

# 기후변화 영향평가의 필요성

이 승 호\* · 허 인 혜\* · 권 원 태\*\*

## 목 차

- I. 서론
- II. 최근 기후변화의 특징
  - 1. 전구적인 기후변화 특징
  - 2. 우리나라의 기후변화 특징
- III. 최근 이상기후 출현 특성
  - 1. 열대야와 한파
  - 2. 호우와 폭설
  - 3. 태풍
- IV. 결론

## I. 서론

최근 발표된 제 4차 IPCC 보고서에 따르면, 지구 온난화로 인하여 지난 100년(1906~2005년) 동안 전구 평균기온이 약 0.74℃ 상승하였다(IPCC, 2007). 이러한 지구 온난화는 자연 생태계는 물론 인류의 건강과 사회·경제적 활동의 중심인 농업과 어업, 공업 등 인간 활동의 모든 부분에 적지 않게 영향을 미칠 것으로 전망된다. 우리나라에서도 지구 온난화로 인한 급격한 기온 상승 및 이상기상 출현과 같은 기후변화가 가속화되고 있다. 이에 따라서 국가적 차원에

\* 건국대학교 지리학과

\*\* 국립기상연구소 기후연구팀

## 2. 기획논문

서 기후변화 취약성 및 영향 평가를 통하여, 그 영향을 최소화하기 위한 적응 방안 수립에 대한 필요성이 대두되고 있다(서형호, 2005 ; 기상청, 2006 ; 환경관리공단, 2006).

우리나라의 기후는 점차 아열대 기후로 바뀌어 갈 것이라는 주장이 제기되고 있다(권영아 외, 2007). 뿐만 아니라 기온이 상승하면서 겨울 기간이 사라지거나 급격하게 감소할 것이라는 연구 결과가 발표되기도 하였다(권영아 외, 2007). 실제로 최근 기후값에 의하면 쾨펜의 기후분류 기준으로 'C'기후와 'D'기후의 기준이 되는 1월 평균기온  $-3^{\circ}\text{C}$  선이 크게 북상하였음이 확인되고 있다.

1월 평균기온  $-3^{\circ}\text{C}$  선은 겨울철에 토양의 동결 여부를 결정지을 수 있는 기준이어서 더욱 중요한 의미를 가질 수 있다. 이를 반영하듯 과거 차령산맥 이남에만 분포하는 것으로 알려진 대나무가 그보다 100km 이상의 북쪽에서도 쉽게 발견되고 있다(이승호 외, 2006). 지구 온난화의 영향이 나타나고 있음을 보여주는 사례의 하나이다. 또한 기온 상승은 기후 전반에 영향을 미치고 있으며, 그 영향이라고 단언할 수는 없지만 우리나라의 강수 패턴이 과거와 크게 달라지는 양상이다. 과거에는 7월과 9월에 월별 강수량의 극대가 출현하였으나 최근에는 뚜렷한 극대기 없이 여름철의 매월 강수량이 비슷한 분포이다(이승호·권원태, 2004). 뿐만 아니라 우리나라의 강설 패턴도 크게 달라지고 있다(이승호·최병철, 2001; 이승호·류상범, 2003).

영국과 미국, 호주, 캐나다 등의 선진국에서는 1990년대 후반부터 기후변화 영향평가 및 적응 방안에 대한 연구와 대책 마련이 활발하게 이루어져 왔다. 기후변화 시나리오를 이용한 21세기 기후 전망뿐만 아니라 자연재해와 해양환경, 수문환경에 대한 영향을 예측한 연구가 활발히 수행되었다. 반면 우리나라의 경우에는 2002년 이후 기상연구소의 주요 사업인 “기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술 개발”을 통해 미래 지역기후변화 시나리오를 생산하고, 이 자료를 활용하여 기후에서 나타나는 변화에 대해서 분석하였다. 또한 기상청(2006)은 정책과제인 “기후변화영향평가 및 적응방안에 관한 연구”를 통하여 기후변화에 대한 영향평가 및 적응방안의 필요성을 강조하였다. 뿐만 아니라 각 산업과 지역별로 영향평가 및 적응방안을 마련할 로드맵 및 연구 과제를 제시하기도 하였다. 그럼에도 불구하고 영향평가 모델의 개발과 적응 방안 모색에

대한 국내의 연구는 낙후된 상태라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 기후변화 특성을 파악하여 그 영향평가의 필요성을 제기하고자 한다. 기후변화의 영향은 기후와 해수면의 변화, 농업과 생태계 등 다양한 측면에서 나타날 수 있다. 본 연구에서는 기후변화가 기후 자체에 미치는 영향을 중심으로 파악하고자 한다. 이를 위하여 최근의 열대야와 한파의 출현 특성, 호우와 폭설의 출현 특성, 태풍의 출현 특성 등을 파악하여 기후변화의 영향평가 필요성을 제시하고자 한다.

본 연구에서 전구적인 기온과 강수량 변화는 IPCC 제 3차 보고서와 제 4차 보고서의 자료를 주로 인용하였다. 또한 우리나라의 기후변화에 대한 것은 제주도의 관측소 중 관측 기간이 오래된 제주시의 기록을 중심으로 분석하였다. 그러나 이상기후나 이상기상의 출현에 관한 내용은 전국을 대상으로 분석하였다.

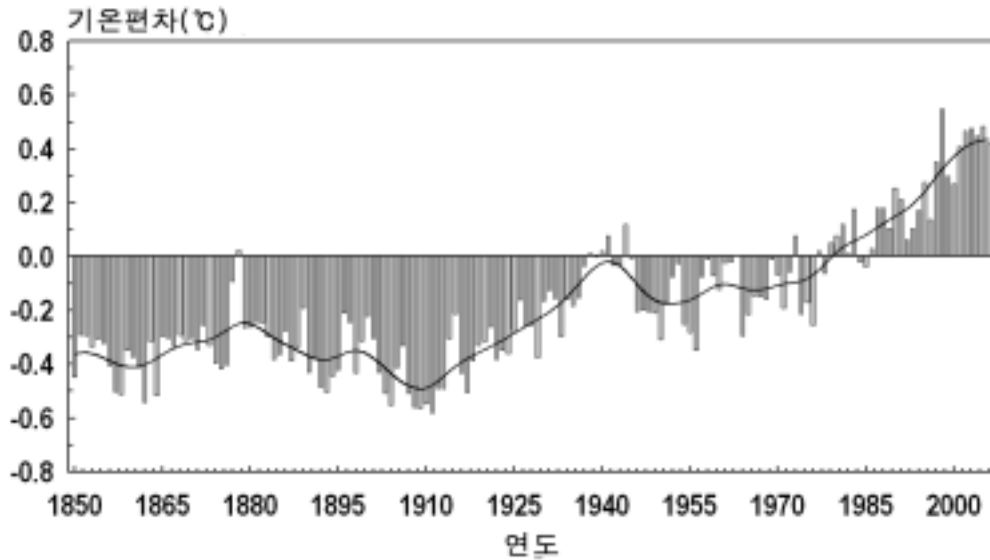
## II. 최근 기후변화의 특징

### 1. 전구적인 기후변화의 특징

지난 세기는 과거 천년 동안에서 가장 온난했던 시기였다. 기상관측이 이루어진 지난 100여 년 동안(1906~2005년)에 전구 연평균기온은  $0.74^{\circ}\text{C}(\pm 0.18^{\circ}\text{C})$  상승하였다. 이와 같은 경향은 지구상에서 표준기기로 관측하고 있는 대부분의 관측소에서 일반적으로 나타나고 있다. 이 값은 IPCC 제 3차 보고서에 제시된 1901~2000년의 추세인  $0.60^{\circ}\text{C}(\pm 0.20^{\circ}\text{C})$ 보다 높은 경향일 뿐만 아니라 최근 50년 동안에는 선형으로 10년에  $0.13^{\circ}\text{C}$  값으로 가파르게 상승하고 있음을 보여준다(IPCC, 2007).

기기관측 이후의 기온변화를 시기별로 보면 기온이 상승과 하강을 반복하였고, 최근에는 꾸준히 상승하고 있는 추세이다. 우선 지금부터 100여 년 전 무렵인 19세기 말에서 20세기 초반 사이에는 오늘날보다 기온이 크게 낮았다. 당시의 연평균기온은 오늘날에 비하여 약  $0.8^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 있다. 그러나 20세기 초

#### 4· 기획논문



<그림 1> 최근의 지구 평균기온의 변화(자료: Climatic Research Unit)

반부터 서서히 기온이 상승하여 1940년대에는 최소한 1980년대 초반과 같은 수준까지 기온이 상승하였다. 그리고 1960년대에서 1970년대로 이어지는 기간은 다시 기온이 낮아졌으며, 그로 인하여 한랭화에 관한 논의도 활발하게 이루어졌다. 심지어 1960년대에 춥고 음습한 날씨가 계속되는 것을 ‘1960년대 기후’라고 표현하기도 하였다(Lamb, 1966). 그러나 1980년대에 들어서면서 기온상승이 시작되었고, 20세기 말부터 21세기 초반까지는 그 상승폭이 더욱 커지고 있다(그림 1).

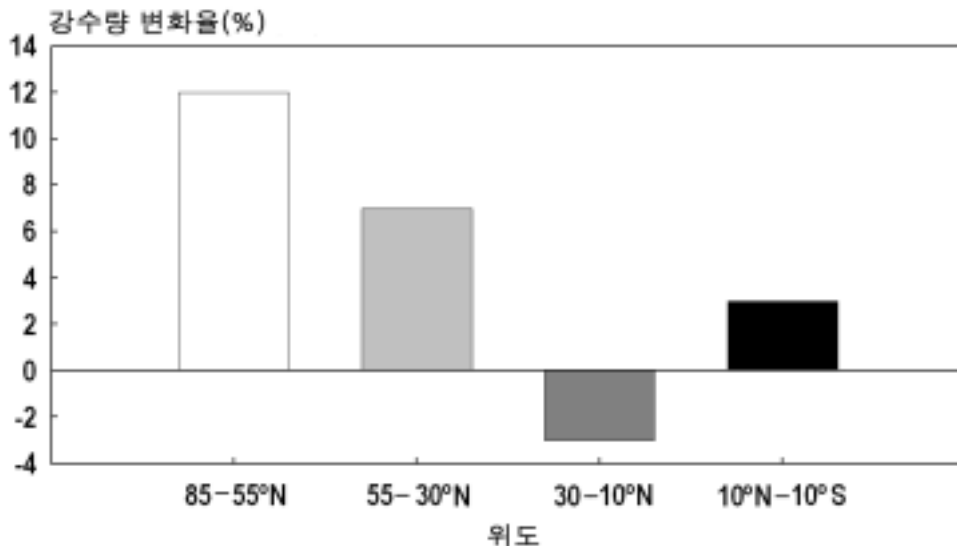
온난화의 경향이 전 세계적으로 일정하게 진행되고 있는 것은 아니다. 중위도 대륙의 겨울과 봄철에는 온난화가 뚜렷하게 진행되고 있는 반면에 남극대륙의 일부와 남반구의 해양과 같은 곳에서는 최근 10년 동안 기온상승이 거의 없었다. 그림 1은 육지의 기온과 해양의 기온, 해수면 온도 등으로부터 구한 전구의 기온변화를 보여주는 것이지만, 여기에는 여전히 불확실성이 존재한다. 예를 들면, 이 기간에 관측소를 이전한 경우가 많고 기온 관측방법이 여러 차례 바뀌기도 하였다. 더욱이 장기간 꾸준히 기온관측을 행한 관측소도 많지 않다. 특히 개발도상국과 같은 곳에서의 도시화 경향은 도시의 열섬효과에 의해서 인위적

으로 기온상승을 강화시킬 수도 있다.

그러나 지난 100여 년 동안 0.74℃의 기온상승이 작아 보이지만, 과거 10,000년 동안의 기온변화 폭과 비교하여 보면 그 값의 의미는 훨씬 심각하다. 지난 10,000년 동안의 기온변화 폭이 겨우 2℃에 불과하다. 물론 지난 1,000년 동안의 변화와 비교한다고 하더라도 그 값의 의미가 강조되어야 한다.

대류권이 가열되면 해양표면에서 증발량이 증가하므로 공기 중에 수증기량이 늘고 그로 인하여 강수량이 증가할 것이다. 전구적으로 보면 오늘날 육지의 강수량은 1900년 이후 약 2% 증가하였다(Jones and Hulme, 1996). 태양복사량을 가장 많이 받는 저위도의 해양에서 증발량이 가장 많고, 대기대순환에 의해서 증발한 수분이 고위도로 이동하면서 냉각되면서 응결하여 강수로 발달한다.

지구 온난화에 의하여 대기로 가해지는 열에너지에 의해서 열대 위도대의 해양표면에서 증발한 물은 강수로 바뀌기 전에 고위도로 이동한다. Houghton 외(2001)에 의하면 온실효과가 강화되면서 위도 30° 부근에서는 강수량이 증가하지만, 정작 증발이 많을 것으로 예측되는 위도 5~30°의 지역에서는 강수량이 감소할 것으로 보고되었다. 1900년부터 1999년 사이의 강수량 변화가 그런 상황을 잘 보여준다(그림 2). 즉, 최근 100여 년 동안에 북반구의 중위도와 고위도



<그림 2> 위도대별 강수량 변화율(Hardy, 2003)

지방에서는 강수량이 크게 증가하였고, 북반구의 저위도에서는 강수량이 감소한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 패턴은 유럽에서도 잘 나타나서, 1946년부터 1999년 사이에 북부유럽에서는 강수일수와 강수량이 증가한 반면 남부유럽에서는 감소하였다(ECA, 2002).

기온상승으로 인하여 해양에서 증발량이 증가하면 적어도 온대지방에서는 운량이 늘 것이며, 최근 10여 년 동안 운량은 전구적으로 증가하였다(Nicholls et al., 1996). 운량이 증가하면, 구름이 열을 잡아 놓으므로 겨울철에는 온난하게 되고, 여름철에는 구름이 태양복사 에너지를 반사시키므로 오히려 기온을 낮출 것이다. 그러므로 운량의 증가는 겨울과 여름철의 기온 차이를 작게 하여 연교차에 영향을 미칠 것이다(Hardy, 2003).

오늘날보다 구름이 증가한다면 야간에 지표면에서 열 손실이 적어지므로 밤과 낮의 기온 차이도 작아진다. 1940년대 이후로 유럽과 북아메리카에서 밤과 낮의 기온 차이가 감소하였다(ECA, 2002; Kukla and Karl, 1993). 전구적으로 보면 1950년대 이후 일 최저기온의 상승폭이 일 최고기온의 상승폭을 능가하면서 일교차가 감소하고 있다. 이는 운량의 증가에 의한 것이라고 여겨지고 있다(Dai et al., 1997).

이와 같이 기온상승은 그것으로 한정되지 않고 다른 기후요소에 영향을 미친다. 물론 기온상승에 의하여 변화한 다른 요소가 다시 기온변화에 영향을 미칠 것이다. 이와 같이 기온변화는 단순한 문제가 아니다. 또한 기온상승은 다른 기후요소 뿐만 아니라 인류의 생활에 직결된 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 기온상승의 원인을 파악하여 미래의 기후변화에 대한 영향에 대비해야 할 필요가 있다.

## 2. 우리나라의 기후변화 특징-제주를 중심으로

### 가. 기온 변화

우리나라의 기온은 전구 평균기온에 비하여 상승폭이 크다. 제주의 경우 1931~1960년의 연평균기온은 14.7℃이었으나, 1971~2000년의 연평균기온은 15.6℃로 상승하였다(표 1). 20세기 후반의 예년값이 20세기 중반에 비하여 0.9℃ 정도

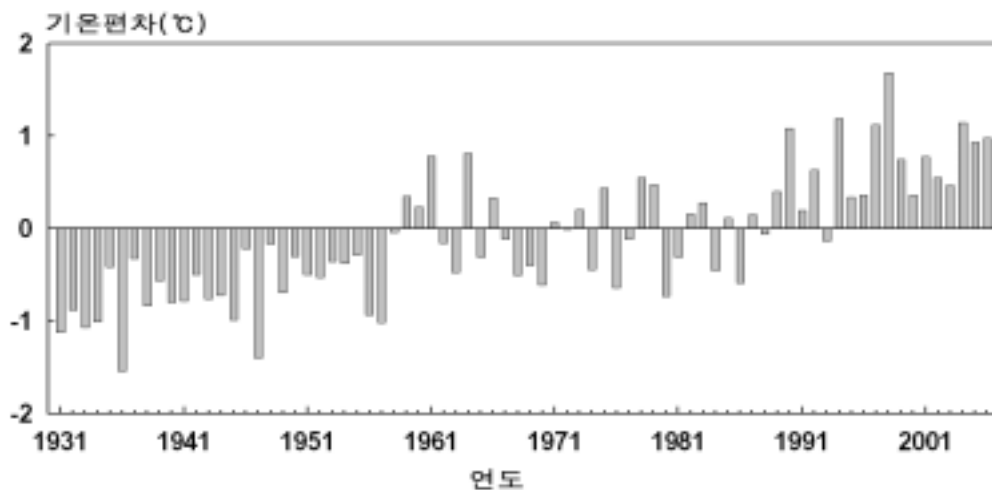
<표 1> 제주의 시기별 기온 변화 (단위: °C)

계절 기간	겨울	봄	여름	가을	전년
1931-1960	5.9	12.2	23.8	16.9	14.7
1941-1970	6.0	12.5	24.1	17.2	14.9
1951-1980	6.2	12.8	24.2	17.4	15.2
1961-1990	6.1	13.0	24.5	17.6	15.3
1971-2000	6.5	13.3	24.5	17.7	15.6
1981-2006	6.7	13.6	24.7	18.0	15.8

(자료: 기상청)

더 높다. 매 10년 간격을 두고 30년 평균값을 구해보면, 1971~2000년 사이의 연평균 기온이 15.6°C로 그 전 기간(1961~1990년)에 비하여 0.3°C 상승하였다. 또한 1951~1980년 기간의 연평균기온은 15.2°C로 역시 그 전 기간(1941~1970년)의 평균값에 비하여 0.3°C 상승하였다. 이러한 경향은 1961~1990년 기간을 제외하고 같은 추세로 나타났다. 즉, 1980년대의 기온 상승 경향이 주춤하였을 뿐이며 그 외의 기간에는 꾸준하게 기온이 상승하였다는 것을 보여준다.

그림 3은 제주의 1961~1990년의 평균값에 대한 연평균 기온의 편차를 나타



<그림 3> 제주의 1961~1990년 평균에 대한 연평균 기온 편차(자료: 기상청)

낸 것으로 1930년대 이후 기온 상승 경향을 명확하게 보여준다. 그림에서 (-)의 값은 그해의 연평균 기온이 1961~1990년 평균값보다 낮다는 것을 의미하며, (+)의 값은 높다는 것을 의미한다. 그림 3에서와 같이 1930년대와 최근의 값을 비교하여 보면 그 차이는 2℃에 이른다. 시기별로 보면, 1960년대 이전에는 전 기간에 걸쳐서 1961~1990년 평균값보다 낮은 값이며, 1980년대 중반 이후는 전 기간에 걸쳐 1961~1990년 평균값보다 높은 값이다. 이는 최근에 기온 상승이 뚜렷하다는 것을 명확하게 보여준다. 이와 같은 제주의 기온 상승 경향은 우리나라의 대부분 도시에서 나타나고 있는 일반적인 경향이다. 대도시인 서울의 경우 1931년부터 2006년까지의 기온 상승률은 0.29℃/10년으로 100년 동안 2.9℃가 상승하였음을 의미한다. 제주의 경우는 그 값이 0.23℃/10년으로 서울보다는 낮지만 전구적인 상승률에 비하여 높은 값이다(표 2).

<표 4> 서울과 제주의 계절별 평균기온 상승률 (단위 : ℃/10년)

계절 \ 지점	서울	제주
겨울	0.42	0.20
봄	0.38	0.32
여름	0.12	0.18
가을	0.22	0.23
전년	0.29	0.23

계절별로 보면 봄철의 상승이 두드러지며, 그 다음은 가을, 여름, 겨울 순이다. 봄철의 경우 제주의 1931~1960년간의 연평균기온 평균값은 12.2℃였으며, 최근 1981~2006년 사이의 평균값은 13.6℃로 1.4℃가 상승하였다. 제주의 1931년 이후 기온 상승률은 0.32℃/10년으로 연중 가장 높다. 여름철의 기온 상승률은 0.18℃/10년으로 가장 낮다. 이는 서울의 경우도 같은 상황이다. 다만 겨울철 제주의 기온 상승률은 0.20℃/10년이지만 서울의 경우 그 값이 0.42℃/10년으로 차이가 크다. 제주에서 봄철 기온 상승률이 높은 것은 전구적인 경향과 일치한다.

제주의 연평균 최저기온의 상승률은 0.29℃/10년으로 평균기온의 상승률보다



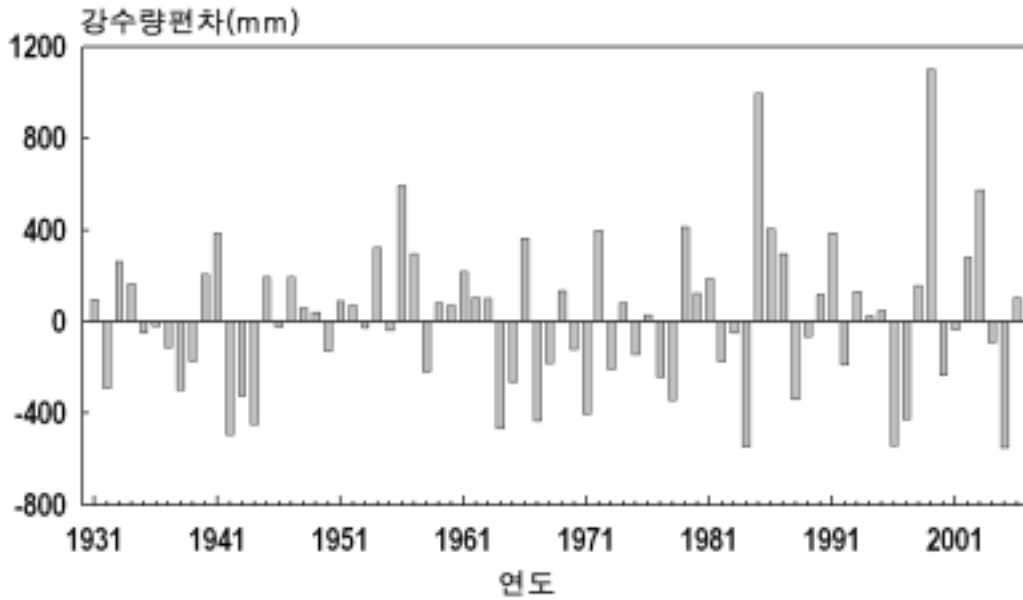
더 높다(표 3). 제주의 봄철 최저기온 상승률은 0.39℃/10년으로 평균기온보다 0.07℃/10년이 더 높다. 제주의 가을철 최저기온 상승률도 평균기온의 상승률 0.08℃/10년이 더 높다. 이와 같은 경향은 다른 계절에도 나타나며, 서울의 경우도 비슷한 경향이다.

<표 5> 서울과 제주의 계절별 최저기온 상승률 (단위 : °C/10년)

계절 \ 지점	서울	제주
겨울	0.06	0.25
봄	0.47	0.39
여름	0.19	0.21
가을	0.39	0.31
전년	0.40	0.29

## 나. 강수량 변화

제주의 강수량 변동 경향은 크게 두 가지의 특징이 있다. 우선 1930년대에 비하여 최근 증가한 경향이 나타난다(그림 4와 표 4). 즉, 제주의 1931~1960년의 평균 강수량은 359.5mm였으나 1971~2000년의 평균은 364.3mm이고 1981~2006년의 평균은 371.0mm로 점차 증가하는 경향이다. 그러나 계절별로는 조금 상이한 결과이다. 즉, 여름과 봄철에는 증가한 경향이 뚜렷하지만, 가을과 겨울철 강수량은 감소한 경향이다. 여름철 강수량 증가가 더욱 두드러진다. 제주의 1931~1960년의 연평균 강수량은 594.4mm였으나 1981~2006년의 연평균 강수량은 693.7mm로 약 100mm가 증가하였다. 반면에 같은 기간에 가을철 강수량은 406.1mm에서 338.3mm로 67.7mm가 감소하였다(표 4). 이와 비슷한 결과가 이미 이승호와 권원태(2004)에 의하여 밝혀진 바 있다. 즉, 가을에 해당하는 9월 강수량이 크게 감소하였으며, 특히 9월의 중순과 초순 강수량의 감소가 두드러진다. 반면, 8월 중순과 7월 하순, 6월 중순의 강수량 증가폭이 크다.



<그림 4> 제주의 1961~1990년 평균에 대한 연평균 강수량 편차(자료 : 기상청)

제주의 강수량 변동의 또 다른 특징은 변동 폭이 점차 증가하는 경향이다. 특히 1980년대 이후의 변동 폭이 두드러지게 증가하였다. 1980년대 이후에 1961~1990년 평균값보다 1,000mm 가까이 초과하는 경우가 2번 있었으며, 평균값에 500mm 이상 부족한 경우도 3회가 있었다. 이는 점차 강수량 변동이 증가하고 있

<표 4> 시기별 강수량 변화 (단위 : mm)

계절 기간	겨울	봄	여름	가을	전년
1931-1960	193.30	244.20	594.37	406.09	359.49
1941-1970	190.40	262.83	601.41	374.39	357.26
1951-1980	195.07	259.85	633.11	349.26	359.32
1961-1990	182.96	254.27	655.16	332.55	356.24
1971-2000	175.10	263.86	680.10	338.29	364.34
1981-2006	167.78	275.36	693.71	347.24	371.02

음을 보여주는 것으로 이상기상의 출현 가능성이 증가하고 있음을 보여주는 것이다. 이와 같은 결과는 선행 연구에서도 확인된 바 있다(이승호와 권원태, 2004).

### Ⅲ. 최근 이상기후 출현 특성

최근 1995~2005년까지의 11개의 해는 관측 이래 가장 더웠던 해로 선정되었다. 또한 인구가 밀집한 중위도 지역에서는 대부분의 지역에서 서리일수가 감소하고 극한 고온일수의 증가와 극한 저온일수의 감소가 보고되었다. 특히 2003년 여름 서부유럽과 중앙유럽의 열파 현상은 관측이 시작된 이후 가장 더운 여름을 기록하여 프랑스에서는 40℃를 넘는 이상고온에 의해 노약자를 포함한 15,000명의 사망자가 발생하였다(Luterbacher et al., 2003).

한반도에서도 1994년 7월과 8월의 높은 기온으로 서울에서의 1994년 여름철 사망자가 1993년과 1995년에 비하여 노약자와 심장병, 호흡기 질환, 고혈압 환자들을 중심으로 약 1,000명 정도 증가하였다(장재연 외, 2003). 또한 1993년 여름철에는 이상저온 현상이 발생하여 평년보다 7월에 1~4℃, 8월에 2~4℃ 낮은 기온 분포를 보여 벼의 생산량이 전년보다 11.4%, 과수는 20% 이상 감소하였다(농림부, 1994). 또한 음료와 냉방업계에서도 15~50% 이상 큰 피해를 입기도 하였다(김해구 외, 1997).

이상 기온 현상뿐만 아니라 여름철 호우와 태풍, 겨울철 폭설의 빈도와 강도의 변화도 뚜렷하다. 2002년과 2003년에 우리나라에 영향을 미쳤던 태풍 ‘루사’와 ‘매미’는 각각 동해안 지역과 남해안 지역에 많은 강수와 강풍을 동반하여 기록적인 재해를 야기시켰다. 또한 과실 지역인 남해안 지역에서는 2000년 이후 폭설이 발생하여 그 피해의 규모가 더욱 증가하였다.

## 1. 열대야와 한파

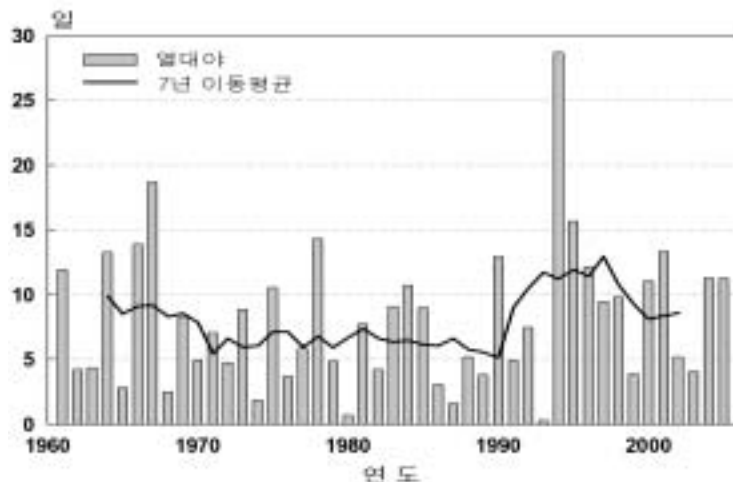
### 가. 열대야

최근에 극값 형태의 기후 현상이 생태계에 미친 영향을 파악하기 위하여 열파, 한파, 가뭄, 호우 등의 변화를 분석하는 연구는 전 세계적인 기후변화 관련 연구 중 가장 주목받는 분야 중 하나이다. 그 중 이상 기온은 기후변화에 민감하게 반응하므로 자연적이거나 인위적인 기후변화가 생태계와 인간 활동에 미치는 영향을 모니터링할 수 있는 좋은 변수이다(Easterling and Kates, 1995).

전구 평균기온 상승은 최고기온보다는 최저기온 상승에 의한 영향이 크다(Karl et al., 1991). 우리나라는 북태평양고기압의 세력이 강한 한여름이 되면 불볕더위가 계속되고 불쾌지수도 상당히 올라가며 대기 중의 풍부한 수증기로 인하여 남해안 지역과 도심지를 중심으로 일최저기온 25℃ 이상인 열대야가 출현한다.

최근 10년간 열대야는 1971~2000년 평년값인 7.8일/년과 비교하여 평균 9.2일/년 출현하여 약 1.4일 증가하였다. 2000년을 기준으로 전반기와 후반기로 구분하였을 때 전반기는 평년보다 1.5일 증가하고 후반기는 1.3일 증가하였다.

1961~2005년까지 기상대를 중심으로 한 우리나라 열대야 출현 빈도의 변화는 그림 5와 같다. 1960년대 평균 8.5일/년 출현하다가 1970년대 6.3일/년, 1980



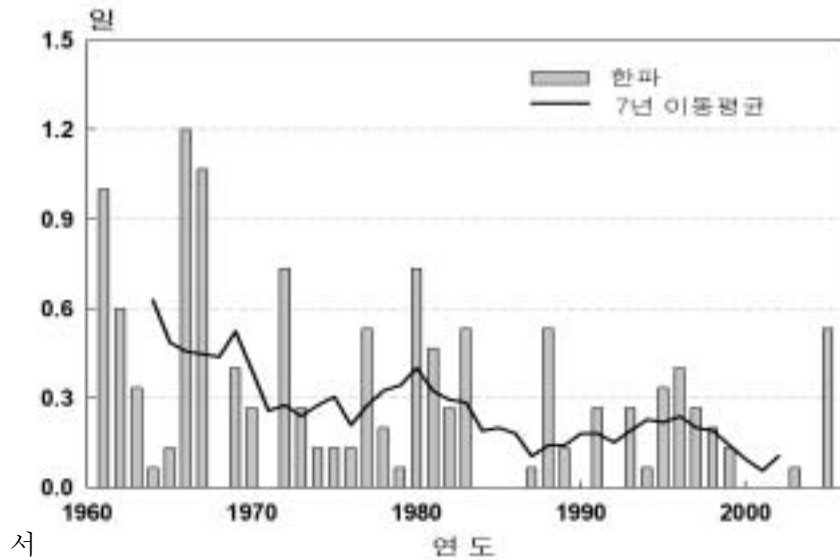
<그림 5> 열대야 일수의 변화(1961~2005)

년대 6.7일/년으로 감소하다가 1990년대 들어서면서 전년 대에 비하여 출현 빈도가 10.3일/년으로 급격하게 증가하고 2000년대에는 9.0일/년으로 다소 감소하는 경향이다. 1970년대와 1980년대에 비하여 1990년대부터 증가하는 경향이 뚜렷하다. 1990년대 증가 경향은 높은 기온이 지속됐던 1994년의 열대야가 평균 28.7일/년 출현하며 그 증가를 더 뚜렷하게 하였다.

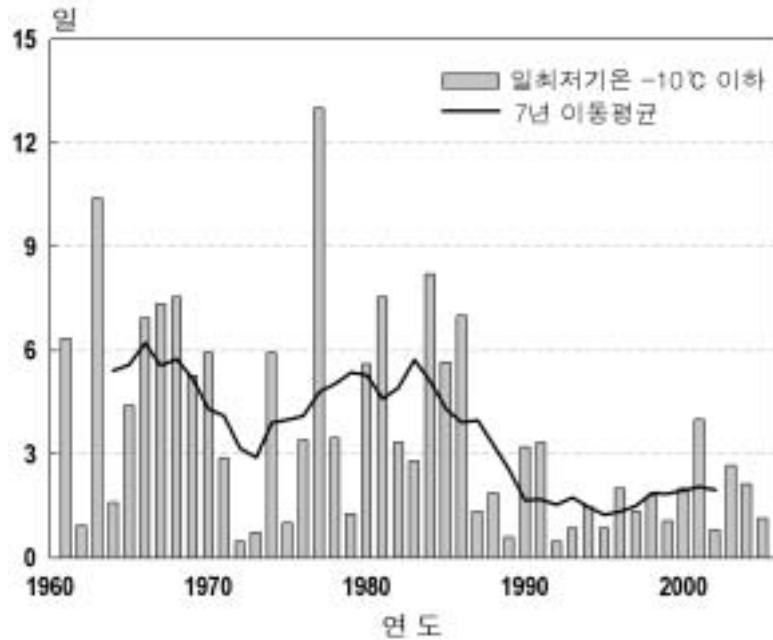
## 나. 한파

시베리아 기단의 세력이 확장되는 한랭한 시기에 출현하는 한파는 폭설과 더불어 겨울철의 대표적인 악기상이다(Zhang et al., 1997). 본 연구에서는 일최저기온이 영하이며 전날 일최저기온보다 10℃ 이상 하강하였을 때를 한파라고 정의하였다.

그림 6은 1961~2005년까지의 관측 자료를 보유한 15개 관측 지점(강릉, 서울, 인천, 울릉, 추풍령, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주,



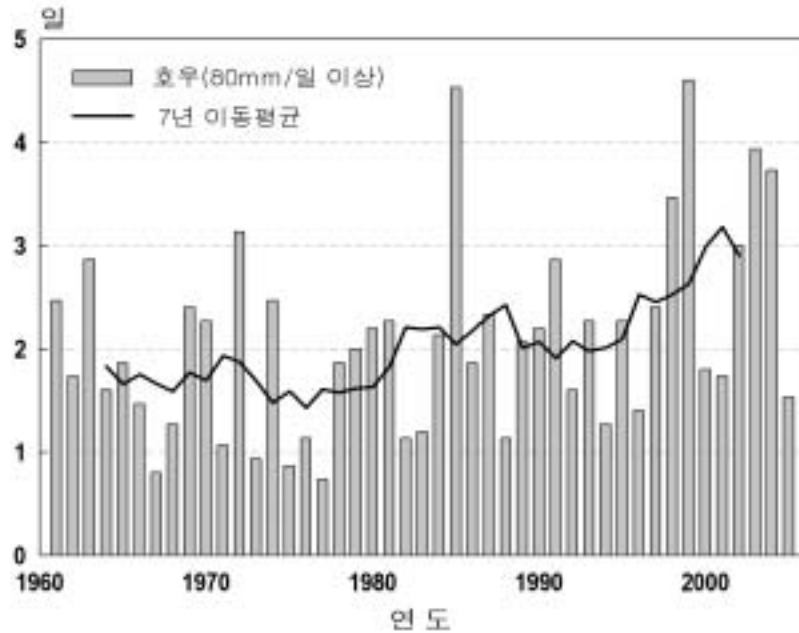
<그림 6> 한파 일수의 변화(1961~2005)



<그림 7> 일최저기온 -10°C 이하 일수의 변화(1961~2005)

귀포)의 한파 출현 빈도를 나타낸 것이다. 최근 10년간 한파는 1971~2000년 평년값인 0.23일/년과 비교하여 평균 0.16일/년 출현하여 약 0.07일 감소하였다. 한파는 출현 빈도가 낮기 때문에 그 수치의 변화가 크지 않고 일정 경향을 논하기에 어려움이 따른다. 1960년대 평균 0.5일/년 출현하다가 1970년대 0.3일/년으로 감소하고 1980년대 0.2일/년, 1990년대 0.2일/년, 2000년 이후 0.1일/년으로 지속적으로 수치가 감소하였다.

한파보다 출현 빈도가 많고 극한 저온을 표현할 수 있는 일최저기온 -10°C 이하인 날의 1961~2005년간 변화 경향은 그림 7과 같다. 1971~2000년에는 일최저기온 -10°C 이하인 날이 연간 3.1일 출현하였으나 최근 10년 동안에는 연간 평균 1.9일로 감소하였다. 그 출현이 1970년대 초반과 1980년대 후반부터 최근까지 감소하는 경향이 뚜렷하다. 1960년대 평균 5.7일/년에서 1970년대 3.8일/년으로 감소하다가 1980년대에 4.2일/년으로 증가하고 1990년대 1.5일/년으로 급격하게 감소하였다. 2000년 이후 2.1일/년으로 증가하였다.



<그림 8> 호우(80mm/일 이상) 일수의 변화(1961~2005)

## 2. 호우와 폭설

### 가. 호우

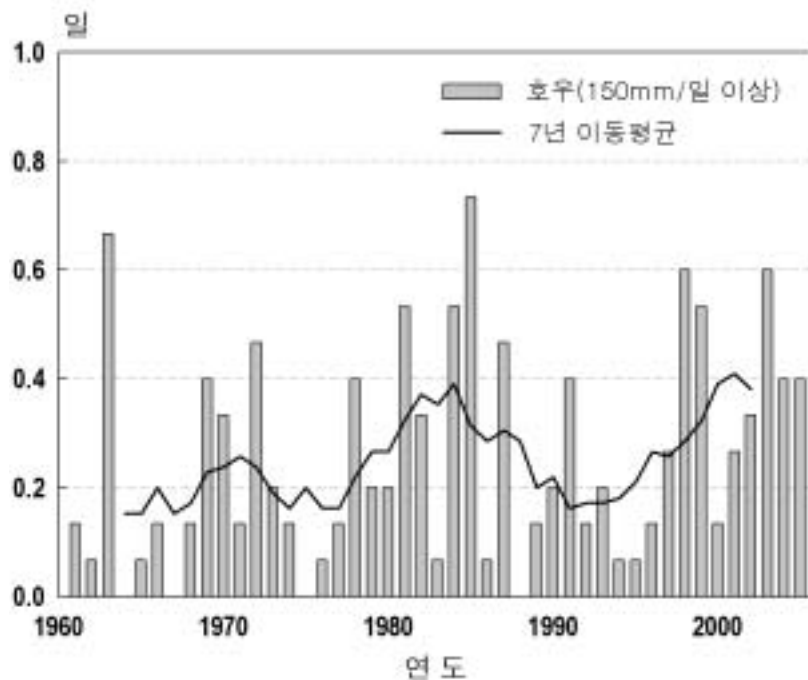
호우는 장마전선, 태풍, 저기압과 고기압의 가장자리에서 대기 불안정에 의해 형성된 강한 상승기류로 만들어진 적란운이 원인이 되어 발생한다. 최근 마스크를 통해 한 지역에 집중해서 발생하는 경우를 국지성 집중호우라 하고 산발적으로 여러 지역에서 발생하는 경우를 게릴라성 집중호우로 불리고 있다.

이승호와 권원태(2004)는 우리나라의 1941년에서 2000년까지의 장기간 여름 강수 변화에 관한 연구에서 1941~1970년間に 비하여 1971~2000년간의 강수량이 평균 32.0mm 증가하였고 이는 8월 강수(61.0mm 증가)의 증가가 영향을 미쳤다고 하였다. 또한 여름 강수량이 100.0mm 이상 증가한 중서부 지역의 경우에는 증가하는 호우 빈도와의 관련성을 밝혔다.

일강수량 80mm 이상인 호우 발생의 출현 빈도는 1971년에서 2000년까지는 평균 2.0일/년이고 최근 10년간 평균 2.8일/년로 평년에 비하여 0.8일 증가하였다. 최근 호우 출현 빈도의 증가는 평년에 비하여 2000년 이후인 후반기에 0.8일 더 증가하여 전반기(0.7일)보다 다소 높은 수치를 보여 1990년대 중반 이후부터 최근까지 지속적으로 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

그림 8은 1961~2005년까지 일강수량 80mm 이상인 호우 발생의 출현 빈도 변화를 나타낸 것이다. 1960년대부터 최근까지 증가하는 경향이 뚜렷하다. 1960년대에 평균 1.8일/년 출현하였던 것이 1970년대 1.6일/년로 감소하였다. 1980년대에 80mm 이상인 호우가 2.1일/년 출현하며 그 수치가 증가하고 1990년대 2.4일/년, 2000년 이후 최근까지 평균 2.8일/년 출현하며 지속적으로 증가하는 경향이다. 1960년대와 1970년대까지는 큰 변화 없다가 1980년대 이후 호우 출현 빈도가 증가하기 시작한다.

일강수량 150mm 이상인 경우는 호우 경보의 기준이 되는 수치로 매우 극한 강수 현상이다. 그림 9는 지난 45년간 큰 피해를 야기할 수 있는 일강수량



<그림 9> 호우(150mm/일 이상) 일수의 변화(1961~2005)



150mm 이상인 날의 출현 빈도를 그래프화 한 것이다.

일강수량 80mm 이상인 경우에는 1980년대부터 최근까지 지속적으로 증가하는 경향이었으나 일강수량 150mm 이상인 경우는 1970년과 1980년대 중반을 기점으로 증가와 감소의 변동이 나타난다. 1960년대와 1970년대에는 호우 출현 빈도가 모두 평균 0.2일/년로 큰 변동 없다가 1980년대 들어서며 0.3일/년로 다소 증가하던 경향이 1990년대 0.25일/년로 감소하다가 다시 2000년 이후 0.4일/년로 증가하였다.

일강수량 150mm 호우 현상은 일강수량 80mm 이상인 호우보다는 증가 경향이 지속적이지 않지만 1990년대 중반 이후부터 최근까지 전반기에 0.1일/년 증가하던 것이 후반기에 0.2일/년 증가하여 최근 10년간 집중 호우는 증가하였다.

## 나. 폭설

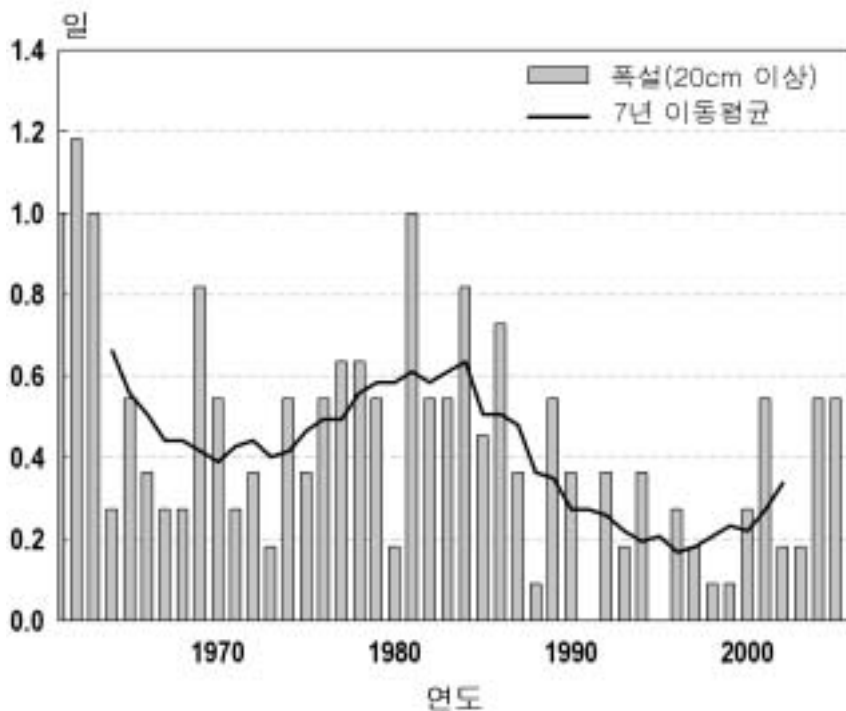
겨울철은 한랭한 시베리아 고기압의 강도 변화에 따라서 강설 형성이 지역별로 다양하다. 우리나라 대표적인 다설 지역은 울릉도, 강원 영동 지역, 호남 서해안 지역, 산지 지역 등이다. 호남 서해안 지역의 경우 "바다 효과"에 의하여 시베리아 고기압이 한반도로 세력을 확장할 때 도서 지역과 해안 지역을 중심으로 많은 눈이 내린다. 강원 영동 지역은 시베리아 고기압의 세력이 약해져 화북지방에서 변질된 이동성 고기압이 동진하여 우리나라의 북동쪽에 이동성 고기압의 중심이 위치하며 북동풍이 불 때 영동지방을 중심으로 많은 강설이 형성된다. 이는 다른 지역에 비하여 폭설 형태를 취하는 경우가 빈번하다. 울릉도는 호남 서해안과 강원 영동지방의 강설 형태가 모두 나타나는 곳으로 시베리아 고기압의 세력이 강할 때와 약할 때 모두 영향을 받아 우리나라 제 1의 다설 지역이다.

그림 10은 우리나라 1961~2005년까지의 폭설 출현 빈도의 변화를 나타낸 것으로 0.02일/년 감소율을 보이고 있다. 1960년대 평균 0.6일/년 출현하다가 1970년대 0.4일/년로 감소하고 1980년대 0.6일/년로 다시 증가하다가 1990년대 들어서면서 출현 빈도가 0.2일/년로 크게 감소하며 2000년대에는 0.4일/년로 다시 증

가하였다. 일 강설량 20cm 이상인 폭설은 1980년대 중반 이후 감소하는 경향이 뚜렷하지만 2000년 이후 다소 증가하는 경향이다.

폭설은 1971~2000년에는 연간 평균 0.4일 출현하였으나 최근 10년간에는 평균 0.3일/년 출현하여 약 0.1일 감소하였다. 다설 지역인 울릉도와 영동 지방(강릉), 호남 서해안 지역(정읍)에서는 20cm 이상의 폭설 출현 빈도가 평년에는 각각 2.5일/년, 1.4일/년, 0.4일/년이었던 것이 최근 10년에는 연간 1.7일/년, 1.0일/년, 0.2일/년으로 감소하였다. 그러나 최근 10년의 폭설의 출현 빈도는 1990년대와 비교하였을 때 다소 증가하였다. 특히 폭설이 출현한 관측 지점의 수가 과거에는 일부 다설 지역에 한정되었지만 최근 2000년 이후에는 남부 지방의 광주, 목포와 과설 지역으로 알려진 부산, 포항 등에서도 20cm가 넘는 폭설이 출현하였다.

2004년 3월 6일 충청남도 지역을 중심으로 내린 많은 눈은 대전에서 46cm라



<그림 10> 폭설(20cm/일 이상) 일수의 변화(1961~2005)

는 기록적인 수치로 농·축산업을 포함한 각종 산업 분야에 큰 피해를 입히고 심각한 교통 대란을 야기 시켰다. 당시 영동 지방에서도 많은 눈이 내렸지만 큰 피해 없이 지나쳤던 것에 반하여 충청북도의 폭설로 인한 4000억원이 넘는 피해는 대조적인 양상을 보인다. 이는 다설 지역의 폭설에 대한 대비책이 준비된 곳과 폭설에 대하여 전혀 무방비 상태인 지역에서 야기된 차이라고 할 수 있다.

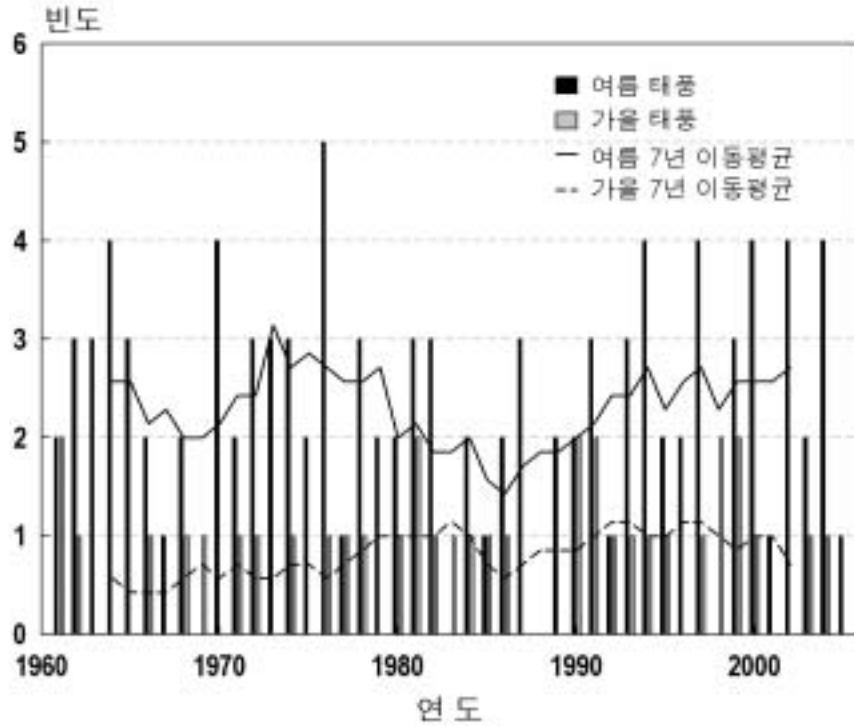
2005년 12월 5~6일 동안 37.2cm의 폭설로 부산에서도 100억원 정도의 큰 피해를 입었다. 이는 과거에는 겨울철에 다설 지역에서만 폭설에 대한 대비책을 준비하였던 것에 반하여 이제는 우리나라 전 지역에서 폭설에 대한 대비책을 마련해야 한다는 것을 의미한다. 최근 10년 동안에도 2000년을 기준으로 전반기에는 0.2일/년 폭설이 출현하였으나 후반기에는 0.4일/년으로 2배 증가하였다.

### 3. 태풍

남·북위 5~20°의 열대 해상에서 발생하여 중위도 지방으로 이동하는 저기압을 열대성 저기압이라고 한다. 열대성 저기압 중에서 중심 부근의 최대 풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 태풍이라고 한다.

열대성 저기압은 연중 발생하지만 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 경우는 7월 이후에 집중하고 있다. 7~9월에 발생한 것은 우리나라 주변을 통과하지만 우리나라에 영향을 미치고 있는 기단의 영향에 따라서 그 외의 것은 멀리 빗겨 간다. 그림 11은 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 최근 45년간 출현 빈도이다. 각종 농작물의 성장기와 수확기인 여름, 가을철에 우리나라에 영향을 미치는 태풍은 1년에 1~2회 정도로 그 빈도가 많지는 않지만 단 1회의 출현도 큰 피해를 야기 시킬 수 있다.

최근 10년간 가을철 태풍의 출현 빈도는 1971~2000년 평년값인 0.9회/년과 비교했을 때 0.8회/년으로 변동이 거의 없다. 1961~2005년까지 가을철 태풍의 출현 빈도는 1960년대에는 0.6회/년, 1970년대 0.7회/년, 1980년대 0.9회/년으로 계속 증가하다가 1990년대 1.2회/년 출현하는 것을 정점으로 2000년 이후 0.4회/년으로 감소하였다. 가을철보다 출현 빈도가 높은 여름철 태풍은 1960년대 2.4



<그림 11> 태풍 출현 빈도의 변화(1961~2005)

회/년, 1970년대 2.6회/년으로 가을철과 같이 증가하다가 1980년대 가을철에 태풍 출현 빈도가 증가한 것과는 달리 여름철에는 1.8회/년 출현하며 감소하였다. 1990년대에 2.6회/년으로 다시 증가하다가 2000년 이후 2.4회/년 출현하여 그 수치가 감소하였다. 우리나라에 영향을 미친 여름철 태풍은 1971~2000년에 평균 2.3회/년, 최근 10년간 연간 평균 2.5회 로 뚜렷한 변동이 없다.

우리나라의 가을철에 영향을 미치는 태풍의 출현 빈도는 작은 수치이지만 지속적으로 증가하다가 2000년 이후 감소하고 있다. 그러나 최근 2002년 8월 30일~9월 1일까지 영향을 미친 태풍 “루사”는 강릉에 일강수량 870.5mm로 전국관측기록을 경신하였고, 2003년 9월 11일~13일까지 영향을 미친 태풍 “매미”는 1959년 태풍 “사라(951.5hPa)” 이후로 2번째로 낮은 해면기압(954hPa)을 기록하며 제주와 고산에서 각각 60m/s를 기록하는 극값을 경신하였다. 또한 2007년 9월 16일 제주도를 포함한 남해안 지역에 큰 피해를 초래한 태풍 “나리”는 고산에 일

강수량 563mm를 기록하며 인명 피해와 도로 유실, 이재민 속출 등 많은 피해를 야기시켜 제주도가 특별 재난 지역으로 선정되었다. 이와 같이 최근 출현한 태풍은 그 규모와 강도가 극대화해지며 전국적으로 큰 피해를 초래하고 있다.

#### IV. 결론

우리나라의 기온 변화는 제주의 경우 분석 기간인 1930년대 이후 꾸준히 상승하며 1980년대 중반 이후 그 경향이 뚜렷하다. 계절별로 보면 봄철의 평균기온 상승이 두드러지며, 그 다음은 가을, 여름, 겨울 순이다. 강수량의 경우도 1930년대에 비하여 최근까지 증가한 경향이다. 그러나 여름과 봄철에는 증가한 경향이 뚜렷하지만, 가을과 겨울철 강수량은 감소한 경향이다.

지구 온난화와 더불어 우리나라의 기온 변화는 1980년대 이후 최근까지 지속적으로 증가하는 경향이다. 이로 인하여 열대야를 포함한 극한 고온과 관련된 지수의 증가와 한파, 폭설을 포함한 극한 저온 현상의 감소가 뚜렷하다. 그러나 2000년 이후 과실 지역에서의 폭설 현상과 여름철 호우일수의 증가, 대규모 태풍 출현 등의 이상 기상의 출현이 더 빈번해지면서 극한 기후 현상의 출현 가능성을 정확하게 예측하는데 어려움이 증가하고 있다.

많은 재해를 야기시키는 극한 기후 현상은 지역별로 미치는 영향이 다르다. 그러므로 관측 자료를 이용한 기후 현상에 대한 지역별 영향평가가 우선적으로 선행되어야 한다. 또한 지역별 각 기후 현상의 변화로 인하여 자연 식생, 농업, 어업 등에 미치는 영향에 관한 상세한 지역별 연구도 시급한 실정이다.

## □ 사사

이 연구는 기상연구소 주요사업인 “기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(Ⅱ)”와 “기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술개발(Ⅲ)”의 일부 지원으로 수행되었습니다.

## ■ 참고문헌 ■

- 권영아, 권원태, 부경운, 최영은, 2007, “A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후구 전망”, 대한지리학회지, 42(3), 355-367.
- 기상청, 2006, 「기후변화영향평가 및 적응방안에 관한 연구」, 314pp.
- 김해구, 민경덕, 김경익, 이광목, 1997, “한반도 하계 이상저온과 북반구 대기 순환의 특성 제 1부: 이상저온의 출현과 종관 개요”, 한국기상학회지, 33(1), 137-154.
- 농림부, 1994, 「농림통계연보」, 65-80.
- 서형호, 2005, “기후변화가 과수 재배에 미치는 영향”, 기후변화 전문가 워크숍 -제3차 기후변화학술대회 및 제2차 기후변화정책 포럼-, 33-37.
- 이승호, 최병철, 2001, “울릉도의 적설량 변화”, 한국기상학회지, 37(4), 317-328.
- \_\_\_\_\_, 류상범, 2003, “전구 기온 상승이 한국의 적설량 변화에 미치는 영향”, 대한지리학회지, 38(4), 463-477.
- \_\_\_\_\_, 권원태, 2004, “한국의 여름철 강수량 변동 -순별 강수량을 중심으로-”, 대한지리학회지, 39(6), 819-832.
- 장재연, 김소연, 조수남, 2003, “우리나라에서 기후변화로 인한 건강영향의 발생 가능성”, 기후변화 포럼 및 학술대회(기후변화와 환경 그리고 우리 사회) 요약집, 119-120.
- 허인혜, 권원태, 전영문, 이승호, 2006, “우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향 -대나무와 마늘을 중심으로-”, 환경영향평가, 15(1), 67-78.
- 환경관리공단, 2006, 「기후변화 영향 평가 및 적응대책 마련을 위한 국가 로드맵 수립 -연구개발 방향 및 적응정책 프레임워크-」, 115pp.
- Dai, A., A. D. Del Genio and I. Y. Fung, 1997, Clouds, precipitation and

- temperature range, *Nature*, 386, 665-666.
- Easterling, W. E. and R. W. Kates, 1995, Indexes of leading climate indicators for impact assessment, *Climatic change*, 31, 623-648.
- ECA, 2002, Tank, A. K., J. Wijngarrd and A. van Engelen (eds), *Climate of Europe*, European Climate Assessment.
- Hardy, John T., 2003, *Climate change: Cause, effect and solutions*, Wiley, New York, 247pp.
- Houghton, J. T., Dina, D. J. Johnson, N, Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate change, Cambridge University Press, Chambrige, 881pp.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth 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.
- Jones, P. D. and M. Hulme, 1996, Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations, *International Journal of Climatology*, 16(4), 361-377.
- Karl, G. K., V. N. Razuvayev, M. J. Changery, R. G. Quayle, R. R. Heim Jr., D. R. Easterling and C. B. Fu, 1991, Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2253-2258.
- Kukla, G. and T. R. Karl, 1993, Nighttime warming and the greenhouse effect, *Environmental Science and Technology*, 27(8), 1468-1474.
- Lamb, H. H., 1966, Climate in the 1960s, *Geographical J.*, 132(2), 1183-1212.
- Luterbacher, Jürg, D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean and H. Wanner, 2003, European seasonal and annual temperature variability, trends, and

extremes Since 1500, *Science*, 303, 1499-1503.

Nicholls, N., G. V. Gruza, J. Jouzel, T. R. Karl, L. A. Ogallo and D. E. Parker, 1996, Observed climate variability and change. In: Houghton, J. T., L. G. M. Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds), *Climate Change 1995: The Science of climate change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 132-192.

Zhang, Y., K. R. Sperber and J. S. Boyle, 1997, Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: results from the 1975-95 NCEP-NCAR reanalysis, *Monthly Weather Review*, 125, 2605-2619.