

최고, 최저기온을 이용한 우리나라 기온변화에서의 도시화효과 분석

구교숙* · 부경온 · 권원태

국립기상연구소 기후연구팀

(2007년 4월 5일 접수; 2007년 6월 7일 승인)

The Estimation of Urbanization Effect in Global Warming over Korea using Daily Maximum and Minimum Temperatures

Gyo-Sook Koo*, Kyung-On Boo and Won-Tae Kwon

Climate Research Team /National Institute of Meteorological Research /KMA

(Manuscript received 5 April 2007; in final form 7 June 2007)

Abstract

This study investigates urbanization effect in warming trend of surface air temperature over Korea. The data used in this study consist of the daily minimum and maximum temperatures during the period of 32 years (1968-1999) from 16 stations of KMA. To calculate magnitude and trend of urbanization effect, stations were classified into urban and rural stations using population statistics. Urban stations were defined as those with population densities greater than 1000 persons per kilometer squared in 1995. The others were defined as rural stations. The urban stations were also subdivided into two groups according to their population totals. For estimates of urban effect magnitude, temperature change was calculated by comparing 16-year mean values between 1968-83 and 1984-99. Then, the difference between each urban station and every rural station was calculated. During the analysis period of 32 years, maximum temperature increase is 1.22 °C. In the total temperature increase, urban effect is estimated by 28.7%. For minimum temperature, it becomes larger by about 10% than that in maximum temperature. Therefore, urban effect in an increasing trend of minimum temperature is 38.9% in the change of 1.13 °C.

Key words: urban effect, maximum and minimum temperature, global warming

1. 서론

지구온난화에 따른 기온상승은 온실가스 증가와 함께 도시화와 같은 지역적 요인에 의해서 영향을 받는다. 도시화 효과는 온실기체의 증가와는 독립적으로 기온상승의 중요한 원인 중 하나이다. 도시지역에 위치해 있는 관측소의 기온 시계열은 대규모 기후변화 영향뿐만 아니라 도시발달에 따른 도시열섬효과등이 합쳐져 복잡한 양상을 띠어, 기후변화에 따른 기온변화 경향을 예측하는데 어려움이 있다. 또한 도시화 영향은

종관적 상태 뿐만 아니라 지형적인 영향으로 나타나는 국지기후에 영향을 받고 온실효과와 도시화의 영향은 기온에 같은 방향으로 영향을 미치므로 도시화의 영향을 자연적 변동과 기후변화로부터 분리하기는 매우 어렵다 (백희정과 권원태, 1994). 우리나라에서도 장기간의 관측자료를 가지고 있는 대부분의 관측소가 도시화의 영향을 받았기 때문에 우리나라의 지구 온난화로 인한 기온의 장기 변동을 정확하게 탐지하고 감지하기 위해서는 도시화 효과에 대한 분석이 매우 중요하다 (Jones, 1988; Hansen and Lebedeff, 1987; Vinnikov *et al.*, 1990; Karl and Quayle, 1989; Portman, 1993).

도시화에 대한 연구는 도시화현상 발견 이래 많은 진척을 보였으며 Landsberg (1981)는 이러한 연구결과를 집대성하였다 (백희정과 권원태, 1994). 많은 연구들이 도시열섬 효과로 인하여 온도상승 경향이 나타난다고 보고하였으며 (Karl *et al.*, 1993; Garstang *et*

*Corresponding Author: Gyo-Sook Koo, Climate Research Team, National Institute of Meteorological Research, 460-18 Sindabang-2dong, Dongjak-gum Seoul 156-720, Korea.
Phone : +82-2-846-2852, Fax : +82-2-846-2853
E-mail: geogen@metri.re.kr

al., 1975; Cayan and Douglas, 1984; Kukula *et al.*, 1986; Karl *et al.*, 1988), 도시화 효과는 대도시뿐만 아니라 모든 도시에서 나타남을 보였다 (Oke, 1979; Landsberg, 1981; Karl *et al.*, 1988). 국내에서도 한반도 도시화 및 기온 상승에 관하여 많은 연구들이 진행되었다. 노재식 (1973)은 한반도의 도시화와 관련하여 서울의 기온 상승을 연구하였으며, 류상범 등(1993)은 내륙도시의 기온상승 경향이 해안도시보다 크며, 같은 그룹 내에서는 도시의 크기에 따라 기온상승이 달라짐을 보였다. 이명인과 강인식 (1997)은 한반도 평균 도시화 경향이 최근 20년간 약 0.3°C 임을 제시하였고, 김맹기 등 (1999)은 지난 40년간 12개 관측소에서 약 0.6°C 의 기온 증가량 중 도시화 효과가 기여한 양을 약 0.4°C 로 추정하였다. 한편 Choi *et al.* (2003)은 각 도시의 크기를 고려하여 지표 기온의 장기 변동에서의 도시화 효과를 평가하고 도시화에 의한 정량적인 기온 증가에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구에서 지난 32년간 연평균 기온이 1.17°C 증가하였고, 이 중 약 35%인 0.41°C 가 도시화 효과에 기인한다고 밝힌 바 있다.

Fig. 1은 1993년부터 2002년까지 최근 10년간 겨울철 월평균 최고기온 및 월평균 최저기온의 수평분포이다. 월평균 최고기온은 남쪽으로 갈수록 기온 증가가

커지며 (Fig. 1a), 상대적으로 월평균 최저기온은 남쪽 지역뿐만 아니라 서쪽 해안가 지역에서의 증가가 뚜렷하다 (Fig. 1b). 최저기온의 수평분포에서 기온증가가 뚜렷한 지역은 Fig. 2에 제시된 도시 지역과 일치하는 점을 고려할 때 겨울철 월평균 최저기온이 월평균 최고기온보다 공간분포에서 도시화효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

이 연구에서는 최고기온과 최저기온의 이러한 차이를 도시화 효과 분석에 이용하였다. Choi *et al.* (2003)은 일평균기온을 이용하여 19개 지역을 도시지역, 시골지역 및 기타지역으로 구분하여 월평균 기온 비교를 통해 도시화효과를 분석하였다. 이 방법을 일평균기온이 아닌 최저기온으로 분석할 경우 도시화 영향은 어느 정도 더 커지는지 판단하기 위해서 본 연구에서는 Choi *et al.* (2003)의 방법에 따라 최고기온과 최저기온에서의 도시화 효과를 분석하였다.

2. 자료 및 방법

도시화 효과와 온실효과에 의한 기온 증가를 평가하기 위해서는 가능한 한 장기간의 자료가 필요하다 (김맹기 등, 1999). 그러나 한반도 관측의 역사는 비교

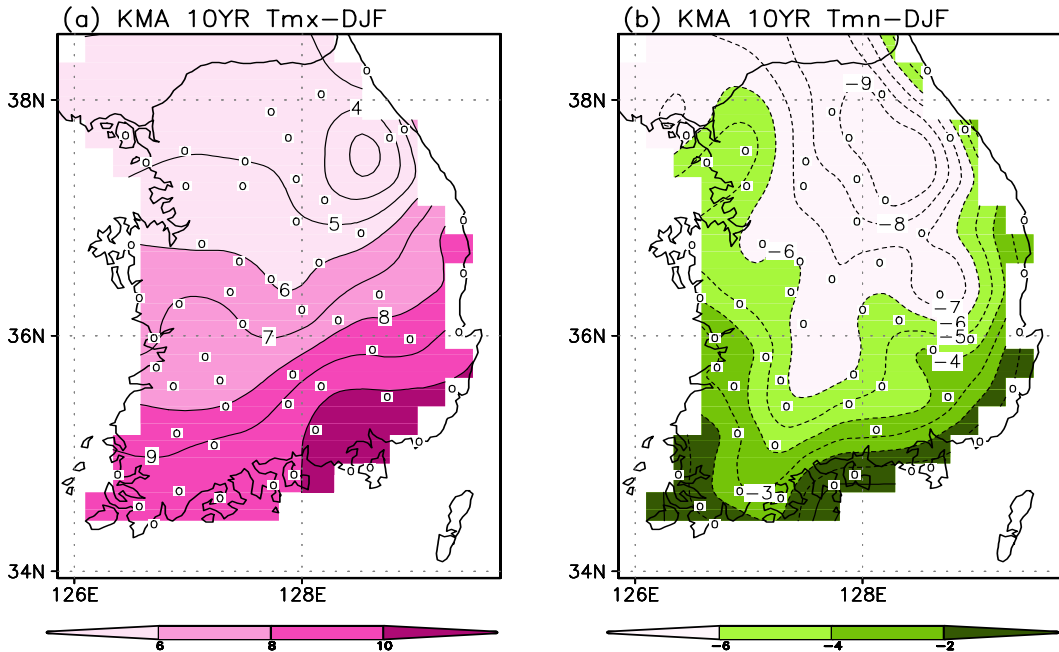


Fig. 1. Horizontal distribution of daily maximum and minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$) in winter for the period of 1993-2002 in KMA observation. Dot designates 61 KMA observation stations.

적 짧기 때문에 장기간의 자료를 이용할 경우에는 관측소의 수가 적어지고, 관측소의 수를 많이 사용할 경우에는 기간이 짧아지는 어려움이 있다 (김맹기 등, 1999). 본 연구에서는 1968년부터 1999년까지 32년간 결측 자료가 없는 16개 관측소의 월평균 최고기온과 월평균 최저기온을 사용하였다 (Table 1). 각 관측소의 위치는 Fig. 2에 제시한 바와 같다.

3. 관측 자료의 도시화 효과 평가

3.1 분류 및 방법

본 연구에서 사용한 16개 관측소는 Choi *et al.* (2003)의 분류와 같이 도시화 효과를 측정하기 위하여

인구수에 따라 도시 지역과 시골 지역으로 분류하였다. 도시 [시골] 지역은 1995년 기준으로 단위 km²당 1000명보다 인구 밀도가 큰 [작은] 지역으로 정의하였다. 또한 도시지역은 도시크기에 따른 도시화의 정도를 측정하기 위하여 도시지역 총 인구수에 따라 대도시와 소도시로 재분류하였다 (Choi *et al.*, 2003): 4개의 대도시 지역은 총 인구수가 100만 명이 넘는 지역이며, 6개의 소도시 지역은 100만 명보다 총 인구수가 작은 지역이다. 본 연구에서의 도시 분류는 통계청 1995년의 자료를 기준으로 하였다. 최근 2005년 통계청 자료를 기준으로 하면, 울산은 인구증가율이 매우 높기는 하나 이는 2000년 이전 추세이고, 본 연구에서는 서울, 부산 등의 대도시가 인구증가를 보였던 2000년 이전에 대해 중점을 두었다. 따라서 기존 연구인

Table 1. Definition of urban and rural stations (adopted from Choi *et al.*, 2003).

Definition	Population density persons/km ²	Total population	Defined Station
Urban	>1000		
Large		>1 million	Seoul, Busan, Daegu, Incheon (4)
Smaller		<1 million	Suwon, Mokpo, Jeonju, Cheongju, Ulsan, Gangneung (6)
Rural	<1000		Yeosu, Gunsan, Pohang, Chuncheon, Seosan, Chupungnyung (6)

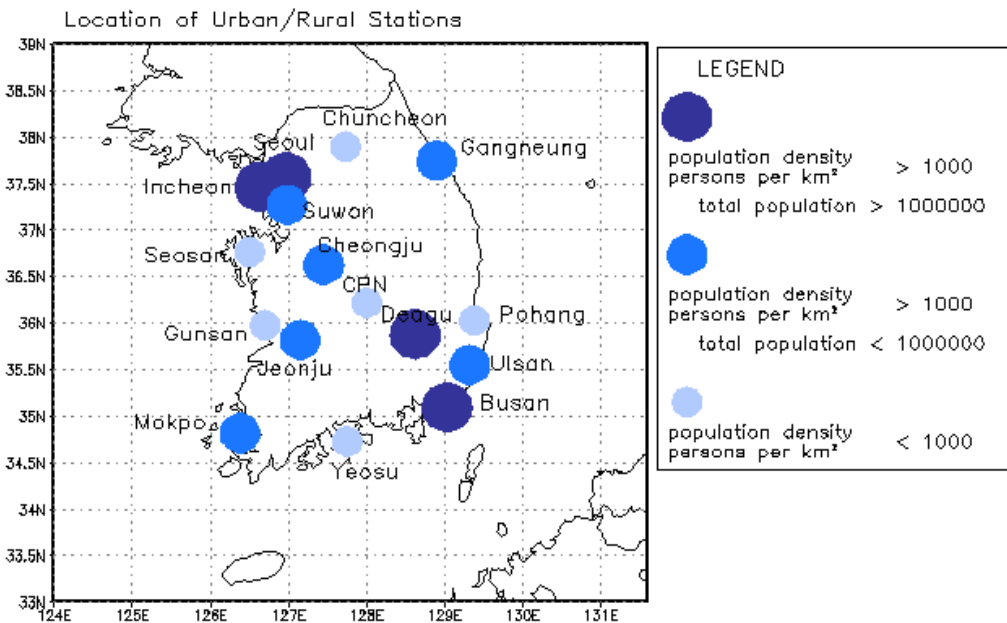


Fig. 2. Climatological surface stations in South Korea. Symbols marking locations of urban and rural stations are as indicated in the figure legend. Refer to Table 1.

Choi *et al.* (2003)의 연구방법과 기간을 그대로 적용하였으며 변수 차이에 의한 도시화 효과를 알아보기 위한 목적에 맞추어 자료를 이용하였다.

도시화 효과를 검증하기 위한 가장 좋은 방법은 각각의 도시 지역과 이웃하는 시골 지역을 비교하는 것이다 (Karl *et al.*, 1988; 이명인과 강인식, 1997; Choi *et al.*, 2003). 본 연구에서는 도시 지역과 시골 지역간의 기온차를 평균하여 도시화 효과에 의한 기온값을 계산하였다. 도시화 효과에 의한 기온 상승이 제거된 기온값은 식 (1)과 같이 정의된다 (Choi *et al.*, 2003).

$$T_i' = T_i - \{ \bar{T}_{u-r} + [(\Delta T_{u-r}/32)(i - 1968)] \} \quad (1)$$

여기서 \bar{T}_{u-r} 은 1968년부터 1999년까지 매년 도시와 시골의 기온차를 평균한 값이며, ΔT_{u-r} 은 (1968-1983년)과 (1984-1999년)의 각각 16년 평균값의 차를 두 배로 곱한 값이다. i 는 1968년부터 1999년까지의 기간이다. 식 (1)을 통해 구해진 기온값은 도시화에 따른 기온상승과 추세를 제거한 값을 의미한다.

3.2 도시화 효과 평가

1968년에서 1999년까지 32년간 16개 관측소에 대한 연평균 및 계절평균 최고기온 및 최저기온을 제시

하였다 (Table 2). 분석 기간 중 연평균 최고기온 [최저기온]값은 17.66 [8.57] °C였으며, 상승폭은 최고기온의 경우 겨울에, 최저기온의 경우 겨울과 봄에 컸다. 후반 16년 (1984-1999)의 최고기온 [최저기온]은 전반 16년 (1968-1983)에 비하여 연평균 약 0.63 [0.58] °C 증가하였다. 계절적으로는 후반 16년과 전반 16년의 최고기온 [최저기온]의 차가 약 0.34~0.94 [0.41~0.84] °C로 나타났으며, 여름에 가장 작았고 겨울에 가장 컸다.

1968년부터 1999년까지 32년간 대도시, 소도시 그리고 시골 지역에 대한 기온 증가율을 살펴보았다 (Table 3). 최고기온과 최저기온 모두 상승률을 보여 최근 32년간 기온이 꾸준히 증가한 것을 볼 수 있었다. 최고기온의 경우, 연평균 및 계절평균 기온의 증가율이 대도시-소도시-시골 순으로 컸으며 겨울에 가장 증가율이 컸다. 반면 최저기온의 경우에는 도시에서의 증가율이 시골보다 컸고 여름과 가을에는 소도시의 증가율이 대도시보다 컸다. 또한 최고기온과 마찬가지로 겨울에 증가율이 가장 컸다.

도시화 효과에 의한 기온 상승이 제거된 기온값을 추정하기 위하여 식 (1)에 제시한 \bar{T}_{u-r} 과 ΔT_{u-r} 을 계산하였다 (Table 4). \bar{T}_{u-r} 은 최고기온과 최저기온 모두 양의 값으로, 도시지역의 기온이 시골지역보다 높았다. 특히 최고기온에서는 소도시지역의 값 (0.62)이 대도시지역의 값 (0.22)보다 더 크게 나타나 기온 상승이

Table 2. Mean and trend (°C/year) for annual and seasonal maximum and minimum temperature series constructed by averaging 16 weather stations (1968-99).

		Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
Tmax	Mean	17.17	27.99	19.88	5.61	17.66
	Trend	0.06	0.02	0.04	0.07	0.05
	(84-99)-(68-83)	0.65	0.34	0.57	0.94	0.63
Tmin	Mean	6.96	20.28	10.30	-3.24	8.57
	Trend	0.05	0.02	0.04	0.05	0.04
	(84-99)-(68-83)	0.53	0.41	0.55	0.84	0.58

Table 3. Trends (°C/year) for annual and seasonal maximum and minimum temperature series for each group (large urban, smaller urban, and rural stations).

		Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
Tmax	Large Urban	0.063	0.032	0.048	0.073	0.054
	Smaller Urban	0.053	0.016	0.043	0.069	0.045
	Rural	0.047	0.013	0.036	0.062	0.039
Tmin	Large Urban	0.051	0.026	0.039	0.060	0.044
	Smaller Urban	0.047	0.028	0.046	0.055	0.044
	Rural	0.032	0.015	0.026	0.040	0.028

도시의 크기와 반드시 비례하지 않음을 확인할 수 있다. 계절적으로는 최고기온의 경우 가을에 도시와 시골의 기온차가 컸으며, 최저기온의 경우 봄에 그 차이가 가장 컸다. 최고기온과 최저기온의 \bar{T}_{u-r} 값은 유의성 검증을 통해 99% 신뢰수준에서 유의한 것으로 평가되었다. $\Delta Tu-r$ 값에 대한 유의성 검증은 이루어지지 않았으며, 이것은 기존 분석 방법 (Choi *et al.*, 2003)의 적용에 의한 것이다. 또한, $\Delta Tu-r$ 값은 최고기온과 최저기온에서 양의 값을 보여, 도시에서의 최근 기온 증가 추세가 시골보다 크음을 알 수 있었다. 최고기온과 최저기온 모두 대도시에서의 최근 증가추세 (0.47, 0.45)가 소도시에서의 최근 증가추세 (0.26, 0.44)보다 다소 컸으며 계절적 변동을 보였다. 계절적으로는 겨울에 $\Delta Tu-r$ 값이 가장 컸고 여름에 가장 작았다. 월평균기온의 경우에는 $\Delta Tu-r$ 값이 가을에 가장 크고, 여름에 가장 작은 것으로 나타났으며 (Choi *et al.*, 2003), 이것은 도시열섬효과의 강도와 연관이 있다고 제시한 바 있다 (부경은과 오성남, 2000).

Table 5는 도시지역 (대도시와 소도시)과 시골지역에 대해 Table 4에서 제시한 \bar{T}_{u-r} 값과 $\Delta Tu-r$ 값을 제거한, 즉 도시화 효과가 보정된 최고기온 및 최저기온

의 연평균 및 계절별 기온 증가량을 나타낸 것이다. 과거 16년에 대한 최근 16년의 최고기온 연평균 변화는 도시화 효과 보정전의 대도시 및 소도시에서 각각 1.45°C, 1.24°C였으나, 도시화 효과 보정 후의 대도시 및 소도시에서는 $\Delta Tu-r$ 값 (0.35°C)이 제거된 1.10°C, 0.89°C로 나타났다. 최저기온의 연평균 변화 경우에도 도시화 효과 보정 후 대도시 및 소도시에서 $\Delta Tu-r$ 값 (0.44°C)가 제거된 값이 산출되었다. 계절적으로는 최고기온과 최저기온의 증가값이 도시화 효과 보정 전후 동일하게 겨울에 가장 컸고, 여름에 가장 작았다.

도시화 효과 보정 전후의 16개 관측소에 대한 최근 32년간 최고기온과 최저기온의 평균 시계열을 살펴보았다 (Fig. 3, Fig. 4). 도시화 효과 보정 후에도 기온 상승 경향은 여전히 남아있다. 최고기온과 최저기온 모두 겨울에 기온상승률이 가장 컸으며, 이것은 도시화 효과 보정 후에도 지속되었다 (Fig. 3d, Fig. 4d). Table 6은 Table 5에서 제시한 도시지역 (대도시와 소도시)과 시골지역의 도시화 효과 보정 전후의 평균값이며, 특히 보정 후의 값은 도시화 효과가 보정된 시골 기온값을 포함하여 계산하였다. 16개 관측소 연평균 최고기온의 평균값은 과거 16년에 비해 최근 16년간 약 1.22°C

Table 4. Estimates of 32-year mean magnitude (\bar{T}_{u-r} and trend($\Delta Tu-r$)) of maximum and minimum temperature over urban bias in South Korea, 1968-99. (** significant at 0.01 level)

		Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
Tmax	Urban					
	\bar{T}_{u-r}	0.44**	0.35**	0.53**	0.49**	0.46**
	$\Delta Tu-r$	0.35	0.30	0.35	0.39	0.35
	Large Urban					
	\bar{T}_{u-r}	0.16**	0.11**	0.40**	0.20**	0.22**
	$\Delta Tu-r$	0.52	0.56	0.39	0.42	0.47
	Smaller Urban					
	\bar{T}_{u-r}	0.63**	0.51**	0.62**	0.69**	0.62**
	$\Delta Tu-r$	0.23	0.12	0.32	0.37	0.26
Tmin	Urban					
	\bar{T}_{u-r}	0.52**	0.38**	0.42**	0.38**	0.42**
	$\Delta Tu-r$	0.47	0.32	0.46	0.51	0.44
	Large Urban					
	\bar{T}_{u-r}	1.12**	0.55**	0.99**	0.70**	0.84**
	$\Delta Tu-r$	0.55	0.29	0.38	0.55	0.45
	Smaller Urban					
	\bar{T}_{u-r}	0.12**	0.26**	0.03**	0.16**	0.14**
	$\Delta Tu-r$	0.41	0.34	0.52	0.48	0.44

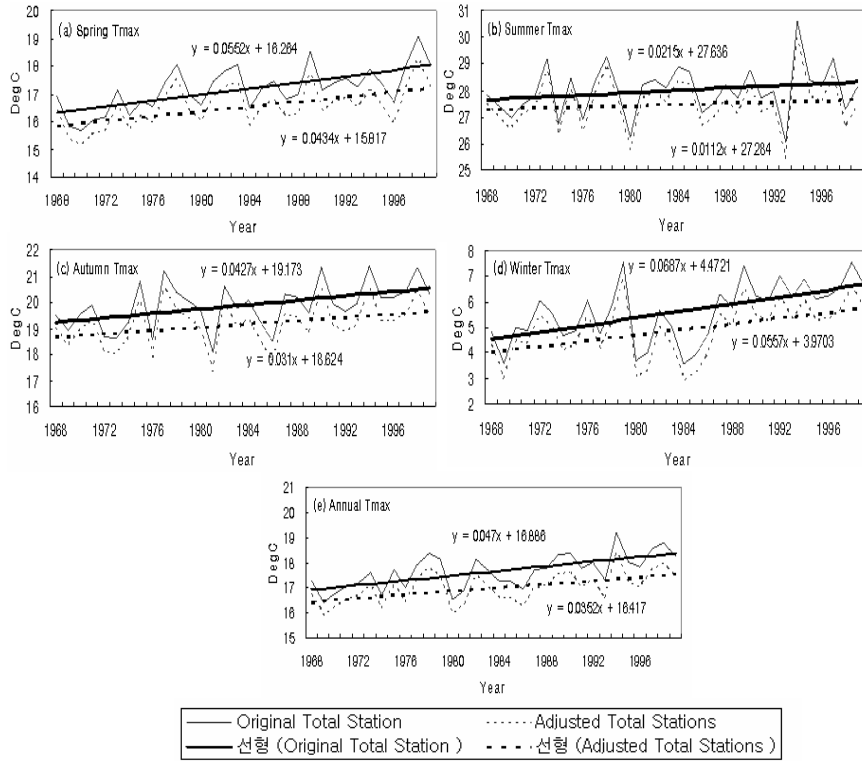


Fig. 3. Annual and seasonal maximum temperature of South Korea after the correction, 1968-99.

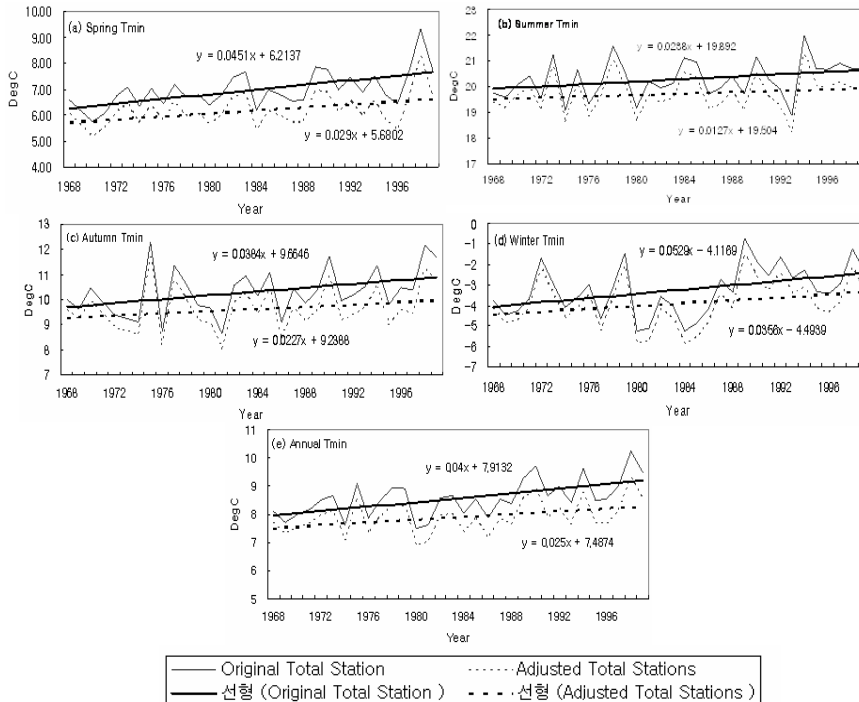


Fig. 4. Same as in Fig. 3 except for minimum temperature.

증가하였으나, 도시화 효과를 제거한 후 약 0.87°C 증가하였다 (Table 6). 즉, 최고기온은 도시화로 인하여 분석 기간 내에 약 0.35°C 증가하였고, 전체 기온증가에서 도시화가 차지하는 비율은 약 28.7%로 추정할 수 있다. 계절적으로는 여름에 기온상승(0.66°C)에서 도시화 효과가 45.4% (0.30°C)로 가장 컸고, 겨울에 21.1% (0.39°C)로 가장 작았다. 최저기온의 경우 1984년부터 1999년까지 16년간 연평균 기온이 과거 16년에 비하여 약 1.13°C 증가하였으며, 도시화 효과를 제거한 후에는 약 0.69°C 증가하였다. 도시화로 인한 기온증가는 약 0.44°C로 나타났고 이에 따른 도시화 효과는 전체 기온 증가에서 약 38.9%를 차지하여 최고기온에서보다 최저기온에서 도시화 효과가 더 큰 영향이 있는 것으로 나타났다. 기존 Choi *et al.* (2003)은 평균기온으로 분석한 결과 도시화가 약 35.0%로 나타났음을 밝혔으며 이 값은 본 연구에서 제시한 최고, 최저기온의

도시화 효과의 중간값에 해당하는 것을 알 수 있다. 또한 계절적으로는 봄철 기온상승 (1.03°C)에서 도시화 효과가 45.6% (0.47°C)로 가장 컸고, 겨울에는 31.3% (0.51°C)로 가장 작았다. 이는 도시열섬의 가장 큰 영향은 최저기온의 상승이라고 밝힌 바 있는 백희정과 권원태 (1994)의 결과와 일치한다.

4. 요약

본 연구에서는 최근 32년간 (1968~1999년) 16개 관측소의 월평균 최고기온 및 최저기온 자료를 이용하여 도시화 효과에 의한 기온 증가량을 추정하였다. 도시지역과 시골지역은 인구수에 따라 구분되었고, Choi *et al.* (2003)의 방법에 따라 기상청 관측 자료를 분석하였다.

분석 기간 중의 도시화 효과를 보정한 최고기온과

Table 5. Estimates of 32-year trends (°C) in annual and seasonal maximum and minimum temperature time series after (adjusted) and before (original) the correction, 1968-99.

Tmax	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
Original temperature					
4 large urban stations	1.53	0.99	1.27	2.01	1.45
6 smaller urban stations	1.24	0.55	1.20	1.96	1.24
4 rural stations	1.01	0.43	0.88	1.59	0.98
Adjusted temperature					
4 large urban stations	1.18	0.69	0.92	1.62	1.10
6 smaller urban stations	0.89	0.25	0.85	1.57	0.89
Tmin					
Original temperature					
4 large urban stations	1.26	0.87	1.15	1.84	1.28
6 smaller urban stations	1.12	0.91	1.28	1.76	1.27
4 rural stations	0.71	0.57	0.77	1.28	0.83
Adjusted temperature					
4 large urban stations	0.79	0.55	0.69	1.33	0.84
6 smaller urban stations	0.65	0.59	0.82	1.25	0.83

Table 6. Estimates of 32-year trends (°C) in annual and seasonal maximum and minimum temperature series of South Korea after (adjusted) and before (original) the correction, 1968-99.

	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual	
Tmax	Original temperature	1.26	0.66	1.11	1.85	1.22
	Adjusted temperature	0.91	0.36	0.76	1.46	0.87
	urbanization (%)	27.7	45.4	31.5	21.1	28.7
Tmin	Original temperature	1.03	0.78	1.07	1.63	1.13
	Adjusted temperature	0.56	0.46	0.61	1.12	0.69
	urbanization (%)	45.6	41.0	43.0	31.3	38.9

최저기온은 \bar{T}_{u-r} (1968년부터 1999년까지 매년 도시와 시골 기온차의 평균)과 ΔT_{u-r} (과거 16년 (1968-1983년)과 최근 16년 (1984-1999년)의 도시와 시골의 평균값 차의 두 배)을 제거하여 산출하였다. 과거 16년에 대한 최근 16년의 연평균 최고기온 변화는 도시화 효과 보정전의 대도시 및 소도시에서 각각 1.45°C, 1.24°C였으나, 도시화 효과 보정 후의 대도시 및 소도시에서는 ΔT_{u-r} 값이 제거되어 1.10°C, 0.89°C로 나타났다. 최저기온의 연평균 변화에서도 대도시 및 소도시에서 ΔT_{u-r} 값 (0.44°C)이 제거된 도시화 효과 보정 후 기온값이 대도시 (0.84°C)와 소도시 (0.83°C)에서 각각 산출되었다. 계절적으로는 최고기온과 최저기온의 증가값이 도시화 효과 보정 전후 동일하게 겨울에 가장 컸고, 여름에 가장 작았다. 도시화 효과가 제거된 기온값에도 여전히 기온 상승경향은 남아있었으며, 이는 지구온난화에 의한 기온 증가로 해석할 수 있다. 한반도에서 연평균 최고기온의 변화 (1.22°C)에 나타난 도시화 효과의 평균 기여율은 약 28.7%였다 (Table 6). 계절적으로는 여름에 도시화 효과가 가장 컸고, 겨울에 21.1%로 가장 작았다. 이는 Choi *et al.* (2003)와도 일치하는데 일평균기온을 이용한 도시화 효과 분석에서 여름이 도시화 효과가 43.6%로 가장 높았다.

기온 상승 중 도시화 효과의 기여도는 최고기온에서보다 최저기온에서 약 10% 더 커져 도시화로 인한 기온 증가는 최저기온 변화 (1.13°C)에서 약 38.9%로 나타났다 (Table 6). 계절적으로는 봄에 도시화 효과가 45.6%로 가장 컸고, 겨울에 31.3%로 가장 작았다.

본 연구에서는 도시화와 그에 따른 기온 증가에 대하여 최고 및 최저기온을 이용하여 정량적인 추정을 시도하였다. 기존의 여러 연구에서도 다양한 방법을 이용하여 도시화에 따른 기온 증가를 제시한 바 있다. 한반도 평균 도시화 경향에 대해 이명인과 강인식 (1997)과 김맹기 등 (1999)은 기온시계열의 EOF 분석을 통해 주요 모드에서 기온 상승을 추출해내는 방법으로 기온 증가와 도시화를 분석하였다. 이명인과 강인식 (1997)은 도시화에 의한 한반도 평균 기온 상승을 최근 20년간 (1973-1992) 약 0.3°C로 추정하였고, 김맹기 등 (1999)은 40년간 (1954-1993) 12개 관측소에서 0.6°C의 기온 증가량 중 도시화 효과의 기여도는 0.4°C로 추정하였다. 한편 Choi *et al.* (2003)과 본 연구는 도시 및 시골 지역으로 구분하는 방법으로 기온 증가 중 온난화와 도시화를 구분하였다. 본 연구의 최고기온 분석 결과 최근 32년간 기온 상승인 1.22°C 중

도시화 효과에 의한 추정치는 0.35°C였으며, 최저기온의 경우에는 1.13°C의 기온 증가 중 0.44°C가 도시화 효과로 분석되었다. 최고기온증가추세에 있어 도시화는 28.7%이었다. 한편 최저기온은 최고기온보다 비교적 높은 상승률로 증가하며 수평분포에서도 최고기온보다 최저기온에서 도시화의 영향이 더 뚜렷하였다. 그 영향은 10%였으며 이에 따라 최저기온에서 도시화 영향은 38.9%로 분석되었다. 기존 Choi *et al.* (2003)의 평균기온증가추세에서 도시화는 35.0%로 본 연구에서 제시한 최고기온과 최저기온의 증가추세의 도시화 영향의 중간값에 상응하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 도시화 효과로 인한 정량적인 기온증가값이 기존 연구들과 차이를 보이는 것은 자료 분석 방법, 기간과 관측소 등의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 “metri-2007-B-5”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김맹기, 강인식, 곽종흠, 1999: 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량의 추정. *한국기상학회지*, **35**, 118-126.
- 노재식, 1973: 서울지방의 기온상승 경향에 대하여. *한국기상학회지*, **9**, 49-58.
- 류상범, 문승의, 조병길, 1993: 남한의 도시화에 따른 기온변동. *한국기상학회지*, **29**, 99-116.
- 백희정, 권원태, 1994: 도시화로 인한 한반도 기온의 변화 경향 분석. *기상연구논문집*, **11**, 12-26.
- 부경은, 오성남, 2000: 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성. *한국기상학회지*, **36**, 499-506.
- 이명인, 강인식, 1997: 도시화에 의한 기온 상승. *한국기상학회지*, **33**, 429-443.
- Cayan, D. R. and A. V. Douglas, 1984: Urban influences on surface temperatures in the southwestern United States during recent decades. *J. Climate. Appl. Meteor.*, **23**, 1520-1530.
- Choi, Y.-E., H.-S. Jung, K.-Y. Nam and W.-T. Kwon, 2003: Adjusting urban bias in the regional mean surface temperature series of South Korea, 1968-99. *Int. J. Climatol.*, **23**, 577-591.
- Garstang, M., P. D. Tyson and G. D. Emmitt, 1975: The structure of heat islands. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **13**, 129-165.
- Hansen, J. and S. Lebedeff, 1987: Global trends of measured surface air temperature. *J. Geophys. Res.*, **92**, 13 345-13

- 372.
- Jones, P. D., 1988: Hemispheric surface air temperature variations: Recent trends and an update to 1987. *J. Climate*, **1**, 654-660.
- Karl, T. R., H. F. Dias and H. Kukla, 1988: Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. *J. Climate*, **1**, 1099-1123.
- _____, and R. G. Quayle, 1989: Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **70**, 265-270.
- _____, P. D. Jones, R. W. Knight, G. Kukla, N. Plummer, V. Razuvayev, K. P. Gallo, J. Lindsey, R. J. Charlson and T. C. Peterson, 1993: A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **74**, 1007-1023.
- Kukla, G., J. Gavin and T. R. Karl, 1986: Urban warming. *J. Climate Appl. Meteor.*, **25**, 1265-1270.
- Landsberg, H. E., 1981: The Urban climate. Academic Press, 285 pp.
- Oke, T. R., 1979: Review of urban climatology. WMO Tech. Note No. 169, 100 pp.
- Portman, D. A., 1993: Identifying and correcting urban bias in regional time series: surface temperature in China's northern plains. *J. Climate*, **6**, 2298-2308.
- Vinnikov, K. Y., P. Y. Gloisman and K. M. Lugina, 1990: Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). *J. Climate*, **3**, 662-677.