

석사학위논문

기온과 강수량 및 해수면온도의 주기변동성에 관한 연구

(A Study on periodical variability of temperature,
precipitation and sea surface temperature of Korea)



110.535

제주대학교 산업대학원

해양생산학과

이 찬 구

2000


기온과 강수량 및 해수면온도의
주기변동성에 관한 연구

(A Study on periodical variability of temperature,
precipitation and sea surface temperature of Korea)

지도교수 방 익 찬

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2000년 12월 일

 제주대학교 중앙도서관
제주대학교 산업대학원

해양생산학과(해양학)

이 찬 구

이찬구의 석사학위 논문을 인준함.

2000년 12월 일

심사위원장 윤 정 수(인)

위 원 최 영 찬

위 원 방 익 찬



목 차

List of Figures	i
List of Tables	iii
Summary	iv
I 서론	1
II 자료 및 분석방법	4
1. 분석자료	4
2. FFT 분석	6
3. Wavelet 분석	6
III 기온의 주기 분석	8
IV 강수량의 주기 분석	21
V 해수면온도의 주기 분석	35
VI 기온과 강수량 및 해수면온도의 관계	50
VII 토의 및 결론	55
참고문헌	57
요약	60
감사의 글	62

그림 목차(List of Figures)

Fig III-1 Time series of temperature	11
Fig III-2 Time series of annual temperature deviation	12
Fig III-3 Time series of temperature (upper panel) of annual temperature deviation(lower panel)	13
Fig III-4 Period power spectrums of temperature	15
Fig III-5 Period power spectrums of temperature (after removing periods less than one year)	16
Fig III-6 Comparison of period power spectrums of temperature (after removing periods less than one year)	17
Fig III-7 The real part of Morlet wavelet analysis of temperature .	20
Fig IV-1 Time variation of annual precipitation amount in Seoul (1777- 1997) (정현숙)	21
Fig IV-2 Time series of precipitation	25
Fig IV-3 Time series of annual deviation precipitation	26
Fig IV-4 Time series of precipitation (upper panel) and annual precipit -ation deviation(lower panel)	27
Fig IV-5 Period power spectrums of precipitation	29
Fig IV-6 The power spectrums of precipitation (after removing periods less than one year)	30
Fig IV-7 Comparison of period power spectrums of precipitation (after removing periods less than one year)	31

Fig IV-8 The real part of Morlet wavelet analysis of precipitation	34
Fig V-1 Time series of sea surface temperature	39
Fig V-2 Time series of annual deviation sea surface temperature	40
Fig V-3 Time series of sea surface temperature(upper panel) of annual deviation sea surface temperature(lower panel)(light house)	41
Fig V-4 Time series of sea surface temperature(upper panel) of annual deviation sea surface temperature(lower panel)(grade point)	42
Fig V-5 Comparison of period power spectrums of sea surface temperature (after removing periods less then one year)	44
Fig V-6 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature	47
Fig V-7 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature	48
Fig V-8 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature	49

표 목차(List of Tables)

Table II-1. Station index, station name, Location and elevation of 14 Meterological stations.	5
Table II-2. Grad point index, Location of sea surface temperature data.	5
Table III-1. Comparison of mean temperatures in the two periods of 1931~1960 and 1961~1990	8
Table III-2. Correlations of temperatures	10
Table IV-1. Correlations of precipitation	23
Table V-1. Correlations of sea surface temperature	37
Tabel VI-1. Correlations of temperature, precipitation and sea surface temperature	52
Tabel VI-2. Regional standard deviation and variation coefficient .	54

A Study on periodical variability of temperature, precipitation, and sea surface temperature of Korea

Chan - Gu Lee

Marin Production Graduate School of Industry
Jeju National University

Supervised by Professor Ig-Chan Pang

Summary

As three sides of Korea are surrounded by the seas, Yellow Sea, South Sea, and East Sea, and thus the climate over the peninsula is believed to be affected by the seas, although the relationships have not been fully understood. The current study focuses on the variation of period of temperature, precipitation amount and sea surface temperature and the relationship among these periods.

Temperature and precipitation data are from the 14 weather stations of Korea Meteorological Administration, while the sea surface temperature data are from in situ measurement at the beacons. And also ECMWF grid data were used. The analysed data are from 1954 to 1997.

Spatial correlation coefficient temperature over the 14 weather stations are about 0.98 which implies that the temperature are under the uniform field of temperature. The most prominent period is 6-year period followed by 2 or 3-year period. For longer term, longer than 10 years, 14-year period is the most significant,

followed by 21-year period although it is very weak.

A positive long-term trend of temperature is clearly shown in most urban stations, while rural stations such as Ullung-do and Chupungnyong show very small warm trend.

Spatial correlation coefficient of precipitation amount is about 0.67 which is lower than those of temperature and sea surface temperature and shows a strong spatial dependence implying strong local effects. Generally 2 to 3-year period and 5 to 6-year period are dominant periods, although the dominant period depends strongly on the stations. For example, the dominant period for Ullung-do is 22 years, for Mokpo and Gwangju is 14 years, and Jeju, Busan, and Yeosoo is 5 to 6 years. From 1973 to 1984, there had been a long drought. During this period, the 5-year period is weak.

Relationship between precipitation and temperature shows an interesting results. During the warm temperature period, the precipitation is relatively small and during the cold temperature period, the precipitation is relatively high which agrees with the results by Moon (1997).

Correlation coefficient of sea surface temperature is over 0.88 that is similar to temperature.

In the change of the periodic time, 6 years and 2~3 years are predominant. But the variation in it is irregular and wider than in temperature in the change of long-term period

I analysed the data of ECMWF instead of actual data for the reason that it was difficult to analyse the actual data of sea surface temperature continuously because the ocean is too close to land and there were many empty data. The result showed that the periodic time of 2-3 and 6 years are predominant.

The signal of central area including Incheon is similar to that of south-western sea. And the periodic times of southern seaside, Jeje-do and Ullung-do were similar to that of sea area around them. The change in the periodic time, in case of the beacons, of temperature is similar to that of sea temperature. However, it becomes more and more difficult as the ocean is far from the land, which is the result of analysis of cross-point.

The prominent periods of temperature and sea surface temperature are similar to each other, 6-year and 2~3-year, while the precipitation has a strong spatial dependence. Thus the mean correlation between temperature and sea surface temperature is about 0.85, while it is only 0.55 and 0.49 for precipitation and temperature, and precipitation and sea surface temperature, respectively. The lower correlations are thought be due to the spatial irregularity in the precipitation. In addition the change coefficient and standard deviation of rainfall are much bigger than those of temperature and sea surface temperature.

The suggestions that the changes in the period of these meteorological parameters are the results of abnormal weather and large scale variation such as the El Nino and La Nina get much more attention these days. As the changes in the sea surface temperature affects strongly on the weather parameters, much more attention should be paid to the marine meteorology for more accurate weather forecasting.

I 서론

기온이나 강수량 등 기상요소를 이용하여 집중호우, 이상고온이나 저온현상 등 이상기상현상에 대하여 연구를 하고, 해수면온도 변화에 따라 엘니뇨와 라니냐 등을 연구한 결과 이러한 해수면 온도의 변화가 이상기상 발생과 밀접한 관계가 있다는 주장이 제기되고 있다 (Ropelewski et 1985, 1992, Wang et 1994).

기온이나 강수량, 해수면온도(SST)와 같은 기후 변수의 변동은 ENSO(El Nino/Southern Oscillation)와 밀접히 관련되어 있으며 (Bjerknes, 1969; Halpert and Ropelewski, 1992; Allen et al., 1995; Wang, 1995), 특히 십년 규모의 변동과의 관련 가능성에 대하여 지적하고 있다(Nitta and Yamada, 1989; Trenberth and Hurrell, 1994; Latif and Barnett, 1996; Yatago and Yasunari, 1994; Zhang et al., 1997; Nakamura et al., 1997). 또한 대기나 해양에 대한 많은 연구에서는 기후시스템에 두드러지게 저주파의 섭동이 섞여 있다고 지적하고 있다(이, 오 등, 1999). 전지구 기후시스템에 나타나는 저주파의 변동성과 관련하여 기후 변수들의 수십년간의 평균에서도 갑작스런 변이(regime shift)가 나타난다. 전지구 평균 지표온도의 경우에 일정하게 증가하기 보다는 십년 규모의 변동성을 보이고 있으며(IPCC, 1990, 1992), 이러한 기온의 십년 규모 변동은 국지 규모에서도 나타난다(Nitta and Yoshimura, 1993). 한 예로 중국과 몽고의 여름철 강수량의 경우 EOF 분석에서 주목할만한 십년 규모의 변동성이 나타났으며(Yatagai and Yasunari, 1994), 북태평양의 평균 해면 기압에서도 1977년을 전후로

갑작스런 기후학적 불연속이 나타났다(IPCC, 1990). 이렇게 일정한 기간의 기후 변수에서 수십년간의 시간 평균이 갑작스런 변이를 보이는 것을 기후 도약(Climatic Jump)이라고 한다(Vargas et al., 1995; Yamamoto et al., 1986). 이와 같은 저주기 변동의 원인에 대해서 Horel and Wallace(1981)는 해수면온도가 대규모 대기순환 변동을 유도하는 가장 주요한 원인이지만 중위도 월평균 대기순환 변동의 약 25%만 설명하고 있다. 그 외의 변동은 지표면 변동과 대기 자체의 저주기 변동과 관련되어 있으며, 특히 토양 수분, 적설면적, 적설깊이 등의 지표면 변동은 비교적 긴 기억시간을 가지는 기후요소들에 의해 좌우될 수 있다고 하였다.

전지구적인 기후 변동 중 특히 엘니뇨 및 남방진동과 관련하여 전지구적인 반응에 대한 연구를 보면 주로 강수량 변화와 관련이 있다. 열대지방의 기상변화와 중위도 지방의 강수량 변화를 연관시킨 연구를 보면, Ropelewski and Halpert(1986, 1987, 1989)는 ENSO와 관련된 전지구적 및 지역규모의 강수량을 논의하였고 Harger(1995)는 ENSO변화와 인도네시아 및 필리핀에서의 가뭄발생의 관련성을 제시하였다.

해양은 육지에 비하여 열용량이 큰 반면 우리나라는 3면이 바다로 둘러 싸여있기 때문에 해수면온도의 변화가 육상의 기후변화에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있으나 해수면온도의 변화 주기와 기온 및 강수량 변화가 어느 정도 상관관계가 있는지 정확히 알려져 있지 않다.

해수면온도의 주기변화에는 일주기, 년주기, 영년주기 등이 대표적이며 년주기 변화는 직접 흡수하는 열 Energy의 변화나 열전도 효과, 수계의 변환과 관계된 해류의 변동 및 해수의 수직운동 효과 등에 기인

하고 있다(Sverdurop, et 1966). 해수온도의 주기 변화에 관하여 한(1970)은 1916년 7월부터 1945년 6월까지와 1955년 4월부터 1970년 3월까지의 55년중 44년의 관측자료를 분석한바 있으며, 한(1970)이 한국해협의 三島(미시마)와 대마해협의 중간에 위치한 中之島(나가노시마)에서 50년이상 관측한 값을 이용하여 장주기 분석을 한바 있다. 강(1984)은 표면수온이 증가함에 따라 잠열은 증가하지만 역복사와 현열은 감소하며, 동해에서 수온이 1℃ 증가하면 해상기온의 연평균이 1.2℃ 증가하는 효과를 가져오며, 해양의 저열량의 크기는 해면을 통한 열교환의 연변화에 지대한 영향을 미친다. 노(1989)는 한국남동해역의 장주기 변동에서 해수면온도 및 염분의 평균해면 변동에 있어서 유의한 연간 주기는 36.6과 23.3개월이고, 수온변화와 타 변량간의 코히런스 분석에서도 36.6과 21.3개월의 유의함을 밝혔다.

이러한 주기 변화분석자료는 최근 관심이 되고있는 기후변화와 이상기상 발생주기 연구에 필요한 자료로 활용 될 수 있을 것이다. 따라서 기온과 강수량 및 해수면온도의 주기변화를 분석하고 이들의 주기가 상호간에 어떤 관계를 가지고 변화하고 있는지 알아보고자 한다.

II. 자료 및 분석방법

1. 분석자료

육상에서의 주기변동 분석을 위하여 기상청 산하 14개 관측소에서 1953년1월부터 1997년 12월까지 관측된 월평균기온 및 월강수량 자료를 사용하였으며, 이들 관측소의 위치와 고도를 Table II-1에 나타내었다. 해수면온도 자료는 수산연구소에서 우리나라 연안에서 관측한 항로표지관리소(등대)관측 자료와 ECMWF(Europe Center Middle Werther Feater)의 격자점 자료를 기본적으로 이용하였다. 항로표지관리소 관측자료는 결측기간이 많아서 자료의 연속성 떨어져 주기분석에서는 부득이 우리나라 부근해역의 격자점 자료를 이용하여 분석하였으며, 분석지점은 Table II-2와 같다.

기온과 강수량에 대하여도 동일한 방법으로 자료를 처리 분석하였으며, 해수온도 ECMWF에서 제공되는 격자점자료의 월평균값을 사용하였으며, 서해해상은 동경 121°, 123°, 125°의 북위 33°, 35°, 37°의 격자점 9지점을 분석하였다, 동해는 동경 131°, 133°, 135°, 137°, 139°의 북위 35°, 37°, 39°, 41°, 43°, 45°의 격자점을 대상으로 산출하여 분석하였다.

또한 주기분석을 위하여 FFT(Fast Fourier Transform)분석 방법을 이용하였다. 계절진동을 제거하기 위하여 12개월 이동평균을 실시하였으며, 강수량의 경우 가뭄과 밀접한 관계가 있으므로 가뭄현상에 관하여도 조사를 실시하였다. FFT분석 방법은 주기분석에는 용이하나 주기를 시계열상으로 보기 위하여 Wavelet 분석 방법을 이용하였다.

Table II-1. Station index, station name, location and elevation of 14 Meteorological stations.

Station No.	Station	Lat. (N)	Long. (E)	Elev. (m)
105	Kangnung	37° 45'	128° 54'	26.0
108	Seoul	37° 34'	126° 58'	85.5
112	Inchon	37° 29'	126° 38'	68.9
115	Ullung-do	37° 29'	130° 54'	221.1
135	Chupungnyong	36° 13'	128° 00'	245.9
138	Pohang	36° 02'	129° 24'	2.5
143	Taegu	35° 53'	128° 37'	57.8
146	Chonju	35° 49'	127° 09'	51.2
152	Ulsan	35° 33'	129° 19'	31.5
156	Kwangju	35° 10'	126° 53'	70.3
159	Pusan	35° 06'	129° 02'	69.2
165	Mokpo	34° 47'	126° 23'	53.4
168	Yosu	34° 44'	127° 44'	67.0
184	Jeju	33° 31'	126° 32'	22.0

Table II-2. Grid point index, Locations of sea surface temperature

Long. (E)	Lat. (N)	Lat. (N)	Lat. (N)	Lat. (N)	Lat. (N)	Lat. (N)
121	33	35	37	-	-	-
123	33	35	37	-	-	-
125	33	35	37	-	-	-
131	35	37	39	41	43	45
133	35	37	39	41	43	45
135	35	37	39	41	43	45
137	35	37	39	41	43	45
139	35	37	39	41	43	45

2. FFT(Fast Frequency Transform) 분석방법

해수면온도의 FFT는 항로표지관리소 수온대신 격자점 수온자료를 분석하였다. 해수면온도 관측자료가 결측된 것이 많아 분석하기 힘들었기 때문이다. 기온, 강수량, 격자점 해수면온도자료들에는 1년 주기가 아주 두드러져 1년 주기를 포함한 경우 다른 주기의 값들이 구별되지 않아, 1년 주기를 제거하지 않은 경우와 제거한 경우로 나누어 분석하였다. 그리고 지역적인 변동성과 계절진동 및 고주파의 영향을 최소화하기 위해 12개월 이하 주기를 제거하였다. 그리고 지역적인 변동성과 전체적인 변동을 알고자 지역별 그림과 전체그림으로 나누어 분석하였다.

3. Wavelet 분석

주기변화분석에는 Fourier 변환법이 일반적으로 많이 사용되고 있으나, Fourier 변환법의 단점 중 하나는 변동의 지역(local) 특성을 표현할 수 없는 단점을 보완하기 위해 유한 분석영역(창, window)의 개념을 도입한 window Fourier 변환법이 사용되었다(Gabor 1946).

Wavelet은 지진공학자인 Morlet가 지진파 분석을 하는 과정에서 개발하여 현재는 지진파분석, 해양학, 대기과학 등에서 널리 사용되고 있다. 파엽변환법은 고주파에 대하여는 좁은 창을 저주파에 대하여는 넓은 창을 적용하여 유한한 시간과 공간 영역상에서 일어나는 다중구조적, 비정체적 과정을 분석하는데 유리하게 하였다.

따라서 Wavelet Transform은 유연성 있는 창의 적용을 통해 지역성(locality)에 대한 분석을 용이하게 하는 방법으로 최근에 개발되어 영상처리에 주로 사용된다.

1. 시간 혹은 공간축상에서 국지 분석이 가능하도록 파엽은 주어진 시점의 일정 값에서 벗어나면 그 크기가 급속하게 감소하여야 한다.

2. 파엽의 전체 시간 혹은 공간축상의 적분값은 모파엽(mother wavelet)인 경우 0이 되어야 한다. 이 경우 평균값이 0이 되어야하며 2차 이상의 모멘트의 합도 0이 되어야 한다.

위의 조건을 만족하는 함수의 형태는 파형의 일시적인 함수이다. 즉 시간적으로 지속성이 없으며 공간적으로는 국지적인 성격을 가지고 있으므로 파엽분석을 통해 주어진 시계열의 시간변화에 따른 주파수별 파엽분포의 특성을 알 수 있다.

파엽 변환은 사용하는 파엽의 성격이나 적용대상에 따라 다양하게 사용할 수 있다. 여러 가지 파엽변환법 중 Morlet(1983)이 개발한 연속 파엽은 시계열의 시간에 따른 주파수 특성 연구에 유용하며 기상학 분야에서 점차 그 이용도가 커지고 있다(Lau and Wang, 1995; Torrence and Compo, 1998).

Morlet 파엽은 식 아래와 같이 구성되어 있다.

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} (e^{-i\omega_0 t} - e^{-\omega_0^2/2}) e^{-t^2/2}$$

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{-i\omega_0 t} e^{-t^2/2}, \quad \omega_0 \geq 5$$

여기서 ω_0 의 값이 5보다 크거나 같을 때 두 번째 식으로 대체 가능하다. 이 파엽은 복소수 함수이며 시계열의 진폭과 위상에 대한 정보를 알 수 있다.

Ⅲ. 기온 주기분석

기상청에서 10년 단위로 발행하는 평년자료 분석에 의하면 1931~1960(30년)과 1961~1990(30년) 값을 비교(Table Ⅲ-1) 분석한 결과에 의하면 추풍령과 울릉도를 제외한 대부분 지역의 기온이 상승하였다(기상청). 이러한 기온상승 현상은 최근 논란이 되고 있는 지구온난화와도 관련이 있으며, 1980년도 이후에는 특히 이상고온이 자주 발생하고 있다(JMA, 1994). 우리 나라에서도 온난화 현상이 나타났으며(이, 강 1997), 이러한 기온상승현상은 주기변화에 영향을 줄 수도 있을 것으로 생각되나 본 연구에서는 전반적인 주기변화 분석에 중점을 두었다.

Table Ⅲ-1. Comparison of mean temperatures in the two periods
1931~1960 and 1961~1990

Station	1931~1960(℃)	1961~1990(℃)	AVE(℃)
Kangnung	12.1	12.5	0.4
Seoul	11.1	11.8	0.7
Inchen	11.1	11.4	0.3
Ullung-do	12.0	12.0	-
Chupungnyong	11.5	11.5	-
Pohang	13.0	13.4	0.4
Taegu	12.6	13.2	0.6
Chonju	12.4	12.9	0.5
Ulsan	13.8	13.5	0.7
Kwangju	12.8	13.2	0.5
Pusan	13.8	14.1	0.3
Mokpo	13.4	13.6	0.4
Yosu	13.7	13.9	0.2
Jeju	14.7	15.3	0.6

기온의 주기변화에 관련된 연구기록에 의하면 6년 주기가 강하게 나타나며, 준격년주기인 26개월 주기도 있음을 보였다(강, 노 1985). 고분광 스펙트럼 분석 결과 약 5~6년의 주기가 가장 우세하며, 다음으로 2~3년 주기가 우세하다(하 1998). 기온의 장주기 변화는 아열대 해수 순환과 관련이 있으며, 10년 이하의 주기는 엘리뇨 현상의 남방진동과 관련이 있다(M. Gill. et 1991).

이 논문에서 분석한 결과를 보면 기온의 지역별 상관분석에서 전지역의 상관계수가 0.98에서 1.00의 값이 분포하고 있으며 전체 상관계수 산술평균이 0.99로 거의 1.00과 같다(Table III-2 참조). 그러므로 기온은 전지역이 동질의 기온장을 형성하고 있다. 그 중에서도 상관계수가 1.00인 지역이 서로 뭉쳐서 나타나는데 크게 서울, 인천, 전주, 광주, 추풍령, 대구가 성격이 비슷하고 포항, 울산, 부산, 목포, 여수가 비슷한 것으로 나타났다. 그리고 제주는 값이 0.99로 거리가 가까운 목포와만 1.00을 보인다. 울릉도는 산술평균이 0.99로 나타났다.

기온자료 분석 전체를 보면 그림 III-1과 같이 모든 지역에서 상승하는 것을 직접 확인할 수 있다. 그리고 기온자료의 표준편차(그림 III-2)도 패턴은 거의 일치되게 나타난다. 그림 III-2에서 보면 평년편차에 의한 높고 낮음은 알 수 있고 고온의 해와 저온이었던 해를 구별 할 수 있다. 또한 변화가 주기적으로 이루어지고 있음은 알 수 있으나 이러한 주기가 어느 정도의 규칙성과 기간과 강도를 가지고 반복되는 지는 알 수 없다. 따라서 정확한 주기분석을 위하여 FFT 분석을 실시하였다.

Table III-2. Correlation of temperature

	강릉	서울	인천	울릉도	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수	제주	평균	
강릉		0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	
서울			1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	
인천				0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	
울릉도					0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	
추풍령						0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	
포항							1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	
대구								1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	
전주									1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	
울산										1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	
광주											1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	
부산												0.99	1.00	0.99	1.00	
목포													1.00	0.99	0.99	
여수														1.00	1.00	
제주															0.99	
평균																0.99

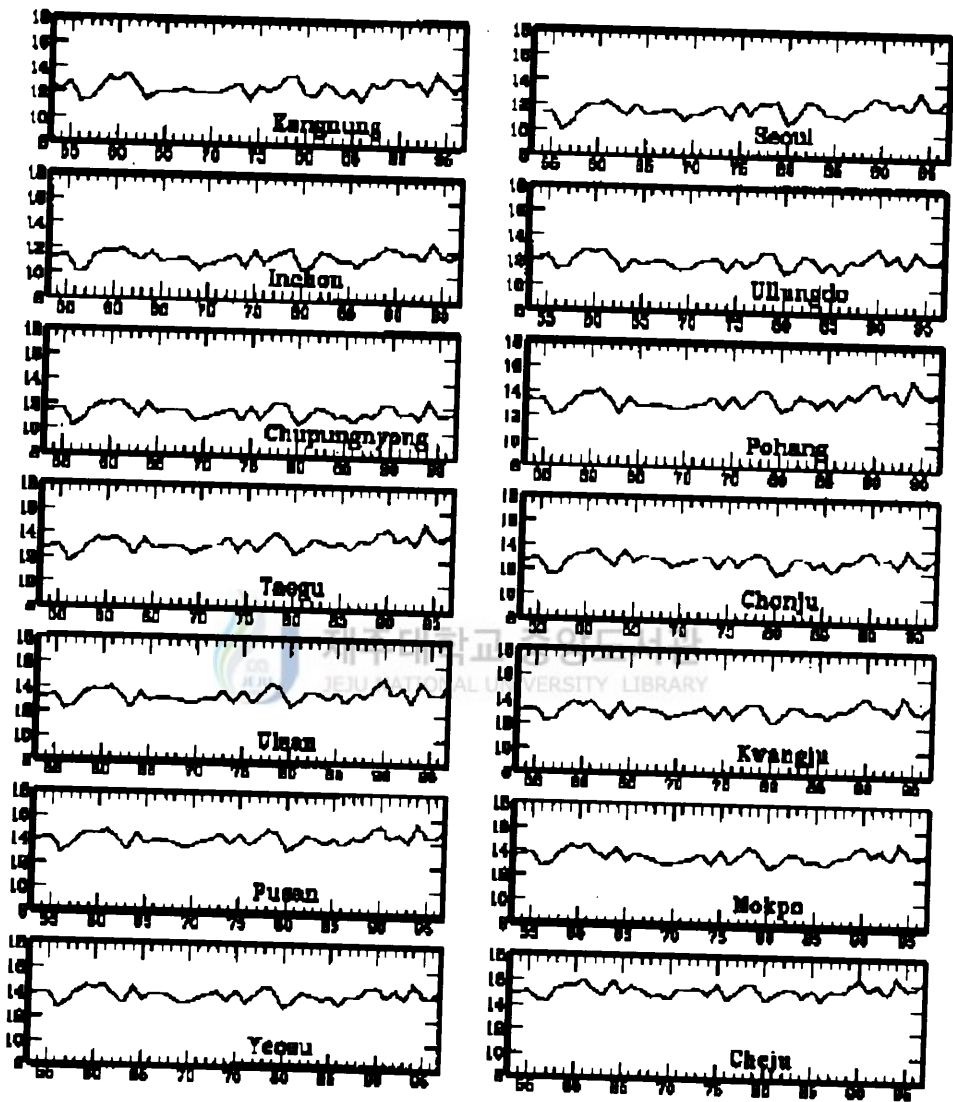


Fig III-1 Time series of temperature

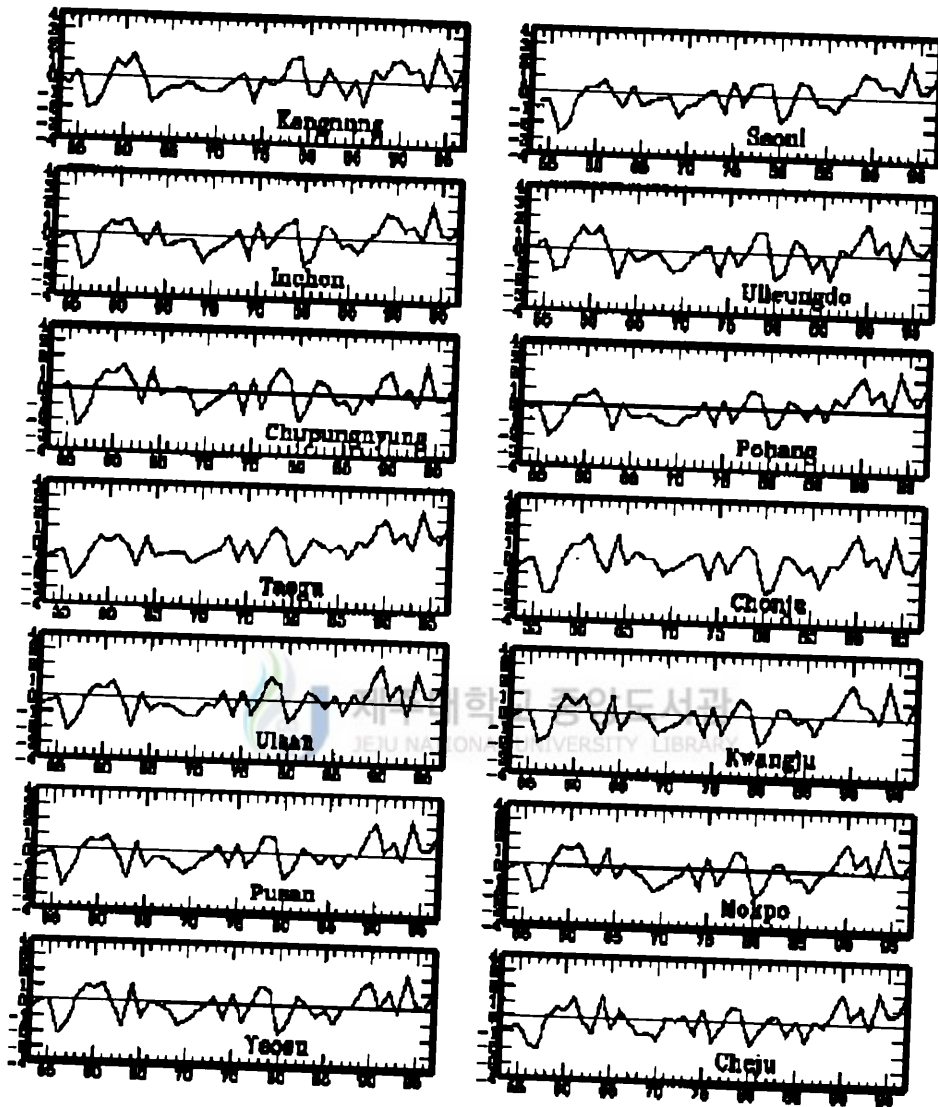


Fig III-2 Time series of annual temperature deviation

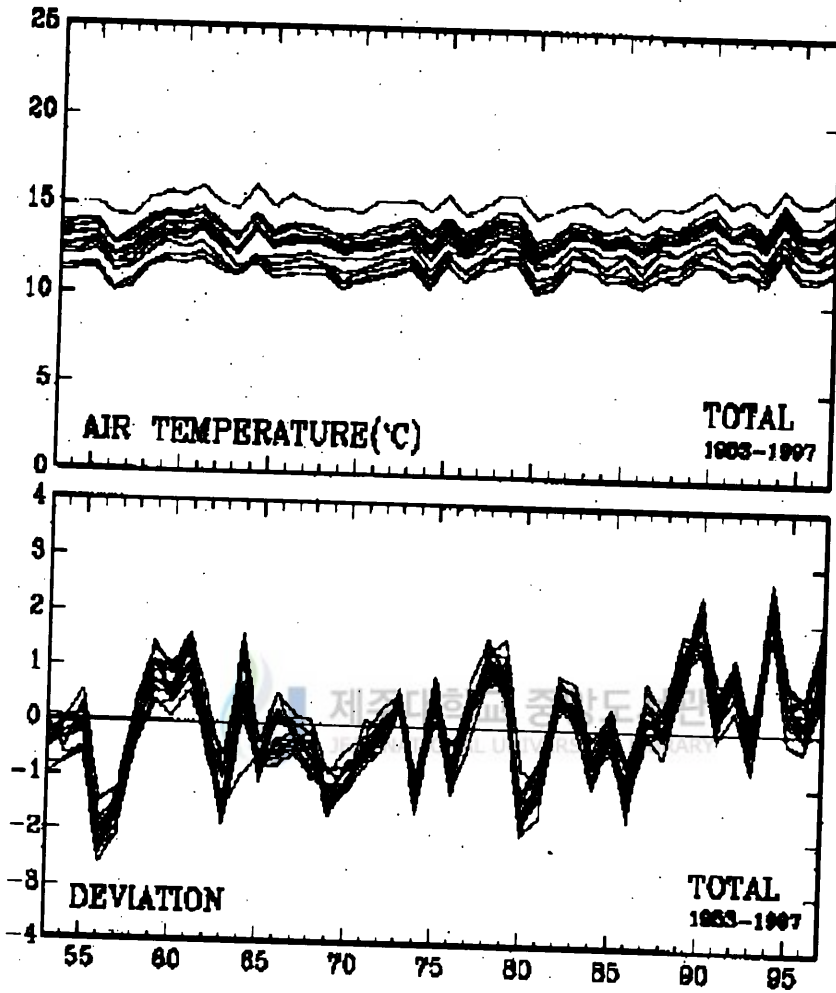


Fig III-3 Time series of temperature(upper panel) and annual temperature deviation(lower panel)

기온의 주기 변화를 좀더 구체적으로 보기위하여 FFT 분석을 하였으며, 그 결과는그림 Ⅲ-4, Ⅲ-5와 같다. 지역별 분석 결과에 의하면 12개월 이하를 제거하지 않은 경우 1년 이하의 주기(12.0, 6.02, 4, 2.99개월)가 모든 지역에서 압도적으로 우세하며, 반대로 10년 이상의 장주기들은 진폭이 작고 지역변동이 심하다. 가장 우세한 11.91개월 주기의 진폭은 지역적으로는 내륙지방일수록 진폭이 크며 해안 및 도서지방일수록 그 진폭이 작다. 특히 제주의 진폭이 4.25도로 가장 낮았다.

이것은 해안지방이 해류의 영향을 받기 때문으로 보인다. 장주기를 보기 위해 12개월 이하를 제거한 그림(Ⅲ-5, Ⅲ-6)에서는 모든 지역이 73.14개월과 28.44, 23.27개월 주기가 우세하고 변동이 없으나 38.38(3.2년)개월과 170.67(14.2년)개월 주기는 지역적으로 변동한다. 특히 14.2년 주기의 변동이 두러지게 나타났다.

기온의 전체그림(Ⅲ-7)에서 보면 모든 지역이 같은 패턴이고 30개월 이하의 주기에서는 거의 변동이 없고, 30-70개월 사이의 주기는 소폭으로 변동하며, 80개월 이상의 장주기는 지역적으로 크게 변동하면서 최고진폭에 도달하고 있다. 특히 70-80개월 사이의 주기(73.14개월)는 거의 변동이 없다. 이 주기는 전지역에 높은 진폭으로 고르게 나타난다. 170.67개월(14.2년)주기가 최고진폭을 보여서 변동이 심한 것을 제외한다면, 73.14(6.1년)개월이 가장 우세하고, 28.44(2.37년), 23.27(1.94년), 39.38(3.28년)개월 주기 순으로 우세하게 나타나고 있다. 그러나 73.14개월 주기는 진폭변화의 뚜렷한 경향성은 없으며, 결과적으로 장주기 10년 규모의 14.2년 주기의 변동이 강하게 나타났다.

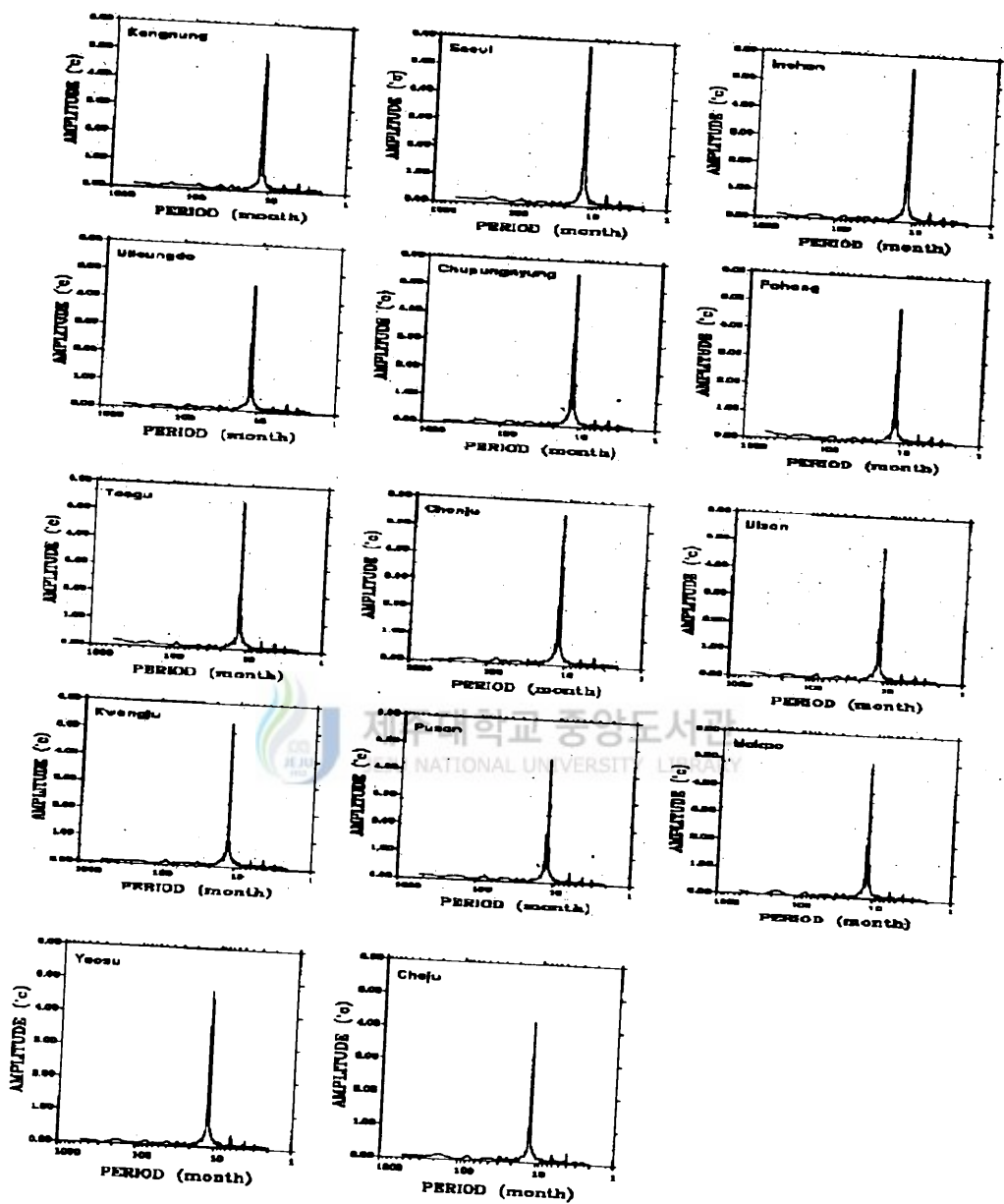


Fig III-4 Period Power Spectrums of Temperature

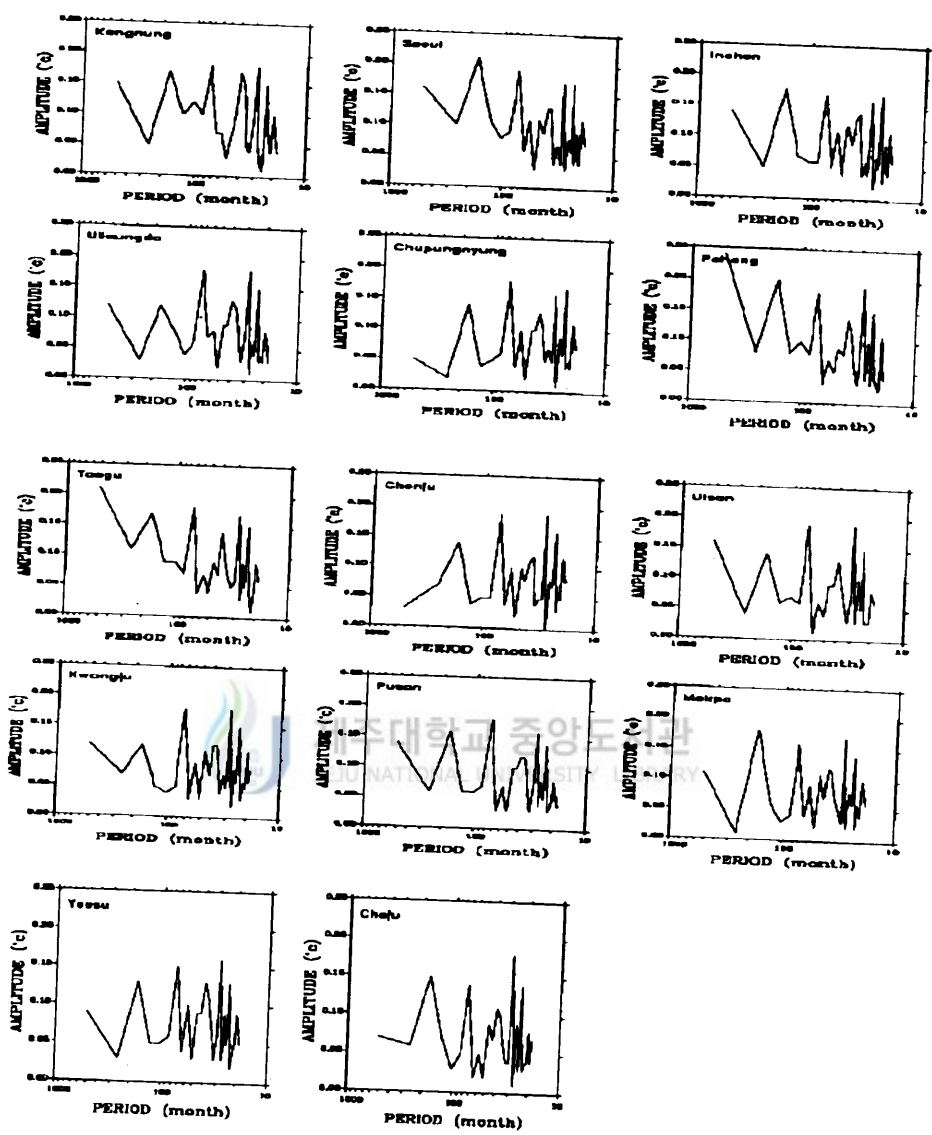


Fig III-5 Period power spectrums of temperature
 (After removing periods less then one year)

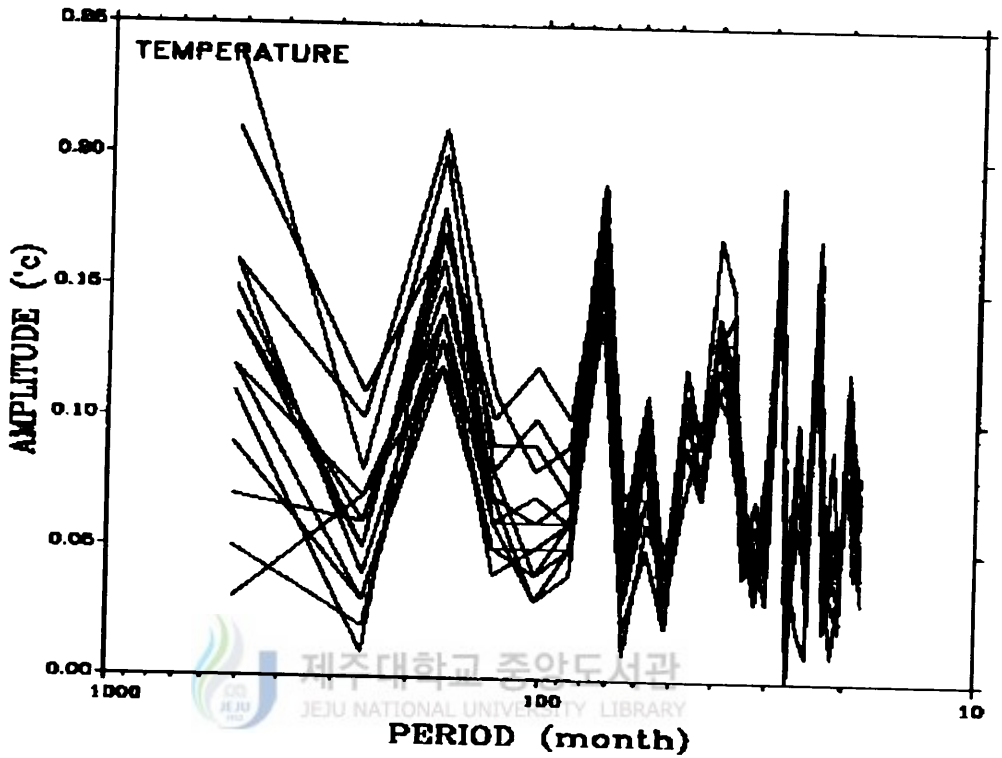


Fig III-6 Comparison of period power spectrums of temperature
 (After removing periods less than one year)

Wavelet 분석결과는 Fig III-7과 같다. 섬지방인 울릉도의 경우 서울보다 3년 주기가 전기간에 걸쳐 강하게 나타났고 6년주기도 강한 편이다. 제주는 분석기간 3년과 6년주기 모두 비슷한 강도를 보이고 있어 육지의 내륙지방과 대조적인 차이를 보이고 있다. 남부지방은 내륙지방인 대구는 서울과 비슷한 경향을 보이고 있으나, 해안지방인 여수와 부산 그리고 울산은 분석기간 전체에서 걸쳐 3년과 6년주기가 내륙지방보다 균일하고 강하게 나타나고 있어 대조적인 현상을 보이고 있다.

강릉, 목포, 포항 등은 해안에 위치하여 있어 여수, 부산, 울산보다 시그널이 약하기는 하지만 내륙지방보다는 강하게 나타나 해안지방과 유사한 경향을 보이고 있다

10년 주기의 경우 약하기는 하나 전국에서 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나 대구와 광주에서 매우 약한 시그널을 보여 남부내륙지방에서 약한 특성을 보여주고 있다.

분석기간동안 주기변동이 과거와 특별히 달라진 것은 볼 수 없다. 진폭의 증가 또는 감소가 폭한과 무더위를 유발 이상기상의 발생과 연관이 있을 것으로 보이나, 이상기상에 대하여는 연구범위에서 제외하였다. 이 분야에 관하여 하주영(1998)은 1908~1996년 동안의 반순일 자료에서 1961~1990년 기간의 평균값을 이용하여 계절진동을 제거한 편차분석 결과 1980년 이후 이상기온의 발생은 이상저온의 감소와 이상고온의 발생 증가가 뚜렷하여 이상기온 발생에 온난화가 큰 영향을 미치고 있음은 물론 기온에의 주요 주기들과 상관이 있음을 보여 주었다.

모델의 특성상 극값의 출현은 진폭증가의 요인으로 작용 할 가능성이 있으며, 이러한 현상이 기후변화의 한 요소로 작용했을 가능성도 고려

하지 않을 수 없다.

그림들에서 보는바와 같이 1년과 3년 6년 전후에서 진폭의 강약이 반복되는 모습을 볼 수 있다. 3년 내외의 주기는 지역적으로 다소 차이가 있기는 하지만 전반적으로 1960년에서 1970년 사이에는 약하다가 1970년에서 1980년 사이에 강하게 나타나고 있다. 6년 정도의 주기는 내륙지방에서는 1960년까지와 1970년 이후에 강하게 나타나고 있으나, 섬지방과 남해안지방에서는 거의 전기간에 걸쳐 나타나고 있어 좋은 대조를 보이고 있다. 또한 6년 주기는 1970년 이후 전국에서 진폭이 증가하고 있음을 알 수 있다.

이상기상의 발생이 이러한 주기변화와 진폭의 변동에 의해서만 결정되는 것이 아니고 대기의 복합적인 상호작용에 의해서 발생함으로 개별적인 요소의 기여정도를 명확히 구별할 수 없는 실정이다. 따라서 주기의 변화와 진폭의 변동이 이상기상의 발생원인이라는 근거를 제시하는 연구결과가 아직까지 부족한 실정이다. 파엽분석에서도 결과 5~6년 주기가 우세하였고, 그 다음으로 2~3년 주기가 우세함을 알 수 있었다.

분석결과를 종합하여 보면 기온은 대략 5~6년의 주기가 가장 우세하였고 그 다음이 3년 주기이다.

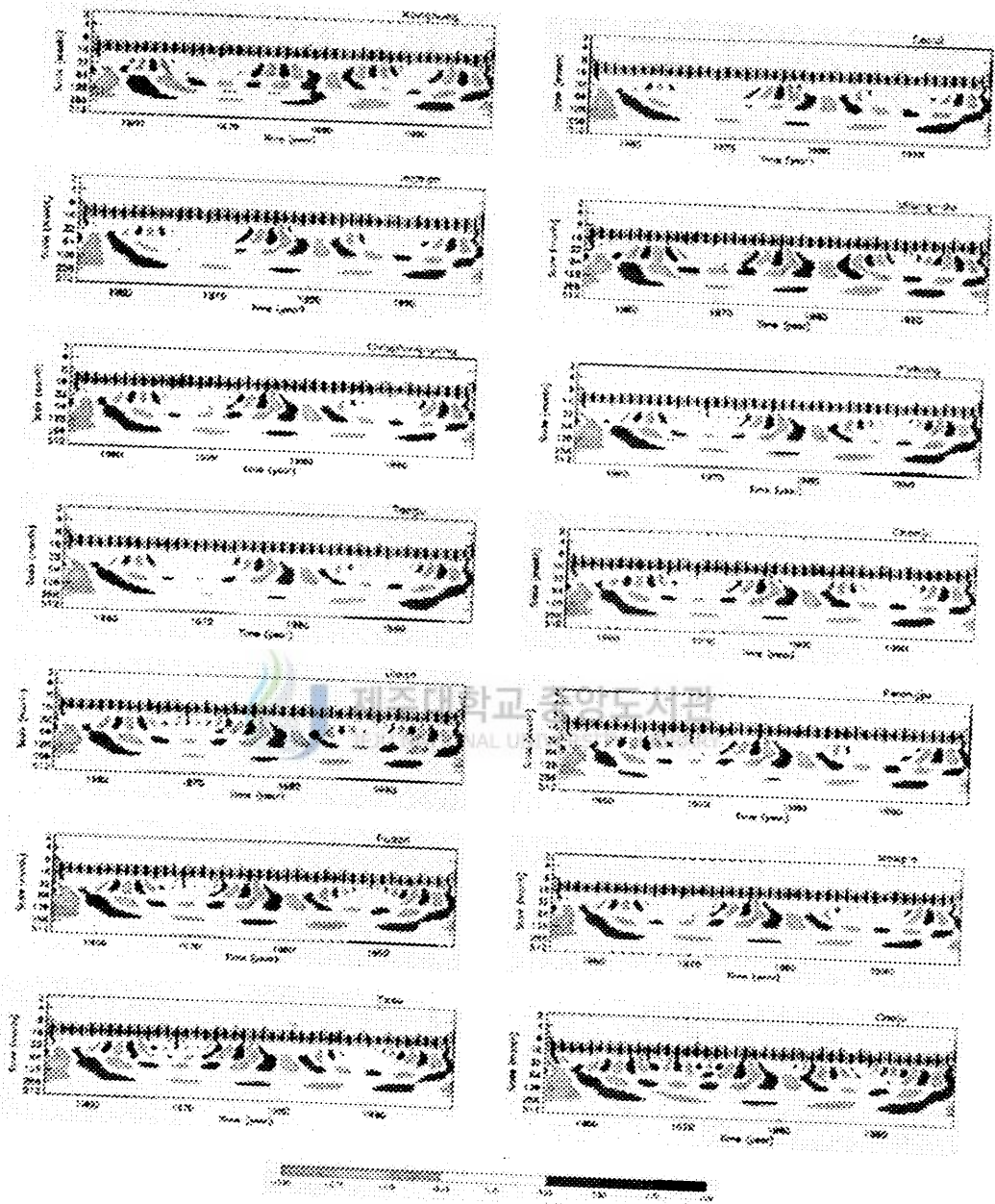


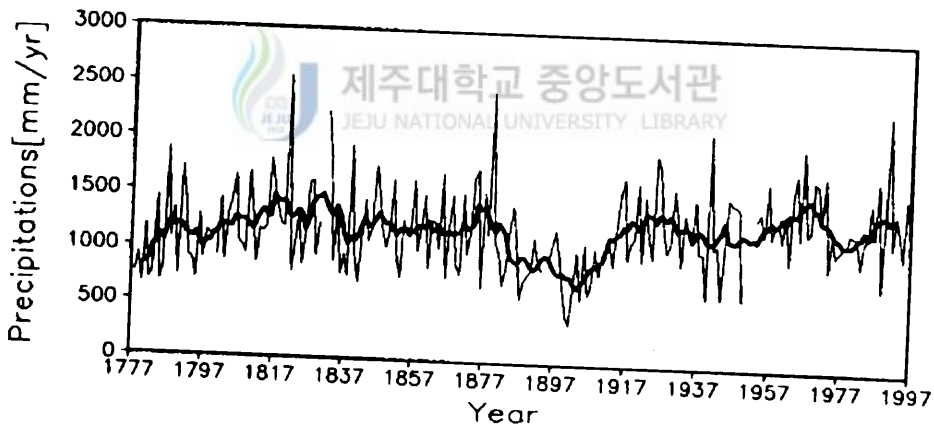
Fig III-7 The real part of Morlet wavelet analysis of temperature

IV 강수량 주기분석

우리나라 전국의 강수량 분석을 위해 기상청에서 매10년 단위로 발행하는 평년자료 분석에 의하면 1931~1960(30년)과 1961~1990(30년)간의 강수량은 기온에서와 같이 전반적으로 증가하였으나 울릉도에서는 257mm가 감소하였고 제주, 목포, 추풍령은 거의 변화가 없었다.

강수량 파열 변환에 의한 주기변화 연구결과 서울지방의 경우 (Fig IV-1 참조) 같이 120년 정도의 장주기변화를 볼 수 있으며(하 1998, 정 1998), 1900년대 초에는 건조기를 보였음을 밝혔다.

단주기 변화는 2년, 4년, 16년 등의 순서로 추출된 변동들이 1900이 후 약화되어 진폭이 줄어들거나 없어지는 경향을 보인다(하 1998).



IV-1 Time variation of annual precipitation amount in Seoul(1777- 1997) (정현숙)

강수량의 지역별 상관관계 분석결과는 Table IV-1과 같이 전지역이 0.26에서 1.00사이에 분포하며, 전체 상관계수 산술평균이 0.67로 기온과 해수면온도와 비교해 볼 때 가장 낮은 상관성을 보인다. 또한 산포도가 크게 나타났다.

산술평균 값이 대체로 고위도일수록 낮고 저위도일수록 높은 편이며, 전지역이 해안지방보다는 내륙지방이 높은 값을 보여주고 있다. 예상외로 제주, 울릉도, 강릉은 위도에 관계없이 큰 폭으로 낮으며 울릉도는 값이 최소를 보인다. 큰 값부터 지역을 나열하면 대구(0.75), 추풍령(0.74), 전주(0.73), 광주(0.73), 여수(0.72), 울산(0.72), 부산(0.71), 포항(0.71), 목포(0.69) 순이다. 따라서 강수량의 지역별 상관성은 해안지방보다는 내륙지방의 더 크게 나타나고 있으며, 인근지역간의 상관계수가 큰 것으로 보아 국지성과 지형의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

분석결과 강수량의 변화가 해양의 영향을 받고 있다는 증거를 찾을 수는 없었으나, 울릉도의 경우로 보아 해양이 강수량의 증감에 어느 정도 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 해양대기 상호작용과 강수량의 관계를 분석하기 위해서는 근해보다는 원해의 자료를 심층분석 할 필요가 있다고 생각된다.

Table IV-1 Correlation of precipitation

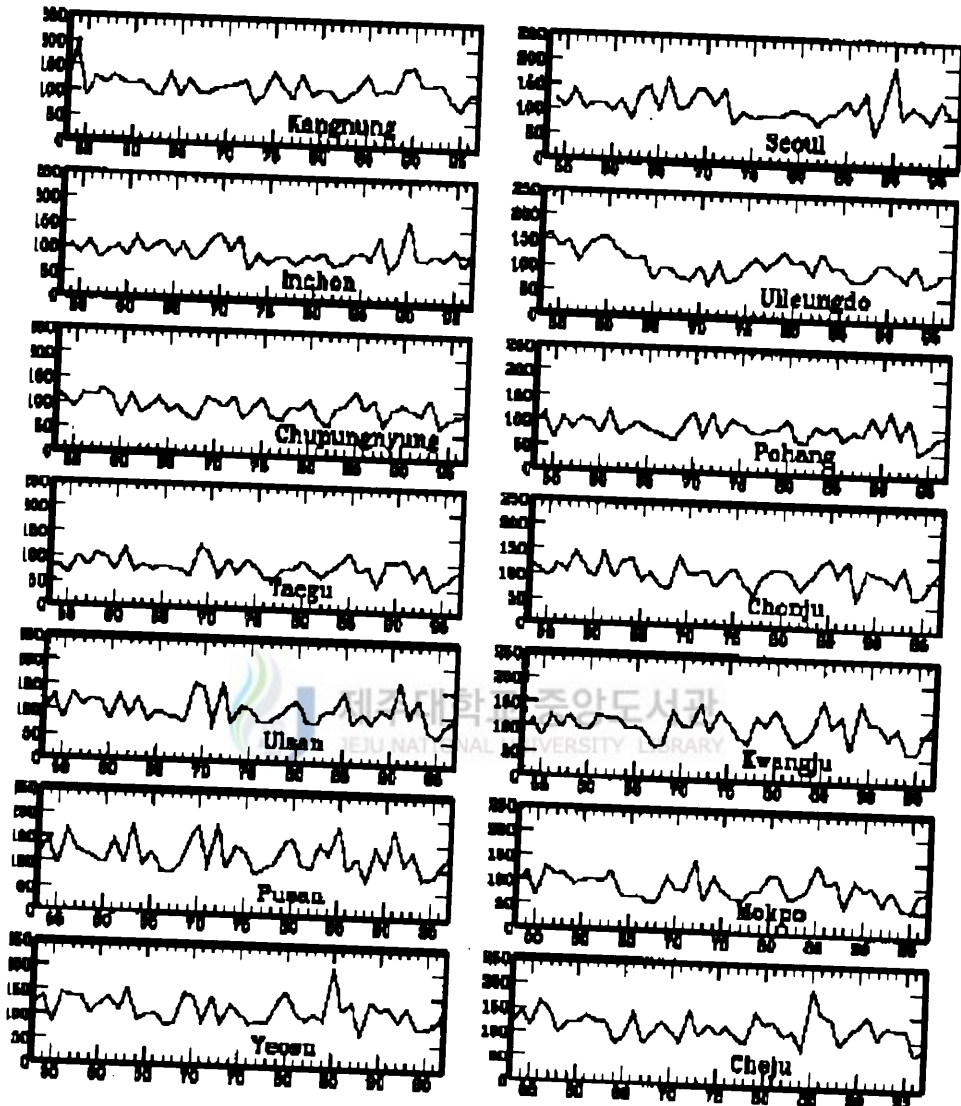
	강릉	서울	인천	울릉도	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수	제주	평균
강릉		0.68	0.68	0.45	0.68	0.69	0.65	0.63	0.64	0.56	0.56	0.50	0.54	0.47	0.59
서울	0.68		0.95	0.33	0.81	0.61	0.74	0.78	0.59	0.70	0.61	0.60	0.63	0.51	0.66
인천	0.68	0.95		0.35	0.78	0.60	0.73	0.79	0.58	0.69	0.61	0.59	0.63	0.53	0.65
울릉도	0.45	0.33	0.35		0.36	0.45	0.36	0.35	0.42	0.31	0.37	0.35	0.31	0.26	0.36
추풍령	0.68	0.81	0.78	0.36		0.80	0.89	0.93	0.77	0.83	0.74	0.73	0.75	0.58	0.74
포항	0.69	0.61	0.60	0.45	0.80		0.87	0.75	0.91	0.73	0.83	0.70	0.73	0.59	0.71
대구	0.65	0.74	0.73	0.36	0.89	0.87		0.87	0.84	0.84	0.81	0.77	0.81	0.62	0.75
전주	0.63	0.78	0.79	0.35	0.93	0.75	0.87		0.73	0.85	0.72	0.73	0.75	0.59	0.73
울산	0.64	0.59	0.58	0.42	0.77	0.91	0.84	0.73		0.77	0.90	0.78	0.82	0.66	0.72
광주	0.56	0.70	0.69	0.31	0.83	0.73	0.84	0.85	0.77		0.79	0.89	0.85	0.65	0.73
부산	0.56	0.61	0.61	0.37	0.74	0.83	0.81	0.72	0.90	0.79		0.81	0.88	0.64	0.71
목포	0.50	0.60	0.59	0.35	0.73	0.70	0.77	0.73	0.78	0.89	0.81		0.87	0.70	0.69
여수	0.54	0.63	0.63	0.31	0.75	0.73	0.81	0.75	0.82	0.85	0.88	0.87		0.73	0.72
제주	0.47	0.51	0.53	0.26	0.58	0.59	0.62	0.59	0.66	0.65	0.64	0.70	0.73		0.58

강수량의 관측자료 그래프 분석 결과를 보면 그림 IV-2와 같이 80년도 경에 대부분의 지역에서 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 서울과 인천 등 중부지역과 여수, 제주 등 남해안 일부 지역에 큰 폭으로 증가하였고 영남지방에서는 울산에서 증가 현상이 두드러지게 나타났다. 그러나 80년대 후반 이후 전지역에서 감소하는 경향을 보이다가 90년대 후반 강수량이 다시 증가하고 있어 장주기 변동의 10년 주기변화와 관련이 있는 것으로 보여진다.

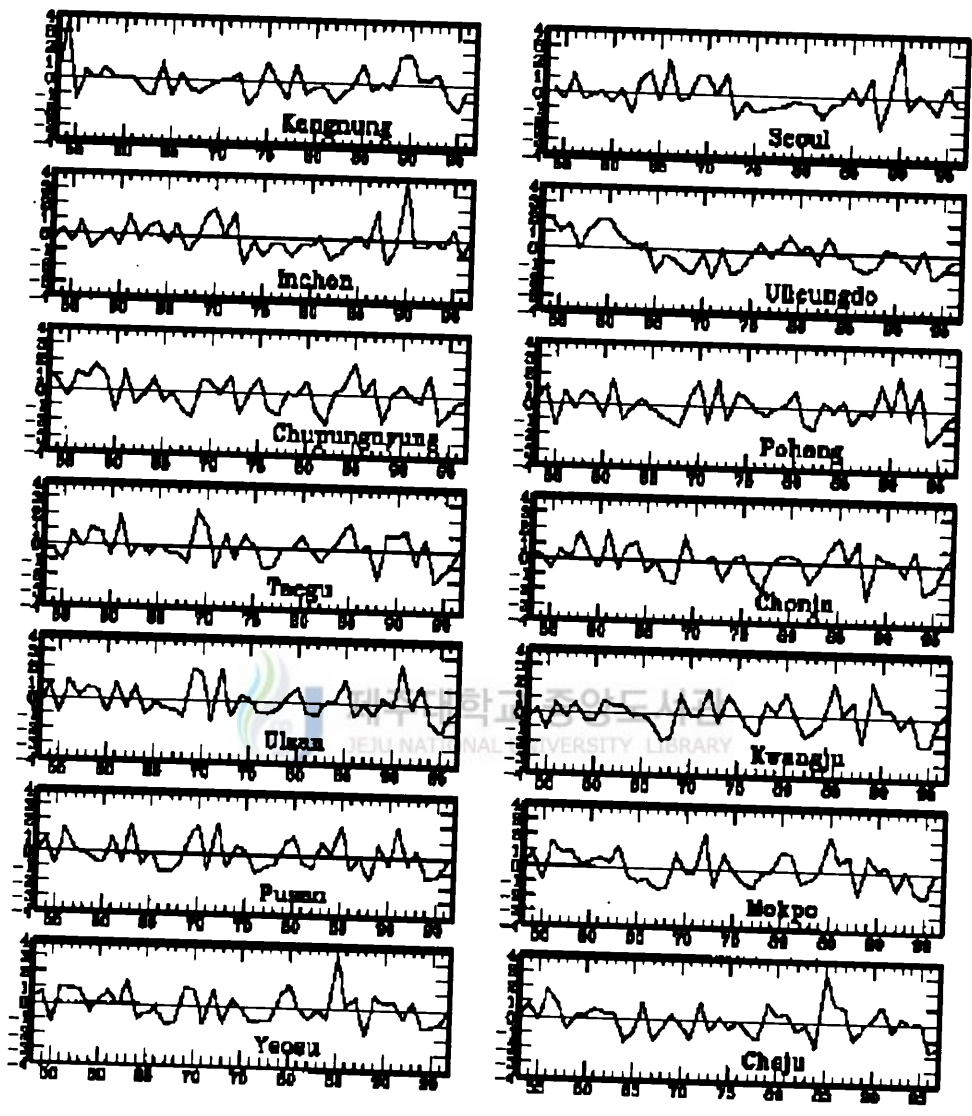
이러한 현상은 그림IV-3의 평년편차도에서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 이러한 현상이 가뭄이나 다우현상과 관련이 있기는 하지만 일부분의 분석으로 단정할 수는 없다.

그림 IV-4의 전체 그림에서 보면 기온의 전체 그림보다 산만하고 편차도 심하여 강수량이 기온보다 국지성이 강하고 지형적인 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있으나 대체적으로 인접지역간의 소그룹을 형성하고 있음을 알 수 있다.

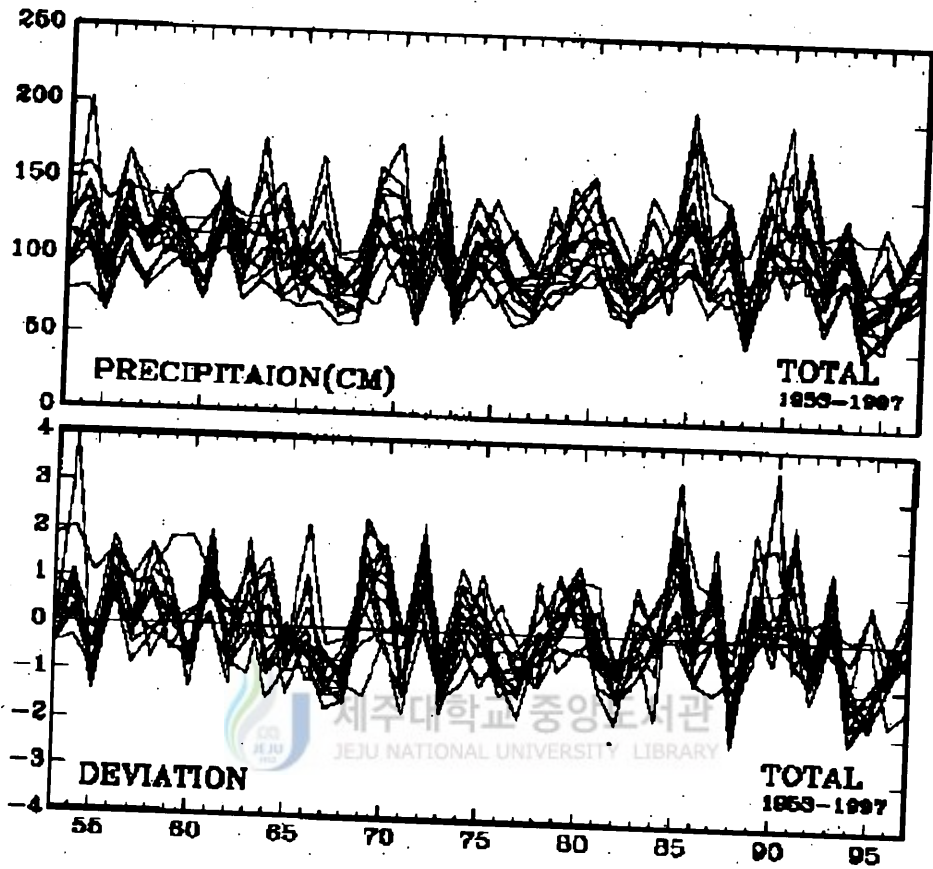
그림IV-2과 그림 IV-3에서 보면 연도별 증가와 감소를 어느 정도 추정 할 수 있으나 전체적인 주기를 분석하기는 어려운 실정이다. 따라서 정확한 주기분석을 위해서는 별도의 분석이 필요하다.



IV-2 Time series of precipitation



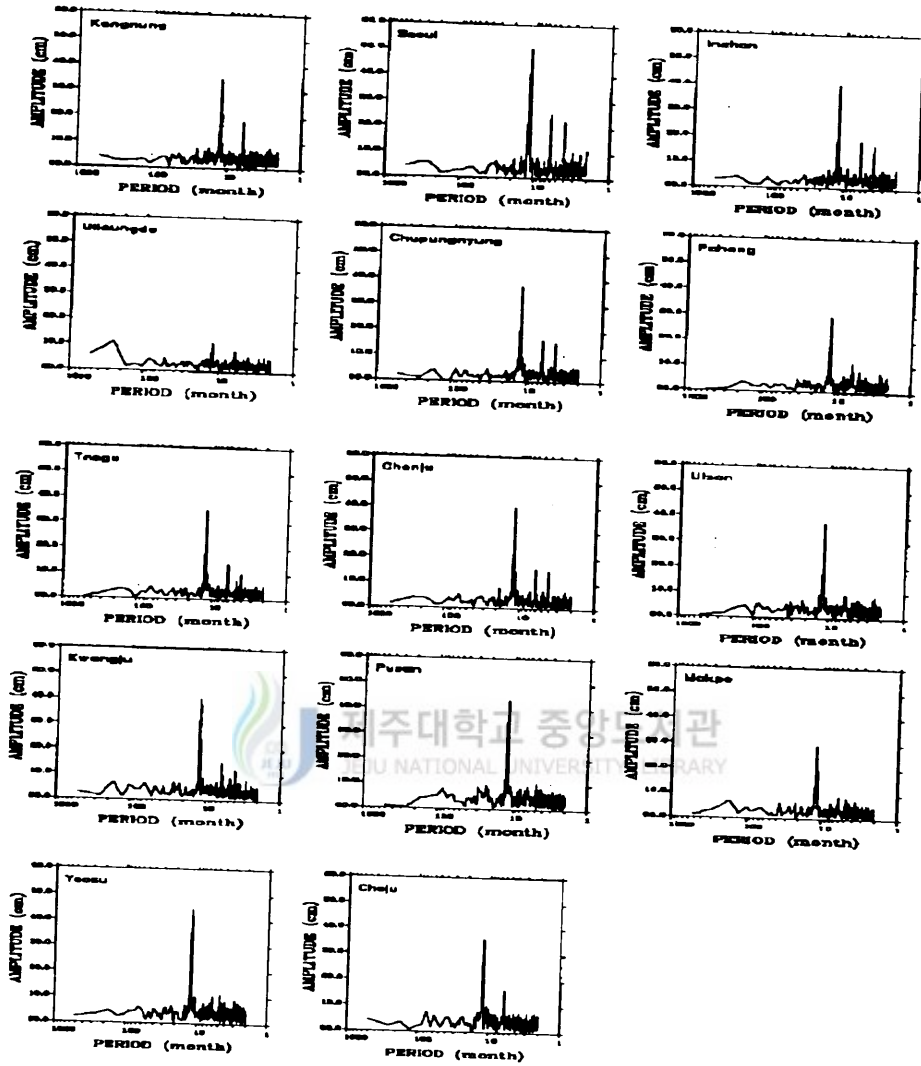
IV-3 Time series of annual deviation precipitation



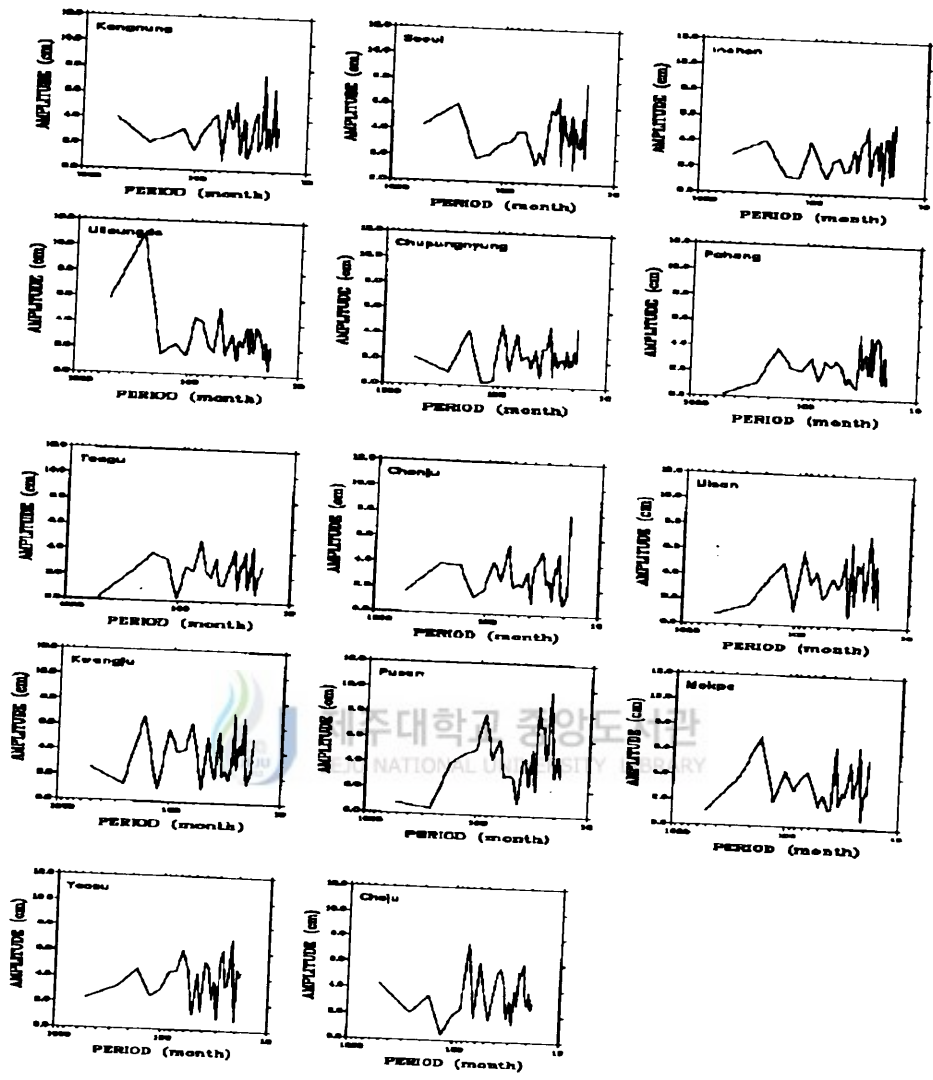
IV-4 Time series of precipitation (upper panel) and annual precipitation deviation(lower panel)

강수량의 주기분석 결과는 그림 IV-5, IV-6, IV-7과 같다. 강수량의 지역그림(IV-5, IV-6)에서 보면 우선 12개월을 제거하지 않은 그림(IV-5)은 지역마다 패턴이 다르고 1년 이하의 주기가 우세하며 기온보다는 1년 이하의 주기가 더욱 뚜렷이 나타난다. 이것은 강수현상의 여름철에 집중되어 나타나기 때문이다. 그리고 가장 진폭이 큰 12.0개월 주기는 지역에 따라 규칙성이 나타나지 않으나 해안지방일수록 6.02개월 주기 이하가 사라지거나 아주 약화된다. 울릉도는 특이한 형태로 1년 이하의 주기는 다른 지역에 비해 매우 약하고 대신에 256개월(21.33년) 주기가 가장 우세하다. 이것은 강수가 해양에 의한 것임을 말한다. 장주기를 보기 위해 18개월 이하를 제거한 그림(IV-6)에는 지역별 주기의 변동이 크고 대체로 2-3년 주기와 5-6년 주기가 우세하며, 170.67개월(14.2년)의 장주기가 목포와 광주에서 우세하고, 울릉도에서는 256개월(21.33년)이 아주 우세하다. 부산, 울산, 제주, 여수는 5-6년 주기가 우세하게 나타난다. 따라서 강수량은 주기가 지역별로 상당히 다양하게 나타나고 있다.

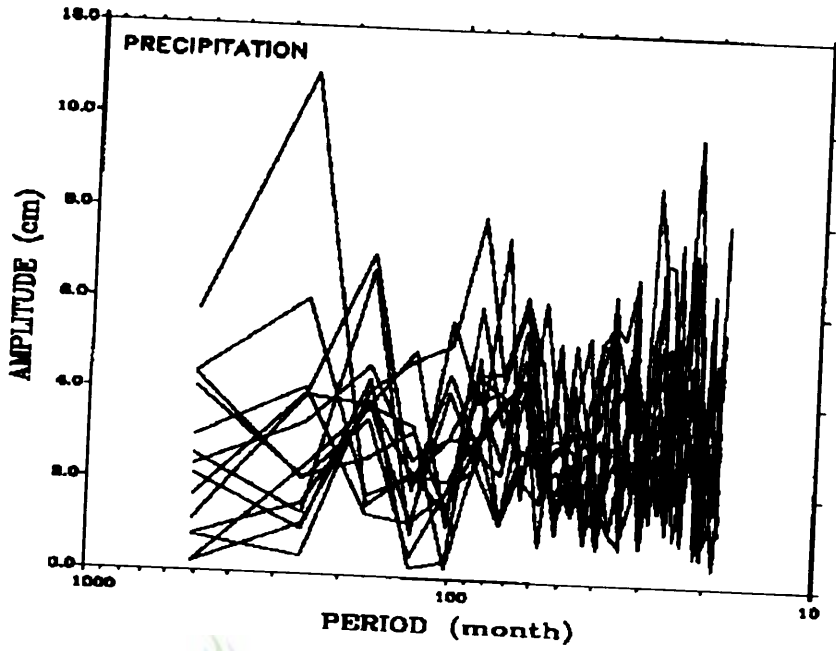
강수량의 전체그림(IV-7)에서 보면 전지역에 대한 12개월 이하를 제거한 그림으로 기온에 비해 상당히 불규칙한 패턴을 하고 있음을 보여준다. 따라서 강수량은 기온보다 국지성이 강하고 지형적인 영향을 더 많이 받는 것을 알 수 있다.



IV-5 Period power spectrums of precipitation



IV-6 The Power spectrums of precipitation (after removing periods less than one year)



IV-7 Comparison of period power spectrums of precipitation
(after remove periods less then one year)

Wavelet 분석결과는 FigIV-8과 같다. Wavelet분석에서도 그림IV-5
에서와 1년주기 변동이 우세하게 나타나고 있어 1년주기를 제거하였으며, FFT 분석 결과를 시열상으로 분석결과 섬지역인 울릉도의 경우는 서울 등 중부지방에서 약한 22년 주기가 강하게 나타나고 다른 양상을 있다. 울릉도에서 강한 22년 주기는 그 위상이 서울과는 반대이다. 인천에서는 서울과 거의 같은 양상의 변화를 보이고 있으며 서울에서 매우 약하던 8년(96개월)의 주기가 1960년대 초반에서 1970년대 중반까지 나타나고 있다.

대구에서는 2~3년 주기가 1974년과 1985년 사이에 강수신호가 거의 소멸되는 현상이 나타났는데 이는 서울과 인천에서와 동일한 주기에서 나타난 것이다. 1965년에 나타난 3년 주기는 점차 장주기로 옮겨가 1990년에는 6년 주기로 옮겨갔다. 이러한 양상은 동해안을 제외한 부산과 여수 등의 남부지방에서도 비슷하게 나타났다. 중·남부 지방에서도 1974년과 1985년 사이에는 2~3년 주기의 강수 신호가 약하게 나타났으며, 또한 2~3년과 5~6년 등 서로 다른 몇 개의 주기 사이의 상호작용을 확인 할 수 있었는데 이는 대규모의 대기, 해양 및 지표의 상호작용의 결과로 나타난 것으로 보인다. 특히 서울과 인천에서 나타나지 않은 것은 1965년부터 시작된 3년 주기가 1990년에 6년 주기로 옮겨간 시그널은 서울과 인천이 이 시그널의 가장자리에 위치해 있음을 의미한다.

강수량자료를 분석한 결과 기상청에서 가뭄해로 보고있는 1976년, 1977년, 1988년, 1994년에 음의 편차를 보여 가뭄해와 잘 일치하고 있다. 서울의 경우 1973년부터 1985년까지 11년동안 가뭄이 있었으며, 수원, 춘천, 인천 등 중부지방도 비슷한 가뭄현상이 나타났다. 제주도의

경우 이 기간동안 가뭄현상이 있기는 했으나 중부지방과 비교하여 볼 때 비교적 가뭄현상이 약하게 나타났고, 진동주기나 진폭에서 시그널이 약하게 보이고 있다.



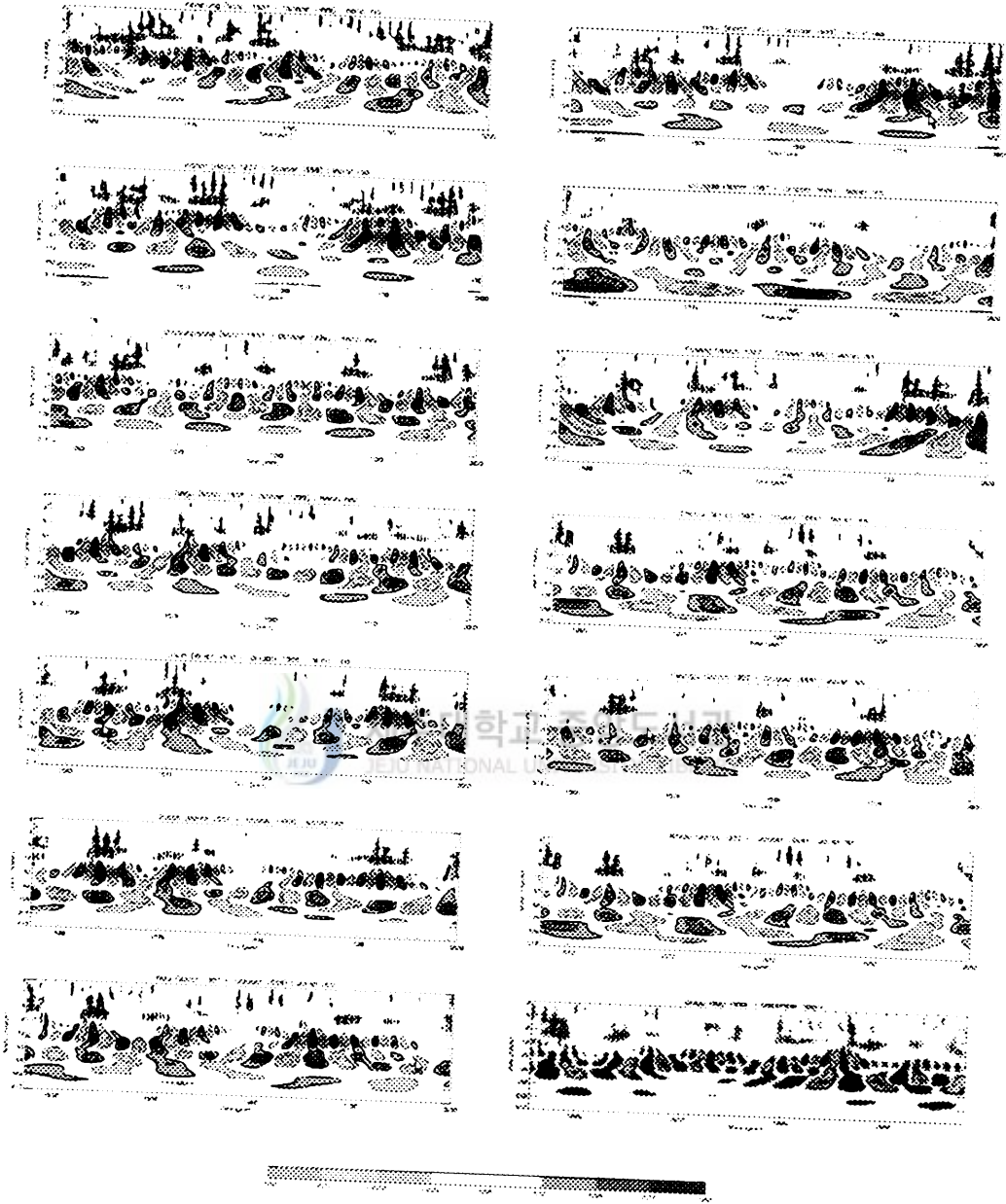


Fig IV-8 The real part of Morlet wavelet analysis of precipitation

V. 해수온도 주기분석

해수온도 주기변화연구에 대하여 한(1970)은 수온의 장주기 변화가 12 ± 5 년으로 변화의 범위가 크며, 3년과 4년 또는 2년 주기가 불규칙적으로 나타나는 것이 특징이라 하였고, 日高·錦木(1950)은 대마해협 의 영년변화를 7년으로 밝힌바 있으며, 우전(1961)은 7~10년, 11년, 15년 등의 여러 주기 현상이 이 근해에서 나타나고 있음이 지적되었다.

이상으로 미루어 볼 때 이 해역의 해수온도 주기변화는 어느 정도 규칙적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 강과 강(1987)은 해수온도 변화분석을 통하여 해수온도의 등온선은 연안에 인접한 해역에서는 해안선과 거의 평행하나 외해에서는 위도에 거의 평행함을 보였으며, 강과 공(1987)은 이상 수온의 변동은 시간적으로 정상적(stationary)이고, 공간적으로 균질적(homogeneous)이며, 이상수온 변동에 대한 다단계(Multi-steps) 마르코프 연쇄분석에 의하면 연안역 이상수온이 마르코프 연쇄성을 보유하는 “기억”은 3개월 정도 유지된다고 하였다. 또한 이상 해수면온도가 발생 할 경우 연안역의 수온 주기변화와의 관련이 있을 것으로 추정되며, 정량적인 분석이 필요하나 본 연구의 목적과는 차이가 있으므로 제외하였다. 따라서 해수면온도의 주기분석은 연안의 항로표지관리소 자료를 이용하는 것보다 격자점 자료를 이용하는 것이 좋은 것으로 생각된다. 이러한 결론의 근거로 강과 강(1987)은 해수면온도 변화분석을 통하여 해수면온도의 등온선은 연안에 인접한 해역에서는 해안선과 거의 평행하나 외해에서는 위도에 거의 평행함을 지적하였고, 기상청에서 발행한 한국기후표(기상청 1991)의 30년간의 평균

기온 분포도를 보면 해안선을 따라 높은 기온 분포를 보이 것과 일치하는 것으로 연안의 해수면온도는 육지의 기온변화와 밀접한 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 기온이나 강수량과 같이 어느 일정기간의 고온이나 저온이 장기간의 주기 변화에 영향을 줄 우려도 있으나 모델의 특성상 이를 정확히 구분하기는 어렵다.

해수면온도의 상관계수 분석 결과는 Table V-1과 같으며, 울릉도자료가 너무 짧아 울릉도의 관측지점과 가장 가까운 131E, 37N의 격자점 해수면온도 자료를 추가로 사용하였다. 전지역이 0.88에서 1.00사이에 분포하며 전체 상관계수 산술평균이 0.93으로 기온보다는 약간 작다. 이것은 해수면온도 변화가 육상기온의 영향 때문인지 자료의 결측기간이 많아서 인지 확실하지 않으나, 관측자료의 결측과 동해와 서해의 해양여건과 지리적인 요인이 큰 것으로 보인다.

지역별 산술평균값을 보면 대체로 고위도일수록 값이 크고 서해안일수록 값이 크다. 특히 울산의 상관계수 산술평균이 최소값을 나타내는데 이것은 연안의 용승현상 때문인 것으로 보인다.

Table V-1 Correlation of sea surface temperature

	주문진	소청도	울릉도	월미도	도각혈비	포항	울기	부산	여수	소흑산도	마라도	평균
주문진		0.95	0.94	0.95	0.95	0.95	0.90	0.94	0.95	0.92	0.93	0.94
소청도	0.95		0.97	0.95	0.98	0.94	0.93	0.95	0.94	0.96	0.96	0.95
울릉도	0.94	0.97		0.95	0.97	0.92	0.87	0.95	0.93	0.93	0.93	0.94
월미도	0.95	0.95	0.95		0.94	0.97	0.89	0.95	0.99	0.90	0.90	0.94
각혈비도	0.95	0.98	0.97	0.94		0.92	0.90	0.95	0.93	0.96	0.95	0.95
포항	0.95	0.94	0.92	0.97	0.92		0.89	0.95	0.97	0.90	0.90	0.93
울기	0.90	0.93	0.87	0.89	0.90	0.89		0.89	0.88	0.88	0.88	0.89
부산	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.89		0.95	0.93	0.92	0.94
여수	0.95	0.94	0.93	0.99	0.93	0.97	0.88	0.95		0.88	0.89	0.93
소흑산도	0.92	0.96	0.93	0.90	0.96	0.90	0.88	0.93	0.88		0.95	0.92
마라도	0.93	0.96	0.93	0.90	0.95	0.90	0.88	0.92	0.89	0.95		0.92

해수면온도 자료분석 결과 전체를 보면 항로표지관리소에서 관측한 해수면온도(Fig V-1, V-2)는 상승하는 것을 직접 확인할 수 있으나, 육지와 거리가 먼 격자점 해수면온도(Fig V-4)는 실제 주기에 따른 진폭의 증가는 찾아보기 힘들다. 그리고 항로표지관리소에서 관측한 해수면온도(이하 등대수온이고 함)의 표준편차 그래프에서도 패턴은 거의 일치하게 나타난다. 반면에 1953~1997년 격자점해수면온도자료 그래프를 보면 기온과 완전하게 일치하지 않고 있다. 즉 육지에 가까운 해안(등대수온)일수록 기온과 수온의 변화 패턴이 일치하며, 육지와 먼 해양(격자점 해수면온도)일수록 기온과 해수면온도의 차이가 생긴다.

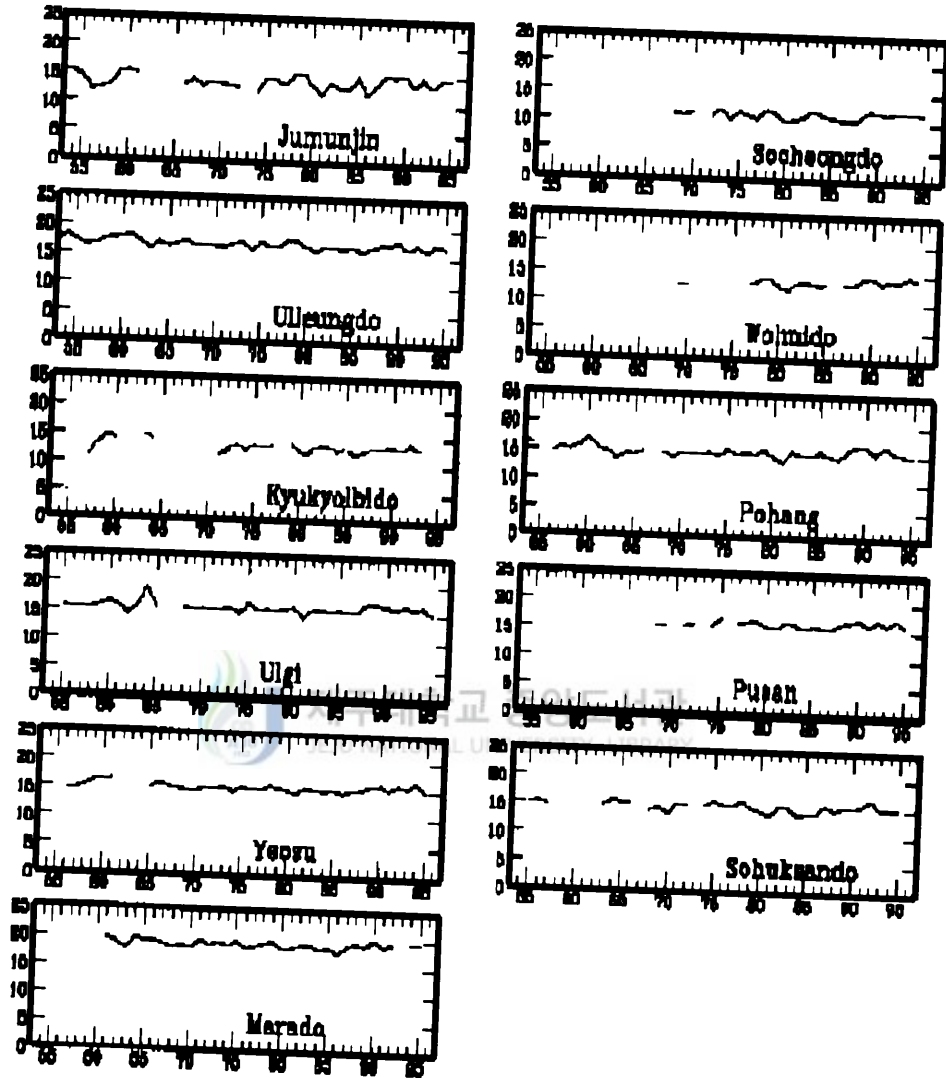


Fig V-1 Time series of sea surface temperature

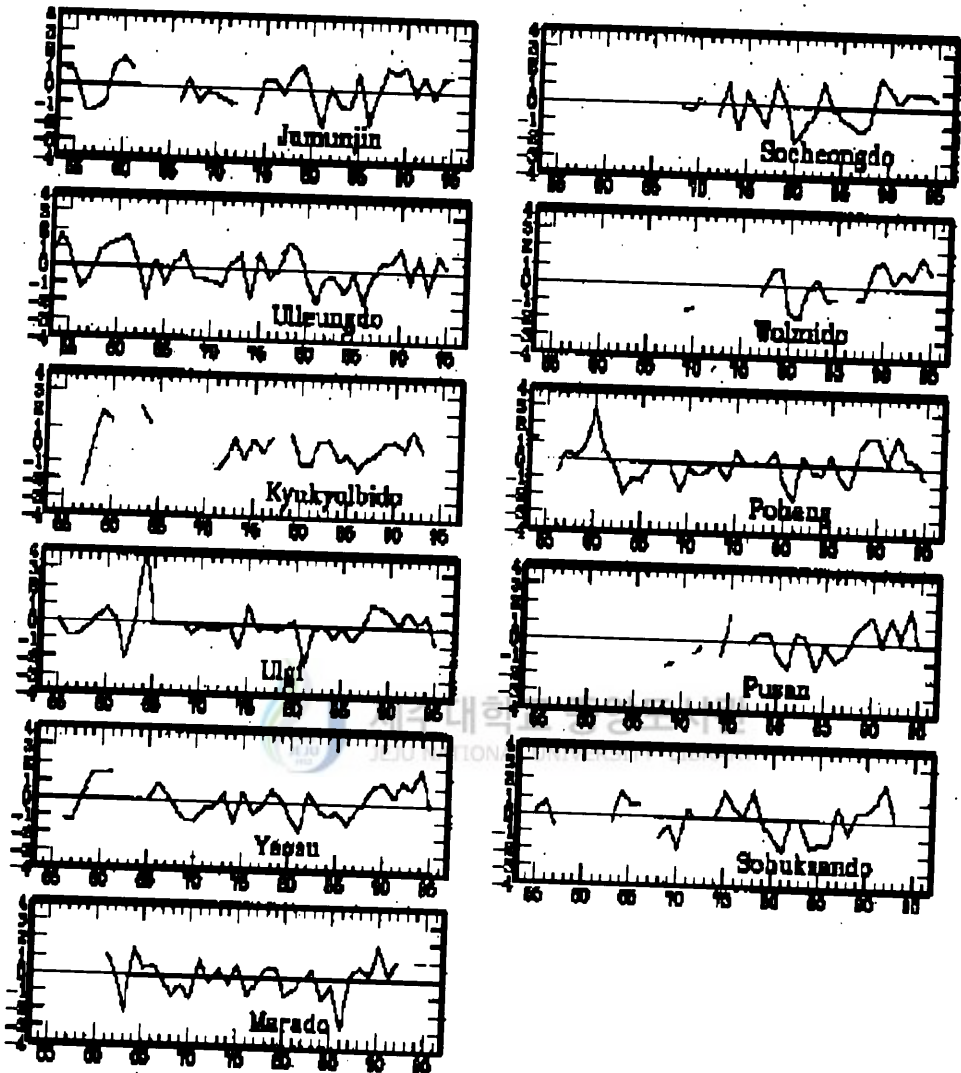


Fig V-2 Time series of annual deviation sea surface temperature

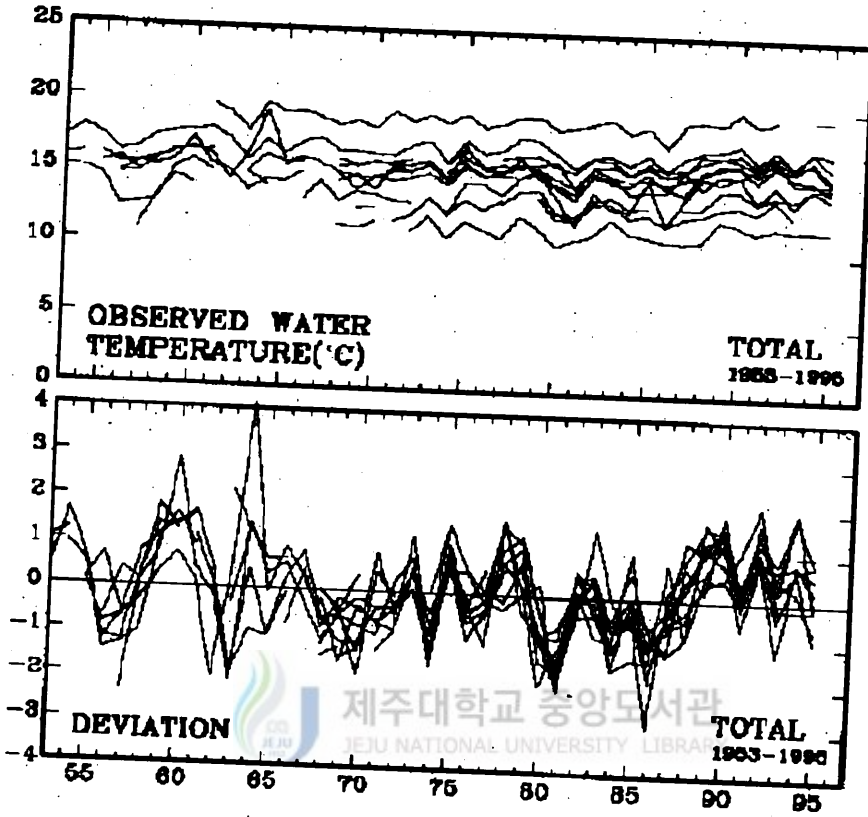


Fig V-3 Time series of sea surface temperature (upper panel) of annual deviation sea surface temperature(lower panel) (light house)

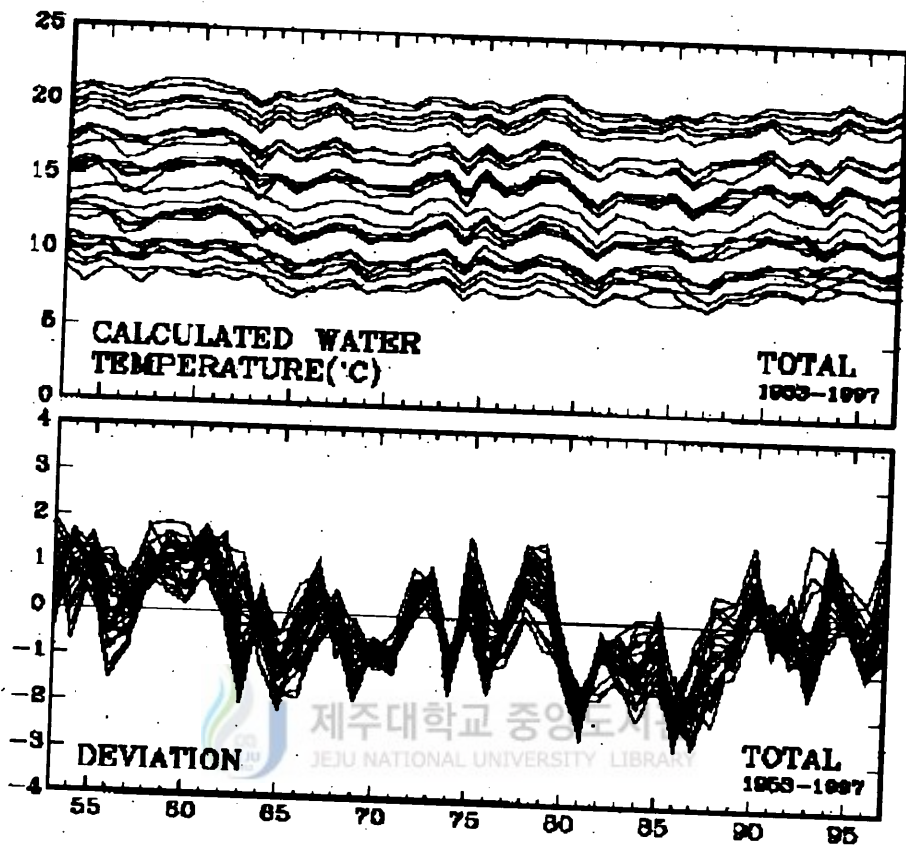
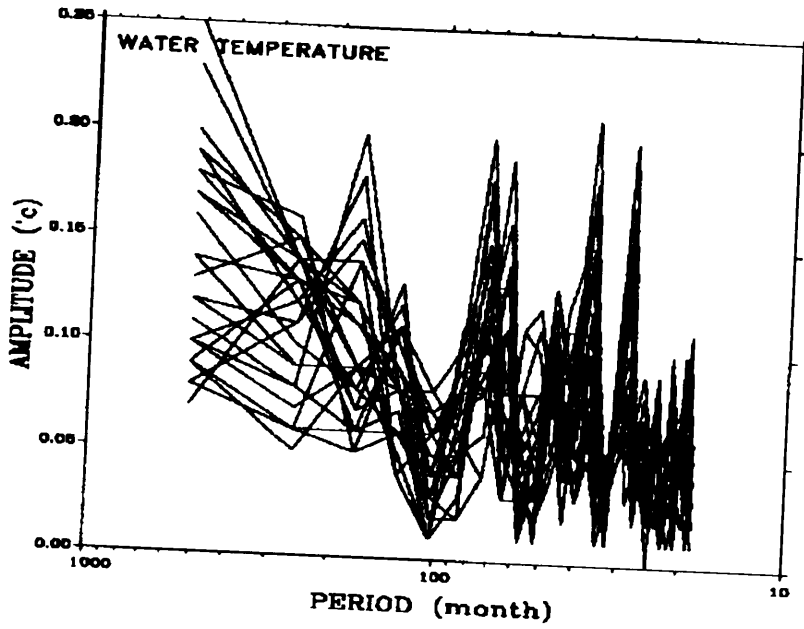



Fig V-4 Time series of sea surface temperature (upper panel) of annual deviation sea surface temperature(lower panel) (grade point)

해수면온도의 FFT분석 결과 기온과 거의 일치하는 30개월 이하의 주기에서는 거의 변동이 없고, 30~70개월 사이의 주기는 소폭으로 변동하며, 80개월 이상의 장주기는 지역적으로 크게 변동하면서 최고 진폭에 도달하고 있다.

특히 70~80개월 사이의 주기(73.14개월)는 거의 변동이 없다. 이 주기는 전지역에 높은 진폭으로 고르게 나타난다. 10년 이상의 장주기에서는 170.67개월(14.2년) 주기가 최고진폭을 보여서 변동이 심한 것을 제외한다면, 73.14(6.1년)개월 이 가장 우세하고 28.44(2.37년)개월, 23.27(1.94년)개월, 39.38(3.28년)개월 주기 순으로 우세하게 나타나고 있다. 그러나 73.14개월 주기는 진폭 변화의 뚜렷한 경향은 없으며, 결과적으로 장주기 10년 규모의 14.2년 주기의 변동이 중요하게 나타나고 있다. 격자점 해수면온도 전체그림(V-4)은 패턴이 기온과 거의 일치하고 있다. 특이한 점은 기온과 격자점 해수면온도를 겹쳤을 때 기온에서 강하게 나타나던 23.27개월(1.94년) 주기가 사라지고 36.57개월(3.04년) 이 기온보다 크게 증폭되어 가장 우세한 주기를 이룬다. 다음으로 28.44개월(2.37년), 73.14개월(6.1년), 170.67개월(14.2년) 순이다. 따라서 해수면온도가 장주기변동에서 기온보다 더욱 변동성이 크게 나타나고 있다.




 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig V-5 Comparison period power spectrums of sea surface temperature (after removing periods less than one year)

해수면온도의 Wavelet 분석결과는 Fig. V- 6~8과 같다. 기온분석 결과와 동일하게 모든 지점에서 1년 주기의 시그널이 가장 강하게 나타나고 있다. 이는 1년 미만의 시그널을 제외하였음에도 계절의 진동이 다소 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 따라서 1년 주기에 관하여는 논하지 않기로 하였다. 분석결과 서해해상의 경우 2~3년과 6~7년의 시그널이 비교적 강하게 나타나고 있으며, 10년 주기도 전반적으로 우세한 편이다. 격렬비열도 부근에서는 2~3년 주기가 1960년 전후와 1970년에서 1980년 사이에 강하게 나타나고 있다. 그 후 10년간은 진폭이 약해져 2~3년 주기는 거의 찾아 볼 수 없었으나, 1990년 이후에 다시 진폭이 강해지면서 우세한 주기를 보이고 있다.

동경 121°선상에서 대체적으로 2~3년의 시그널은 1970년에서 1980년 사이에 강하게 나타나고 있으며, 1980년 이후 약 10년간은 찾아 볼 수 없을 정도로 약화되었다가 1990년 이후에 다시 강해지기 시작하였다. 123°의 경우도 거의 비슷한 형태를 보이고 있으나, 125°의 경우는 2~3년 주기가 다소 강하게 나타내는 특징을 보여 우리나라 연안에 가까워지면서 3년 주기가 강화되고 있음을 보여 주고 있다.

동해해상의 전반적인 경향은 서해와 비교하여 볼 때 3년과 5~6년 전기간에 걸쳐서 강한 시그널을 보여주고 있어 서해상과는 대조를 이루고 있다. 10년과 22년의 장주기도 서해해상보다 강한 시그널을 보여만으로 이루어진 서해보다 해양의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

동해해상에서는 2~3년과 6~7년의 시그널이 분석 전기간 동안 강하게 나타나고 있으며, 동해남부해상에서는 20년 주기는 거의 찾아볼

수 없을 정도로 약화되어 있으며, 북쪽으로 갈수록 장주기가 강화되어 남북간의 차이를 보이고 있다.

해수온도의 주기는 동해와 서해 모두 2~3년과 6~7년 주기가 우세한 것은 비슷한 경향을 보이고 있으나 10년과 22년의 장주기에서 동해가 황해보다 월등히 강하게 나타나고 있다. 이는 동해가 황해와 비교할 때 바다의 크기가 크며 북쪽으로는 베링해와 남쪽으로는 북태평양과 연결되어 있기 때문이 아닌가 생각된다. 그러나 이에 대한 정확한 원인분석을 위해서는 해류의 이동과 장기간의 실측자료의 정밀분석을 통해 밝혀 질 수 있을 것이다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

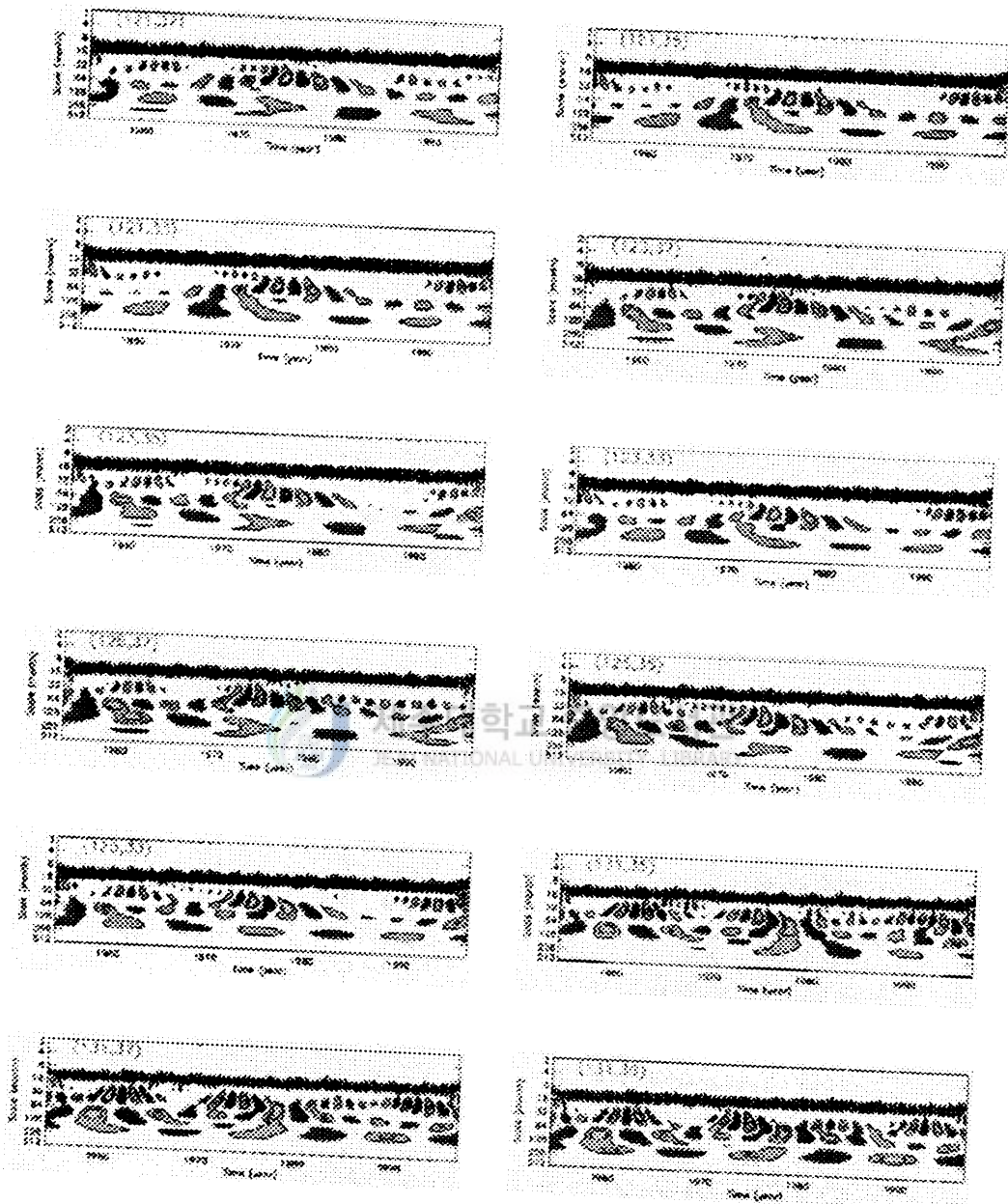


Fig V-6 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature

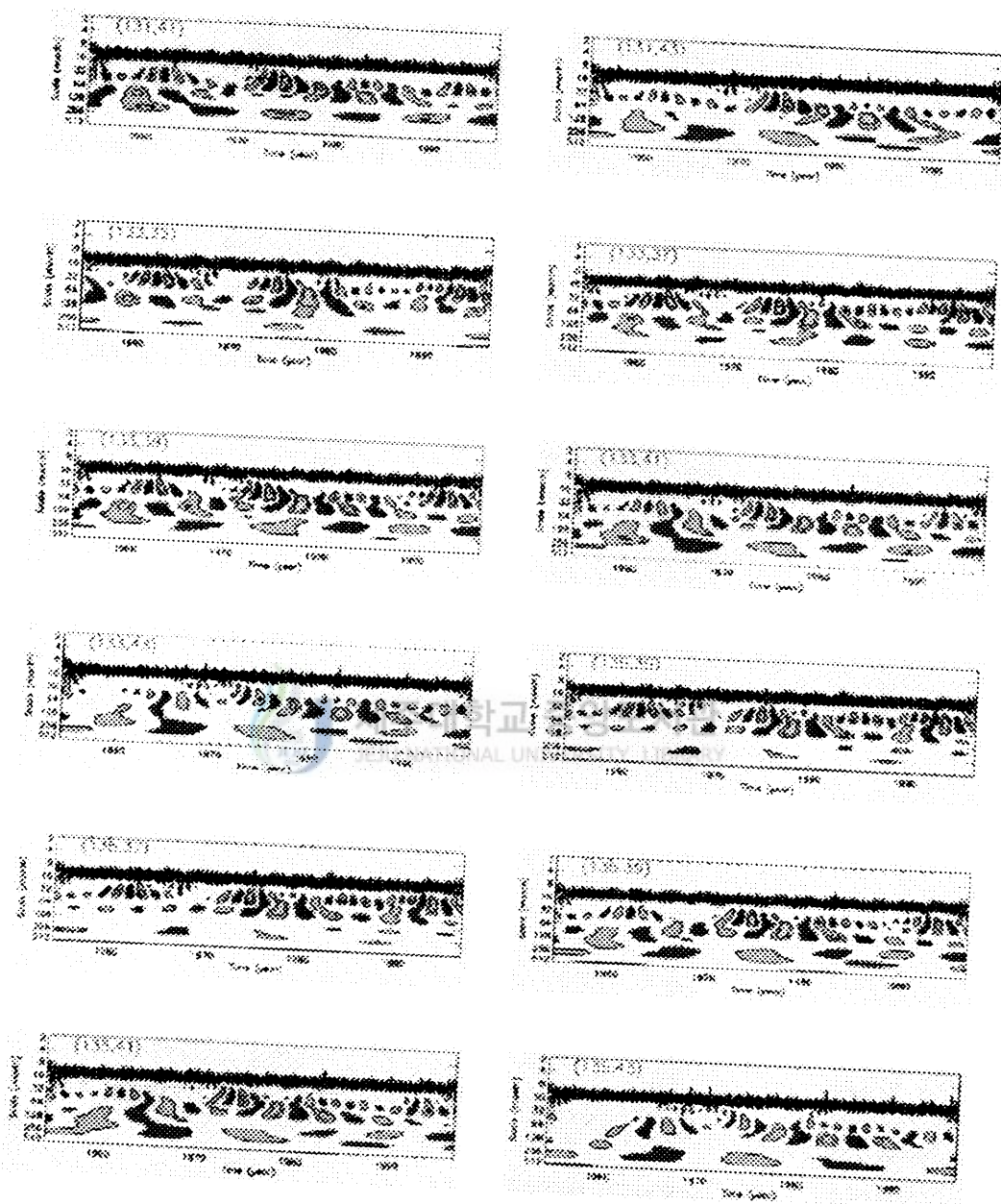


Fig V-7 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature



Fig V-8 The real part of Morlet wavelet analysis of sea surface temperature

VI. 기온과 강수량 및 해수면온도의 관계

기온과 강수량 및 해수면온도의 상관관계 분석을 위하여 해수수면온도의 관측지점은 기온의 지점에 가장 가까운 등대를 선택했고, 수온의 모자라는 지점인 추풍령과 전주는 격렬비도, 광주와 목포는 소흑산도, 제주는 마라도, 대구는 포항의 등대와 각각 비교하였다.

기온과 해수면온도의 상관도가 지역별 산술평균이 0.85이상으로 높게 나타났으나, 기온과 강수량 및 강수량과 해수면온도의 상관계수는 각각 0.55, 0.49로 월등히 낮게 나타났다. 따라서 기온과 해수면온도는 매우 밀접한 관계임을 알 수 있으나, 강수량은 상관계가 적은 것으로 분석되었다.

지역별로 자세히 보면 고위도일수록 해안에 가까운 지방일수록 그 상관계수가 크다는 것을 알 수 있다. 즉 내륙지방보다 해안지방일수록 기온과 해수면온도의 상관관계가 크다. 그리고 결측자료를 보정한 것을 고려하면 도서지방일수록 기온과 해수면온도의 상관관계가 적은 값을 보이고 있어 해석에 어려움을 주고있다. 그래프 상에서도 제주도와 울릉도의 수온이 기온보다 각각 3.6, 4.7도의 큰 폭으로 높다. 특이한 점은 같은 해안지방인 여수와 울산의 값이 예상외로 각각 극대값 0.96과 극소값 0.74를 보이고 있다는 점이다. 이것은 여수가 내만 깊숙한 곳에 있어 육상기온의 강한 영향으로 수온과 기온이 거의 비슷한 반응을 나타내는 것으로 편차그래프를 서로 비교하면 거의 일치한다. 그리고 울산(울기)의 경우는 연안이 북한한류가 용승하는 곳으로서 수온이 상대

적으로 낮아 예상외로 상관계수가 최저를 나타내고 있다.

기온과 강수량의 상관계수 산술평균이 0.55로 어느 정도 양의 상관성을 가지며 이것은 상대적으로 강수량이 느린 반응을 나타낸다 할 수 있고, 특히 해안지방(0.6이하)보다 내륙지방일수록 그 값이 0.6이상으로 크게 나타나 해안지방보다 내륙지방일수록 기온이 강수량에 대한 역할이 큼을 알 수 있다. 또한 내만 지역인 여수도 0.58로 다소 높은 값을 나타낸다. 그리고 강수량과 해수면온도에서는 상관계수 산술평균이 0.49로 기온과 강수량의 0.55와 비슷하지만 0.5이하의 낮은 값으로 나타나 강수량은 해수면온도와 별로 관계가 없어 보인다.

기온과 강수량의 값이 고위도이고 내륙지방일수록 커서 해수면온도는 강수량에 덜 영향을 주어 우리나라의 강수량은 기단이나 기압배치 같은 기후변수에 더 크게 영향을 받는 것으로 보인다. 그러나 지역별로 기온과 강수량, 강수량과 해수면온도를 각각 비교하면 도서지방인 울릉도는 기온과 해수면온도의 상관계수가 0.86이고, 기온과 강수량이 0.12, 강수량과 해수면온도가 0.24로서 울릉도의 기온과 해수면온도의 상관계수가 타 지역에 비해 상대적으로 낮은 편이고 강수량에 대해서 기온보다 수온의 영향이 두 배 큼을 볼 때 울릉도는 해양의 영향이 지배적임을 알 수 있으며, 울릉도의 45년 평균해수면온도의 그래프 상에서 기온보다 4.7도 큰 폭으로 높은 것과 부합하고 있다. 강릉도 해양의 영향이 지배적으로 나타났으며, 같은 도서지방인 제주는 강수량과 해수면온도가 0.45로 기온과 강수량의 0.54보다 낮아 다른 양상을 보인다.

Table VI-1. Correlation of temperature, precipitation and sea surface temperature

	강릉	서울	인천	울릉도	추풍령	포항	대구	전주	울산	광주	부산	목포	여수	제주	평균
기-강	0.50	0.62	0.61	0.12	0.65	0.56	0.65	0.65	0.57	0.62	0.55	0.52	0.58	0.54	0.55
기-수	0.86	0.93	0.95	0.86	0.77	0.90	0.88	0.79	0.74	0.76	0.90	0.81	0.96	0.84	0.85
강-수	0.54	0.60	0.58	0.24	0.53	0.52	0.55	0.54	0.41	0.49	0.48	0.39	0.50	0.45	0.49

실제자료의 분포 전체를 보면 기온(Fig.Ⅲ-3)과 항로표지관리소 해수면온도(Fig.V-3)는 과거에 비해 상승하는 것을 직접 확인할 수 있으나 육지와 거리가 먼 격자점 해수면온도(Fig.V-5)는 실제 주기에 따른 진폭의 증감은 보이지만 전체적인 증가는 찾아보기 힘들다. 그리고 기온자료와 항로표지관리소 해수면온도자료의 표준편차 그래프에서 패턴은 거의 일치되게 나타난다. 반면에 동해의 1953-1997년 격자점해수면온도 그래프를 보면 기온과 완전하게 일치하지 않고 있다. 즉 육지에 가까운 해안(항로표지관리소 해수면온도)일수록 기온과 해수면온도의 패턴이 일치하며 육지와 먼 해양(격자점해수면온도)일수록 기온과 해수면온도의 차이가 생긴다. table VI-2을 보면 표준편차 산술평균이 기온 0.57927, 항로표지관리소 해수면온도 0.69217, 격자점해수면온도 0.52836으로 대체로 세 개가 거의 비슷한 산포도를 보여주고 있으며, 자세히 보면 항로표지관리소 해수면온도의 표준편차가 가장 높아 연안역이 기온이나 외해보다 약간 변동이 더 있음을 알 수 있다. 상대적인 변동량을 나타내는 변동계수의 산술평균이 기온 0.04468, 항로표지관리소 해수면온도가 0.04730, 격자점해수면온도는 0.04071로 나타났다. 따라서 변동계수로 보면 항로표지관리소해수면온도는 예상외로 표준편차와 변동계수가 상당히 높게 나타났다. table VI-2에서 강수량의 표준편차와 변동계수의 산술평균이 각각 23.42868과 0.22114로 나타나 해수면온도와 기온에 비해 그 변동성이 매우 높아 불규칙한 패턴을 나타내고 있다. 그러나 기온(그림 Ⅲ-3)과 강수량 그래프(그림 Ⅳ-4)를 서로 비교해보면 전체적으로 가뭃기간 동안은 이상고온, 집중호우동안은 이상저온을 나타내서 강수량과 기온은 대체로 반대의 경향을 보이고 있다.

Tabel VI-2. Regional STANDARD DEVIATION and VARIATION COEFFICIENT

지역	지역	STANDARD DEVIATION			VARIATION COEFFICIENT		
		기온	강수량	수온	기온	강수량	수온
강릉	주문진	0.63880	22.06939	1.06934	0.05076	0.19069	0.07689
서울	소청도	0.67440	25.02012	0.55799	0.05693	0.22168	0.04896
인천	울릉도	0.57970	19.91193	0.61063	0.05074	0.20687	0.03627
울릉도	월미도	0.54855	24.89490	0.65741	0.04530	0.22981	0.04868
추풍령	격렬비도	0.51509	17.88328	0.87693	0.04469	0.18448	0.06791
포항	포항	0.70669	18.95149	0.73678	0.05242	0.20911	0.04900
대구	울기	0.68044	18.27796	0.78603	0.05119	0.21463	0.04945
전주	부산	0.51593	21.78355	0.50781	0.04013	0.20213	0.03134
울산	여수	0.58854	26.32173	0.61639	0.04364	0.24774	0.04001
광주	소흑산도	0.53073	25.95475	0.66401	0.04001	0.23746	0.04376
부산	마라도	0.58466	30.78226	0.53060	0.04126	0.25206	0.02808
목포		0.51900	23.59815		0.03795	0.25587	
여수		0.50540	26.13430		0.03636	0.22256	
제주		0.52183	26.41774		0.03409	0.22092	
AVERAGE		0.57927	23.42868	0.69217	0.04468	0.22114	0.04730

Ⅶ 토의 및 결론

자료분석 결과의 계절변화에 따른 진동을 최소화하기 위하여 12개월 평균하여 자료를 표준화하여 지역별 상관계수, 표준편차, 변동계수 등을 산출하여 비교분석 하였으며 표준화된 자료를 이용하여 주기분석을 실시하였다.

기온의 지역별 상관관계분석 결과 지역 상호간의 상관계수는 0.98 이상으로 동질의 기온장으로 분석되었으며, 기온이 전지역에서 전반적으로 상승 추세를 보였다. 주기분석 결과 6년 주기가 가장 우세하고, 2~3년 주기가 다음으로 우세하였으며, 10년이상 장주기에서는 14년 주기가 우세하였고 22년 주기도 나타나고 있다. 18개월의 주기도 보이기 는 하나 2년 이하의 주기는 계절진동 등의 영향으로 비교적 신뢰도가 낮은 편이다. 전체적으로 볼 때 1980년 이후 진폭의 변동이 보이기 는 하나 시그널이 강한 편은 아니다.

강수량의 지역별 상관분석 결과 상관계수가 0.67 정도로 기온이나 수온보다 보다 지역편차가 크고 국지성이 강한 것으로 분석되었다. 주기분석 결과 대체적으로 2~3년, 5~6년 주기가 우세한 편이나 지역별 차가 큰 것이 특징이다. 울릉도에서는 22년, 목포와 광주에서는 14년, 제주와 부산 그리고 여수 5~6년 주기가 다른 지역에 비해 우세하게 나타났다. 1973년부터 11년간의 중부지방을 중심으로 장기 가뭄이 있었으며, 이 기간에는 5년 주기가 약화되었다.

해수면온도의 지역별 상관분석 결과 상관계수가 0.88 이상으로 기온에 가까운 경향을 보였다. 주기변화도 6년, 2~3년 주기가 우세하나 변

동성이 기온보다 불규칙하고 장주기 변동에서 기온보다 변동성이 크게 나타났다. 동대에서 관측한 해수면온도는 기온과 주기변화가 비슷하나 격자점 자료분석 결과 먼바다로 갈수록 기온과 차이가 발생하고 있을 수 있었다. 기온과 수온의 주기변화는 6년, 2~3년 주기가 우세하여 비슷한 경향을 보이거나 강수량의 경우 우세 주기가 지역별로 다르게 나타나 지역편차가 심하게 나타났으며, 기온과 해수면온도의 상관계수 평균은 0.85로 높으나, 기온과 강수량, 해수면온도와 강수량은 0.55, 0.49로 상관도가 낮게 나타났다. 변동계수와 표준편차도 강수량이 기온과 수온보다 월등히 커 강수량은 지역 편차는 물론 지형적인 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

또한 기온과 강수량의 주기는 가뭄기간에는 상반되는 경향을 보이고 있으며, 해수면온도와 기온의 주기변화는 대체적으로 일치하고 있으나, 서해남부해상과 중부지방의 주기변화가 많은 공통점을 가지고 있음을 알 수 있었다.

최근 자주 발생하는 이상기상 현상이 엘니뇨와 라니냐의 영향이라고 주장하는 사람이 점차 많아지고 있는데, 해수면의 온도 변화가 기상요소에 미치는 영향이 큼을 감안한다면, 정확한 기상예측을 위해서는 해양기상에 관한 연구가 더욱 강화 될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 강용균, 노재식, 1985 : 과거 30년간(1954-1983) 한국기온의 연변화 및 연별변동, 한국기상학회지, Vol. 21, No. 3, 1-10
- 강용균, 진명근, 1984 : 한국주변 해양표면수온의 계절변화, 한국해양학회지, Vol. 19, No. 1, 31-35.
- 강용균, 1985 : 아시아 계절풍과 쿠르시오가 황해, 동해 및 동지나해의 표층수온에 미치는 영향, 한국해양학회, Vol. 20, No. 2, 1-9.
- 기상연구소, 1991 : 한반도 기후변화 및 이상기상에 관한연구(Ⅱ), 과학기술처, 특정연구보고서, 421pp
- 기상청, 1994 : 근년에 있어서 세계의 이상기상과 기후변동, 일본기상청, 464-470.
- 김상현, 노홍길, 최찬문, 1998 : 제주도 북부연안역의 해황과 조석전선 특성, 한국해양학회지 Vol. 31, No. 3 437-446
- 김정우, 하경자, 1987 : 서울 월강수량의 경년 변동과 기후변화, 한국기상학회지, Vol. 23, No. 3, 54-69.
- 노재영, 1989 : 한국 동남해역의 장기적 수온 변동, 한국해양학회지, Vol. 24, No. 1, 1-14.
- 문승의, 1977 : 남한의 최근 30년간의 이상기상의 특성에 관하여, 한국기상학회지, Vol. 13, No. 1 51-57.
- 문동준, 1998 : Wavelet을 이용한 항만부진동 연구, 부산대학교, 석사학위논문, 5-15pp
- 송영호, 1974 : 8월의 한국동안에서의 수온분포에 관한 역학적 고찰, 한국해양학회지, Vol. 9, No. 1-2, 52-58
- 양영진, 김상현, 노홍길, 1998 : 한국 남·서해 및 동중국해에 출현하는 수온전선, 한국해양학회지, Vol. 31, No. 5, 695-706

- 이병설, 1970 : 서울의 년강수량 및 하기강수량의 Normality에 관한 연구, 한국기상학회지, Vol. 6, No. 1, 16-29
- 오재호, 이용희, 1998 : 한반도의 강수량 자료에 나타난 기후학적 도약, 기상청, 예보기술세미나원고
- 이재철, 1983 : 하계 한국 남동해안에서 용승과 관련된 바람, 해수면 및 표층 수온의 변화, 한국해양학회지, Vol. 18, No. 2, 149-160.
- 이흥재, 방인권, 강용균, 1986 : 동남황해에서 해수온도의 EOF 분석, 한국해양학회지, Vol. 21, No. 4, 193-202.
- 임규호, 서애숙, 이용섭, 1997 : 한반도와 주변해역 강수량 사이의 상호관계 한국기상학회지, Vol. 33, No. 4, 781-795.
- 정현숙, 임규호, 1994 : 서울지역 월강수량과 강수일수, 한국기상학회지, Vol. 30, No. 4, 487-505.
- 정형빈, 김영섭, 한영호, 1997 : 연안지방 지상풍의 푸리에 및 웨이브렛 분석, 한국기상학회지, Vol. 33, No. 2, 243-252.
- 조기양, 김구 1994 : 여름철 남해 저온수의 특성과 기원, 한국해양학회지 Vol. 29, No. 4, 414-421
- 하주영, 1998 : 한반도 기후변동에 관한 연구, 서울대학교, 석사학위논문, 16-20, 29-32
- 한상복, 1970 : 한국 근해 수온의 주기적 변화(I), 한국해양학회지, Vol. 5, No. 1, 6-13.
- 한상복, 1970 : 한국 근해 수온의 주기적 변화(II), 한국해양학회지, Vol. 5, No. 2, 41-51.
- 허창희, 강인식, 1988 : 한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구, 한국기상학회지, Vol. 24, No. 1, 38-48.
- Allen, R. J., J. A. Lindesa and C. J. C. Reason, 1995 : Multidecadal variability in the climate system over the Indian Ocean region during the Austral summer. J. Climate, 8, 1853-1873.

- Bjerknes, J., 1969 : Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific. Mon. Wea. Rev., 97, 163-172.
- Ghil, M, & R, Vautard, 1991 : Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time series, Nature, Vol. 350, 324-327.
- Lau, K.-M., and H. Weng, 1995 : Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. Bull. Amer. Meteor. Soc. 76, 2391-2402.
- Morlet, J., 1983 : Sampling theory and wave propagation. NATO ASI Series, FI, Spring, 233-261.
- Wang B, and Yan Wang, 1996 : Temporal Structure of the Southern Oscillation as Revealed by Waveform and Wavelet Analysis, J. Climate, Vol. 9, 1586-1598.
- Weng, H. and K, -M. Lau, 1994 : Wavelet, Period Doubling, and Time Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical western Pacific, J. Atmos. Sci, Vol. 51, No. 17, 2523-2541.

- 요약

기온과 강수량 및 해수면온도의 주기변동성에 관한 연구

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 육지의 기후변화는 해양의 영향을 받고 있는 것으로 추정되나 이에 대하여 연구결과는 미흡한 실정이다. 따라서 기온과 강수량 및 해수면온도의 주기변화를 알아보고 이들의 주기변화가 어떤 관계를 가지고 있는지 알아보려고 하였다.

기온과 강수량자료는 기상청 소속 14개 기상대에서 관측한 월평균기온 자료를 이용하였으며, 항로표지관리소의 수온관측자료와 ECMWF의 격자점자료를 이용하여 서해와 동해를 중심으로 1954부터 1997년까지 분석하였다.

기온분석 결과 지역간의 상관계수가 0.98이상으로 전국이 동질의 온도장에 있음 알 수 있었으며, 주기는 6년 주기가 가장 우세하며, 2~3년 주기가 그 다음으로 우세하였다. 10년 이상의 장주기는 약14년 주기가 우세하였으며 21년 주기도 보이기는 하나 시그널은 약한 편이다.

전세계적으로 우려하고 있는 기온의 상승 경향은 뚜렷이 보이고 있으나 비교적 도시화가 덜된 울릉도와 추풍령은 상승폭이 적은 편이다.

강수량 분석 결과 지역간의 상관계수가 0.67 정도로 기온이나 수온보다 낮고 지역편차가 커 국지성이 강한 특징을 보였다. 주기변화는 대체적으로 2~3년, 5~6년 주기가 우세한 편이나 지역별 차가 크게 나타났으며, 울릉도에는 22년, 목포와 광주에서는 14년, 제주, 부산, 여수에서는 5~6년 주기가 다른 지역에 비해 우세하였다. 1973년부터 11년간의 장기 가뭄이 있었으며, 이 기간에는 5년 주기가 약화되었으며, 고온의 주기에는 강수량이 적고 저온의 주기에는 강수량이 많아 기온과 강

수량의 편차는 반대 경향을 보이고 있는데, 이는 문(1977)의 연구결과와 일치하였다.

해수면온도의 지역간의 상관계수는 0.88 이상으로 기온과 같이 높았으며, 주기변화도 6년, 2~3년 주기가 우세하나 변동성은 불규칙하고 장주기 변동에서 기온보다 변동성이 크게 나타났다.

해수면온도의 항로표지관리소의 실측자료는 육지에 너무 가까이 위치하여 있으며, 자료의 결측이 여러 곳에서 발생하여 연속적인 분석이 어렵기 때문에 ECMWF의 자료를 이용 분석한 결과 2~3년과 6~8년 주기가 우세하였다. 인천 등 중부지방과 남해서부 해상의 시그널이 비슷함을 알 수 있었다. 남부해안 지방과 제주도, 울릉도 등은 주변 해역의 주기와 비슷하였다. 등대수온은 기온과 주기변화가 비슷하나 격자점 자료분석 결과 먼바다로 갈수록 차이가 크게 나타났다.

기온과 수온의 주기변화는 6년, 2~3년 주기가 우세하여 비슷한 경향을 보이나, 강수량의 경우 우세 주기가 지역별로 다르게 나타나 지역 편차가 심해 상호 상관성이 적은 것으로 판단되었다. 이러한 근거로는 기온과 수온의 지역 평균상관관계는 0.85로 비슷하나 강수량과 기온 및 강수량과 수온은 0.55, 0.49로 상관도가 낮게 나타나고 있어 이를 입증하고 있다. 또한 변동계수와 표준편차도 강수량이 기온과 수온보다 월등히 크게 나타나고 있다.

이러한 주기변화 등이 최근 자주 발생하는 이상기상 현상과 엘니뇨와 라니냐의 영향이라고 주장하는 사람이 점차 많아지고 있는데, 해수면의 온도 변화가 기상요소에 미치는 영향이 큼을 감안한다면, 정확한 기상예측을 위해서는 해양기상에 관한 연구가 더욱 강화 될 필요가 있다.

감사의 글

제가 이 자리에 서서 돌아 볼 때 마음이 설래이고 감회가 깊으며, 참으로 감사드려야 할 분들이 너무나 많은 것 같습니다. 우선 입학 때부터 지속적으로 지도해주시고 언제나 저의 입장을 먼저 헤아리시고 지도해 주신 방익찬 교수님께 감사드립니다. 언제나 만날 때마다 반가이 맞아 주시고 격려해주시고 지도해주시신 고유봉, 윤정수, 최영찬, 이준백, 윤석훈교수님께도 감사드립니다.

항상 직원들의 재교육을 강조하시고 공부하는데 적극적으로 지원하시고 특히 이 논문을 마무리 할 수 있도록 배려하여주신 문승의 청장님과 간부님들께 감사드립니다. 박종주 제주지방기상청장님과 옆에서 도와주신 직원 여러분 그리고 이천우 광주지방기상청장님 최치영, 최진택 과장을 비롯한 관측담당관실 직원들께도 감사드립니다. 특히 필요한 자료를 제공하여 주신 오재호 예보연구실장님과 이용희씨께 감사드립니다.

연구실을 찾을 언제나 반가이 맞아준 물리연구실의 현경훈, 오경희, 유종인, 문재인, 문정언, 홍창수, 강재훈, 옆방의 이호준 그리고 해양기상지진연구실의 김태희에게도 감사드립니다.

또한 입학을 했다고 할 때 무순 학교를 또 다녀 하시면서 걱정 반 위로반의 말씀을 하신 어머님과 형님 형수님 누님들께 감사드립니다. 뒤늦게 공부를 시작할 때 반대보다는 격려 해주고 항상 말없이 참고 도와준 아내와 여러 가지로 아버지의 도움이 필요한 시기에 떨어져 있으면서도 열심히 공부하여 대학생 된 아들 윤복, 고삼의 어려운 시기에 아빠 올해는 꼭 졸업하세요 저도 열심히 할 깨요 하면서 위로 해준 딸 윤아에게 고마움과 영광을 돌리고 싶습니다.