

Research Paper

생태계 서비스 가치평가 모형을 이용한 토지이용 위치분배에 따른 도시 열저감 효과분석

강상준

국립강릉원주대학교 도시계획·부동산학과

Urban Heat Mitigation Effect Analysis based on the Land Use Location Distribution by Using an Ecosystem Service Valuation Model

Sangjun Kang

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

요약: 본 연구의 목적은 산림녹지의 토지이용 특성을 갖는 오픈스페이스가 그 위치분배에 따라 도시 열저감에 서로 다른 정도로의 영향을 미칠 수 있는지를 강릉시 도심지역 사례를 통해 살펴보는 것이다. 연구방법으로는 도심 내 열현상 해석모델인 InVest Urban Cooling Model을 사용하였고 가용한 최근 자료 시점인 2018년을 기준으로 진행하였다. 연구대상지는 도심 내 오픈스페이스 위치분배 효과에 초점을 두기 위하여 도시 전체가 아닌 도심부만을 관찰지역으로 설정하였다. 토지이용 위치분배 시나리오 분석을 통해 본 결과 위치분배관점에서 오픈스페이스를 증가시키면 여러 개의 소규모 산림보다는 대규모 산림 또는 군집화된 산림이 지역 내 대기 열저감 효과에 더 효과적인 것으로 나타났다.

주요어: 도시 열저감, 생태계 서비스 가치평가, 오픈스페이스, 토지이용

Abstract: The purpose of this study is to explore whether open spaces with land use characteristics of forest green areas can have different influence on the urban heat reduction depending on the location distribution, through the case of Gangneung-si downtown area. As a research method, the InVest Urban Cooling Model, which is a thermal phenomenon analysis model, is employed based on the most recent data available in 2018. In order to focus on the effect of location distribution of open space in the city, the downtown area is set as the observation area, not the entire city. The analysis of the land use location distribution scenarios shows that large-scale forests or clustered forests are more effective in reducing atmospheric heat in the region than several small-scale forests.

Keywords: Urban Heat Mitigation, Ecosystem Service Valuation, Open Space, Land Use

I. 서론

도심지역에서의 대기의 열저감 노력은 폭염현상이 관찰되는 많은 도시의 주요 정책 이슈로 논의되고 있다. 도시의 열환경 관점에서 생태서식지, 오픈스페이스, 자연녹지 등은 그늘을 제공하고 생태서식지 내 수목이나 초지 등이 갖는 증발산 작용을 통해 도시 열저감 역량을 높여줄 수 있다(Zawadzka et al. 2021). 이러한 도심 내 녹지는 도시 거주인구의 공중보건과 건강에 매우 긍정적 효과를 가져오며 더불어서 냉방 에너지 소비량 감소에도 긍정적 결과를 가져온다(Bartesaghi et al. 2018; Kang 2020; Zardo et al. 2017). 결과적으로 자연녹지로 이루어진 공간은 도시 열섬이나 폭염 저감 관점에서 중요한 역할을 하고 있으며 생태서비스 가치산정모형들은 토지이용을 비롯하여 주요 기상자료를 이용하여 도심 내 자연녹지, 생태서식지, 산림 등이 갖는 도시 열환경 개선 효과를 살펴보는 데 효과적인 것으로 논의되고 있다(Deilami et al. 2018; Phelan et al. 2015). 도시의 폭염은 도시화 등으로 인해 초래되는 토지이용 변화와 관계가 있다는 점은 오랜 기간 논의되고 있다. 국내에서는 기존 많은 연구에서 토지이용과, 교통, 그리고 대기환경 상호간의 관련성에 대해 연구가 진행되었다(Jo 2009; Kim and Ahn, 2011; Nam et al. 2008). 기존 연구에서는 교통량과 에너지 사용량 사이에서의 높은 상관성에 대한 공감대가 있었는데 Cho et al. (2014)은 도시 열환경은 도시 공간구조와 관계성이 있음을 보여주었다.

일부 연구에서는 토지이용에 있어 총량적 관점과 더불어 토지이용의 위치분배 관점에서 대기현상 이슈를 논의하기도 하였다. Lee et al. (2020)은 위치분배 관점에서의 토지이용계획은 일정 지역 내 미세먼지 농도분포 변화를 가져올 가능성이 있다는 점을 지적하였다. 이는 총량적 관점에서의 논의와 더불어 토지이용 위치분배 전략의 중요성을 강조한다는 함의를 지니고 있다. 토지이용 위치분배(Spatial allocation)를 의도하는 토지이용 형태와 크기에 관한 정의는 정책적 관점에서 토지이용 최적화 전략을 의미한다(Chen and Chen 2006). 토지이용 최적화 프로세스

논의를 주제로 하는 토지이용 공간패턴 분석은 공간 모델링 관점에서 많이 논의되고 있다(Antrop 2004, 2000; Carsjens and van der Knaap 2002; Chen et al. 2003; Yin et al. 2010). 본 연구에서는 토지이용의 위치분배 현상은 도시지역 폭염현상과 관계성이 있다라는 기존의 연구결과를 바탕으로 진행하였다. 도시녹지의 경우 비오톱, 도시공원, 도시숲, 도시산림, 저영향개발기법, 오픈스페이스 등 기준에 따라 각각 상이하게 구분될 수 있지만 본 연구에서는 도시 열저감 관점에서 산림의 토지이용 특징을 갖는 녹지공간을 오픈스페이스로 정의하고 본 연구의 주요 변수로 설정하였다.

연구의 목적은 산림녹지의 토지이용 특성을 갖는 오픈스페이스가 그 위치분배에 따라 도시 열저감에 서로 다른 정도로 영향을 미칠 수 있는지를 강릉시 도심지역 사례를 통해 살펴보는 것이다. 본 연구의 주요 내용인 도심 내 동일한 크기의 오픈스페이스를 서로 다른 위치분배로 설정된 토지이용 시나리오를 통해 살펴보는 것은 오픈스페이스 위치분배전략이 도시 폭염관리에 미치는 영향에 대한 이해도를 높여줄 수 있다는 학술적 그리고 정책적 함의를 갖는다. 특히 총량적 관점에서 도심 내 비오톱 또는 생태서식지 공간 확보의 제한적 환경을 보이는 수도권 일대 토지이용 관점에서 매우 높은 정책적 함의를 담고 있다.

II. 연구방법

1. InVest Urban Cooling Model

InVest 모델(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)은 자연생태계가 우리 사회에 제공하는 재화와 서비스를 정량적으로 정보화하고 그에 대한 가치평가 분석방법을 제공하는 종합모델이다(<https://naturalcapitalproject.stanford.edu>). 해당 모델은 미국 Natural Capital Project 연구사업으로 개발되어 운영되고 있으며 연구목적에 따라 몇 가지 대표 생태서비스 평가모델을 제공하고 있다. 본 연구에서는 도심 내 열현상 해석모델인 InVest Urban Cooling Model을 사용하였는데 Urban Cooling Model은 현재까지 국내 연구에서는 다루어

지지 않았으며 국외 연구에서도 모델개발 및 효과성 검증 차원에서의 연구를 제외하고는 활용된 적이 없는 비교적 최근에 개발된 분석모델이다.

연구지역으로는 국내 여러 중소도시에서 고려할 수 있는 토지이용계획으로의 함의를 고려하여 2022년 7월~9월 기간 폭염 등 이상고온 현상이 자주 보고되었던 강원도 강릉시 도심부를 선정하였다. 강릉시의 경우 도심 중앙부를 제외한 대부분 지역이 산림으로 이루어져 있다. 따라서 도심 내 생태서식지 위치분배 효과에 초점을 두기 위하여 도시 전체가 아닌 도심부만을 관찰지역으로 설정하였다. 해당 도심부는 강릉시 강남동, 경포동, 교1동, 교2동, 내곡동, 성덕동, 송정동, 옥천동, 중앙동, 초당동, 포남1동, 포남2동, 홍제동으로 총 13개 행정구역이다. 도심 내 열현상 지표로는 InVest Urban Cooling Model에서 열현상 지표로 산출되는 냉각용량 지수(Cooling capacity index, CCI), 열저감 지수(Heat mitigation index, HMI), 그리고 평균온도 감소값(Average temperature reduction value, $^{\circ}C$)으로 설정하였다. 모델 관련 주요 계산식은 Natural Capital Project 모델 사용자 설명서에 기술되어 있으며 주요 내용은 다음과 같다(http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/urban_cooling_model.html).

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

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

Cooling capacity index (CCI)는 해당 지역의 Shade, Evapotranspiration, 그리고 열저감의 중요한 요소인 Albedo 입력자료를 통해 픽셀 단위로 값이 산출된다(Kunapo et al, 2018; Zardo et al, 2017). Shade factor는 모델에 입력되는 토지이용 유형별 단위 면적당 높이 2m 이상 수목들의 수관(Tree canopy)이 차지하는 비율로 0~1의 값을 갖는다. Albedo factor는 0~1 사이의 값으로 각각의 토지이용 유형별 태양복사 비율을 나타낸다(Phelan et al, 2015). Evapotranspiration index (ETI)는 정규화된 Potential evapotranspiration 값으로 각각의 픽셀

별로 식생이나 토양 또는 인공포장된 지표면으로부터의 증발산 값을 나타낸다. 이 공식에서 $ET0$ 는 사용자가 입력하게 되는 Reference evapotranspiration, Kc 는 토지이용유형별 Crop coefficient, 그리고 ET_{max} 는 연구대상지 내 $ET0$ 래스터 최대값을 의미한다. CCI 공식에서 요인별 가중치는 모델에서 제시하는 기본값을 사용하였다(Phelan et al, 2015). 이 경우 연구대상지의 실측경험값 또는 모델 민감도 측정을 목적으로 사용자가 입력할 수도 있다.

Urban Heat Mitigation Index (HMI)는 규모 20,000m² (2ha) 이상 대규모 녹지가 대상지 내에 미치는 냉각효과를 나타낸다(McDonald et al, 2016; Zardo et al, 2017). 만일 대상지 내에 대규모 녹지가 입지하고 있지 않다면 HMI 는 CCI 와 동일한 값을 가지게 된다. 반면 지역 내 대규모 녹지가 입지하게 된다면 대상지 내 모든 픽셀의 CCI 값은 그 대규모 녹지로부터의 거리 반비례 가중치 평균값의 영향을 받게 된다. 평균기온은 토지이용 시나리오 상호 열감소량 비교를 위해 사용된다. InVest Urban Cooling Model은 연구대상지 평균온도 감소값 계산을 위해서 해당 지역의 Urban Heat Index (UHI) magnitude와 Urban Heat Index Maximum ($UHImax$) 값을 사용한다. 해당 자료는 Annual, Seasonal, Daytime, 그리고 Nighttime 기준별로 자료수집이 가능하며 Global Surface UHI Explorer (<https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap>)에서 수집이 가능하다. 대기 혼합현상으로 인해 연구대상지 내 계산되는 픽셀별 온도 값들은 인접한 주변 다른 픽셀공간들로 확산되어 퍼져가므로 InVest Urban Cooling Model에서는 Gaussian function with kernel radius를 이용하여 계산되는 $T_{air, nomix}$ 로부터 Actual air temperature with air mixing (T_{air})를 계산한다. 픽셀별 Air temperature without air mixing ($T_{air, nomix}$)는 아래 공식으로 산출되는데 $T_{air, ref}$ 는 해당 지역의 rural reference temperature를 나타내며 $UHImax$ 는 해당도시 UHI 효과의 최대강도 값을 의미하는데 이는 해당 도시에서 관찰되는 maximum temperature와 $T_{air, ref}$ 값의 차이를 의미한다.

$$T_{air_{nomis}, i} = T_{air_{ref}} + (1 - HM_i) \cdot UHI_{max}$$

2. 입력데이터 및 토지이용 시나리오

InVest 모델 운용 시 요구되는 필수 입력자료는 크게 Biophysical table, 입력변수, 공간자료로 구분된다. Biophysical table은 각 토지이용 유형별 shade, Kc, Albedo, Green area relation, Building intensity 값을 가지고 있다(Table 1). 입력변수는 Maximum cooling distance, Reference air temperature, UHI effect, Air blending distance로 이루어진다(Table 2). 공간자료는 Evapotranspiration raster, Area of Interest shp, Land use scenario raster이다(Figure 1).

토지이용 시나리오는 2010년대 말 대분류 토지피복도를 현재 상태를 나타내는 시나리오 #1로 설정하였다. 시나리오 #2는 지역 내 오픈스페이스 증가를

모의하기 위하여 임의의 1,000ha 크기의 기존 시가화 토지이용 지역을 오픈스페이스를 의미하는 산림 토지이용으로 전환하였다. 이때, 도심 내 오픈스페이스 위치분배가 도시 열저감에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 증가되는 오픈스페이스를 도심부 중심에 일정한 간격으로 배치하였다. 시나리오 #3은 시나리오 #2와 동일한 규모의 오픈스페이스를 증가시키되 기존의 자연녹지지역이 입지하는 도심지 외곽에서부터 도심지 안으로 오픈스페이스를 증가시키는 시나리오를 작성하였다(Figure 2).

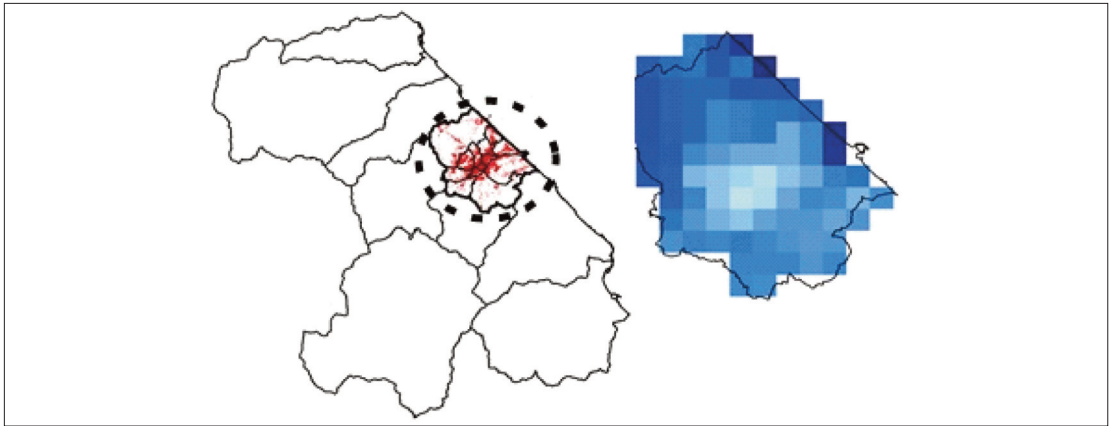
도시 열저감을 위한 토지이용 위치분배 관점에서 볼 때 시나리오 #2는 열환경 완화의 공간요소인 산림 녹지를 시가지 중심에 균일하게 분산배치하는 토지이용 전략을 의미하며, 시나리오 #3은 산림녹지를 도시 외곽에서부터 중점배치함으로써 도시외곽의 파편화된 산림 또는 소규모 산림을 군집화된 산림 또는 대

Table 1. Biophysical table parameters

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

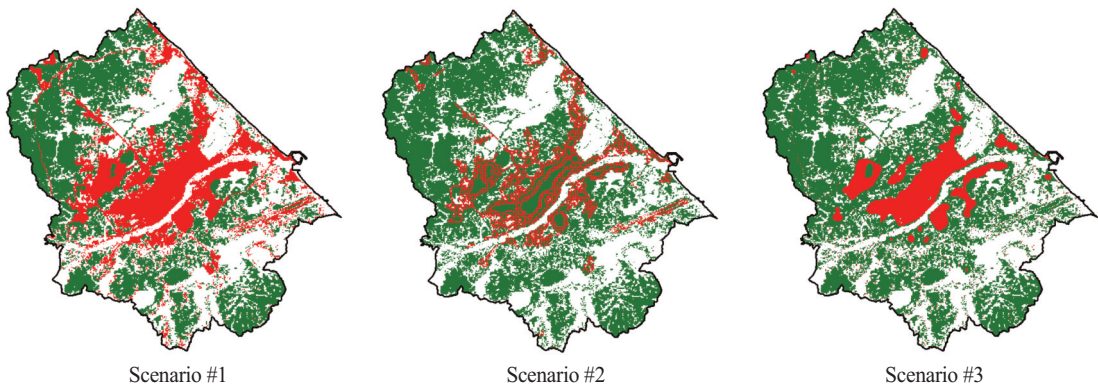
Table 2. InVest model parameters

Parameter	Description and input value
Maximum cooling distance	Distance over which green areas larger than 20,000m ² (2ha) have a cooling effect (Input: Model recommended value 450m)
Reference air temperature	Air temperature in a rural reference area where the urban heat island effect is not observed (Input: Average of the highest air temperatures b/w 1991 & 2020, 28.6°C, https://www.gn.go.kr/www/contents.do?key=4847)
UHI effect	The magnitude of the urban heat island effect, i.e. the difference between the rural reference temperature and the max. temperature observed in the city (Input: Summer daytime UHI 3.17°C in 2018)
Air blending distance	Radius over which to average air temperatures to account for air mixing (Input: Model recommended 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	USGS Monthly Actual Evapotranspiration (ET) map for the City of Gangneung (Input: Data for the July 2018 to fit the UHI data, https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/460)



Note: The dotted circle indicate the study area in the City of Gangneung (Left). Some of areas do not have USGS evapotranspiration data and dark rasters indicate high values (Right).

Figure 1. The boundary of study area (Left) and evapotranspiration map (High: 161-Low: 1).



Note: Developed areas are concentrated in the central area of the study site. Forested land uses are distributed throughout the study area.

Figure 2. Land use scenarios.

규모 산림형태로 조성하게 되는 토지이용 전략을 의미한다. 시가지로부터 산림녹지로의 토지이용 전환은 연구대상지 전 지역에 걸쳐서 1회 50ha씩 20회로 총 1,000ha의 산림녹지가 전환되었다. 이때 시나리오 #2는 도시 중심부에서부터, 시나리오 #3은 도시 외곽에서부터 토지이용이 전환되도록 설정하였다. 이와 같은 산림의 단위증가 면적과 횟수는 연구대상지 내 산림지역이 가급적 균일하게 배치할 수 있도록 InVEST 모형의 sub-function 중 하나인 Proximity-based scenario generator 모델을 이용하여 연산하여 설정하였다.

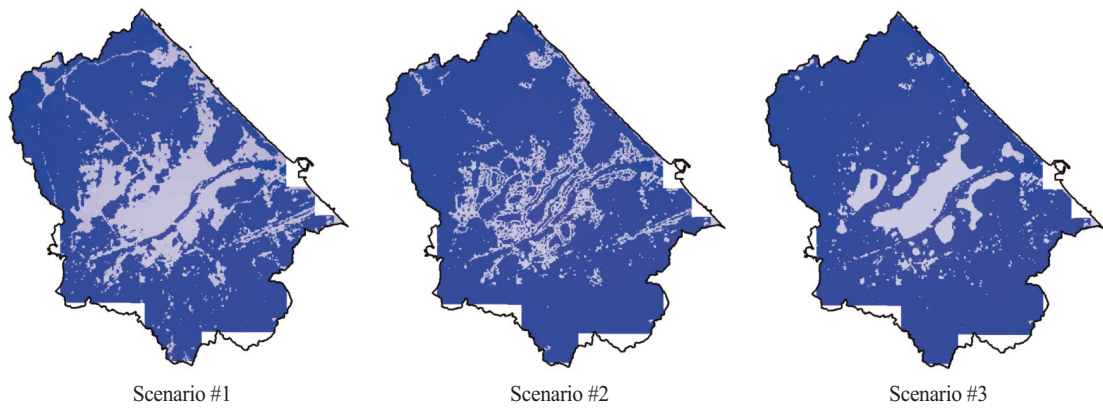
본 연구에서는 환경부 공간환경정보서비스(<https://egis.me.go.kr/intro/land.do>)에서 제공하는 2010년대말 대분류 토지피복도를 사용하였는데 해당 자료는 2018년 제작되었으며 30m 해상도로 제작시기는 2019년이다. 토지분류는 시가지건조지역, 농업지역, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역으로 구분되어 있으며 InVEST 모형에서 입력자료로 입력된 공간 및 속성 자료는 Biophysical table 토지이용 분류에 맞추어 작성하였으며 Spatial Reference는 Korea 2000 Central Belt 2010 (m)로 적용하였다.

III. 분석결과

본 연구에서 열 현상 지표로 설정된 냉각용량 지수(Cooling capacity index, CCI), 열 저감 지수(Heat mitigation index, HMI), 평균온도감소값(Average temperature reduction value, °C)에 따르면 오픈스페이스 위치분배는 지역 내 열 저감 현상에 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 먼저 CC의 경우 전체적으로 오픈스페이스 및 산림 토지이용에서 높은 냉각용량 지수값을 보이고 있는데 연구대상지 전체 평균값은 시나리오 #1은 0.55, 시나리오 #2는 0.63, 시나리오 #3은 0.64의 값을 보인다(Figure 3). 즉 시나리오 #3은 시나리오 #2에 비해 0.01 높은 평균 냉각용

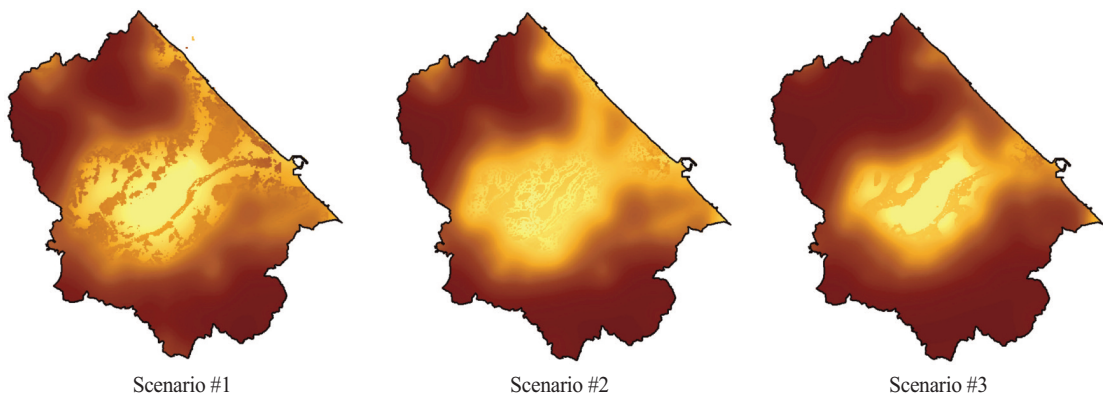
량지수 값을 보인다.

HMI 또한 오픈스페이스 및 산림 토지이용에서 높은 열저감 현상을 관찰할 수 있다(Figure 4). 마지막으로 연구대상지 내 평균 열저감은 시나리오 #2에서 0.33°C, 시나리오 #3에서 0.38로 나타나고 있어 시나리오 #3이 열저감에 보다 긍정적 효과를 보이고 있다. 즉, 위치분배관점에서 오픈스페이스를 증가시키되 기존의 자연녹지지역이 입지하는 도심지 외곽에서부터 도심지 안으로 오픈스페이스를 증가시키는 토지이용 방식에서 가장 높은 열저감 효과를 보이고 있다(Table 3). 이는 대규모 산림 또는 군집화된 산림이 갖는 지역 내 대기 열저감 효과로 추정할 수 있는데 실제 토지이용 시나리오의 군집화 특성을 살펴보면



Note: Dark areas indicate high values.

Figure 3. Cooling capacity values (High 0.81 - Low 0.05)



Note: Dark areas indicate high values.

Figure 4. Heat mitigation index (High 0.99 - Low 0.05).

Table 3. Average CC value & average temperature reduction

Major parameter	Scenario #1	Scenario #2	Scenario #3
Average CC value	0.55	0.63	0.64
Average temperature reduction (°C)	-	0.33	0.38

Table 4. Morphological spatial pattern of the land use scenarios

Scenario	Forest land uses (km ²)			Other uses (km ²)	Total (km ²)
	Contiguos	Non-contiguous	Total	Total	
#1	310.05	89.14	399.19	640.81	1040.00
#2	362.52	171.98	534.49	505.51	1040.00
#3	398.98	135.52	534.49	505.51	1040.00

시나리오 #3에서 산림의 군집화 현상이 다른 시나리오에 비해 높게 나타나고 있다(Table 4).

토지이용 시나리오의 형태학적 해석은 형태학적 공간패턴분석을 통해 살펴볼 수 있는데 형태학적 공간패턴분석(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)은 공간 데이터 또는 이미지 데이터의 형태학적 패턴을 살펴보기 위해 사용되는 방법이다. MSPA는 이웃(Neighbor)을 규정하는 연결성 법칙(Connectivity rule) 및 유효경계 폭(Effective edge width)을 규정하는 변수값에 의해 정의되는 군집지역(Core area) 산정으로부터 시작된다(Soille and Vogt 2009; Wickham et al. 2010). MSPA 분석에 따르면 인접 및 군집형태의 산림 및 생태서식지 면적은 시나리오 #1에서 310.05km², 시나리오 #2에서 362.52km², 시나리오 #3에서 398.98km²로 시나리오 #3에서 가장 크게 증가한 것으로 나타나고 있다.

IV. 결론

가용한 토지자원 내에서 위치 및 분배 최적화를 통한 토지이용의 효율성 증대는 토지이용계획의 주요 논의주제이다. 국내의 경우 수도권 일대 폭염관리 관점에서 볼 때 비오톱 또는 도시산림 등 오픈스페이스 공간확보의 위치분배 전략은 매우 중요하다. 이러한 관점에서 본 연구는 일부 지역을 사례로 진행되었다는 점에서 그 신뢰도의 한계를 보이거나 도시 열저감을 위한 토지이용계획의 필요성을 보여주는 연구라는 점

에서 큰 의의가 있다.

본 연구에서는 InVest Urban Cooling Model을 이용하여 강릉시 주요 도심지역을 대상으로 오픈스페이스 위치분배에 따른 도시 열저감지수 효과를 분석하였다. 토지이용 시나리오는 환경부에서 제공하는 2010년대 말 대부분 토지피복도를 시나리오 #1로 설정하였다. 시나리오 #2와 #3은 시나리오 #1에 비해 1,000ha 크기의 시가지 토지이용 감소와 동시에 오픈스페이스로의 토지이용 변화를 적용하였다. 이와 더불어서 시나리오 #2는 증가되는 오픈스페이스를 도심부 중심에 일정한 간격으로 배치하였고, 시나리오 #3에서는 기존의 자연녹지지역이 위치하는 도심지 외곽에서부터 도심지 안으로 오픈스페이스를 증가시키는 시나리오를 작성하여 궁극적으로 도시외곽의 파편화된 산림 또는 소규모 산림을 군집화된 산림 또는 대규모 산림으로 조성하는 토지이용계획을 작성하여 활용하였다. 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 시나리오 #3 (CC=0.64)은 시나리오 #2 (CC=0.63)에 비해 0.01 큰 평균 냉각용량지수(Average cooling capacity index, CC) 값을 보인다. 둘째, 연구대상지 내 평균 열저감은 시나리오 #3 (0.38°C)에서 시나리오 #2 (0.33°C) 보다 0.05°C 낮은 대기온도 저감이 관찰된다.

즉, 위치분배관점에서 오픈스페이스를 증가시키되 기존의 자연녹지지역이 입지하는 도심지 외곽에서부터 도심지 안으로 오픈스페이스를 증가시키는 토지이용 방식에서 가장 높은 열저감 효과를 보인다는 것

이며, 이는 대규모 산림 또는 군집화된 산림이 갖는 지역 내 대기 열저감 효과로 추정할 수 있다. 비록 본 연구가 단일 사례연구로의 한계를 보이거나 본 연구 결과를 고려해 보면 오픈스페이스를 통한 도심 내 대기 열저감을 계획한다면 소규모로 여러 지역에 조성하기 보다는 몇 개로 조성하더라도 가급적 큰 규모로 조성하는 것이 더 효과적일 수 있다는 토지이용계획으로의 정책적 함의를 가지고 있다.

본 연구에서 사용된 InVest Urban Cooling Model은 모델의 단순일반화 과정으로 인해 다음의 주요 한계를 가진다. 먼저 CC와 관련하여 본 연구에서는 열저감 효과를 계산하는데 사용되는 자료 값을 InVest model database website에서 제공하는 자료를 사용하였는데 해당 자료는 매우 제한된 수의 사례연구를 통해 제공되었기에 그 신뢰도가 높지 않다(Zardo et al. 2017). 따라서 모델 결과의 신뢰도 향상을 위해서는 연구대상지에 대한 본 모델의 Cooling effects 주요 변수들의 민감도 테스트가 필요하나 본 연구에서는 모델의 민감도와 보정·검증과정을 수행하지는 못하였으며 이는 향후 연구에서 보완하여 추진할 필요가 있다. 본 모델의 계산과정에서 언급되었던 대규모 녹지공간(2ha)의 효과와 air mixing 관련 변수값 또한 해외 일부 지역의 자료 분석을 바탕으로 진행되었다는 점에서 결과 신뢰도의 한계를 보인다. 따라서 본 연구에서 제시하는 대기 온도값의 해석은 절대값으로 이해하기보다는 오픈스페이스 위치분배에 따른 도시 열저감 지수의 상대적 지수값으로 해석하는 것이 바람직할 것이다.

사사

본 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2020S1A3A2A01095064)

References

- Antrop M. 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67(1-4): 9-26.
- Antrop M. 2000. Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecology* 15: 257-270.
- Bartesaghi 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. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.008>.
- Carsjens GJ, 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 LD, Messing I, Zhang SR, Fu BJ, 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 HS, Joung YJ, Choi MJ. 2014. Effects of the urban spatial characteristics on urban heat island. *Korea Environmental Policy and Administration* 22(2): 27-43. [Korean Literature]
- Chen B, Chen G. 2006. Ecological footprint accounting based on emergy: a case study of the Chinese society. *Ecological Modeling* 198: 101-114.
- Deilami K, Kamruzzaman M, Liu Y. 2018. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 67: 30-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
- Jo YA. 2009. Empirical study on the relationship between compact city and transportation energy consumption: the case of 7 metropolitan cities. *Korean Society and*
- Antrop M. 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape*

- Public Administration 19(4): 113-132. [Korean Literature]
- Kim HC, Ahn KY. 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 SJ. 2020. Exploratory analysis for the concentration of PM₁₀ air particulates and the morphological pattern of greeninfra: the case of Gyeonggi-do. *GRI Review* 22(4): 25-40. [Korean Literature]
- Kunapo J, Fletcher TD, Ladson AR, Cunningham L, Burns MJ. 2018. A spatially explicit framework for climate adaptation. *Urban Water Journal* 15(2): 159-166. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1424216>
- Lee YJ, Ham JS, Hwang SY, Choi J. 2020. Analysis of the relationship between fine dust emissions and land cover types in Gyeonggi-do. *Journal of KARG* 26(3): 185-195. [Korean Literature]
- McDonald RI, 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.
- Nam KC, Kim HS, Son MS. 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 PE, Kaloush K, Miner M, Golden J, Phelan B, Iii HS, Taylor RA. 2015. Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 285-309. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Soille P, Vogt P. 2009. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters* 30: 456-459.
- Yin RS, Xiang Q, Xu JT, Deng XZ. 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.
- Wickham J, Riitters K, Wade T, Vogt P. 2010. A national assessment of GI and change for the conterminous United States using morphological image processing. *Landscape and Urban Planning* 94: 186-195.
- Zardo L, Geneletti D, Prez-soba M, Eupen M Van. 2017. Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem Services* 26: 225-235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.016>
- Zawadzka JE, Harris JA, Corstanje R. 2021. Assessment of heat mitigation capacity of urban greenspaces with the use of InVEST urban cooling model, verified with day-time land surface temperature data. *Landscape and Urban Planning* 214: 104163. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104163>