

제주도 기온과 주변해역 해수면 온도와의 상관관계에 관한 연구

장승민^{1,*} · 김성수¹ · 최영찬² · 김수강²

¹제주지방기상청

²제주대학교 해양과학대학

A Study of Correlations between Air-Temperature of Jeju and SST around Jeju Island

Seung-min Jang^{1,*}, Seong-su Kim¹, Young-chan Choi² and Su-gang Kim²

¹Jeju Regional Meteorological Office, Jeju 690-801, Korea

²Department of Oceanography of Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

요 약

본 연구에서는 1971년부터 2000년까지의 국립수산과학원(NFRDI) 정선관측자료와 1924년부터 2004년까지의 제주 지방기상청(JRMO) 기온자료를 이용하여 제주도 주변해역의 해수면 온도 변동성과 제주도 기온변동성의 상관관계를 살펴보았다. 그 결과, 기온은 80년 동안 0.020 °C/year 정도의 상승률을 보이고 있었으며 최근 30년 동안 0.035 °C/year의 상승률을 보여 비교적 높은 상승추세를 보이고 있었다. 해수면 온도는 0.024 °C/year의 상승률을 보이고 있고 특히 겨울철인 12월에 0.047 °C/year로 가장 높은 상승률을 보이고 있었다. 해수면 온도와 기온 사이에는 양의 상관관계를 가지며 시계열자료를 분석한 결과 두 변수의 위상이 일치하고 있음을 알 수 있었으며 해수면 온도 아노말리와 기온 아노말리에서도 유사하게 나타나고 있다. 즉, 제주도 주변해역의 해면 온도 변동은 제주도 기온변화와 큰 연관이 있음을 알 수 있었다.

Abstract – Correlations between air-temperature variation and SST variation around Jeju Island have been studied with data JRMO(1924~2004) and NFRDI(1971~2000). Air-temperature has increased about 0.02 °C/year for the period of 1924~2004 but relatively high 0.035/year for the last 30 years. SST has increased about 0.024 °C/year for the period of 1971~2000 and relatively high 0.047 °C/year in December. According to the analysis of time series of the two kind of variation, the SST and air-temperature are positively correlated. They are generally in phase, and SST anomaly is similar to air-temperature anomaly as well. Consequently, SST variation has high correlation with air-temperature variation around Jeju Island.

Keywords: SST anomaly(해수면 온도 편차), Air-temperature anomaly(기온 편차), Air-temperature variation(기온변동), SST variation(해수면 온도변동)

1. 서 론

기후변화에 관한 가장 권위 있는 보고서를 발간하고 있는 정부간기후변화패널(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)은 2001년 발간한 3차보고서에서 전세계 평균기온이 지난 세기에 0.6 °C 상승하였다고 보고하였다(IPCC[2001]). 우리나라의 경우 1904년 이후 관측된 기온자료를 분석해보면 평균기온의 상승 추세는 약 1.5 °C이며 제주도는 약 2.0 °C로 전지구적인 온난화 추

세를 상회하고 있다(기상연구소[2004]).

장·단기적인 기후 변화 연구에는 해양-대기 상호작용에 관한 연구가 기본적으로 중요하다. 국내에서 적도 태평양 지역의 수온과 우리나라 기후와의 관계에 관한 논문으로 안 등[1997a]에 의한 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와 상관관계에 관한 연구가 있다. 이 논문에서는 한반도의 기온과 강수량과 같은 기후변수들은 3~6개월 전의 적도태평양의 해면 온도 아노말리와 높은 상관관계가 있어 한 계절이나 6개월 전에 우리나라의 기온과 강수량을 추정할 수 있다고 했다. 또한 하 등[1995]은 의한 겨울철 서울 기온의 경년 변동과 태평양 해면 온도와 상관성 연구에서

*Corresponding author: smjang@kma.go.kr

적도 동태평양과 서태평양에서의 아노말리의 진동이 서울 겨울철 기온의 경년 변동과 관련이 있음을 추론하고 있다. 그리고 김 등 [1995]은 기후 모형을 이용하여 해면 온도 아노말리에 대한 몬순 강우량의 아노말리의 영향을 1988년 관측 자료를 사용한 실제 해면 온도 실험을 통하여 그들 결과의 차이로서 살펴본 바 있다.

이러한 연구들의 공통적인 문제점은 관측 자료의 부족을 들 수 있는데 한반도 주변 해역의 관측자료 또한 부족한 실정이다. 이러한 이유뿐만 아니라 전지구적인 규모로 이루어지는 기후변화의 특성상 기후변화와 관련하여 제주도와 주변해역에 관한 연구가 따로 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 1971년부터 2000년까지 국립수산물과학원(National Fisheries Research & Development Institute; NFRDI) 정선관측자료를 수온자료를 이용하여 제주도의 기온과 제주도 주변 해역에서의 해수면 온도와와의 관계를 살펴보고자 하였다.

2. 연구 내용 및 방법

2.1 자료 및 조사방법

제주도에서의 기온의 기후변동성을 조사하기 위하여 기후관측값의 축적이 가장 많은 제주시의 자료를 사용하였으며 수온자료는 국립수산물과학원(National Fisheries Research & Development Institute; NFRDI) 정선관측자료(Fig. 1)를 사용하였다. 제주지방기상청(Jeju Regional Meteorological Office; JRMO)은 1923년 제주측후소를 시작으로 관측을 시작하였으며 관측개시 이후 관측점의 이동은 없었고 기온의 경년변화를 보기 위해 1924년 이후 모든 자료를 사용하였다. 분석에 앞서 자료들은 계절변동성을 최소화하기 위해 13개월 이동 평균한 연평균기온을 시계열분석에 사

용하였으며 그 밖에는 평균자료를 그대로 사용하였다. 또 해수면 온도와 상관관계를 위해서는 1971년 이후 2000년까지 기온 자료를 사용하였다.

해수면 온도의 자료는 국립수산물과학원의 정선관측 SST(Sea Surface Temperature)의 1971년부터 2000년까지 30년 동안의 자료이다. 제주도 주변해역과 남해 일부해역인 312~314 line과 203~207 line의 관측자료를 월평균하여 기본자료로 이용하였으며 조사 해역내의 line별 자료를 평균한 것이다. 본 연구의 자료 분석에서는 30년간의 월별 평균값을 제거한 아노말리값이 사용되었다. 제주도를 대표하여 제주시의 기온과 제주도 주변해역인 남해안 해수면 온도로 한정하여 상관관계 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기온 변동성

대상지역은 제주시로 선정하였으며, 도시화에 의한 효과는 배제하지 않았다. 관측기간은 1924년~2004년이며 분석에 이용한 시계열 자료를 Fig. 2에 나타냈고 월평균기온을 이용하여 계절진동을 제거한 편차자료이며 이는 13개월 이동 평균하여 구하였다. 그 결과 0.020 °C/year 정도 상승하는 경향을 보이고 있어 관측 이래 80년간 1.6 °C의 상승을 보였다. 1937년에 -1.4 °C로 연평균편차가 가장 작게 나타났으며, 1999년에 1.9 °C로 가장 높은 편차를 보였다.

Fig. 3에서와 같이 제주도의 기온변화는 1924년 이후 꾸준한 증가세를 확연히 보이고 있다. 또한 계절별로 구분하여 본 기온변화의 추세를 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 4에 계절별 기온변화를 나타내었다. 봄철 기온변화는 1930년대 이후 꾸준한 상승세를 보이면서 1990년대에는 60년 전인 30

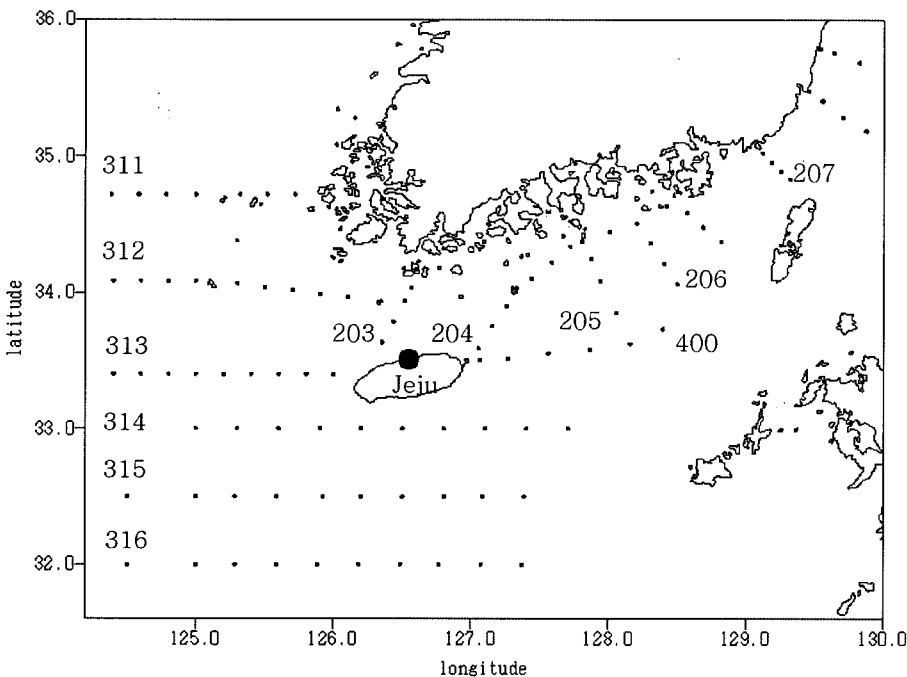


Fig. 1. Location of stations used in this study.

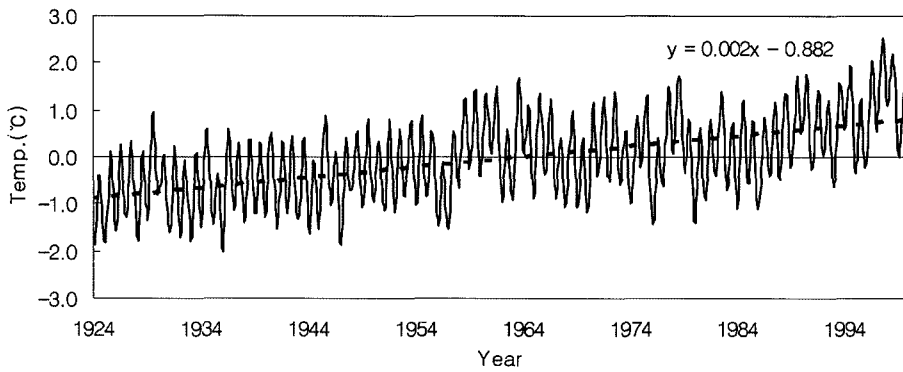


Fig. 2. Time series of monthly mean temperature anomalies in Jeju city for the period of 1924-2004. The data is reconstructed by 13-month running mean.

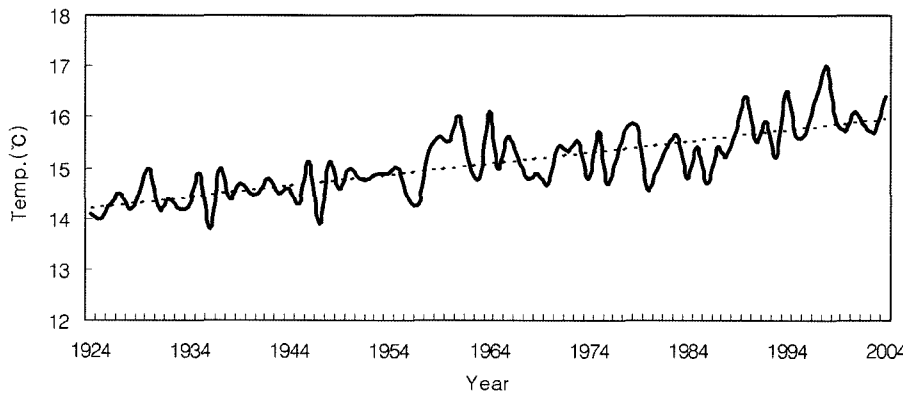


Fig. 3. Time series of annual temperature in Jeju city for the period of 1924-2000.

년대 대비 약 2 °C가 상승하였다(Fig. 4a). 여름철 기온변화는 1960년대 1 °C 상승한 이후 다소 증가하였고(Fig. 4b) 가을철 기온변화는 여름철과 비슷하게 60년대에 급상승하여 그 후 완만한 상승세이며, 1990년대에는 30년대 대비 약 1.4 °C가 상승하였다(Fig. 4c).

겨울철 기온변화는 굴곡이 있긴 하지만 전반적으로 상승하고 있으며, 1990년대에는 30년대 대비 약 1.5 °C가 상승하였다(Fig. 4d). 연평균 기온변화 변화는 지속적으로 기온이 증가하는 추세로 30년대 대비해서 90년대 약 1.5 °C가 상승하였다.

극값갱신 현황에서도 90년대 이후 확연한 기온상승의 효과를 볼 수 있다. 평균기온의 최고값은 제주에서 32.5 °C(98.8.15)이며, 최고기온의 최고값도 2위(37.4 °C, 98.8.15), 3위(37.2 °C, 98.8.11), 4위(37.0 °C, 90.8.14) 모두 90년대에 나타났다. 한편, 최저기온의 최저값은 1위에서 5위까지 모두 80년대 이전에 나타난 값으로써 기온의 상승효과를 예상할 수 있다.

3.2 SST(Sea Surface Temperature)의 경년 변동성

Fig. 5은 1971년부터 2000년까지 제주도주변의 연평균 수온분포를 나타낸 도표이다. 연간 0.024 °C의 분포로 상승하는 추세를 보이고 있으며 30년 동안 0.72 °C의 수온의 상승이 있었다.

1971년부터 2000년까지 30년간 제주도 주변해역의 월평균 수온분포는 Fig. 6와 같다. 2월에 12~16의 고온수가 남해 연안쪽 뿐만 아니라 제주도 남동쪽 및 제주도 서방 125°E 해역까지 넓게 분포하고 있다. 그러나 34°N 이북의 남해 연안 천해역에는 9이하의 냉수가 분포하고 있다. 그러므로 13 °C 이상의 고온수 해역과

9이하의 저온수 해역사이에는 현저한 수온전성이 형성되는 등 34°N 부근에서 수평경도가 가장 크다.

추계인 4월부터는 수온이 상승해 남해 연안 천해역에 나타났던 10 °C이하의 수온은 거의 출현하지 않고 있으며 11~13 °C의 분포를 보이고 있다. 제주도 주변해역은 2월과 비슷한 양상을 띠고 있었다. 하계인 6월이 되면 수온이 크게 상승하여 전 해역이 대부분 18 °C 이상이 되며 제주도 남동쪽으로 23 °C의 수괴가 나타나고 있다.

하계가 되면 중국 대륙연안수가 제주도 주변 및 한국 남해 등으로 넓게 확장하여 대마난류수의 표층을 덮게 되므로 동중국해 북부 및 한국 남해의 표층은 매우 안정된 성층이 형성돼 연직혼합이 일어나기 어려운 조건이 되므로 일사에 의한 표층수온의 상승이 커지며 수심 100 m이상의 외해역에는 27 °C 이상의 고온수가 나타난다. 8월에는 24 °C 이상의 수온분포를 보이며 제주도 남동쪽 해역으로 27 °C 이상의 고온수가 분포한다. 추계인 10월에는 전체적으로 수온이 하강해 제주도 동쪽의 대마난류 주류부에서도 25 °C 이상의 고온수는 나타나지 않고 19~24 °C의 분포를 보인다. 12월에는 13~19 °C의 분포를 보이며 14 °C 이상의 고온수가 서쪽으로 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 12월에 완전한 동계형의 수온분포를 보이고 이듬해 4월까지 이러한 분포가 이어지다 6월부터 서서히 수온이 올라가서 10월까지 비교적 높은 수온을 유지하게 된다.

Fig 7까지는 1971년부터 30년 동안 제주도 주변해역의 월별 평균 시계열이다. 2월의 경우 연 0.020 °C의 연간 상승률을 보이고 있고 4월은 0.008 °C의 연간 상승률, 6월은 0.014 °C의 상승률을

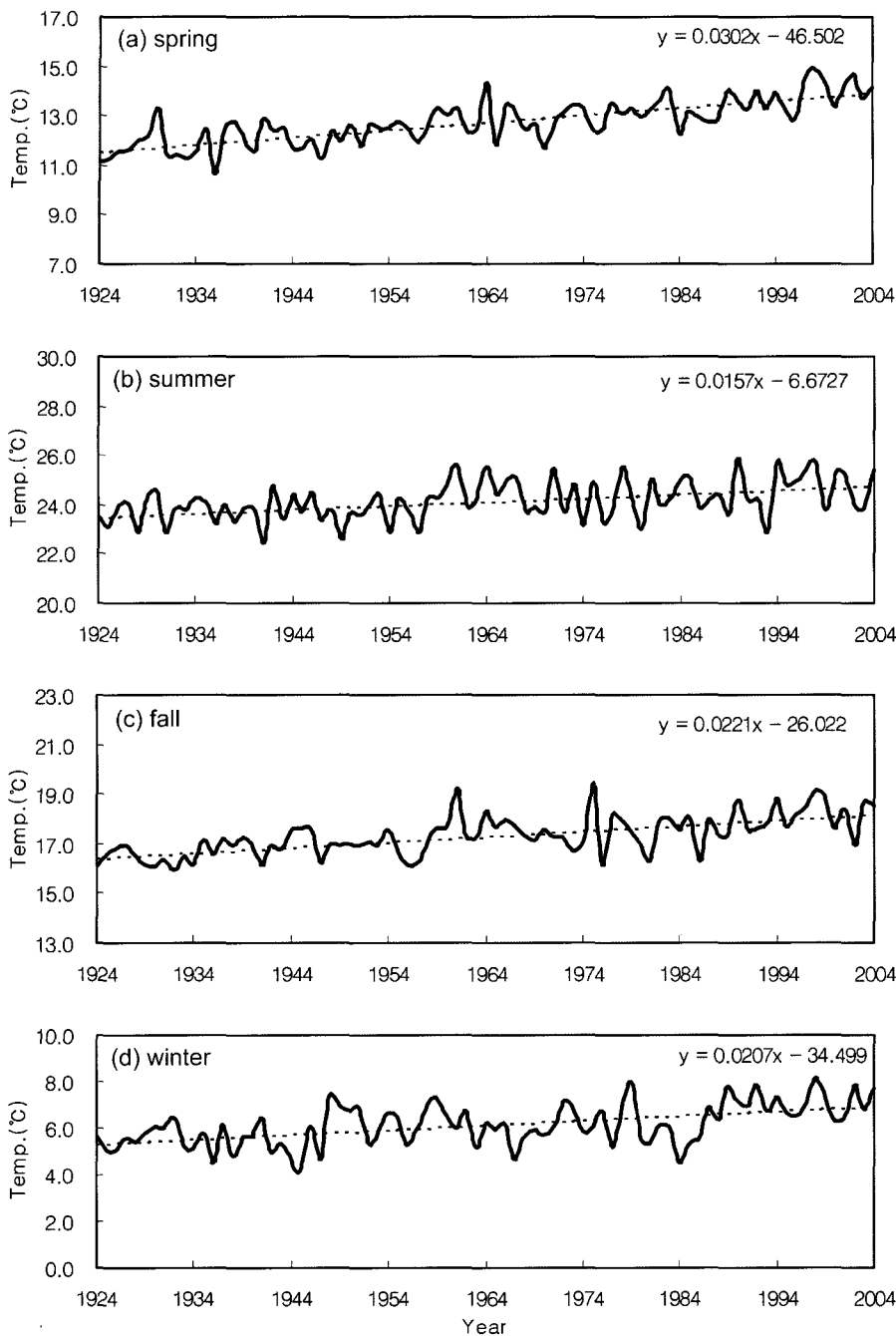


Fig. 4. Time series of seasonal mean temperature in Jeju city for the period of 1924-2004: (a) Spring, (b) Summer, (c) Fall, (d) winter.

나타내고 있다. 2월에는 상승률이 비교적 높은 편이나 4월과 6월에는 상승률이 다소 둔화하고 있다.

제주도 주변해역의 수괴 분포는 2월과 4월 제주 주변해역에는 쿠로시오해류의 지류인 대마난류수가 제주도 동·서 해역에 넓게 분포하는 시기이며 6월에는 대마난류수는 좁게 분포하고 쿠로시오해류의 지류인 중간난류수가 점차 넓게 분포하게 된다. 8월과 10월은 각각 0.012°C와 0.024°C 연간 상승률을 보이고 있다. 12월은 0.047°C의 연간 상승률을 보이고 있어 12월이 일년 중 가장 높은 상승률을 보이고 있었다. 제주 주변해역의 수괴분포는 8월에 접어들면서 대마난류수의 출현이 제주도 동·서로 넓어지며 중간난

류수가 제주도 주변해역에 전체적으로 영향을 미친다. 10월은 8월과 비슷하며 대마난류수가 좀더 넓게 분포하게 되며 12월에는 동계형의 수괴분포의 형태를 이루며 대마난류수가 전체적으로 영향을 준다(고 등[1998]). 따라서 가을철인 10월과 겨울철인 2월과 12월의 30년간 수온이 각각 0.72°C, 0.60°C와 1.40°C의 상승을 보이고 있어 평균상승률과 비슷하거나 높았다.

박 등(2000)은 동해와 남해안은 겨울철을 중심으로 온난화 경향이 나타나고 있다고 하였으며 그 원인으로는 엘니뇨와 같이 적도 태평양해역의 기압배치가 달라져 대규모 기상현상이 발생하는 것을 원인 중 하나로 꼽았다.

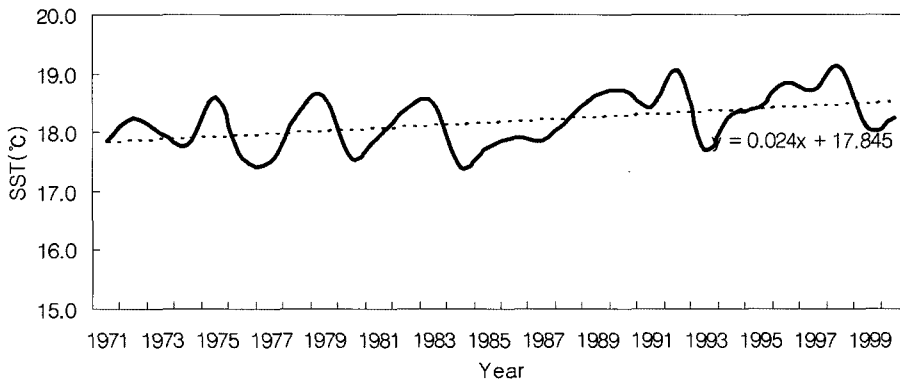


Fig. 5. Time series of annual temperature in sea of Jeju around for the period of 1971-2000.

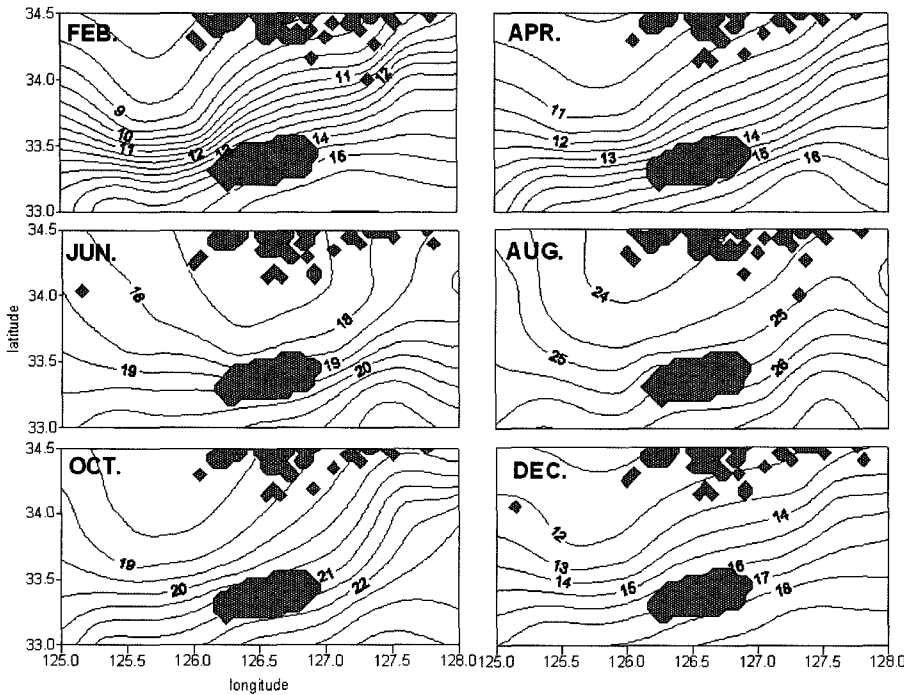


Fig. 6. Horizontal distribution of month mean SST for the period of 1971-2000.

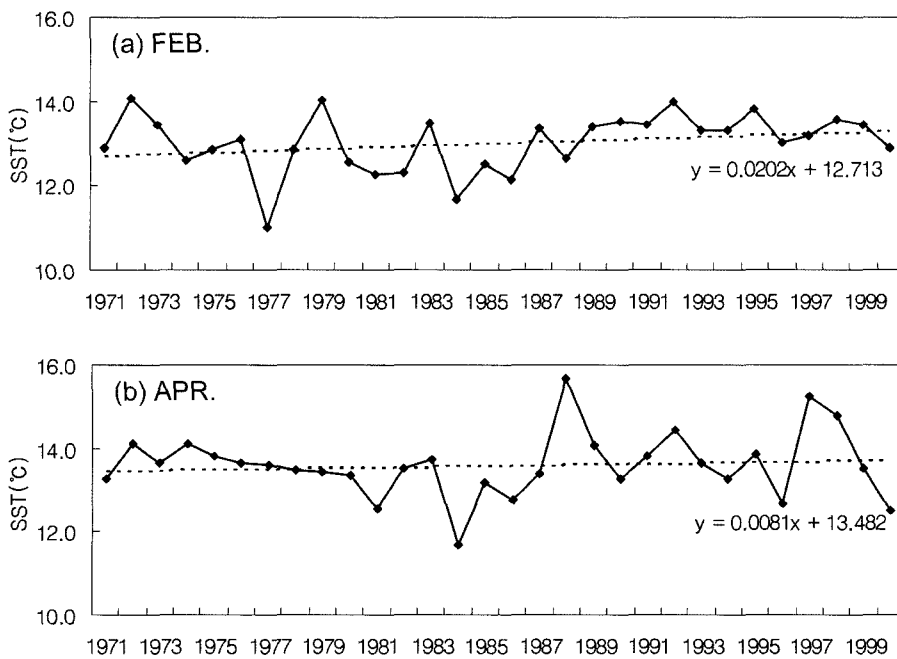


Fig. 7. Time series of month mean temperature in sea of Jeju around for the period of 1971-2000: (a) February, (b) April, (c) June, (d) August, (e) October, (f) December.

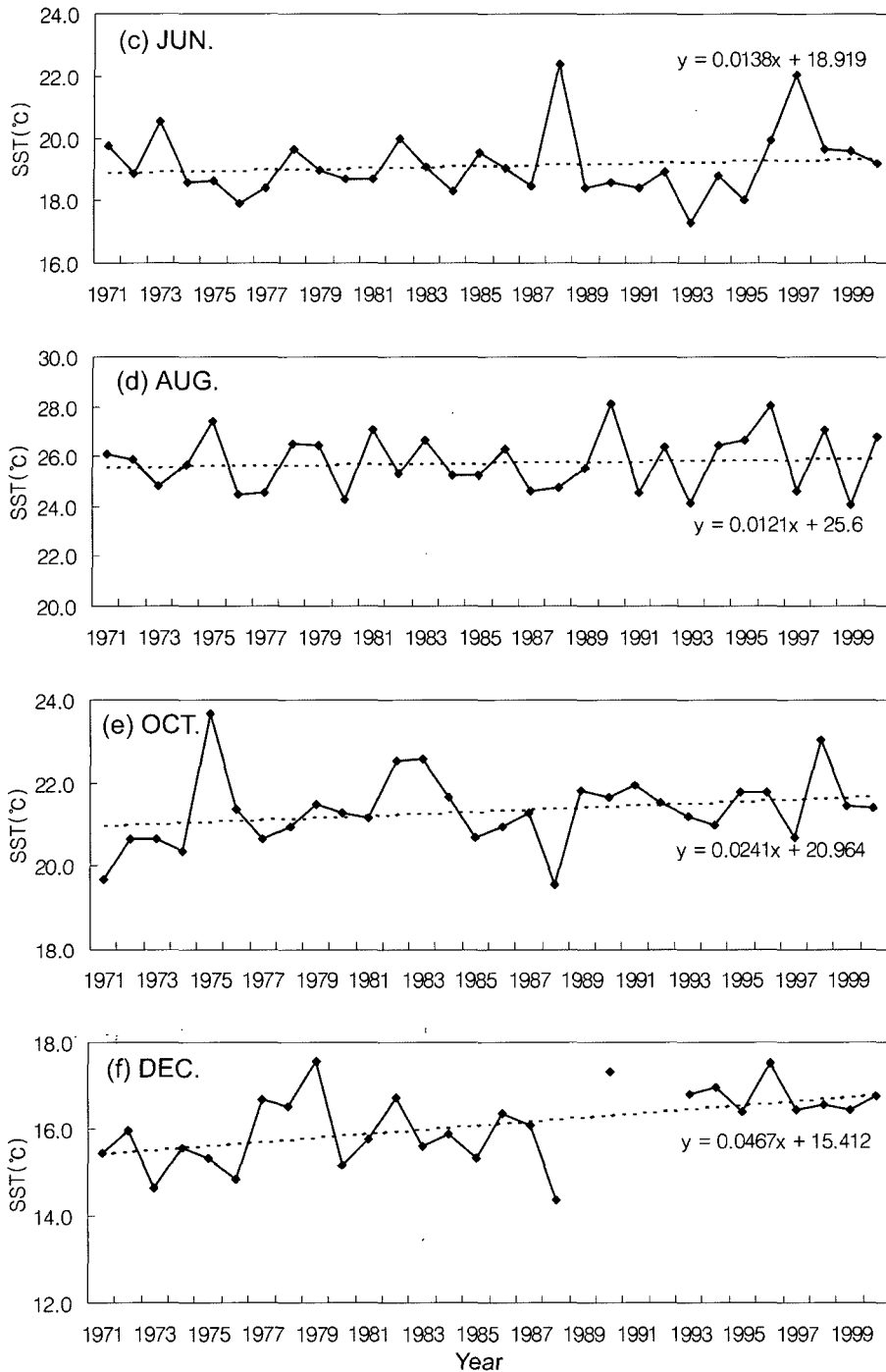


Fig. 7. Continued.

3.3 SST(Sea Surface Temperature)와 기온과의 상호관계

Fig. 8은 1971년부터 2000년까지 30년간 제주도 기온 연평균을 나타낸 도표이다. 이 기간동안 기온은 연간 0.035 °C의 상승률을 보이고 있으며 30년 동안 1.05 °C의 상승을 보였다. 최근 30년 동안인 1924년 이후 연간 0.02 °C의 기온 상승률보다 다소 높은 상승률로 최근 30년 동안 평균기온의 상승이 높았음을 보이고 있다.

Fig. 3과 8의 수온과 기온의 경년변동성을 살펴보면 수온과 기온이 유사한 패턴을 보이고 있음 알 수 있으며 기온의 주기 변동

성이 있으며 하[1998]는 5~6년 주기와 2~3년 주기가 서울 지역에서 뚜렷하다고 하였고 본 조사에서 수온의 변동 주기는 3~5년 이며 기온은 기존 연구와 유사한 2~3년 주기가 우세하였다.

아노말리의 분석에서도 수온에서 다소 차이는 있으나 비교적 유사한 상승률을 보이고 있다.

따라서 두 변수간의 위상은 모두 유사함을 볼 수 있어 제주도 주변해역의 수온 변동이 기온 변동과 크게 연관이 있음을 직접적으로 보여주는 결과라 하겠다. 북극도에서 기원하는 쿠로시오해류

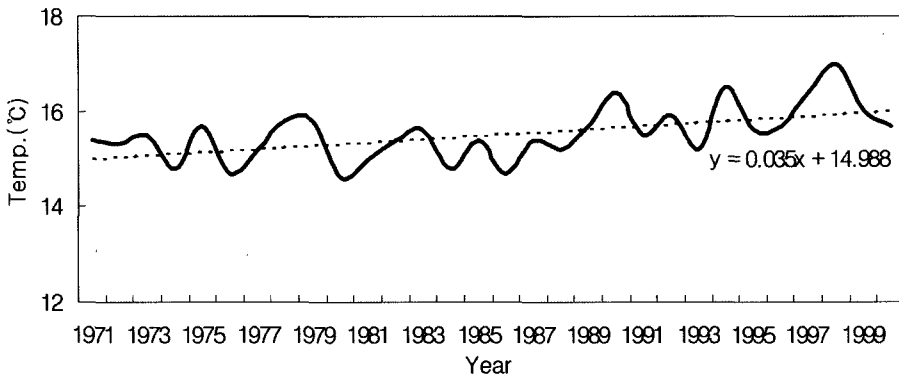


Fig. 8. Time series of annual temperature in Jeju city for the period of 1971-2000.

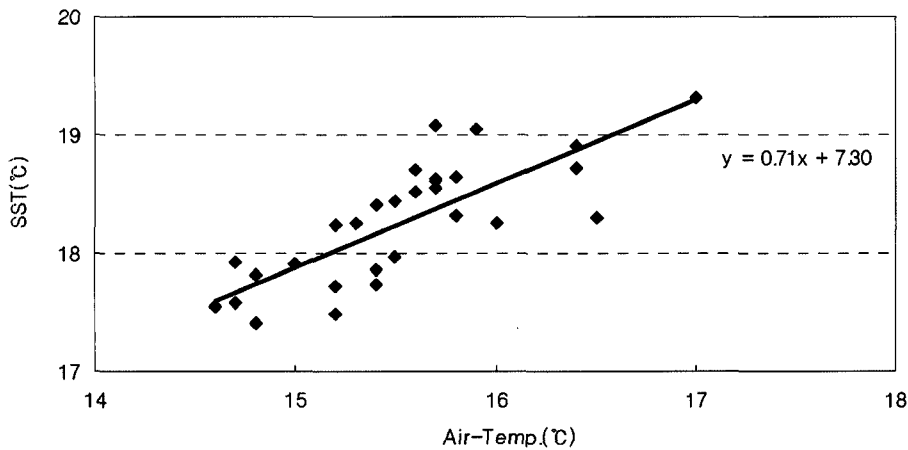


Fig. 9. Air-temperature anomaly as a function of the SST anomaly.

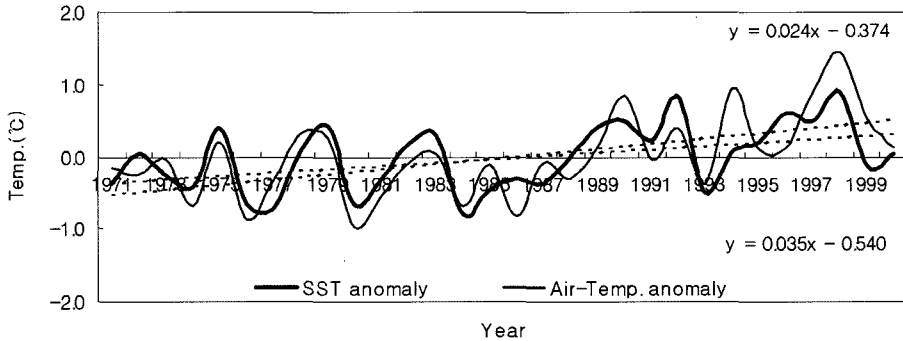


Fig. 10. Time series of annual mean temperature anomalies and SST anomalies for the period of 1971-2000.

의 지류인 대마난류수가 제주도 남쪽해역을 거쳐 황해와 남해 그리고 동해로 흘러 들어간다(고 등[1998]). 이러한 흐름상 제주도 주변해역의 수온상승과 이로 인한 기온의 변화는 한반도 전역으로 이어질 가능성이 높으며 이와 관련하여 안 등[1997a]은 한반도 기온과 같은 기후변수와 적도 태평양의 해면 온도와 상관관계에 관한 연구에서 6개월이나 3개월 전의 적도 태평양의 해수면 온도 아노말리와 가장 높은 상관관계를 갖는다고 하였으며 한반도 주변해역의 해면 온도의 변동이 한반도 기후 변동과도 연관이 깊은 것으로 연구보고 하고 있다(안 등[1997b]).

4. 결 론

본 연구에서는 국립수산과학원의 정선관측된 1971년부터 2000

년까지의 해수면 온도 자료와 제주지방기상청의 1924년부터 2004년까지 기온 자료를 월별·연별 평균하여 제주도 주변 해역 SST와의 상관관계를 살펴보고자 하였다.

그 결과 기온은 80년 동안 0.020 °C/year 정도의 상승률을 보이고 있었으며 최근 30년 동안 0.035 °C/year의 상승률을 보여 비교적 높은 상승추세를 보이고 있었다. 30년동안 해수면 온도는 0.024 °C/year의 상승률을 보이고 있었고 특히 겨울철인 12월에 0.047 °C/year로 가장 높은 상승률을 보이고 있어 겨울철의 해수면 온도가 높아졌음을 알 수 있다. 이러한 현상은 아시아 몬순계절풍의 잦은 변동과 관련이 있는 것으로 생각되며 유사한 계절변동 경향이 한국 남동해역에서 이상표면수온의 변동 연구(Gong et al.[1986])에서 보고된 바 있다.

결론적으로 제주도 주변 해역의 해수면 온도 변동은 제주도 기

온변동에 0.77의 높은 양의 상관성이 있으며 제주도 주변 해역 해수면 온도와 제주시의 기온의 연평균자료를 비교할 때 일반적으로 두 변수의 위상이 일치하고 있었으며 이러한 위상의 일치는 해수면 온도와 기온 아노말리에서도 나타나고 있었다. 이는 제주도 주변에서 해양과 대기 사이의 활발한 상호교환이 이루어지고 있음을 의미하며 지구 온난화와 관련하여 해양과 대기 사이의 영향에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 함을 시사한다.

한반도 근해에서의 정선된 자료들의 수집과 한반도 주변에서의 기상 및 해양 변수들 사이의 상호관계에 관한 이러한 연구는 해양-대기 상호작용에 따른 두계(system)의 반응과 해수면을 통한 열수증기, 운동량 등의 공간적 분포와 시간적 변화 연구에 도움이 될 것으로 기대하며, 더불어 한반도 해역 순환 모형의 실험과 검증에도 유용하게 쓰일 것으로 본다.

후 기

이 연구는 기상연구소/제주지방기상청 현장연구과제 “제주지방의 기상관측역사와 기후변동성 연구”의 지원과 2005년도 제주대학교 BK21 교육개혁지원비에 의해 연구되었다.

참고문헌

[1] 고유봉, 노홍길, 방익찬, 오봉철, 윤석훈, 윤정수, 이준백, 최영찬, 1998, “濟州의 바다”, 사단법인 제주도 수산해양개발협

의회.

- [2] 김정우, 조희구, 이승만, 이태영, 이광호, 하경자, 1995, “기후 모형 모수화 과정의 연구: V. 하계 몬순의 발전에 미치는 해면 온도 아노말리의 영향에 관한 GCM 연구”, 한국기상학회지, Vol 31, 439-452.
- [3] 박중화, 황강석, 강영실, 2000, “한국 근해 겨울철 온난화와 주요 어종의 어획 변화”, 한국수산자원학회지, Vol. 3, 77-87.
- [4] 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 1997a, “한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와 상관관계에 관한 연구”, 한국기상학회지, Vol. 33, No. 3, 488-495.
- [5] 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 1997b, “한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해수면 온도와 상관관계에 관한 연구”, 한국기상학회지, Vol. 33, No. 2, 327-336.
- [6] 하주영, 1998, “한반도의 기후변동성에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위 청구논문.
- [7] 하경자, 1995, “겨울철 서울 기온의 경년 변동과 태평양 해면 온도와 상관성 연구”, Vol. 1, No. 4, 314-323.
- [8] 기상연구소, 2004, 한국의 기후, 기상청 기상연구소.
- [9] IPCC, 2001, 기후변화 2001, 기상청, pp. 991.
- [10] Gong, Y. and Y. Q. Kang, 1986, Sea surface temperature anomalies off the southeastern coast of Korea. *Bull. Fish Res. Agency*, Vol. 37, 1-9.

2005년 11월 16일 원고접수

2006년 2월 13일 수정본 채택