조경포장이 옥외공간의 온열쾌적성지수(WBGT)에 미치는 영향†

- 통풍과 차광이 배제된 하절기 주간의 조건에서 -

이춘석 · 류남형

진주산업대학교 조경학과

The Influence of Landscape Pavements on the WBGT of Outdoor Spaces without Ventilation or Shade at Summer Midday

Lee, Chun-Seok · Ryu, Nam-Hyung

Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the influence of landscaping pavements on WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature) of outdoor spaces that lack ventilation and shade at summer midday.

The relative humidity(RH), dry-bulb temperature(DT) and globe temperature(GT) were recorded every minute from June to October 2009 at a height of 1.2m above ten experimental beds with different pavements, by a measuring system consisting of an electric humidity sensor(GHM-15), resistance temperature detector(RTD, Pt-100), standard black globe(Ø 150mm) and data acquisition systems(National Instrument's Labview and Compact FieldPoint). Additionally, the surface dry-bulb temperatures also were recorded and compared. The area of each experimental bed was 1.5m(W)×2.0m(L) and ten different kinds of pavement were used including grass, grass+cubic stone, grass+porous brick, brick, stone panels, cubic stone, interlocking blocks, clay brick, naked soil, gravel and concrete. To prevent interference from ventilation, a 1.5m height cubic steel frame was established around each bed and each vertical side of the frame was covered with transparent polyethylene film.

Based on the records of the hottest period from noon to 3 PM on 26 days with a peak dry-bulb temperature over 30℃ at natural condition, the wet-bulb temperature(WT) and WBGT were calculated and compared. The major findings were as follows:

1. The average surface DT was 40.1℃, which is 9℃ higher than that of the natural condition. The surface DT of the pavements with grass were higher than those of concrete and interlocking block. The peak DT of the surface almost every pavement rose to above 50℃ during the hottest time.

2. The averages of DT, WT and GT were 40.1℃, 27.5℃ and 49.1℃, and the peak values rose to 48.1℃, 45.8℃ and 59.5℃, respectively. In spite of slight differences that resulted according to pavements, no coherent differentiating factor could be found.

†: 이 논문은 2009년도 진주산업대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

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

3. The average WBGT of grass was the highest at 34.3℃ while the others were similar in the range of around 33±1℃. Meanwhile, the peak WBGT was highest with stone panel at 47.9℃. Though there were some differences according to pavements, and while grass seemed to be worst in terms of WBGT, it seems difficult to say ablolutely that grass was the worst because the measurement was conducted without ventilation and shade during summer daytime hours only, which had temperatures that rose to a dangerous degree(above 45℃ WBGT), withering the grass during the hottest period.

The average WBGT resulted also showed that the thermal environment of the pavement without ventilation and shade were at an intolerable level for humans regardless of the pavement type.

In summary, the results of this study show that ventilation and shade are more important factor than pavement type in terms of outdoor thermal comfort in summer daylight hours.

Key Words: Temperature, Urban Microclimate, Thermal Comfort

국문초록

도시 옥외공간에서 조경 포장면의 종류에 따른 하절기 옥외공간의 온열쾌적성 차이 발생 여부를 차광과 통풍이 배제된 조건에서 실제 온도와 상대습도의 측정을 통하여 검증하였다.

잔디, 석재잔디블럭, 중공잔디블럭, 석재블럭, 사고석, 소형고압블럭, 점토벽돌, 나지, 쇄석, 수밀콘크리트 등 총 10가지의 인공적으로 조성된 포장면을 대상으로 저항측정식 센서들을 이용하여 2009년 6월부터 9월까지 매 분 단위로 측정하고, 기상청 관측자료를 기준으로 일 최고 기온이 30℃ 이상인 26일 동안의 정오부터 오후 3시까지의 자료를 분석하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

지면 온도는 포장재의 종류에 따라서 차이가 발생하였는데, 잔디면의 온도가 가장 높았고, 콘크리트의 온도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 전체 시험구의 평균 지면온도는 40.1℃로 분석되었는데, 이는 기상대 관측 최고 기온보다 9℃ 이상 높은 것이었으며, 최고 온도는 약 50℃ 이상까지 상승하는 것으로 나타났다.

지면으로부터 1.2m 높이의 온열쾌적성지수인 습구흑구온도(Wet-Bulb Grlobe Temperature: WBGT)는 포장재에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었으며, 잔디포장면이 가장 높게 나타났고, 석재 또는 콘크리트블럭과 잔디를 혼합한 포장면이 가장 낮게 나타났다. 그러나 이들 측정값은 인간이 느끼는 쾌적한 온도 범위를 심각한 수준으로 넘어선 상태의 값으로 실제 환경에서의 체감 온열쾌적성과 직접 연관시키기는 곤란하다.

이러한 결과는 이상고온에 견디지 못하는 잔디의 생육 특성과 통풍과 차광이 배제된 시험구의 특성, 그리고 남중고도가 높은 한낮의 데이터만을 분석 대상으로 삼은 점 등이 복합적으로 영향을 미친 결과로 해석되었다.

결론적으로 본 연구를 통해서 통풍과 차광이 배제된 하절기 한낮의 옥외공간에서는 인간이 체감하는 온열쾌적성에 포장재 변화가 미치는 영향은 미미하며, 오히려 통풍과 차광이 미치는 영향이 매우 중요하다는 것을 파악할 수 있었다.

주제어: 온도, 도시미기후, 열쾌적성

Ⅰ. 서론

옥외공간에서 인간의 쾌적한 활동에 영향을 주는 대표적인 요소 중의 하나가 열환경이다. 열환경은 단순히 건구온도만을 이야기하는 것이 아니며, 인간의 행동에 영향을 미치는 습도와 온도를 복합적으로 고려한 것을 말한다. 열환경을 결정하는 인자로는 일조, 바람, 기온, 습도, 풍속, 풍향의 변화와 에너지 소비에 의한 기온상승현상, 피복상태에 따른 열수지 변화와 지면 증발량의 감소로 인한 온도 상승 효과 등이 있다(http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress). 우리나라의 경우, 하절기의 많은 강우량과 함께 높은 온도와 습도, 일조량 등이 사람들의 옥외 활동을 제약하는 대표적인 열환경 중 하나이다. 이러한 열환경을 개선하기 위한 수단으로 옥외공간에서는 전통적으로 지붕과 녹음수 등으로 일사를 차단하면서 통풍이 원활하게 이루어지도록 공간을 구성하는 방법이 많이 이용되어 왔다.

도시의 옥외공간 열환경에 관한 연구로는 녹지의 양과 녹피

율에 따른 기온 개선효과에 관한 연구(안계복과 김기선, 1986; 윤용한, 2004; 김수봉과 김해동, 2002; 조현길과 안태원, 1999; 이상화 등, 2009)와 거시적 관점에서의 평면적 또는 입체적 토지피복에 따른 기온의 차이를 인공위성 영상과 컴퓨터 시뮬레이션을 중심으로 분석한 연구(기경석과 이경재, 2009; 윤민호와 안동만, 2009; 오규식 등, 2009) 등이 주를 이루고 있으며, 이들 연구에서는 녹지가 많을수록 하절기 온도를 저감시키는 효과가 높아짐을 명확하게 밝히고 있다. 또한, 수목의 엽면적지수에 따른 체감온도지수인 습구흑구온도(Wet Bulb Globe Temperature; WBGT)변화를 현장실험으로 분석한 연구(주민진 등, 2004)에서도 수목의 엽밀도에 따라서 인간이 체감하는 열환경도 개선된다고 제시한 바 있다. 이상과 같이 그동안 많은 연구를 통해서 도시의 옥외 열환경을 인간의 활동에 쾌적하게 조절하기 위한 용도로 직사광선의 차단과 식물의 증발산이 효과적이라는 점은 객관적으로 증명되었다고 볼 수 있다.

그러나 도시 면적의 상당부분을 차지하고 있는 건물의 벽면과 옥상면, 광장, 운동공간, 도로, 주차장 등은 직사광선에 직접 노출되어 있으며, 계속적인 도시의 확장 개발로 인하여 그 면적은 계속적으로 증가하고 있는 추세이다. 또한, 도시 열섬현상의 이유로 화석에너지의 사용 증가와 함께 직사광선에 직접 노출되는 인공적인 구조물의 표면 및 포장면의 증가를 주된 원인으로 평가하여 왔고(조현길과 안태원, 2009), 이를 위한 해결책으로 인공적인 노출면에 대한 녹화의 필요성이 강조되고 있으며, 도시공원과 광장, 가로, 주차장 등 최근에 조성되고 있는 다양한 도시 옥외 공간에서 생태포장이라는 이름으로 지피식물 소재를 결합한 다양한 형태의 포장재가 적용되고 있다.

이러한 소재와 공법의 적용이 도시의 물환경과 열환경을 상당 수준 개선할 수 있을 것으로 기대되고 있는 것이 일반적인데, 조경용 포장재의 물 수지 개선 효과에 관해서는 이춘석 등(2008)이 실험을 통하여 포장면에 식생의 적용 비율 또는 포장재의 공극이 커질수록 우수의 초기 차단효과와 유출량 저감효과가 높아진다는 것을 밝힌 바 있다.

포장면이 열환경에 미치는 영향에 관해서는 소재의 특성에 따른 표면온도에 관한 연구(류남형, 2004)와 포장유형에 따른 온열환경에 대한 인간의 감성지수에 관한 연구(주창훈 등, 2009) 등이 이루어진 바 있으나, 포장의 종류에 따라서 객관적 수치로서 물리적 온열환경에 어떠한 차이가 있는지에 대해서는 명확하게 검증되었다고 보기 어렵다.

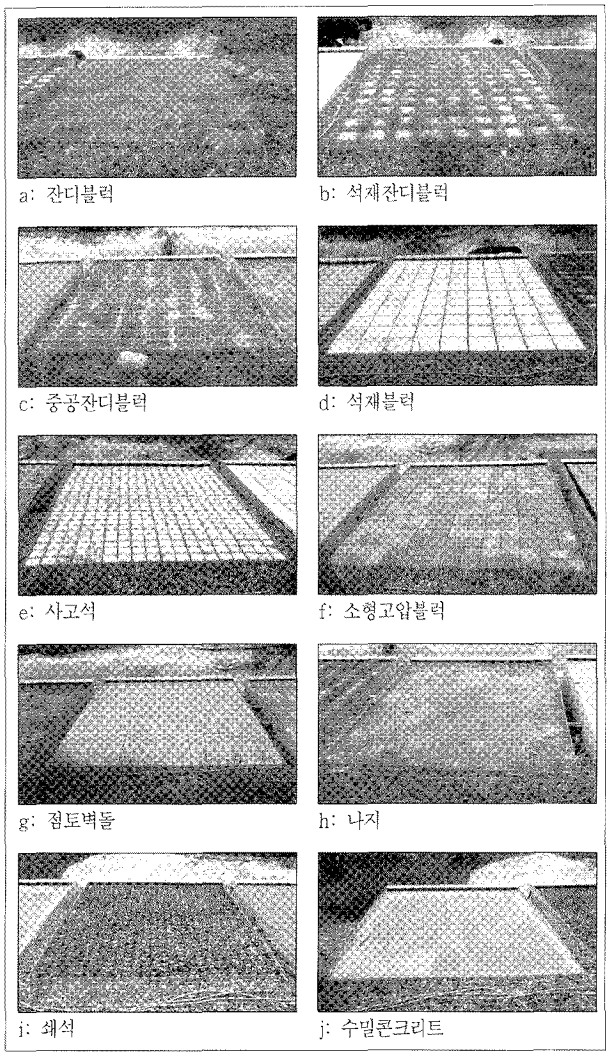
이에 본 연구에서는 최근 도시 옥외공간에 보편적으로 적용되고 있는 조경 포장을 중심으로 포장면이 하절기 옥외공간의 온열환경에 미치는 영향을 실험을 통하여 객관적으로 검증해 보고자 하였으며, 특히, 인간의 활동과 관련된 영향을 해석하기 위해서 인간의 온열쾌적성을 나타내는 지수인 WBGT를 기준으로 비교분석하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구의 목적이 잔디와 같은 지피식물과 콘크리트와 같은 인공적인 소재로 대별되는 포장재의 종류에 따라서 도시옥외공간을 이용하는 이용자가 체감하는 온열환경에 실제로 어떠한 영향을 미치는가를 파악하기 위한 것이었기 때문에, 온열환경에 예측 불가능한 영향을 미칠 수 있는 통풍과 차광을 배제한 조건에서 측정이 이루어졌다.

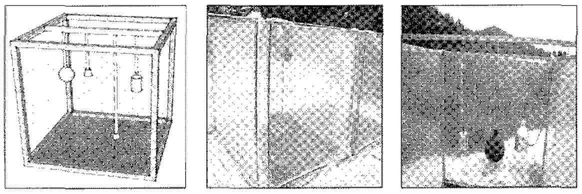
1. 포장면 실험구

온열환경 측정은 경상남도 진주시 내동면에 소재한 진주산업대학교 종합농장 내의 조경포장 시험장에서 이루어졌다. 시험구는 그림 1과 같이 가로, 세로, 깊이를 각각 1.5m, 2.0m, 0.6m로 조성한 잔디블럭, 석재 잔디블럭, 중공잔디블럭, 석재블럭,



a: 잔디블럭 b: 석재잔디블럭
c: 중공잔디블럭 d: 석재블럭
e: 사고석 f: 소형고압블럭
g: 점토벽돌 h: 나지
i: 쇄석 j: 수밀콘크리트

그림 1. 측정대상 포장면 비교



a: 센서배치개념 b: 투명 방풍막 설치 상태 c: 센서 설치 상태

그림 2. 측정 개념과 측정 상황

사고석, 소형고압블럭, 점토벽돌, 나지, 쇄석, 수밀콘크리트 포장 등 10가지 포장면이었다. 각 포장면 외곽에 2.54cm 규격의 철제 각관을 이용하여 지면으로부터 높이가 1.5m인 사각틀을 설치하고 측면 통기는 막으면서 햇볕은 투과될 수 있도록 폴리에틸렌 필름을 이용하여 윗면을 제외한 네 측면을 그림 2와 같이 밀봉시켰다.

2. 계측 방법

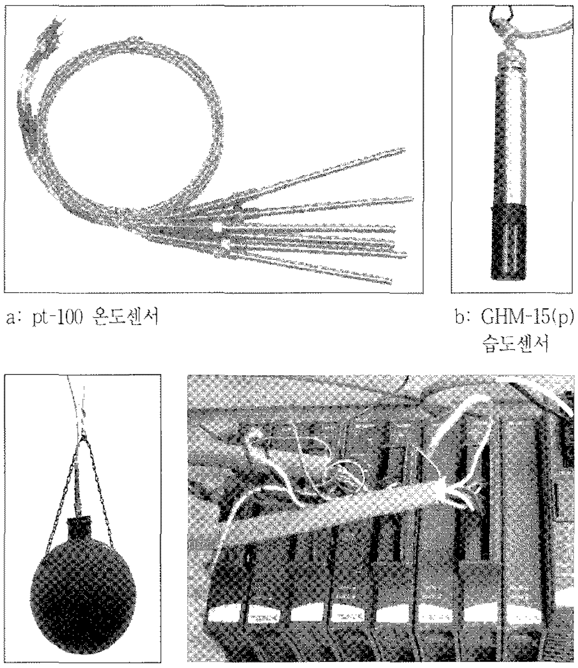
각 시험구에는 인간의 옥외활동에 영향을 미치는 온도와 습도의 체감범위라고 할 수 있는, 지면으로부터 약 1.2m 지점에 흑구온도계, 건구온도계, 상대습도계를 각각 설치하고, 지면에도 건구온도계를 설치하여 지면부 온도변화도 동시에 계측하였다.

건구온도 측정에는 50mm 길이의 백금측온 센서(PT-100)을 사용하였는데, 직사광선이 측온 센서에 직접 도달하는 것을 방지하기 위하여 센서 주변부에 알루미늄 테이프로 방사차폐우산을 설치하였으며, 흑구온도는 직경 150mm의 표준 흑구에 물을 절반 정도 채운 상태에서 백금측온 센서와 결합하여 측정하였다. 상대습도 측정에는 저항변화식 습도측정 센서(GHM-15P, Vinostech)를 이용하였다. 이 때 저항측정식 센서들을 이용하였기 때문에 측정점과 자료취득장치 간의 전선 길이에 따른 저항차를 최소화하기 위하여 모든 측정기에 동일한 종류의 전선을 동일한 길이로 설치하였다(그림 3 참조).

위의 센서에서 얻어진 측정치는 National Instrument사의 Compact Fieldpoint(cFP-2120)와 Labview 8.2(National Instrument, 2006)를 이용하여, 2009년 6월 1일부터 10월 30일까지 매 분 단위로 십진수로 변환하여 기록되도록 설정하였다.

3. 분석 방법

분석대상일은 시험구에서 직선거리 약 1km 위치에 있는 진주기상대의 2009년 일별 기후 측정 자료에 근거하여 낮 최고기온이 30℃ 이상 되는 날짜를 기준으로 표 1과 같이 총 26일을 선정하였다(http://www.kma.go.kr/weather/obserbation/past__tables.jsp?stn=192&yy2009).



a: pt-100 온도센서 b: GHM-15(p) 습도센서 c: 흑구 d: National Instrument사 FieldPoint

그림 3. 시험에 사용된 계측장비

표 1. 분석대상일의 기상현황

일자 (월/일)	최고기온 (℃)	평균 운량	일조시간 (시간)
6/11	30.2	1.6	12.6
6/18	30.5	2.5	10.0
6/19	31.2	3.0	9.6
6/24	32.6	1.0	12.4
6/25	31.5	0.0	12.2
7/18	30.3	9.1	1.6
7/19	30.7	8.0	0.9
7/20	32.2	8.9	2.9
7/21	30.1	8.0	1.9
7/22	31.0	3.9	8.2
7/30	33.1	6.1	5.6
8/8	32.4	7.0	5.0
8/13	30.7	7.8	4.6
8/15	32.7	2.3	9.8
8/18	31.9	5.9	6.6
8/19	31.7	5.3	5.8
8/20	31.1	7.8	4.3
8/21	31.7	6.1	4.9
8/22	32.8	0.6	11.8
8/23	32.2	4.9	5.2
8/24	30.6	3.8	8.0
8/28	33.1	5.1	7.5
9/5	30.1	4.0	7.3
9/6	31.9	0.6	9.2
9/7	30.9	0.8	8.6
9/18	31.5	0.5	11
평균	31.5	4.4	7.2

하루 중 태양의 남중고도가 가장 높아 그림자의 영향을 최소화 할 수 있고, 기온이 가장 높은 시간대역인 정오부터 오후 3시까지의 매 분 단위로 측정된 시험구당 4,654개의 측정값을 바탕으로 아래 식 1(노동부, 2009; http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress)을 적용하여 각 시험구별 WBGT를 도출하였다.

$$WBGT(℃) = 0.7 \times T_{nwb} + 0.2 \times T_{g} + 0.1 \times T_{a} \qquad (식\ 1)$$

여기서, T_g = 흑구온도(black globe temperature: ℃)

T_{nwb} = 습구온도(natural wet-bulb temperature: ℃)

T_a = 건구온도(air temperature: ℃)

이때, 습구온도는 본 연구에서 측정한 상대습도와 건구온도를 바탕으로 환산하여 적용하였으며, 습구온도 환산에는 Linric사(http://www.linric.com)의 습공기선도(Psychrometric) 계산 프로그램인 Psyfunc를 사용하였다. 시험구별 측정치 및 WBGT의 평균값은 통계프로그램인 SPSS 12.0(SPSS INC., 2004)를 이용하여 비교 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지면부 온도 비교

시험구별 지표면의 건구 온도를 비교한 결과, 최고 60℃까지 상승하였으며, 대부분의 시험구에서 가장 무더운 시기에 50℃ 이상의 온도를 보인 것으로 나타났다. 평균 온도 또한 약 40℃로 시험구 대부분에서 매우 높은 온도가 관측되었는데, 기상대에서 관측한 분석대상일 최고기온의 평균인 31.5℃와 비교할 때 약 9℃ 정도 높은 것이었다. 이는 본 연구가 차광과 통풍을 배제한 조건에서 이루어졌기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

포장재 별로 비교하였을 때, 잔디와 석재잔디블럭의 평균 온도가 42℃ 이상으로 다른 시험구에 비해 상대적으로 높았으며, 예상과는 달리 콘크리트 소재인 소형고압블럭(ILP)과 수밀콘크리트 포장면의 평균 온도가 37.5℃ 정도로 상대적으로 낮게 도출되었다. 또한, 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 재료별 평균을 분산분석(ANOVA)한 결과, 포장재에 따른 평균 온도는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(표 2 참조).

표 2. 포장재별 지면부 온도 비교

구 분	최고값	최저값	평균	사후검정 α =0.05						
				1	2	3	4	5	6	7
잔디블럭	59.0	29.2	42.2	a	-	-	-	-	-	-
석재잔디블럭	60.5	28.8	42.3	a	-	-	-	-	-	-
중공잔디블럭	57.0	28.1	41.3	-	b	-	-	-	-	-
석재블럭	56.0	27.5	40.2	-	-	c	d	-	-	-
사고석	55.3	26.9	39.5	-	-	-	d	-	-	-
점토벽돌	51.7	27.8	40.2	-	-	c	-	-	-	-
나지	53.0	28.7	39.1	-	-	-	-	e	-	-
쇄석	52.9	27.5	41.0	-	-	-	-	-	f	-
소형고압블럭	50.0	26.4	37.6	-	-	-	-	-	-	g
수밀콘크리트	49.1	26.7	37.4	-	-	-	-	-	-	g
전체 평균	55.0	27.8	40.1	-						

2. 지면으로부터 1.2m 높이의 온도 비교

지표면으로부터 약 1.2m 높이에서 측정된 온도를 분석한 결과, 분석대상 기간 중의 시험구 내 건구온도, 습구온도, 흑구온도의 전체 평균은 각각 40.1℃, 27.5℃, 49.1℃로 나타났다.

포장재에 따른 온도 평균값을 비교했을 때, 건구온도는 사고석과 점토벽돌이 평균 41℃ 이상으로 가장 높았고, 석재잔디블럭 및 중공잔디블럭과 같이 식물재료가 복합적으로 적용된 포장재의 온도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면에 잔디만을 피복한 포장은 콘크리트와 소형고압블럭, 나지보다 다소 높은 온도를 보였다. 습구온도는 잔디블럭과 나지가 높게 나타났고, 중공잔디블럭이 상대적으로 낮은 값을 보였다. 반면에 흑구온도는 석재블럭과 소형고압블럭이 가장 높은 온도를 보였으며, 중공잔디블럭이 46.7℃로 상대적으로 낮은 온도를 보였다.

관측된 온도의 최고치를 포장재별로 비교했을 때, 건구온도와 습구온도에서는 사고석과 점토벽돌이 48℃ 이상으로 가장 높게 나타났는데, 이것은 기상대의 관측 자료와 비교했을 때 15℃ 이상 높은 것이었다. 흑구온도에서는 석재블럭이 59.5℃로 가장 높았던 것으로 나타났다. 한편, 최저온도의 경우 중공잔디블럭이 건구온도, 습구온도, 흑구온도 모두에서 가장 낮았던 것으로 분석되었다.

그러나, 전체적으로 건구온도와 습구온도에서 석재잔디블럭과 중공잔디블럭, 흑구온도에서 중공잔디블럭과 석재블럭을 제외하면, 대부분의 포장면이 각 측정 온도항목에서 ± 1℃ 이내의 범위 내에 분포하고 있는 것으로 분석되어, 포장재에 따라서 온도에 큰 차이가 있다고 보기 어려웠다(표 3 참조). 다만, 포장면 전체를 잔디로 피복한 면은 다른 면과 측정온도가 유사하거나 높았던 반면, 포장면의 일부에만 잔디가 적용된 중공잔디블럭은 다른 포장재와 비교할 때 상대적으로 낮은 온도분포를 보였다는 것이 특이한 점이었다.

3. 포장재별 WBGT 비교

기상환경이 인간의 신체활동에 영향을 미치는 정도를 나타

표 3. 지면으로부터 1.2m 위치의 온도비교(단위: ℃)

구분	건구온도			습구온도			흑구온도		
	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
잔디블럭	46.8	29.6	40.9	45.9	16.4	29.2	57.2	30.9	48.9
석재잔디블럭	44.6	27.8	38.6	42.3	14.3	26.5	57.6	31.5	49.3
중공잔디블럭	45.9	24.7	37.9	43.5	12.1	25.8	55.6	29.3	46.7
석재블럭	47.1	26.8	40.8	45.2	15.8	27.7	59.5	31.7	50.7
사고석	48.1	27.7	41.3	45.8	15.0	27.6	58.1	30.9	49.5
점토벽돌	48.1	28.2	41.2	45.8	15.0	27.6	56.8	32.0	48.9
나지	46.7	27.8	40.2	45.0	15.5	28.2	57.0	32.4	49.5
쇄석	46.7	28.1	39.7	44.9	15.9	27.8	57.2	31.3	48.8
소형고압블럭	46.6	28.5	40.1	44.5	15.1	27.0	58.5	32.0	50.1
수밀콘크리트	47.4	28.4	40.3	45.4	15.2	27.4	56.5	30.9	48.0
평균	46.8	27.8	40.1	44.8	15.0	27.5	57.4	31.3	49.1

내는 WBGT 값은 시험구 내부에서 최고 47.9℃까지 상승하였으며, 전체 시험구의 평균은 33℃로 나타났다.

포장재에 따라 구분하면 잔디 포장이 평균 34.3℃로 상대적으로 높은 수치가 도출되었고, 중공잔디블럭이 31.2℃로 상대적으로 낮은 것으로 나타났으며, 이들을 제외한 대부분의 시험구에서의 WBGT 평균값은 33±1℃ 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 한편, 시험구별 측정치 평균값을 5% 유의수준에서 Duncan 방식으로 분산분석(ANOVA)한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데, 석재잔디블럭과 중공잔디블럭이 다른 포장재에 비해 낮은 값을 보인 반면, 잔디만으로 피복된 포장면은 높은 값이 측정된 것으로 나타났다.

그러나, 모든 시험구에서 측정된 평균 값이 우리나라 정부와 군대에서 일체의 옥외 작업을 제한하는 기준으로 삼고 있는 31℃ WBGT(노동부, 2008) 이상의 매우 높은 수치였으며, 최고값의 경우도 45℃ 이상의 매우 위험한 수준에까지 도달했다는 점과 시험구별 평균값 차이가 분석 대상 기간 동안의 WBGT 변화량과 비교할 때 상대적으로 미미했다는 점 등을 고려할 때, 포장재에 따라서 실제 인간이 체감하는 온열쾌적성에 있어서 명확한 차이가 있다고 단언하기는 어려울 것으로 판단되었다(표 4 참조).

표 4. 포장재별 WBGT 비교(단위: ℃)

구 분	최고값	최저값	평균	사후검정 $\alpha=0.05$					
				1	2	3	4	5	6
잔디블럭	47.7	24.7	34.3	a	-	-	-	-	-
석재잔디블럭	45.2	24.0	32.3	-	b	-	-	-	-
중공잔디블럭	46.0	22.1	31.2	-	b	-	-	-	-
석재블럭	47.9	24.3	33.6	-	-	c	-	-	-
사고석	47.8	23.4	33.2	-	-	-	d	-	-
점토벽돌	47.8	23.4	33.2	-	-	-	d	-	-
나지	47.5	23.6	33.7	-	-	c	-	-	-
쇄석	47.5	24.1	33.2	-	-	-	d	e	-
소형고압블럭	47.4	23.6	32.9	-	-	-	-	e	f
수밀콘크리트	47.4	22.7	32.8	-	-	-	-	-	f
평균	47.2	23.6	33.0	-	-	-	-	-	-

4. 종합고찰

본 연구는 통풍과 차광이 배제된 조건에서 조경용 포장재에 따라서 인간이 체감하는 온열쾌적성에 차이가 있는가를 실험적으로 계측하여 파악하는데 목적이 있었다. 하절기 정오에서 오후 세시까지의 측정치를 비교 분석한 결과, 당초 예상과는 다른 세 가지의 특이점을 발견하였다.

우선, 예상과는 달리 잔디가 적용된 포장면의 지면부 온도가 콘크리트보다 높게 계측된 점이다. 일반적으로 인공위성 영상을 중심으로 분석한 연구에서는 잔디 등의 식물이 피복된 지면의 온도가 콘크리트와 같은 인공적인 재료로 피복된 지면보다 표면온도가 낮은 것으로 보고되는 것이 일반적이다(안계복과 김기선, 1986; 조현길과 안태원, 1999; 2009; 박경훈과 정성관, 1999). 그러나 본 연구에서 지면부 2cm 지점에 온도센서를 설치하여 계측한 결과에서는 콘크리트보다 잔디가 피복된 지면의 온도가 약 4℃ 정도 높게 나타났다. 이는 통풍이 차단되면서

협소한 실험구 내부 온도의 급격한 상승과, 이에 따른 토양 수분의 과도한 증발 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 판단된다. 실험 중 관찰한 바에 의하면, 잔디 피복면의 경우 7월 중순경 시험구 내의 비이상적인 고온에 의해서 하고(夏枯)현상이 발생하였는데, 이렇게 고사한 잎들이 보온재 역할을 함으로써 지면의 온도를 상대적으로 증가시킨 것도 한 원인으로 판단된다. 아울러, 분석시간대를 태양고도가 높은 한 낮 시간만을 대상으로 하였기 때문에 열용량이 큰 콘크리트나 석재 등의 상대적으로 낮은 표면 온도만 분석에 반영된 것도 한 요인인 것으로 판단된다.

그러나 근본적으로는 통풍과 차광이 배제된 시험구의 조건이 원인인 것으로 이해되는데, 실제 모든 실험구 내부의 평균 지면 온도는 기상대 관측자료의 최고 기온인 31℃에 비하여 약 9℃이상 높게 나타났으며, 최고 온도의 경우 적게는 20℃, 심한 경우 30℃ 이상 높게 나타났다.

다음으로 지면으로부터 1.2m 높이에서 인간이 실제 체감하는 온열쾌적성 지수인 WBGT의 경우 포장 종류에 따라서 현실적으로 의미있는 차이가 도출되지 않았다는 점이다. 전술한 바와 같이 포장재에 따라서 최대 3℃ 정도의 WBGT 차이가 발생하는 것으로 분석되었고, 중공잔디블럭이 온도저감에 효과가 있는 것으로 나타났지만, 이 차이는 이미 인간의 옥외활동을 곤란하게 하는 31℃ 이상에서 발생한 것이며, 최고값의 경우도 45℃ 이상까지 높아지기 때문에 실제 인간이 체감하는 온도에서는 현실적인 의미가 있다고 보기 어려울 것으로 판단되었다.

마지막으로 통풍과 차광이 배제된 조건에서 모든 시험구의 온도 측정치가 비정상적인 수준까지 상승하였으며, 포장재의 차이에 따라서 발생하는 온도 차이와 비교하기 곤란한 정도였다. 이는 포장재의 차이에 따른 온도 변화량보다 통풍과 차광이 온도 변화에 미치는 영향이 현격하게 크다는 것을 직접적으로 보여주는 결과로 이해되었다. 또한, 잔디와 같은 지피식물로 피복된 경우도 통풍 또는 차광이 함께 고려되지 않았을 경우 그 효과를 단언할 수 없다는 결과로도 이해되었다.

따라서, 하절기 옥외공간에서 인간의 쾌적한 활동을 유도하고 나아가 전체적인 도시의 열환경 개선에 기여하기 위해서는 국지적인 포장 또는 지피의 단순한 변화를 꾀하기 보다는 차광을 할 수 있는 녹음수림대와 실질적으로 온도를 저감시킬 수 있는 수면을 적극적으로 도입하고, 도시 전체에서 통풍이 원활하게 이루어질 수 있도록 도시 옥외공간의 구조를 개선하려는 노력이 더 중요할 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 도시 옥외공간에 보편적으로 적용되고 있는 조경 포장면의 종류에 따라서 하절기 옥외공간의 온열환경에 미치는 영향에 차이가 있는지 여부를 차광과 통풍이 배제된 조건에서 실제 온도와 상대습도의 측정을 통하여 검증하였다.

분석 결과, 측정된 지표면 온도는 지표면 종류에 따라서 통계적으로 유의한 수준에서 평균 차이가 있는 것으로 분석되었으며, 잔디가 적용된 포장면의 온도가 가장 높았고, 콘크리트 포장면의 온도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

포장재에 따른 평균 WBGT 값의 경우 값은 작지만 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었는데, 잔디만으로 이루어진 포장면의 경우 다른 인공적인 재료에 비해 높게 나타난 반면, 석재 또는 콘크리트 블록과 잔디를 혼합하여 적용한 포장면의 경우 다른 포장재에 비해 상대적으로 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 모든 측정 평균값들은 이미 인간이 쾌적감을 느낄 수 있는 온도 범위를 넘어선 상태에서 비교된 것으로 실제 환경에서의 체감 온열쾌적성과 직접 연관시키기는 어려울 것으로 판단된다.

이러한 결과는 이상고온에 견디지 못하는 잔디의 생육 특성과 통풍과 차광이 배제된 시험구의 특성, 그리고 남중고도가 높은 한낮의 데이터만을 분석 대상으로 삼은 점 등이 복합적으로 영향을 미친 결과로 판단되며, 이는 본 연구가 가지는 가장 큰 한계 중의 하나이다.

따라서, 단순히 본 연구의 결과만을 근거로 식물소재인 잔디가 인공소재의 포장재보다 온열환경을 개선 또는 악화시킨다고 단언하기는 곤란할 것으로 보이며, 이들 소재가 도시 열환경 전체에 미치는 영향을 정확하게 비교하기 위해서는 식물의 생육이 보장되는 조건에서의 주간과 야간의 온도변화 추이를 종합적으로 비교하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 통풍과 차광이 배제된 조건에서 인간이 체감하는 온열쾌적성에 포장재 변화가 미치는 영향은 미미하며, 오히려 통풍과 차광이 미치는 영향이 매우 중요하다고 할 수 있다. 한편, 통풍과 차광을 배제한 상태에서 포장재의 종류에 따른 온도 변화에 연구의 초점을 맞춘 결과, 동일한 포장재로 이루어진 유사 공간에서 통풍과 차광이 온열환경에 미치는 영향을 비교할 수 없었다는 점도 본 연구의 또 다른 한계점이며, 이는 추후 추가적인 연구를 통해서 검토할 예정이다.

인용문헌

1. 기경석, 이경재(2009) 대도시 외곽지역 논 경작지의 토지이용 및 피복변화에 따른 온도변화모형 연구. 한국조경학회지 37(1): 18-27.
2. 김수봉, 김해동(2002) 도시의 수목이 기온의 조절에 미치는 영향. 한국조경학회지 30(3): 33-34.
3. 노동부(2008) 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제 2008-26호.
4. 노동부(2009) 작업환경측정 및 정도관리규정. 노동부고시 제 2009-78호.
5. 류남형(2004) 조경용 투보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열특성 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

6. 박경훈, 정성관(1999) 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석. 한국지리정보학회지 2(3): 35-45.
7. 안계복, 김기선(1986) 식물의 온도 완화효과에 관한 기초적 연구. 한국조경학회지 14(1): 1-13.
8. 오규식, 서안선, 정승현(2009) 열환경 개선을 위한 아파트주동배치계획. 환경복원녹화 12(2): 83-94.
9. 윤민호, 안동만(2009) 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석. 한국조경학회지 37(3): 46-53.
10. 윤용한(2004) 도시녹지가 미기상 조절에 미치는 실증적 연구. 한국환경생물학회지 22(2): 279-286.
11. 이상화, 이규석, 정해연, 김문성(2009) 도시공원 내 식생 수관에 의한 기온 변화. 환경복원녹화 12(1): 44-51.
12. 이춘석, 류남형, 한승호(2008) 투수성 포장재의 우수 표면유출 저감효과. 환경복원녹화 11(6): 26-37.
13. 조현길, 안태원(1999) 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지 27(4): 26.
14. 조현길, 안태원(2009) 도시기온에 작용하는 입체적 토지 피복의 영향. 한국조경학회지 37(3): 54-60.
15. 주민진, 이춘석, 류남형(2004) 도심녹음수의 체감온도지수(WBGT) 조절효과. 한국조경학회지 32(3): 51-59.
16. 주창훈, 박봉주, 김원태, 윤용한(2009) 도시녹지의 포장유형이 감성이 미지에 미치는 영향. 환경복원녹화 12(3): 1-8.
17. http://www.kma.go.kr/weather/obserbation/past_tables.jsp?stn=192&yy2009.
18. http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/.
19. http://www.linric.com/psyfunc.html.

원 고 접 수 일: 2010년 3월 9일
심 사 일: 2010년 4월 9일
게 재 확 정 일: 2010년 4월 15일
3인익명 심사필