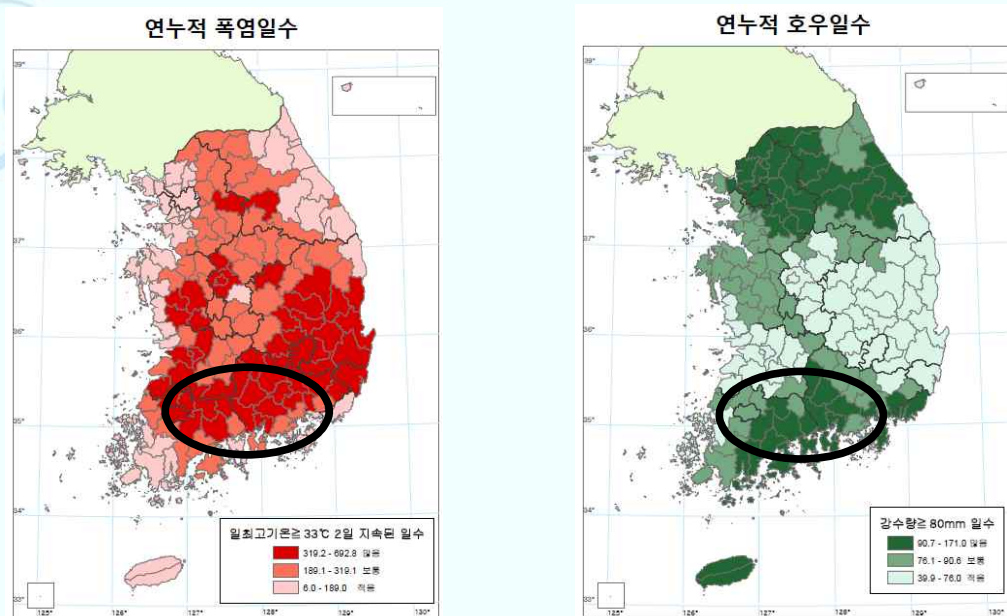


02. 우리나라의 기후변화 현상



1. 우리나라 기후변화 현상의 특징

- 우리나라는 지난 100년간 평균기온이 1.8℃ 상승(전지구 0.8℃ 상승)하였으며, 강수량도도 증가하는 추세를 보이고 있다.
 - － 최근 폭염, 폭우, 폭설 등 극한기상 발생이 빈번해짐
 - － 태풍 발생 횟수는 감소했으나 한반도에 미치는 영향은 증가
 - － 제주도에서의 해수면 상승 속도는 전지구 평균의 약 3배
- 기온은 지난 100년간(1912~2010) 1.8℃ 상승하여 전지구 기온상승 폭보다 2배 이상 상회하였으며, 특히 최근 30년(1981~2010) 동안 기온상승은 1.2℃로 상승률이 증가하였다.
- 강수량은 지난 100년간(1912~2010) 19% 증가하였다.
- 해수면은 43년간(1964~2006) 약 8cm 상승하여 전지구 평균과 비슷하나 제주도 지역은 22cm 상승(해양조사원, '08)하였다.
- 극한기상과 관련해서는 폭염과 열대야 발생이 급증하였고, 집중호우 발생 횟수도 증가하여 2011년에는 폭우가 2배 이상 발생하였다.
 - * 열대야 발생일수: (1910년대) 2.6일 → (2000년대) 9.8일
 - － 폭염, 폭우 등 극한기상 증가로 연평균 피해액이 1990년대에 비해 3배 이상 증가
 - － 극한기상 발생은 지역적 차이를 보여 경남과 전남 등 일부지역은 “폭염과 호우”가 동시에 발생



<그림 2-1> 1973년 ~ 2009년 동안 폭염(일최고기온 33°C 이상)과 집중호우(일강수량 80mm 이상) 극한기상지도>

○ 태풍은 전세계적으로 발생 빈도는 줄어들고 있으나, 한반도에 미치는 영향은 증가하는 추세이다.

* 최대강수량: 태풍 루사로 강릉 하루 동안 870.5mm 기록(2002.8.31)

최대강풍: 태풍 매미로 제주 60m/s 기록(2003.9.12)

최대재산피해: 2002년 태풍 루사로 약 5.1조의 재산피해 발생

우리나라의 연구자들에 의해 제시된 연구 성과에 기초하여, 주요 기후요소의 장기적인 변동(long-term trend) 및 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 전국의 연평균 기온은 상승하는 경향을 보이며, 도시화의 영향을 제외하면 기상관측이 이루어진 수십 년 동안에 약 0.4~0.8°C 상승하여 전 지구 평균과 거의 같은 정도의 기온상승 경향을 보인다. 도시 지역의 기온 관측 값을 포함시켜 평균을 내면 이보다 2배 이상 상승한 것으로 평가된다.
- 기온상승은 하계보다 동계에, 최고기온보다는 최저기온의 상승 경향이 훨씬 큰 것으로 평가된다.
- 풍속은 거의 모든 지역에서 감소 경향을 보였다. 이는 지역규모 기후모델에서 예측한 아시아몬순 순환의 약화경향(JPCC, 2003)과 일치하는 것으로 판단된다.
- 강수일수는 감소하고(14%) 연간 강수량은 약간 증가(7%)하는 추세로 호우발생 빈도가 증가(18%)하는 것으로 나타났다. 최근 50년 동안에 14개 기상관측 지점에서 강수일수는 감소하였으며, 80mm 이상의 호우일수는 증가하였다는 보고가 있다.
- 서리일, 결빙일 등 혹한과 관련된 지수는 감소하고, 냉방일, 열대야 등 폭서와 관련된 지수는 증가하는 추세라는 연구결과가 제시된 바 있다. 반면에 이들 지수는 지구온난화의 영향

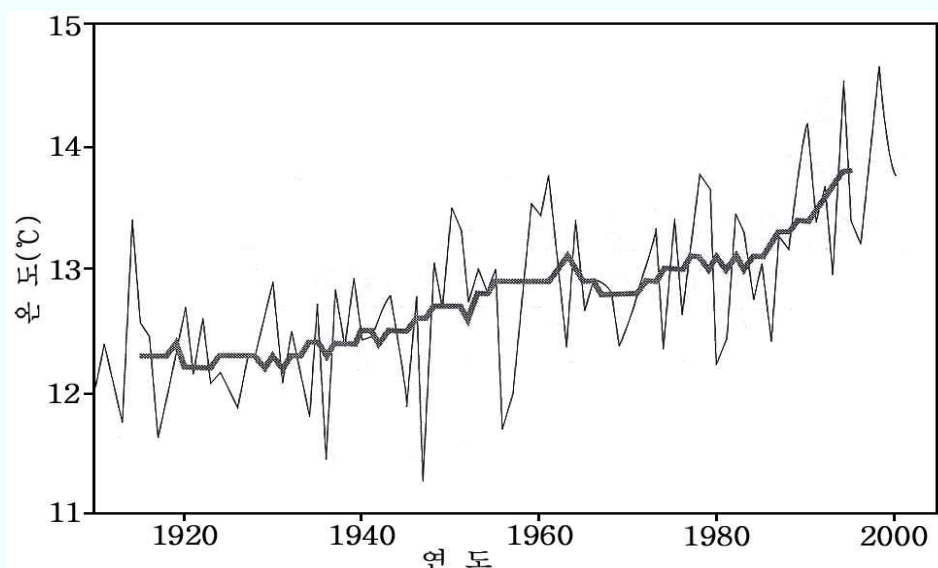
보다는 도시화의 영향을 더 크게 받고 있다는 평가도 있다.

- 겨울철 기온의 상승으로 겨울은 짧아지고 여름과 봄은 길어지는 자연계절의 변화가 나타나고 있다는 연구 보고가 있다. 이러한 경향이 도시에서 현저히 높고 교외에서는 약하다는 사실로부터 지구온난화의 효과보다 도시화의 영향이 큰 것으로 판단된다.
- 상대습도는 뚜렷한 감소 경향이 나타나며, 특히 봄철의 건조화 경향이 현저하였다. 이는 기후모델의 예측(JPCC, 2003)에서 나타난 결과와 일치한다.
- 기후요소의 장기적 추세를 평가함에 있어서 지구온난화의 영향과 도시화 효과를 분리하여 평가하고자 하는 시도가 이루어지고 있는데, 지구온난화의 효과를 과학적으로 평가하기 위해서는 이러한 노력이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

2. 지상기온의 변동

지구온난화에 따른 우리나라의 지상 기온변화 경향을 조사하기 위해서는, 전국의 기상관측소 가운데 도시화의 영향이 비교적 적으면서도 관측 자료의 균질성이 장기간 유지되고 있는 지점을 대상으로 조사하여야 한다. 그러나 우리나라의 경우에는 도시화 비율이 매우 높고, 국토가 협소하여 도시화의 진척에서 제외된 지점을 충분히 선정하기가 어렵다.

<그림 2-2>는 지난 세기 동안의 한반도 기온상승 경향을 나타내는 것으로, 이 자료는 80년 이상의 기상관측 자료가 있는 6개 기상관측소(서울, 인천, 강릉, 부산, 전주, 목포)의 일평균기온의 장기적 변화경향을 나타낸 것이다. <그림 2-2>에 의하면 한반도의 연평균 기온은 1930년경까지 12℃를 중심으로 상승과 하강을 반복한다. 그 후, 1950~1960대 사이에 상승하였고 1970년대에는 약간 하강하였다가 1980년대에 들어서면서 다시 상승하는 경향을 보이고 있다. 1980년대 후반부터는 한반도의 연평균 기온이 13℃를 넘어섰다. 그리고 1990년대 이래로 상승 경향이 최대를 보이고 있다. 이 자료에 근거하여 지난 세기 동안의 한반도의 기온상승은 약 1.5℃/100년이라고 주장되고 있다. 그런데, 이들 지점은 모두가 도시화의 영향을 많이 받은 곳이라는 관점에서 볼 때, 지구온난화로 인한 한반도의 기온상승이 지구평균($0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2/100\text{년}$)보다 2배 이상 높았다는 주장에는 무리가 있는 것으로 평가된다.



<그림 2-2> 한반도의 기온변화경향

이런 문제를 극복하기 위하여 도시지역의 기상관측소에서 얻어진 기온자료에 나타난 기온상승분을 지구온난화 효과 성분과 도시화 효과 성분으로 나누어 평가해보려는 연구가 있었다. 이것은 크게 2가지 방법으로 대별되는데, 하나는 Lowry의 방법을 따라서 도시지역과 그에 인접한 교외 관측지점의 기온변화 경향을 비교하는 것(김경환 외, 2004; 김해동, 2003)이며, 다른 하나는 EOF 분석을 통하여 기온상승 분을 지구온난화 효과와 도시화 영향으로 나누어 평가하는 것이다(오성남 외, 2004; 박혜숙, 1994). 서로 다른 방법으로 연구된 도시지역의 기온상승에 대한 2가지 성분의 기여도는 큰 차이가 없는 것으로 평가된다.

일본기상청에서는 도시화의 영향이 비교적 적으면서도 관측 자료의 균질성이 장기간(1898~1999) 지속되고 있는 일본 전역의 15개 지점의 지상기온을 분석하였는데, 그 결과 과거 100년 간에 지구온난화의 영향으로 약 1.0℃의 기온상승이 있었다고 지적하였다(JPCC, 2003). 그리고 Kato(1996)는 도시를 포함한 일본의 51개 지점의 기온변화경향을 조사한 후에, 도시화의 영향을 제외시킨 결과 1920~1992년 동안에 지구온난화로 인한 기온상승은 약 0.8℃/100년이었다. 이 값은 전 지구 평균지상기온 상승경향과 거의 같거나 약간 높은 정도임을 알 수 있다.

<표 1>은 오성남 외(2004)에 의해 분석된 우리나라 주요 지역의 기온상승과 이에 기여한 지구온난화와 도시화의 기여도를 나타낸 것이다. 그리고 <그림 2>에서는 도시화의 영향이 비교적 적다고 평가되는 지역에 대한 기온변화 자료를 제시한 것이다. <표 1>과 <그림 2>로부터 우리나라에서 관측되는 기온상승에 지구온난화가 미치는 효과는 0.4~0.8℃/100년 수준으로, 지구평균의 기온상승 혹은 일본의 그것과 비교하여 비슷한 수준에 있는 것으로 보인다.

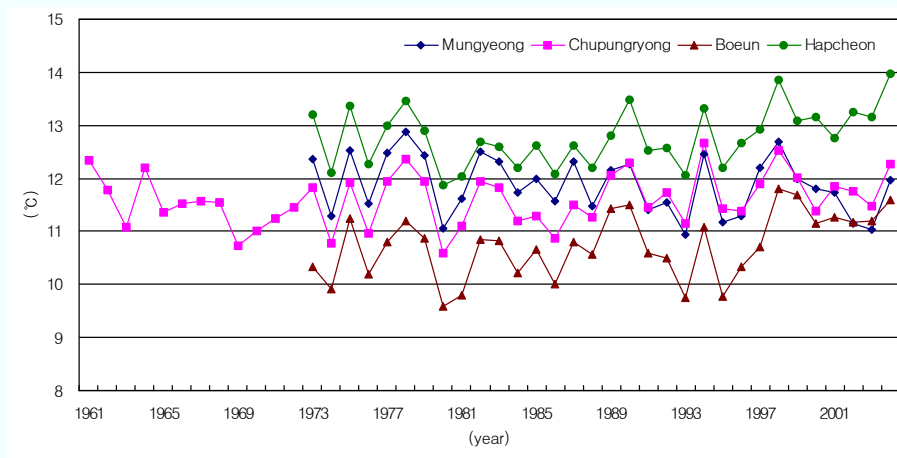
<표 2-1> 우리나라 주요지역의 기온상승과 이에 기여한 지구온난화와 도시화의 기여도 분석

Locations		1973~1982		1983~1992		1993~2002		1973~2002	
		\bar{T}_{min}	\bar{T}_{max}	\bar{T}_{min}	\bar{T}_{max}	\bar{T}_{min}	\bar{T}_{max}	$\Delta \bar{T}_{mean}$	$\Delta(\bar{T}_{mean} - T_{NCEP})$
Urban	Busan	10.96	18.20	10.65	18.47	11.60	19.22	1.16	0.49
	Daegu	8.48	18.78	8.63	18.97	9.53	19.78	1.48	0.81
	Daejeon	7.35	17.55	7.22	17.75	7.96	18.55	1.45	0.86
	Gwangju	8.83	18.51	8.84	18.48	9.54	19.28	1.11	0.44
	Seoul	7.98	16.67	7.83	16.49	8.74	17.33	1.39	0.80
Rural	Boeun	4.70	17.02	4.53	16.62	4.93	17.50	0.69	0.10
	Chupungnyeong	6.85	17.00	6.56	16.68	6.81	17.59	0.43	-0.16
	Ganghwa	5.86	16.15	5.53	15.98	6.47	16.36	0.57	-0.02
	Geoje	9.12	18.04	9.61	18.71	9.57	18.81	0.56	-0.11
	Seosan	7.23	17.02	6.96	16.82	7.45	17.62	0.44	-0.15
	Suncheon	7.14	18.64	7.11	18.72	7.33	19.72	0.45	-0.22
	Yeoungchun	6.93	18.64	6.40	18.36	6.60	18.87	0.41	-0.26

자료: 오성남 외(2004)

이와 관련하여, 최영은(2004)은 다음과 같이 평가하고 있다. 한반도의 기상관측소에서 관측된

기온증가 경향에는 지구온난화로 인해 나타나는 한반도의 온난화 경향과 함께 각 관측지점의 도시화로 인한 국지적인 상승 경향이 내포되어 있다. 도시화는 온실가스의 증가로 인한 지구온난화 시그널과 마찬가지로 평균기온의 증가를 가져오기 때문에 이를 정량적으로 제거하기가 어려운 것으로 알려져 있다. 한반도 기온의 지역별 변동 형태는 1960년대를 전후로 변화하는 모습을 나타냈다. 1960년대 이전에는 자연변동인 반면에 이후로는 산업화와 도시화 등으로 인해 지역별 기온상승 경향의 차이가 자연적인 변동을 넘어 뚜렷하게 나타났다. 또한 1960년대 이후에는 인구가 많은 대도시에서 관측된 기온의 증가 경향이 그 이전과 비교하여 가속화 되었으며, 대도시 관측 자료에 도시화로 인한 기온상승 효과가 포함되어 있음을 알 수 있었다. 1960년대 이후의 대도시에서의 뚜렷한 기온 증가는 한반도 평균기온에 편향을 주어 급격한 상승 경향을 나타내었다. 이와 같은 평가결과를 기초로 하여 도시화 효과를 제거한 후의 한반도의 온난화는 지난 90년간 $0.5 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 의 기온증가가 있었음이 추정된다.



자료: 김해동(2003)

<그림 2-3> 도시화의 영향이 비교적 적은 지역에 대한 기온상승 경향

3. 대도시의 지상기온의 경향

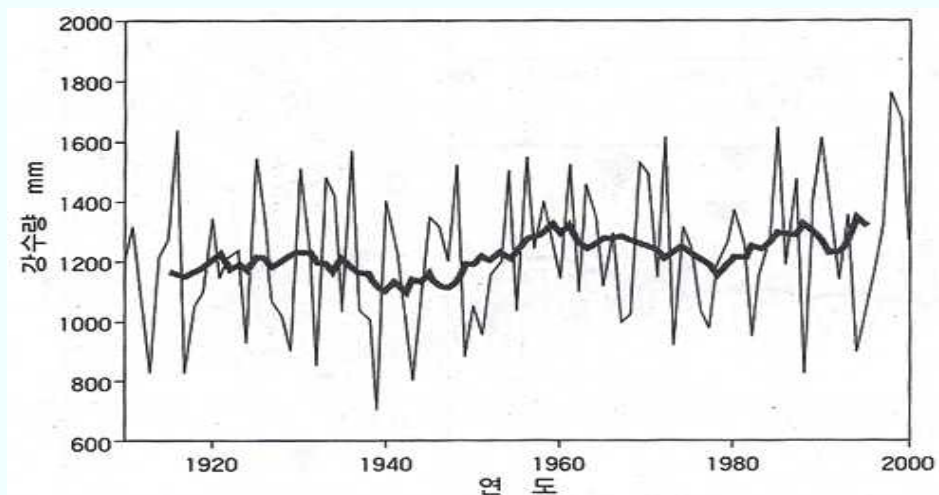
우리나라에서 80년 이상에 대한 기상자료가 존재하는 6개 도시의 지난 75년(1909-1993) 동안의 평균기온 상승률은 서울(1.44), 부산(0.96), 목포(0.14), 대구(1.57), 강릉(1.23), 전주(1.22)로 평가되어(김맹기 외, 1999) 일본에 비하여 기온상승 경향이 훨씬 낮은 것으로 분석된다. 참고로 일본의 경우, 도시화의 영향이 현저한 6개 도시(Sapporo, Sendai, Tokyo, Nagoya, Kyoto, Hukuoka)의 연평균기온 변화는 $2.4^{\circ}\text{C}/100\text{년}$ 에 이르며, 동경은 이보다 높은 $2.4^{\circ}\text{C}/100\text{년}$ 으로 평가되고 있다(JPCC, 2003). 이러한 상승 경향은 앞에서 기술한 바와 같이 도시화의 영향이 비교적 적은 지역에 대한 기온상승 경향($0.8^{\circ}\text{C}/100\text{년}$)의 약 300%에 이르는 것이다.

4. 강수의 변동

한반도에서의 연강수량의 변화는 <그림 2-4>와 같다. 한반도에서의 강수량의 변동 폭이 해마다 크게 나타나고 있다. 전반적으로는 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고되고 있으나(최영은, 2002; 최기선 외, 2005), 변동 폭이 매우 커서 증가추세가 뚜렷하지는 않다. 최영은(2002)은 연강수 일수는 감소하였으나 연강수량은 증가하여 결과적으로 강수강도가 증가하였다고 주장한 바 있다. 권원태(2005)는 최근 50년간(1954-2003) 14개 관측지점(서울, 강릉, 인천, 울릉도, 추풍령, 전주, 대구, 울산, 포항, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주)에서 관측된 자료를 분석하였다(<그림 2-5> 참조). 이 연구를 통하여, 강수일수는 감소하고 일강수량이 80mm 이상인 호우일수의 발생빈도는 1954~1963년에는 연평균 1.6일이었던 것이 1994~2003년에는 2.3일로 증가하는 추세를 보인다고 보고한 바 있다.

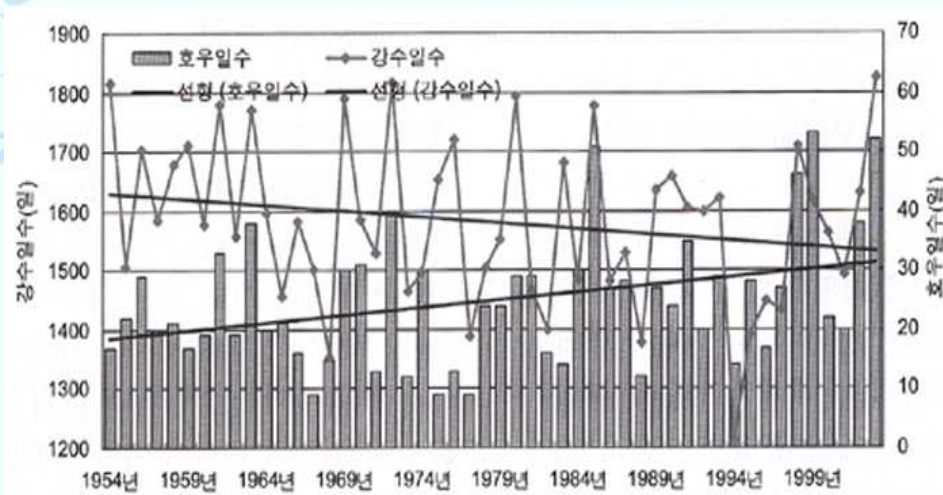
그러나 1990년대 후반부터 최근에 이르는 수년을 제외하고서 자료의 변화경향을 살펴보면, 저자가 주장한 변화경향으로 판단하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 이들 관측 자료에 대한 단순한 선형적 변화경향을 볼 수는 있지만, 이것이 통계적 유의성을 가진다고 판단하기에는 자료가 불충분하다.

강수경향의 변화는 지구온난화에 수반되어 발생하는 것으로 예측되는 현상이고, 이러한 경향이 한반도의 관측 자료와 일치하는 것으로 보인다하더라도 그것을 온난화의 영향이라고 판단하기에는 현재 자료가 충분하지 않다. 일본의 경우에도, 강수량, 강수일수 및 강수강도에 대한 관측 값의 변화경향이 우리나라와 유사한 변화를 보이는 것으로 보고되고 있으나, 아직은 이러한 변화가 지구온난화의 영향이라고 단정하기에는 자료가 불충분한 것으로 판단하고 있다(JPCC, 2003).



자료: 최영은(2004)

<그림 2-4> 한반도 연강수량의 변화경향

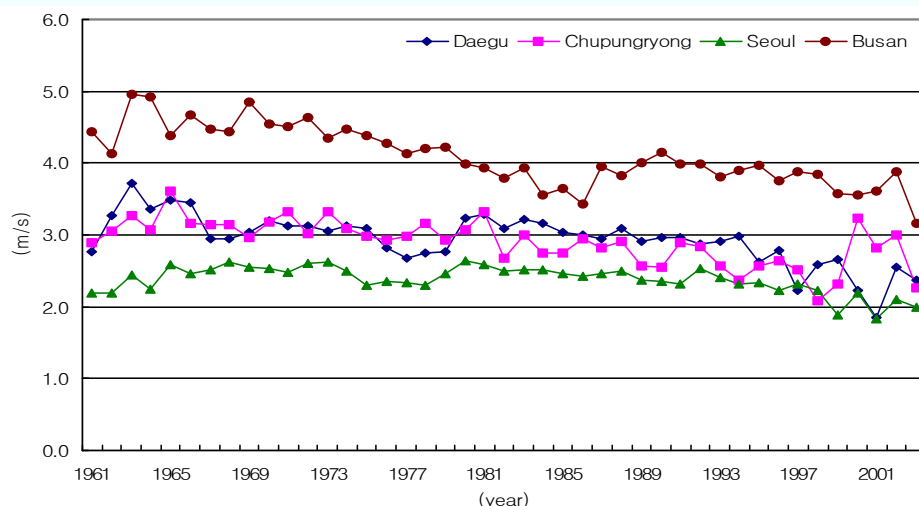


자료: 권원태(2005)

<그림 2-5> 지난 50년간(1954-2003) 14개 지점에서 관측된 강수일과 호우일수의 변동경향

5. 풍속의 변동

전 지구 기후모델의 아시아몬순의 강도변화에 관한 예측에 의하면 강수량에 대해서는 일치된 결과를 얻을 수 없지만 겨울철 몬순의 강도가 약화될 것이라는 점에는 일치된 결과를 보인다(IPCC, 2001a). 그리고 불확실성은 크지만 태풍의 발생 수와 여름철 동아시아몬순 순환의 변화도 예측하고 있다(JPCC, 2003). 기후변화가 풍속 변화를 유발할 수 있다는 추정에서 도시와 도시화의 영향을 비교적 적게 받는 지점을 대상으로 풍속변화를 조사하였다(<그림 2-6> 참조). 그 결과 모든 지점에서 풍속이 저하하는 것으로 나타났다. 풍속의 저하는 여름철 체감온도를 상승시키는 역할을 할뿐만 아니라, 도시지역의 대기환경 용량을 낮추어 환경 쾌적성을 저하시키고 지면-대기간의 열수지 변화를 유발한다는 점에서 그 중요성을 찾을 수 있다. 향후 풍속변화와 지구온난화 간 관련성을 평가하는 보다 정교한 연구가 필요하다.



<그림 2-6> 풍속의 장기적 변동경향

6. 상대습도의 변동

전국의 10개 기상관측소에서 관측된 최근 40년 동안의 상대습도의 변화를 분석한 결과 지역의 규모에 관계없이 모든 지역에서 상대습도가 감소하는 경향으로 나타났다. 상대습도는 포화수증기압에 대한 실제 대기 중에 포함되어 있는 수증기압의 비율이므로 상대습도 감소경향은 강수일수의 감소 이외에도 온난화와 도시화의 영향으로 기온이 상승하여 포화수증기압이 증가한 데에도 원인이 있다.

10개 지점에 대한 상대습도의 감소는 지난 40년간에 약 7%로 평가되었다. 이를 계절별로 살펴보면 봄철에 감소량이 가장 컸다. 이어서 겨울, 여름 그리고 가을의 순서로 나타났다. 그리고 건조화의 원인으로는 봄철에는 포화수증기압의 증가효과(온난화의 영향)와 수증기압의 감소효과(대기 중의 수증기량 감소)가 동시에 큰 것에 기인하는 것으로 평가되었다. 겨울과 가을에는 주로 포화수증기압의 증가(온난화의 영향)로 여름에는 대기 중의 수증기량 감소가 주요원인이 되어 건조화가 진척되고 있는 것으로 평가되었다(김해동, 2003). <그림 2-7>은 감소량이 가장 큰 봄철 상대습도의 변동을 예로 제시한 것이다. (그림 없음)



자료: 김해동(2003)

<그림 2-7> 봄철 상대습도 변화에 관한 장기적 변화경향