

ORIGINAL ARTICLE

도로변 가로녹지 유형이 기상에 미치는 영향

김정호 · 최원준¹⁾ · 윤용한*

건국대학교 녹색기술융합학과, ¹⁾건국대학교 대학원 녹색기술융합학과

A Study on the Temperature Reduction Effect of Street Green Area

Jeong-Ho Kim, Won-Jun Choi¹⁾, Yong-Han Yoon*

Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

¹⁾Department of Green Technology Convergence, Graduate School, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

Global climate change caused by industrialization has caused abnormal weather conditions such as urban temperatures and tropical nights, urban heat waves, heat waves, and heavy rains. Therefore, the study tried to analyze climate conditions and weather conditions in the streets and analyze climate factors and meteorological factors that lead to inconvenience to citizens. In the case of trees, the overall temperature, surface temperature, solar irradiance, and net radiation were measured low, and the temperature was lower in the Pedestrian road than in roads. The dry bulb temperature, the black bulb temperature, and the wet bulb temperature for the thermal evaluation showed the same tendency. In the case of thermal evaluation, there was a similar tendency to temperature in WBGT, MRT, and UTCI, and varied differences between types. Although the correlation between the meteorological environment and the thermal environment showed a statistically significant significance, the difference between the measured items was not significant. The study found that the trees were generally pleasant to weather and thermal climate in the form of trees, and the differences were mostly documented.

Key words : Thermal comfort, Street temperature, WBGT, MRT, PMV, PPD, UTCI

1. 서론

산업화에 의한 전 지구적 기후변화는 도시 기온상승 및 열대야, 도시열섬, 폭염, 폭우와 같은 이상기후를 야기하였다. 특히 도시의 경우 불투수 포장면적 및 건폐율 증가에 의한 열환경 악화 및 폭염 현상 등이 심화되는 지역이다(Armson et al., 2012). 이러한 도심지의 열환경 및 대기 환경악화는 도시민의 건강을 위협하는 요소로서(Her, 2013) 폭염으로 인한 응급실 이용

자 증가 및 사망자가 증가하는 추세이며(Jo et al., 2012; Kye, 2013; Lee, 2015), 이에 따른 제화손실에 대한 연구(Lee et al., 2013)가 진행되는 등 폭염에 의한 도시민의 건강 및 생활환경악화는 의학계에서도 중요한 시안으로 보고되고 있다.

도심지의 경우 도로와 건물이 연속적으로 배치되어 있는 형태(Park et al., 2005)이기 때문에 폭염 및 열환경 악화가 심화되는 지역이다. 이를 완화하기 위해 도심지 녹지면적 확충과 보행 쾌적성을 목적으로

Received 17 October 2017; Revised 20 December, 2017;
Accepted 22 December, 2017

*Corresponding author: Yong-Han Yoon, Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone : +82-43-840-3538
E-mail : yonghan7204@kku.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. 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.

가로녹지를 활용하였으며, 최근 이러한 가로녹지 공간 및 보도를 중심으로 도심지의 도로변 열확산에 대한 연구가 진행되고 있다.

도심지 가로공간의 열환경 연구는 크게 두 가지로 첫째, 교통량, 포장형태, 차로 수 등 도로 현황에 따른 기상변화 연구와 둘째, 식재현황, 수종, 완충녹지 유무 등 가로공간형태에 따른 연구로 구분된다. 도로 현황에 따른 기상변화 연구는 교통량에 따른 가로공간의 연구와 녹지 구조, 차로 수에 따른 기상 현황변화 연구(Choi, 2016; Lee et al., 2013)가 진행되었으며, Lee와 John E(2005)는 교통량에 따른 지역별 표면 온도를 측정된 결과 차선에 따라 약 1.5℃ 저감 효과가 있다고 보고하였다. 또한, 도로주변 토지이용에 따른 도로의 야간온도 변화에 관한 연구(Eliasson, 1996) 등이 진행되었다. 도로표면개선에 의한 연구는 도로 표면에 도료를 사용하여 차열성 아스팔트 적용에 따른 표면 온도 저감연구(Hong, 2013)가 있었으며, 도로표면에 물을 분사하는 클린로드 시스템을 이용한 표면 온도 저감연구(Kim et al., 2013) 등이 진행되었다. 가로수에 관한 연구는 주로 생태학적인 접근연구가 대부분을 차지하였다. Jung(2009)는 가로공간의 생태적 공간을 확대하기 위한 입체녹화시스템을 고안하였으며, 도심지 도로를 중심으로 생태 네트워크 축을 구축하는 연구(Yang et al., 2011) 등이 이루어졌다. 도시녹지에 의한 기온 저감 연구는 도심지의 식재 구조 및 녹지 용적 계수에 따른 가로녹지와 가로수의 기온변화연구(Jung, 2015)와 도시 녹지 및 불투수 포장지의 기상특성에 관한 연구(Yoon, 2002) 등이 진행되었다.

선행연구를 종합한 열환경 악화가 심화되는 지역인 도로의 경우 도시민의 생활환경을 악화하기 때문에 다양한 분야에서 다양한 접근을 시행하고 있으나 도로의 열환경 연구는 대부분 가로녹지를 고려하지 못한 연구가 대다수였다. 반면 가로녹지를 고려한 연구의 경우 차로 수와 교통량을 고려하지 못하였고 가로녹지와 도로 현황을 모두 고려한 연구의 경우 차로 수와 가로녹지 유형에 따른 상대적인 비교는 가능하였으나 절대적인 비교는 불가능했다. 또한, 도로 현황과 가로녹지 현황에 국한되어 결과를 도출했기 때문에 기온 변화요인에 대한 고찰이 상대적으로 부족하였다.

따라서 본 연구는 동일한 조건하에 있는 대상지 내에서 가로녹지 형태가 다른 두 지점을 선정하여 기상 현황 및 열환경 평가를 진행하였으며, 일사량과 복사량 등을 조사하여 다양한 기상요소가 도로변 가로공간의 기온 저감에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

2.1. 연구대상지 및 측정지점

본 연구는 도로변 가로공간의 가로 수목 유무에 따른 기온변화 및 열환경 변화 측정을 주목적으로 실시하였으며, 이와 동시에 기상, 표면 온도, 일사량, 순복사량을 측정하여 전반적인 기상변화를 관측하고자 하였다. 조사시기는 2015년 7월 15일부터 8월 5일까지 총 14일간 실시하였으며 연구주제와 부합하지 않은 날은 제외하였다. 연구대상지는 서울시 송파구 문정동 송파대로로 선정하였으며, 가로공간 중 연구조건에 적합한 구간을 선정하였다(Fig. 1). 연구대상지의 도로 현황으로는 왕복 12차선 도로로 중앙버스전용차로가 운행 중이다. 차량의 통행량은 평균적으로 분당 약 122±15대이었으며 도로의 제한속도는 60 km/h이다.

가로공간의 경우 위성지도를 활용하여 대상지를 조사하였으며 해당 노선에서 도보를 통해 보도폭, 녹지 폭, 차선 수, 가로녹지 현황 등을 조사하였다. 완충녹지의 경우 추가적으로 식생 조사를 진행하였다. 완충녹지에 식재된 수종은 소나무, 잣나무, 메타세쿼이아, 느티나무, 사철나무, 회양목, 맥문동 등이며 가로공간의 길이는 자전거 도로를 포함하여 약 8 m이었다. 가로공간의 경우 일반 보도블록으로 조성되었으며, 자전거 도로의 경우 아스팔트 포장으로 구성되어있었다. 가로공간의 가로 수목 유무에 따른 기상변화를 측정하기 위해 측정지점을 총 6개 지점으로 선정하였다. 측정지점은 가로수가 있는 Type 1과 가로수가 없는 Type 2로 분류하였으며 측정지점은 도로변, 가로공간, 완충녹지로 설정하였다(Fig. 2.).

2.2. 조사분석방법

2.2.1. 대상지 분석 방법

대상지의 분석은 크게 도로, 가로공간, 완충녹지로

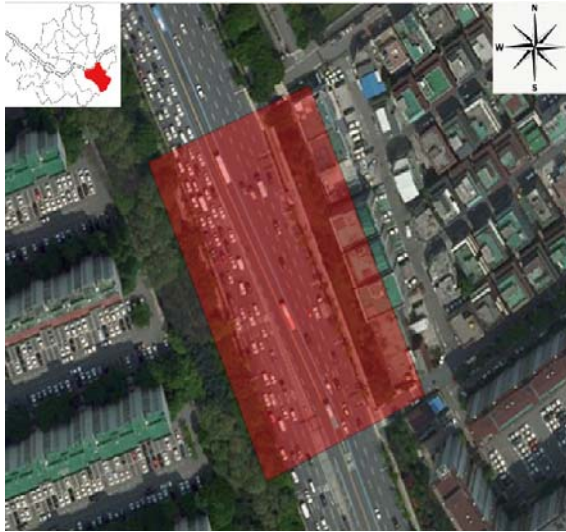


Fig. 1. Research location (songpadae-ro in Seoul).

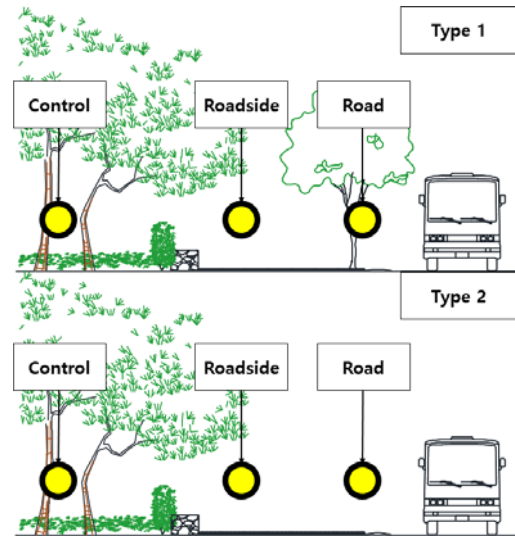


Fig. 2. Conditions of site status and measurement points.

실시하였다. 먼저 도로 현황의 경우 영상 검지를 통해 측정하여 분당 평균 교통량을 산출하였다. 교통량은 도로의 한 지점을 일정 시간에 통과한 차량의 수로 도로에서의 대표적인 교통특성이다(Lee et al., 2013). 가로공간의 경우 위성지도를 활용하여 대상지를 조사하였으며 해당 노선에서 도보를 통해 보도폭, 녹지 폭, 차선 수, 가로녹지 현황 등을 조사하였다. 완충녹지의 경우 추가적으로 대상지 내에서 식생 조사를 진행하여 완충녹지의 식생 현황을 조사하였다.

2.2.2. 기상측정방법

도로변 가로공간의 차이에 따른 기상변화를 측정하기 위해 기온, 풍속, 상대습도, 표면 온도, 일사량, 복사량을 측정하였다. 측정 시기는 도시 열환경 악화가 심화되는 6월과 7월을 중심으로 14일간 반복 측정된 데이터 중 연구목적에 부합한 날을 도출하여 분석하였다. 측정시간은 일사량이 높아지는 정오를 중심으로 11:00부터 16:00까지 측정을 진행하였다. 측정 장비는 기온과 풍속, 상대습도의 경우 AWS(Automatic Weather System)를 활용하였다.

일사량과 복사량은 각각 일사계(LP02-LI19, Hukseflux, Netherlands)와 복사계(NR-LITE2, Hukseflux, Netherlands)를 활용하여 측정지점의 일사량과 복사량을 측정하였다. 표면 온도는 적외선 온도계(JT502C)

를 이용하여 비접촉식 측정방식으로 측정하였다. 표면 온도를 제외한 모든 기상측정항목은 지표면에서 방사되는 복사열의 영향을 최소화하기 위하여 지상에서 1.5 m 지점에 설치하여 측정을 진행하였다. 추가적으로 열환경 및 기상요소에 영향을 주는 일사량, 순복사량, 지구복사량, 표면 온도 등을 측정 및 분석하였다.

2.2.3. 열환경 분석

시민이 직접 이용하는 가로공간을 중심으로 열환경 변화를 측정하기 위해 HD32.2를 이용해 열환경 평가 항목을 측정하였다. 열환경 측정 항목 중 WBGT는 건구·습구·흑구온도를 (Wet-Bulb Globe Temperature Index)의 약자로 복사열과 습도를 포함한 온도로 주로 옥외환경평가에 사용한다. 실제 열이 인간에게 미치는 영향을 다양한 관점에서 인체가 느끼는 감각적 온도를 구체적인 수치로 표현한 온도이다(Yoon, 2014).

WBGT의 구분은 21℃이하 안전을 기준으로 21℃~25℃ 주의, 25℃~28℃ 경계, 28℃~31℃ 위험, 31℃이상 매우 위험으로 구분된다. WBGT의 산출은 건구온도, 흑구온도, 습구온도의 실측값을 아래의 식에 대입하여 산출하였다.

$$\text{Formula : } WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T \quad (1)$$

(T=Temperatur, Tw=Wet-temperature, Tg=globe temperature)

MRT는 평균복사온도(Mean Radiant Temperature)의 약자이며, 건축물 및 외부공간이 받는 열복사의 영향을 고려하여 전 방위의 평균온도를 나타낸 것으로 (Park et al., 2009), 옥외 열 쾌적성 지표로 사용된다. 다양한 옥외환경에서 열 쾌적성을 분석하기 위해 활용되고 있으며, 산출은 건구온도, 흑구온도, 풍속을 활용하여 계산하였다.

Formula

$$: [MRT] \quad MRT_g = T_g + 0.237 \sqrt{v} (T_g - T_r) \quad (2)$$

(T_g =globe temperature, T_r =Temperatur, V =Wind)

PMV (Predicted Mean Vote)는 예상 온열감으로 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. PMV의 경우 주로 실내 열환경 평가 지표로 사용되고 있으며 평가 방식은 0을 포함한 -3~3으로 총 7단계이다. PMV는 인체의 온열감을 예측하는 데 있어 인간의 착의량과 활동량이 고려되는데, 본 연구에서 착의량과 활동량은 1로 설정하였다.

PPD는 예상 불만족 지수(Predicted Percentage of Dissatisfied)로 PMV를 통해 산출되며 통상적으로, PMV가 0일 때 불만족율 5%로, 1과 -1일 때 25%, 2와 -2일 때 75%, 3과 -3일 때 100% 수준으로 구분한다 (Yoon et al., 2014).

Formula :

$$PMV = (0.303e^{-0.036} + 0.028)(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014 M(34 - T_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_d \times [(t_d + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_d h_c (t_d - t_a) \quad (3)$$

[Move(M), Work(W), Temperature(Ta), Globe temperature (Tg), MRT(Tr), Clothing adiabatic(Icl), Body ratios(fcl), Wind speed(Ver), Vapor pressure(Pa), Heat transfer coefficient(hc)]

UTCI는 범용 열 기후지수(Universal Thermal Climate Index)로 평가 방식은 9~26℃ 쾌적을 중심으로 26~33℃는 일반적인 열 스트레스, 33~38℃는 강한 열 스트레스, 38~46℃는 매우 강한 열 스트레스

로 구분한다(Park, 2014). UTCI는 기온, 일사, 습도, MRT, 풍속, 기압 등을 통해 분석하였다.

2.2.4. 가로공간과 기상, 열환경 간 관계분석

가로 수목 유·무에 따른 측정지점별 기상 특성분석을 위해 통계분석을 실시하였으며, 분석은 SPSS PASW Statistics 18.0을 활용하였다. 가로 수목 유·무에 따른 기상특성 및 열환경 분석을 위해 독립표본 T 검정을 실시하였다. 독립표본 T 검정의 독립변수는 가로 수목 유·무로, 종속변수를 기온, 상대습도, 풍속, 건구온도, 습구온도, 흑구온도, 일사량, WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI로 설정하여 가로 수목 유·무에 따른 기상변화 항목의 기초 통계 분석을 진행하였으며, 열환경 변화에 따른 기상요소의 변화량의 상관성을 분석하기 위해 기온, 상대습도, 풍속, 일사량, WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI의 상관성 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유형별 가로공간 기상환경

3.1.1. 유형별 기온특성

Type 1인 가로수식재 유형의 도로변 평균기온은 35.2℃, 최고기온 37.9℃, 최소기온 31.8℃이었으며, 가로공간의 평균기온은 37.3℃, 최고기온 36.8℃, 최소기온 32.6℃으로 평균적으로 도로변과 가로공간의 기온이 약 0.7℃의 차이를 보였다. 대조구(Control) 대비 도로변의 평균기온은 약 3.1℃, 가로공간은 4.4℃의 기온차이를 보였다.

가로수가 식재 되어있지 않은 Type 2의 경우 도로변 평균기온은 36.5℃, 최고기온 39.1℃, 최소기온 32.5℃이었으며, 가로공간의 평균기온은 35.0℃, 최고기온 36.4℃, 최소기온 32.7℃로 평균적으로 도로변과 가로공간의 기온이 약 1.5℃의 차이를 보였다. 녹지 내부 측정 지점인 대조구(Control) 대비 도로변의 평균기온은 약 4.3℃, 가로공간은 2.8℃의 기온 차이를 보였다.

Type 1과 Type 2의 평균 기온차이는 도로변에서 약 1.3℃의 기온 차이를 보였으며, 가로공간에서 0.5℃의 기온 차이를 보였다. 시간대별 기온은 Type 1의 11시 기온을 제외하고 모든 유형에서 도로보다 가로공간의 기온이 적은 것으로 분석되었다. 이는

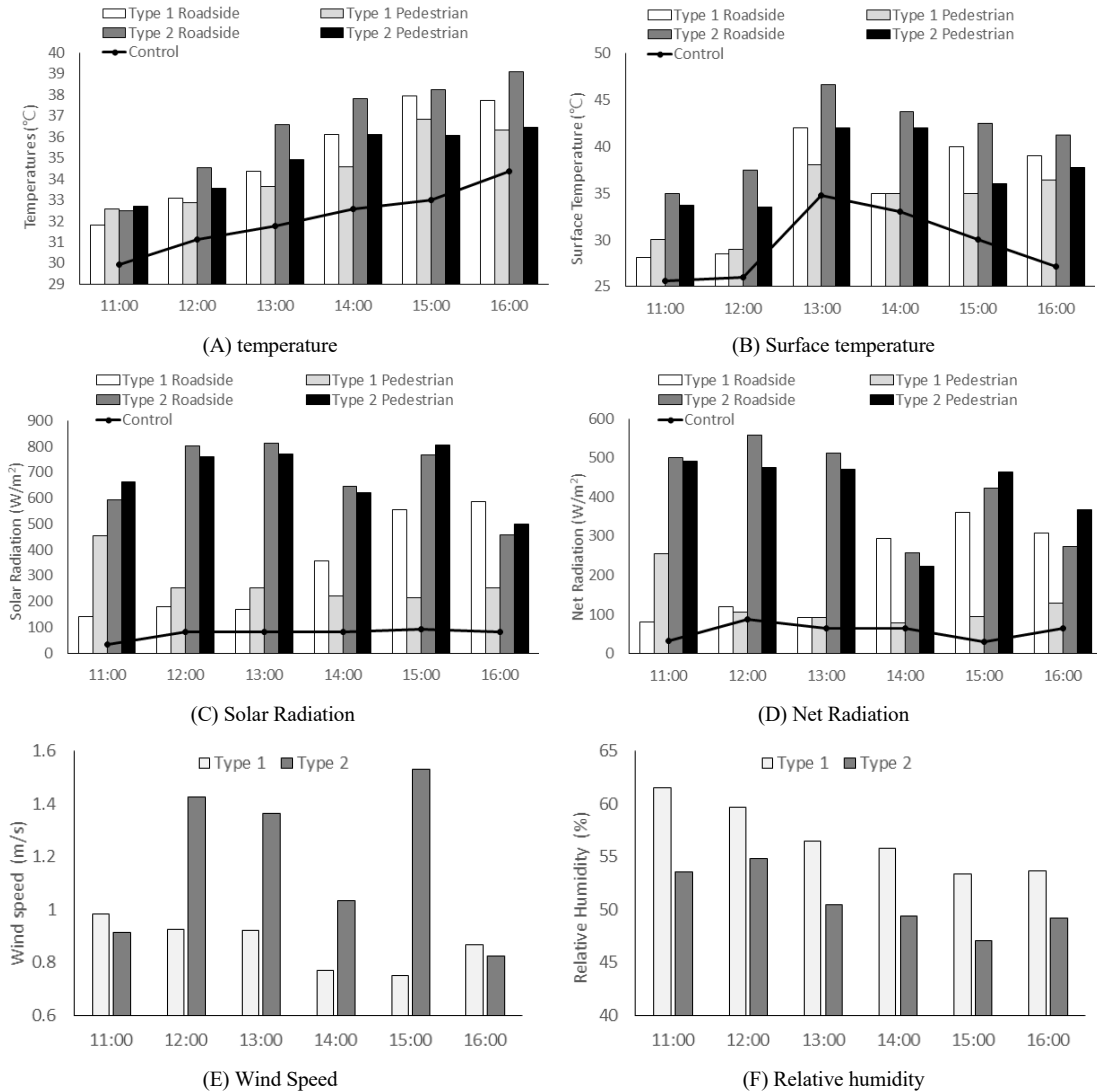


Fig. 3. Rode and sidewalk weather by type (2015. 7. 15~8. 5).

오전 시간에 아스팔트 같은 인공 구조물이 녹지표면보다 상대적으로 주변 열에너지를 많이 흡수하여 생긴 결과로 판단되었다(Yoon and Kim, 2017).

3.1.2. 유형별 표면온도특성

가로수 식재 유형인 Type 1에서 도로변 평균표면 온도는 35.4°C, 최고표면 온도 42.0°C, 최소표면 온도 값은 28.1°C이었다. 가로공간의 평균기온은 33.9°C, 최고기온 38.0°C, 최소기온 29.0°C로 평균적으로 도로

변과 가로공간의 표면 온도는 약 1.5°C의 차이를 보였다. Type 1의 대조구(Control) 대비 도로변의 표면 온도는 평균적으로 약 6.0°C, 가로공간은 4.5°C의 차이를 보였다.

가로수가 식재 되어있지 않은 Type 2에서 도로변 표면 온도의 평균값이 41.1°C 최고표면 온도 46.6°C, 최소표면 온도 값은 35.0°C이었다. 가로공간의 평균기온은 37.5°C, 최고기온 42.0°C, 최소기온 33.5°C로

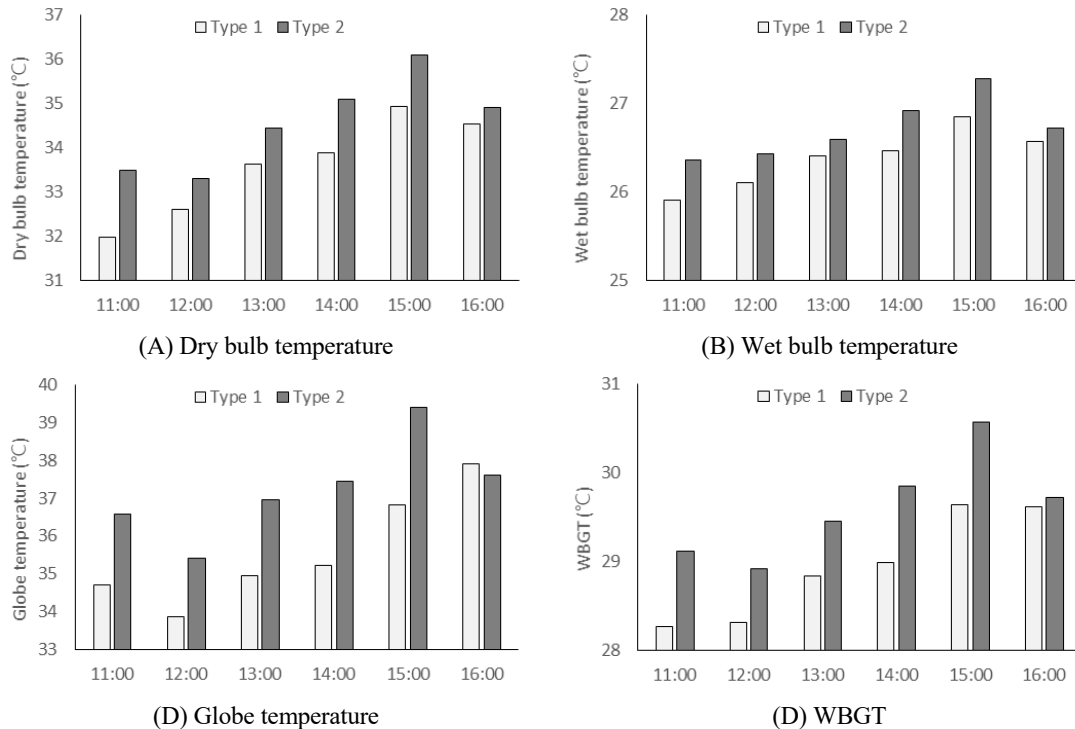


Fig. 4. Thermal environment index by type (2015. 7. 15~8. 5).

평균적으로 도로변과 가로공간의 표면 온도는 약 3.6°C의 차이를 보였다. Type 2의 대조구(Control) 대비 도로변의 표면 온도는 평균적으로 약 11.7°C, 가로공간은 8.1°C의 차이를 보였다.

Type 1과 Type 2의 평균표면 온도 차이는 도로변에서 약 5.7°C의 기온 차이를 보였으며, 가로공간에서 3.6°C의 차이를 보였다. 전반적으로 유형별 표면 온도는 도로변보다 가로공간에서 차이가 적게 나타났다.

3.1.3. 유형별 일사량특성

일사량의 경우 가로수 식재 유형인 Type 1에서 도로변 평균 일사량은 332 W/m², 최고일사량은 587 W/m², 최소일사량은 140 W/m²로 분석되었으며, 가로공간의 평균 일사량은 274 W/m², 최고일사량 454 W/m², 최소일사량 215 W/m²로 평균적으로 도로변과 가로공간이 약 58 W/m²의 차이를 보였다. Type 1의 대조구(Control) 대비 도로변의 평균 일사량의 차이는 약 257 W/m²이었으며, 가로공간은 199 W/m²의 차이를 보였다.

가로수가 식재 되어 있지 않은 유형인 Type 2에서 도로변 평균 일사량은 680 W/m², 최고일사량은 812 W/m², 최소일사량은 457 W/m²로 분석되었으며, 가로공간의 평균 일사량은 686 W/m², 최고일사량 804 W/m², 최소일사량 498 W/m²로 분석되었다. 평균적으로 도로변과 가로공간에서 도로변이 약 7 W/m² 낮게 측정되었다. Type 2의 대조구(Control) 대비 도로변의 평균 일사량의 차이는 약 605 W/m²이었으며, 가로공간은 611 W/m²의 차이를 보였다.

Type 1과 Type 2의 평균 일사량의 차이는 도로변에서 348 W/m²의 차이를 보였으며, 가로공간의 경우 412 W/m²의 차이를 보였다.

3.1.4. 유형별 순복사량특성

순 복사량의 경우 Type 1에서 도로변 평균순복사량은 209 W/m², 최고순복사량은 360 W/m², 최소순복사량은 80 W/m²으로 분석되었으며, 가로공간의 평균순복사량은 126 W/m², 최고순복사량 255 W/m², 최소순복사량 79 W/m²으로 평균적으로 도로변과

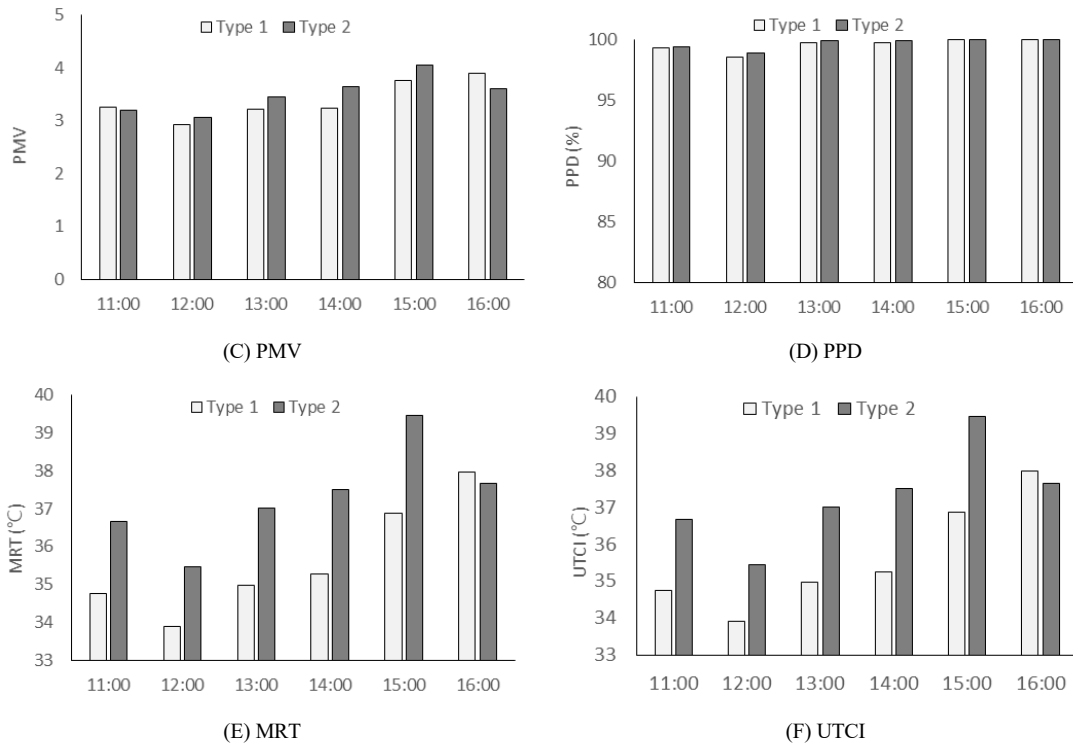


Fig. 5. Thermal environment by type (2015. 7. 15~8. 5).

가로공간이 약 84 W/m²의 차이를 보였다. Type 1의 대조구(Control) 대비 도로변의 평균순복사량의 차이는 약 152 W/m²이었으며, 가로공간은 68 W/m²의 차이를 보였다.

Type 2의 순 복사량의 경우 도로변 평균순복사량은 421 W/m², 최고순복사량은 558 W/m², 최소순복사량은 258 W/m²으로 분석되었으며, 가로공간의 평균복사량은 415 W/m², 최고순복사량 492 W/m², 최소순복사량 223 W/m²으로 도로변과 가로공간에서 평균순복사량은 약 6 W/m²의 차이를 보였다. Type 2의 대조구(Control) 대비 도로변의 평균순복사량의 차이는 약 364 W/m²이었으며, 가로공간은 358 W/m²의 차이를 보였다.

평균적으로 유형 간 순 복사량의 차이는 도로변에서 약 212 W/m²의 차이를 보였으며, 가로공간의 경우 약 290 W/m²의 차이를 보였다. 복사량의 차이는 수목의 증발산에 의해 생긴 결과로 판단된다(Choi, 2016).

3.1.5. 유형간 풍속, 상대습도

유형 간 풍속의 경우 가로수 식재 유형인 Type 1에서 평균 풍속은 0.9 m/s이었으며, 최대풍속은 1.0 m/s, 최소풍속은 0.8 m/s이었다. 가로수목이 없는 유형인 Type 2의 평균 풍속은 1.2 m/s이었으며, 최대풍속은 1.5 m/s, 최소풍속은 0.8 m/s로 측정되었다.

유형 간 상대습도의 차이는 가로수 식재 유형인 Type 1에서 평균 상대습도는 57%이었으며, 최고상대습도는 62%, 최소상대습도는 53%로 측정되었다. 가로수목이 없는 유형인 Type 2의 평균 상대습도는 54%이었으며, 최고상대습도는 55%, 최소상대습도는 47%이었다.

풍속의 경우 평균적으로 11시와 16시를 제외하고 모두 Type 2에서 높게 측정되었으며, 상대습도의 경우 Type 1에서 높게 측정되었다. 이는 상대습도에 영향을 미치는 기온과 풍속에 영향을 받은 것으로 판단된다(Yoon, 2001).

3.2. 유형간 가로녹지의 열환경 분석

유형 간 가로녹지의 열환경 분석을 위해 기상측정과 동일한 시간(11:00~16:00)에 측정하였으며, Type 1과 2의 가로공간에서 동시 측정을 실시하였다. Delta OHM 社의 HD32.3 제품을 이용하였다. 측정항목은 건구온도, 습구온도, 흑구온도를 측정하였으며, 습도와 풍속을 고려하여 WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI 등 종합적인 열환경을 추가적으로 분석하였다.

3.2.1. 유형간 건구·습구·흑구온도

먼저 열쾌적 지표 중 하나인 WBGT 값을 구하기 위한 기초 데이터로 각 유형(Type 1, 2)간 건구·습구·흑구온도 측정을 실시하였으며, 시민들이 실질적으로 이용하는 공간인 가로공간에서 측정하였다. 건구온도의 경우 가로수 식재 유형인 Type 1에서 평균 36.7℃로 측정되었으며, 최고온도는 36.1℃, 최소온도는 33.3℃로 측정되었다. 가로수가 식재 되어있지 않은 Type 2에서 평균온도는 33.6℃, 최고온도는 34.9℃, 최소온도는 32.0℃로 분석되었다. Type 1과 2의 평균 건구온도의 차이는 1.0℃로 분석되었다. 습구온도의 경우 Type 1에서 평균 26.7℃로 측정되었으며, 최고온도는 27.3℃, 최소온도는 26.4℃로 측정되었으며, Type 2의 경우 평균 26.4℃, 최고온도는 26.9℃, 최소온도는 25.9℃로 분석되었다. Type 1과 2에서 습구온도의 평균온도 차이는 0.3℃의 차이를 보였다. 흑구온도의 유형별 기온차이는 Type 1에서 평균 36.6℃, 최고온도 39.4℃, 최소온도 35.4℃로 측정되었다. Type 2의 평균흑구온도 34.7℃, 최고온도 37.9℃, 최소온도 33.9℃로 측정되었다. Type 1과 2에서 흑구온도의 평균온도 차이는 1.7℃로 분석되었다.

3.2.2. 유형간 WBGT

WBGT의 온도는 가로수 식재 유형인 Type 1에서 평균 29.6℃로 측정되었으며, 최고온도는 30.6℃, 최소온도는 28.9℃로 측정되었으며, 가로수가 식재 되어있지 않은 Type 2에서 평균온도는 28.9℃, 최고온도는 29.6℃, 최소온도는 28.3℃로 분석되었다. Type 1과 2에서 평균WBGT의 온도차이는 0.7℃로 분석되었다. WBGT 분석 결과 Type 1과 Type 2에서 모두 평균적으로 위험수준으로 분석되었다.

WBGT의 경향은 녹지가 조성된 Type1에서 소폭

감소하는 경향을 보였으며, 옥외공간의 경우 녹음식재만으로 일사차폐에 의한 WBGT를 낮춘 경향을 보였다(Yoon et al., 2014).

3.2.3. 유형간 PMV, PPD

PMV의 변화는 가로수 식재 유형인 Type 1에서 평균 3.5로 측정되었으며, 최고치는 4.1, 최소치는 3.1로 측정되었다. 가로수식재가 되어있지 않은 Type 2에서 평균은 3.4, 최고치는 3.9, 최소치는 2.9로 분석되었다. Type 1과 2에서 평균 PMV의 차이는 0.1로 분석되었다.

가로 수목이 있는 Type 1에서 평균 PPD는 99.5%로 나타났으며, 최고 100%, 최소 98.6%로 분석되었다. Type 2의 경우 평균 99.7%로 나타났으며, 최고 100%, 최소 98.8%로 분석되었다. PMV와 PPD는 다른 열환경 평가에 비해 다소 적은 차이를 보였는데 이는 PMV가 일반적으로 건물 내부의 열환경을 평가하기 위한 지표이기 때문에 생긴 결과로 사료되었다(Kim et al., 2016).

3.2.4. 유형간 MRT

가로수목이 식재되어 있는 Type 1의 평균 MRT기온은 35.6℃이며, 최고기온 38.0℃, 최소기온 33.9℃로 분석되었다. 가로녹지가 조성되어 있지 않은 Type 2의 경우 평균적으로 37.3℃로 나타났으며, 최고 39.5℃, 최소 35.5℃로 분석되었다. Type 1과 2의 평균 MRT 차이는 1.7℃의 차이를 보였다. 이는 가로수목에 의한 일사차폐현상이 흑구온도를 낮춰 생긴결과로 사료되었다(Yoon et al., 2014).

3.2.5. 유형간 UTCI

가로수목 조성 유형인 Type 1의 평균 UTCI기온은 36.8℃로 매우 강한 열 스트레스 범주에 속했으며, 최고UTCI기온 38.6℃, 최소UTCI기온 35.3℃로 “일반적인 열 스트레스” 범주에 속한 것으로 분석되었다. 가로수목이 조성되어있지 않은 Type 2의 경우 평균 UTCI 값이 37.7℃로 강한 열 스트레스 범주에 속해있었으나, 최고UTCI가 39.5℃로 “매우강한 열 스트레스” 범주로 나타났으며(Park, 2014), 최소UTCI의 경우 36.3℃로 분석되었다. Type 1과 2의 평균 UTCI 차이는 0.9℃의 차이를 보였다.

Table 1. Thermal environment to meteorological environment according to type T test

	F	Average	Standard error	t	P
Temperature	.841	34.5	1.8	-1.269	.209
		35.0	1.6		
Wind speed	1.648	1.2	.8	1.943	.056
		.9	.6		
Relative humidity	.020	56.7	3.6	7.133	.000**
		50.7	3.5		
Solar Radiation	.021	299.6	122.9	-13.065	.000**
		672.8	119.4		
Wet bulb temperature	.525	26.4	.4	-3.682	.000**
		26.7	.4		
Globe temperature	.175	35.6	1.7	-4.136	.000**
		37.3	1.8		
Dry bulb temperature	.010	33.6	1.2	-3.497	.001**
		34.6	1.2		
WBGT	.098	28.9	.7	-4.238	.000**
		29.6	.7		
PMV	.020	3.4	.4	-1.195	.236
		3.5	.4		
PPD	.061	99.5	.7	-.747	.458
		99.7	.7		
MRT	.118	35.6	1.7	-4.070	.000**
		37.3	1.8		
UTCI	.086	36.7	1.5	-2.748	.008**
		37.7	1.5		

P** < 0.01

3.3. 가로녹지의 기상 및 열환경 간 관계분석

3.3.1. 가로녹지 유형별 기상·열환경 분석

각 유형 Type 1과 2의 기온 및 열환경 변화를 분석하기 위해 각 독립변수를 유형(Type 1, 2)으로 종속변수를 기상 및 열환경 요소(기온, 풍속, 상대습도, 건구온도, 습구온도, 흑구온도, WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI)로 설정하여 각각 독립표본 T 검정을 실시하였다. 유형의 경우 통계적인 변화량을 대입하기 위해 가변수를 활용하였으며 가변수는 Type 1은 1, Type 2는 2로 설정하였다.

요소별 유형 간 독립표본 T 분석 결과 기온, 풍속, PMV, PPD를 제외한 상대습도, 건구온도, 습구온도,

흑구온도, WBGT, MRT, UTCI에서 P < 0.01로 분석되었다. 이에 가로녹지 유형 Type 1과 2의 상대습도, 건구온도, 습구온도, 흑구온도, WBGT, MRT, UTCI에서 차이에 따른 측정값의 차이가 없다는 귀무가설을 기각하고 가로녹지 유·무에 따라 측정값의 차이가 나타났다는 대립가설을 채택하였다(p<0.01). 이는 상대습도, 건구온도, 습구온도, 흑구온도, WBGT, MRT, UTCI에서 측정값의 차이가 유의한 것으로 분석되었으나 기온, 풍속, PMV, PPD의 경우 유의 확률이 0.05보다 높게 분석되었다. 이에 기온, 풍속, PMV, PPD에서는 가로녹지 유형 차이에 따른 측정값에 차이가 없다는 귀무가설이 채택되었다. 이는 일반적인

Table 2. Thermal environment to meteorological environment correlation analysis

	Temperature	Wind speed	Relative humidity	WBGT	PMV	PPD	MRT
Wind speed	-.106	1					
Relative humidity	-.673**	.196	1				
WBGT	.707**	-.233	-.871**	1			
PMV	.678**	-.159	-.692**	.774**	1		
PPD	.511**	-.061	-.483**	.533**	.668**	1	
MRT	.633**	-.159	-.847**	.927**	.834**	.569**	1
UTCI	.693**	-.132	-.794**	.935**	.818**	.547**	.966**

P** < 0.01

기온과 풍속은 가로수 유·무에 따른 통계적인 유의성을 찾을 수 없고 습도와 일사량, 순복사량 등 다양한 요소들이 고려되어야 이용자가 받는 열환경에 대한 정량적 평가가 가능한 것으로 판단되었다.

반면 PMV의 경우 실내 열환경 평가 지표이기 때문에 실외측정 시 고려되어야 할 일사량과 습도에 대한 요소가 누락되어 실외 평가에 있어 상향 평준화된 값이 나온 결과로 판단되었으며(Kim et al., 2016), PPD 또한 PMV의 수치를 토대로 분석된 값이기 때문에 동일한 결과가 도출된 것으로 판단되었다.

3.3.2. 열환경과 기상요소 간 관계분석

열환경과 기상요소 간 상관성을 분석하기 위해 상관성 분석을 실시하였다. 일반적으로 기온은 상대습도, WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI에 대해서 통계적인 유의성을 보였으며(P<0.01), 상대습도에서는 음의 상관관계를 그 외 요소에서는 양의 상관관계를 보였다. 풍속의 경우 모든 요소에서 통계적인 유의성이 보이지 않았다(P>0.05). 반면 상대습도의 경우 풍속을 제외한 모든 유형에서 음의 상관관계를 보였으며 전체적으로 통계적인 유의성이 나타났다(P<0.01). PMV와 PPD는 실내 지표라는 특성상 일사량과의 상관관계가 입증되지 못한 것으로 판단되었다(P>0.05). 열환경 요소인 WBGT, PMV, PPD, MRT, UTCI에서는 각각 서로가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

상관성 분석 결과 전반적으로 통계적인 유의성이 입증되었으나 풍속은 모든 유형에서 통계적인 유의성이 입증되지 못했다. 반면 기온의 경우 풍속과 일사량

을 제외하고 모든 유형에서 유의성이 검증되었다.

4. 결론

본 연구는 가로공간의 가로수 유·무에 따른 기상환경 및 열환경을 조사를 통해 가로공간 교목의 기온저감 효과와 보도 이용 시 시민에게 불쾌감을 주는 기상요소를 분석하고자 하였다.

본 연구의 결과는 첫째로 가로수가 있는 Type 1에서 전반적으로 기온, 표면 온도, 일사량, 순복사량이 낮게 측정되었으며, Type 1의 11시 기온이 도로대비 가로공간에서 높게 측정된 것을 제외하고 전반적으로 가로공간이 낮은 경향을 보였다. 열환경평가를 위한 건구·흑구·습구온도와 풍속, 상대습도 측정결과 건구·흑구·습구온도의 경우 기온과 동일한 경향을 보였으나 흑구온도의 16시 온도는 가로 수목이 없던 Type 2의 흑구온도가 더 낮게 측정되었다. 풍속의 경우 수목식재가 없는 Type 2의 풍속이 높게 측정되었으나 오전 시간인 11시와 16시의 경우 가로 수목이 식재된 Type 1의 풍속이 높게 측정되었다. 상대습도의 경우 기온과 반비례하는 경향을 보였으며, 전체적으로 Type 1대비 Type 2에서 약 4% 낮게 측정되었다. 둘째로 열환경 평가의 경우 기온과 비슷한 경향을 보였다. WBGT와 MRT, UTCI의 경우 모든 시간대에 걸쳐 유형 간 차이가 극명하게 나타났으나 PMV와 PPD의 경우 큰 차이가 나타나지 않았다. 마지막으로 가로녹지의 기상 및 열환경 간 관계분석의 경우 유형

간 독립표본 T 검정결과 기상환경의 차이는 상대습도, 습구온도, 건구온도, 흑구온도에서 통계적인 유의성이 나타났다. 상대습도의 경우 정의 상관관계가 나타났으며, 나머지 유형에서는 부의 상관관계가 나타났다. 유형별 열환경의 독립표본 T 검정은 WBGT와 MRT, UCI에서 부의 상관관계가 통계적으로 유의한 결과가 도출되었으며, PMV와 PPD는 통계적인 유의성이 나타나지 않았다. 기상 및 열환경 간 상관성 분석의 경우 전반적으로 통계적인 유의성을 보였으나, 풍속의 경우 측정항목 간 차이가 통계적인 유의성을 띠지 않았다.

본 연구의 경우 시민들이 이용하는 도로변 가로공간을 중심으로 가로수 식재 유형을 교목 식재 유형인 Type 1과 식재가 되어 있지 않은 유형 Type 2로 나누어 기상 측정 및 열환경 분석을 실시하였다. 그 결과 교목이 식재된 유형 Type 1에서 전반적으로 기상환경 및 열환경에서 쾌적한 것으로 나타났으며, 그 차이는 대부분 통계적인 유의성이 입증되었다. 측정 및 조사 항목 간 상관성 분석에서 열환경과 일사량 간 차이는 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었으며, 일사량의 경우 기온에서는 상관성이 나타나지 않았다. 본 연구의 경우 도로의 불투수 면적이 도시민에게 미치는 영향에 중점을 두어 진행하였다. 그러나 비교를 위한 유형이 다소 적었으며 녹지 현황을 정량화하지 못해 도시민에게 영향을 주는 기상환경의 변화량을 정량화하지 못한 한계점이 있다. 향후 연구에서는 녹지현황 및 기상환경을 정량화 하고 보다 다양한 환경에서 녹지를 정량적으로 평가하고 이를 토대로 유형을 구분하여 열환경에 영향을 미치는 기상요소를 명확하게 평가하는 연구 등이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임.

REFERENCES

- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A. R., 2012, The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area, *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 245-255.
- Chapman, L., John, E. T., 2005, The influence of traffic on road surface temperatures: implications for thermal mapping studies, *Meteorological Applications*, 12(4), 371-380.
- Choi, W. J., 2016, Influences of thermal diffusion on roadside green upon road conditions, College of Natural Science Konkuk University, Korea
- Eliasson, I., 1996, Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, *Atmospheric Environment*, 30(3), 379-392.
- Her, J. H., 2013, Reduction of the urban temperature using the pavement material lowering the heat island effect, Seoul National University of Science and Technology, Korea
- Hong, C. W., 2013, Properties of temperature reduction of cooling asphalt pavements using high -reflectivity paints, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(1), 317-327.
- Jo, S. N., Kim, S. H., Kim, S. J., Jung, S. H., Lee, Y. H., Na, W. W., Jang, J. Y., Song, K. J., 2012, Characteristics of summer heatwave victims of emergency department visits in Korea during 2011 - Results from the surveillance system of heatrelated illness based on emergency department-, *The Korea Society of Emergency Medicine*, 23(5), 687-695.
- Jung, C. K., 2009, A Study on three-dimensional greenery Network model for the expansion of ecological streetscape, Department of Architecture Engineering, The Graduate School, Pukyong National University, Korea
- Jung, H. E., Han, B. H., Kwak, J. I., 2015, A Study on air temperature reduction effect and the functional improvement of street green areas in Seoul, Korea, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 43(4), 37-49.
- Kim, S. R., Jung, E. H., Kim, H. D., 2013, Evaluation on the effect of air quality improvement due to the employment of clean-road system in Daegu, *Journal of Environmental Science International*, 23(12), 2029-2034.
- Kim, J. H., Choi, W. J., Yoon, Y. H., 2016, A Study on verifying the effect of thermal environment control of street canyons based on application of green wall system, *Journal of Environmental Science*

- International, 25(1), 41-56
- Kye, M. J., 2013, Comparison of mortality from heatwave before and after implementing the heatwave warning system, department of public health, Biostatistics, The Graduate School of Public Health Seoul National University, Korea
- Lee, S. O., 2010, A Study to mitigate urban heat island according to the improvements of pavement of road, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Keimyung University Department of Environmental Science Graduate School, Korea
- Lee, Y. W., Yang, I. C., Kim, D. G., Lim, J. H., 2013, A Study on the factors affecting air temperature on roadside : Focusing on road conditions and traffic characteristics, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(4), 1619-1629.
- Park, S. G., Kim, S. D., Lee, H. K., 2005, Development of empirical model for the air pollutant dispersion in urban street canyons using wind tunnel test, Environmental Engineering Research, 27(8), 852-858.
- Park, S. H., 2014, A Study on the development and application of the outdoor health indicators of green building certification criteria in school facilities, Konkuk University Graduate school, Korea
- Park, S. J., Jung, S. Y., Yoon, S. H., 2009, Evaluation of the outdoor radiant thermal environment by building scale and block type of office building in summer, Korea Solar Energy Society, 29(6), 81-87.
- Yang, C. H., Park, M. S., Yoon, D. G., 2011, A Road surface temperature prediction modeling for road weather information system, Korean Society of Road Engineers, 28(2): 123-131.
- Yoon, Y. H., 2002, Influencing degree to the air temperature of stratification in the urban green spaceq, Korea Turfgrass Science, 16(2): 107-114.
- Yoon, Y. H., Kim, J. H., 2017, Effect of thermal diffusion on autumn traffic in street space, Journal of Environmental Science International, 26(4), 467-481.
- Yoon, Y. H., Park, S. H., Kim, W. T., Kim, J. H., 2014, Analyses on comparison of UTCI, PMV, WBGT between playground and green space in school, Korean J. Environ. Ecol, 28(1), 80-89.
- Yoon, Y. H., 2001, Effect between radiation difference and air temperature condition surround green space, Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture, 3(37), 72-80.