

## 도시 녹지 경관구조가 도시활력에 미치는 영향 분석

- 서울시를 대상으로 -

Effects of Urban Green Space Landscape Structure on Urban Vitality  
- A Case Study of Seoul -

정승민\*, 박유진\*\*, 이상우\*\*\*

\*건국대학교 대학원 산림조경학과 석사과정, \*\*건국대학교 산림조경학과 박사후연구원, \*\*\*건국대학교 산림조경학과 교수

Chung, Seungmin\*, Park, Yu-Jin\*\*, Lee, Sang-Woo\*\*\*

\*Master's Student, Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University

\*\*Postdoctoral Researcher, Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University

\*\*\*Professor, Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University

Received: November 10, 2025

Revised: December 8, 2025

Accepted: December 24, 2025

3인인명 심사필

Corresponding author :

Sang-Woo Lee

Professor, Department of

Forestry and Landscape

Architecture, Konkuk University,

Seoul 05029, Korea

Tel.: +82-2-450-4120

E-mail: swl7311@konkuk.ac.kr

### 국문초록

도시활력은 도시의 활동성과 사회적 상호작용을 반영하는 핵심 지표이며 지속가능한 도시형성의 중요한 요소이다. 도시 녹지는 도시활력을 유도하는 주요 요인으로 알려져 있으나 고밀도로 개발된 도시에서는 녹지의 양적 확충에 한계가 있어 공간적 배치와 구조에 대한 접근이 필요하다. 이에 본 연구는 서울시를 대상으로 행정동 단위에서 녹지의 경관구조가 도시활력에 미치는 영향을 분석하고 도시활력 증진을 위한 녹지의 공간구성 방향을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서는 선형회귀분석(LM)과 일반화 가법모형(GAM), 그리고 지역적 차이를 고려하기 위해 지리적 가중회귀모형(GWR)을 적용하여 녹지 경관구조 특성과 함께 사회경제적 요인, 접근성 변수와 도시활력 간의 관계를 분석하였다. 도시활력은 활동성을 반영하는 야외활동 인구와 상업·문화·서비스 등 도시의 기능적 분포를 나타내는 POI 데이터를 활용해 정량화하였다. 녹지의 효과는 면적뿐 아니라 공간적 배치와 연결성에 따라 접근성과 이용가능성이 달라질 수 있음에 따라 본 연구에서는 PLAND, PD, LSI, ENN\_MN, SPLIT 지표로 녹지의 경관구조 특성을 도출하였다. 분석 결과, 녹지 면적은 도시활력에 음의 영향을 보인 반면 패치밀도, 분절도, 패치 간 거리 등의 지표는 도시활력을 높이는 유의한 비선형적인 영향을 나타냈다. 또한 변수들의 영향은 지역별로 상이하게 나타나 도시활력의 공간적 불균질성이 확인되었다. 이러한 결과는 단순한 녹지 면적 확충보다 분산형 녹지 배치와 지역별 도시환경 특성을 고려한 공간계획이 도시활력 증진에 보다 효과적임을 시사한다. 본 연구는 공원녹지 기본계획 및 도시기본계획 수립 시 녹지의 질적·공간적 구성 전략을 제시하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**주제어:** 야외활동 인구 수, 일반화 가법 모형, 분산형 녹지, 공간적 이질성

### ABSTRACT

Urban vitality is a key indicator of urban activity and social interaction and is an important element of sustainable urban vitality. Urban green spaces are widely recognized as major factors that promote urban vitality. However, in highly urbanized cities, opportunities to increase the quantity of green space are limited. Consequently, attention has been directed toward the spatial arrangement and structural characteristics of existing green spaces. This study aims to analyze the effects of green space landscape structure on urban vitality at the administrative-dong level in Seoul and to propose spatial planning directions to enhance urban vitality. In this study, linear regression model (LM), generalized additive models (GAM), and geographically weighted regression (GWR) were employed to examine the relationships between urban vitality and green space landscape structure. Socioeconomic and accessibility-related variables were additionally included to account for regional differences. Urban vitality was quantified using outdoor activity population data representing the urban activity intensity and Point of Interest (POI) data reflecting the spatial distribution of urban functions, such as commercial, cultural, and service facilities. Since the effects of green spaces vary not only by area but also by spatial arrangement and connectivity, which influence accessibility and usability, green space landscape structure was characterized using PLAND, PD, LSI, ENN\_MN, and SPLIT. The results indicate that green space area shows a negative relationship with urban vitality, whereas patch density,

fragmentation, and Euclidean patch distance exhibit significant nonlinear positive effects. In addition, the impact of these variables varies across regions, confirming spatial heterogeneity in urban vitality. These findings suggest that dispersed green space layouts and spatial planning strategies that consider local urban environmental characteristics are more effective for enhancing urban vitality than simply increasing the green space area. This study provides foundational evidence for developing qualitative and spatial strategies for green space planning in urban master plans and park and green space plans.

**Keywords:** Outdoor Population, GAM, Distributed Green Space, Spatial Heterogeneity

## 1. 서론

도시활력은 특정 장소가 다양한 사람과 활동을 끌어들이는 능력을 의미하며 도시의 역동성, 사회적 교류, 문화적 다양성 그리고 거주 가능성과 같은 도시 생활의 여러 측면을 포괄하는 개념이다(Jacobs, 1961; Chen et al., 2023). 또한 도시 내 시민들의 활동성과 상호작용이 지속적으로 이루어지는 상태를 의미하기도 하며(Jacobs, 1961; Lu et al., 2019; 조월과 이수기, 2021; Xia et al., 2022; 오지운과 정주철, 2025) 도시의 생동감뿐만 아니라 회복력과 지속가능성을 나타내는 핵심적인 개념이다(Liu et al., 2022).

그러나 급속한 도시화가 진행됨에 따라 주거밀도의 지속적인 증가와 더불어 공간적 불평등, 도시 열섬현상, 녹지 공간 부족 등 복합적인 도시문제가 심화되고 있다. 이러한 도시문제는 도시민에게 잠재적인 스트레스 요인과 정신적 건강 위해요소로 작용하는 것으로 지적되고 있으며 삶의 질 저하와 도시활력의 약화로 이어질 수 있다(임은정, 2021). 이에 따라 도시민의 삶의 질과 도시의 활력을 증진시킬 수 있는 공간적·환경적 대응 방안에 대한 요구가 커지고 있으며 녹지공간의 확보와 체계적인 관리는 도시문제를 완화하기 위한 중요한 접근 중 하나로 제시되고 있다(Zhang et al., 2020).

도시 내 녹지는 도시환경의 질을 개선하고(Kabisch et al., 2015), 열섬 현상을 완화하며(Li et al., 2022), 생태계서비스를 제공하는 등(Hegetschweiler et al., 2017; Kičić et al., 2025) 다양한 환경적 기능을 수행한다. 또한, 도시민 간의 교류를 증진시키고(Wu et al., 2024; Alshehri et al., 2025), 삶의 질을 향상시키며(Kaplan, 1985; Lee et al., 2008; Biedenweg et al., 2017; Hong et al., 2019), 신체적·정신적 건강 증진에 기여하는 등(Alcock et al., 2014) 사회경제적 측면에서도 중요한 역할을 담당한다. 즉, 도시녹지는 도시민의 삶의 질을 높이는 동시에 일상적 활동성과 사회적 상호작용을 매개하는 도시활력의 핵심 기반 요소로 기능한다(Haaland et al., 2015).

한편, 도시활력을 정량적으로 평가하기 위해 최근에는 도시 내 활동성과 공간 자원을 반영하는 다양한 데이터를 활용한 시도가 활발히 이루어지고 있다. 구체적으로, POI(Point of Interest) 데이터, 주택가격, 인구 변화, 보행자 수, 야간 조도, SNS 리뷰 수 등 다양한 변수를 활용한 도시활력의 계량적 평가 연구가 진행되었으며(Sulis et al., 2018; Chen et al., 2021; 2023; Kamata et al., 2023), 도시환경에 대한 인식과 경험 등 인지적 요인을 포함한 접근방법도 제시되고 있다(Meng and Xin, 2019; Li et al., 2022; Xia et al., 2022). 특히 국내에서는 빅데이터 활용이 증가함에 따라 GPS 기반 이동 데이터나 서울시에서 제공하는 통신 기반 생활인구 데이터를 활용한 분석이 활발히 진행되고 있다(조월과 이수기, 2021; 카마타 요코와 남광우, 2023).

그러나 통신사 생활인구 기반 자료는 특정 지역에 존재하는 전체 인구를 포함하므로 실내와 실외의 활동을 구분하지 못해 도시활력의 핵심 요소인 가로 공간 및 거리에서의 실제 활동 수준을 반영하지 못한다는 한계가 있다(서울시, 2018). 또한, 국내외 선행연구들은 주로 소득 수준, 토지이용 혼합도, 교통 접근성, 보행 네트워크 밀도 등 도시의 물리적 요소를 중심으로 도시활력을 분석해 왔으며(Montgomery, 1998; Sung and Lee, 2015; Mouratidis and Poortinga, 2020; 조월과 이수기, 2021; Dogan and Lee, 2024), 녹지와 관련된 변수는 대부분 단순 면적 지표로 제한적으로 고려되어 왔다(Meng and Xing, 2019; Li et al., 2022; Jiang et al., 2024). 이러한 접근은 녹지가 도시활력에 부정적인 영향을 미친다는 결과로 이어진 경우가 많았으며(Meng and Xing, 2019; Li et al., 2022; Jiang et al., 2024), 이는 녹지의 양적 확충만으로는 도시활력의 증진이 어렵다는 것을 시사한다.

서울시는 인구밀도가 높은 대도시 중 하나로 과밀한 토지이용과 복합적인 도시 기능이 집약된 공간적 구조를 지니고 있다. 동시에 지역 간 녹지 분포의 불균형이 크고 생활권 수준에서 접근성이 낮아 녹지의 긍정적 효과가 공간적으로 제한되는 한계가 보인다. 이러한 맥락에서, 녹지의 단순한 면적 확대보다는 녹지의 공간적 구조와 배치 특성을 고려한 계획적 접근이 필요하며 도시활력 증진을 위한 공간구조적 관점에서의 녹지 계획이 필요하다.

이에 본 연구에서는 녹지의 총량이 아닌 형태적 복잡성, 연결성, 분절화 등 구조적 특성을 고려하여 녹지의 경관구조가 도시활력에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, (1) 서울시 행정동 단위에서 공간 데이터를 기반으로 POI와 야외활동 인구 자료를 활용하여 도시활력 지표를 정량화하였고, (2) 서울시 녹지구조를 경관지수를 활용해 계량적으로 평가하였다. 이러한 결과를 바탕으로 (3) 녹지 경관구조, 사회경제적 요인, 접근성 변수를 독립변수로 설정하여 도시활력 지표에 대한 선형모델(LM), 비선형모델(GAM) 모델을 추정하여 도시활력에 대한 효과를 분석하였고 지리적 가중회귀모형(GWR)으로 지역 간 차이를 확인하였다. 연구의 결과는 공원녹지기본계획, 도시기본계획 등 도시 계획 및 정책 수립 과정에서 적용 가능한 행정동 단위의 기초자료를 제시함으로써 녹지공간의 효율적 활용전략 수립과 도시공간의 활력 증진을 위한 정책 및 사업에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 재료 및 연구방법

### 2.1 연구대상 및 분석단위

본 연구에서는 서울시를 대상으로 도시활력 지표와 녹지 경관구조를 계량적으로 평가하고 녹지 경관구조 특성이 도시활력에 미치는 영향을 분석하였다. 2023년 기준 서울시의 1인당 공원면적은 자연공원을 포함해 18.04m<sup>2</sup>로 이는 기존 연구에서 보고된 베이징(15.7m<sup>2</sup>), 싱가포르(18.0m<sup>2</sup>), 뉴욕(14.7m<sup>2</sup>) 등 주요 대도시와 유사한 수준으로 보고된 바 있다(서울연구원, 2014; 서울시, 2023). 그러나 서울시의 주요 녹지는 도심보다는 외곽 산지에 집중되어 있어 일상적으로 이용 가능한 도심 내 녹지가 부족하며 녹지의 공간적 분포가 불균형한 것으로 나타났다(하림 등, 2021). 특히, 서울시는 녹지의 공간적 불균형 완화와 생활권 녹지 확충을 위해 1인당 공원면적을 높이기 위한 계획을 수립하고 있으며(서울시, 2023) 도시 재생 정책을 통해 도시 활력 제고를 추진하고 있다. 이러한 정책적 노력과 연구 결과의 실질적 활용 가능성을 고려하여 본 연구의 대상지로 서울시를 선정하였다.

본 연구에서는 25개 자치구의 425개의 행정동을 분석 단위로 설정하였고(그림 1 참조), 시간적 범위는 공공데이터 가용성과 자료 일관성을 고려하여 2023년 1월 1일부터 2023년 12월 31일까지의 1년으로 한정하였다.

### 2.2 도시활력 지표

본 연구에서 도시활력은 도시 공간의 실제 활동성을 의미하는 행정동당 야외활동 인구밀도와 도시의 주요 기능적 거점 역할을 하는 POI(Point of Interest) 밀도를 기반으로 산정하였다. 행정동당 야외활동 인구수는 생활인구



그림 1. 연구 대상지의 동, 구 경계, 녹지 및 주요 산의 분포

범례: ▲ 주요 산    ■ 녹지지역    ■ 수역 (한강)    □ 동 경계    □ 구 경계

자료를 통해 추정할 수 있으며 생활인구 자료는 「서울 열린데이터광장」 2023년 통신 기반 자료를 활용하였다. 이는 일정 시점에서 특정 공간 내에 존재하는 전체 인구를 의미하며 통신사 기지국 신호를 기반으로 집계된 인구 분포를 반영한다(서울시, 2018). 그러나 생활인구에는 건물 내부 실내인구와 외부 활동 인구가 모두 포함되므로 도시 공간의 실제 활동 수준을 직접 반영하기 어려우며, 건물의 인구 분포에 대한 자료는 구득이 어렵고 건물의 용도나 규모에 따라 밀도 특성이 상이하다(서용훈과 이진학, 2023). 이에 대시메트릭(Dasymetric Mapping) 기법과 같은 대안적 접근으로 건물 내 실내인구수를 추정하였으며 건축물 용도별 연면적과 생활인구 간의 통계적 관계를 통해 실내인구를 간접적으로 추정하였다.

건축물 용도별 연면적 자료는 국토교통부의 2024년도 「건축물대장」을 기반으로 하였다. 실내인구를 추정하기 위해, 생활인구를 종속변수로 설정하고 건축물의 용도별 연면적을 독립변수로 한 다중선형회귀분석을 수행하였다. 건축물의 용도는 주거, 상업·공공, 업무·산업 세 가지 범주로 구분하였다. 이 과정에서 산출된 용도별 회귀계수를 적용하여 식 1로 실내인구를 산정하였다(Lwin and Murayama, 2009; Tomas et al., 2016; Chen et al., 2021; 서용훈과 이진학, 2023; Manepong et al., 2024; Vergara, 2024). 회귀계수는 해당 건축물 용도의 단위면적당 인구 밀도 수준을 반영하는 가중치로, 각 건축물 용도 유형이 생활인구 분포에 미치는 상대적 영향력을 의미한다. 식 1에서  $IP_j$ 는 j 지역의 실내 인구 추정값,  $A_{ij}$ 는 j 지역 내 i 건물 유형의 연면적, 그리고  $\beta_i$ 는 i 건물 유형의 회귀계수를 의미한다.

$$IP_j = \sum_i A_{ij} \times \beta_i \tag{식 1}$$

인구수는 과대 혹은 과소 추정될 수 있어 총량 보존 특성을 만족하며 실제 생활인구 수와 일치시키기 위해 체적 보간 속성(pycnophylatic property) 방식에 따라 식 2의 식을 적용하여 선행연구와 같이 전체 생활인구를 기준으로 실내인구 값을 재조정하였다. 이러한 방법은 지역 간 인구의 실내외 분포 차이를 반영하기 위한 보정 기법으로, 기존 연구에서 활용된 공간 재분배(dasymetric mapping) 방식과 유사한 방법이다(이석준 등, 2014). 식 2에서  $AIP_j$ 는 조정된 j의 실내인구 추정값을 나타내고,  $TP_j$ 는 지역 j의 총 생활인구를 나타낸다.

$$AIP_j = IP_j \times \left( \frac{TP_j}{\sum_{j=1}^m IP_j} \right) \tag{식 2}$$

마지막으로, 식 3에서는 식 2 과정을 통해 추정된 실내인구를 제외한 나머지를  $OP_j$ 인 ‘야외 활동인구’로 정의하였다.

$$OP_j = TP_j - AIP_j \tag{식 3}$$

서울시 전체의 POI 밀도는 OpenStreetMap(Geofabrik)에서 제공하는 2024년도 10월 7일 시점의 데이터를 활용하여 계산하였다. POI는 음식점, 카페, 레스토랑, 교육시설, 문화시설 등 도시활력과 관련된 주요 기능적 시설들이 포함되어 있어 도시 공간 내 기능적인 분포를 나타내는 지표로 도시활력 수준을 설명하는 데 유용한 지표이다(Li et al., 2021). 구축된 POI 데이터는 총 116,766개이고, 행정동당 POI 수를 산출하기 위해 ArcGIS Pro 3.2.1을 이용하여 행정동 경계와 공간적으로 중첩시켜 행정동 단위로 집계하였다. 이후 행정동의 면적을 고려하여 집계된 POI 수를 면적으로 나눈 값을 POI 밀도로 산출하였다. 앞의 과정에서 산출한 야외활동 밀도와 POI 밀도를 각각 정규화한 후 두 지표를 동등 가중 합산하고 이를 100점 만점의 도시활력 지표로 환산하였다(Chen et al., 2023; Doan et al., 2025).

요약하면, 도시활력의 공간적 특성을 반영하기 위해, 건축물 용도별 연면적 정보를 기반으로 실내 인구를 보정한 생활인구 데이터를 활용하여 야외활동 수준을 추정하고 여기에 POI 데이터를 결합하여 도시 내 활력의 분포를 보다 입체적으로 분석하였다(그림 2 참조).

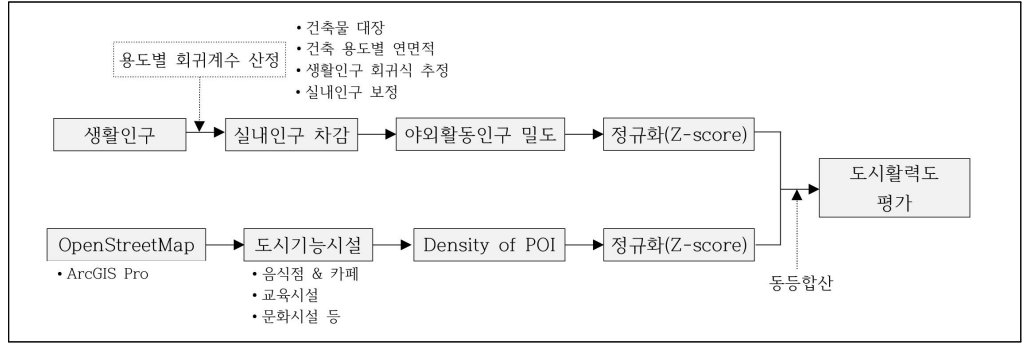


그림 2. 도시활력도 평가 개념적 흐름도

## 2.3 녹지의 경관구조 특성 및 사회경제적 특성

### 2.3.1 녹지의 경관구조

녹지의 경관구조 지표는 서울시 「공간환경정보 서비스」의 토지피복도(2023)를 활용하여 계산하였다. 본 연구에서 정의한 ‘녹지’는 범정녹지의 개념이 아닌 2023년 인공위성 영상을 기반으로 작성된 토지피복 자료의 실제 식생 피복지를 의미하며 행정구역상 공원구역이나 도시계획시설로 지정된 공원, 광장, 공개공지 여부와 관계없이 실제 녹지 피복이 존재하는 모든 지역을 의미한다. 이를 위하여 서울시 토지피복도 분류체계 중 산림지역에 해당하는 활엽수림, 침엽수림, 혼효림과 초지에 속하는 자연초지와 인공초지의 세분류 중 골프장과 묘지를 제외한 기타 초지를 녹지로 정의하였다. 해당 세분류 항목을 ArcGIS Pro 3.2.1을 이용해 추출하여 ‘녹지지역’ 주제도를 구축하고 이를 래스터 자료로 변환하였다. 이후 래스터화된 서울시 전체의 녹지지역 주제도와 행정동 경계 폴리곤을 중첩하여 행정동별 녹지지역의 래스터 자료를 생성하였다.

본 연구에서는 녹지의 경관구조를 행정동별 녹지의 총량, 분절화 수준, 형태의 복잡성, 공간적 분포와 녹지 패치 간의 거리 그리고 연속성 등의 5가지 특성으로 평가하였다. 이러한 녹지의 특성을 정량적으로 분석하기 위하여 FRAGSTATS 4.3의 PLAND(Proportion of the Landscape Occupied by Patch Type), PD(Patch Density), LSI(Landscape Shape Index), ENN\_MN(Euclidean Nearest-Neighbor Distance), SPLIT(Splitting Index) 지표를 사용하였다(표 1 참조). PLAND는 단위 공간에서(본 연구의 경우 행정동) 녹지가 차지하는 비율을 나타내며 PD는 단위 공간에서 녹지 패치의 개수를 나타내어 녹지가 여러 개로 이루어져 있는지 혹은 하나의 녹지로 되어 있는지를 평가하는 지수이다. SPLIT은 전체 경관 면적을 개별 녹지 패치의 면적 제곱 합으로 나눈 값으로 경관 전체의 파편화 수준을 반영하며 값이 클수록 경관이 세분화되어 소규모 패치가 많은 상태를 의미한다. ENN\_MN은 각 패치의 경계에서 가장 가까운 패치까지의 유클리드 거리를 계산하여 평균값을 산출한 지표로 값이 클수록 패치가 서로 멀리 떨어져 고립되어 있음을 나타낸다. LSI는 모든 녹지 패치의 경계선 길이를 면적 대비로 표준화한 값으로 면적이나 패치 수만으로 파악할 수 없는 녹지의 형태적 복잡성과 불규칙성을 평가하는 지수이다.

표 1. FRAGSTATS를 이용한 녹지공간의 경관구조 지표

지표	식	단위	정의
PLAND	$\left(\frac{a}{A}\right) \times 100$	%	전체 동 면적 대비 총 녹지 비율
PD	$\frac{N}{A} (10,000)(100)$	개수/100ha	전체 동 내 녹지 패치 수를 전체 동 면적(m <sup>2</sup> )으로 나눈 뒤, 10,000과 100을 곱하여 100ha로 환산한 값
LSI	$\frac{0.25}{\sqrt{A}}$	-	전체 동 경계와 해당 행정동 내에 포함된 모든 녹지 패치의 경계선 길이(m)를 합산한 값에 0.25(래스터 형식 조정)를 곱한 값
SPLIT	$\frac{A^2}{\sum a^2}$	-	전체 동 면적(m <sup>2</sup> )의 제곱을 녹지 패치의 면적(m <sup>2</sup> )의 제곱 합으로 나눈 값
ENN_MN	-	m	전체 동 내에서 가장 가까운 녹지 패치까지의 거리(m), 녹지 패치 가장자리 간 거리를 기반으로 셀 중심에서 셀 중심까지 계산한 값

A: 전체 동 면적(m<sup>2</sup>), a: 패치 면적(m<sup>2</sup>), N: 패치 개수

### 2.3.2 사회경제적 특성과 접근성 변수

기존 연구에 의하면 어느 지역의 도시활력에 영향을 미치는 요인은 사회경제적 특성과 접근성으로 크게 구분할 수 있다. 월평균 소득은 지역의 경제력 수준을 나타내며 경제력 활력은 도시 내 상업 활동과 소비 기반 활동성과 밀접한 연관이 있다(Lopes and Camanho, 2012; Chen et al., 2021; Jin et al., 2024). 한편 평균 연령은 도시 내 활동 주체의 특성을 나타내며 연령대가 높은 지역일수록 도시공간의 활용도가 증가하고 도시 활력도 수준이 높게 나타난다(Lopes and Camanho, 2012; Jin et al., 2024). 접근성 변수는 행정동 면적당 보행로의 총 연장과 대중교통 밀도로 측정하였다. 많은 연구에서 보행로는 도시 내 자발적인 활동을 유도하는 공간 인프라이며 우수한 보행 환경은 야외 활동성과 공간 이용을 촉진하는 것으로 보고하였다(Sung and Lee, 2015; Guo et al., 2024). 이에 본 연구에서는 선행연구에 기초하여 사회경제적 변수로는 지역의 경제 수준과 인구 구성을 반영하는 지표인 행정동당 월 평균 소득, 평균 연령과 접근성을 선정하였으며 접근성은 보행로 총 연장과 대중교통 밀도를 이용하여 측정하였다(표 2 참조). 추가적으로 도시화 수준을 통제하기 위해 인구밀도를 대리지표로 활용하였는데 서울시 특성상 인구 밀도는 외곽부보다 도시 중심에서 높은 밀도를 보이는 특성이 있어 인구 집중에 따른 도시화 수준을 반영할 수 있다. 인구수는 서울시 열린데이터 광장에서 행정동 단위의 주민등록 인구수를 구득하였으며 행정동 면적으로 나누어 인구밀도를 산출하였다.

### 2.4 선형 및 비선형모델 추정

본 연구에서는 도시활력과 독립변수 간의 관계를 분석하기 위해 선형모델, 비선형모델 그리고 지리적 가중회귀 모형을 순차적으로 적용하였다. 먼저, LM(Linear Regression Model)을 통해 변수 간의 평균적 선형관계를 파악하고, GAM(Generalized Additive Model)을 통해 녹지 경관지표와 도시활력 간의 비선형적 효과를 검증하였다. 이후 GAM의 잔차의 공간적 자기상관성을 고려하여 GWR(Geographically Weighted Regression)을 보조적으로 적용하여 녹지 경관구조의 영향이 공간적으로 어떻게 달라지는지를 추가적으로 분석하였다.

LM에서는 도시활력을 종속변수로 설정하고, 녹지 경관지표와 사회경제적 요인인 연령과 월평균 소득, 접근성 변수인 대중교통 밀도와 보행로 밀도를 독립변수로 포함하였다. 또한, 도시화 수준을 통제하기 위해 행정동별 인구밀도를 기준으로 고밀도 지역은 1, 저밀도 지역은 0으로 구분한 더미변수를 회귀모형에 포함하였다. 추정은 R-package에서 제공하는 lm()을 사용하였다. LM은 구조가 단순하여 해석이 용이한 장점이 있으나(Hwang et al., 2016; 박세린 등, 2022), 환경적 변수들은 많은 경우 비선형적 관계를 갖는 것으로 알려져 있다(Xia et al., 2022; Liu et al., 2025).

이러한 관점에서 비선형모델인 GAM 분석을 수행하였고, mgcv 패키지의 gam()함수를 이용해 모형을 추정하였다. GAM은 LM과 동일한 변수 구성을 유지하였으며 비선형 효과를 추정하기 위해 스무딩 함수를 적용하였다. 비선형모델 추정에서 독립변수들은 선형성과 비선형성을 판단하여 모델 추정해야 하는데, 본 연구에서는 edf. (Estimated Degrees of Freedom) = 1을 기준으로 하였다. 일반적으로 독립변수의 edf가 1에 가까울 경우 종속변수와 선형적 관계를 가지며, 1보다 클 경우 비선형을 가지는 것으로 해석한다(Hastie and Tibshirani, 1990; Wood, 2017).

모형 간 비교는 설명력(Adjusted R<sup>2</sup>)과 정보 기준(Akaike Information Criterion, AIC)을 기준으로 수행하였고, 높은 R<sup>2</sup>와 낮은 AIC 값을 보이는 모델이 현실을 보다 잘 반영하는 것으로 해석한다(Wood, 2017). 또한, 모형의 공간적 적합성을 검토하기 위하여 Moran's I 지수를 이용해 GAM 모형의 잔차에 대한 공간적 자기상관성을 검증하였다. 모델 추정을 위한 논리적 기초 선형모델은 식 4, 비선형 모델은 식 5와 같이 설정하였다.

$$y_{lm} = \alpha + \beta_1 \times \text{연령} + \beta_2 \times \text{월평균소득} + \beta_3 \times \text{대중교통밀도} + \beta_4 \times \text{보행로밀도} + \beta_5 \times \text{PLAND} + \beta_6 \times \text{PD} + \beta_7 \times \text{LSI} + \beta_8 \times \text{SPLIT} + \beta_9 \times \text{ENN\_MN} + \beta \times D_i + \varepsilon \tag{식 4}$$

표 2. 사회경제적 변수 및 접근성 지표

변수	설명	단위	출처
대중교통 밀도	행정동당 지하철역과 버스정류장 개수	개소/km <sup>2</sup>	공공데이터 포털
보행로 밀도	행정동 면적당 보행로 길이가 차지하는 비율	m/km <sup>2</sup>	OpenStreetMap, Geofabrik(2024.10.07. 접속)
월평균 소득	행정동당 월 평균 소득	만원	서울시 열린데이터 광장
평균 연령	행정동당 평균 연령	세	서울시 열린데이터 광장
인구 밀도	행정동당 인구수	명/km <sup>2</sup>	서울시 열린데이터 광장

$$y_{gam} = \alpha + s_1(\text{연령}) + s_2(\text{월평균소득}) + s_3(\text{대중교통밀도}) + s_4(\text{보행로밀도}) + s_5(\text{PLAND}) + s_6(\text{PD}) + s_7(\text{LSI}) + s_8(\text{SPLIT}) + s_9(\text{ENN\_MN}) + s(D_i) + \varepsilon \quad (\text{식 } 5)$$

$y_{lm}$  = 도시활력 선형모형(linear model of urban vitality),

$y_{gam}$  = 도시활력 비선형모형(non-linear model of urban vitality),

$\alpha$  = 상수,  $\varepsilon$  = 오차항(error term),  $s$  = smooth function,  $D_i$  = 더미변수( $i = 0$  또는 1)

그러나 GAM은 회귀계수가 공간적으로 일정하다는 가정을 전제로 하며 지역 간 이질성을 반영하기에는 한계를 가진다. 특히, 서울은 지역 간의 도시 구조와 기능의 편차가 크기 때문에 같은 녹지의 공간적 구조라도 지역적 맥락에 따라 도시활력에 미치는 영향이 상이할 가능성이 존재한다. 이에 공간적 이질성을 보완하고 모형의 공간적 적합성을 평가하기 위해 GWR 분석을 추가적으로 수행하였다. GWR은 각 관측지점을 중심으로 인접 지역에 가중치를 부여하여 국지적 회귀계수를 추정함으로써, 변수의 영향력이 공간적으로 일정하지 않다는 비정상성을 반영할 수 있다(Li et al., 2020). 본 연구에서는 ArcGIS Pro 3.2.1의 GWR을 이용하여 분석을 수행하였으며, GWR의 결과로는 산출된 지역별 회귀계수와 지역별 결정 계수( $R^2$ )를 주요 해석 지표로 활용하여 녹지 경관구조가 도시활력에 미치는 영향의 공간적 차이를 분석하였다.

### 3. 결과와 고찰

#### 3.1 기초통계량

도시활력, 녹지 경관구조, 사회경제적 변수의 기초통계량은 표 3과 같다. 서울시 행정동의 도시활력 점수는 최소 0.17에서 최대 76.08점까지 분포하였으며, 평균은 17.55점으로 나타났다. 전반적으로, 일부 행정동은 도시활력이 매우 낮은 수준이지만, 일부 행정동은 매우 커 지역 간 불균형이 두드러졌다.

녹지 경관구조 지표에 대한 기술통계 결과, PLAND, PD, LSI, SPLIT, ENN\_MN의 평균값은 각각 50.33, 142.92, 20.27, 4,720.60, 10.25로 나타났다. 서울시는 전체적으로 녹지 비율이 절반 수준이지만, 행정동마다 불균형하게 분포하며 많은 지역에서 녹지가 잘게 파편화되고 복잡한 형태로 존재한다(표 3 참조).

사회경제적 변수에서는 평균 연령은 44.56세로, 중장년층이 주를 이루고 있으며, 보행밀도는 평균 1km<sup>2</sup>당 약 5,432m이나 표준편차가 매우 커 지역 간 보행로 수준의 격차가 크게 나타났다. 월평균 소득은 평균 약 340만원이었으나 표준편차가 95만 원에 달해 지역 간 경제적 수준의 차이도 뚜렷하였다. 마지막으로 대중교통 밀도는 평균 28개소/km<sup>2</sup>, 최소 약 3개소/km<sup>2</sup>에서 최대 93개소/km<sup>2</sup>까지 지역별 교통 접근성의 차이가 나타났다.

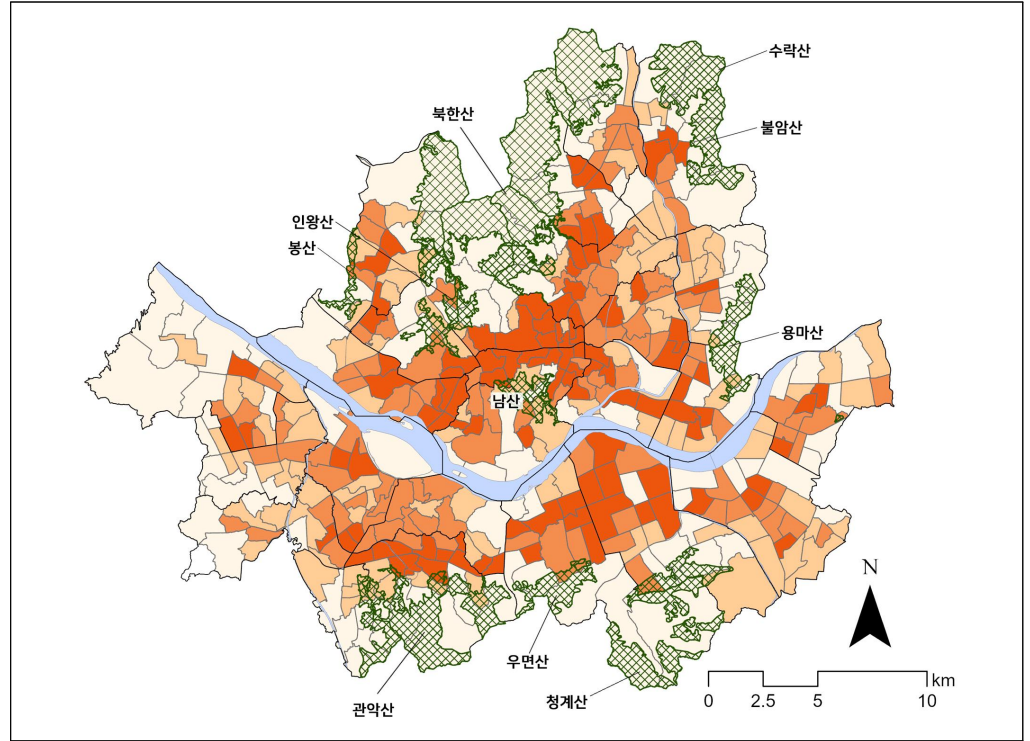
#### 3.2 서울시 도시활력, 녹지공간과 사회경제적 특성의 공간적 분포

##### 3.2.1 서울시 도시활력 분포

서울시 도시활력의 공간적 분포는 도심부와 외곽부 간 뚜렷한 차이를 나타냈다(그림 3 참조). 도심부, 특히 종로

표 3. 연구에 사용된 변수들의 기초 통계량

변수	최솟값	최댓값	평균	표준편차
도시활력	0.17	76.08	17.55	10.55
PLAND	0.46	85.78	50.33	18.04
PD	6.19	455.52	142.92	71.46
LSI	2	55.77	20.27	9.37
SPLIT	1.61	181,634.40	4,720.60	1,680.48
ENN_MN	3.54	56.39	10.25	6.89
연령	36	52.9	44.56	35.42
월평균 소득(만 원)	211.00	745.85	211.00	95.26
대중교통 밀도(개소/km <sup>2</sup> )	2.75	93.48	28.00	14.66
보행밀도(m/km <sup>2</sup> )	0	25,931.61	5,432.47	4,544.40



**그림 3. 서울시 행정동별 도시활력의 공간 분포**  
 범례: 0.17-9.97 점, 9.98-16.00 점, 16.01-23.06 점, 23.07-76.08 점  
 한강, 주요 녹지

구, 중구, 강남구 등의 행정동에서 상대적으로 높은 활력 수준이 나타났으며, 외곽부인 관악구, 은평구, 도봉구 등에서는 낮은 활력 수준이 확인되었다. 북한산, 불암산, 관악산 등 대규모 산림지역이 포함된 행정동은 전반적으로 낮은 도시활력을 보였다. 중간 수준의 활력 지역은 고효율과 저활력 지역 사이의 값으로, 서울시 전역에 고르게 분포하였으며, 특히 도심과 외곽의 경계부에서 상대적으로 많이 나타났다. 본 연구에서 나타난 도시활력의 공간적 분포는 기존의 서울시의 도시활력을 나타낸 기존 연구 결과(Lee and Kang, 2022; Dogan et al., 2024)와 대체로 일치하였다.

### 3.2.2 서울시 녹지 경관구조의 공간적 분포

서울시의 녹지의 공간적 구성을 분석한 결과 행정동별로 이질성을 보이며, 공간적 구성 방식에서도 뚜렷한 차이가 나타났다. 그림 4는 서울시 행정동 단위의 녹지 경관지표의 공간적 분포를 100%로 환산하여 4등급으로 제시한 것이다.

PLAND는 북한산, 불암산, 관악산 등 외곽 산지 지역에서 높게 나타난 반면, 도심부에서는 상대적으로 낮은 분포를 나타내었다. PD는 주로 한강 주변과 일부 도심부 지역에서 높아, 해당 지역에 소규모 녹지가 다수 분포하고 있음을 보여준다. LSI는 주요 산림지역인 북한산, 관악산 등에서 낮은 값을 보이지만 한강변과 영등포구와 강남구에서 높은 값으로 나타났다. 이는 산림지역에서는 비교적 녹지의 경계가 단순한 반면, 도심지역에서 녹지의 경계가 불규칙하고 복잡한 형태로 나타남을 의미한다. SPLIT는 도심부에서 높은 값으로 나타나 도심부 녹지가 잘게 분절되어 있음을 확인할 수 있었다. ENN\_MN는 대부분 외곽 산림지역에서 거리가 가깝게 유지되었지만, 남서부 관악구에서는 산지임에도 불구하고 상대적으로 높은 값을 보여 패치 간 거리가 먼 것으로 나타났다. 또한, 도심부에서는 ENN\_MN 값의 등급이 혼재하여 패치 간 연결성이 특정 권역에 집중되기보다는 국지적으로 불균등하게 나타남을 보여준다.

즉, 서울시의 전반적인 녹지의 공간적 분포를 분석한 결과, 도심부는 녹지 비율이 낮고, 패치 밀도와 분할지수가 높게 나타나 녹지가 작게 쪼개져 있거나 단절된 구조를 나타낸다. 반면, 외곽부에서는 주로 녹지 비율이 높고, 패치 간의 거리가 짧으며, 형상지수가 낮아 비교적 넓고 연속적인 녹지구조를 나타내어 도심부와 외곽부 지역이 뚜렷한 차이를 보인다.

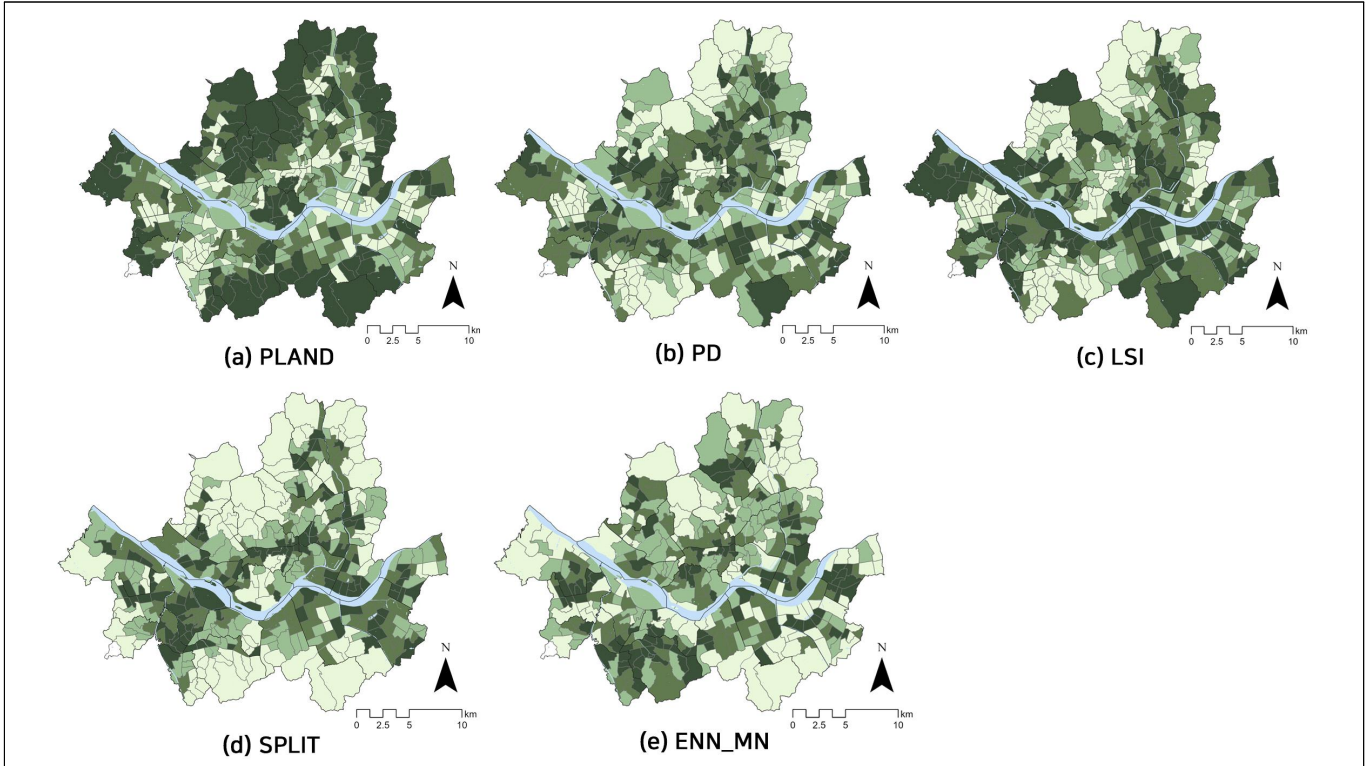


그림 4. 서울시 행정동별 녹지 경관구조의 공간 분포  
 범례: 0-25% 25-50% 50-75% 75-100%  
 한강

### 3.2.3 사회경제적 지표 및 접근성 공간적 분포

서울시의 사회경제적 지표에 대한 공간적 분포 결과도 마찬가지로 지역별로 뚜렷한 차이를 나타냈다. 그림 5는 서울시 행정동 단위에서 사회경제적 변수들의 공간적 분포를 100%로 환산하여 4등급으로 제시한 것이다.

평균 연령은 도심보다는 외곽 주거지에서 상대적으로 높게 나타났으며 특히 도봉구·강북구 등지에서 고령화가 두드러졌다. 반면, 관악구·마포구·강남구 일대는 낮은 연령 분포를 보여 젊은 인구가 집중된 공간임을 확인할 수 있었다. 월평균 소득은 강남 3구와 용산구·마포구 서쪽 지역에서 높게 나타났으며 광진구·관악구·강북구 등의 일부 지역은 상대적으로 낮아 뚜렷한 소득 격차를 보였다. 대중교통 밀도는 외곽지역은 상대적으로 낮고, 도심지역 중심으로 분산되어 높게 나타났다. 보행로 밀도는 주요 산지에 인접한 외곽 지역과 은평구·종로구·서대문구 지역에 집중적으로 높게 분포하는 것으로 나타났다. 이는 서울의 교통 및 보행 인프라가 상반된 공간적 특성을 가지며 대중교통은 중심축 위주로, 보행 인프라는 생활권 단위 외곽지역에 집중된 결과로 해석된다.

## 3.3 모델 추정 결과

### 3.3.1 선형모델 추정 결과

본 연구의 LM 결과는 표 4에 나타내었다. 모델의 설명력으로는,  $R^2 = 0.5152$ ,  $Adj.R^2 = 0.5035$ 로 나타났다. PLAND와 LSI는 도시활력과 유의미한 음의 관계를 보였으며, 이는 녹지의 양적 확대만으로는 도시활력이 증가하지 않고 녹지의 경계가 복잡할수록 도시활력이 낮아지는 경향을 나타낸다. 반면, SPLIT은 도시활력과 유의미한 양의 관계를 보여 일정 수준의 녹지 분절이 오히려 도시활력 증진에 기여할 수 있음을 시사한다. PD와 ENN\_MN은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

사회경제적 변수에서 연령은 도시활력과 음의 유의미한 관계를 보여 평균 연령이 높은 지역일수록 도시활력이 낮게 나타났다. 월평균소득, 대중교통 밀도와 보행로 밀도는 모두 도시활력과 유의한 양의 관계를 보였다. 이러한 결과는 서울시 도시활력이 단순한 녹지 총량보다는 녹지의 공간적 구성 방식과 사회경제적 요인의 복합적 영향을 받는다는 것을 보여준다.

또한, 인구밀도 수준을 반영한 더미변수의 회귀계수는 양의 값을 보여 고밀도 지역이 저밀도 지역에 비해 도시

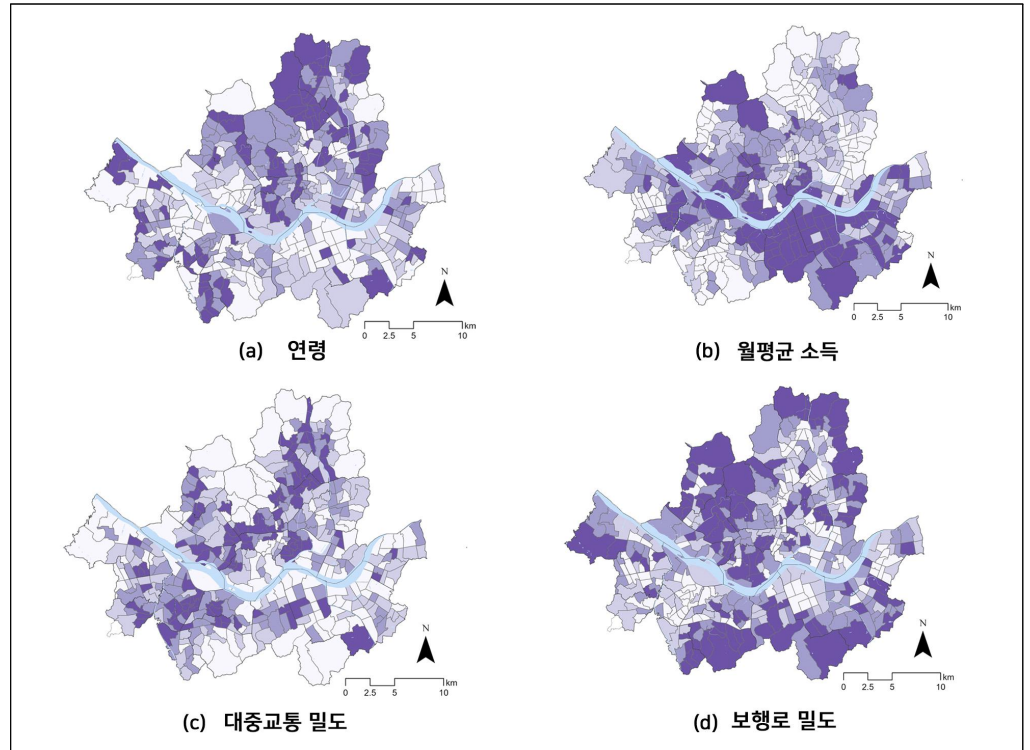


그림 5. 서울시 행정동별 사회경제적 변수의 공간 분포  
범례: 0-25% 25-50% 50-75% 75-100%  
한강

표 4. 전체 변수를 포함한 선형모형(LM) 추정 결과

변수	회귀계수	표준오차	t-값	p-값
(intercept)	39.40	8.615	3.937	< 0.0001
PLAND	-0.2595	0.002664	-9.739	< 0.0001
PD	0.005959	0.007485	0.796	0.4264
LSI	-0.2913	0.00542	-5.257	< 0.0001
SPLIT	0.00007959	0.0000264	3.017	0.00271
ENN_MN	-0.0004017	0.008	-0.050	0.9599
연령	-0.4287	0.1613	-2.658	0.00815
월평균 소득	0.01849	0.004804	3.849	< 0.0001
대중교통 밀도	0.1757	0.002925	6.009	< 0.0001
보행밀도	0.0002475	0.0000833	2.969	0.00316
D	2.340	0.928	2.522	0.012

D는 인구밀도 수준을 반영한 더미변수로, 고밀도 지역은 1, 저밀도 지역은 0으로 설정하였다.  
R<sup>2</sup> = 0.5152, Adj.R<sup>2</sup> = 0.5035

활력이 유의하게 높게 나타났다는 것을 확인하였다. 더미변수를 포함하더라도 녹지 공간적 구성과 주요 변수들의 유의성과 방향성은 유지되어, 도시화 수준을 고려하더라도 녹지의 경관구조가 도시활력에 영향을 미친다는 것을 나타낸다.

### 3.3.2 비선형모델 추정 결과

GAM모형 추정 결과, PD와 LSI를 제외한 모든 변수의 edf 값이 1보다 큰 비선형적인 관계를 보였으며, 표 5는 선형과 비선형의 결과값을 나타내었다. 그림 6 및 그림 7은 비선형적인 관계를 시각화하여 도시활력과 변수들의 관계를 보여주고 있다. 한편, 선형항으로 포함된 더미변수는 선형모델의 결과와 마찬가지로 양의 회귀계수를 보여 고밀도 지역이 저밀도 지역에 비해 도시활력이 높고 인구밀도를 반영하여 도시화 수준을 고려하더라도 녹지의 경관구

표 5. 전체 변수를 포함한 일반화 가법모형(GAM) 추정 결과

변수	변수 유형	회귀계수	유효자유도(edf.)	t/F값	p-값
(intercept)	선형	18.6664	-	$t = 12.867$	$< 0.0001$
PD	선형	0.0219	-	$t = 2.882$	$< 0.001$
LSI	선형	-0.2629	-	$t = -4.748$	$< 0.0001$
D	선형	2.1552	-	$t = 2.459$	0.0144
PLAND	비선형	-	2.474	$F = 21.187$	$< 0.0001$
SPLIT	비선형	-	1.748	$F = 2.135$	0.0038
ENN_MN	비선형	-	4.342	$F = 3.276$	0.0053
연령	비선형	-	2.983	$F = 5.773$	$< 0.0001$
월평균소득	비선형	-	7.995	$F = 5.713$	$< 0.0001$
대중교통밀도	비선형	-	1.970	$F = 15.376$	$< 0.0001$
보행밀도	비선형	-	8.286	$F = 2.972$	0.0016

D는 인구밀도 수준을 반영한 더미변수로, 고밀도 지역은 1, 저밀도 지역은 0으로 설정하였다.  
Adj.R<sup>2</sup> = 0.596, Deviance explained = 62.7%

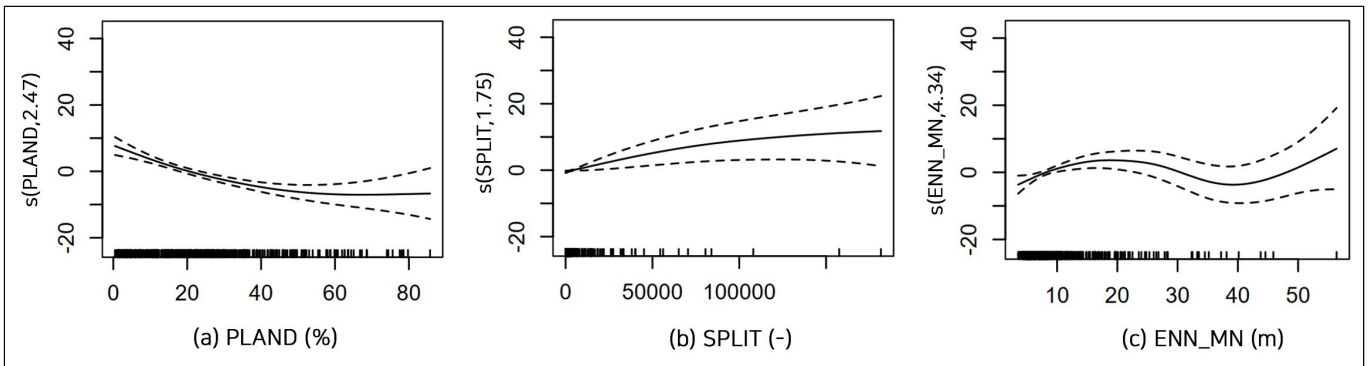


그림 6. 도시활력에 대한 녹지 경관구조의 비선형 효과

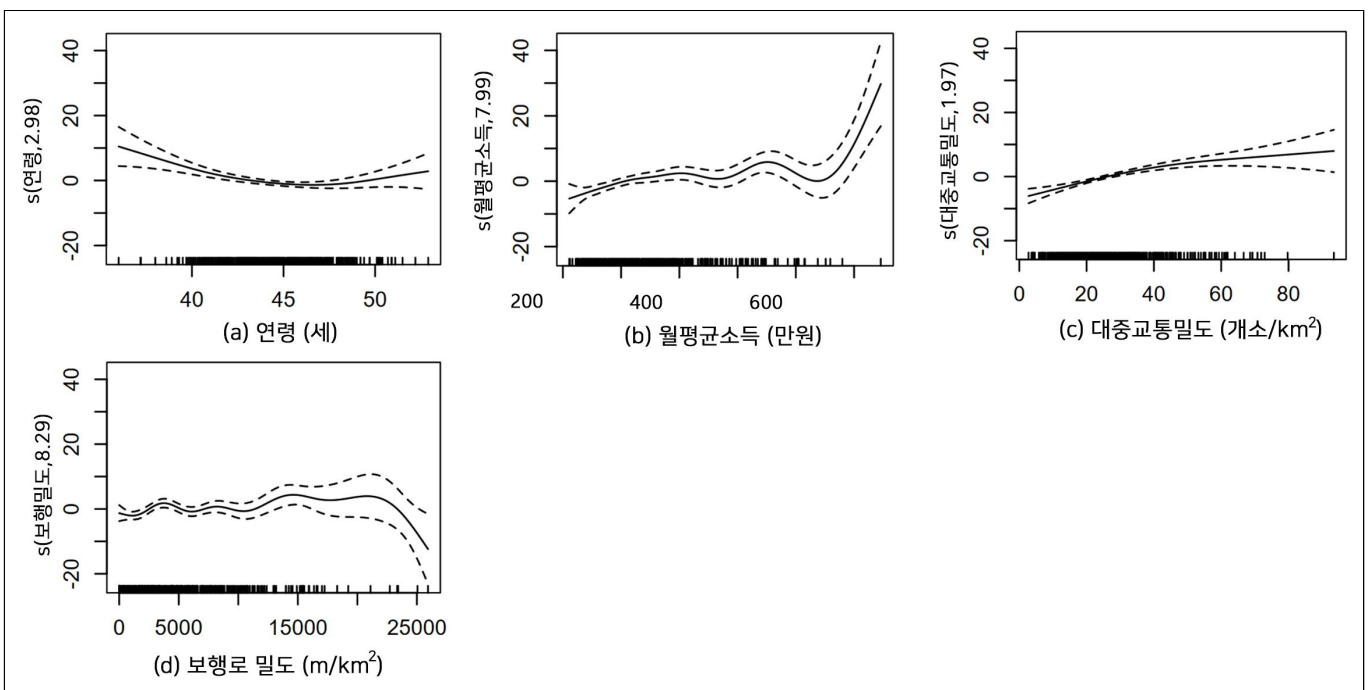


그림 7. 도시활력에 대한 사회경제적 특성의 비선형 효과

조가 도시활력에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

그림 6의 그래프에서 알 수 있듯이, PLAND는 도시활력에 음의 영향을 주고 녹지면적 비율이 약 40% 이상일 경우 도시활력에 미치는 영향이 없는 것으로 나타났다. 분절도를 나타내는 SPLIT 값은, 증가할수록 도시활력이 완만하게 증가하는 경향이 나타났다. 녹지 패치 간의 평균 거리인 ENN\_MN은 U자형 곡선을 나타내며 20m에서 40m까지 패치간 거리가 멀수록 도시활력이 감소하다가 그 이상이 되면 거리가 멀수록 증가하는 형태를 나타내었다.

녹지면적이 높은 지역은 다양한 활동을 유도하는 물리적 공간이 상대적으로 적고 전체적인 공간 활용률이 낮아진다(Dong et al., 2022). 특히, 서울시 경우 지형적 특성상 외곽에 산지가 집중적으로 분포하고 있어 녹지 비율이 높은 행정동일수록 실제 생활권에서 이용되지 않는 녹지가 포함될 가능성이 있다. 이로 인해 녹지의 ‘양’만으로 도시활력을 해석하기에는 한계가 존재하며 녹지가 일정 수준 이상 확보된 지역에서는 녹지의 공간적 구성이 체류 가능성과 접근성에 영향을 미쳐 도시활력을 증진시킬 수 있음을 시사한다. Wu et al.(2024)의 연구 역시 대도시일수록 녹지의 양적 확장 효과가 제한적이며, 녹지의 구성과 연결성 개선이 도시활력에 중요한 요소임을 주장하였다.

녹지의 형태 측면에서는 경계 복잡도가 단순할수록 도시활력이 증가하였다. 이는 복잡한 형태의 녹지보다는 일정한 형태로 정비된 녹지가 접근성을 더 높일 수 있음을 의미한다. 또한, 녹지 패치의 수가 많고 일정 수준의 공간적인 분절이 오히려 도시 활력 증진에 긍정적으로 작용할 수 있음을 나타낸다. 이는 녹지가 하나의 공간으로 집중된 형태보다는 소규모로 분산되어 존재하는 구조가 접근성을 높일 수 있고 도심 내 이동 활동을 촉진시킬 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 고밀도 도시 구조에서 포켓공원과 같은 소규모의 분산형 녹지가 인근 주민의 자발적인 이용을 유도하고 지역 내 활력을 높인다는 Bajwoluk and Langer(2023)의 연구와도 일치한다. 패치 간 거리가 지나치게 가깝거나 먼 경우보다는 적절한 간격을 유지하는 것이 도시활력을 증진시키며 이는 도시 내 공간활동의 균형 유지에 기여할 수 있음을 나타낸다. 한편, 선행연구에서 일정한 경계 복잡성은 상업활동, 보행 유입, 공간 매력도와 연관되며 오히려 도시활력을 높이는 요소임이 보고된 바 있다(Jacobs, 1961). 이러한 점을 고려할 때, 본 연구에서 도출된 경관요소들과 도시활력 간의 관계는 특정 공간적 조건에서 관찰된 결과로 해석될 필요가 있다.

그림 7의 사회경제적 변수의 GAM 모델 분석 결과에 따르면 연령, 월평균 소득, 대중교통 밀도, 보행로 밀도는 도시활력과 비선형 관계를 가지는 것으로 나타났다. 연령은 평균 약 45세까지 증가할수록 도시활력이 감소하는 반면, 그 이상에서는 뚜렷한 영향이 나타나지 않았다. 월 평균 소득은 500만원 이상부터 급격하게 증가하는 비선형적 관계를 나타냈으며 대중교통 밀도는 전체적으로 도시활력과 양의 비선형적 관계를 나타내었다. 반면, 보행로 밀도는 5,000m/km<sup>2</sup> 정도에서 도시활력이 증가하는 경향을 나타냈지만 일정 수준 이상부터는 도시활력에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 보행 인프라가 일정 수준을 초과하면 오히려 활력을 저해할 수 있음을 시사한다.

모형 추정 결과, LM 모형의 결정계수(Adjusted R<sup>2</sup>) 값은 0.5035, GAM 모형의 결정계수 값은 0.596으로 GAM의 설명력이 더 높았다. 또한 LM 모형의 AIC값(2,924.048)에 비해 GAM 모형의 AIC값(2,857.846)이 낮게 나타나 비선형모형이 더 적합함을 의미한다. 특히 선형모형에서 유의한 관계를 보이지 않았던 PD와 ENN\_MN이 GAM에서 유의미한 관계를 보여 도시환경 요인의 영향이 특정 임계값 이하 혹은 이상에서 달라질 수 있음을 의미한다(Li et al., 2022). 이러한 결과는 도시환경과 도시활력 간의 관계가 선형관계가 아닌 비선형적 구조를 지닌다는 기존 연구와도 일치한다(Doan et al., 2025; Liu et al., 2025).

### 3.3.3 GWR(Geographically Weighted Regression) 분석

GWR 분석 결과, 각 행정동별 지역별 결정계수(local R-Squared)를 산출하여 각 지도의 구간은 Jenks 방식으로 5등급으로 분류한 공간적 분포를 시각화하였고 비선형으로 유의한 영향을 미치는 PLAND와 선형적인 영향을 미치는 PD 두 변수에 한정하여 결과를 나타냈다(그림 8 참조). 지역별 결정계수(0.59-0.88)는 도심부에서 낮고 도봉구, 강북구, 은평구의 북한산 부근의 외곽부에서 높게 나타나 도시활력에 대한 모형의 설명력이 공간적으로 균질하지 않음을 확인하였다. PLAND 분석 결과, 지역별로 값의 차이는 존재하였으나 모든 지역에서 도시활력과 음의 관계를 나타냈다. 이는 단순한 녹지 면적 증가가 도시활력을 높이지 않는다는 기존 LM과 GAM의 결과와 일치한다. PD 분석 결과, 중심부에서는 양의 영향을 나타내었지만, 산지가 많이 분포해 있는 강북구와 구로구 등 일부 외곽 지역에서는 음의 영향을 나타냈다. 이는 넓은 패치의 형태로 녹지가 분포해 있는 도시 외곽보다는 도시 중심부 지역에서 다핵적 녹지 패턴이 도시활력을 촉진시킴을 의미한다.

모형의 AIC 값은 OLS와 GAM에 대비 낮게 나타났으며 잔차의 Moran's I는 -0.009(p = 0.73)으로 0에 가까워 공간적 자기상관성이 유의하지 않음을 확인하였다. 이는 공간적 독립성이 확보되었음을 의미하여 이러한 결과는 도시활력에 대한 녹지의 영향이 비선형 관계뿐 아니라 지역적 맥락에서도 상이하게 나타남을 시사한다.

전반적으로 중심부에서는 녹지 면적 비율이 도시활력과 음의 관계를 보였으나 외곽부에서는 영향이 미미한 관계

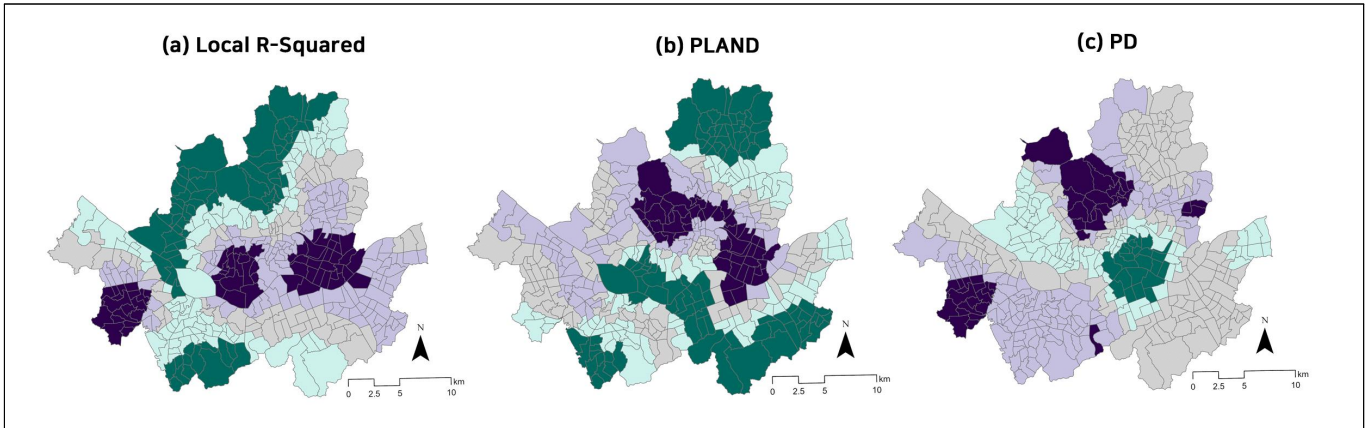


그림 8. GWR 분석 결과의 지역별 공간 분포

범례: (a)	0.59 - 0.65	0.66 - 0.71	0.72 - 0.76	0.77 - 0.81	0.82 - 0.88
(b)	-0.62 - -0.43	-0.42 - -0.35	-0.34 - -0.29	-0.28 - -0.23	-0.22 - -0.11
(c)	-0.037 - -0.012	-0.011 - 0.002	0.003 - 0.021	0.022 - 0.043	0.044 - 0.092

를 보였다. 녹지 패치 밀도는 외곽부보다 중심부에서 더 강한 양의 관계를 보여 녹지 패치가 많을수록 도시 외곽 지역은 미미한 영향을 나타내거나 낮아지고 도시 중심의 활력은 높아지는 지역적 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 GAM 분석에서 확인된 효과가 공간적으로도 다르게 작용함을 보여준다.

#### 4. 결론

본 연구 결과, 도시활력 증진과 삶의 질 향상을 위해서는 단순한 녹지의 양적 확대보다 녹지의 공간적 구조와 사회경제적 특성 그리고 접근성이 도시활력에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

본 연구는 서울시 행정동 단위를 대상으로 도시활력에 영향을 미치는 도시 녹지의 공간적 구조와 사회경제적 요인을 분석하였으며 LM과 GAM을 적용하여 변수 간의 선형적 및 비선형적 관계를 규명하였다. 선형모델에서는 PLAND와 LSI 지표가 도시활력과 유의미한 음의 관계를 보였으나 비선형모델에서 PLAND는 임계값을 가지는 비선형적인 특성을 나타내었고 SPLIT, ENN\_MN는 도시활력에 대해 유의한 비선형적 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 추가적으로 GWR 분석을 통해 지역별 설명력의 차이를 확인하여 도시활력의 공간적 불균질성이 존재함을 확인하였다.

이에 본 연구는 건강한 도시활력 증진을 위한 도시의 공간계획에서 녹지를 단순한 환경적 요소가 아닌 도시활력의 매개요소로 인식해야 함을 제시하였다. 특히, 도시활력이 높은 중심지역에서 녹지의 확장은 물리적으로 제한적이기 때문에 대규모 공원 조성보다는 가로공간이나 소규모 녹지가 근접 배치된 형태로 조성하는 것이 활동성과 접근성을 높이는 데 효과적이다. 반면, 외곽지역에서는 상대적으로 녹지 면적이 충분하지만 도시활력이 낮기 때문에 녹지의 존재만으로 도시활력을 확보하기는 어렵다는 것을 시사한다. 따라서, 외곽지역에서는 녹지의 관리와 이용 편의성 등을 개선하여 녹지의 활용성을 높이는 관리적 접근과 지역 기반의 활성화 전략이 필요하다.

하지만 본 연구는 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 분석 범위를 서울시로 한정하였기 때문에 결과가 대도시 맥락에만 국한되며, 중소도시나 농촌지역으로의 일반화에는 제약이 있다. 또한 본 연구에서 활용한 변수는 연단위 자료와 행정동 단위의 거시적 공간구조를 반영한 지표로, 거리 단위에서 나타나는 미시적 공간구조에 대한 복합적인 요소를 고려하지 못한 한계가 있다. 실제 도시녹지가 도시활력에 미치는 영향은 경관구조 외에 공간적으로는 녹지의 형태, 인접한 공간의 토지이용, 출입구 개수, 위치, 교통체계 등 다양한 변수에 영향을 받고, 시간적으로도 시간대, 요일, 계절에 따른 이용 패턴 등에 의해 결정된다. 둘째, 서울시의 지형적 특성상 산림지역이 행정구역의 상당 부분을 차지하며 행정 경계가 산지와 맞닿아 있는 경우가 많다. 이로 인하여 녹지의 총 면적이 도시활력을 낮춘다는 결과는 산림지역이 포함된 외곽 행정동의 지형적 특성이 부분적으로 반영된 결과일 가능성이 있다. 즉 실제 생활권 이용이 제한된 산림지역이 일부 포함될 가능성이 존재하며 도시활력을 정밀하게 반영하는 데에는 한계가 있을 수 있다. 셋째, 한강과 같은 수변 공간의 공원·녹지축 기능은 본 연구의 토지피복 기반 분석과 행정동 단위 설정으로 인해 충분히 반영되지 못하였다. 마지막으로 생활인구 자료를 활용한 야외활동 인구 추정은 실제 활동성을 완

전히 반영하기에는 한계를 가진다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구의 한계점을 보완하여, 도시 규모별 비교 연구를 통해 산림 중심의 외곽 녹지와 실제 생활권에서 이용되는 녹지를 구분하거나, 지형적인 특성을 고려한 가중치 조정 등을 통해 녹지 경관구조와 도시활력 간의 관계를 분석할 필요가 있다. 또한, 더 폭넓은 도시활력 측정에 대한 정량적인 측정 방법을 모색하고, 복합적인 도시 안에서 도시환경을 이루는 변수들 간의 상호작용에 대해서도 분석할 필요가 있다. 이를 통해 도시 녹지의 공간구조가 도시활력에 미치는 영향을 보다 다차원적으로 검증할 수 있을 것으로 기대된다.

### References

1. 박세린, 이종원, 박유진, 이상우(2022) 유역 토지이용과 하천 생물지수의 비선형적 관계 연구: 한강권역을 대상으로. *한국환경복원기술학회지* 25(2): 55-67.
2. 서용훈, 이진학(2023) GWR 기반 대시메트릭 매핑 기법을 이용한 건물 단위 현재 인구 추정. *한국지도학회지* 23(1): 21-34.
3. 서울특별시(2018) 서울 생활인구 추계 매뉴얼.
4. 서울특별시(2023) 2040 서울시 공원녹지 기본계획. 서울특별시.
5. 오지운, 정주철(2025) 도시의 사회적 다양성과 물리적 건조 환경 특성이 도시활력에 미치는 영향. *국토계획* 60(2): 91-106.
6. 이석준, 이상욱, 홍보영, 엄홍민, 신휴석, 김경민(2014) 대시메트릭 매핑 기법을 이용한 서울시 건축물별 주거인구 밀도의 재현. *한국공간정보시스템학회지* 22(3): 89-99.
7. 임은정(2021) 정신건강에 영향을 미치는 도시환경 요인에 대한 문헌적 고찰. *주택도시연구* 11(3): 79-101.
8. 조월, 이수기(2021) 서울시 POI 빅데이터를 활용한 도시활력과 영향요인 분석. *국토계획* 56(7): 87-102.
9. 카마타 요코, 남광우(2023) 도시활력 측정을 위한 생활인구 특성 분석: 모바일 빅데이터를 중심으로. *한국지리정보학회지* 26(4): 173-187.
10. 하림, 김민정, 이지애(2021) 서울시 녹지공간정보 구축 및 활용 방안. 서울연구원.
11. Alcock, I., M. P. White, B. W. Wheeler, L. E. Fleming and M. H. Depledge(2014) Longitudinal effects on mental health of moving to greener and less green urban areas. *Environmental Science and Technology* 48(2): 1247-1255.
12. Alshehri, R. M., B. M. Alzenifeer, A. M. Alqahtan, T. Alrawaf, A. H. Alsayed, H. M. N. Afify, Z. A. A. Elmoghazy and M. S. Alshammari(2025) Impact of urban green spaces on social interaction and sustainability: A case study in Jubail, Saudi Arabia. *Sustainability* 17(10): 4467.
13. Bajwoluk, T. and P. Langer(2023) The pocket park and its impact on the quality of urban space in the local and supralocal scale: Case study of Krakow, Poland. *Sustainability* 15: 5153.
14. Biedenweg, K., R. P. Scott and T. A. Scott(2017) How does engaging with nature relate to life satisfaction? Demonstrating the link between environment-specific social experiences and life satisfaction. *Journal of Environmental Psychology* 50: 112-124.
15. Chen, W., A. N. Wu and F. Biljecki(2021) Classification of urban morphology with deep learning: Application on urban vitality. *Computers, Environment and Urban Systems* 90: 101706.
16. Chen, Y., B. Yu, B. Shu, L. Yang and R. Wang(2023) Exploring the spatiotemporal patterns and correlates of urban vitality: Temporal and spatial heterogeneity. *Sustainable Cities and Society* 91: 104440.
17. Doan, Q. C., J. Ma, S. Chen and X. Zhang(2025) Nonlinear and threshold effects of the built environment, road vehicles and air pollution on urban vitality. *Landscape and Urban Planning* 253: 105204.
18. Dogan, O. and S. Lee(2024) Jane Jacobs' urban vitality focusing on three-facet criteria and its confluence with urban physical complexity. *Cities* 155: 105446.
19. Dong, Q., J. Cai, S. Chen, P. He and X. Chen(2022) Spatiotemporal analysis of urban green spatial vitality and the corresponding influencing factors: A case study of Chengdu, China. *Land* 11: 1820.
20. Guo, Z., K. Luo, Z. Yan, A. Hu, C. Wang, Y. Mao and S. Niu(2024) Assessment of the street space quality in the metro station areas at different spatial scales and its impact on the urban vitality. *Frontiers of Architectural Research* 13(4): 1270-1287.

21. Haaland, C. and C. K. van den Bosch(2015) Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry and Urban Greening* 14(4): 760-771.
22. Hastie, T. J. and R. J. Tibshirani(1990) *Generalized additive models*. London: Chapman and Hall.
23. Hegetschweiler, K. T., S. de Vries, A. Arnberger, S. Bell, M. Brennan, N. Siter, A. S. Olafsson, A. Voigt and M. Hunziker(2017) Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies. *Urban Forestry and Urban Greening* 21: 48-59.
24. Hong, S. K., S. W. Lee, H. K. Jo and M. Yoo(2019) Impact of frequency of visits and time spent in urban green space on subjective well-being. *Sustainability* 11: 4189.
25. Hwang, S. A., S. J. Hwang, S. R. Park and S. W. Lee(2016) Examining the relationships between watershed urban land use and stream water quality using linear and generalized additive models. *Water* 8(4): 155.
26. Jacobs, J.(1961) *The death and life of great American cities*. New York: Random House.
27. Jiang, Y., Z. Huang, X. Zhou and X. Chen(2024) Evaluating the impact of urban morphology on urban vitality: An exploratory study using big geo-data. *International Journal of Digital Earth* 17(1): 2327571.
28. Jin, A., Y. Ge and S. Zhang(2024) Spatial characteristics of multidimensional urban vitality and its impact mechanisms by the built environment. *Land* 13(7): 991.
29. Kabisch, N., S. Qureshi and D. Haase(2015) Human-environment interactions in urban green spaces: A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review* 50: 25-34.
30. Kamata, Y., W. Woo and N. Kwang(2023) Analysis of living population characteristics to measure urban vitality: Focusing on mobile big data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 26(4): 173-187.
31. Kaplan, R.(1985) The analysis of perception via preference: A strategy for studying how the environment is experienced. *Landscape Planning* 12: 161-176.
32. Kičić, M., S. Scheuer, S. Korpilo, D. Vuletić, A. Seletković, D. Haase and S. Krajter Ostoić(2025) Relationships between urban green space types, cultural ecosystem services and disservices: A public participation geographic information system study in Zagreb, Croatia. *Science of the Total Environment* 981: 179549.
33. Lee, S. and J. E. Kang(2022) Impact of particulate matter and urban spatial characteristics on urban vitality using spatiotemporal big data. *Cities* 84: 237-249.
34. Lee, S. and N. Cho(2025) Nonlinear and interaction effects of multi-dimensional street-level built environment features on urban vitality in Seoul. *Cities* 165.
35. Lee, S. W., C. D. Ellis, B. S. Kweon and S. K. Hong(2008) Relationship between landscape structure and neighborhood satisfaction in urbanized areas. *Landscape and Urban Planning* 85: 60-70.
36. Li, M., C. Zhang, B. Xu, Y. Xue and Y. Ren(2020) A comparison of GAM and GWR in modeling spatial distribution of Japanese mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) in coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 244: 106928.
37. Li, X., Y. Li, T. Jia, L. Zhou and I. H. Hijazi(2022) The six dimensions of built environment on urban vitality: Fusion evidence from multi-source data. *Cities* 121: 103482.
38. Li, X., Y. Zhang and H. Chen(2021) Visual quality evaluation model of an urban river landscape based on random forest. *Ecological Indicators* 133: 108381.
39. Liu, H., P. Gou and J. Xiong(2022) Vital triangle: A new concept to evaluate urban vitality. *Computers, Environment and Urban Systems* 98: 101886.
40. Liu, W., Z. Yang, C. Gui, G. Li and H. Xu(2025) Investigating the nonlinear relationship between the built environment and urban vitality based on multi-source data and interpretable machine learning. *Buildings* 15(9).
41. Lopes, M. N. and A. S. Camanho(2012) Public green space use and consequences on urban vitality: An assessment of European cities. *Social Indicators Research* 113(3): 751-767.
42. Lu, S., C. Shi and X. Yang(2019) Impacts of built environment on urban vitality: Regression analyses of

- Beijing and Chengdu, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(23).
43. Lwin, K. K. and Y. Murayama(2009) A GIS approach to estimation of building population for micro-spatial analysis. *Transactions in GIS* 13(4): 401-414.
  44. Maneepong, K., R. Yamanotera, Y. Akiyama, H. Miyazaki, S. Miyazawa and C. M. Akiyama(2024) Open data-driven 3D building models for micro-population mapping in a data-limited setting. *Remote Sensing* 16(21): 3922.
  45. Meng, Y. and H. Xing(2019) Exploring the relationship between landscape characteristics and urban vibrancy: A case study using morphology and review data. *Cities* 95.
  46. Montgomery, J.(1998) Making a city: Urbanity, vitality and urban design. *Journal of Urban Design* 3(1): 93-116.
  47. Mouratidis, K. and W. Poortinga(2020) Built environment, urban vitality and social cohesion: Do vibrant neighborhoods foster strong communities? *Landscape and Urban Planning* 204: 103951.
  48. Sulis, P., E. Manley, C. Zhong and M. Batty(2018) Using mobility data as proxy for measuring urban vitality. *Journal of Spatial Information Science* 16: 137-162.
  49. Sung, H. and S. Lee(2015) Residential built environment and walking activity: Empirical evidence of Jane Jacobs' urban vitality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 41: 318-329.
  50. Tomás, L., L. Fonseca, C. M. Almeida, F. Leonardi and M. Pereira(2016) Urban population estimation based on residential buildings volume using IKONOS-2 images and lidar data. *International Journal of Remote Sensing* 37: 1-28.
  51. Vergara, K. A.(2024) Building-level population estimation using LiDAR-derived building volume data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVIII-4/W8-2023: 453-459.*
  52. Wood, S. N.(2017) *Generalized additive models: An introduction with R.* Chapman and Hall/CRC.
  53. Wu, G., D. Yang and X. Niu, Z. Mi(2024) The impact of park green space areas on urban vitality: A case study of 35 large and medium-sized cities in China. *Land* 13(10).
  54. Xia, X., Y. Zhang, Y. Zhang and T. Rao(2022) The spatial pattern and influence mechanism of urban vitality: A case study of Changsha, China. *Frontiers in Environmental Science* 10.
  55. Zhang, S., W. Zhang, Y. Wang, X. Zhao, P. Song, G. Tian and A. L. Mayer(2020) Comparing human activity density and green space supply using the Baidu Heat Map in Zhengzhou, China. *Sustainability* 12(17).
  56. OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/#map=15/37.55216/126.98783>
  57. 서울연구데이터서비스(2014) 서울과 세계도시 비교: 공원녹지. <https://data.si.re.kr/data/서울과-세계대도시/63>
  58. 서울특별시 열린데이터광장(2023) 생활인구데이터. <http://data.seoul.go.kr>
  59. 서울특별시 열린데이터광장(2023) 월평균소득. <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-22166/S/1/datasetView.do>
  60. 서울특별시 열린데이터광장(2023) 행정동별 등록인구 수. <https://data.seoul.go.kr/dataList/10718/S/2/datasetView.do>
  61. 공공포털데이터. <https://www.data.go.kr/data/15058404/openapi.do>