

도시녹지의 기온 및 지온 완화효과에 관한 연구

이은엽* · 문석기** · 심상렬**

* 청주대학교 대학원 조경학과

** 청주대학교 이공대학 조경학과

A Study on the Effect of Air Temperature and Ground Temperature Mitigation from Several Arrangements of Urban Green

Lee, Eun-Yeob* · Moon, Seok-Ki** · Shim, Sang-Ryul**

* Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Chongju University

** Dept. of Landscape Architecture, Chongju University

ABSTRACT

To study the temperature mitigation effects from urban green, several arrangements of green spaces were selected and air/ground temperatures were measured in Chongju city area. The results of this study can be summarized as follows;

1. It was found that the natural ground materials effect more affirmatively on the air and ground temperature than artificial ones do. The best results were recorded from the grass surface presenting highest mitigation effect and lowest daily temperature deviation.

2. Temperature mitigation effects of Tree-Shade on ground are different from season, ground material, and crown-size. The most effects were found in interlocking block(summer), the least in grass surface(spring) among recorded 2 seasons and 3 materials. In case of air temperature(to 1.5m height), the effects were more or less decreased in most cases.

3. From the survey, it was confirmed that the smaller urban greens(parks) can do its role of temperature mitigation as larger ones does. In case of this study, the effect was recorded about 2.3℃.

I. 서언

수목이나 지피식물은 외부 온도 조절에 깊이 관여하고, 그결과 녹지로 둘러싸인 지역은 대기온도의 상승이 억제된다는 것이 이미 밝혀졌으며, 이는 수목의 미기후 조절의 기능을 설명하는 것이다.

도시녹지의 기능중 지온 및 기온 완화 효과는 도시열섬 현상이 심각한 환경문제로 대두되고 있는 요즘 많은 사람들의 관심의 대상이 되고 있어, 도시의 경우 녹지의 미기후 조절 효과는 매우 중요한 의미를 갖게 된다. 이에 따라 외국의 기상학, 임학, 원예, 조경학 등의 분야에서 많은 연구 논문들이 발표되고 있는데, 안계복 등(1986)은 잔디의 초장 길이와 생육 상태에 따른 온도변화, 지표면 구성재료에 따른 일변화 그리고 자연관수의 효과에 대하여 연구하였으며, 삼림 내외의 기온 특성에 관한 연구로는 小橋, 神邊, 後藤 (1967), 김 등 (1977), 미국내무성 국립공원국 (1980), Kittredge(1984) 등이 있으며, 도시와 농촌과의 온도 차이에 관한 연구로는 Landsberg (1956), Vinker(1962), Hage(1972), Nkedirim Truch(1981) 등이 있다.

渡邊 와 丸田(1974)은 공원녹지가 주변시가지의 저온에 미치는 영향에 대한 연구결과 풍속이 6.5m/sec일 때 약 180m 까지 저온의 영향이 미친다고 하였으며, 녹지 면적율에 따라서도 차이가 있다고 밝혔다.

각 지표면 구성 재료별 표면온도에 대한 연구 (Steinhauser, 1959 ; Landsberg, 1970 ; Gary O. Robinette, 1977 ; 近藤, 鈴木, 1983)도 많이 이루어졌는데, 이들의 연구결과 지표면 구성재료중 특히, 녹지구성요소가 온도를 저감시키는데 효과가 크다는 것을 실증하였다.

녹지와 그 주변지역의 온도를 비교한 연구로는 A. Rernatzky(1978), Tsuyoshi Honjo (1986) 등이 있는데, 이들은 녹지의 영향으로 인해 그 주변지역의 온도가 감소된다고 밝혔다.

丹羽, 菅野(1943)는 맑은 날 수목그늘지의 저온화 효과를 연구하였고, Rudolf Geiger

(1959)는 수목의 수형별, 수종별 온도조절의 기능을 분석하였고, 大泉(1962)은 정원의 각 지역을 등온선분포도로 분석하여 연못이나 수목의 저온화 효과를 밝혔다.

한편 近藤 외(1983), 原苑芳信 외(1990) 등은 식생의 온도완화 효과를 쾌적성과 연관시켜 연구했으나, 어느정도의 효과를 가져오는가에 대한 구체적인 언급은 찾아볼 수 없었다.

지금까지 본 연구와 관련된 문헌들을 살펴볼 때, 외국의 경우는 도시녹지와 온도에 관련된 연구가 비교적 많은 것에 비해, 우리나라의 경우는 비교적 소홀히 다루어져 왔다고 할 수 있다. 또한 녹지의 저온화 효과는 여러 분야에 대해 이론적 적용 가능성이 높다는 점과, 지금까지의 연구가 수목 내지는 녹지의 구성형태에 따른 저온화 효과의 기초적 연구 위주로 식재 설계, 환경계획, 환경설계 등에 적용된 구체적 사례는 발견할 수 없었다.

따라서 본 연구는 이러한 연구 실정에 대하여 도시의 지온과 기온의 완화라는 환경조절적 측면에서의 녹지의 기능을 부각시켜 추후 보다 발전된 연구의 방향을 제시하고자, 1) 지표재료별 지온 및 기온차 측정, 2) 수목그늘지와 비그늘지의 지온 및 기온 완화효과, 3) 공원지역의 지온 및 기온 완화효과 등을 분석함으로써 도시의 환경특성에 적합한 합리적인 환경계획 및 환경설계 등의 기초 자료를 마련하고자 하였다.

II. 연구내용 및 연구방법

1. 측정 대상 지역

본 연구에서는 지표재료별(잔디면, 나지, 인터록킹블럭, 콘크리트면), 수목그늘지와 비그늘지(느티나무), 수관폭의 변화(메타세콰이어, 백합나무) 등에 따른 지온 및 기온의 변화를 청주대학교 교내에서 측정하였으며, 공원녹지와 공원주변과의 기온차는 청주시의 대표적 도시 근린공원인 상당공원과 중앙공원을 대상으로 측정하였다.

2. 측정방법

1) 측정기구

본 연구에서 각종의 온도 측정은 미국 Fluke사 제품의 51K/J THERMOMETER와 TES ELECTRONICAL ELECTRONIC사의 지표, 공간온도측정용 TES-1300DIGITAL THERMOMETER, 수은봉상온도계를 복합적으로 사용하였다.

기타의 기상 환경을 측정하기 위하여 일본 TOPCON사의 LUX METER(조도)와 습도계, DIGITAL 풍향, 풍속계를 사용하였다.

측정에 사용된 온도계는 표준온도계를 기준으로 하여 0~50℃의 범위에서 보정하였다.

2) 측정방법

본 연구에서 각종 온도의 측정은 봄철의 1995년 4월16일과 4월23일 양일간 실시되었으며, 여름철에는 1995년 8월8일, 8월10일, 8월14-17일, 8월21일, 8월22일, 8월23일, 8월28일의 9일간 실시되었다. 시간대별로 온도의 측정은 봄철에는 12~20시까지 매 2시간 간격으로 측정하였으며, 여름철에는 하루중 기온이 가장높은 12~14시까지 매 1시간마다 온도를 반복 측정하였다. 온도의 측정은 직사광선에 의한 영향을 피하기 위하여 온도계의 상단에 상판(1.0m×1.0m)을 덮어 측정하였다.

(1) 지표재료에 따른 지온 및 기온차 측정

지표재료에 따른 온도차를 조사하여 식생요소(잔디면)의 온도저감 효과를 밝히고자, 도시공간을 구성하고 있는 대표적인 지표재료인 잔디, 나지, 인터록킹블럭, 콘크리트 등을 측정재료로 선정하여, 여름철에는 오후 12시부터 14시까지의 온도를 매 2시간마다 측정하여 그 평균값을 data로 사용하였으며, 봄철에는 장기적 저온화 효과와 녹지 구성 형태에 따른 일 변화와 저온화 효과의 비교를 위해 12시부터 20시까지 매 2시간 간격으로 온도 변화의 폭을 측정하였다. 본 연구에서는 지표온도(지면:0m)와 기온(지상 1.5m)을 각각 구분하

여 측정하였는데 그 구체적인 이유는 다음과 같다.

① 지표온도는 지표를 구성하고 있는 재료에 따라 직사광에 대한 열흡수와 반사 그리고 지중으로 부터의 열전도가 서로 다르기 때문에 지표온도의 차가 나타나고 있으며, 이는 결국 도시기온의 차를 유발시키는 원인이 되는 것으로 판단되며,

② 기온(지상 1.5m)은 지표에서 발생하는 지표온도의 직접적 영향을 받고 있으며, 이 높이 이상에서는 심한 기온 차이가 없을 뿐만 아니라, 우리의 생활면에 있어서 가장 관계가 깊기 때문이다(김광식, 1973). 즉 이용자들이 직접 느낄 수 있는 체감온도와 깊게 관련되어지기 때문이다.

(2) 수목그늘지와 비그늘지의 지온 및 기온차 측정

수목그늘지에 의한 온도저감 효과를 밝히고자 지표재료(잔디그늘지, 나지그늘지, 인터록킹그늘지)에 따른 그늘지와 비그늘지의 온도를 여름철에는 12시~14시까지의 온도를, 봄철에는 일일간(12시~20시까지)의 온도를 측정하여 하계의 수목그늘지의 온도완화 효과를 밝히고자 하였다. 또한 수관폭에 따른 온도의 차를 측정하고자, 하계 기간 동안 메타세콰이어(나지)와 백합나무(인터록킹)를 선정하여 지표 1.5m의 기온을 측정하였는데, 이 두 수종의 선정 이유는 본 연구대상지의 대표적 침엽수와 활엽수로 그늘면적에 대한 온도차를 규명하는데 있어 수고는 동일하고 수관폭이 달라야 하는 측정조건에 부합되었기 때문이다. 특히 수목그늘지의 고도에 따른 수직온도 분포(0.5m-1.5m)를 측정하여 지표면과 공간과의 온도분포의 특성을 밝히고자 하였다. 선발된 수종은 주변의 영향을 최소화하기 위해 해당시간 수목그늘의 중앙점을 기준으로 좌측과 우측의 세점을 측정점으로하여 그 평균값을 data로 추출하여 분석하였다. 또한 측정된 온도의 결과치는 청주기상대의 관측온도와 상호비교 하였다.

(3) 공원지역과 주변지역과의 온도차 측정

도시녹지(공원녹지)의 온도저감 효과를 분석하고자 청주시의 대표적인 도시공원인 상당공원과 중앙공원을 연구대상으로 선정하였으며, 그 이유는 두 공원이 청주시의 중심부에 위치하고 있어, 도심 내의 대표적인 녹지대의 기능을 수행하고 있으며, 상당공원은 녹피율 55%, 포장율 45%, 중앙공원은 녹피율 62%, 포장율 38%의 서로 다른 공간구성 형태와 상당공원 주변은 아스팔트와 콘크리트 재료에 의해, 중앙공원 주변은 벽돌과 콘크리트 재료에 의해 덮여져 있어 공원과 주변과의 이질적인 지표면의 구성 재료에 의해 덮여져 있어 공원과 주변과의 이질적인 지표면의 구성으로 인해, 공원녹지의 온도완화 효과가 비교적 높게 부각되리라고 판단했기 때문이다. 온도의 측정은 하계 기간 동안(8월21일, 22일-->상당공원, 8월23일, 28일-->중앙공원)에 공원녹지와 주변도로, 주변 도심의 지상에서 1.5m되는 곳에 측정기구를 설치하여 공원지역의 기온저감 수준을 비교하고자 상당공원은 34개 지점, 중앙공원은 46개의 측정점을 선정하였고, 공원주변의 기온을 측정하고자 상당공원 주변은 6개의 지점을, 중앙공원의 주변은 8개의 측정점을 선정하여 등온선도를 작성하였다. 측정시간은 12시부터 14시까지로 한정했으며, 평균값을 data로 추출하여 분석하였다. 또한 측정된 온도의 결과치는 청주기상대의 관측온도와 상호비교 되었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 지표재료에 따른 지온 및 기온차 측정

1) 지표온도에 대한 영향

여름철의 지표온도는 잔디면<나지>(인터록킹블럭<콘크리트의 순서로 높게 나타났으며 봄철 또한 이 순서는 동일하였다. 즉 나지의 지표온도를 기준으로 할 때, 여름철의 잔디면은 1.6℃~2.3℃(12/14시)의 온도저감 효과를, 인터

록킹블럭은 2.8℃~2.6℃의 상승효과, 콘크리트는 4.9℃~ 4.3℃의 온도의 상승 효과를 나타내 지온이 가장 낮은 잔디면과 가장 높은 콘크리트면 사이에는 6.5℃~6.6℃의 현저한 차이가 나타남으로써 잔디면의 온도저감 효과를 확인할 수 있었다. (그림 1)

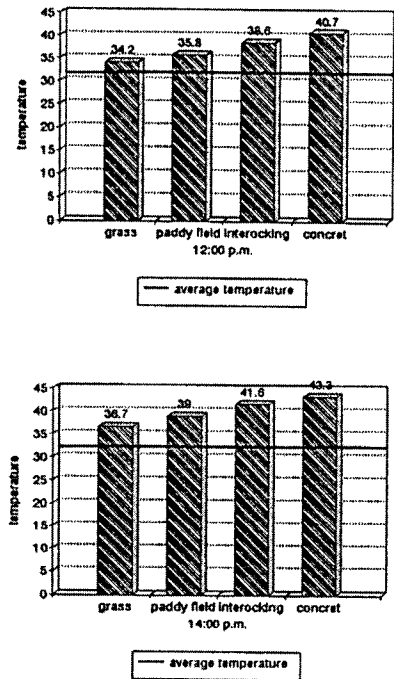


Figure 1. Differences of Ground Temperature between the Selected Surface Materials in Summer (Mean: from 12:00 p.m. to 14:00 p.m , August 8, 10, 14~17, 1995.)

봄철에는 나지를 기준으로 잔디면은 3.6℃~1.6℃(12시/14시)의 온도저감 효과를 미치는 것으로 확인되었으며, 인터록킹블럭과 콘크리트는 잔디와는 반대로 각각 0.9℃~1.0℃, 1.6℃~1.2℃의 상승 효과를 유발하는 것으로 확인되어 잔디면과 콘크리트면은 2.8℃~ 5.2℃의 큰 차이를 나타냄으로써 지표재료의 선정이 지온에 미치는 효과가 지대하다는 것을 확인할 수 있었다. (그림 2)

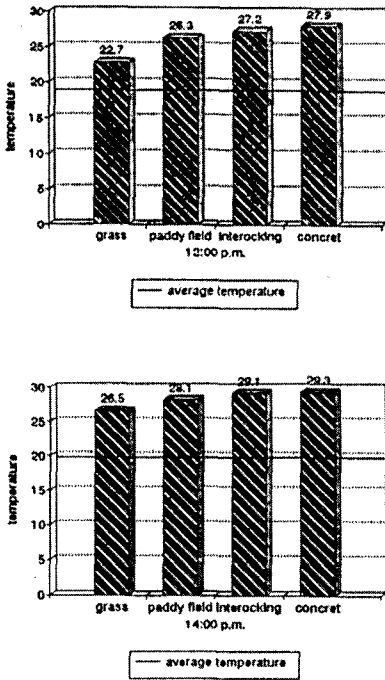


Figure 2. Differences of Ground Temperature between the Selected Surface Materials in Spring (Mean: from 12:00 p.m. to 14:00 p.m., April 8, 10, 14~17, 1995.)

따라서 지표온도를 측정하는 결과 여름철이 봄철보다는 현저한 온도차가 나타나고 있으므로 지표면 처리를 위한 재료를 선정하는 데 있어서는 여름철이 중요한 기준이 되어야 함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 잔디면 등의 지표식물은 태양광선 중 녹색만을 반사시키고 나머지는 대부분 흡수시키고, 흡수된 열을 방사시키는 특성과 함께, 증발산 작용을 통해 잎의 온도를 저하시킴으로써, 지표온도 조절에 효과가 있는 것으로 판단해 볼 수 있다. 이러한 식물재료에 의한 온도 저감의 기능은 피복의 밀도(녹피율)와 지표규모의 대.소에 따라 달라질 수 있다고 판단되는 바, 이점에 대해서는 추후 더욱 정밀한 연구가 되어야 할 것이다.

Table 1. The Effect Levels on the Ground Temperature from Selected Surface Materials in Spring & Summer

Season & Time	Bare Ground (Control)	Grass Surface	Interlocking Block Surface	Concrete Surface
Spring 12:00	26.3	22.7(-3.6)	27.2(+0.9)	27.9(+1.6)
Spring 14:00	28.1	26.5(-1.6)	29.1(+1.0)	29.3(+1.2)
Summer 12:00	35.8	34.2(-1.6)	38.6(+2.8)	40.7(+4.9)
Summer 14:00	39.0	36.7(-2.3)	41.6(+2.6)	43.3(+4.3)

지표재료에 따른 지표온도의 일변화 특성을 측정하는 결과(그림 3),

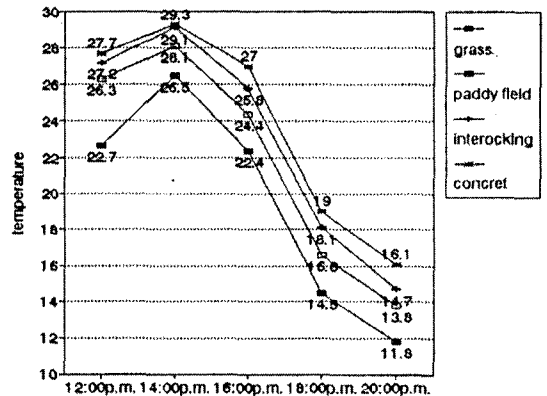


Figure 3. Trends of the Ground Temperature Change between Selected Surface Materials in Spring (from 12:00 p.m. to 20:00 p.m.)

잔디면의 경우 12~14시 사이에는 22.7℃→26.1℃로 상승하였으나 16시, 18시, 20시로 가면서 22.4℃→14.5℃→13.7℃로 하강함으로써 16시→18시 사이의 온도하강폭이 매우 커, 잔디면의 냉각이 일몰과 함께 급속히 진행되고 있음을 확인할 수 있었으며, 이와는 대조적으로 콘크리트면은 12시에서 20시까지는 27.9℃→ 29.3℃→27.0℃→19.0℃→16.1℃로 변화함으로써 냉각의 진행 추이가 잔디면에 비해 훨씬 완만한 경향을 나타내었다. 나지와 인터록킹블럭의 경우는 잔디면과 콘크리트면의 중간적 특성을 보이고 있어 이같은 경향은 각

재료가 갖는 열특성을 확연히 반영해 주는 현상으로 판단할 수 있을 것이다.

재료별 최고온도와 최저온도가 모두 잔디면<나지<인터록킹블럭<콘크리트면의 순서로 높아지고 있는 반면 최고-최저의 온도차이는 이와는 정반대로 콘크리트면<인터록킹블럭<나지<잔디면의 순서로 커지고 있음이 확인되고 있다.<표 2>

Table 2. Max. and Min. of Ground Temperature of the Selected Surface Materials in Spring (from 12:00 p.m. to 14:00 p.m.)

Season & Time	Grass Surface	Bare Ground	Interlocking Block Surface	Concrete Surface
Max. temperature	26.5	28.1	29.1	29.3
Min. temperature	11.8	14.5	16.7	17.3
Max. - Min.	14.7	13.6	12.4	12.0

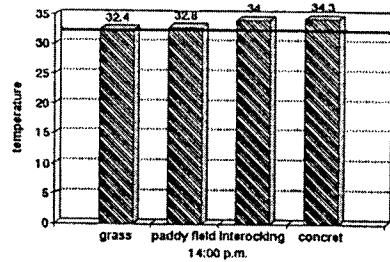
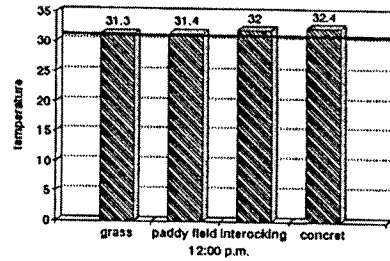


Figure 4. Comparisons of Air Temperature at 1.5m height between the Selected Surface Materials in Summer (Mean: from 12:00 p.m. to 14:00 p.m, Aug. 8, 10, 14~17, 1995.)

결과적으로 잔디면의 최대-최소의 온도차가 다른 재료에 비해 현저히 큰 것-즉 낮에 쉽게 뜨거워 졌다가 일몰과 함께 급격히 식어가는 것-은 잔디(식물체)가 수분의 증발산 작용을 통한 온도의 하강 효과가 상대적으로 크기 때문이며, 콘크리트의 최대-최소의 온도차가 작은 것은 열용량이 커 온도의 상승과 하강이 서서히 일어나는 것을 반영하는 것으로서, 콘크리트와 같은 인공재료의 이같은 열특성은 여름철 도심지 열대야 현상의 큰 원인으로 작용하는 것이다. 즉, 인터록킹블럭과 콘크리트면 등의 인공재료는 직사광에 대한 열저장 능력이 자연재료 보다는 크기 때문에 낮동안 가열된 지표열이 잠열의 상태로 남아 있다가 서서히 하강하기 때문에 인공재료(인터록킹블럭, 콘크리트)의 최고-최소의 온도차가 가장 작은 것으로 해석할 수 있다.

2) 기온에 대한 영향

재료별로 기온을 측정한 결과 역시 지표온도에서와 마찬가지로 잔디면<나지<인터록킹블럭<

콘크리트 면의 순서로 높게 나타났다. 여름철의 경우는(그림 4) 나지를 기준으로 할 때, 잔디면은 0.1℃~0.4℃(12시/14시)의 기온저감효과를 나타내었으며, 인터록킹블럭은 0.7℃~1.6℃(12시/14시)의 상승효과, 콘크리트는 1.1℃~1.9℃(12시/14시)의 상승효과를 유발함으로써, 기온이 가장 낮은 잔디면과 가장 높은 콘크리트면 사이에는 1.2℃~2.3℃(12시/14시)의 기온차가 확인되었다. 봄철에는 나지의 기온을 기준으로 하였을 때, 잔디면은 1.7℃~0.7℃(12시/14시)의 기온저감효과를, 인터록킹블럭은 1.4℃~2.7℃(12/14시)의 상승효과를 주며, 콘크리트는 2.5℃~3.2℃(12시/14시)의 상승효과를 유발하는 것으로 확인되었으며, 여름철보다는 지표재료사이의 기온의 차이가 다소 증가되어 나타나고 있다. (그림 5)

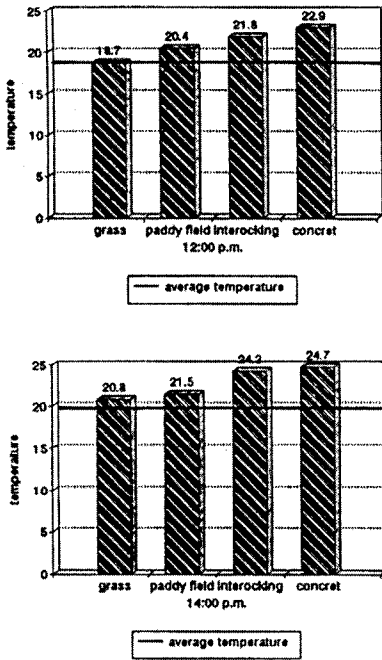


Figure 5. Comparisons of Air Temperature at 1.5m height between the Selected Surface Materials in Spring (Mean: from 12:00 p.m. to 14:00 p.m., April 18, 23, 1995.)

기온이 가장 낮은 잔디면과 가장 높은 콘크리트 면은 4.2℃~3.9℃(12시/14)의 커다란 차이를 보이고 있어 지표온도의 차이 수준에는 미치지 못하지만 역시 잔디면의 기온 저감효과를 확인할 수 있었다.

지표재료에 따른 봄철의 기온의 일변화를 측정한 결과 모든 재료의 일변화의 곡선은 모두 sin곡선에 가까운 모양을 나타내었다. 기준이 되는 나지의 경우 12시에서 20시까지의 온도는 22.1℃→24.4℃→19.5℃→17.0℃→12.8℃로 냉각의 진행 추이가 완만한 경향을 보이고 있으며, 콘크리트 면은 이와는 대조적으로 12시에서 20시로 가면서 23.9℃→25.3℃→19.9℃→17.7℃→13.2℃로 온도의 하강폭이 큰 것으로 나타났다. (그림 6)

재료별 최고-최소의 온도차이는 지표온도의 경우는 콘크리트면<인터록킹블럭<나지<잔디면의 순서로 높아지고 있는 반면, 기온의

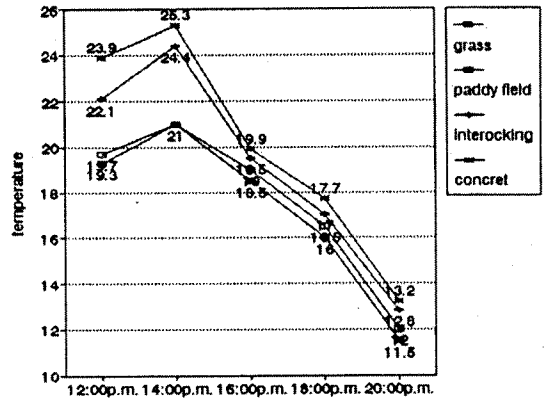


Figure 6. Trends of the Ground Temperature Change of Selected Surface Materials in Spring (from 12:00 p.m. to 20:00 p.m.)

Table 3. Comparisons of Max. and Min. Ground Temperatures of the Selected Surface Materials in Spring (from 12:00 p.m. to 20:00 p.m.) (℃)

Season & Time	Grass Surface	Bare Ground	Interlocking Block Surface	Concrete Surface
Max. temperature	21.0	21.0	24.4	25.3
Min. temperature	11.5	12.0	12.8	13.2
Max. - Min.	9.5	9.0	11.6	12.1

최고-최소의 온도차이는 나지<잔디면<인터록킹블럭<콘크리트의 순서로 커지고 있음이 확인되었다.

이것은 자연재료의 경우 낮동안 흡수되었던 열을 저장하였다가 밤에는 방출하는 작용을 통해 기온을 약간씩 상승시키고, 밤동안에는 지면으로부터의 복사냉각을 막아 주는 효과가 인공재료 보다는 다소 높기 때문에 기온의 일교차가 적어지는 것으로 보여진다.

결과적으로 나지와 잔디면 등 자연재료의 기온의 최고-최소의 온도차이가 인공재료에 비해 적게 나타나 일교차의 완화효과가 확인되었는 바, 잔디면(식물체) 등은 낮동안에는 복사열을 흡수하는 작용을 통해 온도를 저감시키고, 밤동안에는 축적된 잠열을 발산하는

열순환의 작용을 통해 기온을 약간씩 상승시켜 일교차의 폭을 완화시키고 있음을 확인할 수 있었다.

2. 수목그늘지와 비그늘지의 지온 및 기온 차 측정

1) 지표온도에 대한 그늘효과

여름철의 8/8일, 8/10일, 8/14-17일까지의 6일간의 각 측정 재료별 그늘지의 지표온도는 비그늘지에 비하여 잔디면 5.5℃~7.0℃(12시/14시), 나지 5.7℃~8.2℃(12시/14시), 인터록킹 블럭 7.6℃~9.8℃(12시/14시)의 낮은 수준이며, 이를 종합하면 여름철 수목그늘지의 지표온도의 저감효과는 잔디면 6.3℃, 나지 7.0℃, 인터록킹 블럭 8.7℃로 제시할 수 있을 것이다.(그림 7)

봄철의 4/16일과 4/23일 양일간의 각 측정 재료별 그늘지의 지표온도는 비그늘지에 비하여 잔디면 4.7℃~6.6℃(12시/14시), 나지 7.2℃~7.6℃(12시/14시), 인터록킹 블럭 5.8℃~6.1℃(12시/14시)의 온도 저감 효과가 확인되었다. 즉, 나지의 경우 다른 재료에 비해 현저한 그늘 효과가 나타난 것이 인터록킹 블럭의 효과가 가장 뚜렷하였던 여름철의 경우와는 다른 현상이라 할 수 있다. 나지에 비해 적기는 하나 잔디면과 인터록킹 블럭의 경우도 그늘에 의한 지표온도 저감의 효과가 현저하여 모든 측정재료에 있어서 수목그늘이 도시의 온도저감에 커다란 효과가 있음을 확인할 수 있었다. (그림 8)

이같은 결과를 종합할 때, 봄철 수목그늘지의 지표온도 저감효과는 잔디면 5.7℃, 나지 7.4℃, 인터록킹블럭 6.0℃로 제시할 수 있을 것이다.

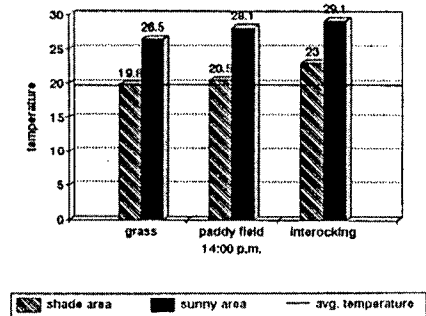
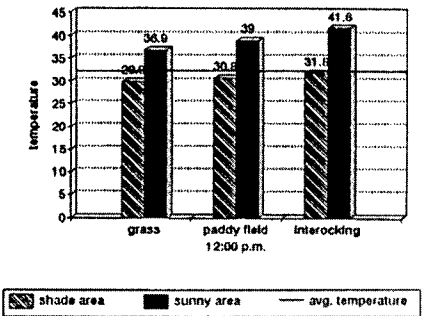
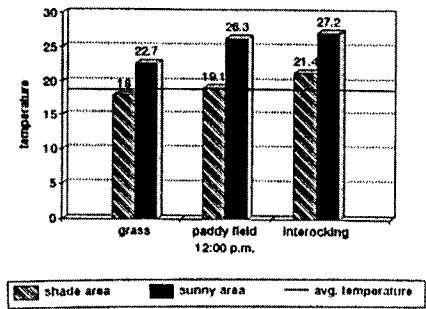
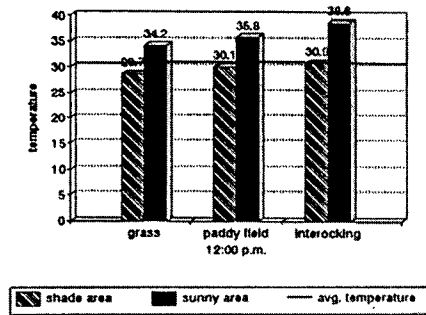


Figure 7. The Effect of Shade with Ground Surface Temperature between the Selected Surface Materials in Summer

Figure 8. The Effect of Shade with Ground Surface Temperature between the Selected Surface Materials in Spring

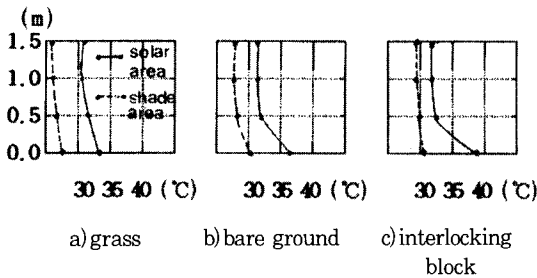
Table 4. The Effect of Ground Temperature Mitigation of the Tree Shade in Selected Surface Materials in Spring & Summer (from 12:00~14:00 p.m.)

Season	Bare Ground	Grass Surface	Interlocking Block
Spring	7.2~7.6(7.4)℃	4.7~6.6(5.7)℃	5.8~6.1(6.0)℃
Summer	5.7~8.2(7.0)℃	5.5~7.0(6.3)℃	7.6~9.8(8.7)℃

2) 기온에 대한 수목 그늘 효과

여름철 수목 그늘의 기온에 대한 그늘 효과를 측정한 결과 (그림 9) 나지, 잔디면, 인터록킹 블록의 그늘지와 비그늘지 모두 낮동안에는 직사광의 양이 증가됨에 따라 이것을 흡수하는 지표면의 온도는 높아지고, 상층부로 올라갈수록 온도가 낮아지는 형태의 온도 기울기가 성립되었다.

(1) Vertical temperature distribution at 12:00 p.m.



(2) Vertical temperature distribution at 14:00 p.m.

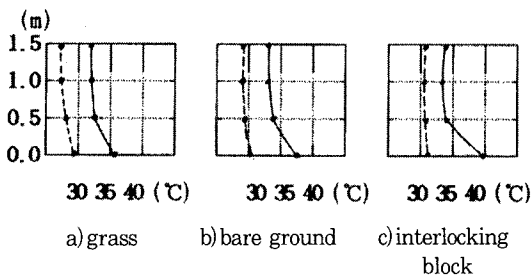
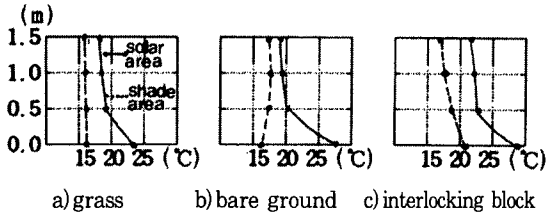


Figure 9. The Effect of Shade to Vertical Air Temperature Compared to Sunny Areas, from 12:00 p.m. to 14:00 p.m. in Summer.

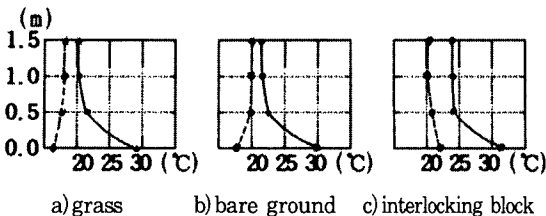
다시말해서 각 측정재료의 그늘지는 상.하층의 기온차가 적어 완만한 온도 기울기를 보였으며, 이와는 반대로 비그늘지는 상.하층의 기온차가 높게 나타나 온도 기울기가 큰 것으로 나타났다. 즉, 비그늘지의 경우 나지면의 기온의 차이는 4.3℃~5.8℃(12시/14시)로 높게 나타났으며, 잔디면은 2.9℃~4.2℃(12시/14시)로 나지면 보다는 낮게 나타났으며, 인터록킹 블록은 6.5℃~7.5℃(12시/14시)로 기온의 차이가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 수목그늘지의 경우 나지면의 기온의 차이는 1.7℃~1.0℃(12시/14시)로 낮게 나타나 온도의 기울기가 거의 직선에 가까운 형태를 보이고 있으며, 잔디면은 2.1℃~1.9℃(12시/14시)로 나지면 보다는 높은 것으로 나타났으며, 인터록킹 블록은 1.1℃~1.3℃(12시/14시)로 가장 낮은 기온차를 보이고 있어, 특히 인공재료의 경우 수목 그늘에 의한 기온의 차이가 크게 줄어들고 있음을 확인할 수 있었다

봄철에는 비그늘지의 경우 나지면은 12시:8.4℃→14시:9.4℃→16시:4.5℃→18시:0.8℃→20시:0.6℃로 잔디와 인터록킹 블록의 중간적 특성을 보이고 있으며, 16시까지의 기온의 차가 높게 나타났으나, 일몰이 되어 가면서(18시 이후) 부터는 기온차가 적은 완만한 온도 기울기로 나타나고 있다. 잔디면은 12시:4.5℃→14시:7.9℃→16시:2.8℃→18시:1.3℃→20시:1.9℃로 다른 측정재료에 비해 온도의 기울기가 상대적으로 완만한 것으로 나타났으며, 이는 여름철과 같은 결과를 나타내는 것이다. 인터록킹블록은 12시:7.1℃→14시:7.3℃→16시:6.8℃→18시:0.6℃→20시:0.3℃로 가장 높은 기온차를 보이고 있으며 다른 재료와 마찬가지로 일몰이 되어 가면서(18시 이후) 부터는 기온의 차가 적어지고 있음이 확인되었다. 수목그늘지의 경우 나지면은 12시:1.2℃→14시:1.7℃→16시:2.5℃→18시:1.6℃→20시:0.4℃로 기온(상.하층)의 차이가 적은 잔디와 인터록킹 블록의 중간적 특성을 보이고 있으며, 잔디면은

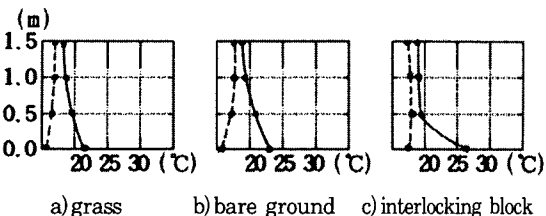
(1) Vertical temperature distribution at 12:00 p.m.



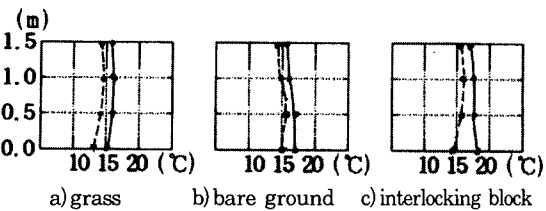
(2) Vertical temperature distribution at 14:00 p.m.



(3) Vertical temperature distribution at 16:00 p.m.



(4) Vertical temperature distribution at 18:00 p.m.



(5) Vertical temperature distribution at 20:00 p.m.

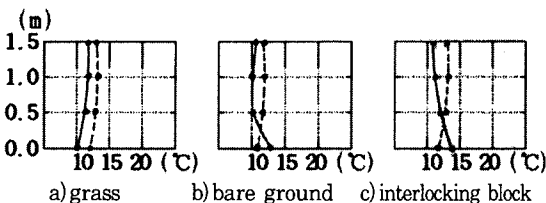


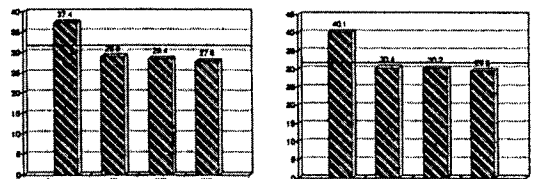
Figure 10. The Effect of Shade to Vertical Air Temperature Compared to Sunny Areas, from 12:00 p.m. to 20:00 p.m in Spring.

12시:0.3℃→14시:0.7℃→16시:0.9℃→18시:2.0℃→20시:1.6℃로 기온(상.하층)의 차이가 적어 거의 직선형에 가까운 온도 기울기로 나타났으며, 인터록킹 블록은 12시:2.8℃→14시:1.8℃→16시:0.8℃→18시:1.7℃→20시:0.8℃로 다른재료와 마찬가지로 온도의 기울기가 거의 직선형에 가까운 상당히 안정된 기온 분포를 나타내고 있음이 확인되었다. (그림 10)

이상의 측정 결과를 분석해 볼 때 수목 그늘지는 상.하층의 기온차의 폭을 줄여 인간이 체감하는 높이에서의 온도 차이를 효과적으로 조절함으로써 열평형 상태의 적온감(thermal comfort)을 제공함으로써 결과적으로는 쾌적한 온도 환경을 제공하는 데에 효과가 큰 것으로 확인되었으며, 특히 인터록킹 블록 등 인공재료의 기온의 차이를 완화시키는 효과가 크게 부각되어 나타났다.

3) 그늘면적에 의한 온도영향

수관에 의한 그늘면적에 의한 온도 저감 효과의 차이를 확인하고자, 대, 중, 소(수관폭 8.3m, 7.2m, 6.3m)크기의 낙엽교목을 선발하고 각 수목 그늘에서의 기온(1.5m)을 측정하였다. 그결과 수관폭이 클수록 상대적으로 기온이 낮아지고 있음이 확인되었다. 메타세콰이어(나지)의 경우 비그늘지에 비해, W1(수관폭:6.3m)는 7.8℃~9.2℃(12시/14시)의 기온 저감 효과가 나타났으며, W2(수관폭:7.2m)는



Metasequoia glyptostroboides (BareGround) *Liriodendron tulipifera* (Interlocking Block Surface)

Figure 11. The Effect of Shade Size(Crown Diameter) at 1.5m height Air Temperature in Summer (*M. glyptostroboides* L. *tulipifera*)

8.0℃~10.0℃(12시/14시), W3(수관폭:8.3m)는 8.7℃~10.5℃(12시/14시)의 기온저감효과가 있음이 확인되었다. 이 결과에 의하면 수관폭의 증가에 따른 기온의 상대적 저감효과도 확인되는 것으로서, 본 연구의 결과를 따르면 나지위에 식재된 메타세콰이어의 경우 수관폭이 1.0m 증가할 때마다 0.6℃씩 기온이 저감되는 것으로 제시할 수 있을 것이다.

백합나무의 경우 인터록킹블럭 지표(비그늘지)의 경우, W1(수관폭:6.3m)는 8.8℃~10.6℃(12시/14시)의 기온 저감 효과를, W2(수관폭:7.2m)는 9.1℃~10.8℃(12시/14시), W3(수관폭:8.3m)는 9.5℃~11.5℃(12시/14시)의 기온 저감 효과가 확인되었다. 즉 나지에 식재된 메타세콰이어와 마찬가지로 수관폭이 증가할수록 상대적으로 기온은 저감되고 있으며, 인터록킹위에 식재된 백합나무의

경우 수관폭이 1.0m씩 증가할 때마다 기온은 0.4℃ 정도가 저감되는 것으로 제시할 수 있을 것이다.

3. 공원지역과 공원주변지역과의 온도차측정

상당공원(8/21일, 8/22일)과 주변도심과의 온도를 측정하여 평균한 결과는 (그림 12,13)과 같으며, Isopleth Map과 평면도를 중첩하여 나타내었다.

측정 결과를 2시간(12시/14시) 청주기상대 측정의 평균온도와 비교한 결과, 교목식재지는 1.6℃, 교목과 관목의 혼합식재지는 0.9℃의 낮은 온도로, 잔디피복지는 0.3℃, 건축물이 위치한 지역은 0.6℃, 포장면은 1.8℃의 높은 온도로 측정되어 공원내부에서도 온도가 가장 낮은 교목식재지와 가장 높은 포장면사이에

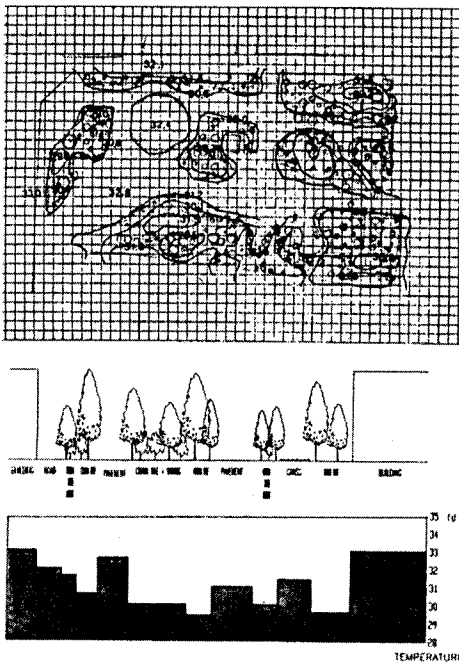


Figure 12. Distribution Diagram of Air Temperature(Isopleth Map) in Sangdang Park Area , from 12:00 p.m. to 14:00 p.m, August 21, 1995. (Plan and Section)

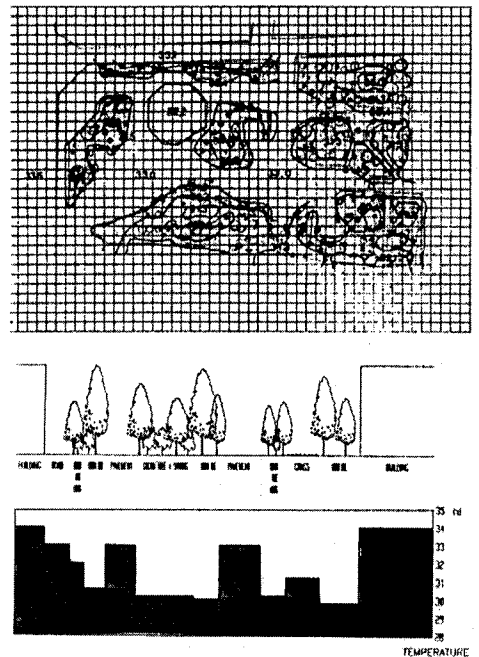


Figure 13. Distribution Diagram of Air temperature(Isopleth Map) in Sangdang Park Area , from 12:00 p.m. to 14:00 p.m, August 22, 1995. (Plan and Section)

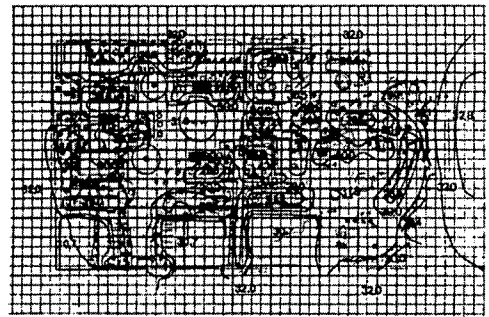
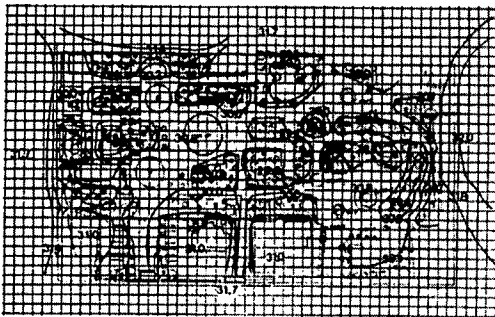


Figure 14. Disribution Diagram of Air Temperature(Isopleth Map) in Juangang Park Area, from 12:00pm. to 14:00pm, August 23, 1995. (Plan and Section)

Figure 15. Distribution Diagram of Air temperature(Isopleth Map) Juangang Park Area, from 12:00 p.m. to 14:00 p.m, August 28, 1995. (Plan and Section)

3.4℃의 현저한 온도차이가 확인되었다. 또한, 공원 외부의 주변 도로의 북쪽면은 기상대 측정의 평균기온보다 1.4℃의, 서쪽면은 2.1℃의 높은 온도를 나타내어 공원에서 멀어지면서 온도가 상승되고 있으며, 향에 따라서도 온도차이가 유발되고 있음이 확인되었다.

중앙공원 (8/23, 8/28일)의 경우는(그림 14, 15), 기상대 측정의 평균기온(29.8℃)을 기준으로 했을 때, 공원내부의 교목식재지는 1.3℃, 교목과 관목의 혼합식재지는 0.7℃의 낮은 온도로, 잔디피복지는 0.2℃, 나지면은 0.8℃, 건축물이 위치한 지역은 0.9℃, 포장면은 1.5℃의 높은 온도가 측정되어, 온도가 가장 낮은 잔디면과 가장 높은 포장면 사이에 2.8℃의 현저한 온도 차이를 나타내는 것이 상당공원과 유사한 결과를 보여주었다.

공원 외부의 온도측정 결과 공원과 인접해 있는 주변의 주차장은 기상대 평균기온(29.8

℃)에 비해 1.1℃, 주차장과 인접해 있는 주변의 도로는 2.1℃, 주변의 도로에서 약간 떨어져 있는 칠당간 주변(인공포장의 광장)은 2.6℃의 높은 온도를 나타냄으로써 공원에서 멀어질수록 온도가 상승되고 있음이 나타났다. 즉 공원에 인접할수록 온도가 저감되고 있어 도시녹지의 온도 저감 효과를 확인할 수 있었다. 또한 공원내부의 평균온도와 공원외부의 평균온도 사이에는 2.3℃의 차이가 나타나고 있어 상당공원의 2.2℃와 거의 동일한 효과를 확인할 수 있었다.

상당공원과 중앙공원의 경우 녹피율과 포장율에 차이가 있어 이에 따른 온도의 특성을 규명하고자 했으나 녹피율에 따른 온도저감 효과의 의미가 크게 부각되지 않았는데, 이는 두 대상 공원간의 주변 상황이 서로 다른 것에 원인 되어진 것으로 생각된다. 그러나 각각의 공원의 녹지밀도를(녹피율)에 따라서는 온도 차

이가 나타나고 있어 추후 녹피율에 따른 온도 완화 효과에 대한 더욱 정밀한 연구가 뒷받침 되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 도시공간을 구성하고 있는 여러 지표재료 중 녹지구성 요소가 도시의 지온 및 기온을 완화시키는데 효과가 있음을 밝히고자, 1) 지표재료에 따른 지온 및 기온차의 측정, 2) 수목그늘지와 비그늘지의 지온 및 기온차 측정, 3) 공원지역과 공원 주변 지역과의 온도차 측정을 중심으로 분석한 결과, 녹지 구성 요소가 지온 및 기온의 완화에 효과가 있음이 부각 되어 나타났다.

연구의 결과 여름철과 봄철 모두 지표온도와 기온에 대한 자연재료와 인공재료 사이의 현저한 온도 차이가 확인되었다. 반면에 인공재료의 경우 매우 높은 지온 및 기온을 나타내고 있어 인공재료에 의한 포장이 도시의 지온 및 기온 상승을 유발하고 있음이 확인되었는 바, 지표재료의 선정에 따라 지온 및 기온에 미치는 효과에 현저한 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

수목그늘지의 지온 및 기온 완화 효과의 분석 결과 그늘지와 비그늘지의 높이에 따른 기온차가 크게 부각되어 나타났으며, 비그늘지의 경우 지표면과 상층부(0.5m~1.5m)의 기온 차이가 높게 나타나고 있어 이용자의 이용에 제약 요인으로 작용되어지고 있다. 이와는 반대로 그늘지의 경우는 지표면과 상층부의 기온 차이가 적은 거의 직선형에 가까운 수직온도 분포의 특징을 보이고 있으며, 인간의 쾌적기온대를 20~25℃로 잡을 때(안.김, 1986), 수목 그늘지는 쾌적기온대에 가까운 특성을 보이고 있어 수목 그늘의 경우 인간이 체감하는 높이에서의 기온 차이를 조절하여 적온감(thermal comfort)을 제공한다는 점에서 상당히 중요한 의미를 지니고 있다고 판단해 볼 수 있다.

도시 근린공원과 주변 도심과의 온도차를 비교하여 소규모 도시공원의 온도 완화 효과를 분석한 결과 공원 내부의 온도는 주변 도심보다 평균 2.3℃ 저온임이 확인되었으며, 공원 내부의 경우 공간 구성 형태에 따라서도 서로 다른 온도차이가 발생되고 있음이 확인되었으므로, 온도 완화의 효과를 위한 공간의 구성에 있어 주변의 환경을 고려한 적절한 지표재료의 선정이 요구되어 진다고 볼 수 있다.

현재의 도시 공간을 조성함에 있어 인공재료의 사용 증가로 인해 녹지는 점점 감소 추세에 있어 도시의 기온을 상승시키고 있는 하나의 요인으로 작용하고 있다. 이러한 점에서 본 연구는 도시의 지온 및 기온 조절이라는 환경 조절적 측면에서 녹지의 온도완화 효과를 분석함으로써 도시의 환경 특성에 적합한 환경계획 및 환경설계 등에 적용시킬 수 있는 기초자료를 제시하였다는데 그 의의를 가질 수 있겠다. 아울러 도시를 구성하고 있는 지표재료의 범위를 확대시켜 각각의 재료에 대한 온도 특성을 밝힐 필요가 있으며, 식물 재료의 온도조절에 대한 기초적인 연구의 범위에서 벗어나 도시녹지가 도시온도를 완화시킴으로써 인간의 생활 환경에 어떤 영향을 미치는 가에 대한 구체적인 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 판단되며, 수목그늘지의 지온 및 기온완화 효과가 큰 것으로 분석되었는 바, 수형(수목의 그늘형태), 수엽밀도, 수지밀도, 식재형태 등에 따른 온도저감 효과를 분석함으로써 지온 및 기온의 저감에 효과가 큰 수종들을 선발하고 발전시켜 적용하는 단계가 뒤따라야 할 것이다.

인 용 문 헌

1. A. Bernatzky(1978), Tree Ecology and Preservation, Elsevire Scientific Publishing Compan, pp.145-151.
2. Bernatzky(1960), Effect of a green belt on temperature in Frankfurt.
3. Brian Hackett(1979), Planting design, university Press Cambridge.
4. Geiger Rudolf(1950), The Climate Near the Ground Massacjusetts, Harvard University Press.

5. Kimmins(1987), Forest Ecology, Macmillan Publishing Company, pp.175-204.
6. Larcher Walter(1973), Physiological Plant Ecology, New York Carl Ritter & Co.
7. Marthin H, Zimmermann and Claud L, Brown(1971), Trees Structure and Function, Springer- Verlag, pp.163-165.
8. Mitchell, J. M. Jr.(1961), The thermal Climate of cities, Symp. Air over cities, U. S. Public Health Serv. Publ. Sel. Tech Rept, A62-5, pp.131-143.
9. Oke, T.R, and Hannel, F.G.(1970), The form of the urban heat island in Hamilton, canada in climates, WMO Tech, 108:113-126.
10. Philip L Carpenter, Theodore D. Walker, Fredrick O, Lanphear(1975), Plants in the Landscape, W. H, Freeman and Company San Franciscio, pp. 89-95.
11. Robinett Gary O.(1977), landscape Planning for Energy Conservation, Enviromental Design Press, pp. 45-55.
12. Robinette, R. m.(1972), Plants/people/Enviromental Quality, A.S.L.A foundation.
13. W. Larcher, Physiological Plant Ecology, M. A. Biederman-Thorson, pp.190-198.
14. 尹龍漢. 平成 5年, 都市における公園緑地の氣象緩和 作用に関する研究, 千葉大學 修士論文.
15. 建設省(昭和54年), 都市綠化技術開發調査報告書, pp. 106-136.
16. 小林章 外 4人(1989), 鋪裝の色彩と表面溫度について, 日本造園學會 造園雜誌, 52(5):133-138.
17. 原芳信 外 2人(1990), 密度の異なるアカマンシンの綠 陰の熱環境特性, 日本造園學會 造園雜誌, 53(5):233-238.
18. 清田信 外(1988), 春季の公園での熱的環境要因と 人間行動との相互依存關係, 日本造園學會 造園雜誌, 51(5): 216-221.
19. Hiroyuki Yamada and YoriKazu Maruta(1989), An actual Study on the Modification of Climate by the Open Space in Urban Area, Journal of the Japanese of Landscape Architecture, 52(5):127-132.
20. Tsuyoshi Honjo, Tadashi Takakura (1986), Analysis of Temperature Distribution of Urban Green Spaces Using Remote Sensing Data, Journal of the Japanese of Landscape Architecture, 49(5):299-304.
21. Hiroyuki Yamada, Yorikazu Maruta(1991), Study on the distribution of air temperature in Shouwa, Saitama Pref. and the Effect of Open Spaces on the Urban Climate, Journal of the Japanese of Landscape Architecture, 55(5):349-354.
22. 고성하(1976), 도시환경림의 기능분석에 따른 효용도 제고 방안에 관한 연구, 서울대 환경대학원 석사 논문.
23. 김성삼 외 17인(1976), 한국의 기후, 일지사.
24. 김영덕(1984), 효과적인 기초환경 조성을 위한 미기후 관리 방안에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문.
25. 김장수 외 3인(1982), 생태학과 삼림, 향문사.
26. 김장수 외 1인(1977), 환경보전을 위한 삼림기능에 관한 종합적 연구, 한국조경학회지, 5(10):1-26.
27. 박경택 편저(1992), 기상학개론, 동화기술, pp.127-136.
28. 안계복, 김기선(1986), 식물의 기온완화 효과에 관한 연구, 한국조경학회지, 14(1):1-13.
29. 오구균(1986), 자연식생의 생태적 특성을 고려한 배식 설계 기준에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
30. 이일구 외 3인(1990), 최신 식물 생태학, 일신사, pp. 249-281.
31. 이정현(1978), 주거환경의 미세기후에 관한 연구, 홍익대학교 석사논문.
32. 이현영(1989), 도시기후학, 대광문화사, pp.101-281.