

Research Paper

도시 열저감 관점에서의 오픈스페이스 토지이용 공간패턴분석

강상준

국립 강릉원주대학교 도시계획·부동산학과

Open Space Spatial Pattern Analysis from the Perspective of Urban Heat Mitigation

Sangjun Kang

Department of Urban Planning·Real Estate, Gangneung-Wonju National University

요약: 연구목적은 오픈스페이스 토지이용 공간패턴이 도시 열저감 관점에서 어떤 의미를 갖는지 토지이용 시나리오를 이용하여 가능성 수준에서 살펴보는 것이다. 연구방법은 다음과 같다: (1) InVEST Urban Cooling Model을 이용, 5개 토지이용 시나리오별 Cooling Capacity Index 산출, (2) Guidos Spatial Pattern Toolbox를 사용, 토지이용 시나리오별 각각의 오픈스페이스 Entropy와 형태학적 공간패턴 산출, (3) InVEST 결과값과 Guidos 결과값들의 Spearman rank correlation analysis. 연구결과는 다음과 같다. Cooling Capacity Index와 오픈스페이스 면적비 순위 상관성은 보통이며($\rho=0.50$), 그 외 지표들은 낮은 것으로 나타났다. 이는 도시 열저감 관점에서는 오픈스페이스 총량만이 큰 의미를 가질 가능성이 있으며, 그 외 오픈스페이스 입지 공간패턴은 도시 열환경 관리 관점에서 큰 의미는 없을 수 있다는 가능성이 관찰되었다.

주요어: 공간패턴분석, 도시열저감, 엔트로피, 오픈스페이스, InVEST

Abstract: The purpose is to explore the meaning of the open space land use space pattern from the perspective of urban heat reduction using the land-use scenario. The employed methods are as follows: (1) to calculate the cooling capacity Index for each of five land use scenarios, using the InVEST Urban Cooling Model, (2) to calculate open space entropy & morphological spatial pattern for each land use scenario, using the Guidos Spatial Pattern Toolbox, and (3) to perform a Spearman rank correlation analysis between the InVEST and Guidos results. It is found that the rank correlation is moderate between the cooling capacity Index and the open space area ratio ($\rho=0.50$). However, other relations are low. It is observed that only the total amount of open space is likely to have a meaning from the perspective of urban heat reduction, and that other open space location spatial patterns may not have much meaning from the perspective of urban thermal environment management.

Keywords: Spatial Pattern Analysis, Urban Heat Mitigation, Entropy, Open Space, InVEST

I. 서론

도시화가 진행됨에 따라 도시들은 열섬현상을 경험하고 있다. 자연현상으로서의 대기 열현상은 도시지역과 비도시지역에서는 서로 다르게 나타나는데 이는 주로 도시화에 따른 인공 지표면이 열을 흡수하고 응축하는 과정에서 나타난다(Li et al. 2016). 최근 도심 내 폭염은 주요 재난의 한 유형으로 여러 주요한 도시정책 중 하나로 의미를 갖는다. 도시의 열 환경 변화는 다양한 동식물 종의 서식 및 생육 조건에 영향을 미쳐 종의 수명 주기와 분포에 변화를 초래할 수도 있다(Melass 2016). Huang et al.(2020)은 높은 열 노출이 질병 발생률이나 사망률과 관련이 있을 수 있다고 주장하였다. 도시의 폭염현상은 도시공간구조 또는 토지이용 및 교통량 변화 등과 관련성이 높다는 점은 여러 문헌을 통해 논의되고 있다(Cho et al. 2014; Jo 2009; Kim and Ahn 2011; Nam et al. 2008). 토지이용의 용도 관점의 논의와 더불어 토지이용의 입지분배 또한 많은 연구가 이루어지고 있는데 이는 최적화 모형 관점에서 토지이용 공간패턴 모델링 연구에서 진행되었다(Antrop 2004, 2000; Carsjens and van der Knaap, 2002; Chen et al. 2003; Yin et al. 2010). 도시의 열 환경과 관련하여 오픈스페이스 공간은 생태적·정주 환경 관점에서 다양한 긍정적인 편익을 가져온다. 오픈스페이스로 정의되는 자연 및 인공 녹지공간은 생태서식지, 오픈스페이스, 자연녹지 등의 형태로 도심내 그늘을 제공하고 생태서식지 내 증발산 작용을 통해 도시 열저감 역량을 높여준다(Zawadzka et al. 2021). 지역 내 녹지공간은 시민들의 공중보건 및 건강 관점 뿐 아니라 냉방 에너지 소비량 저감에도 긍정적인 요인이다(Bartesaghi et al. 2018; Kang 2020; Zardo et al. 2017).

본 연구는 토지이용의 입지특성이 갖는 공간패턴 현상은 지역 내 폭염현상과 관련되어 있다는 기존 연구를 바탕으로 진행하였다. 본 연구의 목적은 오픈스페이스 토지이용 공간패턴이 도시 열저감 관점에서 어떤 의미를 갖는지 토지이용 시나리오를 이용하여 살펴보는 것이다. 연구의 주요 진행과정은 다음과 같다. 첫째, InVEST Urban Cooling Model Analysis를 통해 토지이용 시나리오 지역의 도시 열저감 지수를 도출한다.

둘째, 토지이용 시나리오에서 오픈스페이스만을 추출하여 Guidos 공간패턴 분석을 통해 해당 지역에서 오픈스페이스 토지이용이 갖는 (1) Entropy 지수값, (2) 오픈스페이스의 Contiguous forest(연결성을 유지한 큰 규모의 오픈스페이스 형태)와 Small·linear forest(파편화 또는 소규모 오픈스페이스 형태) 면적비를 도출한다. 셋째, 토지이용 시나리오별 (1) 열저감 지수와 오픈스페이스 면적비, (2) 열저감 지수와 Entropy 지수값, (3) 열저감 지수와 Continuous forest 면적비, (4) 열저감 지수와 Small·linear forest 면적비 각각에 대한 Spearman rank correlation analysis(rho) 값을 도출한다.

일반적으로 오픈스페이스 지역은 다양한 생태학적 및 정주환경 관점의 편익들에 긍정적 요인으로 논의된다. 이에 더해, 오픈스페이스 토지이용의 입지환경에서 도출할 수 있는 공간패턴을 도시 열저감 관점에서 해석함으로써 지역 내 오픈스페이스가 갖는 다양한 의미를 살펴 보고자 한다. 오픈스페이스는 논의되는 맥락에 따라 도시공원, 자연공원, 또는 시민들의 접근에 제약이 없는 열린 공간 등 다양한 의미로 사용된다. 하지만 본 연구에서 논의하는 오픈스페이스는 환경부 공간환경정보서비스에서 제공하는 2010년대말 대부분 토지피복지도의 토지이용 분류 중 산림지역을 의미하는 것으로 정의하고 진행하였다. 본 연구는 도시 열현상 관리 관점에서 의미 있는 오픈스페이스 정책에 대한 다양한 논의 주제 제공에 기여한다.

II. 연구방법

1. InVEST Urban Cooling Model Analysis

InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)는 생태계서비스 가치평가 분석 종합모형이다(<https://naturalcapitalproject.stanford.edu>). 본 연구에서는 InVEST에서 제공하는 열현상 해석모형인 InVEST Urban Cooling Model을 사용하였다. 본 모형은 이론모형으로 연구대상지의 실측값 해석에 적절한 모형은 아니며, 연구대상지 내 토지이용 주요 변수의 상대적 비교관찰 해석의 모형으로 의미가 크다. 이 모형을 사용하여 토지이용 시나리오 각 지역의 열현상을 모의할 수 있는데 열저감 지수(Cooling capacity index,

CCi)를 지표로 설정하였다. 계산식은 아래와 같다.

$$ETI = \frac{K_c \cdot ET0}{ET_{max}}$$

$$CCi = 0.6 \cdot shade + 0.2 \cdot albedo + 0.2 \cdot ETI$$

Cooling Capacity Index (CCi)는 해당 지역의 Shade, Evapotranspiration, Albedo 자료를 이용하여 계산된다 (Kunapo et al. 2018; Zardo et al. 2017). Shade factor는 토지이용 유형별 단위 면적당 높이 2m 이상 수목의 수관(Tree canopy) 비율이다. Albedo factor는 토지이용 유형별 태양복사 비율을 의미한다(Phelan et al. 2015). Evapotranspiration Index (ETI)는 식생이나 토양 또는 인공 지표면으로부터의 증발산 값을 의미한다. ET0는 연구대상지의 Reference evapotranspiration, K_c는 토지이용 유형별 Crop coefficient, ET_{max}는 연구대상지 내 ET0 래스터 최대값이다(Phelan et al. 2015). 연구대상지 평균온도 감소값 계산은 해당 지역의 Urban Heat

Index (UHI) magnitude와 Urban Heat Index Maximum (UHI_{max}) 값을 통해 계산되는데 Global Surface UHI Explorer (<https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap>)에서 제공되는 값을 사용하였다. Urban Heat Mitigation Index (HMi)는 규모 20,000m² (2ha) 이상 큰 규모의 녹지 오픈스페이스가 연구 대상지 내에 미치는 냉각효과를 의미하는데 대상지 내 모든 픽셀의 CCi 값은 그 대규모 녹지로부터의 거리 반비례 가중치 평균값의 영향을 받는다(McDonald et al. 2016; Zardo et al. 2017).

$$T_{air_{nomix}_i} = T_{air_{ref}} + (1 - HMi) \cdot UHI_{max}$$

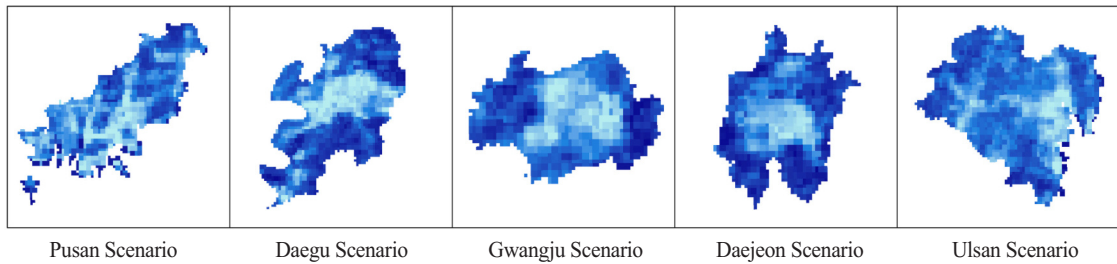
연구대상지 내 계산되는 픽셀별 온도 값들은 인접한 주변 다른 픽셀공간들로 확산되어 퍼져가기 때문에 InVEST Urban Cooling Model에서는 Gaussian function with kernel radius를 이용하여 T_{air_{nomix}}로부터 Actual air temperature with air mixing (T_{air})를 계산한다. Air temperature without air mixing (T_{air_{nomix}})는 위의 공식으로

Table 1. Input parameters for the biophysical table

Land Use	Shade	Green area	Kc	Albedo	Building intensity
Background	0	0	0	0	0
Developed	0.05	0	0.37	0.18	0.7
Agriculture	1	1	0.7	0.2	0
Forest	1	1	1	0.15	0
Grassland	1	1	1	0.2	0
Wetland	1	1	1	0.11	0
Barren	0	0	0.3	0.2	0
Water	1	1	1	0.06	0

Table 2. Primary InVEST model input parameters

Parameter	Description and input
Maximum cooling distance	Distance over which green areas larger than 20,000m ² (2ha) (Input: Recommended value 450m)
Reference air temperature	Average daily temperature in July, 2018 for each land use scenario. Ulsan 26.8°C, Pusan 26.7°C, Daegu 28.2°C, Daejeon 27.9°C, Gwanju 28.3°C (https://data.kma.go.kr/climate/RankState/selectRankStatisticsDivisionList.do).
UHI effect	Ulsan 3.01°C, Pusan 2.22°C, Daegu 4.29°C, Daejeon 4.149°C, Gwanju 4.46°C (https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap)
Air blending distance	Radius over which to average air temperatures to account for air mixing (Input: Rrecommended value range 500-600m)
Area of interest	A map of areas over which to aggregate and summarize the final results
Land use	Land use scenarios
Map of evapotranspiration	Monthly Actual ET map for the July, 2018 from the USGS Earth Resources, developed by the Observation & Science Center(https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/460).



Note: Dark blue rasters indicate high evapotranspiration values.

Figure 1. Evapotranspiration maps

산출되는데 $T_{air,ref}$ 는 지역의 rural reference temperature를 나타내며 UHI_{max} 는 해당 도시 UHI 효과의 최대강도값을 의미한다. 이는 그 도시에서 관찰되는 maximum temperature와 $T_{air,ref}$ 값의 차이를 나타낸다.

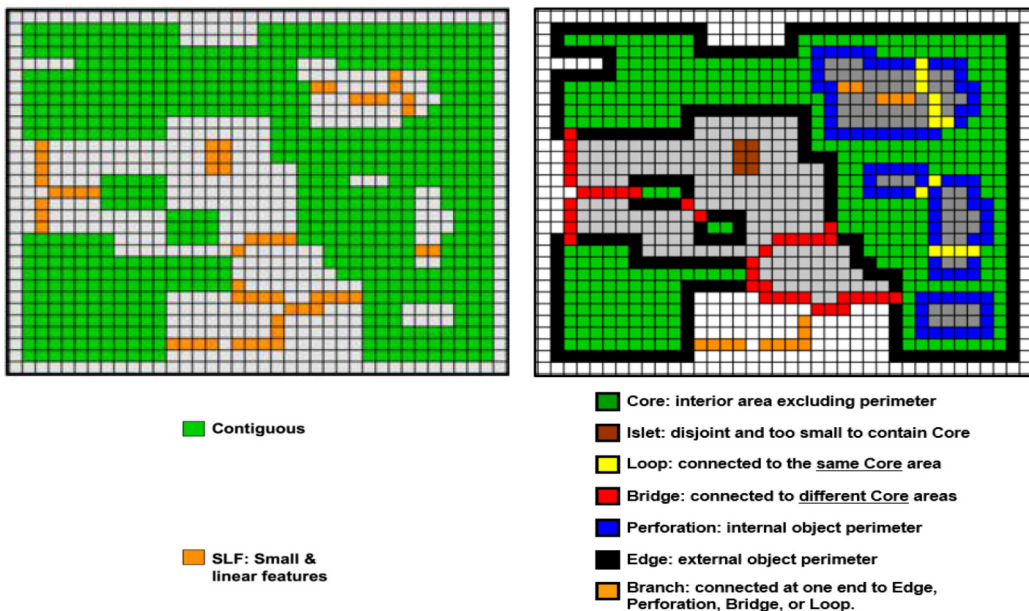
InVEST 주요 입력자료는 Biophysical table, 입력 변수값, 공간자료이다. Biophysical table은 토지이용 분류 유형별 shade, Kc, Albedo, Green area relation, Building intensity 변수값을 가지고 있다. 입력 변수값은 Maximum cooling distance, Reference air temperature, UHI effect, Air blending distance이다. 공간자료는 Evapotranspiration raster, Area of Interest shp, Land use scenario raster이다.

2. Entropy Analysis & Spatial Pattern Analysis

Entropy는 정보이론(Information theory)의 Entropy 정의를 바탕으로, 입력되는 공간정보에서 특정 토지이용의 공간구성이나 위치분배 특징을 분석할 수 있다 (Vogt 2010). 연구대상지 공간에서 특정 공간정보의 분산이나 집중의 수준은 Entropy 지수로 나타난다(Das Chatterjee et al. 2016; Sudhira et al. 2004; Yeh and Li 1998).

$$FRAG_{entropy} = -\sum P_i * \log_2(P_i)$$

P_i 는 입력 이미지 데이터에서 인접한 두 개의 픽셀 사이에서 차이(i)가 관찰될 확률을 의미한다. $FRAG_{entropy}$



Source: Peter V, 2003, User Guide of Guidos Toolbox, p. 28, 29.

Figure 2. Comparison of SPA2 (Left) & MSPA (Right) methods

결과는 0에서 100 사이의 값으로 나타난다. 본 연구의 경우 0에 가까운 값(Min. Entropy)은 공간정보의 집중도가 크다는 것으로 오픈스페이스 토지이용이 높은 확률로 인접·군집하고 있다는 것을 의미한다. 반면 Entropy 값이 크다(Max. Entropy)는 공간집중도가 낮은 것으로 매우 높은 확률로 주변에 다른 용도의 토지이용이 많이 입지하고 있음을 의미한다. Entropy 분석은 Guidos 프로그램을 이용하였다.

오픈스페이스 토지이용의 공간분석은 Guidos 프로그램의 SPA2 기능을 사용하여 진행하였다. 해당 프로그램은 주요 기능으로 MSPA (Morphological Spatial Pattern Analysis) 기능을 제공하는데, 입력하는 이미지 데이터의 형태학적 특징을 Core, Islet, Loop, Bridge, Perforation, Edge, Branch의 7가지 유형으로 분류하여 이미지 자료와 속성 자료를 산출한다. 이에 반해 SPA2 방식은 MSPA 기능이 제공하는 7가지 형태학적 특징을 Contiguous features(연결성을 유지한 큰 규모의 오픈스페이스 형태), Small/linear features(파편화 또는 소규모 오픈스페이스 형태) 단 두 가지로 분류하여 결과값을 제공한다. 본 연구에서는 연구대상지 내 오픈스페이스가 Contiguous features 형태로 산림녹지의 연결성을 유지한 채 중심 녹지의 기능을 하는 경우, 그렇지 않고 파편화·선형의 형태로만 유지되고 있는 두 가지 경우만 초점을 두고 진행하였다. Guidos 분석에 대한 추가적 논의는 Kang S(2022a; 2021)에서 찾아볼 수 있다.

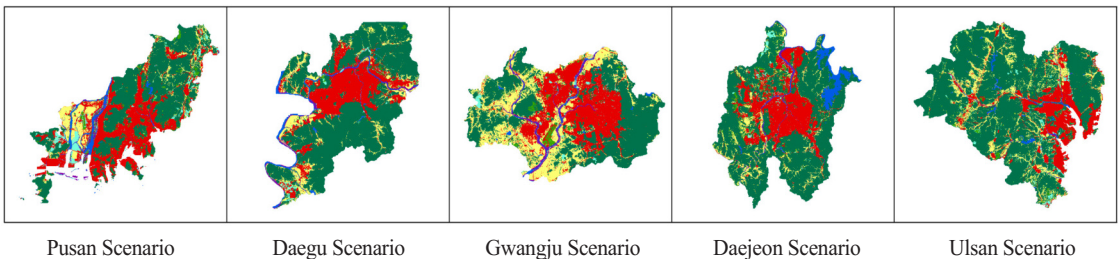
3. 토지이용 시나리오

본 연구는 토지이용 시나리오를 이용하여 오픈스페이스 토지이용 공간패턴이 도시 열저감 관점에서 어떤

의미를 갖는지 살펴보는데 초점을 두고 있다. 토지이용 시나리오에는 부산, 대구, 광주, 대전, 울산 5개 광역시의 2018년 토지이용으로 설정하였다. 본 연구에서 사용된 토지이용 시점인 2018년은 특정한 시간적 의미를 갖지 않는다. 다만, 2018년 토지이용은 가장 최근 도시 열현상 자료와의 시간적 정합성 확보를 위하여 선정하였다. 본 연구에서 논의되는 광역시들은 연구대상지 열환경 특성 해석 관점에서의 의미 부여는 적절하지 않은데, 이와 관련한 주요 연구가정은 다음과 같다.

첫째, 토지이용 시나리오의 현실성을 고려하여, 가상의 토지이용을 제작하는 대신 5개 광역시 토지이용을 활용하였다. 둘째, 국내 수도권 도시는 대부분 시가지 지역으로 이루어져 있으나 대부분 지방 소도시는 비시가지 지역의 면적비중이 상대적으로 높다. 따라서 국내 주요 광역시는 시가지 지역과 비시가지 지역의 상호 면적 증감 논의가 가능하다. 셋째, 토지이용별 열환경 특성값 도출을 위한 모형 입력 변수값은 해당 지역의 국지적 실측자료가 아니며 InVEST 모형분석 시 요구되는 토지이용별 단위 변수값이 주요 변수로 사용되었다. 토지이용의 경우 국내 5대 광역시의 특정 연도 토지이용 자료가 사용되었음에도 변수값은 연구대상지 고유특성을 반영하고 있지 않다.

본 연구에서 이용한 토지피복은 2010년대 말 30미터 급 대분류 자료로 토지이용은 시가지, 농업, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역으로 구분된다. 2024년 8월 기준, 환경부 환경공간정보서비스에서는 2022년 세분류 토지피복도 제공되나, InVEST 주요 변수값들이 대분류 토지피복분류 기준으로 제공되고 있어 2010년대 말 대분류 토지피복도 자료를 사용하였다.



Pusan Scenario

Daegu Scenario

Gwangju Scenario

Daejeon Scenario

Ulsan Scenario

Note: Green areas indicate forest land use. Red indicate developed land use.

Figure 3. Land use scenarios

III. 연구결과

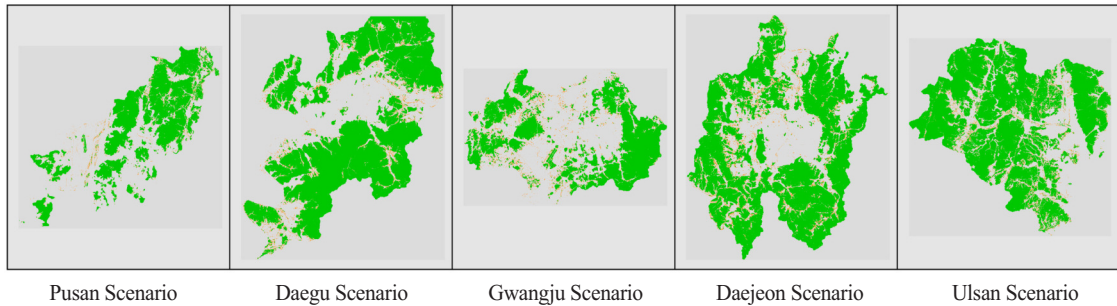
첫째, 본 연구에서 열 현상 지표로 설정된 열저감 지수(Cooling capacity index, CCI)에 따르면 부산 0.51, 대구 0.59, 광주 0.55, 대전 0.61, 울산 0.62를 나타내고 있다. 부산 시나리오가 가장 낮은 지수를 보이며, 울산 시나리오가 0.62로 가장 높은 열저감 지수를 보인다. 둘째, 도시의 열저감 능력에 가장 큰 기여를 하는 산림 지역 오픈스페이스가 차지하는 크기는 울산이 92.39%로 가장 크며, 광주가 26.46%로 가장 적은 면적을 차지하고 있다. 단순히 수치만을 보았을 때 오픈스페이스

면적 비율이 가장 큰 울산 시나리오가 가장 높은 도시 열저감 능력을 보이는 것으로 나타나고 있다.

셋째, 오픈스페이스의 공간적 집중도를 나타내는 Entropy는 수치가 작을수록 오픈스페이스가 입지할 확률이 높으며, 수치가 클수록 오픈스페이스가 입지할 확률이 낮다는 것을 의미한다. 가장 집중도가 높은, 즉 낮은 수치의 오픈스페이스 Entropy는 11.72로 부산 시나리오에서 관찰된다. 다음으로 대구 시나리오 15.83, 울산 시나리오 20.22 등을 보이며 가장 높은 수치가 의미하는 낮은 집중도는 광주 시나리오에서 21.88로 나타나고 있다. 전체적으로 모든 시나리오에 걸쳐 외곽

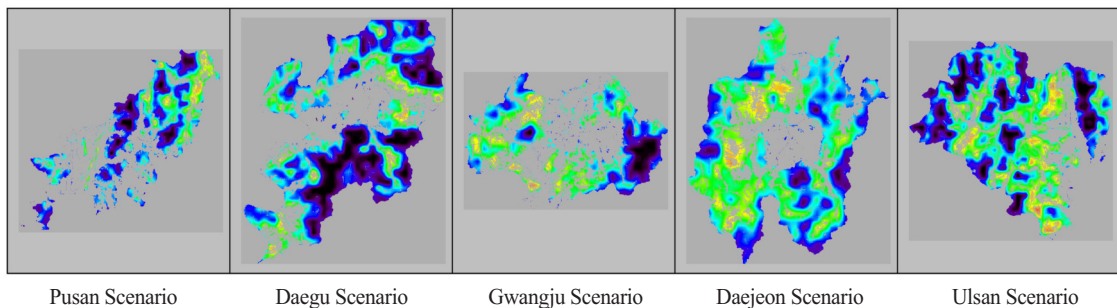
Table 3. Results for each land use scenario

Land use scenario	CC Index	Forest area (%)	Entropy Index (%)	Contiguous forest area (%)	Small & linear forest area (%)
Pusan Scenario	0.51	46.57	11.72	94.89	5.11
Daegu Scenario	0.59	68.91	15.83	95.38	4.62
Gwangju Scenario	0.55	26.46	21.88	91.52	8.48
Daejeon Scenario	0.61	41.63	21.48	94.11	5.89
Ulsan Scenario	0.62	92.39	20.22	95.23	4.77



Note: Green color indicates contiguous forest areas. Non-contiguous areas are represented by red and orange colors.

Figure 4. Contiguous forest & Non-contiguous forest (Small & linear forest) areas for each land use



Note: Entropy values show high to low in the order of red-yellow-green-blue-purple.

Figure 5. Entropy maps for each land use scenario

에 입지하는 오픈스페이스는 높은 확률로 인접근접하며 공간 집중도가 높게 나타나며, 내부지역은 시가화 등 다른 토지이용과 많이 인접하여 오픈스페이스의 공간집중도가 낮아, 오픈스페이스로 입지하여 나타날 확률이 낮은 경향을 보인다. 단순 비교했을 때 오픈스페이스가 입지 할 확률은 도시 열저감 능력과 관계성이 크지 않은 것으로 나타나고 있다.

넷째, 오픈스페이스 공간분석 결과, 가장 높은 비중의 연결성을 유지한 큰 규모의 오픈스페이스 형태인 Contiguous forest는 부산 시나리오에서 나타나고 있다. 가장 낮은 Contiguous forest는 91.52로 광주 시나리오에서 관찰된다. 넷째, 파편화 또는 소규모 오픈스페이스 형태인 Small & linear forest는 8.48로 광주 시나리오에서 가장 높은 비중으로 나타나며, 대구 시나리오에서 4.62로 가장 낮게 나타난다.

마지막으로 토지이용 시나리오별 (1) 열저감 지수와 오픈스페이스 면적비, (2) 열저감 지수와 Entropy 지수값, (3) 열저감 지수와 Continuous forest 면적비, (4) 열저감 지수와 Small·linear forest 면적비 각각에 대한 Spearman rank correlation analysis (ρ) 값은 다음과 같다. (1) 열저감 지수와 오픈스페이스 면적비 사이의 순의 상관성(ρ)은 0.50으로 보통의 순위 상관성을 보인다. (2) 열저감 지수와 Entropy 지수값 사이의 순의 상관성(ρ)은 0.30으로 낮은 순위 관계를 나타내고 있다. (3) 열저감 지수와 Continuous forest 면적비 사이의 순의 상관성(ρ) 또한 0.30으로 낮은 순위 관계를 나타내고 있다. (4) 마지막으로 열저감 지수와 Small·linear forest 면적비 각각에 대한 Spearman rank correlation analysis (ρ) 값은 -0.30으로 낮은 음의 순위 상관성을 갖는다.

종합해 보면, 도시 열저감 관점에서는 오픈스페이스 총량만이 큰 의미를 가질 가능성이 있으며, 그 외 오픈스페이스 입지 공간패턴은 도시 열환경 관리 관점에서 큰 의미는 없을 수 있다는 가능성이 관찰되었다. Spearman rank correlation (ρ) 순위 상관성 기준은 ± 0.9 이상은 매우 높음, $\pm 0.7\sim 0.9$ 는 높음, $\pm 0.5\sim 0.7$ 은 보통, $\pm 0.3\sim 0.5$ 는 낮은 것으로, 선행연구 기준을 준용하였다(Rovai et al. 2013).

IV. 결론

한정된 자원은 지속가능한발전의 주요 제약요인 중 하나이다. 도시 내 산림이나 녹지 오픈스페이스의 여유 있는 공간 확보는 도시 열저감 관점에서 매우 바람직한 선택이다. 하지만 도시 내 토지자원의 용도는 비도시에 비해 보다 경쟁적이기에 도심 내 오픈스페이스 면적 확대는 매우 제한적이다. 따라서 토지자원의 위치분배의 적정성은 토지이용 효율성 증대에 매우 주요한 이슈로 논의된다. 하지만 본 연구에서 도출된 내용에 따르면 오픈스페이스의 위치분배 전략을 담은 토지이용계획은 최소한 도시 열저감 관점에서는 큰 의미가 없을 가능성이 있다. 도시 열저감 관점에서는 오픈스페이스 공간확보가 가장 의미 있는 정책대안으로 논의되는 것이 바람직할 가능성이 있다. 이러한 결과는 선행연구에서도 논의되었다. 선행연구(Kang 2022b)에서는 오픈스페이스도 도시 전 지역에 소규모·파편화되어 입지하는 것 보다, 일부 지역에 국한되더라도 규모 있게 조성·입지하는 것이 도시 열현상 개선에 긍정적인 일 수 있다고 밝히고 있다. 도심 내 오픈스페이스가 가지는 지역 내 긍정적인 효과는 다양하게 나타난다. 따라서, 도심 내 오픈스페이스 토지이용계획도 의도하는 정책목표에 따라 차별화하여 진행할 필요도 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서 도시의 열저감 지표로 설정된 Cooling capacity index(CCI)와 오픈스페이스의 공간적 특징들 상호 간의 순위 상관성 결과는 일부 토지이용 시나리오에 한정하여 진행되었다는 점을 고려할 때, 연구의 함의는 가능성 수준에서 한정·논의되어야 한다. 보다 신뢰도 높은 일반화된 요인 상호 간 관계성 연구는 후속 연구를 통해 진행될 필요가 있다.

사사

본 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2020S1A3A2 A01095064).

References

- Antrop M. 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67(1-4): 9-26.
- Bartasaghi C, Osmond P, Peters A. 2018. Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources. *Solar Energy* 166: 486-508.
- Carsjens G, van der Knaap W. 2002. Strategic land-use allocation: dealing with spatial relationships and fragmentation of agriculture. *Landscape and Urban Planning* 58(2-4): 171-179.
- Chen L, Messing I, Zhang S, Fu B, Ledin S. 2003. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess plateau in China – Case study in a small catchment. *Catena* 54(1-2): 303-316.
- Cho H, Joung Y, Choi M. 2014. Effects of the urban spatial characteristics on urban heat island. *Korea Environmental Policy And Administration*. 22(2): 27-43. [Korean Literature]
- Das Chatterjee N, Chatterjee S, Khan A. 2016. Spatial modelling of urban sprawl around Greater Bhubaneswar city, India. *Modelling Earth System Environmental Biology* 2(14): 1-21.
- Huang H, Deng X, Yang H, S. L. 2020. Spatial evolution of the effects of urban heat island on residents' health. *Technical Gazette* 27(5): 427-1435.
- Jo Y. 2009. Empirical study on the relationship between compact city and transportation energy consumption: the case of 7 metropolitan cities. *Korean Society and Public Administration*. 19(4): 113-132. [Korean Literature]
- Kim H, Ahn K. 2011. The effects of compact city planning strategies on commuting distance of different income levels: Focused on Seoul, Korea. *Urban Design*. 12(1): 55-70. [Korean Literature]
- Kang S. 2022a. Revisiting Suburban developments: urban evolution and its implication to planning. *Journal of Environmental Impact Assessment* 31(3): 161-172. [Korean Literature]
- Kang S. 2022b. Urban heat mitigation effect analysis based on the land use location distribution by using an ecosystem service valuation model. *Journal of Environmental Impact Assessment* 31(6): 369-377. [Korean Literature]
- Kang S. 2021. Relationship between the spatial allocation of developed area and the heat wave phenomenon: The case of five metropolitan cities, *Journal of Environmental Impact Assessment* 30(3): 175-185. [Korean Literature]
- Kang S. 2020. Exploratory analysis for the concentration of PM₁₀ air particulates and the morphological pattern of greinfra: the case of Gyeonggi-do. *GRI Review* 22(4): 25-40. [Korean Literature]
- Kunapo J, Fletcher T, Ladson A, Cunningham L, Burns M. 2018. A spatially explicit framework for climate adaptation. *Urban Water Journal* 15(2): 159-166.
- Li Y, Feng Q, De-Xuan S, Z Ke-Jia. 2016. Research on urban heat-island effect. *Procedia Engineering* 169: 11-18.
- McDonald R, Kroeger T, Boucher T, Wang L, Salem R. 2016. Planting healthy air: A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat. *CAB International*, 128-139.
- Melaas E, Wang J, Mille D, Friedl M. 2016. Interactions between urban vegetation and surface urban heat islands: A case study in the Boston metropolitan region. *Environmental Research Letters* 11(5): 054020.
- Nam K, Kim H, Son M. 2008. A study on the correlation between compact of population and transport energy: An application of compact Index.

- Journal of Korea Planning Association 43(2): 155-168. [Korean Literature]
- Phelan P, Kaloush K, Miner M, Golden J, Phelan B, Iii H, Taylor R. 2015. Urban heat island: Mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 285-309.
- Rovai A, Jason D, Michael K. 2013. Social science research design and statistics: A practitioner's guide to research methods and IBM SPSS. Watertree Press.
- Sudhira H, Ramachandra T, Jagadish K. 2004. Urban sprawl: metrics and modeling using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(1): 29-39.
- Yeh A, Li X. 1998. Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 12(2): 169-189.
- Yin R, Xiang Q, Xu J, Deng X. 2010. Modeling the driving forces of the land use and land cover changes along the upper Yangtze river of China. *Environmental Management* 45: 454-465.
- Vogt P. 2010. User guide of GUIDOS, Institute for Environment and Sustainability European Commission. Joint Research Centre.
- Zardo L, Genelett D, Prez-soba M, Eupen M. 2017. Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem Services* 26: 225-235.
- Zawadzka J, Harris J, Corstanje R. 2021. Assessment of heat mitigation capacity of urban green spaces with the use of InVEST urban cooling model, verified with day-time land surface temperature data. *Landscape and Urban Planning* 214: 104163.