

## 도시지역에서의 토지피복 유형별 지표면 온도 현황 분석\*

김근한\*\* · 김동범\*\*\* · 송영명\*\*\*\* · 최희선\*\*\*\*\*

### Analysis of Land Surface Temperature Status by Land Cover in Urban Areas\*

Geunhan Kim\*\* · Dongbeom Kim\*\*\* · Yongmyong Song\*\*\*\* · Hee-Sun Choi\*\*\*\*\*

**요약 :** 본 연구에서는 서울시 전체를 대상으로 세분류 토지피복지도의 객체에 대해 토지피복, 지표면 온도, 정규 식생 지수, 표고를 추출하고, 해당 객체들과 지표면 온도와와의 관계를 살펴보고자 했다. 세분류 토지피복지도의 객체 전체에 대해 세분류 토지피복유형, 지표면 온도, 정규 식생 지수, 표고의 현황을 살펴본 결과 시가화건조지역이 활엽수림, 침엽수림, 혼효림과 같은 산지, 농경지, 자연초지, 기타 초지와 문화-체육시설 보다 지표면 온도가 높게 나타났으며, 표고가 높을수록 지표면 온도가 낮게 나타났다. 그리고 정규 식생 지수가 높은 기타 초지에서 지표면 온도가 낮게 나타나는 경향을 보였다. 그리고 다른 토지피복 유형보다 정규 식생 지수가 높게 나타나는 산림, 농경지와 자연초지, 기타 초지와 문화-체육시설 중 10,000m<sup>2</sup> 이상의 크기를 가진 객체들을 기준으로 주변 50m 이내의 기타 초지와 단독주거시설, 공동주거시설과 같은 주거시설 및 상업-업무시설의 지표면 온도의 분포 현황을 확인한 결과 정규 식생 지수가 높게 나타나는 지역 인근의 토지피복 객체들에서 지표면 온도가 낮게 나타나는 경향이 있었으며, 동일한 정규 식생 지수의 값을 비교했을 때 정규 식생 지수가 높은 지역 인근의 토지피복 객체들에서 지표면 온도가 더 낮게 나타나는 경향을 보였다. 주요어 : 지표면 온도, 토지피복, 녹지, 세분류 토지피복지도, 정규 식생 지수

**Abstract :** This study aimed at extracting the land cover, land surface temperature, normalized difference vegetation index, and altitude for the sub-divided land cover map for all of Seoul City, and to investigate the relationship between the corresponding objects and land surface temperature. Upon examining the sub-divided land cover type, land surface temperature, normalized difference vegetation index, and altitude for all objects of the sub-divided land cover map, urbanized dry areas had higher land surface temperature compared to mountain areas such as mountainous regions with broad leaf tree forests, coniferous forests and mixed forests, as well as farmlands, natural grasslands, other grasslands, and cultural/sports facilities, and it was also found that land surface temperature lowered when altitude was higher. There was also a tendency for land surface temperature to be lower in other grasslands with a high vegetation index. Furthermore, among forests, farmlands, natural grasslands, other grasslands, and cultural/sports facilities with higher normalized difference vegetation index compared to other land cover types, upon examining the land surface temperature distribution of other grasslands, residential facilities including single homes and apartment facilities, and commercial and work facilities within 50 m of for objects having an area of more than 10,000 m<sup>2</sup>, there was a tendency for land surface temperature to be lower than land cover objects in nearby areas with a high normalized difference vegetation index. And when comparing the value of the same normalized difference vegetation index, there was a tendency for land surface temperature to be lower in land cover objects near regions with a high normalized difference vegetation index.

**Key Words :** Land surface temperature (LST), Land cover, Green area, Sub-divided land cover map, Normalized difference vegetation index (NDVI)

\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호 21UMRG-B158194-02)을 받아 한국환경연구원이 수행한 “온실 가스 저감을 위한 국토도시공간 계획 및 관리기술 개발(2021-010(R))” 사업의 연구 결과로 작성되었음.

\*\*한국환경연구원 전문연구원(Research Specialist, Korea Environment Institute, ghkim@kei.re.kr)

\*\*\*내가시스템 기술연구소 연구원(Researcher, Technical Research Institute NEGGA Co., Ltd, dlkim@negga.co.kr)

\*\*\*\*내가시스템 기술연구소 연구소장(Chief Technology Officer, Technical Research Institute NEGGA Co., Ltd, ymsong@negga.co.kr)

\*\*\*\*\*한국환경연구원 선임연구원(Cheif Research Fellow, Korea Environment Institute, choihs@kei.re.kr)

## I. 서론

도시는 다양한 유형의 토지피복으로 구성되어 있고, 각각의 토지피복은 열전도와 열용량에 영향을 미친다. 그리고 도시를 구성하는 인공구조물의 증가는 열전도와 열용량을 증가시키며, 이러한 영향은 태양복사에너지의 흡수와 반사에 서로 다른 영향을 미친다. 따라서 건물과 도로와 같은 인공구조물이 많은 도시지역에서는 기온이 상승하게 된다(김근회 등, 2018). 그리고 도시의 기온 상승은 온열질환, 감염성 질환자의 증가 등 인명피해를 포함한 신체적 피해를 유발하며, 1차 산업과 관련된 생산물의 생산 감소, 전력 소비량 증가, 교통 시설의 변형 등 경제적·사회적인 다양한 피해를 유발한다(김동우 등, 2019; 박종철 등, 2019; 채여라, 2021).

이러한 도시지역의 온도 상승으로 인해 발생하는 피해를 방지하기 위해서 정책 입안자들은 도시열섬 문제를 해결하기 위한 다양한 노력을 검토하였고, 이러한 노력 중 하나로 도시 공간 내 녹지공간의 조성을 제안했다(Li *et al.*, 2012). 그리고 이러한 도시 공간 내 녹지공간의 조성에 대한 효과를 설명하기 위한 연구 중 하나로써 도시 내 열 환경과 녹지공간을 포함한 토지피복 및 토지이용의 관계를 설명하기 위한 연구들이 진행되었다. 김근회 등(2018)은 서울 선정릉 주변을 대상으로 사례 연구를 진행하여 도심 속 녹지의 냉각효과를 살펴보았다. 녹지공간 주변 2 × 2km 영역의 지표면 온도(Land Surface Temperature, 이하 LST)를 산출하고 변화를 분석하여, 약 20ha의 면적을 지닌 도심 속 녹지공간은 약 200m의 냉각 효과 범위를 가진다고 밝혔다. 토지 피복 유형이 냉각 효과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 중분류 기준으로 가장 냉각 효과의 강도가 큰 주거지역과 상업지역을 대상으로 거리 기반의 냉각 효과를 분석하였다. 주거지역이 상업지역보다 도심 녹지의 냉각 효과의 강도와 범위가 넓음을 밝혀내었다. 송영선(2005)은 다중시기의 토지피복 변화에 따른 서울시의 도시화를 탐지하며, 그에 따른 LST의 변화 양상을 연구하였다. 시가지지역, 산림, 농지, 그리고 수계로 4개의 토지피복 분류 항목을 두어 도시의 변화 양상과 LST의 변화에 대한 연관성을 분석하였다. 연구 결과로 시가지 지역의 증가, 수계 및 녹지지역의 감소와 LST의 증가가 관련이 있음을 확인하였다. 김태현 등(2018)은 세종특별자치시를 대상으로 단기간의 토지피복 및 토지이용의 변화와 LST의 변화를 분

석하여 이들의 영향을 연구하였다. 연구 결과로 토지피복특성이 열섬발생에 직접적으로 영향을 미치는 것을 파악하였으며, 시가지 지역과 녹지가 영향의 방향이 서로 다르다는 것을 정량적으로 확인하였다. 정지훈 등(2019)은 남한을 대상으로 습지가 갖는 기후완화 효과를 평가하였다. 효과적인 분석을 위하여 2018년 폭염 및 한파 발생 기간에 대하여 시계열 분석을 진행하였다. 폭염의 경우 습지와 시가지 지역의 LST 차이가 뚜렷이 나타나 습지의 기후 완화 효과에 대해 설명했다.

위 연구들에서는 실험지역의 토지피복 및 토지이용과 LST와의 관계를 파악하기 위해 일정한 격자 형식의 레스터 자료를 사용하였고, 국지적인 스케일에서 이루어졌다. 그리고 활용한 토지피복의 유형도 시가지 지역, 산림, 농지, 수계 등 단순한 토지피복 분류 항목을 두어 분석하였다는 한계가 있다. 이는 도시 내 다양한 토지피복의 유형과 해당 토지피복의 유형별 LST를 고려한 도시계획 측면에서 활용되기에는 한계가 있으리라 판단된다. 다양한 토지피복 및 토지이용으로 구성된 도시에서의 도시계획 및 환경계획 등 다양한 계획에 활용하기 위해서는 토지피복 유형을 세부적으로 분류하고, 피복 분류별 LST와의 관계를 파악하고 이를 계획에 반영할 필요가 있을 것이다. 그리고 이러한 도시의 LST를 파악하고 토지피복과의 관계를 분석하기 위해서는 LST를 한 번에 파악할 수 있는 원격탐사 영상을 활용한 기법들을 고려해야 한다(박샘 · 최광용, 2016). 이와 관련하여 Yao *et al.* (2020)은 Landsat 8 위성영상을 활용하여 LST를 산출하고, IKONOS 영상으로 도시 녹지공간을 추출한 후, LST에 대한 녹지공간의 냉각효과를 확인하였다. 공학양 등(2016)은 Landsat 8 TM 위성영상을 활용하여 LST, 정규 시가지지수(Normalized Difference Built-up Index, 이하 NDBI)와 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, 이하 NDVI)를 산출하여 토지이용에 따른 열 환경을 분석한 결과, 이들 간의 부적 상관관계를 보임을 밝혔다. 김윤기(2018)는 Landsat 8 위성영상을 활용하여 LST와 도시 냉섬 효과(Urban Cool Island, UCI)를 구하여 숲의 냉각효과에 대하여 확인하였다. 이러한 사례와 같이 위성영상 자료는 온도 및 수분 함량과 같은 기본적인 정보와 함께 광범위한 지리적 영역에 걸쳐 자료를 체계적으로 수집하기 쉽다는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 도시공간 내 녹지공간을 포함한 토지피복 유형별 LST 현황을 파악하기 위해 원격탐사 기

법을 적용하였으며, Landsat 8 위성영상을 활용하여 LST를 구축하였다. 그리고 Sentinel-2A 영상을 활용하여 고해상도의 NDVI를 구축했다. 그리고 환경부의 세분류 토지피복지도를 활용하여 토지피복 및 토지이용의 객체를 추출하였다. 그리고 향후 토지피복의 변화가 LST의 변화 양상을 예측할 수 있도록 도시지역 내 녹지공간을 포함한 토지피복들의 LST 특성을 파악하였다.

## II. 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구지역

도시 속의 녹지 및 다양한 토지피복과 LST의 특성을 살펴보기 위하여 서울특별시를 연구지역으로 선정하였다(그림 1). 서울의 면적은 약 605km<sup>2</sup>이며, 이 중 도시화가 진행된 피복의 면적은 약 313km<sup>2</sup>이다. 서울특별시는 우리나라 수도이자 대표 대도시이며, 도시화가 가장 고밀하게 진행되고 있으며, 토지피복의 유형에 따른 LST 특성 파악에 적합하다고 판단하였다.

### 2. 연구자료

#### 1) LST 구축 과정

LST를 구축되기 위해 Landsat 8의 OLI(Operational Land

Imager) 센서와 TIRS(Thermal Infrared Sensor) 센서 자료를 사용하였다. Landsat 8 위성 자료는 미국지질조사국(United States Geological Survey, USGS)과 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)이 공동으로 제작하였으며, 현재 Earth Explorer(<http://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 제공하고 있다. 본 연구에서는 연구지역 내 온량이 가장 적었던 2019년 6월 13일에 촬영된 Landsat 8 위성영상 자료를 활용하여 LST를 산출하였다.

지표면 온도는 Landsat 8 TIRS 센서의 열적외선 밴드인 10번 밴드와 OLI 센서의 3, 4번 밴드를 활용하여 산출하였다. 제공되는 TIRS 자료의 경우 USGS에서 30m 해상도로 리샘플링 과정을 거친 자료를 사용자에게 제공하며, DN(Digital Number)으로 제공되기 때문에 먼저 대기 상층부 복사량(Top of Atmosphere radiance, TOA)을 계산하여야 한다. 이를 위해서 USGS에서는 제공하는 식 (1)을 사용하여 계산한다.

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

여기서  $L_{\lambda}$ 는 대기상층부 복사량,  $Q_{cal}$ 은 화소 값(DN),  $M_L$ 과  $A_L$ 은 각각 승수 계수와 가산 계수<sup>1)</sup>이다.

다음으로 식 (2)를 통하여 밝기 온도를 계산한다.

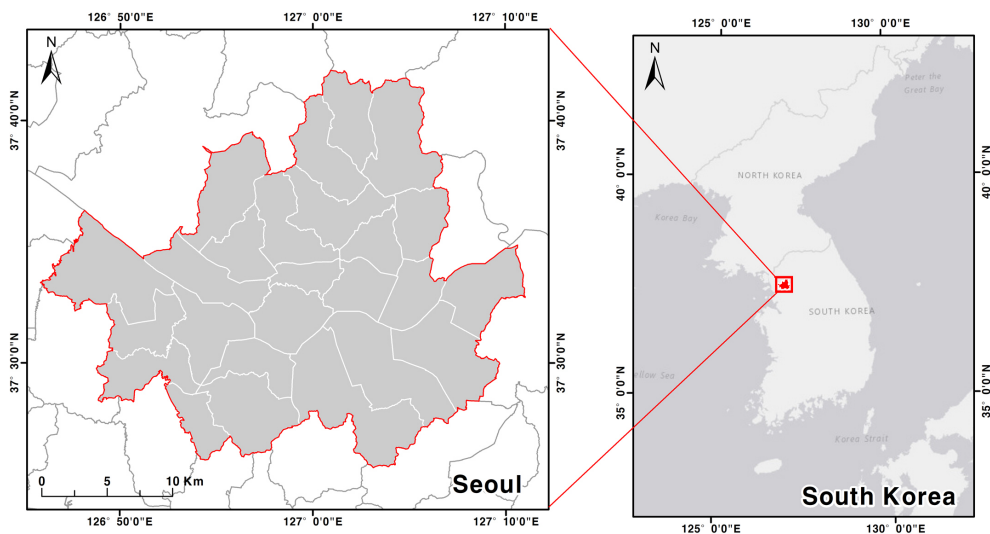


그림 1. 연구지역

표 1. NDVI에 따른 지표 복사율

NDVI 범위	지표 복사율
< -0.185	0.995
-0.185 ~ 0.157	0.970
0.157 ~ 0.727	1.0094+0.047ln (NDVI)
> 0.727	0.990

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

위 식에서  $T$ 는 밝기 온도,  $L_\lambda$ 는 대기상층부 복사량,  $K_1$ 과  $K_2$ 는 보정 상수<sup>2)</sup>이다.

지표면 온도는 밝기 온도( $T$ )와 지표 복사율( $\epsilon$ )로부터 계산된다. 지표 복사율은 지표면에 도달한 태양 복사에너지 중 지표면으로부터 반사 및 흡수 과정을 거친 후 재방출되는 에너지 비율의 합을 의미한다. 이러한 이유로 지표 복사율을 산출하기 위해서는 에어로졸, 구름의 양 등과 같이 대기 효과와 관련된 다양한 자료들이 필요하다. 하지만 현실적인 데이터의 한계로 인하여 표 1의 Landsat 8 영상으로부터의 정규 식생 지수와 토지 피복 유형으로부터의 관계에 대한 경험식으로 간접 계산을 진행하였다(Zhang *et al.*, 2006).

마지막으로, 식 (3)을 사용하여 밝기 온도( $T$ )와 지표 복사율( $\epsilon$ )로부터 LST를 계산하였다.

$$T_s = \epsilon^{\frac{1}{4}} T \quad (3)$$

위 식에서  $T_s$ 는 지표면 온도,  $\epsilon$ 는 지표복사율,  $T$ 는 밝기온도이다.

이러한 과정으로 추정된 LST의 단위를 켈빈 온도(K)에서 섭씨 온도(°C)로 변환하여 최종적으로 그림 2와 같이 서울시의 LST를 산출하였다.

## 2) NDVI 구축 과정

NDVI(정규식생지수)는 토지피복에서의 녹색 식생의 분포와 식생 활력을 정량화하여 값으로 산출한 것이며, 식생의 상대적 분포량과 활동성을 나타내는 대표적인 식생 지표이다(Deardorff, 1978). 이러한 NDVI는 식 (4)를 통하여 산출된다.

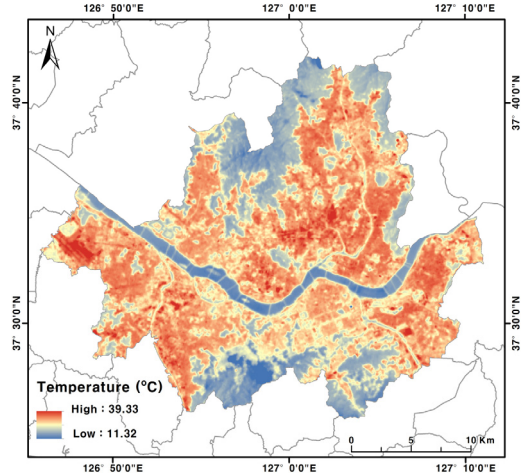


그림 2. Landsat 8을 활용하여 추출한 LST

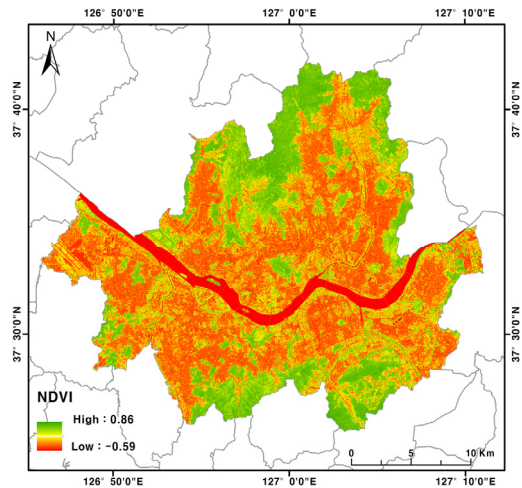


그림 3. Sentinel-2 영상을 활용하여 추출한 NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \quad (4)$$

여기서  $NIR$ 과  $red$ 는 각각 위성영상에서의 적외광대역과 가시광대역의 적색 밴드를 의미한다. 본 연구에서는 유럽항공우주국(European Space Agency, ESA)에서 제공하는 2019년 5월 23일에 촬영된 Sentinel-2A/MSI L1C 영상을 원자료로 구축하였고, Qgis의 SCP모듈을 통한 대기보정을 수행한 후 NDVI를 산출하였다. 산출하는데 사용한 4, 8번 밴드의 공간해상도는 10m이다. NDVI 값은 -1과 1 사이의 값을 가지며, 양수가 커질수록 녹색

식생의 활력이 증가함을 나타내고, 음수값은 나지 및 수계를 의미한다.

### 3) 기타 자료

도시지역 내 토지피복 및 토지이용을 이용하기 위해 세분류 토지피복도를 활용했다. 세분류 토지피복지도는 지표면에 대해서 일정한 특성을 가지는 지표면에 따라 분류한 공간정보 DB를 말한다. 세분류 토지피복지도는 1m 해상도의 영상자료를 주된 자료로 활용하여 총 41개 항목으로 세분화하여 토지의 피복을 분류하여 제작한 축척 1:5,000의 주제도이다. 본 연구에서는 LST와 토지피복, 이용과의 상세한 관계 파악을 위해 환경부 토지피복도 구축 9차 사업에서 생산된 2019년 세분류 토지피복도를 활용하였다.

그리고 지표면 온도는 고도와 밀접한 연관이 있기 때문에 이러한 지표면의 고도를 반영하기 위해 DEM을 활용했으며, LST와 토지피복 및 토지이용의 자료들의 지형 특성을 살펴보기 위하여 사용하였다.

## 3. 연구 방법

토지피복의 유형들과 LST와의 관계를 분석하기 위해 토지피복지도 각각의 객체들(폴리곤)을 포인트로 변환하고, 해당 포인트를 활용하여 LST를 추출했다. 이렇게 LST와 토지피복 및 토지이용을 관계를 파악하는데, 자료들을 무작위로 샘플을 추출하면 도시 내에서 토지피복 및 토지이용이 상세하게 유형이 구분되는 경우 해당 객체들의 대표성이 떨어질 수 있으므로 서울시에 포함된 토지피복지도의 모든 객체를 사용하였다. 다만 산지, 하천, 도로, 대규모 문화·체육시설, 초지의 경우 각각의 객체가 하나로 편집되어 있기 때문에 각각의 객체 규모가 큰 경우가 많다. 이러한 경우는 해당 객체의 LST를 대표하기에는 한계가 있다고 판단되어 산지, 하천, 도로, 문화체육시설, 초지의 경우 10,000m<sup>2</sup>보다 큰 객체에 대해서는 각각의 개체에 대해 50m 간격으로 샘플 포인트를 생성하고 LST를 추출했다.

추출한 세분류 토지피복의 피복 유형 중 표 2와 같이 추출된 포인트 개수가 많은 상위 15개의 유형에 해당하는 샘플 포인트 331,479개를 사용하였다. 이렇게 추출한 샘플 포인트를 대상으로 각 세분류 토지피복 유형의 LST 현황 분포를 파악했다. 그리고 DEM, 그리고 NDVI의 관

계를 분석하였다. 그리고 NDVI가 높게 나타나는 토지피복 유형의 주변 토지피복에 대해 주변 토지피복 유형들의 LST에 미치는 영향까지 검토하고자 하였다.

추출된 331,479개의 샘플 포인트를 대상으로 각 세분류 토지피복 유형 별 각 변수들의 LST 분포를 편리하게 탐색하기 위해 본 연구에서는 상자그림을 활용하였다. 상자그림은 수치적 자료를 표현하는 그래프로 최솟값, 제 1사분위, 중위값, 제 3사분위, 그리고 최댓값을 나타내는 그래프이며, 전체적인 분포 현황을 한 번에 확인할 수 있다는 장점이 있다.

서울시의 대표 15개의 세분류 토지피복 유형들의 LST 현황을 살펴보았으며, 이때 표고와의 관계 유무를 파악하기 위해 DEM 현황을 동시에 고려했다. 이때 고도에 따른 LST의 영향이 나타났기 때문에 추출된 토지피복 객체 중 표고 50m 이하인 객체들만 별도로 추출하여 분석에 활용하였다. 많은 선행연구에서 도시 온도를 조절하는 기능을 가진다고 판단했던 녹지공간 즉 가로수, 조경수와 같은 기타 초지의 LST와 NDVI의 관계를 살펴보았다. 그리고 NDVI가 다른 토지피복 유형보다 높게 나타나는 산림(활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)) 및 농

**표 2** 서울시의 대표 세분류 토지피복지도 피복 유형과 추출 포인트

토지피복		면적 (km <sup>2</sup> )	추출 포인트
명칭	코드		
단독 주거 시설	111	47.30	56,224
공동 주거 시설	112	31.20	58,006
상업·업무시설	131	45.17	67,681
문화·체육·휴양시설	141	6.14	7,573
도로	154	163.68	23,105
교육·행정시설	162	8.08	7,324
기타 공공시설	163	5.50	11,821
경지정리가 안 된 밭	222	5.03	2,900
활엽수림	311	99.24	14,460
침엽수림	321	25.98	4,925
혼효림	331	19.44	3,754
자연초지	411	7.79	5,264
기타 초지	423	61.82	55,811
기타 나지	623	17.51	7,768
하천	711	31.29	4,863

\* 토지피복 분류 체계는 환경부의 세분류 토지피복지도 유형 체계를 따름.

경지(222)와 자연초지(411), 기타 초지(423)와 문화·체육시설(141)의 객체들 중 10,000m<sup>2</sup> 이상의 크기를 가진 객체들의 주변 50m 이내에 포함된 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)의 LST의 분포 현황을 검토하였으며, 추가적으로 이러한 일정 규모 이상의 녹지공간이 주변 토지피복의 LST에 영향을 미치는지 파악하기 위해 동일한 NDMI를 가진 샘플들 중 50m 이내와 외곽에 있는 샘플들을 추출하여 LST를 비교하였다.

### III. 결과 및 고찰

먼저 그림 4와 표 3과 같이 서울시의 대표 15개의 세분류 토지피복 유형들의 LST 현황을 나타낸 것이다. 분포 현황을 살펴보면 단독 주거 시설(111), 공동 주거 시설(112), 상업·업무시설(131), 문화·체육·휴양시설(141),

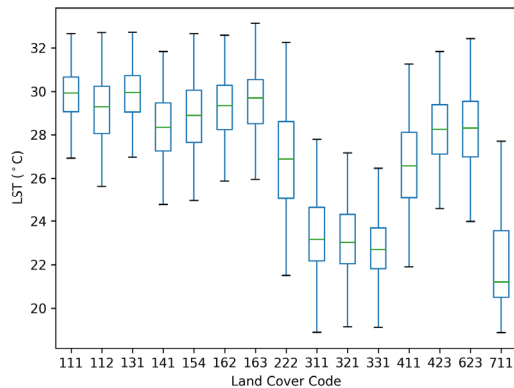


그림 4. 토지피복 유형별 LST 분포현황

표 3. 토지피복 유형별 LST 분포현황에 대한 상세 통계표

	111	112	131	141	154	162	163	222	311	321	331	411	423	623	711
표본 수	51,026	55,143	62,349	7,137	21,770	6,847	10,808	2,866	13,069	4,428	3,221	5,168	52,854	7,293	4,425
평균	29.81	29.12	29.84	28.32	28.52	29.23	29.49	26.82	23.44	23.20	22.83	26.59	28.22	28.21	22.16
표준편차	1.16	1.46	1.19	1.54	1.63	1.40	1.43	2.25	1.81	1.64	1.47	2.07	1.57	1.81	2.24
최솟값	26.93	25.62	26.97	24.75	24.94	25.86	25.96	21.50	18.90	19.16	19.13	21.90	24.56	23.97	18.88
25%	29.06	28.06	29.04	27.25	27.65	28.24	28.52	25.04	22.16	22.03	21.81	25.06	27.12	26.98	20.50
중위값	29.93	29.28	29.95	28.34	28.89	29.34	29.70	26.89	23.15	23.01	22.69	26.57	28.26	28.31	21.21
75%	30.65	30.24	30.72	29.47	30.05	30.28	30.54	28.61	24.63	24.30	23.68	28.11	29.38	29.54	23.55
최댓값	32.65	32.70	32.72	31.83	32.66	32.58	33.13	32.25	27.78	27.16	26.68	31.25	31.83	32.42	27.71

도로(154), 교육·행정시설(162), 기타 공공시설(163)과 같은 시가화 건조지역의 경우 상자그림을 살펴보면 보면 LST의 중위값은 다른 토지피복의 유형과 비교하여 값이 높게 나타났으며, 제1사분위 값과 제3사분위 값 및 최솟값과 최댓값의 분포 또한 다른 토지피복의 유형보다 높게 나타났다.

그리고 아파트 완충녹지 및 가로수가 분류되어 있는 기타 초지(423)와 기타나지(623) 또한 시가화 건조지역보다 중위값은 낮기는 하지만 제 1사분위, 제 3사분위의 범위를 비교했을 때 시가화 건조지역보다 LST가 낮게 나타난다고 판단하기는 어렵다. 또한 활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)과 같은 산림과 수계(711)가 토지피복 유형 중 LST가 가장 낮게 나타났다.

그리고 수계를 제외하고 활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)인 산림지역의 LST가 낮게 나타난 것은 표고의 영향이 LST에 영향을 미칠 수도 있으리라 판단하였으며, 이를 확인하기 위해 추출한 토지피복지도 유형들의 포인트와 DEM 값을 비교했다. 그림 5와 표 4는 샘플들의 고도 분포를 나타낸 것이며, 토지피복 유형 특성에 따라 산림에서 표고 값이 가장 크게 나타났다. 이에 그림 6과 표 5와 같이 50m와 100m로 구분하여 산림지역의 LST의 분포를 살펴본 결과 고도가 100m로 높은 지역의 산림에서 LST가 낮게 분포함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 그림 5에서 나타난 것처럼 표고의 영향을 최소화하기 위해 대부분의 토지피복 유형이 분포하는 50m 기준으로 토지피복 유형들의 LST 현황을 검토하고자 했다.

표고 50m 이하의 세분류 토지피복 유형들의 LST 현황을 살펴본 결과 그림 7과 표 6과 같이 나타났다. 분포 현황을 살펴보면 단독 주거 시설(111), 공동 주거 시설

표 4. 토지피복 샘플 유형 별 고도 현황을 나타낸 그림 5의 상세 통계표

	111	112	131	141	154	162	163	222	311	321	331	411	423	623	711
표본 수	50,498	52,546	61,808	6,792	20,612	6,571	10,542	2,655	12,783	4,595	3,494	4,800	49,680	6,926	4,015
평균	28.32	27.53	22.36	27.25	22.62	28.78	26.12	44.43	100.22	127.16	150.75	36.86	25.91	28.98	4.15
표준편차	13.95	13.39	9.61	14.53	11.08	13.70	12.25	24.50	59.46	76.89	100.13	27.71	14.33	17.06	1,608
최솟값	5.87	0.77	0.1	0.70	0.22	6.56	0.22	4.58	3.57	8.41	8.57	2.73	0.95	0.31	0.1
25%	16.92	16.28	14.53	15.19	13.89	17.73	16.12	26.32	53.34	63.68	69.26	13.36	14.40	14.69	2.92
중위값	25.29	25.04	20.25	24.44	19.93	26.52	24.08	40.34	86.73	110.96	128.78	29.59	22.30	25.00	3.28
75%	37.18	36.22	28.86	36.65	30.00	37.35	34.09	60.23	134.72	182.55	219.87	54.56	35.02	39.29	5.33
최댓값	65.99	63.12	47.31	66.15	52.83	65.06	59.92	105.15	263.02	322.01	401.74	109.41	65.38	75.98	9.12

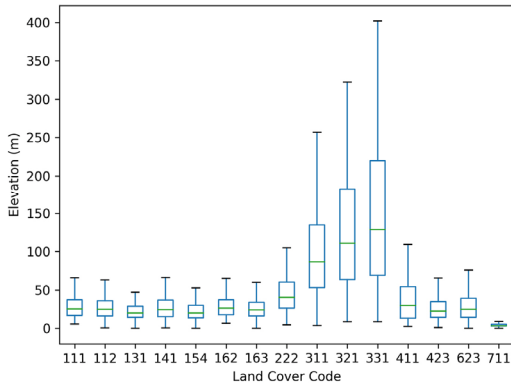


그림 5. 토지피복 샘플 유형 별 고도에 대한 박스플롯

(112), 상업·업무시설(131), 문화·체육·휴양시설(141), 도로(154), 교육·행정시설(162), 기타 공공시설(163)과 같은 시가화 건조지역의 경우 상자그림으로 보면 LST의 중위값은 다른 토지피복의 유형과 비교하여 값이 크게 나타났으며, 제1사분위 값과 제3사분위 값 및 최솟값과 최댓값의 분포 또한 다른 토지피복의 유형보다 높게 나타났다.

그리고 특이한 점은 표고 50m 이하의 지역만을 추출

표 5. 그림 6에 대한 상세 통계표

	Forest&DEM50	Forest&DEM100
표본 수	4,142	10,915
평균	26.96	25.32
표준편차	2.38	2.43
최솟값	20.04	14.61
25%	25.21	23.62
중위값	26.69	24.89
75%	28.55	26.77
최댓값	39.14	39.14

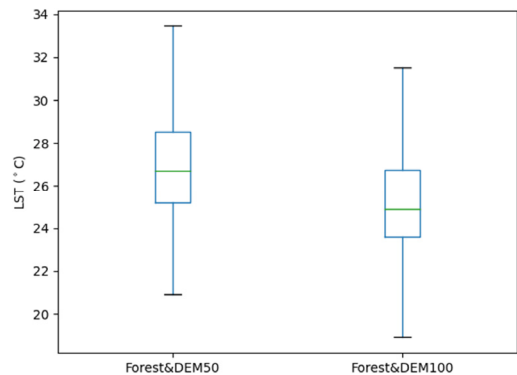


그림 6. 특정 고도 산림의 LST 분포

표 6. 표고 50m 이내의 토지피복 유형별 LST 분포현황을 나타낸 그림 7에 대한 상세 통계표

	111	112	131	141	154	162	163	222	311	321	331	411	423	623	711
표본수	45,613	48,378	62,735	6,159	20,299	5,958	10,004	1,729	2,796	800	546	3,416	45,508	5,944	4,768
평균	29.79	29.13	29.72	28.47	28.88	29.31	29.46	27.81	26.80	26.93	27.84	27.18	28.31	28.51	22.71
표준편차	1.39	1.57	1.51	1.67	1.82	1.49	1.63	1.87	2.31	2.40	2.48	1.97	1.70	1.79	2.89
최솟값	22.33	21.22	22.02	21.30	19.97	22.85	22.13	22.37	20.04	22.19	22.66	22.09	20.99	21.96	18.88
25%	29.13	28.10	28.90	27.38	27.72	28.38	28.54	26.54	25.08	25.17	25.99	25.80	27.21	27.38	20.56
중위값	30.00	29.37	29.93	28.50	28.99	29.49	29.76	27.93	26.60	26.57	27.54	27.16	28.36	28.58	21.36
75%	30.72	30.30	30.73	29.65	30.16	30.38	30.60	29.24	28.37	28.48	29.65	28.62	29.51	29.74	24.63
최댓값	35.84	34.43	37.88	37.52	36.48	35.23	35.56	32.56	39.14	38.95	36.88	32.82	36.61	34.76	32.56

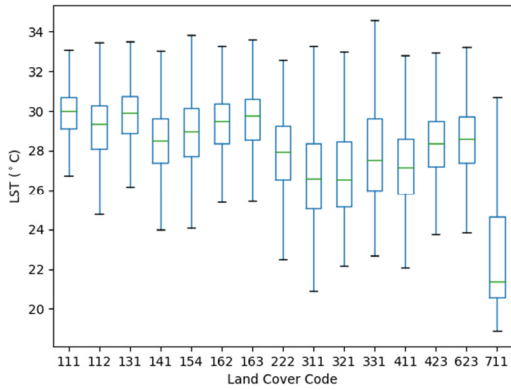


그림 7. 표고 50m 이내의 토지피복 유형별 LST 분포현황

하여 LST의 현황을 비교하면 산림지역의 LST는 표고를 고려하지 않았을 때 보다 높게 나타났으며, 특히 혼효림 지역의 경우 자연초지보다 LST 값이 높게 나타났다.

그리고 도시의 온도 조절 기능을 제공하는 것으로 알려진 가로수, 조경수와 같은 기타 초지의 분포를 살펴봤다. 기타 초지의 LST 중위값은 시가지 건조지역의 토지피복의 유형보다 작지만 제3사분위와 최댓값을 비교했을 때는 시가지 건조지역의 토지피복의 유형보다 기타 초지의 LST가 낮다고 할 수 없었다. 따라서 이러한 현상이 나타나는 원인을 살펴보기 위해 추가적으로 표고 50m 이하의 기타 초지들의 NDVI와 LST를 비교 분석했다. 이를 위해 대표 토지피복유형들의 NDVI 분포를 살펴본 결과 LST의 분포 값이 낮은 토지피복의 유형이 NDVI가 높게 나타났다. 그리고 추가적으로 기타 초지 각각의 개체의 LST와 NDVI를 비교 분석했다. 분석 결과 그림 9와 같이 NDVI가 높게 나타난 기타 초지의

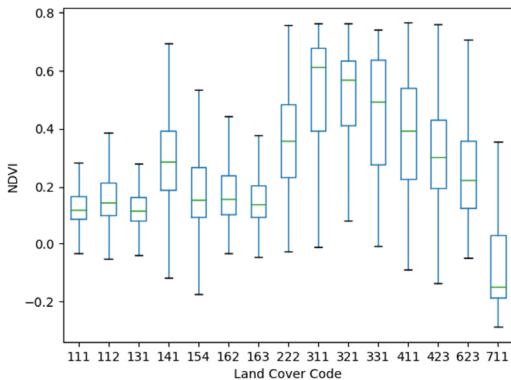


그림 8. 표고 50m 이하의 토지피복 유형 별 NDVI

LST가 낮게 나타나는 경향을 통계적으로 유의한 수준 ( $p < 0.001$ )에서 확인할 수 있었다.

그리고 기타 초지의 면적 또한 LST와 상관관계가 있는 지 파악하기 위해 기타 초지의 면적과 LST 분포를 살펴본 결과 그림 10과 같이 유의미한 결과를 확인할 수 없었으며, 동일한 기타 초지라 하더라도 위치에 따라 LST가 다를 수 있었다. 이에 10,000m<sup>2</sup> 이상의 기타 초지에서 50m 간격으로 추출한 샘플 포인트의 NDVI와

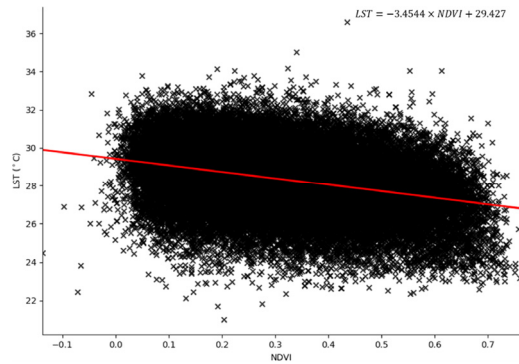


그림 9. 기타 초지의 LST와 NDVI와의 관계

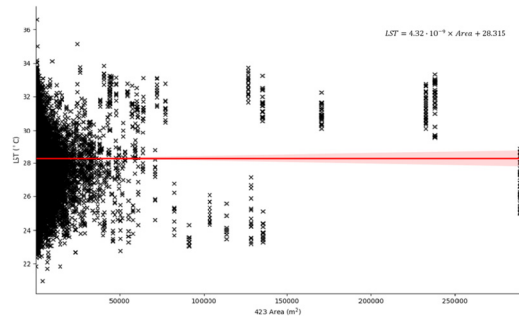


그림 10. 기타 초지의 LST와 면적과의 관계

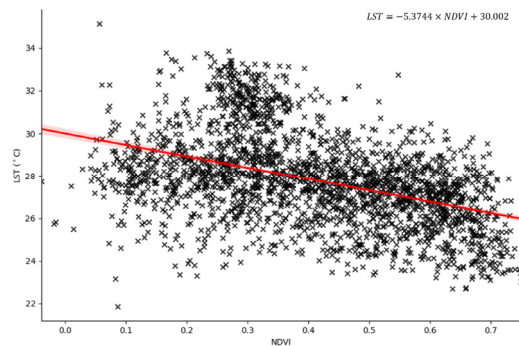


그림 11. 10,000m<sup>2</sup> 이상의 기타 초지의 LST와 NDVI와의 관계



LST를 비교해 보았다(그림 11). 비교 결과 그림 9와 같이 통계적으로 유의한 수준( $p < 0.001$ )에서 NDVI가 높을수록 LST가 낮아지는 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 즉 녹지공간의 면적보다는 녹지공간의 식생들의 정규 식생 지수가 LST에 더 영향을 미침을 알 수 있었다.

그리고 녹지공간의 유무를 파악하기 위해 그림 8의 세분류 토지피복 유형들과 식생의 활력도를 나타내는 NDVI를 검토한 결과 산림(활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)) 및 농경지(222)와 자연초지(411)에서 큰 값이 나타났고, 뒤이어 기타 초지(423)와 문화·체육시설(141)이 비슷한 값으로 NDVI가 다소 높게 나타났다.

그리고 NDVI가 높게 나타나는 일정 규모 이상의 객체

들이 주변에 있는 토지피복 객체들의 LST에 영향을 미치는지 확인하기 위해 산림(활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)), 농경지(222), 자연초지(411), 기타 초지(423)와 문화·체육시설(141)의 객체 중 10,000m<sup>2</sup>의 객체들을 추출하여 해당 객체들을 기준으로 주변 50m 이내에 포함된 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)과 같은 대표 시가지 건조지역의 토지피복 유형들의 LST 현황을 살펴봤다. 분석 결과 그림 12와 표 7, 표 8과 같이 NDVI가 크게 나타난 10,000m<sup>2</sup> 이상의 객체들의 인근(50m)에 분포하고 있는 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)의 LST

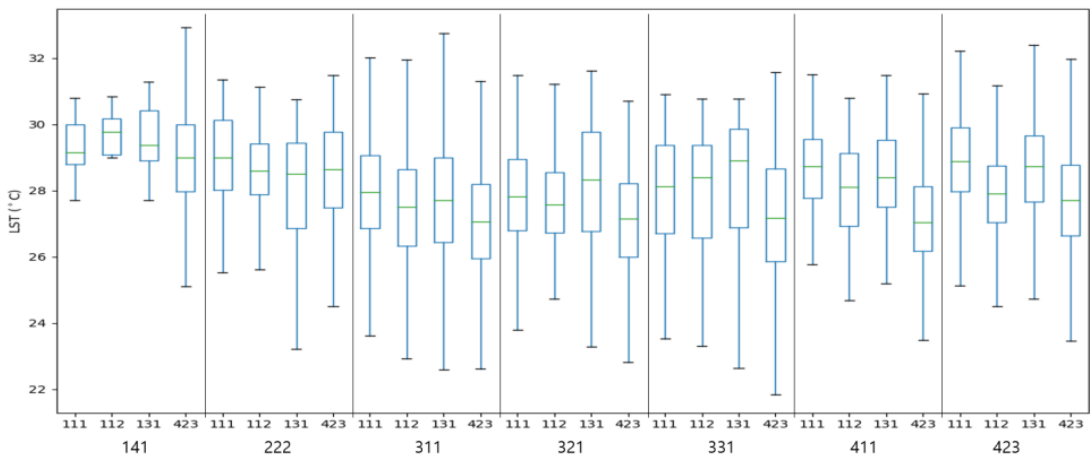


그림 12. 높은 NDVI 값을 나타낸 토지피복 주위의 토지피복 별 LST 분포 현황

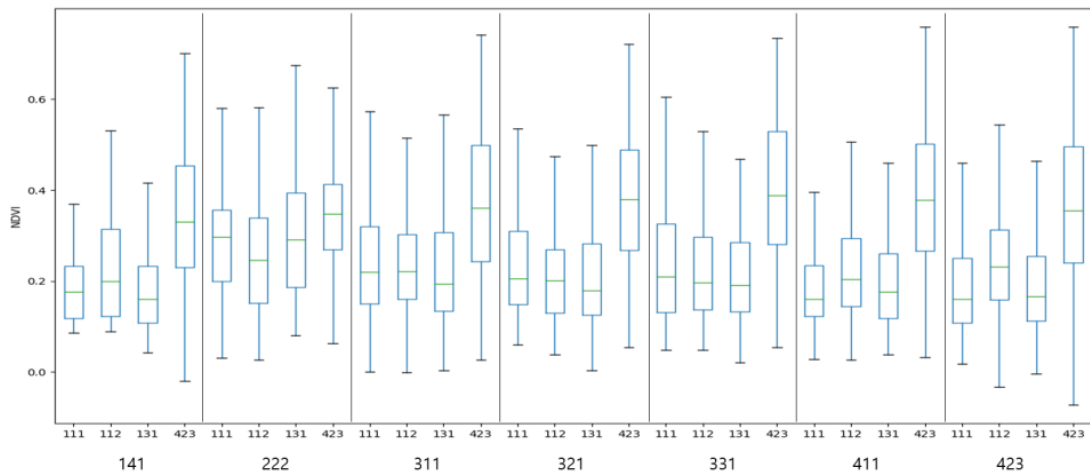


그림 13. 높은 NDVI 값을 나타낸 토지피복 주위의 토지피복 별 NDVI 분포 현황

현황은 그림 7과 표 6의 LST 현황과 비교한 결과 대체적으로 NDVI가 높던 지역 인근에 있는 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)들이 NDVI가 낮은 지역 인근에 있는 객체들과 비교했을 때 LST가 더 낮게 나타났다.

다만 그림 13과 표 9, 표 10을 살펴보면 LST가 낮게 나타나는 토지피복 객체들은 앞서 확인한 것 처럼 대체로 NDVI 또한 높게 나타났기 때문에 단순히 NDVI가 높아서 LST가 낮게 나타난 것인지, 녹지공간 등 NDVI가 높은 일정 규모 이상의 객체들 인근(50m)에 위치하여

**표 7. 높은 NDVI 값을 나타낸 토지피복 주위의 토지피복 별 LST 분포 현황 통계표**

	문화·체육·휴양 141				경지정리가 안 된 밭 222				활엽수림 311				침엽수림 321			
	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423
표본수	19	12	48	338	139	67	92	146	2,102	2,469	1,327	3,014	158	150	152	362
평균	29.32	29.81	29.67	29.07	28.88	28.49	28.01	28.60	27.88	27.45	27.64	27.07	27.92	27.73	28.16	27.14
표준편차	0.97	0.69	1.36	1.55	1.64	1.27	1.79	1.57	1.60	1.62	1.80	1.62	1.66	1.53	1.83	1.52
최솟값	27.71	28.99	27.71	25.09	23.29	25.08	23.20	24.51	22.33	22.58	22.02	21.84	23.80	24.73	23.28	22.61
25%	28.79	29.09	28.90	27.96	28.03	27.89	26.86	27.49	26.87	26.33	26.43	25.96	26.79	26.73	26.78	26.00
중위값	29.14	29.77	29.37	29.00	29.00	28.58	28.51	28.64	27.96	27.50	27.70	27.06	27.82	27.58	28.33	27.15
75%	30.00	30.18	30.41	29.99	30.13	29.41	29.43	29.78	29.05	28.64	29.00	28.20	28.96	28.54	29.78	28.23
최댓값	30.79	30.85	34.86	34.17	31.36	31.12	30.75	31.49	32.74	31.95	32.74	32.00	31.49	31.45	31.61	30.71

	혼효림 331				자연초지 411				기타 초지 423			
	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423
표본수	198	167	138	353	75	93	82	445	581	3,516	1,495	7,687
평균	27.94	27.97	28.27	27.21	28.72	27.86	28.41	27.09	28.86	27.85	28.62	27.73
표준편차	1.78	1.65	2.00	1.68	1.41	1.60	1.56	1.67	1.33	1.32	1.49	1.78
최솟값	22.33	23.30	22.64	21.84	24.70	24.67	22.89	23.01	24.63	23.43	23.63	21.85
25%	26.71	26.58	26.87	25.87	27.78	26.93	27.51	26.17	27.97	27.05	27.67	26.64
중위값	28.12	28.40	28.91	27.18	28.73	28.11	28.39	27.05	28.87	27.91	28.72	27.70
75%	29.36	29.36	29.86	28.66	29.55	29.12	29.52	28.13	29.91	28.75	29.65	28.78
최댓값	30.90	30.78	30.78	31.58	31.50	30.80	31.49	31.63	32.21	32.05	33.66	34.14

**표 8. 높은 NDVI 값을 나타낸 토지피복 주위의 토지피복 별 NDVI 분포 현황 통계표**

	문화·체육·휴양 141				경지정리가 안 된 밭 222				활엽수림 311				침엽수림 321			
	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423
표본수	19	12	48	338	139	67	92	146	2,102	2,469	1,327	3,014	158	150	152	362
평균	0.20	0.23	0.19	0.34	0.29	0.27	0.31	0.35	0.25	0.25	0.24	0.38	0.24	0.21	0.23	0.38
표준편차	0.10	0.13	0.12	0.15	0.12	0.14	0.15	0.12	0.13	0.12	0.14	0.16	0.12	0.11	0.16	0.16
최솟값	0.09	0.09	0.04	-0.02	0.03	0.03	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.04	0.00	0.05
25%	0.12	0.12	0.11	0.23	0.20	0.15	0.19	0.27	0.15	0.16	0.13	0.24	0.15	0.13	0.13	0.27
중위값	0.18	0.20	0.16	0.33	0.30	0.25	0.29	0.35	0.22	0.22	0.19	0.36	0.20	0.20	0.18	0.38
75%	0.23	0.31	0.23	0.45	0.36	0.34	0.39	0.41	0.32	0.30	0.31	0.50	0.31	0.27	0.28	0.49
최댓값	0.45	0.53	0.53	0.70	0.63	0.58	0.68	0.72	0.73	0.73	0.73	0.74	0.62	0.58	0.69	0.72

LST가 낮게 나타나는지 확인이 필요하기 때문에 추가적인 분석을 수행했다. 이를 위해 활엽수림(311)과 기타 초지(423) 중 10,000m<sup>2</sup> 이상 객체들의 인근(50m)에 분포하는 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)의 객체들과 50m

밖에 분포하는 객체들을 구분하고, 각각의 토지피복 유형에 대해 동일한 NDVI를 기준으로 NDVI가 높은 그룹과 낮은 그룹을 나눠서 동일 그룹간의 LST를 비교 분석해 보았다. NDVI가 높은 그룹은 NDVI가 0.3~0.31(샘플 수가 부족한 객체에 대해서는 0.28~0.32, 0.3~0.32 적용)

**표 8.** 높은 NDVI 값을 나타낸 토지피복 주위의 토지피복 별 NDVI 분포 현황 통계표(계속)

	혼효림 331				자연초지 411				기타 초지 423			
	111	112	131	423	111	112	131	423	111	112	131	423
표본수	198	167	138	353	75	93	82	445	581	3,516	1,495	7,687
평균	0.24	0.23	0.21	0.40	0.19	0.22	0.21	0.38	0.19	0.25	0.20	0.37
표준편차	0.13	0.12	0.11	0.16	0.09	0.11	0.13	0.16	0.12	0.12	0.12	0.17
최솟값	0.05	0.05	0.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	-0.03	0.00	-0.07
25%	0.13	0.14	0.13	0.28	0.12	0.14	0.12	0.27	0.11	0.16	0.11	0.24
중위값	0.21	0.20	0.19	0.39	0.16	0.20	0.18	0.38	0.16	0.23	0.17	0.36
75%	0.33	0.30	0.29	0.53	0.23	0.29	0.26	0.50	0.25	0.31	0.25	0.50
최댓값	0.65	0.73	0.58	0.73	0.48	0.62	0.55	0.76	0.68	0.70	0.71	0.76

**표 9.** 기타 초지 인근(50m)과 그 외 지역의 단독주거시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황

	기타 초지(423) 인근 단독주거시설(111)		기타 초지(423) 외각 단독주거시설(111)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	38	33	968	3,437
평균	28.37	29.51	29.15	29.98
표준편차	1.12	1.06	1.62	1.31
최솟값	25.48	27.05	23.75	22.77
25%	27.78	28.83	28.19	29.37
중위값	28.42	29.67	29.41	30.17
75%	29.08	30.31	30.32	30.84
최댓값	30.24	31.14	33.61	35.22

\* NDVI 높은 기준 값은 0.28 ~ 0.32, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

**표 10.** 기타 초지 인근(50m)과 그 외 지역의 공동주거시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황

	기타 초지(423) 인근 공동주거시설(112)		기타 초지(423) 외각 공동주거시설(112)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	78	71	441	2,629
평균	27.77	28.04	28.39	29.69
표준편차	1.22	1.58	1.43	1.40
최솟값	23.90	24.40	24.01	23.48
25%	27.08	26.99	27.52	29.01
중위값	27.90	28.05	28.46	29.93
75%	28.64	29.29	29.41	30.69
최댓값	30.41	30.86	31.74	33.37

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.31, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

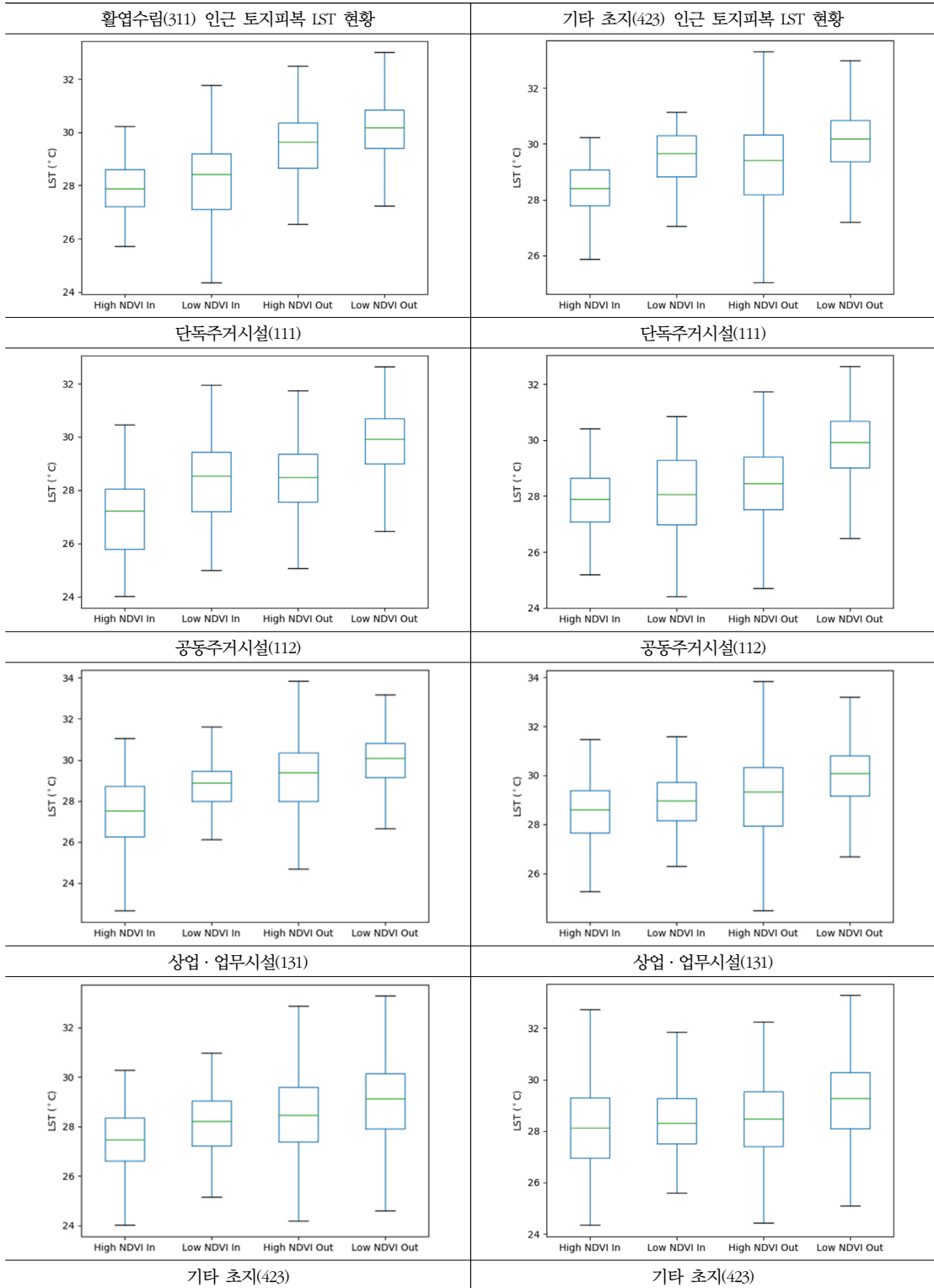


그림 14. 활엽수림과 기타 초지 인근과 그 외 지역의 대표 토지피복 유형의 LST 분포 현황

인 객체들을 추출했고, NDVI가 낮은 그룹은 NDVI가 0.09~0.1인 객체들을 추출했다.

그림 14에서 High NDVI In은 활엽수림(311) 혹은 기타 초지(423)들 인근(50m)에 위치한 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·

업무시설(131)의 토지피복 유형 중 NDVI가 높은 객체들을 나타내며, Low NDVI Out은 활엽수림(311) 혹은 기타 초지(423)의 50m 밖에 있으면서 낮은 NDVI를 나타내는 특정 토지피복 유형의 객체들을 나타낸다. 분석 결과를 살펴보면 그림 14와 표 12~19와 같이 나타났다. 우선 활

**표 11.** 기타 초지 인근(50m)과 그 외 지역의 상업·업무시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황

	기타 초지(423) 인근 상업·업무시설(131)		기타 초지(423) 외각 상업·업무시설(131)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	39	71	476	4,683
평균	28.56	28.99	29.09	29.89
표준편차	1.65	1.27	1.75	1.40
최솟값	25.28	26.30	22.66	23.18
25%	27.66	28.16	27.93	29.16
중위값	28.60	28.97	29.34	30.07
75%	29.40	29.73	30.33	30.81
최댓값	33.21	32.36	34.20	37.07

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.32, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

**표 12.** 기타 초지 인근(50m)과 그 외 지역의 기타 초지 토지피복 유형의 LST 분포 현황

	기타 초지(423) 인근 기타 초지(423)		기타 초지(423) 외각 기타 초지(423)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	186	55	820	597
평균	28.28	28.34	28.45	29.14
표준편차	1.83	1.63	1.53	1.61
최솟값	24.34	24.60	23.11	22.75
25%	26.96	27.52	27.41	28.10
중위값	28.13	28.30	28.46	29.28
75%	29.29	29.28	29.55	30.27
최댓값	32.87	32.10	32.25	33.28

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.31, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

**표 13.** 활엽수림 인근(50m)과 그 외 지역의 단독주거시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황

	활엽수림(311) 인근 단독주거시설(111)		활엽수림(311) 외각 단독주거시설(111)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	36	43	189	3,427
평균	27.95	28.01	29.45	30.00
표준편차	1.32	2.07	1.34	1.27
최솟값	24.38	22.84	25.97	22.77
25%	27.21	27.11	28.65	29.39
중위값	27.88	28.41	29.63	30.18
75%	28.60	29.19	30.35	30.84
최댓값	31.68	31.78	33.30	35.22

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.31, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

엽수림(311)과 기타초지(423)의 50m 이내에 있는 기타초지(423), 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)에 대해 NDVI가 높은 객체(High NDVI In)들이 NDVI가 낮은 객체(Low NDVI In)들보다 LST가 더 낮게 나타났다. 그리고 활엽수림(311)과

기타초지(423) 지역 인근(50m)에 있는 토지피복 객체들의 LST 분포(High NDVI In, Low NDVI In)는 활엽수림(311)과 기타초지(423)의 50m 밖에 있는 토지피복 객체들의 LST(High NDVI Out, Low NDVI Out)를 비교했을 때 동일한 NDVI를 나타남에도 불구하고 LST는 더 낮게

**표 14. 활엽수림 인근(50m)과 그 외 지역의 공동주거시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황**

	활엽수림(311) 인근 공동주거시설(112)		활엽수림(311) 외각 공동주거시설(112)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	53	49	466	2,651
평균	27.06	28.35	28.44	29.67
표준편차	1.53	1.66	1.34	1.42
최솟값	24.01	24.98	23.90	23.48
25%	25.80	27.20	27.57	28.99
중위값	27.23	28.54	28.50	29.92
75%	28.05	29.43	29.36	30.68
최댓값	30.45	31.95	31.74	33.37

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.31, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

**표 15. 활엽수림 인근(50m)과 그 외 지역의 상업·업무시설 토지피복 유형의 LST 분포 현황**

	활엽수림(311) 인근 상업·업무시설(131)		활엽수림(311) 외각 상업·업무시설(131)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	36	48	479	4,706
평균	27.43	28.79	29.17	29.88
표준편차	1.95	1.39	1.67	1.40
최솟값	22.66	25.55	23.84	23.18
25%	26.26	27.98	28.00	29.15
중위값	27.51	28.89	29.37	30.07
75%	28.72	29.45	30.35	30.81
최댓값	31.04	31.61	34.20	37.07

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.32, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.1.

**표 16. 활엽수림 인근(50m)과 그 외 지역의 기타 초지 토지피복 유형의 LST 분포 현황**

	활엽수림(311) 인근 기타 초지(423)		활엽수림(311) 외각 기타 초지(423)	
	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역	NDVI 높은 지역	NDVI 낮은 지역
표본수	57	44	949	1,354
평균	27.38	28.07	28.48	28.98
표준편차	1.59	1.67	1.57	1.58
최솟값	23.11	23.79	23.46	22.75
25%	26.61	27.22	27.39	27.92
중위값	27.47	28.22	28.45	29.11
75%	28.36	29.05	29.59	30.14
최댓값	31.68	32.00	32.87	33.28

\* NDVI 높은 기준 값은 0.3 ~ 0.31, 낮은 기준 값은 0.09 ~ 0.11.

나타났다. 이러한 분석 결과는 NDVI가 LST에 영향을 미치는 중요한 인자지만 주변 녹지공간의 조성 또한 LST에 영향을 미치는 중요 인자라 판단할 수 있다.

#### IV. 결론

도시의 확장은 건물과 도로와 같은 인공구조물의 지속적인 증가를 유발하며, 이러한 영향은 도시의 지표온도를 높인다. 이러한 지표온도의 상승은 도시열섬 문제를 유발하며, 도시열섬은 다양한 피해를 야기한다. 따라서 이러한 도시의 온도를 저감하기 위한 다양한 노력들이 수행되고 있는데, 이러한 노력 중 하나로 도시 공간 내 녹지공간을 포함한 토지이용 및 토지피복과의 도시 온도 관계에 대한 연구들이 진행되었다. 이러한 기존의 연구에서는 일정 규모의 실험지역을 대상으로 국지적 스케일에서의 토지피복 및 토지이용과 지표면 온도와의 관계를 파악하고자 하였으며, 활용한 토지피복의 유형도 시가지 지역, 산림, 농지, 수계 등 대분류 수준에서의 토지피복 분류 항목과의 분석을 수행했다는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 세분류 토지피복지도의 다양한 토지피복 유형과 식생활력을 비교할 수 있는 NDVI를 활용하여 도시 내 다양한 토지피복의 유형과 해당 토지피복의 유형별 지표면 온도를 비교하였다.

본 연구는 서울특별시를 실험지역으로 선정하였으며, 세분류 토지피복지도의 토지피복 유형 중 대표 15개의 세분류 토지피복 유형들의 LST 현황을 살펴본 결과 시가지화조지역이 산림(활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)) 및 농경지(222)와 자연초지(411), 기타 초지(423)와 문화·체육시설(141)보다 LST가 높게 나타났으며, 표고가 높을수록 LST가 낮게 나타났다. 그리고 NDVI가 높은 기타 초지가 LST가 낮게 나타나는 경향을 보였으며, 기타 초지의 면적과 LST는 뚜렷한 경향이 보이지 않았다. 그리고 다른 토지피복 유형보다 NDVI가 높게 나타나는 산림(활엽수림(311), 침엽수림(321), 혼효림(331)) 및 농경지(222)와 자연초지(411), 기타 초지(423)와 문화·체육시설(141) 중 10,000m<sup>2</sup> 이상의 크기를 가진 객체들을 기준으로 주변 50m 이내의 기타 초지(423)와 주거지역(단독주거시설(111), 공동주거시설(112)), 상업·업무시설(131)의 LST의 분포 현황을 확인한 결과 NDVI가 높게 나타나는 지역 인근의 토지피복에서 LST

가 낮게 나타나는 경향이 있었으며, 동일한 NDVI의 값을 비교했을 때 NDVI가 높은 지역 인근의 토지피복들이 LST가 더 낮게 나타나는 경향을 보였다. 즉 녹지공간의 면적보다 정규식생지수가 LST에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 고해상도 자료와 상세한 토지피복 유형 분류를 통하여 앞선 선행연구들이 포착하지 못하였던 세분류 토지피복 유형과 LST와의 관계를 분석하였다. 같은 대분류 체계에 있지만 일상 속에서 접하는 세분류 체계에서는 그 결과가 다르게 나타났으며, 이는 보다 실용적인 측면으로 도시계획적인 접근이 될 수 있다는 것을 시사한다. 즉 도시계획적 측면에서 녹지공간의 단순 조성보다는 조성된 녹지공간의 식생활력까지 고려하고, 대규모 녹지공간의 조성까지 고려한다면 도시 공간 내 지표 온도를 저감하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이라 판단된다. 예를 들어 신도시 개발에서 도시 열섬현상이 발생하지 않도록 개발 지역 내 근린공원 최소 기준인 10,000m<sup>2</sup> 이상 등 일정 규모 이상의 녹지공간을 조성하고, 해당 녹지공간을 중심으로 주변에 식생 활력이 높은 수목들을 활용하여 녹지공간을 조성하도록 도시계획, 환경계획 또는 공원계획에서 요구된다면 도시열섬 등 폭염으로 인한 피해를 줄이는데 도움을 줄 수 있을 것이며, 기존 도심 지역 재개발에서는 도시열섬의 유무에 따라 식생 활력까지 고려한 녹지공간의 조성 등을 재개발 허가 단계에서 고려한다면 도시열섬을 예방하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이라 판단된다.

한편, 본 연구 결과는 시간 해상도에 따른 연구결과와의 민감성을 고려하지 않았기에 그 한계점이 존재한다. 향후 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위하여 다양한 시간 범위의 자료를 사용하여야 할 것이다. 또한 공간적으로는 녹지공간이 LST에 미치는 영향을 파악하기 위해 녹지공간의 NDVI 수준과 면적, 어느 정도의 거리까지 LST에 미치는 영향까지 객관적으로 파악할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 註

- 1) Landsat 8 10번 밴드의 승수 계수는 3.3420E-04, 가산 계수는 0.1 이다.
- 2) Landsat 8 10번 밴드의  $K_1$  보정상수는 774.8853,  $K_2$  보정상수는 1321.0789 이다.

## 참고문헌

- 공학양·김석현·조형진, 2016, “인천시에서 토지이용이 도시 열 환경에 미치는 영향” *Ecology and Resilient Infrastructure*, 3(4), 315-321.
- 김근희·이영곤·김재환·최희욱·김백조, 2018, “Landsat 8 위성자료를 이용한 도심녹지 냉각효과 분석” *대한원격탐사학회지*, 34(2), 167-178.
- 김동우·유재진·윤정호·손승우, 2019, “UAV 열적외 카메라를 활용한 폭염 시 시가지의 표면온도 변화 분석” *한국지리학회지*, 8(1), 47-60.
- 김윤기, 2018, “Identifying the Predictors of Land Surface Temperature Using Multiple Linear Regression Analysis” *한국지적학회지*, 34, 15-37.
- 김태현·이원희·한유경, 2018, “Landsat-8 시계열 위성영상을 활용한 도심지 확장에 따른 열섬포텐셜 분석” *한국측량학회지*, 36(4), 305-316.
- 박샘·최광용, 2016, “위성영상에 탐지된 1980년대 이후 수도권 지역의 도시 팽창” *한국지리학회지*, 5(3), 331-343.
- 박종철·한국진·채여라, 2019, “폭염에 의한 축산폐사와 뉴스 빅데이터의 상관관계 분석” *한국지리학회지*, 8(3), 529-543.
- 송영선, 2005, “Landsat 위성영상을 이용한 도시확장 및 지표온도 변화 탐지” *대한공간정보학회지*, 13(4), 59-65.
- 정지훈·이용관·김성준, 2019, “Terra/Aqua MODIS LST를 이용한 폭염 및 한파기간 동안 습지의 지면온도 완화 효과 분석” *한국습지학회지*, 21(5), 123-133.
- 채여라, 2021, 「폭염 분야 재해영향모델 개발», 서울: 기상청.
- Deardorff, J.W., 1978, Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture, With Inclusion of a Layer of Vegetation, *Journal of Geophysical Research*, 83(4), 1899-1903.
- Li, X., Zhou, W., Ouyang, Z., Xu, W., and Zheng, H., 2012, Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China, *Landscape ecology*, 27(6), 887-898.
- Yao, L., Li, T., Xu, M., and Xu, Y., 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.
- Zhang, J., Wang, Y., and Li, Y. A., 2006, C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM Band 6, *Computers & Geosciences*, 32(10), 1796-1805.
- 교신 : 최희선, 30174, 세종특별자치시 시청대로 370, 세종국책연구단지 B동(과학·인프라동) 한국환경연구원(이메일: choihs@kei.re.kr)
- Correspondence : Hee-Sun Choi, 30174, Bldg B, 370 Sicheong-daero, Sejong, Republic of Korea, Korea Environment Institute (Email: choihs@kei.re.kr)

투고접수일: 2021년 9월 13일  
 심사완료일: 2021년 10월 26일  
 게재확정일: 2021년 11월 16일