

## 공원 크기에 따른 공원의 온도저감 효과 분석\*

- 일산 신도시를 대상으로 -

### Influence of park size on the park cooling effect

- Focused on Ilsan new town in Korea -

박종화\*\* · 조기혁\*\*\*  
Park, Jong-Hwa · Cho, Gi-Hyoung

#### Abstract

To solve the problem of intensified urban heat island effect in the city, development of green spaces and parks are proposed as one of effective interventions for mitigating urban heat island effect. Accordingly, substantial number of studies have investigated the role of urban parks, in particular, associations between park sizes and cooling effect. However, it is still unknown whether distance decay of the cooling effect varies by the park sizes. This paper aims to explore cooling effect of park by size, find a minimum size of parks after controlling other environmental variables, and investigate variations of distance decay of the cooling effect by size. Examining cooling effect of 37 parks in Ilsan new town, Korea, this study derived land surface temperature of Ilsan from Landsat 8 data while controlled NDVI, NDBI, Albedo, landuse and DEM that may affect land surface temperature. The size of selected parks was categorized to 10 classes. The results of multiple regression showed that the cooling effect tends to increase as park size grows. Empirical analysis indicated that cooling effect of parks on adjacent land was found when the park size was larger than 6,000  $m^2$ . Distance decay of the cooling effect on adjacent land, however, was shown to be sharper when the park size increased, thus park size was not found to be an influential factor to increase maximum cooling distance.

키 워 드 ■ 도시공원, 지표온도, 온도저감 효과, 공원크기, 도시열섬

Keywords ■ Urban Parks, Land surface temperature, Cooling effect, Park size, Urban Heat Island

## I. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

전 지구적 기후변화는 도시화와 고도의 토지이용에 의하여 가속화 되었으며, 이에 따른 새로운 환

경문제가 우리의 정주환경을 위협하고 있다. 특히, 도시 공간에서는 인공지표 및 불투수면적의 증가, 인공배열 증가 등에 따른 도시열섬현상(Urban Heat Island)이 나타나면서 기온상승에 따른 에너지 사용증가, 생태계 파괴를 동시에 유발하여 도시민의 건강을 저해하는 요인으로 작용하고 있다

\* 본 논문은 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MPSS-자연-2013-63].

\*\* Ulsan National Institute of Science & Technology(jhpark12@unist.ac.kr)

\*\*\* Ulsan National Institute of Science & Technology(Corresponding author: gicho@unist.ac.kr)

(김대욱 외, 2010).

기상청에서 발행한 기후변화 평가보고서 (2014)에 따르면 우리나라는 폭염으로 인한 사망발생이 현재(2001년~2010년) 기준 인구 10만 명당 0.7명에서 2023년~2040년에는 1.5명까지 증가할 것으로 예측되고 있다. 실제로 2015년 여름에 발생한 온열질환 환자 수는 1,056명으로 2014년 556명보다 1.9배 증가하였고, 2015년 11명의 온열질환 사망자가 발생하였다 (질병관리본부, 2015).

이러한 문제에 대응하기 위하여 도시의 기온을 낮추어 건강한 도시를 실현하기 위한 개선방안이 제안되었으며, 그 중 하나가 도시 내 공원 조성이다. 전통적으로 공원 및 녹지조성은 시민에게 휴식, 산책, 운동 등 다양한 위락 공간 제공하는데 초점이 맞추어져 있었으나, 최근에는 열섬 문제 완화를 위한 효과적 대응책으로 주목받게 된 것이다. 각 지자체에서는 도시환경을 개선하고 도시열섬을 완화하기 위한 목적으로 다양한 공원 및 녹지조성계획을 진행하였다. 수원시의 경우 '6분내 시민의 숲'을 47개소와 어린이 물놀이장 10개소 등을 조성하면서 녹지서비스 향상을 위한 사업이 진행되었으며 대구시의 경우 2018년까지 기존 150개소 생활권공원의 환경개선을 계획하고 있다. 그러나 공원 계획의 주된 방향이 공원 소외지역 해소, 기존공원 정비, 공원의 재분류에 맞추어져 있고 공원수를 확보하는데 초점이 맞춰지다보니 나대지나 자투리 공간 활용을 통해 소규모 형태로 공원이 분산 배치되고 있으며, 이러한 소규모 공원들이 실제로 도시열섬 완화를 위하여 효과를 갖는지에 대한 검토가 이루어지지 못하였다.

온도저감을 위한 공원조성의 계획기준이 분명하지 않고 이에 대한 실증적 연구 결과 역시 부족하다는 점에 착안하여, 본 연구는 2가지 가설을 제안

한다. 첫째, 공원이 주변지역의 온도저감에 미치는 영향은 공원의 크기에 따라 증가하지만, 이 둘의 관계는 선형적인 것이 아니라 온도저감에 영향을 미치는 공원의 최소 크기가 존재한다. 둘째, 공원의 크기는 공원 온도저감의 크기 뿐 아니라, 주변 지역에 미치는 거리조락(distance decline) 효과에 영향을 미친다. 즉 큰 공원의 온도저감 효과는 더 먼 지역까지 나타난다.

따라서 본 연구는 일산 신도시를 대상지로 선정하고 (1) 온도저감에 영향을 미칠 수 있는 공원의 최소크기와 (2) 공원 크기에 따른 온도저감의 거리조락 효과 차이를 파악하고 도시열섬 완화를 위한 공원계획 시사점과 가이드라인을 제안하고자 한다.

## II. 선행연구 고찰

녹지는 도시지역 내에서 인위적 혹은 자연적으로 형성된 녹화 공간 또는 열린 공간으로 정의된다. 공원의 경우 인위적 녹지에 해당되며 쾌적한 도시환경이 요구됨에 따라 공원 조성의 필요성도 높아지고 있다. 변병설·이병준(2002)은 도시녹지의 역할을 자연과 인간의 조화를 통한 지속가능한 도시발전을 위한 요소로 보았고 공간조절, 환경, 보건, 방재, 이용효과로 구분하였다. 이 연구는 도시 확산방지와 함께 대기정화, 미기후조절, 생태계 보전, 도시민의 건강증진, 방풍 및 홍수예방, 레크레이션 장소 제공 등 다양한 도시녹지의 기능을 제안하였다. 기존의 기능 이외에 최근에는 기후변화에 따른 환경효과에 대한 관심이 높아지면서 공원·녹지가 도시열섬완화에 미치는 연구가 활발히 진행되었다. 이러한 연구들은 공원의 크기나 형태에 따라 온도저감 강도가 영향을 받는 것으로 분석되었다.

모리야마 마사카즈 (2011)는 옥상녹화와 공원·녹지 조성이 지표면의 투수성 및 증발량을 증가 시키

고 축열 감소를 이끌어 내어 열섬 저감에 기여할 수 있음을 제시하였다. 또한, 아스팔트나 콘크리트로 구성된 시가지 지역은 평균과 최저기온 모두 약 2도씨 정도 높은 가열 효과가 있으며, 위성자료를 통해 산출된 지표온도와 자동지상관측소(Automatic Weather Station, AWS)자료를 이용하여 토지이용 특성과 비교한 결과 주거지역, 상업지역, 공업지역이 인공열을 발생키는 것으로 밝혀졌고 녹지지역의 경우 주변보다 낮은 것으로 나타났다(권영아·이현영, 2002; 이강국·홍원화, 2008; 김현옥·염종미, 2012). 이외에 녹지·공원 내의 온도를 분석한 연구에서는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 반사도(Albedo), 표고(DEM)가 높을수록 온도가 낮았고 정규시가화지수(Normalized Difference Built-up Index, NDBI)가 높을수록 온도가 높은 것으로 나타났다(정종철, 2009; 이우성 외. 2010; 정길섭 외. 2011; 김미경 외. 2014). 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 공원의 온도저감 효과를 분석하는데 영향을 미칠 수 있는 변수들을 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 정규시가화지수(Normalized Difference Built-up Index, NDBI), 반사도(Albedo), 표고(DEM)로 정의하였고 통제변수로 사용하였다. 다만 공원 내 식생 구조는 본 연구에서 제외되었다. 일산신도시의 식생구조는 중분류 토지피복 기준 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지로 구분될 수 있으나, 공원의 경우 공공시설지역으로 구분되어 있어 개별 식생구조를 파악하기에는 어려움이 있으며, 위성자료의 공간 해상도를 고려하였을 때 공원별 식생의 특성이 정규식생지수(NDVI)에 반영되어 나타나리라 판단하여 공원 내·외부의 명확한 식생구조를 변수로 고려하는 못하였다.

녹지·공원의 온도저감 효과가 있음이 밝혀지면서 공원 특징과 온도저감의 관계에 대한 연

구가 진행되어왔다. 윤용한(2002)은 공원의 규모와 공원 내·외부 기온변화 간의 관련성을 보기 위해 1.24~18.53ha의 서로 다른 공원 4개를 비교하였는데 공원의 규모가 크면 클수록 온도저감 효과가 좋은 것으로 나타났고, 오규식·홍재주(2005)는 근린공원 수준의 면적인 1~3ha 공원·녹지의 경우 50~150m 범위에서 온도저감 효과가 나타나면서 공원 규모에 따른 영향범위가 증가함을 보였다. Chang et al.(2007)는 대만 내 61개 공원을 선정하고 크기를 Large(1ha이상), Medium(0.5-1ha), Small(0.5ha이하)로 구분하여 분석하였는데, 그 결과 식생면적이 50% 이상일 경우 1ha이상의 공원에서 온도저감 효과가 나타났다. Cheng et al.(2015)은 공원의 크기를 Small(3ha이하), Medium(3-10ha), large(10-30ha), Super(30ha이상)로 구분하고 경관요소를 이용하여 온도저감 효과를 통계적으로 분석하였다. 공원의 경관유형에 따라 효과의 차이가 나타나고 크기와는 비선형 관계를 보이며 주변지역에 미치는 영향 역시 공원크기에 따라 비선형으로 증가하는 경향이 나타났다. 다만 공원의 크기가 매우 작을 경우, 공원의 온도저감 효과는 공원 주변 건물의 향과 일사량 그리고 지역 날씨상태에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다(Oliveira, S et al, 2011).

이상의 연구 이외에 공원의 온도저감 효과를 공원 내·외부의 온도 차이로 정의하고, 공원 또는 녹지의 형태, 크기, 식생 등에 따른 온도저감을 분석한 연구는 많으나, 공원이 주변지역에 미치는 온도저감 효과를 분석한 연구는 비교적 제한적이다. 본 연구에서는 공원의 온도저감 효과를 분석하기 위하여 공원의 크기 뿐 아니라, 공원의 주변지역을 거리에 따라 세분화하여 온도저감 효과가 발생하는 최소한의 공원크기를 파

악하고 공원크기에 따른 거리조락 효과를 비교·분석하고자 한다.

### III. 분석의 틀

#### 1. 연구 대상지

본 연구의 공간적 범위는 서울특별시 중심부에서 북서쪽으로 18.23km 떨어진 곳에 위치한 일산 신도시이다. 본 대상지 면적은 15,736천 $m^2$ , 2개 구 12개동이 있으며 2015년 총인구 335,266명, 128,886세대가 거주하고 있다. 기후는 서울과 대체로 유사하며 대륙성기후가 나타난다. 연평균기온 11.9℃, 8월 평균기온 25.5℃이며 평균 연강수량은 1,268.2mm이다(고양시 통계연보, 2015). 계획지구 전체면적의 80% 이상이 표고 20m 이하의 저지대를 이루는 평탄지형으로서 중앙에 표고 86.5m의 정발산이 위치한다. 정발산을 중심으로 주변에는 저층, 평지에는 고층건물이 계획되었고, 지구 및 근린공원 등 주요 공원이 점적으로 배치되어있으며 선형녹지는 배치된 공원들을 서로 연결하면서 간선체계와 엇갈리는 격자형 네트워크 형태로 계획되었다(김주일, 2010).

일산 신도시의 녹지·공원은 초기에 도시열섬 완화를 위한 목적으로 계획된 것은 아니다. 그러나 도시환경을 개선하고 거주민 삶의 질 향상을 위하여 기존 시가지와는 차별화된 공원배치계획을 수립하여 조성되었다. 박선영 외.(2009)연구에서는 같은 규모의 공원일 경우 분산 배치하는 것이 도시열섬완화 측면에서 유리하다고 보았고 규모가 다를 경우 클수록 영향범위가 넓어지는 경향이 나타남을 밝혔다. 이처럼 사전에 공원배치계획을 수립하고 체계적인 녹지·공원 조성이 이루어진 일산 신도시의 경우 공원계획

의 특성과 효과를 직접적으로 연계하여 해석하기에 유리하며, 특히 일산신도시는 주거지역을 중심으로 계획되었고 도시 외곽부가 자연녹지 지역으로 둘러싸여진 지역이 아니기 때문에 지표온도에 영향을 줄 수 있는 외부요인이 적은 지역이라는 점에서 대상지로 선정되었다. 또한 계획에 따른 공원의 특성을 고려해 보았을 때, 정발산을 중심으로 대규모 녹지를 형성하고 있고 도로축과 나란하게 두 개의 녹지 축을 조성하는 선적인 형태와 도로의 교차점마다 점적인 녹지공간이 분산 배치되어있으며 공원의 간격이 일정하고 크기가 다양하다는 점에서 연구 대상지로 적합하다고 판단된다.



그림 1. 연구대상지 및 선정된 공원 위치  
Fig 1. Study site and location of 37 parks

일산 신도시에 계획된 공원·녹지는 근린공원이 18개소, 어린이공원이 39개소, 경관녹지 및 완충녹지 6개소가 있으며 총면적 3,703,902 $m^2$ 로서 신도시 전체면적의 22.5%를 차지하고 있다.

본 연구에서는 공원이 온도저감에 미치는 영향을 분석하기 위해 경관·완충녹지와 공공공지를 제외하였고 중분류 토지피복도 및 토지이용 도로부터 ArcGIS10.2.1을 사용하여 37개의 공원을 선정하였다(그림 1). 표 1과 같이 공원면

적은  $0.002km^2 \sim 0.629km^2$ 의 범위를 갖고 면적 범위에 따라 공원 크기는 10개로 구분 하였다. 각 면적의 구분은 일차적으로 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙 별표 3에 명시된 규모(근린생활권 근린공원:  $1만m^2$ , 도보권 근린공원:  $3만m^2$  이상, 도시지역권 근린공원:  $10만m^2$  이상)를 고려하였다. 공원의 크기를 세분화하는 과정에서는 크기 별 샘플 수를 고려하였다. 상대적으로  $1만m^2$  이상의 공원은 빈도수가 작기 때문에 면적 구간별로 동일한 샘플 수를 확보할 수는 없으나, 최소 2개 이상의 공원이 포함될 수 있도록 임의 배분하였다.

표 1. 공원크기 구분을 위한 면적범위기준  
Table 1. Park size classification

Size	Variable	# of parks
$S < 3,000m^2$	Size1	2
$3,000 < S < 5,000m^2$	Size2	7
$5,000 < S < 6,000m^2$	Size3	6
$6,000 < S < 7,000m^2$	Size4	5
$7,000 < S < 10,000m^2$	Size5	3
$10,000 < S < 20,000m^2$	Size6	4
$20,000 < S < 30,000m^2$	Size7	3
$30,000 < S < 60,000m^2$	Size8	3
$60,000 < S < 100,000m^2$	Size9	2
$100,000m^2 < S$	Size10	3

## 2. 분석 자료 및 변수구성

본 연구에서는 일산 신도시 내 공원·녹지계획에 따라 조성된 공원이 도시열섬현상에 미치는 효과를 분석하기 위해 선행연구를 바탕으로 변수를 선정하였다. 종속변수로는 Landsat 8로부터 추출한 지표온도자료(Land Surface Temperature, LST)를 사용하였으며, 독립변수로는 정규식생지수(NDVI), 정규시가지화지수(NDBI), 반사도(Albedo), 표고(DEM)<sup>1)</sup>, 토지이용, 크기별 공원( $Size_i$ ) 그리고 공원으로부터

거리 변수(Distance from parks)가 사용되었다. 측 정자료 분석을 위해 모든 자료를  $30m \times 30m$  격자로 구축하였으며, 연구 대상지에 해당되는 격자의 수는 총 17,552개이다.

### 1) Landsat 8 위성자료

Landsat 8은 2013년 3월에 NASA와 USGS에 의해 발사된 위성으로  $30m \times 30m$ 의 공간 해상도를 갖고 있으며, 기존 연구에서 사용된 Landsat 5, 7 과 달리 OLI(Operational Land Imager sensor) 센서의 9개 Band와 TIRS(Thermal Infrared Sensor) 센서의 2개 Band(10&11)를 포함한 11개의 Band를 갖고 있다. Thermal Band의 해상도는 120m에서 100m로 향상되었고, 실제로는 OLI센서 데이터와 해상도 일치를 위해 30m 영상으로 제공되고 있다. Landsat8은 미국지질조사국(USGS)에서 무료로 제공하고 있다.

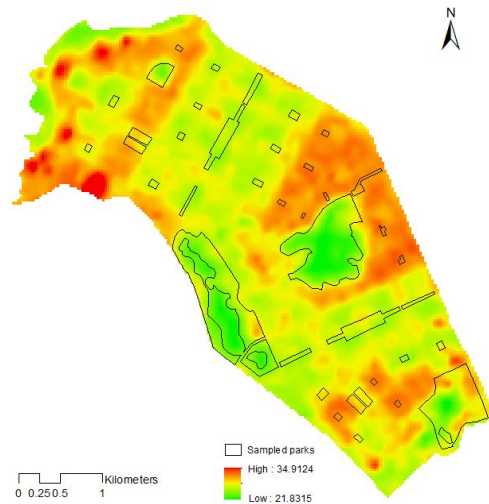


그림 2. 지표온도(Landsat 8 2014.09.19.)

Fig2. Land surface temperature(LST)

위성 영상자료는 촬영주기가 16일이기 때문에 자료 선별 시 구름의 양이 최소인 것과 하절기인 7

월~9월경인 것을 우선적으로 고려하여 선정했다. 따라서 최종적으로 ERDAS Imagine 2014를 이용하여 2014년 9월 19일 오전 11시 10분 경(위성 촬영시각 02:10, GMT:+9), 운량 0.17%인 영상으로부터 LST(Land Surface Temperature, 지표온도), NDVI, NDBI, Albedo 변수를 산출하였다. 위성 측정 시기의 기온은 23.7°C였으며, 습도 42%, 풍속(10분간 평균) 0.7m/s, 풍향은 서남서풍이 불었다(기상청, 2014).

*지표온도(Land surface temperature, LST)*

지표온도(LST)는 NASA 온도모델을 기반으로 산출하였다. Thermal Band는 대기 CO<sub>2</sub>에 의해 영향을 받는데, Band 11은 Band 10보다 대기에 대한 영향을 많이 받기 때문에 온도가 다소 낮게 측정되는 경우가 있다(Yale, 2016a). 따라서 본 연구에서는 Band 10을 사용하였다.

우선, Digital Number(DN)값을 대기상부 복사휘도(TOA Radiance)로 다음 식에 따라 변환한다.

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

- $L_{\lambda}$ : TOA 분광 복사휘도(Watts / $(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$ )
- $M_L$ : 밴드 고유의 배수 환산계수
- $Q_{cal}$ : DN값
- $A_L$ : 밴드 고유의 가산 환산계수

배수환산계수(RADIANCE\_MULT\_BAND\_n)와 가산 환산계수(RADIANCE\_ADD\_BAND\_n)는 메타데이터 내에 정의되어 있다. n은 Band Number이다.

두 번째로, TOA 분광 방사휘도를 밝기온도(절대 온도, K)로 식(2)에 따라 산출한다. Thermal band의 보정상수는 표 2와 같다.

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

- $T$ : 위성에서 밝기온도(K)
- $K_2, K_1$ : 밴드 고유의 열 변환 상수
- $K_{\lambda}$ : TOA 분광 복사휘도(Watts / $(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$ )

표 2. 열적외선 밴드 고유의 열 변환 상수  
Table 2. Thermal conversion constant for the band (USGS, 2016)

Classification	$K_1$	$K_2$
Band 10	774.89	1321.08
Band 11	480.89	1201.14

마지막으로, 계산된 지표온도의 단위는 절대 온도(K)이므로 식(3)에 따라 섭씨온도(°C)로 변환시켜 그림 2와 같은 결과를 추출하였다.

$$T(^{\circ}C) = T - 273.15 \quad \text{식(3)}$$

*정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)*

정규식생지수(NDVI)는 단위가 없는 복사 값으로서 식생의 분포량 및 활동성을 조사하는 방법 중 하나이다. -1에서 +1의 범위로 +1에 가까울수록 식생의 분포량과 활동성이 높다는 것을 지시한다(김영표, 2008).

Landsat 8에서는 Band 4(Red)와 Band 5(NIR)를 이용하여 식(4)를 통해 정규식생지수(NDVI)값을 산출한다.

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

정규시가화지수(Normalized Difference Built-up Index, NDBI)

정규시가화지수(NDBI)는 Zha et al.(2003)의 연구에서 효과적인 도시지역을 추출하기 위해 제안되었다. 이 지수는 도시화지역의 분광 방사휘도 특성이 중적외선의 반사도에서 더 낮은 사실을 기반으로 Band 5(NIR)와 Band 6(SWIR-1)을 이용하여 식(5)에 따라 산출되었다.

$$NDBI = \frac{(Band6 - Band5)}{(Band6 + Band5)} \quad \text{식(5)}$$

반사도(Albedo)

반사도는 지구표면 열수지의 중요한 특성이며, 물체가 빛을 받았을 때 반사하는 정도를 나타낸다. 0에서 +1의 범위로 토지피복에 따라 값이 달라진다. 반사도를 계산하기 위해 다섯 개의 Band(Landsat 8 Band2,4,5,6,7)를 이용하였고 Liang's and Smith's 모델 식(6)을 통해 산출하였다(Yale, 2016b).

$$\alpha_{short} = \frac{0.356\beta_2 + 0.130\beta_4 + 0.373\beta_5 + 0.085\beta_6 + 0.072\beta_7 - 0.0018}{0.356 + 0.130 + 0.373 + 0.085 + 0.072} \quad \text{식(6)}$$

$\alpha_{short}$ : Albedo

$\beta_n$ : Band Number

### 2) 토지이용

토지이용 변수는 환경공간정보서비스에서 제공하는 2010년도 중분류 토지피복도와 국가공간유통시스템에서 제공하는 V-world 토지이용계획도를 근거하여 주거, 상업, 공공, 학교, 공원·녹지, 수공간, 기타로 구분하였으며 격자 단위로 자료를 구축하였

다. 대상지 내 주거지역의 경우 건축물의 용적률 및 건폐율이 지표온도에 영향을 미칠 수 있어 단독주택지, 빌라, 아파트단지로 구분하였다.

### 3) 공원으로부터 거리(Distance from parks)

본 연구에서는 토지피복도와 토지이용도로부터 37개의 공원을 선정하였고, 온도저감 효과를 분석하기 위하여 각 공원 가장자리로부터 30m 간격으로 180m까지 Buffer zone을 생성하였다. 여러 Buffer zone의 경계에 격자가 겹치는 경우, 격자의 중심점을 기준으로 각 Buffer 영역의 포함여부를 결정하였다. Buffer 영역이 겹치는 경우 거리가 가까운 공원이 영향을 주는 것으로 가정하였다(그림 3).



그림 3. 공원으로부터 거리-버퍼영역(30m 간격)  
Fig 3. Buffer Zone(30m to 180m)

### 3. 분석모형

공원 크기별 온도저감 효과를 분석하기 위해 다중회귀(Multiple regression)분석 모형을 사용하였다. 종속변수는 Landsat 8로부터 추출된 지표온도를 사용하였으며, 지표온도에 영향을 미칠 수 있는 통제변수로 정규식생지수(NDVI), 정규시가화지수(NDBI), 반사도(Albedo), 표고(DEM), 토지이용도를 사용하였다. 각 크기별 공원의 온도저감 효과를 분

표 3. 다중회귀분석 결과  
Table 3. Multiple regression result (n=17,552)

Variables	Model 1			Model 2		
	Coef.	Std.Err	t	Coef.	Std.Err	t
NDVI	-3.10	0.20	-15.73 **	-3.27	0.20	-16.43 **
NDBI	6.15	0.27	23.05 **	6.09	0.27	22.61 **
Albedo	11.61	0.44	26.29 **	11.76	0.45	26.40 **
Elevation	0.00	0.00	-0.49	0.00	0.00	-0.08
Residential 1	0.00	-	-	0.00	-	-
Residential 2	-0.07	0.07	-1.09	-0.17	0.07	-2.49 *
Residential 3	-1.16	0.03	-37.54 **	-1.29	0.03	-43.44 **
Commercial use	-0.60	0.04	-15.24 **	-0.65	0.04	-16.38 **
Public use	-1.19	0.05	-24.95 **	-1.25	0.05	-25.95 **
School	-0.57	0.05	-10.72 **	-0.64	0.05	-12.03 **
Green area	-0.73	0.03	-23.79 **	-0.79	0.03	-26.15 **
Water	-1.93	0.07	-28.80 **	-1.97	0.07	-29.13 **
Other use	-0.65	0.04	-16.75 **	-0.68	0.04	-17.60 **
Distance from parks	-0.24	0.02	-14.24 **	-0.13	0.01	-13.47 **
Size1 ( $S < 3,000m^2$ )	0.00	-	-	0.00	-	-
Size2 ( $3,000 < S < 5,000m^2$ )	-0.75	0.16	-4.85 **			
Size3 ( $5,000 < S < 6,000m^2$ )	-0.86	0.15	-5.90 **			
Size4 ( $6,000 < S < 8,000m^2$ )	-2.80	0.16	-17.63 **	-1.82	0.07	-24.89 **
Size5 ( $8,000 < S < 10,000m^2$ )	-2.66	0.16	-16.14 **			
Size6 ( $10,000 < S < 20,000m^2$ )	-2.36	0.14	-16.44 **			
Size7 ( $20,000 < S < 30,000m^2$ )	-2.20	0.14	-15.37 **			
Size8 ( $30,000 < S < 60,000m^2$ )	-2.09	0.13	-15.86 **			
Size9 ( $60,000 < S < 100,000m^2$ )	-3.15	0.13	-24.45 **			
Size10 ( $100,000m^2 < S$ )	-3.68	0.12	-31.67 **			
Dist.*Size1	0.00	-	-	0.27	0.01	20.20 **
Dist.*Size2	0.18	0.03	6.00 **			
Dist.*Size3	0.22	0.03	7.77 **			
Dist.*Size4	0.43	0.03	13.98 **			
Dist.*Size5	0.33	0.03	10.24 **			
Dist.*Size6	0.31	0.03	10.97 **			
Dist.*Size7	0.37	0.03	12.54 **			
Dist.*Size8	0.36	0.03	14.14 **			
Dist.*Size9	0.40	0.02	16.41 **			
Dist.*Size10	0.68	0.02	34.21 **			
_cons	28.86	0.12	242.61 **	28.17	0.08	357.79 **
Adjusted R <sup>2</sup>	0.4977			0.4867		

\* significant at 5%(P<0.05), \*\* significant 1%(P<0.01)

석하기 위해 공원을 포함한 공원으로부터 거리 (Distance from parks), 크기별 공원(Size<sub>i</sub>, Dummy), 공원으로부터 거리\*크기별 공원(Distance from parks \*Size<sub>i</sub>) 변수들을 모델에 추가하였으며 STATA 12를 사용하여 통계분석을 수행하였다. 토지이용 변수는 단독주택지(Residential\_1)



를 reference로 정의하고 더미변수로 입력하였다. 크기별 공원은 면적 범위에 따라 Size1에서 Size10으로 구분하였고, Size1을 reference그룹으로 선정하여 더미변수를 정의하였다. 공원으로 부터 거리는 공원에 해당할 경우 0, 공원 가장자리부터 30m간격으로 180m까지는 1에서 6, 180m 밖의 범위는 7로 부여하였다.

공원으로부터 거리(Distance from parks)\*크기별 공원(Size) 변수는 다중회귀분석에서 각 공원 크기에 따른 지표온도 감소의 패턴을 파악하기 위하여 추가된 상호작용항이다.

따라서 본 모델은 식(7)과 같이 기존 다중회귀분석모델에 각 Cell에 해당되는 공원으로부터 거리(1~7)와 크기별 공원(dummy) 값을 곱하는 Dummy Interaction을 추가하여 실시하였다.

$$C_i = \beta_0 + f(\text{control factors}) + \beta_1 Dist_i \quad \text{식(7)} \\ + \beta_2 Size_i + \beta_3 Dist_i \times Size_i + \epsilon_i$$

$C_i$ : 온도 저감효과

$f(\text{control factors})$ : 통제변인: NDVI, NDBI, Albedo, 표고(DEM), 토지이용(Dummy)

$Dist_i$ : 공원으로부터 거리(1~7)

$Size_i$ : 크기별 공원 Dummy

$\epsilon_i$ : 오차항

#### IV. 분석결과

본 연구에서는 2가지 다중회귀분석 모델을 실시하였다. 모델 1은 초기모델로서 공원크기를 10개로 구분하여 실시하였고 모델 2의 경우 모델 1에서 나타난 결과를 바탕으로 공원크기를 3개로 단순화하여 분석하였다(표 3).

각 모델 회귀식의 설명력은 0.498(모델1), 0.487(모델2)의 설명력을 보였다. 두 모델에서는 반사도

(Albedo)가 지표온도에 매우 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 정규식생지수(NDVI)가 높을수록, 정규시가화지수(NDBI)가 낮을수록 온도가 낮은 것으로 나타났고( $p < 0.01$ ), 표고는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 정규식생지수(NDVI)와 정규시가화지수(NDBI)는 유사성이 높을 수 있는데 본 모델에서 분산팽창계수(Variation Inflation Factor)값이 각각 4.30, 3.80으로 나타나 다중공선성에 의하여 모델 결과의 타당성이 취약해 질 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 토지이용에서는 대부분 용도지역이 단독주택지에 비해 지표 온도가 낮은 것으로 나타났으며, 지표온도의 상승은 도시화에 따른 인공지표 증가가 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

모델 1에서 공원 크기에 따른 온도저감은 Size2(3,000-5,000 $m^2$ )이상부터 유의수준 0.01에서 유의한 것으로 나타났다. 공원의 지표온도는 다른 변수를 통제하고 공원으로부터의 거리를 0으로 정의하였을 때 계산될 수 있는데, Size1(3,000 $m^2$ 미만) 공원에 비하여 Size2-3에 해당하는 공원은 1 $^{\circ}C$ 이 내, Size4-9에 해당하는 공원은 2-3 $^{\circ}C$  낮은 지표온도를 보였다. Size10(100,000 $m^2$  이상)공원은 3.5 $^{\circ}C$  이상 낮은 지표온도를 나타내었다.

공원이 주변에 미치는 온도저감 영향을 보기 위해서는 표 3에서 나타난 Distance from parks와  $Dist_i * Size_i$ 의 계수값을 더하여 판단할 수 있다. 이 값이 양의 값을 갖는 경우 공원으로부터 이격거리(30m)가 증가함에 따라 온도 상승을 의미하고 이는 공원 주변 지표온도가 상승한 만큼 공원으로부터 온도저감 효과가 감소하고 있음을 나타낸다.

그 결과, Size3(6,000 $m^2$ )이하 공원에서는 공원과 공원주변 간 온도변화가 거의 관찰되지 않았다. 반면에 Size4-9공원에서는 공원으로부터 이격거리가 30m 증가함에 따라 약 0.1~0.2 $^{\circ}C$  상승

하는 것으로 나타났고, Size10 공원에서는 이 격거리가 30m 증가 할수록 약 0.4°C 상승하였다. 즉, 공원의 크기가 클수록 공원의 지표온도가 낮고, 30m 이내의 근거리에서는 더 큰 온도저감 효과를 관찰할 수 있으나, 거리에 따른 온도저감 효과의 감소폭은 공원이 클수록 증가하는 경향을 갖기 때문에, 온도저감 효과가 발생하는 거리에 미치는 영향은 크지 않다고 할 수 있다.

모델 1의 결과는 6,000m<sup>2</sup> 미만의 소형 공원, 6,000m<sup>2</sup> 이상 100,000m<sup>2</sup> 미만의 중형 공원, 100,000m<sup>2</sup> 이상의 대형 공원에 따라 지표온도 변화의 양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 모델 2는 모델 1의 결과를 바탕으로 공원 크기를 3개로 단순 구분하여 분석하였다.

6,000-100,000m<sup>2</sup> 크기의 공원은 6,000m<sup>2</sup> 이하 크기의 공원에 비하여 약 1.8°C 낮은 지표온도를 보이고 이격거리(30m) 증가에 따라 0.14°C 지표온도가 증가함을 보여주었다. 100,000m<sup>2</sup> 이상 크기의 공원은 6,000m<sup>2</sup> 이하 크기의 공원에 비하여 약 3°C 낮은 지표온도를 갖으며 이격거리 증가에 따른 지표온도 상승은 0.45°C로 나타났다.

## V. 논의

통제변수로 활용된 지표특성에서는 정규식생지수(NDVI)가 낮을수록 도시화가 진행된 영역일수록 지표온도가 높았고 반사도(Albedo)와 지표온도 간에는 양의 관계가 나타났다. 반사도(Albedo)는 콘크리트, 녹지와 같이 재질에 따라 다른 값을 갖으며 알베도가 높다는 것은 반사가 많이 일어나며 열 흡수가 적음을 의미한다(김용진 외, 2011).

그러나 본 연구 대상지인 일산 신도시에서는 반사도(Albedo)가 높을수록 지표온도가 높은 것으로

나타났다. 이는 단독주택지역의 경우 낮은 반사도 대비 높은 지표온도를 보이고 있으나 아파트 단지 영역에서는 반사도가 낮음에도 불구하고 낮은 온도를 보이고 있기 때문인 것으로 볼 수 있다. 아파트 단지 영역에서 지표온도가 낮게 나타나는 원인은 낮은 건폐율과 긴 인동간격으로 단지 내 녹지 조성률이 높은 것도 있겠으나, 반사도 역시 낮게 나타난 것은 고층 아파트로부터 발생된 그림자가 원인인 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 위성자료의 측정 시각이 11시경인 점을 고려했을 때 아파트 단지영역에 그림자가 생성되어 있을 가능성이 높다. 이와 관련하여 이순환 외 (2010) 연구에서는 고층 건물의 그림자가 반사도와 도시지표면 열수지에 미치는 영향을 분석하였는데, 반사도가 가장 낮게 나타나는 시간 때가 정오이며 고밀도 저건폐율의 건물일수록 반사도 감소가 더 크다는 것을 보여주었다. 고밀도 건축물에 의한 반사도 감소는 대기 기온을 상승시키는 역할을 하지만, 연직 방향의 열적 난류확산이 증가하여 지표면의 온도는 상대적으로 낮게 나타나는 경향이 있었다.

토지이용의 경우 단독주택지에 비해 아파트단지가 온도가 더 낮은 것으로 나타났다. 일산 신도시 내 단독주택지는 평균층수가 2층이고 건물이 촘촘하게 계획되어 있다. 아파트의 경우 반사도(Albedo) 결과와 마찬가지로 단독주택지에 비해 공지가 많고 단지 내 그늘과 녹화된 영역이 더 많기 때문으로 보인다. 상업지역과 공공지역의 경우 일산호수공원과 정발산 공원에 인접한 경우가 많아 상대적으로 낮은 지표온도를 갖는 것으로 판단된다.

공원크기별 온도저감 효과에서는 크게 세 가지 범위로 구분된 결과를 보였다. 6,000m<sup>2</sup> 이하 크기에서는 온도저감 효과가 1°C이내로 미약하게 나타났으며, 6,000m<sup>2</sup>-100,000m<sup>2</sup>에 해

당하는 공원에서는 2°C~3°C 정도로 유사한 온도저감 효과를 갖는 것으로 나타났다. 6,000m<sup>2</sup>-7,000m<sup>2</sup> 크기 공원의 경우 오히려 7,000m<sup>2</sup>이상 공원에 비하여 온도저감 효과가 다소 큰 것으로 나타났는데, 이는 외부환경요인으로 통제하기는 했으나 6,000m<sup>2</sup>-7,000m<sup>2</sup>에 해당하는 공원이 주변 고층아파트 단지의 그림자 효과에 영향을 받아 낮은 지표온도를 보이는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 고층건물에 의한 그림자효과를 제어하지는 못하였다. 100,000m<sup>2</sup>이상의 공원에서는 다른 크기의 공원에 비하여 0.5°C~2.5°C 낮은 평균 지표온도를 나타내었다. 공원의 크기가 증가함에 따라 더 큰 지표온도 감소가 나타나는 현상은 기존의 연구 결과와 유사하다.

주변지역에 미치는 거리조락의 경우 초기 가설과는 상이한 결과를 보여주었다. 6,000m<sup>2</sup>-100,000m<sup>2</sup>에 해당하는 공원의 경우, 180m 부근까지 이격거리(30m)가 증가함에 따라 지표온도가 약 0.1~0.2°C 증가하는 경향을 보였으나, 100,000m<sup>2</sup>이상의 공원 주변에서는 지표온도 증가의 거리조락효과가 약 0.4°C로 이격거리 증가에 따른 온도저감 효과의 감소폭이 크게 나타났다. 이는 공원의 크기가 증가함에 따라 공원의 지표온도 감소폭은 증가하지만, 공원이 주변주역에 미치는 온도감소 효과의 영향범위는 공원크기에 의해 큰 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 오규식·홍재주(2005), Cheng et al.(2015)의 연구에서는 크기에 따라 영향 범위가 500m 이상의 범위에서도 나타난다고 분석하였는데, 이 정도 규모의 영향범위가 파악되는 녹지는 도시 내 공원보다는 산림지역인 경우가 많으며, 공원으로부터의 이격거리 이외에 다른 지표특성을 충분히 제어한 상황에서의 분석이 아니었다는 점에서 본 연구와 차이

가 있다. 본 연구에서는 정규식생지수(NDVI), 정규시기화지수(NDBI), 반사도(Albedo), 토지 이용 등 지표온도에 영향을 미치는 다수의 지표특성들이 복합적으로 고려하였으며, 본 연구의 결과는 다양한 지표특성을 반영하였을 때 공원의 크기가 온도저감의 영향 범위에 미치는 영향이 크지 않을 수 있다는 점을 시사한다. 또한 기온을 대상으로 분석한 연구(윤용한, 2002; 오규식·홍재주, 2005)의 경우, 풍향, 풍속 및 기타 기상조건이 대기의 거동이 큰 영향을 주며, 기온감소의 영향범위가 지표온도 변화의 범위보다 크게 나타날 수 있다.

다만 온도저감의 효과가 연구 대상지의 특성과 기상특성에 크게 영향을 받는다는 점과, 일산 신도시를 대상으로 단일 시점의 온도자료를 분석한 결과라는 점을 고려하면, 본 연구의 결과만으로 충분히 일반화할 수 있는 결론을 이끌어 내기에는 한계가 있다. 또한 공원의 식생 특성을 고려하지 않았으며 대기온도에 대한 분석을 수행하지 못한 것은 한계점으로 남는다. 다양한 물리적 환경과 기상조건 하에서 공원의 온도저감과 영향범위를 비교하고 분석하고자 하는 후속연구가 진행되어야 한다.

## VI. 결론

본 연구는 일산 신도시 지역을 대상으로 Landsat 8을 이용해 지표온도를 산출하고, 공원 크기를 세분화하여 공원크기에 따른 지표온도와 온도저감의 영향범위를 분석하였다. 본 연구의 결과는 크게 세 가지로 요약될 수 있다.

첫째, 6,000m<sup>2</sup>미만 크기의 공원에서는 의미있는 온도저감 효과를 기대하기 어렵다. 둘째, 6,000m<sup>2</sup>-100,000m<sup>2</sup>의 공원에서는 약 2°C, 100,000m<sup>2</sup>이상

의 공원에서는 약 3°C의 표면온도 저감 효과가 나타났다. 셋째, 공원에서 멀어질수록 표면온도가 증가하여 6,000m<sup>2</sup> 크기 이상의 공원은 주변 도시지역의 표면온도 저감에 영향을 주는 것으로 나타났으나, 표면온도 저감의 영향범위는 공원의 크기에 크게 영향을 받지 않았다.

도시의 열환경을 개선하기 위한 수단으로써 도시 내 소공원을 조성하고자 하는 시도가 있으나, 이러한 노력이 실제 열환경 개선을 위해 얼마나 효과가 있는가에 대한 실증적 연구는 부족한 상황이다. 보다 구체적으로 어느 정도 크기의 공원을 어떠한 방식으로 배치하여야 하절기 열환경 개선에 효과를 가질 수 있는 지는 경험적 자료를 토대로 지속적인 모니터링이 수행되어야 파악 가능하다. 본 연구는 이러한 접근으로 공원의 온도저감 효과를 분석하였으며, 분석 결과 6,000m<sup>2</sup>이하의 소공원 및 소규모 어린이 공원의 경우 열환경 개선을 위한 효과를 기대하기 어렵다는 것을 보여주었다. 도시 내 소형 공원은 외부공간에서 수목에 의한 직접적인 차광막을 마련해주고 시민들에게 접근 가능한 휴식의 장소를 마련해 준다는 점에서 더 큰 의의를 찾을 수 있다. 10만m<sup>2</sup>이상의 도시지역권 근린공원은 공원 및 인접 지역의 온도를 낮추는 데 큰 효과가 있으나, 비용 및 공간적 제약으로 인하여 기존 시가지에 조성하기에는 어려움이 크다. 6,000m<sup>2</sup>이상 중규모 근린공원의 경우, 대형 근린공원에 비하여 다소 낮은 공원 내 온도저감 효과를 갖지만, 주변지역의 온도에 미치는 영향 범위는 큰 차이가 없는 것으로 나타나 중규모 이상의 공원을 도시 내에 분산 배치하는 공원계획이 열환경 개선에 보다 효과적일 수 있음을 시사한다.

- 주1. Landsat8의 공간 해상도는 Band10,11을 제외하고 30m\*30m이다. Band10,11은 적외선 밴드로 지표온도를 추출할 때 주로 사용되는 밴드임. 해상도는 100m\*100m이지만 USGS에서 제공될 때는 30m\*30m로 interpolation되어 제공되고 있음(USGS, 2016).
- 주2. DEM의 경우 국토교통부 국토지리정보원에서 해상도 90m로 무료제공하고 있다. 본 연구에서는 ArcGIS 10.2.1를 통해 cubic interpolation하여 해상도 30m로 변환함. Cubic interpolation방법은 보간점 주위 16개 관측점의 화소치를 이용하여 구하고자 하는 해상도를 3차 중첩함수를 이용하여 보간하는 방법임. 원자료에 손상이 가는 단점이 있으나 평활화와 선명성의 효과가 있음(박창숙, 2005)

## 인용문헌

### References

1. 권영아·이현영, 2002. “토지이용유형이 국지 기온 분포에 미치는 영향”, 「대기」, 12(1): 430-434.  
Kwon, Young-Ah, Lee, Hyun-Young, 2002. “Impact of land use type on the local temperature distribution”, *Atmosphere*, 12(1): 430-434.
2. 김대욱·김중권·정영호, 2010. “도시공원 조성에 따른 미기후환경의 변화 분석”, 「한국도시설계학회지」, 11(2): 77-94.  
Kim, Dae-Wuk, Kim, Jung-Kwon, Jung, Eung-Ho, 2010. “An Analysis of Micro-climate Environmental Changes Followed by Establishment of an Urban Park- Focused on the Junggu in Daegu City”, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 11(2): 77-94.
3. 김미경·김상필·김남훈·손홍규, 2014. “LANDSAT 영상을 이용한 세종특별자치시의 도시화와 열섬현상 분석”, 「대한토목학회논문집」, 34(3): 1033-1041.  
Kim, Mi-Kyeong, Kim, Sang-Pil, Kim, Nam-Hoon, Sohn, Hong-Gyoo, 2014. “Urbanization and Urban Heat Island Analysis Using LANDSAT Imagery: Sejong City As a Case Study”, *Journal of Korean Society of Civil*

- Engineers*, 34(3): 1033-1041.
4. 김영표, 2008. 지형에 따른 정규식생지수 분포특성 연구, 「한국산림휴양학회지」, 12(4): 47-54.  
Kim Yeong Pyo, 2008. "A Study on Distribution Characteristic of NDVI According to the Topographic Position", *Journal of Korean Institute of Forest Recreation*, 12(4): 47-54.
  5. 김용진·강동화·안건혁, 2011. "기후변화에 따른 도시열섬현상 특성 변화와 도시설계적 대안 모색에 관한 기초연구", 「한국도시설계학회지」, 12(3): 5-14.  
Kim, Yong-Jin, Kang, Dong-Hwa, Ahn, Kun-Hyuck, 2011. "Characteristics of Urban Heat-Island Phenomena caused by Climate Changes in Seoul, and Alternative Urban Design Approaches for their Improvements", *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 12(3): 5-14.
  6. 김주일, 2010. "우리나라 신도시 공간구상에 나타난 선형도시적 영향과 그 특징에 관한 연구", 「국토계획」, 45(2): 51-68.  
Kim Ju-Il, 2010. "The Influences of Linear City Form on the Spatial Schemes of Korean New Towns and Their Characteristics", *Journal of the Korea Planning Association*, 45(2): 51-68.
  7. 김현옥·염종미, 2012. "도시지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향: 경기도 일산 신도시를 중심으로", 「대한원격탐사학회지」, 28(2): 203-214.  
Kim, Hyun-Ok, Yeom, Jong-Min, 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.
  8. 모리야마 마사카즈, 2011. 「도시 열섬, 대책과 기술」, 나베시마 미나코·다니구치 이치로·아시에 야스노부·윤성환 역, 서울: 푸른길.  
Moriyama Masakazu, 2011. *Heat island, system and technology*, Translated by Nabeshima Minako, Taniguchi Ichiro, Ashie Yasunobu, Yoon Seong-Hwan, Seoul: Purungil.
  9. 박선영·주진희·윤용한, 2009. "도시공원 열환경 실측과 근린주민 의식조사에 따른 체감열 특성 평가", 「한국도시설계학회지」, 10(4): 203-212.  
Park, Sun-Young, Ju, Jin-Hee, Yoon, Young-Han, 2009. "Practical measurement of warmth environment in urban park and evaluation of characteristics in Sensory temperature based on the consciousness survey of neighborhood residents", *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 10(4): 203-212.
  10. 박창숙, 2005. "GIS에 의한 3차원 입체지형도 생성 및 정확도 분석", 충남대학교 산업대학원 석사학위 논문.  
Park, Chang-Suk, 2005. "3dimension Topography Generation and Accuracy Analysis Using GIS", Master's Thesis, Major in Civil Engineering, Master's Degree Dissertation, Chungnam National University.
  11. 변병설·이병준, 2002. 「쾌적한 도시환경을 위한 녹지확보 방안」. 서울: 한국환경정책평가연구원.  
Byun, Byung-Seol, Lee, Byung-Jun, 2002. *Strategies for conserving green spaces for a pleasant urban environment*, Seoul: Korea Environment Institute.
  12. 오규식·홍재주, 2005. "도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구", 「한국도시설계학회지」, 6(1): 47-63.  
Oh, Kyu-Shik, Hong, Jae-Joo, 2005. "The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect", *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 6(1): 47-63.
  13. 윤용한, 2002. "공원의 규모가 기온변화에 미치는 영향", 「한국산림휴양학회지」, 6(1): 1-7.  
Yong-Han Yoon, 2002. "The Scale of Parks Influence Temperature Change", *Journal of Korean Institute of Forest Recreation*, 6(1): 1-7.
  14. 이강국·홍원화, 2008. "도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구", 「대한건축학회 논문집-

- 계획계」, 24(9): 253-260.
- Lee Kang-Guk, Hong Won-Hwa, 2008. "A Study on the Urban Heat Environment Pattern Analysis and Alleviation Plan", *Journal of the Architectural Institute of Korea - Planning & Design*, 24(9): 253-260.
15. 이순환·안지숙·김상우·김해동, 2010. "도심 건축물 그림자효과에 의한 다중 반사도 변화와 도시지표면 열수지에 미치는 영향". 「한국지구과학회지」, 31(7): 738-748.  
Lee, Soon-Hwan, Ahn, Ji-Suk, Kim, Sang-Woo, Kim, Hae-Dong, 2010. "Multiple Albedo Variation Caused by the Shadow Effect of Urban Building and Its Impacts on the Urban Surface Heat Budget", *Journal of Korean Earth Science Society*, 31(7): 738-748.
  16. 이우성·정성관·박경훈·김경태, 2010. "친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석", 「한국지리정보학회지」, 13(1): 142-154.  
Lee, Woo-Sung, Jung, Sung-Gwan, Park, Kyung-Hun, Kim, Kyung-Tae, 2010. "Analysis of Urban Thermal Environment for Environment-Friendly Spatial Plan", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(1): 142-154.
  17. 정길섭·구슬·유환희, 2011. "Landsat 위성영상에 의한 용도지역 온도변화분석", 「한국지형공간정보학회지」, 19(2): 55-61.  
Jung, Gil-Sub, Koo, Seul, Yoo, Hwan-Hee, 2011. "Temperature Change Analysis for Land Use Zoning Using Landsat Satellite Imagery", *Journal of the Korean society for geo-spatial information system*, 19(2): 55-61.
  18. 정종철, 2009. "지표 방사율에 의한 지표온도와 도시열섬효과 비교", 「환경영향평가」, 18(4): 219-227.  
Jeong, Jong-Shul, 2009. "Comparison of Land surface temperatures derived from surface emissivity with urban heat island effect", *Environmental Impact Assessment*, 18(4): 219-227.
  19. 질병관리본부, 2015. 「폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보」, 서울.  
Centers for Disease Control & Prevention, 2015. *Annual report on the notified patients with Heat-related illness in Korea*, Seoul.
  20. 고양시청, 2016.8.1., "통계연보", [http://stat.kosis.kr/nsieu/view/tree.do?task=branchView&id=620\\_MT\\_ATITLE\\*MT\\_OTITLE&hOr g=620](http://stat.kosis.kr/nsieu/view/tree.do?task=branchView&id=620_MT_ATITLE*MT_OTITLE&hOr g=620)
  21. 기상청, 2014. 「한국기후변화 평가보고서」, 서울.  
Korea Meteorological Administration, 2014. *Korean Climate Change Assessment Report*, Seoul.
  22. 기상청, 2014.9.19., "지역별상세관측자료", [http://www.kma.go.kr/weather/observation/aws \\_table\\_popup.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/aws _table_popup.jsp)
  23. 법제처, 2013.11.22 "도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙 별표 3"  
<http://www.law.go.kr/lsSc.do?menuId=0&subMe nu=1&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EA%B 3%B5%EC%9B%90#AJAX>.
  24. Chang, C. R., Li, M. H., Chang, S. D, 2007. "A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks", *Landscape and Urban Planning*, 80(4): 386-395.
  25. Cheng, X., Wei, B., Chen, G., Li, J., & Song, C, 2015. "Influence of park size and its surrounding urban landscape patterns on the park cooling effect", *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3): A4014002, 1-10.
  26. Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T, 2011. "The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon". *Building and Environment*, 46(11): 2186-2194.
  27. USGS, 2016, March 29. "Landsat-8 Data User's Handbook-Version2.0," U.S. Geological Survey Home page, <http://landsat.usgs.gov/l8handbook.php>.
  28. Yale University, "Yale Guide to Landsat 8

- Image Processing,” Accessed September 7, 2016a.  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=553172cbf079ed23728b4596&assetKey=AS%3A273759607427072%401442280784589>.
29. Yale University, “Yale Guide to converting landsat digital numbers to Albedo,” Accessed September 7, 2016b.  
<http://surfaceheat.sites.yale.edu/sites/default/files/Albedo.pdf>.
30. Zha, Y., Gao, J., Ni, S, 2003. “Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, 24(3): 583-594.

Date Received 2016-04-01  
Reviewed(1<sup>st</sup>) 2016-07-18  
Date Revised 2016-08-22  
Reviewed(2<sup>nd</sup>) 2016-09-15  
Date Accepted 2016-09-15  
Final Received 2016-09-20