fig. 10, 11).

3.5. 근해 이상수온의 장기변동과 태양 후점 개수의 장기변동

근해 이상수온의 장기변동(1961~1984)과 태양 후점 개수의 장기변동간에는 대체적으로 상관성이

서 영 상 · 장 이 현 · 황 재 동

낮았으나, 최근(1985~1994년) 변동의 관계성은 비교적 높게 나타났다(Fig. 12). 마라도 연안의 장기 이상수온 변동(1969~2000)과 태양흑점 개수 변동간에도 1980년 후반부터 변동 양상의 상호상관이 높게 나타났다(Fig. 13). 이러한 높은 상관성은 1980년 대 후반부터 CO₂ 증가에 따른 지구온난화와 관련하여 흑점 개수 변동에 수온 변동이 더욱 민감한 반응을 보인 결과로 추정된다.

3.6. 동해 용존산소량의 장기변동

동해 정선관측점(107~208Line, 총 67개점)의 각 수층(0, 50, 100, 200, 300, 400, 500m)에서 수평공간상 1년(2, 4, 6, 8, 10, 12월)동안 조사관측된 정점수가 20개 이상인 해의 자료를 선별하여 년 평균값의 변동을 수층별로 조사 분석하였다. 그 결과 모든 수심층에서 용존산소량(mL/l)의 감소 경향의 장기 변동(1968~2000) 양상을 보였다. 33년간 평균 용존산소량은 5.99mL/l였고, 매년 0.013mL/l씩 감소하

는 양상을 보였으며, 33년동안 0.42mL/l 가 감소하는 경향을 나타내었다. 이 경우 최근 2000년 평균 용존산소량은 5.57mL/l로 나타났다 (Fig. 14).

4. 결 론

한국 균해 표면수온의 장기 변동에 있어 서해에서 수온상승의 기울기 값이 동, 서, 남해 중 가장 크게 나타났다. 서해는 동, 서, 남해 중 해수 총량이 가장 적고, 수심이 가장 얕은 물리적 환경을 가지고 있어 지구온난화현상에 가장 민감하게 반응한 것으로 추정된다.

최근 한국 연안에서의 고수온 현상이 뚜렷해지고 있는 것으로 나타났는데^{13,14)}, 한국 균해 주요어장(울릉도, 제주도, 이어도)에서도 이상 수온의 연별 변동이 1995년 이후부터 비교적 뚜렷한 고수온 현상을 나타내었다. 이는 잘 알려진 최근의 CO₂의 급격한 증가로 인한 지구온난화 강세 현상에 주요여

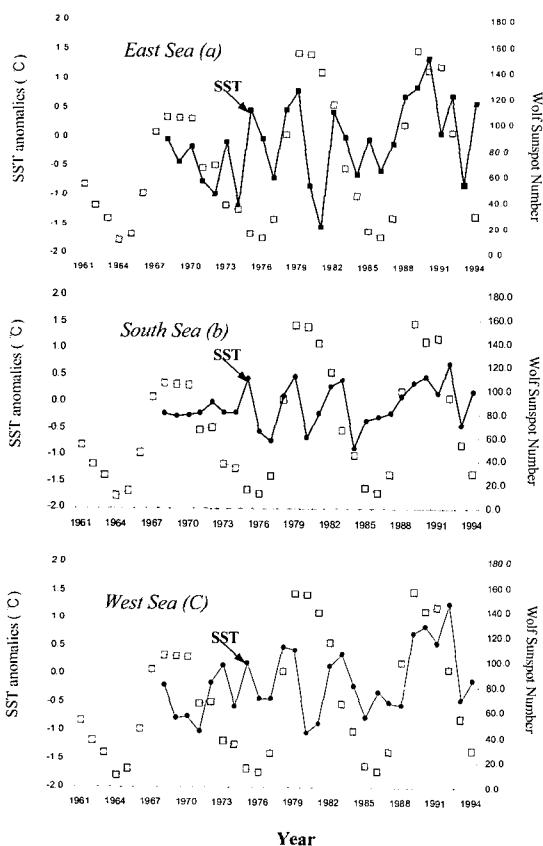


Fig. 12. Relationship between the number of Wolf Sunspot (□) and the SST anomalies (●) in (a) the East Sea, (b) South Sea and (c) West Sea for 34years (1961-1994).

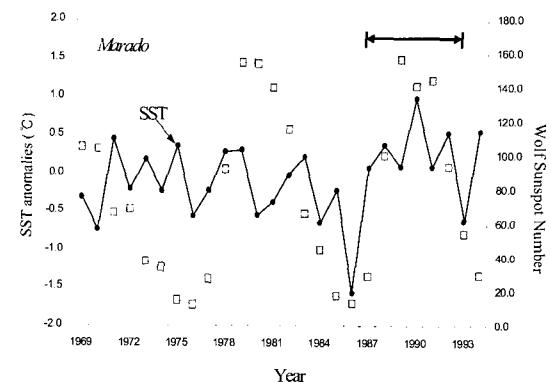


Fig. 13. Relationship between the number of Wolf Sunspot (□) and the SST anomalies (●) at Marado for 26years (1969-1994).

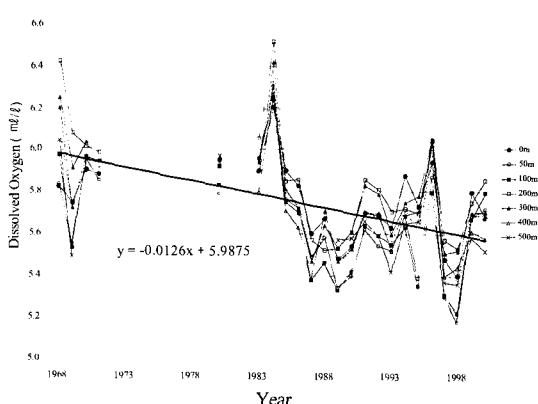


Fig. 14. Longterm trend and the variation of the dissolved oxygen(mL/l) in the East Sea for 33 years (1968-2000).

지구환경 변화와 관련된 한국 연근해 해양 이상변동

장의 수온이 영향을 받은 것으로 사료된다.

동해 아극전선대의 위도별 공간변동의 연변화를 조사한 결과 전선대에서 중심수온의 상승과 전선대 위치의 북향이동 및 동해 연근해역의 수층별(0~500m) 용존산소량이 감소하는 경향 등이 최근 20세기 후반기의 뚜렷한 지구온난화 현상에 비교적 순반응하는 현상을 나타낸다고 사료된다.

지구 온난화 조짐이 나타나는 최근에도 동해 북부해역(107-02, 106-05 정선점)에서는 심층냉수의 표층수위 연변동이 뚜렷한 주기를 가지고 나타나나, 동해 중부해역(103-07 정선점)에서는 1990년대부터 지구온난화 영향을 간접적으로 받아 그 주기성이 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 연구과제 「첨단위성 해양정보활용 시스템 운영」 및 「기후변화가 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향과 대응 연구」의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Cox, J. D., 2000, Weather for Dummies,, IDG Books Worldwide, Inc., 268-271pp.
- 2) Timmermann, A. J., Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif and E. Roeckner, 1999, Increased El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming, *Nature*, 398, 694-697.
- 3) Trenberth, K. E. and J. W. Hurrell, 1994, Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Climate Dynamics*, 9, 303-319.
- 4) Kim, S. and S. Yoo, 1996, Did climate regime shift in 1976 in the north pacific Occur in Korean waters? *Ocean Policy Research*, 11, 133-149.
- 5) Hollowed, A. B., S. R. Hare and W. S. Wooster, 1998, Pacific basin climatic variability and patterns of northeast Pacific marine fish production., *Biotic impacts of extra tropical climate variability in the Pacific*, Proceedings 'Aha Huliko' a Hawaiian winter workshops, University of Hawaii at Manoa, 89-104.
- 6) Francis, R. C. and S. R. Hare, 1994, Decadal-scale regime shifts in the large marine ecosystems of the North-east Pacific: a case for historical science, *Fisheries Oceanography*, 3, 279-291.
- 7) Kang, S., S. Kim and S. W. Bae, 2000, Change in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990, *Progress in Oceanography*, 47, 205-222.
- 8) Jenkins, G. M. and D. G. Watts, 1968, *Spectral Analysis and Its Application*, Holden-Day, 525 pp.
- 9) Hoyt, D. V. and K. H. Schatten, 1997, *The Role of the Sun in Climate Change*, Oxford University Press, 279pp.
- 10) Holland, M. M. and J. A. Curry, 1999, the role of physical processes in determining the interdecadal variability of central Arctic Sea ice. *J. Climate*, 12(1), 3319-3330.
- 11) Schrum, C., F. Janssen and V. Huebner, 1999, Modelling the interannual variability of hydro- and thermodynamics in the North Sea and the Baltic Sea, Copenhagen-Denmark ICES, 1999, 11.
- 12) Unal, Y. S. and M. Ghil, 1995, Interannual and interdecadal oscillation patterns in sea level, *Clim., Dyn.*, 11(5), 255-278.
- 13) Suh, Y. S., J. D. Hwang, L. H. Jang and Y. Q. Kang, 2001, Quantification of the persistent periods of the positive and negative sea surface temperature anomalies at the coastal areas of the Korean peninsula, *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, 10(2), 167-170.
- 14) Kang, Y. Q., 2000, Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60years (1936~1995), *J. Fish. Sci. Tech.*, 3(3,4), 173-179.