

통풍과 차양이 하절기 옥외공간의 평균복사온도에 미치는 영향[†]

이춘석 · 류남형

경남과학기술대학교 조경학과

The Influence of Ventilation and Shade on the Mean Radiant Temperature of Summer Outdoor

Lee, Chun-Seok · Ryu, Nam-Hyung

Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the influence of shading and ventilation on Mean Radiant Temperature(MRT) of the outdoor space at a summer outdoor. The Wind Speed(WS), Air Temperature(AT) and Globe Temperature(GT) were recorded every minute from 1st of May to the 30th of September 2011 at a height of 1.2m above in four experimental plots with different shading and ventilating conditions, with a measuring system consisting of a vane type anemometer(Barini Design's BDTH), Resistance Temperature Detector(RTD, Pt-100), standard black globe(Ø 150mm) and data acquisition systems(National Instrument's Labview and Compfile Techs' Moacon).

To implement four different ventilating and shading conditions, three hexahedral steel frames, and one natural plot were established in the open grass field. Two of the steel frames had a dimension of 3m(W)×3m(L)×1.5m(H) and every vertical side covered with transparent polyethylene film to prevent lateral ventilation(Ventilation Blocking Plot: VP), and an additional shading curtain was applied on the top side of a frame(Shading and Ventilation Blocking Plot: SVP). The third was 1.5m(W)×1.5m(L)×1.5m(H), only the top side of which was covered by the shading curtain without the lateral film(Shading Plot: SP). The last plot was natural condition without any kind of shading and wind blocking material(Natural Open Plot: NP).

Based on the 13,262 records of 44 sunny days, the time serial difference of AT and GT for 24 hour were analyzed and compared, and statistical analysis was done based on the 7,172 records of daytime period from 7 A.M. to 8 P.M., while the relation between the MRT and solar radiation and wind speed was analyzed based on the records of the hottest period from 11 A.M. to 4 P.M.. The major findings were as follows:

1. The peak AT was 40.8°C at VP and 35.6°C at SP showing the difference about 5°C, but the difference of average AT was very small within±1°C.
2. The difference of the peak GT was 12°C showing 52.5°C at VP and 40.6°C at SP, while the gap of average GT between the two plots was 6°C. Comparing all four plots including NP and SVP, it can be said that the shading decrease 6°C GT while the wind blocking increase 3°C GT.
3. According to the calculated MRT, the shading has a cooling effect in reducing a maximum of 13°C and average

[†]: 이 논문은 2011년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Corresponding author: Nam-Hyung Ryu, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea, Tel.: +82-55-751-3303, E-mail: nhryu@gntech.ac.kr

9°C MRT, while the wind blocking has heating effect of increasing average 3°C MRT. In other words, the MRT of the shaded area with natural ventilation could be cooler than the wind blocking the sunny site to about 16°C MRT maximum.

4. The regression and correlation tests showed that the shading is more important than the ventilation in reducing the MRT, while both of them do an important role in improving the outdoor thermal comfort.

In summary, the results of this study showed that the shade is the first and the ventilation is the second important factor in terms of improving outdoor thermal comfort in summer daylight hours. Therefore, it can be apparently said that the more shade by the forest, shading trees etc., the more effective in conditioning the microclimate of an outdoor space reducing the useless or even harmful heat energy for human activities. Furthermore, the delicately designed wind corridor or outdoor ventilation system can improve even the thermal environment of urban area.

Key Words: Air Temperature, Globe Temperature, Wind Speed, Thermal Comfort

국문초록

통풍과 차양이 하절기 옥외공간에서 인간이 느끼는 열쾌적성에 어떤 영향을 미치는지를 객관적으로 검증하기 위하여 통풍과 차양을 달리한 실험구를 조성하고 흑구온도와 기온 및 풍속을 측정하여 평균복사온도를 환산하여 비교 분석하였다. 미기후 측정을 위하여 개방된 잔디밭에 철제 각관을 이용하여 가로×세로×높이가 각각 3m×3m×1.5m인 프레임을 구성하고, 투명 폴리에틸렌 필름과 농업용 차광막을 이용하여 통풍과 차양의 조건을 달리한 네 가지의 실험구를 조성하였다. 각 실험구 내 중심부 지면으로부터 1.2m 높이에서 베인형 풍속계와 흑구, 측온저항체(PT-100)를 이용하여 2011년 5월 1일부터 동년 9월 30일까지 풍속과 기온, 흑구온도를 매 분 단위로 계측하였다. 기상조건과 계측자료의 유효성 등을 고려하여 총 44일 동안의 13,262건의 자료를 바탕으로 실험구별 일중 시계열적 변화를 분석하였으며, 낮 시간에 해당되는 오전 7시부터 오후 8시까지의 7,172건의 자료를 바탕으로 실험구에 따른 통계적 차이를 해석하였다. 아울러 햇볕이 가장 강렬한 시간대인 오전 11시부터 오후 4시까지의 자료를 바탕으로 평균복사온도와 풍속 및 일사량과의 관계를 분석하였다.

평균복사온도를 기준으로 해석했을 때, 통풍이 차단된 노지에서의 측정기간 중 최고값이 58.84°C까지 상승한 반면, 차양이 적용되고 통풍이 원활한 실험구의 최고값은 42.94°C였다. 시험결과를 종합하면, 하절기 옥외공간에서 낮 동안의 평균복사온도에 있어서 차양에 의해서는 최대 13°C, 평균 9°C의 냉각효과가 발생한 반면, 방풍에 의해서는 반대로 평균 약 3°C의 가열효과가 있는 것으로 정리되어, 통풍이 되지 않는 태양직사광 지역은 바람이 원활하게 통하는 그림자 지역보다 최대 16°C까지 높은 것으로 나타났다.

결론적으로 본 연구를 통해서 하절기 옥외공간의 열쾌적성을 개선하는데 차양이 가장 중요하며, 그 다음이 통풍이라는 사실을 파악할 수 있었다. 따라서 옥외공간에 더 많은 녹음수와 숲을 조성하여 그림자 지역을 증가시킴으로써 인간의 하절기 옥외활동에 많은 제약을 주고 있는 불필요한 열에너지를 현격하게 저감시켜 쾌적한 미기후를 효과적으로 조성할 수 있으며, 나아가 정교하게 조성된 바람길이나 통풍 시스템을 적용한다면 도시 전체의 열환경도 효과적으로 개선할 수 있을 것이다.

주제어: 기온, 흑구온도, 풍속, 열쾌적성

1. 서론

그동안 우리나라 조경분야 연구에서는 주로 거시적인 측면에서 녹지의 증감에 따른 도시기후(meso-climate)의 변화에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 이들 연구에서는 녹지가 많을수록 하절기 도시 온도를 저감시키는 효과가 높아진다는 점을 객관적으로 밝히려는 시도를 주로 하였는데, 어느 정도

객관적인 성과도 제시되고 있다(윤용환, 2004; 조현길과 안태원, 1999; 이상화 등, 2009; 기경석과 이경재, 2009; 오규식 등, 2009; 윤민호와 안동만, 2009).

반면에 소규모 옥외공간에서 인간이 직접적으로 체감하는 미기후(micro-climate)에 대해서는 주로 외국의 기상학자들에 의한 연구결과들이 발표되고 있다. 이들 연구에서는 도시 옥외공간에서 이용자가 느끼는 열쾌적성에 있어서 복사에너지와

바람의 영향이 중요하다는 점을 밝히고 있으며, 이를 조절할 수 있는 수단으로 가로수 또는 녹음수의 중요성이 강조되고 있다(Oded Potchter *et al.*, 2010; Toy and Yilmaz, 2010).

옥외활동의 수요가 증가하고 있는 최근 우리나라의 여건을 고려할 때, 조경분야에서 옥외공간의 물리적 구조와 특성이 인간이 체감하는 온열환경에 미치는 영향을 구체적이고 객관적으로 파악하여 이를 개선하고, 나아가 도시 전체의 열환경을 개선하려는 다양한 노력이 이루어져야 할 시점에 도달한 것으로 판단된다. 이를 반영하듯 국내의 조경학 분야에서도 수목이나 포장재료, 방풍의 유무, 옥외공간의 구성과 구조에 따른 온열환경 변화를 해석하려는 시도들이 다양하게 이루어지고 있는 상황이다(주민진 등, 2004; 최동호와 이부용, 2007; 이춘석과 류남형, 2010; 김현철과 우지근, 2011; 박수국, 2012). 그러나, 이와 같은 노력에도 불구하고 옥외공간에서 통풍과 차양을 포함한 다양한 물리적 변수가 인간이 느끼는 온열쾌적감에 어느 정도의 실질적인 효과가 있는지를 구체적인 수치로 표현하는 데는 아직 한계가 있는 것으로 보인다. 구체적으로 이들 연구에서는 녹음수나 차양의 유무 또는 옥외공간의 물리적 특성에 따른 복사에너지나 상대습도의 차이에 초점을 맞추어 옥외공간의 온열환경 특성을 해석한 반면, 통풍의 영향에 대한 고려가 부족했던 것으로 보인다. 특히, 차양과 방풍의 유무에 따른 온열환경 특성을 건구습구흑구온도(WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature)를 기준으로 분석한 기존 연구(김현철과 우지근, 2011)에서는 통풍과 차양이 옥외공간 온열환경 개선에 중요한 요소라는 것은 밝혔지만, 통풍의 영향을 정량적으로 해석함에는 한계가 있었다고 밝히고 있으며, 녹음수의 유무에 따른 옥외공간의 WBGT의 차이를 분석한 연구(주민진 등, 2004)에서도 녹음의 유무에도 불구하고, 실험구 간에 기온차가 거의 나지 않는 현상을 통풍의 영향으로 해석하고는 있으나, 정량적으로 밝히지는 못하였다.

세계적으로는 인간이 느끼는 생리적 열감을 객관적으로 나타내기 위한 수단으로 1905년 Haldane이 습구온도를 제시한 이래 약 40종류 이상의 열쾌적성 지수가 적용되어 왔으며, 최근에는 PMV(Predicted Mean Vote), PET(Physiological Equilibrium Temperature) 등 인간이 실제 환경의 온열감에 대한 주관적 반응을 근거로 통계적으로 계산한 온열쾌적감 지수와 이를 기반으로 한 환경예측모델(Rayman, Envi-Met 등)이 개발되어 적용되고 있는 상황이다(Epstein and Moran, 2006). 그러나, 인간의 주관적인 온열감은 인종과 지역, 문화에 따라 차이가 발생할 여지가 있는 점, 국내에서는 최근에 와서야 한국형 체감온도 모델에 대한 연구(박종길 등, 2007)가 이루어지고 있는 실정인 점 등을 감안할 때, 외국의 특정 인종과 지역을 대상으로 한 주관적 지수를 그대로 우리나라에 적용하는 것은 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 인간의 주관적인 판단을 배

제한 물리적 특성치로서 옥외공간의 열환경을 평가함으로써 향후 우리나라에서의 각종 지수 개발에 필요한 근거를 마련하거나, 개발된 지수를 적용할 수 있는 기초자료를 마련할 필요가 있다.

일반적으로 날씨의 춥고 더움을 표현하는데 기온(Air Temperature)을 많이 사용하지만, 이는 지면으로부터 1.2~1.5m 범위의 태양복사를 차단한 공기의 온도를 말하는 것이기 때문에, 통풍과 차양 등 실제로 인간이 옥외 환경에서 느끼는 열환경을 설명하기 위한 수단으로는 적합하지 않다. 반면에 태양을 비롯한 인체 주변의 다양한 에너지원으로부터의 복사에너지 교환 모델에 바탕을 둔 평균복사온도(Mean Radiant Temperature: MRT)를 여러 국제 표준에서 다양한 환경 조건에서의 인간이 느끼는 열환경 특성을 표현하는 물리량 기준으로 삼고 있다(ISO 7726, ISO 7730 등).

이에 본 연구는 통풍과 차양이 하절기 옥외공간의 온열환경에 미치는 영향을 객관적 물리량으로 검증함을 목적으로 하였다. 이를 위해 통풍과 차양의 조건을 달리한 네 개의 실험구를 조성하고, 실험구별 기온 및 흑구온도와 함께 풍속을 독립적으로 측정하여 복사평균온도를 기준으로 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험구

본 연구의 목적이 통풍과 차양이 평균복사온도에 미치는 영향을 파악하기 위한 것이기 때문에 방풍과 차양의 유무에 따른 네 가지 형태의 실험구를 조성하여 측정이 이루어졌다. 실험구는 경상남도 진주시 내동면에 소재한 경남과학기술대학교 종합농장 내 잔디광장에 설치하였는데, 우선 방풍을 위해서 2.54mm (1 inch)규격의 철제 각관을 이용하여 가로×세로×높이가 각각 3m×3m×1.5m인 육면체 틀을 2개소 설치하고, 측면 통기는 막으면서 햇볕은 투과될 수 있도록 폴리에틸렌 필름을 이용하여 윗면을 제외한 네 측면을 그림 1과 같이 밀봉시켰다. 아울러 통풍이 보장된 자연 상태의 측정구를 2개소 조성하여 총 네 개소의 실험구를 연결하여 구성하였다. 이 중 통풍과 방풍 조건의 실험구 각 1개소 상단에 95% 차양율의 농업용 차양막을 이용하여 가로 세로 1.5m의 사각형 차양면을 설치하였다.

소규모 실험구를 조성하여 WBGT 차이를 비교했던 기존 연구(김현철과 우지근, 2011)에서는 가로×세로×높이가 각각 1.5m인 방형틀을 적용한 반면, 본 연구에서는 가로와 세로가 각각 3m이고, 높이가 1.5m인 방형틀을 적용하였다. 이는 방풍막 자체에 의한 측방의 복사간섭을 최소화하고, 방풍 구조물에 따른 옥외공간의 통풍 조건을 최대한 유사하게 구현하기 위함이었다.

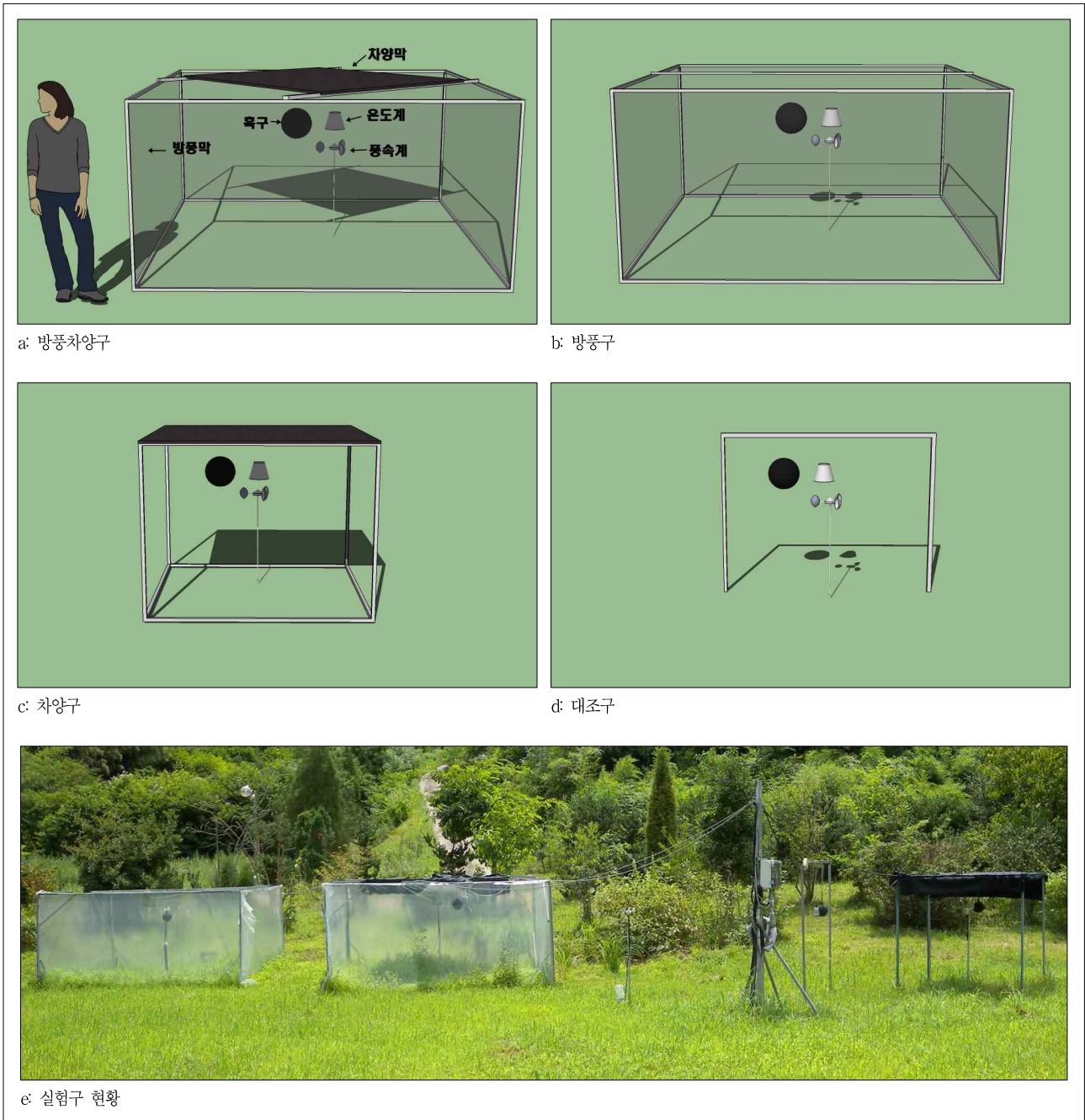


그림 1. 실험구 개념과 측정 상황

2. 계측 방법

각 실험구에는 인간의 옥외활동에 영향을 미치는 온열환경의 체감범위라고 할 수 있는, 지면으로부터 약 1.2m 지점에 흑구온도계와 온도계를 각각 설치하고, 풍속측정을 위한 풍속계를 그림 2와 같이 설치하였다. 온도의 측정에는 50mm 길이의 백금측온센서(PT-100)를 사용하였는데, 직사광선이 측온센서에 직접 도달하는 것을 방지하기 위하여 센서 주변부에 알루미늄

미늄 테이프로 방사차폐우산을 설치하였다. 흑구온도는 직경 150mm의 표준 흑구에 물을 절반 정도 채운 상태에서 백금측온센서와 결합하여 측정하였다. 풍속의 측정에는 타원베인형 풍속계 VDTH와 데이터로그(Barani Design, 2010)를 사용하였다(<http://www.baranidesign.com>). 이 때 저항측정식 온도센서의 경우, 측정점과 신호변환장치 간의 전선 길이에 따른 저항차를 최소화하기 위하여 모든 측정기에 동일한 종류의 전선을 동일한 길이로 설치하였다.



그림 2. 실험에 사용된 계측장비

온도측정을 위한 아날로그 디지털 신호 변환장치는 모이콘(컴파일테크놀로지, 2010)의 축온저항체 입력 모듈(RS-THRT)과 RS-485 통신모듈, CPU 모듈을 조합하여 구성하였다(http://www.comfile.co.kr). 신호 변환장치에서 얻어진 온도 및 풍속 측정치는 RS-485 통신을 통하여 매 초마다 개인용 컴퓨터로 전송되도록 Labview 8.2(National Instrument, 2006)를 이용하여 시스템을 구축하였으며, 2011년 5월 1일부터 동년 9월 30일까지 풍속은 초 단위, 온도는 분 단위로 기록되도록 설정하였다.

3. 분석 방법

취득된 자료 중 우천과 정전, 이상기상 등에 의한 오류로 판단되는 부분은 분석에서 배제하였으며, 총 44일 동안의 흑구온도와 기온, 풍속을 바탕으로 매 시간 단위의 평균값을 계산하였고, 이를 기준으로 평균복사온도로 환산하여 실험구별 특성을 해석하였다. 실험기간 동안의 일 중 시간대별 특성 분석에는 총 13,262건의 시간 단위 자료가 사용되었다. 또한, 실험구에 따른 미기후 차이가 명확하게 발생한 낮 시간대(07:00~20:00)의 자료 7,172건을 별도로 비교 분석하였는데, 구체적으로 대조구와 차양구는 각각 1,799건이었으며, 방풍구는 1,776건, 방풍차양구는 1,798건이었다.

아울러, 통풍과 차양이 평균복사온도에 미치는 영향의 정도를 구체적으로 파악하기 위해 실험구에서 직선거리 약 1 km에 위치에 있는 진주기상대에서 측정된 실험기간 동안의 시간별

평균일사량 자료를 이용하여 실험구에서 측정된 평균복사온도 및 풍속과 비교하였다. 기상대 자료의 경우, 시간대별 무 차양 상태의 일사량 측정치이기 때문에 차양이 이루어진 실험구에 대해서는 차양막의 투과율과 크기를 감안하여 일사량의 10% 값을 적용하였으며, 평균복사온도가 뚜렷하게 차이 나는 오전 11시부터 오후 4시까지의 데이터를 대상으로 분석하였다. 실험구별 측정치 및 평균복사온도 값은 통계프로그램인 SPSS ver.12(SPSS inc., 2003)를 이용하여 비교 분석하였다. 평균복사온도의 계산에는 ISO 7726에서 제시하고 있는 방사율 95%의 흑체 도료가 적용된 직경 150mm의 표준흑구를 사용했을 때, 자연대류 조건에서의 흑구온도와 기온에 기반한 식 1을 적용하였다.

$$\bar{t}_r = [(t_g + 273)^4 + 0.4 \times 10^8 \left(\frac{t_g - t_a}{D} \right)^{1/4} \times (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad (\text{식 1})$$

여기서,

\bar{t}_r = 평균복사온도(°C)

t_g = 흑구온도(°C)

t_a = 기온(°C)

III. 결과 및 고찰

1. 일중 시간대별 풍속 및 흑구온도와 건구온도의 변화

1) 풍속

측정기간 중의 일중 시간대별 평균 풍속(m/sec)을 분석한 결과, 그림 3과 같이 전반적으로 야간보다는 주간에 많은 바람이 분 것으로 나타났다. 대조구가 전 시간에 걸쳐서 가장 높은 풍속을 보인 반면, 방풍구 및 방풍차양구는 대부분의 시간 동안 풍속이 상대적으로 매우 낮은 것으로 측정되었다. 주간의 경우, 대조구에서 정오에서 오후 1시까지가 평균 0.94m/sec로 가장 높은 풍속이 계속되었으며, 방풍막 없이 차양만 적용된 차양구에서도 같은 시간대에 0.68m/sec의 평균풍속이 계속되어 두 번째로 높은 풍속을 보였다. 반면에 방풍차양구에서는 0.07m/sec 이하의 미미한 평균풍속이 계속되었다. 차양구의 평균풍속이 대조구의 풍속보다 낮게 계속된 것은 실험구에 적용된 차양막의 연직방향 풍향 간섭 때문으로 판단되며, 이는 방풍구와 방풍차양구에서도 차양막의 유무에 따라 미세하게나마 나타난 현상이다.

이와 같은 차양막의 유무에 따른 풍속의 감쇠현상에도 불구하고, 전체적으로는 방풍막의 유무에 따라서 실험구별 통풍 정

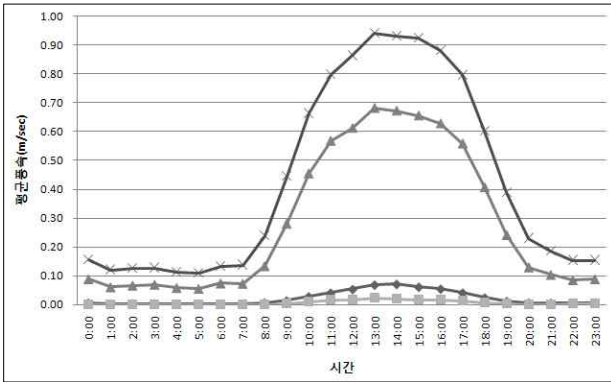


그림 3. 실험기간 동안 일중 시간대별 평균 풍속 변화 추이
범례: ◀ 방풍구, ■ 방풍차양구, ▲ 차양구, ✕ 대조구

표 1. 실험기간 중 주간(07:00~20:00)의 실험구별 풍속 비교

구분	최고 (m/s)	평균±표준오차 (m/s)	사후검정 $\alpha=0.05$			
			1	2	3	4
대조구	2.09	0.67±0.012	a	-	-	-
차양구	2.04	0.46±0.010	-	b	-	-
방풍구	0.48	0.03±0.001	-	-	c	-
방풍차양구	0.30	0.01±0.001	-	-	-	d

도가 명확하게 구분되는 것으로 판단되었다. 특히 하절기 복사 평균온도의 변화가 심한 주간을 중심으로 오전 7시부터 오후 8 시까지의 측정자료를 바탕으로 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 실험구별 평균 풍속 차이를 분석한 결과, 표 1과 같이 통계적으로도 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 각각의 실험구 조건은 실험구별 통풍의 정도를 통제할 본 실험의 조건을 충족시키는 것으로 해석되었다.

2) 기온

각 실험구에서 측정된 하절기의 시간대별 평균 기온은 그림 4와 같이 야간에는 비슷한 값으로 수렴되는 경향을 보인 반면, 주간에는 약간의 차이가 형성되는 것으로 나타났다. 오전 7시에서 오후 8시까지의 주간에는 방풍구가 상대적으로 높은 기온을 보였으며, 차양구가 가장 낮은 기온분포를 보였다. 반면, 대조구와 방풍차양구는 큰 차이가 없었던 것으로 나타났다. 또한, 이 기간 동안의 최고 온도를 분석한 결과에서도 표 2에서와 같이 방풍구가 40.79℃로 가장 높게 나타난 반면, 차양구는 35.62℃로 가장 낮게 나타났다. 한편, 대조구와 방풍차양구는 최고온도와 평균온도가 각각 37.7℃와 25℃ 수준에서 비슷한 것으로 나타났으며, 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 실험구별 평균 온도 차이를 검증한 결과에서도 이 두 실험구는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

비록 통계적으로는 실험구별 기온의 차이가 발생하는 것으로 분석되었지만, 실험구별 평균기온의 차이가 ±1℃ 내외로 나

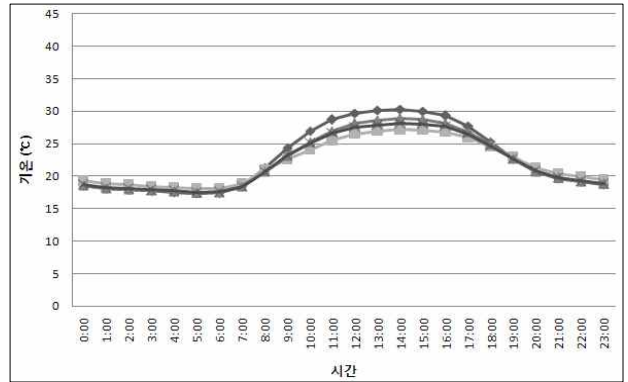


그림 4. 실험기간 동안 일중 시간대별 평균 기온의 변화 추이
범례: ◀ 방풍구, ■ 방풍차양구, ▲ 차양구, ✕ 대조구

표 2. 실험기간 중 주간(07:00~20:00)의 실험구별 기온 비교

구분	최고 (°C)	평균±표준오차 (°C)	사후검정 $\alpha=0.05$		
			1	2	3
대조구	37.75	25.35±0.123	a	-	-
차양구	35.62	24.80±0.109	-	b	-
방풍구	40.79	26.70±0.144	-	-	c
방풍차양구	37.67	25.66±0.126	a	-	-

타남에 따라, 이 결과만을 바탕으로 실제 그림자 지역과 땀별에서 사람이 느끼는 체감온도의 차이를 설명하기에는 한계가 있었다. 이는 기온의 경우, 지면으로부터 1.5m 높이에서의 대기 온도를 측정된 값을 의미하는 것이고, 실제로 백엽상과 차양덮개 등을 이용하여 온도 측정부에 태양광을 비롯한 복사열이 직접 측정부에 도달할 수 없도록 하여 간접적으로 대기온도를 측정하기 때문으로 주변의 미세한 공간구성 차이에 따른 온도변화를 설명하기에는 부족한 점이 있었다.

3) 흑구온도

일 중 시간대별 흑구온도의 경우, 그림 5에서와 같이 일출과 함께 급격한 상승 추세를 보이며 증가하다가 오후 2시 전후를 정점으로 다시 감소하여 밤 사이 서서히 냉각되는 경향을 보였다. 주간에는 실험구별로 극명한 차이가 나타났는데, 방풍구가 가장 높은 값을 보인 반면, 차양구가 전반적으로 가장 낮은 값을 보였다. 대조구의 경우, 방풍구보다는 대체적으로 낮은 흑구 온도 값을 보였지만, 차양이 적용된 나머지 두 실험구에 비해서는 상대적으로 높은 값이 계속되었다.

구체적으로 하절기 주간 경우 표 3과 같이, 그림자가 없는 태양광 직사 조건인 대조구에서 흑구온도는 최고 49.3℃였는데, 통풍이 원활하지 않도록 네 측면을 차단한 방풍구의 경우 최고 52.2℃까지 상승한 것으로 나타났다. 반면에 상부에 태양광을 차단할 수 있는 차양막을 설치한 차양구의 경우 최고 온도는 약 40.6℃로 약 12℃ 정도 낮은 것으로 분석되었다. 한편 차

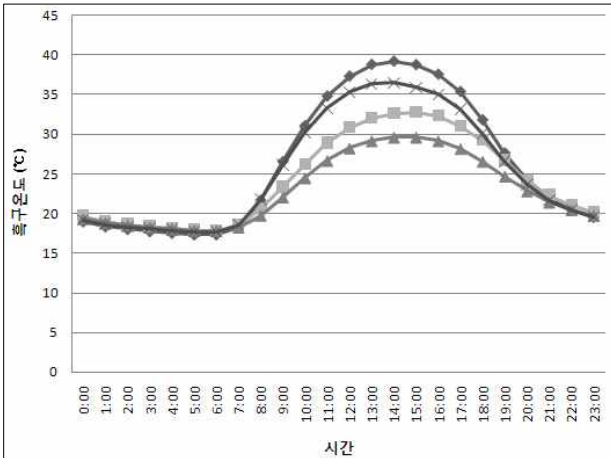


그림 5. 실험기간 동안 일중 시간대별 흑구온도 변화 추이
 범례: ◀ 방풍구, ■ 방풍차양구, ▲ 차양구, ✖ 대조구

표 3. 실험기간 중 주간(07:00~20:00)의 실험구별 흑구온도 비교

구분	최고 (°C)	평균±표준오차 (°C)	사후검정 $\alpha=0.05$			
			1	2	3	4
대조구	49.29	31.09±0.192	a	-	-	-
차양구	40.58	26.23±0.133	-	b	-	-
방풍구	52.22	32.67±0.221	-	-	c	-
방풍차양구	43.13	28.50±0.154	-	-	-	d

양의 조건에서 통풍을 제한한 방풍차양구의 경우 최고값이 43.1°C로, 통풍 차단에 의한 흑구온도 차이는 실험구별 최고값 기준으로 약 3°C 정도인 것으로 나타났다.

평균값을 기준으로 분석했을 때, 표 3과 같이 대조구가 약 31°C일 때 차양구는 약 26°C로, 그림자에 의해서 약 5°C 정도의 흑구온도 냉각효과가 있는 것으로 나타났다. 반면에, 방풍구와 방풍차양구는 각각 32.7°C와 28.5°C로 나타나 통풍의 차단에 의해서 약 2°C의 흑구온도 상승효과가 있는 것으로 분석되었다. 한편, 오전 7시부터 오후 8시까지의 각 실험구별 흑구온도 값을 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 평균값 차이를 검증한 결과, 네 실험구 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

2. 실험구별 평균복사온도 변화 특성

측정된 흑구온도와 건구온도를 바탕으로 평균복사온도를 환산하여 하루 중의 시간대별로 정리한 결과, 그림 6과 같이 야간에는 실험구에 큰 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 주간의 경우 방풍구와 대조구가 일출과 함께 급격하게 상승하여 높은 값을 보인 반면, 차양구는 비교적 완만한 증가세를 보여 상대적으로 낮은 값을 형성한 것으로 나타났다. 특히, 방풍구와 대조구의 경우 일출 이후 오전 11시경까지 거의 비슷한 값을 보

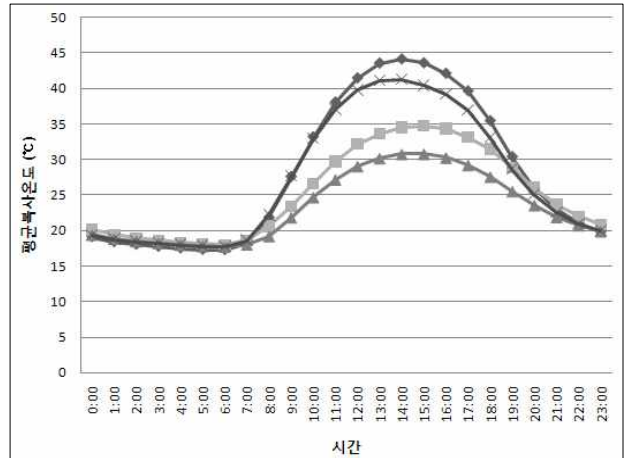


그림 6. 실험기간 동안 일중 시간대별 평균복사온도의 변화 추이
 범례: ◀ 방풍구, ■ 방풍차양구, ▲ 차양구, ✖ 대조구

표 4. 실험기간 중 주간(07:00~20:00)의 실험구별 평균복사온도 비교

구분	최고 (°C)	평균±표준오차 (°C)	사후검정 $\alpha=0.05$			
			1	2	3	4
대조구	56.11	33.23±0.114	a	-	-	-
차양구	42.94	26.89±0.146	-	b	-	-
방풍구	58.84	35.92±0.269	-	-	c	-
방풍차양구	45.74	29.91±0.172	-	-	-	d

이며 급격하게 상승하였는데, 방풍구의 경우 계속 상승하여 오후 2시 전후에 가장 높은 값이 측정된 반면, 대조구는 정오에서 오후 1시 사이에 정점을 찍고 감소하는 추세를 형성하였다. 이후 오후 시간대에는 두 실험구 모두 급격하게 냉각되는 경향을 보였는데, 대조구의 냉각 속도가 방풍구보다 빠른 것으로 분석되었다.

차양구와 방풍차양구의 경우, 위 두 실험구에 비해 상대적으로 낮은 평균복사온도 변화추세를 보여, 차양이 옥외공간의 온열환경 조절에 미치는 영향이 매우 크다는 점을 확인할 수 있었다. 한편 차양구의 경우 오전에는 완만하게 증가하고, 오후에는 상대적으로 빨리 감소한 반면, 방풍차양구는 차양구에 비해 오전에 급격하게 값이 증가하고, 오후에는 감소속도가 지연되어 상대적인 값의 차이는 미미하긴 하지만 야간에까지 가장 높은 값을 유지하는 경향을 보였다. 이를 통하여 통풍이 온열환경의 냉각에 있어서 매우 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

대조구에서 평균복사온도는 표 4와 같이 실험기간 중 최고 56.1°C까지 상승하였는데, 이때 통풍이 되지 않는 방풍구의 경우 약 58.8°C까지 상승한 것으로 나타났다. 반면에 차양구의 경우 42.9°C가 최고값으로 대조구에 비해서 약 13.2°C, 방풍구에 비해서는 약 16°C의 냉각효과가 있는 것으로 나타났다.

주간 동안의 실험구별 평균값을 기준으로 비교했을 때, 차양

구가 26.9°C로 가장 낮게 나타났으며, 방풍구가 35.9°C로 가장 높게 나타나 약 9°C의 차이를 보였다. 한편, 대조구는 33.2°C, 방풍차양구는 29.9°C로 통풍의 차단에 의해서 약 3°C의 차이가 형성되는 것으로 나타났다. 또한, 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 평균복사온도의 평균값 차이를 검증한 결과, 네 실험구 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. 평균복사온도 변화에 미치는 통풍과 차양의 영향 해석

일사량과 풍속이 평균복사온도와 형성하는 상관관계를 분석한 결과, 표 5와 같이 양측 1% 유의수준의 피어슨 상관계수 기준으로 일사량이 0.791, 풍속 0.125로 나타나 일사량에 의한 영향이 절대적으로 높은 것으로 나타났다.

이 시간 동안 평균복사온도와 일사량 및 풍속의 관계는 다음 식 2 및 3과 같은 회귀식으로 설명될 수 있는데, 식 2의 R²값이 0.631인데 비해, 식 3은 0.626으로 풍속에 의한 설명력 차이는 상대적으로 낮은 수준인 것으로 해석되었다.

$$Tr=29.276+6.837 \times Si-1.534Ws \quad (\text{식 } 2)$$

$$Tr=28.832+6.677 \times Si \quad (\text{식 } 3)$$

여기서, Tr=평균복사온도(°C)

Si=시간별 평균일사량(MJ/m²)

Ws=시간별 평균풍속(m/s)

평균복사온도를 실험구별로 구분해서 비교했을 때는 명확한 차이가 도출된 반면, 평균복사온도를 종속변수로 두고 평균일사량과 풍속을 독립변수로 해석했을 때는 그 설명력을 나타내는 R²이 약 0.63으로 기대보다는 낮게 나타났다. 이는 전체적으로 일사량을 실험구에서 직접적으로 측정하지 못하고, 기상청에서 제공된 자료를 이용한 점과 풍속의 변화에 따른 흑구온도 변화를 민감하게 해석하지 못한 점에 기인한 것으로 판단된다. 특히, 풍속과 평균복사온도 사이의 영향에 대한 설명력이 낮은 것은 측정에 적용된 표준흑구의 경우 속에 물이 채워진 150mm의 대구경 흑구로 복사량 변화에 따른 흑구온도 변화의 안정적인 측정에 용이하도록 구성되어 있다는 특성때문에 시시각각으로 변하는 풍속에 민감하게 반응하지 못했을 가능성이 높았

표 5. 평균복사온도와 일사량 및 풍속의 상관관계

Pearson 상관계수	일사량	풍속
평균복사온도	0.791**	0.125**
표본수	2,753	2,753

** : 0.01 유의수준(양측)

을 것으로 판단된다. 따라서, 향후 유사한 연구를 수행할 경우, 가급적 소구경의 흑구를 적용하되 주변의 복사량 변화에 민감하게 반응할 수 있도록 구성하는 노력이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과를 정리할 때, 일사 조건의 옥외공간에서 차양의 여부에 따라서 사람의 체감하는 평균복사온도는 최대 16°C, 평균 9°C 정도 차이가 날 정도로 크게 영향을 받으며, 통풍의 여부 또한 약 3°C 정도 차이를 발생시키는 중요한 요소라는 점이 객관적으로 입증되었다. 이러한 결과는 비슷한 방법론을 적용했던 기존연구(김현철과 우지근, 2011) 결과와 전체적으로는 일치하는 경향으로 해석된다. 다만 WBGT와 평균복사온도를 직접적으로 비교할 수는 없겠지만, 방풍조건의 WBGT가 통풍조건보다 약 2.11°C 높고 차양 조건이 무차양 조건보다 1.84°C 낮게 분석된 결과만을 놓고 볼 때, 수치상으로 큰 차이를 보였다는 것이 차이점이다. 이는 기존연구가 비교적 무풍상태의 9일 동안의 평균 데이터를 비교한 결과인 반면, 본 연구는 우천과 기상이변을 제외한 44일 동안의 데이터를 비교한 결과라는 점과, 기존 연구에서는 방풍과 차양이 동시에 적용된 실험구가 없어 통풍과 방풍의 효과를 객관적으로 구분하여 비교할 수 없었던 반면, 본 연구에서는 방풍차양구를 조성하여 비교하였다는 점 등이 원인인 것으로 판단된다. 따라서 통풍과 방풍의 효과를 정량적으로 구분하여 해석했다는 점은 본 연구의 중요한 의의라고 할 수 있다.

아울러, 통풍과 차양이 배제된 조건에서 포장재료의 변화에 따른 온열환경 차이에 대한 기존연구(이춘석과 류남형, 2010)와 종합하여 고찰할 때, 소규모 옥외공간에서 사람이 실질적으로 느끼는 온열환경을 개선하기 위해서는 국지적인 포장 또는 지피의 단순한 변화를 피하기 보다는 일사를 직접적으로 차단할 수 있는 차양대책의 마련이 가장 효과적인 방법이며, 통풍을 적극적으로 유도하는 것이 효과적인 방법이라는 점이 확인되었다. 특히, 실험결과만을 근거로 판단할 때, 하절기 옥외공간에서 인간의 쾌적한 활동을 유도하고, 나아가 전체적인 도시의 열환경 개선에 기여하기 위해서 대형 녹음수 또는 엽밀도가 높은 넓은 면적의 수림대를 보호 및 조성하고, 실질적으로 온도를 저감시킬 수 있는 수면을 적극적으로 도입하며, 통풍이 원활하게 이루어질 수 있도록 옥외공간의 구조를 개선하려는 노력이 더 중요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 옥외공간에서 태양직사광의 차양 여부와 통풍의 여부에 따른 온열환경의 변화를 객관적 물리량으로 검증하기 위하여 차양과 방풍시설이 적용된 소규모 실험구를 조성하여 흑구온도와 풍속, 기온을 측정하였다. 2011년 하절기 동안

지속적으로 측정된 결과를 인체에 영향을 미치는 온열환경의 대표적인 지수인 평균복사온도로 환산하여 비교 분석하였다.

분석결과, 기온은 실험구에 따른 최고치를 기준으로 방풍구가 40.8°C로 가장 높았고, 차양구가 35.6°C로 가장 낮게 측정되어 최대 약 5°C의 차이가 있는 것으로 나타났다. 반면에, 실험구별 평균값은 약 1°C 내외의 근소한 차이가 있었던 것으로 분석되었다. 후구온도는 방풍구의 최고치가 52.2°C로 가장 높았고, 차양구의 최고치가 40.6°C로 가장 낮아 약 12°C의 차이가 있었으며, 평균값도 각각 32.7°C와 26.2°C로 약 6°C의 차이가 있었다. 대조구 및 방풍차양구를 포함한 네 개의 실험구를 동시에 비교했을 때, 차양에 의해서는 최대 약 9°C, 평균 약 6°C의 상대적인 후구온도 저감효과가 있었으며, 통풍에 의해서는 약 3°C의 후구온도 상승효과가 발생한 것으로 해석되었다.

기온과 후구온도를 동시에 고려한 평균복사온도를 기준으로 해석했을 때, 차양에 의해서는 최대 13°C, 평균 9°C의 냉각효과가 발생한 반면, 방풍에 의해서는 반대로 평균 약 3°C의 가열효과가 있는 것으로 정리되었다. 특히, 통풍이 되지 않는 태양직사광 지역은 바람이 원활하게 통하는 그림자 지역보다 최대 16°C까지 평균복사온도가 높은 것으로 나타났다.

기상청 자료를 이용한 회귀분석과 상관관계 분석 결과에서도 태양직사광에 대한 차양이 옥외공간의 평균복사온도를 냉각시킴에 있어 중요한 요인임이 파악되었다. 따라서 향후 옥외공간의 조성 및 관리에 있어 태양광을 차단하여 공기를 냉각시킬 수 있도록 차양의 역할을 할 수 있는 녹음수를 식재하고, 수림대를 보호 및 조성함으로써 통풍이 원활하게 이루어지도록 하는 것이 매우 중요한 과업이라는 점을 명확하게 입증할 수 있었다.

한편, 차양에 따른 영향을 보다 더 객관적으로 증명하기 위해서는 개별 실험구에서 측정된 일사량 자료를 분석에 사용해야 하나, 여러 여건상 인근의 기상대에서 측정된 자료를 이용한 점은 본 연구의 큰 한계 중의 하나이다. 아울러, 옥외공간의 규모, 차양시설이나 수림의 크기나 구조, 벽체의 재료 등 실제 옥외공간의 다양한 여건을 반영하지 못하고, 소규모의 조작적인 실험구를 이용하여 계측이 이루어진 점도 또한 큰 한계점이라고 할 수 있다. 향후, 이러한 한계점을 개선하여 보다 객관

적이고 현실적인 결과가 도출될 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

인용문헌

1. 기경석, 이경재(2009) 대도시 외곽지역 논 경작지의 토지이용 및 피복변화에 따른 온도변화모형 연구. 한국조경학회지 37(1): 18-27.
2. 김현철, 우지근(2010) 소공간 실험구의 차광과 통풍에 의한 기온저감 효과. 한국환경복원기술학회지 13(6): 39-48.
3. 박수국(2012) 인간 열환경지수를 이용한 조경계획 및 디자인 방법. 한국조경학회지 40(1): 1-11.
4. 박종길, 정우식, 김은별, 박길윤(2007) 한국형 체감온도 지수 개발: 기준 체감온도지수 분포 및 민감도 분석. 한국지구과학회지 28(7): 878-890.
5. 오규식, 서안선, 정승현(2009) 열환경 개선을 위한 아파트주동배치계획. 환경복원녹화 12(2): 83-94.
6. 윤민호, 안동만(2009) 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석. 한국조경학회지 37(3): 46-53.
7. 윤용현(2004) 도시녹지가 미기상 조절에 미치는 실증적 연구. 한국환경생물학회지 22(2): 279-286.
8. 이상화, 이규석, 정해연, 김문성(2009) 도시공원 내 식생 수관에 의한 기온 변화. 환경복원녹화 12(1): 44-51.
9. 이춘석, 류남형(2010) 조경포장이 옥외공간의 온열쾌적성지수(WBGT)에 미치는 영향. 환경조경학회지 38(2): 1-8.
10. 조현길, 안태원(2009) 도시기온에 작용하는 입체적 토지 피복의 영향. 한국조경학회지 37(3): 54-60.
11. 주민진, 이춘석, 류남형(2004) 도심녹음수의 체감온도지수(WBGT) 조절효과. 한국조경학회지 32(3): 51-59.
12. 최동호, 이부용(2007) 하절기 복사환경 관측을 통한 수목과 일사차폐 구조물의 자연냉각효과. 한국태양에너지학회 논문집 27(4): 137-146.
13. Epstein, Y. and D. S. Moran(2006) Thermal comfort and the heat stress indices. Industrial Health 44: 388-398.
14. ISO 7726(2001) Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities
15. ISO 7730(2005) Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
16. Potchter, Oded, Yaron Yaakov, Limor Shashua-Bar, Shabtai Cohen, Josef Tanny and Pua Bar-Kutiel(2011) The use of urban vegetation as a tool for heat stress mitigation in hot and arid regions, case study: Beer Sheva Israel. City Weather: Meteorology and Urban Design 1950- 2010: 1-13.
17. Toy, S. and S. Yilmaz(2010) Evaluation of urban-rural bioclimatic comfort differences over a ten-year period in the sample of Erzincan city reconstructed after a heavy earthquake. Atmosfera 23(4): 387-402.
18. <http://www.baranidesign.com>
19. <http://www.comfile.co.kr>

원 고 접 수 일: 2012년 8월 10일
 심 사 일: 2012년 8월 31일(1차)
 2012년 9월 16일(2차)
 계 재 확 정 일: 2012년 9월 18일
 3인익명 심사필