

# 도시블록 단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 미치는 효과

박중훈\* · 이동근\*\*

\*서울대학교 농업생명과학연구원 · \*\*서울대학교 조경·지역시스템공학부

## I. 서론

도시열섬은 여름철 폭염과 열대야 일수 증가에 따른 사망률의 증가와 직접적인 원인이므로 도시열섬 저감대책이 시급한 실정이다(아주대학교 건강증진사업단, 2008; 명수정, 2009). 열섬현상의 주 원인이 인공피복 과다에 의한 기온증가로 보고됨(Oke, 1987; Memon *et al.*, 2008)에 따라 녹지의 냉섬기능을 활용하는 열섬대책의 필요성이 증대되고 있다(Taha *et al.*, 1991; Streiling and Matzarakis, 2003; 김수봉 등, 2006; Grimond *et al.*, 2010). 대규모의 녹지는 냉섬으로서 도시열섬 저감 역할이 크지만(박인환 등, 2000; 권영아, 2002; 권영상, 2004; 윤민호, 2009), 사회적, 경제적 여건상 현실적이라고 할 수 없다(Bowler *et al.*, 2010). 반면에 도시의 블록단위처럼 미시적 공간규모에 위치한 가로수, 자투리녹지, 소공원 등의 소규모 녹지들은 행정구에서 실행가능한 열섬대책으로 인식되고 있다(Oke, 1988; Givoni, 1991; Souch and Souch, 1993; 진병화와 변희룡, 2000; 環境省, 2009; Armson *et al.*, 2012). 동질적인 토지이용유형을 갖는 도시 내 작은 규모의 공간단위에 대한 미기상 연구가 있었음에도(Stewart and Oke, 2009; Stewart, 2011), 소규모 녹지의 열섬저감 효과는 실험구와 대조구가 동질적 공간단위에서 비교되지 못하였다. 또한 일부 공원이나 도시녹지를 대상으로 녹지의 비율정도만을 열섬저감의 효과로 제시할 뿐(Ca *et al.*, 1998; 윤용한, 2004; 조현길과 안태원, 2009) 다양한 규모와 유형을 녹지계획에 맞는 수준으로 제시하지 못하였다. 열섬저감을 위한 녹지확충계획과 연관된 법제도에서 활용할 수 있는 근거가 미미하였다(서응철, 2007). 이에 미시적인 도시열섬 저감요소로서 소규모 녹지를 활용하기 위해서는, 일정한 도시공간에서 녹지배치, 녹지유형 및 규모에 의한 기온저감의 효과의 규명이 필요하였다.

본 연구의 목적은 도시블록단위에서 소규모 녹지가 기온저감에 기여하는지 평가하고, 도시블록단위에서 기온저감 효과가 있는 소규모 녹지의 배치, 유형 및 규모를 제시하는 것으로 하였다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 용어의 정의

본 연구에서 도시블록은 소규모 녹지의 기온저감 효과 실측을 위한 바탕이자 미기상의 동질적 공간단위로서(Stewart and Oke, 2009), 10m 이상의 왕복 4차선 차도로 구획되는 도시공간으로 정의한다. 블록그룹은 실험구 블록과 대조구 블록으로 구성된 그룹을 의미한다. 동일 조건은 블록면적, 건축물의 블록 내 점유면적(Pont and Haupt, 2010), 건물높이이다. 조절조건은 블록 내 녹지율로서, 대조실험의 원칙상 대조구는 녹지율이 0%가 되어야 하나, 실제 도시블록에서는 존재하지 않는다. 이에 동일 조건이 같은 블록 중 녹지율이 가장 높은 블록을 실험구로, 가장 낮은 블록을 대조구로 한다.

측정지점은 이동식 기온측정에 의해 설정된 블록 내 미시적인 지점들이며, 지점별 기온은 주변 기온영향요소들로 인한 종속적 변수가 된다. 기온영향요소는 블록 내 기온상승과 하강에 직접적인 영향을 주는 토지피복패턴 등이다. 기온상승요소는 지면에서는 일사를 받는 포장면과 블록경계부의 차도 등이며, 지상에서는 건물외피, 폐열발생 기기 등이 있다(Oke, 2006). 기온하강요소는 지면에서는 건물이나 수목 그늘영역, 수공간 등이 있으며, 지상에서는 그늘진 건물외피, 지하도, 실내 냉기류 유입 등을 포함한다(Aguilar *et al.*, 2003; Oke, 2006; 김해동과 한상주 역, 2011).

소규모 녹지는 연구 대상블록 경계부에 위치하고 있는 가로수, 건축물 주변에 위치하며, 공개공지의 성격을 띠는 자투리 녹지, 일부 소공원의 녹지를 포함하는 개념으로 정의한다. 분석에 활용된 소규모 녹지의 면적 범위는 대상지 분석에 의하여 12.6~1,962m<sup>2</sup>이며, 체적 범위는 50~12,311m<sup>3</sup>이다. 블록 내 소규모 녹지는 법률상의 명칭에 따르면 블록 외연부 보도 상의 가로수, 건축물 전면 혹은 후면에 위치한 공개공지에 조성된 녹지로 구분된다. 녹지의 형태적 유형은 면형(polygon)과 선형(linear)으로 구분하며, 녹지의 구조적 유형으로는 단일식재형(single), 혼합식재형(mixed)으로 구분한다.

블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감 효과는 대조구 블록의 평균기온( $T_C$ )에서 실험구 블록의 평균기온( $T_E$ )을 차감한 수치를 의미하며, 이를 블록그룹에서 소규모 녹지의 기온저감 효과( $\Delta T_{C-E}$ )로 정의한다. 양의 값일수록 소규모 녹지의 기온저감 효과가 있는 것으로 판정한다.

소규모 녹지의 블록기온저감 효과는 블록 내 기온측정지점

중 평균적으로 가장 높은 기온값을 최고기온( $T_{HP}$ )으로, 가장 낮은 기온값을 최저기온( $T_{LP}$ )으로 정의한다. 녹지와외의 거리가 '0.0m'인 지점에서의 평균화된 기온을 녹지기온( $T_{SGP}$ )으로 한다. 녹지와외의 거리가 10m 이상으로서 일사에 노출되었거나, 건물그늘 등 비녹지로 구성된 지점의 기온을 비녹지기온( $T_{NGP}$ )으로 정의한다. 여기에는 양지기온( $T_{SP}$ )과 건물음지기온( $T_{BSP}$ )이 포함된다. 소규모 녹지의 블록기온저감 효과는 블록 내 비녹지기온과 녹지기온의 차이( $\Delta T_{NGP-SGP}$ )를 의미한다. 비녹지일수록 기온이 최고조가 되므로, 비녹지기온 중 양지기온( $T_{SP}$ )은 최고기온( $T_{HP}$ )과 동일하게 나타나기도 한다.

## 2. 연구대상지

본 연구의 공간적 범위는 서울시 중구와 종로구에 위치하며, 대규모 녹지에서 500m 이상 이격되어 있으며(권영아, 2008), 상업 및 업무지역으로서 인공피복률이 높아 고온역을 형성함(조성모 등, 2009)과 동시에 소규모 녹지가 분포하고 있는 6개의 블록이며, 이들 블록은 3개의 블록그룹(A, B, C)에 속하며, 각 그룹별로 실험구( $A_E, B_E, C_E$ )와 대조구( $A_G, B_G, C_G$ )가 포함된다. 블록 AE는 중구 서소문동 소재로 서울시청 서소문별관 등이 위치하며, 북쪽으로 덕수궁, 남쪽으로 서소문로와 면한 블록이다. 블록 AC는 중구 남대문로 연세재단 세브란스빌딩이 위치하며, 동쪽에는 통일로, 북쪽은 세종대로, 서쪽은 소월로, 남쪽은 퇴계로와 면해 있다. 블록 BE는 중구 남대문로 서울스퀘어, 힐튼호텔 등이 위치하며, 동쪽에 서울역사, 남측면은 후암로, 서측면은 소월로2길과 면해 있다. 블록 BC는 중구 북창동과 한국은행 본관이 위치하며, 동측면은 세종대로, 남측면은 남대문로, 서측면은 소공로, 북측면은 세종대로18길로 구획된다. 블록 CE는 종로구 수송동 소재 조계사, 일본국 대사관 등이 위치하며, 북측면은 율곡로, 남측면은 삼봉로, 서측면은 우정국로, 동측면은 종로5길로 구획된다. 블록 CC는 중구 흥인동 소재 충무아트홀이 위치하며, 남측엔 퇴계로, 동측엔 을지로45길, 북측엔 마장로, 서측엔 다산로로 구획된다.

## 3. 연구 방법

본 연구는 대상지 선정 및 실제 공간정보 주제도의 구축, 블록 내 지점별 기온측정 및 공간화, 소규모 녹지의 기온저감효과를 통계적으로 분석하는 과정으로 진행되었다.

기온은 여름인 8월과 9월의 맑은 날 주간에 지상 1.5m에서 이동식 로거로 측정되었다. 1회 측정에 1~1.5시간이 걸렸고, 이를 3일 동안 반복하였다. 1일 측정에서 두 명의 인력이 실험구와 대조구 블록을 동시에 도보로 3회 이상 순환이동하였다.

ArcGIS 9.3(ESRI Inc., 2008)을 활용하여 수집된 데이터를

각 지점별 기온으로 공간화하고, 측정일과 시간에 따른 일조분석(오규식과 정승현, 2011)을 시행하였다.

소규모 녹지의 기온저감 효과분석을 위해 실험구와 대조구 간의 블록평균기온 차이( $\Delta T_{Con-Exp}$ )는 SPSS 11.0(SPSS Inc., 2001)의  $t$ -test로 검정하였다. 블록 내에서 녹지와 비녹지인 양지, 건물음지 분류군 간의 기온 차이는 SPSS 11.0(SPSS Inc., 2001)의 Kruskal-Wallis로 검정하였다. 블록 내에서 최고기온( $T_{HP}$ )과 최저기온( $T_{LP}$ )이 비녹지 기온( $T_{NGP}$ )에 혹은 녹지기온( $T_{SGP}$ )에 속하는지 결정하기 위하여 지점별 기온에 주변 기온영향요소가 미치는 영향을 분석하였다.

6개 블록 내 소규모 녹지의 유형은 녹지 외형에 따라 면형, 선형으로 녹지 구조에 따라 단일식재형, 혼합식재형 등 4가지로 구분하였다. 소규모 녹지의 규모분석을 위해서 블록에서 추출된 녹지들의 면적과 체적을 산출하였다(油井正昭, 1968). 블록단위에서 소규모 녹지의 기온저감효과( $\Delta T_{NGP-SGP}$ )는 블록 내 비녹지 기온에서 녹지기온을 뺀 값으로 하였다.  $\Delta T_{NGP-SGP}$ 를 종속변수로 하고, 소규모 녹지 유형별 면적과 체적을 각각의 독립변수로 하는 단순회귀분석을 SPSS 11.0(SPSS Inc., 2001)을 활용하여 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 블록단위에서 녹지에 의한 기온저감 효과

본 연구의 결과를 전체적으로 보았을 때, 블록 6개 전체에서는 실험구가 대조구보다 평균 1.0°C, 최고 2.2°C 정도로 유의성 있게 낮았고, 블록 내에서는 비녹지인 양지의 기온보다 녹지기온이 최고 4.2°C 정도로 유의성 있게 낮았으므로 블록단위에서 소규모 녹지가 기온저감 효과를 갖는 것으로 평가할 수 있었다.

구체적인 연구 결과는 첫째로, 블록면적이 50,000m<sup>2</sup>이며, 녹지율이 실험구가 14.5%, 대조구가 2.4%인 블록그룹 A에서 최고 0.8°C 정도 실험구가 낮았다. 블록면적이 98,000m<sup>2</sup>이며, 녹지율이 실험구가 38%, 대조구가 6.4%였던 블록그룹 B에서 최고 1.9°C 실험구가 낮았다. 블록면적이 110,000m<sup>2</sup>이며, 녹지율이 실험구가 19.5%, 대조구가 9%인 블록그룹 C에서 최고 2.2°C로 실험구의 평균기온이 대조구보다 항상 낮았다. 이에 블록의 기온을 2°C 정도 저하시키기 위해서는 녹지율이 20% 정도가 확보될 필요가 있음을 제시할 수 있었다.

둘째로, 블록별로 양지기온( $T_{SP}$ ), 건물음지기온( $T_{BSP}$ ), 녹지기온( $T_{SGP}$ )에 대한 평균값을 가지고, 분류군과 블록 내 최고기온과의 차이를 검정한 결과, 블록그룹 B, C에서는 99%, A에서는 90% 유의수준에서 블록최고기온보다 0.4~2.9°C 이상 녹지기온이 낮았다. 녹지기온은 건물음지기온보다 대체로 0.5°C 정

도 낮으며, 양지기온보다는 최고 1.5°C 낮게 나타났다. 이에 소규모 녹지를 건물음지가 생기지 않는 양지에 조성하게 되면 건물음지 구간과 함께 기온하강의 효과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

셋째로, 블록 내 최고기온을 나타내는 지점( $T_{HP}$ )은 대체로 측정지점 주변이 인공피복면으로 이루어진 양지( $T_{SP}$ )이며, 녹지나 건물그늘 등의 기온저감 요소가 없는 비녹지의 경향을 보였다. 최저기온을 나타내는 지점( $T_{LP}$ )은 일정규모 이상의 녹지와 건물그늘이 측정지점과 가깝게 위치하는 경향을 보였다. 소규모 녹지의 블록단위 기온저감 효과( $\Delta T_{NGP-SCP}$ )는 최고기온지점보다 0.8~4.0°C 낮은 것으로 나타났다.

## 2. 블록단위에서 기온저감에 효과가 있는 녹지유형과 규모

6개 블록에서 추출된 소규모 녹지지점은 총 45개소로 나타났으며, 면형은 16개소, 선형은 29개소, 단일식재형은 30개소, 혼합식재형은 15개소였다. 단순 선형 회귀분석을 한 결과, 면형과 혼합식재형 녹지가 99% 이상의 유의확률에 수정된  $R^2$ 은 90% 이상으로 높았다. 이들 유형은 면적과 체적이 증가하면서 블록 내에서의 기온저감의 효과( $\Delta T_{NGP-SCP}$ )도 증가하였다. 분석된 녹지의 기온저감효과는 0.4~4.2°C의 범위를 가지며, 분석된 규모의 범위는 면적이 100~2,000m<sup>2</sup>, 체적이 1,000~10,000m<sup>3</sup>인 것으로 나타났다. 블록 내에서 비녹지인 양지보다 적어도 1°C 이상 낮은 소규모 녹지를 조성하려면 적어도 면형이나 혼합식재지 유형을 띠어야 하고, 녹지면적은 300m<sup>2</sup> 이상 그리고 녹지체적은 2,300m<sup>3</sup> 이상이 요구되는 것으로 나타났다. 2°C 이상 낮게 조성하려면, 면적이 650m<sup>2</sup> 이상, 체적은 5,000m<sup>3</sup> 이상이 요구되는 것으로 나타났다.

## IV. 결론

결론적으로 본 연구에서는 도시열섬의 세부적인 파악과 실용적인 열섬대책을 위해서는 미시적인 기후를 나타내는 블록과 같은 공간단위 설정이 요구되며, 도시의 작은 공간일지라도 소규모 녹지가 규모나 유형을 고려하여 효과적으로 배치하게 되면 기온저감 효과가 유효한 것으로 나타났다. 열섬저감을 위해서 고려해야 할 소규모 녹지의 계획적인 요소들을 제시하였으므로 향후 관련 정책과 계획수립의 근거를 마련하였다는 점에서 본 연구는 의의가 있다.

향후 연구를 통해서 도시 내 다른 패턴의 공간구조에서 녹지가 열섬저감에 미치는 영향을 세부적으로 파악하고, 관련 측정 기술들이 함께 접목되어 데이터가 축적된다면 지구단위와 같은 작은 규모의 공간에 대한 열섬대책계획의 예측에 활용할 수 있

을 것이다.

## 참고문헌

1. 권영상(2004) Landsat ETM+영상자료를 이용한 하천의 도시기온 저감효과 측정에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
2. 권영아(2002) 서울의 도심녹지가 주변기온에 미치는 영향. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
3. 김수봉, 나정화, 정응호(2006) 친환경적 도시계획 : 도시열섬연구. 서울: 문운당.
4. 김해동, 한상주 역(2012) 도시열섬 대책과 기술. 모리야마 마사카즈 외. 서울: 푸른길.
5. 명수정(2009) 도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구. 환경정책평가연구원 기초연구 2009-08.
6. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화효과: 대구광역시의 사례 연구. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
7. 서응철(2007) 도시열섬 완화를 위한 제도개선. 한국생태환경건축학회 논문집 7(2): 17-23.
8. 아주대학교 건강증진사업단(2008) 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발에 관한 연구. 보건복지가족부 건강증진 연구사업(정책 07-46).
9. 오규식, 정승현(2011) GIS와 도시분석. 파주: 한울.
10. 윤민호(2009) 원격탐사를 활용한 녹지가 도시기온에 미치는 영향 연구: 서울시를 대상으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
11. 윤용한(2004) 도시녹지가 미기상조절에 미치는 실증적 연구. Korean Journal of Environmental Biology 22(2): 279-289.
12. 조성모, 윤용한, 류을릴, 박봉주, 김원태(2009) 도시 내 용도지역의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향. 한국환경과학회지 18(2): 169-176.
13. 조현길, 안태원(2009) 도시기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영향. 한국조경학회지 37(3): 54-80.
14. 진병화, 변희룡(2000) 녹지대 분포가 도시지역의 소기후에 미치는 영향. 한국환경과학회지 9(2): 101-108.
15. 環境省(2009) ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書.
16. 油井正昭(1968) 造園植栽地の綠量に關する基礎的研究. 千葉大學園芸學部學術報告.
17. Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson and J. Wieringa(2003) Guidance on Metadata and Homogenization. World Meteorological Organization: Geneva. WMO Technical Document No. 1186.
18. Armson, D., P. Stringer and A. R. Ennos(2012) The effect of tree shade and grass on surface and globe temperature in an urban area. Urban Forestry & Urban Greening 11: 245-255.
19. Bowler, Diana E., Lisette Buyung-Ali, Teri M. Knight and Andrew S. Pullin(2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning 97: 147-155.
20. Ca, V. T., T. Asaeda and E. M. Abu(1998) Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. Energy and Buildings 29: 83-92.
21. Givoni, B.(1991) Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. Atmospheric Environment 25B(3): 289-299.
22. Grimmond, M. Roth, T. R. Oke, Y. C. Au, M. Best, R. Betts, G. Carmichael, H. Cleugh, W. Dabberdt, R. Emmanuel, E. Freitas, K. Fortuniak, S. Hannal, P. Klein, L. S. Kalkstein, C. H. Liu, A. Nickson, D. Pearlmutter, D. Sailor and J. Voogt(2010) Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities. Procedia Environmental Sciences 1: 247-274.
23. Memon, R. A., Dennis Y. C. Leung, and Liu Chunho(2008) A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. Journal of Environment Sciences 20: 120-128.
24. Oke, T. R.(2006) Initial guidance to obtain representative meteoro-

- logical observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Method Report No. 81.
25. Oke, T. R.(1987) *Boundary Layer Climates*(2nd). Methuen: London.
  26. Oke, T. R.(1988) Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings* 11: 103-113.
  27. Pont, M. B. and Per Haupt(2010) *Spacematrix: Space, Density and Urban Form*. NAI Publishers: Rotterdam.
  28. Souch, C. A. and C. Souch(1993) The effect of trees on summertime below canopy urban climates: A case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboriculture* 19(5): 303-312.
  29. Stewart, I. D. and T. R. Oke(2009) Newly developed 'Thermal Climate Zones' for defining and measuring heat island magnitude in the canopy layer. Reprints, T. R Oke Symposium and Eight Symposium on Urban Environment. January 11-15, Phoenix, AZ.
  30. Stewart, I. D.(2011) A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology* 31: 200-217.
  31. Streiling, S. and A. Matzarakis(2003) Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study. *Journal of Arboriculture* 29(6): 309-316.
  32. Taha, H. H. Akbari, and A. Rosenfeld(1991) Heat island and oasis effects of vegetative canopies: Micro-meteorological field-measurements. *Theoretical and Applied Climatology* 44: 123-138.