

핫스팟 분석을 이용한 도시열섬 취약지 특성 분석 - 전주시를 대상으로 -

고영주* · 조기환**

*전북대학교 조경학과 박사과정 · **영남대학교 환경문제연구소 연구교수

Analysis of Areas Vulnerable to Urban Heat Island Using Hotspot Analysis - A Case Study in Jeonju City, Jeollabuk-do -

Ko, Young-Joo* · Cho, Ki-Hwan**

*Ph.D. Candidate, Dept. of Landscape Architecture Doctor's Course, Chonbuk National University

**Research Professor, Institute of Natural Sciences, Yeungnam University

ABSTRACT

Plans to mitigate overheating in urban areas requires the identification of the characteristics of the thermal environment of the city. The key information is the distribution of higher and lower temperatures (referred to as “hotspot” or “coldspot”, respectively) in the city. This study aims to identify the areas within Jeonju City that are suffering from increasing land surface temperatures (LST) and the factors linked to such this phenomenon. To identify the hot and cold spots, Local Moran's I and Getis-Ord Gi* were calculated for the LST based on 2017 images taken using the thermal band of the Landsat 8 satellite. Hotspot analysis revealed that hotspot regions, (the areas with a high concentration of Land Surface Temperature) are located in the old town area and in industrial districts. To figure out the factors linked to the hotspots, a correlation analysis, and a regression analysis taking into account environmental covariates including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and land cover. The values of NDVI showed that it had the strongest effect on the lowering LSTs. The results of this study are expected to provide directions for urban thermal environment designing and policy development to mitigate the urban heat island effect in the future.

Key Words: Jeonju City Hotspot Analysis, Urban Heat Island Effect, Land Surface Temperature

국문초록

도시열섬 완화를 위한 계획을 세울 때 가장 먼저 해결해야 할 문제는 도시 내 어느 곳이 열 환경에 가장 취약한 곳인지를 파악하는 것이다. 즉, 도시 내 온도가 상대적으로 더 높은 지역과 낮은 지역(핫스팟과 콜드스팟)이 존재하는지 여부를 파악해야 한다. 본 연구는 전주시를 공간적 범위로 도시열섬의 공간적 밀집지역을 도출하고, 밀집요인을 알아보는 데 목적이 있다. 먼저 도시열섬이 밀집해서 발생하는 지역을 알아보기 위해 2017년 Landsat 8 위성영상을 활용해 지

Corresponding author: Young-Joo Ko, Ph.D. Candidate, Dept. of Landscape Architecture Doctor's Course, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea, Tel.: +82-63-270-2594, E-mail: sesokdosi@gmail.com

표면온도(Land Surface Temperature : LST)를 추출한 뒤 국지적 Moran's I 분석과 Getis-Ord Gi* 분석을 통해 핫스팟 분석을 실시하였다. 그 결과, 통계적으로 유의한 밀집지역은 전주시 원도심이라 불리는 중심부와 공업지역으로 나타났다. 또한 높은 LST를 유발하는 요인을 알아보고자 토지피복도 중 시가화·건조지역의 상세분류로 상관분석과 회귀분석을 진행한 결과, 주거지역의 단독주거시설, 공업지역의 공업시설, 상업지역의 상업·업무시설이 LST를 높이는 요인으로, 별도의 항목이 존재하지 않는 녹지율을 대신해 변수로 선택한 NDVI가 LST를 낮추는 요인으로 작용하고 있었다. 본 연구의 결과는 도시열섬 저감 정책이 어느 곳을 중심으로 이루어져야 하는지, 가장 먼저 고려해야 할 요인은 무엇인지를 판단하고자 할 때 근거가 된다는 점에서 의의를 찾을 수 있다.

주제어: 전주시, 핫스팟 분석, 도시열섬 현상, 지표면온도

1. 서론

급속한 도시 팽창과 도시로의 인구 집중은 도시환경에 많은 변화를 일으키고 있다. 도시화가 초래한 환경 변화의 총체적 산물로써 최근 가장 주목받고 있는 것 중 하나가 도시열섬(Urban Heat Island: UHI) 현상이다(Lee *et al.*, 2017). 도시지역의 온도가 그 주변 지역에 비해 높아지는 현상을 가리키는 도시열섬 현상은 자연 녹지에 비해 알베도가 낮아 많은 양의 태양복사 에너지를 흡수해 지표 부근에 열에너지를 누적시키고, 함수 및 수분 투과기능이 없어 하부의 자연토양에서 발생하는 수분증발을 막고, 물 순환을 차단해 상단의 공기를 건조하게 만드는 콘크리트, 아스팔트와 같은 인공적인 토지피복재질이 차지하는 비율이 월등히 높아 나타나는 현상(Oke, 1988; Ackerman, 1985; Akbari *et al.*, 1997)이다. 거기에 도시산업시설에서 배출되는 대기오염물질, 자동차 배기가스, 냉난방기에 의한 인공열 등 인간의 활동에 의한 대기오염으로 온실효과가 증가하고, 바람길을 고려하지 않은 도시 구조물의 증가 등도 도시열섬 현상을 발생 혹은 악화시키는 원인으로 꼽을 수 있다.

이러한 도시열섬 현상은 높은 온도 그 자체로도 도시민의 건강에 악영향을 주지만, 물과 냉방 관련 에너지 소비를 증가시키고, 광화학 스모그와 같은 유해한 대기오염물질의 형성에 유리한 환경을 만들 수 있어 도시민의 건강에 대한 잠재적 위협성을 증가시키며(Zhou *et al.*, 2017), '열파(heat wave)'라고도 불리는 폭염(extreme heat events)의 경우 강도가 높고, 지속시간이 길어질수록 사망률 증가에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Alexander and Arblaster, 2009; Anderson and Bell, 2011; Laaidi *et al.*, 2012). 더욱이 전 세계적으로 극단적 기상현상을 일으키고, 전 지구적 또는 국지적으로 지속적이고 빈번하게 관찰되는 기후변화의 영향으로 폭염을 포함한 도시열섬 현상이 더욱 강력해질 것으로 예상되고 있어(IPCC, 2014), 도시 열 환경을 정확히 분석하여 취약지역을 파악하고, 관련 대책을 세우는 일이 중요하다.

이를 위하여 세계 각국에서 도시열섬의 원인을 규명하고, 도시열섬 취약지역을 선정하기 위한 연구와 도시열섬을 저감시

키기 위한 관련 연구가 다양하게 수행되고 있다. 도시열섬의 원인과 관련해 토지피복 및 이용에 따른 차이점 등을 분석하기 위한 연구는 보통 위성영상을 활용한 연구와 관측데이터를 활용한 연구로 나누어진다. 이중 관측데이터 활용 연구는 연구지역의 기온 및 풍속, 습도 등을 직접 측정하거나, 자동기상관측시스템(Automatic Weather System: AWS) 자료를 이용하는 데, 전자는 관측지점이 제한적인데다 주변 미기후의 영향을 많이 받는다는 점에서, 후자는 최대 행정구역 단위로 설치되는 공간적 한계로 도시 전체의 열섬현상을 정밀하게 측정하지 못한다는 단점을 갖고 있다(Lee *et al.*, 2017). 반면 원격탐사를 통한 위성영상을 활용한 연구는 외부 요인에 영향을 적게 받으며, 공간의 제약 없이 원하는 대상지의 균일한 측정값을 얻을 수 있어 지표면온도(Land Surface Temperature: LST)뿐만 아니라, 식물 존재 유무 및 밀도를 간접적으로 측정하는데 이용하는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI), 정규시가화지수(Normalized Difference Built-up Index: NDBI) 등 토지피복과 관련된 분광지수 산출 등을 통해 다양한 분석이 가능해 이를 통한 연구가 널리 진행되고 있다.

이와 관련된 연구는 국내에서도 다양하게 진행되었다. Lee *et al.*(2010)은 Landsat 5 TM 영상과 컬러 항공사진을 통한 토지이용 및 토지피복 형태 분류를 통해 창원시 도시지역 토지이용 유형에 따른 지표면온도의 차이를 규명하였으며, Kim and Yeom(2012)은 일산시를 대상으로 공간해상도가 다른 MODIS LST Level-2 product와 Landsat ETM+, RapidEye 위성영상을 사용해 도시 지표면온도와 토지피복과의 관계를 알아보았고, Jeong(2013)은 Landsat TM, ETM+ 위성영상을 이용해 도심의 토지피복 변화가 서울시의 지표온도에 미치는 영향을 분석하였으며, Kim *et al.*(2014)은 세종특별자치시를 연구대상지로 선정해 Landsat 열적외선 영상을 이용해 지표면온도를 추정하고, NDVI와 NDBI를 활용한 UI(Urban Index)를 통해 UI와 열섬현상과의 상관성을 제시하였다. 또한 Kim *et al.*(2015)은 대구시 주거지역을 대상으로 NDVI, NDBI, NDBal 등의 정규화 지수를 기반으로 열섬취약지역의 물리적 환경 특징을 도출하였으며, Kong *et al.*(2016)은 인천시를, Song and

Park(2019)은 김해시를 연구대상지로 선정해 위성영상을 이용해 해당 도시의 피복유형 특성과 지표면온도와의 상관성을 분석하였다.

반면, Oh and Hong(2005)은 Landsat 영상과 더불어 AWS 자료를 활용해 공원과 녹지 규모 및 식생특성에 따른 기온저감 효과를 분석하였고, AWS 1km 반경 내의 토지이용 및 토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향을 연구한 Cha *et al.*(2009)는 녹지 및 오픈스페이스 면적은 기온저감에, 교통시설지 및 주택지 면적은 기온상승에 기여하는 것을 확인하였으며, Kim *et al.*(2011)은 AWS 자료를 통해 날씨에 따른 서울의 도시열섬 특성을 분석하고, 도시설계적 대안을 제시하였다.

이전에 이루어진 연구결과를 보면 도시의 기온은 건물이나 도로 등 불투수면이 많은 토지이용 및 토지피복 상태에서 높아지고, 반대로 녹지가 많거나 가까울 경우 낮아지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 하지만 온도와 토지이용 및 토지피복 요소 사이의 상관관계 위주의 분석에 그치거나, 위치가 속성에 영향을 미치는 공간자료로서의 특성을 반영하기보다 공간적 특성을 동일하게 취급하는 사례가 적지 않았다.

따라서 본 연구에서는 분지 지형의 특성을 갖고 있는 전라북도 전주시를 대상으로 공간의 특성뿐만 아니라, 인접 지역과의 연계 및 그로부터 일어나는 현상에 대해 영향을 받는 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 고려해 높은 온도가 집중되는 지역이 어디인지, 그 요인이 무엇인지를 알아보고자 한다. 이를 위해 Landsat 8 영상을 이용하여 지표면온도를 측정하고, 온도가 높은 지역과 낮은 지역이 집중되는 핫스팟을 파악한 뒤, 도시열섬 현상을 일으키는 환경 특성 분석을 목표로 하였다.

II. 연구범위 및 연구자료

1. 공간적 범위

연구의 공간적 범위는 전라북도 전주시이다(Figure 1 참조). 전주시는 약 65만 명이 거주하는 도시로 산지가 도시 주변을

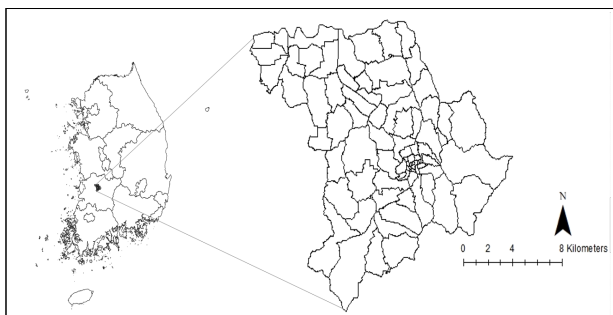


Figure 1. Location of Jeonju City, Korea

둘러싸고 있는 분지 지형 특성을 가지고 있다. 광역대도시 범주에는 속하지 않지만 수십 년 동안 도시 개발 과정을 겪으며 발전하고 있는 전주시는 중앙부에 구시가지가 위치하며, 서쪽과 북쪽에 여러 신시가지가, 외곽 인접해서는 혁신도시가 개발되는 등 일종의 도시 확장이 진행되고 있는 중이다. 2017년을 기준으로 연구 대상지의 총 면적은 약 205.53km², 연평균 기온 13.3℃, 연강수량 1,313.1mm, 행정구역은 2구 33개 행정동 및 83개 법정동으로 구성되어 있으며, 총 세대수는 26만683세대, 주민등록 인구수는 65만6천117명(Jeonju City, 2018)이다. 본 연구에서는 전주시의 83개 법정동을 기준으로 각 동별 온도의 분포를 확인하였다.

2. 시간적 범위

본 연구는 도시구조를 반영해 도시열섬 현상을 파악하기 위해 2017년을 시간적 범위로 하여 전주시의 온도 특성을 살펴보고자 하였다. 이 중 위성영상(Landsat 8)의 상태가 양호하고 운량이 적어 셀의 손실이 가장 적은 4월 13일, 6월 16일, 8월 3일, 10월 22일을 선택하였다.

3. 사용데이터

본 연구는 USGS(United States Geological Survey)에서 제공하는 Landsat 8 OLI/TIRS 영상을 활용해 LST와 NDVI를 추출하였다. 정사보정이 이루어진 자료를 이용했으며, 사용한 밴드는 LST 추출의 경우 밴드 10 열적외선(thermal Infrared), NDVI 추출에는 적색(red), 근적외선(near infrared: NIR)인 밴드 4, 5를 사용하였다.

GIS 자료로는 국가공간정보포털(nsdi.go.kr)을 통해 얻은 행정구역_읍면동(법정동) 경계 및 수치지형도 v2.0과 환경공간정보서비스(egis.me.go.kr)를 통해 얻은 토지피복지도 등을 사용하였다. GIS 분석 시 벡터자료는 벡터공간연산을 사용하였고, 벡터자료와 래스터자료 정보를 결합해서 분석해야 할 경우, 벡터자료를 래스터자료로 변환하여 연산을 실시하였다. 사용한 GIS 자료 중 토지피복지도는 공간해상도 1m급의 세분류 토지피복지도에서 연구지역을 추출, 활용하였다.

III. 연구방법

본 연구는 전주시 온도분포가 어떤 특성을 갖는지를 분석하는 것을 목적으로 한다. 따라서 연구의 방법은 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째는 위성영상을 활용해 전주시의 LST를 추출하는 것이고, 두 번째는 공간적 자기상관성을 바탕으로 전주시 LST 분포 현황을 살펴 핫스팟을 구분한다. 그리고 세 번째는 LST를 토지피복도, 수치지형도 v2.0 등과 비교해 전주

시 도시열섬을 일으키는 원인 및 물리적 환경 특성을 파악하고자 하였다.

1. LST 추출

1) LST(Land Surface Temperature)

LST 추출은 USGS에서 제공한 Landsat 8 영상이 가진 두 개의 열적외선(TIR) 밴드(10번과 11번) 중 11번보다 관측 신뢰도가 높은 10번 밴드를 이용했으며, 계산은 ArcGIS의 기본 툴(tool box) 중 'raster calculator'를 이용해 계산하였다(Park *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014; Peng *et al.*, 2018).

LST 추출을 위한 첫 번째 단계는 LANDSAT 8 Data Users Handbook version 5.0(NASA, 2019)에 제시된 공식을 사용해 대기상층부의 센서 복사량(L_λ)을 구하는 것이다(식 1 참조).

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (\text{식 1})$$

이때, L_λ = 대기상층부(Top of Atmosphere: TOA)에서의 복사량(Watts/(m²×srad×μm)), M_L , A_L = 메타파일에서 제공되는 계수, Q_{cal} = 영상 픽셀 값(Digital Number: DN)이다.

두 번째 단계는 산출된 센서 복사량 값으로 위성에서의 밝기온도(At Satellite Brightness Temperature: BT)를 계산하는 것이다.

$$BT = \frac{K_2}{L_n \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} - 273.15 \quad (\text{식 2})$$

여기에서 K_1 , K_2 는 열 밴드 계수이며, 관측 온도를 섭씨온도(°C)로 바꿔주기 위해 273.15를 감하였다.

세 번째는 방사를 보정으로 본 연구에서는 NDVI를 기반으로 한 방사율 추출방법을 사용하였기에 Landsat 8의 4번 밴드(Red)와 5번 밴드(NIR)를 활용해 NDVI 값을 계산하였다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{식 3})$$

네 번째 단계는 NDVI의 최대값($NDVI_{max}$)과 최소값($NDVI_{min}$)을 이용해 식생비율(Proportion of Vegetation: P_v)을 구하는 것이다.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (\text{식 4})$$

다섯 번째는 식생비율(P_v)을 활용해 열적외선 영상의 지

표방사율(Land Surface Emissivity: ϵ)을 계산한다.

$$\epsilon = 0.004 \times P_v + 0.986 \quad (\text{식 5})$$

여섯 번째 단계는 LST 계산이다. 이때, λ 는 방출된 열의 길이(wavelength of emitted radiance)이며, ρ 는 식 7을 통해 구할 수 있다.

$$LST = \frac{BT}{1 + \left[\frac{\lambda BT}{\rho} \right] \times \ln(\epsilon)} \quad (\text{식 6})$$

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mk \quad (\text{식 7})$$

여기서 볼츠만상수(Boltzmann constant) $\sigma = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K, 플랑크상수(Planck's constant) $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js, 그리고 빛의 속도(Velocity of light) $c = 2.998 \times 10^8$ m/s이다.

2. 공간적 군집패턴 분석

공간 데이터의 특징 중 하나는 공간적 자기상관성의 존재이다. 즉, 해당 지역과 인접 지역의 공간 데이터 사이에 유사성이 있는지를 확인하고, 이를 통해 특정 공간 현상이 집중 또는 분산되어 있는지를 패턴으로 파악해야 한다(Shin and Lee, 2019). 흔히 공간적 군집(cluster)을 핫스팟(hotspot)이라 하며, 하나의 고정된 정의 없이 공간을 연구하는 여러 분야에서 주변보다 높은 값(higher value)을 가진 곳(point)이나 지역(region or cluster)을 설명하기 위해 사용되고 있다. 도시열섬에 중점을 둔 본 연구에서는 다른 지역보다 상대적으로 높은 온도를 나타내는 지역으로 정의하였다.

1) Local Moran's I

전주시의 온도 분포를 살펴본 본 연구에서는 핫스팟을 도출하는데 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째는 특정지역과 그 주변을 비교해 주변과 뚜렷한 차이가 나는 지역을 찾는 공간자기상관 분석인 LISA(Local Indicator of Spatial Association)로써 국지적 모란지수(Local Moran's I)를 사용해 다음과 같이 계산하였다.

$$I_i = \frac{(Z_i - \bar{Z})}{S_z^2} \sum_{j=1}^n [w_{ij}(Z_j - \bar{Z})] \quad (\text{식 8})$$

여기에서, S_z^2 는 분산, w_{ij} 는 해당 지역의 속성 변수, Z 는 공간가중치 행렬을 의미한다. 국지적 모란지수 I_i 는 인접 지역(Z_j)과 해당 지역(Z_i)의 차이에 대한 표준화 값이며, 그 크기

는 인접 지역과 해당 지역의 유사성 혹은 차이성을 나타낸다. LISA는 공간자기상관성 정도를 보여주는 클러스터 맵(cluster map)으로 표현 가능한데, 이때 공간적 연관성이 존재하는 유형은 높은 지수끼리 인접하는 HH(High-High), 낮은 지수끼리 인접하는 LL(Low-Low), 높고 낮은 지수들이 인접한 HL(High-Low), LH(Low-High) 등 네 가지로 구분된다(Anselin, 1995; Lee and Shim, 2011).

2) Getis-Ord G_i^*

본 연구에서 핫스팟을 도출하는 데 활용한 두 번째 방법은 일정한 범위 내 인접 지역들과의 개별적 군집경향을 검정하는 Getis-Ord G_i^* 이다. 각각의 군집 정도를 보여주는 Getis-Ord G_i^* 는 객체의 z-score를 계산한 값으로, 통계적으로 의미를 부여하기 위해서는 해당 지역의 값이 높을 뿐 아니라, 값이 높은 인접 지역으로 둘러싸여 있어야 한다. 따라서 해당 지역과 인접 지역의 온도가 높은 군집은 핫스팟, 반대로 낮은 군집은 콜드스팟(cold spot)을 의미한다(Lee and Seong, 2016; Getis and Ord, 1992; Chae *et al.*, 2014; McCoy *et al.*, 2018).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{j,j}}{S \sqrt{\left[\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{j,j} \right)^2}{n-1} \right]}}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (\text{식 9})$$

여기서, i 는 분석의 공간단위(unit of analysis)이고, x_i , x_j 는 i 또는 j 지역의 속성 데이터, $w_{i,j}$ 는 i 와 j 지역간 공간가중치(spatial weight), n 은 분석 공간단위의 수이다.

3. 통계분석

분석은 R 프로그램(version 4.0)을 사용해 LST와 토지피복 유형간의 연관성을 알아보기 위하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

1) 변수의 선정

본 연구는 전주시의 높은 LST가 무엇 때문에 발생하는지를 알아보기 위한 것이므로 법정동별로 산출한 평균 LST를 상관분석 및 회귀분석의 종속변수로 이용하였다.

독립변수에는 전주시 토지피복도 세분류 41개 항목 중 시가화·건조지역에 해당하는 단독주거시설, 공동주거시설, 공업시

설, 상업업무시설, 혼합지역, 문화체육휴양시설, 철도, 도로 등의 항목을 넣어 분석을 시도하였고, 이와 별도로 수치지형도 v2.0에서 추출한 건물면적, 건물높이(층수×3m)도 변수에 포함시켰다. 시가화·건조지역에 별도의 녹지관련 항목이 없어 Landsat 8 영상에서 추출한 NDVI를 녹지 대용 독립변수로 이용하였다(Table 1 참조).

IV. 결과 및 고찰

1. 전주시 LST 분포 현황

Landsat 8 영상을 이용해 전주시의 4월 13일, 6월 16일, 8월 3일, 10월 22일 LST를 추출하였고, 그 결과는 Figure 2와 Table 2에 나타나 있으며, Figure 3은 법정동별로 평균을 낸 LST이다. 참고로 기상청 날씨누리(weather.go.kr)에서 확인한

Table 1. Measurement items for variables in this study

	Variable	Source	Scale
Dependence variable	Land surface temperature(LST)	Landsat image (USGS)	℃
Independence variable	Single housing facility	Environmental geographic information service (egis.me.go.kr)	%
	Joint housing facility		%
	Industry establishment		%
	Commercial and business facility		%
	Combined landuse zone		%
	Culture, sports and rest facility		%
	Railroad area		%
	Road area		%
	Transportation communication facility		%
	Environmental foundational facility		%
	Educational administrative facilities		%
	Other public facilities		%
	Landuse map - small division		
Independence variable	Large-scale digital topographic map	Korea national spatial data infrastructure portal (data.nsdi.go.kr)	%
	Building area		m
	Building height		
	Normalized difference vegetation index(NDVI)	Landsat image (USGS)	

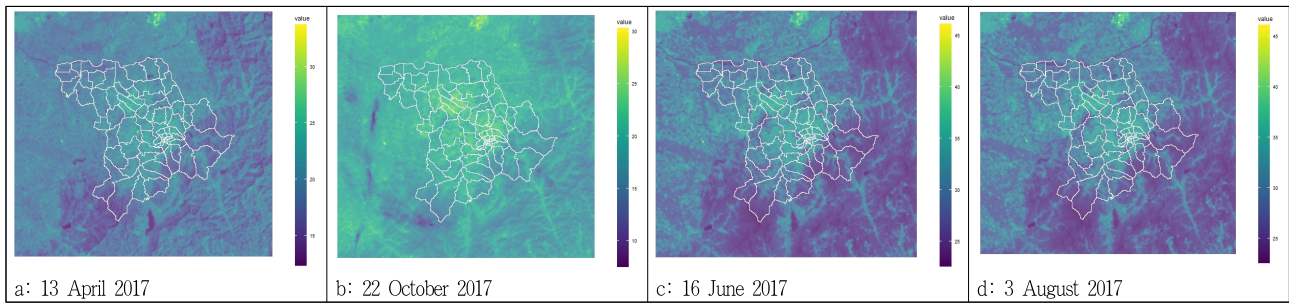


Figure 2. Distribution of land surface temperature(LST)

Table 2. Elementary statistics of land surface temperature

Date acquired	Scene center time	Mean land surface temperature(°C)	Max land surface temperature(°C)	Min land surface temperature(°C)	Standard division (°C)	Median temperature(°C)
13 April, 2017	11:04:45	20.81	24.37	16.74	2.04	20.94
16 June 2017	11:04:58	31.49	35.85	25.07	3.15	32.02
3 August, 2017	11:05:14	29.99	35.63	24.29	3.04	30.08
22 October, 2017	11:05:34	21.11	24.74	16.37	1.82	21.05

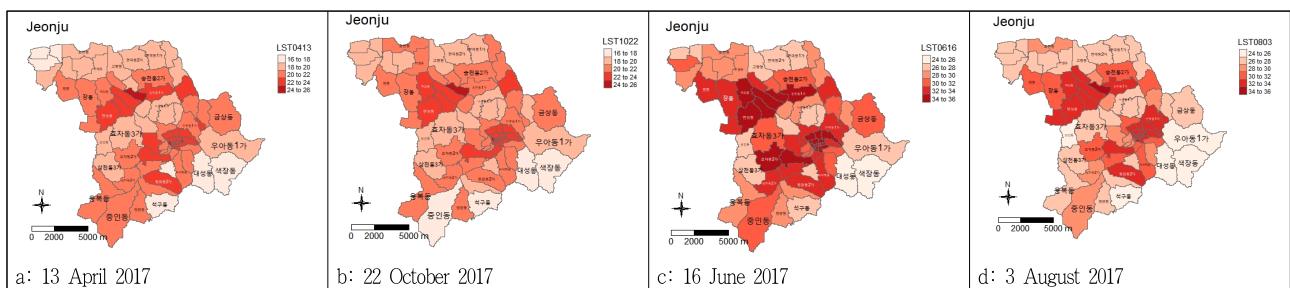


Figure 3. Mean land surface temperatures of each district

Table 3. Daily weather condition in Jeonju City

Date	Temperature(°C)	Wind velocity(km/h)	Humidity(%)	Mean cloud(%)
13 April, 2017	16.4	5.8	45	0.0
16 June, 2017	27.3	4.0	47	5.0
3 August, 2017	32.2	4.3	63	1.6
22 October, 2017	20.3	13.0	48	0.1

Landsat 8 촬영 날짜 및 시간의 전주시 기상자료는 Table 3과 같다.

봄, 가을에 해당하는 4월 13일과 10월 22일 영상으로 추출한 LST는 각각 최저온도 16.74°C, 16.37°C, 최고온도는 24.37°C, 24.74°C, 평균온도 20.81°C, 21.11°C, 표준편차 2.04°C, 1.82°C이다. 도시열섬 현상이 본격적으로 나타나는 여름철에 해당하는 6월 16일과 8월 3일 평균온도는 31.49°C, 29.99°C이며, 최저온도는 25.07°C, 24.29°C, 최고온도는 35.85°C, 35.63°C, 표준편차는 각각 3.15°C와 3.04°C로 봄, 가을보다 그 폭이 컸다. 폭염의 기준이라 할 수 있는 33°C 이상은 6월 16일은 33개, 8월 3일은 23개 법정동에서 나타났다. 6월 16일과 8월 3일 모두 33°C 이상이

있던 곳은 중앙동 1, 2, 3, 4가, 경원동 3가, 풍남동 1, 2, 3가, 전동, 전동3가, 다가동 1, 3, 4가, 고사동, 태평동, 중노송동, 서노송동, 팔복동 1, 2, 3가, 송천동 1가, 동산동, 여의동 등 23개 동으로 주로 구도심이라 할 수 있는 지역에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 반면, 산지와 접해 있는 동남부와 논과 밭이 많은 부분을 차지하는 북쪽과 남동쪽은 상대적으로 낮은 온도가 물려있는 편이다.

2. 전주시의 핫스팟 밀집 지역

위치를 기반으로 한 데이터의 특이지역을 파악하고, 공간분

포의 이질성 정도를 평가하는 알맞은 도구(Ju *et al.*, 2017)로써 국지적 Moran's I를 활용해 전주시 LST를 측정해 보았다. 그 결과는 Figure 4에서 보는 것과 같이 공간적 자기상관성이 높은 지역, 즉 상대적으로 높은 LST를 가진 법정동이 밀집한 HH(High-High) 지역과 낮은 LST를 가진 법정동이 모인 LL(Low-Low) 지역이 확연하게 구분되어 있음을 볼 수 있다. HH와 LL은 유사한 값의 공간적 군집화를 의미하는 양의 공간 자기상관을 가리키며, LH, HL 군집은 이상 지역(outlier) 혹은 고립지역으로 볼 수 있고, 이 경우 공간적으로 음의 연관성을 가진다고 볼 수 있다.

국지적 Moran's I 분석의 결과를 보면 4월 13일과 6월 16일, 8월 3일, 10월 22일 4번 모두 HH지역으로 분류된 동은 19개 법정동으로 대부분 완산구에 위치하며, 행정동으로 나누면 노송동과 중앙동, 풍남동 일대에 집중된 것으로 나타났다. 또한 가장 많은 법정동이 HH지역으로 분류된 8월 3일의 경우, 덕진구의 팔복동 1가, 팔복동 2가, 여의도동, 남노송동 등이 포함되었고, 이중 남노송동은 10월 22일을 제외하고 3회 HH지역으로

분류되었다. 결과적으로 계절별로 3~4개 동의 차이가 있지만 명확하게 LST가 높은 지역이 공간적으로 밀집되어 분포한다는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 보면 전주시 LST의 HH지역으로 분류된 곳은 주로 전주시 중심부라 할 수 있는 구도심이라 불리는 지역이며, 반대로 LL지역의 경우 전주시 외곽에 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

G_i^* z-score 기준, 신뢰도 95% 이상으로 분류한 핫스팟 분석도 유사한 결과를 보여준다(Figure 5 참조). 4월 13일과 6월 16일, 8월 3일, 10월 22일 모두 핫스팟으로 분류된 동은 18개 법정동으로 국지적 Moran's I 분석 결과와 수치상으로는 유사하나, 태평동과 다가동 4가, 남노송동 등에서 미세한 차이가 있었다.

3. 전주시 핫스팟 밀집 요인

1) LST와 토지이용 유형별 상관분석 및 선형회귀분석

법정동별 평균 LST와 토지이용 유형별 Pearson 상관관계와 선형회귀관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 통계적으로 유

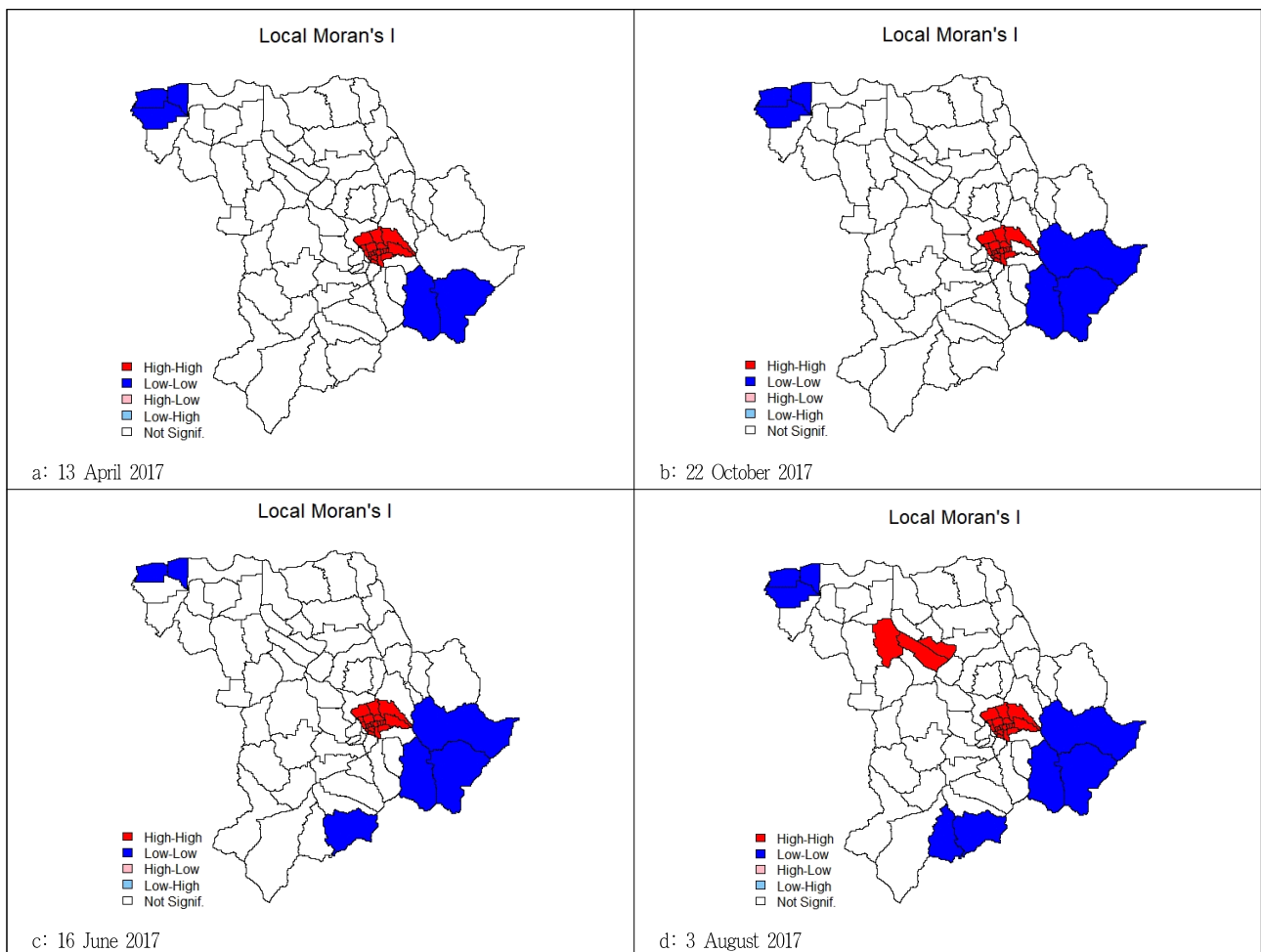


Figure 4. Local Moran's I of each district

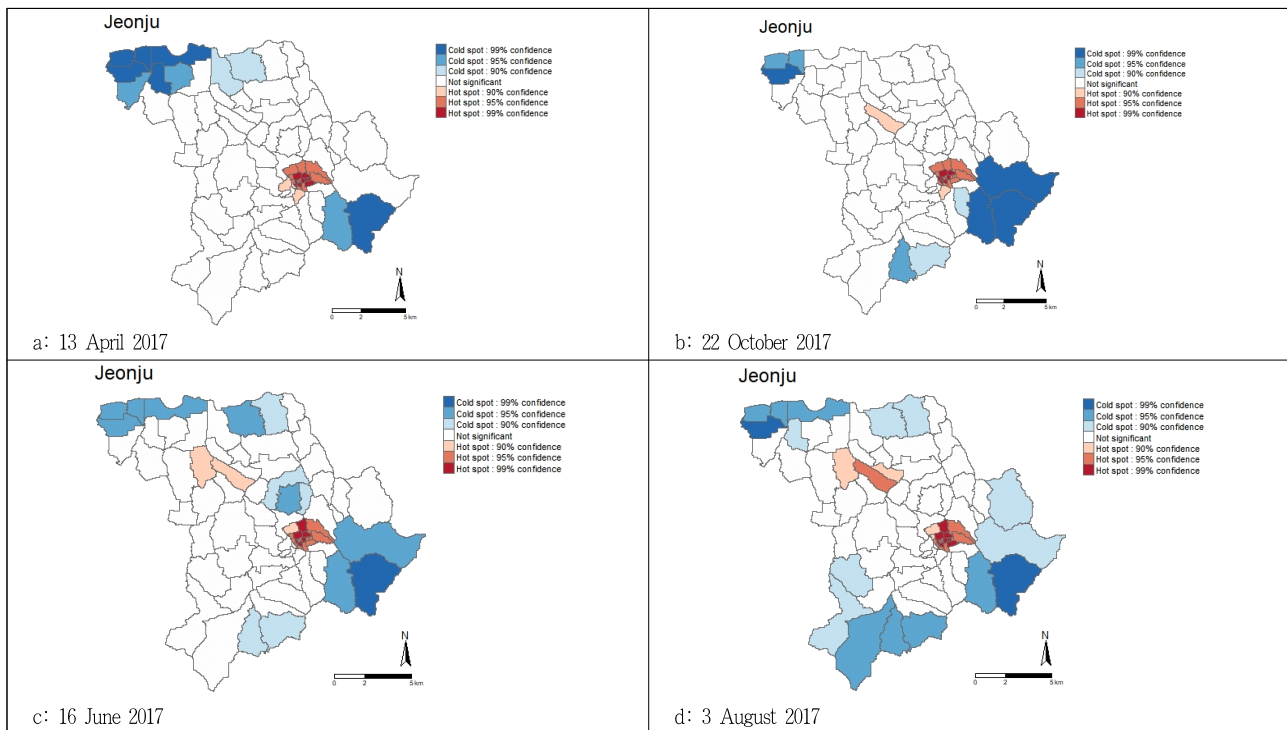
Figure 5. Getis - Ord G_i^* of each district

Table 4. Pearson's correlation and simple linear regression analysis result by each land use map

	Land use type	Correlation coefficient				Coefficient of determination (Adjusted R^2)			
		13 April	16 June	3 August	22 October	13 April	16 June	3 August	22 October
Small division	Single housing facility	0.509***	0.442***	0.469***	0.488***	0.250***	0.185***	0.210***	0.229***
	Industry establishment			0.236*				0.032*	
	Commercial and business facility	0.579***	0.572***	0.601***	0.596***	0.327***	0.319***	0.353***	0.348***
	Road area	0.587***	0.580***	0.627***	0.571***	0.337***	0.328***	0.386***	0.317***
	Other public facilities	0.286**	0.312**	0.314**	0.334**	0.070**	0.086**	0.087**	0.101**
Digital topographic map	Building area	0.695***	0.656***	0.707***	0.683***	0.476***	0.423***	0.494***	0.460***
	Building height	0.291**	0.328**	0.343**	0.239*	0.074**	0.096**	0.107**	0.031*
	NDVI	-0.479***	-0.634***	-0.715***	-0.543***	0.220***	0.395***	0.505***	0.286***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

의한 범위에서 법정동별 LST와 상관관계가 있는 변수는 4월 13일, 6월 16일, 8월 3일, 10월 22일 모두 Landsat 8 영상에서 추출한 NDVI, 토지피복지도로 추출한 도로(road area), 상업·업무시설(commercial and business facility), 단독주거시설(single housing facility), 기타 공공시설(other public facilities)인 것으로 나타났으며, 8월 3일에는 공업시설(industry establishment)도 유의하였다. 수치지형도 v2.0에서 추출한 건물면적(building area), 건물높이(building height) 등도 모두 유의한 변수로 나타났다(Figure 6 참조), 선형회귀분석의 결과도 이와 같았다.

분석결과를 살펴보면 LST에 가장 큰 영향을 주는 변수는 전주시 전체 면적의 약 0.074%를 차지하고 있는 건물의 면적

으로, 상관계수가 0.707~0.656으로 가장 강력한 양의 상관관계를 보여주었다. 전주시 전체 면적의 약 14.2%를 차지하고 있는 도로의 면적은 상관계수가 0.627~0.571로 건물의 면적 다음으로 높은 상관관계를 보였으며, 전체 면적의 3.926%인 상업·업무시설의 상관계수는 0.601~0.572, 전체 면적의 2.949%를 차지하고 있으며, 0.509~0.442의 상관계수를 기록한 단독주거시설 역시 비교적 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 이보다 낮은 상관계수를 보여준 변수로는 건물높이와 전주시 면적의 0.009%를 차지하고 있는 기타 공공시설이 각각 0.343~0.236, 0.334~0.286의 상관계수를 나타내었다.

여러 연구의 결과(Park *et al.*, 2006; Quan and Lee, 2009;

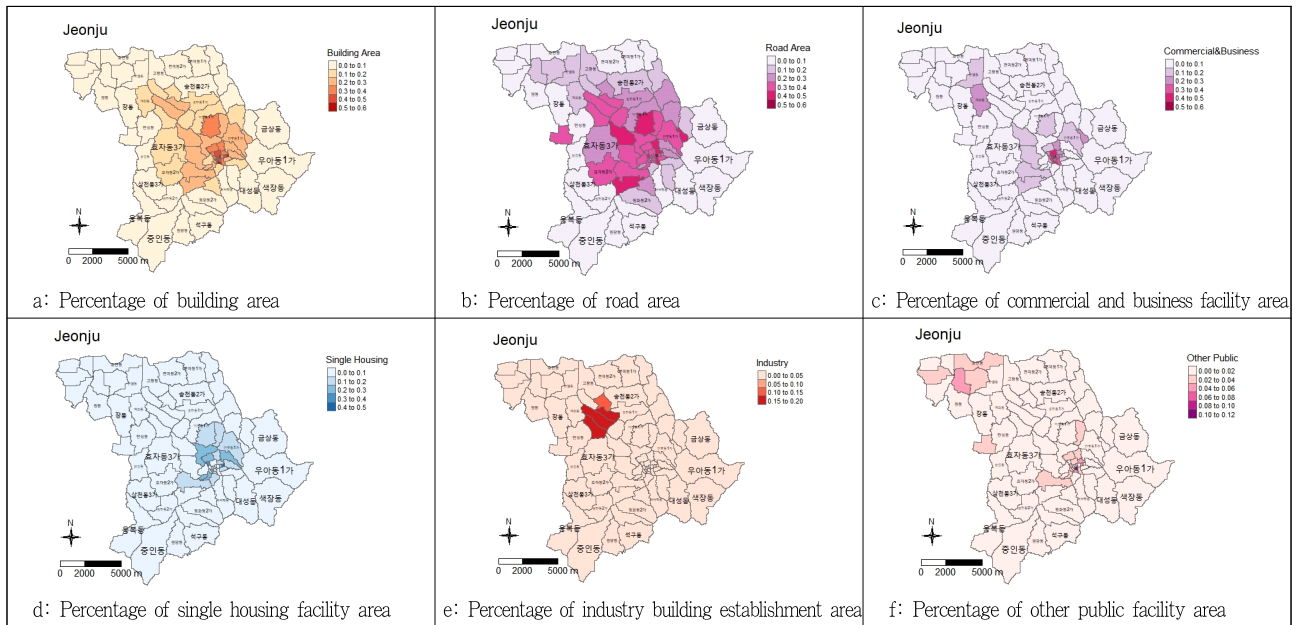


Figure 6. Percentage of land use type of each district

Kim and Yeom, 2012)로 알려진 것과 같이 NDVI는 LST와 음의 상관관계를 갖고 있어 도시열섬 현상을 완화시키는 역할을 하고 있음을 다시 한 번 확인하였고, 식생분포와 밀도에 따라 NDVI 값이 달라지는 만큼 그 효과는 여름철인 8월과 6월 가장 크게 나타남을 알 수 있었다(Figure 7 참조). 한편, 단순 선형 회귀분석에서 결정계수(Adjusted R^2) 순위는 상관계수가 높은 순서와 유사했다.

다중선형회귀모형으로 분석한 결과, LST에 영향을 미치는 독립변수들은 주거지역의 단독주거시설, 공업지역의 공업시설, 상업지역의 상업업무시설, NDVI 등으로 나타났다. 계절에 따라 다소 상이하나, 단독주거시설 면적 비율이 1% 증가할 경우 LST가 6.305~9.376% 증가하며, 공업시설 면적 비율과 상업업무시설 면적비율의 경우 각각 1% 증가할 때 LST가 10.77~18.40%, 5.0~7.69% 증가하는 것으로 측정돼 공업시설 면적 비율이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보이며, 녹지면적 대신 독립변수로 활용한 NDVI가 1% 증가할 경우 LST가 6.06~10.43% 줄어드는

것으로 나타났다(Table 5 참조).

2) 핫스팟 분석

도시 내부에 핫스팟을 확인하는 것은 도시열섬 현상을 완화하기 위한 목표를 설정하고, 이를 구현하는데 필요한 단계 중 하나이다. 본 연구에서는 도시열섬에 취약한 물리적 환경을 지닌 곳을 파악하기 위해 법정동별로 평균을 낸 LST에 대해 공간적 자기상관성 척도인 국지적 Moran's I와 Getis-Ord G_i^* 를 산출하였고, 그 결과 통계적으로 유의한 수준의 자기상관성 군집인 핫스팟, 콜드스팟을 발견하였다(Table 6 참조).

Figure 4에서 확인할 수 있는 국지적 Moran's I의 경우, 유의미한 p -value(<0.05)를 나타낸 법정동에 핫스팟과 콜드스팟이 존재하며, Figure 5에서 확인할 수 있는 Getis-Ord G_i^* 는 z -score 절대값이 2.58 이상일 때 99% 신뢰구간(confidence)에서 유의미했으며, 절대값이 2.58~1.96일 때는 95% 신뢰구간에서, 절대값이 1.96~1.65일 때는 90% 신뢰구간에서 각각 유의미했다.

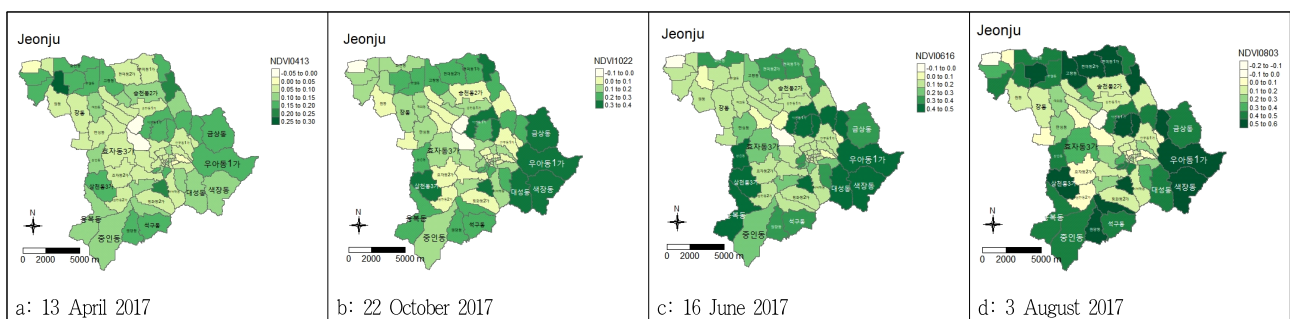


Figure 7. Mean NDVI of each district

Table 5. Results of multiple linear regression analysis

	Coefficient	Standard error	t-value	AIC	Adjusted r^2
Model 1 : 13 April	20.512	0.474	43.235****	62.935	0.518****
Single housing facility	6.901	1.823	3.785****	74.932	
Industry establishment	11.449	4.463	2.566**	67.660	
Commercial and business facility	5.918	1.280	4.625****	81.047	
NDVI	-9.243	3.185	-2.902***	69.443	
Model 2 : 22 October	20.928	0.330	63.335****	30.740	0.589****
Single housing facility	6.305	1.475	4.274***	46.206	
Industry establishment	10.774	3.705	2.908**	37.281	
Commercial and business facility	5.004	1.078	4.642****	48.988	
NDVI	-6.058	1.391	-4.356****	46.809	
Model 3 : 16 June	30.538	1.008	30.312****	119.74	0.603****
Single housing facility	9.376	2.574	3.642***	130.93	
Industry establishment	17.452	6.443	2.709**	125.29	
Commercial and business facility	6.292	1.991	3.160***	127.86	
Building height	0.316	0.176	1.780*	121.15	
NDVI	-9.864	1.857	-5.312****	143.65	
Model 4 : 3 August	30.738	0.509	60.445****	91.58	0.693****
Single housing facility	8.536	2.140	3.989****	104.988	
Industry establishment	18.401	5.336	3.448****	101.353	
Commercial and business facility	6.749	1.602	4.212****	106.587	
NDVI	-8.473	1.205	-7.030****	130.313	

* $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$, **** $p<0.001$.

Table 6. Hotspot districts in Jeonju City

		13 April 2017	22 October 2017	16 June 2017	3 August 2017
99% Confidence hotspot	Dong	Jungang 1, 4-ga, Gyeongwon 1, 2, 3-ga, Pungnam 1, 2, 3-ga, Daga 1-ga, Gosa	Jungang 1, 4-ga, Gyeongwon 1, 3-ga, Daga 1, 3-ga, Gosa	Jungang 1, 4-ga, Gyeongwon 1, 3-ga, Gosa	Jungang 1, 4-ga, Gyeongwon 1, 2, 3-ga, Pungnam 1, 3-ga, Gosa, Seonosong
	Area	0.953km ²	0.712km ²	0.609km ²	1.319km ²
	Mean LST	23.04°C	23.22°C	34.45°C	33.20°C
95% Confidence hotspot	Dong	Jungang 2, 3-ga, Jeon, Jeon 3-ga, Daga 3, 4-ga, Taepyeong, Jungnosong, Namnosong, Seonosong	Jungang 2, 3-ga, Gyeongwon 2-ga, Pungnam 1, 2, 3-ga, Jeon, Jeon 3-ga, Daga 2, 4-ga, Taepyeong, Jungnosong, Namnosong, Seonosong, Palbok 2-ga	Jungang 2, 3-ga, Gyeongwon 2-ga, Pungnam 1, 2, 3-ga, Jeon, Jeon 3-ga, Daga 1, 3, 4-ga, Jungnosong, Namnosong, Seonosong	Jungang 2, 3-ga, Pungnam 2-ga, Jeon, Jeon 3-ga, Daga 1, 3-ga, Jungnosong, Namnosong, Palbok 2-ga
	Area	3.064km ²	5.690km ²	2.866km ²	4.385km ²
	Mean LST	23.22°C	23.02°C	35.01°C	33.42°C
90% Confidence hotspot	Dong	Daga 2-ga, Dongwansan, Junghwasan 1-ga	Dongwansan	Taepyeong, Palbok 2-ga, Yeoui	Daga 4-ga, Taepyeong, Palbok 1-ga, Yeoui
	Area	1.188km ²	0.533km ²	5.725km ²	4.748km ²
	Mean LST	21.10°C	22.22°C	34.78°C	34.06°C
90% Confidence coldspot	Dong	Jeonmi 2-ga, Gorang	Dongseohak, Seokgu	Seokgu, Wondang, Inhu 2-ga, Deokjin 1-ga, Jeonmi 1-ga	Yongbok, Samcheon 3-ga, Geumsang, Ua 1-ga, Jeonmi 1, 2-ga, Seongdeok
	Area	8.202km ²	6.766km ²	16.704km ²	42.099km ²
	Mean LST	18.43°C	19.14°C	27.17°C	26.72°C
95% Confidence coldspot	Dong	Daeseong, Yongjeong, Namjeong	Wondang, Gangheung, Dodeok	Daeseong, Geumam, Ua 1-ga, Jeonmi 2-ga, Hwajeon, Dodo, Gangheung, Dodeok	Seokgu, Wondang, Jungin, Daeseong, Hwajeon, Gangheung, Dodeok
	Area	11.490km ²	6.480km ²	33.004km ²	31.661km ²
	Mean LST	17.84°C	19.17°C	27.41°C	26.57°C
99% Confidence coldspot	Dong	Saekjang, Hwajeon, Seongdeok, Dodo, Gangheung, Dodeok	Daeseong, Saekjang, Ua 1-ga, Dodo	Saekjang	Saekjang, Dodo
	Area	18.946km ²	27.367km ²	7.757km ²	10.279km ²
	Mean LST	17.71°C	17.79°C	25.07°C	25.24°C

즉, z-score가 높은 지역이 높은 신뢰도의 핫스팟으로, z-score가 낮은 지역이 높은 신뢰도의 콜드스팟으로 나타났으며, 핫스팟과 콜드스팟에 속하지 않는, 유의미하지 않은 영역은 주변에 유사한 온도를 가진 곳이 없어 동종 그룹화가 어렵다는 의미이다.

국지적 Moran's I와 Getis-Ord G_i^* 를 분석한 본 연구에서는 전주시내 핫스팟 두 곳을 감지했다. 계절에 상관없이 늘 높은 신뢰도의 핫스팟을 유지하는 곳은 전주시 중남부에 위치한, 원도심(原都心)으로 분류되는 지역이다. 이중 풍남동 1, 2, 3가, 경원동 1, 2, 3가, 전동 1, 3가 등은 전주시 원도심의 중심지로 교통, 상업의 중심지이자 풍남문, 경기전, 한옥마을 등이 밀려있는 관광지로 전주시에서 가장 많은 유동인구를 가진 지역이다. 중앙동 1, 2, 3, 4가, 다가동, 다가동 3가 등 역시 전라북도 도청이 위치했던 곳으로 과거 전라북도 최대의 행정과 상권의 중심 역할을 담당하던 지역이며, 현재 전주시청이 위치한 서노송동과 중노송동 역시 구도심지역에 속한다(jeonju.go.kr). 이들 지역의 특징은 풍부한 역사문화자산, 기반시설, 중심성 등 입지적 우위에도 불구하고, 국내 다른 도시의 원도심이 겪고 있는 문제들, 이를테면 기존 도심과 기능적 연계 없는 주택공급 위주의 대규모 외곽 개발, 공공기관의 신시가지 이전, 급격한 상권 쇠퇴, 기반시설의 노후화(Jung *et al.*, 2014) 등으로 인한 도심공동화현상 및 원도심 쇠퇴현상을 겪고 있다는 것이다.

전주시 원도심 이외에 또 하나의 핫스팟은 일부 주거시설이 존재하고 있는 전주시의 대표적인 공단지역이자 전주산업단지가 모여 있는 곳이다. 계절적 변이 현상으로 나타나는 이 핫스팟은 공업의 지방 분산과 지역간 소득 격차 해소를 목적으로 1960년대 후반부터 조성되기 시작해 경공업 공장들과 전기, 기계 관련 공장 등이 운영되고 있으며, 그 주변으로 제2단지, 제3단지 등으로 확장되고 있는 실정이다.

전주시 핫스팟으로 분류된 이 두 지역은 고층건물이 거의 없는 저층 밀집지역이라는 공통점을 발견할 수 있었다. 또한 낮은 NDVI 수치에서도 확인할 수 있듯이 도심의 온도를 떨어뜨릴, 냉섬 역할을 담당할 수 있는 넓은 규모의 공원은 물론 별다른 녹지시설이 거의 존재하지 않았다는 것도 공통점이다. 가로수 역시 주요 도로를 제외하고 거의 없거나 그 간격이 너무

넓고, 일부 지역의 경우 작은 관목 화분만이 도시미관을 위해 배치되어 있을 뿐이라 큰 그늘을 만들어 도시의 온도를 낮추는 녹지로서의 역할을 거의 하지 못하고 있었다(Figure 8 참조).

전주시 공단지역에 나타난 핫스팟의 경우는 도심의 공단밀집지역의 경우 생산 활동에 따른 인공배열의 증가로 온도상승 효과를 나타낸다는 Park *et al.*(2006)의 이전 연구의 결과와 유사한 결과이며, 더불어 상시 그림자가 지는 음지의 발생으로 도심의 LST를 낮출 수 있는 효과를 내는 고층 건물이 적은, 저층 밀집 지역이 도시열섬의 취약지라는 사실은 Kim and Yeom, 2012; Ko *et al.*, 2018 등의 연구와도 같은 결과라고 할 수 있다.

V. 결론

도시열섬 현상은 기후변화의 영향 속에 점점 강도를 더해갈 것으로 예측되고 있다. 도시민들의 생활조건에 많은 변화를 야기하고 있는 도시열섬 현상은 국가적 그리고 지방자치단체 차원의 다양한 정책을 통해 완화 방안을 강구 중이며, 전주시 또한 예외가 아니다.

전주시 전체를 대상으로 높은 LST 밀집 지역을 살펴본 결과, 계절적 특성에 따른 큰 변동 없이 특정 지역에 밀집되는 양상으로 나타났다. 연구 단위인 법정동 중심으로 보면 중앙동, 경원동, 풍남동, 다가동, 전동 등 전주시 원도심지역과 경공업 단지가 밀려있는 팔복동 일대가 전주시의 LST 핫스팟 지역으로 나타났으며, 콜드스팟은 농업지역과 산림지역이 밀려있는 전주시 외곽에 분포되어 있음을 확인하였다. 이러한 핫스팟 분석 결과를 바탕으로 토지피복지도에서 추출한 변수와 회귀분석 등을 통해 핫스팟 밀집 요인을 도출하였는데, 분석 결과 전주시 LST 핫스팟 밀집도에 유의미한 영향을 미치는 토지피복 변수로는 시가화·건조지역 중 주거지역의 단독주거시설, 공업지역의 공업시설, 상업지역의 상업·업무시설이 LST를 높이는 요인이었으며, 별도의 항목이 존재하지 않는 녹지율을 대신해 변수로 선정한 NDVI가 LST를 낮추는 요인(adjusted r^2 : 0.505~0.220, p -value: <0.001)으로 작용하고 있었다.

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 도출할 수 있는 정책적 시



Figure 8. Hotspot districts green space is extremely small, also street trees are rare in common(Google Street View)

사점은 다음과 같다. 첫째, 도시열섬 관련 정책 수립 시 관리의 우선순위를 정해야 한다. 도시 전체를 아우르는 도시열섬 저감 정책도 필요하나, 가장 시급하게 추진되어야 할 핫스팟 지역에 필요한 자원과 정책이 먼저 집중되어야 한다. 둘째, 도시열섬효과를 낮추는 데 긍정적인 영향을 미치는 것으로 재확인된 NDVI 수치를 높이기 위해 핫스팟 지역에 녹지를 추가 배치해야 한다. 문제는 저층밀집지역이라는 구도심의 특성상 새로운 공원 신설 등을 위한 공간 확보가 수월하지 않다는 것이다. 따라서 소공원이나 어린이공원 등 기존에 설립된 각종 도시공원과 초등학교, 중학교 등 학교부지, 그리고 우회로 개발 등을 통해 넓어진 보행로 등에 전략적 나무심기를 도입해 캐노피(urban tree canopy)의 겹을 메워야 한다. 또한 관광지의 밀집으로 핫스팟 지역에서 산발적으로 증가하고 있는 크고 작은 주차장에도 밀도감 있는 나무심기 등을 통해 녹지 전체의 면적을 확대해야 하며, 핫스팟에 산재해 있는 크고 작은 녹지 패치를 연결시켜야 한다. 셋째, 도시열섬 영향을 최소화하기 위해 새로 지어지거나 재건축, 리모델링 혹은 주거환경 개선 등과 같은 도시개발 관련 사업 진행 시 친환경 건축의 개념을 적극 도입해야 하며, 핫스팟 지역의 경우 특히 옥상에 식물을 도입하는 그린루프(green roof), 햇빛과 열을 반사하는 재료로 지붕 온도를 낮추고 에너지 수요를 줄이는 효과가 있는 쿨루프(cool roof) 시스템을 도입하는 등의 관련 사업 진행 시 주민의 자발적인 참여를 유도하기 위해 필요한 행정적 지원 및 필요 자금 지원 방안 등의 제도적 장치도 동반되어야 한다.

열섬현상을 완화시키기 위한 정책이 어느 곳을 중심으로 이루어져야 하는지, 가장 먼저 고려해야 할 요인은 무엇인지에 대한 근거자료를 제공한다는 점에서, 또한 행정구역 단위를 기준으로 핫스팟을 분석해 취약지역을 행정단위에 기초하여 산정할 수 있으며, 예산 및 정책적 지원을 연계하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 판단되는 본 연구에는 몇 가지 한계점이 존재한다. 그 첫 번째는 지표면온도(LST)와 대기온도가 상이한 이유와 폭염의 기준으로 언급한 33℃가 LST가 아닌, 대기온도 기준으로 적용되는 것임에도 불구하고, 대기온도를 분석에 활용하지 못했다는 것이다. 두 번째는 연구에 활용한 Landsat 8 위성영상의 경우 한국시간으로 11시경에 촬영된 자료이므로 LST가 가장 높은 낮 시간대 또는 일몰 이후 야간 시간대 도시열섬의 진행상황을 확인하지 못했다는 점이다. 기존 연구결과를 고려해볼 때 일몰 이후 LST 등을 분석할 경우, 공업단지가 몰려있는 지역의 경우 등은 본 연구와는 다른 결론이 도출될 수 있었을 것이다.

따라서 향후 연구에 있어서 오후 시간대의 영상을 제공하는 위성영상을 포함한 다양한 시간대의 LST와 대기온도를 연구에 포함하고, 보다 세분화된 연구단위를 바탕으로 다양한 물리적, 사회경제적 변수를 분석에 활용한다면 전주시의 열 환경

개선을 위한 정책적 활용 측면에서 보다 의미 있는 연구가 될 수 있을 것으로 예상된다.

References

1. Ackerman, B.(1985) Temporal march of the Chicago heat island. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 24: 547-55.
2. Akbari, H., D. M. Kurn, S. E. Bretz and J. W. Hanford(1997) Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25(2): 139-148.
3. Alexander, L. V. and J. M. Arblaster(2009) Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology* 29(3): 417-435.
4. Anderson, G. B. and M. L. Bell(2011) Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives* 119(2): 210-218.
5. Anselin, L.(1995) Local indicators of spatial association - LISA -. *Geographical Analysis* 27(2): 93-115.
6. Cha, Y. H., H. Y. Kim and T. Y. Heo(2009) The effects of urban land use and land cover characteristics on air temperature in Seoul metropolitan area. *Seoul Studies* 10(4): 107-120.
7. Chae, J. E., S. Y. Park and B. S. Byun(2014) An analysis of spatial concentrated areas of single person households and concentrating factors in Seoul. *Seoul Studies* 15(2): 1-16.
8. Getis, A. and J. K. Ord(1992) The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24(3): 189-206.
9. IPCC(2014) Climate Change 2014 Comprehensive Report: Summary Report for Policy Makers. IPCC, Meteorological Agency.
10. Jeong, J. C.(2013) The land surface temperature analysis of Seoul city using satellite image. *Journal of Environmental Impact Assessment* 22(1): 19-26.
11. Jeonju City(2018) Statistical Year Book. Jeonju City.
12. Ju, S. H., J. H. Noh, C. S. Kim and J. Heo(2017) Local spatial autocorrelation analysis of 3 disease prevalence: A case study of Korea. *Journal of Health Informatics and Statistics* 42(4): 301-308.
13. Jung, S. Y., J. Y. Yu, T. Y. Kim and Y. W. Kim(2014) KRHS Policy Brief 488.
14. Kim, H. J., H. J. Jung and W. S. Lee(2011) Evaluation of supply adequacy of the urban park by spatial imbalance analysis. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 39(4): 18-27.
15. Kim, H. O. and J. M. Yeom(2012) Effect of the urban land cover types on the surface temperature: Case study of Ilsan new city. *Korean Journal of Remote Sensing* 28(2): 203-214.
16. Kim, J. S., D. K. Lee, S. Y. Sung, S. G. Jeong and J. H. Park(2015) Study of vulnerable district characteristics on urban heat island according to land use using normalized index: Focused on Daegu metropolitan city residential district. *Journal of Korea Planning Association* 50(5): 59-72.
17. Kim, M. K., S. P. Kim, N. H. Kim and H. G. Shon(2014) Urbanization and urban heat island analysis using landsat imagery: Sejong city as a case study. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 34(3): 1033-1041.
18. Ko, Y. J., K. H. Cho and W. C. Kim(2019) Analysis of environmental equity of green space services in Seoul: The case of Jung-gu, Seongdong-gu and Dongdaemun-gu. *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture* 47(2): 100-116.
19. Kong, H. Y., S. H. Kim and H. J. Cho(2016) Effect of land use on urban thermal environments in Incheon, Korea. *Ecology and Resilient*

- Infrastructure 3(4): 315-321.
20. Laaidi, K., A. Zeghnoun, B. Dousset, P. Bretin, S. Vandentorren, E. Giraudet and P. Beaudeau(2012) The impact of heat islands on mortality in paris during the August 2003 heat wave, *Environmental Health Perspectives* 120(2): 254-259.
21. Lee, H. Y. and J. H. Shim(2011) *Geographic Information System (2nd)*, Seoul: Bobmunsa.
22. Lee, J. S. and S. Y. Seong(2016) An investigation into supply characteristics and spatial clustering pattern of office buildings in Seoul: Major office buildings between 2003 and 2012, *Journal of Korea Planning Association* 51(3): 83-96.
23. Lee, K. I., J. E. Ryu, S. W. Jeon, H. C. Jung and J. Y. Kang(2017) Analysis of effect of Heat Island on the administrative district unit in Seoul using Landsat image, *Korean Journal of Remote Sensing* 33(5-3): 821-834.
24. Lee, W. S., S. G. Jung, K. H. Park and K. T. Kim(2010) Analysis of urban thermal environmental for environment-friendly spatial plan, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1): 142-154.
25. McCoy, J., K. Johnston, S. Kopp, B. Borup, J. Willison and B. Payne(2018) *Using ArcGIS Spatial Analyst*, New York: ESRI.
26. NASA(2019) *Landsat 8(L8) Data Users Handbook Version 5.0*, Sioux Falls, South Dakota: USGS.
27. Oh, K. S. and J. J. Hong(2005) The relationship between urban spatial elements and the urban heat island effect, *Journal of The Urban Design Institute of Korea* 6(1): 47-63.
28. Oke, T. R.(1988) *Boundary Layer Climates*(2nd ed), Routledge.
29. Park, J. H., J. S. Kim and S. I. Na(2006) Analysis of the relationship between land cover and land surface temperature at Cheongju region using Landsat images in summer day, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(5): 39-48.
30. Park, S. H., H. S. Jung and H. S. Shin(2013) An efficient method to estimate land surface temperature difference(LSTD) using land satellite images, *Korean Journal of Remote Sensing* 29(2): 197-207.
31. Peng, J., J. Jia, Y. Liu, H. Li and J. Wu(2018) Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas, *Remote Sensing of Environment* 215: 255-267.
32. Quan, H. C. and B. G. Lee(2009) Analysis of relationship between LST and NDVI using Landsat TM images on the city areas of Jeju island, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 17(4): 39-44.
33. Shin, M. C. and J. S. Lee(2019) Examining the factors affecting residential satisfaction of the residents of the urban residential housing in the Seoul Metropolitan area, *Appraisal Studies* 18(3): 167-195.
34. Song, B. G. and K. H. Park(2019) A study on the relationship between land cover type and urban temperature - Focused on Gimhae city -, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(2): 65-81.
35. Yu, X., X. Guo and Z. Wu(2014) Land surface temperature retrieval from landsat 8 TIRS - Comparison between radiative transfer equation based method, split window algorithm and single channel method, *Remote Sensing* 6(10): 9826-9852.
36. Zhou, B., D. Rybski and J. P. Kropp(2017) The role of city size and urban form in the surface urban heat island, *Science Report* 7: 1-7.
37. <http://egis.me.go.kr>(Environmental Geographic Information Service).
38. <http://jeonju.go.kr>(Jeonju City).
39. <http://nsdi.go.kr>(Korea National Spatial Data Infrastructure Portal).
40. <http://weather.go.kr>(Korea Meteorological Administration).

Received : 15 July, 2020

Revised : 10 September, 2020 (1st)

08 October, 2020 (2nd)

Accepted : 08 October, 2020

4인익명 심사필