

여름철 도시공원의 열환경 개선 효과

- 서울숲 미기상 관측자료 분석을 중심으로 -

Effects of Urban Park on Thermal Comfort in Summer

- An Analysis of Microclimate Data of Seoul Forest Park -

조현민*, 권태경**

*세계자연기금 한국본부 기후에너지 프로그램 오피서,

**에어플 대표·서울대학교 환경대학원 협동조경학 및 스마트시티 글로벌 융합전공 박사수로

Zoh, Hyunmin Daniel*, Kwon, Tae Kyung**

*Climate & Energy Programme Officer, WWF-Korea

**CEO, Airple & Ph.D. Candidate, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture and Integrated Major in Smart City Global Convergence, Seoul National University

Received: September 12, 2022

Revised: October 05, 2022 (1st)
November 07, 2022 (2nd)

Accepted: November 07, 2022
3인익명 심사됨

Corresponding author :

Tae Kyung, Kwon

Ph.D. Candidate, Interdisciplinary

Program in Landscape

Architecture and Integrated

Major in Smart City Global

Convergence, Seoul National

University, Seoul 08826

Korea

Tel.: +82-10-9959-8825

E-mail: kwontaev@snu.ac.kr

국문초록

본 연구는 여름철 도시 공원의 열환경 개선효과를 측정하고 지점별 기상 측정 결과의 차이를 살펴보기 위하여 서울숲 공원 내외부에 측정 장비를 설치하고 측정값을 분석하였다. 특히 공원의 지점별 기상 측정값의 차이를 정밀하게 살펴보기 위하여 서울숲 광장부와 수변부, 공원 주변 도로부 3곳에 기상 측정 장비를 설치하고, 7월 9일에서 7월 30일 까지의 미기상 관측 자료를 측정하였으며 열 쾌적성 지표를 살펴보는 UTCI 분석을 통해서 공원의 지점별 열환경 개선 효과를 살펴보았다. 분석의 결과는 다음과 같다. 전체 측정 기간을 기준으로 서울숲의 온도는 광장부와 수변부가 주변의 도로부와 각각 2.7°C 및 2.9°C 낮은 것으로 나타났으며, 온도가 높은 10시부터 16시 사이 시간대를 기준으로 비교하였을 때에는 각각 5.5°C 및 7.4°C로 매우 큰 차이가 나타났다. 또한 UTCI 분석을 통한 열 쾌적성 비교에서는 도로부와 공원부, 녹지부 사이의 유의미한 차이가 발견되었으며 또한 강한 햇볕으로 기온이 높은 10시부터 16시 시간대에 더욱 큰 차이가 나타났다. 이 외에 함께 측정된 미기상 자료들 중 미세먼지의 경우 측정 기간인 22년 7월 전체적으로 높은 날이 없었기 때문에 큰 차이가 나타나지는 않았으나 수변부, 광장부, 도로부 순으로 낮게 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났고, 이산화탄소 농도의 경우 광장부, 도로부, 수변부 순으로 높게 나타났다. 종합적으로 공원 내 두 지점에서는 시간대에 날씨에 따라 미기상 측정 결과와 열 환경 개선효과와의 차이가 다르게 나타났으나, 공통적으로 공원 내 녹지부, 수변부는 모두 공원 도로부 지점과 비교하여 온도와 열 쾌적성 측면에서 유의미한 개선 효과가 나타났다.

주제어: 열쾌적성, UTCI, 미기상 자료, 환경 모니터링, 도시녹지

ABSTRACT

This study investigates the heat mitigation effects and thermal comfort improvement due to urban parks during summer. Self-developed monitoring devices to measure long-term microclimate data were installed in three spots, including the park plaza, waterside, and roadside in Seoul Forest Park, and measurements were taken from July 9 to July 30. The results of the measurement are as follows. The daily temperature of the park plaza and waterside were found to be 2.7°C and 2.9°C lower than the roadside and 5.5°C and 7.4°C lower than the roadside from 10:00 to 16:00. In addition, the Universal Thermal Climate Index (UTCI) measurement was applied to measure the thermal comfort at each point. In the average daily analysis, a significant difference was found between the park plaza, the waterside, and the roadside, and a greater difference was found between 10:00 to 16:00. Also, although there was no significant difference due to the weather condition, a statistically significant difference was also found in the average PM₁₀ and CO₂ concentrations. It is found to be higher in the order from the roadside, park plaza, and waterside for PM₁₀ concentration and park plaza, roadside, and waterside for CO₂. In sum, although the difference in measured microclimate data and thermal comfort index results were different depending on the time and weather conditions at the three points, the park plaza and waterside, which are located inside the park, showed

improved thermal comfort conditions and lower temperatures than the roadside outside the park.

Key Words: Thermal Comfort, UTCI, Microclimate Data, Environmental Monitoring, Urban Green Space

1. 서론

1.1 연구 배경

도시 공원이 여름철 복사온도를 저감하고 열환경을 개선하는 것은 다양한 연구들에서 증명되어 왔다(Park and Cho, 2016; Ahn et al., 2016; Yao et al., 2020; Li et al., 2021). 더 나아가 우리나라의 경우 미세먼지 또한 중요한 문제로 떠오르면서, 공원이 온도 및 열환경 개선과 함께 미세먼지 저감에도 어떠한 영향을 미치는지 관련된 연구도 활발하게 진행되어 왔다(Hwang et al., 2018; Park and Lee, 2020). 실제 공원은 열환경과 미기상 환경 변화에 중요한 영향을 미친다. 공원은 증발산 작용을 일으키고 그늘막을 형성하여 도시의 열 쾌적성을 증진시키는데 큰 역할을 할 수 있다(Jonsson, 2004). 특히 기후변화에 따른 온도 상승과 도시 열섬, 폭염과 같은 현상이 빈번해지고 미세먼지 등 기상 관련 문제가 악화되면서 도시 공원을 포함한 도시 녹지의 역할에 대해 관심이 더욱 높아지고 있다. 한편 이와 같이 도시 공원의 열환경 개선효과를 분석한 연구들은 많지만, 실제로 장기간의 정밀 데이터를 수집하는 것이 어렵기 때문에 많은 국내의 연구들이 시물레이션을 활용하거나(Kim et al., 2010; Lim et al., 2013), 위성 영상 데이터를 분석하거나(Yoon and Ahn, 2009; Park and Cho, 2016) 혹은 단기간의 측정 데이터(Ryu and Lee, 2014)를 활용하는 등의 방법으로 연구를 진행되어 왔다. 이러한 한계로 기존의 연구들은 공원의 미기상 자료를 바탕으로 세밀한 분석을 진행한 연구는 많지 않고, 대표적으로 열쾌적성의 경우 이를 통해 정밀하게 열환경 개선 효과를 분석한 연구는 많지 않았다.

한편 최근 기상 측정 장비들이 발전하고 데이터를 측정하고 관리하는 장비와 기술들이 발전하면서, 기상데이터 뿐만 아니라 보행량 데이터 등 다양한 종류의 데이터가 더욱 용이하게 수집되고 관리되고 있다. 특히 스마트공원에 대한 관심이 증대되면서, 공원에서도 다양한 형태의 데이터가 수집되고 있다(Lee et al., 2019; Kim et al., 2020). 특히 이동이 가능하거나 장기간의 데이터가 측정할 방식으로 장비를 개발하여, 기존의 측정이 어려웠던 미기상 데이터를 측정하는 연구 사례들이 늘어나고 있다(Middel et al., 2019). 이러한 점에서 본 연구에서는 기상 측정장비를 활용하여 여름철 도시공원의 열환경 및 다른 기상 조건들의 변화를 측정하였다. 특히 원하는 지점에서 측정을 할 수 있는 장비의 이점을 살려서 공원의 녹지부와 수변부, 공원 바깥 지점의 측정값을 비교할 수 있도록 연구를 설계하였다. 또한 이렇게 측정된 미기상 관측자료를 통하여, 열 쾌적성을 측정하는 연구에서 활발하게 활용된 Universal Thermal Comfort Index(UTCI) 분석을 활용하여 실제 공원의 열 환경 개선 효과가 어떻게 되는지를 확인하였다.

1.2 선행연구 검토

도시 공원의 온도저감 및 기상 측정값 변화를 측정하는 연구들은 다양한 지역과 규모의 공원을 대상으로 한 연구에서 진행되어 왔다. 국내의 연구에서는 전체적인 녹지나 공원의 크기 및 조건에 따른 온도저감 효과를 분석하거나(Lee et al., 2009; Yoon and Ahn, 2009; Park and Cho, 2016; Ahn et al., 2016; Park et al., 2017), 특정 공원을 대상으로 조성 전후 혹은 공원 내외의 온도를 비교하거나(Kim et al., 2010), 공원 내 수림지와 잔디밭의 온열 쾌적지수를 비교한 연구(Ryu and Lee, 2014) 등이 진행되어 왔고, 또한 공원의 미세먼지 저감 효과를 분석하는 연구(Hwang et al., 2018; Koo, 2019; Park and Lee, 2020; Lee et al., 2021; Ahn and Hong, 2021)도 활발하게 진행되었다. 이러한 다양한 연구들에서는 모두 공원의 온도 및 미세먼지 저감이 유의미한 것으로 나타났으나, 세부적인 수치와 범위는 공원의 크기와 위치 또한 측정 방법과 기간에 따라서 다르게 나타났다. 실제로 공원에서 측정된 열환경 자료의 경우 공원이 위치한 기후뿐만 아니라 도시의 모양과 형태, 토지 피복 형태 등에 따라서도 달라질 수 있기 때문에(Chang et al., 2007; Lau et al., 2012), 세부적인 정도는 각기 다르게 나타난다.

해외에서도 여름철을 기준으로 도시 공원 및 녹지의 온도 저감 효과를 분석하는 다양한 연구들이 진행되어 오고 있다(Geogi and Zafiriadis, 2006; Yang et al., 2016; Cheung et al., 2021; Li et al., 2021 참조). 이러한 연구들은 특히 공원이 열 쾌적성 증진에 어떠한 영향을 미치는지 또는 도시열섬 현상에 어떠한 영향을 미치는지 복합적으로 살펴본 연구들이 많다. 이처럼 다양한 연구들에서 나타난 온도 저감의 효과는 각기 다르나 0.8~3.8°C 사이에

서 나타난 경우가 많으며(Chang et al., 2017; Lee et al., 2009; Cohen et al., 2012; Yan et al., 2018 참조), 특정한 경우에는 5~7℃ 정도까지의 효과를 나타내는 경우도 있다(Oliveira et al., 2011; Yan et al., 2018). 이러한 온도저감 효과는 공원 내부만이 아닌 공원 주변부로 확산될 수 있기 때문에(Doick et al., 2014; Yan et al., 2018), 도시 공원의 여름철 도시환경을 개선 하는 것에 있어 큰 역할을 할 수 있다. 한편 기존의 연구들과 같이 공원의 열 환경 개선 효과는 공원의 규모나 위치, 기상 조건 등에 따라 다르기 때문에, 개별 조건에 맞추어 측정을 하는 것이 필요하다.

2. 연구 방법 및 대상지

2.1 연구 방법

본 연구에서는 도시 공원의 효과를 정밀 측정하기 위하여 있는 시 혹은 자치구 단위의 기상 데이터 아닌 공원 내 특정 지점에서 측정할 수 있는 미기상 데이터를 수집하고자 하였다. 이를 위하여 시중에 유통되어 있는 기상 측정 센서와 장비들을 활용하여 미기상 측정 장비를 설치한 후, 이를 활용하여 연구 대상 지점의 미기상 데이터를 측정하였다. 기존에 활용되어 왔던 기상 측정 장비의 경우 크기가 커 시민들의 보행이 많은 지역에 설치하기 어려웠으며, 저장 용량의 한계로 장시간의 데이터를 수집하기 어려운 점 등의 한계가 있어 야외 온도 측정 연구에서는 활발하게 활용되지 못하였다. 이에 본 연구에서는 시민들의 보행이나 활동에 방해받지 않을 수 있도록 장비의 크기가 작고 또한 장기간의 정밀 데이터 수집이 가능하도록 전원의 공급이 가능하며 데이터의 수집을 실시간으로 확인할 수 있는 측정 장비를 개발하는 것에 중점을 두었다. 이에 시중에서 판매되고 있는 기상 측정(PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂, 온도, 습도) 장비인 Ecowitt WH0295와 기타 장비들을 활용하여 측정 대상지인 야외 공원 환경에 맞는 장비를 개발하였다. 해당 장비의 전원 공급이 가능하고 와이파이를 연결될 수 있는 실내 환경의 기상 측정을 위해 만들어진 장비였기 때문에, 본 연구에서는 기동이나 전봇대 등에 고정할 수 있는 플라스틱 재질의 하이박스 안에 해당 장비와 대용량 보조배터리, 휴대용 와이파이 에그를 함께 설치하여 야외 환경에서 지속적인 전원 공급과 와이파이 연결이 가능하도록 하였다. 또한 기상측정 센서가 플라스틱 박스 안에 있게 될 경우 실제 측정값과 차이가 있기 때문에, 센서를 박스 바깥에 빼내어 위치한 후 통풍이 가능하면서 방수가 가능한 보호장비 안에 두어 정확한 기상데이터 측정이 가능하도록 하였다. 데이터 수집은 1분 간격으로 측정되도록 설정하였으며, 실시간으로 온라인 서버에 저장될 수 있도록 설정하여 기상 조건이나 배터리 방전 등으로 인하여 데이터 측정에 문제가 없는지 연구가 진행되는 전 기간 확인하였다. 본 연구에서 사용된 기상 데이터 측정 장비의 항목과 측정 범위와 현장 측정 모습은 다음의 Figure 1 및 Table 1과 같다.

또한 측정된 결과를 바탕으로 측정 지점별로 온도를 포함한 미기상 측정값의 차이를 살펴보기 위해 측정 평균값을 통해 정량적 차이를 비교하였으며, 통계적 유의성을 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA)을 활용하여 분석하

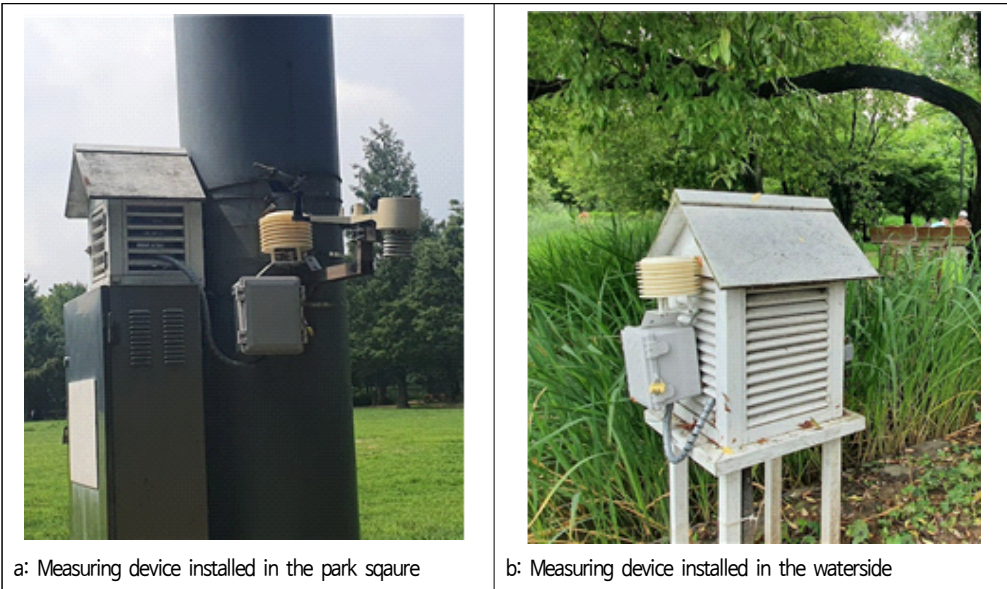


Figure 1. Installation of measuring device

Table 1. Function and specifications of measuring device

Function	Measurement	Range	Accuracy	Resolution
Data measurement	Temperature	-40°C - 60°C (-40°F - 140°F)	±1°C or ±2°F	0.1°C or 0.1°F
	Humidity	1% - 99%	±5%	1%
	CO ₂	0 - 40,000ppm	400-10,000ppm±(30ppm+3%)	1ppm
	PM _{2.5}	0 - 999ug/m ³	>100ug/m ³ , ±15% <100ug/m ³ , ±15ug/m ³	1ug/m ³
	PM ₁₀	0 - 999ug/m ³	>100ug/g/m ³ , ±25% <100ug/g/m ³ , ±25ug/m ³	1ug/m ³
	Barometric	300 to 1,100 hPa (8.85 to 32.5 inHg)	±5hPa	0.1hPa(0.01inHg)
Wifi	Portable Wifi (Wifi egg)			
Power supply	Supplementary battery (60,000mAh)			

였다. 분산분석에는 IBM SPSS Statistics(28.0.11)를 활용하였으며, 사후검정으로는 표본 수가 동일할 때 주로 활용되는 Duncan을 활용하여 모든 지점 간 유의성을 검정하였다. 이와 함께 측정 지점별 열 쾌적성 차이를 살펴보기 위하여 대표적으로 활용되는 열 쾌적성 지표인 Universal Thermal Comfort Index(UTCI)를 활용하였다. UTCI는 UTCI 홈페이지에 제공된 Calculator(tool ver2)를 활용하여 계산하였으며, 계산에 있어 필요한 기온(T_a), 평균복사 온도(T_{mrt}), 풍속(v_a), 상대습도(RH) 중 평균복사온도는 ISO 7726(1985)에서 제시한 추정식(1)과 기상청에서 제시한 KMA2006(KMA, 2006) 추정식(2)를 활용하여 계산하였다.

$$(1) T_{gKMA2006} = 0.926 T_a - 0.028 RH - 0.783 v_a + 10.441 \sqrt{Slr} + 2.784$$

$$(2) T_{mrt} = (T_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 v_a^{0.6} (T_g - T_a)^{0.25} - 273$$

한편 계산을 위해 필요한 풍속(v_a)과 일사량(Slr)은 장비에서 측정이 되지 않았기 때문에 기상청 종관관측(ASOS) 자료 중 서울 관측지점(위도 37.57142, 경도 126.9658)의 시간별 측정값을 활용하여 적용하였다.

2.2 측정 대상지

연구 대상지는 서울 성동구에 위치한 서울숲 공원으로 선정하였다. 서울숲 공원의 경우 서울 도심에 위치한 규모가 큰 공원이기 때문에 주변부와 비교하여 공원의 열환경 개선 효과를 살펴보기 적합하다 판단하였다. 또한 서울숲의 경우 넓은 규모의 수변부와 녹지 광장이 있어 공원과 주변부의 차이뿐 아니라 공원 내 수변부와 녹지부의 차이를 복합적으로 볼 수 있는 조건을 갖추고 있어 서울숲을 측정 대상지로 선정하였다. 특히 본 연구에서는 공원의 수변부와 녹지부의 차이도 함께 살펴봄으로써, 공원의 열환경 개선 효과를 더욱 면밀하게 살펴보고자 하였다. 이에 측정 장비는 서울숲 가족마당 주변부, 서울숲 수변부, 서울숲 주변 상업 지역 3곳에 장비를 설치하여 측정을 진행하였다. 측정 장비를 설치할 위치를 찾는 것에 있어서 설치 지점들의 조건을 유사하게 설정하기 위하여, 장비를 고정할 수 있는 기둥이나 전봇대, 고정대가 있으면서 열전도가 심하지 않고 그늘막이 형성되지 않는 3곳을 찾아 장비를 설치하였다. 설치 위치 선정은 공원 녹지부, 공원 수변부, 공원 바깥 상업지역의 차이가 유의미하게 나타나는지 살펴보고자 정하였으며, 이러한 점에서 많은 가로수가 식재되어 있어 공원의 환경과 큰 차이가 없는 공원 주변부가 아닌 공원에서 500m 정도 떨어진 상업지역에 측정 장비를 설치하였다. 세부적으로 첫 번째 설치 장소인 서울숲 가족마당의 경우 서울숲 중심부에 위치하며 이용자가 가장 많은 곳으로 주변부가 나무에 둘러싸여 있으나 그늘이 형성되지 않는 곳이었으며, 가족마당 내에 있는 전봇대 위에 장비를 설치하였다. 두 번째 설치 위치인 수변부의 경우 공원 중심에 있는 중앙호수 주변부에 설치하였다. 한편 다른 위치의 경우 보행자들이 체감할 수 있는 1.5m-1.7m 사이에 장비를 측정하였으나, 수변부의 경우 설치를 할 수 있는 위치가 백업상이었기 때문에 두 위치보다는 낮은 위치에 장비가 설치되었다. 마지막 설치 위치인 도로부(성동구 뚝섬로 332)는 공원 외곽에서 500m 정도 떨어진 상업 및 주거지역으로, 차량의 통행이 많거나 높은 건물로 인해 그늘막이 형성되는 중심 상업지역이나 중심 도로와는

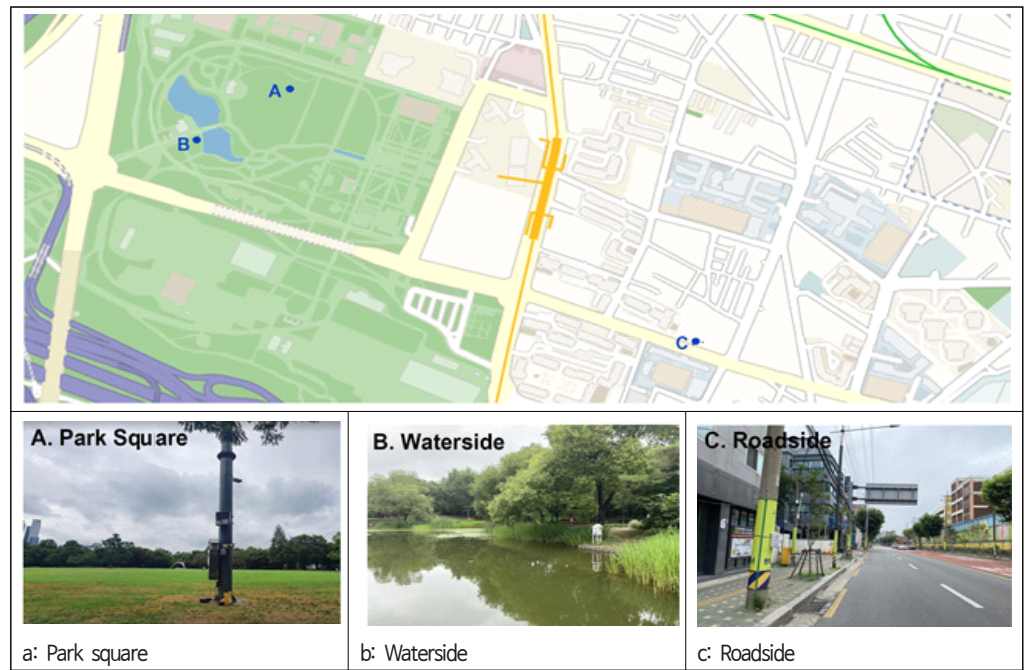


Figure 2. Installation locations of measuring device

조금 떨어져 있는 위치에 장비를 설치하였다. 또한 이를 통하여 실제로 공원의 열환경 개선 효과가 공원이 바깥 지점과 비교하여 어느 정도인지 파악할 수 있도록 하였다(Figure 2 참조).

측정 기간은 기온이 높은 여름철인 22년 7월 9일 오전 9시 30분부터 22년 7월 30일 오전 9시 30분까지로 설정하였다. 측정 단위는 5분 단위로 설정하여 설정 기간의 5분 단위 데이터가 대부분 측정되었으며 22일 전체 기간의 데이터가 수집되었으나, 측정 기간 중 보조 배터리가 방전되거나 현장 상황으로 인하여 세 장비 중 하나 혹은 두 장비의 측정이 일시적으로 멈춰있었던 시간이 있어 해당 시간을 제외하고 분석을 진행하였다.

3. 도시공원의 열 환경 개선 효과

3.1 전체 미기상 데이터 측정 결과

본 장에서는 온습도뿐 아니라 측정 장비를 통해 측정된 전체 미기상 데이터 결과를 살펴보았다. 연구는 열 환경을 증점적으로 살펴보고자 진행하였으나, 데이터 수집 과정에서 함께 측정된 미세먼지, 이산화탄소 농도 등도 공원의 효과와 기능을 살펴보는 것에 유의미한 결과가 나타나 이를 함께 분석하였다. 광장부, 수변부, 도로부 세 위치에서 측정된 온도, 상대습도, 미세먼지(PM_{2.5}, PM₁₀), 이산화탄소(CO₂) 측정결과는 Table 2와 같다. 우선 전체 측정 기간의 결과를 비교하였을 때 온도의 경우 도로부가 29.9℃ > 광장부 27.2℃ > 수변부 27.0℃로 나타나 도로부의 경우 공원 내 두 지점보다 2℃ 이상 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 광장부와 수변부는 온도 차이는 크지 않았으며 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 한편 습도의 경우 이와 반대로 수변부 78.3% > 광장부 76.8% > 도로부 64.8%로 도로부의 경우 공원 측정 내 두 지점보다 10% 이상 낮게 나타났으며, 수변부와 광장부는 2% 내로 상대적으로 낮은 차이가 나타났고 세 지점 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 미세먼지의 경우 측정 기간인 7월 내 전반적으로 매우 낮게 나타나 PM_{2.5}와 PM₁₀의 차이 모두 크지 않게 나타났다. PM_{2.5}의 경우 도로부 7.8 ug/m³ > 광장부 4.5 ug/m³ > 수변부 3.0 ug/m³으로 PM₁₀의 경우 도로부 8.4 ug/m³ > 광장부 4.9 ug/m³ > 수변부 3.0 ug/m³으로 나타났다. 마지막으로 이산화탄소 농도의 경우 광장부가 가장 높게 나타나 광장부 391.3 ppm > 도로부 386.0 ppm > 수변부 370.4 ppm 으로 나타났다. 종합하여 살펴보았을 때 도시 공원의 온도 저감 효과의 경우 연구에 따라 0.8~3.8℃ 정도로 공원의 위치와 종류 기후에 따라 다양하게 나타나는데(Chang et al., 2007; Lee et al., 2009; Cohen et al., 2012; Wang et al., 2022), 서울숲의 경우 도로부와 비교하였을 때 광장부의 경우 2.7℃, 수변부의 경우 2.9℃로 상대적으로 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 세 지점 모두 전체적으로 같은 기간 측정된 기상청 종관관측(ASOS) 자료 중 서울 관측지점 측정 결과인 26.9℃ 보다는 조금씩 높게 나타났는데, 이는 측정 위치가 모두 햇볕에 직접적으로 노출되어 있고 아스팔트 도로부 등 복사열에 민감한 위치가

Table 2. Results of measured data and ANOVA test(Jul 09-Jul 30)

Classification		<i>n</i>	Average	SD	<i>F</i>	<i>p</i> -value	Duncan
Temperature (°C)	a. Park square	5,043	27.2	3.8	740.9	0.000*	a,b < c
	b. Waterside	5,043	27.0	3.2			
	c. Roadside	5,043	29.9	5.4			
Humidity (%)	a. Park square	5,043	76.8	14.9	1,227.4	0.000*	c < a < b
	b. Waterside	5,043	78.3	12.4			
	c. Roadside	5,043	64.8	17.4			
PM _{2.5} (ug/m ³)	a. Park square	5,043	4.5	2.7	2,396.7	0.000*	b < a < c
	b. Waterside	5,043	3.0	2.3			
	c. Roadside	5,043	7.8	5.2			
PM ₁₀ (ug/m ³)	a. Park square	5,043	4.9	2.7	2,180.0	0.000*	b < a < c
	b. Waterside	5,043	3.5	2.4			
	c. Roadside	5,043	8.3	5.4			
CO ₂ (ppm)	a. Park square	5,043	391.3	25.1	817.1	0.000*	b < c < a
	b. Waterside	5,043	371.7	20.3			
	c. Roadside	5,043	386.0	29.1			

* $p < 0.01$

있었기 때문에 이와 같은 결과가 나타났을 것으로 추정된다. 또한 일원 배치 분산분석 결과 모든 항목에서 유의미한 차이가 나타났고 개별 측정 지점별로 차이가 나타났으나, 광장부와 수변부의 온도 차이는 유의미하게 나타나지 않았다. 이와 같은 결과의 경우 두 지점 모두 공원 중심부에 위치하다 보니 온도 차이가 크지 않게 나타났고, 항상 온도가 더 높게 나타난 도로부와는 다르게 증발산 등의 원인으로 수변부와 광장부의 경우 시간대별로 온도가 다르게 나타나 전체 기시간을 기준으로 측정한 평균값에서의 유의미성이 나타나지 않았을 것으로 추정된다. 실제 온도가 높은 10시에서 16시 사이의 온도를 비교하였을 때에는 수변부 29.0°C, 광장부 30.6°C, 도로부 35.1°C 로 더 큰 차이가 나타났으며 모두 통계적으로도 유의미한 차이($p < 0.01$)가 나타났다. 습도의 경우 온도가 높아질수록 낮아지는 경향이 나타났으며, 도로부가 광장부와 수변부와 대비하여 12.0%–13.5% 낮게 나타났다. 또한 수변부와 광장부의 차이가 크지는 않았으나 전체 기간을 기준으로도 유의미한 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 미세먼지의 경우 측정 기간인 7월 전반적으로 매우 낮게 나타나 큰 차이가 나타나지는 않았으나, PM_{2.5} 및 PM₁₀ 모두 도로부, 광장부, 수변부 순으로 유의미한 차이($p < 0.01$)를 보여주었다. 마지막으로 이산화탄소 농도의 경우 도로부보다 광장부가 높게 나타나 도로부, 광장부, 수변부 순으로 높게 나타났다. 이산화탄소 농도의 경우 측정 위치인 도로부가 빌라와 저층 상가가 밀집된 위치여서 차량 통행이 많지가 않았으며, 광장부의 경우 수목이 밀집되어 있어 햇빛이 없는 야간의 광합성으로 이산화탄소가 방출되어 도로부보다 더 높게 나타났을 것으로 추정된다.

세부적으로 시간대별 추이를 살펴본 결과는 Figure 3과 같다. 우선 온도의 경우 도로부와 광장부는 비슷한 추이로 변화되었는데 햇빛이 강한 11시–5시 사이에는 도로부가 광장부에 비해 훨씬 큰 폭으로 온도가 증가하는 것으로 나타났다. 도로부의 경우 정오 근처에는 36°C까지 올라가는 것으로 나타났는데, 이는 측정 위치가 아스팔트 도로 주변이다 보니 도로가 내뿜는 복사열의 영향으로 온도가 매우 높게 측정되었을 것으로 추정된다. 실제 다양한 연구들에서 아스팔트는 알베도가 낮고 토양과 다르게 물을 포함하지 못하여 기화열로 열을 소모하지 못하고 열 전도가 높아 도시열섬에 큰 영향을 미치는 것으로(Mohajerani et al., 2017; Song et al., 2020) 나타났는데, 본 측정에서도 오후 시간대에는 도로부의 경우 모두 30°C가 넘는 것으로 나타났다. 수변부의 경우 새벽 시간대인 5시–9시 사이에는 광장부보다 온도가 높게 나타났으나, 이 외 시간대에는 광장부보다 모두 낮은 것으로 측정되었다. 습도의 경우에는 수변부에서는 오전에 온도가 광장부보다 높게 나타나는 시점에 맞추어 광장부보다 낮게 나타났고 이후에는 모두 수변부가 높게 나타났으며, 도로부의 경우 일관적으로 수변부와 광장부보다 낮게 나타났다. 또한 미세먼지의 경우 시간대별 큰 변화가 나타나지는 않았으나, 오후 시간대에 전반적으로 높게 나타났으며 도로부에서는 자동차 통행이 많은 출근시간대 8–10시 사이와 퇴근시간대 17–19시 사이에 일시적으로 높게, 광장부에서도 퇴근

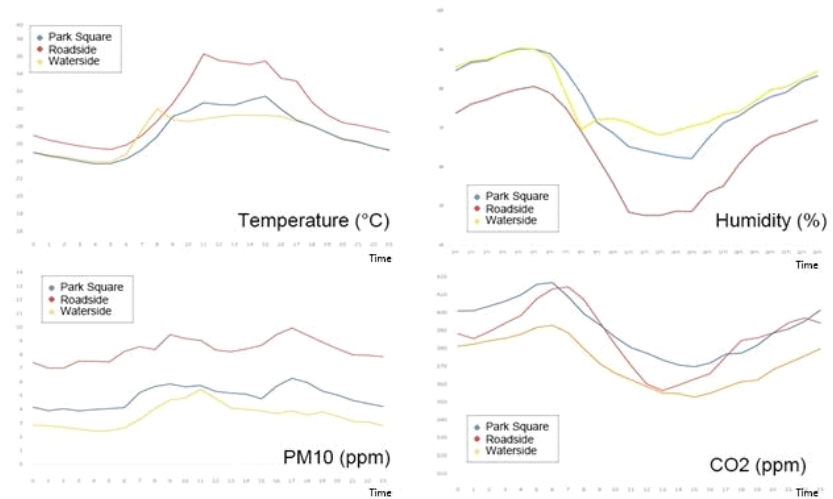


Figure 3. Daily trends of temperature, humidity, PM₁₀, and CO₂ (Jul 09 - Jul 30)

이후 보행량이 가장 많은 17-19시 사이에 일시적으로 높게 나타났다. 마지막으로 이산화탄소 농도의 경우 광장부와 수변부는 동일한 추이로 변화하였는데 식물이 이산화탄소를 배출하는 야간에 높게 나타났다. 도로부는 광장부 수변부와는 더 큰 변동 폭을 보여주었고 전체적으로 광장부보다 낮게 나타났으나 출퇴근 시간으로 자동차 통행이 많은 7-10시, 17-19시 사이에는 광장부보다 높은 수치를 보여주었다.

3.2 온도 측정 결과

본 장에서는 세부적으로 세 지점의 온도 측정 결과가 어떻게 차이가 나는지를 살펴보았다. 특히 앞서 살펴본 것과 같이 전체 측정 기간을 기준으로 비교한 것이 아니라, 햇볕이 강하고 보행자 활동에 큰 영향을 미치는 오전 10시에서 오후 4시 사이의 온도와 일반적으로 폭염 경보가 발생하는 33°C 이상인 시간대를 기준으로 세 지점의 온도를 비교하여 살펴보았다. 전체 측정 기간인 7월 9일부터 7월 30일의 오전 10시에서 오후 4시의 온도 추이를 살펴본 결과는 Figure 4와 같으며 전체 측정기간 중 기상청 종관관측(ASOS) 내 서울 관측지점에서 33°C 이상으로 측정된 시간대를 기준으로 세 지점의 측정값을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 우선 Figure 4와 같이 오전 10시에서 오후 4시 온도 변화 추이를 살펴보았을 때, 전체 측정시간을 기준으로 비교하였을 때보다 훨씬 큰 차이가 나타나는 것을 살펴볼 수 있다. 특히 온도가 높게 측정된 7월 10일, 7월 14일에서 7월 16일, 7월 18일, 7월 24일에서 27일의 측정값을 살펴보았을 때 도로부는 광장부 수변부와 10-15°C 정도로 매우 큰 온도 차이를 보여주는 경우도 있었으며, 햇볕이 강한 오전 11시-12시 사이에는 광장부 30.4°C, 수변부 28.6°C, 도로부 35.8°C로 세 지점 간 온도의 차이가 가장 크게 나타났다. 또한 일반적으로 폭염 경보가 발생하는 온도에 해당하는 33°C 이상인 기준으로 비교하였을 때에는 도로부 38.2°C, 광장부 32.7°C, 수변부 30.8°C로 전체 측정기간 평균값을 기준으로 도로부와 두 지점 간 2°C 가량의 차이가 나타났던 것과 다르게 5.5°C-7.4°C 로 매우 큰 차이가 나타났으며, ducan 사후검증에 결과에 따라 유의미하게 나타나지 않았던 광장부와 수변부의 온도 차이도 유의미한 차이를 보여주는 것으로 나타났다. 또한 33°C 이상인 시간대 기준에서는 습도의 경우에도 수변부 64.0%, 광장부 56.8%, 도로부 40.3%로 전체 기준으로 살

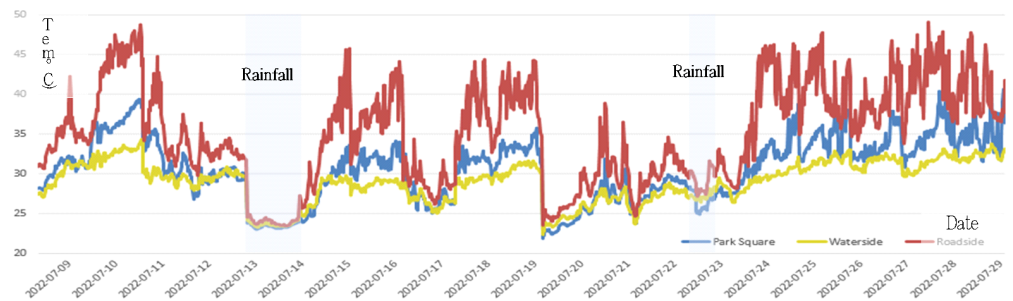


Figure 4. Temperature trend during 10:00 - 16:00 (Jul 09 - Jul 30)

Table 3. Results of measured data and ANOVA test during heatwave (Jul 09 - Jul 30)

Classification		<i>n</i>	Average	SD	<i>F</i>	<i>p</i> -value	Duncan
Temperature (°C)	a. Park square	1,148	32.7	2.5	2,066.9	0.000*	b < a < c
	b. Waterside	1,148	30.8	1.6			
	c. Roadside	1,148	38.2	4.0			
Humidity (%)	a. Park square	1,148	56.8	8.3	2,905.1	0.000*	b < a < c
	b. Waterside	1,148	64.0	5.3			
	c. Roadside	1,148	40.3	8.8			

* $p < 0.01$

퍼보았을 때 도로부와 두 지점 간 10% 내외의 차이를 보여주는 것과 다르게 16.5%–23.7%의 큰 차이를 보여주는 것으로 나타났다.

3.3 열 쾌적성 측정 결과

본 장에서는 측정된 미기상 데이터를 바탕으로 세 지점의 열 쾌적성 지수인 UTCI값을 비교하였다. 세 측정 지점을 기준으로 전체 기간의 UTCI 측정 결과는 Figure 5와 같으며, Hoppe(1999), Bröde et al.(2012), Blazejczyk et al.(2013) 등에 의해 설정된 10개의 온열기후지수 등급별 관측된 횟수를 나타낸 결과는 Table 4와 같다. 우선 Figure 5와 Table 4에 나타난 것처럼 도로부와 광장부, 수변부의 열 쾌적성은 두드러지는 차이가 나타났다. 세부적으로 등급별 관측된 횟수인 Table 4를 살펴보면 ‘극심한 열스트레스(extreme heat stress)’의 관측 횟수가 도로부 66번으로 광장부 27번, 수변부 7번보다 크게 차이가 있음을 살펴볼 수 있다. ‘매우 강한 열스트레스(very strong heat stress)’와 ‘강한 열스트레스(strong heat stress)’의 관측 횟수는 수변부와 녹지부가 도로부보다 많이 관측되었으며, 반면 ‘적당한 열 스트레스(moderate heat stress)’는 도로부가 광장부와 수변부보다 더 많게, ‘열 스트레스 없음(no thermal stress)’은 광장부와 수변부가 도로부보다 많게 관측되었다. 종합하였을 때 더운 여름철의 관측값을 살펴보았기 때문에 세 지점 모두 +9 이상인 ‘열 스트레스 없음(no thermal stress)’ 혹은 그보다 높은 열 쾌적성이 나타났으며, 도로부, 수변부, 녹지부 순으로 높은 열 쾌적성이 관측되는 경향성이 나타났고 도로부가 수변부나 녹지부보다 한 단계 높은 수준의 열 쾌적성이 나타나는 경향이 나타났다.

더욱 세부적으로 UTCI값을 비교하기 위하여 Table 5와 같이 시간 단위를 측정 기준으로 전체 기간, 활동 시간인 8시에서 20시, 햇볕이 강한 10시에서 16시 사이로 나누어 일원 배치 분산분석(ANOVA)을 진행하였다. 세 분석에서 모두 유의미성($p < 0.001$)이 발견되었으며 Duncan 사후검정 결과 공통적으로 도로부와 수변부, 녹지부는 유의미한 차이가 나타났으나 수변부와 녹지부 사이의 차이는 나타나지 않았다. 우선 야간 시간대를 포함한 전체 시간을 기준으로 하였을 때에는 도로부 32.9(강한 열 스트레스, strong heat stress), 녹지부 30.3(적당한 열 스트레스, moderate heat stress), 수변부 30.1(적당한 열 스트레스, moderate heat stress)로 도로부와 녹지부, 수변부가 2.6–2.8 정도 차이가 나타났다. 한편, 오전 8시에서 오후 20시 사이의 기준으로 비교하였을 때에는 도로부 39.8(매우

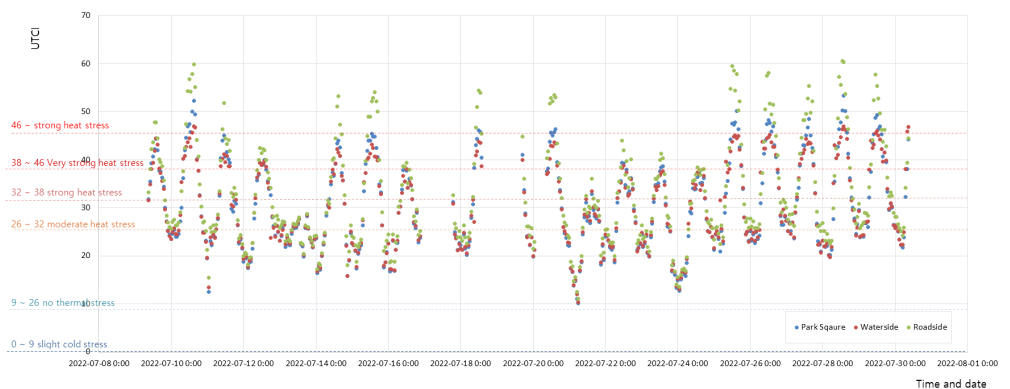


Figure 5. UTCI result (Jul 09 - Jul 30)

Table 4. Number of observations by UTCI index (Jul 09 - Jul 30)

UTCI(°C)	UTCI Value	Park square	Waterside	Roadside
Above +46	Extreme heat stress	27	7	66
+38 to +46	Very strong heat stress	78	103	68
+32 to +38	Strong heat stress	71	72	64
+26 to +32	Moderate heat stress	83	93	117
+9 to +26	No thermal stress	192	181	136
+9 to 0	Slight cold stress	0	0	0
0 to -13	Moderate cold stress	0	0	0
-27 to -40	Very strong cold stress	0	0	0
Below -40	Extreme cold stress	0	0	0

Table 5. Results of measured UTCI and ANOVA test (Jul 09 - Jul 30)

Classification		<i>n</i>	Average (SD)	Median	<i>F</i>	<i>p</i> -value	Duncan
Overall UTCI(°C)	a. Park square	451	30.3 (9.2)	27.8	11.826	< 0.001	a,b < c
	b. Waterside	451	30.1 (8.5)	28.2			
	c. Roadside	451	32.9 (10.7)	29.7			
UTCI during day 8-20 (%)	a. Park square	247	36.5 (7.4)	36.2	17.609	< 0.001	a,b < c
	b. Waterside	247	35.8 (6.6)	36.8			
	c. Roadside	247	39.8 (9.4)	38.8			
UTCI during day 10-16 (%)	a. Park square	131	40.2 (6.8)	40.7	21.290	< 0.001	a,b < c
	b. Waterside	131	38.8 (5.6)	39.7			
	c. Roadside	131	44.5 (9.1)	44.5			

강한 열 스트레스, very strong heat stress), 공원부 36.5(강한 열 스트레스, strong heat stress), 녹지부 35.8(강한 열 스트레스, strong heat stress)로 도로부와 수변부, 녹지부가 평균 3.3-4 정도의 차이가 나타났다. 마지막으로 햇 별이 강한 시간대인 10시에서 16시 사이 기준으로 살펴보았을 때에는 도로부 44.5(강한 열 스트레스, strong heat stress), 광장부 40.2(강한 열 스트레스, strong heat stress), 수변부 38.8(강한 열 스트레스, strong heat stress)로 도로부와 수변부, 녹지부의 차이가 평균 4.3-5.7의 차이가 나타났다. 종합적으로 열 쾌적성은 도로부, 녹지부, 수변부 순으로 높게 나타났으며 도로부가 녹지부, 수변부의 UTCI값보다 유의미하게 높은 값이 나타났다. 이처럼 공원 내부 두 지점에서는 열 쾌적성의 유의미한 차이가 발견되지 않았으나, 도로부와 공원 내 두 지점의 열 쾌적성은 유의미한 차이가 나타나 공원의 열 환경 개선 효과를 보여주었다.

4. 결론

본 연구는 여름철 도시 공원의 지점별 미기상 측정값의 차이와 열 환경 개선 효과를 측정하기 위하여 공원 녹지부, 공원 수변부, 공원 외 도로부 세 지점에 측정 장비를 설치하고 기상 관측 결과를 분석하였다. 종합적인 측정 및 분석 결과는 다음과 같다. 서울숲 광장 녹지부, 서울숲 수변부, 공원 주변 상업지역 도로부 세 곳을 측정한 결과, 전체 시간 기준으로 주변의 도로부와 비교하여 2.7°C 및 2.9°C 정도 온도가 낮은 것으로 나타났으며, 온도가 높은 시간을 기준으로 비교하였을 때에는 평균 5.5-7.4°C로 매우 큰 차이가 나타났다. 특히 도로부 측정 위치에서는 아스팔트로 인한 복사열 등의 영향으로 인하여 공원 내 두 지점보다 매우 높은 온도가 나타났으며, 수변부와 광장부는 전체 시간 기준으로는 유의미한 차이가 없었으나 온도가 높은 시간을 기준으로 비교하였을 때에는 0.9°C의 온도

차이가 나타났다. 열 쾌적성의 경우에는 도로부와 공원부, 녹지부 사이의 유의미한 차이가 발견되었으며 강한 햇볕으로 기온이 높은 시간대에 더 큰 차이가 나타났다. 이처럼 공원 내 지점에서는 시간대에 날씨에 따라 미기상 측정 결과와 열 환경 개선효과와의 차이가 다르게 나타났으나, 일반적으로 공원 내 녹지부, 수변부는 공원 외 도로부와 비교해 큰 열 환경 개선효과를 보여주었다. 또한 이 외에 함께 측정된 미기상데이터 중 미세먼지의 경우 측정 기간인 22년 7월 전체적으로 높은 날이 없었기 때문에 큰 차이가 나타나지는 않았으나 수변부, 광장부, 도로부 순으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이산화탄소 농도의 경우 광장부, 도로부, 수변부 순으로 유의미한 차이가 나타났다. 본 연구에서는 온도와 습도를 중심으로 공원의 효과를 분석하였으나, 향후 미세먼지나 이산화탄소 농도 등 측정된 다양한 기상 데이터를 활용하여 공원의 기능을 더욱 다양한 측면에서 살펴보는 연구를 진행할 계획이다.

본 연구는 공원의 열 환경 개선 효과를 정량적 측정 결과를 통하여 입증하고 이와 함께 미세먼지, 이산화탄소 등의 미기상 데이터 측정값을 보여주었다는 점에서 의미가 있다. 연구의 결과는 기존 도시 공원의 온도 저감 효과나 열환경 개선 효과를 증명한 기존 연구들의 결과와 유사하게 나타났으나, 본 연구에서는 아스팔트 도로부 주변과 공원 중심부를 비교하였기 때문에 온도와 열 쾌적성의 차가 조금 더 크게 나타났다. 본 연구는 자체적으로 개발한 장비를 통해서 여름철 장기간의 데이터를 측정하고 분석을 진행하였기 때문에, 기존의 연구들과는 다르게 세부 설정 지점별 열환경 개선 효과의 차이를 살펴볼 수 있었으며 또한 시간별 관측을 통해서 실제 폭염 등 온도가 높은 오후 시간대에는 이러한 온도 차이가 훨씬 크게 나타나는 것을 살펴볼 수 있었다. 또한 연구에서 활용된 기상 측정 장비와 방식은 기존 측정 방식보다 저렴한 방식으로 안정적으로 운영할 수 있어, 다양한 환경 데이터 측정 연구에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 한편 본 연구에서는 장비의 제약으로 수변부, 녹지부, 도로부 각 한 지점에만 장비를 설치하여 측정을 진행하였으나, 더욱 객관적인 결과를 얻기 위해서는 더욱 다양한 위치와 조건에서의 측정이 추가되어야 하는 한계점이 있다. 이와 함께 시중에 유통된 측정 장비를 사용하였으나, 더욱 객관적인 결과를 얻기 위해서는 다양한 장비를 적용하여 신뢰성을 높이는 것이 필요하다. 또한 측정 장비에서 일사량과 풍속이 측정되지 못하였기 때문에, 열 쾌적성 분석에 있어서 기상청 종관관측(ASOS) 자료의 서울 지점 관측자료를 결합하여 사용하였다. 세 지점의 가장 큰 차이가 온도와 습도에 있고, 일사량과 풍속은 큰 차이가 없었을 것으로 추정되지만 데이터의 차이로 지점별 정확한 분석 결과가 반영되지는 못하였다. 본 연구에서 활용된 측정 방식 등을 활용한 확장된 연구를 통해 더욱 정밀한 연구가 진행될 것으로 기대한다.

References

1. Ahn, S. M., H. G. Song, K. S. Lee and C. Yi(2016) A study of urban tree canopy mean radiant temperature mitigation estimation, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 44(1): 93-106.
2. Ahn, R. and S. Hong(2021) Characteristics of particulate matter 2.5 by type of space of urban park: Focusing on the Songsanghyeon Plaza in Busan, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 49(6): 37-48.
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. Bröde, P., D. Fiala, K. Błażejczyk, I. Holmér, G. Jendritzky, B. Kampmann, B. Tinz and G. Havenith(2012) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *International Journal of Biometeorology* 56(3): 481-494.
5. Chang, C. R., M. H. Li and S. D. Chang(2007) A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks, *Landscape and Urban Planning* 80(4): 386-395.
6. Cheung, P. K., C. Y. Jim and C. T. Siu(2021) Effects of urban park design features on summer air temperature and humidity in compact-city milieu, *Applied Geography* 129: 102439.
7. Cohen, P., O. Potchter and A. Matzarakis(2012) Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort, *Build Environment* 51: 285-295.
8. Doick, K. J., A. Peace and T. R. Hutchings(2014) The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island, *Science of the Total Environment* 493: 662-671.
9. Höppe, P.(1999) The physiological equivalent temperature-A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology* 43(2): 71-75.
10. Hwang, K. I., B. H. Hang, J. I. Kwark and S. C. Park(2018) A study on decreasing effects of ultra-fine

- particles (PM_{2.5}) by structures in a roadside buffer green: A buffer green in Songpa-gu, Seoul. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 46(4): 61-75.
11. ISO.(1985) International Standard 7726. Thermal Environments—Specifications Relating to Appliances and Methods for Measuring Physical Characteristics of the Environment. Geneva: International Standard Organization.
12. Jonsson, P.(2004) Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society* 24(10): 1307-1322.
13. Kim, D. W., J. K. Kim and E. H. Jung(2010) An analysis of micro-climate environmental changes followed by establishment of an urban park—Focused on the Junggu in Daegu City. *Journal of The Urban Design Institute of Korea* 11(2): 77-94.
14. Kim, Y. G., Y. M. Song and S. K. Cho(2020) Design and management direction of smart park for smart green city. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 48(6): 1-15.
15. Koo, M. A.(2019) The relationship between particular matter reduction and space shielding rate in urban neighborhood park. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 47(6): 66-77.
16. Korea Meteorological Administration(KMA)(2006) Development of Calculation Technology for Industrial Meteorological Information in Health Field – Development of Prediction Method for Korean Activity Index.
17. Lau, S. S., P. Lin and H. Qin(2012) A preliminary study on environmental performances of pocket parks in high-rise and high-density urban context in Hong Kong. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 7(3): 215-225.
18. Lee, A., S. Jeong, J. Joo, C. R. Park, J. Kim and S. Kim(2021) Potential role of urban forest in removing PM_{2.5}: A case study in Seoul by deep learning with satellite data. *Urban Climate* 36: 100795.
19. Lee, S. H., K. S. Lee, W. C. Jin and H. K. Song(2009) Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area. *Landscape and Ecological Engineering* 5(2): 183-191.
20. Lee, H. S., B. W. Min, T. J. Yang, J. H. Eum, K. Kim and J. Y. Lee(2019) A study on the concept and user perception of smart park: Focused on the IoT see park users in Daegu city. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 47(5): 41-48.
21. Li, Y., S. Fan, K. Li, Y. Zhang and L. Dong(2021) Microclimate in an urban park and its influencing factors: A case study of Tiantan park in Beijing, China. *Urban Ecosystems* 24(4): 767-778.
22. Lim, E. N., W. S. Lee, C. H. Choi, B. G. Song and S. G. Jung(2013). An evaluation of thermal comfort on urban neighborhood park for improving thermal environment. *An Evaluation of Thermal Comfort on Urban Neighborhood Park for Improving Thermal Environment* 16(4): 153-170.
23. Middel, A. and E. S. Kravenhoff(2019) Micrometeorological determinants of pedestrian thermal exposure during record-breaking heat in Tempe, Arizona: Introducing the MaRTy observational platform. *Science of The Total Environment* 687: 137-151.
24. Mohajerani, A., J. Bakaric and T. Jeffrey-Bailey(2017) The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management* 197: 522-538.
25. Oliveira, S., H. Andrade and T. Vaz(2011) The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment* 46(11): 2186-2194.
26. Park, J. and P. S. H. Lee(2020) Relationship between remotely sensed ambient PM₁₀ and PM_{2.5} and urban Forest in Seoul, South Korea. *Forests* 11(10): 1060.
27. Park, J. H. and G. H. Cho(2016) Influence of park size on the park cooling effect: Focused on Ilsan new town in Korea. *Journal of Korea Planning Association* 51(5): 247-261.
28. Park, S. K, S. M. Jo, C. J. Hyun, H. Y. Kong, S. H. Kim and Y. K. M. Shin(2017) Air temperature modification of an urban neighborhood park in summer – Hyowon Park, Suwon-si, Gyeonggi-do-. *Journal of Environmental Science International* 26(9): 1057-1072.
29. Ryu, N. H. and C. S. Lee(2014) Effects for the thermal comfort index improvement of park woodlands and lawns in summer. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(6): 21-30.

30. Song, H. H., D. S. Jang and J. J. Lee(2020) A study on the reduction of urban heat island phenomenon by analysis of a porous asphalt pavement. *International Journal of Highway Engineering* 22(6): 97-101.
31. Wang, T., H. Tu, B. Min, Z. Li, X. Li and Q. You(2022) The mitigation effect of park landscape on thermal environment in Shanghai city based on remote sensing retrieval method. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(5): 2949.
32. Yan, H., F. Wu and L. Dong(2018) Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Science of the Total Environment* 622: 882-891.
33. Yang, P., Z. N. Xiao and M. S. Ye(2016) Cooling effect of urban parks and their relationship with urban heat islands. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 9(4): 298-305.
34. Yao, L., T. Li, M. Xu and Y. Xu(2020) How the landscape features of urban green space impact seasonal land surface temperatures at a city-block-scale: An urban heat island study in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening* 52: 126704.
35. Yoon, M. H. and T. M. Ahn(2009). An application of satellite image analysis to visualize the effects of urban green areas on temperature. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 37(3): 46-53.