

서울지역 녹지서비스의 환경형평성 분석[†]

- 중구, 성동구, 동대문구를 사례로 -

고영주* · 조기환** · 김우찬***

*전북대학교 조경학과 박사과정 · **영남대학교 환경문제연구소 연구원 · ***한반도생태연구소 연구원

Analysis of Environmental Equity of Green Space Services in Seoul - The Case of Jung-gu, Seongdong-gu and Dongdaemun-gu -

Ko, Young Joo* · Cho, Ki-Hwan** · Kim, Woo-Chan***

*Ph. D. Candidate, Dept. of Landscape Architecture Graduate School, Chonbuk National University

**Researcher, Environmental Research Institute, Yeungnam University

***Researcher, Ecological Institute of Korean Peninsula

ABSTRACT

Urban green spaces, as a means to mitigate social problems and environmental risks, are getting more attention in evaluating urban environment. The inequity of green space distribution is becoming a major issue in urban planning and management. This study investigated the characteristics of green space in 3 districts (Jung-gu, Dongdaemun-gu, Seongdong-gu), that are composed of 46 administrative divisions in central Seoul, to analyze the environmental equity of urban green spaces. The correlations between the amount of green space, including the coverage of street trees, and the socioeconomic status of each administrative division were analyzed. To deduce the effects of plant coverage on the urban temperature regime, the relationship between the normalized difference of vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) was analyzed. The research revealed that the mean NDVI of an administrative division was negatively correlated with the percentage of basic living recipients and disabled people. The LST of a division with low NDVI was higher due to the lack of green coverage. Such environmental inequities were closely related to residential building type, which was strongly affected by the economic status of residents. The LST of an apartment area was 2.0°C lower than that of single-family houses and multi-housing areas. This is expected as the average NDVI of the apartment area was more than twice as high as the other environments considered in this study. The inequity can be exacerbated without urban planning which is deliberately designed to reduce it.

Key Words: Environmental Justice, Urban Green Space, Urban Heat Island Effect, Landsat, Sentinel

[†]: 이 논문은 서울특별시·서울연구원이 주최한 「2018 서울연구논문 공모전」에서 우수논문으로 선정된 논문을 수정 보완한 논문임.

Corresponding author: Young Joo Ko, Ph.D. Candidate, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea, Tel.: +82-63-270-4128, E-mail: sesokdosi@gmail.com

국문초록

도시지역의 사회문제 및 환경위험을 완화시킬 수 있는 수단이자 사회적 측면에서의 지속가능한 발전을 위해 질 좋은 도시녹지의 양적인 확대 및 관리에 대한 중요성이 부각되고 있다. 이에 본 연구에서는 서울시 중구, 동대문구, 성동구 등 3개 자치구의 46개 행정동을 대상으로 각종 사회경제적 데이터와 녹지데이터, 위성영상 등을 활용해 녹지의 분포 현황과 이의 분배적 형평성을 파악하고자 했다. 연구의 분석과정은 1) 행정동별 녹지분포 현황과 사회경제적 현황, 녹지의 효과를 체감하기 쉬운 가로수 면적 등을 파악하고, 위성영상을 이용한 정규식생지수와 지표면온도를 확인했다. 2) 이를 바탕으로 각 변수들의 상관관계 및 회귀분석을 실시하였다. 연구지역 녹지의 분배적 형평성 분석결과, 행정동별 환경특성 중 녹지율과 면적에서 큰 편차를 보였으며, 정규식생지수, 지표면온도 모두 동별 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한, 환경변수와 사회경제적 변수와의 상관관계 분석결과, 기초생활수급자비율과 장애인비율이 높은 동의 정규식생지수가 낮고 지표면온도는 높은 것으로 나타나 환경형평성이 낮은 것으로 평가되었다. 환경불평등은 주거지역의 환경요인뿐 아니라, 주거형태와도 밀접하게 관련되어 있는 것으로 판단된다. 아파트 단지의 지표면온도는 단독 및 다가구 주택 밀집지역에 비해 2.0℃ 가량 낮았으며, 정규식생지수 평균은 아파트 단지가 단독 및 다가구 주택 밀집지역에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 녹지분포의 행정동별, 주거유형별 환경불평등성이 확인된 만큼 소외지역에 녹지의 양적 확충이 필요하며, 녹지 환경에서의 사회적 배제 극복을 위한 정책 등을 통해 배제된 지역 주민들의 삶의 질 개선 노력이 필요하다.

주제어: 환경정의, 도시녹지, 도시열섬현상, 위성영상, 지표면온도

1. 서론

2016년 기준 전 세계 인구의 54.5%(UN, 2016)가, 2030년엔 60%에 달하는 인구가 도시에서 생활할 것이라 예측될 만큼 도시팽창화가 진행 중이다. 우리나라도 예외가 아니다. 2005년 용도지역기준 90.1%, 행정구역기준 89.1%를 기록했던 우리나라의 도시지역 인구비율은 이후 꾸준히 증가해, 2017년 전체 인구 중 약 91.8%(용도지역기준, 행정구역기준으로는 90.7%)에 달하는 인구가 도시에서 살고 있으며, 특히 서울지역은 용도지역기준, 행정구역기준 모두 100%의 인구가 도시에 살고 있는 것으로 나타났다(KOSIS, 2017).

끊임없는 도시의 팽창과 도시 내 인구밀도의 급증은 도시민들의 주거환경에 악영향을 끼치고, 많은 환경적 스트레스에 노출시키고 있다. 도시 이외 지역에 비해 높은 대기오염과 수질 오염 수치, 나아가 지구온난화의 영향 등으로 극심해진 도시열섬현상(Urban Heat Island Effect) 등이 대표적이다. 이러한 환경적 스트레스들은 도시민의 질병 및 사망률에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라, 도시민의 물과 에너지 사용을 촉진시키고, 광화학 스모그 같은 유해한 공기오염물질 형성에 도움을 주는 조건을 만드는 등 도시 주거 환경이 보다 열악해지는 악순환이 반복되고 있다(Akbari *et al.*, 1997).

악화되는 도시 주거환경 개선을 위한, 특히 도시열섬현상 완화를 위한 다양한 노력 중 가장 주목받고 있는 부분은 다양한 식물을 이용해 도시 내 녹지를 확대하는 방법이다. 도시 내 녹지란 흔히 도시공원, 유원지, 도시숲, 가로수 등의 공공부문 도

시녹지와 주택지, 주거 및 상업혼합지, 상업 및 업무시설지 등의 공간에 진행되는 각종 개발사업에 포함되는 식생공간을 의미하는 민간부문 도시녹지, 나아가 도시농업까지 도시 내 녹지에 포함된다.

크고 작은 나무, 잔디, 꽃 등을 포함한 다양한 식물은 도시경관을 결정하는 핵심 요소 중 하나이자 도시민들의 주거환경에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 도시 녹지가 제공하는 환경적·사회적 이익에 관한 연구는 오랫동안 전 세계 수많은 이들에 의해 연구되어 왔다. 도시에 식재된 모든 식생들이 도시민에게 제공하는 환경적 이익으로는 일정 수준의 생물다양성 보전 및 생태계 서비스 공급은 물론, 대기 중 탄소 격리(Nowak and Crane, 2002), 공기오염 물질의 정화(Nowak *et al.*, 2014; Fantozzi *et al.*, 2015; Abhijith *et al.*, 2017; Hwang *et al.*, 2018), 태양열 흡수, 그늘 제공, 온도저감 등을 통한 도시열섬현상 완화(Bowler *et al.*, 2010; Onishi *et al.*, 2010)와 이를 통한 냉난방 에너지 소비 감소(McPherson and Simpson, 2003), 온열질환 발병 위험률 감소(Cummins and Jackson, 2001; Chen *et al.*, 2014), 우수유출의 여과 및 감소, 지하수 보충, 소음저감 등이 있다.

도시녹지는 도시민들의 삶의 질 향상에도 긍정적인 영향을 미치는데, 다양한 적극적·수동적 여가활동의 기회 제공을 통한 신체적·정신적 건강은 물론, 안전하다는 잠재적 인식 제고(Kuo *et al.*, 1998)와 도시녹지에서의 다양한 활동을 통해 형성되는 긍정적인 관계는 사회적 통합에도 지대한 역할을 담당(Kazmierczak and James, 2007; Peters *et al.*, 2010)하는 것으로 알려져 있다.

오늘날 한국 사회는 급격한 경제구조 변화와 사회경제적 양극화, 근로빈곤층 급증, 저출산, 노령화, 가족해체 등 사회문제와 함께 기후변화 등에 따른 환경 및 안전문제가 중첩되어 발생하고 있어 환경문제와 사회문제를 연계하는 보편적 복지의 확대가 필요한 시점이다(Kim, 2014; Koh and Jeong, 2013). 이러한 상황에서 질 좋은 도시녹지의 확충 및 관리는 사회 및 환경위험을 완화시킬 수 있는 수단이자 심각한 사회적 배제를 해결할 수 있는 방법으로써 그 중요성에 대한 인식 또한 높아지고 있는 실정이다.

그러나 문제는 도시민에게 수많은 이익을 제공하는 도시녹지가 언제나 공평하게 제공되지는 않는다는 점이다. 도시녹지는 도시민의 사회경제적 지위와 관계없이 시민들의 요구를 반영해 공정하게 공급되어야 하는 공공재이다. 따라서 중앙 및 지방정부는 충분한 양과 질의 도시녹지를 도시민에게 제공하고 모든 시민이 공평하게 도시녹지 및 관련시설에 접근할 수 있도록 만들어야 할 의무가 있다. 하지만 지금까지 도시녹지 관련 정책은 주로 도시공원에만 초점이 맞춰진데다 단순히 면적 확장 위주의 공급 정책에 치중한 나머지 도시공원 이외의 녹지에 대한 관심이 상대적으로 소홀했을 뿐만 아니라, 도시녹지가 가진 다기능성이나 분배적 형평성, 지속적 운영 및 관리를 통해 다양한 가치를 공급하는 일을 간과해 왔다(Kim, 2014). 하지만 이러한 도시녹지의 양적 확대 정책에도 '어디에, 어떻게, 왜' 등의 질문을 추가하며, 그 구체적 기준을 탐색하는 일은 분배적 형평성의 문제에서 중요한 가치를 가질 수 있다. 즉, 도시민들의 건강과 삶의 질 유지를 위한 필수요소인 녹지가 현재 지역 간, 사회계층 간 공급의 격차가 존재한다는 현재의 상황을 인지하고, 녹지가 부족한 지역에 적절한 양의 녹지를 공급하기 위해 우선 공급 대상 지역을 도출하는 것 자체로 분배적 형평성 문제에서 중요한 의미를 가진다.

여기서의 분배적 형평성이란 성별, 나이, 학력, 경제적 수준 등 생물학적, 사회경제적 조건에 상관없이 누구나 공평한 기회를 갖는 것이며, 나아가 필요로 하는 대상에게 필요로 하는 만큼의 양이 제공되는 것을 의미한다. 이와 관련해 유럽과 북미 지역 등지에서는 인종, 피부색, 성별, 출신 국가, 소득수준 등에 관계없이 모든 사람들이 환경법 규정 정책의 개발과 실천 규제에 관해 공정하게 대우받고 의미 있게 참여하는 것을 의미(EPA, 1992)하는 환경정의(environmental justice)의 관점에서 도시녹지의 분배적 형평성에 초점을 맞춘 연구가 활발하게 진행 중이다. 이들의 주요 이슈는 세계적인 기후변화와 관련한 기적응력, 취약지역 건강보호, 환경개선 등을 포함한 지속가능한 커뮤니티 형성을 위해 도시공원을 포함한 다양한 도시녹지로의 접근성과 양, 분포 등이 인근 커뮤니티 주민들의 생물학적, 사회경제적 조건에 상관없이 균등하게 분포되어 있는가의 여부이다(Abercrombie *et al.*, 2008; Wolch *et al.*, 2014).

우리나라 또한 환경정의의 개념에 기반한 관련 연구가 녹색

복지, 환경복지, 공원복지, 환경형평성, 분배형평성 등의 이름으로 다양하게 이뤄지고 있다. 하지만 그 대부분은 도보 10분 이내의 시간상 접근성, 250m, 500m 등 공원유치권 내의 거리상 접근성 등 도시공원내의 접근 기회에 초점을 맞춰 도시공원이 사회경제적 조건에 따라 균형적으로 분포되어 있는가, 공급이 적절한 수준인가 등을 연구하는데 그치고 있는 실정이다.

사실 환경정의는 단순히 도시 환경문제이자 도시 어메니티(amenity)에 대한 접근성 문제가 아니라, 녹지 인프라스트럭처의 분배적 형평성의 문제이자 주거환경의 불평등, 나아가 경제 사회적 불평등 문제 등과도 밀접하게 연결되어 있다. 즉, 지속 가능한 발전을 위한 필수 요소 중 하나인 사회적 지속가능성을 관통하는 문제이다. 이런 의미에서 사회 구성원간의 갈등 완화 및 해소 차원에서도 중요한 위치를 점하고, 최근 사회적 배제 극복을 위해 국내외에서 활발하게 논의 중인 포용도시(The Inclusive City)의 프레임에서도 중요한 이슈가 될 수 있다(Kim, 2016; Nam, 2018).

따라서 본 연구는 첫째, 도시녹지가 도시민의 신체적 사회경제적 조건에 상관없이 공정하게, 필요한 만큼 혜택을 누릴 수 있어야 한다는 환경정의의 기본 원칙하에 도시녹지의 동별 분포를 확인하고, 이를 환경적, 사회경제적 지표 등과 비교해 실제 녹지 인프라의 양적 공급 및 배치에 불평등이 존재하는지를 확인하는데 연구의 초점이 있으며, 둘째, 급변하는 기후변화에 효과적으로 대응하는 도시녹지 여건 향상을 위해 도시녹지와 관련된 열환경 불평등성을 검토하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 녹지의 개념을 도시공원의 면적에 한정시키지 않고 도시공원을 포함한 동 전체에 산재해 있는 녹지의 양을 파악해 분석에 활용했으며, 도시민들이 체감하기 쉬운 녹지 중 하나인 가로수의 면적을 연구대상에 포함시켰다는 점, 또한 도시녹지의 분포와 도시내 열환경과의 관계, 도시민의 거주 주택 유형이 여기에 미치는 영향 등의 확인을 위해 위성영상 자료를 적극 활용했다는 점에서 기존의 연구와 다른 차별성을 지닌다.

II. 이론 및 선행연구 고찰

1. 도시녹지와 환경형평성

우리나라의 환경정책기본법 제2조에는 '환경의 질적인 향상과 그 보전을 통한 쾌적한 환경의 조성' 등이 '국가발전에 반드시 필요한 요소'이며, '지역 간, 계층 간, 집단 간에 환경 관련 재화와 서비스의 이용에 형평성이 유지되도록 고려해야 된다'고 명시되어 있다. 그러나 전 세계적으로 도시녹지는 대체적으로 불균형적으로 분포하고 있고, 이로 인해 도시 인구의 일부는 이를 불평등하게 이용할 수밖에 없고, 도시녹지가 제공하는 유무형의 다양한 편익도 불평등하게 제공받는다(Comber *et al.*, 2008;

Dai, 2011; Ernstson, 2013; Kabisch and Haase, 2014; Ambrey *et al.*, 2017).

역사적으로 1980년대 쓰레기매립지, 산업발전소, 유해폐기물 소각장 등 독성 유해물질을 발생시키는 환경적 위험요소들이 인종적, 사회경제적 소외계층이 몰려있는 커뮤니티 인근에 배치되는 현실의 불합리성에 주목하며 탄생한 환경정의 운동은 최근에는 그 관심의 폭을 넓혀 도시공원을 포함한 도시녹지와 같은 환경적 어메니티가 인근 커뮤니티의 신체적, 사회경제적 차이에 상관없이 균등하게 분포되어 있는가로 확장되고 있다 (Toda, 1996; Boone *et al.*, 2009; Wolch *et al.*, 2014; Norton *et al.*, 2015; Hughey *et al.*, 2016).

이러한 도시녹지의 환경형평성 등과 관련해서는 주로 도시공원의 입지와 분포를 평가해 입지상의 문제점을 제기하거나, 분포상의 불균형 부분을 파악해 도시공원 부족지역을 도출하는 연구가 주류다. 이러한 연구로는 도시공원에 대한 접근성을 확인하기 위해 지리공간 데이터를 기반으로 GIS를 이용해 미국 조지아주의 공원분포의 불균형 문제를 살펴본 Talen(1997; 2003; 2010), 인종과 소득계층별로 공급되는 공원의 면적에 차이가 있음을 규명해 미국 LA 내 불평등 지도를 만든 Wolch *et al.*(2005; 2014), 공원까지 도보 5분내 도착에 중점을 두고 400m를 기준으로 접근성을 확인해 볼티모어의 불평등 현실을 살펴본 Boone *et al.*(2009), 미국 48개 주를 대상으로 공원 및 녹지의 불평등한 분포를 연구해 도시지역의 경우 빈곤수준 및 비백인 비율이 공원 및 녹지 분포와 부정적 상관관계가 있음을 밝힌 Wen *et al.*(2013), 독일 베를린시 도시녹지 공간의 불균형적 배치와 인근 커뮤니티의 사회경제적 조건과의 관계를 확인한 Kabisch and Haase(2014) 등이 있다.

또한 도시공원의 배치와 면적의 불평등과 별도로 Urban Tree Canopy(UTC)의 불평등성도 연구한 사례가 있다. Zhou and Kim(2013)은 미국 일리노이주 6개 도시를 연구한 결과, 비백인 주민 비율과 인근 UTC 면적 간의 음의 상관관계가 있음을 확인했고, Schwarz *et al.*(2015)은 미국 볼티모어, LA, 뉴욕, 필라델피아 등의 UTC 면적과 센서스 데이터를 분석한 결과, 주민들의 중간소득이 UTC의 크기와 강력한 양의 상관관계가 있음을 밝혀냈다. Li *et al.*(2015)은 구글 스트리트 뷰(GSV)를 활용해 미국 코네티컷주 하트포트의 가로수 배치를 분석해, 소득이 높은 사람들이 더 많은 가로수 속에 생활하고 있음을 확인했으며, Berland *et al.*(2015)은 미국 내 UTC 데이터를 활용해 신시내티내 녹지의 분포가 인구대 비백인의 비율, 가구소득, 학력 등에 따라 차이가 있음을, Danford *et al.*(2014)은 보스턴의 경우 저소득층과 그렇지 않은 경우를 비교해 UTC가 부족함을 확인하고 공정한 UTC 배분의 중요성을 강조했다.

국내 연구로는 서울시를 대상으로 오픈스페이스까지의 접근성을 측정한 Ann *et al.*(1991)의 경우 직선거리 700m 이내에

오픈스페이스가 위치하는 지역이 전체면적의 98.6%에 달한다고 보았고, Hur and Chin(1996)은 근린공원 이용자 설문조사를 통한 실이용 접근권과 GIS를 이용한 최적의 근린공원 접근성 지표를 제시했다. Oh and Hong(2005)은 GIS 네트워크 분석기법을 이용해 도시공원법상 도보권 근린공원의 유치거리인 1km를 기준으로 서울시 자치구와 행정동의 토지이용에 따른 분포현황 및 공원서비스 수준을 파악했으며, Kim(2014)은 서울시 자치구를 대상으로 생활권 도시공원의 분배적 형평성을 분석하기 위해 1인당 공원면적과 사회적 경제적 건강적 기후변화적 특성 변수들과의 상관관계를 밝혀내 공원서비스 혜택에 취약한 자치구를 도출했다. 이외에도 대구시 수성구 황금동을 대상으로 도시공원의 공간적 불균형 평가로 부족지역을 추정한 Kim *et al.*(2011), 충북 청주시를 대상으로 공원서비스가 좋은 지역이 여타 서비스도 좋은 지역임을 밝힌 Bae and Kim(2013), 소외계층의 공원 접근성을 분석하고 공원정책 우선고려 대상 지역을 제시한 Kim *et al.*(2015), 대구시 근린공원의 환경적 형평성을 분석한 Seo and Jun(2011), 강릉시를 대상으로 공원유치권과 동별 공원면적 분석을 통해 공원부족지역을 분석한 Lee and Kim(2011), 청주시 용암 1, 2동을 대상으로 중력모형을 이용해 도시공원의 입지공원을 분석한 Yoo *et al.*(2013)은 공원의 분포와 배치 형평성에 중점을 둔 연구라 할 수 있다.

2. 도시녹지와 도시열섬현상

급속히 진행된 산업화 도시화의 영향으로 생겨나, 도시민의 건강과 밀접한 관련을 맺고 있는 도시열섬현상(Urban Heat Island Effect)은 도시 내 녹지면적이 상대적으로 줄어들고, 각종 인공열과 대기오염 물질로 인해 도시 상공의 기온이 주변 지역보다 높아지는 현상으로 설명된다(Lee, 2000; Oh and Hong, 2005).

도시민의 건강과 삶의 질을 저해하는 도시열섬현상의 원인과 이를 완화시키는 방법에 대한 연구가 국내외 다양한 분야에서 이뤄지고 있다. 도시열섬을 분석하기 위한 방법으로 과거엔 실측 온도자료를 주로 활용했으나, 전체적인 온도분포 확인이 어렵다는 단점으로 최근엔 위성영상을 이용하거나, 두 가지를 복합적으로 활용하는 사례가 많다. 도시열섬현상 완화, 대기질 개선, 에너지소비 감소 및 건강향상 등의 이점도 얻을 수 있는 녹지공간을 파악하는 데에도 위성영상이 적극 활용되고 있다.

위성영상을 활용해 도시녹지의 열섬완화 효과를 연구한 국내 사례로는 대구, 경주, 포항 3개 도시의 경관경계부(Ecostone)를 중심으로 자동기상관측장비(Automatic Weather Station)에서 얻은 데이터와 비교 후 회귀분석으로 보정한 Landsat TM에서 얻은 LST와 NDVI와의 관계를 분석한 Park *et al.*(1999), Landsat TM 영상자료를 이용한 LST와 NDVI의 상관분석을

통해 대구시 열섬분포 패턴과 녹지의 열섬완화 효과를 밝힌 Park and Jung(1999) 등이 있으며, Jeon(2012)은 1985년부터 2009년까지 다시기의 Landsat TM 데이터를 이용해 서울지역 LST와 NDVI의 상관관계 분석을 통해 NDVI가 0.054 올라갈 때 LST를 1°C 낮추는 효과가 있음을 규명했다. 또한, AWS 1km 반경 내의 토지이용 및 토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향을 연구한 Cha *et al.*(2009)은 녹지 및 오픈스페이스 면적은 기온저감에, 교통시설지와 주택지 면적은 기온상승에 기여하는 것을 확인했다.

서울시를 대상으로 연구한 Yoon and Ahn(2009)은 녹지 경계부와 시가지의 온도차이가 0.3~1.7°C라는 것을, 경북 구미시를 연구한 Yun *et al.*(2013)은 식생지역 증가에 따라 도시지역 온도가 0.4~0.8°C 낮아졌음을 밝혀냈다. Kim *et al.*(2014)은 급속한 도시화를 겪고 있는 세종시를 대상으로 위성영상을 통해 얻은 NDVI, NDBI 등을 활용해 도시화의 정도(UI)가 지표면온도와 강한 상관관계를 갖고 있음을 알아냈고, Song and Park(2015)은 경남 창원시 도시지역을 대상으로 연구를 진행, 야간 시간보다 주간시간에 녹지면적에 따라 지표면온도 저감효과가 큰 것으로 분석하고, 녹지율이 40~50%일 때 저감효과가 가장 크다고 밝혔다. Landsat 8 OLI/TIRS 영상을 이용해 서울시 행정구역 단위 열섬현상 강도(UHI Intensity) 차이의 원인을 밝히고자 한 Lee *et al.*(2017)은 평균풍속, 개발정도, 토양보정식생지수(SAVI), 정규화시가지지수(NDBI) 등에 따라 지역별 열섬현상 강도의 차이가 발생함을 밝혀냈다.

공원의 녹지가 공원자체의 온도저감뿐 아니라, 주변의 기온까지 낮추는 효과를 갖고 있다고 밝힌 연구로는 싱가포르 공원을 대상으로 공원의 온도저감 효과를 입증한 Yu and Hein(2006), 서울시를 대상으로 녹지의 가장자리로부터의 거리에 따라 온도가 달라짐을 밝혀낸 Kwon(2002), Landsat TM/ETM 영상을 이용해 공원녹지의 규모와 식생에 따른 기온저감 효과를 측정하고, 1~3ha 규모의 공원녹지의 경우 50~150m 범위의 기온저감 효과구간을 갖는 것으로 분석한 Oh and Hong(2005), 선릉공원에서 생성된 기온저감 효과가 고층빌딩으로 둘러싸인 인근 중심상업지구에 미치는 영향을 연구한 Lee *et al.*(2009), 타이페이시 공원의 크기와 위치 등을 중심으로 녹지의 온도저감효과 등을 연구한 Chang and Li(2014), 베이징의 공원위치와 그 주변 온도와의 관계를 살펴본 Lin *et al.*(2015) 등이 있다.

UTC 데이터를 활용해 온도저감효과 등을 분석한 연구도 적지 않는데 Greene and Kedron(2018)은 캐나다 토론토를 대상으로 인접지역의 조밀한 TC(Tree Cover) 면적이 주변의 지표 온도 저감효과를 증폭시킴을 연구해 인접지역의 조밀한 녹지, 큰 면적의 녹지가 파편적으로 존재하거나 적은 양의 녹지에 비해 온도저감의 효과가 큰 것을 밝혀냈다.

이처럼 녹지 및 식생피복이 도시의 온도 분포에 미치는 영향

에 관한 연구는 많이 이루어졌고, 도시공원을 비롯한 UTC의 접근성이 도시민의 사회경제적 지위에 따라 달라지는 불평등성도 일부 확인된 바 있으나, 도시 열환경이 사회경제적 지위에 따라 차이가 나는지에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 지속적으로 증가하고 있는 도시온도를 고려할 때 사회경제적 지위에 따른 열환경 차이는 큰 사회적 문제가 될 수 있으므로 이에 대한 연구가 시급히 요구되고 있다.

III. 연구방법

1. 연구대상지

본 연구에서는 서울 지역 중 주변에 도심이 발달하고 재개발이 활발히 진행된 중구, 성동구 및 동대문구를 연구대상지로 삼았다(Figure 1 참조). 이들 구는 서로 인접하고 있으며, 구도심과 재개발 단지가 혼재되어 있는 공통점을 가지고 있는 한편, 자연녹지 및 인공녹지의 비율이 매우 상이하여 다양한 도심 녹지 환경을 포괄할 수 있는 지역이다. 따라서 본 연구가 주목한 도시내 열환경 및 녹지분포의 차이가 존재하는지, 거주 주택의 차이에 따른 차이는 실존하는지, 여기에 재개발이 미친 영향은 있는지 등도 함께 비교할 수 있어 연구대상지로 적합하다고 판단하였다.

2. 사용자료 및 분석방법

1) 위성영상자료

본 연구에서는 도심 지표면온도 자료 획득을 위해 Landsat 5와 Landsat 8의 열적외선(Thermal Infrared) 영상을 이용하고, 식생분포 자료 획득을 위해서는 Sentinel 2A의 가시광선

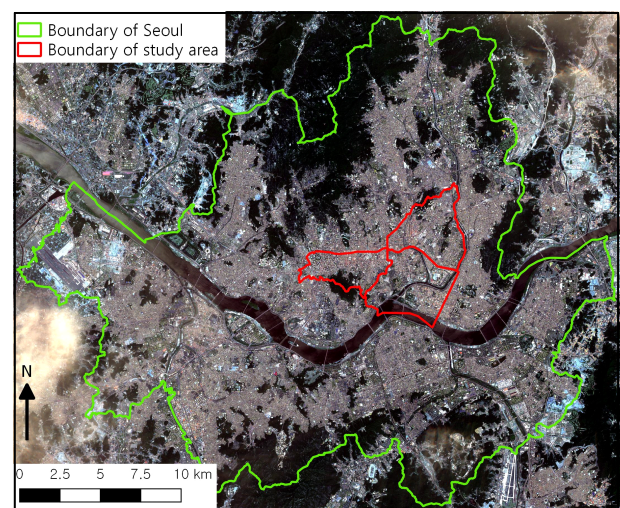


Figure 1. Location of the study area (Sentinel 2A image, 2017-06-12)

Table 1. Characteristic of the satellite images and acquisition date

Image	Bands	Wavelength (μm)	Resolution	Acquisition date
Landsat 5	Thermal infrared	10.40~12.50	Original: 120×120m Resampled: 30×30m	26 July 1994
Landsat 8	Thermal infrared 1 (TIRS)	10.60~11.19	Original: 100×100m Resampled: 30×30m	22 July 2016
Sentinel 2A	Blue	0.45~0.55	10×10m	12 June 2017
	Green	0.54~0.58	10×10m	
	Red	0.65~0.68	10×10m	
	NIR(Near infra red)	0.76~0.91	10×10m	

및 근적외선 영상을 사용하였다. 각 영상의 특성은 Table 1과 같으며, 정사보정이 이루어진 자료를 이용하였다. 건물그림자 영향을 최소화하기 위해 하지와 가까운 6, 7월에 촬영된 영상을 선택하였다.

(1) 정규식생지수(NDVI)와 지표면온도(LST)

정규식생지수는 식물 존재 유무 및 밀도를 간접적으로 측정하는데 일반적으로 이용되는 지수이다. 또한, 정규식생지수는 반사율의 절대값이 아닌 반사율의 비율로 계산되기 때문에 그림자의 영향을 크게 받지 않는 장점이 있다. 정규식생지수는 Sentinel 2A영상의 적색밴드(ρ_{red})와 근적외선 밴드(ρ_{NIR})의 반사율을 이용하여 식 (1)과 같이 구하였다.

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{red}} - \rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{red}} + \rho_{\text{NIR}}} \quad (\text{식 } 1)$$

지표면온도 계산에 사용된 영상 중 Landsat 5 영상은 열적외선(TIR)밴드인 6번 밴드를 이용하였다. Landsat 8영상은 열적외선(TIR) 밴드를 두 개(10번과 11번 밴드)가지고 있어 split window 알고리즘을 적용하여 지표면온도(Land Surface Temperature)를 계산할 수도 있지만, 현재 11번 밴드 관측값의 신뢰도가 10번 밴드보다 낮은 상태이기(USGS 2016) 때문에 10번 밴드 영상을 이용하여 지표면온도를 계산하였다.

지표면온도 계산을 위해 먼저 위성영상의 DN(Digital Number) 값을 검정계수를 사용하여 식 (2)를 이용해 센서복사량(at sensor radiance)으로 변환하였다.

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

이때, L_{λ} = 대기상층부(Top of Atmosphere: TOA)에서의 복사량(Watts/(m²×srad× μm)), M_L, A_L = 메타파일에서 제공되는 계수, Q_{cal} = 영상 픽셀값(digital number)이다.

산출된 센서복사량 값을 식 (3)에 대입하여 위성에서의 밝

기온도(at satellite brightness temperature)를 계산하였다.

$$T_{\text{sen}} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (\text{식 } 3)$$

이때, T_{sen} = at satellite brightness temperature(K), L_{λ} = 대기상층부(TOA)에서의 복사량이고, K_1, K_2 는 열밴드의 계수¹⁾이다.

한편, 정규식생지수는 토지이용현황도로 파악할 수 없는 주택이나 상업지역의 녹지 비율을 분석하는데 유용하였다. 토지이용현황도를 통해서도 녹지나 오픈스페이스로 구분된 영역의 면적만을 알 수 있고, 이 역시 실제 식물이 심겨져 있는 녹지의 양과는 차이가 나는 경우가 많다. 또한, 상업이나 주거지역 혹은 도로지역으로 구분된 지점의 녹지, 예를 들어 가로수나 공원으로 구분되지 않은 아파트 단지 내의 녹지 등 실제 생활공간에 분포하고 있는 녹지의 양과 질은 토지이용현황도로는 파악이 불가능하다. 물론 토지의 고유번호를 기반으로 녹지율, 불투수율 등을 포함하고 있는 비오톱유형도로 이를 파악하는 것이 부분적으로 가능하지만, 토지이용현황도와 마찬가지로 가로수나 교통섬 등의 도로 중간 등에 식재된 녹지 등은 포함하지 않고 있다. 이런 이유로 토지피복도 및 비오톱유형도와 별개로 영상을 이용한 정규식생지수로 녹지의 분포를 분석하였다.

2) GIS 자료

GIS 자료는 서울시의 2017년 도로명주소기본도, 집계구 경계 및 토지피복지도 등을 사용하였고, 도시생태현황도는 2015년²⁾ 자료를 이용하였다. GIS 자료 분석 시 벡터자료는 벡터공간연산을 사용하고, 벡터자료와 래스터자료 정보를 결합해서 분석하여 할 경우 벡터자료를 래스터자료로 변환하여 연산을 실시했다. 구 및 동의 경계는 집계구 경계 지도를 기준으로 하였다.

가로수 숲지붕(Tree Canopy)과 관련된 GIS 자료가 없었기 때문에 국토정보플랫폼(<http://map.ngii.go.kr/>)에서 제공하는 정사영상(해상도 0.51×0.51m)을 이용하여 직경 2m 이상의 가로수 숲지붕을 디지털타이징했으며, 주거건물유형별 환경비교를 위해 유사한 주거형태가 모여 있는 곳을 그룹별로 디지털타이징하였다. 주거건물유형은 단독 및 다가구 주택(single and multi housing), 연립 및 다세대 주택(town house), 아파트단지(APT) 등 세 가지 유형으로 구분하였다(Figure 2 참조). 여러 가지 유형의 주택이 비슷한 비율로 섞여 있어 그룹유형을 특정할 수 없는 경우는 그룹으로 묶지 않았다.

3) 통계자료

서울시의 녹지분포와 지표면온도의 분배적 형평성을 분석하기 위해 관련이론 및 선행연구를 바탕으로 독립변수를 추출했

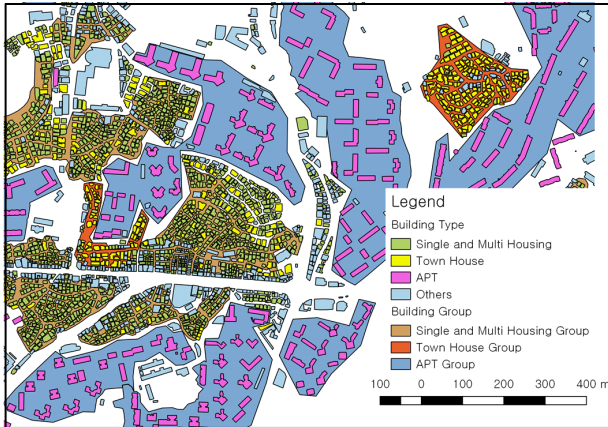


Figure 2. Grouping of housing type

다. 독립변수 중 사회경제적 특성 부문 지표인 총가구수와 총 인구수, 인구밀도, 65세 이상의 고령 인구수, 4세 이하의 어린이 수, 독거노인수, 기초생활수급가구수와 기초생활수급인구수, 등록장애인 수 등은, 본 논문에서 사용된 위성영상자료 촬영 날짜를 고려해, 공공데이터 포털 서울시 자치구의 2017년 통계자료를 사용하였다. 경제적 특성 변수로는 소득변수와의 상관관계도 예상해볼 수 있지만 행정동 단위의 소득자료 수집이 어렵고, 그 인과관계를 살펴보는 일은 연구의 범위를 넘어서는 내용이므로 구체적으로 다루지 않았다(Table 2 참조).

3. 통계분석

정확하고 세밀한 분석을 위해서는 집계구나 격자단위 등의 좁은 면적을 대상으로 분석이 진행되어야 하나, 현실적으로 관

련 자료 확보가 어려워 도시민이 생활하는 최소 행정단위이자 규격화된 다수의 정보가 공개된 행정동 단위로 분석을 진행하였다.

선행연구와 관련 이론 등을 통해 선별된 변수들의 상관관계는 Pearson Correlation Test로 양측검정을 실시해 거주민의 환경 특성 및 사회경제적 특성간의 상관관계를 검증하였고, 정규식생지수와 평균 지표면온도를 종속변수로 두고, 동별 환경적 특성을 독립변수로 넣어 회귀분석을 진행하였다. 이를 통해 거주민의 환경 및 사회경제적 특성이 정규식생지수와 지표면온도에 영향을 미치는지, 여기에 환경적 불평등적인 요소가 존재하는지 등을 확인해 보았다.

4. 소프트웨어

통계분석에는 R 소프트웨어(R Core Team 2017, version 3.4.3)가 사용되었고, 디지털라이징 및 기타 GIS 자료 생성에는 QGIS(QGIS Development Team 2017, version 3.2.2)가 사용되었다. 공간연산에는 R 소프트웨어의 “raster”(Hijmans 2016, version 2.5-8.) 및 “maptools”(Bivand and Lewin-Koh 2017, version 0.9-2.) 패키지가 사용되었다.

IV. 결과 및 고찰

1. 동별 환경요인분석

1) 동별 환경특성

서울시 도시기본계획의 내용에 기초한 5개의 권역별 구분으

Table 2. The source and unit of used data

		Variable	Source	Unit
Dependence variable		Land surface temperature(LST)	Landsat image (USGS)	
		Normalized difference vegetation index(NDVI)	Sentinel 2A (European space agency)	
Independence variable	Environmental characteristic	Percentage of building coverage	Biotope map	%
		Percentage of impermeable pavement	Biotope map	%
		Percentage of permeable pavement	Biotope map	%
		Percentage of green space	Biotope map	%
		Percentage of street tree canopy	Digitizing	%
		Total household number	Open data, Seoul city	Number
	Socio-economic characteristic	Population number	Open data, Seoul city	Number
		Population density	Open data, Seoul city	Number/km ²
		Percentage of individuals aged ≥ 65 years	Open data, Seoul city	%
		Percentage of children ≤ 4 years	Open data, Seoul city	%
		Percentage of living alone aging person	Open data, Seoul city	%
		Household of basic living recipient	Open data, Seoul city	Number
		Percentage of basic living recipient	Open data, Seoul city	%
		Percentage of disabled person	Open data, Seoul city	%

로 중구는 도심권역, 성동구와 동대문구는 동북권역에 해당한다. 권역별로 계산된 권·자치구별 공원현황(2014)을 보면 이 세 자치구는 각 권역별 중 낮은 수준의 생활권공원면적, 가장 낮은 수준의 녹피면적을 기록하고 있는게 특징이다(Seoul, 2015).

(1) 중구

서울시 중심부에 위치하고 있는 중구는 서울시 자치구 중 가장 적은 면적을 보유하고 있고, 중심상업지역인 만큼 용도지역 중 상업지역이 전체의 약 40%에 달하며, 녹지는 상대적으로 적은 0.3%이다. 중구에서 가장 적은 면적을 차지하고 있는 동은 0.26km²의 동화동이다. 인구밀도는 43,646명/km². 65세 이상의 고령인구의 절대적인 수는 약수동(3,329명), 청구동(2,412명), 다산동(2,392명)이 많은 편이나, 동 전체인구와 비교해 보면 동 인구의 25%(446명)인 을지로동과 23%(1,369명)인 회현동이 많고, 독거노인수도 이와 유사한 추세를 보인다. 4세 이하의 어린이 수는 소공동이 인구의 5.1%에 해당하는 143명을 기록한 것 이외에는 인구밀도 추이와 크게 다르지 않았다. 기초생활수급 가구의 수는 회현동과 을지로동이 각각 총 동별 가구수 대비 13.5%(443호), 6.78%(78호)로 나타났으며, 약수동(390호, 5.0%), 청구동(346호, 5.4%), 중림동(345호, 6.5%) 등이 상대적으로 많은 것으로 나타났다.

환경적 특성 부분은 중구에서 건폐율과 불투수포장률을 합친 총불투수율이 전체 동면적의 80% 이상을 차지하는 곳은 황학동(93.2%), 다산동(92.9%), 신당동(92.6%), 광희동(92.6%)의 순이며, 면적으로만 보면 명동(0.81km²), 회현동(0.68km²)의 불투수면적이 가장 넓은 것으로 나타났다. 한편, 녹지의 면적은 동 전체 면적의 절반 이상이 남산권역에 속해있는 필동

(54.6%, 0.86km²), 그리고 상당부분이 남산권역의 영향을 받는 장충동(41.97%, 0.42km²), 약수동(27.4%, 0.14km²) 등이 넓은 편에 속하며, 반대로 광희동(3.5%, 0.025km²), 황학동(5.0%, 0.02km²), 을지로동, 신당동 등은 10% 미만의 녹지율을 보유하고 있다(Table 3 참조).

(2) 성동구

17개의 행정동으로 구성된 성동구는 서울시의 2.8%를 차지하는 16.86km²의 넓이에 312,711명의 주민이 살고 있다. 용도지역으로는 주거지역 59.2%, 상업지역 2.8%, 공업지역 12.2%, 녹지 25.8%이며, 한강, 중랑천, 청계천이 관통한다. 성동구 전체 면적 중 가장 많은 부분을 차지한 곳은 2.32km²를 보유한 용답동이며, 성수1가동, 옥수동 등이 넓은 편에 속한다. 반면 왕십리2동과 행당2동, 금호1가동은 각각 0.41km², 0.42km², 0.46km² 면적으로 상대적으로 적은 부분을 차지하고 있다. 전체 인구 중 65세 이상의 고령인구와 만 4세 이하의 어린이 수, 독거노인수와 등록장애인 수는 비교적 고른 분포를 보였으며, 기초생활수급 가구수는 용답동(5.6%, 452호)과 금호1가동(5.5%, 294호) 등이 많고, 응봉동(1.3%, 82호), 사근동(1.4%, 91호) 등이 가장 적었다.

성동구의 경우, 가장 높은 건폐율을 가진 곳은 51.8%의 성수2가3동이고, 왕십리2동, 금호2·3가동, 마장동 등이 40% 이상의 건폐율을 갖고 있으나, 절대적인 건폐면적으로만 보면 용답동이 0.85km²로 가장 많았고, 성수2가3동, 사근동 등이 그 뒤를 따랐다. 건폐율과 불투수포장률을 합친 총불투수율이 동 전체면적의 80% 이상을 차지하는 곳은 성수2가3동(91.5%, 1.03km²), 행당1동(85.4%, 0.62km²), 마장동(81.8%, 0.79km²) 등 세

Table 3. Socio-economical status and environmental factors in Jung-gu

Administrative division	Area (km ²)	Population number(inh.)	Percentage of green space(%) [*]	Percentage of building coverage(%)	Percentage of impermeable pavement(%)	Street tree canopy(m ²)	Individuals aged ≥ 65 years(inh.)	Basic living recipient(inh.)
Sogong-dong	0.95	2,787	19.5	30.7	45.9	35,786	257	15
Hoehyeon-dong	0.84	5,953	19.0	38.2	41.6	22,786	1,369	466
Myeong-dong	0.99	3,469	7.7	47.8	41.9	35,462	662	49
Pil-dong	1.14	4,885	54.6	23.2	21.0	9,837	780	71
Jangchung-dong	1.36	5,648	41.9	28.2	26.8	11,358	756	76
Gwanghui-dong	0.74	5,875	3.5	50.7	42.0	13,597	1,103	128
Euljiro-dong	0.6	1,786	6.0	45.7	45.7	21,192	446	82
Sindang 5-dong	0.39	9,830	14.6	43.9	41.2	3,467	1,486	254
Hwanghak-dong	0.33	13,095	5.0	55.2	38.0	3,586	1,760	315
Jungnim-dong	0.48	11,575	19.4	40.1	39.8	14,807	1,730	421
Sindang-dong	0.55	9,544	5.2	44.7	47.9	12,957	1,274	203
Dasan-dong	0.51	15,399	7.1	65.8	27.1	5,584	2,392	303
Yaksu-dong	0.48	18,400	27.4	31.4	38.8	2,740	3,329	521
Cheonggu-dong	0.34	14,999	17.8	43.8	36.3	2,708	2,412	432
Dongwha-dong	0.26	11,348	19.0	41.0	40.0	1,309	1,628	126

^{*} The number also included area of lakes, marshes and rivers

곳이며, 면적으로 계산했을 때 1.0km^2 이상의 총불투수면적을 갖는 동은 위의 용담동(69.5%, 1.58km^2), 사근동(64.9%, 1.3km^2), 성수2가3동(91.5%, 1.03km^2) 등 세 동이다.

도시생태현황도에서 하천 및 호소 면적이 녹지에 포함되는 만큼, 한강, 중랑천 등이 관통하는데다 서울숲과 한강변 체육공원 등이 위치한 성동구는 전체 면적의 1/4 이상이 녹지로, 서울시에서도 많은 녹지를 확보하고 있는 구에 속한다. 특히 동면적의 절반가량이 한강으로 구성된 옥수동과 역시 많은 면적의 한강을 포함하고 있는 성수1가1동의 경우 동 면적의 절반 이상이 녹지이며, 이중에서도 서울숲이 포함된 성수1가1동이 0.95km^2 로 성동구내 최대 면적의 녹지를 갖고 있는 것으로 나타났다(Table 4 참조).

(3) 동대문구

14개의 행정동을 보유한 동대문구는 중구, 성동구에 비해 높은 인구밀도($25,748\text{명}/\text{km}^2$)를 기록하고 있다. 용도지역별로 면적을 구분하면 주거지역이 91.5%로 월등히 높고, 상업지역 5.8%, 공업지역은 없으며, 녹지가 2.7%인 것으로 기록됐다.

사회적 취약계층으로 꼽히는 65세 이상의 고령인구는 청량리동이 동 전체인구의 21.2%(4,900명), 제기동이 18.4%(5,105명), 전농1동이 16.7%(4,983명), 종암1동 13.3%(5,282명) 등의 비율을 기록하고 있으며, 독거노인의 수와 등록장애인의 수의 경우 중구, 성동구와 비교해 전반적으로 많은 편으로, 청량리동, 제기동, 전농1동, 용신동, 이문1동 등 5개동이 1천명 이상의 독거노인이 생활하는 것으로 나타났고, 등록장애인 수 역시 휘

경동, 휘경2동, 답십리1동, 휘경1동, 전농2동 등 5개동을 제외한 9개동 모두 1천명 이상으로 기록되어 있다.

환경적 특성 중 건폐율은 휘경1동이 가장 높은 퍼센트를 기록했고(60.0%, 0.28km^2), 건폐면적으로는 용신동(44.12%, 0.76km^2)이 가장 많은 건폐면적을 보유하고 있었다. 불투수포장률은 다소 높은 편으로 답십리1동, 제기동, 전농1동 등이 40% 이상의 불투수포장률을 보였다. 결과적으로 동대문구 내 80% 이상의 총불투수율을 보인 동은 제기동, 용신동, 답십리1동, 장안1동, 휘경1동 등이며, 용신동, 장안1동, 제기동 등은 1km^2 이상의 총불투수 면적을 갖고 있다.

한편, 동대문구는 전체적으로 녹지의 면적이 적어 동별로 0.5km^2 이상의 녹지면적을 확보한 곳은 한 동도 없고, 녹지율의 경우는 최고율(34.9%, 0.34km^2 , 전농2동)과 최저율(8.1%, 0.09km^2 , 제기동)의 편차를 보였다(Table 5 참조).

2) 정규식생지수 분포

Sentinel 2A 영상을 이용한 정규식생지수 분포는 Figure 4와 같다. 산과 공원의 정규식생지수 값이 높고, 시가지 값은 낮게 나타났다. 시가지 중에서는 아파트 단지(Figure 4 오른쪽, left circle) 주변의 값이 높았고, 단독 및 다가구 주택(Figure 4 오른쪽, right circle)은 값이 낮았다. 또한, 1열(한줄)로 조성된 가로수는 Sentinel 2A 영상으로 구별이 어려운 경우가 많았지만, 2열(두줄)로 조성된 가로수나 2차선 미만의 도로 양쪽에 조성된 가로수는 영상으로 감지하기 충분한 숲지붕 면적을 제공하고 있었다.

Table 4. Socio-economical status and environmental factors in Seongdong-gu

Administrative division	Area (km^2)	Population number (inh.)	Percentage of green space (%) [*]	Percentage of building coverage (%)	Percentage of impermeable pavement (%)	Street tree canopy (m^2)	Individuals aged ≥ 65 years (inh.)	Basic living recipient (inh.)
Wangspri 2-dong	0.41	18,185	14.6	50.5	21.3	1,861	2,331	268
Majang-dong	1.06	24,193	13.0	46.0	35.8	24,302	3,387	423
Sageun-dong	1.11	12,812	23.2	39.2	30.1	20,171	1,409	117
Hangdang 1-dong	0.59	14,387	5.9	45.4	40.0	12,799	2,060	239
Hangdang 2-dong	0.42	25,423	22.9	23.4	48.2	3,103	3,302	340
Eungbong-dong	0.57	16,696	30.7	29.6	33.2	3,999	2,304	112
Geumho 1-ga-dong	0.46	13,191	26.3	37.9	31.7	5,685	2,033	373
Geumho 4-ga-dong	0.84	14,452	40.2	20.0	37.4	7,134	2,009	211
Seongsu 1-ga-1dong	1.98	17,676	50.2	16.3	24.4	24,554	1,963	316
Seongsu 1-ga-2dong	0.89	16,413	32.1	36.3	28.8	17,863	2,012	185
Seongsu 2-ga-1dong	1.18	18,783	35.6	36.3	25.7	20,775	2,549	412
Seongsu 2-ga-3dong	1.03	12,056	7.5	51.8	39.6	19,472	1,638	125
Songjeong-dong	0.68	11,987	47.5	29.7	24.6	5,956	1,564	358
Yongdap-dong	2.32	16,687	22.1	37.4	32.2	12,588	2,425	558
Wangspri-doseon-dong	0.72	27,582	22.4	37.6	39.0	11,671	3,190	504
Geumho 2,3-ga-dong	0.64	24,735	19.0	48.1	28.2	4,041	3,584	425
Oksu-dong	1.95	27,453	55.9	23.2	18.5	8,267	3,513	266

^{*} The number also included area of lakes, marshes and rivers

Table 5. Socio-economical status and environmental factors in Dongdaemun-gu

Administrative division	Area (km ²)	Population number(inh.)	Percentage of green space(%)*	Percentage of building coverage (%)	Percentage of impermeable pavement(%)	Tree canopy (m ²)	Individuals aged ≥ 65 years(inh.)	Basic living recipient(inh.)
Hoegi-dong	0.76	12,521	33.9	44.3	18.9	4,474	1,417	147
Hwigyeong 1-dong	0.63	14,589	9.0	60.0	21.1	7,241	2,134	312
Hwigyeong 2-dong	1.05	25,205	33.0	32.3	29.0	9,171	3,360	343
Cheongnyangni-dong	1.20	23,063	33.5	37.4	26.2	13,176	4,900	1,037
Yongsin-dong	1.61	32,957	11.8	44.1	39.9	25,077	5,393	1,000
Jegi-dong	1.18	27,770	8.1	46.8	43.0	26,166	5,105	889
Jeonnong 1-dong	1.19	29,916	8.3	46.4	35.5	20,001	4,983	1,126
Jeonnong 2-dong	0.86	20,436	34.9	34.8	21.0	5,737	3,138	473
Dapsimni 2-dong	0.85	29,722	23.9	38.9	35.4	11,491	4,761	765
Jangan 1-dong	1.25	39,593	16.4	40.5	40.7	18,441	5,282	739
Jangan 2-dong	1.09	31,447	20.5	41.3	35.8	10,060	4,106	630
Imun 1-dong	1.04	31,172	16.6	57.2	18.1	8,846	4,431	696
Imun 2-dong	0.69	22,454	22.9	39.8	22.9	6,933	3,383	565
Dapsimni 1-dong	0.81	25,166	15.5	38.0	44.8	23,487	3,325	490

* The number also included area of lakes, marshes and rivers

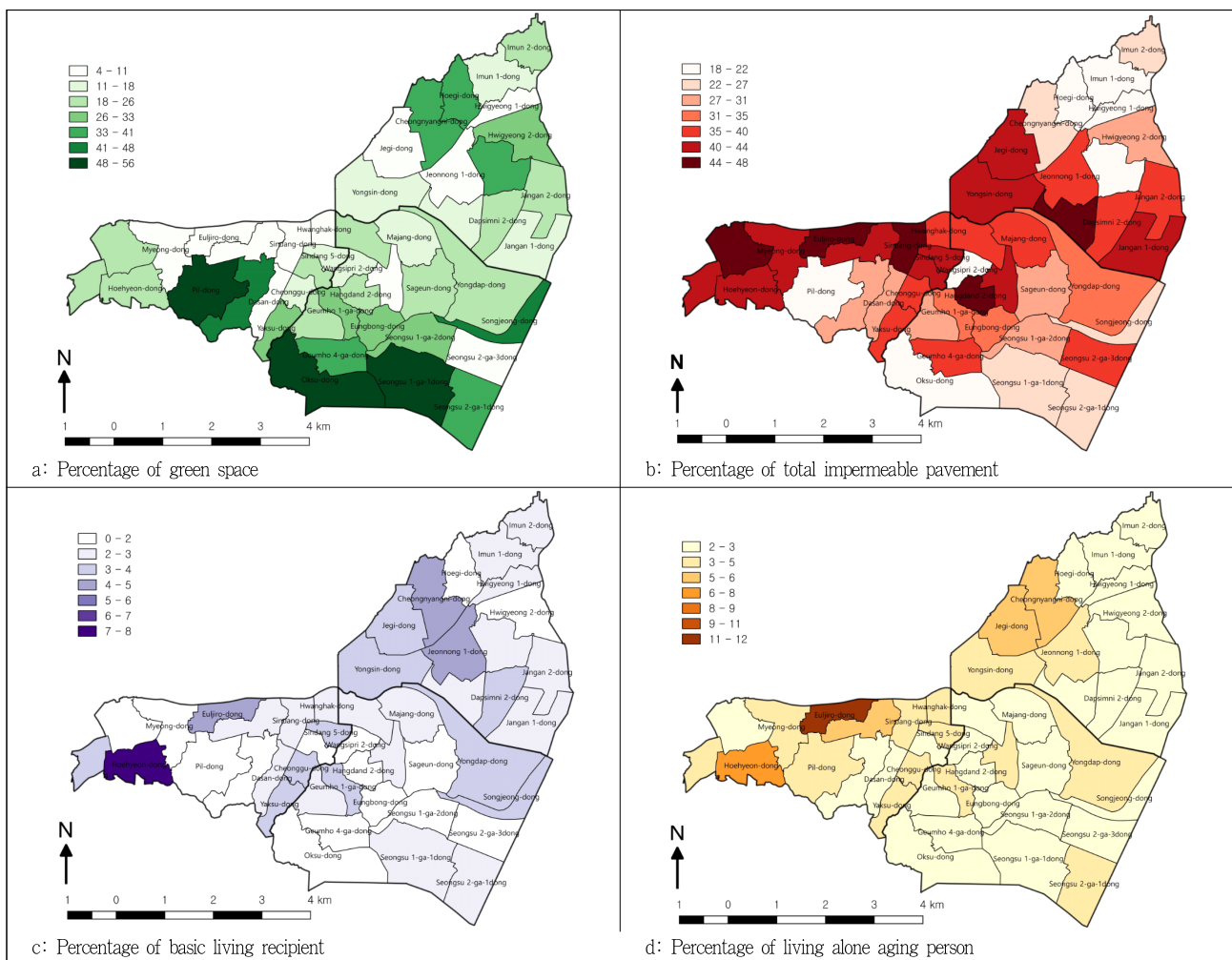


Figure 3. The characteristics of socio-economic status and environmental factors of 46 administrative divisions

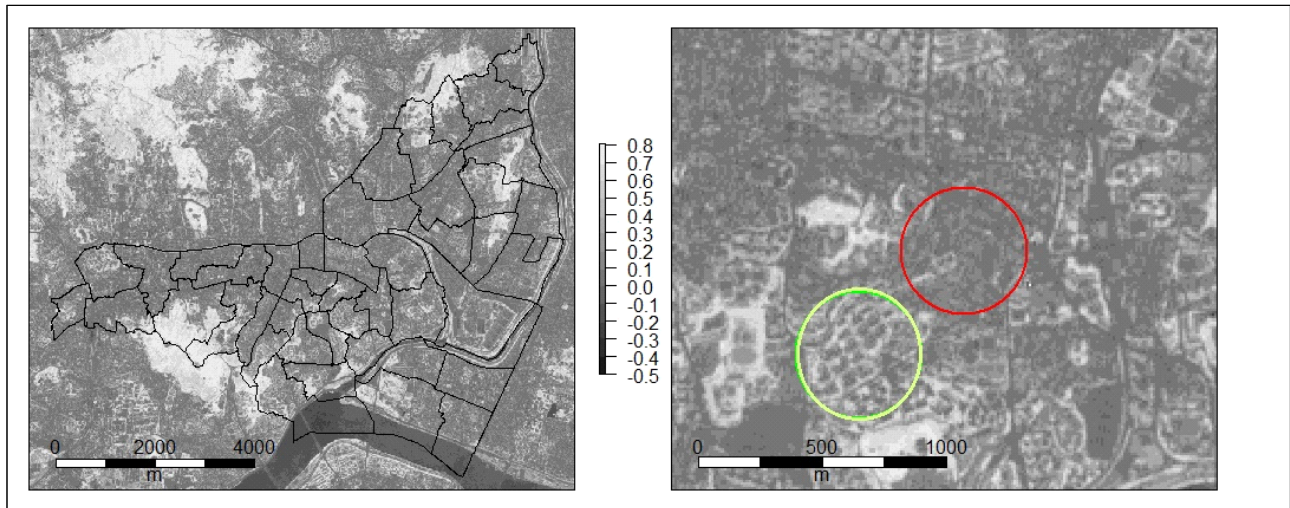


Figure 4. Distribution of the normalized difference vegetation index(2017-06-12 sentinel 2a, green(left) circle - apt group, red(right) circle - single and multi housing group)

사람들이 주로 활동하는 주거지역 및 상업업무지역(도시생태현황도 상의 분류기호: A1, A2, B, AB) 내의 평균 정규식생지수(NDVI)는 중구의 경우 신당동이 0.10으로 가장 낮았고, 황학동, 을지로동 등이 0.12 미만으로 낮았다. 성동구에서는 용답동의 정규식생지수가 0.11로 가장 낮았고, 왕십리동과 송정동이 0.15로 낮았으며, 동대문구에서는 답십리동과 전농1동이 모두 0.13으로 가장 낮았다. 평균 정규식생지수가 높은 동은 중구의 경우 약수동(0.29), 필동(0.19) 및 장충동(0.19)이었고, 성동구는 옥수동(0.27), 행당2동(0.26) 및 응봉동(0.26)이었다. 동대문구에서는 전농2동(0.22)과 휘경2동(0.21)이 0.2 이상으로 나타났다.

한편, 가로수 숲지붕 면적은 구별로는 큰 차이가 나지 않지만, 동별로는 차이가 컸고, 적은 면적의 가로수 숲지붕을 보유한 동은 동화동(1,309m²), 왕십리2동(1,861m²) 등이며, 가장 넓은 곳으로는 소공동(35,786m²), 명동(35,462m²) 등 서울시 중심상업지구에 해당하는 행정동으로 나타났다. Klemm *et al.* (2015)은 거리의 숲지붕이 온도를 낮추는 데 일조한다고 했으나, 본 연구에서의 결과는 유의하지 않았다. 가로수 조성 방법과 관련해서는 패치가 단절되지 않고 그 면적이 클수록 생물의 생존확률이 높아지는 것과 마찬가지로, 도시공원의 면적이 클수록 기온저감 효과가 크다(Bowler *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2014). 가로수의 경우 역시 덜 분절된 숲지붕이 평균 지표면온도를 저감하는 효과가 크다(Greene *et al.*, 2018)고 알려져 있으며, 식재유형과 관련해 Kim and Lee(2014)는 1열(single row) 식재, 1열+하층식재(single row+bottom), 2열(double row) 식재, 2열+하층식재(double row+bottom) 등 4종의 식재유형 중 공기정화효과 및 직접적인 그늘로 인한 에너지 사용 저감 효과, 경관적 효과가 2열+하층식재 > 2열 식재 > 1열+하층식재 > 1

열 식재의 순서인 것으로 분석한 바 있다. 따라서 1열 식재보다 2열 식재된 가로수가 주민들에게 충분한 그늘을 제공할 수 있어 추후 확대 조성할 필요가 있다고 판단된다.

3) 지표면온도 분포

Landsat 영상을 통해 측정된 동별 지표면온도 분포를 보면 1994년 7월 26에는 필동(29.0℃), 장충동(29.3℃), 응봉동(29.5℃)이 가장 낮았고, 을지로동(32.8℃), 황학동(32.7℃), 광희동(32.4℃)이 가장 높았다(Figure 5 참조). 2017년 7월 22일의 경우, 옥수동(26.3℃), 필동(26.4℃), 금호4가동(26.6℃), 약수동(26.6℃)이 가장 낮았고, 을지로동(30.0℃), 제기동(29.9℃), 신당동(29.4℃)이 가장 높았다. 황학동(29.4℃), 광희동(29.2℃) 역시 지표면온도가 높았다. 옥수동, 금호4가동의 경우 2016년에는 지표면온도가 낮게 나타났지만, 1994년에는 46개 동 중 지표면온도가 낮은 순서로 9번째 및 10번째였다. 행당2동의 경우는 1994년에는 지표면온도가 낮은 순서로는 30번째를 차지해 높은 평균 지표면온도를 보였지만, 2016년에는 낮은 순서로 7번째를 차지하여 상대적으로 환경이 많이 개선된 것을 알 수 있었다. 옥수동, 금호4가동, 행당2동은 재개발 등을 통해 저층주택들이 대규모 아파트단지로 조성되면서 녹지의 양이 대폭 늘어났다는 공통점이 있다. 이와 같은 녹지 면적의 분포 차이는 주거환경 차이를 야기하는 것으로 이해될 수 있다.

Landsat 8 영상으로 계산된 주거지역 및 상업업무지역의 평균 지표면온도(2016년 7월 22일 오전 11시경)는 성동구에서는 옥수동(26.7℃), 중구에서는 약수동(26.9℃), 동대문구에서는 이문 2동(27.9℃)이 가장 낮게 나타났다. 대체로 지표면온도가 낮은 동은 정규식생지수 값이 높았고, 지표면온도가 높은 동은 그 반대였다(Figure 6 참조). 주거지역 및 상업업무지역의

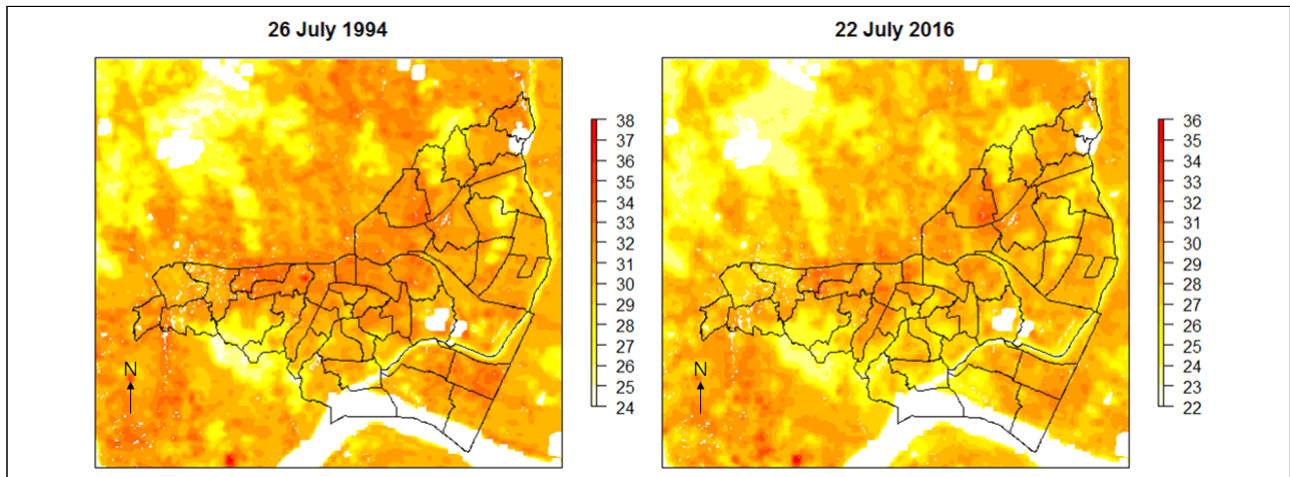


Figure 5. Distribution of the land surface temperature(°C). White area represents pixels of water and clouds and excluded from analysis.

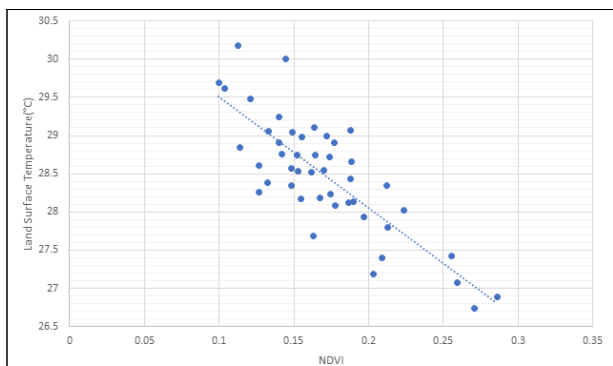


Figure 6. Mean of the normalized difference vegetation index(2017-06-12) and land surface temperature(2016-07-22) by residential and commercial sub-districts of the 46 administrative divisions(Temperature = $14.53 \times \text{NDVI} + 30.96$)

평균 지표면온도와 정규식생지수간의 회귀분석을 실시한 결과, adjusted R^2 는 0.677이었고, p -value는 0.001 미만이었다. 정규식생지수가 높은 지역의 지표면온도가 낮다는 결과는 이전의 연구 결과들과 유사하다(Yoon and Ahn, 2009; Yun *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014; Weber *et al.*, 2015).

4) 사회경제적 특성과 환경요인

동별 사회경제적 특성과 환경요인의 상관관계는 Table 6과 같았다. 이중 주거 및 상업지역의 정규식생지수 및 지표면온도와 유의적 상관관계를 나타내는 녹지율은 동별 차이가 크다(Figure 3 참조). 인구수로 나눈 1인당 면적의 차이도 커 중구 필동의 경우 1인당 175.66m^2 녹지가 제공되나, 중구 황학동은 1.24m^2 불과했다. 많은 연구자들이 주목하고 있는 생활권공원

Table 6. Correlation analysis of socio-economic status and environmental factors

	NDVI in residential and commercial sub-district (2017-06-12)	LST in residential and commercial sub-district (2016-07-22)	Percentage of green space	Percentage of total impervious pavement	Percentage of individuals aged ≥ 65 years	Percentage of children ≤ 4 years	Percentage of basic living recipient	Percentage of living alone aging person
LST in Residential and commercial sub-district (2016-07-22)	-0.827***							
Percentage of green space	0.567***	-0.521***						
Percentage of total impervious pavement	-0.580***	0.537***	-0.965***					
Percentage of individuals aged ≥ 65 years	-0.193	0.287	-0.308*	0.352*				
Percentage of children ≤ 4 years	0.484***	-0.644***	0.311*	-0.268	-0.469**			
Percentage of basic living recipient	-0.345*	0.328*	-0.201	0.232	0.742***	-0.306*		
Percentage of living alone aging person	-0.401**	0.503***	-0.299*	0.336*	0.876***	-0.533***	0.699***	
Percentage of disabled person	-0.315*	0.370*	-0.323*	0.335*	0.728***	-0.358*	0.827***	0.602***

Pearson correlation test, p -value: *** 0.001, ** 0.01, * 0.05

의 경우 1인당 6m^2 (개발제한구역, 녹지지역 제외한 도시지역의 경우 3m^2) 이상 확보라는 법적기준이 있고, 서울시의 경우 $5.4\text{m}^2/\text{인}^3$ 로 규정하고 있지만, 도시화된 환경에서 연결된 녹지공간을 개념화한 ‘도시녹지인프라’는 기준이 마련되어 있지 않다.

주거 및 상업지역의 정규식생지수는 지표면온도와 유의적인 음의 상관관계(-0.827)를 보였다. 4세 미만 비율의 경우 정규식생지수와 유의적인 양의 상관관계(0.484)를 보였는데, 이는 유아가 있는 가정의 경우 아파트에 주거하는 경우가 많기 때문일 것으로 판단된다. 반면에 Figure 3에서 보듯 동별로 차이를 보이는 기초생활수급자비율, 독거노인비율, 등록장애인 비율은 정규식생지수와 유의적인 음의 상관관계를 보이고, 지표면온도와는 유의한 양의 상관관계를 보여 대조를 이루었다. 이와 같은 결과는 사회경제적 취약계층이 많이 거주하는 지역의 녹지면적이 부족하고, 지표면온도가 높은 등 주거 환경 조건이 열악하다는 것을 의미한다. 또한, 사회경제적 취약계층 간의 유의한 상관관계는 이들의 주거지역이 특정 지역에 집중되어 있어, 주거 환경에서의 사회적 배제 현상이 존재한다고 할 수 있으며, 이는 주거유형과도 관련이 있을 것으로 생각된다. 이들 지역의 주거환경 개선이 시급히 필요하다.

2. 회귀분석

회귀분석은 Table 2의 자료를 토대로 NDVI와 LST를 종속변수로 하고, 환경적 특성 변수 중 단순회귀분석을 통해 통계적으로 유의하지 않은 변수를 제외한 건폐율, 불투수포장률, 녹지율, 가로수 숲지붕률을 이용하여 진행하였다. 정규식생지수를 종속변수로 분석한 다중회귀분석은 통계적으로 유의했으나, 변수간의 높은 상관관계 등으로 인한 다중공선성이 발견되는 등 회귀분석의 기본가정에 만족하지 않았다. 따라서 종속변수에 제곱근을 넣고, 모형선택방법론 중 후진제거법을 적용한 결과, 최종적으로 건폐율과 가로수 숲지붕률만이 유의한 변수인

것으로 나타났다(Table 7, Model 1 참조). 지표면온도를 종속변수로 한 경우는 단순회귀분석에서 통계적으로 유의하지 않았던 불투수포장률을 제외한 후 건폐율, 녹지율, 가로수 숲지붕률을 변수로 사용했으나, 정규식생지수의 경우와 마찬가지로 회귀분석의 기본가정에 만족하지 않아, 후진제거법을 적용해 최종적으로 건폐율과 가로수 숲지붕률을 변수로 회귀분석을 진행하였다(Table 7, Model 2 참조).

회귀분석의 결과는 Table 7과 같으며, 지표면온도의 다중회귀분석의 경우 녹지율은 통계적으로 유의한 변수가 되지 못했지만, 이를 NDVI로 대체할 경우 유의한 변수가 되고, adjusted r^2 값으로 표현되는 모형의 설명력도 0.389에서 0.691로 높아지는 것을 확인하였다(Table 7, Model 3 참조). 이는 GIS 자료를 이용한 녹지율보다 위성영상으로 분석한 NDVI가 LST를 설명하는 보다 효과적인 변수임이 입증되었다고 할 수 있다. 그러나 이러한 연구 결과는 가로수가 열부하를 줄이거나, 열차감에 효율적인 방법을 제공한다(Gillner *et al.*, 2015; Jung *et al.*, 2015)는 등 기존 연구 결과와는 일치하지 않았다.

3. 주거건물 유형별 환경요인

사회경제적 취약계층이 집중 주거하고 있는 지역의 환경적 취약성이 확인된 만큼 주거건물의 유형별에도 환경적 차이가 존재하는지의 여부를 확인하기 위해 주거건물을 아파트, 단독 및 다가구 주택, 연립 및 다세대 주택으로 나눠 분석을 진행하였다. 이를 위해 건물 유형이 흩어져 있거나 섞여있는 경우는 제외하고, 유사한 주거건물 유형(도로명주소기본도의 코드를 이용)이 무리를 이루는 경우를 묶어 유형별로 디지털이정하였다(Figure 7 참조). 주거건물 유형별 정규식생지수와 지표면온도는 Table 8에 나타나 있다. 단독 및 다가구 주택의 경우 정규식생지수가 0.126으로 나타났고, 연립 및 다세대 주택은 0.154로 낮았다. 이에 비해 아파트단지는 0.257로 단독 및 다가구

Table 7. Results of multiple regression($Y=X_1+X_2$; $Y=\text{NDVI}$ (Model 1), $Y=\text{LST}$ (Model 2, Model 3), X_1 =Percentage of building coverage, X_2 =Percentage of street tree canopy(Model 1, Model 2), $X_2=\text{NDVI}$) ($N=46$) and linear regression incorporating only X_1 or X_2 with their corresponding AIC values and significance of predictors indicated by ($p < 0.1$), * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$).

	Coefficient	Standard error	t-value	AIC	Adjusted r^2
Model 1	0.528	0.023	23.470***	-287.60	0.475***
Percentage of building coverage	-0.002	0.001	-3.515**	-278.00	
Percentage of street tree canopy	-0.029	0.007	-4.223***	-273.71	
Model 2	26.777	0.354	75.566***	-44.993	0.389***
Percentage of building coverage	0.334	0.009	3.866***	-40.103	
Percentage of street tree canopy	0.282	0.107	2.636*	-33.318	
Model 3	30.204	0.511	59.106***	-74.923	0.691***
Percentage of building coverage	0.012	0.007	1.695	-73.942	
NDVI in residential and commercial sub-district	-12.682	1.731	-7.326***	-40.103	

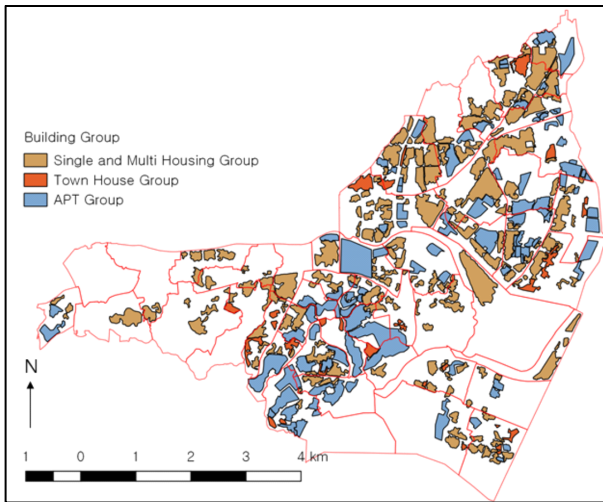


Figure 7. The distribution of housing type group

Table 8. Mean values of the normalized difference vegetation index and land surface temperature(The number in parenthesis represents the standard deviation)

Housing type	NDVI (2017-06-12)	LST (1994-07-26)	LST (2016-07-22)
Single and multi housing group	0.126(0.079)	31.3(0.86)	29.3(0.87)
Multi-family housing group	0.154(0.100)	30.9(0.93)	28.8(0.98)
APT group	0.257(0.146)	31.1(1.00)	27.3(0.79)

주택에 비해 2배 이상 높았다. 평균 지표면온도는 2016년의 경우 단독 및 다가구 주택은 29.3℃였고, 연립 및 다세대 주택은 28.8℃로 0.5℃ 차이가 났다. 이에 비해 아파트단지는 27.3℃로 단독 및 다가구 주택에 비해 2℃가 낮았다.

이러한 차이는 1994년 자료와 비교해 보면 더욱 뚜렷하다. 1994년에는 단독 및 다가구 주택의 평균 지표면온도가 연립 및 다세대 주택에 비해 0.4℃가 높아 2016년의 차이(0.5℃)와 유사하다. 하지만 2016년에는 아파트단지가 새롭게 들어선 지역의 경우, 재개발 재건축이 시작되기 이전에는 지표면온도가 단독 및 다가구 주택의 지표면온도와 거의 차이가 나지 않았다는 것을 알 수 있다. 이는 고층의 아파트 단지로 새로 조성되면서 주변에 나무가 많이 식재되었다는 점과 더불어 건물 사이에 공간이 많아졌다는 구조적인 요인도 영향을 받은 것으로 판단된다. 기존의 연구에서 Yun *et al.*(2013)은 새로운 녹지가 조성됨에 따라 도시지역 지표면온도가 0.4~0.8℃ 낮아지는 것을 발견했고, Zhang *et al.*(2017) 또한 0.5℃의 저감효과를 확인한 바 있으며, Yoon and Ahn(2009)은 서울시 녹지 경계부와 시가지의 기온차이가 0.3~1.7℃ 나는 것으로 분석했다. 이와 비교할 때 주거건물 유형별 지표면온도차는 상당히 높게 나타난 것이다. 이는 일산신도시 지역 지표면온도의 경우 건폐율이 높은 저층

주거단지보다 건폐율이 낮고 녹지율이 높은 고층아파트단지의 지표면온도가 뚜렷이 낮게 나타났던 Kim and Yeom(2012)의 연구 결과와는 유사하다. 다만, 본 연구의 결과는 취약계층비율이 높은 지역의 주거환경이 더 열악하다는 앞 절의 분석과 관련이 된다는데 의의가 있으며, 이는 소득분위에 따라 주택형태에 차이가 나고, 특히 소득분위 하위 2분위 이하에서 다가구용 단독주택의 비율이 가장 높게 나타났다는 Kim and Kim(2010)의 연구와도 일치한다. 또한, 이러한 결과는 2017년 국토교통부 실거래가 공개시스템에 등록된 연구지역의 m²당 매매가격 평균(아파트 724.26천원, 단독 및 다가구 주택 714.86천원, 연립 및 다세대 주택 609.65천원)이 주거건물 유형에 따른 차이가 있는 만큼 주거자의 경제적 차이에 따라 환경적 차이가 크게 나고 있다고 해석할 수 있다.

환경형평성개선을 위해 상대적으로 낮은 정규식생지수에 높은 지표면온도를 나타내고 있는 단독 및 다가구 주택 밀집지역과 연립 및 다세대 주택 밀집지역의 녹지 확충이 시급히 요구되며, 지표면온도를 낮추기 위한 적극적인 노력들도 필요하다. 더불어 도시녹지, 도시열환경 취약계층이 주거취약계층과도 연결되는 만큼 현재 정부나 지자체에서 도입 시행되고 있는 정책 중 하나이자, 주거영역에서의 사회적 배제 극복 및 사회적 통합을 목적으로 다양한 사회계층이 함께 거주할 수 있도록 계획하는 ‘소셜믹스(Social Mix)’ 정책(Kong, 2016)도 보다 다양한 방법으로 원활히 시행되어야 할 것으로 보인다.

V. 결론

녹지의 확충과 적절한 관리는 도시환경의 질을 높일 뿐 아니라, 도시민의 삶의 질을 좌우하는 중요한 정책 주제이자, 환경형평성을 판단하는 기준이 된다. 본 연구는 또 하나의 인프라 스트럭처로서 도시녹지가 모든 시민들에게 공정하게 공급되길 요구하는 이때, 정책 의사결정 과정에 이를 적극 반영하기 위해 환경형평성의 개념 하에 지역별 녹지의 수준 차이가 어느 정도인지를 알아보았다. 또한, 위성영상을 이용해 정규식생지수와 지표면온도를 바탕으로 동별로 차이가 나는지, 차이가 있다면 그 이유는 무엇인지, 동별로 다른 사회경제적 특성과는 어떤 관계가 있는지, 주거환경의 차이를 가늠하는 요소 중 하나로 주거건물의 유형별 차이는 존재하는지 등을 확인해보았다.

본 연구의 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 연구지역인 서울시의 중구, 성동구, 동대문구의 행정동을 분석한 결과, 동별 녹지의 비율(3.5~55.9%) 및 면적(16,294.9~945,446.8m²)의 편차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 서울시 전체적인 녹지 확충정책도 필요하지만, 상대적으로 부족한 곳에 녹지인프라 확충의 기회가 먼저 제공되어야 하며,

지역·계층간 형평성을 고려한 적절한 기준마련도 시급하다.

둘째, 위성영상을 이용해 NDVI로 알아본 주거 및 상업지역의 녹지 배분이 매우 불균등(0.100~0.286)한 것으로 나타났다. 또한 NDVI는 도시 열환경 회귀분석 모형에 있어서도 녹지와 비교해 통계적으로 보다 유의한 결과를 가져왔다.

셋째, 회귀분석을 통해 지표면온도와 정규식생지수가 통계적으로 유의한 관계임을 다시 한 번 확인(adjusted r^2 : 0.677, p -value: <0.001)한 만큼 도시공원 확충과 별개로 주거 및 상업지역의 절대적인 녹지면적 증대 노력이 필요하다.

넷째, 아파트, 단독 및 다가구 주택, 연립 및 다세대 주택으로 구분한 주거건물유형에 따른 정규식생지수 및 지표면온도 차이가 매우 크다. 또한, 주거건물의 유형에 따라 다른 평균 매매가격의 차이는 주거자의 경제적 차이에 따라 주거환경이 달라진다는 의미로, 특히 재개발 등 도시개발사업 이후 환경 불균등이 급격히 심화되는 결과로 이어지고 있음을 확인했다. 지표면온도의 차이는 건물의 높이가 제공하는 그들의 양도 무시할 수는 없지만, NDVI의 차이가 심하다는 것은 녹지의 양 차이가 크다는 것을 의미한다. 따라서 상대적으로 낮은 NDVI에 높은 지표면온도를 나타내고 있는 단독 및 다가구 주택 지역, 연립 및 다세대 주택 지역의 지표면온도를 떨어뜨리기 위한 보다 적극적인 조치들이 필요하다.

다섯째, 기초생활수급자율과 독거노인률, 등록장애인비율은 주거 및 상업지역의 정규식생분포와 지표면온도와 유의한 상관관계를 보이고 있음을 확인했다. 이는 사회경제적 취약계층이 도시 녹지 취약계층이자 도시 열환경 취약계층이며, 주거취약계층과도 연결되어 있음을 의미한다. 따라서 도시 녹지 및 열환경의 형평성 확보가 사회경제적 취약계층의 주거환경 조건 향상에도 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

본 연구는 신체적 사회경제적 조건에 상관없이 누구나 공평하게, 필요한 만큼 혜택을 누릴 수 있어야 한다는 환경정의의 기본 원칙 하에 도시 내 녹지 분포 현황을 살펴, 불평등 요소가 존재하는지 확인하고, 도시 녹지와 열환경과의 관계를 재확인하기 위해 위성영상 자료를 적극 활용했으며, 지표면온도(LST) 분석에 있어 정규식생지수(NDVI)가 녹지율을 대신했을 때보다 효과적인 결과를 가져왔음을 확인하였다. 또한, 기존의 연구들은 지역에 초점을 두어 사회경제적 불균등을 제대로 반영하지 못했던 것에 비해 주거 유형에 따른 환경분석을 통해 사회경제적 취약계층이 도시 녹지 취약계층, 도시 열환경 취약계층, 주거취약계층과도 상관관계가 있음을 확인하였다. 따라서 도심 내 녹지 총량 증가에 앞서 사회경제적 취약 계층이 주로 거주하는 지역에 먼저 배분되는 정책적 배려가 필요할 것으로 보이며, 이후 다양한 후속 연구 등을 통해 보다 구체적인 형평성 확보 방안이 제시되어야 할 것이다.

주 1. Landsat 5의 경우 K1은 607.76, K2는 1260.56이고 Landsat 8의 경우

10번 밴드의 K1은 774.89, K2는 1321.08이다.

주 2. 2000년부터 5년 단위로 도시생태현황도를 작성한 서울시는 2015년 이후 10년 단위로 새로운 생태현황도를 제작할 예정이다.

주 3. 서울시열린데이터광장(2016년 기준). 1인당 생활권 공원면적: {(도시자연공원×0.08)+근린공원+어린이공원+소공원+체육공원+문화공원+역사공원+수변공원+기타공원}÷인구수. 단, 근린공원, 도시자연공원 면적에서 서울대공원 면적은 제외.

References

1. Abercrombie, L. C., J. F. Sallis, T. L. Conway, L. D. Frank, B. E. Saelens and J. E. Chapman(2008) Income and racial disparities in access to public parks and private recreation facilities. *American Journal of Preventive Medicine* 34(1): 9-15.
2. Abhijith, K. V., P. Kumar, J. Gallagher, A. McNabola, R. Baldauf, F. Pilla, B. Broderick, S. D. Sabatino and B. Pulvirenti(2017) Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environment: A review. *Atmospheric Environment* 162: 71-86.
3. Akbari, H., D. M. Kurn, S. E. Bretz and J. W. Hanford(1997) Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25(2): 139-148.
4. Ambrey, C., J. Byrne, T. Matthews, A. Davison, C. Portanger and A. Lo(2017) Cultivating climate justice: Green infrastructure and suburban disadvantage in Australia. *Applied Geography* 89: 52-60.
5. Ann, D. M., H. S. Choi, I. H. Kim and H. J. Cho(1991) A study on the method of measuring accessibility to urban open spaces. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 18(4): 17-28.
6. Bae, M. K. and Y. R. Kim(2013) Development of urban park supply alternatives considering the equity evaluation of urban park service: Focused on Cheongju City. *The Korea Spatial Planning Review* 77(6): 49-66.
7. Berland, A., K. Schwarz, D. L. Herrmann and M. E. Hopton(2015) How environmental justice patterns are shaped by place: Terrain and Tree Canopy in Cincinnati, Ohio, USA. *Cities and the Environment(CATE)* 8(1): Article 1.
8. Bivand, R. and N. Lewin-Koh(2017) Maptools: Tools for Reading and Handling Spatial Objects. R Package Version 0.9-2. <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>
9. Boone C. G., G. L. Buckley, J. M. Grove and C. Sister(2009) Parks and people: An environmental justice inquiry in Baltimore, Maryland. *Annals of the Association of American Geographers* 99(4): 767-787.
10. Bowler, D. E., L. Buyung-Ali, T. M. Knight and A. S. Pullin(2010) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97(3): 147-155.
11. Cha, Y. H., H. Y. Kim and T. Y. Heo(2009) The effects of urban land use and land cover characteristics on air temperature in Seoul Metropolitan area. *Seoul Studies* 10(4): 107-120.
12. Chang, C. R. and M. H. Li(2014) Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *Urban Forestry & Urban Greening* 13(4): 672-681.
13. Chen, D., X. Wang, M. Thatcher, G. Barnett, A. Kachenko and R. Prince(2014) Urban vegetation for reducing heat related mortality. *Environmental Pollution* 192: 275-284.
14. Comber, A., C. Brunsdon and E. Green(2008) Using a GIS-based network analysis to determine urban green space accessibility for different ethnic and religious groups. *Landscape and Urban Planning* 86(1): 103-114.

15. Cummins, S. K. and R. J. Jackson(2001) The built environment and children's health, *Pediatric Clinics of North America* 48(5): 1241-1252
16. Dai, D.(2011) Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene? *Landscape and Urban Planning* 102(4): 234-244.
17. Danford R. S., C. Cheng, M. W. Strohbach, R. Ryan, C. Nicolson and P. S. Warren(2014) What does it take to achieve equitable urban tree canopy distribution? A boston case study, *Cities and the Environment(CATE)* 7(1): Article 2.
18. Ernstson, H.(2013) The social production of ecosystem services: A framework for studying environmental justice and ecological complexity in urbanized landscapes, *Landscape and Urban Planning* 109(1): 7-17.
19. Fantozzi, F., F. Monaci, T. Blanus and R. Bargagli(2015) Spatio-temporal variations of ozone and nitrogen dioxide concentrations under urban trees and in a nearby open area, *Urban Climate* 12: 119-127.
20. Gillner S., J. Vogt, A. Tharang, S. Dettmann and A. Roloff(2015) Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites, *Landscape and Urban Planning* 143: 33-42.
21. Greene C. S. and P. J. Kedron(2018) Beyond fractional coverage: A multilevel approach to analyzing the impact of urban tree canopy structure on surface urban heat islands, *Applied Geography* 95: 45-53.
22. Greene C. S., P. J. Robinson and A. A. Millward(2018) Canopy of advantage: Who benefits most from city trees? *Journal of Environmental Management* 208: 24-35.
23. Hijmans, R. J.(2016) Raster: Geographic Data Analysis and Modeling, R Package Version 2.5-8. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
24. Hughey S. M., K. M. Walsemann, S. Child, A. Powers, J. A. Reed and A. T. Kaczynski(2016) Using an environmental justice approach to examine the relationships between park availability and quality indicators, neighborhood disadvantage, and racial/ethnic composition, *Landscape and Urban Planning* 148: 159-169.
25. Hur, M. S. and Y. K. Chin(1996) GIS-oriented measurement indices of accessibility of the neighborhood park in Seoul, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 24(3): 42-56.
26. Hwang, K. I., B. H. Han, J. I. Kwak and S. C. Park(2018) A study on decreasing effects of ultra-fine particles (PM_{2.5}) by structures in a roadside buffer green: A buffer green in Songpa-gu, Seoul, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 46(4): 61-75.
27. Jeon, W. H.(2012) A Correlation Analysis between Land Surface Temperature and NDVI for Reducing Urban Heat Island Effect, Master Thesis, Mokpo National University, Korea.
28. Jung, H. E., B. H. Han and J. I. Kwak(2015) A study on air temperature reduction effect and the functional improvement of street green areas in Seoul, Korea, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 43(4): 37-49.
29. Kabisch, N. and D. Haase(2014) Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany, *Landscape and Urban Planning* 122: 129-139.
30. Kazmierczak, A. E. and P. James(2007) The role of urban green spaces in improving social inclusion, 7th International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment, 28th-29th March 2007, University of Salford, Greater Manchester.
31. Kim, H. J., H. J. Jung and W. S. Lee(2011) Evaluation of supply adequacy of the urban park by spatial imbalance analysis, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 39(4): 18-27.
32. 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.
33. Kim, J. S. and D. K. Lee(2014) Cost-benefit analysis for planting type of street trees, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 17(6): 29-37.
34. Kim, K. H. and S. M. Kim(2010) A study on housing inequality by income class: Focus on residential mobility experiences of Households, *Proceedings of the 3th Symposium on Korea Welfare Panel Study*, pp. 145-173.
35. Kim, M. H., M. W. Ahn and N. W. Cho(2015) An access to park of socioeconomic minority in the city of Seoul in terms of environmental equity, *The Korea Local Administration Review* 29(2): 77-105.
36. Kim, M. K., S. P. Kim, N. H. Kim and H. G. Sohn(2014) Urbanization and urban heat island analysis using Landsat imagery: Sejong city as a case study, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 34(3): 1033-1041.
37. Kim, S. J.(2016) A study on building inclusive cities in Korea, Korea Research Institute for Human Settlements.
38. Kim, Y. G.(2014) A study on the distributive equity of neighborhood urban park in Seoul viewed from green welfare, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 42(3): 76-89.
39. Klemm, W., B. G. Heusinkveld, S. Lenzholzer and B. Hove(2015) Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort, *Landscape and Urban Planning* 138: 87-98.
40. Koh, J. K. and H. S. Jeong(2013) Toward a preliminary conceptualization of environmental welfare, *Journal of Environmental Policy and Administration* 21(3): 23-52.
41. Kong, Y. K.(2016) The social mix policies and alternative housing movement for overcoming social exclusion, *Journal of the Korean Urban Geographical Society* 19(1): 31-42.
42. Kuo, F. E., M. Bacaicoa and W. C. Sullivan(1998) Transforming inner-city landscapes trees, sense of safety, and preference, *Environment and Behavior* 30(1): 28-59.
43. Kwon, Y. A.(2002) The Influence of Urban Green Areas on Ambient Air Temperature in Seoul, Ph. D. Dissertation, Konkuk University, Korea.
44. Lee, J. Y. and T. K. Kim(2011) A study on effective plans for increasing urban parks through an analysis of areas with park shortages: Gangneung, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 39(3): 1-9.
45. 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.
46. Lee, H. Y.(2000) Climate in Korea, Bubmunsa.
47. Lee, S. H., K. S. Lee, W. C. Jin and H. K. Song(2009) Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area, *Landscape and Ecological Engineering* 5(2): 183-191.
48. Li, X., C. Zhang, W. Li, Y. A. Kuzovkina and D. Weiner(2015) Who lives in greener neighborhoods? The distribution of street greenery and its association with residents' socioeconomic conditions in Hartford, Connecticut, USA, *Urban Forestry&urban Greening* 14(4): 751-759.
49. Lin, W., T. Yu, X. Chang, W. Wu and Y. Zhang(2015) Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test, *Landscape and Urban Planning* 134: 66-75.
50. McPherson, E. G. and J. R. Simpson(2003) Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California, *Urban Forestry and Urban Greening* 2(1): 73-86.
51. Nam, K. B.(2018) Inclusive city as an ordinary city: Towards new directions for Seoul, *Journal of the Korean Geographical Society* 53(4): 469-484.
52. Norton B. A., A. M. Coutts, S. J. Livesley, R. J. Harris, A. M. Hunter and N. S. G. Williams(2015) Planning for cooler cities: A

- framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes, *Landscape and Urban Planning* 134: 127-138.
53. Nowak, D. J. and D. E. Crane(2002) Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, *Environmental Pollution* 116(3): 381-389.
 54. Nowak D. J., S. Hirabayashi, A. Bodine and E. Greenfield(2014) Tree and forest effects on air quality and human health in the United States, *Environmental Pollution* 193: 119-129.
 55. Oh, K. S. and J. J. Hong(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.
 56. Onishi, A., X. Cao, T. Ito, F. Shi and H. Imura(2010) Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots, *Urban Forestry & Urban Greening* 9(2010): 323-332.
 57. Park, I. H., G. S. Jang and J. Y. Kim(1999) Evaluation of the heat island in transition zone of three cities in Kyungpook, Korea, *Journal of Environmental Impact Assessment* 8(2): 73-82.
 58. Park, K. H. and S. K. Jung(1999) Analysis on urban heat island effects for the metropolitan green space planning, *The Korean Association of Geographic Information Studies* 2(3): 35-45.
 59. Peters, K., B. Elands and A. Buijs(2010) Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? *Urban Forest and Urban Greening* 9(2): 93-100.
 60. QGIS Development Team(2017) QGIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation Project, <http://qgis.osgeo.org>
 61. R Core Team(2017) R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>
 62. Schwarz, K., M. Fragkias, C. G. Boone, W. Zhou, M. McHale, J. M. Grove, J. O'Neil-Dunne, J. P. McFadden, G. L. Buckley, D. Childers, L. Ogden, S. Pinceti, D. Pataki, A. Whitmer and M. L. Cadenasso(2015) Trees grow on money : Urban tree canopy cover and environmental justice, *PLoS ONE* 10(4): e0122051.
 63. Seo, H. J. and B. W. Jun(2011) Environmental equity analysis of the accessibility of urban neighborhood parks in Daegu City, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(4): 221-237.
 64. Seoul City Government(2015) 2030 A masterplan for park and green of Seoul, Korea, Seoul City.
 65. Song, B. G. and K. H. Park(2015) An analysis of rational green area ratio by land use types for mitigating heat-island effects, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(2): 59-74.
 66. Talen, E.(1997) The social equity of urban service distribution an exploration of park access in Pueblo, Colorado, and Macon, Georgia, *Urban Geography* 18(6): 521-541.
 67. Talen, E.(2003) Neighborhoods as service providers: A methodology for evaluating pedestrian access, *Environment and Planning B: Planning and Design* 30: 181-200.
 68. Talen, E.(2010) The spatial logic of parks, *Journal of Urban Design* 15(4): 473-491.
 69. Toda, K.(1996) For Environmental Justice: Environmental Destruction and Structural Elitism, Changbi Publishers.
 70. United Nations(2016) The World's Cities in 2016, <http://www.un.org>
 71. USGS(2016) Landsat 8 (L8) Data users Handbook, Sioux Falls, South Dakota.
 72. Weber, S., N. Sadoff, E. Zell and A. Sherbinin, A.(2015) Policy-relevant indicators for mapping the vulnerability of urban populations to extreme heat events: A case study of Philadelphia, *Applied Geography* 63: 231-243.
 73. Wen, M., X. Zhang, C. D. Harris, J. B. Holt and J. B. Croft(2013) Spatial disparities in the distribution of parks and green spaces in the USA, *Annals of Behavioral Medicine* 45(Suppl 1): S18-S27.
 74. Wolch, J. R., J. Byrne and J. P. Newell(2014) Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough, *Landscape and Urban Planning* 125: 234-244.
 75. Wolch, J. R., J. P. Wilson and J. Fehrenbach(2005) Parks and Park Funding in Los Angeles: An Equity Mapping Analysis, *Urban Geography* 26(1): 4-35.
 76. Yoo, N. H., Y. U. Ban and S. K. Jeong(2013) Assessment of the urban park location suitability using gravity model: Focused on Yongam 1, 2-dong, Cheonju City, *Journal of Korea Planning Association* 48(4): 331-341.
 77. Yoon, M. H. and T. M. Ahn(2009) An application of satellite image analysis to visualize the effects of urban green areas on temperature, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 37(3): 46-53.
 78. Yu, C. and W. N. Hien(2006) Thermal benefits of city parks, *Energy and Buildings* 38(2): 105-120.
 79. Yun, H. C., M. G. Kim and K. Y. Jung(2013) Analysis of temperature change by forest growth for mitigation of the urban heat island, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 31(2): 143-150.
 80. Zhang, Y., A. T. Murray and B. L. Tumer(2017) Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona, *Landscape and Urban Planning* 165: 162-171.
 81. Zhou, X. and J. K. Kim(2013) Social disparities in tree canopy and park accessibility: A case study of six cities in Illinois using GIS and remote sensing, *Urban Forestry & Urban Greening* 12(1): 88-97.
 82. <https://data.seoul.go.kr/> (Open Data, Seoul City)
 83. <http://rt.molit.go.kr/> (Open System of the Actual Acquisition Price of Real Estate, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea)
 84. <http://kosis.kr/index/index.do> (Korean Statistical Information Service, KOSIS)
 85. <https://www.epa.gov/> (United States Environmental Protection Agency)
 86. <http://map.ngii.go.kr/> (National Geographic Information Institute)

Received : 23 January, 2019

Revised : 20 February, 2019 (1st)

28 March, 2019 (2nd)

Accepted : 28 March, 2019

4인익명 심사필