

## 도시의 기온 증가와 담요 효과



오성남 >>  
국립환경과학원 지구환경연구소 소장



주옥정 >>  
국립환경과학원 지구환경연구소 연구원

### 1. 배경

도시가 형성될 때 과거에는 물(Water)과 연료(Energy) 그리고 식량(Foods)이 그 기본 조건이었으나 오늘날에는 산업(Industries)과 교통 그리고 정치적(Policy) 조건이 더 많은 비중을 차지하고 있어 도시계획이 뒷전이 될 수 있다. 산업 혁명 후 세계적 추세로서 80% 이상의 인구가 도시로 몰려오게 되고 이에 따른 도시화는 높은 연료소비와 교통량 증가, 고층건물과 아스팔트 거리, 고밀도의 인구증가 등으로 도시만의 독특한 기후를 형성하게 된다. 그 결과 주위지역 보다 기온이 높고 바람이 없는 혼탁한 대기의 고립된 도시 열섬(Urban Heat Island) 현상이 나타나고 이로 인하여 대기오염의 집중과 여름철의 집중호우가 발생하는 등 좋은 삶의 질을 추구하는 것과는 반대효과를 나타내고 있다. 더욱이 지구온난화와 겹친 도시화에 의한 기온상승은 일 최저기온의 가파른 상승효과를 나타나게 함으로서 일교차의 감소를 초래하여 여름철 열대야 현상을 더욱 두드러지게 한다.

미국의 기후학자인 Stull박사(1988)는 지구의 평균 기온은 지난

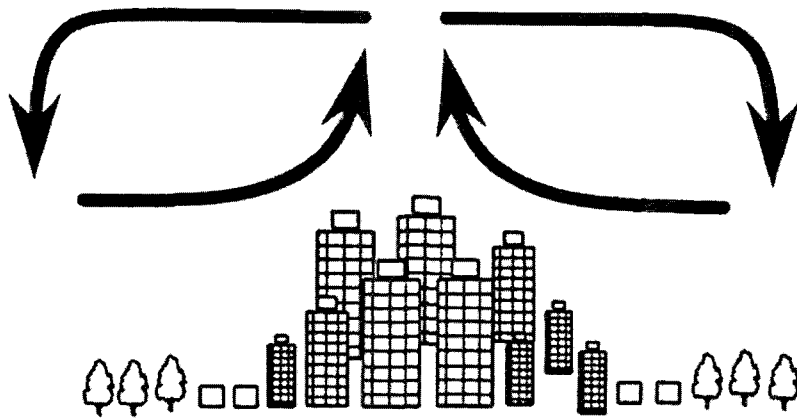


그림 1. 도시 열섬 효과

20세기에 들어 0.65℃ 상승하였으며 이중 도시에 의한 지구온도 상승 기여도가 0.1~0.2℃로서 지구 온난화에 대한 도시의 영향이 높다고 지적하였다(IPCC TAR, 2001). 동아시아 지역 평균기온의 증가는 지구 평균보다 크게 웃돌아(Hulme et al., 1994) 특히 한반도의 평균 기온은 동아시아 평균보다 높게 증가한 것으로 추정되고 있다(이명인과 강인식, 1997). 산업화가 급격히 진행된 한반도의 경우 도시화에 의한 기온 증가가 클 가능성이 높기 때문에 도시화에 의한 기온 증가를 정량적으로 추정하는 일은 도시지역 기상방재를 위한 기본 자료로서 또한 향후 온실 효과에 의한 온난화 예측 연구에 필수적으로 요구되는 문제이다(김맹기 등, 1999; 오성남, 2005).

열섬(그림1) 현상이란 아스팔트나 콘크리트와 같은 열용량이 높은 지표면에 태양복사에너지가 흡수됨으로서 가열복사효과가 높아지고 지표면의 열에너지 수지가 증가하여 기온이 상승하는 결과이다. 도시의 열섬 효과에 따른 연쇄 반응은 대표적으로 야간에도 가열현상이 계속되어 최저기온이 상승하는 이른 바 열대야 현상으로서 기온의 주야간 일교차가 현저히 줄어드는 현상이다. 또 열섬지역의 더운 공기가 상승함에 따라 주위의 대기오염기체와 먼지 등이 모여들고 이로 인하여 혼탁한 대기가 열섬지역의 기온 역전층에 정체하게 되어 대기오염 덩개 현상인 담요효과를 나타내 기온상승을 더욱 부추기고 도시지역의 강력한

저기압현상을 발생시켜 풍하측에 집중호우를 발생시킨다. 도시지역은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등과 같은 지구 온난화 기체를 많이 포함하고 있기 때문에 태양 복사 에너지를 잘 받아들이는 반면 지표의 열에너지를 밖으로 원활히 방출하지 못하게 하는 담요와 같은 온실 효과를 일으킴으로써 도시지역의 기온을 더욱 상승하게 한다.

본 연구에서는 서울을 비롯한 한반도의 주요 도시 지역의 일 중 최고, 최저 기온의 변화를 지구온난화 구별하여 도시화에 따른 기온 증가와 이를 추풍령과 같은 전원지역의 기온 변화와 비교한 결과(Oh, S. N. 2004)를 소개하고 최근 미국기상청(NOAA)에서 발표한 전 지구적 일 최고 및 최저 기온 변화를 한반도와 연계하여 해석하여 보았다. 또 도시를 덮고 있는 오염된 대기의 담요효과를 기온 증가에 따른 열섬 효과의 원인으로 서울을 중심으로 한 여름철 도시기후의 특성을 소개하고자 한다.

## 2. 도시지역의 최고기온과 최저기온의 상승

본 연구에서는 1961년부터 2005년까지 46년간의 5개의 도시지역(서울, 부산, 대전, 대구, 광주)과 7개의 전원지역(보은, 추풍령, 강화, 서산, 순천, 영천, 거제)의 최고, 최저 기온과 이를 이용한 일교차(DTR)

변화를 비교 분석함으로써 도시지역의 기온 특성을 밝히고자 하였다(대전은 1969년부터 2005년, 서산은 1968년부터 2005년, 보은, 강화, 거제, 순천, 영천은 1973년부터 2005년까지의 기상청 기온측정값). 최고 및 최저 기온의 연평균 기온 상승률과 일교차를 1차 회귀분석 함으로서 월평균 값으로 계절별 분석을 수행하였다.

그 결과 한반도의 대도시인 서울의 경우만을 소개하여 보면 년 평균 최고기온은  $0.025^{\circ}\text{C}$  그리고 최저기온은  $0.039^{\circ}\text{C}$  의 상승률을 보였다. 신뢰도(R2)는 0.45의 수준으로 나타났다. 서울의 일교차는 년 평균  $-0.013^{\circ}\text{C}$  로서 최저 기온의 연 증가율이 최고 기온의 증가율 보다 높게 나타나 일교차의 감소현상을 뚜렷이 보였다. 즉, 1961년부터 2006년까지 45년간 서울의 최저기온은 약  $1.8^{\circ}\text{C}$  상승하였고, 최고 기온은  $1.1^{\circ}\text{C}$  상승을 보였다. 이것은 UN의 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC) 3차 보고서(2001)에서 보고된 1950년부터 1993년 동안의 전 지구의 최고기온이  $0.2^{\circ}\text{C}$  그리고 최저기온은  $0.1^{\circ}\text{C}$  상승한 것에 비하여 서울의 최저 및 최고기온의 연 상승률은 도시 기온의 특성을 나타내 높은 값을 보여 주고 있다.

대표적 전원지역인 추풍령의 경우 최저기온의 연간  $-0.011^{\circ}\text{C}$  감소율을 보여 서울지역에 비해 오히려 최저기온이 감소하고 있는 것으로 나타났다. 추풍령의 최고기온은 1년에  $0.027^{\circ}\text{C}$  연 상승률을 나타내어  $0.037^{\circ}\text{C}$  일교차 연 상승률을 보여 서울과 상반된 결과를 보였다.

그림 2와 3은 1961년부터 2005년까지 서울과 추풍령의 최고 및 최저기온과 일교차의 평균값에 대한 편차를 5년 단위로 이동 평균한 값이다. 그림 1에서 서울의 최고기온과 최저 기온은 뚜렷한 상승을 계속하고 있음을 보여주고 있다. 또 최고 기온 보다 최저 기온의 상승이 높게 나타나 일교차가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 기온 증가 현상은 그림 4에 보여준 Vose et al.(2004)이 지난 2006년 미국 기상학회에서 발표한 1950년부터 2004년까지 전 지구의 기온 변화와 유사한 추세 경향을 보이고 있다. 기온 변화의 범위는 서울의 경우가 전 지구보다 높게 나타났다. 한편 그림. 3에서 보여준 추풍령의 최저 기온의 변화는 약하게 감소하고 있는 것으로 나타났으며 최고 기온의 경우는 증가하여 일교차는 오히려 계속해서 증가하는 경향을 보이고 있다.

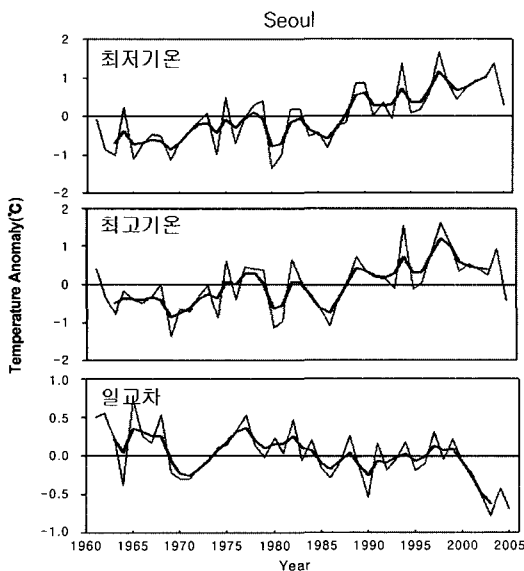


그림 2. 1961년부터 2005년까지 서울의 최고, 최저, 일교차 평균 편차 변화

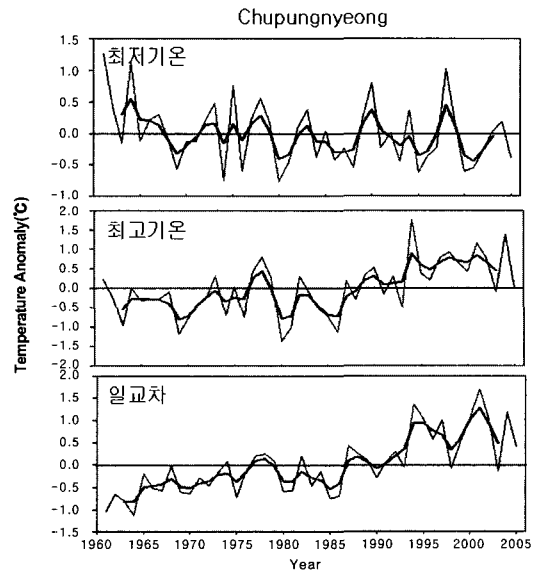


그림 3. 1961년부터 2005년까지 추풍령의 최고, 최저, 일교차 평균 편차 변화

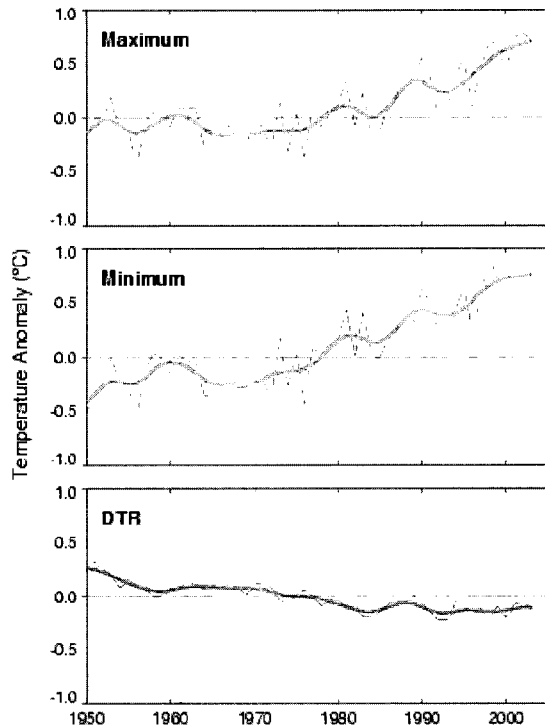


그림 4. 1950년부터 2004년까지 전지구 육지의 최고, 최저, 일교차 평균 편차 변화

도시의 승온 효과가 가장 뚜렷하게 보이는 서울의 최저기온을 10년 주기(1966~1975년, 1976~1985년, 1986~1995년, 1996~2005년)로 본 결과 1986~1995년 기간에 연 평균 0.105°C(R2 = 0.25)의 상승률을 보여 10년 동안 약 1°C의 온도가 상승한 것으로서 이 기간동안 서울의 최저 기온이 가장 크게 상승한 기간으로 나타났다. 이것은 IPCC 3차 보고서(2001)에서 1976년 이래로 10년 동안 0.17°C 정도 온난화가 진행되는 값에 비하여 큰 값으로 상승한 것이다. 반면에 추풍령의 경우 각각의 주기마다 0.016, 0.005, 0.007, -0.021°C/year로 나타나 1966~1975년 기간 이래 온도가 크게 상승하는 경우가 없었으며 1996~2005년에는 오히려 최저 기온이 감소하는 경향이 나타났다.

계절 변화에서는 5개의 도시의 경우 여름에 일교차가 감소하는 경향을 가장 많이 나타냈으며(80%), 가을(60%), 겨울(40%), 봄(40%) 순으로 일교차가 감소하는 경향이 나타났다. 부산의 경우는 해양성 기후

의 영향을 받아 최고, 최저 기온의 차이가 크지 않아 다른 도시지역에 비해 일교차에 큰 차이를 보이지 않았다. 사계절 모두 최저기온도이 최고기온 보다 더 높은 상승률을 보여 일교차가 감소하는 경향을 보인 서울과는 대조적으로 나타났다.

7개의 전원지역에서도 여름에 일교차가 감소하는 경향을 가장 많이 나타냈으며(57%), 겨울, 봄, 가을 모두 28%의 감소 경향을 나타냈다. 사계절 모두 도시지역에서 전원지역보다 최저기온이 더 크게 증가하는 경향을 보였으며, 최고기온은 더 낮은 증가 경향을 보여 일교차에서 사계절 모두 도시지역이 전원지역보다 낮은 값을 보였다.

### 3. 도시열섬의 영향과 사례 분석

열섬효과의 원인은 복합적이며 국지적 특성이 강하기 때문에 이에 대한 규명이 용이하지 않다. 도시

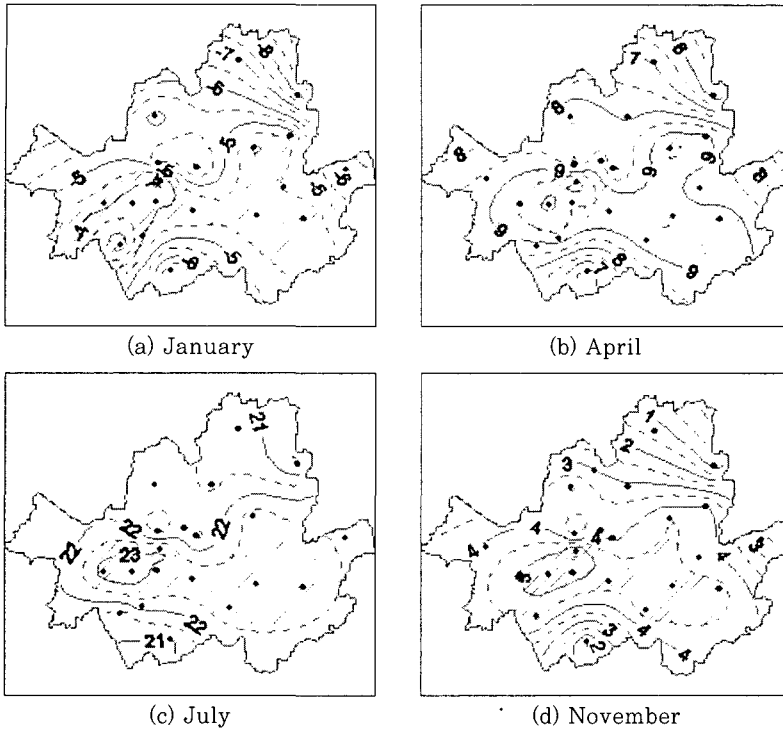


그림 5. 서울의 최저기온 분포(격자 빗금한 부분이 기온이 높은 지역)

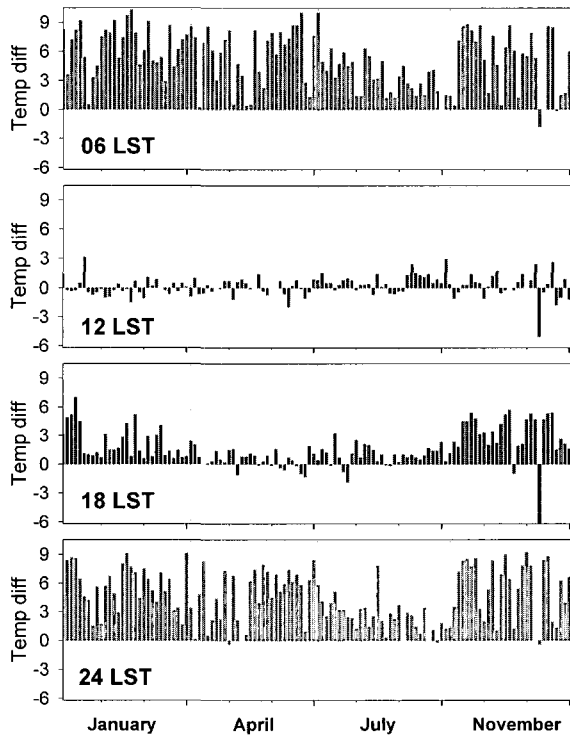


그림 6. 서울과 교외 지역 사능의 일평균기온(°C)의 차(서울기온 - 사능기온)

기후 변화에 대하여 국내에서도 그 동안 많은 연구가 수행되어 왔고 서울과 부산, 대구, 울산 등 대도시를 모델로 한 사례 연구가 부분적으로 발표된 바 있다.

그 예로 천혜의 자연조건을 지녔음에도 불구하고 서울은 630만km<sup>2</sup>의 면적에 1,100만이 넘는 과밀한 인구나 복잡한 건설 등 그 동안 도시계획이 뒤 따르지 못하였다. 이에 대하여 1999년부터 기상청은 도시기후를 감시하고자 서울시에 24개 자동기상관측(Automatic Weather Station, AWS) 시스템을 두고 지금까지 기온과 습도 및 바람을 관측하여 왔다.

그 결과 서울의 기온은 그림 5와 같이 영등포와 강남 등 평활하고 교통량이 많은 지역에서 높게 나타났다. 산과 녹지가 많은 교외지역은 일사(solar radiation)에 노출되면 도시지역보다 복사에너지의 교환이 활발하여 일몰 후 빠르게 냉각된다. 반면에 도시지역은 열 교환이 적고 복사방출이 지체되어 교외지역보다 냉각되는 시간이 오래 걸리기 때문에 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 양천 일대에 다른 지역과 기온이 높게 그리고 관악산과 북한산이 위치한 서울 외곽 지역을 향 할수록 기온이 감소하는 결과를 나타내었다. 또 이들 지역은 높은 최저기온 분포를 나타내어 열대야 가능성을 보였다.

서울의 도시열섬 강도를 상세히 파악하기 위하여 영등포와 기온이 낮은 서울 교외 농촌지역인 사능의 기온과 비교하여 보았다(부경은, 오성남, 2000).

그림 6과 같이 영등포의 기온에서 사능의 기온을 뺀 값을 시간별로 분석하였다. 그 결과 두 지점의 기온 편차는 새벽 6시(0600 LST)에 평균 5.19℃로 나타났고 정오(1200 LST)에는 0.19℃, 오후 6시(1800 LST)에는 평균 1.71℃, 자정(2400 LST)에는 평균 4.7℃로서 나타났다. 특히 야간의 최저기온의 차가 두드러지게 높게 나타났다. 또 두 지역의 월별 기온 차는 1월과 11월에 가장 크고 7월이 가장 적어 겨울에 도농간 기

온차가 더 높은 것으로 나타났다. 반면에 여름에는 구름이 많고 도시나 교외 지역 모두 대기의 복사효과가 일사에 비하여 강하게 작용하므로 기온은 높으나 도시와 농촌간의 기온차가 겨울 보다 적게 나타난다.

도시지역의 더운 기류가 상승함으로써 주위의 수분과 공기를 모이게 하고 구름을 발생시키는 대류 현상을 부추긴다. 구름입자의 농도 증가로 습도가 높은 여름철 장마기간에는 도시 상공의 편서풍의 영향으로 풍하측에 강력한 저기압대를 형성 시켜 강우 전선이 도시를 통과할 때 도시외곽 경계 지역에 연쇄적인 저기압 고리인 도시스콜라인(Urban Squall Line)을 형성하여 강한 집중호우를 자주 발생시킨다. 1998년 서울의 중랑천 대홍수와 미국의 샌트루이스 시의 호우 연쇄 고리인 스콜현상이 대표적인 경우이다.

서울의 바람 현상을 수치모형을 이용하여 모의(시뮬레이션) 하여 보았다. 도시 열섬 효과와 바람 구조를 열섬효과와 연관하여 도시 생태계와 국지적 기상 변화에 미치는 원인을 도시의 지표 구조 변화에 따라 실험 모의하여 보았다. 그 결과 고층 건물 등 도시 공간의 거칠기에 의해 서울의 바람은 교외의 바람 보다 약 30~40% 정도 감소되었다(오성남 외, 2000). 서풍계열의 바람이 있는 경우 산 주위의 바람이 강해지고 도심에서의 바람이 현저히 약해지며 북풍계열의 바람이 부는 경우에는 지표면 거칠기의 영향이 크지 않았다. 또 도시 열섬 중심부에서 더워진 공기가 상승함에 따라 중심부 쪽으로 주위의 공기가 유입함이 뚜렷이 나타났다.

#### 4. 기상학적 낙원 도시(Meteorotopia)와 기후 쾌적구간(Comfort Zone)

도시 생태 조건의 쾌적 기후 구역은 인간이 옷을 걸치지 않은 휴식상태에서 혈관 운동 반사만으로 체온조절이 가능한 실외 기온 구간을 의미한다. 인간이 기후 쾌적구간에 있을 때에는 생리적 대사가 활발해지고 에너지 생산이 높아지며 체온조절을 위한 부담이 적어져 인체의 조건이 안정을 이루어 뇌의 능력이

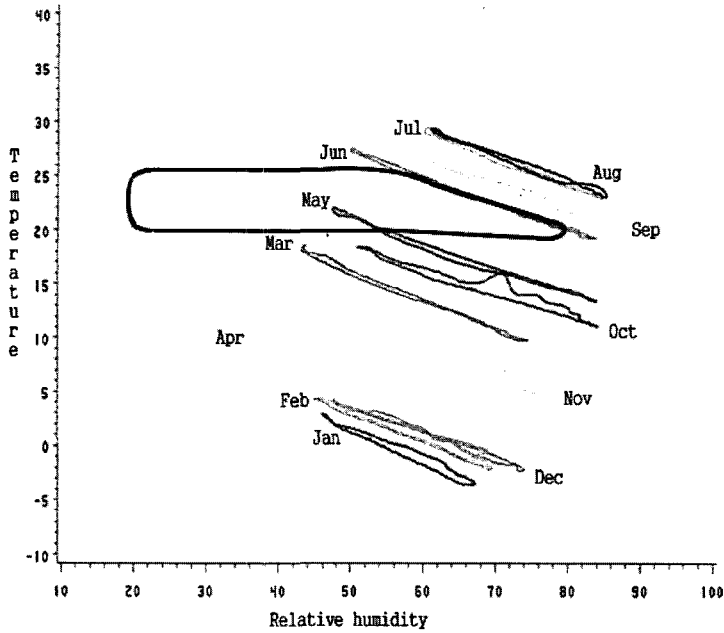


그림 7. 서울의 생물기후도(Bio Climate Chart)에 대한 쾌적구간 기온 분포

상승하며 정서적으로 편함을 느낀다. 기후 쾌적구간을 넘어 기온이 상승하면 인체는 땀 흘림에 의하여 체온조절이 이루어진다. 이 쾌적구간은 기온과 습도, 풍속과 일사에 따라 인간이 느끼는 쾌적도를 나타냄으로서 도시지역의 쾌적 구간을 결정하게 된다. 이 쾌적구간을 기온에 따라 분류한 C. E. Brooks(1981)에 의하면 영국도시의 쾌적구간은 58~70°F 이고, 미국의 뉴욕-뉴저지 지역 경우는 69~80°F이고, 상대습도는 30~70%이다. 이러한 기준은 적용하는 도시에 따라 임의성이 있으나 도시설계에 기준을 제시한다는 점에서 중요하다. 이른바 인간의 건강과 쾌적함을 추구하며 최고의 문명 이기를 누리는 기상학적 낙원 도시(MeteoroTopia)를 건설하는 것이 선진국의 궁극적인 목적인 것이다. 기상학적 낙원은 미국과 유럽, 일본 등에서 실행하고 있는 사업으로서 독일의 스투트가르트가 대표적 예이다.

서울과 부산의 쾌적도를 조사하여 그림7과 같이 나타내었으며, 분석에 사용된 자료는 1995년부터 기상청의 월 평균 3시간별 기온과 습도이다. 분석에 의하면 일출 후 기온이 상승하고 상대습도가 낮아지며 일몰

후 다시 기온이 하강하여 상대습도가 높아지는 기온과 상대습도의 일변화가 뚜렷이 나타났다. 서울의 쾌적 시기는 6월과 9월 그리고 5월은 부분적으로 나타났고, 부산의 경우는 9월과 10월로서 이 조사는 체험적으로 알려진 월별 쾌적도를 잘 반영하였다. 7월과 8월은 기온이 높고 상대습도가 매우 높아 쾌적도에서 벗어나고 있으며 1월, 2월, 3월, 4월, 10월, 11월, 12월은 상대습도는 쾌적구간에 속하지만 기온이 낮음을 알 수 있다.

정확한 도시의 기후가 예측된다면 시민의 생활에 쾌적한 시기를 알려주고, 또 쾌적 시기에 지역과 시간별 정보를 추가한다면 시민의 일상생활을 한단계 올릴 수 있겠다.

### 5. 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 일은 향후 지

구온난화를 예측하는데 필수적인 자료가 된다. 중국의 기후학자 W. C. Wang(1990)은 1954년부터 1983년 기간의 중국의 기온을 도시와 비도시로 나누어 도시화 효과를 조사한 바 있다. 그 결과 도시화에 의한 기온 증가는 계절적으로 지역에 따라 다른 국지성을 나타냈지만 30년간 평균 약 0.23℃ 상승하였다. 또 M. 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 지적한 연구를 시작으로 여러 학자들이 지난 75년간 서울 기온 자료를 분석하여 기온 증가와 도시의 성장률 사이에 밀접한 관련성이 있고, 서울 근교와 도심사이의 기온 차이가 뚜렷이 있음을 보인 바 있다. 이들 연구에서 지난 40년간 우리나라 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. 또 이들은 지난 40년간의 포항시의 평균 기온을 연도별로 분석한 결과 산업화가 기온 증가에 크게 영향이 있음을 밝혔다. 즉 포항제철이 설립된 이후 18년간의 도시화 기온상승이 약 0.69℃로 나타났다. 대도시와 인접 소도시 사이의 기온차이에 대하여는 한반도의 도시화 승운을 추정한 결과 한반도 평균 도시화

기온 상승이 지난 20년간 약 0.3℃임을 계산하였다. 이와 관련하여 한반도에서의 기온 상승을 온난화 효과와 도시화 효과로 구분하고자 미국기상연구소(NCAR)에서 개발한 경험적 수치기상모델(NCEP)이 생산하는 한반도 지역의 기온 계산 값을 이용하여 1972년부터 2001년까지 30년 기간의 우리나라의 도시기온 증가 효과를 농촌 지역과 비교하여 보았다. 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 온도를 도시화 효과로 보았다. 그 결과 그림8과 같이 서울과 부산, 대구 광주 인천 대전 등 도시지역의 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.

### 6. 맺는 말

2002년도 UN은 세계 도시화 전망(World Urbanization Prospects)에서 전지구적 문제로서

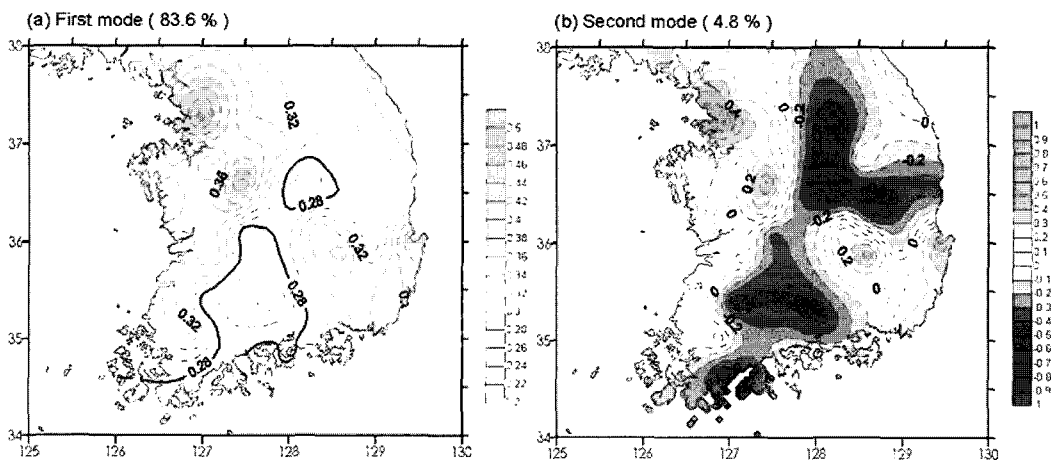


그림 8. 한반도 도시화 효과 기온 편차 분포도



도시화가 너무 급속히 지속적으로 진행하여 지구 온난화는 물론 사막화를 부추기고 있어 엄격한 도시계획이 요구된다고 발표하였다(Shepherd, et al., 2006). 지구온난화와 도시화의 영향이 복합적으로 미치고 있음은 1961년부터 2005년 기간까지 우리나라 5개 도시와 5개 농촌 전원지역의 기온을 비교 조사하여 본 결과 뚜렷이 나타났다. 특히 일변화에서 최저기온의 상승이 급격하여 서울의 경우 일교차가 감소하는 추세를 보였다. 계절별로 여름과 가을에 일교차가 크게 감소하는 경향을 보였고 겨울에 최저 및 최고 온도의 상승률(0.041℃/year, 0.049℃/year)이 4계절 중 가장 크게 나타났다. 이러한 현상은 전원 지역에서도 같은 결과를 보였다. 그러나 서울의 경우 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률을 능가하여 일교차가 감소하는 추세를 뚜렷이 보였다. 이러한 현상은 여름철 열대야를 더욱 강하고 길게 할 수 있는 원인이 된다. 추풍령의 경우 일교차의 감소가 나타나지 않았다. 한반도 기온 변화에서는 겨울에 최고, 최저 온도의 상승률이 높게 나타나는 것을 알 수 있으며 이 결과는 미국 동부지역을 대상으로 조사한 Kalnay et a.,(2006)의 기온 변화 결과와 크게 일치한다. 그러나 기온 상승 폭은 서울의 경우 전지구의 상승률 보다 높게 나타났다.

오늘날 도시의 기온 상승을 예측하기 위하여 도시 바람현상과 열섬효과 그리고 복사에너지 효과 등을 수치모형으로 모의하기에 이르렀으나 지리 지형 및 시설물 구현에 대한 어려움으로 실용화에는 제한적이다. 그러나 2006년 1월 미국의 NASA에서는 인구 500만 휴스턴(Houston)시를 배경으로 MM5 중규모 기상장 모형과 자연생태 및 지리정보를 이용하여 개발한 UrbanSim 도시기상 모델을 모의한 결과 현재의 도시화 속도가 그대로 진행된다면 2025년에는 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 있다. 이러한 효과가 여름철 더운 계절효과와 겹칠 때 견디기 어려운 열섬효과로 나타난다.

도시의 미래 지향적인 계획과 녹지 공간 시설, 산악 지형의 보존은 쾌적한 우리의 삶을 위하여 필수적 사명이다. 도시열섬의 완화, 대기오염 확산, 바람길 조성, 산악효과를 이용한 맑은 물 공급 등은 건강하고 쾌적한 기상학적 유토피안 도시환경 조성을 위한 우리의 사명이다.

### 참고문헌

- 김맹기, 강인식, 곽종흠(1999) 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량의 추정, 한국기상학회지 35(1), 118-126.
- 부경은, 오성남(2000) 1999년 서울지역 기온의 시공간 분포 특성, 한국기상학회지, 30(4), 499-506.
- 오성남, 임영권, 윤원태, 전영신, 2000: 서울지역의 지형 및 토지 이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구. 한국기상학회, 36(2), 229-244
- 이명인, 강인식(1997) 도시화에 의한 기온 상승, 한국기상학회지, 33(3), 429-443.
- Eugenia Kalnay, 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, vol. 111, D06106.
- Hulme, M., Z. C. Zhao, T. Jiang(1994) Recent and future climate change in East Asia, Int. J. Climatol., 14, 637-658.
- IPCC Climate Change 2001 : The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 108 pp.
- 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.
- Russell S. Vose, David R. Easterling, and Byron Gleason(2004) Maximum and minimum temperature trends for the globe : An update through 2004. 86th American Meteorological Society Annual Meeting.