

# Landsat8 위성영상을 이용한 지표면 온도와 식생피복의 관계 분석 - 대구광역시를 대상으로 -

어성희\* · 최희선\*\*† · 김근한\*\*\* · 이길상\*

\*한국환경연구원 물국토연구본부 환경계획연구실 연구원, \*\*한국환경연구원 물국토연구본부 환경계획연구실 선임연구위원,  
\*\*\*한국환경연구원 물국토연구본부 환경계획연구실 전문연구원

## The Relationship between Surface Temperature and Vegetation Cover Obtained Using Landsat 8 Satellite Imagery - A Case Study of Daegu Metropolitan City -

Eo, Seonghee\* · Choi, Hee-Sun\*\*† · Kim, Geunhan\*\*\* · Lee, Gilsang\*\*\*\*

\*Researcher, Water and Land Research Group/Division for Environmental Planning, Korea Environment Institute Korea Environment Institute, Sejong, Korea

\*\*Senior Research Fellow, Water and Land Research Group/Division for Environmental Planning, Korea Environment Institute Korea Environment Institute, Sejong, Korea

\*\*\*Research Specialist, Water and Land Research Group/Division for Environmental Planning, Korea Environment Institute Korea Environment Institute, Sejong, Korea

### ABSTRACT

This study used Landsat 8 satellite imagery to identify land surface temperature (LST) and to create a normalized difference vegetation index (NDVI) for Daegu City for analysis of different land cover types. LST for Daegu showed distinctive patterns depending on the NDVI and land cover had negative correlations with LST and NDVI. In addition, urban and industrial areas accounted for the top 20% of LSTs while forests and waters accounted for the bottom 20%. Forest areas had a high NDVI value of 0.447, average NDVI values were highest for deciduous and lowest for coniferous forests. The results of this study provide a better understanding of the role of vegetative cover in the thermal environment in urban areas which has deteriorated due to climate change. This information will help validate urban planning policies that protect green spaces.

*Key words: Land Surface Temperature, Vegetation Cover, NDVI, Landsat, Heat Island, Heat Wave*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2018년 10월 IPCC는 1.5°C 특별보고서를 채택, 발표하였다(IPCC, 2018). 특별보고서가 권고한 감축 경로는 2030년까지 2010년 대비 45% 감축, 2050년까지는 이산화탄소 배출과 자연흡수가 서로 상쇄되는 이른바 'Net-Zero' 달성이다. 이러한 IPCC의 권고에 부응하기 위하여 국제사회는 탄소중립을 선

언하고 있으며, 우리나라도 2020년 10월 탄소중립을 선언하고, '2050 탄소중립 시나리오(21.10 국무회의 의결)'를 마련하는 등 국제사회의 움직임에 동참하고 있다. 이는 온실가스 증가로 인해 점차 전세계 국가에서 다발적으로 발생하고 있는 이상기후 현상의 심각성을 반영한 것이기도 하다.

실제로 전 지구적으로 도시화, 에너지 소비 증가 등으로 기온이 상승하는 이상기후와 함께 도시에서의 여름철 열대야, 폭염 등의 현상이 빈번히 발생하고 있다. 기상청(2020)은 21세기 말의 전 지구 평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라

†Corresponding author : choihs@kei.re.kr (370 Sicheong-daero, Sejong, 30147, Republic of Korea. Tel. +82-44-415-7611)

ORCID 어성희 0000-0002-9989-2795  
김근한 0000-0002-4462-6991

최희선 0000-0002-4894-3214  
이길상 0000-0003-4939-9115

현재 대비 약 1.9~5.2℃ 상승할 것으로 전망하였다. 특히, 개발로 인하여 산림이나 경작지 등 녹지공간 대신 콘크리트와 아스팔트 도로와 같은 인공적인 요소들이 차지하는 면적이 높아진 도시에서 열환경 악화와 기후변화가 지속적으로 나타나고 있다. 도시의 상당 부분을 덮고 있는 콘크리트 피복은 알베도(Albedo) 값이 낮아 태양복사 에너지를 흡수하고 현열량을 증가시켜 도시 기온을 높인다(Voogt and Oke, 2003; Song and Park, 2019; Estoque et al., 2017; Hong et al., 2021) 반면, 녹지, 공원, 하천, 오픈스페이스와 같은 자연적 요소들은 대기 중의 수분을 증발시키고, 직접적으로 태양열을 흡수하여 주변의 기온을 낮추고 그늘을 만들어 태양에너지가 지표면을 가열하는 것을 막아주는 등 미기후를 개선하는 효과가 있다(Jo and Yoshiteru, 2000; Park et al., 2017; Abolata and Sodoud, 2020; Hong et al., 2021).

도시의 열환경 개선을 위한 대응 방안으로 공원녹지와 같은 그린인프라의 조성 및 도시 내 식재 공간 확보 등 도시지역의 지표면을 녹색공간으로 개선하는 도시계획 및 환경·생태적 측면의 노력이 요구된다(Meerow and Newell, 2017; Choi et al., 2018).

최근 도시 기온상승과 지표면 도시열섬현상을 규명하고 해결하고자 하는 연구가 확대되고 있는데(Voogt and Oke, 2003; Oh and Hong, 2005; Je and Jung, 2018; Byon et al., 2021), 도시열섬현상을 분석하는 연구에서는 주로 원격탐사 방법이 널리 쓰이고 있으며, 위성영상을 이용하여 간접적으로 식생피복을 추정하고자 하는 연구가 활발히 수행되고 있다(Park et al., 2014; Kim and Choi, 2014; Kim and Yeom, 2012). Park et al.(2014)은 경상지역의 시계열적 온도변화를 파악한 결과 도시지역을 중심으로 온도가 상승하였고, 산맥으로 인한 온도변화 효과를 확인하였다. Kim and Choi (2014)는 시가지지역에서 열환경 구조의 취약성이 높고, 녹지지역의 열쾌적성이 유지되고 있음을 제시하였다. Kim and Yeom (2012)에 따르면 지표면 온도는 토지이용에 따라 뚜렷하게 구분되는 패턴을 보이며, 시가지 면적이 증가할수록 지표면온도가 높고, 식생, 수면, 그림자 면적이 늘어날수록 지표면온도가 낮아진다.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, 정규화식생지수)는 도시 식생의 활력도를 정량적으로 파악하기 위한 지수로, 위성영상을 통해 도출된다. NDVI를 이용하여 도시열섬현상에 있어, 식생의 활력도와 도시의 열환경이 어떠한 관계를 가지는지 파악해야 할 필요가 있다. 지표면온도와 NDVI의 상관관계를 분석한 대부분의 연구에서는 NDVI와 지표면온도는 음의 상관성을 가지고 있음을 나타냈다. Quan and Lee (2009)는

제주시의 NDVI와 지표면온도 값이 반비례하며, 도시지역의 평균온도는 초지보다 약 5℃ 높고, 산림지역보다 약 10℃ 높음을 제시하였다. Kim and Kim (2019)에 따르면 대구 신서혁신도시 개발 이전(2008년)과 비교했을 때, 개발 이후(2018년) NDVI 값은 0.07 감소하였고, 지표면온도는 0.85℃ 증가하였다.

선행연구의 대부분은 도시의 지표면온도와 식생지수의 관계를 분석하거나 토지이용에 따른 열환경 분석에 중점을 두고 있다. 도시의 식생피복에 의한 기온 완화 작용의 검증을 위해서 광범위한 다양한 녹지를 대상으로 세부적인 토지피복 현황과 온도분포의 관계를 파악하고, 해석해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 기후변화로 열환경이 악화된 도시공간에서 식생피복의 역할을 검증하기 위하여, 대구광역시의 NDVI와 지표면온도의 상관관계를 분석하고, 식생피복 유형이 지표온도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## 2. 연구의 범위 및 연구 방법

### 2.1 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 우리나라 광역시 중 폭염에 취약한 것으로 알려진 대구광역시를 대상으로 하였다(Fig. 1). 대구광역시는 한반도 동남부 내륙, 경상북도 남부에 위치하며, 대구의 북동부와 남부는 산지로 이루어져 있고, 서부 및 중부는 상대적으로 평야를 이루는 내륙 분지 지형이다.

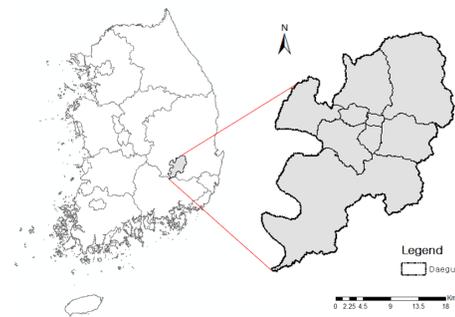


Fig. 1. Study area

기상청(<https://data.kma.go.kr/>)에 따르면, 대구광역시의 2010년대 평균기온은 14.62℃로 1960년대보다 1.66℃ 상승하였다. Kim et al.(2015)은 대구광역시의 1981~2014년 연도별 폭염 및 열대야 수 분석 결과 전국의 도시 중 대구의 폭염일수가 가장 높은 것을 확인한 바 있다. 대구광역시의 면적은 884.1 km<sup>2</sup>로, 인구는 약 239만 명('21.08 기준)이며, 행정구역은 중구, 동구, 서구, 남구, 북구, 수성

구, 달서구, 달성군 등 8개 구·군으로 이루어져 있다.

본 연구에서는 시간적 범위로 열환경 악화 피해가 가장 크며, 대안 마련이 필요한 여름을 선택하였다. 날씨는 위성영상 촬영 주기에 따라 구득이 가능하며, 영상분석이 용이하도록 운량이 낮은 맑은 날을 선정하였다. 또한, 분석일 전·후로 강수가 없으며, 급격한 기온변화가 발생하지 않은 날을 우선으로 하였다. 위 조건에 부합하며, 현재와 가장 가까운 시점인 2017년 7월 27일을 본 연구의 연구 시점으로 선정하였다. 분석일인 2017년 7월 27일의 기상자료에 따르면, 평균기온은 26.4℃이며, 최고기온은 33.9℃, 최저기온은 19.1℃, 평균 운량은 2.4로 맑은 날씨로 확인되었다.

## 2.2 지표면온도 추정

지표면온도(LST, Land Surface Temperature)는 위성영상 데이터를 활용하여 지면의 온도를 추정하는 것으로, 본 연구에서는 Landsat 위성영상에서 제공하는 열적외선 밴드를 활용하여 지표면온도를 산출하였다(NASA, 2016). Landsat 위성은 지구를 관찰하기 위해 발사된 위성 프로그램들 중 가장 오래된 위성 프로그램으로 2013년 2월 Landsat 8이 발사되어 현재까지 운영되고 있다. 위성영상은 도시의 기후를 분석하고, 공간적 및 환경적 특성을 파악하기 위해 널리 사용되고 있다. 인공위성을 통해 촬영된 위성자료는 광역적이며, 주기적으로 자료 획득이 가능하여 연구에 활용이 용이하다(Park et al., 2016). Landsat 8 위성영상은 총 11개의 밴드로 이루어져 있으며(Table 1), 공간해상도는 15 m~100 m이다. 위성자료는 밴드별로 정량화된 복사에너지(DN, Digital Number)로 제공되기 때문에 위성별 밴드 특성을 이용하여 복사에너지 또는 반사도로 변환 후 NASA에서 제공하는 선형회귀식을 이용하여 지표면온도를 계산한다.

[식 1]의 A, B는 선형회귀식의 상수이며, 지표온도 추정을 위하여 Landsat 8 위성영상 데이터의 밴드 10, 11번을 이용하고, 밴드별로 제공된 상수값을 활용한다. [식 2]를 통하여 계산된 복사에너지( $L_{\lambda}$ )를 이용하여 밴드별 반사도, 지표온도 등으로 변환이 가능하다. 복사에너지( $L_{\lambda}$ )와 절대온도(K) 사이의 관계성을 이용하여 위성관측 온도를 계산한다. K1과 K2는 관측온도를 보정하는 계수이다. [식 2]로 얻은 보정된 위성관측온도 값은 절대온도이므로 이를 섭씨온도로 변환하기 위하여 [식 3]의 계산을 진행하면, 대상지 지표면온도 값이 도출된다.

$$L_{\lambda} = A \cdot Q_{cal} + B \quad (1)$$

$$T(K) = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

$$\text{degrees Celsius } (^{\circ}\text{C}) = \text{Absolute temperature } (K) - 273.15 \quad (3)$$

## 2.3 정규화식생지수(NDVI) 구축

NDVI(Normal Distribution Vegetation Index)는 식생의 활력도를 정량적으로 나타내는 정규화식생지수로, 식생의 분포량 및 활동성을 조사하는 방법 중 하나이다(Chen et al., 2004). NDVI는 잎의 면적, 수목의 높이, 수종, 식생 분포 면적 등을 정량적으로 나타낼 수 있는 척도이다. NDVI 값은 -1에서 1의 범위로 표현되며 1에 가까울수록 식생이 많이 분포하는 지역으로 식생활력도가 높게 나타난다. 반면 -1에 가까울수록 식생이 많이 분포하지 않으며 식생활력도가 낮은 지역으로 나타난다. 영상데이터를 이용하는 NDVI는 지표면의 반사율을 측정하여 산정하며, 수치적으로 표현되는 산정 값을 이용하여 다양한 모델에서 식생의 수평 밀도를 측정하는 자료로 활용된다(Gutman et al., 1997). Landsat 8 영상의 밴드 4(RED)와 밴드 5(NIR)를 이용해 산출하며, 밴드 4는 엽록소 흡수량을 측정하여 식물종을 구분하고, 밴드 5는 식생 유형과 수목의 경계를 식별하고 토양을 구분한다(Table 1). NDVI 값을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$NDVI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (4)$$

Table 1. Characteristics of Landsat 8 band

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
1-Coastal aerosol	0.43-0.45	30
2-Bluw	0.45-0.51	30
3-Green	0.53-0.59	30
4-Red	0.64-0.67	30
5-Near Infrared(NIR)	0.85-0.88	30
6-SWIR 1	1.57-1.65	30
7-SWIR 2	2.11-2.29	30
8-Panchromatic	0.50-0.68	15
9-Cirrus	1.36-1.38	30
10-Thermal Infrared(TIRS) 1	10.60-11.19	100
11-Thermal Infrared(TIRS) 2	11.50-12.51	100

(Sources: Landsat Fact Sheet)

2.4 토지피복 분류 및 NDVI, 지표면온도 관계 분석

토지피복지도는 인공위성이 촬영한 영상을 활용하여 지표면을 덮고 있는 피복현황을 표현한 지도이다. 이는 원격탐사의 가장 대표적이고, 전형적인 이용 방법의 하나로 지표면의 물리적 상황을 분류하는 것이다. 이 같은 토지피복지도는 지표면의 현 상황을 가장 잘 반영하고 있어 여러 모델링의 기초자료로 활용되고 있으며, 정책수립의 효율성 및 과학성을 높이는데 많은 기여를 하고 있다.

대상지의 식생 피복 파악을 위하여 환경부에서 제공하는 대구광역시 토지피복지도 중분류를 이용한다. 각 식생 피복 유형별 평균 지표면온도와 NDVI 값을 도출하여 어떤 피복유형이 지표면온도와 NDVI에 영향을 미치는지 파악한다. 이를 위해서는 대구광역시의 지표면온도 값과 NDVI 값을 point화 하는 작업이 필요하다. 다음으로 각 피복 유형 분류에 지표온도와 식생지수 point 값을 join한다. 대구광역시 중분류 토지피복지도를 바탕으로 각 피복 유형별 평균온도와 NDVI 값을 도출한다. 마지막으로 NDVI와 지표면온도의 관계 파악을 위하여 pearson 상관 분석을 진행한다.

대상지의 지표면온도를 추정한 결과 대구광역시의 평균온도는 27.58℃, 최소온도 21.89℃, 최대온도 42.45℃, 표준편차 3.63으로 나타났다. 지표면온도의 분포를 살펴보면 대구광역시는 도시 외곽의 산림은 온도가 낮고, 내륙에 열이 집중된 형태로 도시열섬의 형태를 띠는 것을 확인할 수 있다(Fig. 2a). 지표면온도 값을 5등급으로 나누어, 분포를 확인한 결과 지표면온도 상위 20% (34.55 - 42.45℃) 지역은 대부분 시가지지역이며, 하위 20% (21.89 - 25.28℃) 지역은 산림이나 하천이 집중적으로 분포함을 알 수 있었다.

대구광역시의 NDVI를 도출한 결과 평균 NDVI 값은 0.380, 최소값은 -0.207, 최대값은 0.668로 나타났다. NDVI 분포를 살펴보면, 산림으로 이루어진 외곽지역의 값이 높게 나타났고, 내륙 중심부 도심지역의 NDVI는 낮은 값을 보인다. NDVI 값을 5등급으로 나누어, 분포를 확인한 결과 가장 높은 값을 가지는 상위 20% (0.472 ~ 0.668) 구간은 산림지역에 집중적으로 분포되어 있었다. 하위 20% (-0.27 ~ 0.012) 구간은 주로 건물이 집중된 주거 및 상업지역과 도로로 이루어진 지역 즉, 불투수피복 지역으로 나타났다.

대구광역시 전체 884.1 km<sup>2</sup> 면적에 대하여 대분류 피복 유형을 기준으로 각 피복유형별 면적비율을 분석하였다. 대구시는 피복유형 기준으로 총 7개 유형을 포함하였고 (Table 2), 그중에서 산림지역이 전체 대상지의 약 58%를 차지하고 있으며, 시가지건조지역 17%, 농업지역 16%, 나지 2.5%, 초지 1.8%, 수역 1.4%, 습지 1.4% 순으로 나타났다. 토지피복별 NDVI 산정을 위하여 토지피복지도 분류별로 대상지를 나누었다(Fig. 2c). 대구광역시의 토지

3. 결과 및 고찰

본 연구는 2017년 7월 27일 Landsat 8 위성으로 관측한 영상 데이터의 열적외 밴드 10번, 11번으로부터 얻은 위성 관측값을 이용하여 대구광역시의 지표면온도(LST)를 분석하고, 밴드 4번, 5번을 통해 NDVI(정규화식생지수)를 도출하여 상관관계를 파악하는 연구를 진행하였다.

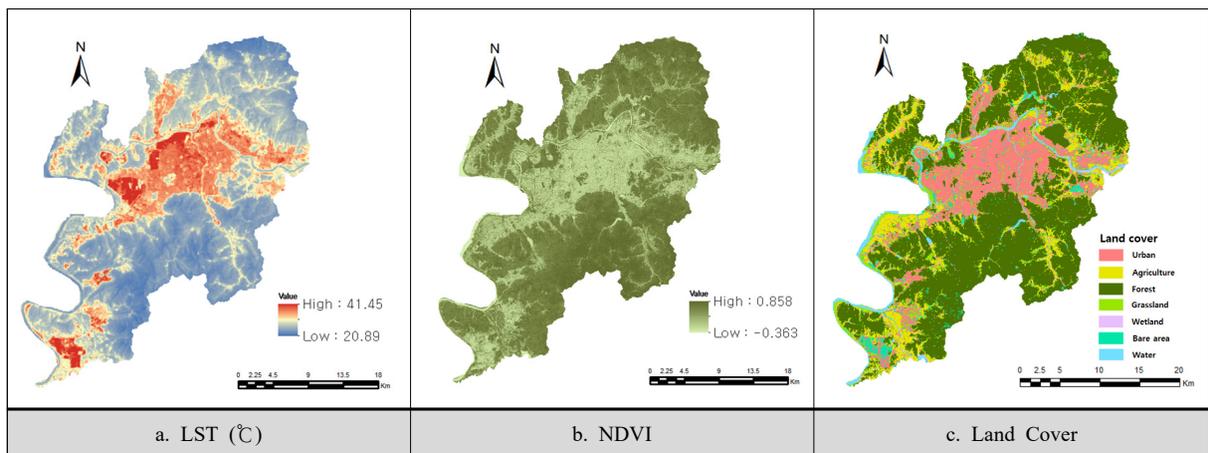


Fig. 2. LST, NDVI, Land Cover in Daegu city

피복은 중분류 토지피복지도 유형을 기준으로 총 20개 유형을 포함하며, 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Results of vegetation cover's LST, NDVI

Level1	Level2	LST	NDVI
Urban	Residential area	32.20	0.185
	Industrial area	34.70	0.179
	Commercial area	32.99	0.150
	Culture, Sports and Recreation area	30.59	0.290
	Traffic	29.71	0.281
	Public facilities area	31.61	0.221
Agricultural	Paddy	28.56	0.390
	Field	28.48	0.386
	Facilities plantations	29.84	0.327
	Orchard	28.38	0.406
	Other agriculture	29.43	0.299
Forest	Deciduous forest	25.74	0.479
	Mixed forest	26.38	0.453
	Coniferous forest	26.82	0.427
Grassland	Natural grassland	27.97	0.408
	Other grassland	30.01	0.344
Wetland	Inland wetland	28.46	0.361
	Coastal wetland	28.66	0.229
Bare area	Other bare area	30.91	0.251
Water	Inland waterway	28.65	0.309

대상지의 토지피복 유형별로 지표온도 평균값을 산출하여 비교분석 한 결과 도시지역(주거지역: 32.20℃, 상업지역: 32.99℃, 공업지역: 34.70℃)은 기타 식재지인 초지(30.01℃), 과수원(28.38℃) 논(28.56℃) 밭(28.48℃) 보다 약 2~6℃ 가량 높게 나타났다. 또한, 도시지역의 표면온도는 하천지역(28.65℃), 산림지역(26.44℃)보다는 약 4~6℃ 가량 높은 것을 알 수 있었다. 이때, 산림지역의 경우 침엽수림 26.82℃, 혼효림 26.38℃, 활엽수림 25.74℃ 순으로 높은 지표 온도값을 보였다. 시가화 건조지역에서 지표면온도는 공업지역, 상업지역, 주거지역, 공공시설지역, 위락지역, 교통지역 순으로 높게 나타났다. 농업지역에서는 하우스재배지, 기타재배지, 논, 밭, 과수원 순으로 높은 지표면온도 값을 가지며, 산림지역 피복의 평균 지표면온도는 침엽수림 > 혼효림 > 활엽수림 순으로 높게 나타났다 불투수 피복률이 높은 도심지역일수록 온도값이 높고, 투수성 피복으로 이루어진 농업지, 초지, 습지, 수역의 온도가 낮게 나타나는 경향이 있었다. 그중에서도 산림지역의

지표온도 값이 다른 피복유형에 비해 현저하게 낮게 나타났다.

중분류 토지피복 유형별 NDVI 값은 활엽수림이 0.479로 제일 높으며, 상업지역이 0.150으로 가장 낮았다. NDVI 분포를 살펴보면, 시가화지역이 가장 낮은 평균값을 가지며, 그중에서 위락시설지역 값이 0.290, 교통지역 0.281, 공공시설지역 0.221, 주거지역 0.185, 공업지역 0.179, 상업지역 0.150 순으로 나타났다. 농업지역에서는 과수원, 논, 밭, 하우스재배지, 기타재배지 순으로 높은 값을 가진다. 산림지역의 평균 NDVI는 0.447로 높은 활력도를 가지는 것으로 나타났으며, 산림 피복의 평균 NDVI 값은 지표면온도 값과는 반대로 활엽수림>혼효림>침엽수림 순으로 나타났다.

대구광역시의 지표면온도와 NDVI 표본 수 약 97만개를 대상으로 pearson 상관관계 분석 결과 -0.715로 높은 유의미한 상관관계가 나타났고, 유의확률은 0.01이다 (Table 3).

Table 3. Result of relationship between NDVI and LST

	NDVI	Sig. (2-tailed)	N
LST	-.715**	0.01	977178

지표면온도와 NDVI가 음의 상관관계를 갖는다고 밝혀진 기존의 선행연구와 같은 수치를 보였으며(Quan and Lee, 2009; Kim and Kim, 2019; Kong et al., 2015), 지표면온도가 NDVI에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. NDVI 값이 큰 지역일수록 식생의 활력이 높으며, 식생이 많이 조성되어 있고, 밀집되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 NDVI와 지표면온도가 반비례한다는 것은, NDVI가 높은 값을 보이는 지역일수록 식생활력도가 낮은 지역보다 지표면온도가 낮은 경향을 보이며, 해당지역은 식생 밀집도가 우수하다는 특징이 있다.

#### 4. 결론

기후변화 및 도시화로 인하여 도시의 폭염과 열섬은 보다 심화될 것으로 예상된다. 특히 도시의 인구집중도가 높아지면서, 기존의 녹지와 같은 자연지반은 인공지반이나 건축물과 같은 불투수지역으로 전환되고 결과적으로 도시의 지표면온도 상승으로 이어진다. 이는 온실가스 배출과 폭염을 더욱 악화시키는 것으로 이어져, 보다 지속

가능한 도시의 공간계획적 접근이 요구된다. 이러한 문제를 해결하는 데 있어, 도시 내에 기온 저감효과가 있는 공원녹지 등의 그린인프라(Green Infrastructure) 확대 방안 모색이 필요하다.

본 연구에서는 기후변화로 열환경이 악화되어 있는 도시공간에서 식생피복이 어떠한 역할을 하는지 알아보기 위하여 사례 도시의 열섬현상을 파악하고, 다양한 유형과 분포를 나타내는 피복별 열환경 및 식생활력도를 산정하였다. 대상지인 대구광역시는 대표적인 분지 지형 도시로 전국에서 폭염이 가장 심한 도시이다. 원격탐사를 이용한 대구광역시의 열분포도를 제작하여 분석한 결과 산림지역의 지표온도가 가장 낮게 나타났고, 그중에서도 활엽수림, 혼효림, 침엽수림 순으로 낮은 지표온도 값을 가진다. 또한, 시가화건조지역 온도값이 가장 높게 분석되었다. NDVI의 경우, 산림지역에서 가장 큰 값을 가지고, 시가화건조지역에서 낮은 값을 보였다. 대상지역의 지표면온도와 NDVI 관계 분석 결과 음의 상관관계가 나타났으며, 이는 식생활력도가 높은지역, 즉 식생이 많이 조성되고, 밀집될수록 지표온도가 낮게 추정된다는 것을 의미한다.

본 연구는 도심지에서 점차 사라지고 있는 산림과 농지 등 식생피복이 기온을 완화하는 역할을 확인하였고, 도심 주변 및 도심 내부에 녹지 조성 등 도시계획적 측면에서 녹색공간의 확보방안 마련에 기초자료로 활용될 수 있리라 판단된다. 본 연구에서는 위성영상의 구득 한계(계절, 촬영 주기, 날씨, 운량 등)로 인하여 2017년 자료를 이용했다는 한계가 있으며, 향후에는 지표면온도가 아닌 사람이 실제 느끼는 온도인 자동기상관측장비(AWS) 측정 온도값을 이용하여 분석해 볼 필요가 있다. 또한, 식생 피복에 의한 기온 완화 작용의 검증을 위하여 광범위한 녹지공간 대상이 아닌 소규모의 녹지공간을 대상으로 온도 분포 관계를 세부적으로 파악할 필요가 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구를 통해 도출된 도시 내 산림을 포함한 녹지와 온도와의 관계를 과학적이고 정량적으로 제시한 점은 정책 추진에 있어 근거가 될 것으로 기대한다.

## 사사

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호 21UMRG-B158194-02)을 받아 한국환경연구원이 수행한 “온실가스 저감을 위한 국토도시공간 계획 및 관리기술 개발(2021-010(R))” 연구 결과를 기반으로 작성되었습니다.

## References

- Aboelata A, Sodoud S. 2020. Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. *Building and Environment*. 168.
- Byon JY, Hong SO, Park YS, Kim YH. 2021. Evaluation of the Urban Heat Island Intensity in Seoul Predicted from KMA Local Analysis and Prediction System (in Korean with English abstract). *The Journal of The Korean Earth Science Society*. 42(2):135-148.
- Chen J, Jonsson P, Tamura M, Gu Z, Matsushita B, Eklundh L. 2004. A Simple Method for Reconstructing a High-quality NDVI Time-series Data Set Based on the Savitzky-Golay Filter. *Journal of the Remote Sensing of Environment*. 91(3): 332-344.
- Choi SK, Lee SK, Wang B. 2014. Analysis of Vegetation Cover Fraction on Landsat OLI using NDVI. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 32(1):9-17.
- Choi HS, Choi JK, Shin JY, Hong HW, Kang JE, Lee GS. 2018. Environmental Effects and Policy Response from the Automatic Invalidation of Long-term Unimplemented Urban Parks (in Korean with English abstract). *Korea Environment Institute*.
- Estoque RC, Murayama Y, Myint SW. 2017. 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*. 577:349-359.
- Gutman G, Ignatov A. 1997. The Derivation of the Green Vegetation Fraction from NOAA/AVHRR Data for Use in Numerical Weather Prediction Models. *International Journal of Remote Sensing*. 19(8): 1533-1543.
- Hong SW, Byon JY, Kim DH, Lee SS, Kim YH. 2021. Effects of Land Cover Change on Summer Urban Heat Island Intensity and Heat Index in Seoul Metropolitan Area, Korea (in Korean with English abstract). *Journal of Korean Meteorological Society*.

- 31(2):143-156.
- IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change. Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.
- Je MH, Jung SH. 2018. Urban Heat Island Intensity Analysis by Landuse Types (in Korean with English abstract). *Journal of the Korea Contents Association*. 18(11):1-12.
- Jo HK, Yoshiteru N. 2000. Effects of Urban Greenspace on Microclimate Amelioration, CO<sub>2</sub> Sequestration and Eire Obstruction (in Korean with English abstract). *Korean journal of plant resources*. 13(3):162-170.
- Kim HO, Yeom JM. 2012. Effect of the Urban Land Cover Types on the Surface Temperature: Case Study of Ilsan New City (in Korean with English abstract). *Korean Journal of Remote Sensing*. 28(2):203-214.
- Kim JY, Kim EJ. 2019. Application of Eco-friendly Planning of Sinseo Innovation City in Daegu using the Analysis of Satellite Image and Field Survey (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 37(3):143-156.
- Kim JH, Choi JH. 2014. Analysis the Structure of Heat Environment in Daegu Using Landsat-8 (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 32(4-1):327-333.
- Kim JA, Kim KR, Kim BJ. 2015. The Occurrence Characteristic and Future Prospect of Extreme Heat and Tropical Night in Daegu and Jeju (in Korean with English abstract). *Journal of Environmental Science International*, 24(11):1493-1500.
- Kong HY, Kim SH, Park SM, Park SA, Choi KH, Shin YK, Lee JC, Kil JH, Park JH, Shin KY, Kim TK, Cho HG. 2015. Improvement of Urban Environment through Urban Green Space(II)- focusing on Urban Heat Island. National Institute of Environmental Research (in Korean with English abstract).
- Korea Meteorological Administration. 2020. Korean Climate Chage Assessment Report 2020.
- Korea Meteorological Administration. Weather Data Service Open MET Data Portal. 2021. Whats's CAI; [accessed 2021 Nov 1]. <https://data.kma.go.kr/>
- Meerow S, Joshua PN. 2017. Spatial Planning for Multifunctional Green Infrastructure: Growing Resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*. 159:62-75.
- NASA. 2016. Landsat 8 Data Users Handbook, L8DS-1574. National Aeronautics and Space Administration, United States. pp. 1-98.
- Oh KS, Hong JJ. 2005. The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect (in Korean with English abstract). *Journal of the Utban Design Institute of Korea*. 6(1):47-63.
- Park JH, Na SI, Kim JS. 2005. Analysis of Relationship between Vegetation Cover Rates and Surface Temperature Using Landsat TM Data (in Korean with English abstract). *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*. pp. 569-573.
- Park MH, Park JI. 2008. A Relationship Analysis among Land Surface Temperature and NDVI in Hampyeong Bay Using Landsat TM/ETM+ (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Cadastre Information Association*. 10(2):107-115.
- Park CY, Lee DK, Kwon EG, Her MJ. 2017. Green-infra Strategies for Mitigating Urban Island (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 20(5):67-81.
- Park JK, Kim WH, Lee JS, Yun HC. 2014. Characteristics Analysis of the Land Surface Temperature about Urban Area Using Landsat Satellite Images in Gyeongsangdo Provinces (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Cadastre Information Association*. pp. 157-166.
- Quan HC, Lee BG. 2009. Analysis of Relationship Between LST and NDVI using Landsat TM Images

- on the City Areas of Jeju Island (in Korean with English abstract). Journal of Korean Society for Geospatial Information Science. 17(4):39-44.
- Small EE. 2005. The Effects of Satellite-Derived Vegetation Cover Variability on Simulated Land-Atmosphere Interactions in the NAMS. Journal of Climate. 18:21-40.
- Song BG, Park KH, 2019. Comparison of ASTER Satellite and Ground-Based Surface Temperature Measurements for Urban Heat Island Studies (in Korean with English abstract). Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 22(3):104-124.
- Voogt JA, Oke TR. 2003. Thermal Remote Sensing of Urban Climates. Remote Sensing of Environment. 86:370-384.
- Yun HC, Kim MG, Jung KY. 2013. Analysis of Temperature Change by Forest Growth for Mitigation of the Urban Heat Island (in Korean with English abstract). Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 31(2):143-150.