

서울시 주거지역의 건축물 면적 비율에 따른 여름철 주간 지표면온도 영향 분석*

The Effect of Ground Coverage Ratio on Daytime Land Surface Temperature

- Focusing on the Residential Area of Seoul -

안새결** · 이동근*** · 김준식**** · 성선용*****

Saekyul Ahn · Dongkun Lee · Junsik Kim · Sunyong Sung

Abstract

In this study, Urban Heat Island(UHI) effects of Seoul were spatially analyzed with building characteristics of urban areas. Ground Coverage Ratio(GCR) was adopted to represent urban building characteristics of Seoul. GCR stands for coverage ratio of building in a unit grid which is 30m in this study. Afterward, Land Surface Temperature(LST) derived from satellite remote sensing image was used as an indicator for UHI of Seoul. Furthermore, for more precise analysis, residential areas near cool islands such as mountains, large green spaces, river were removed from analysis area in order to analyze independent effect of structural characteristics with LST. To build up GCR, 2015 Seoul building data provided by Ministry of Land, Infrastructure, and Transport was used. For thermal index, time series Landsat8 images of 2014-2016 summer were used to derive 3 year average LST of Seoul. Statistical analysis between two indices showed strong linear relationship between LST and GCR.

키 워 드 ■ 열섬, 열환경, 건축물면적비율, 도시화, 취약성

Keywords ■ Urban Heat Island, Thermal Environment, Ground Coverage Ratio, Urbanization, Vulnerability

I. 서론

계속되는 지구온난화로 인한 기후변화는 다양한 사회 현상을 초래하며, 새로운 극한 현상들을 유발한다(UN News centre, 2016). 도시 열섬 현상(Urban Heat Island, UHI)은 대표적 현상 중 하나로, 불투수포장 비율 증가, 건물로 인한 도시협곡구

조 형성 등으로 인한 장파냉각효과 저하, 현열량 증가로 인해 도심지 열의 저장, 방사, 대류의 변화가 발생하여 도시지역이 주변지역보다 높은 온도를 나타내는 현상을 의미한다(IPCC, 2013). 도시 열섬 현상은 생물다양성의 감소와, 식생의 순생산량 감소 등의 환경적인 영향을 일으킨다(Grimm, 2008; Imhoff, 2010). 또한 온열질환 환자의 증가, 냉방비

* 본 연구는 국토교통부 도시건축연구개발사업 연구비지원(17AUDP-B102406-03)에 의해 수행되었습니다.

** Graduate School, Seoul National University (First author: ahnsk0208@snu.ac.kr)

*** Dept of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University
(Corresponding author: dklee7@snu.ac.kr)

**** Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University

***** Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University

의 증가, 사회복지비용의 증가 등의 사회적인 영향까지 사회 여러 방면에 문제를 일으키는 현상이다(Santamouris, 2001; Kestens, 2011). 이에 올바른 대책마련을 위한 도심지의 열환경 분석의 중요성이 높아지고 있으며, 최근 다양한 연구들이 도심지의 열 취약지역의 특징을 분석하고 있다.

이러한 열섬현상을 계량화하기 위한 다양한 방법론이 활용되고 있다. 많은 연구들이 기상관측대, 자동기상관측장치를 이용한 연구 방법, 현장 실측 방법 등을 활용하나, 그 중에서도 원격탐사를 통한 지표면온도(Land Surface Temperature, LST)를 활용한 연구가 많이 진행되고 있다(Zhan, 2015; 김준식, 2015). 현장측정은 대상지의 지역적인 특징으로 인한 영향이 크기 때문에 변수 통제의 어려움이 존재하며, 관측의 제한적 환경에 의해 동시간에 도심 지역 전체에 대한 측정이 힘들다는 물리적 한계가 있으며, 기상관측대, 자동기상관측장치의 경우 건축물 옥상에 위치하는 경우가 대부분이어서, 인간활동이 발생하는 1.2m높이의 온도와는 상이하다는 특징을 지니며, 관측지점의 부족으로 인해 충분한 데이터를 얻기 힘들다(박채연, 2016). 반면 원격탐사를 통한 지표면온도를 활용한 방법은 매우 광범위한 영역의 동일시기 영상을 관측할 수 있으며, 넓은 영역의 동시간대 열환경 비교가 가능하다는 장점으로 인해 광범위한 영역에서 활용되고 있다(Schwarz et al., 2012; Peng, 2015).

열섬현상을 분석하는데 있어 기존연구들은 지표면온도와 도심속 기여 변수 중 토지피복, 녹지율 등의 환경변수, 천공률, 높이/너비 비율, 건폐율 등의 건축변수를 대상으로 한 연구들이 주로 진행되고 있다(전범석 2010; 김준식, 2015). 이에 본 연구에서는 도심지역의 건축물과 열섬현상간의 정량적 관계를 파악하기 위해 Edward(2011)와 Zhan(2015)이 사용한 건축물 면적비율(Ground Coverage Ratio, GCR)지표를 도입하여 변수로 활용하였다.

건축물 면적비율(GCR)은 건축, 도시계획 측면에서 열환경, 바람길분석 등에 이용되는 지표로서 설정한 단위공간 내에서 건축물 비율을 산정한다는 점에 있어 건폐율과 유사한 지표이나, 필지단위로 산정되는 건폐율과 달리 직접 분석단위를 설정하여 균일한 분석할 수 있다는 점에 있어서 더 세밀한 규모에서의 분석이 가능하다(Edward, 2011).

이에 본 연구는 서울시를 대상으로 건축물 면적비율(GCR)과 주간 지표면온도(LST)사이의 관계를 정량적 분석을 통해 도출하고자 하였다.

II. 방법

1. 연구 범위

본 연구의 시간적 범위는 도시열섬현상(UHI)으로 인한 폭염이 발생하는 여름기간(6-8월)을 대상으로 하였다. 이에 있어 대표값 산정을 위해 최근 3년의(2014-2016년) 다중시기 평균값을 활용하였다.

연구의 공간적 범위는 서울시 주거지역으로 선정하였다. 서울은 605km²의 면적에 약 1,029만명의 인구가 거주하고 있으며 인구밀도는 17,008명/km²에 달한다(서울통계청, 2016). 또한 분석대상인 서울시 주거지역은 저층 단독주택, 다세대 주택, 판상형 아파트, 고층 탑상형 아파트 등 다양한 양상의 주거 형태가 복합적으로 혼재된 형태로 건축물 형태와 관련된 요소가 열환경에 미치는 영향을 분석하는데 적합하며, 이에 따른 열환경 변화를 살펴보는 데 효과적이다(Park, 2010; Lee, 2013).

추가적으로 열환경 분석에 있어 건축물 면적비율에 의한 독립적인 영향을 분석하기 위해 분석 대상지 중 도심 속 냉각효과를 가진 냉섬으로 인한 직접적인 영향을 받는 대상지를 제거하고자 하였다. 이에 기존 연구들을 바탕으로 산림, 조경녹지, 강,

하천 및 습지 등의 냉섬요소와 이의 직접적인 영향권에 있는 주거지는 분석 대상에서 제외하였다.

2. 연구 방법

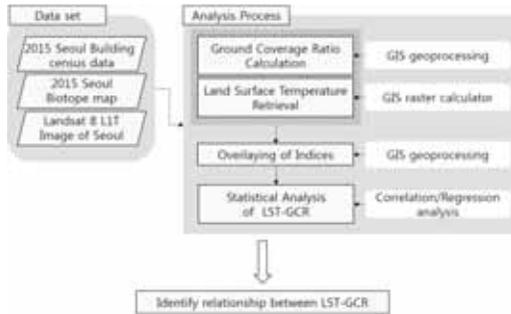


Figure 1. Study flow

본 연구는 세 단계로 구분된다(Figure 1). 첫 번째로 ArcGIS 10.1을 이용하여 주거지의 건축물 면적 비율(GCR)을 산출하였다. 서울시 전역의 건축물 면적비율을 30m단위로 산출한 뒤, 주거지역에 대한 건축물 면적비율을 추출하였으며, 최종적으로 냉섬과 직접 영향지역을 제거하는 순서로 분석을 진행하였다.

두 번째로 2014-2016년의 여름철 3개 시기의 Landsat8영상을 이용하여 연도별 지표면온도(LST)를 산출하고 이에 대한 평균값을 산출하여 분석에 이용하였다.

끝으로 SPSS 18 프로그램을 이용하여 구축한 건축물 면적비율과 평균 지표면온도값 사이의 통계분석을 통해 두 지표 사이의 상관관계를 파악하였다.

1) 연구 대상지 선정

대상지의 공간정보 중 건물정보는 국토교통부에서 제공하는 2015년 건축물자료를 활용하였다. 주거지역 추출과 냉각효과 제거를 위해 서울시 2015년 토지이용현황도의 비옴범례를 활용하였다. 주거지 추출에 있어 주거지비옴을 활용하였고, 냉섬 효과

를 고려하여 산림, 조경녹지, 하천 및 습지비옴을 추출하였고 냉각효과 요소들의 영향권은 선행연구들을 참고하여 각각 200m로 설정하였으며, 이에 해당하는 주거지역은 분석 대상지에서 제거하였다 (Park, 2010; Lee, 2013; Park, 2014; Park, 2016).

2) 지표면온도(LST) 분석

여름철 지표면온도 대푯값 추출을 위해 2014년 8월 2일, 2015년 7월 4일, 2016년 7월 22일 3개 시기에 대해 Landsat 8의 주간 위성 영상을 활용하였으며, 영상품질(Image Quality)가 9 이상인 영상을 활용하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of Landsat8 satellite data in the study

	Attribute	Value
2014 Summer	Acquisition Date	2014/08/02
	Image Quality	9
	Sun Elevation	62.47°
2015 Summer	Acquisition Date	2015/07/04
	Image Quality	9
	Sun Elevation	66.29°
2016 Summer	Acquisition Date	2016/07/22
	Image Quality	9
	Sun Elevation	64.12°

영상은 Landsat8 Operational Land Imager(OLI), Thermal Infrared Sensor (TIR)의 Band 4, Band 5, Band 10을 이용하였다.

각 3개 영상들은 지상 기준점과 Digital Elevation Model(DEM)을 토대로 방사보정, 기하보정이 된 L1T 영상으로, 미국 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)에서 제공하는 GeoTIFF 형식의 표준 영상이다(USGS, 2016). 위성영상을 활용한 지표면온도값 산출은 ArcGIS 10.1을 활용하여 진행하였다.

Landsat8의 영상들은 Digital Number(DN)으로 제공되기 때문에, 식(1)을 이용하여 DN을 Top of

Atmosphere(TOA) Radiance(L_λ)로 변환한다.

$$L_\lambda = (M_L * DN) + A_L \text{ 식 (1)}$$

L_λ 는 TOA Radiance($w/m^2/sr/\mu m$)이며, M_L 과 A_L 은 메타데이터파일에서 제공되는 변환 수치이다. 이후 계산된 TOA radiance는 식(2)를 통해 At-satellite brightness temperature(BT)로 변환한다.

$$BT(K) = K_2 / [(K_1 / L_\lambda) + 1] \text{ 식 (2)}$$

K_1 과 K_2 는 메타데이터파일에서 제공되는 변환상수이며, BT(K)는 위성센서에서의 온도(At-satellite brightness temperature)를 의미하는데, 절대온도(K)로 표현된다.

위성센서에서의 온도를 LST로 변환하기 위해선 지표면의 방출율(Land Surface Emissivity LSE(ϵ))을 고려해야 한다. 방출율 식생지수인 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 통해 산출하는데, NDVI는 Band 4와 Band 5를 활용하여 식(3)을 통해 산출한다.

$$NDVI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \text{ 식 (3)}$$

이후 LSE는 식(4)를 통해 계산한다.

$$\epsilon = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 + 0.986 \text{ 식 (4)}$$

이후 최종적으로 LST값을 계산하는데, 해당 식은 식(5)와 같다.

$$LST = \frac{BT(^\circ C)}{(1 + w * [BT(^\circ C) / p] * \ln \epsilon)} \text{ 식 (5)}$$

w는 Band 10의 파장길이로 $10.8\mu m$ 이고, p는 상수이다. 식(5)의 결과로 지표면의 방출에 의한 영향을 고려한 최종 지표면온도값이 산출된다.

3) 건축물면적비율(GCR)분석

건축물 면적비율을 구하는 식은 식(6)과 같다.

$$GCR = \frac{A_b}{A_r} \text{ 식 (6)}$$

이때 A_r 은 격자의 면적을 의미하며, A_b 는 격자 내 건축물의 면적을 나타낸다. 계산을 통해 산출된 건축물 면적비율(GCR)은 0-1사이의 값을 가지며, 높은 값은 단위격자 내 건축물이 많음을 의미한다. 본 연구에서는 건축물 면적비율값 산정을 위한 단위격자의 해상도를 지표면온도자료의 해상도에 맞춰 30m로 설정하여 분석을 진행하였다.

4) 통계분석

각 건축물 면적비율에 해당하는 지표면온도값의 평균을 산출한 뒤 건축물 면적비율이 지표면온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 SPSS 18을 활용하여 지표면온도를 종속변수로 하여 pearson 상관분석과 단순회귀분석을 통해 회귀모델을 도출하였다.

III. 결과

1. 대상지 선정 결과

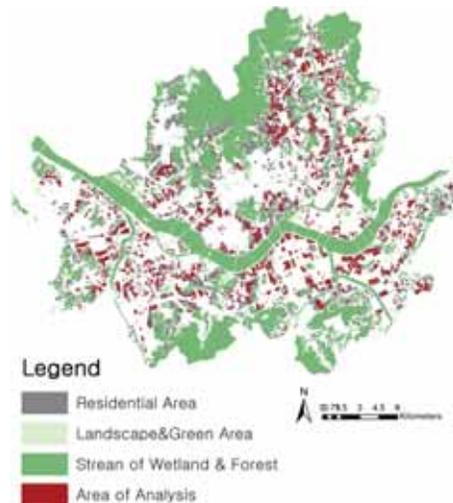


Figure 2. Result of study area selection

최종 대상지는 냉각효과 요소들의 영향권(200m)

밖에 존재하는 주거지역으로 선정되었다. 그 결과, 산악지형과 강, 하천을 제외한 서울시 전역에 골고루 분포하는 양상을 보였다.

2. 지표면온도(LST) 산출 결과

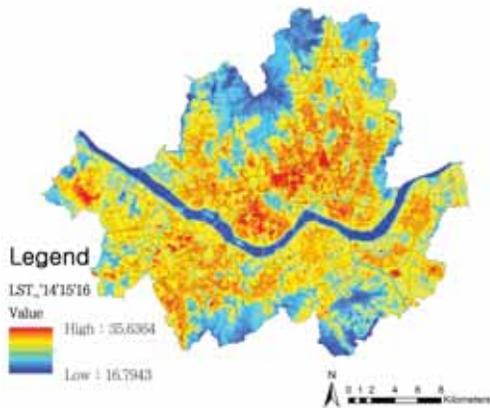


Figure 3. LST of Seoul

서울시의 14-16년 여름 평균 주간 지표면온도값 산출 결과 최저온도와 최고온도의 차이는 18.8°C이며, 서울시 전지역에 걸쳐 16.8°C - 35.6°C로 나타났다(Figure 3). 18.8°C의 높은 온도차는 냉섬지역의 낮은 온도와, 많은 유동인구와 차량통행량, 에너지사용량 등으로 예상되는 지역의 높은 온도에 의한 극명한 대비로 파악할 수 있다. 실제 온도가 가장 높게 나타난 지역은 김포공항, 종로와 을지로 인근의 구시가지 상업지역 일대와 용산구의 미군기지 등으로 나타났으며, 온도가 낮은 지역은 대규모 산림과 한강 등의 냉섬 지역으로 나타났다.

3. 건축물 면적비율(GCR) 구축 결과

Figure 4는 연구대상지의 건축물 면적비율분포를 나타낸 지도로, 0-0.858사이의 값을 나타내었다. 지역별로 다양한 분포를 나타내었으며 상업지역과 공

향지역인 종로구 일대와 강서구 일대, 냉섬의 영향권에 포함되는 대규모 산림과 하천, 대형 녹지 주변 지역은 모두 제거된 것을 볼 수 있었다.

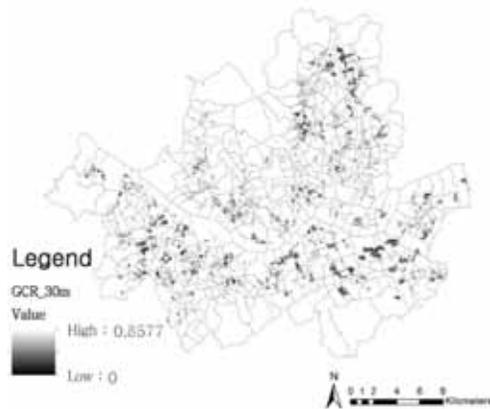


Figure 4. GCR of study area

4. LST-GCR 통계 분석 결과

대상지 지표면온도 추출 결과, 대상지의 지표면온도값은 냉섬요소의 영향권에 있는 주거지역이 제거되어 서울시 전체에 대한 분포보다 최대-최소값의 폭이 감소하였다. 이에 최저온도 26.80°C에서 최고온도 31.51°C로 분포하였고, 그 차이는 4.71°C로 나타났으며, 이를 토대로 지표면온도와 건축물 면적비율 두 변수에 대한 분석을 진행하였다.

Table 2. Pearson correlation analysis of GCR and LST

		GCR	LST
GCR	Pearson Correlation	1	.936*
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	639	639

*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

두 변수의 단순상관분석 진행 결과, Table 2에서 볼 수 있듯, 변수간 상관계수(R)값은 0.936으로 건축물 면적비율과 지표면온도가 매우 강한 정의 상관관계를 가지고 있음을 파악할 수 있었다.

지표면온도를 종속변수, 건축물 면적비율을 독립변수로 한 회귀분석 결과 Table 3과 같이 나타났으며, 회귀식은 아래 식(7)과 같다.

$$y = 2.96x + 26.943 \text{ 식(7)}$$

Table 3. Regression model of GCR on LST

Model	Beta	Standard Error	t-value	p-value
(Constant)	26.943	0.018	1484.017	.000
GCR	2.960	0.044	67.257	.000
R ²	0.877			

a. Dependent Variable: LST

선형회귀모형에 따라 건축물 피복 비율(GCR)이 10% 증가할 때 마다, 지표면온도(LST)는 0.296°C 만큼 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 해당 선형회귀 모형의 결정계수(R²)값은 0.877으로 회귀모형의 정확도가 매우 높게 나타났다.

두 변수의 산점도와 선형회귀모델은 Figure 5와 같다.

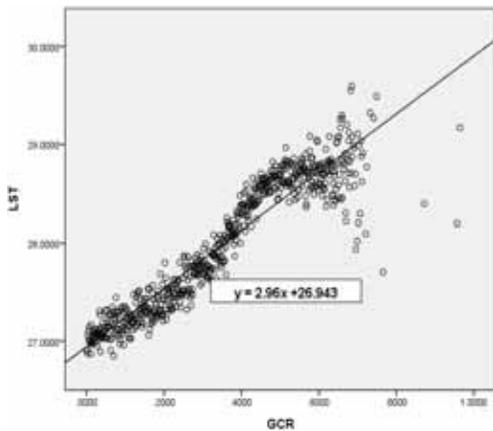


Figure 5. Scatter plot and linear regression model of GCR-LST

IV. 고찰

본 연구는 건축물 면적과 열환경 사이의 관계를 분석하였다. 이에 건축물 면적비율(GCR)을 활용하

여 도시 열섬 연구를 진행하였다. 기존에 활용되던 유사한 지표로 건폐율이 있으나, 건폐율이 각기 다른 면적의 필지와 용도지역에 대해 단 하나의 값으로 해당 지역을 대표하였다면, 건축물 면적비율은 설정한 단위면적을 기준으로 분석을 진행하였음에 균일한 단위면적에 대한 표준화된 분석이 가능하였으며, 본 연구에서는 분석 단위를 30m로 설정하여 필지와 용도지역단위보다 상세한 규모에서의 분석 또한 가능하였다. 그 결과 건축물 면적비율은 지표면온도와 높은 정의 상관관계를 나타냈다.

1. 건축물 면적비율에 대한 고찰과 구간별 온도저감을 위한 대책

두 변수는 Figure 5에서 볼 수 있듯, 직선보다 곡선의 형태를 띤다. 이에 추가적으로 곡선추정 회귀 분석을 진행하였고 그 결과, 3차회귀모형의 결정계수(R²)값은 Table 4에서와 같이, 0.915로 단순선형회귀모형보다 더 높은 결정계수를 나타내었다. 3차회귀모형의 식은 식 (8)과 같다.

$$y = -9.083x^3 + 8.974x^2 - 0.8189x + 27.016 \text{ 식(8)}$$

Table 4. Linear and Cubic regression model of GCR on LST

Model	R ²	t-value		p-value
Linear	0.877	Constant	1484.017	.000
		GCR	67.257	.000
Cubic	0.915	Constant	979.068	.000
		GCR	2.885	.004
		GCR**2	11.187	.000
		GCR**3	-13.745	.000

a. The independent variable is GCR

회귀식에 따르면 본 3차회귀모형의 극소점은 0.049, 극대점은 0.609이다. 변곡점은 0.329로 나타났으며, 이에 3차곡선의 정의에 따라 건축물 면적

비율이 0.049-0.329인 부분에서는 건축물 면적비율의 증가에 따른 지표면온도가 급격하게 상승하는 양상을 보였다. 건축물 면적비율이 0.329~0.609인 부분은 높은 지표면온도 값을 나타내며, 건축물 면적비율의 증가에 따른 지표면온도 값의 증가폭이 점점 작아지는 양상을 나타냈다.

3차함수와는 관계 없이, GCR값이 높아진 부분(0.6 이상)에서 지표면온도값의 편차가 커지는 패턴을 나타냈는데, 해당 부분은 건축물이 30m 단위면적에서 60% 이상을 차지하는 부분으로 건축물 표면의 온도로 인해 편차가 증가하는 것으로 판단된다. 이는 중국 Wuhan지역에서 건축물 면적비율과 지표면온도 사이 관계를 비교한 Zhan(2015)의 연구와 같은 경향을 나타냈다.

이에 0.049-0.329 사이의 부분에 대해서는 추가적인 건축물에 의한 온도상승이 급격하게 발생하므로 추가적 건축 활동에 대한 규제와 충분한 오픈스페이스의 확보가 필요한 부분으로 생각할 수 있다. 0.329-0.609인 부분은 이미 온도상승이 발생한 부분으로, 도심 속 온도 저감 효과를 가진 요소들(수목, 차양막, 분수) 등을 통한 추가적 온도상승 방지와 온도 저감을 위한 정책이 필요한 부분으로 생각할 수 있다.

2. 건축물 면적비율(GCR)의 분포

건축물 면적비율은 서울시 전 지역의 주거지역에 걸쳐 높고 낮은 값이 동시에 혼재되어 나타났는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 서울시 주거지역이 각기 다른 구조적 특징을 가진 다양한 유형의 주거형태가 혼재되어있기 때문이라 생각할 수 있다. 이에 주거지역 유형별 건축물 면적비율 분포를 활용하여 추가 분석을 수행하였는데, 2015 서울시 토지이용 현황도와 도시계획협상 일반주거지역 분류에 의한

서울시 주거지역의 분류체계는 Table 5와 같다.

A1, A2는 단독주택, A3, A4는 1-4층의 다세대주택, A5, A6는 5-10층 아파트, A7, A8은 11-15층 아파트, A9, A10은 16-30층의 아파트, A11은 초고층 아파트에 해당한다. 이에 각 주거유형별 건축물 면적비율의 분포를 확인한 결과는 Table 6과 같다.

확인 결과, A1-A4(단독주택과 1-4층 사이 아파트)의 저층 주거유형의 경우 0.3-0.4 사이의 비교적 높은 건축물 면적비율을 나타냈으며, A5-A8(5-15층아파트)의 중층 주거유형에서는 0.135-0.16으로 상대적으로 낮은 건축물 면적비율을 나타냈다. 고층 주거유형의 경우, 16-30층의 아파트는 0.13의 값을 나타냈으나 30층 이상 초고층 아파트의 경우 건축물 면적비율의 평균값이 0.093으로 매우 낮게 나타났다.

Table 5. Classification of residential area in Seoul

Biotope type	Detail information
A1, A2	Detached houses
A3, A4	1~4 story apartment houses
A5, A6	5~10 story apartment houses
A7, A8	11~15 story apartment houses
A9, A10	16~30 story apartment houses
A11	Over 31 story apartment houses

3. 주거지역 건축물 면적비율에 따른 지표온도 저감 대책 우선순위와 대책방안 도출

앞선 건축물 면적비율의 구간별 의미와 두 결과를 통해 주거지역의 지표온도 저감 대책과 우선순위를 도출할 수 있다. 저층 주거유형은 변곡점 이상의 높은 건축물 면적비율로 인해 높은 지표온도를 나

타내며, 이로 인해 열섬현상이 발생할 가능성이 높다. 중층 주거유형의 경우, 0.039-0.329 사이의 건축물 면적비율을 나타내며 앞선 IV-1의 분석결과와 같이 지표온도상승이 발생 할 수 있는 지역이다. 고층 주거유형 중 초고층 아파트의 경우 전반적으로 낮은 지표면온도를 나타낼 것으로 예상되며, 이에 열섬대책의 우선순위는 저층 주거유형(A1-A4) > 중층 주거유형(A5-A8) > 고층 주거유형 중 16-30층 건축물(A9, A10) > 제3종 주거지역 중 초고층 아파트(A11) 순이 될 것이다.

Table 6. Ground coverage ratio of residential area type

Biotope type	Mean	STD*	N**
A1, A2	0.405	127.89	6489
A3, A4	0.328	143.21	1367
A5, A6	0.160	115.18	2724
A7, A8	0.135	115.62	7383
A9, A10	0.129	111.15	6634
A11	0.093	125.18	203

* Standard deviation

** Number of analyzed area

각 주거유형별 지표온도 저감 대책으로는 저층 주거유형의 경우 높은 건축물 면적비율을 나타내는 지역으로 지표온도가 높은 지역이라 판단된다. 이에 옥외 공간에 차양막 설치를 통한 일사량의 차단, 수목을 통한 대기온도저감, 분수, 연못의 잠열요소의 설치를 통한 현열 발생량의 저감 및 온도상승의 억제 효과를 기대할 수 있다.

중층 주거유형과 고층 주거유형 중 30층 이하의 아파트의 경우, 비교적 낮은 평균 건축물 면적비율을 나타냈으나 해당 수치는 0.049-0.329 사이 값으로 앞선 IV-1의 분석결과에 따라 옥외공간의 추가적인 건축물 설치로 인한 급격한 지표온도상승을

고려하여야 한다. 이에 주거지역 주민들의 옥외 활동공간과 휴식공간에 있어 충분한 오픈스페이스 확보와 추가건축물 설치 규제 등을 통해 쾌적한 열환경 확보가 가능할 것이라 생각된다.

고층 주거유형 중 초고층아파트의 경우, 건축물 면적비율이 매우 낮게 나타났으나 해당지역 역시 추가적인 건축물 설치에 따라 급격한 지표면온도 상승이 예상되기 때문에 옥외 활동공간과 휴식공간의 경우 추가적인 건축물 설치 시 오픈스페이스 확보를 위해 충분한 고려가 되어야 할 것이다.

V. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째로 필지별 하나의 값을 가지는 건폐율 대신 30m 규모에서 표준화된 지표인 건축물 면적비율을 활용하여 지표면온도가 건축물 면적비율과 매우 강한 정의 상관관계($R=0.936$)에 있다는 것을 확인하였다. 또한 곡선회귀분석을 통해 높은 설명력($R^2=0.915$)을 가진 3차식 회귀모형을 구축하였다.

둘째로 주거지역의 유형에 따른 건축물 면적비율 분포를 분석하여 유형별 분포특징을 확인하였다. 이를 토대로 열섬대책 적용의 우선순위를 제시하였고 순위는 저층 주거유형 > 중층 주거유형 > 고층 주거유형 중 16-30층 아파트 > 고층 주거유형 중 31층 이상 아파트 순으로 나타났다. 또한 각 유형별 건축물 면적비율에 따라 적용시킬 대책의 방법론을 제시하였다. 이는 추후 연구와 열섬관련 정책 또는 대책 수립시 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

연구를 진행함에 있어 몇 가지 한계점을 확인하였는데, 첫째로 본 연구는 주거지역만을 대상으로 분석을 진행하였다는 점이다. 실제 상업지역, 공업지역, 교통시설지역 등은 유동인구, 상업활동, 건축물

의 에너지사용 등에 의한 인공열이 많이 발생하여 주거지역에 대한 분석보다 고려해야 할 사항이 많을 수 있다.

두 번째로 지표면온도값의 대표성에 대한 부분이다. 본 연구에서 보고자 하였던 온도값은 도시의 3차원 입체 협곡 구조 중 인간활동이 발생하는 지표면의 온도값을 의미하였다. 그러나 위성영상을 통해 구축한 지표면온도의 공간해상도는 30m로, 본 연구의 분석 단위면적에 하나의 값이 산출되는 과정에서 건축물 면적비율이 0.5 이상인 부분을 기점으로 해당 단위에서 산출된 지표면온도값은 지표면보다 건축물의 옥상을 더 대표하게 된다. 이에 실제 그림 5의 산점도에서 확인할 수 있듯, 건축물 면적비율의 값이 커져감에 따라 지표면온도의 편차가 커져 추세에서 벗어남을 확인할 수 있다.

이에 향후 연구에 있어서는 녹지 이외의 다양한 요소들을 고려하여 주거지역이 아닌 지역에 대한 건축물 면적비율이 지표면온도에 미치는 영향에 대해 정량적인 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 위성영상을 통해 구축한 지표면온도가 어떤 표면의 값을 대표하는지에 대한 연구를 통해 도시지역 내 위성영상을 통한 지표면온도값을 활용하는데 있어 고려해야할 기준과 사항들에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

이러한 연구는 표준화된 건축물 면적비율의 용도 지역별 높은 설명력을 가진 분석결과 도출을 통해 도시지역의 열환경 예측 및 정량화에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 또한 미시적인 분석 단위에서 거시적 규모의 도시열섬을 연구하는 연구자들이 활용하는 가장 효율적인 방법인 위성영상을 통한 지표면온도값에 대한 이해 및 활용방안을 구상하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다.

인용문헌

References

1. 김준식·이동근·성선용·정승규·박종훈, 2015. “정규화 지수를 이용한 토지이용에 따른 도시열섬 취약지 특성분석: 대구시 주거지역을 대상으로”, 「국토계획」, 50(5): 59-72.
Junsik Kim, Dongkun Lee, Sunyong Sung, Jonghoon 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.
2. 박진기·나상일·박종화, 2010. “청주시 무심천 주변의 열환경 특성 분석”, 「농업과학연구」, 37(1): 81-86.
J. K. Park., S. I. Na., J. H. Park., 2010. “Analysis of the Thermal Environmental Characteristic for Musim Stream”, *Journal of Agricultural Science*, 37(1): 81-86.
3. 박채연·이동근·성선용·박종훈·정승규, 2016. “지표면 도시열섬강도의 시공간적 분포와 영향을 주는 변수 분석: 국내 30개 도시를 대상으로”, 「국토계획」, 51(1): 125~134.
Chaeyeon Park, Dongkun Lee, Sunyong Sung, Jonghoon Park, Seunggyu Jeong, 2016. “Analyzing the Diurnal and Spatial Variation of Variation of Surface Urban Heat Island Intensity Distribution: Focused on 30 cities in Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(1): 123-134
4. 서울특별시, 2016. 「서울주요통계」, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2016. *Seoul major statistics*, Seoul
5. 여인애·윤성환, 2009. “도시계획요소가 여름철 열섬형성에 미치는 영향에 관한 수치시뮬레이션”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 29(1): 577-580
Inae Yeo, Seonghwan Yoon, 2009.0 “Numerical Simulation on the Urban Heat Island Effect formed by Urban Planning Elements in

- Summer”, *Architectural Institute of Korea*, 29(1): 577-580.
6. 이경재·곽정인·김홍순·정진미, 2013. “서울시 대규모 녹지가 주변 열환경에 미치는 영향: 선정릉을 사례로”, 한국환경생태학회 학술대회논문집, 서울: 서울시립대학교
 - K.J. Lee, J.I. Kwak, H.S. Kim, J.M. Jung, 2013. “Effect on the Thermal Environment of the Surrounding Area due to the Large-Scale Green Area: In case of Seonjeongneung”, *Proc. Korean Soc. Environ. Ecol. Con.*, Seoul; University of Seoul
 7. 장윤성, 2010. “적외선 열화상과 온도차비율법을 이용한 목조주택의 열환경 평가”, 『한국목재공학회』, 38(6): 518-525.
 - Yoonseong Chang, Changeuk Eom, Junho Park, Junjae Lee, Joosaeng Park, Moonjae Park, Hwanmyeong Yeo, 2010. “Thermal Environment Evaluation of Wooden House Using Infra-red Thermal Image and Temperature Difference Ratio(TDR)”, *Mokchae Konghak*, 38(6): 518-525.
 8. 정숙진·윤성환, 2015. “관상형 공동주택의 건폐율 및 용적률이 일조옥외열환경에 미치는 영향 분석”, 『대한건축학회논문집 계획계』, 31(5): 69-76.
 - Sukjin Jung, Seonghwan Yoon, 2015. “Analysis on the Influence of Building Coverage Ratio and Floor Area Ratio on Sunlight Environment and Outdoor Thermal Environment in Flat-type Apartment Houses”, *Architectural Institute of Korea*, 31(5): 69-76.
 9. 전번식·김학열, 2010. “3차원 도시공간 정보를 이용한 도시열섬현상의 분석”, 『한국공간정보학회지』, 18(4): 1-11.
 - Bunseok Chun, Hagyeol Kim, 2010. “Analysis of Urban Heat Island Effect Using Information from 3-Dimensional City Model (3DCM)”, *Journal of Korea Spatial information society*, 18(4): 1-11
 10. IPCC, 2007. *IPCC AR4 WGI: The Physical Science Basis*, United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge.
 11. Edward Ng et al, 2011. “Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong”, *Landscape and Urban Planning*, 101(1): 59-74.
 12. Grimm, N. B., Faeth. S. H, Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J. M., 2008. “Global change and the ecology of cities”, *Science*, 319(5864): 756-760.
 13. Imhoff, M.L., Zhang, F., Wolfe, R. E. and Bounoua, L., 2010. “Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA”, *Remote sensing of environment*, 114(3): 504-513.
 14. J. H. Park, G.H. Cho, 2016. “Examining the association between physical characteristics of green space and land surface temperature: A case study of Ulsan, Korea”, *Sustainability*, 8(8): 777.
 15. Kestens, Y., A., Brand et al., 2011. “Modelling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events”, *International Journal of Health Geographics*, 10:7.
 16. Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C., Breon, F. M., Nan, H., Zhou, L. and Myneni, R. B., 2011. “surface urban heat island across 419 global big cities”, *Environmental Science & ecology*, 46(2): 696-703.
 17. Richard S. Deitchman, 2009. “Thermal Remote Sensing of Stream Temperature and Groundwater Discharge: Applications to Hydrogeology and Water Resources Policy in the State of Wisconsin”, Master’s Degree Dissertation, University of Wisconsin-Madison.
 18. Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A. and Assimakopoulos, D. N., 2001. “On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings”, *Solar Energy*, 70(3): 201-216.
 19. Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U., Großman,

- K., 2012. "Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators-an application for the city of Leipzig (Germany)", *Ecological Indicators*, 18: 693-704.
20. UN, 2016. 2016 on pace to be hottest year ever as climate change trends reach 'new climax', UN News centre, <http://www.un.org>
21. U.S. Geological Survey, 2016.11.29. "Landsat 8", USGS, <https://landsat.usgs.gov>
22. Younha Kim et al., 2016. "Analysis of Thermal Environment over a small scale landscape in a densely built up asian megacity", *Sustainability*, 8: 358.
23. Zhan Q, F. Meng, Y. Xiao, 2015. "Exploring the relationships between land surface temperature, ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment", *The International Archives the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 50(7): 255-260.

Date Received 2016-10-19
Reviewed(1st) 2016-11-27
Date Revised 2017-02-15
Reviewed(2nd) 2017-03-12
Date Accepted 2017-03-12
Final Received 2017-03-20