

도시 지역에서 토지 피복에 따른 열 변이 특성

Characteristics of Thermal Variations with the Different Land Covers in an Urban Area

박성애 · 공학양* · 김승현 · 박성민 · 신영규

국립환경과학원 자연환경연구과

Sung-Ae Park, Hak-Yang Kong*, Seung-Hyun Kim, Sungmin Park and Young-Kyu Shin

Natural Environment Research Division, National Institute Environmental Research, Incheon 22689, Korea

Received 4 March 2016, revised 10 March 2016, accepted 20 March 2016, published online 31 March 2016

ABSTRACT: This study was conducted to analyze the effect of the different land covers of an urban park (Hyowon park) in downtown Suwon on the urban thermal variations during a hot summer. The effect of the air temperature reduction in the urban park was 4.4%-4.5% for the downtown residence (Maetan-dong). This value was about 0.8% lower than that of the outskirts residence (Sanggwanggyo-dong). The daily mean temperature, daily maximum temperature, summer day and heat wave frequency were measured under the different land covers (cement-block, grass, pine-grass, shading area and mixed forest) showed these values generally decreased under natural land cover types. Daily minimum temperature and tropical night frequency didn't seem to correlate with the land cover types. Means of thermal comfort indices (wet bulb globe temperature, heat index and discomfort index) in the shading area, mixed forest and the pine-grass types were lower than those of cement block and grass types. However the levels of those indices were equal to 'very high' or 'caution' levels in the afternoon (13:00-15:00). In the morning (06:00-08:00), thermal comfort indices of the urban park didn't correlate with land cover types. Therefore, to reduce heat stress and to improve the thermal comfort in urban parks, an increase in the area of natural land cover such as grass, forest and open spaces is required.

KEYWORDS: Land cover, Thermal environment, Thermal comforts index, Urban park

요 약: 본 연구는 수원시 도심에 위치한 도시공원인 효원공원을 대상으로 여름철 대기온도 저감효과를 확인하고, 공원을 구성하는 서로 다른 피복유형별 특성을 파악하기 위하여 열 환경을 실측하고 분석하였다. 도시공원의 여름철 대기온도저감효과는 도심주거지(매탄동) 대비 평균 4.4~4.5%로 통계적으로 유의하였고 ($p < 0.001$), 수원시의 외곽주거지(상광교동) 보다는 약 0.8% 낮은 수준이었다. 도시공원 내 피복유형(보도블럭, 잔디 식재지, 소나무-잔디 식재지, 수목 차광지 및 혼합림 조경지)에 따른 열환경은 자연소재의 유형일수록 일평균기온, 일최고기온, 여름일수가 낮은 경향을 보였다. 그러나, 일최저기온 및 열대야일수는 피복유형에 따른 상관관계가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 오후시간대(13:00-15:00)에 혼합림 조경지, 수목 차광지, 소나무-잔디 식재지의 불쾌지수(DI), 습구흑구온도(WBGT) 및 열지수(HI)의 평균값이 보도블럭과 잔디 식재지보다 낮아서 자연소재의 피복 유형의 열쾌적성이 양호한 것으로 나타났다. 그러나 각 지수에 대한 등급은 모든 피복 유형에서 '가장 높음' 또는 '주의' 단계로 동일하였다. 한편 오전(06:00-08:00)에는 토지 피복유형별 열쾌적성에 차이가 없었다. 결론적으로 도시에서 열 환경을 개선하기 위하여는 초지, 숲 및 개방 지역의 토지 피복 유형을 증가하여야 한다.

핵심어: 토지피복, 열환경, 열쾌적성 지수, 도시공원

*Corresponding author: rosa337@korea.kr, ORCID: 0000-0002-6533-2511

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도시개발에 의한 인구 유입과 산업발전이 진행됨에 따라 아파트와 같은 공동주택, 아스팔트, 콘크리트 등의 포장도로, 공장과 같은 인공환경이 도시에서 급격하게 증가하여 왔다 (Kim 2003). 인공환경의 증가는 도심의 기온이 주변지역에 비해 높게 나타나는 열섬현상과 같은 도시 열 환경 문제를 야기하였다 (Landsberg 1981, Yoshino 1981). 도시에서 인간 활동에 의하여 발생하는 인공열을 억제하기 위해서는 녹지 조성에 따른 그림자 효과와 증발산 작용을 이용하는 것이 가장 합리적이고 현실적인 대안이라고 할 수 있다 (Hiroshi 1971, Yoon et al. 1997, Shashua-Bar and Hoffman 2000).

도시에서 공원과 녹지에 의한 열섬 완화 효과에 대한 연구로서 Eliasson (2000)은 도시 녹지공원과 도심과의 평균 기온차가 약 4°C로서 녹지가 기온 저감에 효과가 있다고 하였다. 또한 Yu and Hien (2006)은 녹지 공간이 기온을 저감시켜 건물의 에너지 소비를 절감시킨다고 하였다. 국내에서도 Yoon et al. (2008)이 교목과 관목이 함께 덮인 수림 형태에서 현저한 저온 현상이 일어났으며, 교목, 아교목 순으로 수목 수수가 증가할수록 기온 저하가 크다고 밝힌 바 있다.

그러나 도시의 주요 녹지 공간인 근린공원은 환경적 특성을 고려하기 보다는 법적 시설기준에 근거하여 계획되기 때문에 대부분 도시의 열 특성을 고려하여 조성되지 않고 있다 (Sung et al. 2009, Jung 2011). 실제로 공원 조성계획에서 사람의 감각과 행동에 영향을 미치는 열 환경 인자를 고려하지 못하고 있다 (Lee et al. 2010). 그러므로 본 연구에서는 최근 도시 기온 상승이 뚜렷한 수원시에서 도심과 교외 거주지와 도시공원을 대상으로 토지 피복에 따른 열 환경을 조사하고, 도시민에게 영향을 미치는 열쾌적성 지수를 분석하여 쾌적한 도시 기후 환경을 조성하는 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사지 개황

본 연구는 수원시 팔달구 인계동에 위치한 도시공원인 효원공원과 도심 및 교외 주거지를 대상으로 하였다. 수원시는 최근 40 년간 (1973년-2014년) 연평균 기온이 0.48°C/10년의 빠른 속도로 증가하여 수도권 (양평, 인천, 서울, 이천) 중에서 가장 빠르게 열 환경이 악화되고 있는 도시이다. 그 중에서도 팔달구

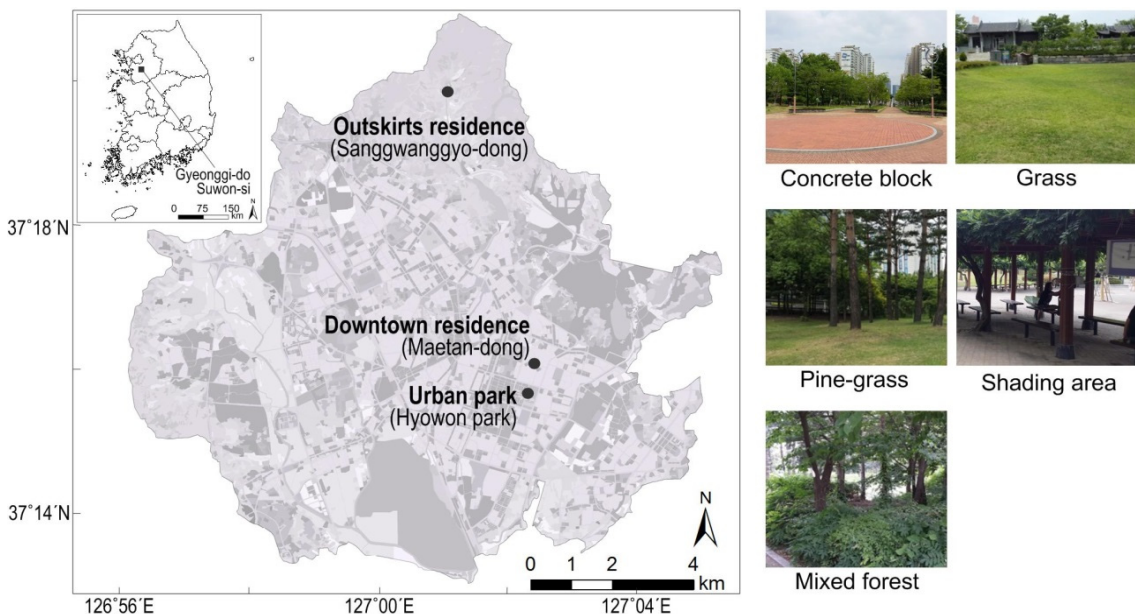


Fig. 1. Map showing the study area in the Suwon, Korea. The closed circles indicate study sites and photographs indicate five land cover types of the Hyowon urban park.

인계동과 영통구 매탄동은 시가화 지역 비율이 높은 곳으로 상업지역과 주거지역이 밀집해 있다. 팔달구 인계동 상업지역과 영통구 매탄동 주거지역에 인접한 효원공원은 1994년에 팔달구 내 소재한 7개 공원 중 비교적 넓은 141,565 m² 면적으로 조성되었다. 이 공원은 평탄한 지역으로 토지 피복유형에 따른 열 환경의 차이를 비교하기 적합한 지역이다. 여름철 도심 공원의 열환경 비교를 위하여 효원공원에서 북쪽으로 0.7 km 떨어진 도심 주거지역인 영통구 매탄동과 효원공원과 7.7 km 떨어진 백운산과 광교산에 인접한 장안구 상광교동 외곽 주거지역을 비교지역으로 선정하였다 (Fig. 1). 효원공원 (도시공원), 매탄동 (도심주거지), 상광교동 (외곽주거지) 3 지점의 반경 1 km 이내 토지피복유형을 살펴본 결과, 도시공원과 도시주거지는 교통지역, 주거지역, 상업지역과 같은 시가화 건조지역이 80% 이상인 전형적인 인구과밀지역이었다. 반면에 외곽 주거지역은 산림지역과 농업지역이 총면적의 96%를 차지하였다.

2.2 열환경 실측

공원 내 토지피복별 온도와 상대습도를 조사하기 위하여 보도 블럭, 잔디 식재지, 잔디-소나무 식재지, 혼합림 조경지, 수목차광지 (등나무 그늘) 총 5개 공간유형에 온습도센서 (Model U23, Hobo, USA)를 태양복사를 차단할 수 있는 복사차폐물 내에 고정시키고 지상 1.5 m 높이에 설치하였다. 여름철 2015년 7월 21일부터 8월 21일까지 약 한 달간 10분 간격으로 관측하되 토지 피복에 따른 열환경에 대한 설명력을 높이기 위하여 일강수량 2.5 mm를 초과한 강우일 총 6일 (7월 23-26일, 8월 2일, 8월 16일)을 제외한 26일 동안의 데이터를 기준으로 분석하였다. 대조구로 도심주거지역 (매탄동)과 외곽주거지역 (상광교동)에도 동일한 온습도 센서를 설치하고 자료를 취득하였다.

2.3 기상분석

기온분석은 기상대(청)와 동일한 방법으로 10분 간격으로 측정된 자료 중 정시의 자료를 평균하여 사용하였으며, 기상인자들은 각 지점별 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온 및 일평균극한기온교차의 평

균값을 산출하였다. 여름철에 인체가 느끼는 더위를 간접적으로 나타낼 수 있는 여름일수 (일최고기온이 30°C 이상인 일수), 열대야일수 (일최저기온이 25°C 이상인 일수), 폭염발생일수 (폭염주의보기준인 일최고기온이 33°C 초과일수)를 열환경 특성인자로 계산하였다.

2.4 열쾌적성 분석

하절기에 기온과 습도에 따라 사람이 실제 체감하는 더위를 나타내는 지수를 활용하여 열쾌적성을 비교할 수 있는데 일상생활에서 사용하고 있고 학술연구에도 널리 사용하는 불쾌지수 (discomfort index, DI), 열지수 (heat index, HI) 및 습구흑구온도 (wet bulb globe temperature, WBGT)를 분석하였다.

불쾌지수 (DI)는 날씨에 따라 사람이 불쾌감을 느끼는 정도를 기온과 습도를 조합하여 나타낸 수치로, 불쾌지수의 수식은 $0.4 \times (\text{건구온도 (°F)} + \text{습구온도 (°F)}) + 15$ 이다 (Thom 1959) (Table 1). 하지만 우리나라 기상청에서는 습구온도를 관측하지 않으므로 Eq. 1에 따라서 불쾌지수를 계산하였다. 아래의 식에서 T는 건구온도 (°C)이며, RH는 상대습도 (%)이다 (Korean Earth Science Society 2009).

$$DI = 9/5 \times T - 0.55 \times (1 - RH)(9/5 \times T - 26) + 32 \quad (\text{Eq. 1})$$

열지수 (HI) (°F)는 미국해양기상청 (NOAA 2005)에서 고온다습한 환경에서 기온과 습도에 따라 사람이 실제 느끼는 더위를 나타내는 지수로 개발한 것이다 (Table 1) (Eq. 2). 아래의 식에서 T는 기온 (°F), R은 상대습도 (%)이며 섭씨온도로 환산하여 표기하였다.

$$\begin{aligned} HI (\text{°F}) = & -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R \\ & - 0.22475541TR - 6.83783 \times 10 - 3T^2 \\ & - 5.481717 \times 10 - 2R^2 + 1.22874 \times 10 \\ & - 3T^2R + 8.5282 \times 10 - 4TR^2 - 1.99 \\ & \times 10 - 6T^2R \quad (\text{Eq. 2}) \end{aligned}$$

습구흑구온도 (WBGT)는 열스트레스를 평가하는 척도로 국제표준화기구 (International Organization for

Standardization, ISO)에 의해 ISO7234으로 표준화 되어 있다 (ISO 1989) (Table 1). 현재는 유럽과 일본에서 열사병 예방을 위하여 WBGT 값에 따른 행동 지침을 제시하여 활용하고 있으며, 우리나라에서도 국군의 훈련강도 기준과 안전보건공단의 고열직업환경관리지침에 활용하고 있다 (Kim et al. 2014). 본 연구에서는 흑구온도의 관측값이 없었기 때문에, WBGT 지수를 직접 추정하는 (ACSM 1984)의 방법을 사용하였다 (Eq. 3). T_a 는 기온 ($^{\circ}\text{C}$), e 는 수증기압 (hPa), RH는 상대습도 (%)이다.

$$WBGT = 0.567 \times T_a + 0.393 \times e + 3.94 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$e = RH / 100 \times 6.105 \times \text{EXP}(17.27 \times T_a / (237.7 + T_a)) \quad (\text{Eq. 4})$$

3. 결과 및 고찰

3.1 도시공원의 도심 고온화 저감 효과

도시공원의 5개 지소의 평균값과 도심과 외곽 주거지역의 기상값 (일평균온도, 일최고기온, 일최저기온, 일극한기온교차, 상대습도, HI, DI, WBGT)을 비

교하면 도시공원은 외곽 주거지역보다는 기온이 높고 열쾌적도가 낮지만 도심 주거지역보다 기온이 낮고 열쾌적성이 양호하였다 (Table 2). 일평균기온은 도시공원과 외곽주거지역의 일평균기온은 도심주거지역보다 각각 4.5% 및 9% 낮았다. 도시공원과 외곽주거지의 여름철 일최고기온은 도심주거지 보다 각각 4.5% 및 5.2% 낮았고, 일최저기온은 각각 4.4% 및 12.8%로 낮았다. 도시공원과 도심주거지의 일 최저기온의 차가 외곽주거지의 1/3 수준으로 크지 않았던 것은, 도시공원의 일극한기온교차의 평균값이 낮은 것과 관련이 있는데 주간 태양복사열로 상승했던 도시공원 대기온도가 야간에 외곽주거지의 수준으로 낮아지지 않는다는 것을 의미한다. 이는 주간보다 태양복사의 효과가 없는 야간에 지역적인 기온 특성이 두드러지게 나타난다는 기존의 연구결과 (Jung et al. 2011)와는 상치되는 것으로 도시공원의 기온특성은 주변의 토지피복 유형 또는 열 환경에 의해 달라질 수 있다는 것을 보여준다. 따라서 도시공원의 야간 시간대에 고온현상을 완화시키기 위해서는 외곽주거지역과 같은 자연 소재의 피복유형 면적을 현재보다 확대해야 할 것으로 판단된다.

열쾌적성을 평가하기 위하여 분석한 결과, 모든 지

Table 1. Three discomfort indices used in this study, discomfort index (DI), heat index (HI) and wet bulb globe temperature (WBGT).

Index ¹	Range	Category	Explanation
DI	> 80	I	Most of the total population suffers discomfort
	75-80	II	The 50% of the total population feels discomfort
	68-75	III	Few of the total population feels discomfort
	< 68	IV	No discomfort
HI ($^{\circ}\text{C}$)	27-32	Caution	Fatigue with prolonged exposure and physical activity
	32-41	Extreme caution	Sunstroke, Heat cramps and heat exhaustion possible with prolonged exposure and physical activity
	41-54	Danger	Sunstroke, heat cramps or heat exhaustion likely, and heatstroke possible with prolonged exposure and physical activity
	≥ 54	Extreme danger	Heat stroke or sunstroke highly likely with continued exposure
WBGT ($^{\circ}\text{C}$)	< 18	-	Unlimited
	18-23	I	Keep alert for possible increases in the index and for symptoms of heat stress
	23-28	II	Active exercise for acclimatized persons should be curtailed
	28-30	III	Active exercise for all but the well-acclimated should be curtailed
	> 30	IV	All training should be stopped

¹DI (Lee et al. 2013), HI (NOAA 2005) and WBGT (<http://www.bom.gov.au/info/wbgt/wbgtrecs.shtml/>).

Table 2. Characteristics of thermal variables in the urban park, downtown residence and outskirt residence (Mean±SD).

Variable	Urban park ²	Downtown residence ²	Outskirt residence ²
Daily mean temp. (°C)	27.3±1.1 ^b	28.6±1.0 ^a	26.0±1.2 ^c
Daily max. temp. (°C)	31.0±1.7 ^b	32.5±1.7 ^a	30.8±1.8 ^b
Daily min. temp. (°C)	24.4±1.2 ^b	25.5±1.1 ^a	22.2±1.4 ^c
Daily temp. range (°C)	6.6±1.6 ^a	7.0±1.7 ^a	8.6±2.1 ^b
Relative humidity (%)	77.2±6.0 ^b	71.1±7.6 ^a	82.6±5.7 ^c
Heat Index (°C)	30.1±2.3 ^b	31.9±1.7 ^a	27.8±2.4 ^c
Discomfort Index	78.2±1.6 ^b	79.3±1.2 ^a	76.8±1.8 ^c
WBGT ¹ (°C)	30.4±1.3 ^b	31.0±1.0 ^a	29.6±1.4 ^c

¹Wet bulb globe temperature.

²The different letters within the same row indicate the significant difference at $p < 0.001$ by Kruskal-Wallis test or Duncan's multiple comparison test.

Table 3. Comparisons of meteorological characteristics according to the different land cover types (mean±SD).

Land cover type	Daily mean temp. (°C)	Daily max. temp. (°C)	Daily min. temp. (°C)	Daily temp. range (°C)	Relative humidity (%)
Cement block	27.5±1.2	31.6±1.8	24.4±1.2	7.2±1.6	76.2±6.1
Grass	27.3±1.1	31.2±1.8	24.2±1.2	7.0±1.7	76.7±5.9
Pine-Grass	27.3±1.2	30.8±1.7	24.4±1.2	6.4±1.4	77.0±6.2
Shading area	27.2±1.1	30.7±1.7	24.5±1.1	6.2±1.5	77.0±5.9
Mixed forest	27.1±1.2	30.6±1.6	24.3±1.2	6.3±1.5	78.8±5.9
Outskirts residence	26.0±1.2	30.8±1.8	22.2±1.4	8.6±2.1	82.6±5.7
Downtown residence	28.6±1.0	32.5±1.7	25.5±1.1	7.0±1.7	71.1±7.6

역의 열지수 (HI)와 불쾌지수 (DI)는 각각 Caution (HI 기준 27.0-32.0°C)과 50% 정도 불쾌감을 느끼는 정도로 동일한 수준을 보였다 (Table 3). 또한 습구흑구온도 (WBGT)는 도심주거지역과 도시공원은 모든 야외활동을 자제하도록 하는 IV 등급, 외곽주거지역은 이보다 더 양호한 III 등급으로 나타났다. 열쾌적성 관련 지수는 지역별 등급의 차이가 크지 않았으나, 그 평균값은 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 그러므로 도시공원이 도심에서 쾌적한 열환경을 조성하는데 기여한다고 판단된다.

3.2 토지 피복유형별 열환경 특성

3.2.1 기상 특성

도시공원을 구성하고 있는 토지 피복 유형별 열 환경을 도심 및 외곽 주거지와 비교하면, 여름철 일평균기온과 일최고기온은 보도블럭에서 가장 높았고 혼합림 조경지에서 가장 낮았다 (Table 2). 자연소재

의 비율이 높은 피복 유형일수록 온도가 낮은 경향을 보였다. 특히 태양복사열에 의하여 직접적으로 영향을 받는 주간 고온화를 저감하는 효과가 큰 것으로 나타났다. 일최저기온은 토지 피복유형별 차이가 최대 0.3°C이었으며 피복유형과의 상관관계도 나타나지 않았다. 이와 같이 야간에 공원에서의 온도 저감 효과가 낮게 나타난 이유는 첫째, 도심에 위치한 공원은 이미 태양복사열로 고온화된 열환경에 노출되어 있어 자연소재의 피복에 의한 온도저감효과를 기대하기에는 그 면적이 충분하지 않고, 둘째, 비교적 바람이 적어 기류가 빈번히 정체되는 야간 시간대에는 공기 혼합효과가 적기 때문으로 판단된다 (Song and Park 2013). 따라서 도심의 열 환경을 정확히 판단하기 위해서는 추가적으로 풍향, 풍속에 대한 미기후적 연구가 추가되어야 할 것으로 보인다.

상대습도는 도시공원에서 보도블럭 유형이 76%로 가장 낮았고, 혼합림 조림지 유형이 79%로 가장 높았으며 도심주거지 보다 각각 5.1% 및 7.7% 높았

다. 공원의 차광 지역, 소나무 식재지 및 잔디는 이들의 중간값인 77%이었다.

3.2.2 여름일수, 폭염 및 열대야 발생 빈도

도시공원의 토지 피복별 열대야일수는 소나무-잔디 식재지가 9일로 가장 길었고 차광지, 혼합림, 보도블럭, 잔디 순으로 짧았다 (Fig. 2). 이러한 이유는 도시공원에서 야간 시간대의 최저기온이 토지 피복유형보다는 상대습도, 풍향, 풍속, 인공조명, 차량통행량 등과 같은 다른 자연적 및 인위적 환경 조건에 의하여 크게 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 여름일수는 보도블럭이 21일로 가장 길었고, 잔디가 18일, 소나무식재지와 차광지역이 17일, 혼합림은 16일이었다. 폭염발생 빈도는 보도블럭이 6일로 가장 높았고, 소나무-잔디와 잔디 유형이 3일, 차광지와 혼합림 조경지 유형이 2일로서 낮았다. 따라서 여름일수와 폭염발생일은 일최고기온에 의하여 영향을 받는데, 일최고기온은 주간시간대의 값이기 때문에 태양열을 직접적으로 차단해주고 자연소재의 피복재일수록 이들 값이 짧은 것으로 생각할 수 있다.

이상과 같이, 열대야 발생빈도, 여름일수 및 폭염 발생일수를 비교하면 도시공원은 도심의 고온화된 열환경을 현저하게 완화시키는 것으로 나타났으며, 특히 공원의 차광지역과 혼합림이 외곽주거지보다도 폭염발생일 빈도를 크게 감소시켰다. 이처럼 도시공원에서 토지피복에 따른 기온 저감효과는 주간 발생하는 여름일수와 폭염발생일수에서 컸다. 한편 야간시간대에 발생하는 열대야일수에 대한 완화 효과를 동시에 높이기 위해서는 차광기능과 함께 대기온

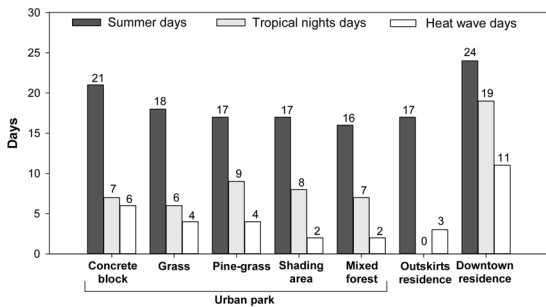


Fig. 2. Comparisons of summer days, tropical night days and heat wave days according to the land use types in study sites from July 21st to Aug. 21st 2015.

도를 저감할 수 있는 자연소재의 피복유형 면적을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

3.2.3 토지피복 유형별 열쾌적성

도시공원의 토지 피복유형별 5 지점에서 오전시간대 (06:00-08:00)와 오후시간대 (13:00-15:00)에 열쾌적성 지수인 일평균온도, WBGT, HI 및 DI를 산출하였다 (Fig. 3). 오전에는 평균대기온도, HI, WBGT, DI의 피복유형별 차이를 나타내지 않았으나 각 지수별 쾌적도 수준에서 차이를 보였다. HI는 27°C 이하로서 열 스트레스가 없는 것으로 분류되었으나, WBGT는 29.0 - 29.1으로서 HI 보다 상향 단계인 ‘충분히 열환경에 적응했을 경우에만 활동을 할 수 있는 단계’로 분류되었다. 또한 DI의 경우 75.6 - 75.8으로서 50%의 사람이 불쾌감을 느끼는 ‘높음’ 단계이었다. 오후에는 오전에 비하여 토지 피복유형별 평균대기온도와 쾌적성에서 차이를 보였다. 평균온도는 보도블럭에서 30.7°C로 가장 높았고, 혼합림 조경지에서 29.7°C로서 가장 낮아서 최대 1°C 차이가 나타났다.

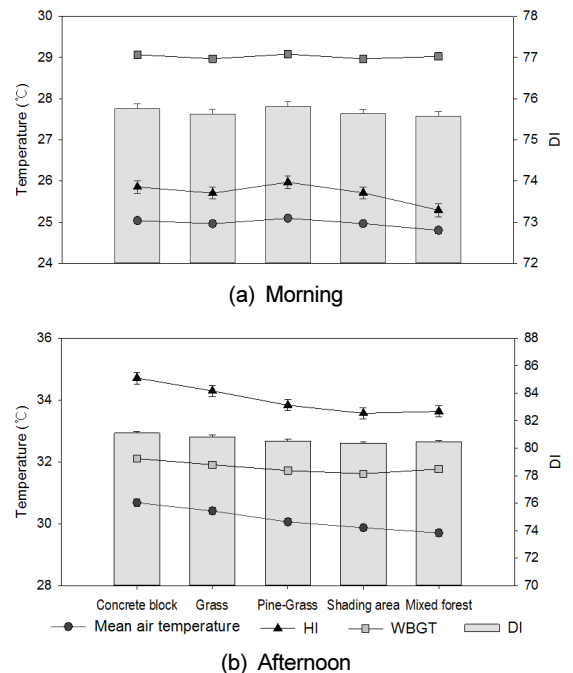


Fig. 3. Comparisons of wet bulb globe temperature (WBGT) (°C), heat index (HI) (°C), discomfort index (DI) and mean air temperature according to different land use types in an urban park in the morning (06:00-09:00) (a) and afternoon (13:00-15:00) (b).

오후에 HI는 33.6 - 34.7으로서 열지수 기준 ‘주의’ 단계에 해당하였으며, DI는 80.4 - 81.1으로서 전원이 불쾌감을 느끼는 ‘매우 높음’ 단계로 나타났다. 또한 WBGT는 31.6 - 32.1으로서 모든 야외활동을 자제해야 하는 가장 높은 ‘IV’ 단계로 나타났다. 오후 시간대는 오전에 비하여 인공 피복재로 이루어진 토지유형일수록 평균온도가 높았고 이에 따라 쾌적성이 떨어지는 경향이 있으나, 각 쾌적성 지수별 해당 기준으로는 차이는 없었다. 앞으로는 열환경에 대한 정확한 쾌적성 평가를 위해서는 인간이 체감하는 열환경을 결정하는 기온, 습도, 풍속, 태양복사에너지, 지구복사에너지를 모두 포괄하는 쾌적성 분석이 이루어져야 할 것으로 생각된다 (Park 2012, Yoon et al. 2014).

4. 결론 및 제언

본 연구는 수원에서 도시 기상을 실측하여 도시공원의 여름철 온도 저감효과를 밝히고, 공원 내 서로 다른 피복유형별 열 환경 특성을 파악하였다.

- 1) 여름철 도시공원의 대기 온도는 근접한 도심 주거지에 비하여 약 4.4 - 4.5%로서 외곽 주거지와 유사한 수준 (5.2%) 이었지만, 일최저기온은 외곽 주거지의 1/3 (12.8%), 일최고기온은 외곽주거지의 1/2 수준 (9%)으로 밤과 낮의 기온 저감효과가 상이하였다.
- 2) 토지 피복유형별 일평균기온과 일최고기온은 보도 블럭이 가장 높고 혼합림 조경지가 가장 낮았고 자연소재의 피복율이 높을수록 낮은 경향이었으나, 일최저기온은 토지 피복유형에 의한 차이가 나타나지 않았다.
- 3) 도시공원 내 토지 피복유형별 여름일수와 폭염발생일은 자연소재의 유형일수록 발생 빈도가 낮았으나 열대야일수는 차이가 나타나지 않았다. 따라서 도시에서 열대야 발생빈도는 토지 피복유형보다는 풍향, 풍속 등의 기타 물리적 요인에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다.
- 4) 도시공원에서 평균온도, 습구흑구온도 (WBGT), 열지수 (HI), 불쾌지수 (DI)를 비교하면 오전 (06:00-08:00)에는 토지 피복별 차이가 없었으나, 오후 (13:00-15:00)에는 자연소재의 피복유형일수록 쾌

적도가 높은 경향을 나타내었다.

- 5) 도시공원의 여름철 열환경은 도심 주거지보다 이용자에게 비교적 쾌적하였으나 야간에는 효과가 크지 않았다. 또한 공원에서는 자연소재의 피복유형일수록 비교적 쾌적성이 양호하였으나 주로 오전보다는 오후에 효과가 컸다. 도시에서 열환경을 개선하기 위하여는 자연소재의 토지 피복유형을 증가하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 ‘도시녹지의 도시환경질 개선 연구 (NIER-RP2015-303)’ 및 국립환경과학원 박사후연수과정 지원사업에 의해 수행되었습니다. 공원 환경조사에 도움을 준 수원시 공원녹지사업소에 감사드립니다.

References

- ACSM (American College of Sports Medicine). 1984. Prevention of thermal injuries during distance running. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 16: iv-xiv.
- Eliasson, I. 2000. The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48: 31-44.
- Hiroshi, S. 1971. Urban desert (different types on local climate - 20). *Kokonshoin* 16(8): 10. (in Japanese)
- ISO. 1989. ISO7243, Hot Environments - Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT-index (Wet Bulb Globe Temperature). International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- Jung, I.S., Choi, D.H. and Lee, B.Y. 2011. Observation study of thermal characteristics by distribution ratio of green area at urban in summer season. *Journal of the Korean Solar Energy Society* 31(3): 8-16. (in Korean)
- Jung, A.R. 2011. A study on the realization of allteglichkeit in Seoul urban parks. Master Thesis, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. (in Korean)
- Kim, H. 2003. The impacts of urban environmental factors on air temperatures in Seoul. *Journal of*

- Korea Planning Association 38(5): 259-269. (in Korean)
- Kim, Y.J., Kim, H.S., Kim, Y.K., Kim, J.K. and Kim, Y.M. 2014. Evaluation of thermal environments during the heat waves of summer 2013 in Busan metropolitan area. *Journal of Environmental Science International* 23: 1929-1941. (in Korean)
- Korean Earth Science Society. 2009. *Dictionary of Earth Science*. Bookshill, Seoul, Korea. (in Korean)
- Landsberg H. E. 1981. *Urban Climate*. Academic Press, New York, USA.
- Lee, J.A., Jung, D.Y., Chon, J.H., Lee, S.M. and Song, Y.B. 2010. An evaluation of human thermal comfort and improvement of thermal environment by spatial structure. *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture* 38(5): 12-20. (in Korean)
- Lee, S., Kwon, B.Y., Jung, D., Jo, K. Kim, M., Ha, S., Kim, H., Kim, B.N., Masud, M.A., Lee, E. and Kim, Y. 2013. Future prediction of heat and discomfort indices based on two RCP Scenarios. *Atmosphere, Korean Meteorological Society* 23(2): 221-229. (in Korean)
- NOAA. 2005. Heat wave: a major summer killer. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. <http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/heatwave.pdf>. Assessed 15 January 2016.
- Park, S.K. 2012. Landscape planning and design methods with human thermal sensation. *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture* 40(1): 1-11. (in Korean)
- Shashua-Bar, L. and Hoffman, M.E. 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings* 31(3): 221-235.
- Song, B.G. and Park, H. 2013. Air ventilation evaluation at nighttime for the construction of wind corridor in urban area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(2): 16-29. (in Korean)
- Sung, H.C., Seo, J.Y., Lee, Y.G., Kang, D.I., Hwang, S.Y. and Lee, Y.J. 2009. *User-driven Urban Park Development Plan*. Gyeonggi Research Institute, Suwon, Korea. (in Korean)
- Thom, E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12(2): 57-61.
- Yoon, Y.H., Park, B.J., Kim, W.T. and Park, S.Y. 2008. Factor analysis of the relation between land cover ratio of green spaces and temperature. *Journal of the Environmental Sciences* 17: 485-491. (in Korean)
- Yoon, Y., Yorikazu, M. and Shigeto, Y. 1997. A study on the relevancy of land coverage condition to air temperature and relative humidity distribution in park. *Papers Environmental Information Science* 11: 19-24. (in Japanese)
- Yoon, Y.H., Park, S.H., Kim, W.T. and Kim, J.H. 2014. Analyses on comparison of UTCI, PMV, WBGT between playground and green space in school. *Korean Journal of Environment and Ecology* 28: 80-89. (in Korean)
- Yoshino, M.M. 1981. Change of air temperature distribution due to the urbanization in Tokyo and its surrounding regions. *Science reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Section A, Geographical Sciences* 2: 45-60.
- Yu, C. and Hien, W.N. 2006. Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings* 38: 105-120.