

도시공원 및 주변환경의 특성이 도시공간의 온도저감에 미치는 영향*

서정은¹⁾ · 오규식²⁾

¹⁾ 한양대학교 대학원 도시공학과 학생 · ²⁾ 한양대학교 도시공학과 교수

Heat Mitigation Effects of Urban Space based on the Characteristics of Parks and their Surrounding Environment*

Suh, Jung-Eun¹⁾ and Oh, Kyu-Shik²⁾

¹⁾ Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University, Student,

²⁾ Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University, Professor.

ABSTRACT

In order to improve the urban thermal environment, efforts are being made to increase green areas in cities that include park construction, planting, and green roofing. Among these efforts, urban parks play an important role not only in improving the urban thermal environment, but also in terms of ecosystem services (serving as resting places for citizens, providing cleaner air quality, reducing noise, etc.). Therefore, the purpose of this study is to suggest planning and management guidelines for urban parks that are effective in improving the thermal environment, by analyzing the urban surface temperature reduction performance of urban parks. To do this, first, land surface temperature was calculated by using Landsat 8 images. Second, the PCI (Park Cool Island) index was calculated to identify the temperature reduction performance of urban parks. Third, the characteristics of parks (area, shape, vegetation) and the surrounding spatial characteristics (land cover, building-related variables, etc.) were identified. Finally, the relationship between the PCI indices (PCI scale, PCI effect, PCI intensity) and the characteristics of the parks and their surroundings were analyzed. The results revealed that the parks consisting of a larger area, simple shape, and higher tree coverage ratio had increased PCI performance, and were advantageous for improving the urban thermal environment. Meanwhile, PCI per-

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호: 2019002760002)

First author : Suh, Jung-Eun, Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University, Student,
Tel : +82-2-2298-5410, Email : silver0328@hanyang.ac.kr

Corresponding author : Oh, Kyu-Shik, Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University, Professor,
Tel : +82-2-2298-5410, Email : ksoh@hanyang.ac.kr

Received : 17 June, 2020. **Revised** : 29 September, 2020. **Accepted** : 17 September, 2020.

formance was found to have decreased in areas with a higher impermeable area ratio and building coverage ratio. The outcomes of this study can be used to identify priority areas for planning and management of urban parks and can also be utilized as planning and management guidelines for improving urban thermal environment.

Key Words : *Urban parks, Temperature reduction, Characteristics of Parks, PCI(Park Cool Island)*

I. 서 론

지구온난화에 의해 전 지구적으로 기온이 상승하고 있으며, 2003-2012년의 평균기온은 0.7 $^{\circ}$ C 상승하였다(IPCC, 2014). 도시지역의 경우, 지속적인 개발로 인해 녹지 및 수공간의 면적은 감소하고 건축물과 도로의 면적은 증가하여, 인접한 교외지역보다 2~5 $^{\circ}$ C 이상 더 높게 나타나는 ‘도시열섬(UHI, Urban Heat Islands)’이 발생하고 있다(Howard, 1833; Landsberg, 1981). 이와 같은 도시지역의 고온현상은 도시민의 열적 스트레스뿐 아니라 탈진 및 사망과 같은 공중보건 상 피해를 초래하기 때문에 이를 개선하기 위해 공원 조성, 가로수 식재, 옥상녹화 등 도시 내 녹지의 면적을 증가시키기 위한 노력이 이루어지고 있다.

그 중 도시공원은 주변지역보다 2~3 $^{\circ}$ C 정도 낮은 도시냉섬(UCI, Urban Cool Islands)’을 형성하고, 공원의 기온저감 효과는 해당 공원의 규모만큼 또는 더 멀리까지 확장될 수 있다(Jauregui, 1990; Ca et al., 1998; Smith and Oke, 1998; Chang et al., 2007). 또한, 도시민을 위한 휴식 공간 제공, 대기질 개선, 소음 감소 등 생태계서비스 측면에서도 중요한 역할을 하기 때문에 도시 그린 인프라의 필수적 요소로 주목받고 있다(Chang et al., 2007; Seo and Sung, 2009; Bowler et al., 2010, Demuzere et al., 2014, Zolch et al., 2019). 이처럼 도시공원이 열환경 문제를 개선시킬 수 있는 주요 계획 수단으로 인식됨에 따라 공원의 온도저감 기여도를 분석한 연구가 다각적으로 수행되고 있다.

Ca et al.(1998)은 공원이 도시냉섬의 역할을 하여 주변지역의 온도를 저감시켜줌으로써 여름철 냉각을 위한 에너지 소비의 감소 가능성을 제시하였다. Chang et al.(2007)은 공원의 규모와 내부식생에 따른 온도저감을 분석하여 도시 열섬 완화를 위한 공원의 계획과 설계방식을 제시하였으며, Cao et al.(2010)은 공원의 규모뿐 아니라 공원의 형태 또한 주변지역의 냉각효과에 영향을 미치는 것을 밝혔다. Zolch et al. (2019)은 공원내부의 수목과 잔디의 배치에 따라 공원내부와 주변지역의 온도변화를 분석함으로써 열환경 개선에 효과적인 녹화설계 방안을 마련하였다. Kwon(2002)은 종로구의 경복궁, 창경궁, 종묘 주변의 기온 분석을 통해 녹지 가장자리를 중심으로 거리에 따른 온도저감 비율을 분석하였으며, Kim et al.(2004)은 도시개발에 의해 파편화된 도시녹지를 도시 외곽의 녹지와 연계하는 그린네트워크를 통해 도시의 열환경 개선을 위한 방안을 제시하였다. Oh and Hong (2005)은 위성영상에 기반한 대기온도 분석을 통해 녹지 및 하천으로부터의 거리가 대기온도에 미치는 영향을 규명하였으며, Lee et al. (2008)은 대학캠퍼스 식물원을 대상으로 여름철 도시 기온 저감 효과를 파악하였다. Park et al. (2016)은 공원 규모에 따른 온도저감 효과를 파악함으로써 도시열섬 완화를 위한 공원의 계획 가이드라인을 제시하였고, Kim et al.(2019)은 녹지의 연결성 증대를 정량적으로 평가함으로써 도시의 열환경 개선을 위한 녹지조성 계획안을 제시하였다.

한편, 위성영상의 해석기술이 발전함에 따라

위성영상 데이터를 활용하여 도시의 열섬현상을 규명하거나 열저감 요소의 효과를 분석하고 있다. Li et al.(2011)은 정규식생지수(NDVI, Normalised Difference Vegetation Index) 및 불투수율과 지표온도(LST, Land Surface Temperature)의 관계분석을 통해 도시열섬에 미치는 영향을 최소화하기 위한 토지이용 계획을 제안했으며, Rinner and Hussain(2011)은 도시지역의 토지이용 특성 및 개발밀도가 LST에 영향을 주는 것을 밝히고 극심한 더위를 줄이기 위한 정책방안을 제시했다. Onishi et al.(2010)은 LST를 활용하여 녹색 주차장의 온도저감 가능성을 평가하였고, Feyisa et al.(2014)은 LST를 활용하여 도시의 열환경 관리를 위한 그린인프라의 중요성 및 냉각효과를 극대화 시킬 수 있는 방법을 제시하였으며, Alavipanah et al.(2015)은 LST와 토지이용 및 토지피복(LULC, Land Use Land Cover)의 관계를 분석하고 식생피복의 냉각효과를 평가하여 도시지역 열 스트레스 완화에 적용가능한 도시 계획의 전략을 제안했다.

이 같은 선행연구 검토를 통해 공원이 도시의 열환경 개선에 기여하고 있음을 알 수 있으나, 대부분 온도저감 효과 또는 온도저감 범위만을 규명하거나 공원의 특성(규모, 형태, 내부식생) 중 일부만을 고려하고 있으며, 공원의 특성과 주변환경의 특성(토지피복, 건물관련 변수 등)을 복합적으로 고려한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 또한, 이미 많은 개발이 이루어진 도시에 새로운 공원을 조성하거나 이미 조성되어 있는 공원을 보다 효과적으로 개선하기 위한 방안이 필요한 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 도시공원의 온도저감 성능을 파악하기 위해 PCI(Park Cooling Islands) 지표(PCI 영향범위, PCI 효과, PCI 강도)를 구축한 후, PCI 지표와 도시공원 및 주변환경 특성의 관계분석을 통해 어떠한 도시공간에서 공원의 온도저감 성능이 증대될 수 있는지 규명함으로써 도시지역의 온도저감을 위한 효과적인 도

시공원의 계획 및 관리방안을 제시하려고 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지로 경기도 수원시를 선정했으며, 대상지의 총 면적은 약 121km²이다(Figure 1).



Figure 1. The study area

수원시 인구는 약 119만 명으로 경기도에서 가장 많은 인구가 거주하고 있으며(Statistics Korea, 2019), 각종 도시개발(택지개발사업, 주거환경개선사업 등)에 의해 인구가 계속 증가하고 있을 뿐 아니라(Suwon city, 2014), 최근 10년

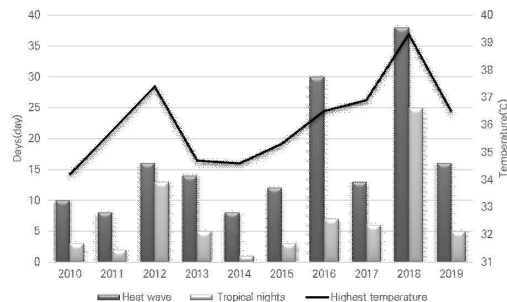


Figure 2. The highest temperature, frequency of heat wave and tropical nights (Korea Meteorological Administration)

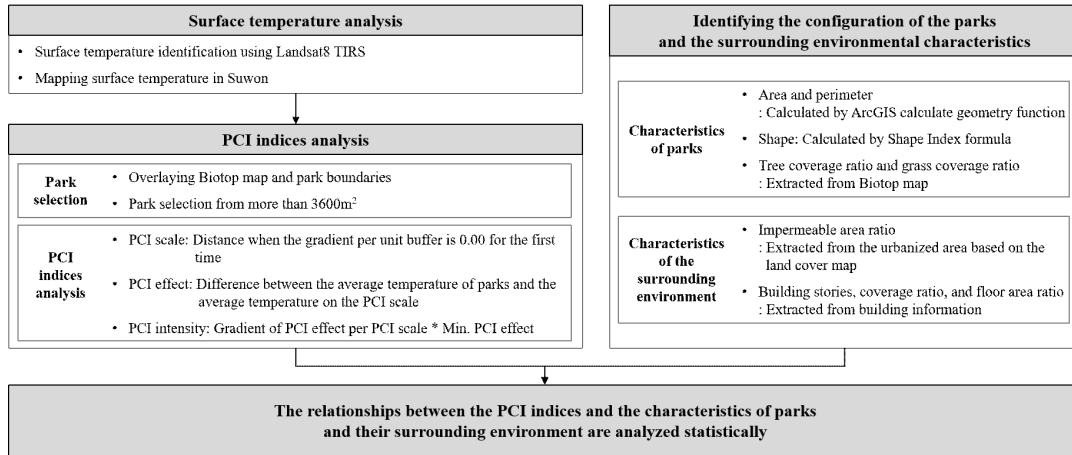


Figure 3. Framework of analysis

간(10~19년) 여름철 최고기온, 폭염 및 열대야 일수가 증가하는 추세이므로 열환경 개선이 필요하다(Figure 2). 또한, 산지와 녹지로 둘러싸인 분지형 구조로, 이러한 형태의 도시는 지형적 특성에 의해 대기 확산의 기능이 감소하여 도시 내부에서 발생된 인공열이 도시 외부로 빠져나가기 어렵기 때문에 다른 도시에 비해 열섬현상이 심각하다(Landsberg, 1981; Lee and Hong, 2008; Song and Park, 2013; Xu et al., 2019).

2. 연구의 방법

전반적인 연구의 흐름은 Figure 3과 같다. 첫째, 지표면의 온도는 Landsat8 TIRS(Thermal Infrared Sensor) 영상을 분석하여 산출한다. 이때, 분석단위는 위성영상 해상도에 맞춰 30×30m Grid로 정하였다. 둘째, 도시공원의 polygon 데이터를 구축하고 도시생태현황도와 중첩한 후, 분석가능한 도시공원 선정 및 도시공원의 온도저감 성능을 파악하기 위한 PCI 지수를 산출한다. 셋째, 도시공원과 주변환경 특성 DB를 구축한다.

Table 1. Data for analyses

Data	Indices	Unit	Data sources	Year
Landsat8 image	Land Surface Temperature	℃	USGS	2017 (8/26)
Park location information, Biotop map	Area of park	m ²	City of Suwon, Ministry of Environment	2017, 2019
	Shape index of park	-		
Land cover map	Impermeable area ratio	%	Ministry of Environment	2018
Biotop map	Tree coverage ratio	%	Ministry of Environment	2019
	Grass coverage ratio	%		
Building information	Building coverage ratio	%	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	2017
	Building floor area ratio	%		

마지막으로 PCI 지표와 도시공원 및 주변환경 특성과의 관계분석을 통해 온도저감을 위한 효과적인 도시공원 및 주변지역의 계획 및 관리방안을 제시한다. 분석에 활용한 자료는 Table 1과 같다.

1) 지표온도 산출

지표온도는 Landsat8 TIRS 영상의 10번 band를 활용하여 산출한다. 지표온도 추출을 위한 영상은 Landsat 위성의 촬영주기, 운량, 강우를 고려하여 수원시의 열환경 분석에 유효한 영상으로 선정한다. 선정된 영상은 NASA Landsat Science에서 제공하는 선형회귀식을 활용하여 지표온도로 변환한다(USGS, 2016). 식 1을 통해 얻어지는 온도는 절대온도이기 때문에 식 2를 적용하여 섭씨온도로 환산한다.

$$T_K = \frac{1321.08}{\ln\left\{\left(\frac{774.89}{M \times Q + A}\right) + 1\right\}} \dots\dots\dots \text{식 1}$$

T_K : Top of atmosphere brightness temperature(K),
 Q : Quantized and calibrated standard product pixel values, M : Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata, A : Band-specific additive rescaling factor from the metadata

$$T = T_K - 273.15 \dots\dots\dots \text{식 2}$$

T : Land surface temperature($^{\circ}C$), T_K : Top of atmosphere brightness temperature(K)

2) 공원 선정

수원시에서 제공하는 도시공원 위치정보와 환경부에서 제공하는 도시생태현황도를 기반으로 수원시에 존재하는 도시공원을 polygon 데이터로 구축한다.

Landsat8 위성영상의 해상도를 고려하여 면적이 3,600m² 미만인 공원을 제외할 경우, 소공원이

및 어린이공원이 대부분 제외되기 때문에 본 연구의 도시공원은 근린공원으로 한정한다. 또한, 도시공원의 온도저감 성능을 분석하기 위한 연구이므로 주변지역 온도저감에 영향을 미치지 않거나 공원 자체가 갖고 있는 고유의 온도저감 영향 외에 주변부에서 크게 작용하는 부가적인 온도저감 영향이 더해지는 것을 방지하기 위해서 산지 및 하천에 인접한 공원은 제외한다.

3) PCI 지표 구축

Ca et al.(1998)은 ‘도시열섬’과 반대되는 개념으로 주변지역에 비해 온도가 낮은 지역을 ‘도시냉섬(UCI: Urban Cool Islands)’이라고 정의하였다. 이에 따라, 본 연구에서는 주변지역보다 온도가 낮은 공원을 ‘PCI(Park Cool Island)’라고 정의하고, 공원의 온도저감 성능을 계량화하기 위해 PCI 영향범위, PCI 효과, PCI 강도를 지표로 선정한다.

Cao et al.(2010)은 일본 나고야시의 공원을 대상으로 공원과 공원주변(500m)의 LST 차이를 온도저감 효과로 정의하였으며, Sun et al.(2012)은 중국 베이징시의 호소를 대상으로 호소와 주변지역의 LST 차이가 처음으로 가장 크게 나타나는 지점을 영향범위, 그 지점과 호소의 LST 차이를 효과, 단위규모 당 효과의 최댓값을 강도로 정의하였다. Feyisa et al.(2014)은 에티오피아 아디스아바바의 공원을 대상으로 공원과 주변지역의 LST 분석을 통해 그래프의 기울기가 평탄해 지거나 음의 방향으로 바뀌는 지점을 공원의 온도저감 범위, 그 지점과 공원내부의 온도차이를 저감효과로 정의하였고, Wang et al.(2018) 또한 중국 장저우시의 공원을 대상으로 공원과 주변지역의 LST 차이가 가장 큰 지점을 온도저감 범위로 정하고 그에 따른 온도저감 효과를 산정하였다. 이 같은 선행 연구를 참고하여 도시공원의 온도저감 성능을 분석하기 위한 PCI 지표를 Figure 4와 같이 정의한다.

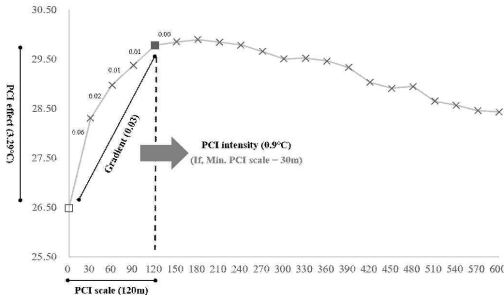


Figure 4. The definition of PCI indices

PCI 영향범위는 공원의 온도저감 영향이 어디까지 미치는지 파악하기 위한 지표로, Buffer 당 기온기 값이 처음으로 0에 근접할 때의 거리로 설정한다(식 3).

$$PCI_S = D \frac{\Delta t}{unit.b} \approx 0.00_{1st} \dots\dots\dots \text{식 3}$$

PCI_S : PCI scale(m), $D \frac{\Delta t}{unit.b} \approx 0.00_{1st}$: Distance

when the gradient per unit buffer is 0.00 for the first time(m), Δt : Different temperatures, unit.b: unit buffer(in this study, 30m)

PCI 효과는 도시공원이 주변의 온도를 얼마나 감소시키는가에 대한 지표이고 도시공원의 평균온도와 PCI 영향범위의 평균온도 사이의 온도차로 산출한다(식 4).

$$PCI_E = T_{PCI_s} - T_{park} \dots\dots\dots \text{식 5}$$

PCI_E : PCI effect(°C), T_{PCI_s} : Mean temperature of PCI scale(°C), T_{park} : Mean temperature of park(°C)

PCI 강도는 동일한 범위에서의 온도저감 효과를 파악하기 위한 지표로 PCI 영향범위 당 PCI 효과(기온기)에 최소 PCI 영향범위를 곱한

값으로 설정한다(식 5).

$$PCI_I = \frac{PCI_E}{PCI_S} \times Min.PCI_S \dots\dots\dots \text{식 7}$$

PCI_I : PCI intensity(°C), $Min.PCI_S$: Minimum value of $PCI_S(m)$

PCI 지수를 산정하기 위해 ArcGIS 프로그램의 Multiple ring buffer tool을 이용하여 선정된 공원의 경계로부터 30m 간격(Landsat8 위성영상의 해상도 고려)으로 20개의 Buffer를 생성한다. 각 Buffer zone의 평균온도를 계산한 후, Buffer 당 기온기 값이 처음으로 0.00이 나타나는 Buffer zone을 PCI 영향범위로 설정한다. 또한, PCI 영향범위의 평균온도와 도시공원의 평균온도 차를 계산하여 PCI 효과를 산정하며, 마지막으로 PCI 영향범위 당 PCI 효과에 최소 PCI 영향범위를 곱하여 PCI 강도를 산출한다.

4) 공원 및 주변환경 특성지표 분석

공원의 특성지표는 공원 자체가 지니고 있는 구조적 특성(면적, 형태)과 내부식생(초지식피율, 수목식피율)으로 정한다. 공원 주변환경을 설명하는 지표는 도시의 온도와 형태의 관계를 분석한 선행연구를 통해 도출된 지형, 불투수면적률, 건물관련 변수(건폐율, 용적률 등) 중 PCI 지표와 상관성이 높은 변수로 정한다(Landsberg, 1981; Oh and Hong, 2005; Stewart and Oke, 2012).

공원의 면적은 공원의 위치정보와 도시생태 현황도를 기반으로 구축한 공원의 polygon 데이터를 ArcGIS 프로그램의 Calculate Geometry tool을 활용하여 계산한다.

공원의 형태는 식 6을 적용하여 형태지수(SI, Shape Index)로 나타낸다. 식 6에 의한 형태지수는 원형일 때 1, 정사각형일 때 1.13정도의 값을 나타내며, 형태가 복잡해질수록 그 값은 무한대로 증가한다(McGarigal and Marks, 1995).

$$SI = \frac{Peri}{2\sqrt{Area \times \pi}} \dots\dots\dots \text{식 8}$$

Peri: Perimeter of the park, *Area*: Area of the park

공원의 내부식생 지표는 초지식피율과 수목 식피율을 중심으로 분석한다. 초지식피율과 수목식피율은 환경부에서 제공하는 도시생태현황도를 활용하여 도출한다.

주변환경 지표를 산출하기 위한 공원의 주변 지역은 PCI 영향범위 내에서 해당 공원을 제외한 공간으로 정의한다(Figure 5). 불투수면적률은 환경부에서 제공하는 토지피복도의 대분류상 시가화건조지역을 추출하여 계산한다. 건물 관련 변수는 국토교통부에서 제공하는 건물통합정보의 속성데이터를 활용하여 구축한다.



Figure 5. The definition of the surrounding area

III. 결과 및 고찰

1. 지표온도 추출

지표온도 추출을 위해 Landsat 위성의 촬영주기, 운량, 강우를 고려하여 수원시의 열환경 분석에 유효한 2017년 8월 26일 영상을 사용하였

다. 식 1과 식 2를 적용하여 계산한 결과, 수원시의 최고 지표온도는 42.06℃, 최저 지표온도는 21.82℃, 평균 지표온도는 28.99℃으로 나타났다(Figure 6).

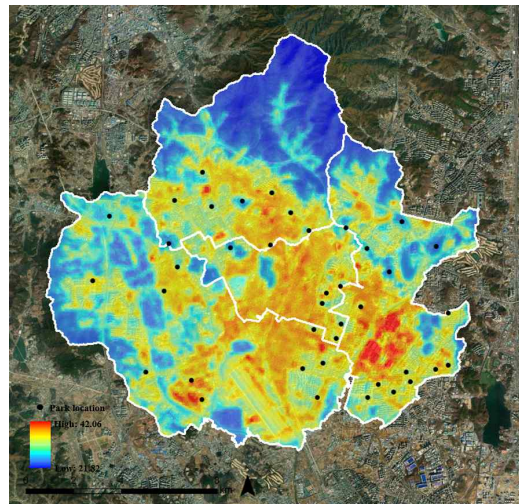


Figure 6. The surface temperature and locations of parks

2. 공원선정

「도시공원 및 녹지에 관한 법률」 시행규칙 제 6조에 따르면 근린공원은 면적에 따라 근린생활권, 도보권, 도시지역권, 광역권으로 분류된다. 수원시에서 제공하는 공원의 위치정보와 도시생태현황도를 기반으로 도시공원의 polygon 데이터를 구축한 후, 주변지역 온도저감에 영향을

Table 2. Urban parks in Suwon, 2015

parks	Area(m ²)	Parks elected for this study
Neighborhood parks		40
Neighborhood Unit	≥ 10,000	12
Walking Distance	≥ 30,000	17
Area of Urban	≥ 100,000	10
Multi-Regional	≥ 1,000,000	1

Table 3. The result of PCI indices


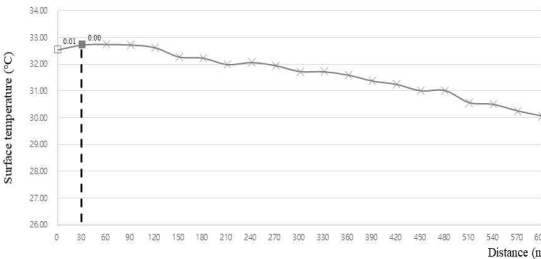

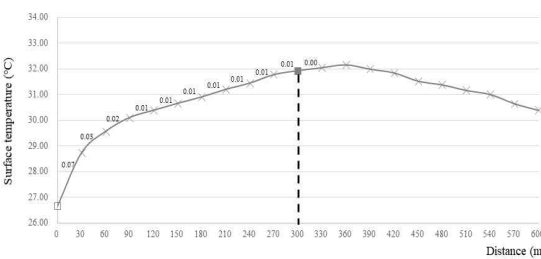

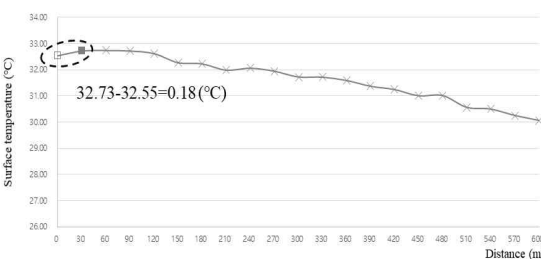

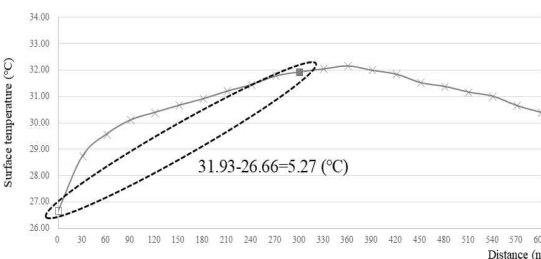

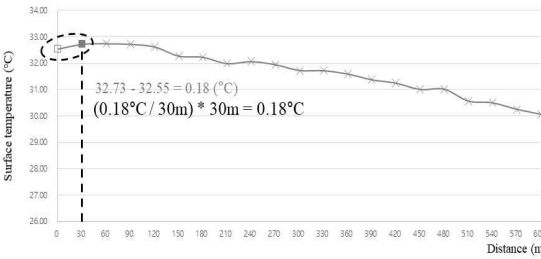

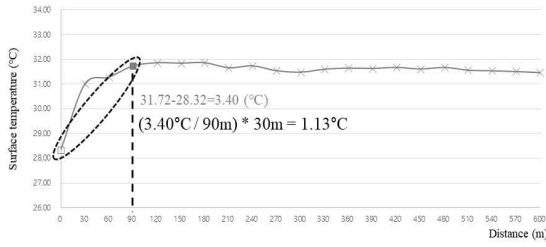

Indices	Park		Graph
PCI scale	Min.	 <p data-bbox="560 719 683 741">Baedari park</p>	
	Max.	 <p data-bbox="560 1008 683 1030">Sukji park</p>	
PCI effect	Min.	 <p data-bbox="560 1299 683 1321">Baedari park</p>	 <p data-bbox="523 1131 997 1153">$32.73 - 32.55 = 0.18 (^{\circ}\text{C})$</p>
	Max.	 <p data-bbox="560 1590 683 1612">Sukji park</p>	 <p data-bbox="965 1489 1125 1512">$31.93 - 26.66 = 5.27 (^{\circ}\text{C})$</p>
PCI intensity	Min.	 <p data-bbox="560 1881 683 1904">Baedari park</p>	 <p data-bbox="853 1713 1077 1769">$32.73 - 32.55 = 0.18 (^{\circ}\text{C})$ $(0.18^{\circ}\text{C} / 30\text{m}) * 30\text{m} = 0.18^{\circ}\text{C}$</p>

Table 3. continue

Indices	Park	Graph
PCI intensity	Max.  Mansuk park	

□: Mean temperature value of park(°C), ■: Mean temperature value of PCI scale(°C),
 X: Temperature per unit buffer, ---: PCI scale, : PCI effect

미치지 않는 공원 또는 산지 및 하천과 인접한 공원을 제외한 결과, 근린생활권 공원 12개소, 도보권 공원 17개소, 도시지역권 공원 10개소, 광역권 공원 1개소로 총 40개소의 근린공원이 분석가능한 공원으로 선정되었다(Table 2, Figure 6). 선정된 공원의 총 면적은 5.33km²이고, 수원시 전체 공원 면적 중 62.72%이다.

3. PCI 지표

Table 3은 도시공원의 PCI 지수에 대한 최댓값과 최솟값의 위성영상 및 그래프이다. PCI 영향범위의 최솟값은 배다리공원(30m)에서 나타났고, 최댓값은 숙지공원(300m)에서 나타났으며, PCI 영향범위의 평균값은 93m이다. PCI 효과의 최솟값과 최댓값은 PCI 영향범위와 동일하게 배다리공원(0.18°C)과 숙지공원(5.27°C)에서 나타났으며, PCI 효과의 평균값은 1.55°C이다. 마지막으로 PCI 강도의 최솟값은 PCI 영향범위와 PCI 효과가 가장 작은 배다리공원(0.18°C)에서 나타났고 최댓값은 만석공원(1.13°C)에서 나타났으며, 평균값은 0.46°C이다.

4. 공원 및 주변환경 특성지표

Table 4는 공원 및 주변환경 특성 지표에 대한 기초 통계량이다.

공원의 면적은 클수록, 형태지수는 작을수록

주변지역에 미치는 영향이 커질 것으로 예상되는 지표다. 면적이 가장 큰 공원은 광고호수공원(1,693,470.99m²)이고 가장 작은 공원은 청정공원(12,174.19m²)으로 나타났다. 형태지수의 최댓값, 최솟값, 평균값은 2.14, 1.10, 1.34로 가장 복잡한 형태의 공원은 혜령공원, 가장 단순한 형태의 공원은 방죽공원이다.

수목식피율과 초지식피율은 공원내부의 식피율을 파악하기 위한 지표다. 수목식피율이 가장 높은 공원은 달누리공원이고, 가장 낮은 공원은 오목호수공원이며, 평균값은 33.68%이다. 초지식피율은 방죽공원이 가장 높고, 청소년 문화공원이 가장 낮은 것으로 분석되었다.

주변환경 지표는 어떠한 도시공간에서 공원의 온도저감 효과가 증대 될 수 있는지 파악하기 위한 지표로, 불투수면적률, 건폐율, 용적률이 선정되었다. 매탄공원 주변지역의 불투수면적률이 가장 높고 달누리공원이 가장 낮게 나타났으며, 건폐율은 배다리공원, 용적률은 올림픽공원에서 높게 나타났다.

5. PCI 지표와 공원 및 주변환경 특성 지표와의 관계분석

본 연구에서는 PCI 지표를 설명하기 위한 최적의 회귀식을 산출하기 위하여 독립변수의 투입방법 중 후진선택법을 적용하였다.

Table 4. Characteristics of parks and their surrounding environment

Parks		Park characteristics				Surrounding environmental characteristics		
		Area (m ²)	Shape Index	Tree coverage ratio	Grass Coverage ratio	Impermeable area ratio	Building coverage ratio	Building floor area ratio
Neighborhood park	Max.	1,693,470.99	2.14	88.33	23.09	95.47	54.64	214.05
	Min.	12,174.19	1.10	5.50	0.08	29.62	0600	0.00
	Avg.	133,316.04	1.34	34.68	6.81	65.72	26.16	88.80
	SD	272,435.85	0.25	21.40	4.86	17.08	15.97	55.74
Neighborhood unit	Max.	25,623.62	1.49	88.33	12.63	85.96	54.64	165.51
	Min.	12,174.19	1.11	10.00	5.00	29.62	0.00	0.00
	Avg.	16,086.24	1.23	33.08	8.80	65.51	30.09	102.97
	SD	3,828.14	0.11	21.03	1.56	16.75	17.92	54.82
Walking distance	Max.	87,800.12	1.86	77.08	23.09	95.47	51.14	214.05
	Min.	31,117.76	1.10	5.50	0.75	52.80	0.00	0.00
	Avg.	48,441.26	1.31	29.52	7.09	72.02	28.64	89.89
	SD	16,659.61	0.21	21.94	5.41	12.88	15.64	54.66
Area of urban	Max.	399,457.94	2.14	88.03	16.02	87.82	34.58	164.68
	Min.	128,146.00	1.13	24.44	0.08	34.27	0.83	1.48
	Avg.	262,263.44	1.48	43.56	4.13	58.04	19.07	72.10
	SD	87,305.47	0.31	17.96	5.41	18.54	12.95	56.35
Multi-regional	-	1,693,470.99	1.80	52.92	4.87	37.79	1.98	6.71

Table 5는 PCI 지표를 종속변수, 도시공원 및 주변환경 특성 지표를 독립변수로 설정하고 회귀분석을 시행한 후 공선성이 나타나는 변수와 유의확률이 낮은 변수를 제외한 결과이다.

1) PCI 영향범위

도시공원의 PCI 영향범위를 설명하는 유의한 변수로 공원의 특성지표는 공원의 면적, 공원내부의 수목식피율이 도출되었고, 주변환경 특성지표는 건폐율 및 용적률이 도출되었으며, 회귀식의 R^2 은 0.717로 나타났다(Table 4(a)). 공원의 면적이 클수록, 공원내부의 수목식피율이 높을수록 공원의 온도저감 영향이 넓은 범위까지 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 공원주변에 건물을 배치할 경우, 건폐율보다 용적률을 높이는

것이 PCI 영향범위를 넓히는 데 유리한 것으로 나타났다. 표준화 계수에 의한 독립변수의 상대적인 영향력은 공원의 면적이 절대값 0.800으로 PCI 영향범위에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 나타났다.

2) PCI 효과

도시공원의 PCI 효과에 대한 회귀식의 R^2 은 0.734이고, 유효한 설명변수는 공원의 특성지표 중 면적, 형태, 수목식피율, 주변환경 특성지표 중 불투수면적률과 용적률이 도출되었다(Table 4(b)). 도시공원은 원 또는 사각형과 같이 단순한 형태이면서 면적이 클수록 주변지역의 온도저감에 유리하며 공원내부는 수목이 차지하는 면적이 넓을수록 PCI 효과가 커진다. 또한, 주변

Table 5. The result of multiple regression analysis

Indices	Model		Unstandardized coefficients	Standardized coefficients	Sig.	VIF
PCI scale (a)	Constant		65.360		0.000	
	Park characteristics	Area	3.213E-7	0.800	0.000	1.219
		Tree coverage ratio	0.313	0.196	0.41	1.181
	Surrounding environmental characteristics	Building coverage ratio	-1.403	-0.481	0.002	2.908
		Building floor area ratio	0.342	0.409	0.007	2.834
$R^2=0.717$, N=40						
PCI effect (b)	Constant		0.725		0.014	
	Park characteristics	Area	9.366E-7	0.218	0.042	1.163
		Shape index	-0.025	-0.344	0.045	3.000
		Tree coverage ratio	0.014	0.353	0.002	1.181
	Surrounding environmental characteristics	Impermeable area ratio	-0.006	-0.609	0.000	1.244
		Building floor area ratio	0.006	0.280	0.092	2.851
$R^2=0.734$, N=40						
PCI intensity (c)	Constant		0.333		0.113	
	Park characteristics	Area	4.838E-7	0.545	0.000	1.281
		Shape index	-0.341	-0.349	0.019	1.357
		Tree coverage ratio	2.564	0.699	0.000	1.626
		Grass coverage ratio	-0.004	-0.308	0.062	1.721
$R^2=0.644$, N=40						

지역의 불투수면적률은 낮추고 용적률이 높은 건물을 배치하는 것이 도시 열환경 개선에 효율적이다. PCI 효과에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 표준화 계수의 절댓값이 가장 큰 불투수면적률로, 공원 주변지역의 불투수면적률을 낮추는 게 가장 중요한 것으로 분석되었다.

3) PCI 강도

PCI 강도를 종속변수로 한 회귀식의 R^2 은 0.664이고, 유의한 설명변수는 공원의 면적 및 형태, 공원내부의 수목식피율과 초지식피율이 도출되었으며, 주변환경 특성지표는 도출되지 않았다(Table 4(c)). 각 요소의 상대적인 영향력은 수목식피율, 면적, 공원의 형태, 초지식피율의 순서로 나타났다. 즉, PCI 강도를 높이기 위

해서는 공원내부에 초지의 식피율보다 수목의 식피율을 높이는 것이 효과적이며, 규모가 크고 단순한 공원을 조성하는 것이 유리하다.

IV. 결론

도시지역의 열환경 개선을 위한 다양한 노력 중, 공원의 조성은 생태계 서비스 측면에서도 중요한 역할을 하기 때문에 도시 그린 인프라 차원에서 주목받고 있다. 그러나 대부분 공원의 온도저감 효과 또는 범위만을 규명하고 있으며, 공원 및 주변환경의 특성을 복합적으로 고려한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 그러므로 본 연구의 목적은 PCI 지표와 공원 및 주변환경 특성의 관계분석을 통해 도시의 열환경 개선에 효

과적인 도시공원의 계획 및 관리방안을 제시하는 것이다.

분석결과를 종합하면, 도시공원은 규모가 크고 원 또는 사각형과 같은 단순한 형태가 유리하며, 공원내부는 초지가 차지하는 면적보다 수목이 차지하는 면적을 넓게 조성하는 것이 주변 지역의 온도저감 성능을 높이는데 효과적이다. 이러한 결과는 규모가 크고 단순한 형태의 공원이 온도저감 효과가 크다는 선행연구 결과와 동일하게 나타났으며, 수목에 의한 열저감 효과를 산정한 연구와도 유사한 결과가 나타났다 (Chang et al., 2007; Cao et al., 2010, Sun et al., 2012; Feyisa et al., 2014; Zolch et al., 2019). 그러나 이미 고밀의 개발이 이루어진 기성 도시에 대규모 공원을 조성하는 것은 한계가 있으므로 열환경 개선이 필요한 지역에 원 또는 사각형과 같은 단순한 형태의 공원을 조성해 주거나 이미 조성되어 있는 공원이더라도 내부의 수목식피율을 높여줌으로써 도시공원의 온도저감 성능을 높일 수 있다는 것을 시사한다. 또한, 도시공원 주변지역의 경우, 불투수면적률과 건폐율은 낮고 용적률은 높을수록 온도저감 성능을 높이는데 유리하다는 결과가 나타났다. 이는 도시공원의 주변지역에는 투수율이 높은 포장재를 사용하는 것이 유리하며, 건폐율이 낮고 용적률이 높은 건물을 배치하는 것이 도시의 열환경 개선에 보다 효과적이라는 것을 의미한다.

본 연구에서는 PCI 지표를 기반으로 도시공원의 온도저감 성능을 구체적으로 규명하였으며, 도시공원의 온도저감 성능이 증대 될 수 있는 공간적 특성과 온도저감에 유리한 도시공원의 특성을 계량적으로 제시하였다. 이 같은 연구결과는 도시공원의 계획 및 관리를 위한 우선순위 지역을 파악하거나 주변환경의 도시계획 및 관리 지침으로 활용할 수 있다.

본 연구는 한정된 수의 공원을 대상으로 분석하였고, 각 공원의 규모나 내용적 특성이 다양하기 때문에 공원의 특성에 따른 온도저감 성능

을 규명하는데 한계가 있다. 또한, 우리나라는 여름철에 운량이 많아 구득가능한 영상이 한정적이기 때문에 단일시점으로 분석하였다. 향후 연구에서 좀 더 많은 수의 공원을 포함하여 공원 유형에 따른 분석을 하거나 다양한 시점의 온도데이터를 활용할 수 있다면 보다 충실한 분석 결과를 도출할 수 있을 것이라 사료된다.

References

- Alavipanah, S. · Wegmann, M. · Qureshi, S. · Weng, Q. and Koellner, T. 2015. The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany during the Warm Season. *Sustainability*. 7(4): 4689-4706.
- Bowler, D. E. · Lisette, B. · Knight, T. M. and Pullin, A. S. 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*. 97: 147-155.
- Ca, V. T. · Asaeda, T. and Abu, E.M. 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*. 29: 83-92.
- Cao, X. · Onishi, A. · Chen, J. and Imura, H. 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*. 96: 224-231.
- Chang, C. · Li, M. and Chang, S. 2007. A preliminary study on the local cool island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*. 80: 386-395.
- Demuzere, M. · Orru, K. · Heidrich, O. · Olazabal, E. · Geneletti, D. · Orru, H. · Bhawe, A.G. · Mittal, N. · Feliu, E. and Faehnle, M. 2014. Mitigating and adapting to climate change:

- Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*. 146:107-115.
- Feyisa, G.L. · Dons, K. and Meilby, H. 2014. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*. 123: 87-95
- Howard, L. 1833. The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it electronic resource. Harvey and Darton.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jaurecui, E. 1990. Influence of a Large Urban Park on Temperature and Convective Precipitation in a Tropical City. *Energy and Buildings*. 15: 457-463.
- Kim, E. · Lee, D. · Yoon, E. and Park, C. 2019. Exploration of Optimal urban green space using unused land -To improve green connectivity and thermal environment-. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 22(5): 45-56. (in Korean with English summary)
- Kim, GH. · Kim, SB and Jung, EH. 2004. A Study on Green Net-Work Construction for Urban Heat Island Mitigation in Dalseo District, Daegu Metropolitan City. *Journal of the environmental Sciences*. 13(6): 527-535. (in Korean with English summary)
- Kwon YA. 2002. The influence of urban green areas on ambient air temperature in seoul. Ph.D dissertation, University of Konkuk. (in Korean)
- Landsberg, H.E. 1981. The urban climate. Academic press.
- Li, J. · Song, C. · Cao, L. · Zhu, F. · Meng, X. and Wu, J. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*. 115(12): 3249-3263.
- Lee, K and Hong, W. 2008. A Study on the Urban Heat Environment Pattern Analysis and Alleviation Plan. *Architectural institute of Korea*. 24(9): 253-260. (in Korean with English summary)
- Lee, S. · Lee, K. · Zheng, H. · Jin, W. · Shin, D. and Woo, C. 2008. Cooling Effects of Botanical Garden in Urban Campus during Summer. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 11(5): 72-78.(in Korean with English summary)
- McGarigal, K. and Marks, B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report. United States Department of Agriculture.
- Oh, K. and Hong, J. 2005. The relationship between urban spatial elements and the urban heat island effec. *Urban Design Institute of Korea*. 6(1): 47-63. (in Korean with English summary)
- Onishi, A. · Cao, X. · Ito, T. · Shi, F. and Imura, H. 2010. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry & Urban Greening*. 9(4): 323-332.
- Park, JH. and Cho, GH. 2016. Influence of park size on the park cooling effect - Focused on Ilsan new town in Korea. *Journal of Korea Planning Association*. 51(5): 247-261. (in Korean with English summary)
- Rinner, C. and Hussain, M. 2011. Toronto's Urban Heat Island—Exploring the Relationship between Land Use and Surface Temperature. *Remote Sensing*, 3(6): 1251-1265.

- Seo, J. and Sung, H. A Study on the User-driven Urban Park Development Plan Awareness Survey – Focusing on Lawns·Grass Area-. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 12(2): 61-72. (in Korean with English summary)
- Smith, R. and Oke, T. 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing, 19: 2085-2104.
- Song, B. and Pakr, K. 2013. Air Ventilation Evaluation at Nighttime for the Construction of Wind Corridor in Urban Area. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 16(2): 16-29. (in Korean with English summary)
- Stewart, I.D. and Oke, T.R. 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. American Meteorological Studies. 93(12): 1879-1900.
- Sun, R. and Chen, L. 2012. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? Landscape and Urban Planning. 105: 27-33.
- USGS, 2016. Landsat8(L8) data users handbook. Department of the Interior U.S. Geological Survey.
- Xu, D.· Zhou, D.· Wang, Y.· Xu, W. · Yang, Y. 2019. Field measurement study on the impacts of urban spatial indicators on urban climate in a Chinese basin and static-wind city. Building and Environment. 147: 482-494
- Zolch, T. · Rahman, M.A. · Pfeleiderer, E. · Wagner, G. and Pauleit, S. 2019. Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. Building and Environment. 149: 640-654.
- <https://kostat.go.kr/portal/korea>
<https://map.kakao.com>
<https://www.suwon.go.kr/intro.jsp>