

연구논문

기후변화와 한반도 도시지역의 기온 증가

오성남* · 주옥정** · 문영수* · 이규석***

대구한의대학교 소방방재학과*, 국립환경과학원 기후변화연구과**, 성균관대 조경학과***

(2010년 1월 13일 접수, 2010년 2월 27일 승인)

Climate Change and Urban Air Temperature Increase in Korean Peninsula

Oh, Sung-Nam* · Ju, Ok-Jung** · Moon, Yung-Su* · Lee, Kyoo-Seock***

Professor, Department of Safety and Environmental Prevention, Daegu Haany University, Korea*

Researcher, Climate Change Research Division, National Institute of Environmental Research, Korea**

Professor, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Korea***

(Manuscript received 13 January 2010; accepted 27 February 2010)

Abstract

One of the most obvious climatic manifestations of urbanization in Korea is a trend towards higher air temperature. The trends of long-term annual temperature generally well describe the warming of urban areas. The increase of air temperature in urban area has been observed to the present since the meteorological observations in Korea began.

The objective of this study is to explore the actual increase and the regional long-term trends of air temperature attributed to urbanization in the Korean Peninsula. Therefore, temperatures of the selected urban areas were compared with that of the surrounding rural areas, with the results varying by the application of the estimates of each region. The second objective is to separate the long-term trend of surface air temperature of global warming from urbanization and to find the actual temperature increase from urbanization in Korean peninsula.

For the data analysis, daily air temperatures observed by the Korea Meteorological Administration (KMA) during between from 1961 and 2005 were used at five rural sites and cities. The re-analyzed surface air temperatures by the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) was also carried out to compare the result from the observed air temperature in the Korean climate domain.

In this study, the urban areas in Korea showed high increase rate of air temperature with 0.4°C per decade during past 50 year period, while rural sites as Chupungryung with the 0.2°C decadal increase rate. The analyses reflect that the urban area shows the high rate of temperature increase with 1.39°C of regression value at the urban area, Seoul, and 0.43°C at the

rural site, Chupungnyeong during the period of 30 years. The temperature increases due to the urbanization only showed the increase range between 0.44°C and 0.86°C, and the observed decrease in diurnal temperature range at five urban areas during the 30 years period.

Keywords : climate change, air temperature increase, Global warming, urbanization. NCEP-reanalysis temperature

1. 서론

지난 100년(1906-2005)의 지구평균 지표기온은 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 정도 상승한데 비하여(IPCC, 2007) 동아시아 지역의 평균기온의 증가는 지구 평균보다 높게 증가하였으며(Hulme *et al.*, 1994), 한반도의 평균 기온은 동아시아 평균보다 높게 증가한 것으로 추정되고 있다(이명인과 강인식, 1997). 이러한 결과는 산업화가 급격히 진행된 한반도의 경우 도시화에 의한 원인으로 기온 증가의 가능성이 높기 때문에 도시화에 의한 기온 증가를 정량적으로 추정하는 연구는 향후 지구 온난화 예측에 대한 오차를 줄이는데 요구되는 문제이다(김맹기 등, 1999).

산업 혁명 후 세계적 추세로서 한반도의 80% 이상의 인구가 도시로 집중되고 이에 따른 도시화는 높은 연료소비와 교통량 증가, 고밀도의 인구증가로 도시만의 독특한 기후변화를 초래하고 있다. 그 결과 주위지역 보다 기온이 높고 바람이 없는 혼탁한 대기의 고립된 도시 열섬(Urban Heat Island) 현상과 대기오염의 증가와 여름철의 집중호우가 발생하는 등 자연재해의 원인을 제공하고 있다. 더욱이 지구온난화와 겹친 도시화에 의한 기온상승은 최저기온의 상승효과를 높이고 있어 일교차의 감소와 여름철 열대야 현상을 더욱 두드러지게 하고 있다(Landsberg, 1981). UN의 국제기후변화위원회(IPCC)는 도시지역의 기온 상승효과가 지구 온난화에 의한 것보다 $0.1 - 0.2^\circ\text{C}$ 높다고 지적한 바 있다(기상청, 2008; IPCC, 2001).

기온변화가 인구집단에 영향을 주는 요인은 혹서, 혹한, 홍수, 가뭄, 등이며 특히 도시 열섬에 의한 고온의 영향은 도시지역이 전월지역보다 인간건강에 대하여 크게 영향을 미치고 있다. 최근 도시화율이 높은 한국에서는 콘크리트 아스팔트 등 열용

량이 높은 구조물과 도시기반시설에 따른 기온 상승으로 일교차의 감소와 더불어 고온으로 인한 사망 및 질병의 악화 등 국민보건에 대한 기상재해의 영향이 높아지고 있다. 인체와 외부환경 사이에는 전도, 대류, 복사, 증발 등의 기전을 통해 열 교환이 이루어지고 있다. 더위에 대한 인체의 일시적 순응은 5-6일이 지나면 가능하나 완전한 순응은 5-6년이 소요된다. 또 무더위는 식욕을 낮추고, 혈관팽창으로 인한 혈액순환 속도를 빠르게 하며 열스트레스로 인하여 만성심장질환 환자의 사망률을 증가시킬 수 있다. 장재연 등(2008)에 의하면 기온에 따른 열스트레스 사망은 최고기온이 나타난 1-2일 후에 발생하는 것으로서 2-4일 후에 가장 높은 열지수 사망률을 나타낸다. 고온으로 인한 심장병 환자의 사망률이 36.5°C 에서 1°C 증가할 때마다 28.4% 증가하는 것으로 보고되고 있다(Semenza *et al.*, 1996; Githeko *et al.*, 2008).

열섬현상이란 입사된 태양복사에너지의 가열복사효과로 지표면의 열에너지 수지가 주위 지역 보다 뚜렷이 높게 나타나는 기온상승현상이다. 도시의 열섬 효과에 따른 연쇄 반응은 야간에도 가열현상이 계속되어 최저기온이 상승하는 이른 바 열대야 현상으로서 기온의 주야간 일교차(diurnal temperature range, DTR)가 현저히 줄어드는 현상이다(Landsberg, 1981). 또 열섬지역의 더운 공기가 상승함에 따라 주위의 대기오염기체와 먼지 등이 모여들고 이로 인하여 혼탁한 대기가 도시 열섬지역의 상층에 머물러 기온 역전층을 형성한다. 따라서 정체된 도시지역 대기 역전층은 대기오염 덮개 현상인 담요효과를 나타내 기온상승을 더욱 부추기고 도시지역의 강력한 저기압 스콜(Squall)현상을 일으켜 도시지역 풍하(leeward) 측에 집중호우를 발생시키는 원인이 된다(Landsberg, 1981).

한반도 지역 도시화 효과에 따른 기온상승과 관련하여 본 연구의 목적은 서울을 비롯한 한반도 주요 도시지역의 일별 기온의 변화를 경년별로 살펴 보고 기온상승의 원인을 밝히기 위하여 지구온난화와 도시화 영향으로 구별하여 그 추세를 파악하는 것이다. 이를 위하여 도시지역의 기온 관측값을 추풍령과 같은 전원지역의 기온값과 비교하였다. 또 미국기상연구소의 NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)전 지구 재분석 기온 자료를 지구온난화 기온 값으로 설정하여 한반도 도시지역과 전원지역에서 관측된 기온값과 비교하였다(Cai, 2005).

II. 연구 방법

남한의 도시화와 지구온실 효과에 의한 기온 증가를 평가하기 위하여 장기간 관측이 이루어진 기상청의 12개 지점의 기온관측 자료를 분석하였다. 1961년부터 2005년까지 남한의 5개 도시지역(서울, 부산, 대전, 대구, 광주)과 7개 전원지역(보은, 추풍령, 강화, 서산, 순천, 영천, 거제)의 일평균 및 일최고, 최저 기온의 변동과 기온의 일교차(diurnal temperature range, DTR)를 자료로 이용하였다. 자료의 유효성에 대한 차이를 줄이기 위하여 서산 지역은 1968년부터 2005년까지, 대전지역은 1969년부터 2005년, 보은, 강화, 거제, 순천, 영천은 1973년부터 2005년까지의 기온 실측자료가 이용되었다. 최고, 최저 기온의 연평균 기온 상승률과 일교차의 추세변화는 1차 회귀분석으로 조사되었고, 기온의 계절별 변화는 월평균 값을 이용하였다. 도시지역 기온의 일교차 변화를 상세히 파악하기 위하여 2008-2009년 서울시 강남구 일원지역에서 관측된 기온 값을 비교 분석하였다.

도시화에 의한 기온 증가를 추출하기 위하여 NCEP/NCAR 기온 값의 변동에는 지구온난화만의 영향이 있다고 보고 남한의 12개 관측지점에서 측정된 기온 값과 차이가 도시화에 의한 기온 값으로

추정하였다. 이와 같은 분석은 미국의 3,000여 지상기온 관측값을 이용한 Cai(1999)의 방법을 도입 이용한 것이다.

III. 도시와 농촌지역의 기온 변동과 일교차

Figure 1과 2는 1961년부터 2005년 기간의 서울과 추풍령의 일 최고 및 최저기온 그리고 일교차의 편차(anomaly)로서 5년 단위의 기온 이동 평균값(굵은 선)을 나타낸 결과이다. 분석 기간 동안 5개 도시의 연평균 기온 상승률은 최고기온의 경우 연 0.030°C ($R^2=0.34$) 그리고 최저기온은 0.025°C ($R^2=0.25$)로 나타났다. 그러나 서울의 경우 상기 분석 기간 동안 최고기온은 연 0.025°C ($R^2=0.23$), 최저기온은 연 0.039°C ($R^2=0.45$)의 상승률을 보여 최저기온의 두드러진 상승을 나타내었다. 이러한 현상은 서울의 기온 일교차의 연 0.013°C ($R^2=0.26$) 감소율을 의 결과를 나타내고 있다. 즉 1961년부터 2005년까지 서울의 최저기온은 약 1.8°C 상승하였

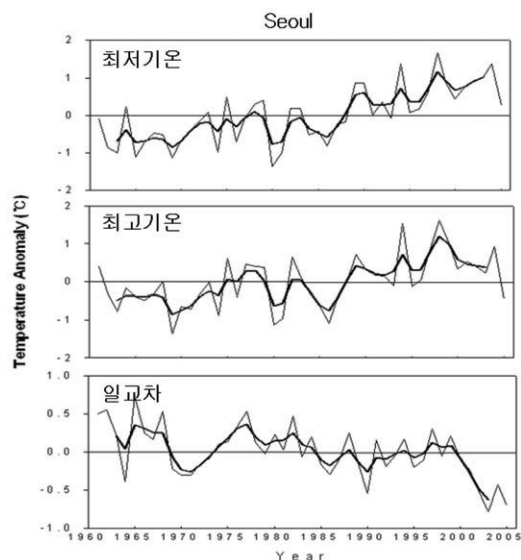


Figure 1. Departure of annual air temperature($^{\circ}\text{C}$) from 45 years average of minimum (T_{MIN}), maximum (T_{MAX}) and diurnal temperature range (DTR) in Seoul, South Korea during the period years from 1960 to 2005

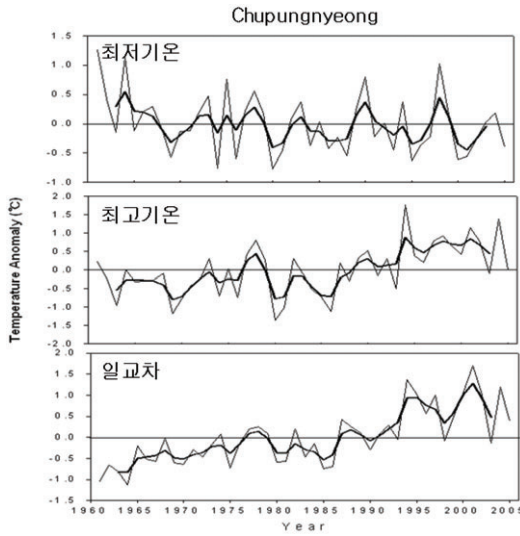


Figure 2. Departure of annual air temperature(°C) from 45 years average of minimum (T_{MIN}), maximum (T_{MAX}) and diurnal temperature range (DTR) in Chupungnyeong, South Korea during the period years from 1960 to 2005

고, 최고 기온은 약 1.1°C 상승하였으며, 일교차는 약 0.6°C 감소하였다. 그러나 대표적인 전원지역인 추풍령의 경우는 오히려 최저기온이 연 0.011°C($R^2=0.06$)로 감소하고 최고기온은 연 0.027°C($R^2=0.25$)의 상승률을 보여 일교차가 매년 0.037°C($R^2=0.53$)로 높아지는 추세를 나타내어 도시지역인 서울과 반대의 기온 경향을 보였다(Figure 2). 이러한 결과는 최저기온이 상승하여 열대야 현상을 초래할 수 있는 도시지역과 상반된 결과로써 추풍령과 같은 인간 활동의 영향이 미치지 않은 전원지역은 지구온난화에 의한 기온변화만을 고려할 수 있음을 파악할 수 있다.

도시화에 의한 기간 별 기온 변동을 파악하기 위하여 서울의 최저기온을 4개 10년 기간(1966~1975년, 1976~1985년, 1986~1995년, 1996~2005년)으로 나누어 보았다. 그 결과 평균 기온이 다른 기간 보다 높았던 1986~1995년 기간에 연 0.11°C($R^2=0.25$)의 상승률로써 10년 동안 1°C 이상의 기온 상승을 보였고 최저 기온이 최고기온 보다 높게 상승함을 보였다. 이러한 결과는 1979년부터 2005년까지 전 지구 평균 기온이 10년 동안 약 0.16°C

상승한 값에 비하여 매우 높은 값(IPCC, 2007)임을 보여 준다. 반면에 추풍령의 경우 각각의 주기마다 0.0161°C/yr(1966~1975년), 0.0045°C/yr(1976~1985년), 0.0072°C/yr(1986~1995년)으로 낮게 증가하였으며, 1996년부터 2005년에는 0.0214°C/yr로 감소함을 보였다. 1966~1975년 이래 온도가 괄목하게 상승하는 경우가 없었으며 1996~2005년에는 오히려 최저 기온이 감소하는 경향이 나타났다.

계절 변화에서는 5개의 도시의 경우 일교차가 감소하는 경향을 여름(80%), 가을(60%), 겨울(40%), 봄(40%) 순으로 나타나 여름철에 일교차가 가장 크게 감소하는 경향을 나타냈다(Table 1). 부산의 경

Table 1. Annual change rate of daily mean air temperature (°C) in urban area

Region	Temp.	Winter (DJF)	Summer (JJA)	Spring (MAM)	Fall (SON)	Population (N/km ²)
Seoul	min. temp.	0.0602	0.0176	0.0428	0.0336	16,274
	max. temp.	0.0477	0.0088	0.0297	0.0132	
	DTR	-0.0125	-0.088	-0.0131	-0.0204	
Busan	min. temp.	0.0394	0.0058	0.0287	0.0171	4,810
	max. temp.	0.0535	0.0161	0.0446	0.0305	
	DTR	0.0141	0.0103	0.0159	0.0134	
Daejeon	min. temp.	0.0493	0.0247	0.0488	0.0452	17,839
	max. temp.	0.0634	0.0141	0.0585	0.0417	
	DTR	0.014	-0.0106	0.0097	-0.0035	
Gwangju	min. temp.	0.0306	0.0088	0.0205	0.0211	2,694
	max. temp.	0.0538	0.0057	0.0419	0.0219	
	DTR	0.0232	-0.003	0.0213	0.0008	
Daegu	min. temp.	0.0715	0.0177	0.0547	0.043	2,793
	max. temp.	0.059	-0.0047	0.0496	0.0271	
	DTR	-0.0126	-0.0224	-0.0051	-0.016	
% of stations with decreasing trend	min. temp.	0	0	0	0	
	max. temp.	0	20	0	0	
	DTR	40	80	40	60	

우는 해양성 기후의 영향으로 최고 및 최저 기온의 차이가 크지 않아 다른 도시지역에 비해 일교차에 큰 차이를 보이지 않았다. 서울의 경우는 사계절 모두 최저온도가 최고온도 보다 더 높게 증가하여 일교차가 감소하는 경향을 보였다.

7개의 전원지역(Table 2)에서도 여름에 일교차가 가장 많이 감소하였으며(57%), 겨울, 봄, 가을 순으로 모두 28%의 감소 경향을 나타냈다. 사계절 모두 도시지역이 전원지역보다 최저 온도가 더 크게 증가하는 경향을 보였으며, 최고온도는 다소 낮게 증가하는 경향을 보여 일교차가 사계절 모두 도시지역이 전원지역에 비하여 줄어들고 있음을 보이고 있다.

계절별 기온변화 특성은 도시지역과 전원지역 모

두 여름과 가을에 일교차가 감소함을 각각 보였고 겨울철에 최저 및 최고 온도의 연 상승률이 각각 0.0409℃와 0.0494℃로서 4계절 중 가장 높게 나타났다. 이러한 현상은 전원지역에서도 같은 결과를 보여 한반도 기온 변화가 겨울에 최고, 최저 온도의 상승률이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이러한 현상은 미국 동부에서 나타난 Kalnay *et al.*, (2006)의 결과와 일치함을 보였다.

IV. 도시열섬의 영향

열섬효과의 원인은 복합적이며 국지적 특성이 강하기 때문에 이에 대한 규명이 용이하지 않다. 도시 기후 변화에 대하여 국내에서도 그 동안 많은 연구가 수행되어 왔고 서울과 부산, 대구, 울산 등 대도시를 모델로 한 사례 연구가 부분적으로 발표된 바 있다.

서울의 경우 630 km²의 면적에 1,000만이 넘는 과밀한 인구(Table 2)와 건물 등 복잡한 기온 증가의 원인을 포함하고 있다. 따라서 기상청은 1999년부터 도시 기후를 감시하고자 서울시에 26개의 자동기상관측 (Automatic Weather Station, AWS) 지점을 두고 기온과 습도 및 바람을 관측하여 왔다. 그 결과 서울의 기온은 Figure 3과 같이 영등포와 강남 등 평활하고 교통량이 많은 지역에서 높게 나타났다. 이러한 현상은 산과 녹지가 많은 교외지역은 일사(solar radiation)에 노출되면 도시지역보다 복사에너지의 교환이 활발하여 일몰 후 쉽게 냉각되고 반면에 도시지역은 열 교환이 적고 복사방출이 지체되어 교외지역보다 냉각이 지체되어 야간의 기온이 상승한다. 따라서 서울의 1월과 4월, 7월과 11월의 즉 겨울철과 여름철 월별 일평균 기온과 최저기온의 수평 분포는 도심지로 갈수록 기온이 상승하여 온도가 높은 고온 핵 지역이 나타난다. 청량리와, 강남구 도심지, 강동구, 중랑지역, 영등포역과 양천구 일대에 다른 지역과 기온이 높게 그리고 관악산과 북한산이 위치한 서울 외곽 지역을 향할수록 기온이 감소하는 결과를 나타내었다. 또 이

Table 2. Annual change rate of daily mean air temperature (°C) in rural area

Region	Temp.	Winter (DJF)	Summer (JJA)	Spring (MAM)	Fall (SON)	Population (N/km ²)
Boeun	min.	0.069	0.0113	0.0389	0.0445	65
	max.	0.0669	-0.0166	0.044	0.0317	
	DTR	-0.0021	-0.0278	0.0051	-0.0128	
Chupung-nyeong	min.	0.0121	-0.0216	-0.0119	-0.0205	71
	max.	0.0459	-0.0048	0.0424	0.0242	
	DTR	0.0338	0.0168	0.0544	0.0447	
Ganghwa	min.	0.042	0.0127	0.0287	0.0447	157
	max.	0.0442	-0.025	-0.0019	0.0281	
	DTR	0.001	-0.0367	-0.0294	-0.0168	
Geoje	min.	0.0362	-0.0025	0.0246	0.0326	418
	max.	0.0525	0.0125	0.042	0.0322	
	DTR	0.0162	0.015	0.0173	-0.0004	
Seosan	min.	-0.0179	0.0177	-0.0005	-0.0112	193
	max.	0.0359	0.0268	0.0438	0.0289	
	DTR	0.0539	0.0091	0.0443	0.0401	
Suncheon	min.	0.0075	0.0056	0.0022	0.004	292
	max.	0.0676	0.0128	0.0579	0.0461	
	DTR	0.0601	0.0072	0.0557	0.0421	
Yeoungchun	min.	0.0084	0.0009	0.0047	-0.0018	120 명/km ²
	max.	0.0431	0.0011	0.0422	0.0181	
	DTR	0.0348	0.0002	0.0375	0.0199	
% of stations with decreasing trend	min.	14.28	28.57	28.57	42.85	
	max.	0	42.85	14.28	0	
	DTR	14.28	28.57	14.28	42.85	

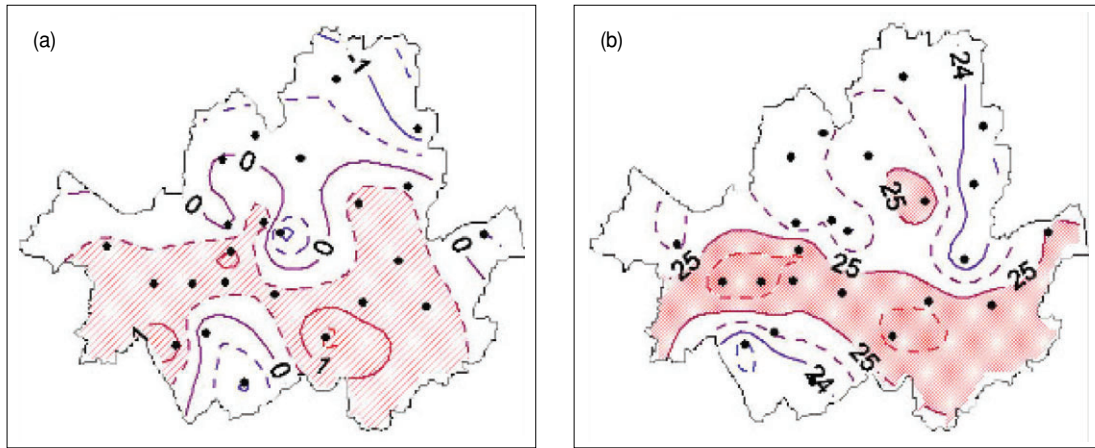


Figure 3. The seasonal daily mean temperature in Seoul (1999~2003) in Summer (a) and Winter (b)

들 지역은 높은 최저기온 분포를 나타내어 열대야 가능성을 보였다.

서울의 도시열섬 강도를 상세히 파악하기 위하여 영등포와 기온이 낮은 서울 교외 농촌지역인 사능의 기온과 비교하여 보았다(부경온과 오성남, 2000). Figure 4와 같이 영등포의 기온에서 사능의 기온을 뺀 값을 시간별로 분석하였다. 그 결과 두 지점의 기온편차는 새벽 6시(0600 LST)에 평균 5.19℃로 나타났고 정오(1200 LST)에는 0.19℃, 오

후 6시(1800 LST)에는 평균 1.71℃, 자정(2400 LST)에는 평균 4.7℃로서 나타났다. 특히 야간의 최저기온의 차가 두드러지게 나타나 두 지역의 월별 기온 차는 1월과 11월에 가장 크고 7월이 가장 적어 겨울에 도농간 기온차가 더 높음을 보였다. 그러나 여름에는 구름이 많고 도시나 교외 지역 모두 대기의 복사효과가 일사에 비하여 크게 작용하므로 기온은 높으나 도시와 농촌간의 기온차가 겨울 보다 적게 나타난다.

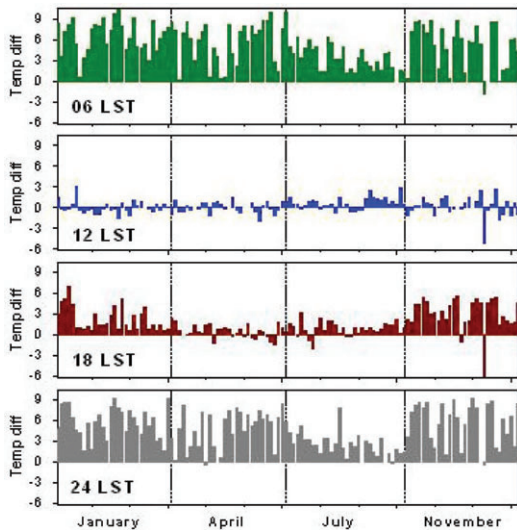


Figure 4. Time series of daily temperature difference between the central area of Seoul and suburban area (Sanung)(Tu-Tr) for January, April, July and November, 1999. Tu: Urban air temperature; Tr: Rural air temperature

Figure 5는 도시 내 토지이용도에 따른 도시일교차의 차이를 보여주고 있다. 서울 강남 지역의 9개 관측지점에서 2008년 3월 16일부터 2009년 3월 15일 기간 동안 관측된 자료를 바탕으로 선릉역 도심지(SLS)와 구룡마을 경지(GRV)의 연평균 최고기온을 비교하여 본 결과 각각 17.8℃와 17.3℃이고

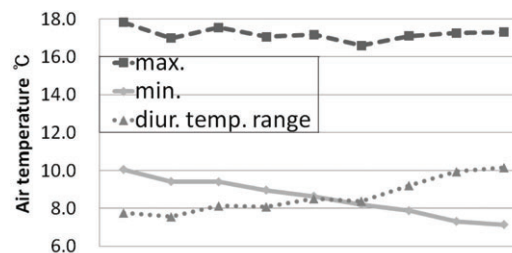


Figure 5. Annual maximum and minimum air temperature and diurnal temperature range at nine Gahngnam stations during the period from March 16, 2008 to March 15, 2009

연평균 저기온은 각각 10.1℃, 7.1℃로서 두 지점간 3℃ 이상의 차이를 보여 도심지의 최저기온 상승이 도시화로 인한 일교차 감소에 기여하고 있음을 알 수 있다 (Jin, 2010).

V. 지구온난화와 도시효과의 구별

기온 증가의 주요 요인은 도시화 효과와 지구대기의 온실효과 그리고 수 십년 주기의 기온 진동효과로 분류된다. 기온증가에 대해 도시화에 의한 도시별 기온 증가를 지구온난화 효과와 분리하는 것은 지구온난화를 예측하는데 핵심적 자료가 된다. 중국의 기후학자 Wang(1990)은 1954년부터 1983년 기간의 중국의 기온을 도시와 비도시로 나누어 도시화 효과를 조사한 바 있다. 그 결과 도시화에 의한 중국의 기온 증가는 계절적으로 지역에 따라 다른 국지성을 나타냈지만 30년간 평균 약 0.23℃ 상승하였다. 또 Hulme (1994)는 지난 40년간 중국의 인구 등급 변화에 따른 기온 변화를 조사하여 약 0.33℃의 도시화 효과를 추정하였다. 한반도 도시화에 연관된 연구로는 서울의 기온상승 경향을 지적인 연구를 시작으로 여러 학자들이 지난 75년간 서울 기온 자료를 분석하여 기온 증가와 도시의 성

장률사이에 밀접한 관련성이 있고, 서울 근교와 도심사이의 기온 차이가 뚜렷이 있음을 보인 바 있다. 이들 연구에서 지난 40년간 남한 기온을 분석해본 결과 기온 상승 경향이 대도시보다 신흥 공업 도시에서 크게 나타났고 해안보다는 내륙에서 높게 나타나 도시의 규모, 지리적인 위치, 도시의 발달 형태 등에 의존도가 높음을 지적하였다. 대도시와 인접 소도시 사이의 기온차이에 대하여는 한반도의 도시화 승온을 추정해본 결과 한반도 평균 도시화 기온 상승이 지난 20년간 약 0.3℃임을 계산하였다.

이와 관련하여 한반도에서의 기온 상승을 지구온난화 효과와 도시화 효과로 구분하고자 미국기상연구소(NCAR)에서 생산하는 NCAR/NCEP 재분석 자료에서 한반도 지역의 기온 계산 값을 이용하여 1972년부터 2001년까지 30년 기간의 남한의 도시 기온 증가 효과를 농촌 지역과 비교하여 보았다(Oh *et al.*, 2004). 즉 NCEP에서 생성된 기온 값은 인구밀도나 지표의 건물, 아스팔트 등의 효과를 대표하지 못하므로 NCEP 자료가 나타내는 기온 증가를 지구온난화 효과로 규정하여 각 도시 및 농촌 지역에서 관측한 기온에서 NCEP 기온 값을 제거한 온도값을 도시화 효과로 보았다. 그 결과 Table 3과 같이 서울과 부산, 대구 광주 인천 대전 등 도시지

Table 3. Decadal mean values of the observed air temperature at the urban and rural weather stations during the 30 year period between 1973 and 2002, and temperature departure with NCEP reanalyzed air temperature

	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}	$\Delta\bar{T}_{\text{mean}}$	$\Delta(\bar{T}_{\text{mean}} - \bar{T}_{\text{NCEP}})$
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	16.92	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	

※ T_{\min} : minimum air temperature, T_{\max} : maximum air temperature, T_{mean} : daily mean air temperature, TNCEP: NCEP reanalyzed Global mean air temperature in Korea latitude region.

역의 기온이 농촌과 산악지역 보다 뚜렷이 높아 도시화의 영향이 있음을 알 수 있었고 한반도 도시화 효과는 과거 30년 동안 꾸준히 증가하여 서울이 0.8℃ 부산이 0.7℃ 대전이 0.65℃ 대구가 0.81℃를 나타내 높은 도시화 효과를 보였다.

VI. 결론

2002년 UN은 세계 도시화 전망(World Urbanization Prospects)에서 전지구적 문제로서 도시화가 너무 급속히 지속적으로 진행하여 지구 온난화는 물론 사막화를 부추기고 있어 엄격한 도시계획이 요구된다고 발표한바 있다(Shepherd *et al.*, 2006). 지구온난화와 도시화의 영향이 복합적으로 미치고 있음은 1961년부터 2005년 기간까지 남한 5개 도시와 5개 농촌 전원지역의 기온을 비교 조사하여 본 결과 뚜렷이 나타났다. 특히 일변화에서 최저기온의 상승이 급격하여 서울의 경우 일교차가 감소하는 추세를 보였다. 계절별로는 여름철과 가을철에 일교차가 크게 감소하는 경향을 보였으며 겨울철의 최저 및 최고 온도의 연 상승률이 0.041℃와 0.049℃의 값으로 각각 가장 높게 나타났다. 이러한 현상은 전원지역에서도 같은 결과를 보였다. 그러나 서울의 여름철의 경우 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률을 능가하여 일교차가 감소하는 추세를 뚜렷이 보여 여름철 열대야를 더욱 강하고 길게 할 수 있는 원인이 됨을 보였다. 추풍령의 경우 일교차의 감소는 나타나지 않았다. 한반도 평균 기온 변화에서는 겨울철에 최고, 최저 온도의 상승률이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며 이 결과는 미국 동부지역을 대상으로 조사한 Kalnay *et al.* (2006)의 기온 변화와 일치한다. 그러나 기온 상승 폭은 서울의 경우 전지구의 상승률 보다 다소 높게 나타났다.

도시 기온 상승을 예측하기 위하여 도시 바람현상과 열섬효과 그리고 복사에너지 효과 등을 수치 모형으로 모의하기에 이르렀으나 지리 지형 및 시설물 구현에 대한 어려움으로 실용화에는 제한적이

다. 그러나 2006년 1월 미국의 NASA에서는 인구 500만 휴스턴(Houston)시를 배경으로 MM5 중규모 기상장 모형과 자연생태 및 지리정보를 이용하여 개발한 Urban-Sim 도시기상 모형을 모의한 결과 현재의 도시화 속도가 그대로 진행된다면 2,025년에는 높은 기온 상승과 대기오염에 따른 도시의 강수는 9배 증가하고 집중호우와 열섬효과는 현재의 수준보다 2.2배 증가함을 보여 도시화에 따른 기상변화를 예측하였다.

한반도의 도시화 효과는 산악지역을 제외하고는 매우 높은 기온 상승을 나타내고 있어 이러한 효과가 여름철 기온이 높은 계절효과와 겹칠 때 강한 열섬효과로 나타날 수 있음을 알 수 있다. 한반도에서의 기온 상승을 지구온난화 효과와 도시화 효과로 구분하고자 미국기상연구소(NCAR)에서 개발한 경험적 수치기상모형이 생산하는 NCEP 기온 분석 값을 지구평균 기온을 대표할 수 있다는 가정으로 한반도 도시지역의 기온 관측값과 비교하여 산정한 도시화 효과는 1972년부터 2002년까지 30년 동안 꾸준히 증가하여 서울이 0.80℃ 부산이 0.49℃ 대전이 0.86℃ 대구가 0.81℃를 나타내었다. NCEP 자료의 지구온난화 효과는 한반도에서 과거 30년 기간 동안 0.63℃로서 추풍령 등 7개 전원 지역은 같은 위도 지역의 지구평균 기온 값과 차이가 적어 도시화에 의한 기온 상승 영향은 나타나지 않았다.

사 사

본 연구는 기상지진연구사업(CATER 2006-3302) 지원으로 수행되었으므로 저자들은 이에 사의를 표합니다.

참고문헌

- 기상청, 2008, 기후변화 2007, 과학적 근거, IPCC 제4차 보고서 요약, 153.
 김맹기, 강인식, 광종흠, 1999, 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량의 추정, 한국기

- 상학회지, 35(1), 118-126.
- 부경은, 오성남, 2000, 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성. 한국기상학회지, 30(4), 499-506.
- 이명인, 강인식, 1997, 도시화에 의한 기온 상승, 한국기상학회지, 33(3), 429-443.
- 장재연, 기모란, 김호, 정해관, 홍윤철, 조수남, 2008, 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발 연구 최종보고서, 건강증진사업지원단, 298.
- Cai, M., H. Li, and E. Kalnay, 2004, *Impact of land-use change and urbanization on climate*. The proceedings of 84th annual meeting of American Meteorological Society, J5.2.
- Githeko, A. K., S. W. Lindsay, C. U. Patz. and A. Jonathan., 2008, Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis 2000, Bulletin of the world health organization, 78(9), 1136-47.
- Hulme, M., Z. C. Zhao, T. Jiang. 1994, Recent and future climate change in East Asia, Int. J. Climatology, 14, 637-658.
- IPCC, 2001, Climate Change The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 108.
- Jin, Wencheng. 2010. Air temperature differences on nearby area by skyscrapers. Unpublished Master Thesis, Sungkyunkwan University, Korea.
- Kalnay Eugenia, Ming Cai, Hong Li, and Jayakar Tobin. 2006. Estimation of the impact of land-surface forcings on temperature trends in eastern United States, Journal of Geophysical Research, 111.
- Landsberg, H. E., 1981, The urban climate, Academic Press, 84-123.
- Oh, Sung Nam, Y. H. Kim and M. S. Hyun. 2004. Impact of urbanization on climate change in Korea, 1973-2002, J. of The Korean Meteorological Society, 40(6), 725-740.
- Semenza J. C., C. H. Rubin, K. H. Falter, J. D. Selanikio, W. D. Flanders, H. L. Howe, and J. L. Wilhelm, 1996, Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. N Engl. J. Med, 335, 84-90.
- Wang, Wei-Chyung, Zhaomei Zeng, Karl Thomas R., 1990, Urban heat islands in China, Geophysical Research Letters, 17(12), 2377-2380.

최종원고채택 10. 04. 15