



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

제주도 북부와 남부에서의 기후변화 연구

제주대학교 산업대학원

해양생산학과

해양학 전공

강 민 협

2011

석사학위논문

제주도 북부와 남부에서의 기후변화 연구



제주대학교 산업대학원

해양생산학과

해양학 전공

강민협

2011

제주도 북부와 남부에서의 기후변화 연구

지도교수 방 의 찬

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

2011년 2월

제주대학교 산업대학원

해양생산학과 해양학전공

강 민 협

강민협이 해양학 석사학위 논문을 인준함.

2011년 2월

심사위원장 문 일 주 (인)

위 원 방 의 찬 (인)

위 원 윤 석 훈 (인)

The Study on the Regional Characteristics of
Climate Change in northern and southern part of
Jeju Island

Min-Hyeop Kang

(Supervised by Professor Ig-Chan Pang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2011. 2

목 차

그림차례	iii
표 차례	vii
제1장 서 론	1
제2장 제주도 북부에서의 기후변화 경향	3
2.1. 기후요소별 변화경향	3
2.1.1. 기온	3
2.1.2. 강수	8
2.1.3. 바람	14
2.1.4. 체감온도	15
2.1.5. 상대습도	18
2.2. 현상일수 및 계절의 변화	19
2.2.1. 안개일수	19
2.2.2. 서리일수	20
2.2.3. 뇌전일수	21
2.2.4. 결빙일수	22
2.2.5. 황사일수	23
2.2.6. 자연계절의 변화	24
제3장 제주도 남부에서의 기후변화 경향	26
3.1. 기후요소별 변화경향	26
3.1.1. 기온	26
3.1.2. 강수	31
3.1.3. 바람	36
3.1.4. 체감온도	37
3.1.5. 상대습도	38

3.2. 현상일수 및 계절의 변화	40
3.2.1. 안개일수	40
3.2.2. 서리일수	41
3.2.3. 뇌전일수	42
3.2.4. 결빙일수	43
3.2.5. 황사일수	44
3.2.6. 자연계절의 변화	45
제4장 기온과 수온 변화	47
4.1. 개 요	47
4.2. 수온 변동성	47
4.2.1. 북부(제주)에서의 수온변화경향	47
4.2.2. 남부(서귀포)에서의 수온변화경향	49
제5장 결 론	51
참고 문헌	54
요 약	56
감사의 글	60

List of Figures

Fig. 2.1 The change of (a)annual mean temp. and (b)daily temp. difference in Jeju city(1924-2008)	3
Fig. 2.2 The change of average temp. in Jeju city(1924~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	4
Fig. 2.3 The change of (a)Max. temp. (b)Min. temp. in Jeju city (1924~2008)	5
Fig. 2.4 The change of Max. temp. in Jeju city(1924~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	5
Fig. 2.5 The change of Min. temp. in Jeju city(1924~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	6
Fig. 2.6 The number of tropical days in Jeju city(1924~2008)	6
Fig. 2.7 The number of tropical nights in Jeju city(1924~2008)	7
Fig. 2.8 The number of minus-degree-celsius days in Jeju city(1924~2008)	8
Fig. 2.9 The change of (a)annual precipitation and (b)deviation(1924~2008)	9
Fig. 2.10 The change of annual precipitation(1924~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	9
Fig. 2.11 The change of precipitation days and deviation(1924~2008)	10
Fig. 2.12 The change of precipitation days (1924~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	11
Fig. 2.13 The change of precipitation intensity(1924~2008)	12
Fig. 2.14 The change of (a)precipitation days over than 80mm and (b)10-years moving average(1924~2008)	12
Fig. 2.15 The change of (a)precipitation days over than 150mm and (b) 10-years moving average(1924~2008)	13

Fig. 2.16 The (a)annual change of monthly mean temp. and monthly precipitation and (b)periodical mean temp. and precipitation for every 10years(1920's ~ 2000's)	13
Fig. 2.17 The change of (a)annual mean wind speed and (b)deviation (1924~2008)	14
Fig. 2.18 The change of (a)annual max. wind speed and (b)deviation (1924~2008)	15
Fig. 2.19 The change of wind chill temp.(1941~2008)	17
Fig. 2.20 The change of wind chill temp.(1941~2008) : (a)06hour (b)12hour (c)18hour (d)00hour	17
Fig. 2.21 The change of (a)annual mean humidity and (b)deviation(1924~2008)	18
Fig. 2.22 The change of fog-days(1970~2008)	19
Fig. 2.23 The change of frost-days(1970~2008)	20
Fig. 2.24 The change of thunderbolts-days(1970~2008)	21
Fig. 2.25 The change of freezing-days(1970~2008)	22
Fig. 2.26 The change of yellow-dust-days(1970~2008)	23
Fig. 2.27 The change of season(First-10years VS Last-10years)	25
Fig. 3.1 The change of (a)annual mean temp. and (b)daily temp. difference in Seogwipo city(1961-2008)	26
Fig. 3.2 The change of average temp. in Seogwipo city(1961~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	27
Fig. 2.3 The change of (a)Max. temp. (b)Min. temp. in Seogwipo city (1961~2008)	27
Fig. 3.4 The change of Max. temp. in Seogwipo city(1961~2008) : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	28

Fig. 3.5 The change of Min. temp. in Seogwipo city(1961~2008) :	
(a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	28
Fig. 3.6 The number of tropical days in Seogwipo city(1961~2008)	29
Fig. 3.7 The number of tropical nights in Seogwipo city(1961~2008)	30
Fig. 3.8 The number of minus-degree-celsius days in Seogwipo city(1961~2008) ..	30
Fig. 3.9 The change of (a)annual precipitation and (b)deviation(1961~2008)	31
Fig. 3.10 The change of annual precipitation(1961~2008) :	
(a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	32
Fig. 3.11 The change of precipitation days and deviation(1961~2008)	33
Fig. 3.12 The change of precipitation days (1961~2008) :	
(a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	33
Fig. 3.13 The change of precipitation intensity(1961~2008)	34
Fig. 3.14 The change of (a)precipitation days over than 80mm and (b)10-years moving average(1961~2008)	35
Fig. 3.15 The change of (a)precipitation days over than 150mm and (b) 10-years moving average(1961~2008)	35
Fig. 3.16 The (a)annual change of monthly mean temp. and monthly precipitation and (b)periodical mean temp. and precipitation for every 10years(1960's ~ 2000's)	35
Fig. 3.17 The change of (a)annual mean wind speed and (b)deviation (1961~2008)	36
Fig. 3.18 The change of (a)annual max. wind speed and (b)deviation (1961~2008)	36
Fig. 3.19 The change of wind chill temp.(1973~2008)	37
Fig. 3.20 The change of wind chill temp.(1973~2008) :	
(a)06hour (b)12hour (c)18hour (d)00hour	38

Fig. 3.21 The change of (a)annual mean humidity and (b)deviation(1961~2008)	39
Fig. 3.22 The change of fog-days(1970~2008)	40
Fig. 3.23 The change of frost-days(1970~2008)	41
Fig. 3.24 The change of thunderbolts-days(1970~2008)	42
Fig. 3.25 The change of freezing-days(1970~2008)	43
Fig. 3.26 The change of yellow-dust-days(1970~2008)	44
Fig. 3.27 The change of season(First-10years VS Last-10years)	46
Fig. 4.1 The change of (a)annual mean water temp. and (b)deviation in Jeju city (1971~2008)	47
Fig. 4.2 The change of mean water temp. in Jeju city : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	48
Fig. 4.3 The change of (a)annual mean air/water temp. and (b)deviation in Jeju city	49
Fig. 4.4 The change of (a)annual mean water temp. and (b)deviation in Seogwipo city (1985~2008)	49
Fig. 4.5 The change of mean water temp. in Seogwipo city : (a)spring(b)summer(c)fall(d)winter	50
Fig. 4.6 The change of (a)annual mean air/water temp. and (b)deviation in Seogwipo city	50

List of Tables

Table 2.1 The seasonal precipitation, precipitation days, precipitation intensity in Jeju city(1924~2008)	10
Table 2.2 The seasonal mean humidity and ratio of change in Jeju city (1924~2008)	18
Table 2.3 The seasonal mean fog-days and ratio of change in Jeju city (1970~2008)	19
Table 2.4 The seasonal mean frost-days and ratio of change in Jeju city (1970~2008)	20
Table 2.5 The seasonal mean thunderbolts-days and ratio of change in Jeju city (1970~2008)	21
Table 2.6 The seasonal mean freezing-days and ratio of change in Jeju city (1970~2008)	22
Table 2.7 The seasonal mean yellow-dust-days and ratio of change in Jeju city (1970~2008)	23
Table 2.8 The change of seasons in Jeju city(1924~2008)	25
Table 3.1 The seasonal precipitation, precipitation days, precipitation intensity in Seogwipo city(1924~2008)	32
Table 3.2 The seasonal mean humidity and ratio of change in Seogwipo city (1924~2008)	39
Table 3.3 The seasonal mean fog-days and ratio of change in Seogwipo city (1970~2008)	40
Table 3.4 The seasonal mean frost-days and ratio of change in Seogwipo city (1970~2008)	41

Table 3.5 The seasonal mean thunderbolts-days and ratio of change in Seogwipo city (1970~2008)	42
Table 3.6 The seasonal mean freezing-days and ratio of change in Seogwipo city (1970~2008)	43
Table 3.7 The seasonal mean yellow-dust-days and ratio of change in Seogwipo city (1970~2008)	44
Table 3.8 The change of season in Seogwipo city(1924~2008)	46



제 1장 서론

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 평가보고서(2007)에 따르면 지난 100년간(1906~2005년) 전지구 평균기온은 0.74℃ 증가하였으며 한반도의 경우 평균기온은 97년간(1912~2008년) 1.7℃ 상승하였다. 서울은 같은 기간 동안 2.4℃ 증가하였고(국립기상연구소, 2009a, 2009b) 부산은 지난 104년(1905~2008년)간 연평균기온 1.7℃의 상승률을 보이고 있다(국립기상연구소, 기후 변화 이해하기Ⅳ). 우리나라 기후변화에 관한 연구에는 삼한사온의 연구(이병설, 1971), 우리나라 기온의 대륙성(김연옥, 1965), 서울지방의 월 강수량의 분석(정창희, 1969), 강수량의 변동성(손형진, 1967; 정현숙 등, 1999) 및 도시기후에 관한 연구(조하만 등, 1988; 김맹기 등, 1999), 이상기후에 관한 연구(김해구 등, 1988), 엘니뇨/라니냐와 연관된 이상기후연구(차은정 등, 1999) 등의 연구들이 있다. 또한 CO₂의 배출이 한반도의 기후에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구(오재호 등, 1994), 한반도 대기 중 CO₂ 배경농도 변화특성(조하만 등, 1995) 등 지구온난화를 주제로 이루어진 연구들이 수행되었다.

한편, 제주도와 관련된 기후연구로서는 제주도 함덕연안 해역의 해황·기상의 계절변동에 관한 연구(양 등, 1995), 제주도 해안 지역의 기온분포(이윤주, 2000) 및 56년간 한반도 강수 및 풍속의 강도변화(문일주 등, 2008) 등이 있다. 이와 같이 제주도를 포함한 우리나라 기후변화에 대한 연구가 많이 있고 이들 연구에서 제주도의 기후변화가 소개되고 있지만 제주도의 기후변화가 전 기상요소에 대해

체계적으로 정리되어 발표된 적은 아직 없었다. 이에 본 연구에서는 한반도와 독립되어 있는 제주도의 기후변화를 북부와 남부로 구분하여 과거 관측된 기상자료들을 분석하여 정리하였다.

사용한 자료는 1924년 관측 이래 2008년까지 85년간 제주시에서 관측된 자료와 1961년부터 2008년까지 47년간 서귀포시에서 관측된 자료이며 기후변화 경향을 분석은 기온, 강수량, 풍속, 체감온도, 습도의 변화경향 및 현상일수의 변화와 더불어 자연계절의 변화를 분석하였다. 이와 함께 국립해양조사원의 수온관측 자료를 토대로 수온변화경향을 분석하고 기온변화경향과 수온변화경향을 비교분석하여 제주도의 기후특성을 규명하고자 하였다.

제 2장 제주도 북부에서의 기후변화경향

2.1. 기후요소별 변화경향

2.1.1. 기온

제주의 연 평균기온은 1923년 관측을 시작한 이후의 관측값 중에서 결측자료가 있는 1923년을 제외하여 1924년부터 2008년까지 85년간 관측자료를 이용하였으며 그 시계열자료를 그림 2.1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제주의 연 평균기온은 전반적으로 상승하고 있으며, 이러한 기온상승은 전 지구적으로 일어나는 온난화 현상에 수반되어 나타나는 것으로 판단할 수 있다. 제주의 연 평균기온은 관측기간 동안 선형회귀분석을 한 결과 평균 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 상승하여 관측 이래 1.7°C 의 기온상승을 나타내고 있으며, 1980년 이후에는 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 상승하고 있어, 최근 들어서 상승폭이 커지는 양상을 보이고 있다.

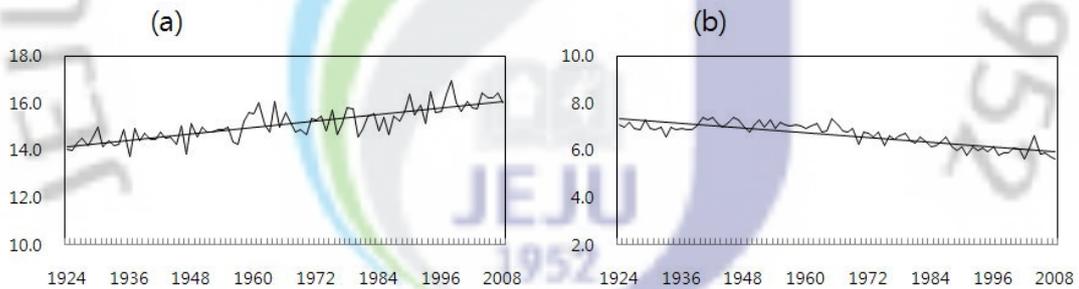


그림 2.1 제주시 (a)연평균기온 변화 및 (b)일교차 변화(1924~2008년)

그림 2.2에 계절별 평균기온의 변화를 나타내었다. 계절의 구분은 봄을 3~5월, 여름 6~8월, 가을 9~11월, 그리고 겨울을 12월과 그 다음해의 1, 2월로 구분하였다. 평균기온의 증가경향은 계절에 따라 차이를 보이고 있으며, 계절별로 기온의 상승경향이나 연별 변동은 상당한 차이를 보이고 있다. 계절별로는 봄에 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 기온 상승폭이 가장 컸으며, 다음으로 가을, 겨울, 여름 순으로 나타나 봄에 가장 뚜렷하게 기온 증가경향이 나타났고, 여름에 가장 약하게 나타났

다. 이러한 결과는 전종갑과 이광호(1992)가 한반도의 모든 관측 지점에서 봄에 온도가 크게 상승하였다고 한 것과 일치한다. 이러한 결과는 서울과 부산의 경향과도 유사하다(기상청, 2009).

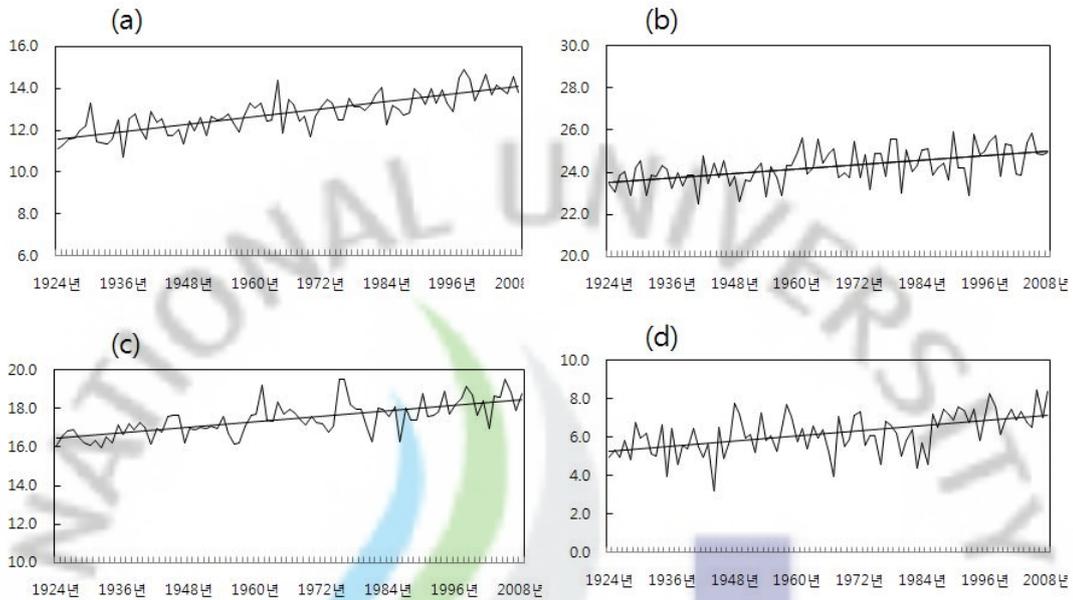


그림 22 제주 계절별 평균기온의 시계열 및 변화경향(1924~2008) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

일최고기온과 일최저기온에 대해서 연평균한 값을 각각 연 최고기온과 연 최저기온으로 정의하고 그 변화를 그림 2.3에 나타내었다. 연 최고기온의 경우 $0.11^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 연 최저기온 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 정도의 기온 상승을 보이고 있어 평균기온의 상승과 비교해서 최고기온의 증가율은 작고 최저기온의 증가율은 크게 나타나고 있어(전과 이, 1992) 최저기온이 최고기온의 상승폭보다 크다. 따라서 평균기온의 전체적인 상승을 유발하는 것은 최고기온보다는 최저기온의 상승이 더 많이 기여하고 있음을 보여주고 있다. 최고기온과 최저기온의 계절에 따른 변화를 그림 2.4와 그림 2.5에 나타내었다.

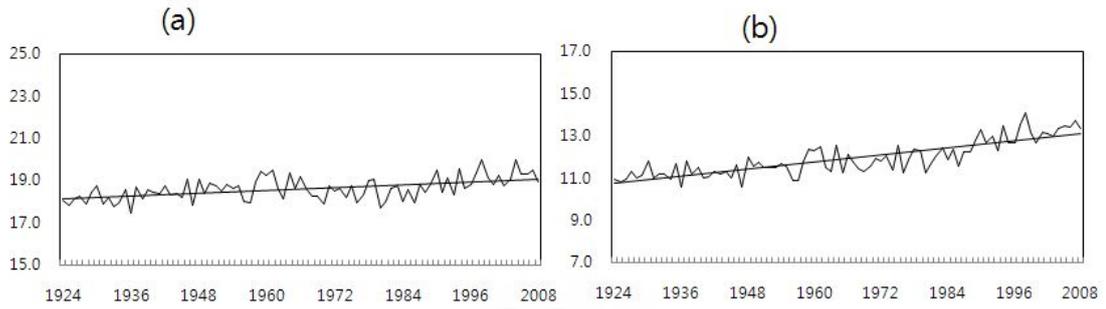


그림 2.3 제주시 (a)연평균 최고기온 및 (b)연평균 최저기온의 변화경향(1924~2008년)

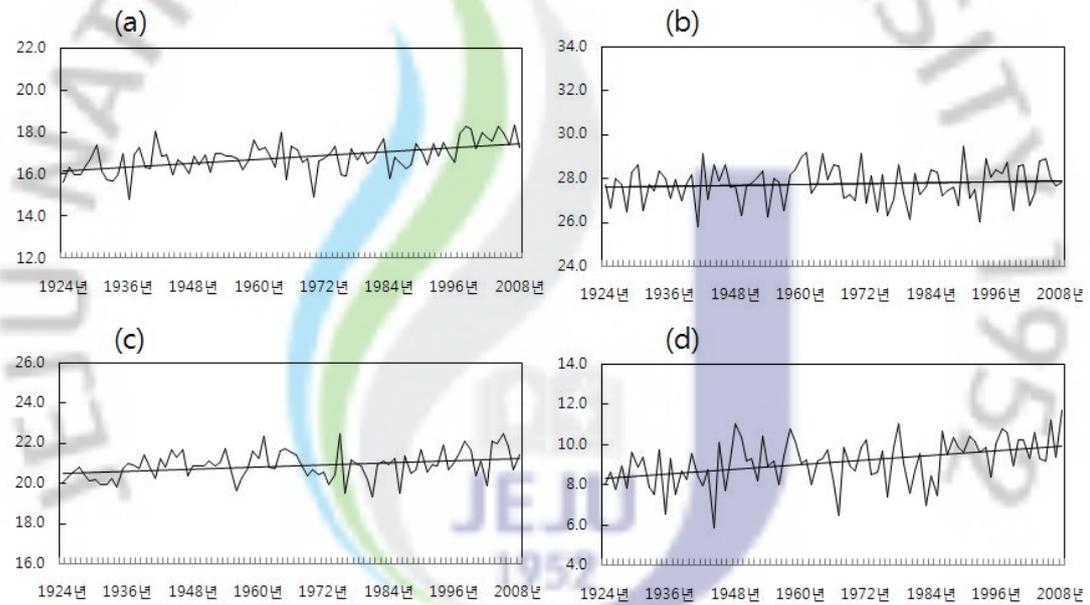


그림 2.4 제주시 계절별 최고기온의 변화경향(1924~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

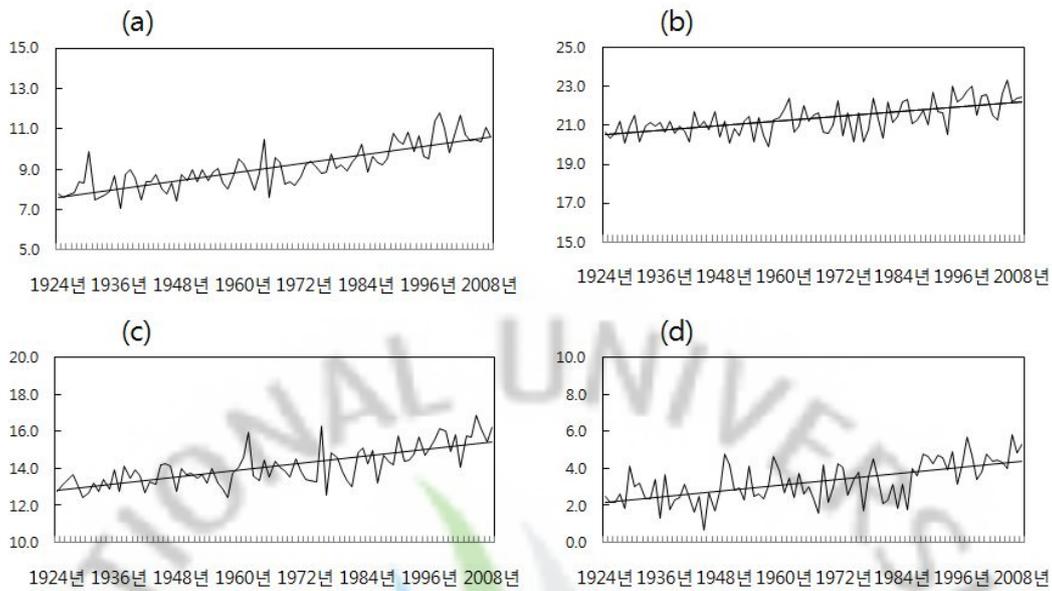


그림 2.5 제주시 계절별 최저기온의 변화경향(1924~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

기온과 관련된 극한지수 변화를 파악하기 위하여 열대일 일수, 열대야 일수, 영하 일수 등의 변화를 분석하였다. 열대일은 일 최고기온이 30°C 이상인 날로 정의하며, 열대일 일수의 변화를 통하여 여름철 최고기온의 변화 특성을 파악할 수 있다. 제주시의 평균 열대일 일수는 31.4일이며, 지난 85년 동안 0.7일/10년의 비율로 증가하였다(그림 2.6). 열대일 일수의 변화를 보면 1964년에 61일, 1961년과 1990년 58일, 1994년 57일 등으로 빈도가 높다. 반면, 1928년과 1941년 8일, 1993년 9일 등은 빈도가 낮다.

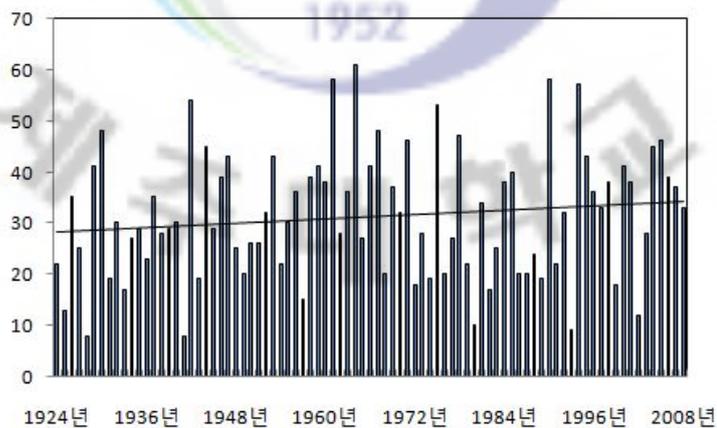


그림 2.6 제주시 열대일 일수(1924~2008년)

열대야 일은 일 최저기온이 25℃ 이상인 날로 정의한다. 지난 85년간 열대야 일수의 평균은 13.6일이며, 8월에 가장 많은 빈도를 보이고 있다. 증가율은 2.26 일/10년의 큰 폭으로 증가하고 있으며, 특히 최근 10년간(1999~2008년) 열대야 일수는 23.3일로, 처음 10년간(1924~1933년)의 7.6일에 비해 3배 이상 증가했음을 보여주고 있다.

열대야 일수의 변화를 보면, 1994년에 45일로 가장 많고, 1928년(0일) 및 1957년(1일), 1993년(1일), 1924년(1일) 등이 가장 적다. 연대별 평균 열대야일수를 살펴보면, 1920년대(1924~1933년, 10년평균) 7.6일에 비해 1990년대(1990년~1999년)에는 24.4일, 2000년대(1999~2008년)에는 23.3일을 보이고 있다. 7월의 평균 열대야 일수는 54.2일, 8월은 69.6일로 8월에 더 많은 열대야 일수가 나타나고 있다. 최근에는 9월에도 열대야가 발생하고 있어, 1990년대 16일, 2000년대에 13일이 각각 나타나고 있다.

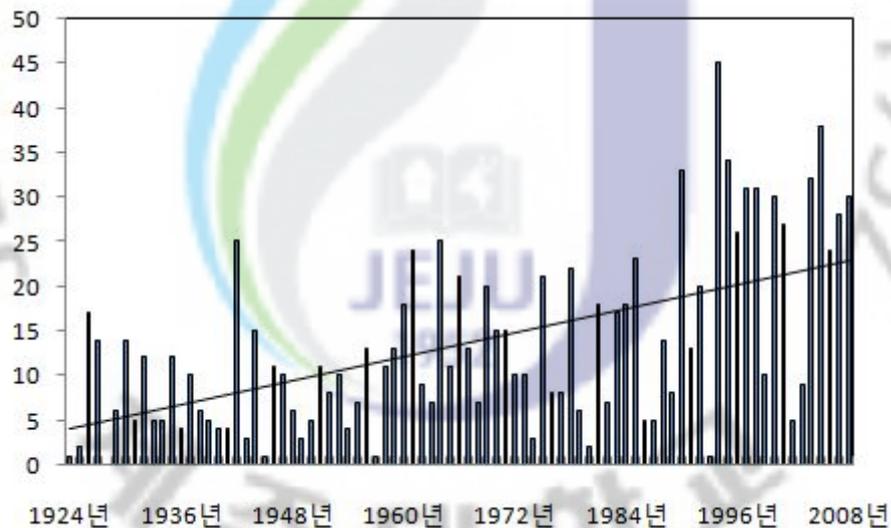


그림 2.7 제주시 열대야 일수(1924~2008년)

영하일은 일 최저기온이 0℃ 이하인 날로 정의하며, 영하일수의 변화를 통하여 겨울철 최저기온의 변화 특성을 이해할 수 있다. 제주시의 평균 영하일수는 13.8일이며, 지난 85년 동안 2.2일/10년의 비율로 감소하였다. 처음 10년(1923~1933년) 영하일수는 21일이며, 마지막 10년(1999~2008년) 영하일수는 3.7일로, 80%가

량 감소하였다. 제주시의 영하일수는 1946년 35일로 가장 높았으며, 그 외에도 1936년 34일 등 60년대 초반까지 20일을 넘는 해가 많았다(그림 2.8). 1980년대 중반까지 영하일수는 두 자리 수를 보이다가 1980년대 말부터는 한자리 수로 떨어지면서 1990년대 이후 영하 일수가 전혀 나타나지 않은 해도 4년이나 된다.

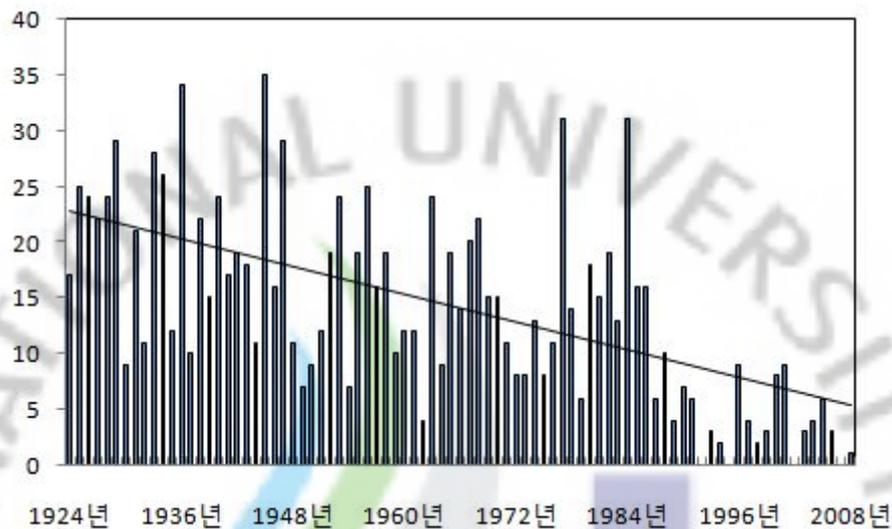


그림 2.8 제주시 영하 일수(1924~2008년)

2.1.2. 강수

지난 85년간(1924~2008년) 제주시의 연강수량 평균은 1439.5mm이다(표 2.1 참조). 처음 10년 기간(1924~1933년)의 연강수량은 1382.4mm이고, 마지막 10년 기간(1999~2008년)의 연강수량은 1599.0mm로, 216.6mm가 증가하였다. 지난 85년 동안 16.6mm/10년의 비율로 증가하는 경향을 보였다(그림 2.9 (a)). 강수는 다른 기후 요소와는 달리 호우, 태풍, 장마 등이 장기간의 통계값에 영향을 미칠 수 있어 그 변동성이 크다. 그림 2.9(b)의 분석기간 중 연강수량 편차에서 볼 수 있듯이 연강수량이 가장 많았던 해는 1999년으로 2526.0mm를 기록했으며, 가장 적었던 해는 1929년으로 774.5mm를 기록하였다.

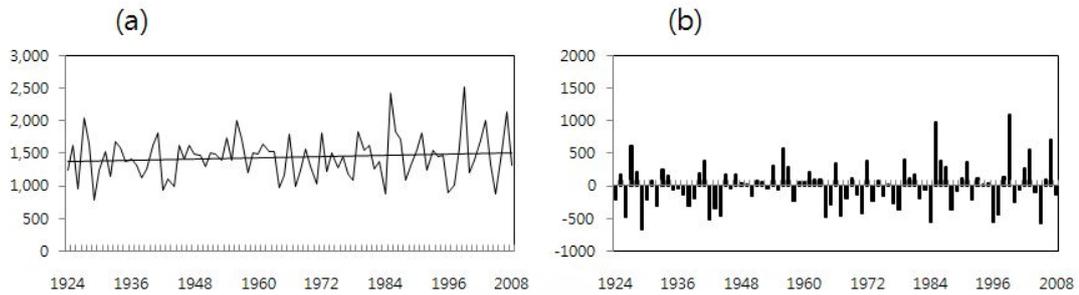


그림 2.9 제주시 연강수량의 (a)시계열 변화 및 (b)편차 (1924~2008년)

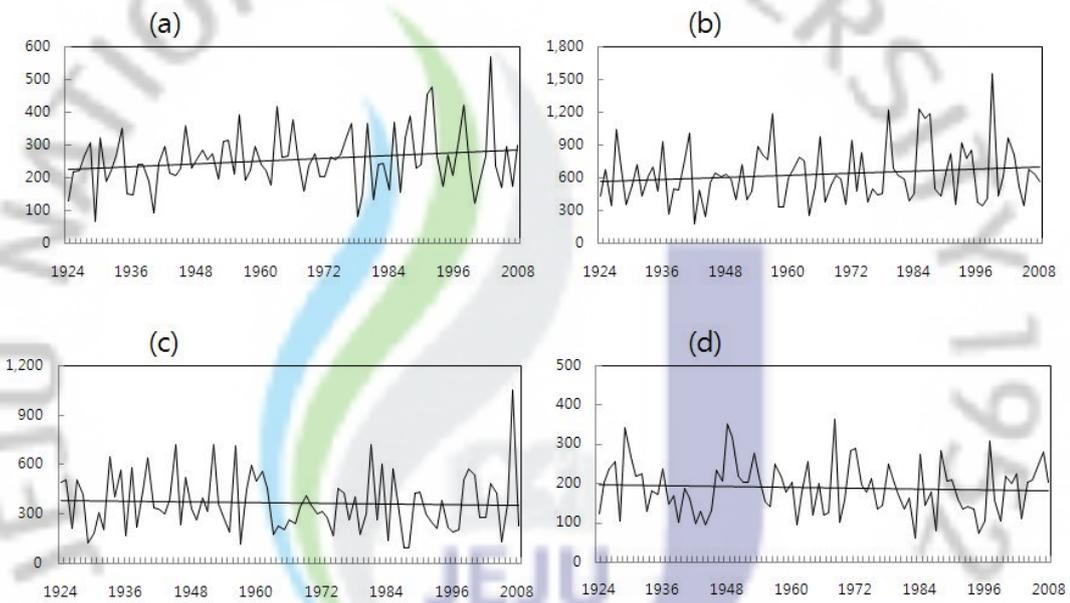


그림 2.10 제주시 계절별 강수량의 변화(1924~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

계절별로는 여름철의 평균 연강수량이 630.5mm로 가장 많고, 겨울철은 187.7mm로 가장 적다. 지난 85년 동안의 계절간 변화를 보면, 여름철과 봄철에 각각 15.5mm/10년, 7.2mm/10년으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 여름철은 전 계절 중 강수량 증가 경향이 가장 크다. 반면 가을과 겨울은 각각 3.7mm/10년, 1.9mm/10년의 비율로 감소하는 경향을 보이고 있다. 그림 2.10에서 계절별 강수량 변화를 보여주고 있다.

표 2.1 제주도 계절별 강수량, 강수일수, 강수강도(1924~2008)

계절 강수량	봄		여름		가을		겨울		연평균	
	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율
강수량 (mm, mm/10yr)	254.5	7.2	630.5	15.5	367.2	-3.7	187.7	-1.9	1439.5	16.6
강수일수 (day, day/10yr)	31.9	0.03	36.0	0.44	30.0	-0.83	38.8	-1.47	136.7	-1.85
강수강도 (mm/일, mm일 ⁻¹ 10yr ⁻¹)	7.9	0.2	17.5	0.2	11.0	0.1	4.9	0.1	10.6	0.2

1924~2008년 동안 제주의 연강수일수는 136.7일이다. 처음 10년 기간과 마지막 10년 기간의 연강수일수는 각각 144.6일과 136.4일로 8.2일이 감소하였으며, 지난 85년간 강수일수는 1.8day/10yr의 비율로 감소하였다. 그림 2.11(b)에서는 전체 평균에 대한 연강수일수 편차의 변화율을 보여주고 있다. 전반기에는 주로 양의 편차가 우세하나, 후반기에는 음의 편차가 우세하다.

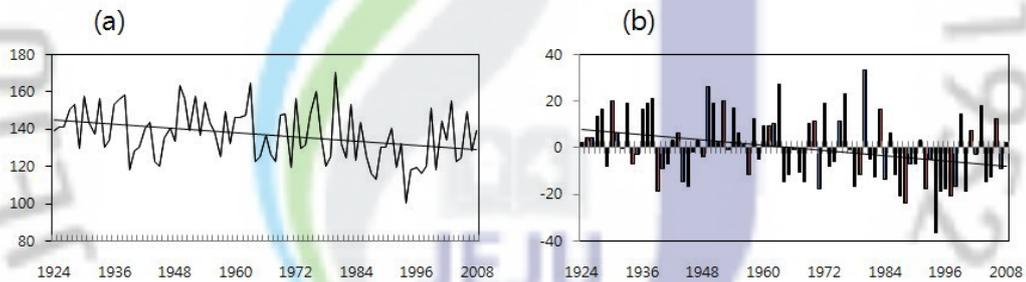


그림 2.11 제주도 (a)강수일수 및 (b)편차 (1924~2008년)

계절별 강수일수를 살펴보면, 봄·여름·가을·겨울이 각각 31.9일, 36.0일, 30.0일, 38.8일로써, 겨울철과 여름철 강수일이 많으며 봄과 가을이 상대적으로 적다. 가을과 겨울은 각각 0.83일/10년, 1.47일/10년의 폭으로 감소 경향을 보이고 있으며 봄과 여름은 각각 0.03일/10년, 0.44일/10년의 폭으로 작은 증가세를 보인다(그림 2.12).

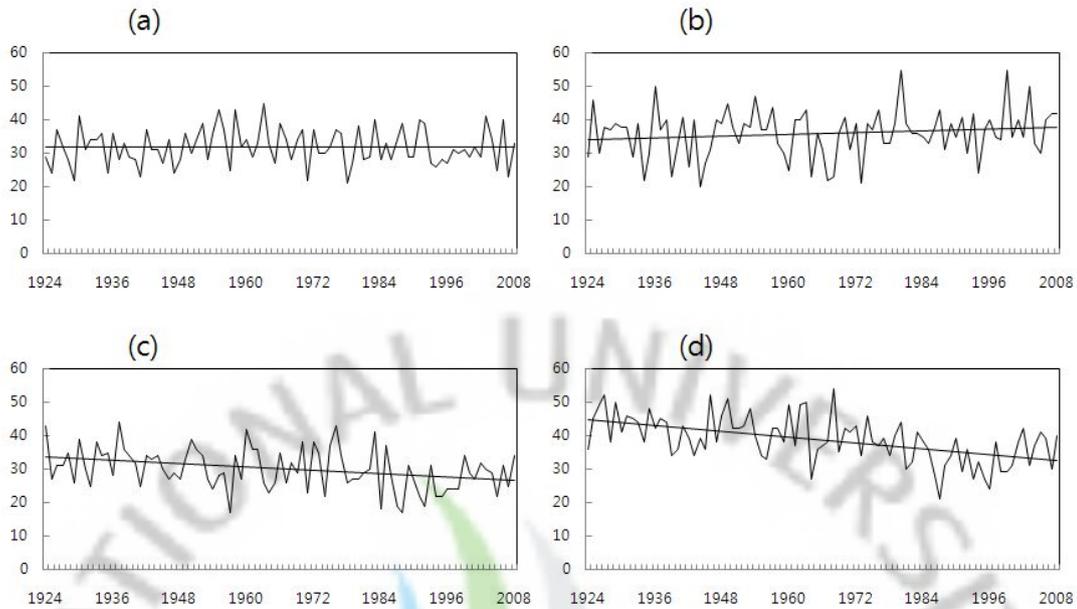


그림 2.12 제주시 계절별 강수일수(1924~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

지난 1924~2008년 동안 제주시의 연강수강도는 10.57mm/일이며, 10년당 0.25mm/일의 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다. 제주시의 강수강도 증가는 강수량의 증가와 강수일수 감소의 결과이다. 처음 10년(1924~1933년)기간 강수강도는 9.5mm/일이며 마지막 10년(1999~2008년)기간 강수강도는 11.6mm/일로, 강수강도의 증가율은 2.1mm/일을 보이고 있다(그림 2.13). 계절별 강수강도는 여름철에 17.5mm/일로 가장 크며 겨울철이 4.9mm/일로 가장 작다. 전 계절적으로 강수강도는 증가 경향을 보이고 있으며, 여름철이 0.18mm일⁻¹10yr⁻¹의 비율로 가장 크고 가을철은 0.11mm일⁻¹10yr⁻¹의 비율로 가장 작다. 강수강도가 가장 큰 해는 1985년으로 17.6mm/일이고, 가장 작은 해는 1929년으로 5.4mm/일이다. 연강수강도 편차의 변화는 강수일수와 반대로 전반기에는 주로 음의 편차가 우세하고 후반기에는 양의 편차가 우세하다. 처음 10년(1924~1933년)의 강수강도는 9.3mm/일이며, 마지막 10년(1999~2008년)의 강수강도는 10.7mm/일로, 약 15%가 증가하였다.

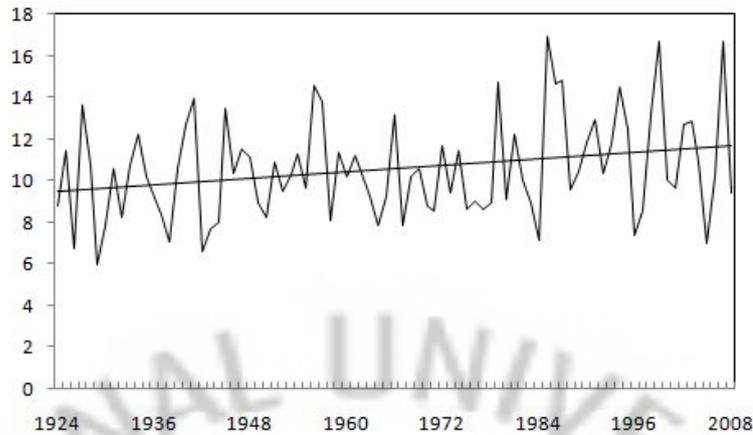


그림 2.13 제주시 강수강도 변화(1924~2008년)

지난 85년 동안 제주시의 80mm 이상 연호우일수는 평균 2.4일이며(그림 2.14.), 0.12일/10yr의 비율로 호우일수가 증가하고 있으나 변동성이 큰 편이다. 또한 10년 이동 평균값을 보면 70년대 이후에는 오히려 감소하다가 90년대 초반 들어서 집중호우의 빈도가 많아지고 있음을 알 수 있다. 제주시 80mm 이상 호우일수는 처음 10년에는 20일(연평균 2.0일), 마지막 10년에는 35일(연평균 3.5일)로 1.5일이 증가하였다. 최근 20여 년간 집중호우의 빈도가 높아지고 있다.

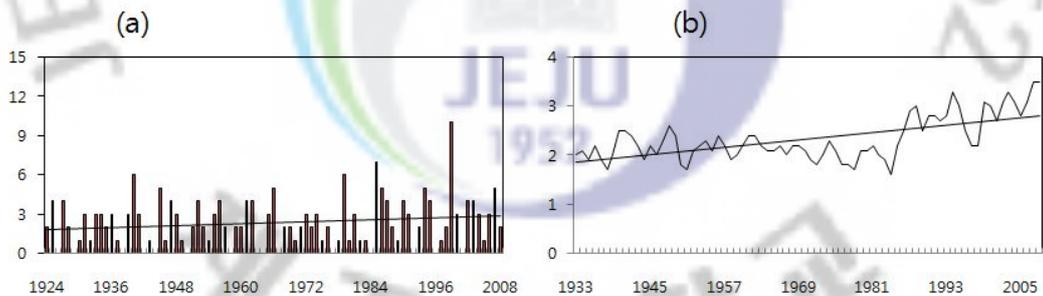


그림 2.14 제주시 (a)80mm 이상 호우일수 변화 및 (b)10년 이동평균 (1924~2008년)

제주시의 1924~2008년 동안의 150mm 이상 호우일수는 평균적으로 0.6일이다. 처음 10년 기간(1924~1933년)과 마지막 10년 기간(1999~2008년)의 150mm 호우일수는 각각 8일(연평균 0.8일)과 10일(연평균 1.0일)로 2일 증가하였다(그림 2.15).

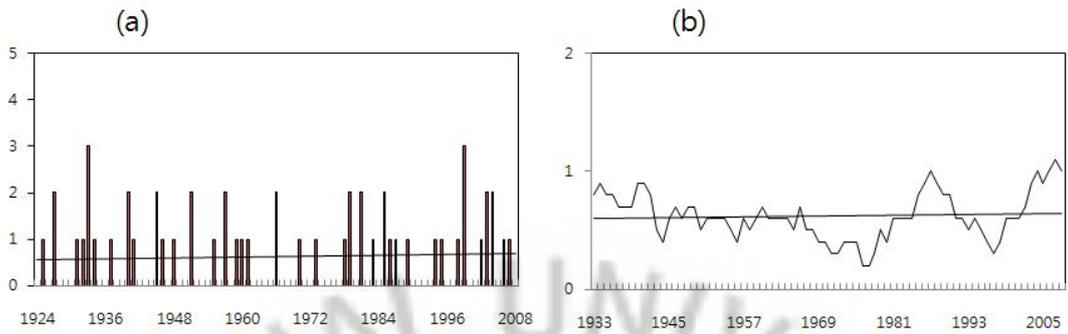


그림 2.15 제주시 (a)150mm 이상 호우일수 변화 및 (b)10년 이동평균 (1924~2008년)

그림 2.16은 제주의 기온과 강수량의 월변화를 나타낸 것으로 월평균기온은 1월이 가장 낮고 8월이 가장 높게 나타나고 있다. 기상연구소 (2004b)에 의하면 “우리나라는 북반구에 위치하여 태양의 고도가 12월이 최저, 6월이 최고를 보이므로 기온은 1월에 최저, 7월에 최고를 보이는 것이 타당하나 7월은 장마로 인해 강수량과 구름이 많으므로, 8월에 최고 기온을 보이는 경우가 많다”고 하였다.

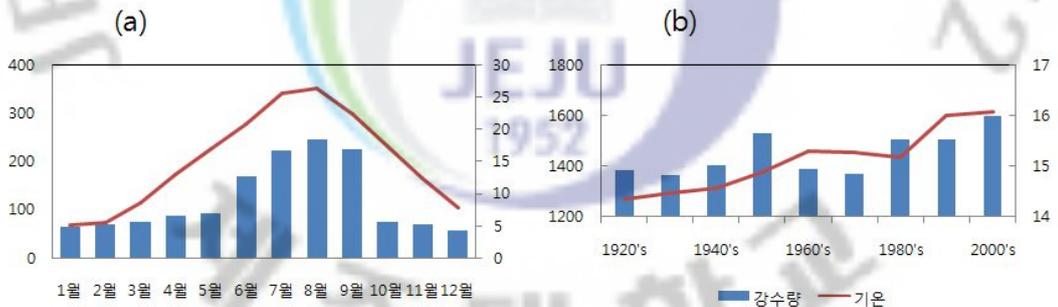


그림 2.16 제주시 (a)월평균기온과 월강수량의 연변화 및 (b)연대별 평균기온과 강수량 변화추이(1920's ~ 2000's)

2.1.3. 바람

공기가 이동한 경로의 길이와 이동에 소요된 시간과의 비로 정의되는 풍속은 같은 장소에서도 지면으로부터의 높이, 지면부근의 건물이나 수목 등에 따라 그 값이 크게 달라질 수 있는 기상요소이다. 관측이 처음 시작된 1924년도의 풍속값은 평균풍속과 최대풍속 모두 이상과다값을 보인다. 그림 2.17에서와 같이 풍속 감소율은 0.24%/10yr이다. 또한 최대풍속의 경우에도 감소율은 0.35%/10yr이다 (그림 2.18.).

풍속은 시간에 따라 거의 일정한 비율로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 최대 풍속의 감소율이 평균풍속에 비해 크게 나타났다. 평균풍속의 전체 평균에 대한 편차(그림 2.17(b))에서, 분석기간의 대부분인 90년까지 평균 이상의 양의 분포를 보였고, 최근 20년은 음의 편차를 보여 최근 20년 사이 평균풍속의 감소 경향이 뚜렷해지고 있음을 보여주고 있다.

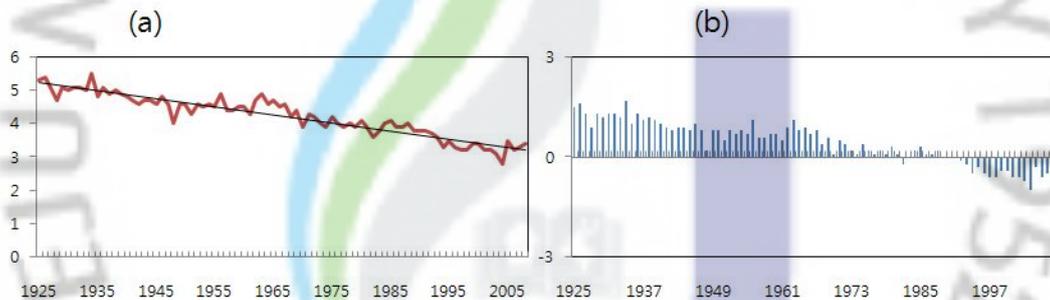


그림 2.17 제주도 (a)연 평균풍속의 시계열 변화경향 및 (b)연평균풍속에 대한 편차(1924~2008)

최대풍속의 전체 평균에 대한 편차(그림 2.18(b))에서, 분석기간의 전반 54년 동안에는 평균 이상의 양의 분포를 보였고, 최근 31년은 음의 편차를 보여 전체적으로 평균풍속의 감소 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.

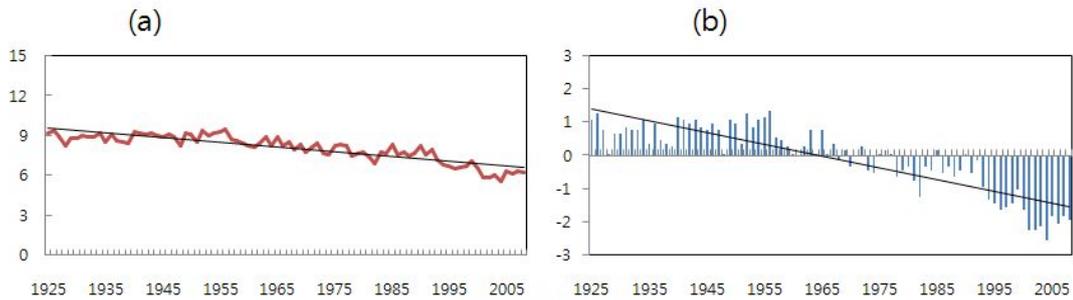


그림 2.18 제주시 (a)연 최대풍속의 시계열 변화경향 및 (b)편차(1924~2008)

평균풍속과 최대풍속은 이와 같이 감소경향을 보이고 있으나, 풍속자료가 관측소 주변의 환경변화에 매우 민감하기 때문에 장기적인 변화경향 분석에는 한계가 있다. 또한 우리나라 대부분의 지역에서 도시화로 인해 관측소 주변에서 고층건물과 주변 장애물의 증가로 인해 지역적으로 평균적인 풍속이 감소하고 있다(류상범 등, 2006).

한편, 이와 달리 풍속의 극값인 최대순간풍속 극값은 오히려 증가하고 있다는 결과가 있는데, 지난 56년간 년도 별 최대순간풍속 극값은 약 15 m/s 증가했음을 감안하면(문일주 등, 2008), 오히려 기후변화로 인한 풍속 변화의 의미는 평균 풍속 및 최대풍속보다 수온상승으로 인한 태풍의 강도변화 등이 원인으로 작용하는 풍속극값이 더 유의미하다고 볼 수 있다.

2.1.4. 체감온도

체감온도는 외부에 있는 사람이나 동물이 바람과 한기에 노출된 피부로부터 열을 빼앗길 때 느끼는 추운 정도를 나타내는 지수이다. 바람이 강해질수록 피부의 열손실율이 높아지며 결국 내부체온을 떨어뜨리게 된다. 영하 10℃에서 풍속이 5km/h일 때 체감온도는 영하 13℃이지만 풍속이 30km/h가 되면 체감온도가 영하 20℃까지 떨어져 강한 추위를 느끼게 된다.

체감온도는 Siple-Pasel 공식(1945), Steadman 공식(1971) 등 여러 가지 방법으로 산출될 수 있으며, 기상청에서는 2001년 8월 캐나다 토론토에서 열린 Joint

Action Group for Temperature Indices(JAG/TT) 회의에서 새로 발표되어 현재 미국과 캐나다 등 북아메리카 국가들을 중심으로 가장 최근에 널리 사용되고 있는 체감온도식을 사용하고 있으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\text{체감온도}(^{\circ}\text{C}) = 13.12 + 0.6215 * T - 11.3 V^{0.16} + 0.39665 V^{0.16} * T$$

T : 기온($^{\circ}\text{C}$), V : 지상 10m 풍속(km/h)

체감온도는 풍속이 4.8km/h 이상이고, 기온이 영하일 때 적용한다. 풍속이나 기온이 이러한 조건을 만족하는 경우 위 체감온도 식을 적용하여 계산하며, 조건을 만족하지 않을 경우 현재 기온을 체감온도로 표현한다. 그러므로 시기적으로 10월부터 익년 4월까지의 체감온도가 유용하지만 나머지 기간에는 의미가 없다.

제주에서는 1923년부터 기상관측이 이루어져 왔으나, 매시기온을 관측하여 데이터베이스화 한 것은 1954년부터이다. 그 이전에는 일 6회관측(1924~1932년), 매시관측(1933~1949년), 일 6회 관측(1950~1953년)의 자료가 축적되어 있다. 또한 일 6회 관측값의 경우, 관측시각이 일정하지 않기 때문에, 분석의 일관성을 위하여 1941년부터 일 4회 관측값(06, 12, 18, 24시)을 사용하였다. 풍속관측값 역시 일관성 유지를 위하여 같은 시간의 자료를 활용하였다.

06, 12, 18, 24시의 기온관측값과 풍속관측값이 고르게 있는 1941년부터 체감온도를 계산하여 분석하였으며, 5월부터 9월까지의 분석대상에서 제외하였다. 또한 아래 기간에는 기온관측값과 풍속관측값 시간이 동일하지 않아, 역시 분석대상에서 제외하였다.

- 12시 : '44년12월 ~ '45년12월, '62년4월 ~ '64년12월
- 18시 : '45년1월 ~ '45년11월, '62년4월 ~ '64년12월
- 24시 : '44년4월 ~ '45년12월, '48년4월 ~ '48년12월, '62년4월 ~ '64년12월

각 시간대별 변화경향은 모두 일반적으로 상승하는 경향을 보이고 있다. 전체적으로는 10년동안 약 0.37 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 상승경향을 보이고 있으며(그림 2.19), 시간

별로는 6시 0.42°C/10년, 12시 0.42°C/10년, 18시 0.34°C/10년, 24시 0.33°C/10년의 비율로 상승하는 경향을 보이고 있다(그림 2.20). 체감온도는 기본적으로 기온과 풍속의 함수인데, 앞에서 서술했듯이 기온의 상승과 더불어 풍속의 완만한 감소로 체감온도의 상승이 잘 설명된다.

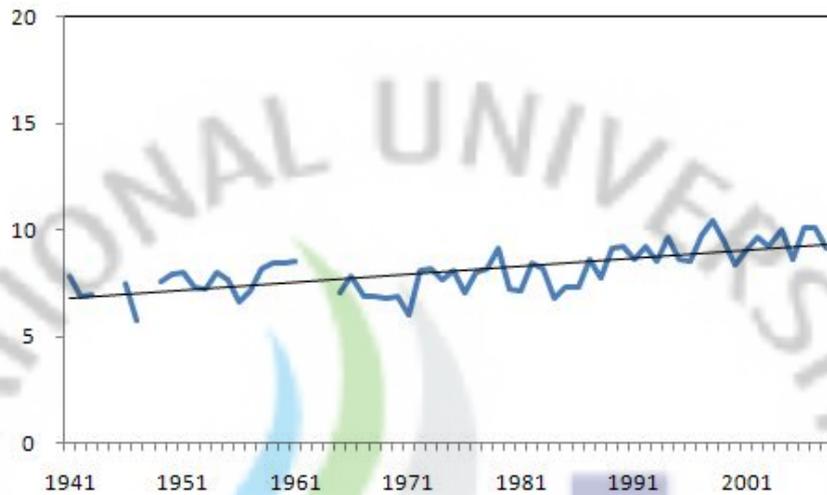


그림 2.19 제주시 체감온도 변화(1941~2008년)

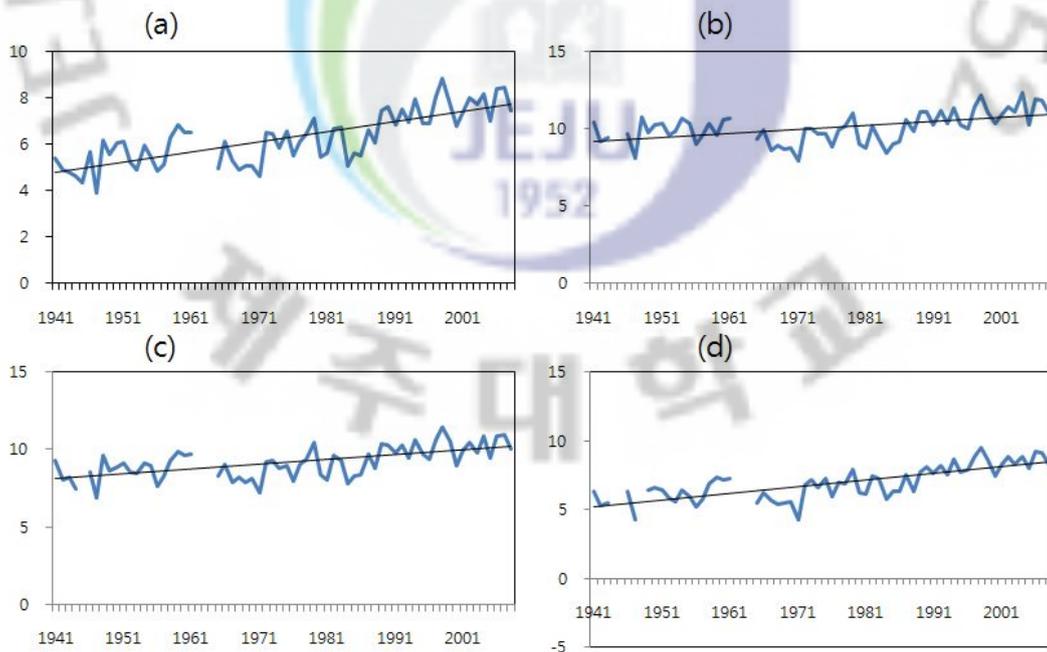


그림 2.20 제주시 시간별 체감온도 변화(1941~2008년) : (a)06시 (b)12시 (c)18시 (d)24시

2.1.5. 상대습도

상대습도는 현재의 수증기량과 현재 온도에서의 포화수증기량의 비로 나타낸다. 신체에 유해한 각종 세균은 습도와 온도가 높은 환경에서 번식이 왕성하므로 상대습도는 일상생활 중 보건과 밀접하게 관련되어 있다(질병관리본부, 2008). 표 2.2는 계절별 연평균 상대습도의 변화율을 나타낸 것이다. 1924~2008년 동안의 제주시 연평균 상대습도는 72.4%이며 지난 85년 동안 0.6%/10yr의 비율로 감소하였다(그림 2.21(a)).

계절별 상대습도를 살펴보면, 여름철은 79.7%로 가장 높고 겨울철은 67.6%로 가장 낮다. 봄과 가을은 각각 70.8%, 71.7%를 보이고 있다. 타 지역과 달리 여름철 습도가 현저하게 높지 않고 계절간 차이가 크지 않은 것은 사면이 바다로 둘러 싸여 있는 섬지역의 특성으로 해석된다.

계절별로 상대습도의 감소폭은 봄철이 약 0.8%/10yr로 가장 심하다. 여름철은 0.49%/10yr의 비율로 가장 감소폭이 작다. 가을과 겨울은 각각 0.66%/10yr, 0.53%/10yr의 폭으로 감소했다.

표 2.2 제주시 계절별 평균 상대습도와 변화율(1924~2008년)

계절 \ 상대습도	봄	여름	가을	겨울	연평균
평균(%)	70.8	79.7	71.7	67.6	72.4
변화율(%/10yr)	-0.8	-0.5	-0.07	-0.5	-0.6

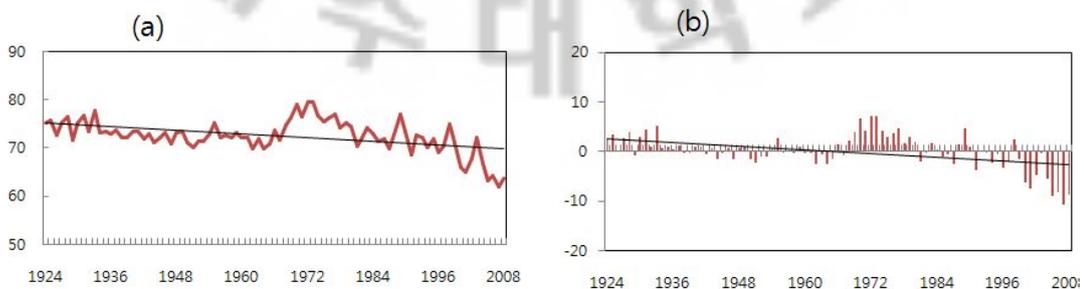


그림 2.21 제주시 (a)평균 상대습도의 시계열 변화경향 및 (b)편차(1924~2008년)

2.2. 현상일수 및 계절의 변화

2.2.1. 안개일수

안개는 시정을 저하시켜 도로 사고를 유발시키며 일조량이 줄어들어 농작물과 식물의 성장을 제한할 뿐 아니라 호흡기 질환 등 건강에도 미치는 영향이 크다. 안개는 미세한 물방울이 대기 중에 떠있는 현상으로 수평시정이 1km 미만인 날을 안개일로 정의한다. 한편 수평시정이 1km 이상 10km 미만일 경우는 박무로 정의한다. 안개일수는 1960년 이후 실제 관측이 이루어졌으나 자료의 신뢰도를 높이기 위하여 여기서는 1970년부터 2008년까지 39년의 자료를 이용하고자 한다.

지난 39년 동안 안개일수 평균은 14.9일을 보이고 있으며 0.8일/10년의 비율로 증가하고 있다. 처음 10년(1970~1979년)은 140일(연평균 14일)이었으나 마지막 10년은 169일(연평균 16.9일)로 평균 2.9일 늘어났다.

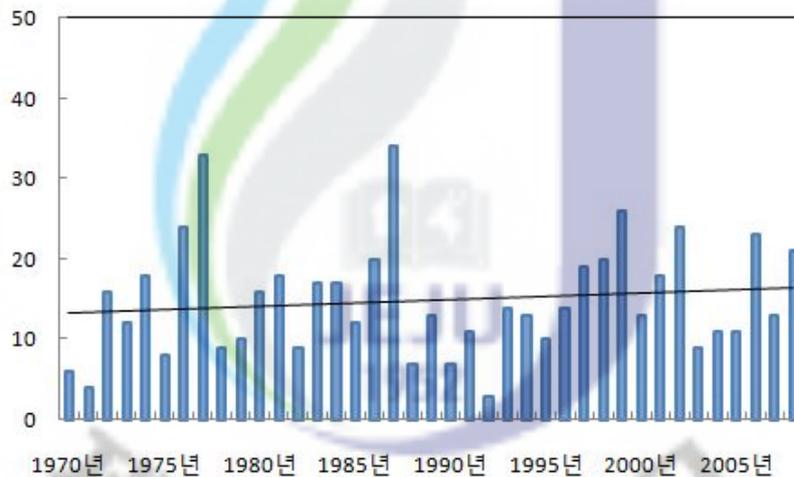


그림 2.22 제주시 안개일수의 변화(1970~2008년)

표 2.3 제주시 계절별 평균 안개일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
안개일수					
평균(일)	6.0	7.9	0.7	0.3	14.9
변화율(일/10yr)	+0.5	+0.2	+0.2	-0.08	+0.8

2.2.2. 서리일수

서리는 대기 중의 수증기가 지면 또는 지물의 표면이나 설면 등에 승화해서 생기는 얼음의 결정을 말하며, 지표면이 냉각될 때 온도가 0℃ 이하에서 생긴다. 서리가 내린 날의 수를 서리일수라 정의하며, 제주시의 서리일수는 1970년부터 2008년까지 39년 동안의 자료를 분석하였다.

그림 2.23 제주시의 연서리일수 변화율을 보여주고 있다. 39년 동안 연 서리일수는 8.6일이며, 3.0일/10년의 비율로 감소하는 경향을 보이고 있다. 제주시의 서리일수는 1989년 이후로 급격히 감소하여 현재까지 지속적인 감소세를 보이고 있다. 처음 10년(1970~1979년)의 서리일수 총합은 106일(연평균 10.6일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 서리일수 총합은 36일(연평균 3.6일)에 불과해 66% 감소하였다.

겨울철 서리일수는 평균 6.6일로 가장 많고, 봄 1.4일, 가을 0.3일이며, 여름철에는 서리가 없다(표 2.4). 여름철을 제외한 전 계절에서 서리일수는 감소하고 있으며, 이러한 서리일수의 전반적인 감소는 전반적인 최저기온 상승과 유관한 것으로 보인다.

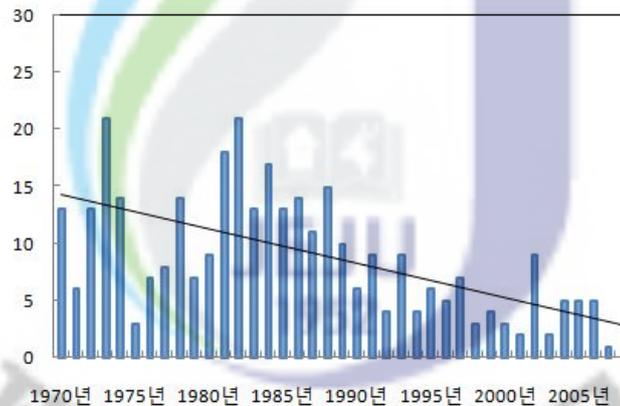


그림 2.23 제주시 서리일수의 변화(1970~2008년)

표 2.4 제주시 계절별 평균 서리일수와 변화율(1970~2008년)

서리일수 \ 계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
평균(일)	1.4	-	0.3	6.6	8.6
변화율(일/10yr)	-0.7	-	-0.3	-2.0	-3.0

2.2.3. 뇌전일수

자연대기 중에서는 상승기류에 의하여 적란운이 형성되어 비가 올 때 구름 내부에서 심한 전하분리가 일어나 대규모의 불꽃방전을 일으키는 경우가 있다. 이 현상을 뇌전이라 하며, 번개와 천둥을 통틀어 말한다. 제주시의 지난 39년 동안 연 뇌전일수는 15.4일이며, 3.7일/10년의 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 2.24). 처음 10년(1970~1979년)의 뇌전일수 총합은 111일(연평균 11.1일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 뇌전일수 총합은 218일(연평균 21.8일)로, 2배 가까이 증가하였다.

여름철 뇌전일수는 평균 8.8일로 가장 많고 겨울은 1.2일로 가장 적다. 봄과 가을은 각각 2.5일, 2.7일로 비슷한 횟수를 보이고 있다.(표 2.5).

계절별 뇌전일수 증가폭은 여름철이 2.3일/10년으로 가장 높다. 봄, 가을, 겨울은 각각 0.4일/10년, 0.4일/10년, 0.5일/10년의 비슷한 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다.

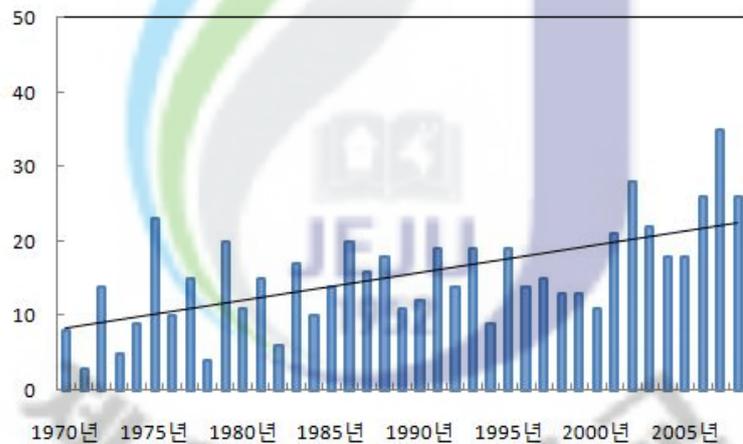


그림 2.24 제주시 뇌전일수의 변화(1970~2008년)

표 2.5 제주시 계절별 평균 뇌전일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
뇌전일수					
평균(일)	2.6	8.8	2.7	1.2	15.4
변화율(일/10yr)	0.4	2.4	0.5	0.5	3.7

2.2.4. 결빙일수

얼음이 언 날의 일수를 결빙일수라 정의한다. 지난 39년 동안 제주시의 연평균 결빙일수는 19.5일이며, 4.6일/10년의 비율로 감소하고 있다(그림 2.25). 처음 10년(1970~1979년)의 결빙일수 총합은 204일(연평균 20.4일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 결빙일수 총합은 125일(연평균 12.5일)로 39% 감소하였다.

겨울철 결빙일수는 평균 17.1일로 가장 많고, 봄 2.0일, 가을 0.08일이며, 여름철에는 결빙일수가 없다(표 2.6). 겨울철 결빙일수는 4.2일/10년의 비율로 큰폭의 감소경향을 보이고 있으며, 이 역시 전반적인 최저기온 상승과 유관한 것으로 보인다.

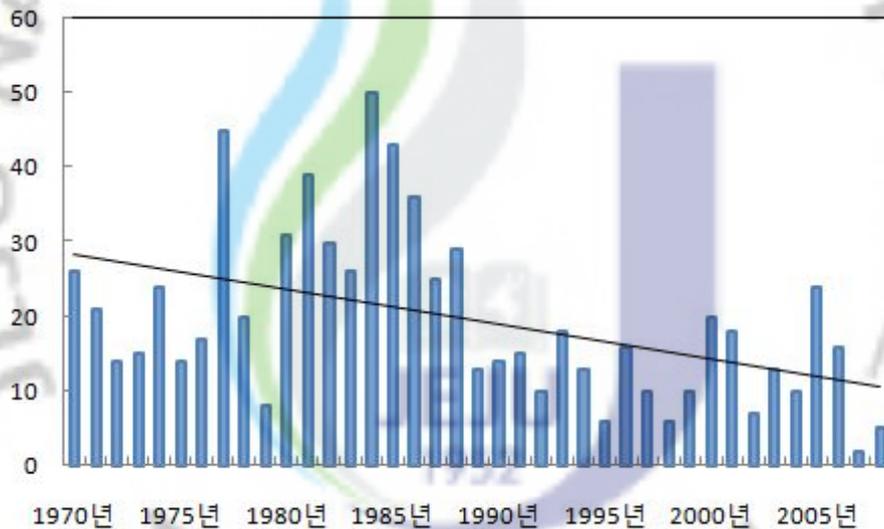


그림 2.25 제주시 결빙일수의 변화(1970~2008년)

표 2.6 제주시 계절별 평균 결빙일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
결빙일수	2.0	-	0.08	17.1	19.5
변화율(일/10yr)	-0.5	-	0.8	-4.2	-4.6

2.2.5. 황사일수

황사는 중국 사막에서 발생하여 한반도로 불어오는 대형 먼지바람이 원인으로 호흡기 및 안질환을 유발하는 등 인체 건강에 악영향을 미칠 뿐 아니라, 환경이나 산업체에도 막대한 피해를 끼친다. 황사일수는 기상관측전문가의 눈으로 확인한 황사현상이 하루 중 한번이라도 관측된 날로 정의한다. 제주시 황사일수 변화 분석을 위해 1970년부터 2008년까지의 39년 자료를 사용하였다.

지난 39년 동안 제주시의 연평균 황사일수는 4.8일이며, 1.3일/10년의 비율로 증가하고 있다(그림 2.26). 처음 10년(1970~1979년)의 황사일수 총합은 39일(연평균 3.9일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 황사일수 총합은 81일(연평균 8.1일)로, 2배 이상 증가했다.

전체 황사일수의 88% 이상이 봄철, 특히 4월에 집중되어 나타난다. 이는 따뜻한 날씨, 건조하고 강한 바람과 같은 기상조건 때문에 모래 먼지가 많이 발생하기 때문이다. 여름철에는 남서풍이 우세하고 황사를 몰고 오는 북서계절풍이 약화되고 강수현상이 많아서 황사가 관측되지 않는다.

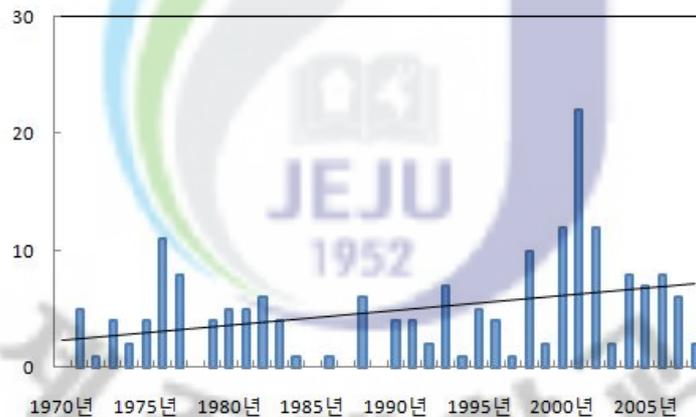


그림 2.26 제주시 황사일수의 변화(1970~2008년)

표 2.7 제주시 계절별 평균 황사일수와 변화율(1970~2008년)

계절 \ 황사일수	봄	여름	가을	겨울	연평균
평균(일)	4.2	-	0.2	0.4	4.8
변화율(일/10yr)	1.2	-	0.1	-	1.3

2.2.6. 자연계절의 변화

기후변화에 의한 계절변화는 일상생활에 가장 민감하게 작용한다. 계절의 시작과 끝 및 그 지속시간을 분석함으로써 기후학적 계절 또는 자연계절의 변화를 비교하여 보았다.

여기서는 계절의 구분이 되는 임계값을 계절 전이와 관련된 연구에서 자주 인용되는 이병설(1979)의 기준을 사용하였다. 이병설(1979)은 여러 기후요소들 중에 기온이 계절 변화를 가장 잘 나타낸다고 하여, 일평균기온, 일최저기온, 일최고기온의 임계값에 따라 계절을 구분하였다. 본 연구에서는 이병설의 일평균기온에 의한 구분(봄:5℃이상, 여름: 20℃ 이상, 가을 : 20℃ 미만, 겨울 : 5℃ 미만)을 사용하여, 1924년~2008년 사이 제주시의 자연계절 변화를 분석하였다.

계절변화를 분석하기 위하여 처음 10년(1924~1933년)과 마지막 10년(1999~2008년)을 비교하여, 각각의 계절 시작일 및 지속기간을 표 2.8에 표시하였다. 줄리안 일자(Julian Day)로 날짜를 표시하여 1월1일을 1일로, 12월31일을 365일로 나타내었으며, 일평균 기온값은 9일 이동평균을 하였다. 1년이 366일이 되는 해는 2월 29일의 자료를 삭제하여 365일로 통일시켰다.

마지막 10년(처음 10년) 기간의 제주도 봄은 2월4일(3월1일), 여름은 6월8일(6월15일), 가을은 10월14일(9월28일)에 각각 시작되었다. 한편, 처음 10년 기간 겨울은 1월21일부터 3월1일까지 39일 동안 이어졌으나, 마지막 10년 기간에는 겨울이 사라졌음을 알 수 있다(표 2.8). 그러나 일별 평균기온 및 10일 이동평균임을 감안할 때 겨울의 특성이 전혀 나타나지 않는 것은 아니며, 혹한일수가 발생할 가능성은 충분히 있다. 각 계절별 지속기간은 마지막 10년(처음 10년) 기간 동안 봄 124일(106일), 여름 128일(105일), 가을 113일(115일) 및 겨울 0일(39일)로 나타났다(그림 2.27).

한편, 마지막 10년 기간 동안 봄과 가을의 구분은 그래프에서 5℃에 가장 가까운 변곡점인 2월4일을 기준으로 하였다.

각 계절별 시작일 변화를 살펴보면, 봄과 여름은 각각 25일, 7일 빨라졌으며, 가을은 16일 늦어졌다.

표 2.8 제주도 계절 시작일의 변화(1924~2008년)

기간 \ 계절	봄	여름	가을	겨울
1924년~1933년(A)	3월 1일	6월 15일	9월 28일	1월 21일
1999년~2008년(B)	2월 4일	6월 8일	10월 14일	-
차이(B-A)	-25일	-7일	16일	-

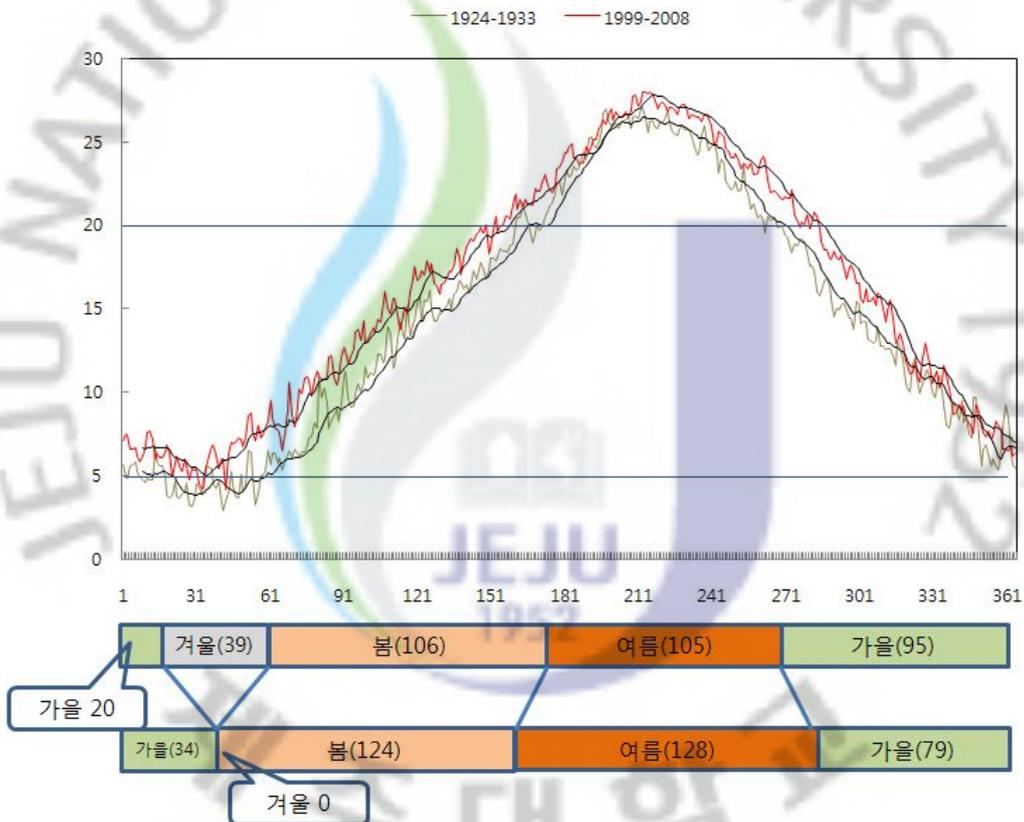


그림 2.27 제주도 자연계절 변화(처음10년 VS 마지막10년)

제 3장 제주도 남부에서의 기후변화 경향

3.1. 기후요소별 변화경향

3.1.1. 기온

서귀포시의 연 평균기온은 1961년 관측을 시작한 이후 2008년까지의 관측자료를 이용한 시계열자료를 그림 3.1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 서귀포시의 연 평균기온은 제주시보다 상승폭이 더 높다. 서귀포시의 연 평균기온은 관측기간 47년 동안 평균 0.38°C/10년 정도 상승하였으며, 1980년 이후 상승폭이 더 커지는 양상을 보이고 있다.

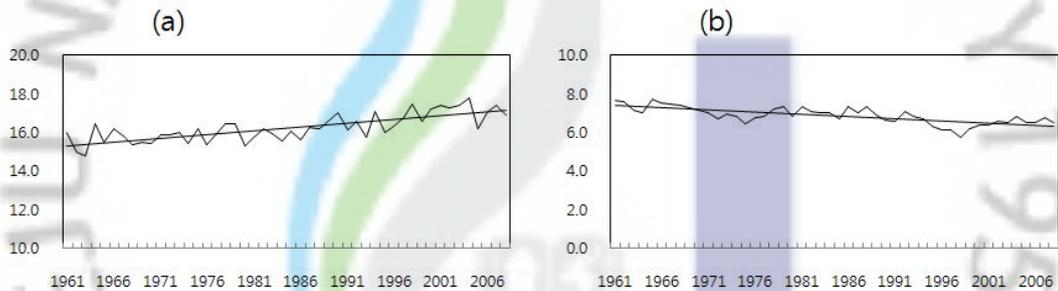


그림 3.1 서귀포 (a)연평균기온 변화 및 (b)일교차 변화(1961~2008년)

그림 3.2에 계절별 평균기온의 변화를 나타내었다. 계절의 구분은 봄을 3~5월, 여름 6~8월, 가을 9~11월, 그리고 겨울을 12월과 그 다음해의 1, 2월로 구분하였다. 연평균기온의 변화경향은 계절에 따라 차이를 보이고 있으며, 계절별 기온의 변화폭과 연 변화 모두 제주시보다 작다. 4계절 모두 제주시보다 큰 폭으로 기온변화가 이어지고 있다. 계절별로는 겨울에 0.5°C/10년으로 기온 상승폭이 가장 컸으며, 다음으로 봄, 가을, 여름 순으로 나타나 겨울과 봄의 기온 증가경향이 두드러지게 나타나고 있다. 한편, 제주시와 동일하게 여름철에 기온변화가 가장 작다. 이러한 결과는 전체적인 기온변화가 최고기온과 평균기온보다 최저기온의 상승효과가 크다는 사실을 뒷받침한다.

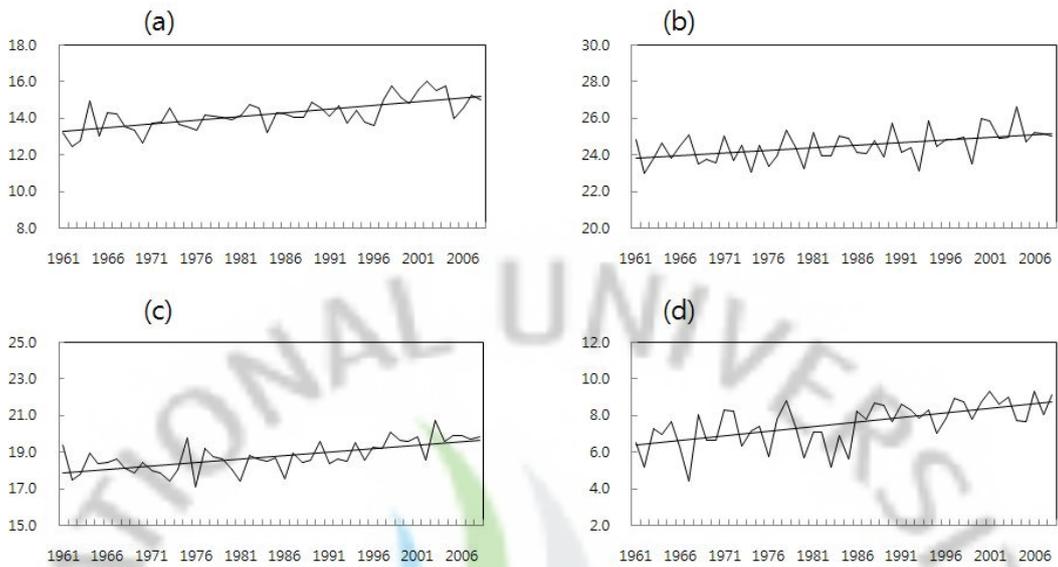


그림 3.2 서귀포 계절별 평균기온의 시계열 및 변화경향(1961~2008) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

일최고기온과 일최저기온에 대해서 연평균한 값을 각각 연평균 최고기온과 연평균 최저기온으로 정의하고 그 변화를 그림 3.3에 나타내었다. 연평균 최고기온의 경우 $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 연평균 최저기온은 $0.57^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 정도의 기온 상승을 보이고 있다. 평균기온의 상승과 비교해서 최고기온의 증가율은 비슷하고 최저기온의 증가율은 크게 나타나고 있어, 역시 최저기온이 최고기온의 상승폭보다 크다. 특히 제주시에 비해 최고기온은 3배, 최저기온은 2배 정도 높다. 최고기온과 최저기온의 계절에 따른 변화를 그림 3.4와 그림 3.5에 나타내었다.

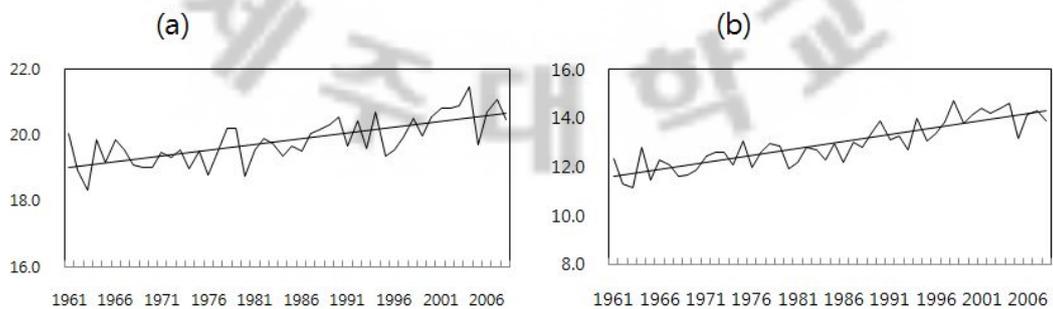


그림 3.3 서귀포 (a)연평균 최고기온 및 (b)연평균 최저기온의 변화경향(1961~2008년)

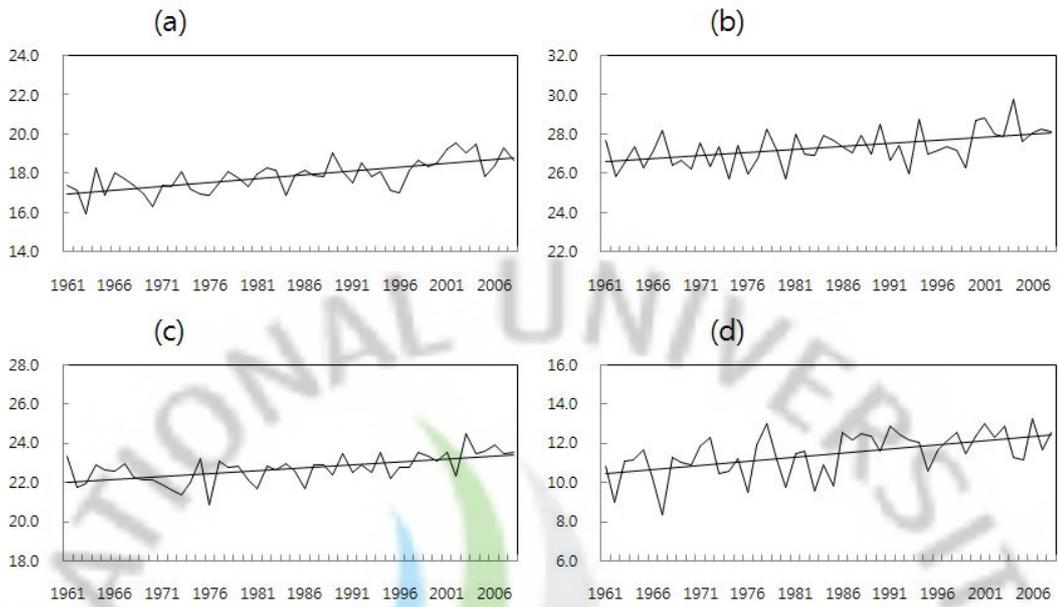


그림 3.4 서귀포 계절 평균 최고기온의 변화경향(1961~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

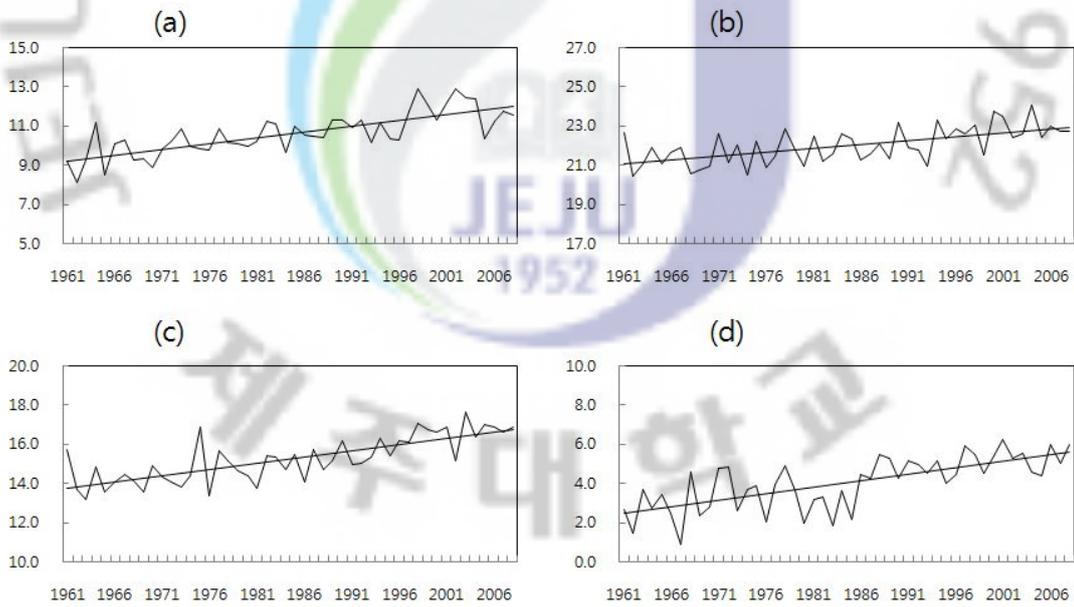


그림 3.5 서귀포 계절 평균 최저기온의 변화경향(1961~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

서귀포시 역시 기온과 관련된 극한지수 변화를 파악하기 위하여 열대일 일수, 열대야 일수, 영하 일수 등의 변화를 분석하였다. 열대일은 일 최고기온이 30℃ 이상인 날로 정의하며, 열대일 일수의 변화를 통하여 여름철 최고기온의 변화 특성을 파악할 수 있다. 서귀포시의 평균 열대일 일수는 27.4일으로써, 제주시보다 4일이 적다. 지난 48년 동안 3.0일/10년의 비율로 증가하였다(그림 3.6). 처음 10년(1961~1970년) 기간 열대일 일수는 26일이며 마지막 10년(1999~2008년) 기간 열대일 일수는 36일로, 40% 증가하였다. 열대일 일수의 변화를 보면 1964년에 61일, 1990년 58일, 1994년 57일 등으로 빈도가 높다. 반면, 1928년과 1941년 8일, 1993년 9일 등은 빈도가 낮다.

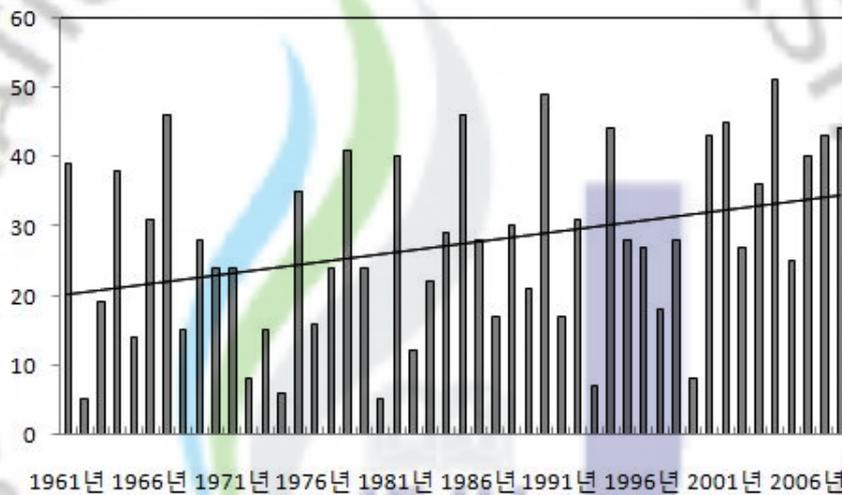


그림 3.6 서귀포 열대일 일수(1961~2008년)

열대야 일은 일 최저기온이 25℃ 이상인 날로 정의한다. 지난 48년간 열대야 일수의 평균은 21.6일이며, 8월에 가장 많은 빈도를 보이고 있다. 증가율은 3.1일/10년의 큰 폭으로 증가하고 있으며, 특히 최근 10년간(1999~2008년) 열대야 일수는 28.7일로, 처음 10년간(1961~1970년)의 18.3일에 비해 60% 증가하였다.

열대야 일수의 변화를 보면, 2004년에 47일로 가장 많고, 1994년 및 2004년 모두 42일로 다음순위를 보인다. 열대야 일수가 가장 적은 해는 1993년으로써, 2일이다. 7월의 평균 열대야 일수는 평균 8.3일, 8월은 12일로 8월에 뚜렷하게 많은 열대야 일수가 나타나고 있다.

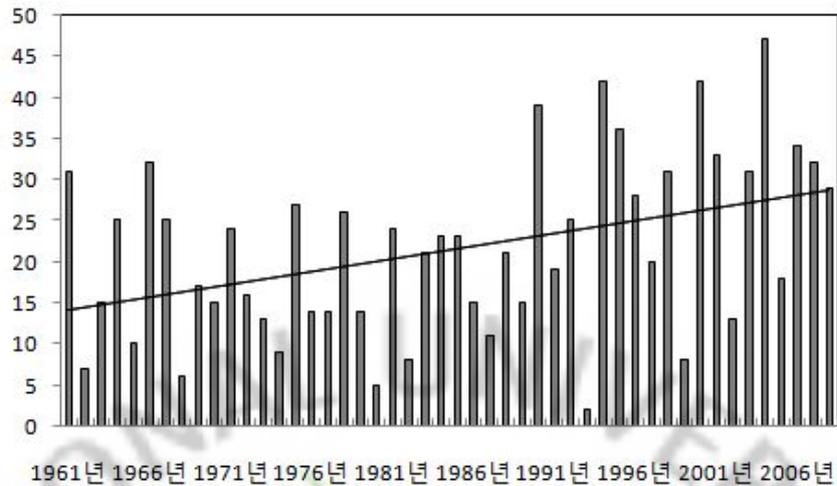


그림 3.7 서귀포 열대야 일수(1961~2008년)

영하일은 일 최저기온이 0°C 이하인 날로 정의하며, 영하 일수의 변화를 통하여 겨울철 최저기온의 변화 특성을 이해할 수 있다. 서귀포시의 평균 영하일수는 13.9일이며, 지난 48년 동안 4.7일/10년의 비율로 감소하였다. 서귀포시의 영하일수는 1963년 36일로 가장 많았으며, 1980년 초반까지 영하일수가 30일을 초과하는 해가 존재하였다(그림 3.8). 그러나 1990년대 초반부터 3년을 제외하고 영하일수는 한자리 수를 유지하였다. 처음 10년(1961~1970년) 영하일수는 24.5일이었으나, 마지막 10년(1999~2008년) 영하일수는 6.7일로써, 73% 감소하였다.

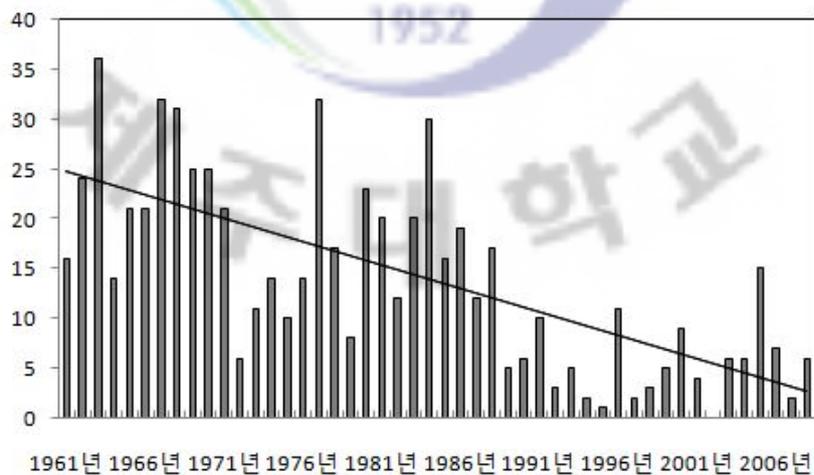


그림 3.8 서귀포 영하 일수(1961~2008년)

3.1.2. 강수

지난 48년간(1961~2008년) 동안의 서귀포시의 연강수량 평균은 1823.6mm이다(표 3.1 참조). 처음 10년 기간(1924~1933년)의 연강수량은 1707.6mm이고, 마지막 10년 기간(1999~2008년)의 연강수량은 1927.3mm로, 219.7mm 증가하였다. 지난 48년 동안 60.1mm/10년의 비율로 증가하는 경향을 보였다(그림 3.9 (a)). 그림 3.9(b)의 분석기간 중 연강수량 편차에서 볼 수 있듯이 연강수량이 가장 많았던 해는 1985년으로 3244.3mm를 기록했으며, 가장 적었던 해는 1984년으로 1145.8mm를 기록하였다.

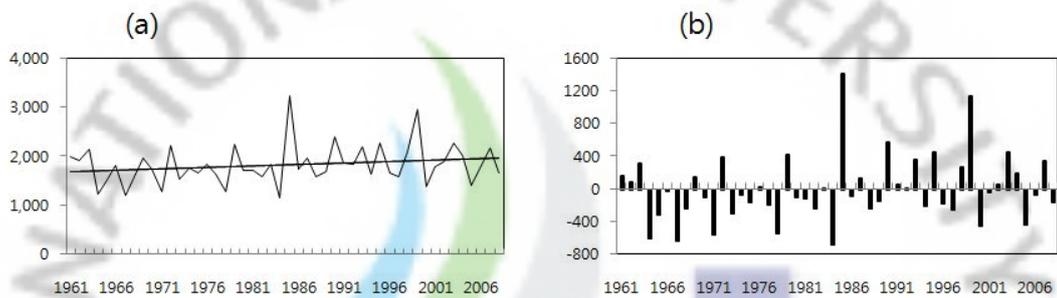


그림 3.9 서귀포 연강수량의 (a)시계열 변화 및 (b)편차 (1961~2008년)

계절별로는 여름철의 평균 강수량이 630.5mm로 가장 많았으며, 겨울철이 187.7mm로 가장 적었다. 지난 48년 동안의 계절간 변화를 보면, 여름철과 봄철에 각각 15.5mm/10년, 7.2mm/10년으로 증가하는 경향을 보였으며, 특히 여름철은 전 계절 중 강수량 증가 경향이 가장 크다. 반면 가을과 겨울은 각각 3.7mm/10년, 1.9mm/10년의 비율로 감소하는 경향을 보였다. 그림 3.10에서 계절별 강수량 변화를 보여주고 있다.

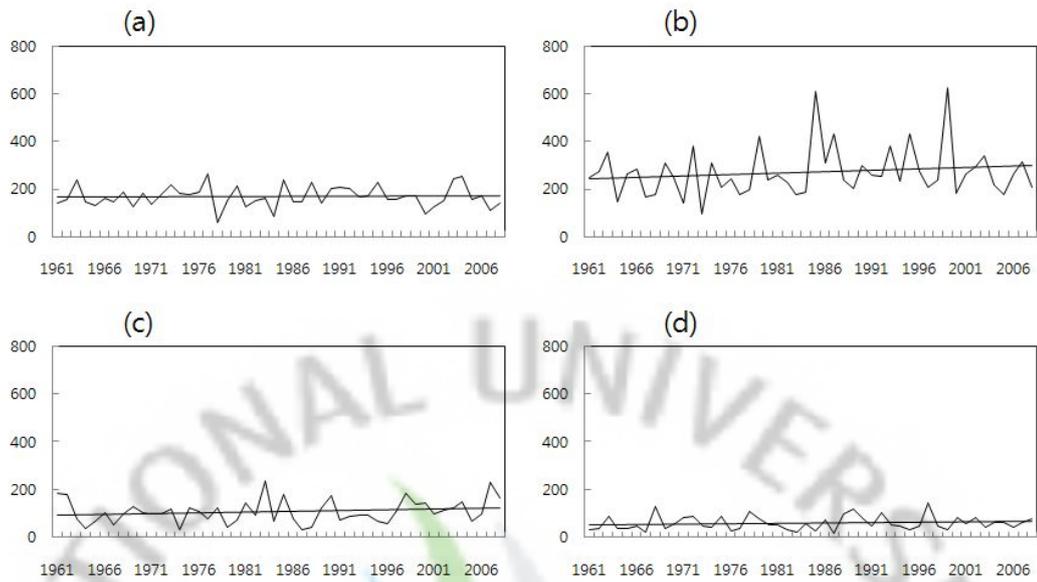


그림 3.10 서귀포 계절별 강수량의 변화(1961~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

표 3.1 서귀포 계절별 강수량, 강수일수, 강수강도(1961~2008)

계절	봄		여름		가을		겨울		연평균	
	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율	평균	변화율
강수량 (mm, mm/10yr)	169.1	0.7	270.1	11.8	108.3	6.5	60.32	2.4	182.36	60.1
강수일수 (day, 일/10년)	32.2	-0.2	41.8	+0.4	24.6	-0.9	28.5	0.0	127.1	-0.9
강수강도 (mm/일, mm/일 ^{10yr} ⁻¹)	15.8	+0.2	19.2	+0.6	12.2	+1.2	6.3	+0.3	13.4	+0.6

1961~2008년 동안 서귀포시의 연강수일수는 127.1일이다. 지난 48년간 강수일수는 0.9일/10년의 비율로 감소하였다. 그림 3.11(b)에서는 전체 평균에 대한 연강수일수 편차의 변화율을 보여주고 있다. 전반기에는 주로 양의 편차가 우세하고, 후반기에는 음의 편차가 우세하지만, 2000년대 들어 다시 양의 편차가 우세하게 관측되고 있다.

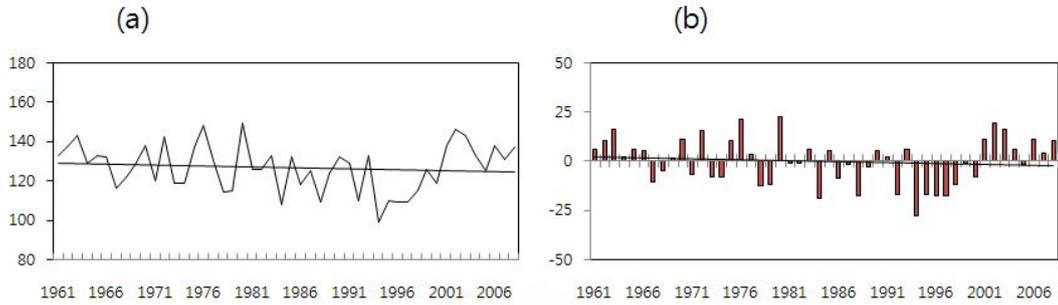


그림 3.11 서귀포 (a)강수일수 및 (b)편차(1961~2008년)

계절별 강수일수를 살펴보면, 봄·여름·가을·겨울이 각각 32.2일, 41.8일, 24.6일, 28.5일로써, 여름철 강수일이 많고, 가을철이 상대적으로 적다. 강수일수 변화율은 여름은 0.4일/10yr의 비율로 증가하고 있으나 봄과 가을은 각각 0.2일/10yr 및 0.9일/10yr의 비율로, 특히 가을철의 감소폭이 크다. 반면, 겨울철은 강수일수의 변동이 거의 없다(그림 3.12).

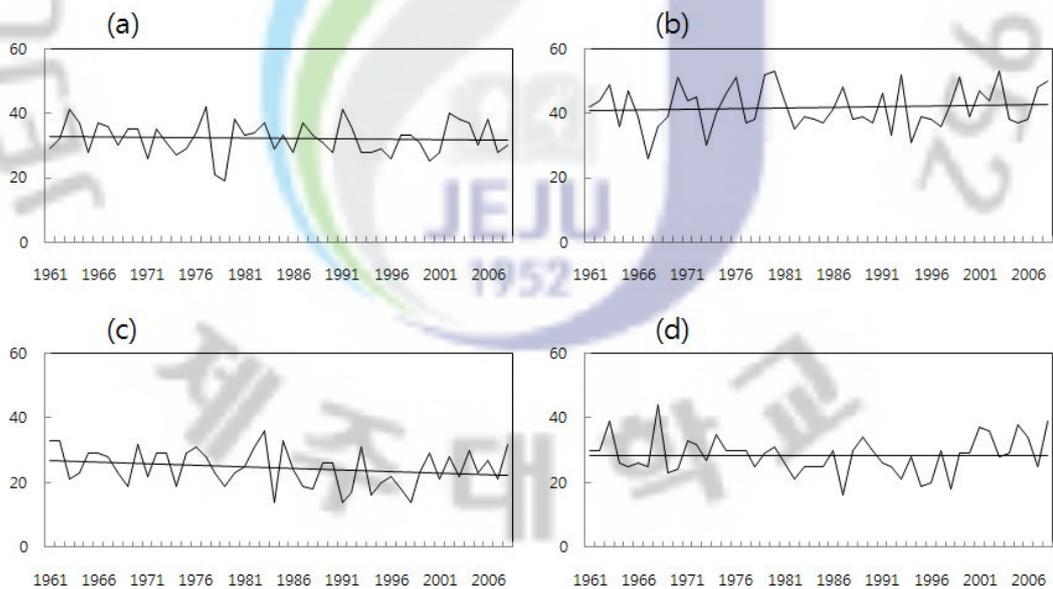


그림 3.12 서귀포 계절별 강수일수(1961~2008년) : (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

지난 1961~2008년 동안 서귀포시의 연강수량은 14.3mm/일이며, 10년당 0.44mm/일의 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 3.13). 계절별 강수량은 여름철에 19.2mm/일로 가장 크며 겨울철이 6.3mm/일로 가장 작다. 전 계절적으로 강수량은 증가 경향을 보이고 있으며, 가을철의 비율이 가장 크다($1.2\text{mm일}^{-1}10\text{yr}^{-1}$). 한편 여름, 겨울, 봄철이 각각 $0.6\text{mm일}^{-1}10\text{yr}^{-1}$, $0.3\text{mm일}^{-1}10\text{yr}^{-1}$ 및 $0.2\text{mm일}^{-1}10\text{yr}^{-1}$ 의 비율로 그 뒤를 잇고 있다. 강수량이 가장 큰 해는 제주시와 마찬가지로, 1985년 24.3mm/일이고, 가장 작은 해는 1964년으로 8.74mm/일이다. 연강수량 편차의 변화 경향은 제주시와 거의 동일하다. 강수일수와 반대로 전반기에는 주로 음의 편차가 우세하고 후반기에는 양의 편차가 우세하다. 처음 10년(1961~1970년)의 강수량은 12.0mm/일이며, 마지막 10년(1999~2008년)의 강수량은 13.5mm/일로, 약 9%가 증가하였다.

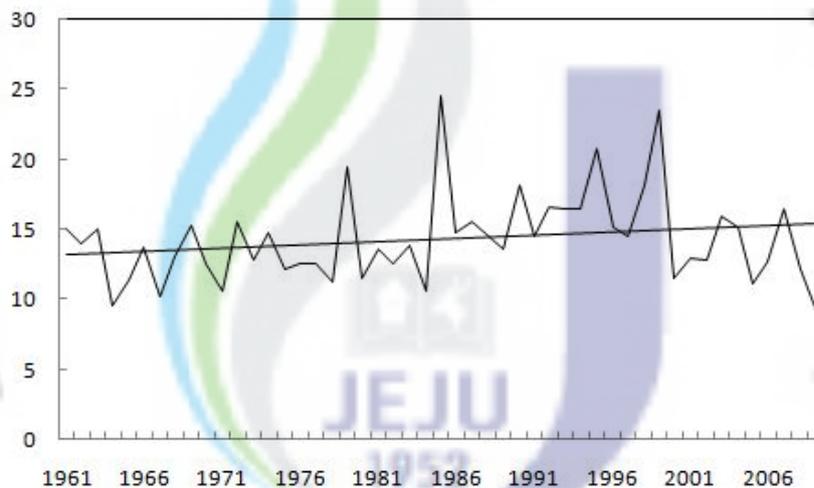


그림 3.13 서귀포 강수량 변화(1961~2008년)

지난 48년 동안 서귀포시 80mm 이상 연호우일수는 평균 2.1일이며(그림 3.14), 지난 48년 동안에 0.3일/10yr의 비율로 호우일수가 증가하고 있다. 또한 10년 이동합 평균값을 보면 70년대 이후에는 감소하다가 1980년대 중반부터 집중호우의 빈도가 높아지고 있음을 알 수 있다. 서귀포시 80mm 이상 호우일수는 처음 10년에는 33일(연평균 3.3일), 마지막 10년에는 42일(연평균 4.2일)로 0.9일이 증가하였다.

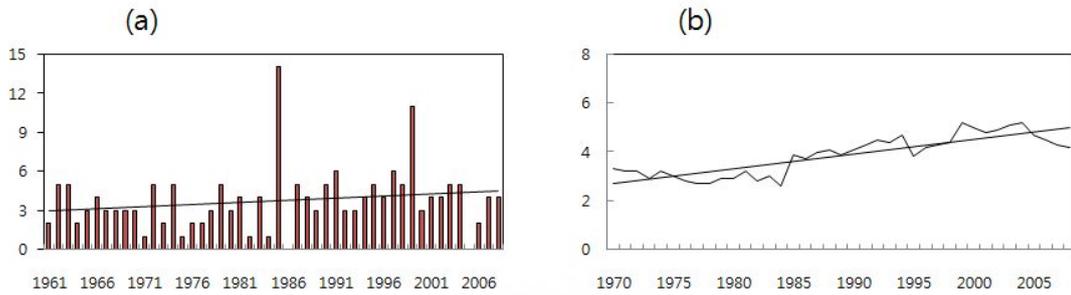


그림 3.14 서귀포 (a)80mm 이상 호우일수 변화 및 (b)10년 이동평균 (1961~2008년)

서귀포시의 1961~2008년 동안의 150mm 이상 호우일수는 총 30일(연평균 0.6일)이다. 처음 10년 기간(1961~1933년)과 마지막 10년 기간(1999~2008년)의 150mm 이상 호우일수는 각각 연평균 0.2일과 연평균 0.9일로 4배 이상 증가하였다(그림 3.15).

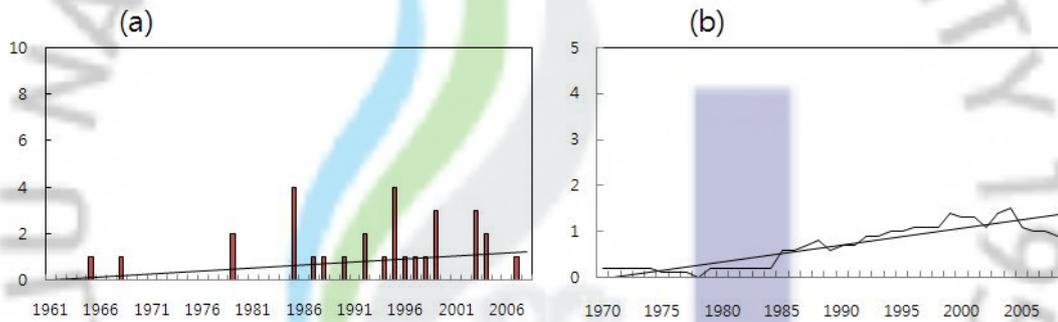


그림 3.15 서귀포 (a)150mm 이상 호우일수 변화 및 (b)10년 이동평균 (1961~2008년)

그림 3.16은 서귀포의 기온과 강수량의 월변화를 나타낸 것으로 월평균기온은 1월이 가장 낮고 8월이 가장 높게 나타나고 있다.

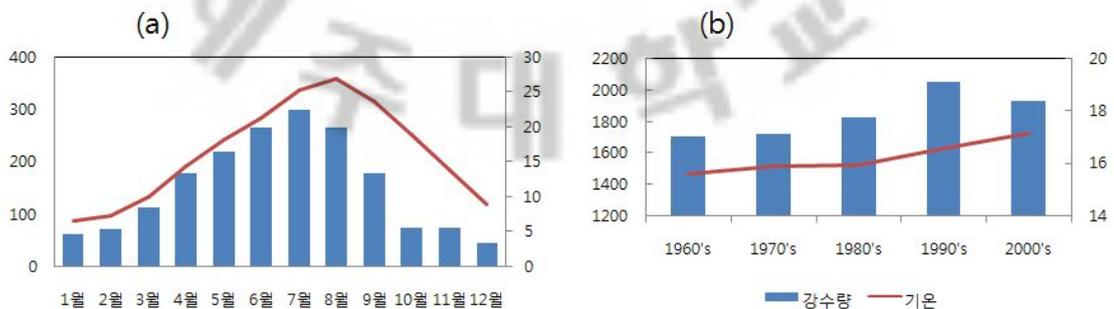


그림 3.16 서귀포 (a)월평균기온과 월강수량의 연변화 및 (b)연대별 평균기온과 강수량 변화추이(1960's ~ 2000's)

3.1.3. 바람

그림 3.17과 그림 3.18에서 볼 수 있듯이 서귀포에서의 분석기간 동안 평균풍속 감소율은 $0.24\text{m/s}/10\text{yr}$ 이며, 최대풍속의 감소율은 $0.48\text{m/s}/10\text{yr}$ 로써, 제주시에 비해 평균풍속 감소율은 비슷하고 최대풍속 감소율은 큰 편이다.

시간에 따른 평균풍속 감소율은 일정한 편이지만 최대풍속 감소율은 최근 20년 사이 변동폭이 다소 있으며, 최대풍속의 감소율이 평균풍속에 비해 2배 크다.

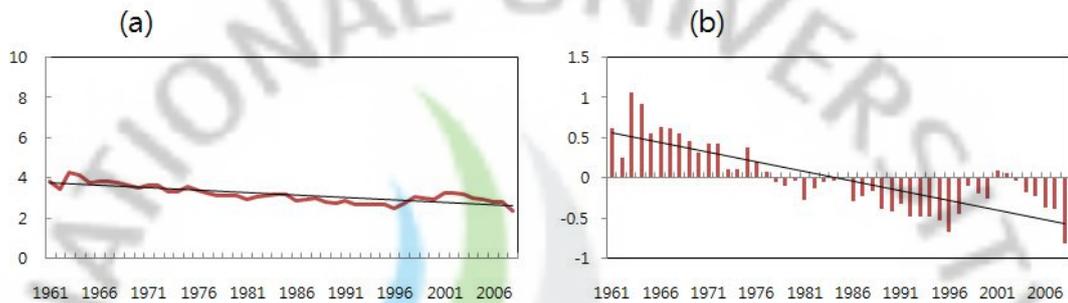


그림 3.17 서귀포 (a)연 평균풍속의 시계열 변화경향 및 (b)편차(1961~2008)

평균풍속의 전체 평균에 대한 편차(그림 3.17(b))에서, 관측 초기에서부터 16년간(1961~1977년)은 양의 분포를 보였고, 이후 32년간은 음의 편차를 보여 평균풍속의 감소 경향이 뚜렷해지고 있음을 보여주고 있다.

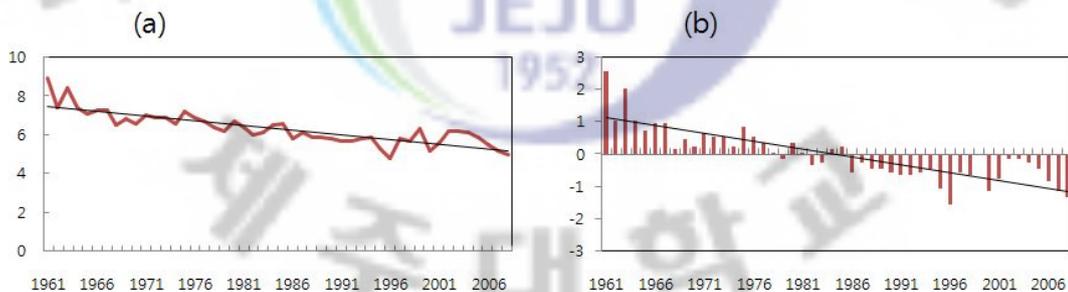


그림 3.18 서귀포 (a)연 최대풍속의 시계열 변화경향 및 (b)편차(1961~2008)

최대풍속의 전체 평균에 대한 편차(그림 3.18(b))에서, 관측 초기에서부터 전반까지(1961~1985년) 양의 분포를 보였으며, 나머지 후반에는 음의 편차를 보이고 있다.

3.1.4. 체감온도

서귀포에서는 1961년부터 1972년까지 기온관측값과 풍속관측값 시간이 동일하지 않아, 1973년부터의 자료를 분석하였다. 제주와 마찬가지로 기온 및 풍속관측값의 4회 관측값(06, 12, 18, 24시)을 사용하였다. 풍속관측값 역시 일관성 유지를 위하여 같은 시간의 자료를 활용하였다.

아래 기간에는 기온관측값과 풍속관측값 시간이 동일하지 않아, 역시 분석대상에서 제외하였다.

- 06시 : '62년4월 ~ '62년12월
- 12·18·24시 : '61년1월 ~ '62년12월, '63년2월 ~ '63년3월, '67년1월 ~ '72년12월

각 시간대별 변화경향은 제주와 마찬가지로 모두 일반적으로 상승하는 경향을 보이고 있다. 전체적으로는 약 $0.69^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하고 있으며(그림 3.19), 시간별로는 6시 $0.80^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 12시 $0.58^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 18시 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, 24시 $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 상승하는 경향을 보이고 있다(그림 3.20).

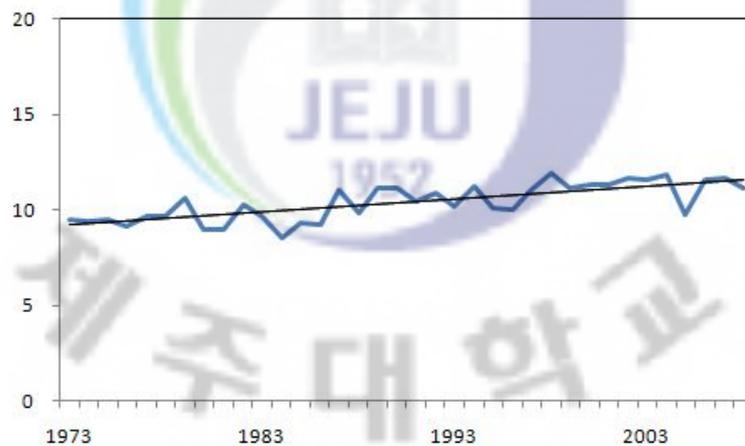


그림 3.19 서귀포 체감온도 변화(1973~2008년)

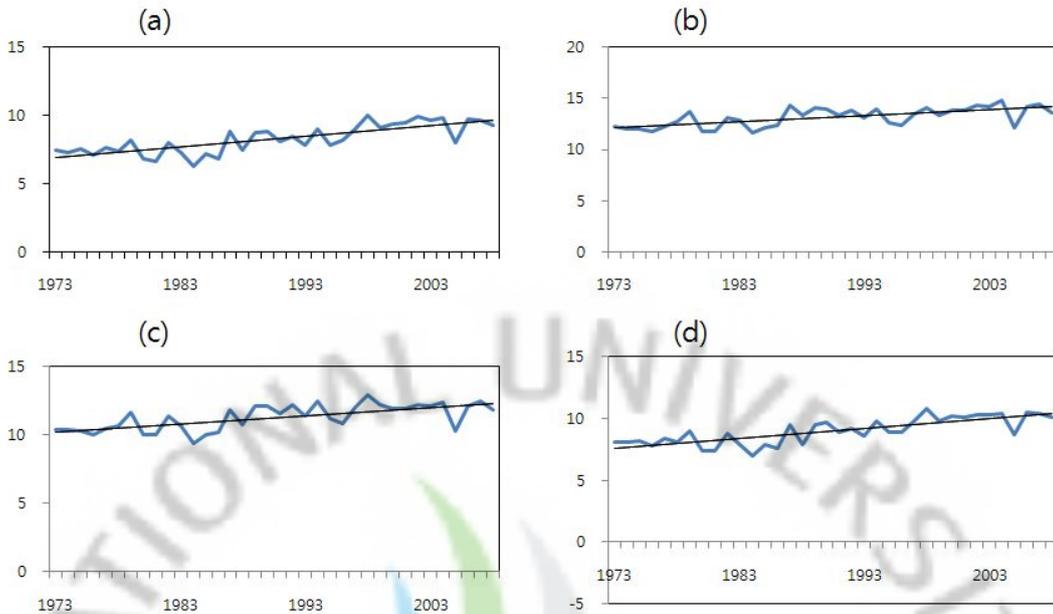


그림 3.20 서귀포 시간별 체감온도 변화(1973~2008년) : (a)06시 (b)12시 (c)18시 (d)24시

3.1.5. 상대습도

표 3.2는 계절별 연평균 상대습도의 변화율을 나타낸 것이다. 1961~2008년 동안의 서귀포시 연평균 상대습도는 70.5%이며 지난 48년 동안 1.5%/10yr의 비율로 감소하였다(그림 3.21(a)). 서귀포시의 상대습도 감소율은 제주시의 감소율의 두 배에 가깝다.

계절별 상대습도를 살펴보면, 여름철은 21.9%로 가장 높고 겨울철은 64.1%로 가장 낮다. 봄과 가을은 각각 67.9%, 68.1%를 보이고 있다.

계절별로 상대습도의 감소폭은 봄철이 약 2.0%/10yr로 가장 심하다. 여름철은 1.2%/10yr의 비율로 가장 감소폭이 작다. 가을과 겨울은 각각 1.2%/10yr, 1.5%/10yr의 폭으로 감소했다.

표 3.2 서귀포 계절별 평균 상대습도와 변화율(1961~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
상대습도					
평균(%)	67.9	81.9	68.1	64.1	70.5
변화율(%/10yr)	-2.0	-1.2	-1.2	-1.5	-1.5

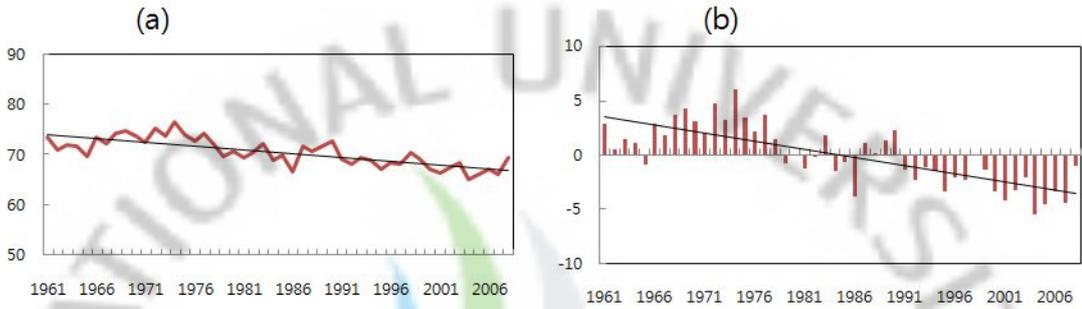
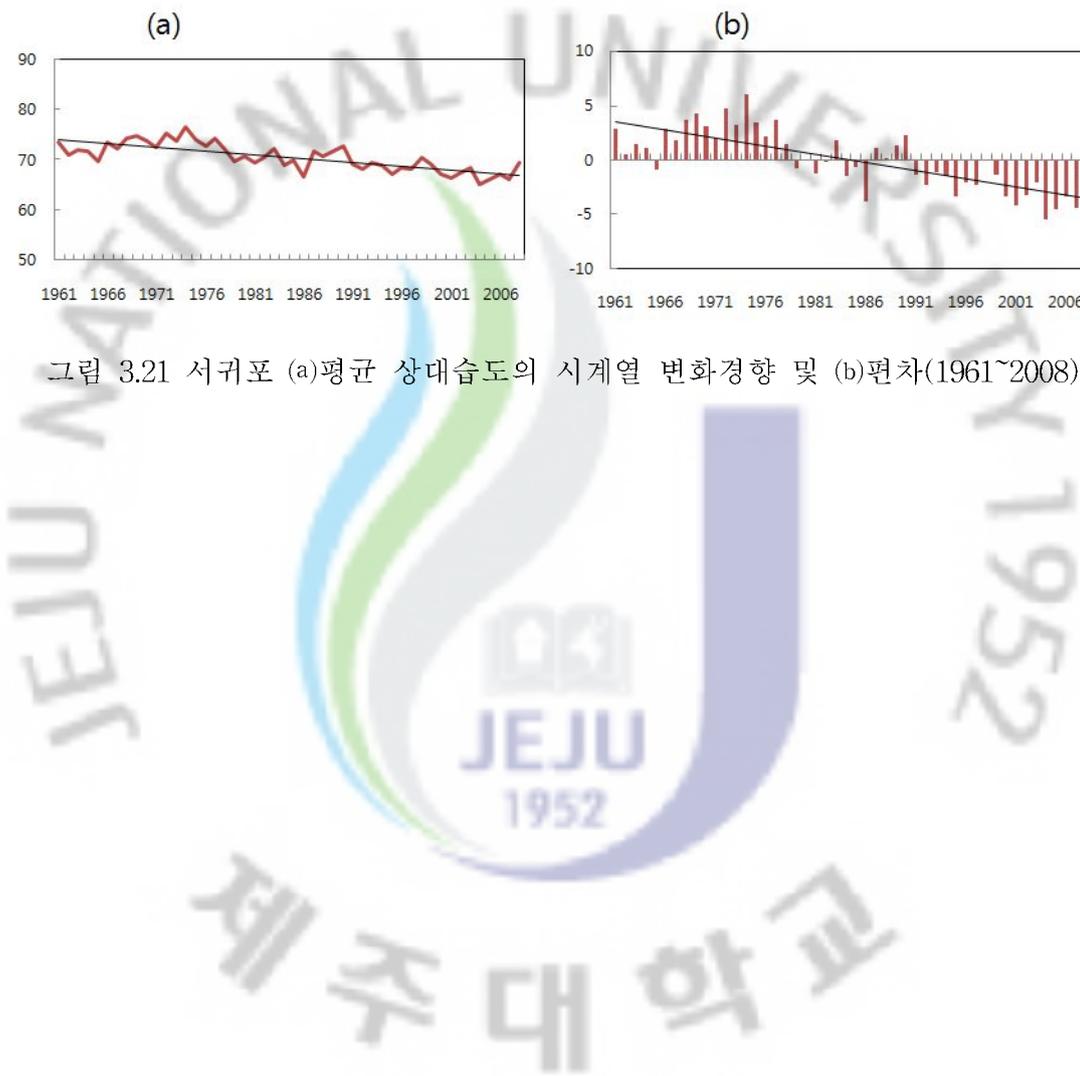


그림 3.21 서귀포 (a)평균 상대습도의 시계열 변화경향 및 (b)편차(1961~2008)



3.2. 현상일수 및 계절의 변화

3.2.1. 안개일수

서귀포시의 안개일수 역시 자료의 신뢰도를 위해 1970년부터 2008년까지 39년의 자료를 이용하였다.

지난 39년 동안 안개일수 평균은 19.4일을 보이고 있으며 1.5일/10년의 비율로 증가하고 있다. 처음 10년(1970~1979년)은 179일(연평균 17.9일)이었으나 마지막 10년은 215일(연평균 21.5일)로 평균 3.6일 늘어났다.

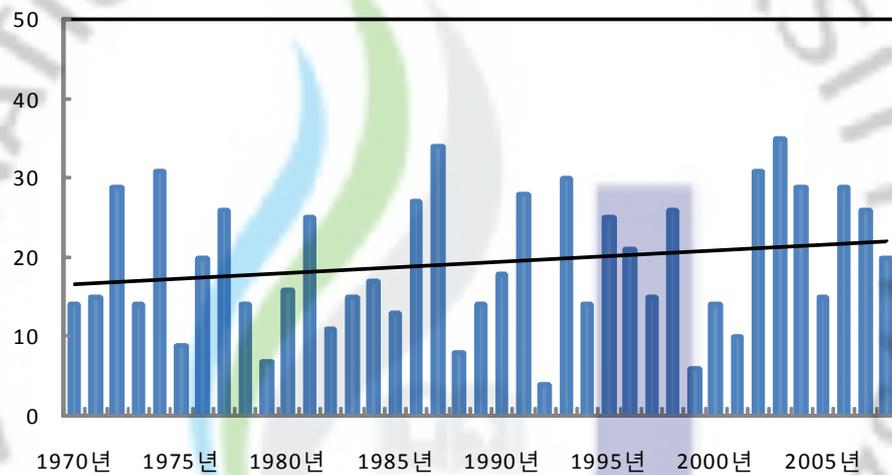


그림 3.22 서귀포 안개일수의 변화(1970~2008년)

표 3.3 서귀포 계절별 평균 안개일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
안개일수					
평균(일)	6.2	12.8	0.3	0.1	19.4
변화율(일/10yr)	+1.0	+0.7	-0.2	+0.01	+1.5

3.2.2. 서리일수

서리일수 역시 1970년부터 2008년까지 39년 동안의 자료를 분석하였다.

그림 3.23은 서귀포시의 연 서리일수 변화율을 보여주고 있다. 39년 동안 연 서리일수는 4.25일이며, 1.3일/10년의 비율로 감소하는 경향을 보이고 있다. 서귀포시의 서리일수는 1980년대 중반을 지나면서 현저히 줄어들었으며 2001년(9회)을 제외하면 1~4회/1년로써 빈도가 매우 낮다. 처음 10년(1970~1979년)의 서리일수 총합은 54일(연평균 5.4일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 서리일수 총합은 25일(연평균 2.5일)에 불과해 무려 54%나 감소하였다.

겨울철 서리일수는 평균 3.2일로 가장 많고, 봄과 가을은 각각 0.1일과 0.07일로 거의 없다(표 3.4). 여름철을 제외한 전 계절에서 서리일수는 감소하고 있으며, 이러한 서리일수의 전반적인 감소는 전반적인 최저기온 상승과 유관한 것으로 보인다.

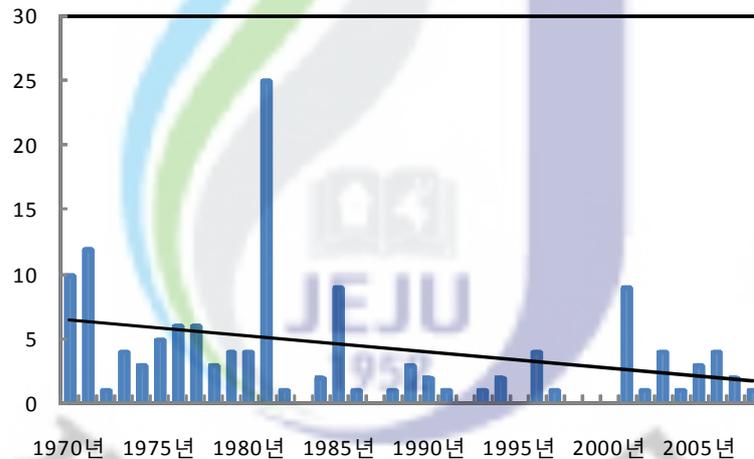


그림 3.23 서귀포 서리일수의 변화(1970~2008년)

표 3.4 서귀포 계절별 평균 서리일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
서리일수	0.1	-	0.1	3.2	3.5
변화율(일/10yr)	-	-	-	-1.3	-1.3

3.2.3. 뇌전일수

서귀포시의 지난 39년 동안 연 뇌전일수는 12.2일이며, 3.6일/10년의 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 3.24). 처음 10년(1970~1979년)의 뇌전일수 총합은 72일(연평균 7.2일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 뇌전일수 총합은 172일(연평균 17.2일)로, 2.4배 증가하였다.

여름철 뇌전일수는 평균 7.1일로 가장 많고 겨울은 0.6일로 가장 적다. 봄과 가을은 각각 2.3일, 2.2일로 비슷한 횟수를 보이고 있다.(표 3.5).

계절별 뇌전일수 증가폭은 여름철이 2.3일/10년으로 가장 크다. 봄, 가을, 겨울은 각각 0.8일/10년, 0.5일/10년, 0.1일/10년의 비슷한 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다.

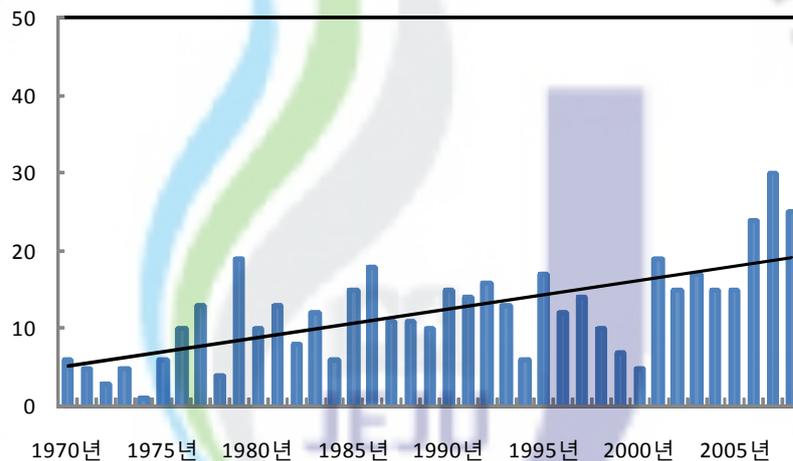


그림 3.24 서귀포 뇌전일수의 변화(1970~2008년)

표 3.5 서귀포 계절별 평균 뇌전일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
뇌전일수					
평균(일)	2.6	8.8	2.7	1.2	15.4
변화율(일/10yr)	0.8	2.3	0.5	0.1	3.6

3.2.4. 결빙일수

지난 39년 동안 서귀포시의 연평균 결빙일수는 24.1일이며, 3.5일/10년의 비율로 감소하고 있다(그림 3.25). 처음 10년(1970~1979년)의 결빙일수 총합은 256일(연평균 25.6일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 결빙일수 총합은 192일(연평균 19.2일)로, 25%가 감소하였다.

겨울철 결빙일수는 평균 21.2일로 대부분을 차지하며, 봄 2.4일, 가을 0.13일이며, 여름철에는 결빙일수가 없다(표 3.6). 결빙일수가 많을 수밖에 없는 겨울철은 2.9일/10년의 비율로 감소하고 있으며, 이 역시 전반적인 최저기온 상승과 관련한 것으로 보인다.

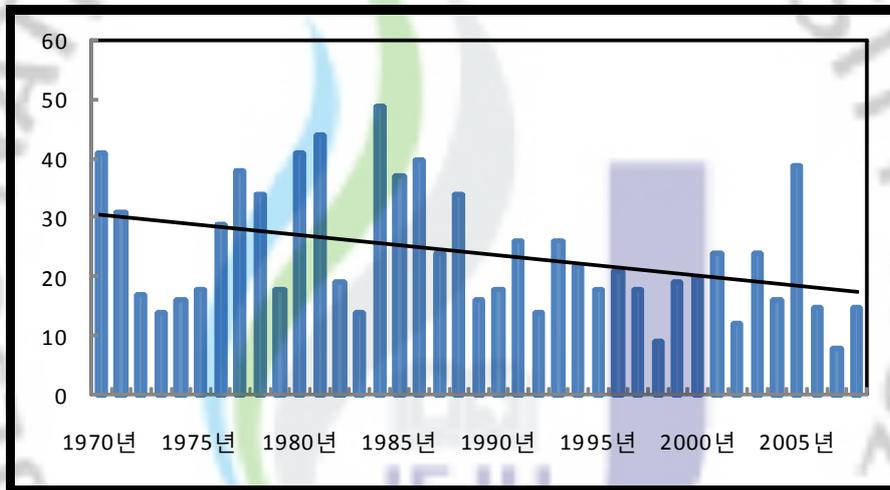


그림 3.25 서귀포 결빙일수의 변화(1970~2008년)

표 3.6 서귀포 계절별 평균 결빙일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
결빙일수					
평균(일)	2.4	-	0.13	21.2	24.1
변화율(일/10yr)	-0.5	-	-0.06	-2.9	-3.5

3.2.5. 황사일수

서귀포시 황사일수는 지난 39년 동안 연평균 4.5일이며, 1.3일/10년의 비율로 증가하고 있다(그림 3.26). 처음 10년(1970~1979년)의 황사일수 총합은 39일(연평균 3.9일)이었으나 마지막 10년(1999~2008년)의 황사일수 총합은 81일(연평균 8.1일)로, 2배 이상 증가했다. 황사일수는 제주시와 거의 동일하였다. 또한 전체 황사일수의 83% 이상이 봄철에 집중되어 나타난다.

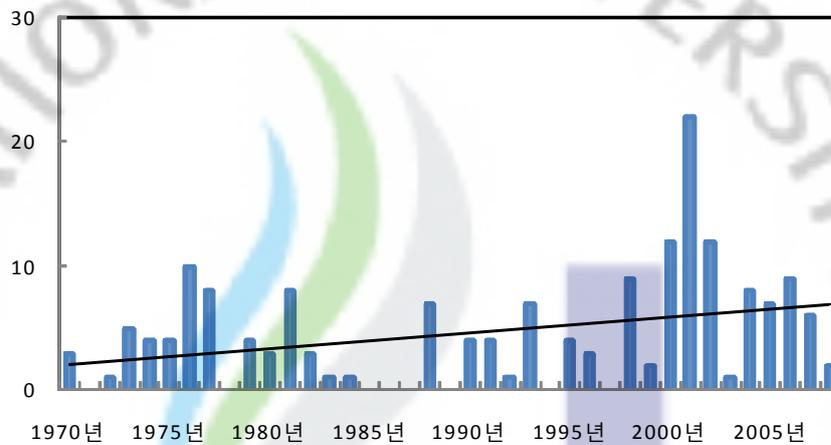


그림 3.26 서귀포 황사일수의 변화(1970~2008년)

표 3.7 서귀포 계절별 평균 황사일수와 변화율(1970~2008년)

계절	봄	여름	가을	겨울	연평균
황사일수	3.7	-	0.2	0.5	4.5
변화율(일/10yr)	1.4	-	0.05	-0.1	1.3

3.2.6. 자연계절의 변화

서귀포시의 경우 역시 계절의 구분이 되는 임계값을 계절 전이와 관련된 연구에서 자주 인용되는 이병설(1979)의 기준을 사용하였다. 일평균기온에 의한 구분(봄:5℃이상, 여름: 20℃ 이상, 가을 : 20℃ 미만, 겨울 : 5℃ 미만)을 사용하여, 1961년~2008년 사이 서귀포시의 자연계절 변화를 분석하였다.

계절변화를 분석하기 위하여 처음 10년(1961~1970년)과 마지막 10년(1999~2008년)을 비교하여, 각각의 계절 시작일 및 지속기간을 표 3.8에 표시하였다. 줄리안일자(Julian Day)로 날짜를 표시하여 1월1일을 1일로, 12월31일을 365일로 나타내었으며, 일평균 기온값은 10일 이동평균을 하였다. 1년이 366일이 되는 해는 2월 29일의 자료를 삭제하여 365일로 통일시켰다. 또한 겨울의 기준에 부합되는 기간이 두 기간으로 나뉘어져 있음으로 인해, 그 사이의 기간은 봄으로 간주하였으며 봄의 시작은 첫 겨울기간이 끝나는 일자를 택하였다.

마지막 10년(처음 10년) 동안 서귀포시 봄은 2월5일(1월23), 여름은 5월28일(6월18일), 가을은 10월20일(10월8일)에 각각 시작하였다. 처음 10년 기간 겨울은 1월19일부터 1월22일 및 2월6일부터 2월8일까지 총 7일이 존재하였다. 제주시와 마찬가지로, 마지막 겨울은 존재하지 않음을 알 수 있다. 그러나, 서귀포시 역시 흑한일수가 발생할 가능성은 충분히 있다. 각 계절별 지속기간은 마지막 10년(처음 10년) 기간 동안 봄 110일(143일), 여름 147일(112일), 가을 108일(103일) 및 겨울 0일(7일)로 나타났다(그림 3.27).

제주와 마찬가지로, 최근 10년간 겨울일수(일별 10년 평균기온 5℃ 미만 일수)는 전혀 없는 것으로 분석이 되고 있으나, 이는 10일 이동평균한 결과이며, 실제로는 매 해마다 일평균기온 5℃미만일수는 항상 존재한다.

한편, 마지막 10년 기간동안 봄과 가을의 구분은 그래프에서 5℃에 가장 가까운 변곡점인 2월4일을 기준으로 하였다.

각 계절별 시작일 변화를 살펴보면, 봄과 가을은 각각 13일, 12일 늦어졌으며, 여름은 23일 빨라졌다.

표 3.8. 서귀포시 계절 시작일의 변화(1961~2008년)

기간 \ 계절	봄	여름	가을	겨울
1061년~1970년(A)	1월 23일	6월 18일	10월 8일	1월 19일
1999년~2008년(B)	2월 5일	5월 28일	10월 20일	-
차이(B-A)	+13일	-23일	+2일	-

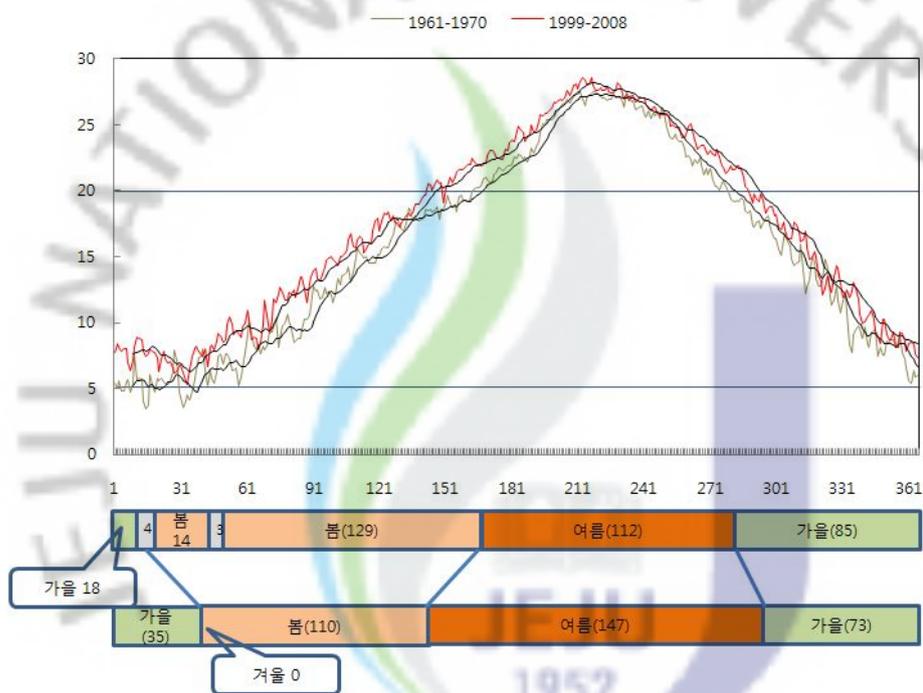


그림 3.27 서귀포 자연계절 변화(처음10년 VS 마지막10년)

제 4장 기온과 수온 변화

4.1. 개 요

수온은 국립해양조사원의 자료를 이용하였다. 해양조사원에서는 제주도 내 제주, 서귀포, 모슬포, 성산포 4개의 조위관측소를 두고 있는데, 각 관측소에서는 수온관측을 하고 있다. 제주조위관측소의 수온관측자료는 1971년부터 누적되어 있으며, 서귀포조위관측소의 수온관측자료는 1980년부터 누적되어 있다. 각 조위 관측소에서 관측된 일평균 수온자료를 활용하여 그 변화를 분석했으며, 계절별로 나누어서 분석하였다. 또한 기온과 수온의 변화경향을 연도별로 비교분석해보았다.

4.2. 수온 변동성

4.2.1. 북부(제주)에서의 수온변화 경향

제주조위관측소에서 관측된 수온의 시계열자료를 그림 4.1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제주에서 관측된 수온은 전반적으로 상승하고 있으며, 이러한 수온상승은 전지구적인 변화 및 제주의 기온변화와 동일한 패턴이다. 연평균 수온은 평균 $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 정도의 기울기로 상승하는 경향을 보이고 있는데, 이는 기온변화폭($0.23^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)의 두 배에 해당한다.

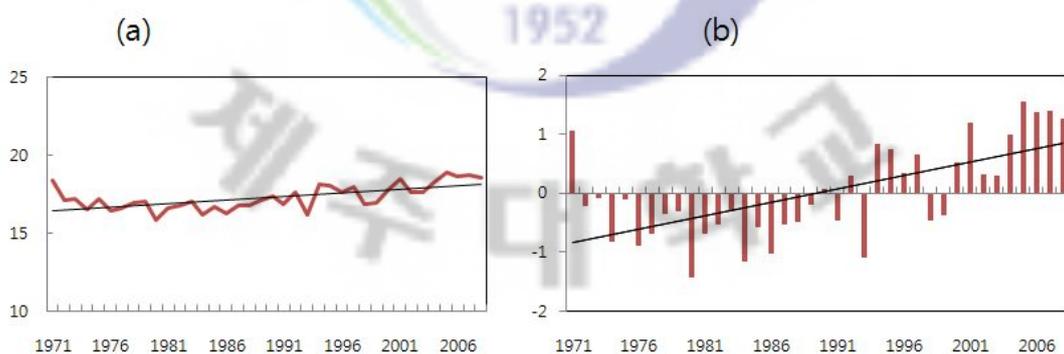


그림 4.1 제주시 연평균 수온의 (a)변화경향 및 (b)편차(1971~2008년)

그림 4.2에 계절별 평균수온의 변화를 나타내었다. 계절 구분은 봄은 3~5월, 여름 6~8월, 가을 9~11월 및 겨울은 12월부터 그 다음해인 2월까지로 구분하였다. 평균수온의 변화경향은 계절에 따라 차이를 보이고 있는데, 가을($0.67^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)과 겨울($0.69^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)의 증가폭이 가장 크고 여름철($0.28^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)의 증가폭이 가장 작다. 대기에서는 봄의 기온상승폭이 가장 크고 여름의 기온상승폭이 가장 작지만, 해양에서의 수온변동폭은 가을과 겨울에 크고 여름에는 가장 작게 나타났다.

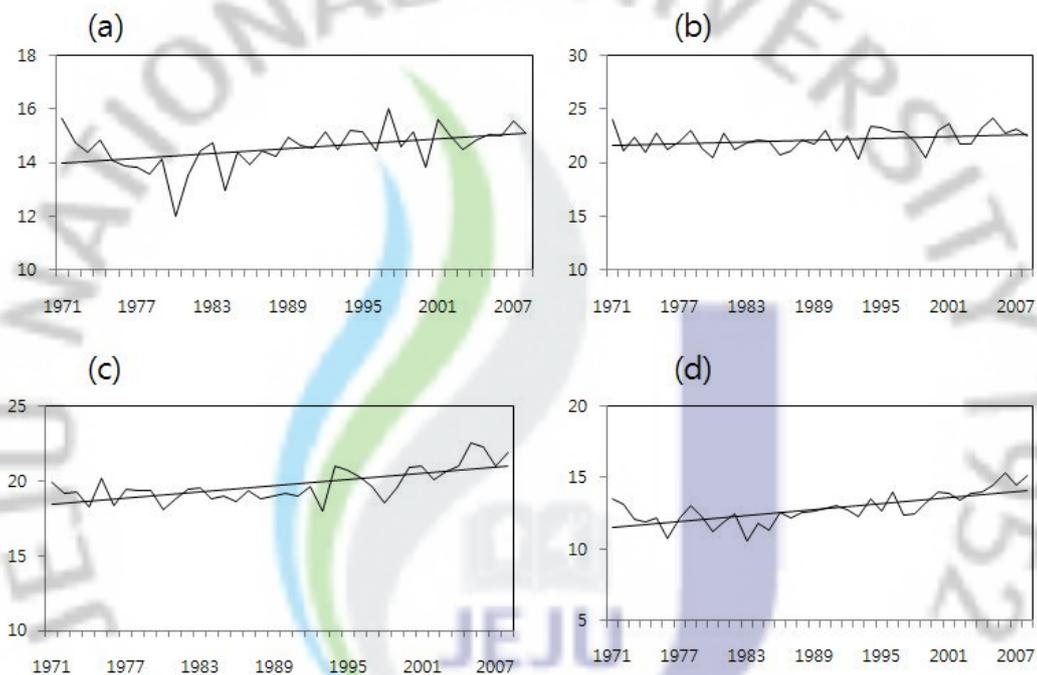


그림 4.2 제주에서의 계절별 평균수온 분포 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

그리고 같은 기간 동안의 기온과 수온변화경향을 보면 그 형태가 거의 유사함을 볼 수 있다(그림 4.3). 수온의 변화폭이 기온의 변화폭보다 더 크게 나타나고 편차의 변화 역시 수온이 기온보다 크게 나타난다. 물론, 육지의 영향을 적게 받는 외해에서의 관측값이 아닌, 해안에서의 관측값이라는 면에서는 진정한 수온의 의미는 덜하겠으나, 기온의 변화폭에 비해 큰 값을 보이는 원인에 대해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

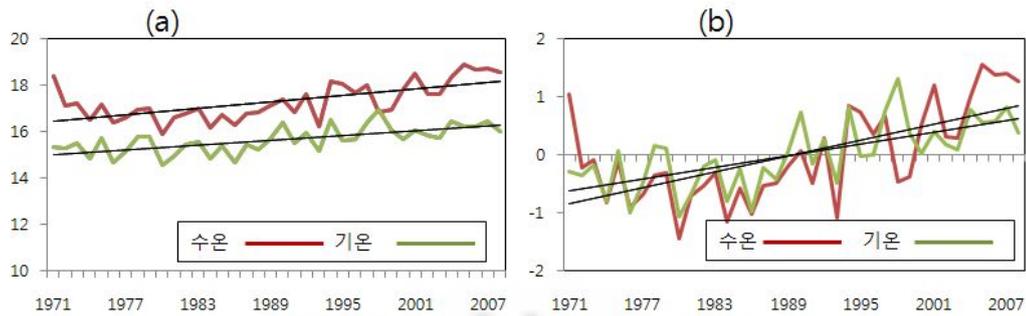


그림 4.3 연도별 (a)평균기온과 평균수온 분포 및 (b)편차

4.2.2. 남부(서귀포)에서의 수온변화 경향

서귀포조위관측소에서 관측된 수온자료는 1985년부터 누적되어 있어서 그리 많지가 않은 편이다. 기후값의 의미를 지니려면 최소한 30년 이상은 되어야 하겠지만 25년 가까운 기간 동안의 자료만으로도 만족해야겠다. 연평균 수온값과 그 편차를 그림 4.4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 서귀포에서 관측된 수온 역시 전반적으로 상승하고 있으며, 연평균수온은 평균 $0.48^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 정도의 기울기로 상승하는 경향을 보이고 있는데, 제주시에서의 수온변동 기울기와 비슷하고, 서귀포에서의 기온변화폭($0.38^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)의 1.3배에 해당한다.

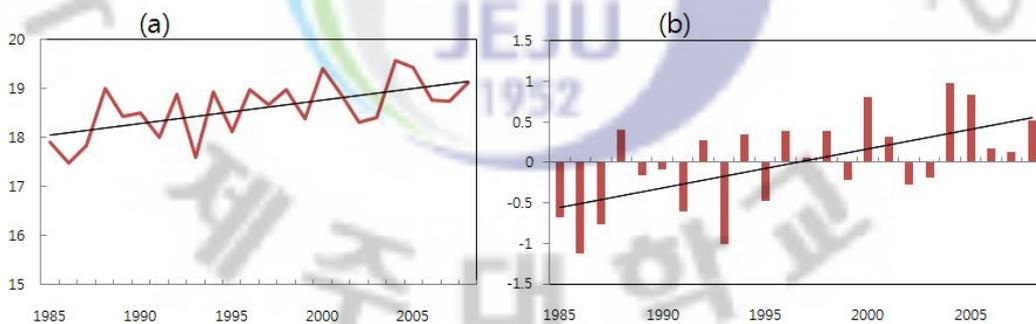


그림 4.4 서귀포 연평균 수온의 (a)변화경향 및 (b)편차(1985~2008년)

그림 4.5에 서귀포에서의 계절별 평균수온의 변화를 나타내었다. 평균수온의 변화경향을 계절별로 보면, 가을이 $0.73^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 높고, 그 뒤를 겨울($0.58^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)과 여름($0.42^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)이 차지하고 봄철 증가폭이 $0.158^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로써 가

장 작다. 북부인 제주와 마찬가지로 가을과 겨울철 수온변동폭이 큼을 알 수 있다. 한편, 서귀포에서는 대기의 기온상승폭이 겨울-봄-가을-여름 순으로 큰 것과 비교해보면 상관관계를 정의하기는 어렵다고 할 수 있다.

같은 기간 동안의 기온과 수온변화경향을 보면 제주에서와 마찬가지로 기온변화와 수온변화경향이 거의 유사하게 가고 있음을 볼 수 있다(그림 4.6). 다만 어떤 구간(1988년, 2001~2003년, 2005년)에서는 서로 다른 기울기를 갖고 있는 것이 제주와 다르다.

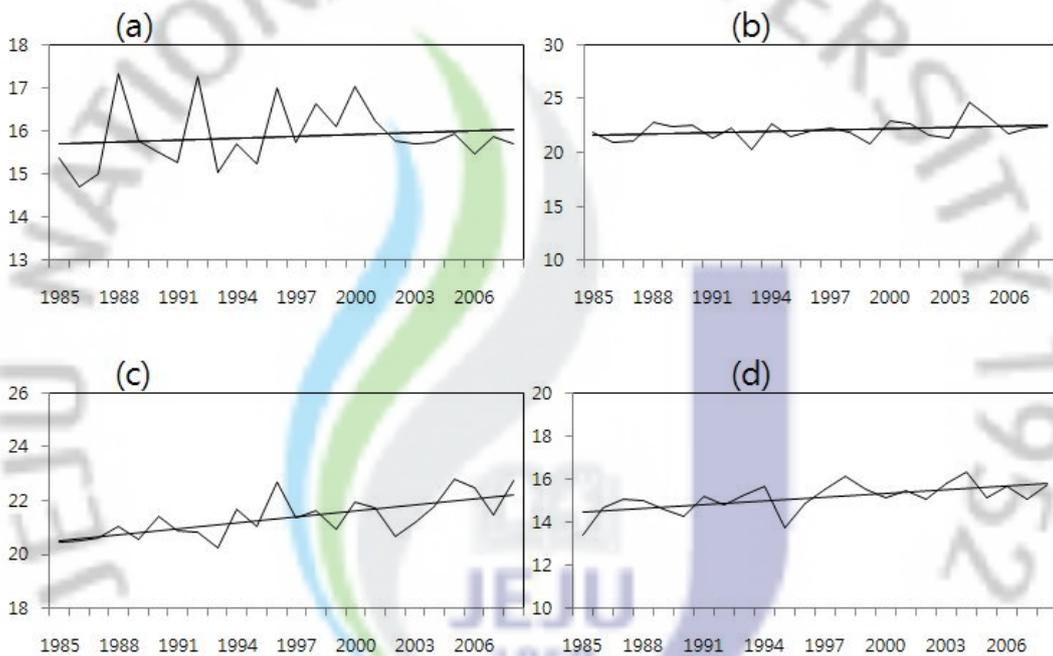


그림 4.5 서귀포에서의 계절별 평균수온 분포 (a)봄 (b)여름 (c)가을 (d)겨울

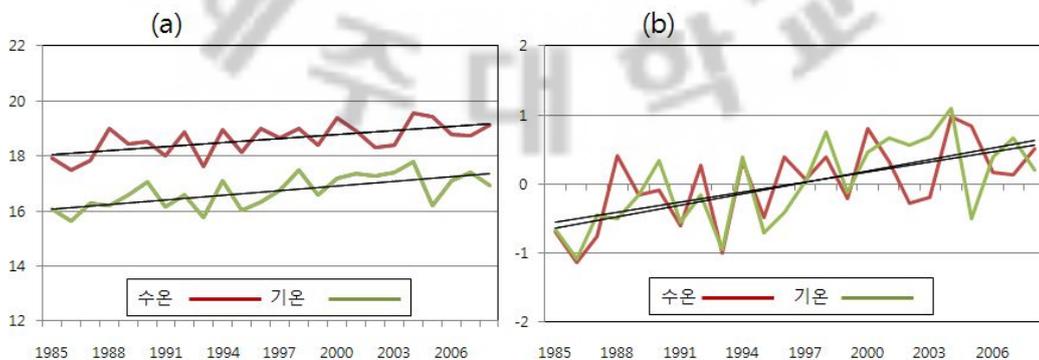


그림 4.6 연도별 (a)평균기온과 평균수온 분포 및 (b)편차

제 5장 결 론

제주도는 우리나라 최남단에 위치해 있으며 국내 가장 큰 섬이다. 섬 중앙에는 1,950m의 한라산이 위치해 있어, 섬 내에서도 기상학적으로도 매우 다른 형태를 보이기도 한다. 또한 태풍, 저기압 등의 첫 관문이기도 해서 방재업무의 중요성이 크게 작용하기도 한다. 중위도 온난기후대에 속한 우리나라이지만, 제주도는 아열대 기후화 되는 양상을 보이고 있다. 본 연구에서는 제주도에서의 기후변화 경향을 살펴보기 위하여 제주시 및 서귀포시의 관측자료를 분석하였다. 그 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

제주시는 처음 관측이 시작된 1924년 이후 지난 85년간 연평균 평균기온, 최고기온, 최저기온이 각각 1.7℃, 1.1℃, 2.1℃ 상승하였다. 변화율은 각각 0.23℃/10년, 0.1℃/10년, 0.28℃/10년으로, 최저기온의 상승폭이 가장 크다.

분석 기간 중 처음 10년(1924~1933년)의 연평균 기온은 14.4℃, 마지막 10년(1999~2008년)의 연평균 기온은 16.1℃로써, 1.7℃ 상승하였다. 한편 연평균 최고기온은 18.1℃에서 19.2℃로 1.1℃ 상승하였으며, 연평균 최저기온은 11.2℃에서 13.3℃로 2.1℃ 상승하였다. 열대야 일수는 마지막 10년 평균 23.3일로, 처음 10년(7.6일)보다 약 3배 증가하였으며, 열대일 일수는 26일에서 34일로 약 30% 증가하였다. 반면 영하일은 21일에서 3.7일로 약 80% 감소하였다.

서귀포시의 경우 처음 관측이 시작된 1961년 이후 지난 58년간 연평균기온, 평균기온 최고, 평균기온 최저는 각각 1.5℃, 1.4℃, 2.2℃ 상승하였다. 변화율은 각각 0.38℃/10년, 0.34℃/10년, 0.57℃/10년으로, 제주시와 마찬가지로 최저기온의 상승폭이 가장 크다.

85년 동안 제주시 연강수량은 1439.5mm, 연강수일수는 136.7일, 강수강도는 10.6mm/일이다. 처음 10년 기간(1924~1933년) 연강수량은 1382.4mm이고, 마지막 10년 기간(1999~2008년) 연강수량은 1599.0mm로써, 216.6mm 증가하였다. 연강수일수는 처음 10년 기간 144.6일, 마지막 10년 기간 136.4일로써, 8.2일 감소하였다. 한

편, 연강수강도는 처음 10년 기간 9.5mm/일, 마지막 10년 기간 11.6mm/일로 2.1mm/일 증가하였다.

서귀포시에서의 강수량 변화는 처음 10년과 마지막 10년 사이 219.7mm 증가, 강수일수는 2.5일 감소하였으며, 강수강도는 $1.5\text{mm일}^{-1}10\text{년}^{-1}$ 증가하였다. 강수량 변화율은 60.1mm/10년, 강수일수 변화율은 -0.9일/10년, 강수강도 변화율은 $+0.6\text{mm일}^{-1}10\text{년}^{-1}$ 을 보이고 있다. 제주시와 서귀포시 모두 전국적인 경향과 비슷하게, 강수일수는 감소하고 강수량은 늘어 결과적으로 강수강도의 증가를 보여주고 있다.

평균풍속은 제주시와 서귀포 모두 $0.24\text{ m/s}/10\text{yr}$ 의 비율로 감소하고 있으며, 최대풍속은 제주시와서귀포 각각 $0.35\text{ m/s}/10\text{yr}$, $0.48\text{ m/s}/10\text{yr}$ 의 비율로 감소하고 있다. 그러나 풍속자료가 관측소 주변의 환경변화에 매우 민감하기 때문에 장기적인 변화경향 분석에는 한계가 있다. 또한 우리나라 대부분의 지역에서 도시화로 인해 관측소 주변에서 고층건물과 주변 장애물의 증가로 인해 지역적으로 평균적인 풍속이 감소하고 있다(류상범 등, 2006). 이와 달리 풍속의 극값인 최대순간풍속 극값은 오히려 증가하고 있음을 감안하면(문일주 등, 2008), 오히려 기후변화로 인한 풍속 변화의 의미는 평균풍속 및 최대풍속보다 수온상승으로 인한 태풍의 강도변화 등이 원인으로 작용하는 풍속극값이 더 유의미하다고 볼 수 있다.

제주시 연 안개일수는 $0.8\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하고 있으며, 연 서리일수는 $3.0\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 감소, 연 뇌전일수는 $3.7\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가, 연 결빙일수는 $4.6\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 감소, 연 황사일수는 $1.3\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하였다.

서귀포시의 연 안개일수는 $1.5\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하고 있으며, 연 서리일수는 $1.4\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 감소, 연 뇌전일수는 $3.6\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가, 연 결빙일수는 $3.5\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 감소, 연 황사일수는 $1.3\text{일}/10\text{년}$ 의 비율로 증가하였다.

계절변화는 더욱 뚜렷하다. 제주시에서의 처음 10년과 마지막 10년을 비교하면, 봄·여름·가을·겨울의 지속기간이 각각 +18일, +23일, ±0일, -39일로, 봄과 여름은 늘어나고 겨울은 줄어들었다. 특히 겨울지속기간이 무일로 나타남에 따라

기후변화 양상이 뚜렷해짐을 보여주고 있다.

서귀포에서는 더욱 뚜렷하게 나타난다. 서귀포에서의 처음 10년과 마지막 10년을 비교하면, 봄·여름·가을·겨울의 지속기간이 각각 +18일, +23일, -2일, -7일로, 제주시와 거의 유사하다. 마찬가지로, 겨울지속기간이 무일로 나타남에 따라 기후변화를 확연하게 보여주고 있다.

한편, 국립해양조사원에서 관측된 수온자료를 분석한 결과, 수온상승폭은 제주와 서귀포에서 각각 $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, $0.48^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 이었으며 이는 기온상승폭의 2배에 달하는 값이다. 계절별로는 제주시와 서귀포 모두 가을과 겨울의 증가폭이 크다는 것을 알 수 있다. 물론, 육지의 영향을 적게 받는 외해에서의 관측값이 아닌, 해안에서의 관측값이라는 면에서는 진정한 수온의 의미는 덜하겠으나, 기온의 변화폭에 비해 큰 값을 보이는 원인에 대해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

우리나라 최남단에 위치한 최대의 섬지방인 제주도에서의 기후변화는 내륙지역의 기후변화의 전단계라고 볼 수 있다. 본 연구의 분석결과가 제주도 기후 변화경향을 정의하고 기후변화에 대응하고자 하는 가장 기초적이고 실질적인 이론적 토대가 될 수 있으리라 기대한다. 궁극적으로는 녹색성장을 위한 사회·경제·문화·산업·교육 전반에 걸친 활동의 근거가 되고, 향후 기후변화 예측 시나리오에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 국립기상연구소, 2007: 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(III), 기상연구소 연구보고서 MR070C70, 599pp
- 국립기상연구소, 2009a: 기후변화 이해하기 II - 한반도 기후변화 : 현재와 미래-, 86pp.
- 국립기상연구소, 2009b: 기후변화 이해하기 III - 서울의 기후변화-, 67pp.
- 국립기상연구소, 2009c: 기후변화 이해하기 IV - 부산의 기후변화-, 14pp.
- 제주지방기상청, 2008: 제주도 기상관측환경편람, 20-21, 30-31, 42-43, 50-51
- 국립기상연구소, 2005: 제주지방의 기상관측 역사와 기후변동성 연구, 3-14
- 국립기상연구소, 2004: 한국의 기후, 417pp.
- 국립해양조사원 통합해양정보, <http://info.khoa.go.kr>
- 기상청, 2007: 남해안 지역의 기후변화에 대한 취약성 평가, 한국기상학회지, 128-130
- 류상범, 김연희, 권태현, 박일수, 2006: 기상청 기후자료의 균질성 문제(1): 관측지점의 이전, 대기, 16, 215-223
- 김연옥, 1962: 우리나라 기온의 대륙성에 대한 고찰, 이화여대 한국문화연구원 논총, 5, 225-234
- 문일주, 최의수, 2008: 56년간 한반도 강수 및 풍속의 극값 변화, 한국기상학회지, Vol. 18, No. 4, 409-415
- 이병설, 1979: 우리나라의 자연계절에 관한 연구, 지리학, 14(2), 1-11
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범, 1997a: 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와와의 상관관계에 관한 연구, 한국기상학회지, Vol. 33, No. 3, 488-495.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범, 1997b: 한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해수면 온도와와의 상관관계에 관한 연구, 한국기상학회지, Vol. 33, No. 2, 327-336.

- 정창희, 1969: 서울 지방 7월 강수량의 Periodogram에 관하여, 한국기상학회지, 5(1), 11-14
- 전종갑, 이광호, 1992: 남한에서의 기온과 강수량의 변동에 관한 연구, 한국기상학회지, 17, 45-65.
- 조하만, 조천호, 정귀희, 1988: 서울의 도시화에 따른 기온의 변화, 한국기상학회지, 24(1), 27-37
- 하주영, 1998: 한반도의 기후변동성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 59pp.
- Bell, G. D., M. S. Halpert, C. F. Ropelewski, V. E. Kosky, A. V. Douglas, R. C. Schnell and M. E. Gelman, 1999: Climate Assessment for 1998. Bulletin of the American Meteorological Society, 80(5), 1040-1088
- IPCC, 2007: Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.

Summary

Jeju island is located in the southern-most part of Korean peninsula. Despite Korea belongs to temperate climate regions, Jeju island becomes to a sub-tropical climate. For the study of climate change in Jeju island, the analysis of the observation data of northern part (Jeju city) and southern part (Seogwipo city) was done.

The annual mean temperature of last 85 years since 1924 is 15.2°C and the annual change rate is 0.23°C/10 years. The rate of lowest temperature is largest one. The annual mean temperature of first 10 years (1924~1933) is 14.4°C and that of last 10 years (1999~2008) is 16.1°C. The number of days of tropical nights increased about 3 times, the number of tropical day increased about 30% and the number of minus-degree-celsius days decreased about 80%.

Last 85 years, the annual precipitation increased 216.6 mm, precipitation days decreased 8.2 days and the intensity of annual precipitation increased 2.1 mm/day.

The number of fog-days increased 0.8 days/10 years, frost-days decreased 3.0 days/10 years, thunderbolts-days increased 3.7 days/10 years and yellow-dust-days increased 1.3 days/10 years.

Last 10 years, the fog-days (the frost-days/ the thunderbolts-days/ the yellow-dust-days) has increased 20.7% (decreased 66%/ increased 96.4%/ increased 107%) compared to first 10 years.

Meanwhile, the days of spring(summer/ fall/ winter) changed 106days to 124days(105days to 128days/ 115days to 115days/ 39days to 0days).

The tendency of water temperature is similar to that of air temperature. The rate of variation of water temperature in Jeju is $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{years}$, and it is about 2 times compared to air temperature.

About the rate of variation in water temperature, it is larger in fall and winter than in spring and summer. And it is largest in spring for air temperature, but it is not large in spring for water temperature. It is similar that the rate of variation in summer is the smallest for air and water temperature.

It is needed more research of the reason why rising of water temperature is greater than that of air temperature.

Key Words : **climate, change, Jeju, temperature, precipitation**

요 약

제주도는 우리나라 최남단에 위치해 있으며 국내에서 가장 큰 섬이다. 우리나라는 중위도 온난기후대에 속해 있지만 제주도는 아열대 기후화 되는 경향을 보이고 있다. 본 연구에서는 제주도에서의 기후변화 경향을 살펴보기 위하여 제주시와 서귀포시의 관측자료를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1924년 이후 지난 85년간 제주시 연평균 기온은 15.2℃, 변화율은 0.23℃/10년이며, 최저기온의 변화율이 크다. 처음 10년(1924~1933년)의 연평균 기온은 14.4℃, 마지막 10년(1999~2008년)의 연평균 기온은 16.1℃로써, 1.7℃ 상승하였다. 한편, 열대야 일수는 약 3배 증가, 열대일 일수는 약 30% 증가하였고, 영하일은 약 80% 감소하였다.

85년 동안 제주시 연강수량은 216.6mm 증가하였으며 연강수일수는 8.2일 감소, 연강수강도는 2.1mm/일 증가하였다.

1970~2008년(39년)동안 제주시 연 안개일수는 +0.8일/10년, 연 서리일수는 -3.0일/10년, 연 뇌전일수는 +3.7일/10년, 연 황사일수는 +1.3일/10년의 증감을 보이고 있다.

처음 10년(1970~1979년) 대비 마지막 10년(1999~2008년), 안개일수는 20.7% 증가, 서리일수는 66% 감소, 뇌전일수는 96.4% 증가, 황사일수는 107% 증가하였다.

한편, 처음 10년과 마지막 10년 기간 봄, 여름, 가을, 겨울은 각각 106일→124일, 105일→128일, 115일→115일, 39일→0일로 나타났다. 가을 지속기간은 변동이 없으나, 봄과 여름 기간은 현저히 증가하고, 겨울 기간이 사라졌음을 알 수 있다.

수온의 변화경향은 기온의 변화경향과 비슷하며 제주에서 변동폭은 0.46℃/10년으로, 기온변동폭의 2배에 달한다. 계절별로는 가을과 겨울의

변동폭이 크고 봄이 가장 작다. 대기에서는 봄의 기온상승폭이 가장 크고 여름의 기온상승폭이 가장 작지만 해양에서는 봄의 기온상승폭이 그리 크지 않다. 여름의 기온상승폭이 가장 작은 점은 대기와 해양이 동일하다. 수온상승폭이 기온상승폭보다 큰 이유에 대해서는 추가의 연구가 더 필요할 것이다.



감사의 글

사회생활과 학업을 병행하는 것이 어렵다고 깨닫는 데 걸리는 시간이 그리 오래 걸리지는 않았습니다. 힘들 것 같았지만, 지속적으로 힘을 실어주시고 훌륭히 지도를 해주신 방익찬 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 논문의 완성도를 위하여 기꺼이 관심과 지적을 아끼지 않으신 문일주 교수님과 윤석훈 교수님께도 감사를 드립니다.

직장생활 때문에 학과일정을 세세히 챙기지 못하였지만, 양승우 선생님 덕분에 아무 탈 없이 논문작성, 심사, 탈고의 과정까지 마무리하게 되었습니다.

사무실의 온갖 바쁜 업무에도 불구하고 학업에 열중하도록 여러 면에서 도움을 주신 이재원 과장님과 이명수 과장님께는 평생 감사를 드려도 모자릅니다.

건강이 좋지 않음에도 불구하고 수시로 전화를 주시면서 격려의 말씀을 아끼지 않으신 아버님과 어머니, 그리고 막내딸깁이어나 사위를 챙기시는 장모님께 존경과 고마움의 마음을 드립니다.

혼자였으면 아무것도 못했을 것 같은 인생이지만 항상 용기를 주고 내편이 되어서 끝없이 힘을 주는 아내 이숙희는 두 딸이 필요 없는 내조의 여왕입니다. 아빠에게 항상 믿음과 든든함을 주는 큰 아들 건혁, 곤충박사의 꿈은 한 순간도 잊지 않고 키워나가는 둘째 주혁, 마흔 늦은 나이에 태어난 늦둥이 귀여운 딸 채은에게 무한한 사랑을 전합니다.

2011. 2.