

# 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능

조현길\* · 안태원\*\*

\* 강원대학교 건축·조경학부 · \*\* 강원대학교 대학원

## Function of Microclimate Amelioration by Urban Greenspace

Jo, Hyun-Kil\* · Ahn, Tae-Won\*\*

\* Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University

\*\* Graduate School, Kangwon National University

### ABSTRACT

This study measured transpiration rates of urban trees and albedos of urban surfaces, and examined the function of microclimate amelioration by urban greenspace. Transpiration rates of trees were highest in July and August of growing months. Transpiration per unit leaf area for the two months was 300-350g/m<sup>2</sup>/h for *Platanus occidentalis*, 210-270g/m<sup>2</sup>/h for *Ginkgo biloba* and *Zelkova serrata*, and 130-140g/m<sup>2</sup>/h for *Acer palmatum*.

Surface albedos were 0.09 for asphalt paving and 0.68 for white wall, which reveals that light-colored surfaces are better than dark-colored ones to lower the heat build-up. Due to lack of evapotranspiration, concrete surfaces were, at a midafternoon maximum, 8°C hotter than grass ones, though the albedo of concrete paving was higher than that of grass and trees.

Summer air temperatures at places with 12% and 22% cover of woody plants were, respectively, 0.6°C and 1.4°C cooler than a place with no vegetation. To mitigate the impacts of urban heat islands, required are minimization of hard surfaces, light-coloring for building surfaces, and greenspace enlargement including more plantings.

*Key Words* : urban heat island, transpiration, albedo, temperature, humidity

## I. 서론

도시에서의 여름철 온도는 열섬현상에 기인하여 교외의 농촌이나 자연지에서보다 더욱 높다. 이 현상은 무더운 여름철 시민의 더위 스트레스를 가중시키고, 냉방에너지 소비의 증가를 초래하여 대기오염물질의 배출을 상승시킨다. Ackerman(1985)에 의하면, 미국 Chicago시의 온도는 주변 농촌지역보다 여름철 맑은 날 오후에 3°C 더 높았고, 흐리고 바람부는 시간대에는 1°C 더 높았다. Akbari *et al.*(1992b)은 미국 St. Louis 도심의 온도는 교외지역보다 1-4.5°C 더 높았으며, 온도 1°C 상승은 미국 전체의 최대냉방전력 요구를 약 4% 증가시킴을 보고하였다. 윤희환 등(1998)은 일본 동경내 특정공원의 녹지가 바람 하류측 인근 시가지의 기온저하에 미치는 효과를 제시한 바 있다.

도시열섬현상은 토지피복상태, 차량 및 공장으로부터의 열방출, 기상조건, 대기오염 등 여러 요소들의 상호작용의 결과로 나타난다(Akbari *et al.*, 1992b; Givoni, 1998). 도시내 수목, 초본 및 토양으로 구성되는 도시녹지는 증발산의 역할을 통해, 또한 도시수목은 부가적으로 인공구조물에 도달하는 태양복사를 차단하거나 흡수하는 기능을 통해 대기온도를 낮춘다. 그러나, 도심에서는 식생과 토양대신 콘크리트 건물 및 아스팔트 포장의 불투수면이 우점한다. 알베도(albedo)가 낮은 인공구조물은 주간엔 복사열을 흡수하고 야간에 서서히 그것을 방출하여 야간온도를 높인다. 불규칙한 스카이라인의 고층건물 밀집은 통풍을 제한하고, 대기중 오염물질의 운집은 열을 가두어 도시내의 열축적에 일조한다.

상기한 바와 같이, 도시녹지는 여름철 열섬현상을 제어하여 쾌적한 도시생활환경의 유지에 기여하지만, 국내에서 도시녹지의 그 역할을 연구한 관련 사례는 드문 것으로 판단된다. 특히, 도시내 온도 및 에너지이용에 영향을 미치는 도시수목의 증산기능이나 표면재료의 알베도에 대한 실측 연구는 더욱 미흡하다. 본 연구의 목적은 도시수목의 증산량 및 토지피복재료의 알베도를 측정하고, 도시녹지에 의한 온도, 습도 등 미기후개선의 기능을 구명하는 것이었다. 미기후는 특정장소 또는 구역의 광선, 바람, 안개, 온도, 습도 등 여러 인자를 포함하지만, 본 연구에서는 도시열섬현상과 관련된 알

베도 및 온도의 연구에 중점을 두었다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 도시수목의 증산량 측정

월별 증산량을 측정하기 위하여, 국내 여러 도시의 가로, 공공용지, 다세대주택단지 및 공원에 흔히 식재되는 조경수종들(이종석 등, 1979; 조현길 등, 1998a; 1998b)인 은행나무(*Ginkgo biloba*), 플라타너스(*Platanus occidentalis*), 느티나무(*Zelkova serrata*) 및 단풍나무(*Acer palmatum*)를 춘천시의 도심에서 선정하였다. 수종별 측정대상수목 및 장소는 연중 정기적 측정의 접근 용이성을 감안하여, 은행나무와 플라타너스는 가로상에서, 느티나무와 단풍나무는 공공건물 주변 식재대에서 흉고직경 15-20cm의 정상적인 생장을 보이는 수목을 선택하였다.

수종별 잎들에 의한 단위시간 및 단위엽면적당 증산량을 운반형 적외선개스분석기(ADC의 LCA-4)를 이용하여 현지에서 측정하였다. 이 측정은 수목의 생장기인 5월부터 10월까지(1997년) 6개월간 매월 중순에, 해당일 오전 8시경부터 오후 11시경까지 3시간 간격으로 6회에 걸쳐 실시되었다. 엽시료는 측정월에 각 수종의 평균적인 엽령에 해당되고, 측정시간대에 평균적인 광량을 받고 있다고 판단된 것을 대상으로 수관 중앙부에서 채취되었다. 이때, 엽시료의 건조 가능성을 피하기 위하여 시료가 부착된 가지를 충분한 길이로 절단하였다. 매 측정시마다 3개의 시료를 채취하여 3반복으로 증산량을 측정하였으며, 각 반복의 측정시간길이는 25-30초이었다. 적외선개스분석기의 센서 연결선이 수관 중앙부에 연장될 수 있을 만큼 수고가 낮은 느티나무와 단풍나무는, 가지들을 절취하지 않은 채 자연상태하에서 잎의 증산량을 측정하였다.

### 2. 토지피복유형별 알베도 측정

잔디, 나지(운동장), 아스팔트, 콘크리트, 수목 등 토지피복재료와 적벽돌, 백색콘크리트 등 건물벽면의 유형별 알베도를 Pyranometer(LI-COR의 LI-200SA)로 측정하였다. 수목의 경우, 도시 주거지에

흔히 식재되는(조현길 등, 1998a: 1998b) 주목 (*Taxus cuspidata*)과 목련(*Magnolia kobus*)의 알베도를 대표적으로 측정하여, 침엽수와 활엽수간 차이를 비교하였다. 이 측정은 여름철(1999년 8월 초순) 맑은 날 오전 9시경, 정오 및 오후 3시경의 3회(매회 5반복)에 걸쳐 실시되었다. 이때, 잔디, 나지, 아스팔트 및 콘크리트 표면의 온도도 함께 측정하였다.

### 3. 녹지면적과 온습도 차이 측정

춘천시를 대상으로 축척 1/15,000의 흑백항공사진 상에서 행정동별 토지피복유형을 판독하고 수목피도를 포함하는 녹지면적의 대소에 따라 2개의 주거지구를 선정하였다. 지구별 전체의 녹지면적을 대변하는 중앙의 특정지점을 선정하여 직경 30m의 원을 그린 후, 현지답사를 통해 원내에 접한 모든 주택의 수목피도 및 토지피복유형을 실측하였다. 각 지점의 지상 3m에 소형 백엽상을 설치하고 자기온습도계(HOBO의 H08-032-02)를 이용하여, 6월에서 8월까지(1999년) 3개월간 매일 초순, 중순 및 하순의 하루 24시간 동안 대기온도 및 습도를 측정하였다. 또한, 직경 30m의 원경내에 수목이 부재하는 도심의 한 장소를 추가 선정하여 온습도를 측정하고, 수목피도의 차이가 미기후에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 도시수목의 증산량

수목의 단위엽면적 및 단위시간당 증산량은 Table 1 및 Figure 1과 같이 수종, 계절, 시간에 따라 차이가 있었다. 계절별로는 7, 8월의 여름에, 그리고 시간별로는 대체로 오전 11시경 혹은 오후 2시경에 가장 많은 증산량을 나타냈다. 수종별로는 모든 계절 및 대부분의 측정시간대에 걸쳐 플라타너스의 증산능이 가장 높았고 단풍나무의 경우가 가장 낮았다. 즉, 7, 8월의 단위엽면적 및 단위시간당 평균 증산량은 플라타너스 300-350g/m<sup>2</sup>/h, 은행나무 및 느티나무 210-270g/m<sup>2</sup>/h, 단풍나무 130-140g/m<sup>2</sup>/h이었다. 야간의 증산작용은 거의 없는 것으로 분석되었다. 기존 연

구결과(Kramer and Kozlowski, 1979)에 의하면, 백합나무(*Liriodendron tulipifera*)와 루브라참나무(*Quercus rubra*) 유묘의 8월 하순 증산량은 각각 약 80g/m<sup>2</sup>/h, 100g/m<sup>2</sup>/h이었다. 본 측정대상 수종들의 증산량은 백합나무나 루브라참나무 유묘보다 더 많은 것으로 나타났는데, 이 차이는 수종별 생리적 특성, 측정조건 등 이외에도 도심의 상대적으로 높은 온도의 영향에 기인할 수 있다.

Table 1. Monthly transpiration rates per unit leaf area for each species of urban trees during growing season(g/m<sup>2</sup>/h)

Species	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
<i>Acer palmatum</i>	83	101	132	136	73	38
<i>Ginkgo biloba</i>	64	184	249	251	20	41
<i>Platanus occidentalis</i>	116	247	347	298	54	46
<i>Zelkova serrata</i>	115	188	212	266	88	68

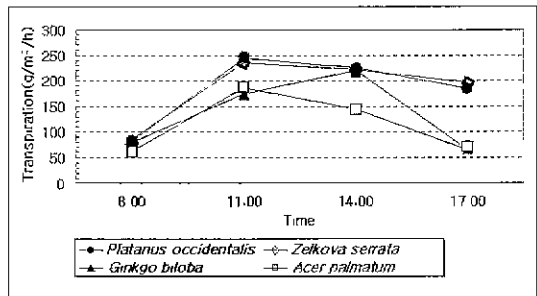


Figure 1. Hourly changes of transpiration per unit leaf area for each species of urban trees during growing season

측정대상 수목의 총엽면적에 단위엽면적당 증산량과 일장을 곱하여 단목(單木)의 8월 하루 증산량을 산정하면, 플라타너스가 230kg, 단풍나무가 250kg이었다. 플라타너스 단목의 증산량이 단풍나무의 경우보다 적은 이유는 측정대상의 플라타너스가 가로수로서, 연간 반복되는 전정의 영향으로(조현길과 조동하, 1998) 수관체적과 엽면적이 상대적으로 적었기 때문이다. Kozlowski and Pallardy(1997)는 수목의 하루 증산량이 측정대상 수목보다 더 많은 범위인 200-400kg에 달한다고 보고하였다. 수목의 증산은 顯熱(sensible heat)을 潛熱(latent heat)로 바꾸어 주변 온도를 감소시킨다. 물 1g이 수증기로 증발할 때 약 600cal의

열을 필요로 한다(Herrington, 1984). 플라타너스나 단풍나무 한 그루의 8월 하루 증산량은 5,100kcal/h (15평형) 냉방능력을 가진 냉방기 2대를 약 13시간 가동하는 효과와 같았다.

### 2. 녹지와 인공구조물의 알베도

식생, 나지 및 인공구조물을 포함하는 표면재료의 알베도는 Figure 2와 같이 흑색의 아스팔트 포장인 0.09로서 가장 낮았고, 백색 벽면이 0.68로서 가장 높았다. Akbari *et al.*(1992a) 역시 아스팔트의 알베도는 0.05-0.20, 백색 페인트의 경우는 0.50-0.90임을 제시한 바 있다. 이러한 결과는 인공구조물의 열축적 및 방출에 의한 열섬현상을 완화하기 위해 밝은 색 계통의 색채가 바람직함을 시사한다. 수목은 잔디 및 나지보다, 그리고 주목은 목련보다 더 많은 태양복사를 흡수하는 것으로 나타났다.

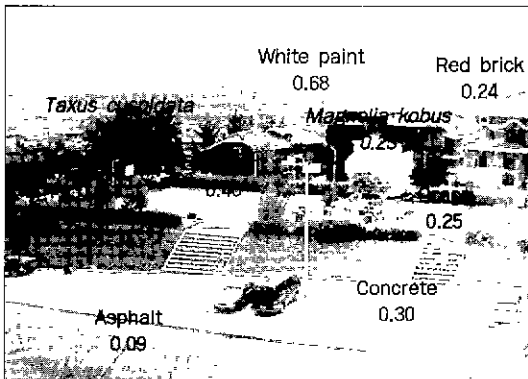


Figure 2 Albedos of various urban surfaces

일부 인공구조물(예를 들면, 콘크리트 포장)은 식생보다 태양복사를 더 많이 반사하지만, 식생이 지나는 증발산의 역할이 부재하여 하루 중 표면온도가 지속적으로 높았다. Figure 3과 같이, 콘크리트 포장의 온도는 잔디면보다 오전과 정오에 약 6°C 더 높았고, 오후에는 그 차이가 더 커져서 8°C 높았다. 나지의 온도는 잔디면보다 측정시간 중 최대 3.5°C, 아스팔트의 온도는 콘크리트보다 최대 7°C 각각 더 높았다.

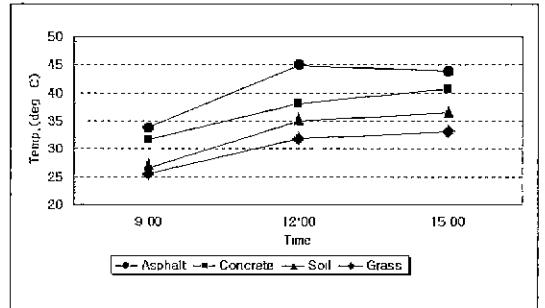


Figure 3. Difference in surface temperatures among land cover types in the early part of August

### 3. 녹지면적에 따른 온습도 차이

Table 2는 수목피도와 투수성 면적(초본 및 나지)의 차이가 여름철 온습도에 미치는 효과를 보여 준다. 수목피도가 12%이고 투수성 면적이 13%인 장소의 온도는 수목이 부재하는 장소보다 0.6°C 더 낮았다. 수목피도가 22%이고 투수성 면적이 44%인 장소는 수목부재 장소보다 온도는 1.4°C 더 낮았고 습도는 7% 더 높았다. 기존 연구들(Huang *et al.*, 1987; Profous, 1992)도 본 결과와 유사하게 수목피도 10% 증가는 여름철 온도를 0.5-1°C 감소시킴을 보고한 바 있다.

Table 2 Effects of difference in woody plant cover and pervious area on mean air temperature and humidity for summer season(Jun~Aug)

Cover (%)	Pervious (%)	Temperature (°C)	Humidity (%)
0.0	0.0	27.3	63
12.3	12.8	26.7	65
22.0	44.1	25.9	70

녹지면적의 차이에 따른 하루 중 시간별 온도변화를 분석하면(Figure 4 참조), 수목피도가 높고 투수성 면적이 클수록 온도가 하루 종일 상대적으로 더 낮았고, 그 온도차는 증발산의 효과로 오후 2-5시경에 타 시간대에 비해 약간 더 컸다. 야간에도 녹지면적의 분포가 큰 장소에서 계속 온도가 낮은 이유는 주간에 흡수한 복사열을 야간에 방출하는 인공구조물의 영향이 적기 때문이다.

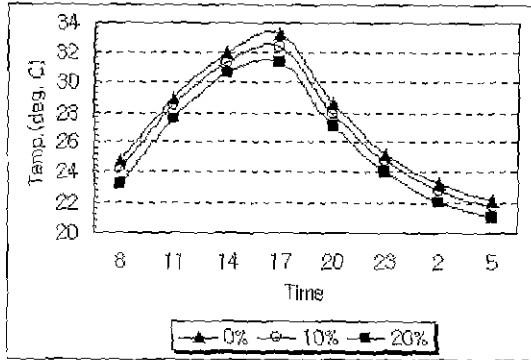


Figure 4. Hourly changes of summer air temperatures by different cover of woody plants

춘천시에서 여름철(1999년) 평균 풍속은 약 1.3m/s이고 풍향은 남서 또는 북풍이었다(춘천기상대의 사신, 1999). 본 연구에서는 주거지구의 온습도 측정시 그에 영향할 수 있는 풍향과 풍속을 측정하지는 않았다. 그러나, 풍향에 관계없이 지구별 녹지의 영향을 반영하도록 총면적이 1-3km<sup>2</sup>인 지구의 중앙부위에서 온습도를 측정하였다. 측정계절의 평균 풍속도 그다지 높지 않아 측정결과에 큰 문제가 없을 것으로 판단되나, 풍향 및 풍속의 측정을 포함하는 후속연구를 통해 비교 검토될 필요가 있다.

상기한 바와 같이, 도시녹지는 불투수성 표면이 우점하는 도시에서 무더운 여름철 현열을 저감하고 온도를 낮추는 미기후개선의 기능을 담당하였다. 녹지에 의한 습도의 증가는 여름 한 계절 바람직하지 않을 수 있으나, 건조한 봄과 가을철의 장기간 동안 쾌적성 유지에 기여할 것이다. 도시내 불투수면의 최소화, 밝은 색 계통의 건물표면 처리, 수목식재를 포함한 녹지확충 전략의 마련을 통해 도시열섬현상을 완화해야 할 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구는 도시수목의 증산량 및 토지피복재료의 알베도를 측정하고, 도시녹지에 의한 온도, 습도 등 미기후개선의 기능을 구명하였다. 도시수목의 증산량은 생장기간 중 7, 8월의 여름에 가장 많았다. 그 기간내 단위면적 및 단위시간당 증산량은 플라타너스 300-350g/m<sup>2</sup>/h, 은행나무 및 느티나무 210-270g/m<sup>2</sup>/h, 단풍나무 130-140g/m<sup>2</sup>/h이었다. 플라타너스나 단풍

나무 한 그루의 8월 하루 증산량은 5,100kcal/h(15평형) 냉방능력을 가진 냉방기 2대를 약 13시간 가동하는 효과와 같았다.

표면재료의 알베도는 아스팔트 포장인 0.09, 백색 벽면이 0.68로서, 흑색보다는 밝은 색 계통의 색채가 도시환경내 열축적의 감소차원에서 더 바람직하였다. 콘크리트 포장의 알베도는 잔디 및 수목보다 높았으나, 식생이 지나는 증발산의 역할이 부재하여 하루 중 표면 온도가 지속적으로 높았다. 콘크리트 포장의 온도는 잔디면보다 주간의 오후에 최대 8°C 더 높았다. 수목피도 12% 및 22%인 장소의 여름철 온도는 식생부재의 장소보다 각각 0.6°C, 1.4°C 더 낮았다.

도시열섬현상을 완화하기 위해 도시내 불투수면의 최소화, 밝은 색 계통의 건물표면 처리, 수목식재를 포함한 녹지확충이 요구된다. 본 연구에서 단목의 하루 증산량 산정은 수관광량 및 엽령 측면에서 평균적 측정치에 근거하였다. 향후, 수관 내외부의 다양한 광량조건을 고려한 수목증산의 구체적 계량화를 통해 비교 검토될 필요가 있다. 또한, 침엽수의 증산, 여러 표면재료의 복합적 영향에 따른 알베도, 바람과 수목식재 및 건물배치간의 관계 등에 관한 실측연구를 진행하여, 미기후개선 및 에너지절약상 적절한 도시조경계획의 지침을 마련해야 할 것이다.

#### 인용문헌

1. 윤용환, 김은일, 송태갑(1998) 공원녹지가 기온 저하에 미치는 영향. 한국조경학회지 26(2): 259-268.
2. 이종석, 김일중, 심우경, 이석래(1979) 우리나라의 조경식물 이용경향에 관한 연구. 한국조경학회지 13: 1-11.
3. 조현길, 이경계, 권전오(1998a) 서울시의 토지이용 및 녹지구조. 환경생태학회지 12(1): 30-41.
4. 조현길, 이기의, 윤영환, 서옥희(1998b) 강원도 일부 도시들의 토지이용 및 녹지구조. 한국조경학회지 25(4): 171-183.
5. 조현길, 조동하(1998) 도시 주요조경수종의 연간 CO<sub>2</sub> 흡수. 한국조경학회지 26(2): 38-53.
6. Ackerman, B.(1985) Temporal march of the Chicago heat island. Journal of Climate and Applied Meteorology 24(6): 547-554.
7. Akbari, H., P. Martien, A. Rosenfeld(1992a) Using light-colored surfaces to cool our communities. In H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds., Cooling Our Communities. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, pp. 43-52.

8. Akbari, H., S. Davis, J. Huang, P. Liu, and H. Taha(1992b) The urban heat island causes and impacts In H Akbari, S Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds, *Cooling Our Communities* Washington, D C : U S. Government Printing Office, pp 5-26
9. Givoni, B.(1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design* New York: Van Nostrand Reinhold.
10. Herrington, L. P (1984) Climatic variables In E. G. McPherson, ed., *Energy-Conserving Site Design*, Washington, D C.. ASLA pp 59-77
11. Huang, J., H. Akbari, H. Taha, and A. Rosenfeld(1987) The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings, *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26: 1103-1116.
12. Kozlowski, T. T. and S. G. Pallardy(1997) *Physiology of Woody Plants*. New York: Academic Press
13. Kramer, P. J. and T. T. Kozlowski(1979) *Physiology of Woody Plants* New York: Academic Press.
14. Profous, G. V.(1992) Trees and urban forestry in Beijing, China *Journal of Arboriculture* 18: 145-153