Atmosphere, **17**(2), 171-183 June 2007

한국의 주요 대도시에 대한 일 최고 및 최저 기온의 장기변동 경향과 건강에 미치는 영향 전망

최병철[1] · **김지영**[1,*] · **이대근**[1] · **Jan Kysely**[2]
[1]국립기상연구소 응용기상연구팀
[2]Institute of Atmospheric Physics
(2007년 4월 3일 접수; 2007년 6월 5일 승인)

Long-term Trends of Daily Maximum and Minimum Temperatures for the Major Cities of South Korea and their Implications on Human Health

Byoung-Cheol Choi[1], Jiyoung Kim[1,*], Dae-Geun Lee[1] and Jan Kysely[2]
[1]*Applied Meteorology Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Republic of Korea*
[2]*Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic*
(Manuscript received 3 April 2007; in final form 5 June 2007)

Abstract

Trends of daily maximum and minimum temperatures in major cities of South Korea (Seoul, Busan, Incheon, Daegu, and Ulsan) during the past 40 years (1961-2000) were investigated. Temperature records for the Chupungryeong station were compared with those of the large cities because of the rural environment of the station. There were distinct warming trends at all stations, although the warming rates depend on each station's local climate and environment. The warming rates in Korea are much greater than the global warming trends, by a factor of 3 to 4. The most increasing rate in daily maximum temperature was at Busan with 0.43℃ per decade, the most increasing rate in daily minimum temperature was at Daegu with 0.44℃ per decade. In general, the warming trends of the cities were most pronounced in winter season with an increasing rate of 0.5℃/decade at least. Diurnal temperature range shows positive or negative trends according to the regional climate and environmental change. The frequency distribution of the daily temperatures for the past 40 years at Seoul and Chupungryeong shows that there have been reductions in cold day frequencies at both stations. The results imply that the impacts on human health might be positive in winter and adverse in summer if the regional warming scenario by the current regional climate model reflects future climate change in Korea.

Key words: Temperature trends, Biometeorology, Climate change, Global warming, Human health, Temperature extreme, Urbanization

1. 서 론

18세기에 일어난 산업혁명 이후 화석연료의 연소에 따른 대기 중 온실가스의 농도 증가 등으로 인하여 전지구적 지표 기온 (global surface air temperature)이 지속적으로 상승하는 추세에 있다 (Easterling *et al.*, 1997; IPCC, 2001; 2007). 20세기 동안 전지구적 평균 기온은 약 0.5℃ 상승한 것으로 보고되고 있으며 (IPCC, 2001), 최근에 공개된 IPCC 4차 보고서의 요약본에 따르면 21세기 말에는 지표 기온이 최고 6.4℃까지 상승하여 극지방의 빙하가 점차 녹아 해수면이 최고 59 cm까지 상승하며, 가뭄과 폭염 등의 극단적

*Corresponding Author: Jiyoung Kim, Applied Meteorology Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, Seoul 156-720, Republic of Korea.
Phone : +82-2-846-2850, Fax : +82-2-846-2851
E-mail: jykim@metri.re.kr

ⓒ Korean Meteorological Society, 2007

기상현상이 발생할 가능성이 더욱 높아질 것으로 발표되었다 (IPCC, 2007).

선행 연구결과에 따르면 이와 같은 기온의 상승은 육상과 해상을 막론하고 전지구적으로 일어나는 현상이며, 특히 대륙 지역에서 온난화의 경향이 더 큰 것으로 알려져 있다 (IPCC, 2001). 기온의 변화 중 일 최저기온의 상승률이 일 최고기온의 상승률보다 더 크고 따라서 기온의 일교차 (diurnal temperature range, 이하 DTR)가 점차 감소하는 추세에 있다 (Easterling *et al*., 1997; IPCC, 2001). 하지만 뉴질랜드나 중부 유럽의 산악지역에서는 최고기온과 최저기온의 증가율이 비슷하게 증가하고 있고 (Salinger, 1995; Weber *et al*., 1994), 인도에서는 최저기온의 감소로 DTR이 증가하는 것으로 보고되기도 하였다 (Easterling *et al*., 1997; 2000).

지구상의 일부 지역을 제외하곤 전지구적으로 평균기온의 상승 경향에는 큰 차이가 없지만 (Jones *et al*., 1989; 1990; 1998), 일 최고기온과 최저기온의 상승률과 그 경향에는 다소 차이가 있다. 이는 온실가스의 증가에 의한 광역적인 지구온난화 효과와 더불어 각 지역 별 기온 분포에 미치는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용하고 있기 때문이다(Stott *et al*., 2004; Tett *et al*., 1999). 도시의 성장으로 인한 토지 이용도의 변화, 인공열의 방출, 에어러솔과 같은 대기오염물질의 방출 등은 매우 복잡한 상호작용과정을 거치면서 국지적 기온 분포에 영향을 주게 된다. 물리적 상호작용의 대표적인 예로서 대류권 에어러솔의 복사효과, 에어러솔-구름 되먹임 과정, 물 순환 과정의 변화 등을 들 수 있다 (Kim *et al*., 2006). 이러한 상호작용의 과정은 다양한 규모에서 일어나게 되며, 지역 규모의 대기 순환과 더불어서 어떤 지역의 기후를 결정하게 되는 것으로 이해되어지고 있다 (IPCC, 2001).

한국의 도시지역 기온 상승에 대한 연구는 다양한 형태로 진행되어 왔다 (강용균과 노재식, 1985; 이명인과 강인식, 1997; 김맹기 등, 1998; 김경환 등, 2000; 하경자 등, 2004). 그 중에서도, 인구의 증가 등 도시화 (urbanization)로 인한 인위적인 기온 상승 (anthropogenic temperature increase) 부분과 자연적인 원인에 의한 기온 상승을 객관적으로 구별하기 위한 연구가 많이 수행되었다 (류상범 등, 1993; 백희정과 권원태, 1994; Ryoo and Moon, 1995; Kato, 1996; 김맹기 등, 1999). 하지만 한국의 주요 대도시를 대상으로 일 최고기온과 일 최저기온의 장기간 변동 특성을 분석한 연구는 미흡한 실정이다.

인구가 밀집되어 있는 도시지역에서의 기온 변화는 도시민의 삶에 직간접적으로 많은 영향을 미치고, 때로는 사회 경제적인 측면에서도 많은 주요성을 내포하고 있다 (노재식, 1973; 기상연구소, 2005). 도시 열섬 효과로 인한 도심지의 기온 상승은 여름철에 도시 거주민의 열적 스트레스를 크게 증가시키는 결과를 초래하기도 한다 (한영호 등, 1993; 윤일희 등, 1994, 기상연구소, 2006; 최병철 등, 2007; Campbell-Lendrum *et al*., 2002; Changnon *et al*., 1996; Ebi *et al*., 2004; Kunkel *et al*, 1999). 이와 더불어, 대도시 지역에 대한 일 최고기온과 일 최저기온의 장기적 변동 경향에 대한 연구는 지구 온난화에 따른 사회경제적 피해 경감을 위해서도 중요하다. 특히, 도시지역에 나타나는 극단적인 폭염 현상은 많은 인명피해와 큰 경제적 손실을 가져올 수 있다 (최광용 등, 2005; 김지영 등, 2006; 2007; Ferranti and Viterbo, 2006; Kysely, 2002; 2004; Kysely and Huth, 2004; Meehl *et al*., 2000). 미국 국가기후자료센터 (NCDC)의 조사에 따르면 1980년부터 2003년까지 10억 달러 이상의 피해를 준 기상재해 (총 58회) 중 폭염/가뭄에 의한 피해는 10회로 열대성폭풍/허리케인 (16회), 비열대성 홍수 (12회) 다음으로 빈번하였고, 피해액은 1440억 달러로서 전체 피해액 (3490억 달러)의 41.2%를 차지하여 열대성 폭풍/허리케인 (피해액 1020억달러) 보다 더 많은 경제적 피해를 가져오고, 경제적 피해규모 면에서 1위의 기상재해 현상으로 조사된 바 있다 (Ross and Lott, 2003).

기후변동성과 극단적 기상현상의 변화에 대한 이해는 평균과 변동성 사이의 상호작용으로 인해 어려운 점이 있다 (IPCC, 2001). Fig. 1에 나타난 바와 같이 기온의 평균값이나 분산이 각각 증가할 때 고온 현상 (또는 기록적 폭염)의 발생 빈도가 증가하는 것으로 나타나지만, 평균과 분산이 동시에 증가할 때는 더욱 빈번하게 고온 현상이 발생할 수 있음을 보여준다 (IPCC, 2001). 이 연구는 2000년 말 기준으로 인구 100만 명 이상인 한국의 주요 대도시에 대하여 일 최고기온과 최저기온의 장기간 변동 경향을 파악하고, 지역 별 변동 특성을 비교하였다. 한국의 경제 발전이 본격적으로 시작된 시기로 볼 수 있는 1961년부터 2000년까지 최근 40년간 주요 대도시의 지역 별 기온 변동 특성을 분석하였으며, 기온 변동의 양상이 향후 인체의 건강에 어떻게 영향을 줄 수 있는가를 간략하게 전망하였다.

2. 자료

전국적인 인구조사가 자세하게 이루어진 2000년 12월 31일을 기준으로 인구가 100만 명을 넘는 도시 (즉, 서울, 부산, 인천, 대구, 울산)를 대상으로 1961년 1월 1일부터 2000년 12월 31일까지 최근 40년간 일 최고기온과 일 최저기온 자료를 분석하였다 (Table 1). 주요 도시별 인구 현황은 Table 1에 나타난 바와 같이 서울이 약 1037만 명 정도로 거주 인구가 가장 많고, 부산이 381만, 인천이 256만, 대구가 254만, 대전이 139만 (1961년 이후에 기상관측이 시작되어 분석 대상에서 제외함), 광주가 138만 (1992년 5월의 관측소 이전으로 인해 분석 대상에서 제외함), 울산이 104만 명 등이 거주하는 것으로 조사 되었다 (통계청, 2006; 류상범 등, 2006). 이와 더불어 도시화의 영향을 비교적 적게 받은 추풍령에서의 기온관측 자료도 병행하여 분석하였다. 관측소 이전 등으로 인한 기온 관측 자료의 연속성에 있어서 문제가 없는 지점을 대상으로 연구를 수행하였다 (류상범 등, 2006).

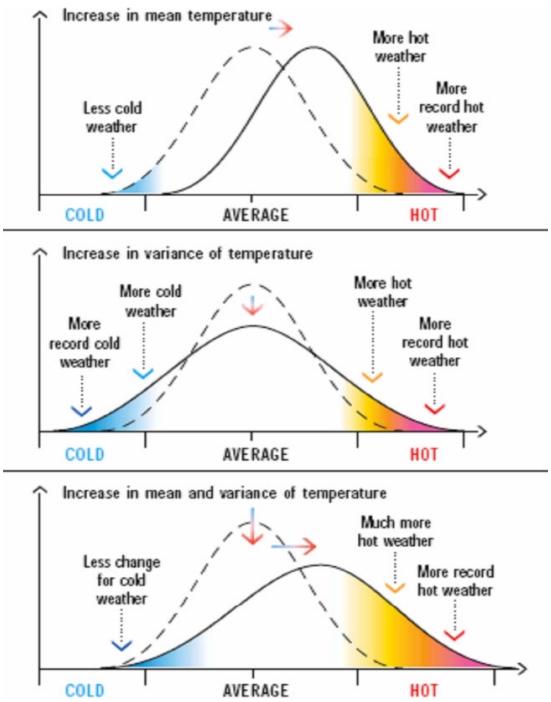

Fig. 1. Schematic diagram showing the effect of temperature extremes for (a) the mean temperature increases, (b) the variance increases, and (c) both the mean and variance increase compared to a normal distribution of surface air temperature (adopted from IPCC, 2001).

3. 결과

3.1 최고기온, 최저기온 및 DTR의 장기간 변동 경향

한국의 주요 대도시 (서울, 부산, 인천, 대구, 울산) 및 도시화의 영향을 비교적 적게 받은 추풍령을 대상으로 1961년부터 2000년까지 40년 동안 일 최고기온의 연 평균값에 대한 각 연도의 기온 편차 시계열을 Fig. 2에 나타내었다. 즉, 각 연별 평균값으로부터 40년 동안의 평균값의 차이를 나타낸 것이다. 서울을 비롯한 모든 지점에서 공통적으로 최고기온의 상승 경향이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 하지만 증가의 기울기 (즉, 연간 기온 증가 또는 감소율을 의미하며, 단위는 ℃/년임)는 각 지역마다 다르게 나타났다. Fig.2에 나타난 바와 같이 일 최고기온 증가율은 부산이 0.043℃/년으로 가장 높았고, 인천이 0.039, 대구 0.037, 서울이 0.028, 추풍령이 0.024, 울산이 0.022의 순으로 나타났다.

연 평균값에 대한 편차 분석을 일 최저기온에 대해서도 동일한 방법으로 수행한 결과는 Fig. 3에 제시하였다. 일 최저기온의 증가율은 추풍령을 제외한 모든 지역에서 양의 값을 나타내었지만 증가율의 크기는 지역에 따라 다르고 최고기온의 증가 양상과도 달리 나타났다. 6개 지점 중 대구가 0.044℃/년으로 가장 높았

Table 1. List of stations used in this study.

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Population	Data availability
Seoul	37°34'17"	126°57'57"	86.02	10,373,234	Since Jan. 1933
Busan	35°06'06"	129°02'03"	69.23	3,812,392	Since Jan. 1934
Incheon	37°28'29"	126°37'36"	68.85	2,562,321	Since Apr. 1905
Daegu	35°52'56"	128°37'16"	57.64	2,538,212	Since Jan. 1937
Ulsan	35°33'26"	129°19'21"	34.69	1,044,161	Since Mar. 1947
Chupungryeong	36°13'01"	127°59'48"	242.54	-	Since Apr. 1936

고, 울산이 0.038, 서울이 0.036, 인천이 0.027, 부산이 0.026, 추풍령이 -0.011의 순으로 나타났다.

또한, 기온의 일변화 (diurnal temperature range)의 연 별 변화율(Fig. 4)은 일 최고기온과 최저기온에 의한 변화율의 차이로 계산할 수 있는데, 지역에 따라 양의 값과 음의 값이 서로 다르게 나타나는 특징을 보였다. 그 중 추풍령은 +0.036℃/년으로 큰 선형 증가 경향을 보였고, 부산이 +0.016, 인천이 +0.012로 양의 값을 보였다. 이와 반면에 울산은 -0.016, 서울이 -0.008, 대구가 -0.007로 음의 증가율을 나타내었다.

위에서 나타난 각 지역 별 기온의 선형변화 경향은 IPCC 4차보고서 (IPCC, 2007)의 요약본에 소개된 최근 50년 동안의 전지구적 기온 증가율 0.013℃/년 (변화 범위는 0.010~0.016℃/년임)에 비해서 증가율이 수배 정도로 높은 값에 해당한다. 본 연구에서 분석한 각 지역 별 기온의 선형적 변화 경향은 다양한 요인이 복합적으로 작용한 결과로 볼 수 있다. 기온 변화에 영향을 주는 대표적인 요인들로서는 장기간의 자연적 원인에 의한 기후변화 효과와 더불어 도시화에 따른 인구의 증가, 인공열의 방출, 도심 속 인공 구조물 (주택, 빌

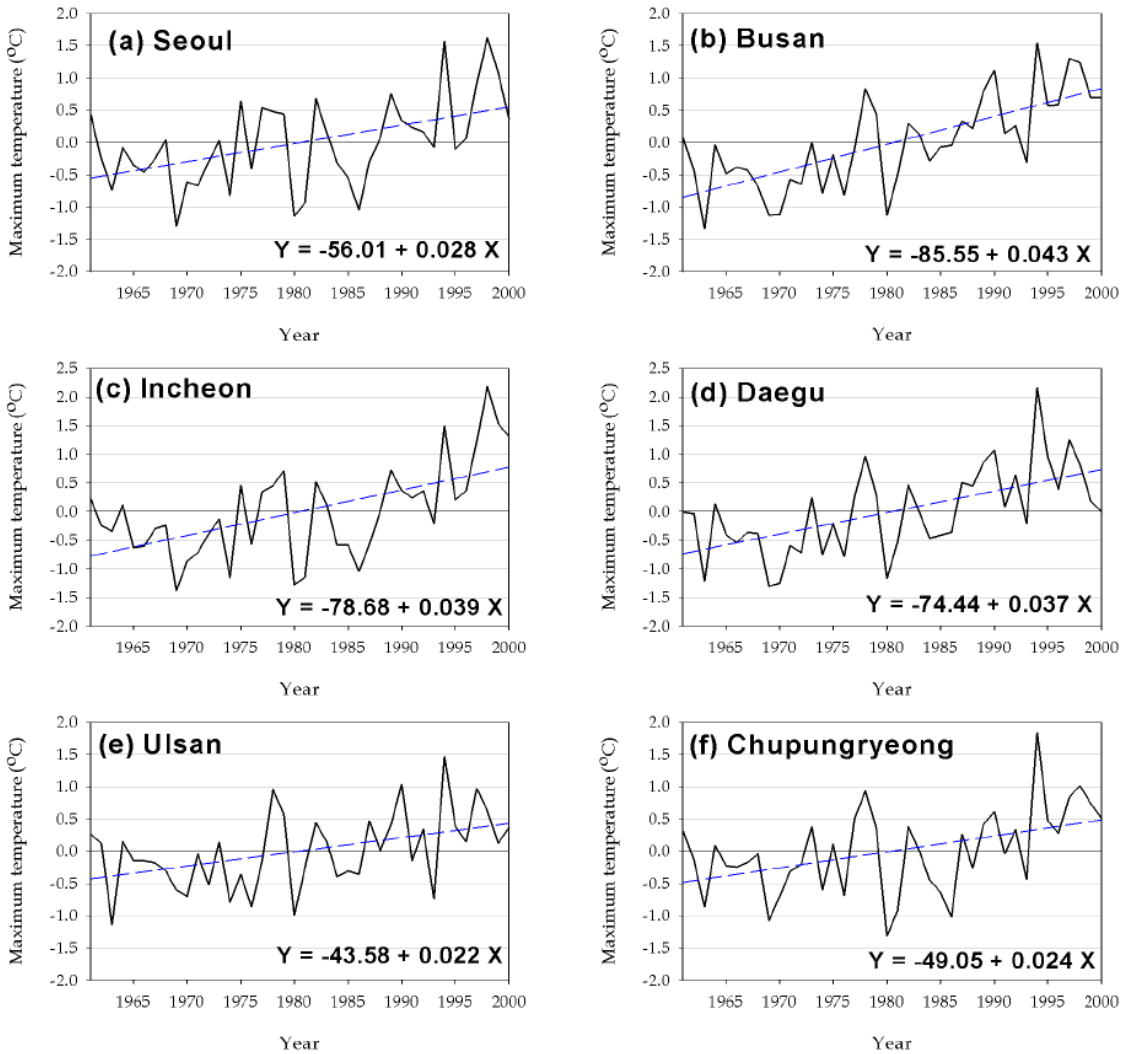

Fig. 2. Time series and linear trends of deviation from annual mean of daily maximum temperature at (a) Seoul, (b) Busan, (c) Incheon, (d) Daegu, (e) Ulsan, and (f) Chupungryeong. Deviations were obtained from the difference between long-term (1961-2000) and annual means of daily maximum temperature. Linear regression line and its equation of each region is shown in the figure.

딩 등 각종 건축물), 녹지공간 등의 변화에 따른 토지 피복도 및 그에 따른 거칠기 길이의 변화, 대기 중 대기오염물질 (대기오염기체나 에어러솔 등 입자상 오염물질)의 양과 조성의 변화, 도시지역 내 배수시설과 배수환경의 변화 등 인위적인 요인에 의한 효과가 복합적으로 작용한 것으로 볼 수 있다. 그러나, 위에서 언급한 각각의 요인의 정량적 기여도를 파악하기 위해서는 그에 대한 별도의 연구가 수행될 필요가 있다.

3.2. 최고 및 최저기온 증가율의 계절별 특성

앞 절에서 살펴본 최고 및 최저기온의 연별 증감 경향은 1년 동안의 자료를 이용하였기 때문에 각 계절 별로의 특성을 파악하는데 한계가 있다. 따라서, 동일한 분석을 각 계절별로 수행함으로서 어느 계절이 기온의 증감에 얼마만큼의 기여를 하였는가를 파악하였다.

Table 2에는 연별 기온 증가율과 함께 각 계절별 기온의 증감 경향을 제시하였다. 표에서 나타난 바와 같이 일 최고기온에 대한 분석결과 (Table 2a)는 서울 등 6개 지역에서 공통적으로 겨울철의 기온증가율이 0.05 이상으로 가장 높게 나타났다. 증가율의 최소 값은 지역에 따라 여름과 가을철에 나타나는 특징을 보였다. 특히, 울산과 대관령은 여름철에 최고기온이 점차 감소하는 경향성을 나타내었다. 서울의 경우 연평균 증

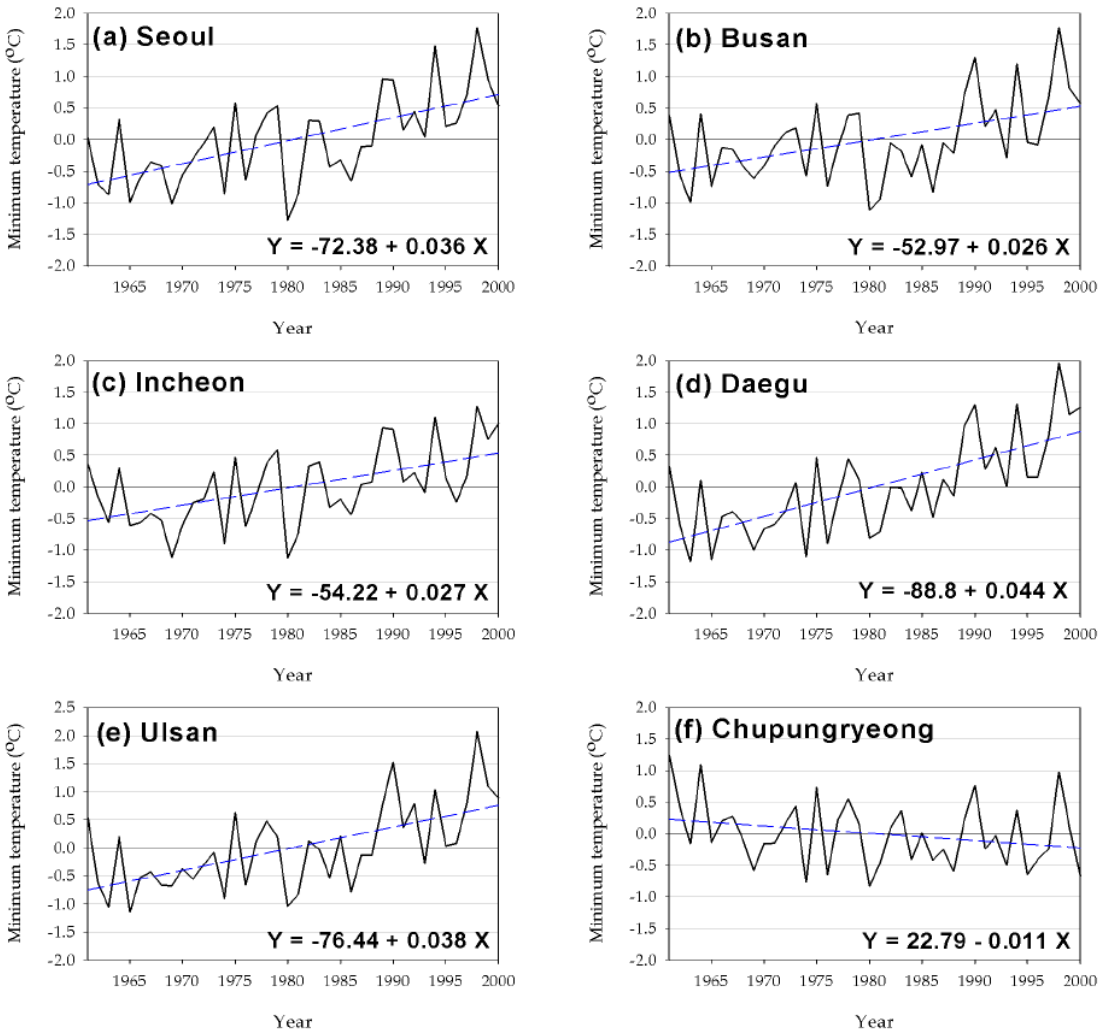

Fig. 3. Same as Fig. 2, except for daily minimum temperature.

가율에 대하여 겨울철은 증가율이 더 크고 봄철은 같았으며, 여름과 가을철은 더 작은 증가율을 보였다. 특히, 가을철의 증가율이 가장 작았다. 부산의 경우는 여름철에 최소의 증가율을 나타내었다. 인천은 가을철의 증가율이 최소값을 나타내었다. 대구와 울산, 추풍령은 여름철의 기울기가 가장 작거나 감소의 기울기 (즉, 음의 값)를 나타내었다.

일 최저기온에 대한 분석결과를 보면 (Table 2b), 역시 겨울철의 증가율이 모든 지점에서 가장 크게 나타났다. 그리고 최저기온에 대한 겨울철 증가율의 기울기는 추풍령을 제외하고는 5개시에서 최고기온 보다 높은 기울기를 나타내었다. 서울의 경우는 여름철에 최소의 기울기를 나타내었고 (0.016), 부산도 여름에 최소의 증가율 (0.011)을, 인천도 여름철에 최소의 증가율 (0.009)을, 대구도 여름철에 0.013으로 최소의 기울기를, 울산도 0.020으로 여름에 최소의 증가율을 나타내었다. 한편, 추풍령은 여름과 가을에 -0.025와 -0.022로 각각 감소의 기울기 값을 나타내었다. Table 2c에는 DTR의 계절별 변화 경향을 나타내었으며, DTR은 앞서 설명한 바와 같이 최고기온과 최저기온에 의한 증가율의 차를 나타낸다.

위에서 나타난 바와 같이 한국의 기온 증가율에 대한 공통적 특징 중 하나는 온난화의 정도가 겨울철에 가장 큰 폭으로 증가하고 있다는 사실이다. 이러한 결과는 기온이 보건에 미치는 영향을 고려해 볼 때, 긍정

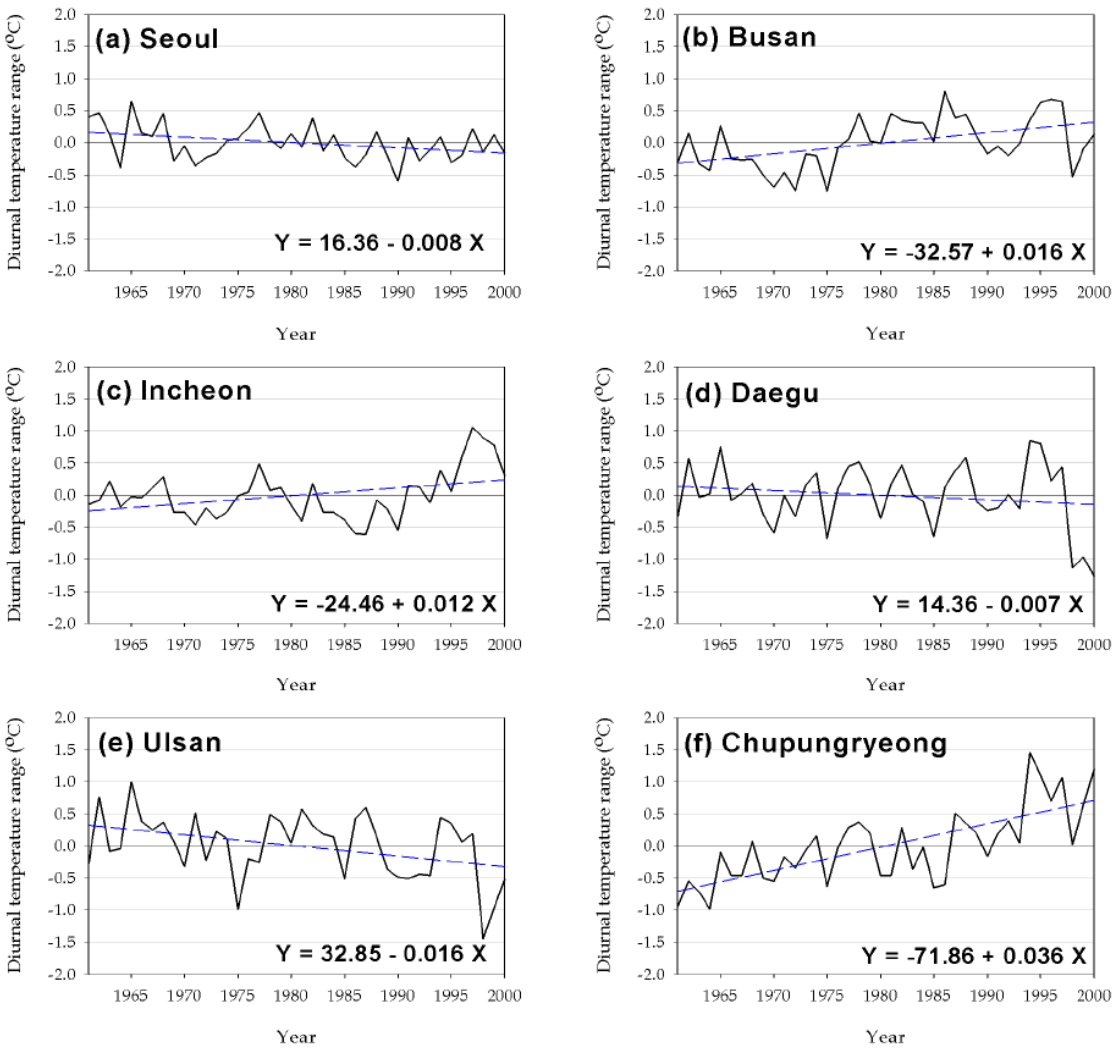

Fig. 4. Same as Fig. 1, except for diurnal temperature range (DTR).

적인 측면도 내포하고 있다. 일반적으로 한국의 계절별 사망률은 겨울철에 제일 높고 여름철에 제일 낮은 하키 스틱형의 분포를 보이는 특징을 가지고 있다(기상연구소, 2005). 겨울철의 찬 대륙성 기단의 영향으로 기온이 하강하게 되면 심혈관 계통이나 호흡기 계통의 질환자 (특히, 65세 이상의 고령층에서 더 높게 나타남)의 사망률이 크게 증가하는 특징을 보인다. 따라서, 겨울철의 온난화는 이러한 겨울철 사망 원인에 대하여 반대로 작용하여 보건학적으로는 긍정적인 효과를 나타낼 것으로 생각된다. 그러나, 기후변동성으로 인한 한파 등 이상기상 현상의 출현 빈도 변화에 따른 보건학적 영향은 아직 미해결의 부분이며 여전히 고려해야 될 중요한 요소 중의 하나이다.

3.3 최근 40년간 서울과 추풍령의 최고 및 최저기온 비교

1961년부터 2000년까지 한국의 대표적 도시인 서울과 도시화의 영향을 적게 받은 추풍령에 대한 일 최고기온의 연 별 변화를 분석한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림 내의 각 상자에서 제일 윗부분 (속이 빈 원)은 연별 최고 값, 그 다음부터 차례대로 95번째 (속이 찬 원), 90번째 (수염 모양), 75번째 백분위수 (네모 상자의 윗 부분), 중앙값 (가는 가로선), 평균값 (굵은 가로선), 25번째 (네모 상자의 아랫 부분), 10번째 (수염 모양), 5번째 (속이 찬 원), 최소값 (속이 빈 원) 등을 각각 나타낸다. 1961년부터 2000년까지 40년 동안 일 최

Table 2. Seasonal and annual increasing rates of (a) maximum and (b) minimum temperatures, and (c) diurnal temperature range at 6 stations in South Korea. See the text for more detailed explanation

(a)

Stations	Maximum temperature (℃)				
	SPR	SUM	AUT	WIN	**ANN**
Seoul	0.028	0.015	0.013	0.056	**0.028**
Busan	0.046	0.020	0.037	0.068	**0.043**
Incheon	0.045	0.041	0.020	0.052	**0.039**
Daegu	0.049	0.006	0.035	0.072	**0.037**
Ulsan	0.034	-0.016	0.020	0.051	**0.022**
Chupungryeong	0.033	-0.012	0.024	0.055	**0.024**

(b)

Stations	Minimum temperature (℃)				
	SPR	SUM	AUT	WIN	**ANN**
Seoul	0.036	0.016	0.028	0.065	**0.036**
Busan	0.029	0.011	0.020	0.046	**0.026**
Incheon	0.029	0.009	0.017	0.053	**0.027**
Daegu	0.049	0.013	0.042	0.075	**0.044**
Ulsan	0.046	0.020	0.030	0.058	**0.038**
Chupungryeong	0.015	-0.025	-0.022	0.018	**-0.011**

(c)

Stations	Diurnal temperature range (℃)				
	SPR	SUM	AUT	WIN	**ANN**
Seoul	-0.008	-0.001	-0.015	-0.008	**-0.008**
Busan	0.017	0.008	0.017	0.022	**0.016**
Incheon	0.016	0.031	0.002	-0.001	**0.012**
Daegu	0.049	-0.019	-0.007	-0.002	**-0.007**
Ulsan	-0.012	-0.037	-0.010	-0.006	**-0.016**
Chupungryeong	0.048	0.012	0.046	0.037	**0.036**

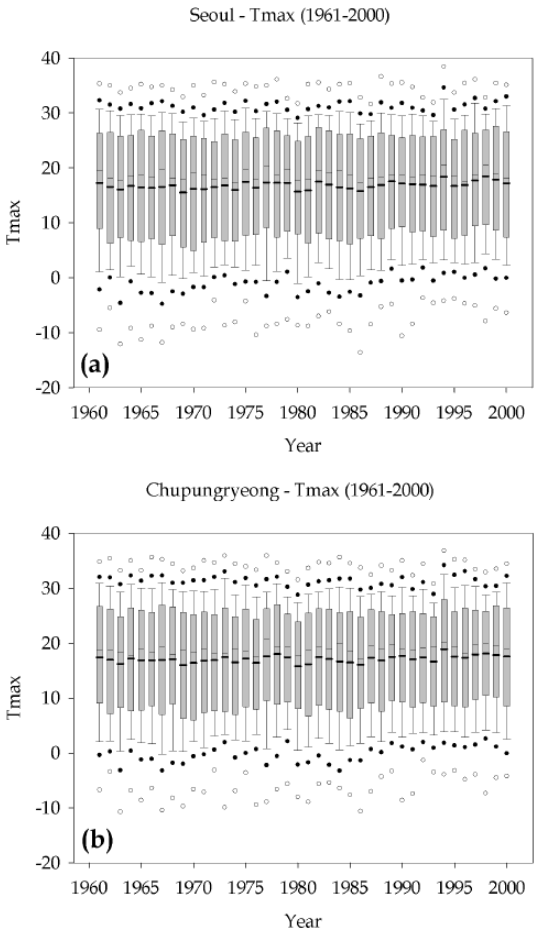

Fig. 5. Box plot of annual variation of daily maximum temperature for (a) Seoul and (b) Chupungryeong during the past 40 years (1961-2000). The upper and lower symbols of open circles, solid circles, whiskers indicate maximum, minimum, 95th percentile, 5th percentile, 90th percentile, 10th percentile of daily maximum temperature data of each year. Upper and lower limits of box, thin and thick lines in the box indicate 75th and 25th percentiles, median and mean values of temperature.

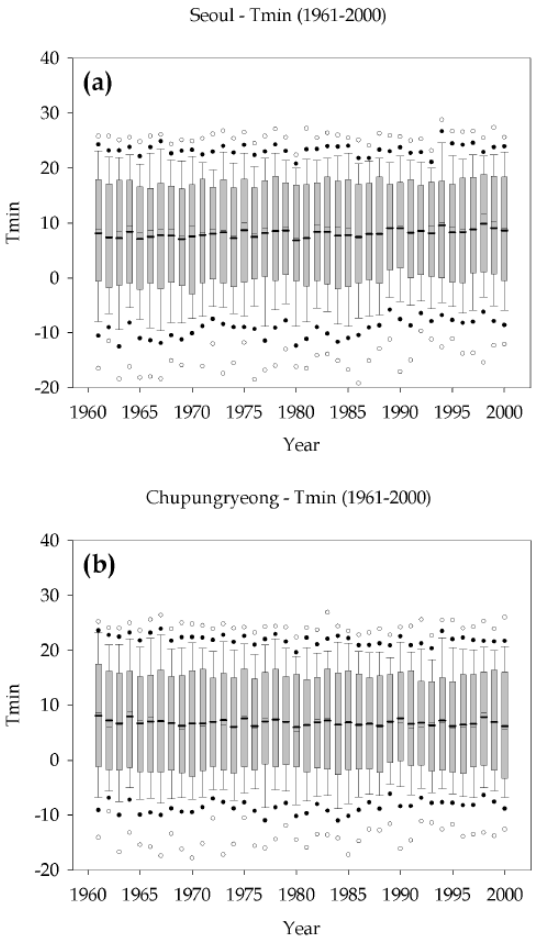

Fig. 6. Same as Fig. 5, except for daily minimum temperature.

고기온의 최고값은 1994년에 나타난 38.4℃였다 (이 값은 또한 서울의 일 최고기온 극값이기도 하다). 이는 서울에서 40년간 일 최고기온의 연 별 최고값의 평균인 34.6℃보다 3.8℃ 더 높은 값에 해당한다. 또한 40년 동안 일 최고기온의 최소값은 1986년에 나타난 -13.6℃이다. 이는 일 최고기온의 연 별 최소값의 평균인 -7.8℃보다 5.8℃ 더 낮은 값에 해당한다.

한편, 추풍령의 경우 40년간의 자료 중 일 최고기온의 최고 값은 서울과 마찬가지로 1994년에 36.8℃로 가장 높았고, 이는 40년간의 연 별 일 최고기온의 최고 값의 평균인 34.1℃ 보다 2.7도 더 높은 값에 해당한다. 추풍령의 일 최고기온의 연 별 최소 값 중 최소는 1963년의 -10.7℃였는데, 이는 40년간 일 최고기온의 연 별 최소치의 평균인 -6.5℃ 보다 4.2도 더 낮은 값에 해당한다. 위에서 분석한 서울과 추풍령의 일 최고기온에 대한 자료를 비교 요약하면, 서울이 추풍령에 비해 최근 40년 동안 (즉, 1961년부터 2000년까지) 여름철의 일 최고기온이 더 높고 겨울철에는 서울의 일 최고기온이 추풍령에 비해 더 높게 올라가지 못하는 것으로 나타났다. 이는 서울 지역에 거주하는 도시민들이 추풍령 지역의 거주민에 비해 여름철에 높은 열 스트레스를 받고 겨울철에 더 큰 추위 스트레스에 노출되어 있음을 시사하는 결과이다.

일 최저기온에 대하여도 일 최고기온과 동일한 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 서울의 일 최저기온의 연 별 최고값은 1994년의 28.8℃

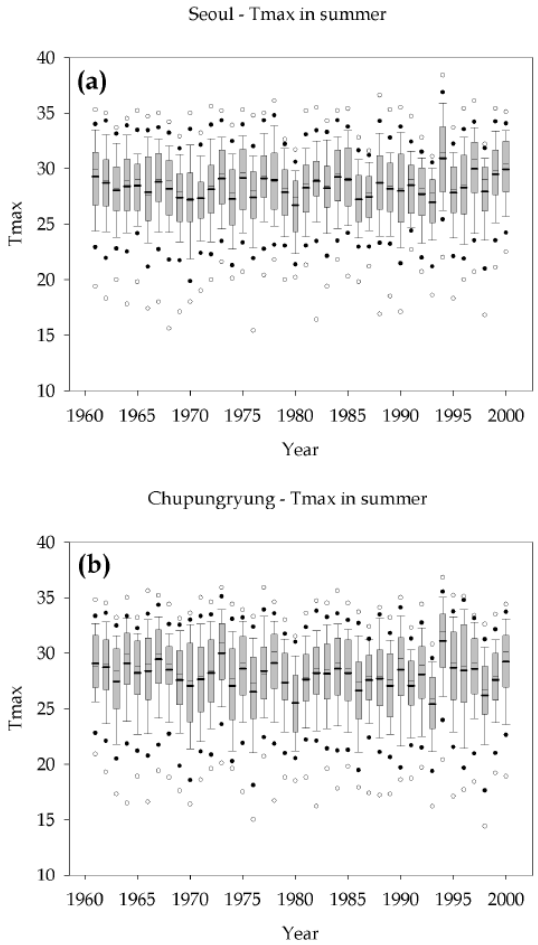

Fig. 7. Same as Fig. 5, except for summer season.

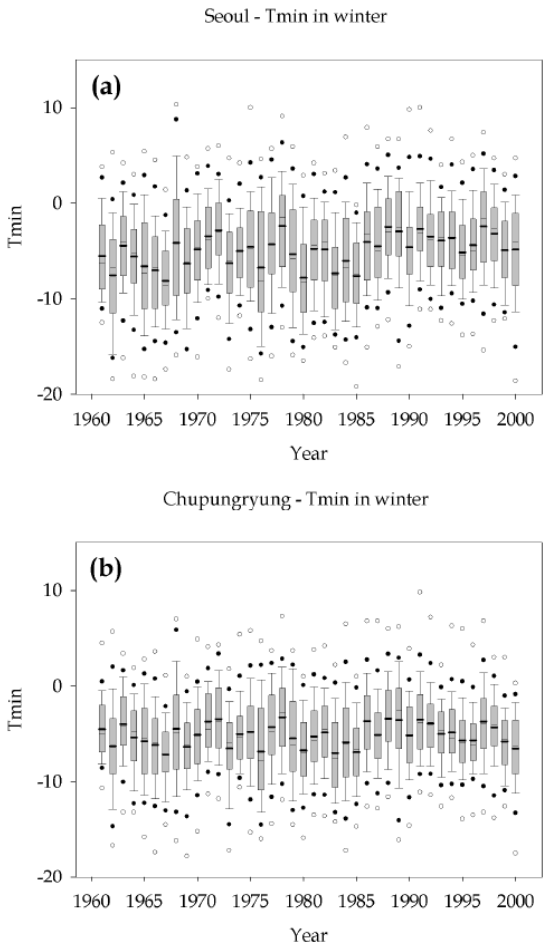

Fig. 8. Same as Fig. 6, except for winter season.

였고 (40년 간의 평균 값은 25.7℃ 임), 일 최저기온의 연 별 최소값은 1970년의 -20.2℃ (40년 간의 평균 값은 -15.0℃)였다. 한편, 추풍령의 일 최저기온의 연 별 최고값은 1983년의 26.7℃였고 (40년 간의 평균 값은 24.4℃ 임), 일 최저기온의 연 별 최소값은 1970년의 -17.8℃ (40년 간의 평균 값은 -14.0℃)였다. 두 지역 간의 이러한 경향은 일 최고기온에서의 특징과 비슷한 경향성을 보여 주는 결과이다. 서울과 추풍령에 대하여 여름철(6, 7, 8월) 일 최고기온과 겨울철(12, 1, 2월) 일 최저기온의 연 별 분포 경향을 Fig. 7과 8에 각각 나타내었다. Fig. 7과 Fig. 8에 나타난 바와 같이 여름철과 겨울철 기간의 기온 변화 경향은 연 별 경향에 비하여 여름철의 더위와 겨울철의 추위에 의한 변화 경향을 보다 잘 보여주고 있음을 알 수 있다.

3.4 일 최고 및 최저기온의 발생 빈도 분포

서울과 추풍령의 일 최고 및 최저기온의 빈도 분포를 1961년-1990년 기간과 1971년-2000년 기간 동안으로 구분하여 Fig. 9의 (a)와 (b) 및 (c)와 (d)에 각각에 나타내었다. 대체적으로 두 지역에서 일 최고 및 최저기온이 이중 모드 (bi-modal) 분포를 보여주고 있다. 여름과 겨울철 등 몬순의 영향에 의한 것으로 판단된다. 또한, 그림에 나타난 바와 같이 두 지역 모두 온난화의 영향으로 최근으로 올수록 기온이 낮은 구간에서의 빈도가 감소하고 상대적으로 높은 기온의 구간에서 빈도가 증가하는 경향을 뚜렷이 보이고 있다. 그러나, 이중 모두의 양 극단에 해당하는 극한 기온 부분에서의 빈도 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

Fig. 10은 온난화에 따른 기온 구간 별 빈도 분포의

변화 추세를 보다 자세하게 파악하기 위하여 1961년-1970년 기간과 1991년-2000년의 10년 기간 동안의 일 최고 및 최저기온의 빈도 분포 변화 추세를 비교한 결과이다. Fig. 9와 같이 이중 모드의 분포는 같지만 온난화에 따른 기온 증가의 효과는 서울과 추풍령 모두 더욱 뚜렷하게 나타남을 보여 주었다.

두 지역에서 나타난 위의 결과는 기온의 변화가 인체에 미치는 영향을 고려할 때 시사하는 바가 크다. 즉, 겨울철의 한파나 급격한 기온의 하강 등에 영향을 쉽게 받는 호흡기 질환이나 심혈관 질환자의 발생률 또는 사망률은 온난화에 의해 감소될 것으로 보인다. 이는 온난화에 따른 긍정적 효과로 볼 수 있다. 특히, Fig. 10(a)에서 나타난 바와 같이 서울의 일 최고기온이 3℃ 이하인 구간에서 빈도가 줄고 3~21℃인 구간에서 과거에 비해 빈도가 증가하는 것은 보건기상학적 측면에서 분명히 긍정적인 의미를 내포하고 있다. 그러나, 서울의 일 최고기온이 30℃ 이상 구간에서 더 증가하는 것은 분명히 우려할 만한 결과이다. 일 최저기온에서의 변화도 위와 같은 의미를 지닌다고 해석할 수 있다.

한반도 지역의 기후모델 예측결과에 따르면 21세기 말에 한반도의 기온이 최고 4℃정도까지 증가할 수 있다고 한다(http://www.kma.go.kr). 또한 가뭄과 폭염의 빈도도 더욱 증가 할 것으로 예상되고 있다. 겨울철의 한파와 여름철의 폭염은 인체에 다양한 과정을 거쳐 생리적 변화를 일으켜 유병률과 사망률을 높이는 결과를 초래한다. 향후에 한반도 지역에서 발생할 한파와 폭염의 발생 빈도를 정확하게 예측하는 것은 중위도 지역 기후변동성의 비선형성 때문에 쉬운 일이 아니다. 그러나, 최근 40년간 우리나라 주요 대도시 지역에 나타난 기온 변화 경향을 살펴 볼 때 한파 보다는 폭염에 의한 영향이 앞으로 더 클 것임을 시사한다. 21세기에는 도시지역으로의 인구 집중화가 심화될 것으로 예상되고 있다. 인구가 밀집된 도시지역에서 여름철 폭염으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 도시계

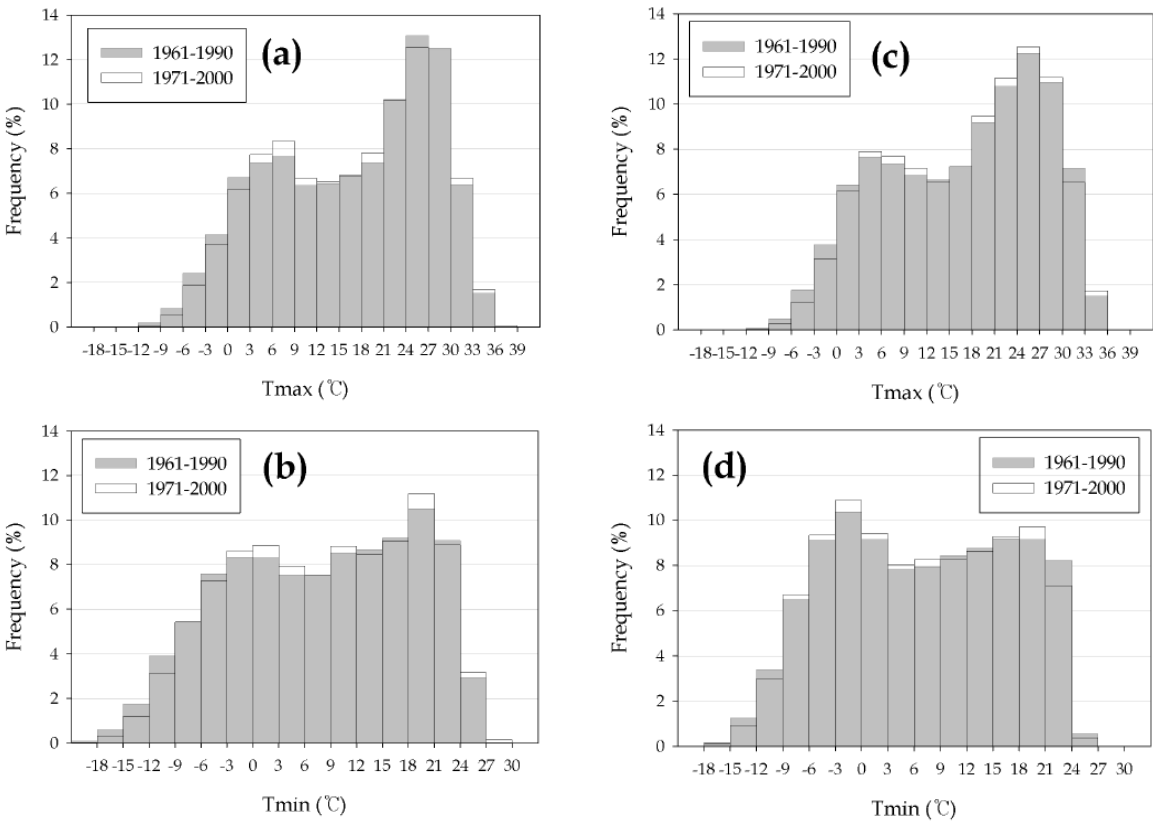

Fig. 9. Frequency distribution of (a) maximum and (b) minimum temperatures for Seoul and (c) maximum and (d) minimum temperatures for Chupungryeong during 1961-1990 (shaded box) and 1971-2000 (solid line box).

획과 설계, 건축물 디자인 단계에서부터 도시지역의 온난화를 경감 시킬 수 있는 최선의 방안들이 수립되고 적극적으로 시행되어야 할 필요가 있다.

4. 결론 및 토의

1961년부터 2000년까지 최근 40년간 인구 100만 명(2000년 말 기준) 이상인 한국의 주요 대도시를 대상으로 일 최고기온과 일 최저기온의 장기간 변동 경향을 분석하였다. 그리고, 상대적으로 도시화가 적게 이루어진 추풍령에 대하여 동일기간의 기온 자료를 비교 분석하였다. 이 연구에서 얻은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 서울 등 주요 대도시에서 공통적으로 최고기온의 상승 경향이 뚜렷하게 나타났다. 하지만 증가의 기울기는 각 지역마다 다르게 나타났다. 일 최고기온 증가율은 부산이 0.043℃/년으로 가장 높았고, 인천이 0.039, 대구 0.037, 서울이 0.028, 추풍령이 0.024, 울산이 0.022의 순으로 나타났다.

둘째, 일 최저기온의 증가율은 공통적으로 양의 값을 나타내었지만 증가율의 크기는 지역에 따라 다르고 최고기온의 증가 양상과도 달랐다. 6개 지점 중 대구가 0.044℃/년으로 가장 높았고, 울산이 0.038, 서울이 0.036, 인천이 0.027, 부산이 0.026, 추풍령이 -0.011의 순으로 나타났다.

셋째, 기온의 일변화의 연 별 변화율은 지역에 따라 양의 값과 음의 값이 서로 다르게 나타나는 특징을 보였다. 그 중 추풍령은 +0.036℃/년으로 큰 선형 증가 경향을 보였고, 부산이 +0.016, 인천이 +0.012로 양의 값을 보였다. 이와 반면에 울산은 -0.016, 서울이 -0.008, 대구가 -0.007로 음의 증가율을 나타내었다.

넷째, 한국의 주요도시의 기온의 증가율은 IPCC 4차보고서 (IPCC, 2007)의 요약본에 소개된 최근 50년 동안의 전지구적 기온 증가율, 즉 0.013℃/년 (변화 범

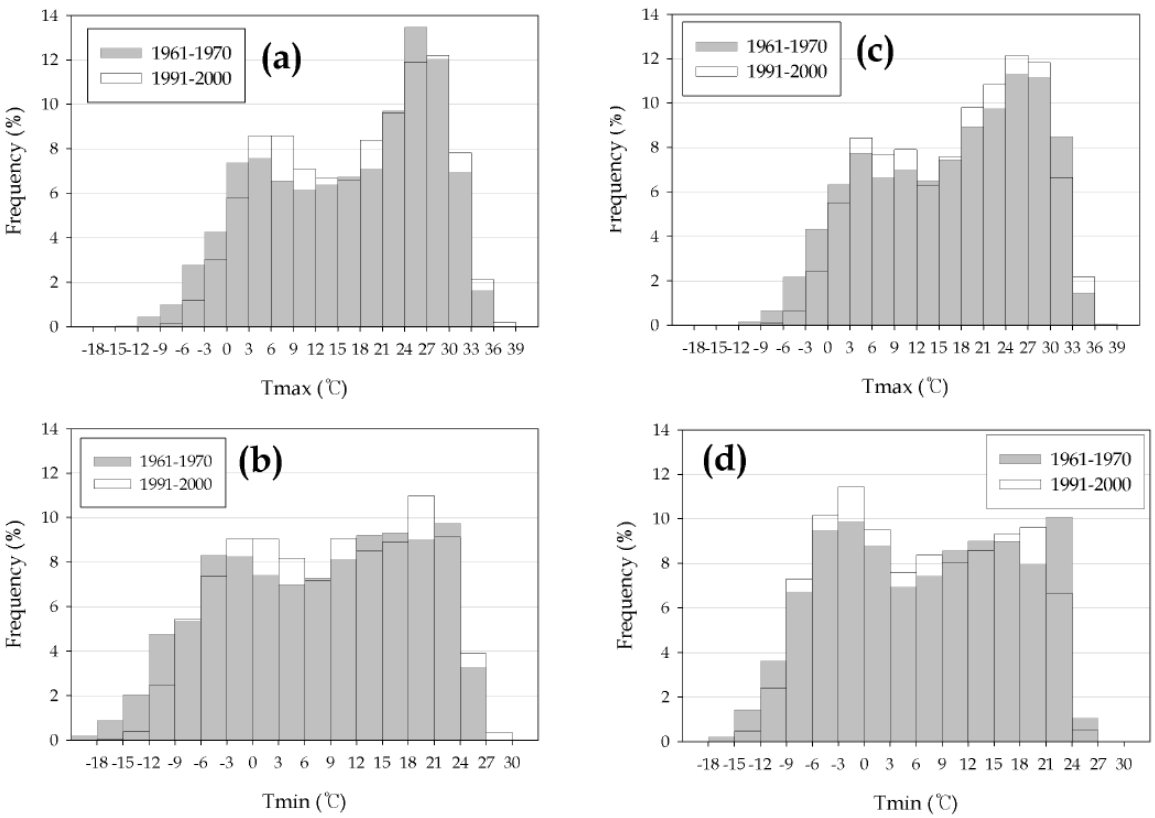

Fig. 10. Frequency distribution of (a) maximum and (b) minimum temperatures for Seoul and (c) maximum and (d) minimum temperatures for Chupungryeong during 1961-1970 (shaded box) and 1991-2000 (solid line box).

위는 0.010~0.016℃/년임)에 비교해 볼 때 수 배 정도 높은 것으로 나타났다.

다섯째, 어느 계절이 기온의 증감에 얼마나 크게 기여를 하였는가를 파악하기 위하여 최고 및 최저기온의 증감 경향을 각 계절 별로 분석하였다. 일 최고기온에 대해 분석해 본 결과, 서울 등 6개 지역에서 공통적으로 겨울철의 기온증가율이 0.05이상으로 가장 높게 나타났다. 일 최저기온 또한 겨울철의 증가율이 모든 지점에서 가장 크게 나타났다.

여섯째, 서울과 추풍령의 일 최고 및 최저기온의 빈도 분포를 분석한 결과 두 지역에서 일 최고 및 최저기온이 이중 모드 (bi-modal) 분포를 보였고 이는 여름과 겨울의 몬순의 영향에 의한 것으로 보인다. 두 지역 모두 온난화의 영향으로 최근으로 올수록 기온이 낮은 구간에서의 빈도가 감소하고 상대적으로 높은 기온의 구간에서 빈도가 증가하는 경향을 뚜렷이 보이고 있다. 그러나, 이중 모두의 양 극단에 해당하는 극한 기온 부분에서의 빈도 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

한반도 지역 온난화가 건강에 미치는 영향은 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 함께 내포한다. 일반적으로 중위도 지역의 연중 사망률 분포 특징 중 하나는 겨울철에 사망률이 높고 여름철에 사망률이 낮다는 것이다. 겨울철의 기온하강은 심혈관 계통이나 호흡기 계통의 질환자의 사망률 증가의 원인이 된다. 따라서, 겨울철의 온난화는 이러한 겨울철 사망 원인에 대하여 반대로 작용하여 보건학적으로는 긍정적인 효과를 나타낼 수 있다. 그러나, 여름철에 발생하는 폭염은 그 강도와 지속성이 강할 때 심혈환계 질환자들에게 치명적인 피해를 줄 수 있기 때문에 부정적인 면을 지니고 있다. 기온의 증가 및 극단적 기온 현상의 발생의 빈도 변화가 인류의 건강에 미치는 영향은 지역에 따라 다를 것으로 예상된다. 왜냐하면, 지역 별 기후변화의 양상이 다르고 각 지역 별 거주민의 기후적응도 또한 다르기 때문이다. 기후변화가 인류의 건강에 미치는 영향을 정확하게 평가하기 위해서 기후-건강 간의 상호 관련성을 기반으로 한 다양한 연구 개발이 보다 심층적으로 수행될 필요가 있다.

사 사

This study was supported by the Korea Research Foundation (KRF) under grant KRF-2006-000005. JK was supported by the CSF project 205/07/J044.

참고문헌

강용균, 노재식, 1985: 과거 30년간(1954-1983) 한국 기온의 연변화와 연별 변동. 한*국기상학회지*, **21**, 1-10.

기상연구소, 2005: *생명기상기술개발연구(I)*. 기상연구소 주요사업 1차년도 최종보고서 MR050A10, 168 pp.

_____, 2006: *생명기상기술개발연구(II)*. 기상연구소 주요사업 2차년도 최종보고서 MR060A44, 157pp.

김경환, 김백조, 오재호, 권원태, 백희정, 2000: 한반도 기온 변화에 나타난 도시화 효과 검출에 관한 연구. *한국기상학회지*, **36**, 519-526.

김맹기, 강인식, 곽종흠, 1998: 우리나라 대도시 지표 기온 변동과 연관된 계절적인 요인들. *한국기상학회지*, **34**, 466-477.

_____, 강인식, 곽종흠, 1999: 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량의 추정. *한국기상학회지*, **35**, 118-126.

김지영, 이대근, 박일수, 최병철, 김정식, 2006: 한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향. *대기*, **16**, 269-278.

_____, _____, 최병철, 박일수, 2007: 군집 분석법을 이용한 여름철 기단 분류 및 일 사망자수와의 관련성 연구. *대기*, **17**, 45-53.

노재식, 1973: 서울지방의 기온상승경향에 대하여. *한국기상학회지*, **9**, 49-58.

류상범, 문승의, 조병길, 1993: 남한의 도시화에 따른 기온 변동. *한국기상학회지*, **29**, 99-116.

_____, 김연희, 권태헌, 박일수, 2006: 기상청 기후자료의 균질성 문제 (I): 관측지점의 이전. *대기*, **16**, 215-223.

백희정, 권원태, 1994: 도시화로 인한 한반도 기온의 변화 경향 분석. *기상연구논문집*, **11**, 12-26.

윤일희, 민경덕, 김경익, 1994: 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발. II. 도시 열섬 특성에 관한 사례 연구. *한국기상학회지*, **30**, 303-313.

이명인, 강인식, 1997: 한반도 기온 변동성과 온난화. *한국기상학회지*, **33**, 429-443.

최광용, 최종남, 권호장, 2005: 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000. *예방의학회지*, **38**, 283-290.

최병철, 김규랑, 김지영, 2007: *위기의 지구: 폭염*. 생명기상 시리즈 1. 푸른길, 179 pp.

통계청, 2006: 2005년 *한국통계연감*. 제 52호, 973 pp.

하경자, 하은호, 류철상, 전은희, 2004: 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한 기후. *한국기상학회지*, **40**, 1-16.

한영호, 김보현, 이동인, 1993: 부산지역 도심지의 열섬 현상과 기온변화에 관한 연구. *한국기상학회지*, **29**, 205-216.

Campbell-Lendrum, D. H., P. Wilkinson, K. Kuhn, R. S. Kovats, A. Haines, B. Menne, and T. W., Parr, 2002: *Environmental change, climate and health- issues and research methods*. P. Martens and A. J. Mc Michael, Eds.,

Cambridge University Press, 253-289.

Changnon, S. A., K. E. Kunkel, and B. C. Reinke, 1996: Impact and responses to the 1995 heat wave: A call to action. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **77**, 1496-1506.

Easterling, D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Salinger, V. Razuvayev, N. Plummer, P. Jamason, and C. K. Folland, 1997: Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 277, 364-367.

_____, G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl, and L. O. Mearns, 2000: Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, **289**, 2068-2074.

Ebi, K. L., T. J. Teisberg, L. S. Kalkstein, L. Robinson, and R. F. Weiher, 2004: Heat watch/warning systems save lives: Estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-1998. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **85**, 1067-1073.

Ferranti, L. and P. Viterbo, 2006: The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions. *J. Climate*, **19**, 3659-3680.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001: *Climate Change 2001*, *The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881pp.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis- Summary for Policymakers*. R. Alley et al., Eds., [Available online at http://ipcc-wg1.ucar.edu/].

Jones, P. D., P. M. Kelly, and C. M. Goodness, 1989: The effect of urban warming on the Northern hemisphere temperature average. *J. Climate*, **2**, 285-290.

_____, P. Y. Groisman, M. Coughlan, N. Plummer, W.-C. Wang, and T. R. Karl, 1990: Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, **347**, 169-172.

_____, 1998: Hemisphere surface air temperature variations: Recent trends and an update to 1987. *J. Climate*, **1**, 654-660.

Kato, H., 1996: A statistical method for separating urban effect trends from observed temperature data and its application to Japanese temperature records. *J. Meteor., Soc. Japan*, **74**, 639-653.

Kim, J., I.-S. Park, D.-G. Lee, and S.-Y. Bang, 2006: Heat-related mortality in major cities of South Korea during 1991-2004. Proceedings on the 6th Conference of the European Meteorological Society and the 6th European Conference on Applied Climatology, Ljublanja, Slovenia, 4-8 September 2006.

Kunkel, K. E., R. A. Pielke Jr., and S. A. Changnon, 1999: Temporal fluctuation in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **80**, 1077-1098.

Kysely, J., 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-1997, and their relationships to atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, **22**, 33-50.

Kysely, J., 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int. J. Biometeorol.*, **49**, 91-97.

Kysely, J. and R. Huth, 2004: Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches. *Clim. Res.*, **25**, 265-274.

Meehl, G. A., T. Karl, D. R. Easterling, S. Changnon, R. Pielke Jr., D. Changnon, J. Evans, P.Y. Groisman, T. R. Knutson, K. E. Kunkel, L. O. Mearns, C. Parmesan, R. Pulwarty, T. Root, R. T. Sylves, P. Whetton, and F. Zwiers, 2000: An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terretrial ecological impacts, and model projections. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **81(3)**, 413-416.

Ross, T. and N. Lott, 2003: *A climatology of 1980-2003 extreme weather and climate events*. National Climatic Data Center Technical Report 2003-01. 14 pp.

Ryoo, S. B., and S. E. Moon, 1995: Detection of warming effects due to industrialization: An accumulated intervention model with an application in Pohang, Korea. *J. Appl. Meteor*., **34**, 1466-1471.

Salinger, M. J., 1995: Southwest Pacific temperatures: trends in maximum and minimum temperatures. *Atmos. Res*., **37**, 87-99.

Stott. P. A., D. A. Stone, and M. R. Allen, 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, **432**, 610-614.

Tett, S. F. B., P. A. Stott, M. R. Allen, W. J. Ingram, and J. F. B. Mitchell, 1999: Causes of twentieth century temperature change near the Earth's surface. *Nature*, **399**, 569-572.

Weber, R. O., P. Talkner, and G. Stefanicki, 1994: Asymmetric diurnal temperature change in the Alpine region. *Geophys. Res. Lett*, **21**, 673-676.