

도시화에 따른 건조환경이 하절기 광주시 외부공간의 열환경에 미치는 영향에 대한 연구

홍성운* · 양동우** · 오병철****

*광주대학교 경찰법행정학부, 조교수

**전남대학교 지역개발연구소, 학술연구교수

***재단법인 국제기후환경센터, 팀장

The Impacts of Built Environmental Features on the Land Surface Temperatures for the Heat Wave Seasons in Gwangju, South Korea

Hong, Sung-Woon* · Yang, Dongwoo** · Oh, Byoung-Chull****

*Assistant Professor, Division of Police Science, Law & Public Administration, Gwangju University

**Research Professor, Center for Regional Development, Chonnam National University

***Team Manager, Climate Change Response R & D Team of Research and Development Office, International Climate & Environment Center

†Corresponding author: obc9999@gmail.com

Abstract

This study aims to examine the impacts of built environmental features on the nocturnal and diurnal temperatures during the heat wave season in Gwangju, Korea. Built environmental measures are summarized at micro-scale level, such as 50 meters and 100 meters from temperature monitoring spots. Regressing the built environment on nocturnal and diurnal temperatures, we estimate how the artificial constructs contribute to temperature either day and night times. We found that impervious surface ratio is positively and negatively associated with nocturnal and diurnal temperatures, respectively. Buildings and structures tend to construct high thermal mass and absorb heat during day time and emit it for the night time. This property contributes to the nocturnal temperature model. On the other hand, urban areas with more vertical structure tend to block sun radiation more than rural, and it is more likely to find the negative relationship between impervious surface ratio and the diurnal temperatures.

Keywords: 도시열섬(Urban heat island), 폭염(Heat wave), 열환경(Thermal environment), 건조환경(Built environment), 불투수 토지피복비율(Impervious surface ratio)

기호설명

T_{noct} : 야간기온(°C)

T_{diur} : 주간기온(°C)

$massp2$: $\log(massp)$

far : 실질 용적률(%)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.6, pp.67-82, December 2019
<https://doi.org/10.7836/kSES.2019.39.6.067>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 01 November 2019

Revised: 21 November 2019

Accepted: 19 December 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

- isr* : 불투수토지피복비율(%)
- hght* : 건축물 높이(m)
- hght2* : $\log(hght)$
- mass* : 건물부피(m³)
- massp* : 토지면적대비 건물부피(%)
- far2* : $\log(far)$
- 50 : 임의지점 반경 50 m
- 100 : 임의지점 반경 100 m
- yr*₁₄ : 2014년 측정여부(1:Yes, 0:No)
- yr*₁₅ : 2015년 측정여부(1:Yes, 0:No)

1. 서론

도시공간 내 열환경(熱環境) 악화는 환경·사회·경제 부문 전반에 걸쳐 다양한 문제를 야기하고 있다. 열환경 악화의 대표적 현상인 열섬 및 폭염 등은 시민들의 삶의 불편을 증가시키며, 재산 피해를 비롯해 인명상의 피해마저 발생시키고 있다. 지금까지 국내에서는 1994년 폭염으로 인해 사망자수가 3천 명을 넘어서는 등 역대 최고의 인명피해를 일으킨 기상재해로써 다루어졌다. 이후, 1994년, 2016년 발생한 폭염에 비해 더욱 강력한 폭염현상이 2018년 다시 발생했다. 2018년 전국의 여름철 평균기온은 25.4°C로 평년의 23.6°C보다 1.8°C가 높게 나타났는데, 이는 1973년 이후 가장 큰 값으로서 6, 7, 8월의 평균기온이 각 22.2°C, 26.8°C, 27.3°C로 평년(각 21.2°C, 24.5°C, 25.1°C)보다 모두 높게 나타났다. 다만 평균 최고기온(30.5°C)은 1994년 평균최고기온(30.7°C) 보다는 0.2°C가 낮게 나타나 역대 2위를 기록하였으며, 평균최저기온(21.3°C)도 2013년 평균최저기온(21.7°C) 보다 0.4°C가 낮게 나타나 최고 2위를 기록했다. 참고로 일조시간도 평년보다 192.2시간 많은 695.2시간으로 역대 가장 긴 일조시간을 나타낸 것으로 집계되었다.

기상청은 2018년 폭염 현상에 대해서 7월 초 티베트 고기압과 북태평양 고기압이 이례적으로 강하게 발달해 장마가 빠르게 종료된 뒤, 8월 중반까지 폭염과 열대야가 길게 이어졌다고 분석하고 있다. 특히 강한 일사효과와 함께 잦은 태풍의 북상으로 뜨거운 수증기가 한반도로 유입되고 한반도 동쪽에서 불어오는 바람까지 더해져 폭염이 더욱 강화되었으며, 열대야의 발생지역까지도 확대되는 현상이 발생했다고 분석하고 있다.

광주광역시도 여름철 기온 및 열대야일수 등이 계속 증가하면서 지역 내 열환경이 악화하는 상황에 놓이게 되었다. 지역 내 연평균기온은 2005년 13.6°C에서 2018년 14.6°C로 1.0°C가 증가할 만큼 가파른 상승세를 보이고 있다. 같은 시기 폭염일수는 18일에서 43일로 139%가 증가하였으며, 열대야일수는 14일에서 30일로 114% 증가하였다. 지역의 열환경 악화와 함께 온열질환자 수도 증가했는데 2005년 31명에서 2018년 118명으로 281%가 증가하였다. 폭염을 평가시 활용되는 지표들을 보면 2018년 폭염일수가 37일인데, 폭염최장 지속일수

는 35일로 나타나고 있어 전국에서 가장 높은 기록을 나타냈으며, 열대야일수도 30일인데 열대야의 최장지속 일수가 21일로 나타나 전국 평균을 웃도는 것으로 확인되고 있다. 이에 광주광역시에는 여름철 온열환경이 악화 일변도로 진행됨에 따라 폭염종합대책을 수립하였으며, 세부적으로 “폭염으로부터 안전한 광주 만들기”를 목표로 단기 및 중장기 계획을 추진하고 있다.

한편, 재단법인 국제기후환경센터는 지난 2014년, 2015년, 2017년 3개년에 걸쳐 광주 지역 내 주택, 상업, 산업, 도로, 녹지, 수변 지역 등의 주요 지점을 대상으로 기온 및 습도(2017년에 추가)를 측정하는 등 지역의 열환경 변화를 확인하고자 하는 연구를 수행해 왔다. 특히 측정데이터를 활용하여 열섬강도, 열지수 등의 응용 데이터 생산 및 전체 결과를 지리정보시스템(Geographic Information Systems; GIS)을 활용하여 측정데이터 기반의 기온분포도를 작성하였다. 다만 해당 연구는 특정지점 및 특정시간에 대한 측정값이기 때문에 도시공간을 구성하는 다양한 물리적 요소와 연동하여 검토하는 것은 한계가 있었다.

이에 본 연구는 2014년, 2015년, 2017년 등 3개년에 걸쳐 국제기후환경센터가 지역 내 기온을 측정한 데이터를 활용하여 광주지역의 여름철 열환경 특성을 도시공간구조와 연동하여 도시공간구조가 열환경에 미치는 영향에 대해 정량적으로 밝히고자 한다. 이를 위해 3개년도의 조사지점에서 측정된 기온자료와 조사지점 주변의 물리적환경의 특징을 GIS의 중첩분석(overlay analysis)을 통해 기온-물리적환경 연동자료를 구축하였다. 기온-물리적환경 연동자료와 다중회귀분석 방법을 활용하여, 기온 변동값에 대한 물리적환경의 영향력을 추정하고자 한다. 도출된 실효적 추정값을 바탕으로 지역 맞춤형 정책의 수립을 지원 및 일부 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 선행연구

2.1 도시열섬과 폭염

도시열섬(Urban heat island, 熱島)은 용어의 표현대로 도시 내 열의 섬이 존재하는 것을 의미한다. 이는 도시 공간의 온도 분포의 형상이 마치 섬(島)의 등고선과 유사한 분포를 띄고 있다고 해서 명명된 것으로 알려져 있다. 아직은 특별한 정의가 없는 것으로 파악되고 있으나, 현상 자체로는 도시와 주변 교외지역의 온도차가 3 ~ 5°C 이상 발생하는 경우를 도시열섬으로 인식하는 것으로 알려져 있다. 보통 도시열섬을 도시 미기후(微氣候, Micro climate)현상으로 인지하는데 이는 개발된 도시지역의 기후가 비교적 덜 개발된 교외지역의 기후와 비교했을 때 다른 특성을 나타낸다는 점이 있으며, 도시는 이러한 특성이 반영되어 도시 특유의 기후현상을 보이는 경우가 많기 때문이다. 예를 들어 많은 선행연구에서는 도시미기후 관점에서 도시공간 안에서의 내 기온 차이는 대부분 건물 및 포장도로와 식생의 밀도에 영향을 크게 받는다고 얘기하고 있다. 관련된 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 건물/도로 = 태양복사의 축적열 + 에너지사용 인공배열/폐열 + 기타 → 기온 상승

(2) 큰키식생(나무) = 태양복사 흡수/차단 + 습도조절 + 냉기발생 : 지면온도 증가 완화 → 기온 냉각(제어)

(3) 식생(나무/풀) = 태양복사 흡수 + 습도조절(증발산 증가) + 냉기발생 → 기온 냉각(제어)

상기의 내용을 정리하자면, 도시공간의 열환경의 변화는 도시 공간 내 다양한 물리적 현상의 영향을 받으며, 특히 도시공간을 구성하고 있는 구조적 특징 및 에너지 사용의 특성을 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 이러한 관점에서 도시의 공간구조가 복잡해지고 집적화될수록 도시의 공간은 다양한 형태의 열을 도시공간 내 축적 및 반사를 하면서 도시 특유의 기후를 형성하게 된다. 여기서 다양한 형태의 열이란 태양복사열, 지형 및 건물의 반사열, 건물 등에서의 인공폐열 및 인공배열, 자동차의 엔진열, 타이어와 도로 간의 마찰열 등의 열에너지로 이해할 수 있다.

다음으로 폭염현상에 대해 검토를 하자면 우선, 폭염은 도시열섬과는 다른 관점으로 인식할 필요성이 있어 보인다. 가장 큰 차이는 폭염은 열섬과는 달리 기후변화 분야에서 폭서, 홍수, 가뭄, 한파, 폭설, 냉해, 폭우 등과 함께 이상기후현상으로서 다루어지고 있다는 점이다. 물론 도시공간의 열환경을 악화시킨다는 관점에서 폭염과 열섬은 유사점을 보이고는 있고 현재 국가 및 지자체 등에서 관련 대응 정책 및 기술을 봤을 때도 폭염과 열섬은 유사하게 다루어지고 있다는 점도 있다. 하지만 폭염과 열섬의 또 다른 특징을 보면 열섬은 도시공간이기 때문에 나타나는 도시 특유의 미기후 현상으로 이해할 수 있지만, 폭염은 도시 특유의 미기후 현상으로 구분하기 어렵다는 점이다. 폭염은 우리나라의 여름철 모든 도시 및 비도시 지역에 영향을 미치고 있는 이상기후현상이다. 폭염과 열섬의 특성을 아래와 같이 정리할 수 있다.

Table 1 Characteristics of urban heat island and extreme heat phenomenon

| Category | Urban heat island(Urban climate phenomenon) | Extreme heat[Climate change] |
|---------------------|--|--|
| Direct cause | <ul style="list-style-type: none"> • Urbanization : Increase in built-up areas, air pollution, Deterioration of thermal environment • Increased use of energy : Increase in greenhouse gas emissions → global warming • Decrease in vegetation : Lack of ability to regulate extreme temperature and to absorb greenhouse gases, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Global warming acceleration by increased greenhouse gas emissions • Abnormal climate phenomenon by global warming ※ Heat wave, cold wave, intense heat, strong wind, drought |
| Effect | Global warming, urban temperature rise, tropical nights, air pollution, heat mortality and morbidity, livestock mortality and morbidity, agricultural productivity loss, ecological disturbance Etc. | |
| Scale of occurrence | city or local level → micro-climate phenomena | Meso-scale, macro-scale, or global-scale |
| Similarities | This is the cause of various phenomena caused by the deterioration of the thermal environment in the urban space. | |

2.2 선행연구

도시열섬 및 폭염과 관련된 선행연구를 살펴보면 크게 도시열섬에 대한 요인 분석과 저감 방안 그리고 저감 효과와 열환경 관련된 실증연구 등으로 구분할 수 있다. 그러나 아직 폭염을 단일 주제로 하여 수행된 선행연구

는 많지 않은 것으로 파악되며, 주로 열섬에 대해 연구를 하면서 최근 나타난 폭염을 연계하여 연구한 사례들이 확인되고 있다. 주요 사례를 제시하자면 먼저 열섬과 관련된 일반적인 요인을 탐색하는 연구로 김상옥 등(2009)은 토지의 피복변화가 도시공간 내 열수지에 미치는 영향 분석하였고¹⁾, 오규식·홍재주(2005)는 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성을 파악하는 연구를 진행하면서 위성영상분석, 회귀분석을 통해 서울시 기온분포 및 기온저감 효과 영향범위 분석하고 더불어 교목 식피율에 따른 기온변화를 분석한 결과가 있다²⁾.

둘째, 열섬 저감 조치의 효율적 운영과 집행에 관한 연구를 통해 효과적 열섬 저감 방안을 제시하는 연구로 김수봉·정응호(2005)는 문헌과 위성영상 분석을 통해 폭염에 대응한 바람길 도입을 위한 기초연구를 하였으며³⁾, 김상진(2005)은 문헌과 위성의 열화상영상, 그리고 토지피복분류의 상관성 분석을 통해 열섬과 폭염에 대한 기초연구를 진행하였다⁴⁾. 권용석(2015)은 문헌과 위상영상 분석 그리고 공간회귀분석을 통하여 대구시 도시열섬 현상 저감방안을 모색하였다⁵⁾.

셋째, 도시숲 조성 등 열섬 저감을 위해 실행된 사업의 효과를 사후 검증하는 연구를 진행한 사례도 확인된다. 박기용 등(2011)은 통계분석을 통하여 수(水)공간 조성에 따른 도시의 열섬현상 저감효과를 연구하였다⁶⁾. 조혜진·임재현(2011)은 현장조사와 통계분석을 통하여 도시도로 녹지의 도로표면온도 저감효과를 분석하였다⁷⁾.

넷째, 도시공간의 열환경과 관련된 실증연구인데 이것은 본 연구와 관련이 깊어 다양한 사례를 검토했다. 김미경 등(2014)은 세종시를 대상으로 급격한 도시화에 따른 식생변화 및 도시화 정도를 파악하여 도시열섬 현상을 분석하였고⁸⁾, 김준현·최진호(2014)는 도시의 열환경 구조를 파악하기 위해 열분포의 중심성 측정 및 분포도 작성 등의 분석을 결과를 활용하여 도시 열환경 개선 및 관리방안 모색에 필요한 정책의 기초자료를 제공하기 위한 목적으로 대구시를 대상으로 도시열섬현상을 연구하였다⁹⁾. 또한 홍승환 등(2015)은 시계열 기반의 위성 Landsat 영상과 연간 지표온도순환(Annual Temperature Cycle; ATC) 모델을 이용하여 토지피복 과 이용분류 형태에 따른 열섬효과를 분석하였다¹⁰⁾. 박석봉 등(2017)은 154개 측정점과 7개 지역별 이동식 실측 기온 자료를 분석하여 광주광역시 도시열섬화 저감방안을 연구하였다¹¹⁾. 신동훈(2017)은 원격탐사와 GIS를 활용한 광주광역시 열섬 및 냉섬(冷島)지역을 분석하고, 실무자 면담 및 자문회의를 통해 도시계획제도에 적용 가능한 광주광역시 도시열섬 저감 방안을 제시하였다¹²⁾. Myint 등(2010)은 도시화가 급격히 이루어지고 있는 미국 애리조나 주 피닉스 시의 불투수토지면적과 식생면적의 혼합비율이 도시 내에서 측정되는 최고기온과의 관계를 분석하였다. 30미터단위의 위성 Landsat 영상을 활용하여 토지피복의 유형을 파악하고, 시계열자료에 근거한 토지피복의 변화와 최고기온과 연동하여 불투수토지피복의 영향력을 측정하였다¹³⁾. Estoque · Murayama · Myint (2017)은 태국 방콕, 인도네시아 자카르타, 필리핀 마닐라 동남아시아 3개 도시의 도시열섬현상과 불투수토지비율, 녹지, 하천과 같은 건조 및 자연환경 요인과의 관계를 다중회귀분석모형을 수행하였다. 위성 Landsat 영상자료를 통해 구득한 지표열과 토지피복정도를 활용하였다. 불투수토지면적은 지표측정기온과 정(+)의 관계를 확인하였다¹⁴⁾. 위성 시계열 자료 Landsat의 활용은 Henits · Mucsi · Kska (2017)에서도 진행되었다. 이들의 연구는 헝가리 Szeged 지역을 대상으로 진행되었으며, 불투수토지면적의 비율과 도시열환경과의 관

계에 초점을 맞춘 것으로 파악된다. 다른 연구들과 유사하게, 불투수토지면적의 증가는 도시열섬강도의 증가와 관련이 있다는 것을 다중회귀모형을 통해서 확인하였다¹⁵⁾.

3. 연구방법

3.1 온열환경 실증모형

본 연구는 선행연구에서 정의된 도시 열환경에 영향을 주는 외부요인 중 건조환경(built environment)에 주목하여 실증모형을 구성하였다. 실증모형은 여름철 야간평균기온, 주간평균기온을 예측하는 데 활용할 수 있도록 구성하였다. 이를 위해 도시 건조환경과 흑서기 주·야간 평균기온간의 영향을 확인하기 위해 모형의 범위를 50 m와 100 m로 설정하였다. 기존의 온열환경 연구에서는 흑서기 도시공간 상에서 기온 차이는 국지적으로 발현되는 것을 공통으로 확인할 수 있다. 기온변화의 미시적 공간범위는 최대 100 m로, 이를 넘는 범위는 동질성을 확보하기 어려운 수준으로 판단하고 있다^{16,17)}. 이에 따라 본 연구에서는 도시공간 내 임의의 측정지점에서 반경 50 m 또는 100 m 이내 영역 내 건조환경의 수준이 해당 지점의 평균기온에 어느 정도의 영향을 미치는지를 측정하고자 했다. 이를 위해 주간 2개, 야간 2개, 총 네 가지 유형의 모형을 활용하였다.

$$T_{noct} = f(isr_{50}, hght_{50}, mass_{50}, far_{50}) \quad (1)$$

$$T_{noct} = f(isr_{100}, hght_{100}, mass_{100}, far_{100}) \quad (2)$$

$$T_{diur} = f(isr_{50}, hght_{50}, mass_{50}, far_{50}) \quad (3)$$

$$T_{diur} = f(isr_{100}, hght_{100}, mass_{100}, far_{100}) \quad (4)$$

실증모형을 구성하는 독립변수는 불투수토지피복비율(isr), 건축물의 높이(hght), 토지면적 대비 건축물의 부피(massp), 실질건폐율(far)이다. 도로 인도, 건축물 등이 조성된 토지는 지상과 토양 사이에서 물의 침투 및 증발의 과정을 방해하는 대표적인 원인 중의 하나이다. 또한, 주간 태양복사에너지를 축열하고 이를 야간에 배출하여 야간기온 상승의 주요 원인 중 하나로 지목되고 있다. 이에 주·야간 기온에 영향을 주는 요인 중 면적(面的) 요인으로 불투수토지피복면적의 비율을 실증모형에 포함하였다. 토지피복자료에서는 주거, 상업, 공업 지역의 면적을 불투수토지피복면적으로 분석에 활용하였다. 면적요인 이외에 도시건조환경의 입체적 특성 중 물리적 높이와 용적도 도시 열환경에 큰 영향을 미치는 것으로 확인된다. 특히, 밀집된 도시구조는 풍속 감소의 원인으로 도시 내 축적된 열 및 오염물질을 도시 외부 혹은 상공으로 확산시키는데 장애요인이 되는 것으로 알

려져 있다. 반면, 건축물의 높이는 주간에 지면에 닿는 태양복사를 막는 역할도 존재하고 있어 건물의 높이와 용적이 도시 열환경에 정(+) 그리고 부(+)의 영향을 동시에 줄 수 있다. 이에 평균건축물 높이, 건축물 체적, 그리고 실질 연면적 비율인 실질용적률을 열환경 모형에 포함하여 그 영향력을 검토하였다.

본 연구는 앞서 제시된 4개 변수를 모두 포함한 전체모형(Model 1, Table 3 참조)을 기준모형으로 구성하고, 일부 변수의 조합으로 구성된 7개의 축소모형을(Model 2 ~ Model 8, Table 3 참조) 구축하였다. 이와 함께 2017년 측정을 기준으로 2014년 측정년도 효과(yr14)와 2015년 측정년도 효과(yr15)를 포함하여 연도별 측정효과를 모형예측에 반영하고자 했다. 이를 통해 3개년도에 걸쳐 측정된 자료가 내포하는 연도별 편차를 통제하고자 하였다. 또한 각 변수가 평균기온에 주는 영향, 즉 변수의 계수값을 측정하기 위해 최소자승법(Ordinary Least Squared; OLS)을 활용하였으며, 최종적으로 1개의 전체모형과 7개의 축소모형의 결과를 비교하여 최적의 모형을 구축하고자 하였다.

3.2 분석자료 및 처리과정

(1) 분석자료

분석자료는 (재)국제기후환경센터가 2014년, 2015년, 2017년 여름철에 수행한 온열환경조사에서 측정된 주간 및 야간 평균온도 자료를 활용하였으며, 자료의 통계적 유의성 확보를 위해 3개년도 자료를 통합하여 활용하였다.

측정자료는 연도별 측정효과를 고려하여 분석모형에 측정된 값이 2014년 혹은 2015년에 측정되었는지에 대한 여부를 더미변수로 처리하여 해당 변수를 분석모형에 포함하였다. 2017년도 측정 여부 정보는 기준시점으로 활용하고자 했기에 다중회귀 모형에 포함하지 않았다. 그리고 2개 연도 이상 같은 지점에서 중복으로 측정된 값들의 경우 최신 연도의 자료만 활용하였다. 이와 관련된 측정지점 전체를 Fig. 1에 나타낸다. 측정 데이터는 다수의 지점을 동일시간에 측정을 하는 것을 목적으로 진행되었기에 직접 측정하는 방법을 택했다. 측정에 대한 세부사항을 Table 2에 나타낸다. 참고로 본 측정에서는 습도도 측정하였으나, 습도의 측정은 2017년도만 수행했기에 습도데이터는 활용하지 않았으며 일사량 데이터의 경우 측정하지 않았다.

한편, 건폐면적의 경우, 2018년 1월 기준 국토교통부 국가공간정보포털에서 제공하는 ‘도로명주소 건물’ 수치지도를 활용하였다. 그리고 지리정보시스템(Geographic Information Systems; GIS)의 응용 프로그램인 QGIS 2.18을 활용하여 건물 바닥면적을 도출하였다. 토지피복비율 자료는 환경부 환경공간정보서비스에서 제공하는 ‘토지피복도’ 수치지도를 활용하였다. 토지피복도는 전국의 국토를 시가화 건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역으로 구분하여 폴리곤(polygon) 객체로 표현되는 수치지도이다. 이중 시가화 건조지역으로 피복되어 있는 토지의 면적으로 추출하였으며, 이를 분석 자료에 활용하였다. 그리고 도시 대기 순환에 영향을 주는 건조물 높이는 국토교통부 국가공간정보포털에서 제공하는 ‘건물통합정보 마스터’(2018년 9월 기준) 수치지도를 활용하였다.

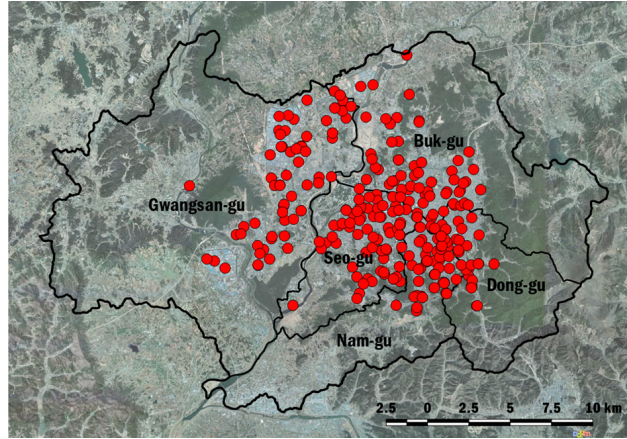


Fig. 1 Temperature monitoring campaign spots

Table 2 Measurement Condition

| Content | Condition |
|-----------------------------------|---|
| Measurement place | Residential, commercial, industrial, road, park, waterside in Gwangju area |
| Measurement point (269 points) | 102 in Residential, 26 in Commercial, 16 in Industrial Park, 50 in Parks, 23 in Waterfront, 79 in Roads |
| Date | Clean days in August in years of 2014, 2015, and 2017 |
| Time | Daytime (14:00~15:00), Nighttime (20:00 ~ 21:00) |
| Measuring interval | 10th, 20th, 30th, 40th, 50th, and 60th minutes of each hour for the periods of measurement |
| Data utilization | Summarized in average |
| Measuring equipment | Temperature and humidity data loggers and Assmann psychrometer for calibration |
| Measuring height | G.L. + 1.5 m (pedestrian level) |
| Solar radiation | Unmeasured |

(2) 자료 처리과정

전술한 바와 같이 본 연구의 공간분석단위는 주간 및 야간기온 측정지점 주변 50 m 또는 100 m 영역을 대상으로 하였다. 측정지점 주변지역 내 물성환경을 파악하기 위해, GIS의 중첩분석(overlay analysis)을 하여 영역 내 물성환경을 정량화 및 요약하고 이를 다중회귀분석에 활용하였다. 우선, 3개년도 혹서기 주·야간기온 측정지점의 위·경도 정보를 바탕으로 지오코딩(geocoding) 수법을 활용하여 포인트(point) 기반의 수치지도를 작성하였다. 각 포인트 객체는 측정지점의 공간적 위치를 반영하고 실제 측정된 주·야간기온 자료가 연동될 수 있도록 조치하였다.

다음으로 QGIS 2.18에서 제공하는 버퍼분석(buffer analysis)을 활용하여 측정소 주변 50 m 반경과 100 m 반경의 영역에 대한 수치지도를 작성하였다. 그런 다음 버퍼 분석을 통해 작성된 폴리곤(polygon) 수치지도를 건축물 수치지도와 토지피복 수치지도와 중첩하여 건축물 및 용도별 토지피복 정보를 확보했다. 다음으로 중첩 분석을 통해 각 기온 측정지점 주변 50 m 및 100 m 지역에는 건축물 바닥면적, 용적률, 부피, 불투수토지 피복 정보가 연동되도록 구성하였다(Fig. 2 참조).

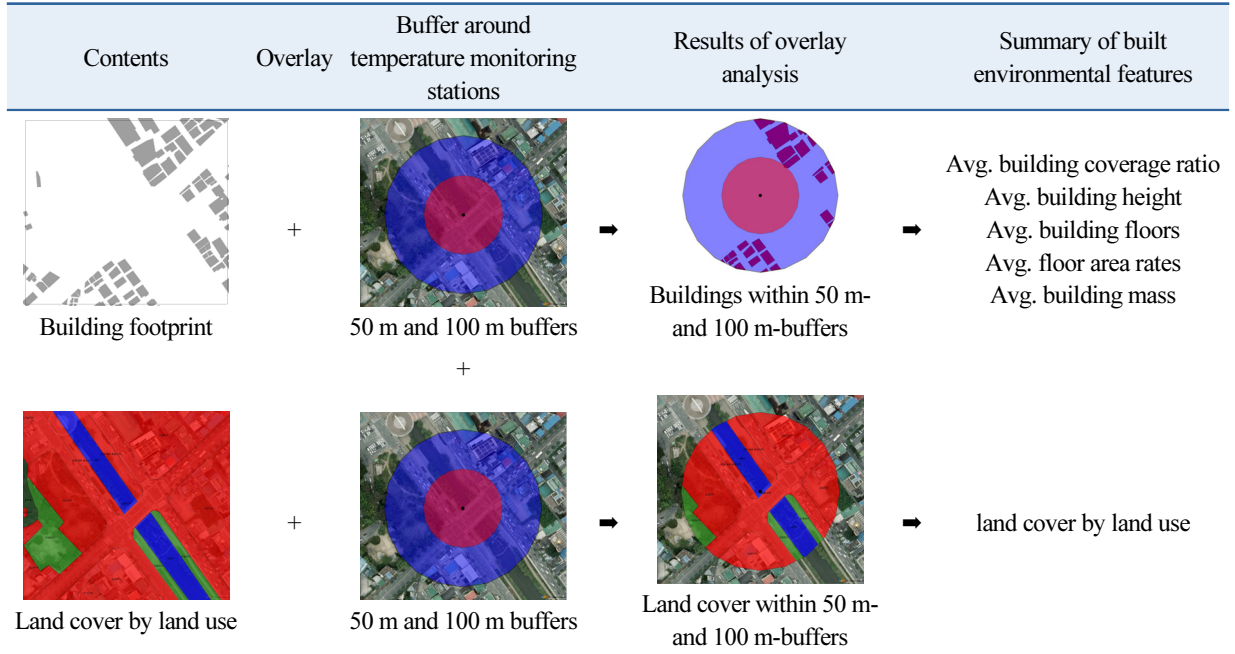


Fig. 2 Data manipulation procedure to obtain the built environmental features using GIS

4. 분석 결과

4.1 야간평균기온 모형

(1) 측정지점 50 m 이내 영역

전술한 바와 같이 도시의 열환경이 표출양상이 공간적으로 국지성을 지니는바, 도시 공간의 물리적 환경이 미기후에 주는 영향을 50 m로 국한하여 실증분석을 수행하였다. 이를 위해 불투수토지피복 토지비율(isr), 평균 건축물높이(hght), 바닥면적 대비 평균건축물용적비율(massp), 실질용적률(far) 네 가지 변인을 모두 고려한 전체모형(Model1)을 전체 모형으로 설정하고 추정하였다. 이중 불투수토지피복비율을 기본변수로 설정하고 이 기본변수만 모형 추정에 사용한 기본모형(Model2)을 설정하고, 이 기본모형에 다른 변인을 추가한 다수의 추가모형(Model3, 4, 5, 6, 7, 8)을 구축하였다. 8개의 전체, 기본, 추가모형에서 추정계수와 모형의 설명력 등을 비교하여, 최적의 모형을 파악하고자 하였다.

불투수피복 토지비율(isr)의 경우, 8가지 열섬효과 실증모형에서 공통으로 야간 평균기온에 정(+의 효과를 주고, 통계적으로 유의함을 확인할 수 있다(Table 3). 지역 내 임의의 지점에서 50 m 이내 영역의 면적 대비 건물, 도로, 인공구조물 등으로 점유된 면적의 비율이 10% 증가하면, 혹서기 야간기온은 약 0.1°C 상승하는 것으로 확인되었다. 즉, 콘크리트 및 아스팔트와 같이 불투수성 재질로 덮인 토지의 면적이 증가할수록 혹서기 도시 열섬현상이 발생된다는 기존의 연구와 부합하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 평균 건물 높이는 평균 야간기온 변화에 영향이 없음을 확인하였다.

토지면적대비 건축물의 연면적비율인 실질 용적률의 경우도 야간 평균 기온에 정(+의 효과를 주는 것으로

파악되었다. 용적률 증가는 건조환경 피복면적과 높이 증가를 의미하는데 주간에 해당 공간에 축적된 열이 갠히게 되어 야간기온 저감을 방해할 가능성이 있다. 즉, 도시지역 내 건물군의 용적에 대한 계획 및 관리가 열섬 및 열대야현상에 영향을 줄 가능성을 추정할 수 있다.

Table 3 Multiple regression models of average nocturnal temperature for the heat wave season

| | Var. | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 | Model 7 | Model 8 |
|----------------------------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| within 50 m from a spot | Intercept | 27.925 *** | 27.179 *** | 27.097 *** | 27.212 *** | 27.253 *** | 28.008 *** | 27.192 *** | 27.116 *** |
| | isr | 0.989 *** | 1.075 *** | 1.056 *** | 1.072 *** | 1.069 *** | 1.000 *** | 1.062 *** | 1.058 *** |
| | height2 | 0.031 | | 0.444 | | | | 0.021 | 0.038 |
| | massp2 | -0.563 * | | | 0.013 | | -0.558 * | | 0.003 |
| | farp2 | 0.568 * | | | | 0.019 | 0.571 * | 0.013 | |
| | yr14 | -1.040 *** | -1.021 *** | -1.023 *** | -1.025 *** | -1.028 *** | -1.041 *** | -1.027 *** | -1.024 *** |
| | yr15 | 0.565 ** | 0.611 *** | 0.594 ** | 0.603 *** | 0.598 ** | 0.572 ** | 0.593 ** | 0.594 ** |
| | Adj. R ² | 0.486 | 0.474 | 0.473 | 0.472 | 0.473 | 0.488 | 0.470 | 0.470 |
| | AIC | 426.0 | 247.4 | 428.8 | 429.1 | 428.7 | 424.2 | 430.6 | 430.8 |
| | within 100 m a spot | Intercept | 27.894 *** | 27.214 *** | 27.080 *** | 27.245 *** | 27.350 *** | 27.982 *** | 27.353 *** |
| isr | | 0.238 ** | 0.280 *** | 0.279 *** | 0.247 *** | 0.228 *** | 0.239 *** | 0.228 *** | 0.254 *** |
| height2 | | -0.001 | | 0.056 * | | | | -0.001 | 0.029 |
| massp2 | | -0.498 * | | | 0.041 * | | -0.498 * | | 0.032 |
| farp2 | | 0.518 * | | | | 0.062 * | 0.518 * | 0.062 *** | |
| yr14 | | -1.109 *** | -1.103 *** | -1.102 *** | -1.117 *** | -1.124 *** | -1.109 *** | -1.124 *** | -1.113 *** |
| yr15 | | 0.681 ** | 0.683 *** | 0.672 *** | 0.677 *** | 0.674 *** | 0.681 ** | 0.675 ** | 0.673 *** |
| Adj. R ² | | 0.506 | 0.496 | 0.495 | 0.496 | 0.498 | 0.508 | 0.496 | 0.494 |
| AIC | | 512.5 | 513.7 | 515.2 | 515.0 | 513.8 | 510.5 | 515.8 | 516.9 |

*1 isr; impervious surface ratio; height: avg. building height; height2 : log(height); massp: avg. building mass; massp2: log(massp); fark: floor area ratio; fark2: log(fark); yr14: year of 2014 (1:yes, 0: no); yr15: year of 2015 (1:yes, 0:no)
2 *** : p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05

(2) 측정지점 100 m 이내 영역

도시 내 임의의 지점에서 예측되는 야간 평균기온에 영향을 주는 물리적 환경을 100 m로 확장할 경우, 오히려 반경 50 m 기준 실증모형보다 통계적 유의성이 다소 증가하는 것으로 파악되었다. 야간 평균기온과 불투수 피복토지비율(isr)의 관계는 반경 50 m 기준 실증모형과 같이 정(+)의 관계로 확인되어 상관성이 있는 것으로 파악되었다. 특히, 특정지점에서 100 m 반경 내에 인공건조물의 피복 정보가 10% 증가하면, 혹서기 야간 평균기온은 약 0.02 ~ 0.03°C 상승하는 것으로 나타났다. 하지만 이 결과는 비록 물리적 환경에 대한 영향력과 이를 활용한 통계적 유의성은 50 m 기본모형과 비교하여 다소 높은 것으로 확인되지만 오히려 야간 평균기온에 미치는 영향 강도는 감소하는 것으로 이해할 수 있다. 이를 통해 야간 평균기온에 영향을 주는 토지피복의 공간 범위는 다른 요인과 비교하여 더욱 제한적일 수 있다고 추정할 수 있다. 한편, 도시 공간 내 인공건조물을 포함한

건물군의 용적은 100 m 반경 실증모형에서도 야간 평균기온에 정(+)의 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

4.2 주간 평균기온 모형

(1) 측정지점 50 m 이내 영역

불투수토지면적의 비율은 혹서기 주간 평균기온에 정(+)의 효과를 주는 것으로 확인되었다. 그리고 건물의 평균 높이와 평균 실질용적률은 주간의 평균기온에 부(-)의 효과를 주는 것으로 나타났다. 즉, 본 연구에서 설정한 도시 건조환경 특성이 주간 평균기온에 주는 영향은 통계적으로 유의하지 않는 것으로 확인되었다. 다만, 8개 모형 중 유일하게 다섯 번째 모형에서 실질용적률의 효과가 통계적 유의성을 담보하고 있을 뿐이다. 본 모형에 의하면 도시 내 임의의 지점 주변 50 m 내 실질용적률이 10% 포인트 증가하면 평균 주간온도는 0.024°C 낮아지는 것으로 나타났다.

실질용적률과 마찬가지로, 도시 건축물의 부피(mass)가 주간 평균기온과 반비례의 관계에 있는 것이 여러 모형에서 확인되는 것을 주목할 할 필요가 있다. 선행연구 등에 따르면 주간 기온은 태양복사에너지의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 용적률이 높은 지역일수록 건물에 의해 형성되는 그림자로 지표면의 기온상승이 그렇지 않은 공간에 비해 낮게 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 3차원의 건축물 용적이 주간에 축적된 열이 야간에 도시의 외부공간으로 빠져나가는 것을 방해하는 요인으로도 작용하는 양면적 특징이 존재할 수 있음을 주목할 필요가 있을 것이다. 다만, 이러한 결과는 해당 지역의 기류를 연성하여 검토한 결과가 아니므로 별도의 검토가 필요할 수 있다.

(2) 측정지점 100 m 이내 영역

불투수토지 비율, 평균 건물 높이, 건축물 부피의 비율, 실질용적률 모두 주간 평균기온에 부(-)의 효과를 주는 것으로 나타났다. 주간 평균기온과 불투수토지비율의 관계는 반경 50 m 기준 실증모형과 반대로 부(-)의 관계로 확인되었다. 즉, 불투수토지비율은 본 조건에서는 유일하게 통계적으로 유의한 것으로 판단된다. 도시 내 임의의 지점 기준 100 m 반경 내 불투수토지피복비율이 10% 포인트 증가하면, 지표면 근처 주간 평균기온이 약 0.05°C 하락한다. 불투수토지피복비율은 도시화의 지표를 활용하여 검토하자면 토지피복비율의 증가는 도시지역의 건조환경의 부피 증가를 일으키며, 더불어 주간에 태양복사열에 대한 노출을 감소시키는 효과로 연결된다고 판단할 수 있다.

Table 4 Multiple regression models of average diurnal temperature for the heat wave season

| | Var. | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 | Model 7 | Model 8 |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| within 50 m from a spot | Intercept | 33.816 *** | 33.771 *** | 33.837 *** | 33.795 *** | 33.794 *** | 33.787 *** | 33.825 *** | 33.835 *** |
| | isr | 0.841 | 0.748 | 0.813 | 0.791 | 0.814 | 0.834 | 0.834 | 0.825 |
| | height | -0.004 | | -0.008 | | | | -0.005 | -0.006 |
| | massp | 0.039 | | | -0.048 | | 0.071 | | -0.034 |
| | farp | -0.364 | | | | -0.246 * | -0.559 | -0.183 | |
| | yr14 | -2.896 *** | -2.874 *** | -2.867 *** | -2.900 *** | -2.905 *** | -2.905 *** | -2.893 *** | -2.888 *** |
| | yr15 | -0.920 ** | -0.946 ** | -0.886 ** | -0.966 ** | -0.958 ** | -0.943 ** | -0.921 ** | -0.917 ** |
| | <i>Adj. R²</i> | 0.527 | 0.526 | 0.529 | 0.529 | 0.531 | 0.529 | 0.530 | 0.529 |
| | <i>AIC</i> | 629.6 | 627.3 | 626.9 | 626.9 | 626.2 | 627.9 | 627.7 | 627.9 |
| | within 100 m from a spot | Intercept | 34.848 *** | 34.702 *** | 34.752 *** | 34.803 *** | 34.763 *** | 34.842 *** | 34.770 *** |
| isr | | -0.643 * | -0.602 | -0.521 * | -0.575 | -0.531 * | -0.657 | -0.515 * | -0.565 * |
| height | | -0.002 | | -0.006 | | | | -0.002 | -0.001 |
| massp | | -0.092 | | | -0.039 | | -0.092 | | -0.037 |
| farp | | 0.192 | | | | -0.110 | 0.183 | -0.097 | |
| yr14 | | -2.893 *** | -2.890 *** | -2.896 *** | -2.892 *** | -2.892 *** | -2.891 *** | -2.893 *** | -2.893 *** |
| yr15 | | -0.877 *** | -0.864 *** | -0.852 ** | -0.873 *** | -0.867 *** | -0.881 *** | -0.863 *** | -0.871 *** |
| <i>Adj. R²</i> | | 0.530 | 0.533 | 0.532 | 0.534 | 0.533 | 0.532 | 0.531 | 0.532 |
| <i>AIC</i> | | 742.3 | 738.1 | 739.5 | 738.5 | 738.9 | 740.3 | 740.9 | 740.5 |

¹ isr; impervious surface ratio; height: avg. building height; height2 : log(height); massp: avg. building mass; massp2: log (massp); fark: floor area ratio; fark2: log(farp); yr14: year of 2014 (1:yes, 0: no); yr15: year of 2015 (1:yes, 0:no)
² *** : p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05

4.3 요약

본 연구는 선행연구들이 주목한 바와 같이 도시 건조환경이 온열환경에 영향을 주는 요인으로 가정하고, 그 영향의 범위가 국지적임을 가정하여 진행하였다. 또한, 평균기온 측정지점에서 관측된 주간 평균기온 및 야간의 평균기온과 관련된 외부변인의 영향 범위를 50 m와 100 m로 설정하고 각 반경 내의 건조환경 특성을 파악하였다. 그리고 이를 통한 결과를 활용하여 이를 측정된 평균기온과의 관계를 다중회귀모형으로 실증분석을 수행하였다.

야간평균기온모형에서는 불투수토지피복비율과 실질용적률이 야간 평균기온에 정(+)의 영향을 주는 것으로 확인되었다. 건조환경의 범위를 50 m에서 100 m로 확장할 경우 건조환경이 야간평균기온에 미치는 영향은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 4가지 독립변인 중 불투수토지피복비율이 8개 모형에서 공통적으로 통계적 유의성을 확인할 수 있었다. 반면, 평균건축물높이는 어느 모형에서도 야간기온에 주는 영향이 통계적으로 유의하지 않았다. 도시열섬현상에 인공장애물의 부피는 풍속과 풍향에 영향을 주지만, 높이 자체만의 영향은 없는 것으로 해석 할 수 있다.

한편, 주간평균기온 모형을 통해서 실질용적률과 주간평균기온은 부(-)의 관계를 나타내고 있음을 확인할

수 있었다. 이와 같은 결과는 도시 내 큰 용적률의 인공구조물 등은 낮 시간 동안 지표에 도달하는 태양복사량에 영향을 주고 있기에 주간 평균기온이 하강하는 것으로 추정할 수 있다. 야간평균기온모형과 다르게, 불투수토지피복비율은 주간평균기온에 부(-)의 영향을 주는 것으로 확인되었다. 하지만, 불투수토지피복비율이 주간기온에 주는 영향력은 야간기온에 주는 영향과 비교했을 때 낮게 나타났으며, 통계적으로도 유의하지 않거나 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 인공구조물에서 발산하는 열에너지의 영향이 주간기온보다 야간기온 변화에 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다.

5. 결과 종합 및 정책적 제언

주·야간모델의 결과는 기본적으로 건조환경이 도시의 열환경을 악화시키는데 역할을 하고 있음을 지적하고 있다. 특히, 지역 내 불투수토지피복, 예를 들어 아스팔트 도로나, 콘크리트 피복면은 열환경 악화의 주요원인으로 확인되고 있다. 즉, 본 연구에서 주목한 건조환경의 특징이자 공통점은 열용량이 크게 평가된다는 것을 인지할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 건조환경에서는 기본적으로 주간에 태양복사열을 축열하고 야간에는 축적된 열을 도시공간으로 내뿜어 도시의 기온을 상승시키는 현상이 발생한다. 한편, 건물의 실질용적률을 크게 두 가지의 영향을 미치는 것으로 확인된다. 첫 번째, 그 자체로서 건조환경이기에 도시 공간 내 열환경을 악화에 영향을 주는 것으로 파악된다. 이는 불투수토지피복의 관점이 아니라, 전술과 같이 열용량이 높은 구조체적인 특징에 기인한다고 추정할 수 있다. 두 번째, 실질용적률이 큰 경우 주변의 불투수토지피복이 취득할 태양복사열을 일부 제어하여 불투수토지피복에서의 축열을 저감하는 것으로 파악된다.

이와 같은 결과를 기반에 두어 악화일변도의 광주지역 열환경을 개선할 수 있는 대응방안으로서 크게 구조체에서 열을 방출하지 않을 수 있는 조치, 구조체의 축열 감소시킬 수 있는 조치, 그리고 구조체간 또는 구조체와 도시공간간 열의 전달이 최소화 하는 조치 등이 필요할 것이다. 이와 같은 결과와 특징을 고려하여 최근 지자체에서 추진되고 있는 폭염 및 열섬 대응 사례의 일부를 Table 5와 같이 제안하고자 한다.

Table 5 Applicable Institutional Actions Responding to Urban Heat Island

| Objectives | Implemental programs |
|--|--|
| Mitigation of heat emission from built environment | Building retrofit |
| | Cool roof |
| | Cool pavement |
| Reduction in heat accumulation in the built environment | Green roof and green wall |
| | Exterior wall insulation coating |
| | Building shades and window shades |
| | Water-absorbing pavement and cool pavement |
| Heat transmission prevention between artificial construct in the built environment | Low impact development |
| | Clean road system |
| | Green roof and green wall |
| | Cooling fog system |
| | Cool pavement |

6. 결론

본 연구는 혹서기 도시기온에 영향을 주는 요인을 측정데이터를 기반에 두어 실증적으로 분석하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

첫째, 도시의 열환경의 변화는 주간과 야간시간대로 구분하여 접근하고 이해할 필요가 있다는 점을 확인했다. 특히, 이처럼 주·야간의 차이를 구분하고 이를 실증모형에 반영 및 분석한 것에 본 연구의 의의가 있다고 생각된다.

둘째, 야간기온예측모형의 경우, 건조환경의 영향범위에 상관없이 불투수피복면적이 증가하면 야간기온도 증가하는 것을 공통적으로 확인할 수 있다. 건조환경이 집중적으로 조성된 지역은 그렇지 않은 곳에 비해 불투수피복면적의 비율이 높고, 야간에 건조물에서 방출되는 일사열의 강도가 높은 것이 모형에 반영된 결과라 해석할 수 있다.

셋째, 주간기온예측모형에서는 불투수토지면적의 증가는 주간평균기온 감소와 관련 있는 것으로 나타났다. 불투수토지면적의 비율이 높은 도시지역에서는 태양광 노출이 개활지 비중이 높은 비도시지역에 비해 낮고¹⁸⁾, 이러한 태양광 노출 정도의 차이가 모형에 반영된 것이라 할 수 있다.

이러한 결과는 기존 연구들에서 제시되었던 불투수토지면적 비율과 도시공간에서 방출되는 열과의 정(+)의 상관관계와 부합되는 결과라 할 수 있다. 다만, 기존의 연구에서는 주·야간구분 없이 에너지배출량을 기반에 두어 설명하는 것이었다면, 본 연구는 주·야간 구분하여 모형추정을 하였고 불투수토지비율이 야간기온부분에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

한편, 실증모형에서 확인한 또 다른 사실은 제시된 불투수토지비율, 건축물높이, 건축물부피, 실질용적률 4가지 요인 중 불투수토지비율 요인이 다른 3가지 요인보다 주·야간 평균기온변화에 미치는 기여도(영향도)가 크다는 점이었다. 이는 통계적으로 4개의 변수 모두를 포함한 기준모형의 설명력이 그렇지 않은 모형보다는 설명력이 높은 것은 사실이지만, 불투수토지비율 변수만 포함한 부분모형의 설명력과 비교해도 큰 차이를 발견할 수 없었기 때문에 얻게 된 결론이다.

본 연구의 결과를 종합하자면 도시의 공간의 건조환경 증가와 자연공간 감소, 녹지공간 및 수변공간 훼손 등은 광주지역의 열환경 악화에 주요원인임을 알 수 있었다. 이러한 원인을 도출하기 위해 도시의 열환경 측정 및 예측모형을 구축하고 거기에서 얻게 된 결과의 특징을 정리하였다. 이러한 결과와 특징은 열환경 개선 등을 위한 대응방안 마련에 시사점이 클 것으로 생각한다. 특히, 최근 다양한 지자체에서 열섬 및 폭염에 대한 대응능력 제고를 위해 취약계층의 지원강화, 시민실천 강화, 시원한 도로 환경 조성, 물 순환 촉진 및 친수공간 조성 등 정책들을 제안하고 있는데 광주시도 이와 같은 정책을 도시공간 내 열환경이 악화하고 있는 취약지역과 연계 및 검토하여 더욱 더 실효적이고 체계적인 정책 발굴이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

광역도시의 열환경 연구는 장기간 관측되어야 하며 이 관측값을 데이터화하여 그 특징을 보다 면밀하게 검토하는 과정이 필요하다. 이를 통해 지역의 열환경 특징 등을 분석할 수 있을 것이며, 도시공간에 적절한 열환

경 조성을 위해 다양한 정책을 수립하고 그 효과를 극대화 할 수 있을 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서 활용된 3개년도의 실측데이터는 일부 한계를 가지고 있다고 판단된다. 보다 장기간 실측을 수행하고 그 결과를 활용한다면 더욱 정밀한 모델이 도출될 수 있었을 것으로 생각된다. 이를 위해서라도 지속적인 후속연구가 필요하다. 예를들어 친환경 도시 관리의 방안, 도시개발에 따른 열환경 변화 모니터링과 제어·관리 시스템 개발, 도시공원의 직접효과와 간접효과를 과학적 규명하는 열환경 관리 고도화 연구 등의 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Kim, S. O., Yeo, I. A., Han, K. M., Yee, J. J., and Yoon, S. H., Numerical Simulation on the Effect of the Land Coverage Change on the Urban Heat Budget, Proceedings of the Spring Meeting of the Solar Energy Society of Korea, Vol. 29, No. 1, pp. 174-180, 2009.
2. Oh, K. H. and Hong, J. J., The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect, Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design, Vol. 6, No. 1, pp. 47-63, 2005.
3. Gim, S. B. and Jeong, E. H., Study the way the wind introduced into the basis for sustainable urban construction, Daegu Gyeongbuk Development Institute, 2005.
4. Kim, S. J., Analysis of the cause of the Jeonju Heat Island phenomenon and establishment of reduction measures, Jeonbuk Green Environment Center, 2005.
5. Gwon, Y. S., Urban heat island reduction measures for the environment shown cod, Daegu Gyeongbuk Development Institute, 2015.
6. Park, K. Y., Lee, S. W., Shim, Y. J., and Hwang, H. Y., Analysis on the Mitigation Effects of Urban Heat Island through Creation of Water Space - A case study of Yeol-Mae village Apt in Daejeon's Noeun District, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 11, No. 5, pp. 13-28, 2011.
7. Cho, H. J. and Lim, J. H., The Effect of Urban Road Vegetation on a Decrease of Road Surface Temperature, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, Vol. 39, No. 3, pp. 107-116, 2011.
8. Kim, M. G., Kim, S. P., Kim, N. H., and Sohn, H. G., Urbanization and Urban Heat Island Analysis Using LANDSAT Imagery: Sejong City As a Case Study, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 4, pp. 1033-1041, 2014.
9. Kim, J. H. and Choi, J. H., Aanalysis the Structure of Heat Environment in Daegu Using Landsat-8, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 32, No. 4-1, pp. 327-333, 2014.
10. Hong, S. H., Cho, H. J., Kim M. K., and Sohn, H. G., Analysis of Urban Heat Island Effect Using Time Series of Landsat Images and Annual Temperature Cycle Model, Journal of the Korean society for geospatial information science, Vol. 23, No. 1, pp. 113-121, 2015.
11. Jeon, J. H. and Park, S. B., Understanding Urban Heat Island Effect in Gwangju by Temperature Record in Summer Season, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 33, No. 87, pp. 55-62, 2017.
12. Shin, D. H., A Study on the Institutionalization of Urban Planning for Urban Heat Island Mitigation, GwangJu Jeonnam Research Institute, 2017.
13. Myint, S. W., Brazel, A., Okin, G., and Buyantuyev, A. Combined effects of impervious surface and vegetation

- cover on air temperature variations in a rapidly expanding desert city. *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 47, No. 3, pp. 301-320. 2016.
14. Estoque, R. C., Murayama, Y., and Myint, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, Vol. 577, pp. 349-359. 2017.
 15. Henits, L., Mucsi, L., and Liska, C. M. Monitoring the changes in impervious surface ratio and urban heat island intensity between 1987 and 2011 in Szeged, Hungary. *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 189, No. 2, p. 86. 2017.
 16. Tsin, P. K., Knudby, A., Krayenhoff, E. S., Ho, H. C., Brauer, M., and Henderson, S. B. Microscale mobile monitoring of urban air temperature. *Urban Climate*, Vol. 18, pp. 58-72, 2016.
 17. Saaroni, H. and Ziv, B. Estimating the urban heat island contribution to urban and rural air temperature differences over complex terrain: application to an arid city. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 49, No. 10, pp. 2159-2166, 2010.
 18. Trusilova, K., Jung, M., Churkina, G., Karstens, U., Heimann, M., and Claussen, M., Urbanization impacts on the climate in Europe: Numerical experiments by the PSU – NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 47, No. 5, pp. 1442-1455, 2008.