

대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화특성

안 지 숙 · 김 해 동
계명대학교 지구환경보전과
(2006년 2월 15일 접수; 2006년 5월 20일 채택)

On the Seasonal Variation of Urban Heat Island Intensity According to Meteorological Condition in Daegu

Ji-Suk Ahn and Hae-Dong Kim

Department of Earth Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 15 February, 2006; accepted 20 May, 2006)

The purpose of this study is to clarify the characteristic of urban heat island intensity in urban area formed at a basin. Thermal environments for basin-type cities are influenced by significant topographic relief winds. In this study, we analyzed the diurnal variations of the heat island intensity according to meteorological condition and season using AWS(Automatic Weather observation System) data in Daegu Metropolitan area for 1 year(3/April, 2003 ~ 2/April, 2004). In this study, we defined the urban heat island intensity as the air temperature difference between two points, the downtown and the suburban area. The suburban area is located at valley mouth around the western tip of Daegu.

The results are summarized as follows;

1. The maximum heat island intensity was recorded at early morning under the meteorological conditions, calm and clear
2. The heat island intensity was strong in the order of winter, fall, spring and summer.
3. The heat island intensity came out minus values in the afternoon. This phenomenon is known as a common for basin-type cities.
4. The heat island intensity was twice or more in clear and calm than not so.

Key Words : Heat island intensity, Urban climate, Valley mouth, Relief wind

1. 서 론

도시지역의 과도한 인간 활동에 수반된 도시열섬화 현상에 대한 현황파악과 대응책 마련을 위한 활동이 1980년대 이래로 중요한 도시환경문제로 부각되고 있다^{1,2)}. 도시는 좁은 영역에 많은 인구가 집중하여 활발한 인간 활동이 이루어지고 있다. 그 결과로 도시에서는 인접해 있는 주변의 교외지역과는 다른 도시 특유의 기후가 형성된다. 교외지역과 가장 두드러지게 다른 기후요소는 기온인데, 도심부의 기온은 주변의 교외지역이나 전원지대보다 고온을 나타낸다. 그래서 도시를 포함하는 주변지

역을 대상으로 등온선을 그려보면 도시지역은 마치 열의 섬처럼 표현된다. 그래서 이를 도시열섬이라고 지칭하고 있다. 도시열섬의 존재는 유럽에서 는 이미 19세기 말에 영국의 Howard³⁾에 의해 지적된 바 있으며, 일본에서도 1930년대에 초봄의 폭청한 야간에 동경도심의 기온이 교외지역보다 약 5°C 정도 높다는 사실이 보고된 바 있다고 한다⁴⁾. 우리나라에서도 자동차를 이용한 이동관측 혹은 자동기상관측망 자료를 이용한 도시열섬 관련 연구가 다수 수행되어 오고 있다^{5~7)}.

그런데 오늘날까지 전 세계적으로 수행되어온 도시열섬 연구는 주로 평야지대에 위치하고 있는 도시를 대상으로 하여왔다^{8~10)}. 그 원인은 도시열섬화의 원인을 순전히 도시화의 영향으로 간주하고 이를 정량적으로 다루기 위해서는 지형조건을 단순화

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Department of Earth Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-053-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

할 필요가 있었기 때문이다^{11,12)}. 하지만 우리나라나 일본과 같이 복잡지형을 가진 나라에 있어서는 도시가 평야지대에 위치하는 경우가 드물고, 오히려 복잡한 산지에 둘러싸인 해안도시 혹은 내륙분지형 지형을 가진 대도시가 많기 때문에 도시열섬현상이 지형의 영향을 많이 받아 기존의 연구결과와는 다른 특성을 보이는 것으로 알려져 있다^{13~15)}.

유럽대륙의 내륙에 위치한 독일의 도시를 대상으로 Kuttler는 도시열섬강도의 연중 시간대별 변화특성을 조사하였다. 그 연구결과에 의하면 도심의 온도가 교외지역보다 항상 높은 것이 아니라 낮시간 동안에는 교외지역의 기온이 도심보다 오히려 높게 나타나며 도시열섬강도는 심야에서 새벽시간대에 걸쳐서 높게 나타났다²⁾. 이 연구결과를 바탕으로 그는 도시에서 나타나는 열 과잉 현상은 주로 야간에 나타나는 현상이라고 주장하였다. Mikami도 일본 동경과 동경의 북쪽 산지에 위치한 Hachioji지역의 기온을 비교하여 여름철에는 9시에서 22시에 걸쳐서 동경도심의 기온보다 교외인 Hachioji의 기온이 높게 나타나며 오후 4시에는 그 차이가 3°C 이상에 이를 지적한 바 있다⁴⁾.

한편, 야간의 도시열섬현상은 주로 고기압의 지배를 받아 맑고 바람이 약할 때에 잘 나타나며 도시열섬 강도가 큰 것으로 잘 알려져 있다³⁾. 그러나 분지지형에 위치한 도시에서는 이러한 기상조건 하에서 냉기호(cold-air lake)가 형성되기 때문에 도시열섬 강도가 오히려 약화되는 것으로 보고되고 있다^{15,16)}. 따라서 분지 상에 위치한 도시의 열섬현상을 조사하기 위해서는 분지 특유의 기상현상과의 관계도 고려하여야 한다^{17~19)}.

이러한 배경에서 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 분지 형 대도시인 대구시를 대상으로 하여 계절별, 시간대별 그리고 운량을 포함한 기상조건에 따른 도시열섬강도변화의 특성을 조사하였다.

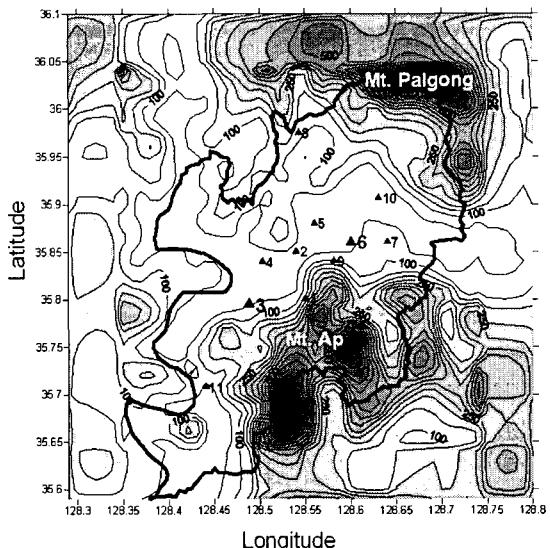
이 연구결과는 최근 사회적으로 높은 관심을 모으고 있는 환경 친화적 도시계획을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 대구는 사방이 산지로 둘러싸인 전형적인 분지형 도시이기 때문에 후서혹한의 기후적 특성을 보이고, 바람이 약해서 대기환기기능이 다른 도시에 비해서 열악하다. 그러나 높은 산지에서 발원하는 하천을 중심축으로 산곡풍 순환이 잘 발달²⁰⁾하고 있기 때문에 도시개발계획에 이를 반영하는 것이 더욱 필요하다고 할 것이다.

2. 자료 및 연구방법

대구지역에는 대구지방기상대와 계명대학교 대기환경연구실에서 운영하고 있는 자동기상관측 지

점이 11개에 있으며(Fig. 1), 대구광역시 보건환경연구원에서도 6개 지점에서 기상자료를 얻고 있다. 본 연구에서는 대구지방기상대와 계명대학교에서 관측한 11개 지점의 기온변화를 분석한 결과 연중 기온이 가장 높게 형성된 경북대학교 사대부고(Fig. 1의 6번 지점)와 대구의 서쪽 끝 지점에 위치한 화원여고에서 얻은 자료를 대상으로 도시열섬강도를 분석하였다. 화원여고(Fig. 1의 3번 지점)는 명곡지라고 하는 계곡 아래에 위치하고 있어 주야간에 걸쳐서 풍향이 역전되는 교대풍(산곡풍)이 발달하는 것으로 확인되고 있다²¹⁾.

관측에 사용된 자동기상관측 장치에는 기온, 상대습도, 풍향·풍속, 일사량 등을 관측하는 센서가 설치되어 있다. 관측센서의 검증은 연중 기온과 습도는 연중 1회씩 아스만온도계를 이용하고 있으며, 일사계는 대구지방기상대의 관측 값과 3일간 동일지점에서 비교 관측하는 방법으로 수행하고 있다. 이를 관측센서를 자료집록장치(CR-10, 미국 Campbell사 제품)에 연결하여 관측은 1분 단위로 하고 기록은 1시간 평균값으로 하였다. 관측위치는 사방이 수 km에 걸쳐서 장애물의 영향을 받지 않는 학교옥상건물이다. 옥상건물은 모두 4층이어서 지상에서 약 12m 상공에 위치한다. 건물벽면을 타고 올라오는 상층기류의 영향을 피하기 위하여 가급적



The numbers are index of sites:

1. Dowan, 2. Gamsam, 3. Hwawon, 4. Keimyung,
5. Pyeongri, 6. Sadaebugo, 7. Suseong, 8. Chilgok
9. Namgu, 10. Daegu Weather Station, 11. Hyunpung

Fig. 1. Location of AWS sites in Daegu. The solid line shows boundary of Daegu Metropolitan city.

대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화특성

건물의 벽면에서 떨어진 장소에 관측 장치를 설치하였다.

이 연구에서는 2003년 4월 3일 ~ 2004년 4월 2일의 1년간의 기온자료를 바탕으로 연간 시간대별, 계절별 시간대별 및 기상조건 별(구름·강수일과 흐리기 일; 강풍일과 약풍일) 도시열섬강도의 시간변화 특성을 조사하였다. 구름·강수일과 흐리기 일은 관찰하기 위한 운량, 강수일 및 일조시간 자료는 대구지방기상대에서 관측한 자료를 이용하였다.

3. 결과와 고찰

Fig. 2에 경북사대부고와 화원여고의 시간대별 연평균기온분포를 나타내었다. 두 지점 모두 최고 기온은 오후 4시에 나타나며 그 값은 약 17.5°C이었다. 일몰 경(오후 6시)부터 다음 날 오전까지는 도심에 위치한 사대부고의 기온이 교외지역인 화원여고보다 높고 그 사이에 해당하는 오후 시간에는 양 지역의 기온이 거의 같은 것으로 나타났다.

두 지역 간의 연평균기온 차이에 대한 시간변화를 Fig. 3에 보다 상세히 나타내었다. 가장 큰 차이는 오후 8시에 나타났고 그 값은 약 1.3°C이었으며, 오후 1시 이후부터 4시까지는 음의 값을 보였는데 그 값은 약 0.05°C 정도로 나타났다. 20시에서 24시에 걸쳐서는 1°C 내외의 값을 나타내어 일출 전까지의 이른 오전의 0.8°C 내외에 비하여 0.2°C 정도 높게 나타났다. 오전 10시 이후부터 일몰까지 낮 동안에는 도시열섬강도가 다른 시간대에 비하여 상대적으로 낮게 나타났다.

계절에 따른 도시열섬강도의 특성을 알아보기 위하여 두 지역 간의 계절별 기온차이를 Fig. 4에 나타내었다. 도시열섬강도는 계절별로 뚜렷한 차이를 보였는데, 겨울(12~2월), 가을(9~11월), 봄(3~

5월) 그리고 여름(6~8월)의 순서로 크게 나타났다. 여름철 평균의 도시열섬 최대강도가 오후 8시에 약 0.5°C인데 대하여 겨울철에는 자정부터 다음 날 아침 8시에 걸쳐서 2°C 이상의 기온차가 나타났다. 이는 도시열섬 강도가 겨울철 야간에 가장 크다는 기존의 연구결과와도 일치되는 것이다.^{3,5~8)}

연중 도시열섬 강도의 시간변화를 자세히 평가하기 위하여 Kuttler 등²⁾과 같은 방법으로 두 지역 간 연중 시간대별 기온차이를 Fig. 5에 나타내었다. 도시열섬강도는 계절적으로는 겨울에 크고, 시간대별로는 야간보다 오전에 큰 경향을 볼 수 있다. 그리고 도시열섬강도가 일몰 후에 급속히 증가하고 일출 후에 빠르게 약해지는 것을 알 수 있다. 도심보다 교외의 기온이 높게 나타나는 음의 도시열섬강도는 1월을 제외하고는 연중 관측되었으며, 그것의 지속시간은 난후기(5~10월)에 길고 한후기(11~4월)에 짧은 특성을 보였다. 7월에는 음의 도시

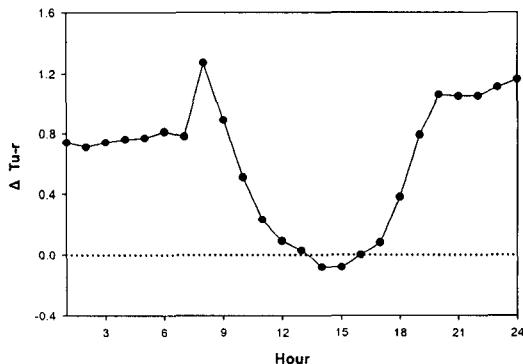


Fig. 3. Time variation of the heat island intensity. The heat island intensity(ΔT_{u-r}) is defined as the air temperature difference between two points, Sadaebugo and Hwawon.

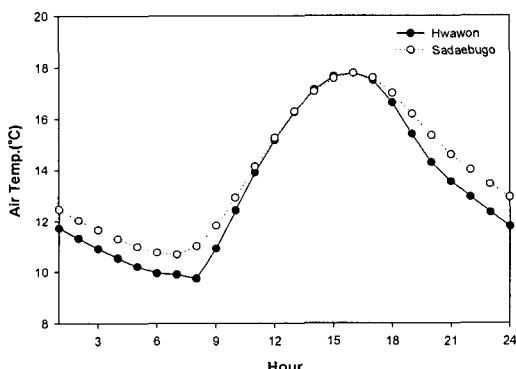


Fig. 2. Time variation of air temperature of two positions. Sadaebugo and Hwawon indicate the representative positions for urban and suburban areas, respectively.

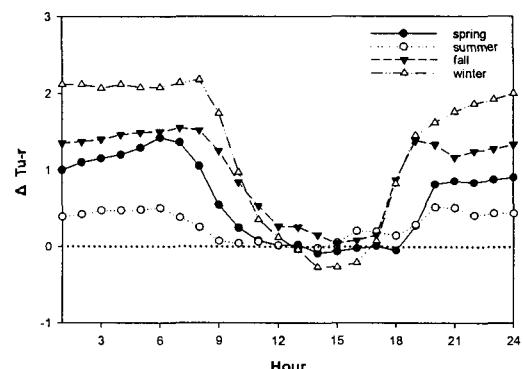


Fig. 4. Seasonal variation of the heat island intensity. The heat island intensity (ΔT_{u-r}) is defined as the air temperature difference between two points, Sadaebugo and Hwawon.

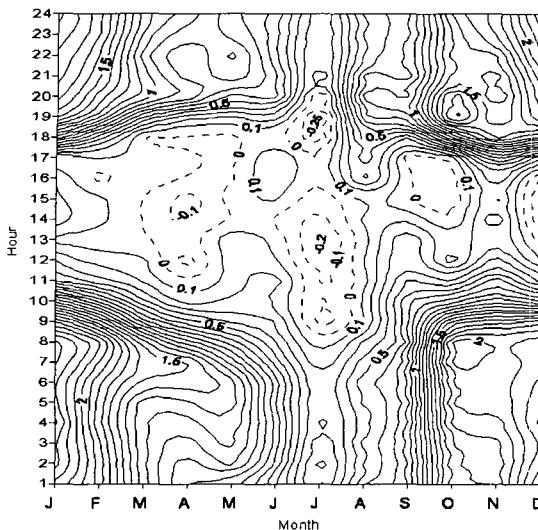


Fig. 5. Diurnal and annual variation of the heat island intensity in Daegu. Dotted lines indicate minus urban heat island intensity. Contour interval is 0.1°C.

열섬강도가 오전 9시경에 시작되어 오후 8시경까지 지속되었다.

기상조건에 따른 도시열섬강도 변화특성을 Fig. 6과 7에 제시하였다. Fig. 6에 구름일과 맑은 날을 구분하여 시간대별 도시열섬강도를 계절별로 나타내었다. 구름일과 맑은 날의 구분은 지면도달 일사량을 이용하였다. 분류의 기준은 Sakakibara 등과 마찬가지로 대구지방기상대에서 관측한 일조시간을 이용하여, 일조시간이 3시간 이하인 날을 구름일로 일조시간이 8시간 이상인 날을 흐린 일로 정의하였다¹⁷⁾.

흐린 날(Fig. 6(a))의 경우, 오전 중엔 계절에 따라서 열섬강도의 차이가 크게 나타나고 오후에는 상대적으로 계절에 따른 차이가 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그 크기는 대체로 겨울, 가을, 봄 그리고 여름의 순서를 보였지만 일몰 이후의 밤 시간대에서는 계절별 순서가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 모든 계절에 대해서 흐린 날 도시열섬강도가 맑은 날에 비하여 훨씬 약한 현상도 확인할 수 있다. 흐린 날과 맑은 날간의 차이는 계절적으로는 상대적으로 겨울철에 작고 여름철에 크게 나타났다. 이것은 도시열섬화의 주요 원인이 겨울철에는 도심의 높은 인공열의 방출에, 여름철에는 인공구조물에 의한 토지피복비율이 높은 것에 기인한다는 사실을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다²²⁾. 즉 겨울철에는 흐린 날에도 난방연료의 사용에 큰 차이가 발생하지 않지만, 여름철에 비가 오거나 흐리면 토지피복의 차이에 따른 지표면의 열저장과 증발

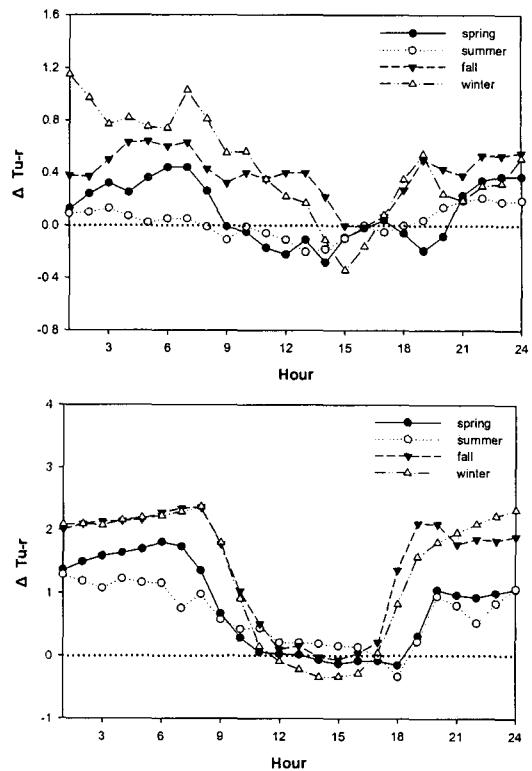


Fig. 6. Seasonal variation of heat island intensity according to weather condition. (a) Cloudy days, (b) Fine days.

산효과가 현저히 줄어들기 때문³⁾으로 판단된다.

맑은 날(Fig. 6(b))의 경우에는 가을과 겨울의 차이가 작은 것이 특징이다. 21시에서 자정에 걸쳐서는 오히려 가을철이 겨울보다 조금 크게 나타났다. 여름의 맑은 날에는 한낮에도 도시열섬강도가 양의 값을 나타내어 하루 종일 도심의 기온이 교외보다 높게 나타났다. 이것은 Sakakibara 등이 동경을 대상으로 조사한 결과와 같은 경향을 보였는데, 그들은 이것의 주요 원인으로 도시 지표면의 낮은 알베도로 인한 높은 일사흡수효과뿐만 아니라 냉방기의 수요증가에 따른 인공열 배출 효과가 커지기 때문이라고 지적한 바 있다¹⁷⁾.

풍속에 따른 도시열섬강도를 Fig. 7에 제시하였다. 풍속이 3.5 m/s 이하인 경우를 약풍, 그 이상인 경우를 강풍으로 정의하여 구분하였다. 바람이 약 할 경우(Fig. 7(a))의 도시열섬강도가 바람이 강한 경우(Fig. 7(b))에 비하여 모든 계절에서 2배 이상 크게 나타났다. 겨울철에는 바람이 약한 오전에 약 2.7°C에 이르러 바람이 강한 경우(1.2°C 내외)에 비하여 크게 나타났다. 그리고 여름철에는 바람이 약한 경우에는 도시열섬강도가 항상 양의 값을 나타내었지만 바람이 강할 경우에는 거의 모든 시간에

대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화특성

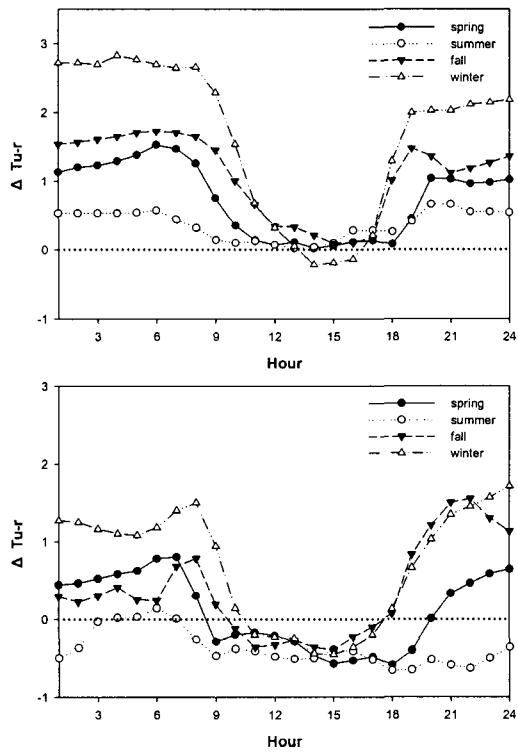


Fig. 7. Same as Fig. 6 but for wind speed.

걸쳐서 음의 값을 보였다. 여름철 대구의 종관규모 바람의 주풍향대는 남동풍계열이어서 기류가 대구 도심을 지나 서쪽으로 이동하면서 지속적으로 가열되어 기온이 상승될 수 있다²¹⁾. 그리고 교외의 관측지점은 도심의 서쪽에 위치하고 있기 때문에 이렇게 가열된 공기의 온도를 관측하게 되어 교외의 온도가 도심보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

대구 시내의 중심부와 교외의 관측지점에서 얻어진 기온자료를 이용하여 도시열섬강도를 산출하고 기상조건과 계절에 따른 시간변화를 조사해 보았다. 그 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫 번째로, 본 연구에서는 대구의 최대 도시열섬 강도가 겨울철 8시 경에 약 2.2°C로 나타났는데, 이는 인구규모로부터 추정¹⁵⁾되는 값인 5.7°C에 비하여 낮은 것이다. 그 이유는 도심과 교외에 설치된 자동 기상관측장치가 학교 옥상(지상 약 12m 상공)에 설치되어 있는 탓에 도심의 도시 캐노피 층 내의 고온의 영향이 온전하게 반영되지 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 지상의 도시열섬강도의 시간변화 특성을 제대로 평가하기 위해서는 Hamada 등¹⁶⁾과 같이 지상부근에 다수의 기온관측 장치를 설치하여 모니터링을 수행하여야 할 것이다.

두 번째로, 도시열섬강도가 오후보다 오전에 큰 것으로 나타났다. 그리고 최대치는 모든 계절에 걸쳐서 대체로 오전 8시에 나타났다. 이것은 평야형 도시의 경우에 일몰 후 수 시간 이후에 최대 열섬 강도가 나타난다는 사실²²⁾과 다른 것이다. Hamada 등¹⁶⁾은 일본의 대표적인 분지형 도시인 Nagano를 대상으로 도시열섬강도를 조사한 결과 오전 6시경에 최대강도가 출현하며 일몰 후보다 일출 전 오전에 더 강하다는 사실을 보고한 바 있는데, 본 연구의 결과도 이것과 유사한 경향을 보였다.

세 번째로, 여름철 맑은 날을 제외하고는 대체로 오후 2시에서 4시 사이에는 교외의 기온이 도심보다 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 교외 관측지점이 계곡의 입구에 위치하여 도심에서 가열된 공기가 곡풍으로 유입되고 있는 것에 크게 기인하는 것으로 판단된다. Kuttler 등²³⁾은 낮에 도심의 기온이 교외보다 낮아지는 주요 원인으로 도심의 대기질이 교외보다 낮아서 지면도달 일사량이 적기 때문이라고 지적한 바 있다. 그러나 대구의 경우에는 이 등²³⁾의 연구결과에서 알 수 있듯이 대구도심과 교외 간 지면도달 일사량에는 차이가 매우 적다. 따라서 Kanou 등¹²⁾이 주장한 바와 같이 도심에서 가열된 공기가 지면가열을 받으면서 계곡으로 기류가 수렴되고 있기 때문에 교외의 기온이 도심보다 오히려 높게 형성된 것으로 판단된다.

네 번째로, 바람이 강한 경우에는 모든 계절에 대해서 도시열섬강도가 약화되었는데, 특히 여름철에는 거의 온 종일에 걸쳐서 교외의 기온이 도심보다 오히려 높게 형성되었다. 이것은 도심의 열이 바람에 실려 교외로 활발하게 운반된 결과로 판단되며, 특히 여름철에는 종관규모의 일반풍이 동풍이고 교외의 관측지점이 서쪽 끝에 자리 잡고 있기 때문에 도심에서 생성된 열이 교외인 서쪽지역으로 수송되는 것에 주로 기인하는 것으로 추측된다.

최근 전 세계적으로 도시의 환경 친화적 도시계획을 통해 도시열섬 현상을 억제하고자 하는 시도가 추진되고 있다. 전 세계 대도시의 기온상승 경향은 지구온난화 속도보다 훨씬 높다. 그래서 도시열섬 현상을 억제하고자하는 노력은 도시의 환경 품격성 창조뿐만 아니라 지구온난화 적응대책(adaptation)으로서도 큰 의미를 갖는다⁴⁾.

그런데 도시열섬 현상이라고 하면 일반적으로 하계의 여름철 최고기온의 상승이 화제가 되고 있지만²²⁾ 실제로는 야간에 도시열섬강도가 훨씬 심각하다. 여름 철 낮 동안에 도시인들이 고온으로 고통을 받는 원인 중의 하나도 도심의 야간기온이 높아서 열대야로 충분한 휴식을 취하지 못하는 것에 있다고 한다²²⁾. 본 연구에서도 이처럼 도시열섬 현

상은 야간에 뚜렷한 현상이라는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 환경 친화적 도시계획을 통하여 도시열섬 현상을 억제하기 위해서는 야간의 도시기온 하강을 방해하는 인공구조물의 낮 동안의 열저장기능을 낮추고 도심에서 과도하게 배출되는 인공열을 교외로 분산시키는 정책을 도입하여야 할 것이다. 일본 동경에서 여름철에 도심에서 방출되는 냉방에너지를 동경만으로 배출시키고 도심녹화를 통하여 인공구조물에 의한 열저장기능을 완화시키고자 하는 프로젝트를 추진하고 있는 것⁴⁾은 의미하는 바가 클 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 기초과학연구(과제 번호:C00521)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정 지원을 해 주신 한국학술진흥재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Yamashita, S., 1995, Heat island and amenity, Study group for climate impact and application Newsletter, 11, 66-73.
- 2) Kuttler, W., D. Dutemeyer and Barlag, 1998, Influence of regional and local winds on urban ventilation in Cologne, Germany, Meteorological Zeitschrift, 7, 77-97.
- 3) Landsberg, H. E., 1981, The urban Climate, Academic Press, London, pp.11-27.
- 4) Mikami, T., 2005, The abnormal climate in Tokyo, Yosensha Press, 95pp.
- 5) 김원도, 1984, 부산지역의 도시 기온의 수평분포에 관한 연구, 부산대학교 교육대학원 석사학위논문, 92pp.
- 6) 윤일희, 민경덕, 김경익, 1994, 대구지역의 기상 특성 연구 및 대기학산모델의 개발: II. 열섬현상에 관한 사례연구, 한국기상학회지, 30, 303-313.
- 7) 부경온, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태, 1999, 자동기상관측장치자료를 이용한 서울의 기온 수평분포 분석, 한국기상학회지, 35, 335-343.
- 8) Sundborg, A., 1950, Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area, Tellus, 2, 222-232.
- 9) 河村武, 1964, 熊谷市における夜間氣溫分布, 地理學評論, 71A, 436-443.
- 10) 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.
- 11) Oke, T.R., 1973, City size and the urban heat island, Atmos. Environ., 7, 769-779.
- 12) Kanou, M. and T. Mikami, 2003, Interaction between the heat island phenomena and the mountain breeze in an urban area located on a valley mouth, Tenki, 50, 3-11.
- 13) Goldreich, Y., 1984, Urban topo-climatology, Press of physical geography, 8, 336-363.
- 14) Ijima, Y. and M. Shimada, 2000, Seasonal changes in the cold-air pool formation in a subalpine hollow, central Japan, International Journal of Climatology, 20, 1471-1483.
- 15) Park, H. S., 1987, Variation in the urban heat island intensity affected by geographical environments, Environmental Research Center Papers, 11, 1-7.
- 16) Hamada, T., Y. Sakakibara, K. Nakagawa, H. Tanaka, C. Suzuki and T. Mikami, 1999, Observations of the vertical air temperature profiles in Nagano City, Monitoring and management of urban heat island interim report, Japan Science and Technology Corporation, Core research project for evolutional science and technology, 23-29.
- 17) Sakakibara, Y. and A. Mieda, 2002, Causes of nocturnal heat island and the difference between heat island intensity on fine and cloudy days, Tenki, 49, 533-539.
- 18) Bornstein, R. D. and D. S. Johnson, 1977, Urban-rural wind velocity differences, Atmospheric Environment, 11, 597-604.
- 19) Yamazoe, Y. and T. Ichinose, 1994, An analysis of urban heat islands in Tokyo and its environs, Geographical Review of Japan, 67A, 551-560.
- 20) 구현숙, 김해동, 강성대, 2004, 대구지역의 국지적 대기 순환풍의 환기경로에 관한 수치모의 실험, 13(4), 367-376.
- 21) 안원식, 김해동, 김종철, 2004, 대구지역 지표 바람장의 분포특성에 관한 연구, 한국환경과학회 봄 학술발표회지, 13(1), 212-215.
- 22) Mikami, T., 2005, Heat Island, Japan Geoscience Letters, 1(2), 1-3.
- 23) 이부용, 박병윤, 김현철, 2005, 도시와 인근지역의 수평면 일사량 비교 관측, 한국환경과학회 봄 학술발표회지, 14(2), 54-57.
- 24) 기상연구소, 2004, 한국의 기후, 기상청 기상연구소, pp.305-330.