

기후변화에 따른 제주지역의 장·단기적 기온 및 강수량 변동특성 분석

Characteristics of Precipitation and Temperature in Jeju-do by Climate Change

서동일*

< 목 차 >

- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| I. 서론 | IV. 재분석 자료를 이용한 고도별 특성 |
| II. 자료 및 분석방법 | V. 제주지역 권역별 변동특성 분석 |
| III. 제주지역의 장·단기적 기온 및 강수량
변동특성 | VI. 결론
〈참고문헌〉 |

< 국문 초록 >

본 연구에서는 제주(1924~2012), 서귀포(1961~2012), 고산(1988~2012), 성산(1973~2012)의 ASOS 데이터와 1979년부터 2012년 까지 34년간의 ECMWF 고도별 재분석자료 그리고 제주도 내의 21개 AWS 관측자료를 이용하였다. 1,950m의 한라산을 중심으로 날씨 변화가 심하고 동서남북의 기상현상이 다르게 나타나는 특성을 지닌 제주도에 대해 강수와 기온의 장기(30년 이상) 및 단기(10년)적 기후변동성을 분석하고자 하며, 특히 고도별 변

* 제주지방기상청 기후과 기상연구관

동성에 대한 경향을 파악하고자 한다. 지역별 특성을 파악하기 위해 산간, 중산간(남북) 및 해안(동서남북)으로 구분하여 분석하였으며, Mann-Kendall 검정기법을 통해 유의성 검증을 실시하였다. 비교적 장기간의 자료가 축적되어 있는 제주(89년간), 서귀포(52년간), 고산(25년간), 성산(40년간)에 대해 관측 이래 전체 기간 및 최근 10년간 경향분석을 각각 실시한 결과 전체기간에 대한 기온 및 강수량은 모두 증가하는 경향을 보였으나, 최근 10년간의 추세를 살펴보면 전 지점의 기온이 하강하는 경향을 나타내고 있다. 연평균기온 상승 정도는 제주는 $0.021^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 서귀포는 $0.035^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 고산은 $0.007^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 성산은 $0.017^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 로 서귀포에서의 기온상승률이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 고도별 장기간 변동성 분석을 위해 재분석자료를 활용하여 기온요소에 대해 34년간 11개 층(1000~750hPa)에 대한 영역 평균 기온자료를 분석한 결과 남한영역 및 제주도 영역 모두 34년간(1979~2012)의 분석기간에 대해서는 기온이 상승하는 경향을 나타내지만, 최근 10년간(2003~2012)의 경우 모두 하강하는 경향을 보여주고 있다. 분석기간 중 2011년 1월의 기온이 대부분의 관측지점에서 역대 최저치를 기록한 것이 최근 10년간의 기온변화 경향에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 이러한 연구결과는 지역별 상세 기후변화대응 수립을 위한 기초자료로 활용이 가능하리라 사료된다.

핵심어: 기후변화, 제주지역, 기온 변동특성, 강수량 변동특성, 장단기적 변동

I. 서 론

최근 들어 지구온난화와 기후변화에 따른 이상기상 및 기후가 증가하고 있는 추세이며, 전 세계적으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 우리나라의 경우도 기후변화 관련 연구를 활발히 진행하고 있으나 특정 지역에 대해 장기간의 관측값과 수치모델 결과를 이용한 변동특성을 분석한 연구는 그리 많지 않은 실정이다.

지구온난화로 인하여 지난 100년(1906~2005) 동안 지구의 평균기온이 약 0.74°C 상승하였으며, 이러한 추세는 1990년 이후 더욱 급격해지는 것으로 제시하였다(IPCC, 2007). 한반도 내에서도 지역별 기후 특성이 상이한 결과를 보이며(국립기상연구소,

2009), 제주의 경우 연평균 기온이 지난 81년간(1924~2004) 연간 0.02°C 의 증가율, 1980년대 이후에는 연간 0.05°C 의 상승률을 보이는 것으로 조사되었다(김성수, 2006).

또한 전 세계적으로 기후변화와 시공간적 특성에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 기후관련 인자 중 강수와 기온은 기후변화의 시·공간적 특성을 규명하기 위한 중요한 기후 인자로 여겨져 왔다(Cannarozzo et al., 2006).

본 연구에서는 1950m의 한라산을 중심으로 날씨 변화가 심하고 동서남북의 기상현상이 다르게 나타나는 특성을 지닌 제주도에 대해 강수와 기온의 장기(30년 이상) 및 단기(최근 10년) 변동성을 분석하고자 하며, 특히 고도별 경향을 파악하고자 한다. 또한 향후 제주도의 기후변화 적응 및 대응정책 수립 시 의사결정 지원에 도움이 될 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있도록 유의한 변동성에 대한 지역별, 권역별로 상세 분석하고자 한다.

II. 자료 및 분석방법

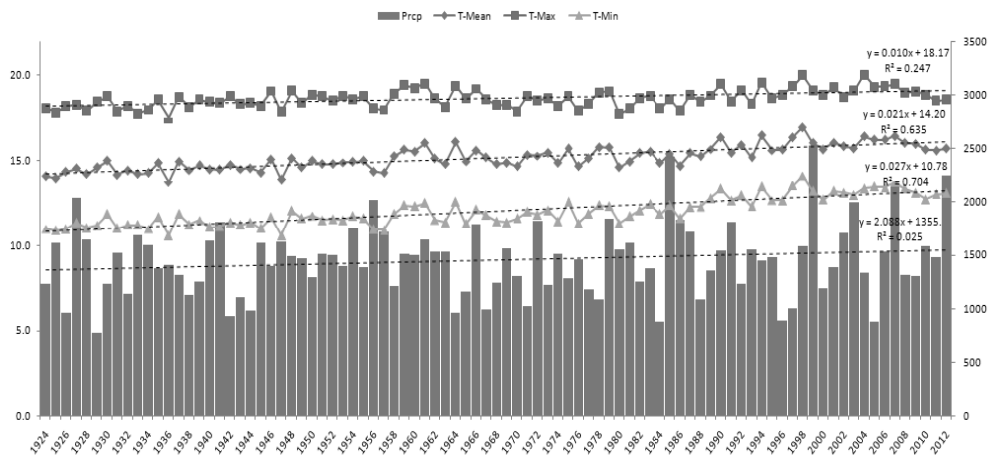
본 연구에서는 장기적인 변동성 파악을 위해 제주(1924~2012), 서귀포(1961~2012), 고산(1988~2012), 성산(1973~2012)의 ASOS 데이터와 1979년부터 2012년 까지 34년간의 ECMWF ERA-Interim Global Area T255L60($0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$)의 고도별 자료를 이용하였으며, 단기 변동성 파악을 위해 제주도 내의 21개 AWS 관측자료 및 고도별 분석을 위한 41개 USN(Ubiquitous Sensor Network) 자료를 활용하였다. 또한 전국적인 분포 경향 비교를 위해 1973년부터 2012년까지의 전국 60개소 AWS 자료를 분석하였다.

Mann-Kendall 검정기법을 통해 경향성 분석을 실시하였으며, M-K 검정은 시계열 자료의 단조 경향(monotonic trend)을 분석 하는데 유용하게 사용되고 결측이나 감지 한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능한 장점이 있다(김광섭 등, 2009).

Ⅲ. 제주지역의 장·단기적 기온 및 강수량 변동특성

3.1. 장기적 변동특성 분석 결과

1) 제주

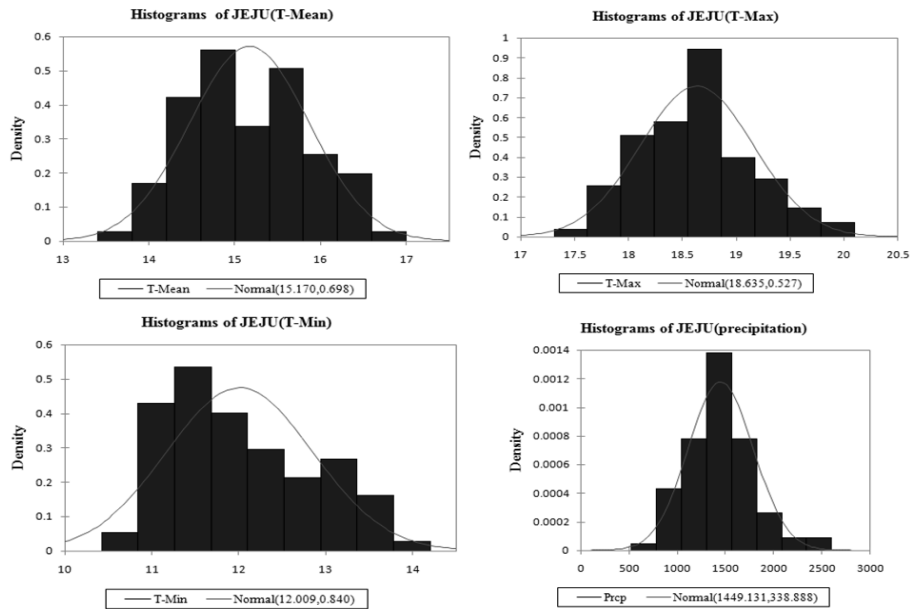


〈그림 III-1〉 Yearly Mean-Max-Min Temperature and Precipitation in Jeju(1924~2012).

제주의 경우 관측 이래 2012년까지의 전체기간(89년) 동안 변화경향을 살펴볼 때, 기온(최저, 평균, 최고)은 상승하고 강수량은 증가하는 것으로 나타나며, 특히 평균기온 및 최저기온 상승률의 유의성이 큰 것으로 보인다(그림 III-1).

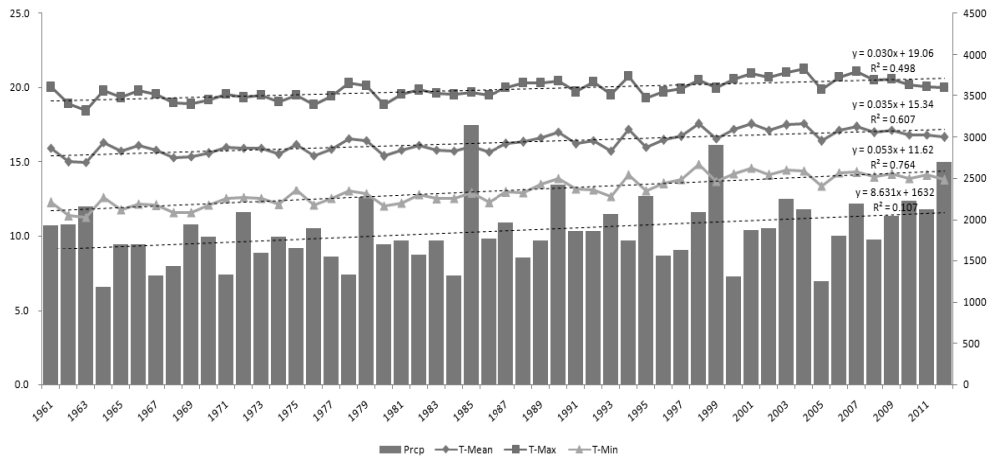
분석기간 동안 제주의 연평균최고기온의 경우 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 연평균기온은 $0.021^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 그리고 연평균최저기온은 $0.027^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 의 상승률을 보여 최저기온의 증가율이 가장 크게 나타나고 있다. 평균기온변화를 보면 제주의 경우 100년간 2.1°C 상승하는 결과를 보여준다. 즉, 전지구 평균기온 상승률 0.74°C 의 경우보다 3배정도로 해당하는 수치이다.

〈그림 III-2〉에서는 제주의 연평균기온의 범위를 나타낸다. 평균기온은 $13.5\sim 17^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보이고, 최저기온은 $10.5\sim 14.5^{\circ}\text{C}$ 그리고 최고기온은 $17.5\sim 20^{\circ}\text{C}$ 그리고 강수량은 $500\sim 2,500\text{mm}$ 범위로 분포하며, 특히 $1,500\text{mm}$ 의 빈도수가 가장 많음을 알 수 있다.



〈그림 III-2〉 Histograms of Temperature and Precipitation in Jeju.

2) 서귀포

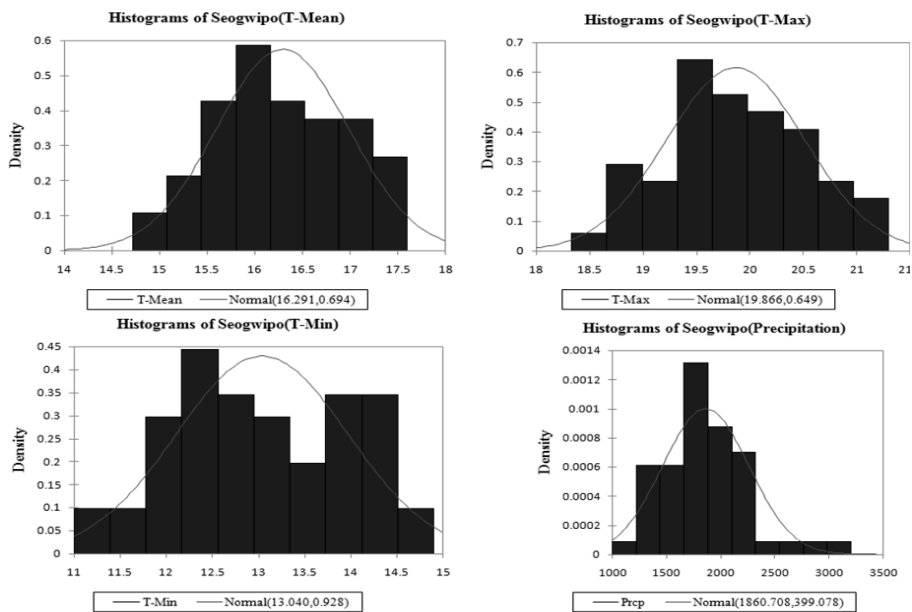


〈그림 III-3〉 Yearly Mean-Max-Min Temperature and Precipitation in Seogwipo(1961~2012).

서귀포의 경우 전체기간(52년)의 변화경향을 볼 때, 기온(최저, 평균, 최고)은 상승, 강

수량은 증가하는 것으로 나타나며, 특히 평균기온 및 최저기온의 상승률의 유의성이 큰 것으로 보인다<그림 Ⅲ-3>.

분석기간 동안 서귀포의 연평균최고기온은 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 연평균기온은 $0.035^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 그리고 연평균최저기온은 $0.052^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 상승률을 나타내어 제주시의 기온상승률 보다 전체적으로 높은 것으로 나타났다.

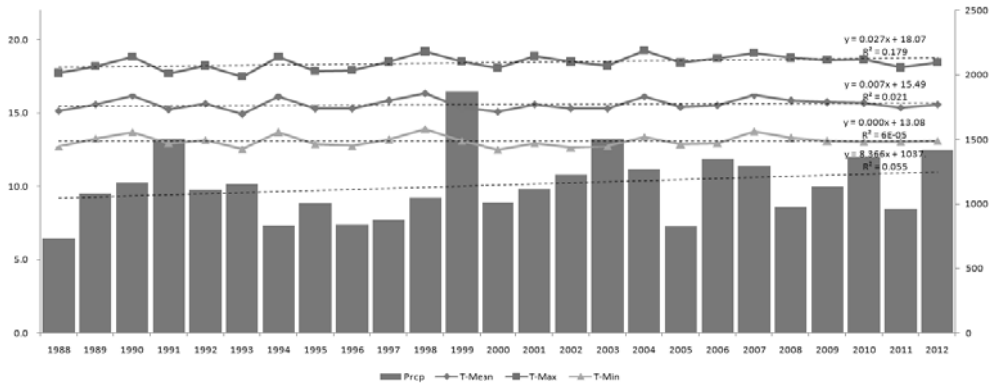


<그림 Ⅲ-4> Histograms of Temperature and Precipitation in Seogwipo.

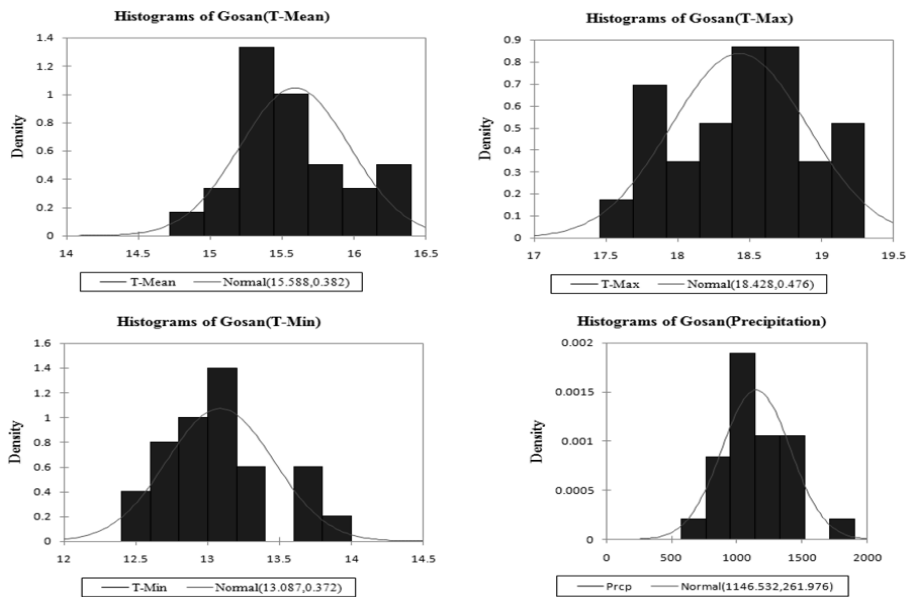
<그림 Ⅲ-4>에서는 서귀포의 연평균기온의 범위를 나타낸다. 평균기온은 $14.5\sim 17.5^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보이고, 최저기온은 $11\sim 15^{\circ}\text{C}$ 그리고 최고기온은 $18\sim 21.5^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타낸다.

강수량의 경우 $1,000\sim 3,000\text{mm}$ 범위로 분포하며, $1,700\sim 1,800\text{mm}$ 의 빈도가 가장 높음을 알 수 있으며, 전반적으로 제주에 비해 기온은 평균 1°C 정도 높고 강수량은 평균 $200\sim 300\text{mm}$ 정도 많음을 확인할 수 있다.

3) 고산



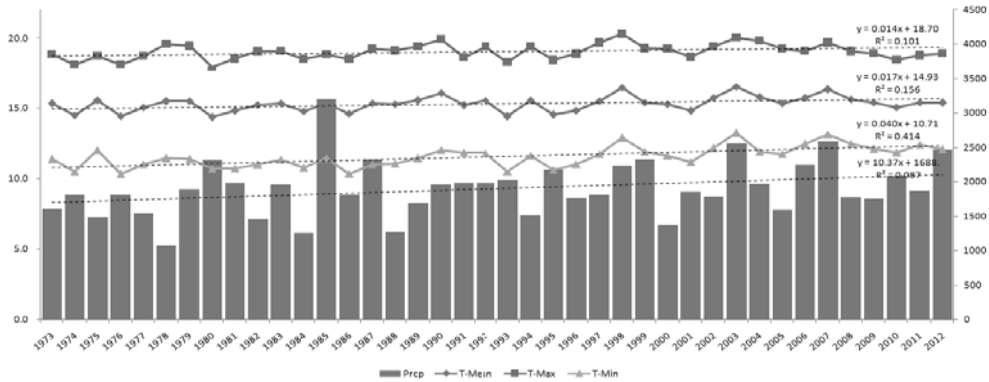
〈그림 III-5〉 Yearly Mean-Max-Min Temperature and Precipitation in Gosan(1988~2012).



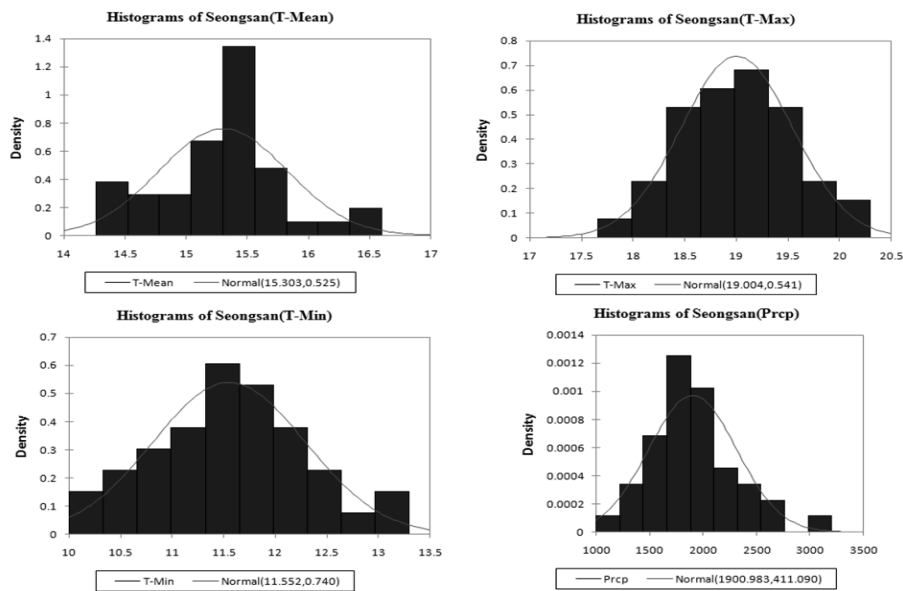
〈그림 III-6〉 Histograms of Temperature and Precipitation in Gosan.

고산의 기온은 상승, 강수량은 증가하는 경향을 보이고, 연평균기온 범위는 평균기온은 14.5~16.5℃, 최저기온은 12.5~14℃, 최고기온은 17.5~19.5℃ 그리고 강수량은 500~2,000mm의 범위로 나타난다.

4) 성산



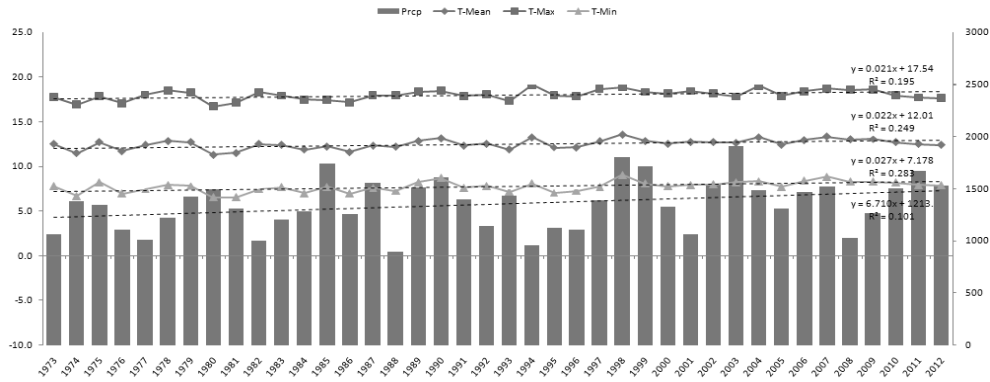
〈그림 III-7〉 Yearly Mean-Max-Min Temperature and Precipitation in Seongsan(1973~2012).



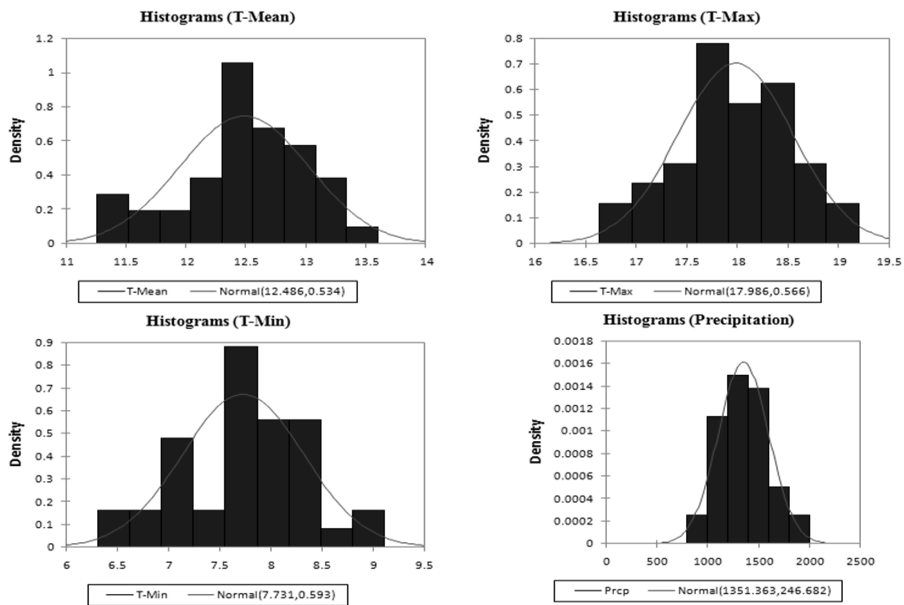
〈그림 III-8〉 Histograms of Temperature and Precipitation in Seongsan.

성산 또한 기온 및 강수량 모두 증가하는 경향을 보이며, 연평균기온 범위는 평균기온은 14~16.5℃, 최저기온은 10~13.5℃, 최고기온은 17.5~20.5℃ 그리고 강수량은 1,000~3,200mm의 범위로 나타난다.

5) 전국



〈그림 III-9〉 Yearly Mean-Max-Min Temperature and Precipitation in AWS(60)(1973~2012).



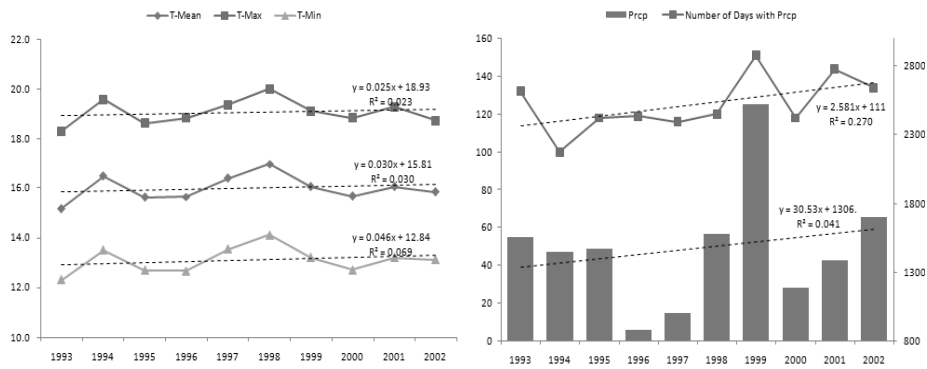
〈그림 III-10〉 Histograms of Temperature and Precipitation in AWS 60 sites.

한반도 전체(AWS 60개소)에 대한 경우도 경향은 동일하며, 연평균기온 범위는 평균 기온은 11~14°C, 최저기온은 6~9.5°C, 최고기온은 16.5~19.5°C 그리고 강수량은 700~2,000mm의 범위로 나타난다.

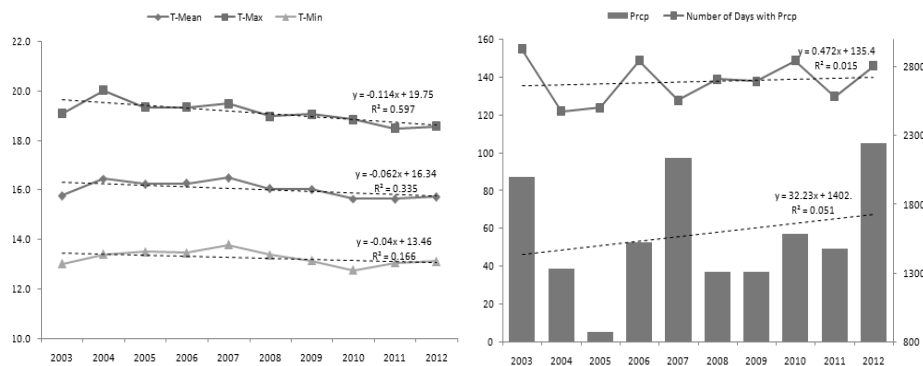
3.2. 단기적 변동특성 분석 결과

제주지역의 단기적 변동특성 분석을 위해 분석기간을 최근 10년(2003~2012)과 최근 이전 10년(1993~2002)으로 구분하였으며, ASOS 및 AWS 자료에 대해 기온, 강수량 및 강수일수에 대해 분석하였다.

1) 제주

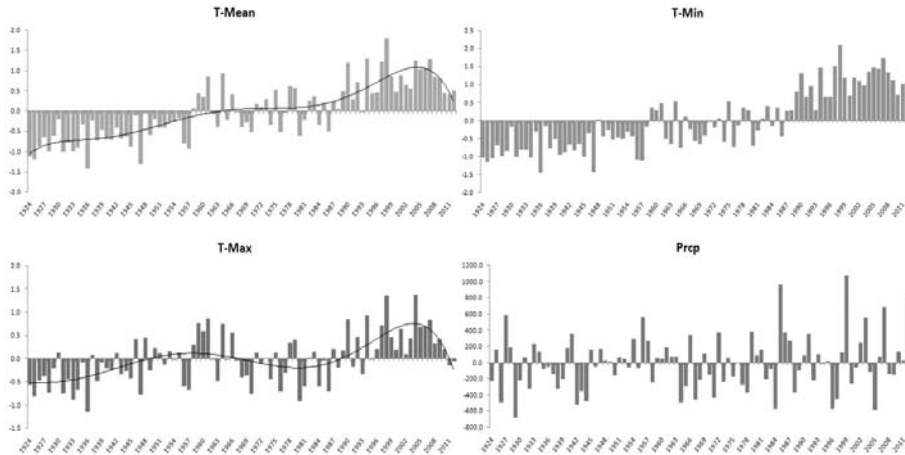


〈그림 III-11〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Jeju(1993~2002).



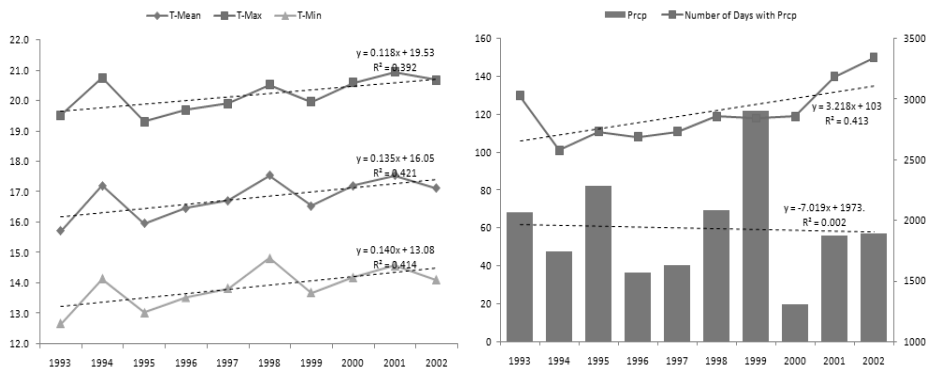
〈그림 III-12〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Jeju(2003~2012).

제주의 최근 10년(2003~2012) 경향을 살펴보면 기온은 하강, 강수량 및 강수일수는 증가하는 추세를 보인다. 이는 장기적 변동특성의 평균편차<그림 III-13>를 보면 확연한 증감추세를 구분할 수 있으며, 최근 10년간은 뚜렷한 하강 경향을 확인할 수 있다.

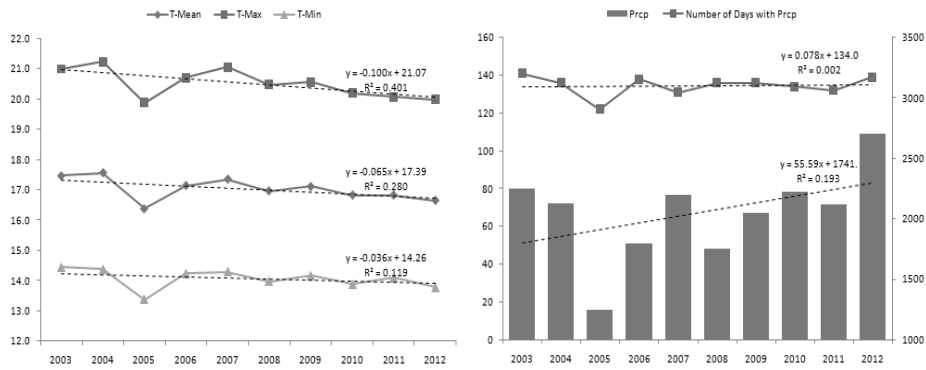


<그림 III-13> Average Deviation of Yearly Temperature and Precipitation in Jeju(1924~2012).

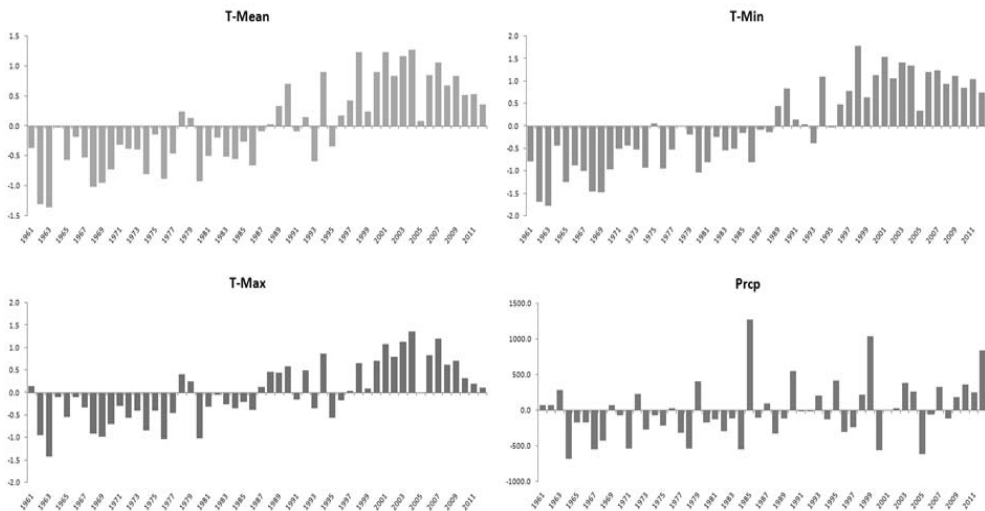
2) 서귀포



<그림 III-14> Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Seogwipo(1993~2002).



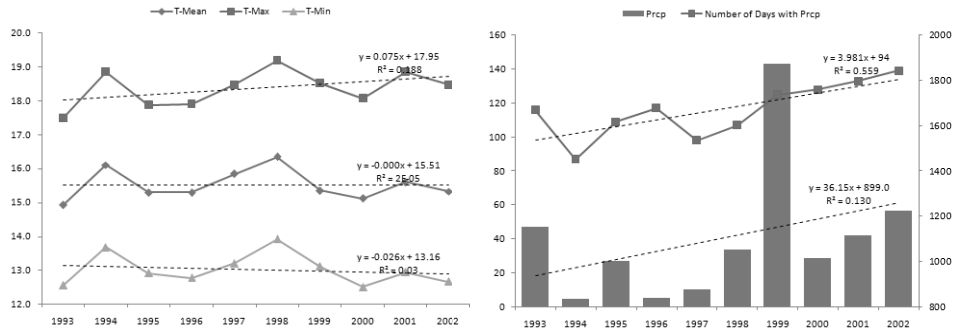
〈그림 III-15〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Seogwipo(2003~2012).



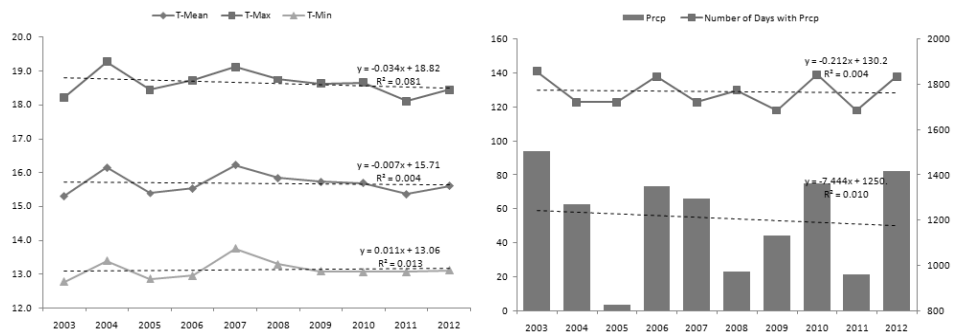
〈그림 III-16〉 Average Deviation of Yearly Temperature and Precipitation in Seogwipo(1961~2012).

서귀포의 경우 최근 이전 10년(1993~2002)의 경우에는 뚜렷한 기온상승, 강수일수 증가 및 강수량 감소의 경향을 보인다. 하지만 최근 10년 (2003~2012) 경향을 보면 기온은 하강, 강수량 및 강수일수는 증가하는 추세를 보인다.

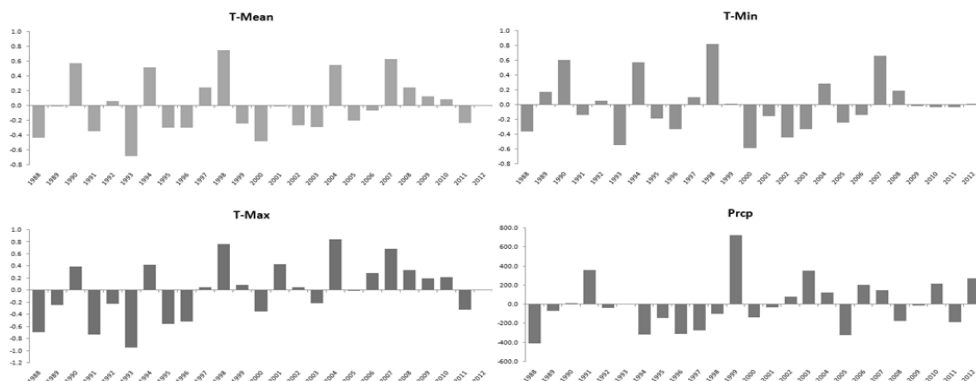
3) 고산



〈그림 III-17〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Gosan(1993~2002).



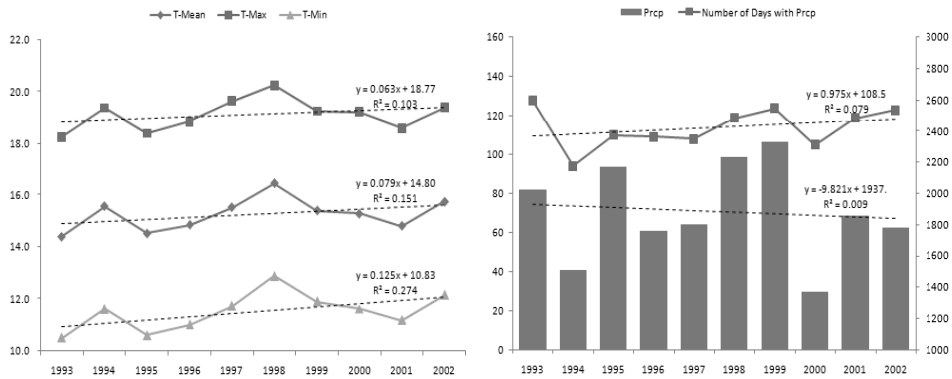
〈그림 III-18〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Gosan(2003~2012).



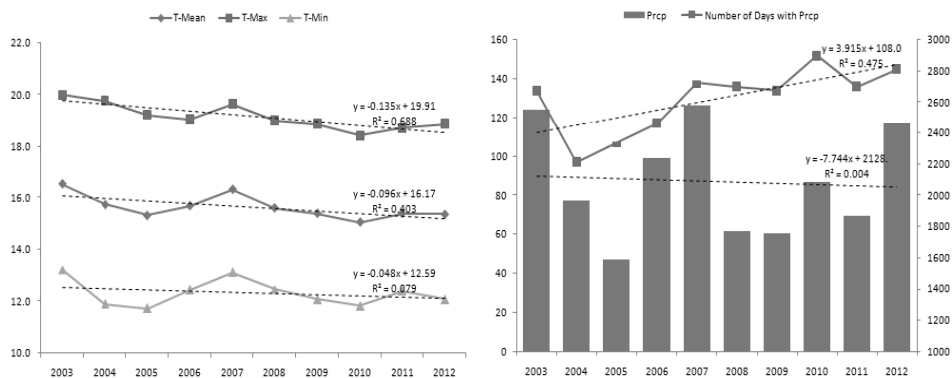
〈그림 III-19〉 Average Deviation of Yearly Temperature and Precipitation in Gosan(1988~2012).

고산의 경우 최근 이전 10년(1993~2002)의 경우에는 최고기온의 경우만 상승하는 경향을 보이며, 평균기온 및 최저기온은 하강하는 경향이 나타난다. 또한 강수량 및 강수일수는 증가경향을 나타낸다. 하지만 최근 10년(2003~2012) 경향을 보면 최고기온 및 평균기온은 하강, 최저기온은 유의하지 않지만 상승하는 경향이 나타난다. 또한 강수량과 강수일수는 감소하는 추세를 보인다.

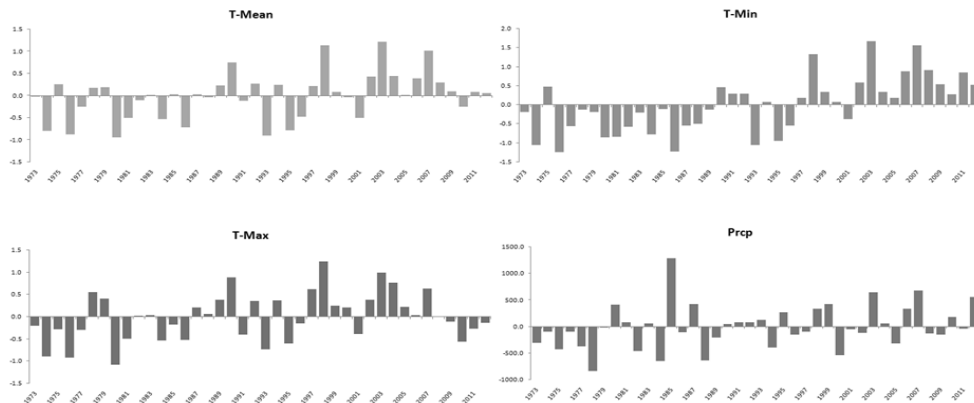
4) 성산



〈그림 III-20〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Seongsan(1993~2002).



〈그림 III-21〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in Seongsan(2003~2012).

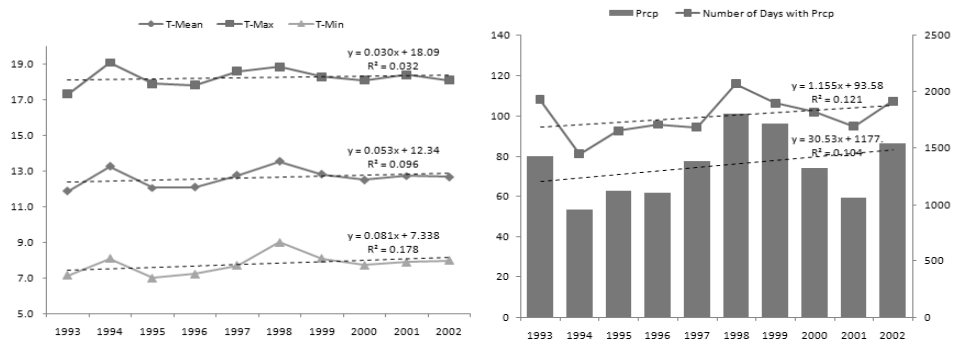


〈그림 III-22〉 Average Deviation of Yearly Temperature and Precipitation in Seongsan(1973~2012).

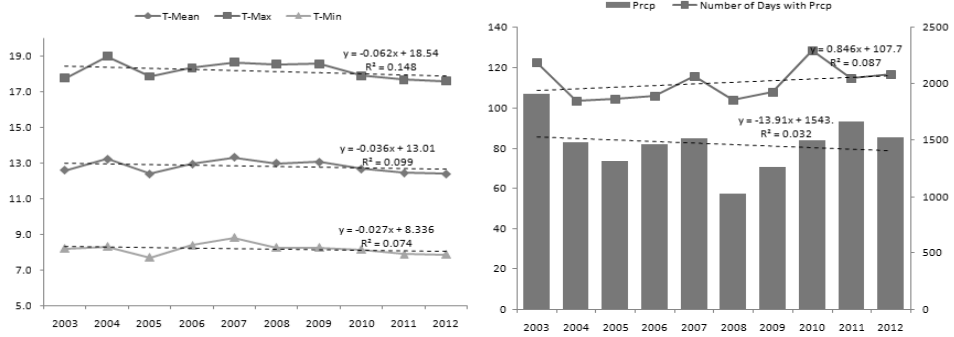
성산의 경우 최근 이전 10년(1993~2002)의 경우에는 기온 상승, 강수일수 증가 및 강수량은 감소하는 경향을 나타낸다. 하지만 최근 10년(2003~2012) 경향을 보면 기온하강, 강수일수 증가 및 강수량 감소 경향이 나타난다.

5) 전국

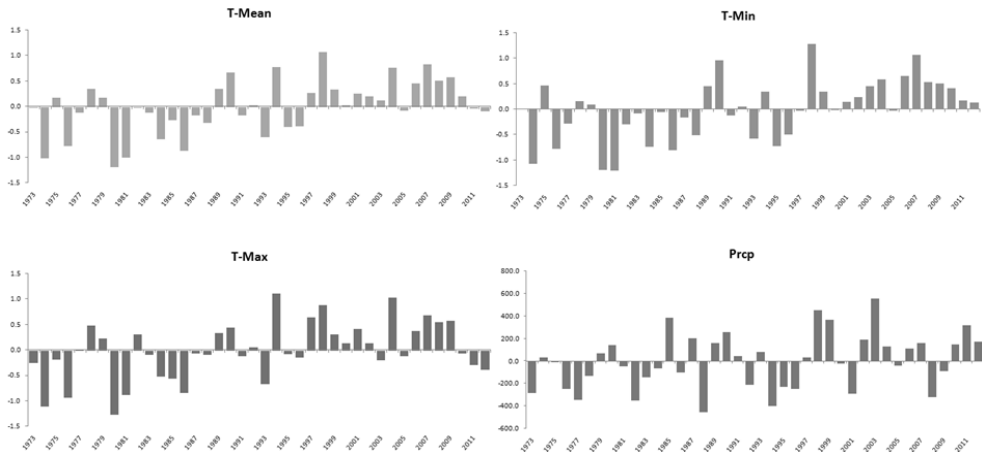
AWS 60개 지점의 전국평균의 경우 최근 이전 10년(1993~2002)의 경우 기온은 상승, 강수량 및 강수일수는 증가하는 경향을 보이다가, 최근 10년(2003~2012)의 경우에는 기온 하강, 강수일수 증가 및 강수량은 감소하는 추세로 나타난다.



〈그림 III-23〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in AWS 60(2003~2012).



〈그림 III-24〉 Yearly Temp, Prcp and Number of Days with Precipitation in AWS 60(2003~2012).



〈그림 III-25〉 Average Deviation of Yearly Temperature and Precipitation in South Korea(1973~2012).

3.3. 평년과의 비교

제주도의 ASOS 지점에 대한 분석결과와 해당 지점의 평년(1981~2010) 값과의 비교 분석 결과를 살펴보면, 최근 10년(2003~2012)의 절대값은 평년값에 비해 최고, 평균, 최저기온 및 강수량과 강수일수 모두 증가한 것을 확인할 수 있다.

즉, 최근 10년의 기온하강 경향은 평년에 비해 절대값이 높은 상태에서 하강하는 것으로 지구온난화에 따라 장기간의 기온상승 경향 상에서 단주기 형태의 하강경향 상황에

놓여 있는 것으로 볼 수 있다.

특이할만한 사항은 분석기간 전체에 비해 최근이전 10년(1993~2002)의 경우 제주, 서귀포, 고산, 성산 및 남한전체에서 강수일수가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

〈표 III-1〉 Normal value(1981~2010) of Temperature and Precipitation in Jeju.

Region	T-Mean(°C)	T-Max(°C)	T-Min(°C)	Prcp(mm)
Jeju	15.8	18.9	12.9	1497.6
Seogwipo	16.6	20.2	13.5	1923
Gosan	15.6	18.4	13.1	1142.8
Seongsan	15.4	19.2	11.9	1966.8

〈표 III-2〉 Temperature(Mean, Maximum, Minimum), Precipitation and Number of Days with Precipitation each period.

Jeju	Mean Temp	Max Temp	Min Temp	Precipitation	Number of Days with Precipitation
1924~2012	15.2	18.6	12.0	1449.1	136.9
1993~2002	16.0	19.1	13.1	1474.4	125.2
2003~2012	16.0	19.1	13.2	1579.8	138.0

Seogwipo	Mean Temp	Max Temp	Min Temp	Precipitation	Number of Days with Precipitation
1961~2012	16.3	19.9	13.0	1860.7	127.4
1993~2002	16.8	20.2	13.9	1935.0	120.7
2003~2012	17.0	20.5	14.1	2047.4	134.5

Gosan	Mean Temp	Max Temp	Min Temp	Precipitation	Number of Days with Precipitation
1988~2012	15.6	18.4	13.1	1146.5	121.6
1993~2002	15.5	18.4	13.0	1097.9	115.9
2003~2012	15.7	18.6	13.1	1209.3	129.1

Seongsan	Mean Temp	Max Temp	Min Temp	Precipitation	Number of Days with Precipitation
1973~2012	15.3	19.0	11.6	1901.0	122.8
1993~2002	15.2	19.1	11.5	1883.7	113.9
2003~2012	15.6	19.2	12.3	2085.7	129.6

AWS 60	Mean Temp	Max Temp	Min Temp	Precipitation	Number of Days with Precipitation
1973~2012	12.5	18.0	7.7	1351.4	106.7
1993~2002	12.6	18.3	7.8	1345.1	99.9
2003~2012	12.8	18.2	8.2	1466.8	112.4

3.4. 경향성 분석결과

경향성 분석을 위한 Mann-Kendall 검정기법을 적용하였으며, M-K 검정기법은 표본 자료의 특성에 민감하지 않고 간단하면서도 강력한 기능을 발휘하며 결측이나 감지 한계를 벗어나는 자료에 대해서도 적용이 가능하여, 지구 환경 분야의 연구에 광범위하게 사용되고 있는 방법 중 하나이다.

아래 표는 제주, 서귀포, 고산, 성산 및 전국에 대한 경향성 분석결과들이다.

〈표 III-3〉 Annual trend slope of precipitation and temperature of ASOS sites and AWS(60) sites by Mann-Kendall method. Significant at the 90% confidence level(*) and 95% confidence level(**)(All period until 2012).

Slope	Jeju	Seogwipo	Gosan	Seongsan	AWS(60)
T-Mean	0.021**	0.036**	0.010	0.014*	0.022**
T-Min	0.01**	0.029**	0.028*	0.013*	0.02*
T-Max	0.027**	0.053**	0.004	0.04**	0.027**
PRCP	1.345	9.225*	11.689	11.629*	7.191*
D-PRCP	-0.151*	0.000	0.846*	0.293	0.129

〈표 III-4〉 Annual trend slope of precipitation and temperature of ASOS sites and AWS(60) sites by Mann-Kendall method. Significant at the 90% confidence level(*) and 95% confidence level(**)(1993~2002).

Slope	Jeju	Seogwipo	Gosan	Seongsan	AWS(60)
T-Mean	0.031	0.161*	0.006	0.110	0.083
T-Min	0.040	0.153*	0.086	0.083	0.043
T-Max	0.058	0.163*	-0.036	0.096*	0.092
PRCP	30.75	-19.96	37.70	3.933	41.320
D-PRCP	2,500	3,333*	4.00**	1.833	1,575

〈표 III-5〉 Annual trend slope of precipitation and temperature of ASOS sites and AWS(60) sites by Mann-Kendall method. Significant at the 90% confidence level(*) and 95% confidence level(**)(2003~2012).

Slope	Jeju	Seogwipo	Gosan	Seongsan	AWS(60)
T-Mean	-0.088*	-0.083*	-0.006	-0.06*	-0.063
T-Min	-0.128*	-0.121*	-0.05	-0.148**	-0.092
T-Max	-0.047	-0.048*	0.025	-0.027	-0.036
PRCP	27.68	49.66	-3.667	-10.23	2.77
D-PRCP	1.143	-0.222	-0.286	4.667*	1.3

관측시점부터 2012년까지의 장기적인 경향 중 유의한 변화를 보면 기온은 상승, 강수량 및 강수일수는 증가하는 것으로 볼 수 있다. Table. 15에서 보면 대부분 90% 이상의 신뢰수준으로 유의미한 경향이며, 특히 제주의 경우 강수일수는 95%의 유의한 감소경향을 나타내고 있다.

최근 이전의 10년(1993~2002)의 경우에는 기온상승, 강수량 및 강수일수의 증가경향이 대부분이며, 일부 감소경향의 경우 유의미한 경향은 아님을 알 수 있다.

최근 10년의 단기적인 경향을 살펴보면 뚜렷한 기온하강경향을 알 수 있으며, 강수량 및 강수일수는 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

전국 60개소의 AWS를 분석한 결과 역시 전체 기간에 비해 최근 10년(2003~2012)의 기온이 하강, 강수량 및 강수일수는 증가 경향을 나타내지만 신뢰수준을 고려한다면 유의미한 변동성은 아니다. 따라서 한반도 내에서도 지역별로 상세 경향분석이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 재분석 자료를 이용한 고도별 특성

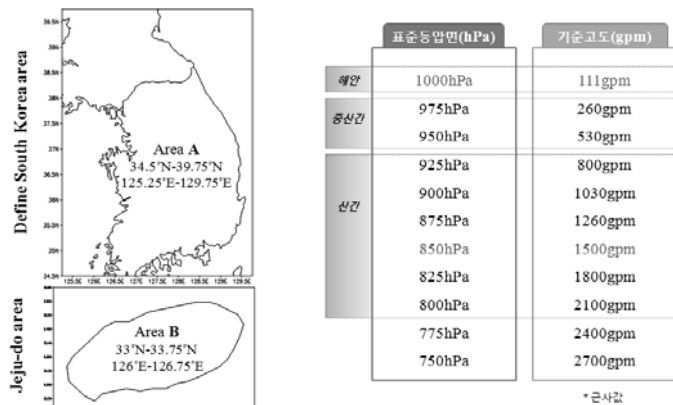
제주도 및 한라산의 고도별 특성분석을 위해 활용될 수 있는 자료는 제한적이다. 또한 과거 및 미래 변화에 대한 예측을 위해서는 장기적인 데이터의 축적이 요구되지만 관측망 부족으로 아직은 오랜 기간의 자료 확보가 부족한 실정이다.

따라서 재분석 자료를 활용하여 실제 관측데이터와의 비교를 통해 상관성 및 변동성을 비교 분석하여 고도별 변화경향 분석에 활용될 수 있는지를 분석할 필요가 있을 것으로 판단되어 ECMWF 및 NCEP/NCAR 재분석 자료들을 활용하여 고도별로 경향성을 분석하고자 한다.

4.1. 분석자료 및 분석영역

분석에 사용된 자료는 다음과 같다.

- ECMWF ERA-Interim Global Area T255L60($0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$) (1979~2012, 34y)
 - T, GPH, 2m Temperature, U, V, Vertical Velocity and MSLP
- NCEP/NCAR T62L17($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) Reanalysis Data(1979~2012, 34y)
 - NOAA OI SST V2, Precipitation, OLR, Omega



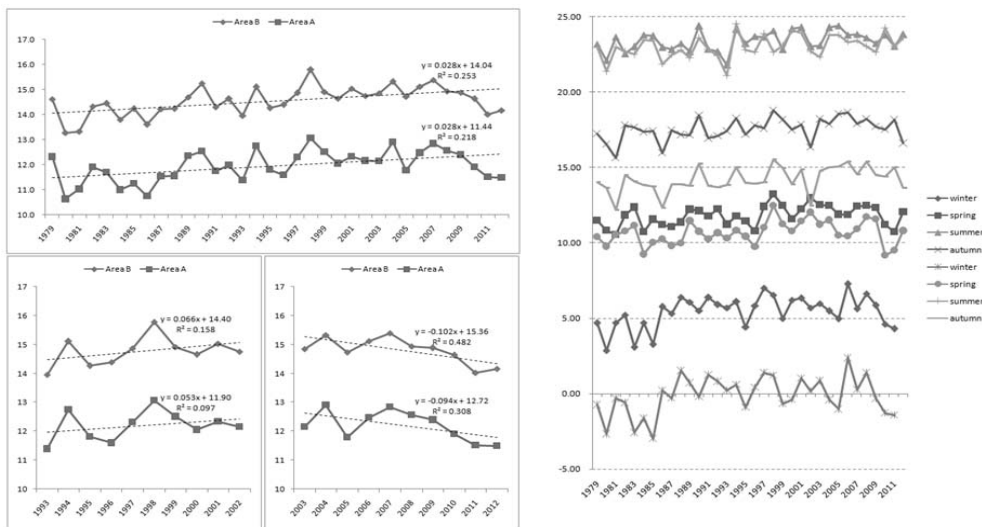
〈그림 IV-1〉 Define Area and Matching Geopotential Meter.

재분석자료의 해상도를 고려하여 정의한 남한영역(Area A)은 $34.5^{\circ} \sim 39.75^{\circ} \text{N}$, $125.25^{\circ} \sim 129.75^{\circ} \text{E}$ 이며 제주도 영역(Area B)은 $33^{\circ} \sim 33.75^{\circ} \text{N}$, $126^{\circ} \sim 126.75^{\circ} \text{E}$ 로 정의하여 영역평균 기온자료에 대한 분석을 실시하였으며, 고도별 상세 분석을 위해 표준등압면고도(hPa)를 기준고도(gpm)의 근사값으로 계산하여 비교하였다.

4.2. 고도별 기온 변화경향

Fig. 39와 Fig. 40은 고도별 영역평균 기온장에 대해 1000hPa의 분석기간 전체 34년간(1979~2012)과 최근 10년(1993~2002, 2003~2012)에 대해 연별 변화를 도식한 것이며, 나머지 고도(975~800hPa)에서도 기온기는 일부 상이하지만 경향은 동일한 결과를 보였다.

즉, 앞서 분석한 제주의 장·단기적 변동특성과 같은 결과를 보였으며, 전체 기간에 대해서는 기온이 상승하는 경향, 최근 10년(2003~2012)은 뚜렷한 기온하강 경향성이 전 고도에 걸쳐 확인되었다.



〈그림 IV-2〉 Yearly Temperature at 1000hPa in Area A(South Korea) and Area B(Jeju-do) (1979~2012 and recent 10years).

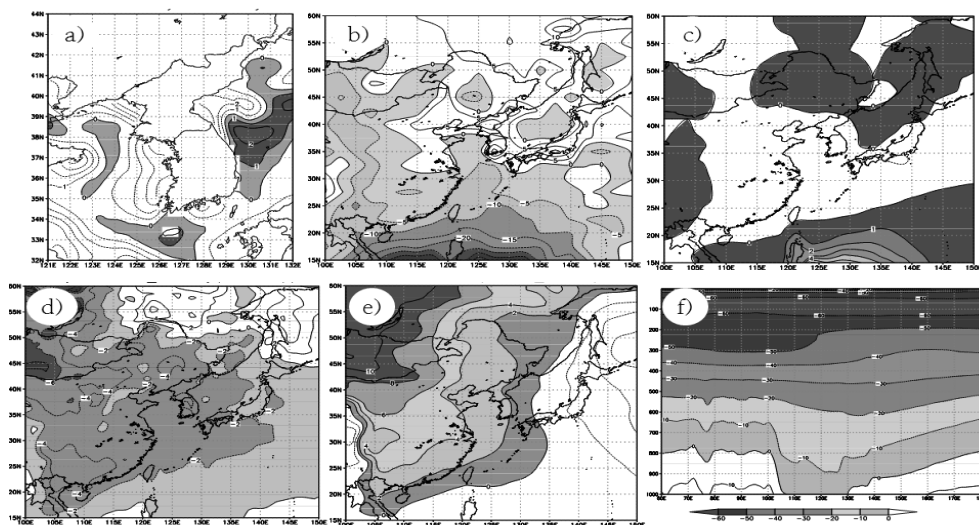
또한 고도별 기온변화 경향파악을 위해 월별 단위로 영역평균 기온에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과 재분석자료의 전체 분석기간(1979~2012) 34년 중 거의 전 고도에 걸쳐 2011년 1월 기온이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 또한 가장 기온이 높은 달은 1994년 7월로 나타났으며, 이 중 최근 10년의 기온하강 경향에 있어서 2011년 1월의 최저기온이 크게 기인 한 것으로 분석된다(Table. 18, 19).

〈표 IV-1〉 Monthly Maximum and Minimum Temperature by Elevation using ECMWF reanalysis data from 1979 to 2012 in Area A.

Area A (South Korea)	1000	975	950	925	900	875	850	825	800
July Mean	23.82	22.57	21.40	20.32	19.31	18.27	17.17	16.01	14.80
Maximum-T	26.88	25.75	24.69	23.59	22.49	21.31	20.06	18.80	17.49
Month	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94
January Mean	-1.67	-3.25	-4.62	-5.76	-6.66	-7.46	-8.26	-9.08	-9.91
Minimum-T	-5.71	-7.31	-8.66	-9.75	-10.56	-11.27	-11.99	-12.74	-13.66
Month	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-84	Jan-84

〈표 IV-2〉 Monthly Maximum and Minimum Temperature by Elevation using ECMWF reanalysis data from 1979 to 2012 in Area B.

Area B (Jeju-do)	1000	975	950	925	900	875	850	825	800
July Mean	24.34	23.20	22.48	21.76	20.90	19.90	18.79	17.66	16.45
Maximum-T	27.52	25.71	24.82	24.10	23.12	22.10	20.95	19.78	18.44
Month	Aug-06	Aug-10	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94	Jul-94
January Mean	4.37	2.32	0.42	-1.17	-2.29	-3.12	-3.83	-4.46	-5.08
Minimum-T	0.75	-1.34	-3.38	-5.33	-6.72	-7.61	-8.26	-8.79	-9.29
Month	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11	Jan-11



〈그림 IV-3〉 Monthly Mean SST(a), OLR(b), Precipitation(c), 2m Temperature(d), MSLP(e) Anomaly Field in January 2011 and Cross section of Temperature(f).

2011년 1월 당시의 배경장을 살펴보면 SST의 경우 제주주변 해역 및 동해안 지역은 양의 편차, 서해와 남해는 음의 편차값을 보인다. OLR의 경우 평년에 비해 서해를 비롯한 남해를 거쳐 서태평양부근의 대류가 활발한 형태를 보이며, 강수의 경우는 한반도 주변으로는 전체적으로 평년에 비해 낮은 상황을 나타낸다(그림 IV-3).

지상기온 및 해면기압을 살펴보면 시베리아 고기압의 확장 세력이 남해를 거쳐 일본 열도에 이르는 축을 확인할 수 있으며, 평년에 비해 시베리아 고기압이 한반도를 지나 일본 남해상까지 세력이 확장되며 연직으로 살펴볼 때 600hPa 이하의 고도부터 지상까지 한기 축이 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

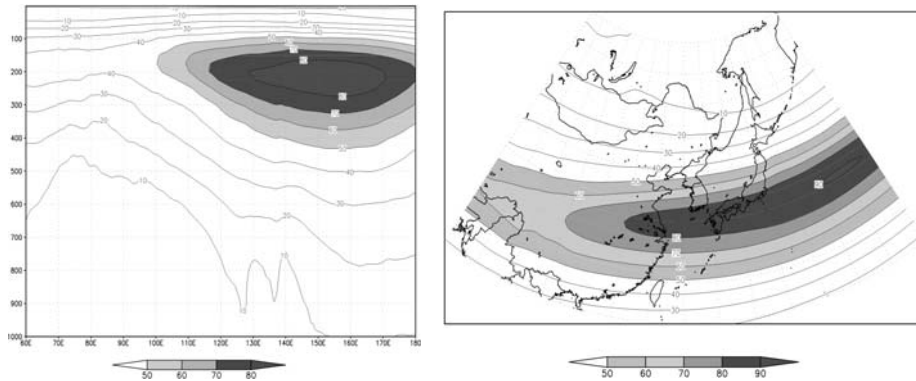
4.3. 고도별 경향성 분석결과

재분석 자료 분석기간 전체(1979~2012)의 34년 동안의 연변동 추세는 대부분 유의한 수준의 기온증가 추세를 보이며, 최근 10년간(2003~2012) 기온 변동성은 유의한 감소추세를 보였다. 월별 기온변화 경향도 연변화와 동일하였다.

〈표 IV-3〉 Annual trend slope of temperature according to the Altitude by Mann-Kendall method using ECMWF reanalysis data. Area A is South Korea Peninsula and Area B is Jeju-do region. Significant at the 90% confidence level(*) and 95% confidence level(**).

Slope of Area		1000hPa	975hPa	950hPa	925hPa	900hPa	875hPa	850hPa	825hPa	800hPa	775hPa	750hPa
Area A	1979~2012(34Y)	0.032**	0.033**	0.035**	0.034**	0.029**	0.026**	0.024**	0.021*	0.021	0.019	0.018*
	1993~2002(10Y)	0.070	0.065	0.081	0.063	0.073	0.071	0.069	0.071	0.062	0.054	0.048
	2003~2012(10Y)	-0.142*	-0.147*	-0.167**	-0.153**	-0.173*	-0.177**	-0.172**	-0.163**	-0.148**	-0.144**	-0.141**
Area B	1979~2012(34Y)	0.030**	0.033**	0.032**	0.032**	0.026**	0.024**	0.021*	0.019*	0.020*	0.021**	0.020**
	1993~2002(10Y)	0.070	0.084	0.087	0.080	0.089	0.089	0.093	0.085	0.078	0.074	0.088
	2003~2012(10Y)	-0.098*	-0.076	-0.09	-0.081*	-0.115**	-0.128**	-0.147**	-0.154**	-0.151**	-0.138**	-0.115**

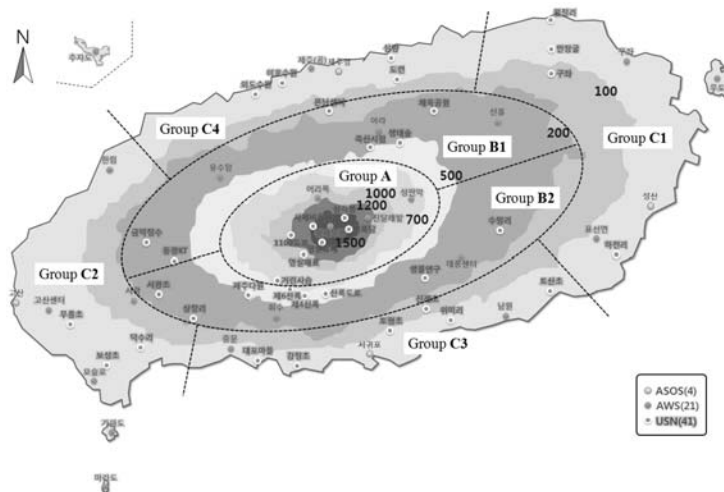
월별 재분석자료를 이용한 영역평균(남한, 제주도) 분석결과 2011년 1월 평균기온이 역대 최저로 나타났으며, 당시 80knots 이상의 강한 Jet Stream의 입구 서쪽에 한반도가 위치하여 상층 한기의 유입과 더불어 시베리아 기단의 확장으로 하층부터 상층에 이르기까지 기온이 모두 하강한 결과를 유도한 것으로 판단된다.



〈그림 IV-4〉 Cross section of Wind Speed and Wind Speed(over than 50knots shaded).

V. 제주지역 권역별 변동특성 분석

5.1. 권역별 구분



〈그림 V-1〉 Categorized by Altitude. Group A(over 600m), Group B(over 200m and below 600m) and Group C(below 200m).

제주의 권역별 특성분석을 위해 600m 이상의 산간(Group A), 200~600m 사이의 중산간(Group B) 그리고 200m 이하의 해안(Group C)지역으로 크게 구분하였으며, 해안은 다시 동서남북(C1, C2, C3, C4)으로, 중산간은 남과 북(B1, B2)으로 구분하여 총 7개 권역으로 설정하였다. 단, 다른 지역에 비해 기상학적 특성이 상이한 추자도 지역은 분석에서 제외시켰다. 단, AWS나 USN 자료는 장기간 존재하지 않는 관계로 최근 경향을 파악하는데 활용되었으며, USN(Ubiquitous Sensor Network) 장비는 주변 환경과 상황을 센서가 자동 인지하여 사용자에게 최적의 서비스를 제공할 수 있게 하는 기술을 적용한 장비로 2008년부터 순차적으로 제주의 서귀포를 중심으로 50여개가 설치 운영되고 있다(박근덕, 2012).

5.2. 권역별 분석결과

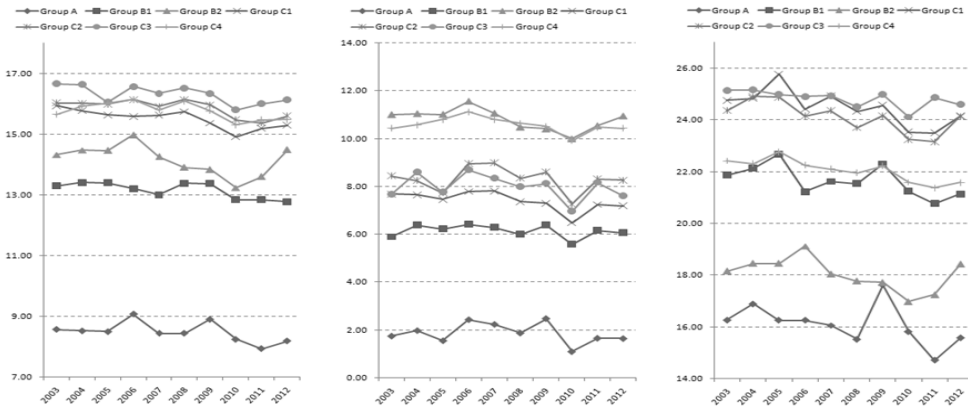
권역별 상세 변동성 분석을 위해 평균적인 기온변화 경향을 도식하였다. 평균기온, 최저기온 및 최고기온의 분포를 살펴보면 전반적으로 산간지역인 Group A의 기온이 가장 낮게 나타난다.

중산간 지역(Group B)의 경우에는 평균기온 및 최저기온은 남부지역(Group B2)이 높으며, 최고기온은 북부지역(Group B1)이 3.6℃정도 높은 것으로 나타난다. 즉, 중산간 남부지역의 기온편차(7.18℃)가 북부지역(15.51℃)의 절반정도이며, 이는 전체 권역별 지역으로 구분할 경우 가장 낮은 기온편차를 보이는 지역으로 나타난다.

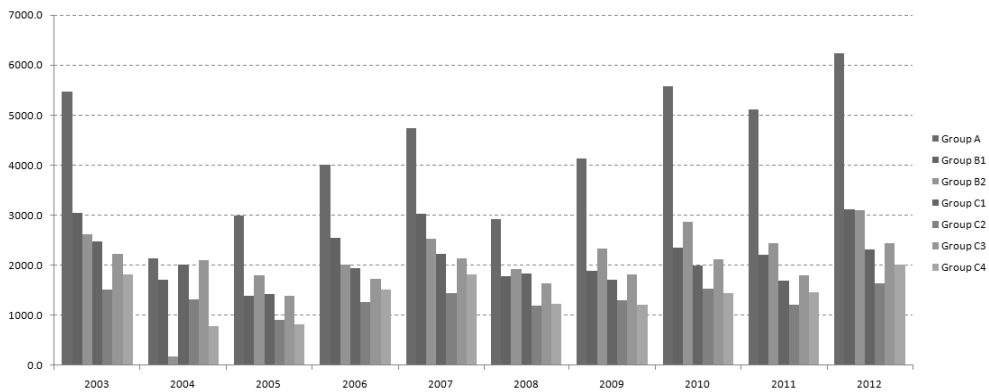
〈표 V-1〉 Temperature(Minimum, Mean, Maximum) by Group(2003~2012).

Temperature	Group A	Group B1	Group B2	Group C1	Group C2	Group C3	Group C4
Minimum	1.87	6.14	10.85	7.4	8.32	7.99	10.57
Mean	8.48	13.15	14.15	15.5	15.86	16.3	15.76
Maximum	16.09	21.65	18.03	24.48	24.1	24.81	22.05
Deviation	14.22	15.51	7.18	17.08	15.78	16.82	11.48

반면, 최고-최저기온 편차가 가장 큰 지역은 성산을 포함하는 동부해안지역으로 나타났다.



〈그림 V-2〉 Yearly Trend of Mean-Minimum-Maximum Temperature by Group(2003~2012).



〈그림 V-3〉 Yearly Trend of Precipitation by Group(2003~2012).

그룹별 강수량을 살펴보면 산간>중산간>해안 순으로 나타나며, 중산간 중에서는 북부 지역이 남부지역보다 연평균 150mm 정도 많은 것을 알 수 있으며, 해안에서는 동부>남부>북부>서부 순으로 나타난다.

〈표 V-2〉 Mean Statistics value by Group recent 10 years(2003~2012).

Mean	Group A	Group B1	Group B2	Group C1	Group C2	Group C3	Group C4
T-Max	16.1	21.6	18.0	24.5	24.1	24.8	22.0
T-Mean	8.5	13.2	14.1	15.5	15.9	16.3	15.8
T-Min	1.9	6.1	10.8	7.4	8.3	8.0	10.6
PRCP	4325.5	2315.5	2169.9	1963.2	1334.2	1941.7	1414.1

〈표 V-3〉 Annual trend slope of temperature according to the Altitude by Mann-Kendall method using AWS(2003~2012, 10y). Significant at the 90% confidence level(*) and 95% confidence level(**).

Slope	Group A	Group B1	Group B2	Group C1	Group C2	Group C3	Group C4
T-Mean	-0.055	-0.059	-0.084	-0.074*	-0.063	-0.065	-0.064
T-Min	-0.014	-0.011	-0.061	-0.064**	-0.025	-0.073	-0.031
T-Max	-0.180	-0.155	-0.126	-0.2**	-0.162**	-0.074	-0.113*
PRCP	353.2	66.8	157.4	-21.4	24.4	22.8	98.5

그룹별 자료 분석 결과 최근 10년(2003~2012)의 기온하강 경향은 일치하며, 지역별 요소별 변동추세는 일부 차이를 알 수 있다.

기온요소별 하강경향을 살펴보면 최고기온의 하강정도가 가장 크게 나타나며, 다음으로 평균기온, 최저기온 순이다. 또한 권역별 구분지역 중 기온하강 경향이 가장 큰 지역은 성산을 포함하는 Group C1(해안동부) 지역으로 가장 큰 유의한 하강추세를 보였다.

고도별로는 산간지역에서의 기온하강경향이 가장 크며, 중산간, 해안 순으로 나타났으며, 강수량은 전체적으로 최근 10년간 증가하는 경향을 보이지만 유의한 수준은 아님을 알 수 있다.

VI. 결 론

제주의 기온과 강수량의 장기간 변화를 살펴보면 기온은 상승하고 강수량 및 강수일수는 증가하는 경향을 나타내며, 최근 10년간(2003~2012)의 단기적인 변화를 살펴볼 때

강수량 및 강수일수의 증가 경향은 같으나 기온의 경우에는 하강하는 추세가 뚜렷이 분석된다. 단, 평년값과의 비교로 알 수 있듯이 최근 10년간의 절대값 자체는 높은 상황에서 하강하는 경향이 보이는 것을 알 수 있다.

분석기간 동안 제주의 연평균기온은 $0.021^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 서귀포는 $0.035^{\circ}\text{C}/\text{y}$, 고산은 $0.007^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 그리고 성산은 $0.017^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 상승률을 보인다. 즉 서귀포에서의 기온상승경향이 가장 크며, 고산이 가장 적게 나타나며, 서귀포의 경우 100년간 3.5°C 의 변화율로 전 지구 평균 기온 상승률 0.74°C 보다 훨씬 높게 나타나는 상황이다.

연평균 강수량의 경우에는 대부분의 지역에서 강수량과 강수일수가 증가하는 유의미한 경향을 보이지만, 제주의 강수일수의 경우 신뢰수준 95%의 유의한 감소 경향을 나타내고 있다. 이는 결국 한번에 집중되는 강수의 경우나 많거나 강우강도가 점점 높아지는 것으로 해석될 수 있다.

또한 전국 60개소의 AWS를 분석한 결과 역시 전체 기간에 비해 최근 10년(2003~2012)의 기온 하강, 강수량 및 강수일수 증가 경향을 나타내지만 유의미한 변동성은 아니다. 따라서 한반도 내에서도 지역별로 상세 경향분석이 필요할 것으로 판단된다.

재분석자료를 이용한 연도별 분석결과 역시 전체기간(1979~2012)의 기온변화경향은 유의한 기온상승 추세를 보이며, 최근 10년의 기온 변동성은 유의한 감소추세를 보였다. 특히, 고도별 분석을 통해 확인한 결과 전 고도에 걸쳐 기온하강 경향은 동일하게 나타나지만, 남한영역 및 제주도 영역에서 모두 산간지역(600m이상) 즉, 925hPa~800hPa고도에 해당하는 지점의 기온하강정도가 가장 크게 나타났다.

제주의 권역별 최근 10년 경향을 분석한 결과 기온은 고도와 무관하게 모두 하강하는 경향, 강수량은 증가하는 경향이 나타났으며, 최고기온 및 산간지역에서의 기온하강 경향이 가장 큰 것으로 조사되었다.

본 연구를 통해 제주의 기후변화 현황 및 지역별 변화경향을 인지하여 기후변화 적응을 위해 자연자원의 지속가능한 보전대책 마련 등을 위한 기초자료로 활용되고 더불어 제주지역의 지역별 기후변화 대응전략 마련을 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

[참고문헌]

- Cannarozzo, M. and Noto, L.V. and Viola, F. (2006) Spatial distribution of rainfall trends in Sicily, Phys. Chem. Earth, Vol. 31, pp. 1201-1211.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge.
- 기상청 국립기상연구소, 2009, 제주도 기후변화 경향 및 기후특성에 관한 연구.
- 김광섭, 김종필, 이기춘, 2011: 지역특성별 연강수량 특성 변화분석, 한국방재학회논문집, 제11권, 제2호, pp. 113-125.
- 김광섭, 임태경, 박찬희 (2009) 우리나라 월 및 연강수량의 경년변동성 분석, 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제9권, 제6호, pp. 17-30.
- 김성수, 장승민, 백희정, 최흥연, 권원태, 2006: 제주지역 기온과 강수량의 기후 변동 특성, 한국지구과학회지, 27(2), pp. 188-197.
- 박근덕, 최원철, 권오웅, 김하진, 김백조, 김순, 2012: USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 이용한 기상관측환경 최적 구성과 통합 관측 방안 연구, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, pp. 422-423.
- 송국만, 2011: 한라산 구상나무림의 식생구조와동태, 제주대학교 박사학위논문
- 이명인, 강인식, 1997, 한반도 기온 변동성과 온난화. 한국기상학회지, 33(3), 429-443.
- 이용희, 김용상, 최준태, 오재호, 2000: 고해상도 지상-해수면 자료가 지역규모의 국지순환 예측에 미치는 영향, 한국기상학회 학술대회 논문집, pp. 56-59.