

# 동-서 가로에서 차양이 보행자의 열적 쾌적성에 미치는 영향<sup>†</sup>

류남형 · 이춘석

경남과학기술대학교 조경학과 교수

## The Effect of Shading on Pedestrians' Thermal Comfort in the E-W Street

Ryu, Nam-Hyong · Lee, Chun-Seok

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

### ABSTRACT

This study was to investigate the pedestrian's thermal environments in the North Sidewalk of E-W Street during summer heatwave. We carried out detailed measurements with four human-biometeorological stations on Dongjin Street, Jinju, Korea (N35°10.73~10.75', E128°55.90~58.00', elevation: 50m). Two of the stations stood under one row street tree and hedge(One-Tree), two row street tree and hedge (Two-Tree), one of the stations stood under shelter and awning(Shelter), while the other in the sun (Sunlit). The measurement spots were instrumented with microclimate monitoring stations to continuously measure microclimate, radiation from the six cardinal directions at the height of 1.1m so as to calculate the Universal Thermal Climate Index (UTCI) from 24th July to 21th August 2018. The radiant temperature of sidewalk's elements were measured by the reflective sphere and thermal camera at 29th July 2018. The analysis results of 9 day's 1 minute term human-biometeorological data absorbed by a man in standing position from 10am to 4pm, and 1 day's radiant temperature of sidewalk elements from 1:16pm to 1:35pm, showed the following.

The shading of street tree and shelter were mitigated heat stress by the lowered UTCI at mid and late summer's daytime, One-Tree and Two-Tree lowered respectively 0.4~0.5 level, 0.5~0.8 level of the heat stress, Shelter lowered respectively 0.3~1.0 level of the heat stress compared with those in the Sunlit. But the thermal environments in the One-Tree, Two-Tree and Shelter during the heat wave supposed to user "very strong heat stress" while those in the Sunlit supposed to user "very strong heat stres" and "extermie heat stress".

The main heat load temperature compared with body temperature (37℃) were respectively 7.4℃~21.4℃ (pavement), 14.7℃~15.8℃ (road), 12.7℃ (shelter canopy), 7.0℃ (street furniture), 3.5℃~6.4℃ (building facade). The main heat load percentage were respectively 34.9%~81.0% (pavement), 9.6%~25.2% (road), 24.8% (shelter canopy), 14.1%~15.4% (building facade), 5.7% (street facility).

Reducing the radiant temperature of the pavement, road, building surfaces by shading is the most effective means to achieve outdoor thermal comfort for pedestrians in sidewalk. Therefore, increasing the projected canopy area and LAI of street tree through the minimal training and pruning, building dense roadside hedge are essential for pedestrians thermal comfort. In addition, thermal liner, high reflective materials, greening etc. should be introduced for reducing the surface temperature of shelter and awning canopy. Also, retro-reflective materials of building facade should be introduced for the

<sup>†</sup>: 이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

**Corresponding author:** Chun-Seok Lee, Professor, Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea, Tel.: +82-55-751-3305, E-mail: stoney@gntech.ac.kr

control of reflective sun radiation. More aggressively pavement watering should be introduced for reducing the surface temperature of sidewalk's pavement.

*Key Words: Street Tree, Shelter, Mean Radiant Temperature(MRT), Universal Thermal Climate Index(UTCI), Radiant Temperature*

## 국문초록

본 연구는 폭염 시 동-서향 가로의 북측 보도(N35°10.73-10.75', E128°55.90-58.00', 표고: 50m)에서 기상측정장비, 순복사계, 반사구와 열화상카메라를 이용한 실측을 통해 가로수와 셸터에 의한 차양이 인체가 체감하는 열환경에 주는 영향을 MRT, L-MRT, UTCI, 바닥면, 벽면, 천개면의 구성요소별 방사온도로 평가하였다. 이를 위해 1열 및 2열 가로수와 생울타리, 셸터와 어-닝, 햇빛 노출지에 대한 열환경을 측정하였다. 9일간 오전 10시부터 오후 4시까지의 선 자세의 인체가 흡수한 매 1분 간격 인체-생기상학적 자료 그리고 1일간 오후 1시 16분부터 35분까지 보도 구성요소의 방사온도를 분석한 결과는 다음과 같다.

가로수와 셸터에 의한 차양은 여름철 낮 동안 UTCI를 감소시킴으로써 열스트레스를 완화하였는데, 햇빛 노출지에 비해 1열 가로수와 생울타리는 0.4단계~0.5단계, 2열 가로수와 생울타리는 0.5단계~0.8단계, 셸터와 어-닝은 0.3단계~1.0단계로 낮추어 주었다. 하지만 폭염 시에는 가로수와 셸터 하부의 열환경도 이용자들에게 대부분의 시간대에 “매우 강한 열스트레스”를 주는 것으로 나타났다. 그리고 햇빛에 노출된 보도 상의 열환경은 “매우 강한 열스트레스” 또는 “극심한 열스트레스”를 주는 것으로 나타났다.

체온 37℃를 기준으로 한 보도 구성요소의 열스트레스 부하온도는 포장면 7.4℃~21.4℃, 도로면 14.7℃~15.8℃, 셸터의 캐노피 12.7℃, 어-닝 8.6℃, 가로시설물 7.0℃, 건물벽면 3.5℃~6.4℃ 순으로 나타났다. 열스트레스 부하율은 포장면 34.9%~81.0%, 도로면 9.6%~25.2%, 셸터의 캐노피 24.8%, 건물벽면 14.1%~15.4%, 어-닝 7.0%, 가로시설물 5.7% 순으로 나타났다.

보도에서 보행자의 열적 쾌적성을 개선하기 위해서는 차양을 통해 포장면 및 도로면 그리고 건물벽면의 방사온도를 낮추는 것이 가장 효율적이며, 이를 위해서는 최소한의 정지와 전정을 통해 가로수의 수관투영면적과 LAI를 높여야 하며, 도로변에 지엽이 치밀한 생울타리를 조성하는 것은 필수적이다. 그리고 셸터나 어-닝의 표면온도를 낮추기 위해서 서멀 라이너, 고반사 재료, 식생 녹화 등의 대책을 강구할 필요가 있다. 아울러 건물벽면에 재귀반사 재료를 사용함으로써 반사광을 제어하여야 하며, 적극적으로는 보도 포장 표면온도를 낮추기 위해 보도 포장면에 물을 뿌리는 것이 효율적이다.

주제어: 가로수, 셸터, 평균복사온도, 범용열기후지수, 방사온도

## 1. 서론

열스트레스는 인간이 체온을 일정하게 유지하기 위해서, 인체를 에워싸는 환경과 열적 균형을 취하면서 체감하는 스트레스라 불리는 생리적 열부하이다. 그리고 열적 쾌적성은 열환경에 대해 만족을 표현하는 마음의 상태이다(Gosling *et al.*, 2014). 도시민들은 여름철 옥외공간에서 열스트레스나 열사병에 취약할 수 있기 때문에 보행자에게 열적 쾌적성은 필수적이다(Sanusi *et al.*, 2016). 하지만 기후변화로 폭염일수가 증가하고 있어서, 도시 특히 도로와 건물에 의해 형성된 가로공간 내 보행자가 통행하는 보도의 열환경은 갈수록 악화되고 있다. 따라서 보도의 열환경 개선을 위한 대책이 시급히 요구되고 있다. 하지만 이러한 대책을 강구하기 위한 가로수의 열환경 개선효과에 대

한 연구는 많으나, 주로 기온 저감효과에 대한 연구가 대부분이며, 인체가 체감하는 열환경의 개선효과에 대한 연구는 그다지 많지 않다. 그리고 도시공간의 국지적인 열환경은 가로수나 그 밖의 차양시설뿐만 아니라, 벽면과 지면과 같은 인접한 표면 재료의 특성에 의해 좌우된다. 수목, 건물, 차양시설에 의한 그늘은 낮 동안 인체에 대한 복사 부하를 감소시켜 도시환경에서 보행자가 체감하는 열스트레스를 완화할 수 있다(Takács *et al.*, 2017). 그리고 보도 중 열환경의 측면에서 여름철 보행자가 체감하는 가장 불쾌한 열환경을 나타내는 곳이 동-서향 가로의 북측 보도이다(Sanusi *et al.*, 2016). 따라서 장축이 동-서향인 가로는 일사에 노출되는 시간이 길기 때문에 열환경을 개선하기 위해서 식생을 도입하되 가로의 폭에 대한 높이의 비나 용도를 고려하면서 가능하다면 가로의 북측이나 중앙에 배치하

는 것이 바람직하다고 하였다(Ali-Toudert and Mayer, 2006).

도시 외부공간에서 인체의 쾌적성을 위한 설계전략의 우선 목표는 보행자에게 영향을 주는 건축재료 표면의 방사온도를 조절하는 것이어야 한다(Rosheidat, 2014). Hwang *et al.*(2014)은 열화상카메라로 도시를 구성하는 요소들의 표면온도를 측정한 결과, 도시열섬현상을 초래하는 요소는 포장도로, 간판, 건물벽면이라고 보고하였다. Lee *et al.*(2018)은 열화상카메라로 가로공간을 구성하는 요소들의 표면온도를 측정한 결과, 가로수가 가장 낮고, 상업용 건물, 어두운 색 또는 철제 표면, 인조 잔디, 목재 데크가 가장 높게 나타났으므로 이를 열섬완화대책에 고려해야 한다고 보고하였다. 열화상카메라로 표면온도를 측정한 전자의 연구들은 보행자를 에워싸고 있는 주변 환경의 표면온도를 부분적으로 나타냈으나, 전체적으로 제시하지는 못하였다. 전체적인 제시를 위해서는 데이터의 정밀도는 떨어지지만 방사율이 0.1 내외인 스테인레스 스틸 반구에서 반사되는 열복사를 촬영하여야 한다(Nakamura *et al.*, 2011). 그리고 촬영된 열화상을 바탕으로 복사열을 가진 어떤 물체가 방사하는 온도(radiant temperature, 이하 '방사온도'라고 한다)에 근거해서 인체를 둘러싼 주위 환경의 열환경을 평가할 수 있다.

일사의 영향을 받는 옥외공간에서 열적 쾌적성 측면에서 차양의 효과를 정량적으로 파악하기 위해서는 인체의 열스트레스지수인 범용열기후지수(Universal Thermal Climate Index: UTCI, 이하 'UTCI'라고 한다) 등을 평가해야 한다. UTCI는 동일한 생리적 모델의 동적 반응을 나타내는 참조 조건에서의 등가온(°C)이며, 기후가 인간에게 미치는 생리적 열부하를 나타내는 지수 즉 생기후지수(bioclimate index)이다(Gosling *et al.*, 2014). 생기후가 열 관련 질환에 미치는 영향을 예측할 수 있는 지수으로써 UTCI의 효용성은 입증되었다(Napoli *et al.*, 2018). 이러한 UTCI에 가장 큰 영향을 주는 것은 평균복사온도(Mean Radiation Temperature, 이하 'MRT'라고 한다)이다(Holst and Mayer, 2011). 동·식물 및 인간을 포함한 생물과 기상과 상호작용을 연구하는 생기상학(biometeorology) 분야(Gosling *et al.*, 2014)에서 MRT로 정량화한 복사에 의한 열부하가 여름철 낮에 옥외공간 열스트레스의 주된 원인이라는 것을 입증하였다(Kántor *et al.*, 2018). MRT는 모든 장파 및 단파 복사속도를 하나로 통합하여 산정한 평균복사온도이다(Gosling *et al.*, 2014). 장파평균복사온도(Longwave Mean Radiant Temperature, 이하 'L-MRT'라고 한다.)는 보행자를 에워싸고 있는 보도의 구성요소들이 방출하는 장파복사속만으로 산정한 평균복사온도이다(Lai *et al.*, 2016).

따라서 본 연구는 폭염 시 동-서향 가로의 북측 보도에서 기상측정장비, 순복사계, 직경 300mm의 스테인레스 스틸로 된 반사구(이하 '반사구'라고 한다)와 열화상카메라를 이용한 실측을 통해 수목과 쉼터에 의한 차양이 인체가 체감하는 열환경

에 주는 영향을 MRT, L-MRT, UTCI, 바닥면, 벽면, 천개면의 구성요소별 방사온도로 평가하였다. 평가 결과를 바탕으로 보도에서 보행자가 체감하는 열스트레스의 정도를 파악하고, 차양이 미치는 열스트레스 완화효과를 정량적으로 규명하였다. 그리고 보도의 공간 구성요소별 방사온도를 체온 37°C(Błażejczyk *et al.*, 2013)와 비교해서 인체에 열스트레스를 가중 또는 완화시키는 열원과 냉각원을 규명하였으며, 아울러 인체가 체감하는 열환경 개선을 위한 대책을 제시하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 연구범위

#### 1) 공간적 범위

본 연구는 진주시의 동-서 방향 주요 간선도로 중 하나인 폭 18m 왕복 4차선 동진로의 북측 보도(폭 4.1m~10m, N35° 10.73'~10.75', E128°55.90'~58.00', 표고: 50m)의 가로수 구간과 버스 쉼터 구간 그리고 햇빛에 노출된 포장 구간을 대상으로 하였다. 동진로 33번지를 포함한 측정구간의 양측에는 일반상업지역과 제2종 주거지역 내 일부 9~11층 그리고 대부분 3층 이하의 상가와 근린생활시설 그리고 도시계획시설로써 대학이 입지하고 있으며, 동측으로 남강이 흐르고 있고, 서측은 진주대로와 교차한다.

미기상 및 복사 환경의 측정 위치와 측정 지점의 평면도를 Figure 1과 2에 나타냈다.

미기상 및 복사 환경의 측정 위치의 지상 110cm 높이에서 촬영한 상부 어안렌즈 사진과 SPOCONV ver.0.6(<http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s12/Resource/ap/SPCONV/SPCONV.htm>)을 이용하여 산정한 하늘시계지수(Sky View Factor, 이하 'SVF' 또는 '하늘시계지수'라고 한다)를 Figure 3에 나타냈다. 하늘시계지수는 도시공간을 대상으로 한 열환경 연구 시 측정구의 특성을 나타내는 대표적인 지수이다.

#### 2) 내용적 범위

차양 수단의 차이에 따른 보도의 열적 쾌적성에 대한 평가는 Figure 4와 같이 3단계로 수행하였다.

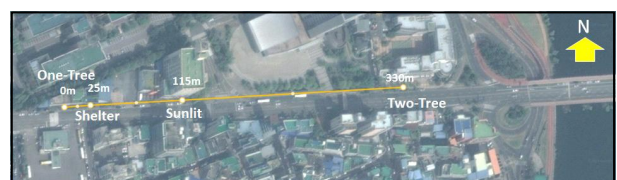


Figure 1. Measurement locations of the One-row, Shelter, Sunlit, Two-row at the North Sidewalk Dongjin Street

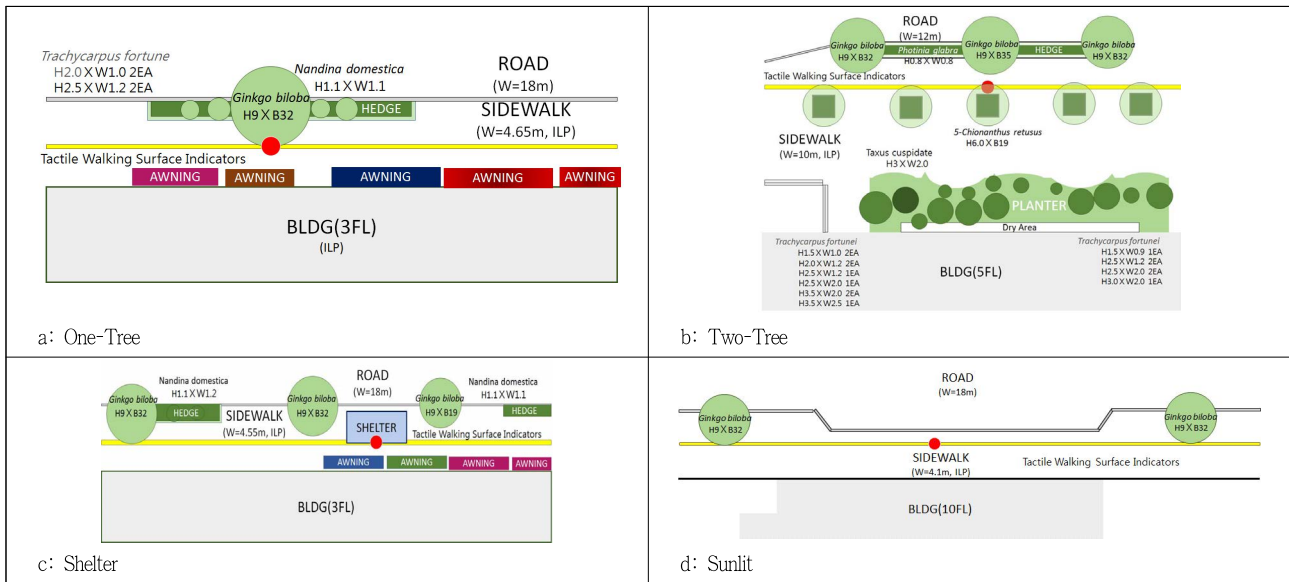


Figure 2. Plans of the One-row, Two-row, Shelter, Sunlit Station at the North Sidewalk Dongjin Street

Legend: ● Measuring point

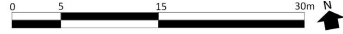


Figure 3. Experiment field's sky fisheye photographs at the north sidewalk of Dongjin Street

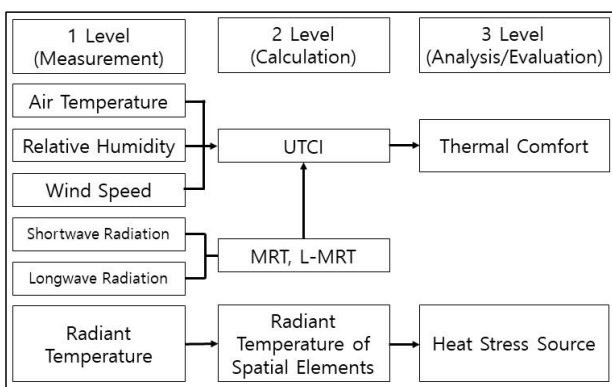


Figure 4. Flowchart of research

## 2. 연구방법

### 1) 기상환경 측정

비교적 맑은 날씨를 보인 2018년 7월 24~26일, 29일, 8월 13~14일, 18~21일의 총 9일 동안 차양구와 대조구의 열환경

비교를 위해 동진로 북측 보도의 1열 가로수와 생울타리가 조성된 구간(이하 'One-Tree구'라고 한다) 및 2열 가로수와 생울타리가 조성된 구간(이하 'Two-Tree구'라고 한다), 지붕재가 수지 제품인 반투명 폴리카보네이트로 된 캔틸레버 쉘터(이하 '셸터'라고 한다)와 섬유막으로 된 어-닝이 설치된 측정구(이하 'Shelter구'라고 한다), 대조를 위해 햇빛에 노출된 포장 구간(이하 'Sunlit'라고 한다)을 대상으로 기온을 포함한 기상 및 복사 환경을 2회 반복 측정을 하였다. 8월 19일부터 8월 21일까지 총 3일 동안 차양구 간의 비교를 위해 기상 및 복사 환경을 측정하였다.

기상 및 복사 환경의 측정은 기존의 연구(Ryu and Lee, 2016)에서 제시한 방법과 동일하게 하였으며, 다만 측정높이는 보행자를 고려하여 성인의 선 자세의 인체 무게중심 높이 110cm(BS EN ISO 7726, 2001)로 하였다. 7월 29일 오후 1시 16분부터 35분까지 20분간 반사구와 열화상 카메라(Flir E60)를 이용하여 보도 구성요소의 방사온도를 측정하였다. 측정 모습 및 도구는 Figure 5에 나타냈으며, 측정 장비의 사양 역시





Figure 5. Measuring instruments photographs of the measuring points at the Dongjin Street

Table 1. Measured meteorological variables, instruments' and sensors' accuracy

Variable	Instrument	Size/accuracy
Radiant temperature	Reflective stainless steel sphere	$\phi$ 3,000mm
	FLIR E-60	Temperature $\pm$ 2% resolution 320 $\times$ 240

기존의 연구(Ryu and Lee, 2016)와 같으나, 추가된 반사구와 열화상 카메라의 사양을 Table 1에 나타냈다.

## 2) MRT와 UTCI의 산정

MRT는 기존의 연구(Ryu and Lee, 2016)에서 제시한 방법과 동일하게 산정하였다. 다만, 선 자세의 인체가 흡수하는 방향별 가중치만 Table 2의 0.22와 0.06을 적용하였다(Watanabe and Horikoshi, 2012).

열스트레스지수인 UTCI는 기존의 연구(Ryu and Lee, 2016)에서 제시한 방법과 동일하게 산정하였다.

## 3) 방사온도의 측정 및 표현

낮은 방사율을 가진 표면은 장파복사의 많은 부분을 반사하므로(Samuels *et al.*, 2010) 반사구에서 반사하는 장파복사를 측정함으로써 주변 환경의 방사온도를 측정할 수 있다(Nakamura *et al.*, 2011). 하지만 본 실험에서 사용한 반사구의 방사율은 0.14(FLIR, 2017)로서 장파복사 방사율이 1이 아니기 때문에 측정된 주변 환경의 방사온도는 실제의 방사온도와는 차이를 나타내므로, 장파복사계로 측정한 방사온도로 보정을 한다면

비교적 객관적인 보도의 구성요소별 방사온도의 비교가 가능하다고 판단된다. 반사구는 장파복사의 방사율이 각도에 따라 차이를 나타내고, 특히 가장자리의 정밀도가 떨어지기 때문에 양방향에서 촬영한 입체각  $2\pi$ sr 열화상자료를 바탕으로 평균장파복사온도를 산정함으로써 정밀도를 높일 수 있다(Nakamura *et al.*, 2011). 그리고 보행자의 열환경에 영향을 주는 인체형상을 고려한 가중치는 보행자의 전후가 각각 0.27로서 가장 높아서(Watanabe and Horikoshi, 2012) 동-서향 가로로 보도에서는 동측 및 서측 반구의 구성요소가 인체의 열환경에 가장 큰 영향을 준다.

따라서 본 연구에서는 해상도 320 $\times$ 240 열화상카메라로 반사구에서 반사되는 방사온도의 열화상을 촬영한 후, 방사율 1로 한 340 $\times$ 240의 데이터를 Excel 파일로 전환한 후 어안렌즈로 촬영한 실험구의 동측 또는 서측 반구에 해당하는 부분의 데이터만 취득하였다. 취득된 데이터를 바탕으로 산정한 측정구별 동측 및 서측 반구의 평균방사온도는 장파복사계로 측정한 동측 및 서측 평균방사온도를 기준으로 보정을 하였다. 그리고 보정된 데이터를 바탕으로 Excel의 조건부 서식을 활용하여 측정구 전체의 방사온도를 최저온도를 청색, 최고온도를 적색, 그리고

Table 2. Weighting factors  $W_i$  depending on the orientation

Posture	Left/Right	Front/Back	Upward/downward
Standing person	0.17	0.27	0.06
	0.22		

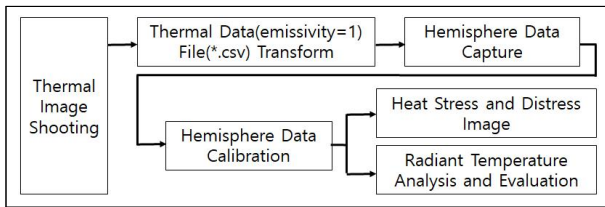


Figure 6. Flowchart of the measurements and evaluation of radiant temperature.

중간값 즉 인체의 체온 37℃를 백색으로 하여 열스트레스 부하 및 완화 구성요소를 시각적으로 표현하였다. 아울러 보도의 공간 구성요소별 최고값, 최저값, 평균값 및 표준편차를 산정하였다. Figure 6에 방사온도의 측정 및 표현 과정을, Figure 7에 반사구를 포함한 열화상, 반구(hemisphere) 부분의 열화상, 열스트레스 부하 및 완화 이미지를 나타냈다.

통계처리는 SPSS PC 21.0 for windows를 이용하였는데, 대응표본 평균차 검증을 통해 2018년 7월 24일부터 8월 21일까지 비교적 맑은 날 9일 동안 측정한 오전 10시부터 오후 4시까지의 One-Tree구, Two-Tree구, Shelter구, Sunlit구의 매 1분 간격 기온, 풍속, 상대습도, MRT, L-MRT, UTCI를 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기상

진주기상대에서 측정한 2018년 7월 24~26일, 29일, 8월 13~14일, 18~21일의 9일간 오전 10시부터 오후 4시까지의 일사량과 기온을 Figure 8에 나타냈다. 측정 당일의 날씨는 7월 25일과 8월 14일 오후 1시 전후, 7월 29일 10시 전후 그리고 8월 18일 오전 12시부터 오후 1시 전후에 구름으로 인해 일사량이 감소한 것을 제외하고는 8월 전형적인 여름철의 기상을 나타내었다. 측정기간 10일 동안의 최고기온은 30.3℃~36.6℃를 나타냈으며, 8월 18~20일을 제외하면 폭염주의보나 폭염경보가 발령

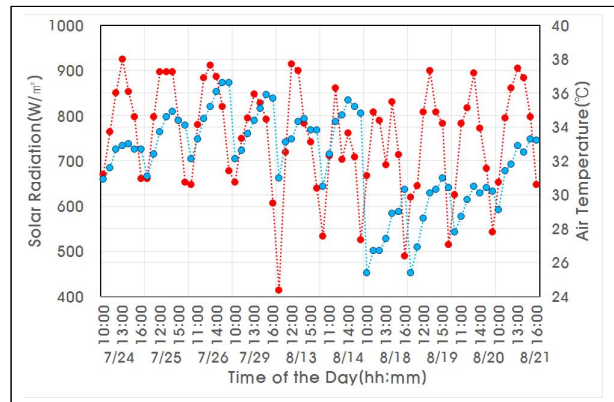


Figure 8. Solar radiation and air temperature at 24th~26th(July)/13th~14th(August)/19th~21th(August), 2018

Legend: --- Solar radiation --- Air temperature

된 날씨였다.

1.1m 높이에서 측정한 측정일의 기온을 Table 3에 나타냈다.

최고기온은 Sunlit구 34.9℃~41.3℃임에 비해 One-Tree구 0.6℃와 0.1℃, Two-Tree구 1.0℃와 0.6℃, Shelter구 1.5℃와 1.6℃ 낮게 나타났다. 평균기온은 Sunlit구 32.6℃~34.5℃임에 비해 One-Tree구 0.8℃와 0.2℃, Two-Tree구 0.6℃와 0.8℃, Shelter구 0.8℃와 0.9℃ 낮게 나타났다. 더운 여름 기후를 나타내는 차양구의 기온 저감 효과는 덩굴식물로 피복된 그늘시령을 대상으로 한 연구결과, 평균기온 0.9℃~2.3℃와 최고기온 1.5℃~2.0℃(Ryu and Lee, 2017)보다 낮게 나타났다. 이는 수관 투영면적에 대한 총 엽면적의 비(Leaf Area Index, 이하 'LAI'라고 한다)의 차이로 인한 것으로 판단된다. 또한, 제주와 서귀포에서 가로수를 대상으로 한 연구결과, 최대기온 0.6℃~1.8℃와 평균기온 0.2℃~0.7℃(Jo *et al.*, 2017)와 유사한 기온 저감효과를 나타냈다. 그리고 일본 나고야에서 그늘시령을 대상으로 한 연구결과 0℃(Watanabe *et al.*, 2014), 헝가리 페치에서 독립 녹음수를 대상으로 한 연구결과 0.5℃(Kántor *et al.*, 2016)보다 대체적으로 컸다. 이는 LAI와 측정구간 거리의 차

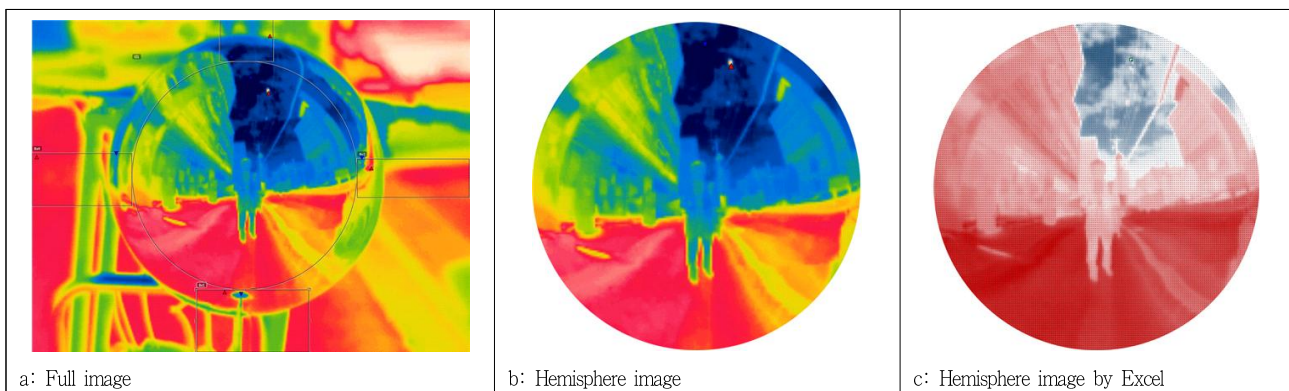


Figure 7. Thermal Images of the measuring point at the Dongjin Street

Table 3. Comparison of 9 days average 1 minute term air temperature between 10 and 16hours in the measuring points at 24th~26th(July)/13th~14th(August)/19th~21th(August), 2018

Measuring point	Measuring day (mm/dd)	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum (°C)	Mean difference ±Std.Err.(°C)	Paired <i>t</i> -test $\alpha=0.01$	
					<i>t</i>	<i>p</i>
One-Tree	07/26	37.3±1.23	35.2/40.7	-0.8±0.82	-18.68***	.000
Sunlit		38.1±1.29	34.8/41.3			
Two-Tree	07/24	34.6±1.07	32.3/36.9	-0.6±0.84	-14.58***	.000
Sunlit		35.2±1.05	32.5/37.9			
Shelter	07/25	36.1±1.21	32.7/38.0	-0.8±0.73	-20.18***	.000
Sunlit		36.9±1.25	33.0/39.5			
One-Tree	08/20	32.4±1.12	29.5/34.8	-0.2±0.66	-5.58***	.000
Sunlit		32.6±1.05	30.5/34.9			
Two-Tree	08/21	33.7±1.26	30.6/36.5	-0.8±0.75	-19.08***	.000
Sunlit		34.5±1.38	31.3/37.1			
Shelter	08/19	32.0±2.42	27.0/35.2	-1.0±0.75	-24.80***	.000
Sunlit		32.9±2.67	27.3/36.8			
One-Tree	08/14	37.2±1.53	33.8/40.2	0.4±0.39	19.90***	.000
Shelter		36.8±1.44	33.4/39.1			
Two-Tree	08/13	34.7±0.96	32.2/36.6	-0.4±0.81	-9.60***	.000
Shelter		35.1±1.22	32.1/37.5			
One-Tree	08/18	30.6±0.89	28.9/32.9	0.9±0.64	28.00***	.000
Two-Tree		29.7±0.96	27.9/32.2			

\*\*\*  $p<0.01$ .

이로 인한 것으로 생각된다.

Sunlit구의 1.1m 높이에서 측정한 6일간의 최고기온은 진주 기상대에서 측정한 최고기온보다 3.8°C~5.8°C(Figure 8 참조) 높게 나타났다. 이는 진주기상대가 도시 외곽지역에 위치하고 있으며, 측정높이가 1.5m이기 때문이라 판단된다. 차양구 내에서의 평균기온은 One-Tree구가 Shelter구보다 0.4°C, Two-Tree구보다 0.9°C 높게 나타났으며, Two-Tree구는 Shelter구에 비해 0.4°C 낮게 나타났다. 이는 One-Tree구는 Two-Tree구나 Shelter구에 비해 햇빛에 노출되는 시간이 많기 때문이며, Two-Tree구가 하천에 가깝기 때문이라 판단된다.

## 2. 차양이 인체가 흡수한 복사량에 근거한 MRT와 L-MRT에 미치는 저감효과

선 자세의 인체가 흡수한 단파 및 장파 복사량으로 산정한 MRT를 Table 4에 나타냈다.

최고 MRT는 Sunlit구가 64.7°C~67.4°C임에 비해 One-Tree구 6.2°C와 6.0°C, Two-Tree구 9.3°C와 8.9°C, Shelter구 23.6°C와 18.6°C 낮게 나타났다. 평균 MRT는 Sunlit구가 57.0°C~60.8°C임에 비해 One-Tree구 10.3°C와 13.3°C, Two-Tree구 9.4°C와 12.8°C, Shelter구 21.2°C와 14.4°C 낮게 나타났다. 온대로서 더운 여름 기후를 보이는 측정구를 대상으로 한 MRT 저감 효과

과는 진주에서 덩굴식물로 피복된 그늘시령을 대상으로 한 연구결과 최고 MRT 20.1°C~26.9°C와 평균 MRT 23.1°C~25.5°C(Ryu and Lee, 2017), 그리고 제주와 서귀포에서 가로수를 대상으로 한 연구결과 최고 MRT 24.4°C~35.2°C와 평균 MRT 21.4°C~28.5°C(Jo *et al.*, 2017), 또한 헝가리 페치 광장 수목과 도로변 수림을 대상으로 한 연구결과 평균 MRT 18.2°C와 21.4°C(Kántor *et al.*, 2018)보다 낮게 나타났다. 이는 측정 대상의 LAI의 차이로 인한 것으로 판단된다. 그리고 냉대로서 따뜻한 여름 기후를 나타내는 영국 맨체스터에서 가로수를 대상으로 후쿠온도계 측정한 연구결과 3.8°C와 4.6°C(Armson *et al.*, 2013)보다 높은 값이다. 이는 측정 방법, 측정 대상의 LAI 및 대상지의 기후 차이에 의한 것이라 판단된다.

차양구 내의 평균 MRT를 비교하면, 10:00~16:00 시간대에 평균 MRT는 One-Tree구와 Two-Tree구가 Shelter구에 비해 각각 4.4°C와 3.6°C 높게 나타났다. 이는 Shelter구의 차양효과가 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 세분된 시간대별 평균 MRT는 One-Tree구와 Two-Tree구는 Shelter구에 비해 2.0°C~4.2°C 낮거나, 3.6°C~10.2°C 높게 나타났다. 이는 태양고도가 높아지면서 수관에 의한 차양으로 복사계에 그들이 지는 시간대에는 Shelter보다 가로수의 차양효과가 높아지지만, 태양고도가 낮은 시간대에는 수관 하부로 햇빛이 투과하는 시간대에서는 Shelter보다 가로수의 차양효과가 낮아지기 때문이

Table 4. Comparison of 3 days average 1 minute term MRT between 10 and 16 hours in the measuring points at 24th~26th(July)/13th~14th/18th~21th(August), 2018

Measuring day (mm/dd)	Time	Measuring point	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum (°C)	Mean difference ±Std.Err.(°C)	Paired <i>t</i> -test $\alpha=0.01$	
						<i>t</i>	<i>p</i>
07/26	10:00~16:00	One-Tree	50.2±5.40	41.2/58.5	-10.3±5.27	-26.0	.000
		Sunlit	60.6±1.75	57.0/64.7			
07/24	10:00~16:00	Two-Tree	50.2±4.99	42.2/58.1	-9.4±5.10	-34.0	.000
		Sunlit	59.6±2.73	55.8/67.4			
07/25	10:00~16:00	Shelter	39.7±1.63	35.2/42.0	-21.2±1.38	-263.5	0.000
		Sunlit	60.8±2.36	55.7/65.6			
08/20	10:00~16:00	One-Tree	46.3±4.78	39.4/58.9	-13.3±6.21	-32.7	.000
		Sunlit	59.7±2.27	54.1/64.9			
08/21	10:00~16:00	Two-Tree	47.8±5.89	39.1/57.9	-12.8±7.33	-31.2	.000
		Sunlit	60.5±2.72	55.0/66.8			
08/19	10:00~16:00	Shelter	42.6±3.10	32.6/46.3	-14.4±2.97	-80.6	.000
		Sunlit	57.0±4.28	42.9/64.9			
08/14	10:00~10:51	One-Tree	47.0±2.08	43.2/51.1	5.1±2.99	12.3 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	41.9±1.05	39.7/43.2			
	10:52~13:16	One-Tree	42.2±1.02	40.1/44.6	-2.0±1.20	-16.8 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	44.2±1.80	40.5/47.4			
	13:17~16:00	One-Tree	52.4±5.86	40.7/61.5	7.2±5.07	19.9 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	45.2±1.72	39.7/51.6			
	10:00~16:00	One-Tree	48.9±6.54	40.1/61.5	4.4±5.78	13.4 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	44.5±2.04	39.7/51.6			
08/13	10:00~12:28	Two-Tree	51.3±6.66	36.6/59.7	7.6±4.58	11.0 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	43.7±4.07	35.1/47.4			
	12:29~14:28	Two-Tree	43.9±0.92	42.4/46.6	-4.2±1.48	-26.7 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	48.0±1.09	46.2/50.1			
	14:29~16:00	Two-Tree	54.6±3.05	47.8/60.9	10.2±3.85	25.3 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	44.3±1.71	41.5/48.3			
	10:00~16:00	Two-Tree	49.6±5.76	42.4/63.5	3.6±7.70	6.7 <sup>***</sup>	.000
		Shelter	46.0±2.26	41.5/50.1			
08/18	10:00~11:00	One-Tree	52.3±2.69	46.9/55.9	4.0±2.86	8.7 <sup>***</sup>	.000
		Two-Tree	48.3±1.96	44.3/51.5			
	11:01~11:55	One-Tree	37.0±1.48	33.6/39.5	-8.2±2.20	-22.2 <sup>***</sup>	.000
		Two-Tree	45.1±1.61	42.2/47.9			
	11:57~15:44	One-Tree	39.8±8.53	32.4/58.0	3.3±2.02	18.0 <sup>***</sup>	.000
		Two-Tree	36.5±6.98	30.3/51.0			
	15:55~16:00	One-Tree	50.1±1.48	48.5/52.1	-4.7±1.54	-8.1 <sup>***</sup>	.000
		Two-Tree	54.9±0.76	54.1/56.2			
	10:00~16:00	One-Tree	42.0±8.67	32.4/58.0	1.1±5.10	3.2 <sup>***</sup>	.002
		Two-Tree	40.9±7.90	30.3/56.2			

\*\*\*  $p<0.01$ .

라 판단된다. One-Tree구의 10:00~16:00의 평균 MRT는 Two-Tree구보다 1.1°C 높게 나타났다. 이는 Two-Tree구의 차양효과가 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 세분된 시간대

별 평균 MRT는 4.7°C~8.2°C 낮거나, 3.3~4.0°C 높게 나타났다. 이는 측정지점을 장애인 점자블록 선상에 위치시킴으로써, One-Tree구와 Two-Tree구의 측정지점과 가로수와의 거리가



달랐기 때문이라 판단된다. 종합적으로 보면 가로수의 수관투영면적과 LAI를 높인다면 차양효과가 높아져, Shelter보다 가로수가 보행자의 열환경 개선에 효과적이라고 판단된다.

선 자세의 인체가 흡수한 장파복사를 근거로 한 L-MRT를 Table 5에 나타냈다.

최고 L-MRT는 Sunlit구가 38.1℃~45.3℃임에 비해 One-Tree구 1.8℃와 3.6℃, Two-Tree구 3.7℃와 5.3℃, Shelter구 2.0℃와 2.5℃ 낮게 나타났다. 평균 L-MRT는 Sunlit구가 34.9℃~41.7℃임에 비해 One-Tree구 1.8℃와 3.2℃, Two-Tree구 3.2℃와 4.5℃, Shelter구 1.6℃와 1.5℃ 낮게 나타났다. 이는 가로수나 셸터가 차양을 통해 측정지점 주위 구성요소들의 표면온도를 상대적으로 낮추었기 때문이라 판단된다. 그리고 차양구 내에서의 평균 L-MRT는 Shelter구에 비해 One-Tree구는 1.0℃, Two-Tree구는 2.3℃ 낮게 나타났으며, One-Tree구는 Two-Tree구에 비해 1.6℃ 높게 나타났다. 이는 Shelter의 캐노피는 가로수의 수관에 비해 비열이 높기 때문에 일사를 흡수하여 표면온도가 상대적으로 높아졌기 때문이라 판단된다. Table 4에 나타난 인체가 흡수한 단파복사와 장파복사를 근거로 한 평균 MRT가 Shelter구에 비해 One-Tree구와 Two-Tree구가 높게 나타난 것과 달리 평균 L-MRT가 낮게 나타난 것은 셸터

와 어-닝은 가로수에 비해 일사차단효과는 높지만, 흡수된 일사로 인해 표면온도가 가로수에 비해 상대적으로 높아졌기 때문이라 판단된다. 따라서 차양재료로서 가로수와 같은 식생이 셸터 캐노피와 같은 인공재료보다 효과적임을 의미하는 것이라고 생각된다. 즉, 일사차단율이 동일하다면 인공재료보다 식생재료가 효과적이라는 것이다.

### 3. 차양에 따른 인체가 흡수한 복사량에 근거한 열스트레스지수 UTCI 저감효과

기상환경과 MRT를 근거로 선 자세의 인체가 흡수한 UTCI와 열스트레스를 Figure 9에 나타냈다. UTCI값에 따른 열스트레스 범주는 32℃~38℃가 강한 열스트레스, 38℃~46℃가 매우 강한 열스트레스, 46℃ 초과가 극심한 열스트레스를 준다(Błażejczyk *et al.*, 2013). 그리고 최댓값과 최솟값 사이의 간격은 강한 열스트레스에서는 6℃, 매우 강한 열스트레스에서는 8℃이며, 열스트레스 범주별로 6℃와 8℃를 기준으로 한 차양의 효과를 단계 저감효과로 서술하였다.

최고 UTCI는 Sunlit구 42.4℃~49.3℃임에 비해 One-Tree구 2.0℃와 1.5℃, Two-Tree구 10.0℃와 4.9℃, Shelter구 6.7℃와

Table 5. Comparison of 3 days average 1 minute term L-MRT between 10 and 16 hours in the measuring points at 24th~26th(July)/13th~14th/18th~21th(August), 2018

Measuring day (mm/dd)	Time	Measuring point	Mean±Std.Err. (℃)	Minimum/maximum (℃)	Mean difference ±Std.Err.(℃)	Paired <i>t</i> -test α=0.01	
						<i>t</i>	<i>p</i>
07/26	10:00~16:00	One-Tree	39.9±1.51	36.7/43.5	-1.8±0.79	-43.8	.000
		Sunlit	41.7±1.87	38.3/45.3			
07/24	10:00~16:00	Two-Tree	37.4±1.47	34.3/39.6	-3.2±0.78	-78.9	.000
		Sunlit	40.6±1.94	36.3/43.3			
07/25	10:00~16:00	Shelter	39.6±1.65	34.6/42.0	-1.6±0.52	-57.5	0.00
		Sunlit	41.2±1.92	35.9/44.0			
08/20	10:00~16:00	One-Tree	32.1±1.19	29.6/34.5	-3.2±1.03	-59.2	.000
		Sunlit	35.3±1.93	30.6/38.1			
08/21	10:00~16:00	Two-Tree	32.5±1.18	29.2/34.5	-4.5±1.36	-63.2	.000
		Sunlit	37.0±2.07	32.1/39.8			
08/19	10:00~16:00	Shelter	33.4±2.80	27.0/36.8	-1.5±0.78	-37.1	.000
		Sunlit	34.9±3.47	27.3/39.3			
08/14	10:00~16:00	One-Tree	36.2±1.89	32.6/39.8	-1.0±0.69	-28.5	.000
		Shelter	37.2±1.75	32.8/40.3			
08/13	10:00~16:00	Two-Tree	33.7±1.30	30.6/36.2	-2.3±1.27	-33.9	.000
		Shelter	36.0±1.97	31.6/39.0			
08/18	10:00~16:00	One-Tree	30.0±1.18	27.9/32.9	1.6±0.84	36.1	.000
		Two-Tree	28.4±1.22	25.9/31.0			

\*\*\*  $p < 0.001$ .

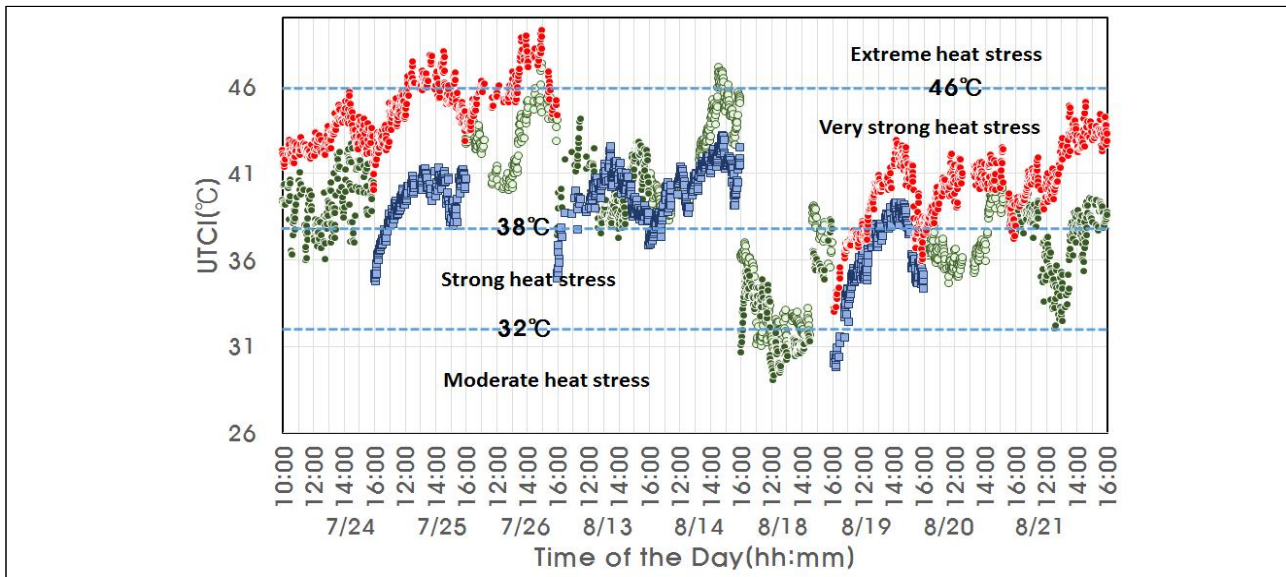


Figure 9. UTCI variation absorbed by a man in standing position between 10 and 16 hours in the measuring points at 24th~26th(July)/13th~14th/18th~21th(August), 2018

Legend: ● One-Tree ● Two-Tree ■ Shelter ● Sunlit

3.6°C 낮게 나타났다. 평균 UTCI는 Sunlit구 34.9°C~41.7°C임에 비해 One-Tree구 2.9°C, Two-Tree구 3.6°C와 4.6°C, Shelter구 5.8°C와 2.7°C 낮게 나타났다. 본 연구결과는 진주에서 그늘시령을 대상으로 한 연구결과, 평균 UTCI 4.1°C~8.3°C와 최대 UTCI 7.8°C~10.2°C(Ryu and Lee, 2017), 제주와 서귀포에서 가로수를 대상으로 태양 및 지구복사를 순복사계로 측정 한 연구결과 평균 UTCI 5.0°C~8.5°C와 최대 UTCI 6.3°C~11.1°C(Jo *et al.*, 2017), 그리고 진주에서 셸터를 대상으로 한 연구결과, 평균 UTCI 6.5°C~6.8°C와 최대 UTCI 5.1°C~9.0°C(Ryu and Lee, 2016)보다 낮게 나타났다. 이는 가로수의 경우 측정 위치와 LAI 차이 그리고 셸터의 경우 지붕 모양과 재료의 차이로 판단된다.

차양구 내의 평균 UTCI를 비교하면, 10:00~16:00 시간대에 평균 UTCI는 One-Tree구와 Two-Tree구가 Shelter구에 비해 각각 1.6°C와 0.5°C 높게 나타났다. 이는 Shelter구의 차양효과가 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 세분된 시간대별 평균 UTCI는 One-Tree구와 Two-Tree구는 Shelter구에 비해 0.3°C~2.0°C 낮거나, 1.9°C~2.7°C 높게 나타났다. 이는 전술한 평균 MRT와 같은 이유 때문이라 판단된다. One-Tree구의 10:00~16:00의 평균 UTCI는 Two-Tree구보다 1.1°C 높게 나타났다. 이는 Two-Tree구의 차양효과가 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 세분된 시간대별 평균 MRT는 1.3°C~1.6°C 낮거나, 1.6~2.3°C 높게 나타났다. 이 또한 전술한 시간대별 평균 MRT와 같은 이유 때문이라 판단된다.

종합적으로 보면 가로수와 셸터에 의한 차양은 여름철 낮 동안 UTCI를 감소시킴으로써 열스트레스를 완화하였는데, 평균

UTCI를 1열 가로수와 생울타리는 0.4단계~0.5단계, 2열 가로수와 생울타리는 0.5단계~0.8단계, 셸터와 어-닝은 0.3단계~1.0단계로 낮추어 주었다. 가로수와 생울타리의 UTCI 0.4단계~0.8단계 저감효과는 제주와 서귀포에서 가로수를 대상으로 한 연구결과, 1.0~1.5단계(Jo *et al.*, 2017), 그리고 따뜻한 여름 기후를 보이는 호주 멜버른시의 도시 가로수가 열스트레스를 1단계 감소시킨 것보다 낮은 결과이다(Coutts *et al.*, 2015). 이는 측정 위치와 측정대상 가로수의 수관투영면적 및 LAI 그리고 기후에 차이가 있었기 때문이라 판단된다. 폭염 시에는 가로수와 셸터는 열환경을 다소 개선하였음에도 불구하고 가로수와 셸터 하부의 열환경도 이용자들에게 대부분의 시간대에 매우 강한 열스트레스( $UTCI > 38^{\circ}C$ )를 주며, 기온이 35°C를 넘는 시간대에는 1열 가로수 하부의 열환경은 극심한 열스트레스( $UTCI > 46^{\circ}C$ )를 주는 것으로 나타났다(Błażejczyk *et al.*, 2013). 반면에 햇빛에 노출된 보도 상의 열환경은 강한 열스트레스( $UTCI > 38^{\circ}C$ ) 또는 극심한 열스트레스( $UTCI > 46^{\circ}C$ )를 주는 것으로 나타났다.

#### 4. 차양에 따른 보도 구성요소의 방사온도 저감효과

측정구의 어안렌즈 사진과 열화상카메라 그리고 장파복사계로 측정 한 보도 구성요소의 방사온도를 Figure 10과 Table 6, 7에 나타났다. Figure 10에 나타난 실화상은 어안렌즈로 촬영한 해상도 2,272×1,704 사진 중 동측 및 서측 반구 부분만 캡처한 것이다. 그리고 반사구에는 촬영자의 모습도 반사되기 때문에 촬영자를 포함한 열화상으로서 측정구 및 측정구 구성요소 사



Figure 10. Radiant temperature image east and west hemisphere between 13:17 and 13:35 in the measuring points at 29th(July), 2018.

Legend:  7.6°C 37°C 67.7°C

이의 방사온도 비교함에 있어서는 무리가 없다고 판단되며, 촬영자의 얼굴 방사온도는 열스트레스 부하 기준온도의 보조적인 참조점이 될 수도 있다고 생각된다. 또한, 인체가 흡수하는 복사는 방사온도에 따른 장파복사속이기 때문에 방사율 1.0으로 한 측정 데이터는 대상물의 표면온도가 아닌 방사온도이다. 방사온도는 측정 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 태양의 방

사온도는 가까운 곳에 있는 주변 대상물보다 낮게 나타난다.

반사구와 열화상카메라를 이용하여 2018년 7월 29일 13:16부터 13:35까지 측정한 보도의 공간 구성요소별 평균 방사온도는 36.9°C~41.8°C로 나타났으며, 장파복사계로 이동 측정한 평균 방사온도는 Sunlit구 42.3°C, Shelter구 41.6°C One-Tree구 40.3°C, Two-Tree구 38.2°C 순으로 나타났다. 따라서 보정을



Table 6. Radiant temperature between 13:16 and 13:35 in the measuring points at 29th(July), 2018

Measurement instruments	One-Tree		Two-Tree		Shelter		Sunlit	
	East sphere (°C)	West sphere (°C)	East sphere (°C)	West sphere (°C)	East sphere (°C)	West sphere (°C)	East sphere (°C)	West sphere (°C)
Thermal camera	39.4	39.8	38.3	36.9	41.7	41.8	41.2	41.8
Pyrgometer	40.1	40.5	38.5	37.9	41.3	42.0	41.6	42.8
	40.3		38.2		41.6		42.3	

Table 7. Radiant temperature of sidewalk space elements between 13:16 and 13:35 in the measuring point at 31th(July), 2018

Element	One-Tree		Two-Tree		Shelter		Sunlit	
	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum(°C)	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum(°C)	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum(°C)	Mean±Std.Err. (°C)	Minimum/maximum(°C)
Pavement	48.2±4.03	35.4/55.3	45.0±3.93	35.4/56.6	44.4±3.67	38.3/53.3	58.4±1.68	49.0/64.3
Road	50.2±1.71	46.7/52.7	45.5±0.90	43.4/48.8	51.7±1.68	39.3/53.8	52.8±2.44	45.3/57.6
BLDG facade	North	43.4±6.34	36.4/67.7	41.7±1.71	38.5/49.4	40.5±2.90	34.1/48.7	41.4±3.23
	South	39.3±1.02	35.3/42.2	36.9±0.67	35.2/39.0	37.2±1.08	35.3/40.0	38.5±1.39
Glass(window)	37.9±0.48	36.7/39.5	40.0±0.32	38.8/40.5	36.7±0.52	34.9/37.7	37.0±0.76	35.4/38.1
Tree	39.0±0.88	35.0/42.8	37.1±0.70	34.5/39.5	37.8±0.79	34.6/41.5	37.3±0.58	36.3/39.1
Hedge	38.9±0.77	35.8/41.8	39.6±1.09	35.8/41.5	-	-	-	-
Shelter canopy	-	-	-	-	49.7±2.41	39.4/54.4	-	-
Awning	54.6±7.94	39.9/67.7	-	-	45.6±1.92	39.9/48.7	-	-
Street facility	-	-	-	-	44.0±2.23	32.8/50.2	-	-
Car	46.4±1.68	44.0/50.4	-	-	-	-	45.1±2.59	40.8/50.5
Sky	21.2±5.44	9.1/31.3	17.5±6.59	7.6/30.5	24.9±3.89	12.2/31.5	16.8±5.12	8.4/30.9
Total average	40.4±9.03	9.1/67.7	38.2±8.83	7.6/56.6	41.6±6.45	11.6/54.4	42.3±13.90	11.4/59.2
Air temperature	37.5		36.8		37.4		37.1	

위하여 장파복사계로 측정한 평균 방사온도를 기준으로 열화상카메라로 측정한 평균 방사온도를 가감하여 분석 자료로 활용하였다. 그리고 측정구 동측 및 서측의 방사온도를 Excel을 이용하여 체온 37°C를 중간 값(흰색)으로 하고, 최저 방사온도인 7.6°C(하늘, 푸른색)와 최고 방사온도인 67.7°C(어-닝, 붉은색)를 기준으로 하여 보행자 주위의 장파복사환경을 Figure 10에 가시화하였다. 각 이미지의 측정 시각이 다르기 때문에 동 시각의 이미지를 비교는 할 수 없지만, Table 5에 나타난 각 측정구의 13:00부터 14:00까지 L-MRT 값의 상대적인 차이와 유사한 경향을 보이기 때문에 측정구간 방사온도의 상대적인 비교는 가능하다고 생각된다.

체온 37°C를 기준으로 방사온도에 근거한 보행자에게 열스트레스를 주는 구성요소는 보도포장(44.4°C~58.4°C), 도로(45.5°C~52.4°C), 건물벽면(41.4°C~43.4°C), 쉼터 캐노피(49.7°C), 차양막(45.6°C와 54.6°C), 자동차(45.1°C와 46.4°C), 가로시설물(44.0°C), 가로수(37.1°C~39.0°C), 생활타리(38.9°C와 39.6°C) 순으로 나타났다. 보도의 공간 구성요소들 중에서 가로수와 생활타리는 포장이나 벽면에 그늘을 제공하여 방사온도를 낮춤으로써 열환경을 개선하면서도 그 밖의 열스트레스를 주

는 요소들과 달리 체온보다 약간 높게 나타나 열스트레스 부하온도는 낮게 나타났다. 그리고 보행자에게 주는 열스트레스를 완화하는 구성요소는 하늘로 나타났다. 하늘의 방사온도가 측정구별로 다르게 나타난 것은 하늘과 접하는 건물이나 가로수 수관에서 방사하는 복사열의 영향으로 생각된다. 이는 건물이나 가로수 수관과 하늘이 접하는 길이가 길수록 하늘을 방사온도는 높게 나타난다는 것을 의미한다.

최고 및 최저 방사온도의 차이에 근거한 보도 구성요소에 대한 가로수나 차양시설의 차양효과는 방사온도를 포장 28.8°C, 도로 18.4°C, 건물벽면 22.9°C 낮춘 것으로 나타났다. 이는 가로수나 차양시설이 보도의 열환경을 개선책으로서 매우 효율적임을 입증하는 것이다.

지상 110cm 높이에서 촬영한 동측 및 서측의 어안렌즈 사진과 SPOCONV ver.0.6(<http://news-sv.ajj.or.jp/kankyo/s12/Resource/ap/SPCONV/SPCONV.htm>)을 이용하여 산정한 반구 면적 중 특정 구성요소가 점유하는 면적의 비율을 나타내는 형태계수(이하 '형태계수'라고 한다)가 0.05 이상인 각 측정구 구성요소의 방사온도에서 체온 37°C를 기준으로 한 열스트레스 부하온도와 부하온도에 형태계수를 곱한 값으로 구한 측정

Table 8. Shape factor and radiant temperature of sidewalk space elements in the measuring point at 31th(July), 2018

Element	One-row			Two-row			Shelter			Sunlit		
	Shape factor	Stress load temp(°C)	Stress load(%)	Shape factor	Stress load temp(°C)	Stress load(%)	Shape factor	Stress load temp(°C)	Stress load(%)	Shape factor	Stress load temp(°C)	Stress load(%)
Pavement	0.25	11.2	54.4	0.41	8.0	81.0	0.29	7.4	34.9	0.26	21.4	59.4
Road	-	-	-	-	-	-	0.04	14.7	9.6	0.15	15.8	25.2
BLDG facade	0.30	6.4	37.4	0.12	4.7	14.1	0.29	3.5	16.7	0.33	4.4	15.4
Tree	0.12	2.0	4.7	0.29	0.1	0.5	0.1	0.8	1.3	-	-	-
Hedge	0.09	2.0	3.5	0.07	2.6	4.5	-	-	-	-	-	-
Shelter canopy	-	-	-	-	-	-	0.12	12.7	24.8	-	-	-
Awning	-	-	-	-	-	-	0.05	8.6	7.0	-	-	-
Street facility	-	-	-	-	-	-	0.05	7.0	5.7	-	-	-
Sky	0.19	-15.8	-	0.1	-19.5	-	0.04	-12.1	-	0.19	-19.9	-

구별 열스트레스 부하량의 백분율을 Table 8에 나타냈다. 그리고 각 측정구에서 형태계수와 열스트레스 부하온도를 고려한 보행자에게 열스트레스를 주는 주요 구성요소의 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

열스트레스 부하온도는 포장면 7.4°C~21.4°C, 도로면 14.7°C~15.8°C, 쉼터의 캐노피 12.7°C, 어-닝 8.6°C, 가로시설물 7.0°C, 건물벽면 3.5°C~6.4°C 순으로 나타났다. 열스트레스 부하율은 포장면 34.9%~81.0%, 도로면 9.6%~25.2%, 쉼터의 캐노피 24.8%, 건물벽면 14.1%~15.4%, 어-닝 7.0%, 가로시설물 5.7% 순으로 나타났다. 측정구를 종합적으로 보면 열스트레스를 가중시키는 열원의 강도는 포장면 > 도로면 > 쉼터의 캐노피 > 건물벽면 > 어-닝 > 가로시설물 순으로 나타났다. 이는 건물벽면이나 가로시설물과 같은 수직면에 비해 바닥면으로서 포장과 도로나 천개면으로서 쉼터의 캐노피와 같은 수평면이 일사를 많이 흡수하여 주요 열원으로 작용함을 의미한다.

가로수가 식재된 측정구에서는 특이하게 도로변 생활타리가 도로의 대부분을 차단함으로써 도로의 형태계수를 매우 낮추어(대조구: 0.150, 1열: 0.010, 2열: 0.006) 도로의 영향을 무시할 정도로 나타났다. 이는 도로변 생활타리는 도로의 복사열을 차단하는데 매우 효과적임을 입증하는 것이다. 하지만 2열 가로수 식재구의 생활타리는 도로의 복사열이 생활타리 틈새로 방사되므로 지엽이 치밀한 생활타리를 조성할 필요가 있다고 판단된다. Shelter구의 쉼터와 어-닝은 일사를 차단하여 보도포장이나 건물벽면에 그늘을 제공하여 일사에 의한 열스트레스를 완화하는데 기여하였지만, 차양시설 자체는 일사를 흡수하여 표면온도가 상대적으로 높아져서 상대적으로 많은 열을 방사하기 때문이라 판단된다. 따라서 쉼터 하부의 열환경을 개선하기 위해서는 쉼터나 어-닝의 표면온도를 낮추어야 하며, 이를 위해서 단열을 위한 서멀 라이너나 일사의 반사율이 높은 고반사 재료의 사용 그리고 식생 녹화 등의 대책을 강구할 필요가 있다(Riemer, 2006). Shelter구와 Sunlit구의 건물벽면

이 주는 영향이 상대적으로 적게 나타난 것은 수직면으로서 일사 흡수량이 상대적으로 작고, 실내 에어컨 가동으로 유리의 표면온도가 상대적으로 낮았기 때문이라 생각된다(Lee *et al.*, 2018).

보도의 열환경 평가 결과에 따르면 보행자의 열적 쾌적성을 개선하기 위해서는 가로수나 시설물에 의한 차양이 가장 효과적인 방안이라는 것이 분명해졌다. 따라서 보행자의 열적 쾌적성을 개선하기 위한 우선적인 대책은 가로수에 의한 차양효과와 제고이며, 이를 위해서는 가로수의 수관투영면적과 LAI를 높여야 한다. 하지만 차량통행 및 전선 등의 가공시설에 장애가 된다는 이유로, 매년 초겨울에 반복적으로 가로수를 필요 이상으로 강하게 정지 및 전정을 함으로써 가로수의 수관투영면적과 LAI가 전년도와 대동소이한 수준을 유지하는 것이 현실이다. 향후 가로수는 차량통행 및 전선 등의 가공시설에 장애가 되지 않는 범위 내에서 최소한의 정지 및 전정을 함으로써 가로수의 차양효과를 높여 보행자의 열적 쾌적성을 제고할 필요가 있다.

다음으로 보도 중 수평적 요소의 열환경을 개선하는 것이 효율적이며, 이를 위해서는 수평면의 일사흡수율을 낮추는 다시 말해 알베도를 높이는 방안을 고려할 수 있다. 하지만 인체의 머리 아래로 조사되는 일사는 반사광으로 인체에 흡수되기 때문에 보행자의 열적 쾌적성을 개선하지 못하며(Schrijvers *et al.* 2016), 머리 위쪽에 있는 수평적 요소 즉 어-닝이나 쉼터의 캐노피를 알베도가 높은 고반사 재료를 사용하는 것이 실질적인 방안이 될 수 있다고 판단된다. 그리고 고반사 재료의 수직면 역시 반사광으로 인해 보행자의 열적 쾌적성을 개선하지 못하기 때문에, 수직면에 광원으로 반사하는 즉 재귀반사 재료(Sakai *et al.*, 2012)를 사용함으로써 반사광을 제어하는 것이 보행자의 열적 쾌적성을 개선하는 실질적인 방안이 될 수 있다고 생각된다.

마지막으로 투수성 포장재는 강우 후 흡수율이 높을 때는 증



발에 의해 잠열로 소비함으로써 포장면의 열환경을 개선할 수 있으나, 그 효과는 단기적이기 때문에 포장면에 물을 뿌리는 것이 가장 실질적인 방안이 될 수 있다고 판단된다. Hendel *et al.*(2014)은 파리를 대상으로 한 포장면 물 뿌리기가 MRT를 2.9°C, UTCI를 1.2°C 낮춘다고 보고하였다. 최근에는 지방자치단체에서 폭염 시 도로 포장면에 물을 뿌리는 작업을 하고 있는데, 보행자의 열적 쾌적성을 제고하기 위해서는 도로 포장면의 열복사는 생울타리로 차단하고, 오히려 보도 포장면에 물을 뿌리는 것이 효율적이라 판단된다.

## IV. 결론

본 연구는 폭염 시 동-서향 가로의 북측 보도에서 실측을 통해 수목과 셸터에 의한 차양이 인체가 체감하는 열환경에 주는 영향을 평가한 결과는 다음과 같다.

가로수와 셸터에 의한 차양은 여름철 낮 동안 UTCI를 감소 시킴으로써 열스트레스를 0.3단계~1.0단계 완화하였음에도 불구하고, 가로수와 셸터 하부의 열환경도 이용자들에게 대부분의 시간대에 “매우 강한 열스트레스”를 주며, 기온이 35°C를 넘는 시간대에는 1열 가로수 하부의 열환경은 “극심한 열스트레스”를 주는 것으로 나타났다. 그리고 폭염 시에는 햇빛에 노출된 보도 상의 열환경은 “강한 열스트레스” 또는 “극심한 열스트레스”를 주는 것으로 나타났기 때문에 보도의 열환경을 개선할 필요가 있었다.

보도에서 보행자의 열적 쾌적성을 개선하기 위해서는 차양을 통해 포장면 및 도로면 그리고 건물벽면의 방사온도를 낮추는 것이 가장 효율적이며, 이를 위해서는 최소한의 정지와 전정을 통해 가로수의 수관투영면적과 LAI를 높여야 하며, 도로면에 지엽이 치밀한 생울타리를 조성하는 것은 필수적이다. 그리고 셸터나 어-닝의 표면온도를 낮추기 위해서 서멀 라이너, 고반사 재료, 식생 녹화 등의 대책을 강구할 필요가 있다. 아울러 건물 벽면에 채귀반사 재료를 사용함으로써 반사광을 제어하여야 하며, 적극적으로는 보도 포장 표면온도를 낮추기 위해 보도 포장면에 물을 뿌리는 것이 효율적이다.

본 연구는 보도에서 보행자의 열환경을 6방향 복사환경 그리고 동측 및 서측 공간의 구성요소별 방사온도의 측정을 통해 보도의 열환경을 파악함과 동시에 구성요소 중 체온 37°C를 기준으로 보행자에게 열스트레스를 주는 요소들의 열부하 온도와 열부하율을 정량적으로 파악하였고, 열스트레스 완화를 위한 대책을 제시했다는 데 의의가 있다. 특히 반사구와 열화상 카메라를 이용하여 보행자의 열환경을 보도의 바닥면, 벽면, 천개면의 구성요소별로 정량적으로 측정할 수 있는 방법을 제시했다는 것은 보도의 열적 쾌적성을 확보하기 위한 평가방법으로서도 의미가 있다고 생각된다. 하지만 본 연구는 동-서향 가로

의 북측 보도의 가로수 및 셸터 하부의 특정 지점을 대상으로 단기간에 수행한 연구이기 때문에 장기적 관점에서 보도 전체를 대표하지 못하는 한계를 가진다.

향후 반사구를 이용해서 다양한 유형의 공간을 대상으로 장기적인 열환경의 평가를 위한 후속 연구를 통해서 본 연구에서 제시한 방법론을 검증할 필요가 있다.

## References

1. Ali-Toudert, F. and H. Mayer(2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation on an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41: 94-108.
2. Armson, D., M. A. Rahman and A. R. Ennos(2013) A comparison of the shading effectiveness of five different street tree species in Manchester, UK. *Arboric Urban* 39: 157-164.
3. Błażejczyk, K., G. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, Y. Epstein, A. Psikuta and B. Kampmann(2013) An introduction to the universal thermal climate index(UTCI). *Geographia Polonica* 86(1): 5-10.
4. BS EN ISO 7726(2001) *Ergonomics of Thermal Environments: Instruments for Measuring Physical Quantities*.
5. Coutts, A. M., E. C. White, N. J. Tapper, J. Beringer and S. J. Livesley(2015) Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology* 124(1-2): 1-14.
6. FLIR(2017) *User's Manual FLIR ETS3xx Series*.
7. Gosling, S. N., E. K. Bryce, P. G. Dixon, K. M. Gabriel, E. Y. Gosling, J. M. Hanes, D. M. Hondula, L. Liang, P. A. Bustos Mac Lean, S. Muthers, S. T. Nascimento, M. Petralli, J. K. Vanos and E. R. Wanka(2014). A glossary for biometeorology. *International Journal of Biometeorology* 58(2): 277-308.
8. Hendel M., M. Colombert, Y. Diab and L. Royon(2014) Improving pedestrian thermal comfort by pavement-Watering during intense heat events. 30th International PLEA Conference Proceedings 1: 175-182.
9. Holst, J. and H. Mayer(2011) Impacts of street design parameters on human-biometeorological variables. *Meteorological Zeitschrift* 20(5): 541-552.
10. Hwang, J. W., J. Park and Y. Y. Chen(2014) An assessment of urban heat island using thermal infrared image in Jeonju city. *J. Recreat. Landsc.* 8: 25-33.(in Korean)
11. Jo, S. M., C. J. Hyun and S. K. Park(2017) Analysis of the influence of street trees on human thermal sensation in summer. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(5): 105-112.(in Korean)
12. Kántor, N., A. Kovács and Á Takács(2016) Small-scale human-biometeorological impacts of shading by a large tree. *Open Geosciences* 8: 231-245.
13. Kántor, N., L. Chen and C. V. Gál(2018) Human-biometeorological significance of shading in urban public spaces: Summertime measurements in Pecs, Hungary. *Landscape and Urban Planning* 170: 241-255.
14. Lai, A., M. J. Maing and E. Ng(2016) Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment. *Building and Environment* 114: 397-409.
15. Lee, S., H. B. Moon, Y. Choi and D. K. Yoon(2018) Analyzing

- thermal characteristics of urban streets using a thermal imaging camera: A case study on commercial streets in Seoul, Sustainability 10(2): 1-21.
16. Nakamura, M., S. Sakai, M. Onishi and K. Furuya(2011) Thermal radiant environment measurements with fractal blind, Journal of Heat Island Institute International 6: 8-15.
  17. Napoli, D. C., F. Pappenberger and H. L. Cloke(2018) Assessing heat-related health risk in Europe via the universal thermal climate index(UTCI), International Journal of Biometeorology 62(7): 1155 - 1165.
  18. Riemer, N. M.(2006) Designing Transportable Collectively Protective Shelters for Thermal Efficiency, AAC/WMO pp. 1-15.
  19. Rosheidat, A.(2014) Optimizing the Effect of Vegetation for Pedestrian Thermal Comfort and Urban Heat Island Mitigation in a Hot Arid Urban Environment, Ph.D. Dissertation, Arizona State University, Tempe, USA.
  20. Ryu, N. H. and C. S. Lee(2016) Thermal environments of children's parks during heat wave period, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 41(6): 52-61,(in Korean)
  21. Ryu, N. H. and C. S. Lee(2017) The effects of Pergola *Wisteria floribunda*'s LAI on thermal environment, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 45(6): 115-125,(in Korean)
  22. Sakai, H., K. Emura, N. Igawa and H. Iyota(2012) Reduction of reflected heat of the sun by retroreflective materials, Journal of Heat Island Institute International 7(2): 218 - 221.
  23. Samuels, R., B. Randolph, P. Graham, T. McCormick and B. Pollard (2010) Micro-urban-climatic thermal emissions: In a Medium-Density Residential Precinct (City Futures Research Centre, Faculty of the Built Environment, UNSW and HASSELL, Sydney).
  24. Sanusi, R., D. Johnstone, P. May and S. J. Livesley(2016) Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer, Journal of Environmental Quality 45(1): 167-174.
  25. Schrijvers, P. J. C., H. J. J. Jonker, S. R. de Roodea and S. Kenjeres (2016) The effect of using a high-albedo material on the universal temperature climate index within a street canyon, Building and Environments, Urban Climate 17: 284-303.
  26. Takács Á., C. V. Gál, Á. Gulyás, M. Kiss and N. Kántor(2017) Radiation conditions at a central European square in a hot summer day, A case study from Szeged, Hungary. Extended abstract, 97th Annual Meeting of the American Meteorological Society (AMS) jointly with the 13th Symposium on the Urban Environment, Paper Nr. 1372, pp. 8.
  27. Watanabe, S. and T. Horikoshi(2012) Calculation of mean radiant temperature in outdoors based on measurements, Japanese J. Biometeorology 49(2): 49-59,(in Japanese)
  28. Watanabe, S., K. Nagano, J. Ishii and T. Horikoshi(2014) Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shade during summer in a humid subtropical region, Building and Environment 82: 556-565.
  29. <http://news-sv.ajj.or.jp/kankyo/s12/Resource/ap/SPCONV/SPCONV.htm>

---

Received : 23 October, 2018

Revised : 28 November, 2018 (1st)

05 December, 2018 (2nd)

Accepted : 05 December, 2018

3인익명 심사필