

# Landsat 위성영상을 활용한 재건축 지역의 지표 온도 변화에 관한 연구 : 서울특별시 강동구의 고덕동과 둔촌동을 중심으로\*

한지훈<sup>1</sup> · 손철<sup>2\*</sup>

## A Study on Land Surface Temperature Changes in Redevelopment Area Using Landsat Satellite Images : Focusing on Godeok-dong and Dunchon-dong in Gangdong-gu, Seoul\*

Jihoon HAN<sup>1</sup> · Chul SON<sup>2\*</sup>

### 요 약

우리나라 대도시 지역에 인구가 집중되고 이에 따른 수요를 충족시키기 위하여 저밀도 주거지가 재개발·재건축을 통하여 고밀도 주거지화 되고 있다. 그러나 단시간에 이루어진 대규모의 재건축은 도시녹지 면적 감소에 의한 열섬현상을 발생시키는 등 도시 기후에 부정적인 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 Landsat 8 위성영상을 활용하여 서울특별시 강동구 고덕동, 둔촌동 재건축 지역의 2013년에서 2022년까지의 지표 온도의 변화를 분석하였다. 고덕동 지역에서는 재건축이 진행되는 대상지와 산림지역, 산림과 시가지가 혼재된 지역, 저층주거지역에 대한 지표 온도의 차이를 분석하였으며, 둔촌동 지역에서는 대상지와 산림지역, 저층주거지역에 대한 지표 온도의 차이를 분석하였다. 분석은 지표 온도 차이에 대한 다중회귀분석을 통하여 진행되었다. 고덕동 지역과 둔촌동 지역에서 공통적으로 재건축 전단계까지 전반적으로 지표 온도가 산림보다 높고 저층주거지역보다 낮게 나타났다. 이러한 특징들은 고덕동, 둔촌동의 저층주거지역이 대상지보다 녹지율이 낮고 건폐율이 높기 때문에 발생하였음을 알 수 있다. 본 연구를 통해 저밀도 지역이 고밀도화가 되더라도 녹지와 건폐율을 적절하게 관리한다면 도시열섬현상을 완화시킬 수 있음을 알 수 있다.

주요어 : Landsat8, 지표온도, 열섬현상, 재건축

2023년 03월 02일 접수 Received on March 02, 2023 / 2023년 03월 29일 수정 Revised on March 29, 2023 / 2023년 05월 03일 심사완료 Accepted on May 03, 2023

\* 본 연구는 석사학위 청구논문의 일부이며 2022년도 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합 핵심인재 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2021 -08-03)

1 강릉원주대학교 공간정보협동과정 석사 / Master, Inter-Disciplinary Program in Spatial Information Science, Gangneung-Wonju National University

2 강릉원주대학교 도시계획·부동산학과 교수 / Professor, Dept. of Urban Planning and Real Estate, Gangneung-Wonju National University

※ Corresponding Author E-mail: csohn@gwnu.ac.kr

## ABSTRACT

The population is concentrated in the metropolitan areas in Korea, and low-density residential areas are transforming into high density residential areas through redevelopment to meet this demand. However, large-scale redevelopment in a short period of time has a negative impact on the urban climate, such as generating a heat island effect due to the reduction of urban green areas. In this study, the change in surface temperature from 2013 to 2022 in the redevelopment areas of Godeok-dong and Dunchon-dong, Gangdong-gu, Seoul, was analyzed using Landsat 8 satellite images. In the Godeok-dong area, the difference in surface temperature was analyzed for the target redevelopment area, forest area, mixed forest and urban area, and low density residential area. In the Dunchon-dong area, the difference in surface temperature was analyzed for the target redevelopment area, forest area, and low density residential area. The difference in surface temperature was analyzed through multiple regression analysis conducted yearly over the three different stages in redevelopment period. The results from the multiple regression analysis show that in both areas, the land surface temperature of target redevelopment area was higher than that of the forest area and lower than low density residential area. It can be seen that these results occurred because the low-density residential area in Godeok-dong and Dunchon-dong had a lower green area ratio and a higher building-to-land ratio than the target redevelopment area. The results of this study suggest that even if low-density residential areas are transforming into high-density areas, adjusting the management of green areas and building-to-land ratio can contribute to lessen urban heat island effect.

**KEYWORDS** : *Landsat8, Land Surface Temperature, Urban Heat Islands, Redevelopment*

## 서론

도시 내 열흡수율과 열방출율이 높은 콘크리트 건물과 아스팔트 도로 등의 증가는 도시열섬현상(Urban Heat Island)을 가중시키는 중요한 원인으로 지적되고 있다. 이외에도 도시 내 자동차와 에어컨 실외기 그리고 조명 등의 증가, 녹지면적의 감소도 열섬현상을 가중시키는 또 다른 요인이다(Woo and Yoon, 2020; Je and Jung, 2018). 열섬현상은 도심지가 주변지역에 비해 온도가 높게 나타나는 현상을 말하는데, 서울특별시도 열섬현상으로 인하여 평균 기온의 지속적인 증가, 열대야 일수의 증가 그리고 그로 인한 에너지 사용량 및 의료, 사회적 비용의 증가 등의 문제가 발생하고 있다.(Lee et al, 2017) 이러한 열섬현상을 감소시키는 것이 도

에서 발생하는 다양한 문제를 완화하는데 중요한 역할을 할 것이다.

우리나라 대도시의 경우 인구 집중현상에 대응하여 도시 내 오래된 저밀도 주거지역을 재건축, 재개발 지역으로 지정하여 고밀도화 하고 있다. 그런데 이러한 도시개발 방향은 도시 내 콘크리트 건물, 자동차, 에어컨 실외기, 조명의 증가를 가져오고 녹지면적의 감소를 초래하여 도시열섬현상을 증가시킬 가능성이 있다. 도시로의 인구집중과 주거지 노후화에 따라 향후 고밀도 도시 재개발이 피할 수 없는 선택이라면, 고밀도 주거단지의 개발을 추진하면서도 도시열섬현상을 억제할 수 있는 다양한 도시개발수단의 선택이 필수적이다. 이러한 선택을 위해 필요한 정보가 우리나라 수도권 내 고밀도 주거지 개발이 도시열섬현상을 변화시키는 데 실제로 어떤 영향을 미쳤는지에 대한 평가정보이다.

본 연구에서는 최근 저밀도 공동주택단지에서 고밀도 공동주택단지로의 재건축을 완료했거나 진행중인 2개의 수도권 고밀도 주거지 개발사례를 선택하여 개발 이전, 철거, 개발 이후 등 단계별로 해당지역의 도시열섬현상의 변화를 추적 평가함을 통해 향후 고밀도 주거지 개발에 따른 도시열섬현상 완화방안 선택에 기여하고자 한다.

## 선행연구 검토

대규모 주거단지 개발은 녹지의 훼손을 통해 도시열섬현상을 심화시키는 경향이 있다(Kim and Kim, 2019). 이러한 열섬현상의 완화 방안과 관련하여 Myung(2015)은 서울지역의 도시공원을 중심으로 위성영상을 활용한 지표 온도의 분석 결과 도시녹지와 같은 그린 인프라적인 요소의 공급을 통해 열섬현상을 완화시킬 수 있다는 가능성을 제시하였다. Oh *et al.*(2011)은 경기도 고양시의 근린공원들을 대상으로 수종, 피복재료별로 온도변화를 측정하고 식재 방식에 따른 온도저감 효과를 파악하여 도시열섬의 저감기능을 확인하였다. 그 중 수중에 따라서는 침엽수보다는 활엽수에서, 포장재료에서는 투수 콘크리트와 잔디에서 상대적으로 낮은 온도로 나타났으며, 수목이 밀집되어 있는 곳 역시 낮은 온도가 나타났다고 분석하였다. Kim and Yeom(2012)은 2011년 5월과 9월의 MODIS, Landsat ETM+, 그리고 RapidEye 위성영상을 사용하여 일산 신도시의 지표면 온도의 패턴에 대해 연구하였다. 해당 연구에서 높은 건폐율이 나타나는 저층단독주택지에 비해 낮은 건폐율과 높은 녹지율이 나타나는 고층 아파트단지의 지표 온도가 현저히 낮게 나타난다는 점을 발견하였다.

Park and Lee(2017)는 서울시의 도시열섬 현상 저감을 위하여 품질시험소 내 주차장에서 포장재질별 차열성능 분석을 진행하였고 신규 아스팔트보다 노화된 아스팔트가, 블록포장의 명도가 높을수록 저감효과가 높다고 분석하였으며, 점토바닥벽돌과 황토포장 역시 온도 저감효과가 크다는 결과를 제시하였다. Kim *et al.*(2020)

은 인공신경망 모형을 통하여 2017년 8월의 서울시 도시공원을 대상으로 공원 면적, 정규식생 지수, 정규시가지지수, 공원 외부 건폐율, 인접 녹지와 거리에 대한 지표 온도의 냉각효과를 분석하였고 인접 녹지와 거리가 가까울수록, 도시공원 면적이 커질수록, 도시공원의 식생 활력도가 높을수록 지표 온도가 낮아짐을 확인하였다. Baek *et al.*(2022)은 청라 국제도시의 개발기간에 촬영된 Landsat 위성영상을 활용하여 시가화 지역과 주변 녹지지역의 지표 온도를 비교하였고 청라 국제도시에서 시가화 지역 면적이 증가할 때 열섬현상이 증가되고 인공초지 면적이 증가할 경우에 열섬 현상이 저감된다는 것을 확인하였다.

이러한 선행연구들은 고밀도 주거지 개발시에도 녹지율을 높이고 건폐율을 낮추는 설계를 통하여 열섬현상을 완화할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 그러나 선행연구들의 대부분은 다른 조건을 가진 대상지들을 같은 시기의 지표 온도 분석을 통해 비교하였다. 따라서 선행연구들은 재개발이나 재건축시 저밀도 주거지에서 고밀도 주거지로 변화하는 과정(개발이전, 철거, 개발후 등)별로 도시열섬현상이 실제로 어떤 변화양상을 보여주는가에 대한 정보를 제공하지 않는다. 특정 시점에 측정된 서로 다른 토지피복간의 지표 온도 차이를 통해 도시열섬현상을 분석하고 완화방안을 처방하는 것도 가능하다. 그러나 저밀도에서 고밀도로 변화한 주거지에 대한 시계열 분석을 통해 대상지가 변화하는 과정에서의 지표 온도가 실제로 어떻게 변화하는가를 분석한다면 고밀도 개발의 실제영향을 도시열섬현상 측면에서 살펴볼 수 있다는 측면에서 기존의 연구들을 보완할 수 있다.

## 연구 방법

### 1. 연구 설계

저밀도 공동주거지에서 고밀도 주거지로의 변화가 도시열섬현상에 미친 영향을 개발이전, 철거, 개발후 등 단계별로 추적평가하기 위해서

본 연구에서는 수도권 내 재건축 주거단지 가운데 인근에 산림지역 및 변화가 없는 저밀도 주거지가 존재하는 연구 대상지를 선택하여 위성영상을 이용하여 재건축 지역, 변화가 없는 저밀도 주거지 지역, 산림 지역내의 지점별 지표온도(LST: Land Surface Temperature)를 연도별로 측정하고 이 지표 온도가 각 토지피복영역별로 어떻게 변화하는지 (1)의 회귀식 추정을 통해 분석하였다.

$$LST = \alpha + \hat{\beta}_1 L + \hat{\beta}_2 L2H + e \quad (1)$$

*L*: LST 측정지점이 변화가 없는 저밀도 지역에 속하는 경우 1 아니면 0

*L2H*: LST 측정지점이 재건축 지역에 속하는 경우 1 아니면 0

추정된 회귀식에서  $\hat{\beta}_1$ 과  $\hat{\beta}_2$ 는 변화가 없는 저밀도 주거지 지역과 재건축 지역의 LST가 산림지역에 비해 상대적으로 얼마나 높은지를 말해주는데 추정계수들의 부호와 상대적 크기를 연도별로 비교함으로써 재건축 추진에 따른 도시열섬현상의 변화를 추적할 수 있다.

## 2. 연구 대상지

본 연구는 연구 대상지로 서울특별시 강동구의 고덕동 및 둔촌동의 재건축 지역 일대를 설정하였다(그림 1). 해당 대상지들은 ‘서울시 재개발 재건축 정비사업 현황’을 통하여 선정하였다. 구체적인 선정 이유는 첫번째로 대상지의 규모가 상당하여 위성영상을 통한 LST 측정에 적합하고, 두번째로 주변에 재건축 대상지와 수평적으로 비교할 수 있는 인접한 변화가 없는 저밀도 주거지역과 산림지역이 있는 지역이 있



FIGURE 1. Study area(Godeok-dong, Dunchon-dong)

었으며, 마지막으로 Landsat 8 위성영상의 발사연도인 2013년도 이후에 재건축이 진행된 지역들이라는 점 등이다.

고덕동 일대의 경우 현재의 고덕동 그라시움 아파트(고덕동 693, 694)가 대상지이다. 해당 아파트의 경우 2013년부터 2015년까지는 재건축 전의 저밀도 주거지역이었으며, 2016년부터 2019년까지는 재건축 진행 중인 공사현장, 2020년부터는 재건축이 완료되어 고밀도의 주거지역으로 변화된 지역이다. 또한 서울시 비오톱지도에서 2015년 기준으로는 4층 이하의 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 공동주택지와 5~10층의 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 공동주택지이며 2020년에는 16~30층의 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 공동주택지로 유형이 나타난다. 이러한 서울시 비오톱지도의 유형 변화를 통해 해당 지역이 2015년에는 녹지율이 5%, 40%에서 2020년에는 50%로 높아지고, 건폐율

은 2015년에 70%, 30%에서 2020년에는 20%로 낮아졌다는 것을 알 수 있다. 인근 변화가 없는 저밀도 주거지역은 2015년과 2020년 비오톱 지도에서 모두 불투수포장비율이 높은(70% 이상) 단독주택지로 구분된다. 더불어 인근에는 산림지역과 산림과 건물이 혼재된 지역이 있어 분석 대상에 포함시켰다.

둔촌동 일대는 구 둔촌동 주공아파트(강동구 둔촌동 176-1 일원)이다. 이 대상지는 2013년부터 2019년까지는 저밀도 주거지역, 그리고 2020년부터 2022년까지는 재건축 진행 중인 지역이다. 서울시 비오톱지도에서는 2015년에는 5~10층의 불투수포장비율이 높은(70% 이상) 공동주택지, 5~10층의 불투수포장비율이 낮은(70%미만) 공동주택지였으며 2020년에는 건설현장으로 나타나고 있다. 서울시 비오톱지도의 유형의 변화를 통해 해당 지역이 2015년의 녹지율이 60%, 30%, 건폐율 70%, 30%인

TABLE 1. Status by Location in Godeok-dong and Dunchon-dong

Godeok-dong			
Location	Biotop type	Green area rate	Land to building ratio
L2H:Study area	2015 : 1~4 story apartment houses with low impermeable pavement ratio (under 70%), 5~10 story apartment houses with low impermeable pavement ratio (under 70%)	5%, 40%	70%, 30%
	2020 : 16~30 story apartment houses with low impermeable pavement ratio (under 70%)	50%	20%
FU: Forest + Urban area	natural forest dominated by drought-tolerant deciduous and broad-leaved trees, public facilities larger than 1 ha, etc.	100%, 25%	0%, 20%
F: Forest area	forest afforested with foreign deciduous and broad-leaved trees, etc.	100%	0%
L:Low density residential area	detached houses with high impermeable pavement ratio (over 70%)	5%	80%
Dunchon-dong			
Location	Biotop type	Green area rate	Land to building ratio
L2H: Study area	2015 : 5~10 story apartment houses with high impermeable pavement ratio (over 70%), 5~10 story apartment houses with low impermeable pavement ratio (under 70%), etc	60%, 30%	40%, 30%
	2020 : denuded construction site	0%	0%
F: Forest area	natural forest dominated by native oak trees, etc.	100%	0%
L:Low density residential area	detached houses with high impermeable pavement ratio (over 70%), etc.	5%	70%

지역이 건설현장으로 바뀌면서 둘다 0%로 바뀐 지역임을 알 수 있다. 둔촌동 주공아파트 지역 역시 고덕동과 마찬가지로 주변에 지표 온도를 비교할 수 있는 비교 대상지역들(산림, 저층주거지역)을 추가하여 분석하였으며 특히 저층주거지역은 비오톱 지도상 2015년, 2020년 모두 대부분 불투수포장비율이 높은(70%이상) 단독주택지로 나타나서 고덕동 지역과 유사하게 나타난다.

본 연구의 시간적 범위는 2013년부터 2022년까지의 10년간이다. 고덕동 지역은 재건축 이전(2013~2015), 재건축 진행(2016~2019), 재건축 완료(2020~2022)의 단계별 지표 온도 분석을 진행하였고, 둔촌동 지역은 재건축 이전(2013~2019)과 재건축 진행(2020~2022)의 단계별 지표 온도 분석을 진행하여 재건축 단계별로 지표 온도에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

### 3. Landsat 위성영상

Landsat 8 위성영상은 USGS에서 공개하는 EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>)에서 위성영상을 수집하였다. Landsat 8 OLI/TIRS 위성은 미국 지질조사국(USGS) 및 미국항공우주국(NASA)에서 공동으로 발사한 영상으로 OLI(Operational Land Imager) 다중분광센서의 경우 30m의 공간해상도를 가지고 열 적외선 밴드를 제공하는 TIRS(Thermal Infrared Sensor) 센서의 경우 100m의 공간해

상도를 가지지만 USGS에서 30m 해상도로 맵핑하여 제공되는 영상이다. Landsat 위성의 경우 1972년의 Landsat 1부터 2022년에 발사된 Landsat 9까지 운영되어 장기간의 분석에 유리하고, 특히 Landsat 8의 경우 대상지의 시간적 범위에 해당하는 2013년부터 2022까지 모두 걸쳐있는 위성이기 때문에 본 연구에서는 Landsat 8 위성을 사용하였다.

2013년부터 2022년까지의 영상 중에서 다음 3가지 조건에 맞는 날짜로 Landsat 8 영상의 촬영시기를 선정하였다. 첫번째 조건은 지표 온도가 높은 6월~9월 시기의 영상이며 두번째 조건은 이 기간 중 구름이 끼지 않은 맑은 날의 영상이어야 하고, 마지막 조건은 촬영 날짜별로 영상의 범위가 다르기에 연구대상지에 해당되는 시기의 영상이어야 한다. 이러한 3가지 조건에 해당하는 Landsat 8 촬영시기를 선정하였다(표 2). 그리고 본 연구에서는 NDVI를 계산하기 위한 적외선, 근적외선 밴드인 Band 4, Band 5 및 열적외선 밴드인 Band 10을 사용하였고 Band 11도 열적외선 밴드이긴 하지만 Band11의 경우 누광문제로 대기에 대한 영향을 많이 받는다는 연구결과가 있어 본 연구에서는 Band 10만 사용하였다(Park and Kim, 2021).

### 4. LST의 산출과 분석모델

지표 온도 산출 방법은 Park and Kim (2021)의 방식을 따랐으며 NASA Model의 산

TABLE 2 Satellite time-series imagery used in this study

Image date	Satellite Type	Resolution	Band
2013.06.05	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2014.07.01	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2015.06.18	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2016.07.22	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2017.06.16	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2018.07.21	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2019.06.22	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2020.06.08	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2021.09.15	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10
2022.09.01	Landsat 8 OLI/TIRS	30m	Band 4, Band 5, Band 10

TABLE 3. RADIOMETRIC RESCALING Value of Landsat 8 L1TP Image

Band	RADIANCE_MULT_BAND	RADIANCE_ADD_BAND
Band 1	1.2197E-02	-60.98270
Band 2 - Blue	1.2489E-02	-62.44703
Band 3 - Green	1.1509E-02	-57.54441
Band 4 - Red	9.7049E-03	-48.52468
Band 5 - NIR	5.9389E-03	-29.69469
Band 6 - SWIR 1	1.4770E-03	-7.38480
Band 7 - SWIR 2	4.9781E-04	-2.48907
Band 8 - PAN	1.0983E-02	54.91659
Band 9 - Cirrus	2.3211E-03	11.60536
Band 10 - TIR 1	3.3420E-04	0.10000
Band 11 - TIR 2	3.3420E-04	0.10000

출식에 따라 QGIS를 활용하여 DN 값을 추출하였다. 첫번째 단계는 복사휘도 값을 구하는 것으로 Band 10의 DN(Digital Number) 값을 USGS에서 제공하는 식 2를 통하여 계산한다.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

해당 선형회귀 분석에서  $Q_{cal}$ 은 Band 10의 DN(픽셀 값)이며  $M_L$ 은 Band 10의 Radiance multiplicative scaling factor이고 Landsat 8 L1TP의 메타데이터에 의하면 그 값은 3.3420E-04이다.  $A_L$ 은 Band 10의 Radiance additive scaling factor로 Landsat 8 L1TP의 메타데이터에 의하면 0.10000이다.

계산된 복사 휘도를 통하여 절대온도(Kelvin)로 나타나는 밝기 온도를 계산할 수 있

는데 식(3)을 통하여 계산하였다.

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

$L_{\lambda}$ 는 복사휘도이며  $K_1$ 과  $K_2$ 는 Band 10에 대한 보정 계수 값으로 각각 774.8853, 1321.0789이다.

Kim *et al.*(2018)에 의하면 정확한 지표 온도의 산출을 위해서는 각 파장대별 지표면 방출율 자료가 필요하며 지표면의 방출율은 시·공간적인 변동이 매우 크기 때문에 정규식생지수(NDVI)를 이용하여 지표면 방출율을 구할 수 있다. 정규식생지수를 구하기 위해서는 Band 4, Band 5가 필요하며 구하는 공식은 식 4와 같다.

TABLE 4. Calibration factor values for Landsat 8 L1TP images

Band	LEVEL1_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10	774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10	1321.0789

TABLE 5. Emissivity values corresponding to NDVI ranges

NDVI Ranges	Emissivity (e)
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI ≤ 0.157	0.970
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.0094 + 0.047 ln(NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

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

계산된 정규식생지수를 통하여 지표면 방출율을 계산하는데 방출율의 계산 기준은 표 5과 같다(Park *et al.* 2021).

계산된 지표면 방출율 및 밝기온도를 통해 최종적으로 지표 온도(LST) 분석을 진행할 수 있으며 다음의 식 5를 통해 계산하였다.

$$LST(^\circ C) = \frac{BT}{[1 + \{(\lambda * \frac{BT}{\rho}) * \ln(\epsilon)\}]} - 273.15 \quad (5)$$

$\rho$ 는  $\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mK$ 로 계산할 수 있으며  $BT$ 는 앞서 계산한 밝기 온도,  $\lambda$ 는 Band 10의 중심 파장값인  $1.895 \mu m$ 이고  $\epsilon$ 는 NDVI를 통하여 계산한 지표면 방출율이다. 또한 해당 지표면 온도의 결과 값은 절대온도로 나타나는데  $-273.15$ 는 절대온도를 섭씨온도로 변환해 주기 위한 보정계수이다.

고덕동과 둔촌동의 연구대상지와 비교대상지들의 폴리곤 내부에 10m 단위로 포인트를 생성하여 각각의 포인트에 해당하는 지점에 2013년부터 2022년까지의 지표 온도를 입력하였다. 또한 입력된 지표 온도를 주변 산림지역을 기준으로 대상지 및 주변지역에 대한 다중회귀분석을 진행하였다. 이는 산림지역을 기준으로 변화가 발생하는 재건축 지역인 대상지와 변화가 발생하지 않은 저밀도 주거지역에 대한 지표 온도 차이를 통하여 간접적으로 비교하는 방식을 사용하기 위함이다. 다음의 다중회귀 분석식 중 6은 고덕동지역, 7은 둔촌동 지역에 대해 추정되었다.

$$LST = \alpha + \hat{\beta}_1 L + \hat{\beta}_2 L2H + \hat{\beta}_3 FU + e \quad (6)$$

$$LST = \alpha + \hat{\beta}_1 L + \hat{\beta}_2 L2H + e \quad (7)$$

$L$ : LST 측정지점이 변화가 없는 저밀도 지역에 속하는 경우 1 아니면 0

$L2H$ : LST 측정지점이 재건축 지역에 속하는 경우 1 아니면 0

$FU$ : LST 측정지점이 산림과 건물이 혼재된 지역에 속하는 경우 1 아니면 0

## 결과 및 고찰

2013년부터 2022년까지의 고덕동 그라시움 아파트 주변의 산림지역과 대상지, 그리고 주변지역인 산림지역 및 시가지역과 저층주거지역에 대한 지표 온도의 회귀 분석 결과는 표 6과 같다.

회귀분석 결과 2013년에는 대상지의 지표 온도가 산림지역에 비해 약  $2.71^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림에 비해 약  $0.59^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $4.76^\circ C$  높다는 것을 보여준다. 2014년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약  $3.16^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $0.89^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $5.22^\circ C$  높게 나타나며 2015년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약  $2.63^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $0.77^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $4.42^\circ C$  높다는 것을 알 수 있다. 2016년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약  $1.85^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $0.94^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $4.08^\circ C$  높게 나타나고 2017년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약  $2.10^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $0.89^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $5.22^\circ C$  높다는 점이 나타난다.

2018년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약  $3.16^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $0.70^\circ C$ , 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $3.62^\circ C$ 가 높음을 알 수 있다. 2019년에는 대상지의 온도는 산림지역에 비해 약  $2.21^\circ C$ , 산림 및 시가지역의 온도는 산림지역에 비해 약  $1.32^\circ C$ , 저층주거지역의 온도



TABLE 6. Regression analysis results of Godeok-dong

Period	Year	Location	Coefficient	P> t	R square
Before reconstruction (low-density residential area)	2013	Study area	2.71	0.000	0.2983
		Forest + Urban area	0.59	0.000	
		Low density residential area	4.76	0.000	
	2014	Study area	3.16	0.000	0.3499
		Forest + Urban area	0.89	0.000	
		Low density residential area	5.22	0.000	
	2015	Study area	2.63	0.000	0.2868
		Forest + Urban area	0.77	0.000	
		Low density residential area	4.42	0.000	
under construction	2016	Study area	1.85	0.000	0.2589
		Forest + Urban area	0.94	0.000	
		Low density residential area	4.08	0.000	
	2017	Study area	2.10	0.000	0.1849
		Forest + Urban area	0.70	0.000	
		Low density residential area	3.62	0.000	
	2018	Study area	2.21	0.000	0.2952
		Forest + Urban area	1.32	0.000	
		Low density residential area	5.81	0.000	
2019	Study area	2.37	0.000	0.2668	
	Forest + Urban area	1.29	0.000		
	Low density residential area	5.90	0.000		
After reconstruction (high-rise residential area)	2020	Study area	3.84	0.000	0.3426
		Forest + Urban area	1.28	0.000	
		Low density residential area	5.32	0.000	
	2021	Study area	1.83	0.000	0.2076
		Forest + Urban area	1.06	0.000	
		Low density residential area	3.52	0.000	
	2022	Study area	2.54	0.000	0.2494
		Forest + Urban area	1.10	0.000	
			Low density residential area	4.12	0.000

는 산림지역에 비해 약 5.81°C 높다는 것을 알 수 있으며 2020년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 3.84°C, 산림 및 시가지지역의 온도는 산림지역에 비해 약 1.28°C, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 5.32°C 높다는 것을 보여준다. 2021년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 1.83°C, 산림 및 시가지지역의 온도는 산림지역에 비해 약 1.06°C, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 3.52°C 높게 나타나고 2022년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 2.4°C, 산림 및 시가지지역의 온도는 산림지역에 비해 약 1.10°C, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 4.12°C 높다는 것을 알 수 있다.

연도별 회귀분석 결과를 통하여 2013~2020년의 기간동안 대상지의 온도는 상대적으로 산림 및 시가지지역보다 높고 저층주거지역 보다는 낮다는 것을 알 수 있다.

종합해보면 고덕동 지역의 전체적인 재건축 과정에서 일관성있게 산림지역보다는 지표 온도가 높고 저층주거지역보다는 지표 온도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 대상지가 저밀도 주거지역에서 공사현장 나지, 그리고 고밀도 주거지역으로 바뀌는 전반적인 과정에서 주변 저층주거지역에서 대상지보다 지표 온도가 높게 나타나는 것은 앞서서 녹지율이 높아지고 견폐율이 낮아진다면 지표 온도를 낮추는데 효과가 있

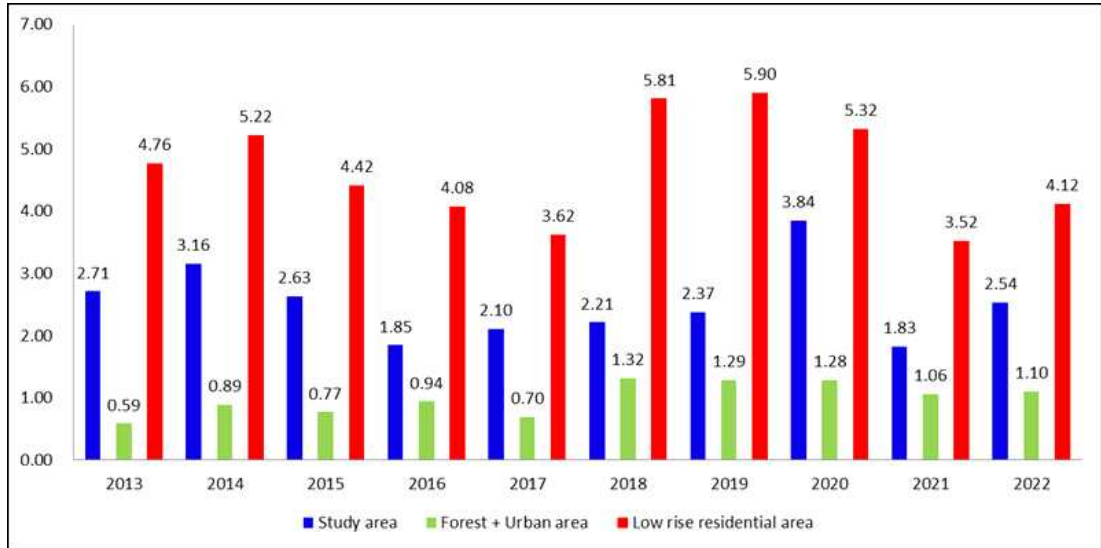


FIGURE 2. LST difference between the Godeok-dong forest area and the rest of the area

다는 선행연구들의 사례들 및 서울시 바이오톱 지도를 통해 확인한 대상지의 증가된 녹지율과 감소된 건폐율 특성을 봐서 알 수 있듯이, 저밀도에서 고밀도가 되어가는 과정에서 건폐율을 낮추고 녹지면적을 높였기 때문에 지표 온도가 낮게 나타났음을 알 수 있다.

그리고 위의 분석만으로는 대상지가 저밀도 주거지역에서 고밀도 주거지역이 된 후에 확실하게 지표 온도가 감소했다는 직접적인 판단은 어려운데 그 이유는 연도별 위성영상의 촬영시기도 다르며 기상조건도 다르기 때문이다. 그렇기 때문에 시계열 분석 시기의 다른 점, 기상조건이 다른 점들을 어떻게 극복하고 분석을 진행할 수 있을지 후속 연구가 필요하다.

2013년부터 2022년까지의 둔촌동 주공 아파트 주변의 산림지역과 대상지인 구 둔촌주공아파트 그리고 저층주거지역에 대한 지표 온도의 회귀 분석 결과는 표 7과 같다.

회귀분석 결과 2013년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 3.1℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 3.21℃가 높다는 것을 보여준다. 2014년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 3.17℃, 저층주거지역의 온도는

산림지역에 비해 약 3.22℃가 높게 나타나며 2015년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 2.94℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 3.64℃ 높다는 것을 알 수 있다. 2016년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 3.00℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 3.50℃ 높으며 2017년에는 저층주거지역의 온도가 산림지역에 비해 약 2.4℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 2.34℃ 높게 나타난다.

2018년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 5.20℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 4.34℃ 높다는 것을 알 수 있으며 2019년도에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 5.0℃, 저층주거지역의 온도가 산림지역에 비해 5.82℃ 높게 나타난다. 2020년에는 대상지의 온도가 산림지역 대비 약 2.02℃, 저층주거지역의 온도는 산림지역 대비 약 3.28℃ 높으며 2021년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 1.54℃, 저층주거지역 온도는 산림지역에 비해 약 3.36℃가 높은 것을 알 수 있다. 2022년에는 대상지의 온도가 산림지역에 비해 약 0.85℃ 높으며 저층주거지역의 온도는 산림지역에 비해 약 4.00℃ 높다는 것을 보여준다.

TABLE 7. Regression analysis results of Dunchon-dong

Period	Year	Location	Coefficient	P> t	R square
Before reconstruction (low-density residential area)	2013	Study area	3.10	0.000	0.4486
		Low density residential area	3.21	0.000	
	2014	Study area	3.17	0.000	0.4780
		Low density residential area	3.22	0.000	
	2015	Study area	2.94	0.000	0.4368
		Low density residential area	3.64	0.000	
	2016	Study area	3.00	0.000	0.4602
		Low density residential area	3.50	0.000	
	2017	Study area	2.40	0.000	0.3057
		Low density residential area	2.34	0.000	
2018	Study area	5.20	0.000	0.5883	
	Low density residential area	4.34	0.000		
2019	Study area	5.00	0.000	0.5401	
	Low density residential area	5.82	0.000		
2020	Study area	2.02	0.000	0.3842	
	Low density residential area	3.28	0.000		
under construction	2021	Study area	1.54	0.000	0.04401
		Low density residential area	3.04	0.000	
	2022	Study area	0.85	0.000	0.5266
		Low density residential area	4.00	0.000	

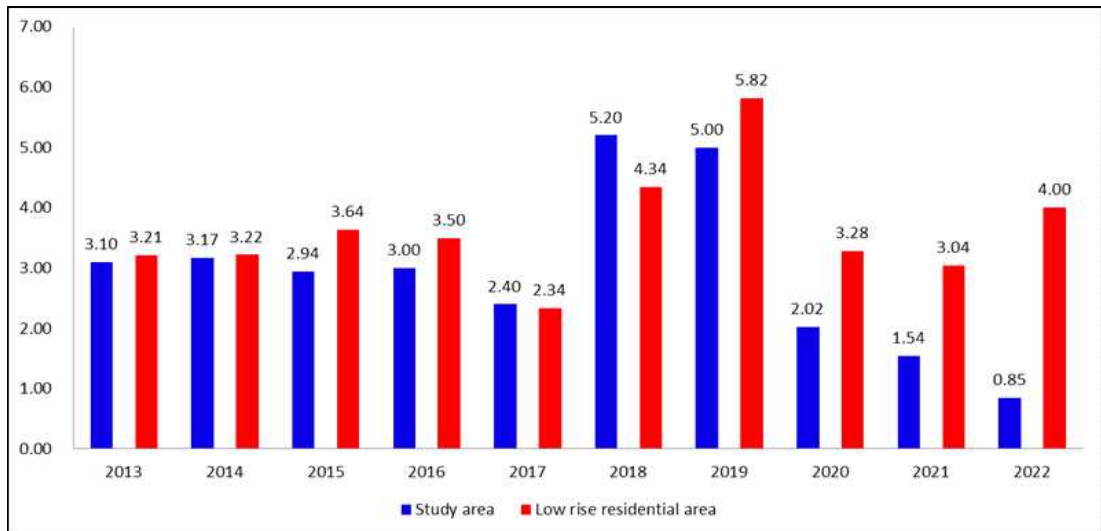


FIGURE 3. LST difference between the Dunchon-dong forest area and the rest of the area

위의 회귀분석의 결과를 보면 10년간 전반적으로 대상지의 온도는 상대적으로 저층주거지역보다 낮다는 것을 알 수 있다.

결과적으로 고덕동 지역과 비슷하게 재건축

과정에서 대상지는 산림지역보다는 높은 지표 온도를 유지하나 저층주거지역과 비교하면 대부분의 시점에서 낮은 지표 온도가 나타나는데, 이러한 특성은 대상지가 주변 저층주거지역에

비하여 녹지율과 건폐율이 낮기 때문에 지표 온도가 낮게 나타난다는 점을 알 수 있다.

## 결론

본 연구에서는 저밀도 주거지역이 재개발, 재건축으로 인하여 고밀도 주거지역이 되어가는 과정에서의 지표 온도 분석을 통해 대상지의 변화가 지표 온도에 어떤 영향을 끼치는지 연구하였다. 고덕동 지역은 재건축 이전인 2013년부터 2015년, 재건축 진행 중인 2016년부터 2019년, 재건축 완료 후 고밀도 주거지가 된 2020년 이후의 크게 3단계로 볼 수 있는데, 재건축이 진행되는 대상지는 시기에 관계없이 산림지역과 산림 및 시가지가 혼합된 지역보다는 지표면 온도가 높았으며 저층주거지역보다는 지표 온도가 낮게 나타났다. 이는 산림지역은 녹지가 많은 지역이므로 연구대상지의 지표면 온도가 저밀도 주거지역에서 고밀도 주거지역으로 변화하는 동안에도 산림에 비해 높을 수밖에 없다는 것을 보여준다. 또한 서울시 비오톱지도를 통하여 확인한 녹지율과 건폐율을 통해 대상지가 대상지보다 녹지율이 낮고 건폐율이 높은 저층주거지역에 비하면 지표면 온도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 단기간의 대규모 고밀도 개발이라도 녹지율을 높이고 건폐율을 낮춘다면 지표 온도를 낮출 수 있다는 점을 보여준다.

둔촌동 지역은 2013년부터 2019년까지는 저층주거지역이었으며 2020년부터 현재까지 재건축 공사가 진행 중인데 재건축 이전 단계와 진행 중인 현재단계 모두 고덕동과 마찬가지로 산림지역보다는 지표 온도가 높았으며 마찬가지로 서울시 비오톱 지도를 통해 확인한 녹지율과 건폐율을 통해 대상지가 녹지율이 낮고 건폐율이 높은 저층주거지역보다는 대체로 낮은 온도가 나타나는 등 고덕동 지역과 비슷한 현상이 나타난다.

결과적으로 재건축의 전반적인 과정에서 대상 지역은 산림지역보다는 지표면 온도가 높게 나타나지만 저층주거지역보다는 낮게 나타나는데 이는 수도권지역에서 지속적으로 진행되고 있고

미래에도 진행될 재건축, 재개발을 통해 주거지역이 고밀도화가 되더라도 녹지와 건폐율의 적절한 설계와 관리를 진행한다면 열섬현상 등 도시 열환경 문제를 해결하는 과정에서 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 점을 보여준다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Baek, S.U., D.H., Kim, H.S., Kim, B.Y., Gu and Y.J., Choung. 2022. A study on mitigation plan of urban heat island phenomenon using landsat time series imagery – focusing on Cheongna international city. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 25(3): 1–16 (백선욱, 김동현, 김형수, 구본엽, 정윤재. 2022. 시계열 Landsat 위성영상을 활용한 도시 열섬 현상 완화 방안에 관한 연구—청라 국제도시를 중심으로. *한국지리정보학회지* 25(3):1–16).
- Je, M.H. and S.H., Jung. 2018. Urban heat island intensity analysis by landuse types. *Journal of the Korea Contents Association* 18(11):1–12 (제민희, 정승현. 2018. 토지 이용 유형별 도시열섬강도 분석. *한국콘텐츠학회논문지* 18(11):1–12).
- Kim, B.C., J.W., Kang, C., Park and H.J., Kim. 2020. Analysis of urban heat island (UHI) alleviating effect of urban parks and green space in Seoul using deep neural network (DNN) model. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 48(4):19–28 (김병찬, 강재우, 박찬, 김현진. 2020. 심층신경망 모형을 이용한 서울시 도시공원 및 녹지공간의 열섬 저감효과 분석. *한국조경학회지* 48(4):19–28).
- Kim, E.J. and J.Y., Kim. 2019. Effects of the changes in the vegetation on the land surface temperature in the public residential development districts of Seoul.

- Journal of The Korean Regional Development Association 31(3):207-229 (김은정, 김지영. 2019. 공공택지개발지구의 식생변화가지표면온도에 미치는 영향: 서울시 공공택지개발지구의 개발 전과 후의 비교를 중심으로. 한국지역개발학회지 31(3):207-229).
- Kim, G.H., Y.G., Lee, J.H., Kim, H.W., Choi and B.J., Kim. 2018. Analysis of the cooling effects in urban green areas using the landsat 8 satellite data. Korean Journal of Remote Sensing 34(2):167-178 (김근희, 이영곤, 김재환, 최희욱, 김백조. 2018. Landsat 8 위성자료를 이용한 도심녹지 냉각효과 분석. 대한원격탐사학회지 34(2):167-178).
- 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 (김현욱, 염종민. 2012. 도시지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향: 경기도 일산 신도시를 중심으로. 대한원격탐사학회지 28(2):203-214).
- Lee, K.I., J.E., Ryu, S.W., Jeon, H.C., Jung and J.Y., Kang. 2017. Analysis of the Effect of Heat Island on the Administrative District Unit in Seoul Using LANDSAT Image, Korean Journal of Remote Sensing 33(5):821-834 (이경일, 류지은, 전성우, 정휘철, 강진영. 2017. LANDSAT영상을 이용한 서울시 행정구역 단위의 열섬효과 분석. 대한원격탐사학회지 33(5):821-834).
- Myung, S.J. 2015. The effect of green areas on the mitigation of urban heat island phenomenon. Proceedings of the Autumn Meeting of Korean Meteorological Society, pp.402-403 (명수정. 2015. 도시지역의 녹지가 도시열섬현상 완화에 미치는 효과. 한국기상학회 학술대회 논문집. 402-403쪽).
- O, C.H., O.J., Gwon and J.W., Son. 2011. A study on the effect of heat island reduction in urban park by tree species and packaging materials. In Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference. pp.14-17 (오충현, 권오정, 손지원. 2011. 수종 및 포장 재료에 따른 도시공원의 열섬저감효과 연구. 한국조경학회 학술발표논문집. 14-17쪽).
- Park, D.G. and J.U., Lee. 2017. Analysis of effect of thermal insulation performance of parking lot heat island reduction packaging(Focusing on block Packaging). Korean Society of Road Engineers, 19(3):32-39 (박대근, 이진욱. 2017. 주차장 열섬저감 포장의 차열성능 효과 분석 (블록포장을 중심으로). 한국도로학회 19(3):32-39).
- Park, S.W. and M.S., Kim. 2021. Availability of land surface temperature using landsat 8 OLI/TIRS science products. Korean Journal of Remote Sensing, 37(3):463-473 (박성욱, 김민식. 2021. Landsat 8 OLI/TIRS Science Product를 활용한 지표면 온도 유용성 평가. 대한원격탐사학회지. 37(3):463-473).
- Woo, C.U. and H.S., Yoon. 2020. Extracting the land surface temperature of urban expansion areas using satellite images and identifying heat island phenomena during the summer. Korean Society of Civil Engineers Conference. pp.1422-1423 (우창욱, 윤홍식. 2020. 위성영상을 이용한 도시 확장지역 지표 온도 도출 및 여름 기간의 열섬현상 파악. 대한토목학회 학술대회. 1422-1423쪽). **KAGIS**