

## 폭염저감기술에 따른 외부공간의 기온저감효과에 대한 연구 Part1 - 쿨페이브먼트와 잔디블럭의 열체감효과를 중심으로 -

정주희\* · 오병철\*\*†

\*(재)국제기후환경센터 연구개발실 전문연구원, \*\*(재)국제기후환경센터 연구개발실 실장

### Assessing the Effects of Heatwave Mitigation Technology on Outdoor Thermal Comfort - Cool Pavement and Grass Block Installments -

Jeong, Ju Hee\* · Oh, Byoung Chull\*\*†

\*Research Fellow, R&D Bureau, International Climate & Environment Center, Gwangju, Korea

\*\*Director, R&D Bureau, International Climate & Environment Center, Gwangju, Korea

#### ABSTRACT

In disaster management, local governments strive to mitigate the impact of heatwaves through various practices and policies. This study evaluated the effectiveness of heat mitigation facilities built and managed by local governments. We quantified how comfortable individuals felt by interviewing citizens with structured questionnaires, given meteorological measures, and different ground surfaces, such as cool pavement, grass, and concrete blocks.

Controlling for other factors, we found that respondents' apparent temperature and Thermal Sensation Vote (TSV) in grass blocks were lower than other materials. However, we found no differences in apparent temperature and TSV between cool pavement and concrete blocks, suggesting no positive effect of cool pavement installation on surface temperature reduction. Additionally, the inverse relationship between Comfortable Sensation Vote (CSV) and TSV was confirmed. Even with the same CSV value, TSV was highest in the order of cool pavement, concrete block, and grass block.

This study suggests a novel method to measure human sensation of thermal comfort in a quasi-experiment. Despite its limitation to a small sample size, the study provides alternative ways to measure thermal comfort and evaluate policy impacts.

*Key words: Thermal Comfort, Heat Wave Mitigation Technology, Ground Heat Mitigation Facilities, Apparent Temperature, Thermal Sensation Vote, Comfortable Sensation Vote*

#### 1. 서론

폭염은 도심과 교외를 가릴 것 없이 나타나고 있지만 도시의 경우 공간적 복잡성과 밀집성 등으로 교외지역보다 폭염에 대한 피해가 클 수 있다는 것이 지적되고 있다. 특히, 인공구조물의 조성 비중이 큰 도시의 경우 하절기 강한 일사로 인한 복사가 활발히 작용하는 시간부터 일몰 후 구조체의 축열로 인하여 발생하는 열대야까지 장시간

열적 피로에 노출되고 있다.

정부는 지난 2018년 폭염을 사회적 재난으로 인정하였다. 이것은 폭염이 시민의 건강과 재산, 생태계, 그리고 기반시설 등에 미치는 영향이 크다는 점을 인지하고 사회 시스템에 기반을 둔 통합적인 대응의 관점으로 이해할 수 있다. 이제부터의 폭염대응 또한 다른 재난과 같이 불명확한 부분에 대한 대응 및 적응, 그리고 회복력을 향상시키기 위하여 도시 전반에 걸친 유무형의 시스템을 고려한 전략과

†Corresponding author : [obc9999@gmail.com](mailto:obc9999@gmail.com) (61954, International Climate & Environment Center, 181, Cheonbyeonwuharo, Gwangju, Korea. Tel. +82-62-601-1320)

ORCID 정주희 0000-0002-0346-0614

오병철 0000-0001-7869-766X

계획을 수립하여 접근할 필요가 있을 것으로 생각된다. 특히 폭염저감기술의 경우 도시공간에서 주로 기반시설 형태로 적용되며, 막대한 예산이 수반된다는 특징 때문에 그 기술과 관련 정책이 가진 효과가 충분히 발휘될 수 있는지에 대한 면밀한 검증이 필요하다(Kwon and Ahn, 2020).

폭염대응에 대해서는 비교적 다각도에서 분석이 수행되었는데, Je and Jung (2018)의 연구에서는 자동기상측정장비를 통해 기상정보를 수집하고 해당 정보를 GIS와 결합해 토지피복 별 도시열섬강도에 대해 분석하였다. Kim et al. (2016)의 연구에서는 폭염대응 증발냉각시스템의 효과를 분석하기 위해 토지피복별 냉각시스템 내외부의 온도를 측정하여 폭염저감의 효과를 확인하였다. Yoon et al.(2014)의 연구에서는 운동장과 녹지공간의 비교를 통해 학생들이 느낄 열적쾌적성을 PMV, UTCI, WBGT 값으로서 비교하였다.

이와 같이 현재까지의 폭염대응과 관련된 선행 연구를 보면 폭염저감과 관련된 시설 및 환경 등에 대해 기존에 존재하는 지표를 활용해 폭염저감기술이 주변 환경의 변화나, 인체가 느끼는 영향을 미루어 짐작하는 연구 등이 주로 확인된다. 폭염저감기술의 효과를 확인하기 위해 설문조사를 활용한 연구로 Jo (2021)의 연구가 있으나, 해당 연구에서는 현재 활용되고 있는 체감지표의 영향인자들의 결정력에 중점을 두고 있다(Jo, 2021).

그럼에도 아직까지는 폭염저감과 관련된 연구 데이터를 보다 다양한 도시공간에서 확대 적용하면서 폭염의 영향을 저감하거나 평가한 연구 결과는 거의 없는 것으로 파악된다. 더욱이 폭염저감기술이 인체에 체감이 주는 영향을 연구한 결과나, 폭염 시 옥외공간에서의 체감효과에 주목한 연구는 많지 않은 상황이기에 사례를 활용하는 데 부족함이 있어 보인다.

Lee (2020)는 현재까지 우리나라에서 주로 활용되는 폭염저감기술을 신체, 지상, 건물 상부 및 횡방향으로 나누어 정리하였는데, 본 연구에서는 지상열 억제 및 냉각요소기술인 지표면 녹화와 지표면 열반사 차단기술에 초점을 맞추어 연구하였다. 지표면 녹화의 대표적인 포장재로 ‘잔디블럭’을 들 수 있으며, 지표면 열반사 차단기술은 차열페인트를 통한 도로 포장으로 해당 기술이 적용된 도로를 ‘쿨페이브먼트’로 통칭한다.

본 연구는 옥외공간에서의 폭염저감기술과 인체체감효과에 주목하여 연구를 진행하였다. 검토하고자 하는 폭염저감기술은 지표의 피복특성에 따른 일사복사 저감기술(이하, 지상열로 칭함.)로 한정했다. 그리고 이 상황에서 도시미기후 환경이 인체의 체감효과에 주는 영향을 검토하기

위하여 설문을 통해 체감효과 분석을 진행하였다. 설문응답에 따른 기후특성을 구별 혹은 기준하기 위하여 PMV측정기기를 통해 물리적인 환경특성을 측정 하였고 관련데이터를 활용하여 추가적으로 활용가능한 평가지표 등을 산정하여 다방면으로 검토를 진행하였다. 종합적으로 도시 미기후로 인한 옥외공간의 인체의 체감효과와 변화를 검토하여 폭염저감기술의 특징을 분석하고 관련 데이터를 구축하여 추가적인 연구의 기초데이터를 마련하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 온열쾌적감과 평가지표

온열쾌적감은 열감이 있는 환경에서의 만족감으로 마음의 상태라고 정의(ASHRAE, 2004)된다. 온열쾌적감은 기온, 복사온도, 상대습도, 풍속과 같은 온열환경을 구성하는 물리적 기본요소와 인체의 대사량과 의복량 등의 영향을 받아 결정(Bae and Chun, 2010.)된다. 인체와 주변 환경과의 열 교환 작용과 더위, 추위 등 인체감각(온냉감)에 영향을 주는 요소 중 기온, 복사온도, 기류, 습도 등 환경요인 4개와 대사량, 착의량의 개인요인 2개로 평가되는데 이를 일반적으로 온열환경 6요소라고 칭한다(Kim, 2015). 온열환경의 6가지 요소를 단일 평가지표로서 활용코자 하였으나, 대부분 6가지의 요소 중 몇 개의 요소만 활용하거나 일부 평가지표에서는 모든 요인들을 고려하여 사람이 느끼는 온열감에 대한 평가지표를 부가적으로 고안하여 사용하고 있다. 본 연구에서 쿨페이브먼트와 잔디블럭이 개인에게 미치는 영향력을 비교하기 위하여 다음과 같은 평가지표를 추가적으로 활용하였다.

열지수(Heat Index; 이하 HI)는 미국기상청(NWS)에서 개발한 지표로 온도, 습도에 따라 실제 체감하는 더위를 지수화했으며 그늘지고 미미한 바람이 부는 환경을 기준으로 고안된 지표(Jo, 2021)이다. HI는 온열환경 6요소 중 환경요인인 기온과 습도만을 고려하여 산출된다(1).

$$HI = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127RH - .22475541T \times RH - .00683783T^2 - .05481717RH^2 + .00122874T^2 \times RH + .00085282T \times RH^2 - .00000199T^2 \times RH^2 \quad (1)$$

T: 기온[°C]

RH: 상대습도[%]

습구흑구온도지수(Wet Bulb Globe Temperature; 이하 WBGT)는 인체에 가장 큰 영향을 미치는 온도를 습구온도로 규정(Grahame, 2007)하며, 실내와 실외를 구분하여 계산할 수 있는 지표(Park et al., 2014)이다. WBGT에서는 실외환경 측정을 기준으로 기온, 복사온도, 습도가 고려되어 산출된다(2). WBGT는 비교적 혹서환경에서의 온열질환의 리스크를 평가하는데 사용되며 ISO에서 표준적인 평가지표로서 활용되는 지표이다.

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (2)$$

$t_g$ : 흑구온도[deg.C]

$t_a$ : 기온[deg.C]

$t_{nwb}$ : 자연환기상태의 습구온도[deg.C]

여름철 체감온도(Summer Apparent Temperature; 이하 SAT)는 기상청에서 제공하는 맞춤형 지수로 여름철 대상과 환경에 따라 느끼는 더위의 정도이다. SAT는 기온과 습구온도를 통해 계산되며, 온열환경 6요소 중 환경요인인 기온과 습도만을 고려하여 산출된다(3).

$$SAT = -0.2442 + 0.5399T_w + 0.45535T_a - 0.0022T_w^2 + 0.00278T_w \times T_a + 3.5 \quad (3)$$

$T_a$ : 기온[°C]

$T_w$ : 습구온도[°C]

예상온열감(Predicted Mean Vote; 이하 PMV)은 온열민감도(Thermal Sensation Vote; 이하 TSV)의 예측치이며, 온열환경 6요소의 모든 요소들을 종합적으로 고려하여 인체가 느끼는 TSV (Noh and Oh, 2005)에 대해 이론적으로 나타낸 것이다(4). PMV는 성인이 실내환경에서 작업 중인 것을 기본으로 하는 산출식으로서 실외 및 노약자에게는 부적합하다는 문제가 있다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times (M - W - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} - R - C) \quad (4)$$

$M$ : 대사량[W/m²]

$W$ : 기계적인 일량[W/m²]

$E_d$ : 피부나 기도를 통해 증발하는 열량[W/m²]

$E_s$ : 피부면으로부터의 증발열손실[W/m²]

$E_{re}$ : 호흡을 통한 잠열손실[W/m²]

$C_{re}$ : 호흡을 통한 현열손실[W/m²]

$R$ : 복사열손실[W/m²]

$C$ : 대류열손실[W/m²]

## 2.2 지상열저감기술

폭염피해를 완화하는 방법을 폭염피해저감기술로 칭한다면 이 기술의 특징은 물리적인 열을 감소시키거나 없애는 것으로 이해할 수 있다. 이와 같은 특성은 도시공간의 공간특성에 따라 다양한 형태로 기술화될 수 있다. 대표적으로 기온/기류의 냉각방법, 지표의 복(반)사열 저감방법, 구조물 측방에서의 복(반)사열저감방법, 직사일사차폐 방법 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 지표의 복(반)사열 저감방법에 주목하여 지상열에 대한 저감기술이 적용된 시설을 대상으로 한다. 이를 위하여 대상 기술을 쿨페이브먼트와 잔디블럭으로 한정하였으며, 비교를 위하여 아무런 기술이 적용되지 않은 일반 콘크리트블럭을 추가하였다. 쿨페이브먼트는 지면으로부터 복사열을 감소시켜 온열감을 낮추는 기술로 교통공원, 야외교육장, 산책로 등 다양한 곳(Jo, 2021)에 적용되어 있다. 잔디블럭은 도시 내 대표적인 녹지유형(Ryu and Lee, 2014)으로 도시의 가로, 공원, 산책로, 주차장 등 다양한 공간에서 범용적으로 활용되고 있다.

Fig. 1은 광주광역시 운암동 내 위치한 산책로로 쿨페이브먼트와 잔디블럭으로 이루어진 산책로를 확인할 수 있다.



Fig. 1. Cool pavement (down) & Grass block (up)

### 3. 데이터 수집 및 검증

#### 3.1 설문조사 내용 설계 및 방법

설문조사는 환경요인과 개인요인을 모두 측정할 수 있도록 설계하였다. 먼저 환경요인은 TESTO 400기기를 통해 1분 단위로 측정하여 기록하도록 하였다. 기기를 통해 수집된 데이터는 기온, 흑구온도, 습구온도, 상대습도, 풍속, 기압 등이다. 해당 데이터는 앞서 언급된 HI, WBGT, SAT, PMV, 평균복사온도(Mean Radiant Temperature; 이하 MRT)를 산정하는데 활용하였다. MRT는 인체와 복사를 통해 열을 교환하는 주변 표면의 평균온도이며 표면의 단파와 장파의 총합이다(An et al., 2016; ASHRAE, 2001)(5).

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(S_{str}/(\epsilon_p \cdot \sigma))} + 273.15 \quad (5)$$

$S_{str}$ : 평균복사속밀도

$\epsilon_p$ : 인체흡수율

$\sigma$ : Stefan-Boltzmann상수

설문조사를 수행한 일시를 정확하게 기입하여 상기의 환경요인의 측정데이터와 설문결과를 연동시킬 수 있도록 설계하였다. 개인요인은 개인별 조사지를 통해 대면 조사하였다. 기본적으로 성별, 연령, 키, 몸무게에 대한 정보를 수집하였으며, 설문조사의 주요문항은 체감온도(Apparent Temperature; 이하 AT)와 TSV, 심적편안함(Comfortable Sensation Vote; 이하 CSV)이다.

온열감(Thermal Sensation)이란 온열환경에서 발생하는 더위, 추위의 감각을 의미하며, 온열환경의 평가와 관련된 연구에서 가장 많이 사용되는 심리량이다. ASHRAE Standard 55의 ISO 7730에서 제시되고 있는 온열감 척도는 7단계(Hot, Warm, Slightly Warm, Neutral, Slightly Cool, Cool, Cold)로 평가된다. CSV란 열적환경에 노출되고 있는 동안 주변 환경에 대하여 피실험자의 느끼는 심적인 편안함을 나타낸다. 주관적인 체감에 대한 평가항목으로 본 설문에서 활용된 CSV의 척도는 Kum et al.(1998)의 연구에서 쾌/불쾌감에 대한 투표단계를 4단계(Comfortable, Slightly Comfortable, Uncomfortable, Very uncomfortable)로 수행된 것을 참고하여 문항에 포함시켰다.

설문조사는 개개인의 ‘체감’에 대한 사안이기에 지상열

저감시설인 쿨페이브먼트와 잔디블럭 그리고 비교군인 일반 콘크리트블럭이 위치한 장소에서 대면조사형태로 진행하였다. 더불어 직사광이 동일하게 적용될 수 있도록 차양막, 그늘 등이 없는 곳에서 시행되었다.

Fig. 2는 본 연구 추진을 위한 전체적인 순서를 나타낸다. 전체 설문조사는 4일 동안 장소를 변경하여 진행하였다(Table 1 참조).

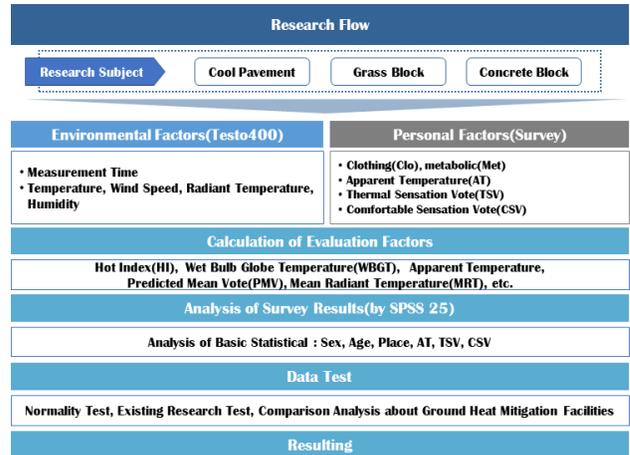


Fig. 2. Flow of research processes

Table 1. Details of survey outline

Survey date	Characteristics of survey area
2021. 08. 30.	Cool Pavement, Concrete Block
2021. 08. 31.	Cool Pavement, Concrete Block
2021. 09. 13.	Cool Pavement, Grass Block, Concrete Block
2021. 09. 15.	Grass Block

#### 3.2 설문조사 기초통계량

설문조사 결과 분석은 SPSS 25를 통해 이루어졌으며, 전체 441명의 표본 중 포장재별 응답자는 쿨페이브먼트 168(38.1%), 잔디블럭 142(32.2%), 콘크리트블럭 131(29.7%)의 분포로 확인되었다. 본 설문조사는 조사를 수행한 시간대와 장소가 상이하기에 비교 기준으로 MRT를 설정하였다. MRT란 인간이 주변으로부터 체감하는 열복사의 영향을 전방위로 평균화하여 온도를 환산한 것이다. MRT의 수치가 크다는 것은 주변 표면으로부터의 복사열이 많다는 것을 의미하며, 인간이 실제 기온보다 더 높은 기온을 체감하

게 된다는 것으로 해석된다(Jung and Yoon, 2017).

MRT를 기준으로 잔디블럭 설문조사결과가 없는 데이터는 삭제하여 최종 376개의 표본을 분석에 활용하였다 (Table 2 참조). 표본은 쿨페이브먼트 126(33.5%), 잔디블럭 140(37.2%), 콘크리트블럭 110(29.3%)의 분포를 보였다. 포장종류 별 응답자의 기본특성인 성, 연령, 키, 몸무게에 대해 비교한 결과 성, 키, 몸무게에 대해서는 Pearson 카이제곱결과, 포장종류에 따라 차이가 유의미하지 않은 것으로 확인되었다. 그러나 연령에 대해서는 Pearson 카이제곱값이 45.538\*\*\*로 포장종류에 따른 차이가 있는 것으로 확인되었다.

Table 2. Distribution by age

(Unit : person)

Age	Surface		
	Cool pavement	Grass block	Concrete block
Under 30	18(14.3%)	19(13.6%)	28(25.5%)
Above 20 ~ Under 30	9(7.2%)	39(27.9%)	22(20%)
Above 30 ~ Under 40	15(12%)	14(10%)	10(9.1%)
Above 40 ~ Under 50	19(15.1%)	2(1.5%)	10(9.1%)
Above 50 ~ Under 60	25(19.9%)	13(9.3%)	20(18.2%)
Above 60 ~ Under 70	31(24.7%)	34(24.3%)	12(11%)
Above 70	9(7.2%)	19(13.6%)	8(7.3%)

AT, TSV, CSV에 대한 포장종류 별 평균값은 Table 3과 같다.

Table 3. Descriptive statistics

Surface		Question		
		AT	TSV	CSV
Cool pavement	Mean	30.35	1.69	2.47
	Std.	3.15	1.08	0.80
Grass block	Mean	28.62	0.79	3.14
	Std.	3.64	1.42	0.89
Concrete block	Mean	29.33	1.34	2.56
	Std.	3.78	1.28	0.80

### 3.3 데이터 검정

데이터의 분석방법을 결정하기 위해 수집된 설문조사 데이터와 산출한 평가지표에 대한 정규성 검정을 선행적으로 진행하였으며, 표본의 수가 상대적으로 적기 때문에 Shapiro-Wilk방법을 적용하여 검정하였다(Table 4 참조). 검정결과 포장재종류에 따른 집단의 분포가 정규성을 보이지 않는 것을 확인하였으며, 이에 따라 비모수 통계분석을 진행하였다.

Table 4. Normality test

Variable		Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	p-value
AT	Cool Pavement	.957	126	.001
	Grass Block	.938	140	.000
	Concrete Block	.964	110	.005
TSV	Cool Pavement	.788	126	.000
	Grass Block	.805	140	.000
	Concrete Block	.855	110	.000
CSV	Cool Pavement	.837	126	.000
	Grass Block	.804	140	.000
	Concrete Block	.844	110	.000

쿨페이브먼트와 잔디블럭의 효과를 비교하기 위하여 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- H1 : 포장재의 종류에 따른 AT분포는 상이하다.
- H2 : 포장재의 종류에 따른 TSV분포는 상이하다.
- H3 : 포장재의 종류에 따른 CSV분포는 상이하다.

체감효과를 비교하기 위해 크루스칼 월리스 검정 (Kruskal-Wallis test)을 수행하였다(Table 5 참조). 그 결과 세 개의 가설 모두 ‘포장재의 종류와 상관없이 동일하다’는 귀무가설을 기각하는 것으로 확인되었다. 따라서 AT, TSV, CSV에 있어 포장재의 종류에 따라 적어도 하나 이상의 그룹이 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

Table 5. Kruskal-Wallis test

Variable	chi-squared	Df	p-value
AT	22.367	2	.000
TSV	28.785	2	.000
CSV	43.547	2	.000

데이터의 분포가 정규성을 따르지 않는다는 점과 상정한 가설의 귀무가설이 모두 기각된다는 점을 데이터 검정을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 쿨페이브먼트와 잔디블럭의 효과를 비교하기 위해 데이터가 정규성을 보일 수 있도록 Box-Cox Transformation을 진행한 후 비교분석을 수행하였다.

### 4. 연구결과

#### 4.1 쿨페이브먼트와 잔디블럭의 효과비교

본 연구에서 설문조사는 환경을 제어하지 않은 외부 공간에서 진행하였기에 기온, 습도, 복사열, 기류 등이 조사 시점과 장소에 따라 변하게 된다. 따라서 쿨페이브먼트와 잔디블럭의 폭염저감에 대한 효과를 비교하기 위해서는 기준을 잡고 비교할 수 있는 외부환경지표가 필요하다.

본 연구에서는 주로 체감연구 진행시 많은 연구에서 지표로 활용하고 있는 SAT, HI, WBGT, PMV와 더불어 MRT 등을 외부환경에 대한 기준변수로 설정하였다. 포장재에 따른 인체체감을 비교하기 위하여 본 연구에서 활용하는 주요 변수인 AT, TSV, CSV, SAT, HI, WBGT, PMV, MRT간 상관관계를 확인하기 위해 포장재 종류를 통제한 후, 편 상관계수 분석을 수행하였다.

분석결과 AT와 TSV는 양의 상관관계를 보였으며, CSV와는 유의미한 음(-)의 상관관계를 보인 것을 확인할 수 있었다. 더불어 설문문항과 상관성을 보인 외부환경지표는 SAT와 WBGT로 확인되었다(Table 6 참조). 이 결과를 중심으로 AT, TSV, CSV에 대한 포장재별 차이비교는

SAT와 WBGT를 기준으로 진행하였다.

상세검토를 위해 R프로그램의 Caret package를 통해 산점도 그래프를 작성한 후 그래프의 비교를 통하여 포장재별 실제 체감에 대한 차이를 확인하였다. 평가지표는 표준편차에 대해 평균화하여 사용하였다. 아래 Fig. 3 ~ Fig. 9의 우측범례 Sur\_Code1은 쿨페이브먼트, Sur\_Code2는 잔디블럭, Sur\_Code3은 콘크리트블럭을 나타낸다.

산점도를 통한 차이의 비교분석은 X축을 기준으로 가장 많은 데이터가 모여 있는 -1 ~ +1사이의 그래프를 기준으로 해석하였다.

Fig. 3에서 AT에 대해 SAT기준으로 확인한 결과 Sur\_Code1이 다른 두 장소보다 AT가 확연히 높았다. Sur\_Code3은 다소 변동성을 보이지만 실제 그래프 상에서 사람들이 느끼는 AT는 Sur\_Code1 > Sur\_Code3 > Sur\_Code2 순으로 확인된다.

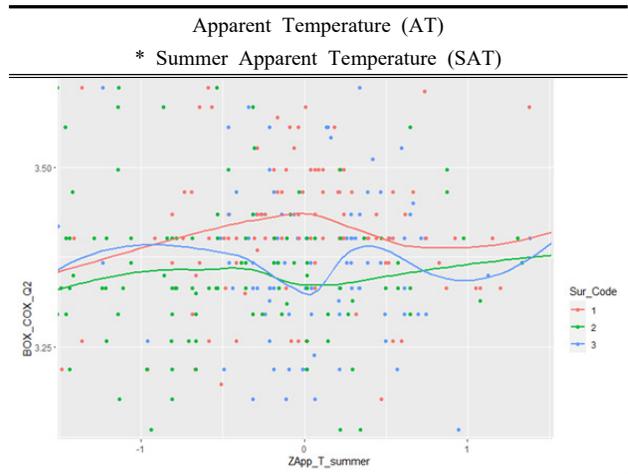


Fig. 3. AT × SAT scattered plot

Table 6. Partial correlation analysis result

Variable		AT	TSV	CSV	SAT	HI	WBGT	PMV	MRT
Surface	AT	1.00	.	.	.	.	.	.	.
	TSV	0.39***	1.00	.	.	.	.	.	.
	CSV	-0.31***	-0.52***	1.00	.	.	.	.	.
	SAT	0.15**	0.16**	-0.19***	1.00	.	.	.	.
	HI	0.04	0.02	-0.01	0.84***	1.00	.	.	.
	WBGT	0.18***	0.21***	-0.24***	0.97***	0.73***	1.00	.	.
	PMV	0.05	0.06	-0.03	0.72***	0.90***	0.70***	1.00	.
	MRT	0.00	0.01	0.05	0.48***	0.77***	0.48***	0.95***	1.00

Fig. 4에서 AT에 대해 WBGT 기준으로 확인한 결과, Fig. 3과 같이 Sur\_Code1 > Sur\_Code3 > Sur\_Code2 순으로 나타났으나, WBGT가 Fig. 3의 SAT보다 더 명확하게 표시하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

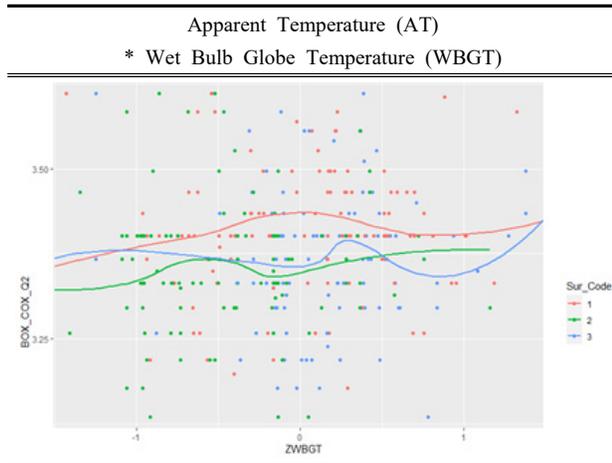


Fig. 4. AT × WBGT scattered plot

Fig. 5에서 TSV에 대해 SAT를 기준으로 산포도를 확인한 결과에서도 Sur\_Code1 > Sur\_Code3 > Sur\_Code2 순으로 체감하는 열감이 더 강하다고 응답한 것을 확인할 수 있다.

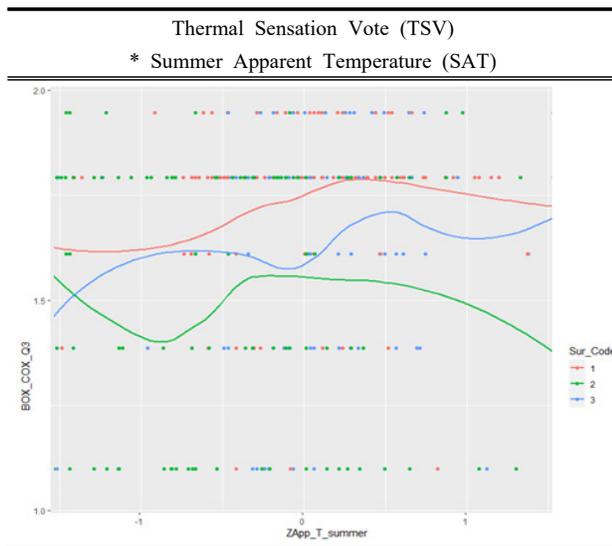


Fig. 5. TSV × SAT scattered plot

Fig. 6에서 TSV에 대해 WBGT를 기준으로 산포도를 확인한 결과에서도 Sur\_Code1 > Sur\_Code3 > Sur\_Code2 순으로

체감하는 열감이 더 강하다고 응답한 것을 확인할 수 있다. 다만, 상기한 바와 같이 X축 기준 -1 ~ +1 사이의 값을 기준으로 봤을 때 Fig. 6에서만 Sur\_Code1과 Sur\_Code3이 해당 범위 안에서 교차하는 지점이 있다는 특징이 확인되었다.

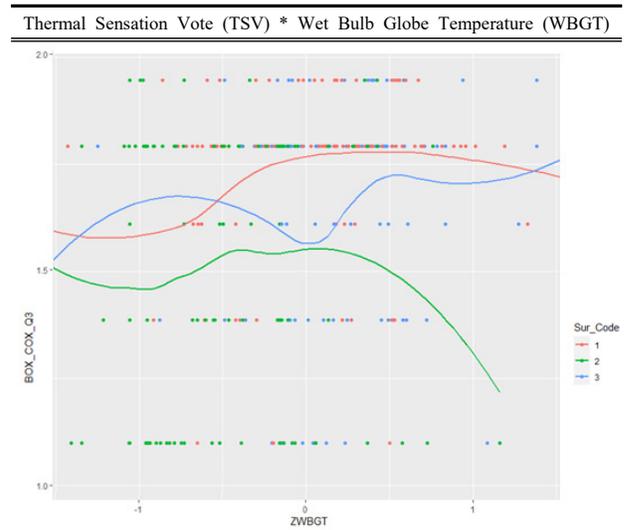


Fig. 6. TSV × WBGT scattered plot

Fig. 7에서 CSV에 대해 SAT를 기준으로 산포도를 확인한 결과 Sur\_Code2에서의 CSV가 타 Sur\_Code보다 대체로 높게 나타나는 것이 확인되었으며, 0.7 부근에서 Sur\_Code3이 Sur\_Code2와 교차하며 높게 나타났다. 이와 함께 Sur\_Code1과 Sur\_Code3은 SAT를 기준으로 CSV가 교차하는 모습을 보였다.

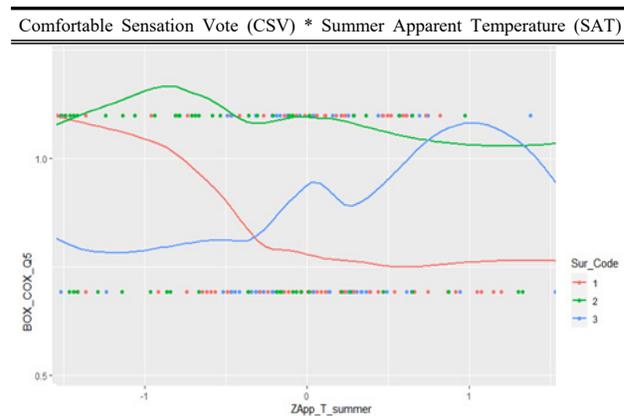


Fig. 7. CSV × SAT scattered plot

Fig. 8에서 CSV에 대해 WBGT를 기준으로 산포도를 확

인한 결과역시 앞선 SAT 산포도와 유사한 양상을 보였다.

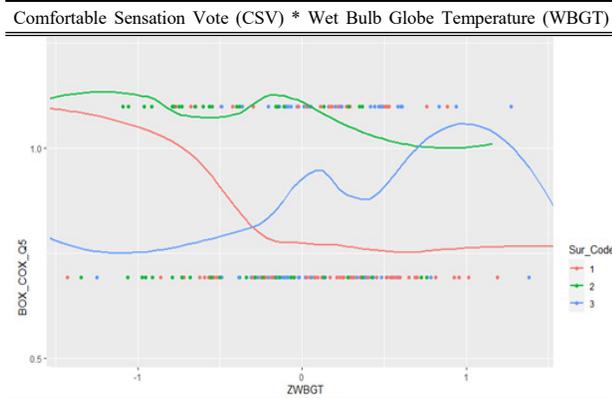


Fig. 8. CSV × WBGT scattered plot

4.2 선행연구를 통한 검증

Kim et al.(2011)은 심리적인 편안함이 실내 온열환경에 대해 미치는 영향에 관한 연구를 수행하면서 감성정보가 개인의 온열 쾌적감에 미치는 영향력이 크다는 점을 확인하였다. 이와 유사하게 본 연구를 통해서도 CSV와 AT, TSV 사이의 관계가 유의미한 부(-)의 관계를 나타내고 있다는 것을 확인할 수 있었다(Table 7 참조).

Table 7. Regression Analysis result

Dependent variable	Independent variable	B	S.E.	$\beta$	t	p
CSV	(Constant)	3.183	.435		7.315	.000
	AT	-.388	.137	-.135	-2.820	.005
	TSV	-.570	.059	-.464	-9.727	.000

F=73.716(p<0.00), R<sup>2</sup>=.283, D-W=1.976

한편, 포장재에 따른 차이가 유의미한지 판단하기 위해 각 장소에 따른 회귀분석을 수행하였다. 쿨페이브먼트와 관련된 결과를 보면 TSV와 CSV 사이에서만 유의미한 부(-)의 관계를 나타냈으며, 다른 포장재의 경우 유의미한 관계를 나타내지 않았다(Table 8 참조).

Table 8. Regression Analysis about Cool Pavement

Dependent variable	Independent variable	B	S.E.	$\beta$	t	p
CSV	(Constant)	3.006	.844		3.561	.001
	AT	-.202	.260	-.060	-.776	.439
	TSV	-.857	.120	-.554	-7.144	.000

F=30.468(p<0.00), R<sup>2</sup>=.331, D-W=1.831

잔디블럭과 관련된 결과를 보면 Table 8의 쿨페이브먼트에서와 마찬가지로 TSV와 CSV 사이에서만 유의미한 부(-)의 관계를 확인할 수 있었다(Table 9 참조).

Table 9. Regression Analysis about Grass Block

Dependent variable	Independent variable	B	S.E.	$\beta$	t	p
CSV	(Constant)	2.480	.678		3.656	.000
	AT	-.219	.212	-.084	-1.033	.303
	TSV	-.431	.086	-.408	-5.035	.000

F=16.670(p<0.00), R<sup>2</sup>=.196, D-W=2.323

일반콘크리트블럭의 결과를 보면 AT와 TSV 모두에서 유의미한 부(-)의 관계를 확인할 수 있었다(Table 10 참조).

Table 10. Regression Analysis about Concrete Block

Dependent variable	Independent variable	B	S.E.	$\beta$	t	p
CSV	(Constant)	3.819	.746		5.117	.000
	AT	-.674	.240	-.262	-2.807	.006
	TSV	-.400	.112	-.332	-3.559	.001

F=18.442(p<0.00), R<sup>2</sup>=.256, D-W=1.980

이러한 특징을 산포도를 이용하여 종합적으로 확인하면 Fig. 9에서 CSV가 높아질수록 TSV가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 CSV의 수준이라고 하더라도 쿨페이브먼트 > 콘크리트 > 잔디블럭순으로 TSV가 높은 것을 확인할 수 있다.

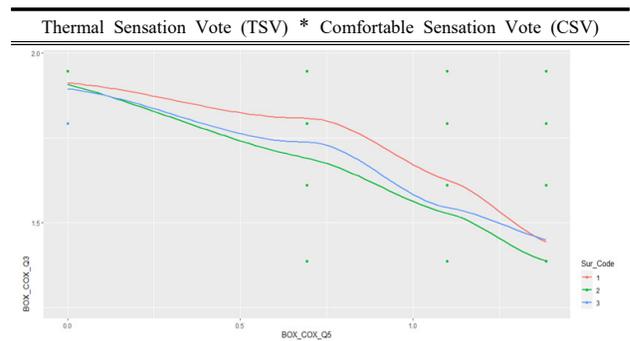


Fig. 9. TSV × CSV scattered plot

## 5. 결론

본 연구는 폭염저감기술의 인체체감효과에 주목하여 쿨페이브먼트와 잔디블럭에서의 체감의 차이를 확인하였다. 대부분 옥외환경에서의 폭염연구가 기존에 존재하는 지표활용해 폭염저감기술이 주변 환경의 변화나, 인체가 느끼는 영향을 미루어 짐작하는 것과 달리, 본 연구는 실제 상이한 지상열저감시설인 쿨페이브먼트와 잔디블럭에서의 체감을 기반으로 하여 조사 비교했다는 점에서 차별점을 갖는다.

대표적인 지상열 저감시설인 쿨페이브먼트와 잔디블럭에서의 체감결과를 콘크리트블럭에서의 체감결과와 비교하여 실제 열저감효과에 대해 확인하고자 하였다. 이를 위해 실제 지역에 대한 미기후 측정과 관련 지표의 산정, 그리고 거주민들을 대상으로 한 설문조사를 활용하였다. 설문데이터는 통계프로그램(SPSS 25)을 통해 다양한 검토와 유의점 분석을 수행했다.

쿨페이브먼트와 잔디블럭 그리고 콘크리트블럭에서의 체감을 비교하기 위해, 체감을 산출하는 지표와 본 설문조사상의 상관성을 분석하여 유의성의 검증된 SAT와 WBGT의 산출값만을 활용하였다. 비교분석결과 잔디블럭은 쿨페이브먼트 및 콘크리트블럭과 달리 AT와 TSV를 낮추는 데 효과적이었지만, 쿨페이브먼트의 경우 미기후 환경에 따라 콘크리트 포장과 잔디블럭에 비교하여 AT와 TSV에 주는 영향이 크지 않았다.

CSV에 있어서도 잔디블럭은 쿨페이브먼트와 콘크리트블럭과 비교해 같은 온열환경내에서 편안함의 정도가 훨씬 큰 것으로 확인되었다. 반면 쿨페이브먼트와 콘크리트블럭은 특정 지점을 경계로 편안함의 정도가 교차하는 모습을 보였다. 더 많은 열감을 느끼는 상황이 될수록 쿨페이브먼트에서의 CSV값이 떨어졌는데 이는 쿨페이브먼트가 갖는 특징으로 인해 기인한 결과라고 생각된다. 쿨페이브먼트는 대부분의 열을 반사하여 지표의 축열을 방지하는 기술인데, 이러한 반사열(광) 등이 그 위치에 있는 사람으로 하여금 불쾌감을 느낄 수 있기 때문이다.

결과를 종합하면 잔디블럭은 쿨페이브먼트 및 콘크리트블럭과 달리 온열민감도를 낮추는데 효과적이며, 체감효과 만족에 긍정적인 것으로 보인다. 그러나 쿨페이브먼트는 콘크리트 포장과 잔디블럭에 비교하여 온열민감도에 주는 영향이 크지 않으며 체감효과에 대한 만족도도 높지 않은 것으로 보인다. 하지만 이와 같은 결과 때문에 쿨페이브먼트가 폭염저감기술로서 의미가 없다고 단정하

는 것은 곤란하다. 이것은 본 연구에서는 외부공간의 물리 환경을 제어하지 않았다는 점이 하나의 이유가 될 수 있다. 더불어 각 포장재별 100명 이상의 많은 표본을 확보하였으나 이 역시 충분한 표본 수라고는 볼 수 없기 때문에 이 또한 분명한 연구의 한계라고 볼 수 있다.

쿨페이브먼트의 효과가 가장 낮게 나타난 것에 대해서는 추가적인 검토와 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 주목한 폭염저감기술이 일사에 의한 복사열을 대상으로 한 물리적 제어는 기대할 수 있었지만, 복사열 이외에 제어하지 못한 다른 물리적 요소가 체감에 미치는 영향이 클 수 있기 때문이다.

일반적으로 콘크리트 포장보다 쿨페이브먼트 포장 및 잔디블럭 포장이 폭염저감기술로의 의미가 있다는 것이 중론일 것이다. 그러나 본 연구의 결과와 같이 폭염이 발생하더라도 폭염을 맞이하는 도시의 다양한 공간구조와 토지이용적 특성, 도로 구조적 특성 등은 폭염저감기술 적용에 따른 천편일률적인 효과를 담보하기 어려울 수 있다. 이는 결국 지자체 행정에서 폭염저감대책 마련 시 해당 도시의 폭염발생 특성을 명확히 분석하고 기술 적용의 근거와 효과를 타진해가면서 진행할 필요성을 강조하고자 한다. 본 연구의 결과가 그와 같은 노력에 대한 근거와 기초데이터로서 역할을 하길 기대한다.

향후 연구로는 지상열 연구에 이어 직사일사열로 인한 상부공간에서의 열을 저감하는 기술인 상부공간 일사차폐요소기술에 대한 연구를 통해 지속적인 기초데이터 연구를 수행하고자 한다.

## 사사

이 논문은 행정안전부 도심환경을 고려한 폭염저감기술 최적화 개발연구 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020-MOIS35-001).

## References

- ASHRAE. 2004. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. ThermalEnvironmental Conditions for Human Occupancy ; ISO7730.
- An SM, Son HG, Lee KS, Yi CY. 2016. A Study of the Urban Tree Canopy Mean Radiant Temperature

- Mitigation Estimation, *Journal of Landscape Architecture in Asia*, 44(1): 93-106.
- Bae CH, Chun CY. 2010. Study on the Prediction of Thermal Comfort Using Local Skin Temperature for the Development of Portable Thermal Comfort Measurement Tool, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 26(6): 341-348.
- Grahame M. Budd, 2007, Wet-bulb globe temperature - its history and its limitations, *The university of Sydney*, 23-24.
- Je MH, Jung SH. 2018. Urban Heat Island Intensity Analysis by Landuse Types, *Journal of the Korea Contents Association*. 18(11): 1-12.
- Jo WR. 2021. A Basic Study on the Development of Thermal Sensation Index for the Heat Wave Stress Reduction Facility [dissertation]. Dong Eui University.
- Jung SJ, Yoon SH. 2017. Changes in Outdoor Thermal Environment during Summer According to Surface Materials of Apartment Housing Block, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 33(8): 29-36.
- Kim BS, Min YK, Min BC, Kim JH, 2011. The Changes of Psychological and Physiological Emotional Responses According to Change of the Index of Predicted Mean Vote (PMV) due to Air Conditioning Types, *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*. 14(4): 645-652.
- Kim JH, Kim HG, Yoon YH, Kwon KU. 2016. Thermal Environment Transition of Response Climate Change and Heat Wave Application Evaporative Cooling System, *Journal of Environmental Science International*. 25(9): 1269-1281.
- Kim SH. 2015. Development of the PMV Simplification Control Framework for Indoor Thermal Comfort [dissertation]. Seoul National University of Science and Technology.
- Kum JS, Choi KH, Kim DG, Joo IS, Kim JR, Park HW, Lee KH, Choi HS. 2008. Experimental Study on Thermal Comfort Sensation of Korean (Part I : Analysis of Subjective Judgement in Winter Experiment), *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*. 1(1): 199-211.
- Kwon YS, Ahn YJ. 2020. Political Effects of Countermeasures Against Heat Wave Using System Dynamics Method: Case Study in Daegu Metropolitan City, *The Korea Spatial Planning Review*. 106: 41-64
- Lee MJ. 2020. Current Status of Urban Heat Waves and Damage Reduction Directions. *Planning and policy*, 15-20.
- Noh KC, Oh MD. 2005. Comparison of Thermal Comfort Performance Indices for Cooling Loads in the Lecture Room - An Correlation of PMV and EDT -, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. B* 29(7): 868-877.
- Park SO, Roh JH, Kim J. 2014. A Study on Evaluation of Thermal Environment using Heat Stress Indices for Deep Coal Mine in Korea, *Tunnel and Underground Space*. 24(2): 166-175.
- Ryu NH, Lee CS. 2014. Effects for the Thermal Comfort Index Improvement of Park Woodlands and Lawns in Summer, *Journal of Landscape Architecture in Asia*. 42(6): 21-30.
- Yoon YH, Park SH, Kim WT, Kim JH. 2014. Analyses on Comparison of UTCI, PMV, WBGT between Playground and Green Space in School. *Korean Journal of Environment and Ecolog*. 28(1): 80-89.