

냉난방도일을 이용한 우리나라 주요도시의 도시승온화현상 특성분석

김 해 동 · 박 명 회 · 송 경 속
계명대학교 환경학부

(2003년 12월 29일 접수; 2004년 3월 22일 채택)

Analysis of Urban Warming Phenomenon using Degree days in Major Korean Cities

Hae-Dong Kim, Myung-Hee Park and Kyung-Suk Song

Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 29 December, 2003; accepted 22 March, 2004)

Characteristics of urban warming phenomenon were studied using degree days for three big cities(Seoul, Busan, Daegu) adjacent to airport. Time variation of the cooling and heating degree days was analyzed using the daily mean air temperature data measured at the six meteorological observatory for long-term periods(25~43years).

The results for the big cities are as followings:

- 1) It was found that the heating degree days trended to decrease from year to year.
- 2) The cooling degree days were nearly unchanged during the same analysis periods.
- 3) The number of days calling for air-heating also tended to decrease as time passes.
- 4) Those of air-cooling were nearly unchanged during the same time. It suggests that the change of air-heating condition owing to urbanization came in evidence in the winter season, but that of air-cooling condition was slight in the summer season.

On the other hand, the long-term trends of degree days were very small in airport areas except for Kimhae airport. Hence, the gaps of degree days between big cities and rural airport areas are increasing.

Key Words : Degree Day, Heating Degree Day, Cooling Degree Day, Urbanization

1. 서 론

어떤 주어진 지역에 인구가 밀집되고, 밀집된 인간이 생활을 영위하기 위하여 주택을 짓고 산업시설을 건설해 가는 과정을 도시화라고 한다. 이러한 도시화 과정에서 나타나는 가장 뚜렷한 기후현상의 변화가 기온상승이다. 어느 지역에 도시가 발달하게 되면, 도시지역의 기온이 그 도시주변에 위치한 교외지역에 비하여 온도가 높게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상을 도시열섬효과(Heat Island)라고 부른다. 그리고 도심과 교외간의 온도차이를 열섬강도(Heat Island Intensity)라고 한다. 열섬강도는 도시화가 진척될수록 커지는 것이 일반적

인 현상이다^{1~3)}.

도시화가 진척될수록 도시의 기온은 교외지역에 비하여 높아지는데, 우리나라와 같은 온대지방에서 도시의 기온이 높아지면 기온이 낮은 계절에는 사람들의 생활을 불편하게 만드는 일이 거의 없지만 기온이 높은 계절에는 불쾌감을 높여 도시환경의 쾌적성을 현저히 낮춘다. 이러한 의미에서 도시화로 유발되는 기온상승을 열오염(Thermal pollution)이라고 지칭한다^{4,5)}.

세계보건기구에서는 “대기오염이란 옥외의 대기 중에 인공적으로 반입된 물질의 농도나 지속시간이 어떤 지역의 주민 중에서 상당히 많은 사람들에게 불쾌감을 일으키거나, 넓은 지역에 걸쳐서 공중보건의 위해나 동식물의 생활을 방해하도록 되어 있는 상태”라고 정의하고 있다. 따라서 열오염이라고 하는 것은, 열이 물질이 아니라 에너지이기 때문에

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-53-580-5930
E-mail : khd@kmu.ac.kr

세계보건기구에서 정의하는 협의의 의미에서는 대기오염이 아니다. 그렇지만, 인간활동에 수반된 대도시의 하계 도시승온화현상은 도시민들의 건강에 심대한 피해를 입히고 있는 것이 엄연한 현실이기 때문에 일본을 포함한 선진국에서는 최근에 이를 대기오염으로 규정하여 대응책을 적극적으로 찾고 있는 실정이다⁶⁾.

도시열섬효과는 도시의 건설을 위하여 자연환경을 인공구조물로 변화시킨 결과의 총체적 반영이라고 말할 수 있다. 도시열섬 형성에 가장 중요한 원인은, 도시에 건설되는 인공구조물에 있다. 녹지와 물이 있는 자연상태의 토지에 아스팔트나 콘크리트 구조물을 건설하면, 자연상태 그대로 있는 토지와는 상이한 기후가 나타나게 된다^{7~9)}.

포장된 지표면이나 벽면은 낮 동안에 받아들인 열을 축적하여 해가 진 후에 대기 중으로 방출하는 능력이 자연상태의 토지에 비하여 월등한 것이다. 이것이 도시에 여름철 야간에 기온이 높게 형성되어 잠을 못 이루는 밤을 만들어 도시민의 건강을 위협하는 주요인이다. 인간의 생체는 기온이 25℃를 넘어서면 쾌적한 수면을 이루기 어렵다. 도시에 사는 여름철 야간에도 기온이 25℃를 상회하는 경우가 많이 발생하는데, 이러한 기후조건을 열대야일이라고 한다.

도시와 교외간의 가장 큰 기후차이는 이와 같은 야간열대야의 출현 빈도 차에 있다고 말할 수 있다. 이러한 열대야의 출현은 야간 숙면을 방해하여 도시민의 여름철 건강을 해치는 것이다¹⁰⁾.

도시열섬 형성의 두 번째 원인은 도시에서는 지면에 도달한 태양에너지가 물의 증발에 소비되는 비율이 낮아지는 것에 있다. 농촌에서는 아침에 식물에 맺힌 물방울, 이슬 그리고 서리 등을 증발시키고 나뭇잎의 증산작용과 지면의 물을 증발시키는 데에 이용되는 태양에너지가 도시에서는 건조물을 가열하는 데에 대부분 쓰인다.

즉, 도시에서는 식물로 덮인 지역이 감소되어 증발산 작용이 현저히 줄어들고, 포장된 도로에서는 비가 오더라도 빗물이 급속히 지표면을 따라서 유출되어 토양에 물을 저장하지 않아 지표로부터의 증발이 거의 발생하지 않는다. 그래서 지면에 도달한 태양에너지는 대부분 지표면을 가열하는 데에 소비되어 교외지역의 지표면보다 훨씬 높은 온도가 유발되는 것이다^{11,12)}.

도시열섬이 유발되는 세번째 원인은 인간생활의 결과로 발생하는 폐열의 발생이다. 이를 인공열(Anthropogenic heat)이라고 한다. 도시열섬의 원인으로 에너지 소비에 의한 인공열 발생이 주목된 것은 G. S. Eaton이 런던의 인공열을 연료소비량에 따

라 산정하여 지표면 열수지에 적용한 결과 연평균 기온에 있어 약 1.4℃의 기온상승을 가져왔다고 보고된 이후부터이다. 이후 도시의 인공열에 대해 태양열과의 양적인 비교와 교외지역과의 비교에 관한 연구가 많이 수행되었다¹³⁾.

도시열섬 강도는 따뜻한 계절보다는 추운 계절에 보다 크게 나타난다. 그리고 도심에서 방출되는 인공열의 크기는 태양복사에너지의 그것에 비하여서도 무시할 수 없을 만큼 크게 평가되어, 도시열섬 형성 원인의 일부가 인공열에 기인한다는 것을 추론할 수 있다. 그러나 여름철의 인공열은 겨울철에 비하여 훨씬 적기 때문에 하계의 도시열섬 형성은 태양복사에너지의 흡수의 탓으로 돌려야 한다. 즉, 주로 야간의 고온화로 표출되는 여름철의 도시열섬 현상은 위에서 소개한 도시열섬 형성의 주요 3가지 원인 중에서 처음의 2가지에 기인한다는 것을 의미한다^{14,15)}.

도시의 열섬이 일기상태와 사회경제적인 측면에서 다양한 영향을 미치는데, 그 중에는 유익한 것도 있고 해로운 것도 있다. 한랭한 지역과 온대지역의 겨울철에 나타나는 도시열섬은 난방의 수요를 감소시킬 것이다. 이러한 현상은 도시와 인근의 교외지역에서 관측된 연간 난방도일을 비교해 봄으로써 대체적으로 이해할 수 있다. 난방도일이란, 한후기에 기준온도보다 해당 일의 기온이 낮아 난방이 필요한 날에 대해서, 일평균기온과 기준온도간의 차이를 1년간 합산한 값으로 정의된다. 도시와 인접한 교외간의 난방도일의 차이는 관측소 각각의 주변환경과 그들간의 거리에 따라서 다를 수 있지만, 미국의 여러 도시에 대한 난방도일은 여러 도시와 농촌에서 연료수요량을 예측하는데 유익한 것으로 판명되었다¹⁶⁾.

도시승온화는 하계 도시기온을 상승시켜 냉방에 필요한 에너지 수요를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이는 냉방도일이라는 지표를 이용한다. 냉방도일은 일평균기온이 냉방도일의 기준온도인 24℃ 이상인 날에 대해서 기준온도와 일평균온도간의 차이를 1년 간에 걸쳐 합하여 구한다. 난방보다는 냉방에 필요한 에너지량이 많기 때문에 도시열섬은 실질적으로 도시 거주자에게 불리한 것이다. 더욱이 냉방장치는 실내의 열을 옥외로 방출하여 건물 외벽면이나 인접한 포장도로에서 생성된 열과 함께 도시의 공기를 가열하여 열섬강도를 더욱 가중시킨다. 최근에 일본에서도 도시승온화에 수반된 주거부문에서의 장기적 전력사용량 추이를 추정하는 연구가 활발히 수행되고 있다^{17~19)}.

일반적으로 도시승온화의 효과는 일최고기온보다는 일최저기온에, 그리고 하계보다는 동계에 크게

나타나는 것으로 알려져 있다. 그러나 세부적인 특성은 도시의 지형학적 조건과 도시구조에 따라서 차이가 큰 것으로 알려져 있다²⁰⁾.

본 연구에서는, 우리나라 주요도시를 대상으로 하여 도시화에 따른 냉난방도일의 변화특성을 통하여 우리나라 주요 대도시의 도시승온화 특성을 분석하고 외국의 사례와 비교하여 보고자 한다. 이 연구의 결과는 도시화에 따른 장기적 국가에너지 수급계획 및 도시열오염 문제에 대처하기 위한 기초적 자료를 제공할 수 있다는 점에서 중요성을 찾을 수 있을 것이다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구자료

도시화에 따른 우리나라 주요 도시의 도시승온화가 냉난방도일에 미치는 특성을 조사하기 위하여 공항이 위치한 3개 대도시(서울, 부산, 대구)를 분석 대상으로 선정하였다. 공항은 도시에 인접하면서도 개발이 유보되어 교외지역으로서의 기상특성을 잘 나타낼 수 있기 때문에 대도시의 도시화로 인한 냉난방도일의 변화특성을 파악하기에 유리하다.

냉난방도일의 장기적 변화를 조사하기 위하여 3개 대도시와 인접한 3개 공항(김포, 김해, 대구)을 합하여 총 6개 지점의 기상관측지점에서 측정된 일평균기온자료를 이용하였다. 자료분석에 이용된 기간은 관측소 설치기간에 따라서 지점별로 차이가 있다. 즉, 대도시와 김포공항은 43년간(1961~2003)을 대상으로 하였고 김해와 대구공항은 그 보다 짧은 27년간(1977~2003)과 25년간(1975~1999)의 자료를 이용하였다. 그리고 분석기간 중에서도 김해와 대구공항에는 관측자료가 부재한 기간이 있었는데, 그것은 분석대상에서 제외하였다.

그리고 냉난방도일을 계산함에 있어서 필요한 임계온도와 기준온도는 일본을 포함한 선진국에서 일반적으로 이용하고 있는 값을 사용하였다. 즉, 냉방도일의 임계온도와 기준온도를 24℃로 간주하였다. 또 난방도일의 경우에 임계온도를 10℃, 기준온도를 14℃로 하였다.

2.2. 연구방법

난방도일을 정의하고, 계산하는 과정은 다음과 같다^{21,22)}. 쾌적한 작업과 일상생활이 가능한 실내온도는 연령, 성별, 작업내용 등에 따라서 차이가 있지만, 18±3℃~22±2℃로 알려져 있다. 이런 사실에 기초하여 겨울철 쾌적한 실내온도의 하한을 14~15℃로 정의하여, 이 보다 기온이 낮아질 경우에 난방을 하여 실내온도를 14~15℃로 유지하고자 한다. 일년을 통하여 이를 유지하기 위한 총 적산온도가

난방도일이다. 이러한 관계를 도식적으로 나타낸 것이 Fig. 1이다. 실내온도를 희망온도(t_i) 이상으로 유지하기 위해서는 실내의 잔존온도를 뺀 기준온도(t_e)가 지켜지도록 난방을 하면 된다. 이렇게 실내에서 실외로 빠져나가는 열량만큼을 난방으로 보급하면 된다는 것이 Fig. 1이 제시하는 내용이다.

난방도일 D_h 를 수학적으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$D_h = \sum_{t_0 \geq t_e} (t_e - t_0) \quad (1)$$

즉, 일평균기온(t_0)이 임계온도(t_e)보다 낮은 날에 대하여, 기준온도(t_e)와 일평균기온(t_0)과의 차이를 1년 간에 대하여 합한 값이다.

한편, 냉방도일의 경우에도 난방도일과 유사한 방법으로 정의할 수 있다. 즉, 어느 일정한 기간 동안에 실내에서 제거하여야할 총열량($kcal/℃$)은 식(2)로 나타낼 수가 있다.

$$\sum_{t_0 \leq t_c} Q = 2HD_c \quad (2)$$

여기서 D_c 를 냉방도일이라고 부르는데, 이는 일평균기온이 기준온도보다 높은 날에 대해서 이 온도간의 차이를 1년 간에 걸쳐서 합한 값이다. 즉, $D_c = \sum_{t_0 \leq t_c} (t_0 - t_e)$ 로 계산되어진다.

Q 는 냉방장치를 이용하여 냉각시켜야할 총열량이고, H 는 실내외간의 온도차이로 유발되는 열량($kcal/℃$)인데 건물의 재료에 의존한다. 냉방도일과 관련된 온도간의 관계를 Fig. 2에 도식적으로 나타내었다. 냉방의 경우에, 유지희망 실내온도는 난방과는 반대로 실내에 남아있는 여분의 열량을 제거하는 것임에 주의하여야 한다. 최근에 국민소득의 증가에 수반하여, 온대지방에 위치한 국가에서 한후기에 실내난방으로 소모되는 에너지량에 비하여 난후기에 실내냉방을 위하여 소비되는 전력소비의 비

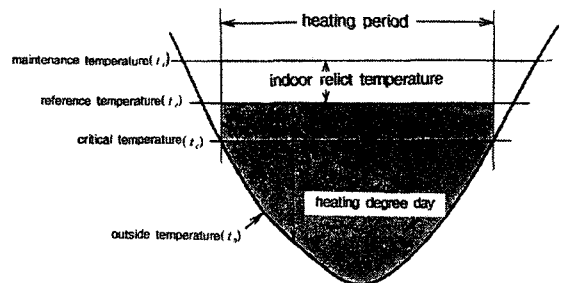


Fig. 1. A concept diagram of heating degree day.

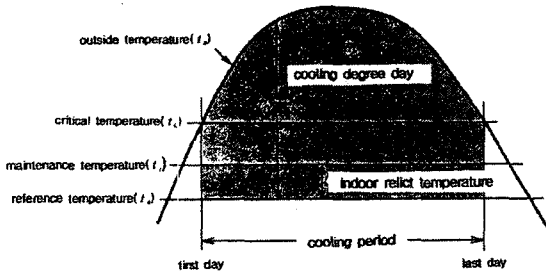


Fig. 2. A concept diagram of cooling degree day.

용이 차지하는 비중이 증가일로를 보이면서 한 국가의 장기적 에너지 수급예측에 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 그래서 도시화에 따른 냉방도일의 장기적 변화예측은 냉방에 소모될 에너지 추정에 대한 기초자료로서의 가치가 매우 높다.

3. 연구결과

공항관측소가 인접한 우리나라 주요 3개 대도시를 대상으로 도시승온화현상이 냉난방도일의 변화에 미치는 효과를 분석하여 보았다. 우선, 3개 도시와 그에 인접한 공항지역에서 관측되는 난방필요일수의 시간변화를 Fig. 3에 나타내었다. 난방필요일수란, 연중에 일평균기온이 기준온도인 14°C 이하를 나타낸 총 일수를 말한다. Fig. 3(a), (b)에 3개 대도시와 그에 인접한 공항지역의 난방일수 시간변화를 각각 나타내었다. 3개 대도시의 연중 난방필요일수는 대략 180~200일(서울), 160~180일(대구), 150~170일(부산) 정도로 평가되었다. 반면에, 이들 도시에 인접한 공항지역에서는 190~210일(김포), 170~190일(대구), 160~180일(김해)로 평가되었다. 따라서 교외지역에 위치한 공항지역의 난방필요일수가 인근에 위치한 대도시지역에 비하여 약 10일 정도 많았다. 그리고 3개 대도시와 부산에 인접한 김해공항에서는 난방필요일수가 점진적으로 감소하는 것으로 평가되었고, 김포와 대구공항에서는 난방필요일수에 대한 시간변화가 거의 감지되지 않았다. 김해공항의 난방일수 시간변화가 대도시에서와 같이 감소경향을 뚜렷하게 보인 것은, 김해공항이 위치한 김해시의 급속한 도시화에 기인하는 것으로 추정된다.

한편, 도시화의 진척에 따른 대도시와 이에 인접한 공항간의 난방일수 차이에 대한 시간변화를 Fig. 4에 나타내었다. 1970년대 중반까지는 공항의 기상관측치가 없어서 비교할 수가 없지만, 3개 도시에서 1970년대 중반 이후에 대도시와 교외의 공항지역 사이에 난방필요일수에 간격이 커지고 있음을 볼 수가 있다. 다만, 김해의 경우에는 1990년대 이래로 그 간격이 점차 줄어드는 모습을 볼 수가 있다. 이

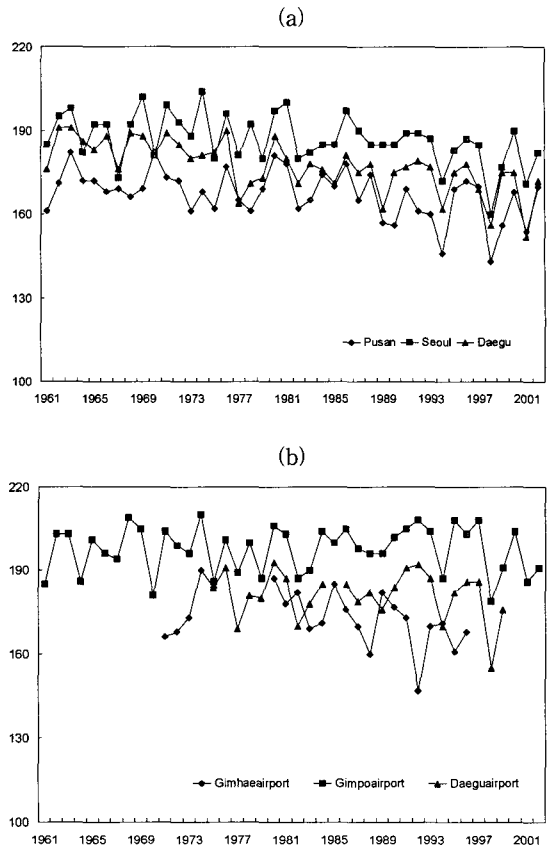


Fig. 3. Time series of the number of days calling for air-heating. The vertical axis indicates the number of days calling for air-heating (unit: days/year).

(a) urban areas, (b) rural areas

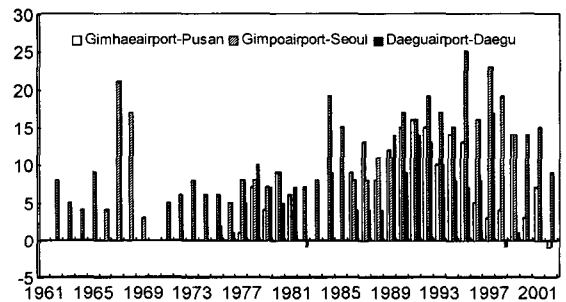


Fig. 4. Time variation of the difference of the number of days calling for air-heating between urban area and rural airport area.

는 공항이 위치한 김해지역이 1990년대 이래로 급속한 도시화를 겪은 것에 기인하는 것으로 추정된다. 대도시와 이에 인접한 공항지역의 난방도일의 시간변화를 Fig. 5(a), (b)에 각각 나타내었다. 난방필

냉난방도일을 이용한 우리나라 주요도시의 도시승온화현상 특성분석

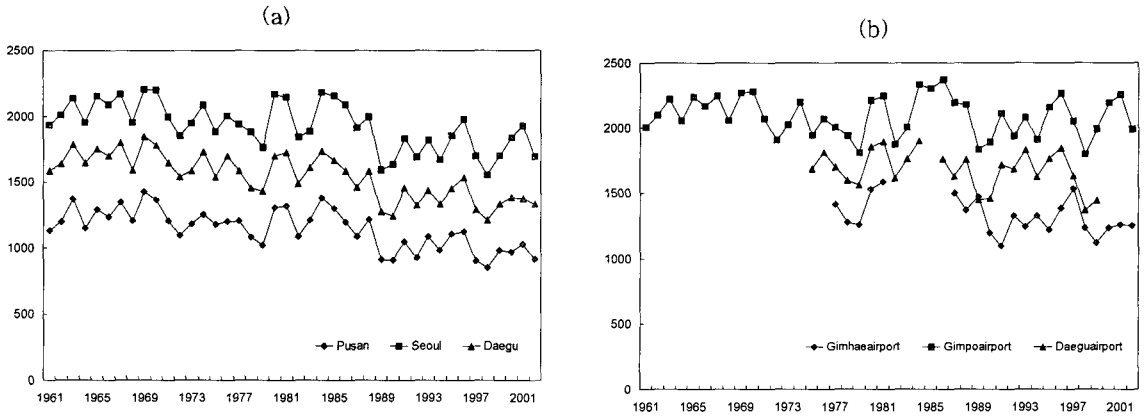


Fig. 5. Same as Fig. 3 except for replacing the heating degree days on the years(unit: °C).

요일수와 마찬가지로 난방도일 값은 서울(1,500~2,300°C), 대구(1,200~1,800°C), 부산(900~1,400°C)의 순서로 높았다. 그리고 1970년대 이래로 점진적인 감소경향을 나타내고 있다. 1970년대에 비하여 1990년대 이후의 난방도일은 약 500°C정도 감소하였음을 확인할 수 있었다. 이에 반하여, 교외에 위치한 공항에서는 난방도일의 시간변화에서 감소경향을 뚜렷이 찾아볼 수가 없었다. 김해공항의 경우에도, 1980년대 초반에 기상관측자료가 없어 장기적인 시간변화경향을 평가하기가 곤란하였다.

대도시와 인접한 공항지역간의 난방도일의 격차에 대한 장기적 시간변화를 Fig. 6에 제시하였다. 공항에서 기상자료가 얻어지기 시작한 1970년대 중반 이후, 두 지역 간에 난방도일의 값에 격차가 점진적으로 증가하였음을 알 수 있다. 1980년대 중반 이전에 김해-부산 간에 250도 내외, 김포-서울과 대구공항-대구간에는 150도를 넘지 않던 것이 1980년대 중반 이후에는 그 차이가 거의 2배로 증가하였음을 볼 수 있다.

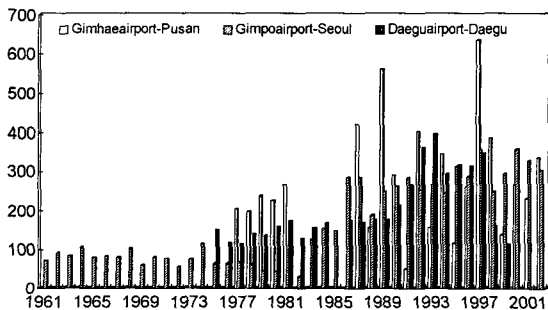


Fig. 6. Same as Fig. 4 except for replacing the heating degree days on the years(unit: °C).

냉방필요일수의 시간변화를 Fig. 7에 나타내었다. 냉방필요일수란, 연중에 걸쳐서 일평균기온이 기준 온도인 24°C 이상을 나타낸 총 일수를 말한다. 3개 대도시와 그에 인접한 공항지역의 냉방일수 시간변화를 Fig. 7(a)와 (b)에 각각 나타내었다. 3개 대도시의 연중 냉방필요일수는 대략 35~75일(서울), 30~85일(대구), 20~70일(부산) 정도로 평가되었다. 반면에, 이들 도시에 인접한 공항지역에서는 15~70일(김포), 30~70일(대구), 25~70일(김해)로 평가되었다. 따라서, 도시지역의 냉방필요일수가 같은 지역의 교외에 위치한 공항지역에 비하여 다소 많았다. 다만 교외지역인 김해공항의 냉방필요일수가 부산에 비하여 적지 않은 것으로 평가되었는데, 이는 김해지역이 최근에 급격한 도시화과정을 겪어 왔다는 사실과 해안지역에 위치한 부산의 기상관측소에 해풍의 영향으로 도시화효과가 낮게 평가되는 사실에 기인하는 것으로 사료된다. 그리고 냉방필요일수와는 달리 모든 지역에서 냉방필요일수에 대한 시간변화는 거의 감지되지 않았다.

한편, 도시화의 진척에 따른 대도시와 이에 인접한 공항간의 냉방일수 차이에 대한 시간변화를 Fig. 8에 나타내었다. 1980년대 중반 이후에 대도시와 교외의 공항지역 사이에 냉방필요일수에 간격이 다소 커지고 있음을 볼 수가 있다. 특이한 사실로, 1980년대 중반 이후에 부산-김해공항간에는 오히려 김해의 냉방필요일수가 대도시인 부산보다 많아졌다는 것이다. 이는 공항이 위치한 김해지역이 급속한 도시화가 이루어진 것에 반하여, 부산의 기상관측소는 해풍의 영향을 쉽게 받을 수 있는 곳에 위치하고 있어 부산의 도시화 효과는 기온변화에 크게 기여하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

대도시와 이에 인접한 공항지역의 냉방도일의 시

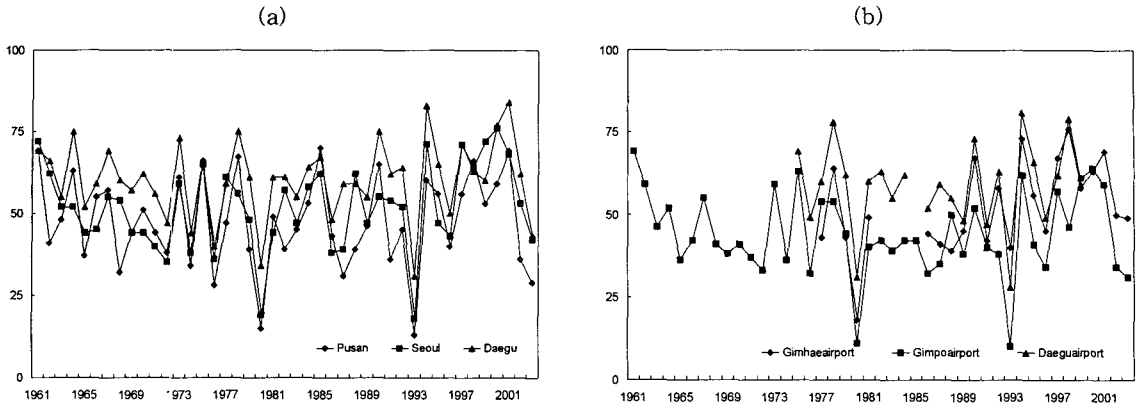


Fig. 7. Same as Fig. 3 except for the number of days calling for air-cooling(unit: days/year).
(a) urban areas, (b) rural areas

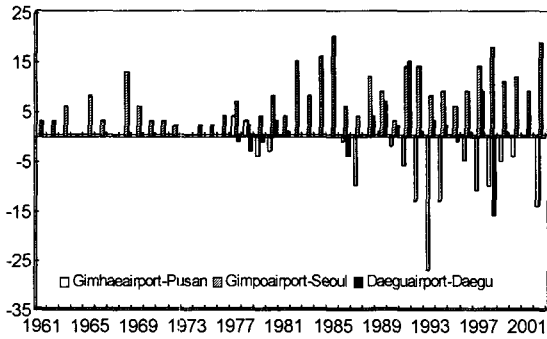


Fig. 8. Same as Fig. 4 except for the difference of the number of days calling for air-cooling.

간변화를 Fig. 9(a), (b)에 각각 나타내었다. 냉방도일 값은 냉방필요일수와 마찬가지로 대구(100~300℃),

서울(50~200℃), 부산(50~180℃)의 순서로 높았다. 공항지역에서는 대구공항(80~250℃), 김포공항(50~180℃), 김해공항(40~150℃)의 순서를 보였으며, 대체로 공항에 인접한 대도시보다 약간 낮은 분포를 보였다. 난방도일과는 달리 냉방도일의 시간변화 경향은 모든 지점에서 뚜렷하지 않았다.

대도시와 인접한 공항지역간의 냉방도일의 차이에 대한 장기적 시간변화를 Fig. 10에 제시하였다. 1980년대 중반 이후, 도시와 교외지역간에 냉방도일 값에 격차가 현저히 증가하였음을 볼 수 있다. 1980년대 중반 이전에 20℃를 넘지 않던 양 지역간의 격차가 1980년대 중반 이후에는 60~70℃에 달하여, 그 차이가 거의 2배로 증가하였음을 볼 수 있다. 다만 부산-김해간에는 1990년대 이후로, 김해지역의 냉방도일의 값이 부산보다 현저히 높아지는 경향을 볼 수 있다. 이러한 원인은 앞에서 설명한 바와 같이 김해지역의 급격한 도시화 효과가 반영된 결

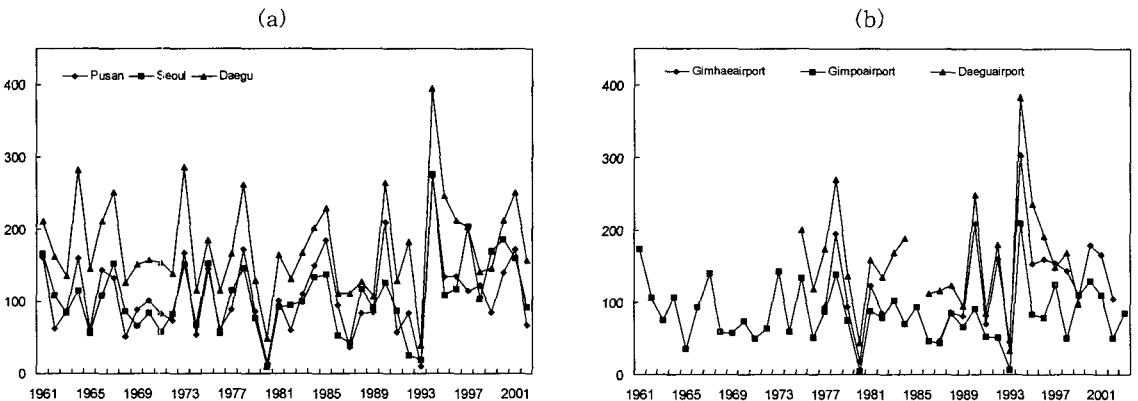


Fig. 9. Same as Fig. 7 except for the cooling degree days (unit: °C).

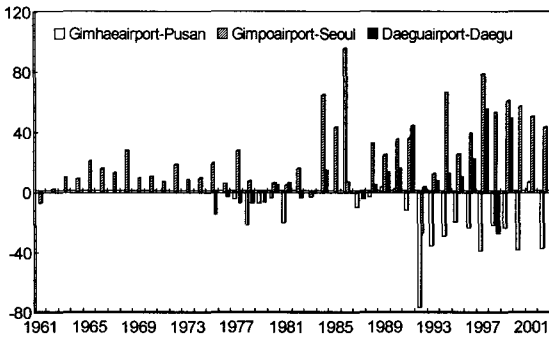


Fig. 10. Same as Fig. 8 except for the cooling degree days(unit: °C).

과로 보인다. 또한 대구기상대의 위치는 동구 신암동으로 도심과 가깝게 위치하여 도시화효과가 기온상승에 반영되고 있는 반면 부산지방기상청은 해안에 인접해 있는 대청동에 위치해 있어 해풍에 쉽게 노출되므로 부산의 도심인 서면과 동래역의 도시화효과가 기온상승에 적게 반영되고 있는 것으로 보인다.

4. 결 론

우리나라 주요도시를 대상으로 하여 도시화에 따른 도시승온화 특성을 알아보기 위하여 대도시(서울, 대구, 부산)와 그에 인접한 교외의 공항(김포공항, 대구공항, 김해공항)에서 관측된 기상자료를 이용하여 냉난방도일의 현황과 장기적 시간변화특성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 3개 대도시의 연중 냉방필요일수는 대략 180~200일(서울), 160~180일(대구), 150~170일(부산) 정도로 나타났다. 반면에, 이들 도시에 인접한 공항지역에서는 190~210일(김포), 170~190일(대구), 160~180일(김해)이었다. 따라서 교외지역에 위치한 공항지역의 냉방필요일수가 인근에 위치한 대도시 지역에 비하여 약 10일 정도 많았다. 이는 겨울철에 대도시의 도시승온화효과가 크게 나타나 도시기온이 인근의 교외지역보다 높게 형성된다는 사실에 기인한다.

둘째, 냉방도일 값은 서울(1,500~2,300°C), 대구(1,200~1,800°C), 부산(900~1,400°C)의 순서로 높았다. 그리고 1970년대 이래로 점진적인 감소경향을 나타내고 있다. 1970년대에 비하여 1990년대 이후의 냉방도일은 약 500°C정도 감소하였음을 확인할 수 있었다. 이것은 1990년대의 냉방도일이 1970년대의 그것에 비하여 약 20~50% 감소하였음을 의미한다. 이는 미국의 여러 대도시와 그에 인접한 공항의 자료를 이용하여, 도시화에 따른 냉방도일의 변화를

조사한 Landsberg 등의 결과, 즉 약 30년간에 걸친 도시화에 의한 미국내 주요 대도시의 냉방도일에, 로스엔젤레스의 46% 감소를 예외로 한다면, 대체로 6~15%의 감소가 발생하였다는 사실보다 훨씬 큰 감소임을 알 수 있다. 이에 반하여, 교외에 위치한 공항에서는 냉방도일의 시간변화에서 감소경향을 뚜렷이 찾아볼 수가 없었다.

셋째, 대도시와 공항지역간의 냉방도일 격차는 점진적으로 증가하였음을 알 수 있다. 그 결과로, 1980년대 중반 이전에 김해-부산 간에 250도 내외, 김포-서울과 대구공항-대구간에는 150도를 넘지 않던 것이 1980년대 중반 이후에는 그 차이가 거의 2배로 증가하였음을 볼 수 있다. 이러한 사실은 15% 내외에 머문 미국의 사례에 비하여 현저히 높은 것이다.

넷째, 3개 대도시의 연중 냉방필요일수는 대략 35~75일(서울), 30~85일(대구), 20~70일(부산) 정도로 평가되었다. 반면에, 이들 도시에 인접한 공항지역에서는 15~70일(김포), 30~70일(대구), 25~70일(김해)로 평가되었다. 따라서, 도시지역의 냉방필요일수가 같은 지역의 교외에 위치한 공항지역에 비하여 다소 많았다. 다만 교외지역인 김해공항의 냉방필요일수가 부산에 비하여 적지 않은 것으로 평가되었는데, 이는 김해지역의 최근의 급격한 도시화와 해안지역에 위치한 부산의 기상관측에 해풍의 영향으로 도시화의 효과가 적게 평가되는 현상에 기인하는 것으로 사료된다.

다섯째, 대도시와 인접한 공항지역의 냉방도일 값은 대구(100~300°C), 서울(50~200°C), 부산(50~180°C)의 순서로 높았다. 공항지역에서는 대구공항(80~250°C), 김포공항(50~180°C), 김해공항(40~150°C)의 순서를 보였으며, 대체로 공항에 인근한 대도시보다 약간 낮은 분포를 보였다. 그리고 냉방도일과는 달리 냉방도일의 시간변화경향은 모든 지점에서 뚜렷하지 않았다.

여섯째, 대도시와 공항지역간의 냉방도일의 격차는 1980년대 중반 이후 현저히 증가하였음을 볼 수 있었다. 1980년대 중반 이전에 20도를 넘지 않던 양 지역간의 격차가 1980년대 중반 이후에는 60~70도에 달하여, 그 차이가 거의 2배로 증가하였는데, 이는 미국의 여러 도시를 대상으로 조사된 결과^{16,23)}인, 30년간에 약 6~48% 증가에 비하여 현저히 높은 것이다.

일곱째, 부산-김해간에는 1990년대 이후로, 김해지역의 냉방도일의 값이 부산보다 오히려 많이 높아지는 경향을 볼 수 있었다. 이러한 원인은 냉방도일의 변화경향과 마찬가지로, 김해지역의 급격한 도시화 효과가 반영된 결과로 보인다. 이에 반하여 부산지방기상청은 대청동에 위치하고 있어 해풍에 쉽게 노출되므로 부산의 도시화 효과가 기온상승에

적게 반영되고 있는 것에 기인한 것으로 평가된다.

3개 대도시와 이에 인접한 공항지역은, 같은 기후대에 속하므로 냉난방도일의 시간변화특성은 대도시의 도시화진척에 따른 도시승온화의 효과에 기인하는 것으로 평가할 수 있을 것이다. 그리고 도시와 인근 교외지역에 위치한 공항간에 기후환경의 격차가 외국의 사례^{16,23)}에 비하여 현저히 크다는 사실에 주목할 필요가 있을 것이다.

이러한 배경에서, 우리나라 환경부에서도 일본을 포함한 선진국에서와 같이 도시승온화를 대기오염의 하나로 지정하여 대기환경관리 측면에서 대책 마련에 적극 나서야 할 것이다. 특히, 우리나라의 경우에는 도시 난개발이 선진국에 비하여 많이 이루어졌고 현재도 도시규모확대가 선진국가의 대도시에 비하여 빠른 속도로 진척되고 있어 도시기후환경의 악화가 우려되고 있기 때문에 도시열오염 문제에 대한 정부차원의 적극 대처가 필요할 것이다.

이 연구의 결과는, 우리나라 주요 대도시의 도시기후환경의 평가뿐만 아니라, 도시화에 따른 장기적 국가에너지 수급계획 및 도시열오염 문제에 대처하기 위한 기초적 자료를 제공할 수 있다는 점에서 중요성을 찾을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) Yamashita, S., 1988, Some studies of heat island in Japan with special emphasis of the climatological aspects, *Geogr. Rev. Japan*, 61(1), 1-13.
- 2) Yoshikado, H., H. Kondo and Y. Kikegawa, 2002, Thermal environment of building roofs based on measurements in the central areas of Tokyo, *Tenki*, 49, 887-899.
- 3) Ackerman, B., 1985, Temporal march of the Chicago heat island, *J. Climate Appl. Meteor.*, 24, 547-554.
- 4) Kanno, Y. and K. Yamajoe, 2001, Hot Summer, *Geography*, 549, 51-63(in Japanese).
- 5) Mizukoshi, S. and S. Yamashita, 1993, Introduction to Climatology, Kokon Press, 144pp (in Japanese).
- 6) 一之瀬俊明, 2002, 地方自治體におけるHeat Island 對策, *大氣環境學會誌*, A71-A84.

- 7) Landsberg, L., 1981, *The urban climate*, Academic Press, NewYork, 275pp.
- 8) 김해동, 2003, 대구의 장기적 도시기후 변동에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 12, 697-704.
- 9) 김해동, 이송옥, 구현숙, 2003, 대규모 주택단지 내의 인공구조물에 의한 승온화효과에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 12, 705-714.
- 10) Ichinose, T., K. Shimodozono and K. Hanaki, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmos. Environ.*, 33, 3897-3909.
- 11) Grey, G. W. and F. J. Deneke, 1986, *Urban forestry*(2nd Ed.), Newyork, Wiley, 245pp.
- 12) Oke, T. R., 1978, *Boundary layer climate*, John Wiley and Sons, 324pp.
- 13) Ichinose, T., K. Hanaki and T. Tatso, 1994, Analyses on geographical distribution of urban anthropogenic heat based on very precise geographical information, *Proceedings of environmental engineering research*, 31, 263-273.
- 14) Tamiya, H., 1981, Urban Environment and Heat Island, *Region*, 20, 18-23(in Japanese).
- 15) Sakakibara, Y. and A. Mieda, 2002, Causes of nocturnal heat island intensity on fine and cloudy days, *Tenki*, 49, 531-540(in Japanese).
- 16) Landsberg, H. E. and D. A. Brush, 1980, Some observations of the Baltimore, Md., heat island. *Inst. Phys. Sci. Technol. Tech. Note*, BN-948, Univ. of Maryland, College Park, Mayland, 150pp.
- 17) 日本氣象協會, 1993, 都市域における氣候の變化とその影響に關する基礎調査(その2)報告書, 127pp.
- 18) 日本氣象協會, 1994, 都市域における氣候の變化とその影響に關する基礎調査(その3)報告書, 147pp.
- 19) Nakazato, T., 1998, Heating and Cooling degree days, *Meteorology*, 42(6), 46-47(in Japanese).
- 20) Oke, T. R., 1973, City size and urban heat island, *Atmos. Environ.*, 7, 769-779.
- 21) Nakamura, S. and Y. Kitamura, 1987, *Meteorological data manual*, Maruzen Press, 179pp (in Japanese).
- 22) 朝倉 正, 1992, 氣象調査法, 朝倉書店, 260pp.
- 23) Landsberg, H. E., 1975, Atmospheric changes in growing community, *Inst. Fluid Dynamics Appl. Match. Note*, Univ. of Mayland, College Park, Mayland, BN823, 54pp.