

도시 녹지 환경이 거주민의 신체·정신 건강에 미치는 파급효과[†]

- 서울시 가로보행환경 이미지 빅데이터 및 딥러닝 모델을 활용한 사회적 자본의 매개효과 탐구 -

The Impact of Urban Green Spaces on Residents' Physical and Mental Health[†]

- Unraveling the Mediating Role of Social Capital through Streetscape Image Big Data and Deep Learning Models in Seoul, Korea -

김수민*, 우아영**

*한양대학교 도시대학원 도시·지역개발경영학과 석사과정, **한양대학교 도시대학원 도시·지역개발경영학과 부교수

Kim, Sumin*, Woo, Ayoung**

*Graduate Student, Dept. of Urban and Regional Development Management, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University,

**Associate Professor, Dept. of Urban and Regional Development Management, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University

Received: May 9, 2025

Revised: June 3, 2025

Accepted: June 3, 2025

3인익명 심사필

Corresponding author :

Ayoung Woo

Associate Professor,

Dept. of Urban and Regional

Development Management,

Graduate School of Urban

Studies, Hanyang University,

Seoul 04763, Korea

Tel.: +82-2-2220-0275

E-mail: ayoungwoo@hanyang.ac.kr

국문초록

오늘날 기후변화와 초고령화 사회 등 도시 환경의 급격한 변화에 대응하여 건강 도시 패러다임이 점차 확산되고 있다. 이러한 흐름에 따라 많은 도시에서는 보행일상권과 같은 자족 생활권을 목표로 주거, 상업, 녹지의 연계가 강조되고 있다. 또한, 주거환경개선 사업 및 재생 사업을 통한 공간구조 개편에서는 원주민의 사회적 자본 보전을 위해 공개공지 및 녹지의 역할이 지속적으로 강조되어 왔다. 녹지와 건강의 상관관계에 대한 많은 연구가 선행되었지만, 다양한 도시 녹지 환경이 거주민의 사회적 자본을 매개로 건강에 미치는 구조적 관계를 분석한 연구는 부족하다. 본 연구는 이러한 연구의 공백을 보완하고자, 서울시 거주민 1,000명을 대상으로 한 온라인 설문조사를 바탕으로 구조방정식 모형(SEM)을 활용하여 다차원적 도시 녹지 환경, 신체·정신 건강, 사회적 자본 간의 구조적 관계를 실증 분석하였다. 도시 녹지 환경을 파악하기 위해, 기존의 전통적인 녹지측정 방식인 NDVI와 공원 접근성에 더해, 서울시 가로보행환경 빅데이터를 활용하여 딥러닝 기반 HRNetV2-W48 모델을 통해 가로 녹시율을 측정하였다. 연구 결과, 사회적 자본은 가로 녹시율과 신체·정신 건강 간의 관계에서 중요한 매개효과를 보인다. 특히, 가로 녹시율은 사회적 자본을 매개로 개인의 신체·정신 건강에 유의미한 정(+)의 간접 효과를 미쳤다. 또한, 가로 녹시율은 거주민 신체 건강에 직접 효과를 미치는 반면, 생활권 공원 접근성은 정신 건강에 직접 효과를 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 도시의 다양한 녹지 환경이 개인의 건강에 미치는 영향이 상이하다는 점을 실증하였으며, 이는 생활권 내 녹지 구성 방식에 따라 차별적인 건강 혜택을 제공할 수 있음을 시사한다.

주제어: 녹시율, 도시 녹지 정량화, 의미론적 분할론

ABSTRACT

In response to rapid urban environmental changes, such as impacts due to climate change and an aging society, the paradigm of healthy cities has been spreading globally. In this vein, many cities have emphasized the integration of residential, commercial, and green spaces to create self-sufficient living areas based on the concept of walkable environments. In spatial restructuring through urban renewal and regeneration projects, the role of open spaces and green areas has been consistently emphasized to enhance residents' social capital. While numerous studies have explored the relationship between green spaces and individual health, there has been limited attention to the structural relationship of how various types of urban green spaces influence health outcomes, particularly when mediated by individual social capital. This study addresses this gap by conducting an empirical analysis using Structural Equation Modeling (SEM) based on an online survey of 1,000 residents in Seoul, South Korea. To account for multifaceted urban green environments, this study employed traditional green space metrics, such as NDVI and park accessibility, alongside street greenery measured using Seoul's streetscape big data and a deep learning-based HRNetV2-W48 model. Our results show that social capital plays a significant mediating role in the relationship between street greenery and

[†]이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022R1A2C1012905). 이 논문은 2024년 한국조경학회 후기 학술대회 “서울시 도시녹지 환경이 거주민의 사회적 자본 및 신체·정신 건강에 미치는 파급효과” 논문을 발전시킨 논문임.

individual physical and mental health. In particular, street greenery had positive indirect effects on both physical and mental health through increased social capital. While street greenery had positive direct effects on residents' physical health, the accessibility of life zone park had positive direct effects on mental health. This study demonstrates that various urban green environments have heterogeneous impacts on health, suggesting that different configurations of urban green spaces within neighborhoods can provide distinct health benefits.

Keywords: Street Greenery, Urban Green Space Quantification, Semantic Segmentation

1. 서론

1.1 연구 배경

WHO(1946)는 건강을 “단순히 질병이나 허약함이 없는 상태가 아닌 신체적, 정신적, 사회적으로 완전한 웰빙(well-being) 상태”로 정의하였다. 시민 건강은 개인의 유전적, 생물학적 요인뿐만 아니라 시민이 거주하고 있는 도시의 물리적 건조 환경(built environments)에 의해서도 영향을 받는다(WHO, 1998; Hanzl, 2021). 오늘날 도시는 기후변화, 초고령화 등 급격한 사회·물리적 변화에 따른 도시 환경 변화를 겪고 있다. 이에 대응하고자, 건강 증진과 지속가능성을 함께 고려하는 ‘건강 도시(healthy city)’의 패러다임이 점차 확산되고 있다. 서울시를 비롯한 많은 대도시에서는 도시 물리적 공간이 거주민의 신체·정신 건강에 미치는 영향을 강조하고 있으며(박근덕 등 2017; 임은정, 2021), ‘보행일상권’과 ‘N분 도시’를 목표로 공간구조 개편을 진행하고 있다. 이러한 과정에서 주거, 상업 공간과 녹지 공간의 유기적 연계가 강조되고 있다. 특히, 일상 생활권 내 접근 가능한 녹지 공간의 확보와 연결의 중요성이 부각되고 있다(견진원, 2024). 서울시는 2040 서울도시기본계획에 따라 생활권 내 도보 30분 거리에 녹지 연계를 통한 도시민의 다양한 녹지 수요 충족을 목표로 하고 있다(서울시, 2023). 최근 도시기본계획의 패러다임은 단순히 기능적 공간 배치를 넘어, 거주민의 삶의 질과 웰빙을 향상시키는 통합적 접근법을 추구하고 있으며, 이 과정에서 공원, 커뮤니티 가든 등과 같은 일상 생활권 내 녹지 공간과 가로 녹지 및 가로수의 연결성은 도시의 중요한 요소로 부각되고 있다.

또한, 도시재생 사업 및 주거환경개선 사업을 통한 도시 공간 구조의 개편에서는 원주민의 사회적 자본(social capital) 보존 및 증진을 위해 공개공지 및 녹지 공간의 역할이 지속적으로 강조되어 왔다. 서울과 같은 대도시는 급격한 도시화 과정에서 이웃 간 유대감 약화와 사회적 고립 증가 등 사회적 자본의 결핍 현상이 심화되었다. 사회적 자본은 개인의 정신 건강과 스트레스 대응력에 중요한 영향을 미치는 요소로, 지역 커뮤니티의 지속가능성을 보장하는 핵심 자원이다. 특히 누구나 보편적으로 접근할 수 있는 도시 녹지 공간은 주민들의 자연스러운 만남과 사회적 교류(social interaction)를 촉진함으로써 지역의 사회적 네트워크 형성과 신뢰 구축에 기여한다(Mazumdar et al., 2018). 이러한 맥락에서 도시민의 일상 속 녹지 공간은 단순한 환경적 기능을 넘어, 지역사회 결속력 강화와 사회적 자본 형성의 촉매제로서 그 역할이 새롭게 주목받고 있다.

도시 녹지가 도시민의 건강에 미치는 영향은 다양한 구조적 경로를 통해 나타난다. 생활권 내 풍부한 녹지 공간은 걷기, 산책, 조깅 등 도시민의 신체 활동(physical activity)을 증진시키며(Schipperijn et al., 2013), 당뇨, 고혈압의 완화(Ccami-Bernal et al., 2023) 등 다양한 건강 이점을 제공한다(Hilsdon et al., 2006; 서현진 등, 2011). 또한, 가장 보편적으로 접근할 수 있는 가로 녹지와 접근성이 양호한 공원은 주민의 보행 활동을 증진하고 대면 상호작용(face-to-face interaction)을 통해 사회적 자본을 형성한다. 이를 종합하면, 생활권 주변의 녹지 공간이 도시민의 사회적 자본의 형성을 통해 도시민의 건강 증진에 도움을 줄 수 있다(Huang and Lin, 2023).

도시 녹지와 도시민 건강의 상관관계에 관한 많은 연구는 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 보행자 시점(pedestrians' eye-level)에서의 가로 녹지를 정밀하게 측정(measurements)하고, 이러한 건조 환경이 도시민의 건강에 미치는 효과를 실증한 연구는 제한적이다. 기존 선행 연구들은 주로 위성 영상 자료나 현장 조사를 활용하여 도시의 녹지 환경을 평가하였으나, 이러한 방식은 주로 수평적 녹지(horizontal green) 환경에 초점을 두고 있다. 최근에는 컴퓨터 비전 기술의 발전으로, 보행자 시점에서 체감되는 가로 녹지율(greenery)을 추정하는 것이 가능해졌다. 이를 통해 기존의 녹지 산출 방식으로 포착하기 어려웠던 보행자 시점의 가로수, 벽면 녹화, 단지 내 식생 등 수직적 녹지(vertical green)를 실증적으로 측정할 수 있게 되었다(기동환, 2020). 따라서, 본 연구는 도시 녹지 환경을 기존의 수평적 녹지 측정 방식인 NDVI(Normalize Difference Vegetation Index) 및 공원 접근성(park accessibility)

과 함께 보행자 시점의 수직적 녹지 환경을 함께 고려하여 도시 내 다차원적인 녹지 환경을 실증적으로 분석한다.

1.2 연구 목적

본 연구는 도시 녹지 환경을 다차원적으로 정량화함으로써 사회적 자본, 도시민의 신체·정신 건강과의 구조적 관계(structural relationships)를 실증한다. 이를 위해, 본 연구는 서울시 25개 자치구에 거주하는 성인 1,000명을 대상으로 온라인 설문조사를 진행하여 도시 녹지 환경이 거주민의 사회적 자본을 매개로 개인의 건강에 미치는 직·간접적인 효과를 실증 분석한다. 녹지 환경과 건강 사이에 사회적 자본의 매개효과(mediating effects)를 분석하기 위하여 구조방정식 모형(Structural Equation Model: SEM)을 활용하였다. 특히, 보행자 시점에서 경험하는 수직적 녹지 환경을 면밀히 측정하기 위해 서울시 전체 가로망을 대상으로 20m 간격으로 가로 파노라마 이미지 빅 데이터를 수집하고, 딥러닝 모델의 의미론적 분할 기법(semantic segmentation)을 활용하여 가로 녹시율을 측정하였다. 본 연구의 결과는 도시의 다차원적 녹지 환경과 거주민의 신체·정신 건강의 관계를 규명하고 사회적 자본의 매개효과를 실증하는 것에 의의가 있다.

본 연구의 연구 가설은 다음과 같다. 첫째, 거주지 주변의 녹지 환경은 개인의 신체·정신 건강에 정(+)의 영향을 미칠 것이다. 둘째, 거주민의 사회적 자본은 녹지 환경과 개인 건강 간의 관계에서 정(+)의 매개효과를 가질 것이다. 셋째, 거주지 주변의 다양한 녹지(수직적·수평적)환경은 개인의 신체·정신 건강에 이질적 파급효과(heterogeneous effects)를 미칠 것이다.

2. 이론적 배경 및 선행 연구

2.1 도시 녹지와 도시민 건강

현대 도시 환경에서 도시 녹지는 시민의 건강과 웰빙에 중요한 역할을 하는 필수적인 공간이다. 도시 녹지는 거주민의 신체·정신 건강에 광범위한 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다. 도시 녹지는 근린공원, 수변공원, 가로녹지 등 다양한 형태로 조성되며, 선행 연구들에 의해 각기 다른 형태의 녹지가 제공하는 건강 이점이 지속적으로 입증되고 있다(Hartig et al., 2014; Frumkin et al., 2017). 녹지 공간에서의 야외활동(outdoor activity)은 개인의 건강 보호, 증진, 유지 및 회복을 위한 중요 수단으로 간주되며, 다양한 신체 활동의 기회를 제공하여 신체 건강(physical health)을 증진한다(Pretty et al., 2007; Carpenter, 2013). 특히, 주거지역 인근의 녹지 공간은 모든 연령층의 신체 활동 수준을 향상시키는데 효과적이며(Gascon et al., 2015), 실내 활동에 비해 더 오랜 시간 지속되고 높은 강도의 신체 활동을 유발하는 특징을 가지고 있다(Thompson-Coon et al., 2011). 또한, 도시 녹지는 도시민의 정신 건강(mental health)에 직접적인 치유 효과를 제공한다. 스트레스 회복 이론에 따르면 인간은 자연에 대한 선호를 가지고 있으며, 생활 속 자연 노출은 인간의 부교감 신경계를 활성화하여 스트레스로부터 회복을 촉진한다(Ulrich 1983; Ulrich et al., 1991). 따라서, 주거지역 주변의 녹지 증가는 개인의 우울증, 스트레스 수준을 감소시켜 정신 건강 개선에 유의미한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gascon et al., 2015; 강신우, 2020).

이렇듯 많은 선행 연구는 도시 녹지가 거주민의 신체 건강과 정신 건강에 서로 다른 방식의 건강 혜택을 제공한다는 것을 보여주었다. 그러나 실제로 거주지 주변의 어떠한 녹지 환경 특성들이 도시민의 건강에 직·간접적 파급효과를 미치는지에 대한 실증 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 이러한 선행 연구의 공백을 보완하기 위해, 거주지 주변의 녹지 환경을 수평적 녹지(NDVI 및 다양한 공원 접근성) 및 보행자 시점의 수직적 녹지(가로 녹시율)를 기반으로 정량화한다. 또한, 이러한 다차원적인 도시 녹지 환경이 개인의 신체·정신 건강에 미치는 직·간접적 파급효과를 실증 분석한다.

2.2 도시 녹지와 사회적 자본

사회적 자본은 사회를 구성하는 개인 및 집단 간의 사회적 관계와 연결된 실제적·잠재적 자원의 조합으로, 개인, 가족, 거주민 등 사회 구성 요소 간의 상호작용을 통해 표현된다(Francis et al., 2012). 사회적 자본의 측정 요소는 학문적 관점에 따라 다양하게 정의되지만, 공통으로 도시민 간 네트워크(network)와 신뢰(trust)가 핵심 요소로 포함된다(Putnam, 1993; Ostrom 2000; OECD, 2001; 김우락과 구자훈, 2011). 또한, 다양한 건강 및 공간 관련 연구에서는 공동체 의식(sense of community)을 사회적 자본의 중요한 구성 요소로 포함한다(Lochner et al., 1999; Pooley et al., 2005; Woo et al., 2023). 공동체 의식은 거주자가 살고 있는 지역 사회에 대한 개인의 소속

감과 애착, 유대감을 나타내며, 거주민의 정신 건강을 향상시킬 수 있는 중요한 요소로 강조된다(Carpiano and Hystad, 2011). 도시의 녹지 공간은 거주민 간의 사회적 상호작용을 촉진함으로써, 다양한 사회적 자본이 형성되는 핵심적인 물리적 장소로 기능한다(Mazumdar et al., 2018; Samsudin et al., 2022). 양질의 도시 공공공간은 도시민 간의 사회적 자본의 가치 향상에 중요한 역할을 하며(Ijla, 2012), 사회적 고립 가능성을 완화해 신체, 정신 건강에 간접적으로 긍정적인 영향을 미친다(Kim et al., 2023a). 이에 따라, 본 연구는 선행 연구에 근거하여, 도시민 간 ‘네트워크’, ‘신뢰’, ‘공동체 의식’을 생활권 내 사회적 자본을 구성하는 핵심 요소로 개념화한다.

2.3 보행자 시점의 가로 녹지

도시 녹지가 현대 사회에 제공하는 다차원적 혜택은 다양한 선행 연구를 통하여 지속적으로 입증되어왔다. 특히, 생활권 내 가로 녹지의 확충은 도시민의 보행 활동을 촉진하고, 누구나 쉽게 접근할 수 있는 쾌적한 보행 환경을 조성하는 데 기여한다(Strain et al., 2016). 나아가, 도시민의 일상생활 공간인 가로공간에 녹지를 조성할 경우, 보행자 및 인근 거주민의 심리적 회복에 직·간접적으로 기여할 수 있는 잠재력을 지닌 요소로 꾸준히 주목받고 있다(Zhao et al., 2020).

이러한 도시 녹지의 다양한 혜택에도 불구하고, 기존 선행 연구들은 주로 수평적 녹지 환경을 추정하는 데 초점을 맞추고 있다. 기존의 전통적인 녹지 측정 방법은 위성 영상 자료와 같은 수평적 데이터를 활용하여 녹지 면적이거나 공원 접근성을 추정하는 방식으로 사용되었다. 이러한 추정 방법은 도시 녹지의 공간적 분포(pattern)와 양(volume)을 거시적 관점에서 파악하는 데 유용하지만, 하늘에서 지면을 내려다보는 ‘탑다운(top-down) 시점’에서 측정되었기 때문에 보행자가 실제로 체감하는 미시적 관점의 가로 녹지 경험을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 존재한다. 최근 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술의 발전으로, 구글 스트리트 뷰(Google Street View: GSV)와 같은 가로 파노라마 이미지를 활용하여 보행자 시점의 가로 녹지 환경을 보다 정교하고 효율적으로 측정하는 것이 가능해지고 있다(기동환, 2020; Wang et al., 2021). 생활권 내 녹지 및 공원 면적과 같은 수평적·평면적 개념의 녹지율(green coverage ratio)과 보행 중 가로공간에서 체감하는 다양한 형태의 가로수, 벽면 녹화 등의 3D 기반 가로 녹지율은 보행자에게 서로 다른 방식으로 영향을 미칠 수 있다(Ki and Lee, 2021; 신형섭, 2022). 딥러닝 모델 기반으로 측정된 가로 녹지율은 보행자가 가로 공간에서 경험하는 즐거움, 흥미 등 정서적 감정과 밀접하게 연관되어 있으며, 이는 매력적인 가로경관을 조성해 보행자의 보행 시간을 증가시키고, 궁극적으로 건강 증진에 기여할 수 있다(Yu et al., 2016; Zang et al., 2020). 따라서, 본 연구는 기존의 녹지 측정 방식인 NDVI, 규모별 공원 접근성에 더해 가로환경 이미지 빅데이터 기반의 딥러닝 모델을 활용한 가로 녹지율을 함께 추정한다. 이를 통해 생활권 녹지 환경과 거주민의 건강 간의 상호관계에서 사회적 자본의 매개효과를 구조적으로 실증 분석한다.

3. 연구 방법

3.1 연구 범위 및 자료

본 연구는 대한민국의 수도인 서울시를 공간적 범위로 설정하였다. 서울시는 약 1천만 명의 인구가 생활하고 있는 아시아 메가시티(mega city)로, 1970~1980년대 급격한 도시화를 경험하였으며, 1990년대 말에는 ‘공원녹지 확충 5개년 계획’을 수립하여 도시 녹지의 체계적 확대를 추진해 왔다. 또한, 2010년대 후반부터 도시 녹지의 양적 확대를 넘어, 도시민 삶의 질 향상을 위한 입체공원 조성, 가로수 정비 및 벽면 녹화 등 다양한 형태의 녹지 정책이 시행되었다. 따라서 본 연구는 서울시를 대상으로 다양한 도시 녹지 환경이 거주민의 사회적 자본을 매개로 개인의 신체·정신 건강에 미치는 관계를 실증 분석하였다.

본 연구는 다차원적 녹지 환경과 개인의 건강, 사회적 자본 간의 구조적 관계를 분석하기 위하여 2021년 2월부터 3월까지 실시된 온라인 설문조사 자료를 활용하였다. 본 조사는 주거실태조사, 한국노동패널조사, 근로환경조사, 문화체육관광동향조사 등 대규모 공공 실태 설문조사를 주로 수행해 온 ○○기관을 통하여 진행하였다. 설문 대상은 서울시에 현재 거주 중이며 1년 이상 거주한 만 19세 이상의 성인 1,000명이다(Figure 1 참조). 표본은 서울시 전체 모집단의 특성을 최대한 반영할 수 있도록, 서울시 사회·인구학적 구조(성별, 연령)와 지역적 구조(서울시 5대 생활권: 중심권, 동남권, 동북권, 서남권, 서북권)를 기준으로 무작위 층화 표집(stratified random sampling) 방식으로 수집되었다(Table 1 참조). 본 연구는 설문 내용을 바탕으로 응답자의 신체·정신 건강, 사회적 자본, 건강 행태, 사회·인구학적 특성, 주거지 선호 선택 특성을 파악하였다. 또한, 본 연구에서는 설문 응답자의 주소지를

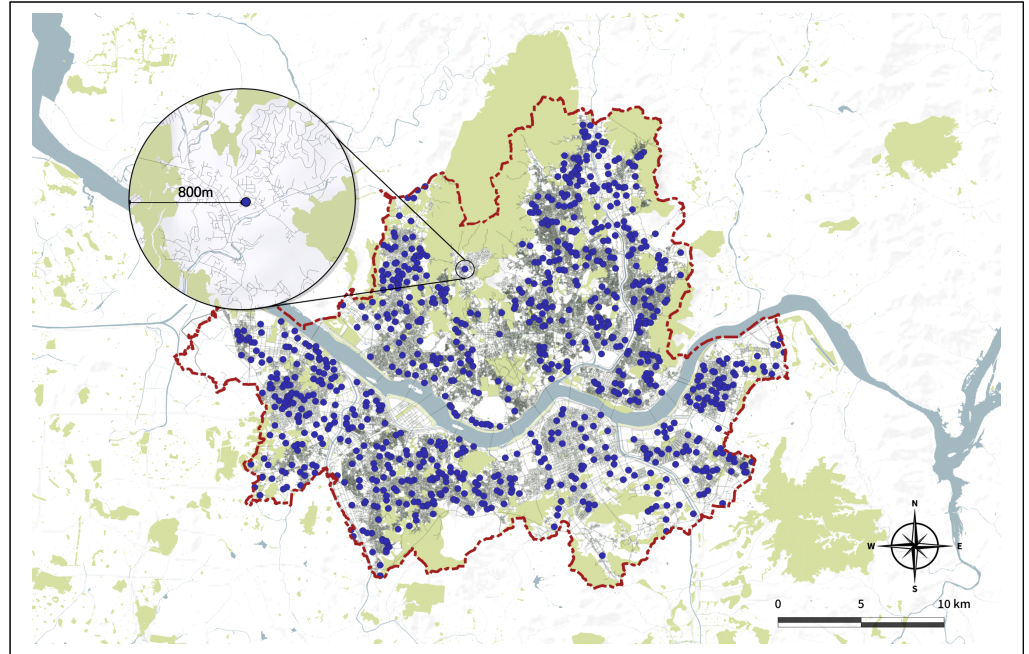


Figure 1. Spatial distribution of survey respondents in Seoul
Legend: ● a, Survey respondents □ b, Boundary of regional living area

Table 1. Stratified sampling implementation criteria

Division	Total	Age 19-29		Age 30-39		Age 40-49		Age 50-59		Age 60 and Above	
		Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Total	1,000	91	96	89	90	90	92	89	92	122	149
Central	53	5	5	5	5	4	4	5	5	7	8
Southeast	212	18	19	19	21	21	23	19	19	24	29
Northeast	309	28	29	25	25	27	27	29	30	40	49
Southwest	307	29	31	30	28	27	27	26	27	37	45
Northwest	119	11	12	10	11	11	11	10	11	14	18

중심으로 보행 가능 거리(walkable distance)로 간주되는 800m 버퍼(buffer)를 보행 생활권으로 설정하여 거주민 주변의 다차원적인 도시 녹지 환경과 보행 건조 환경 특성을 구축하였다.

3.2 변수 설정

본 연구의 종속변수는 신체 건강과 정신 건강 수준이며, 매개변수는 사회적 자본으로 설정하였다. 신체 건강은 응답자의 전반적인 신체 건강 상태에 대한 문항으로 “매우 나쁘다”, “나쁜 편이다”, “보통이다”, “좋은 편이다”, “매우 좋다”의 5점 리커트 척도(Likert scale)로 구성되었다. 정신 건강은 일상생활에서 개인이 주관적으로 느끼는 스트레스를 평가하는 PSS-10(Perceived Stress Scale)로 각 10개의 항목은 5점 리커트 척도로 평가되었다. 이후 10개의 문항을 합산한 뒤 원활한 해석을 위해 역 코딩하였다. 즉, PSS-10 기반의 정신 건강 점수가 높을수록 일상생활에서 지각된 스트레스 지수가 낮은 것으로 설정하였다. 매개변수인 사회적 자본은 선행 연구를 참고하여 네트워크, 신뢰, 공동체 의식의 세 가지로 구성하였으며, “전혀 그렇지 않다”, “그렇지 않다”, “그렇다”, “매우 그렇다”의 4점 리커트 척도로 평가되었다. 도시 근린 환경과 개인 건강의 관계를 분석할 때, 주거지 선호 선택(Residential Self-Selection: RSS)의 영향을 고려하지 않으면 인과관계 추론에 편향이 발생할 수 있다(Deng and Zhao, 2022). 주거지 선호 선택은 개인이 자신의 보행 행태나 생활방식에 맞추어 주거 위치를 선택하는 것을 의미한다(Handy et al., 2005). 본 연구에서는 “보행환경과 관계없이 주거지 주변에서 일상보행을 실천하시는 편입니까?”라는 문항으로 측정된 보행 행태 변수를 포함하여 이러한 주거지 선호 선택 편향을 통제하였다. 사회·인구학적 특성으로는 성별, 연령, 월평균 가구소득, 결혼 여부, 직업 여부, 최종학력을 포함하였으며, 건강행태 특성으로는 수면의 질, 음주 빈

도, 흡연 여부를 포함하였다. 응답자 거주지 주변 생활권의 보행 건조 환경 특성은 토지이용 혼합지수(Land Use Mix: LUM)인 엔트로피 지수를 활용하여 측정하였다. 해당 지수는 0에 가까울수록 단일 토지이용을, 1에 가까울수록 다양한 토지이용이 혼합되었음을 나타낸다. 또한, 본 연구는 주요 보행 건조 환경 특성을 나타낼 수 있는 생활권 내 교차로 밀도, 횡단보도 밀도, 버스 정류장 및 지하철역 출입구 밀도를 분석 모형에 포함하였다.

본 연구는 다양한 녹지 환경 특성이 제공하는 상이한 이점을 고려하여, 도시 녹지 환경을 다차원적으로 정량화함으로써 구조적 관계를 분석하고자 한다(Figure 2 참조). 녹지 환경 특성 중 수평적 녹지 환경인 NDVI는 식생의 밀도와 건강 상태를 직접적으로 대변하는 대표적인 식생 지표이다(정명희 등, 2012). NDVI는 USGS에 제공하는 Landsat 8 위성영상을 활용하여 2021년 6월 자료를 구득하였으며, 응답자 거주지 800m 버퍼 내 평균값을 산출하였다. 공원 접근성은 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」의 기준에 따라 도시공원을 생활권 공원, 주재공원으로 분류하였다. 그 외에 주로 도시 외곽 지역에 위치한 도시자연공원구역과 국립공원을 자연공원으로 분류하였다. 공원 접근성의 측정은 설문 응답자 거주지에서부터 공원까지의 최단 거리(m)를 측정하였다. 보행자 시점의 수직적 녹지 환경인 가로 녹사율은 GSV 파노라마 이미지와 딥러닝 모델 HRNetV2-W48를 활용하였다. 분석에 활용하여 추정하였다. 분석에 활용된 모든 변수는 Table 2와 같다.

3.3 보행자 시점의 가로 녹사율 측정

본 연구는 다차원적 도시 녹지 환경의 생활권 내 파급효과를 추정하기 위하여, 수평적 녹지 환경인 NDVI와 공원 접근성뿐 아니라, 보행자 및 거주민이 실제로 체감하는 수직적 녹지 환경을 대표하는 가로 녹사율을 실증적으로 분석한다. 가로 녹사율은 설문 응답자 거주지 기준 보행 가능 거리인 800m 반경 내 가로 녹사율의 평균값을 측정하였으며, 그 과정은 다음과 같다(Figure 3 참조). 본 연구는 서울시 전체 가로망을 따라 20m 간격으로 위도 및 경도 정보를 추출하였다. 해당 포인트 지점을 기준으로 GSV 파노라마 이미지를 수집하였으며, 이미지 구득은 2021년 5월에 진행되었다. 서울시의 가로 이미지는 연구의 시간적 범위인 2021년 전후 3년 중 대부분이 2018년에 촬영되어, 시점의 통일성과 일관성을 확보하기 위하여 2018년의 이미지만을 활용하였다. 이 중 물리적 환경에 적합하지 않은 실내 이미지 및 보행자 접근이 제한된 터널, 교량, 고속도로 등의 이미지 18,982장을 제외하였다. 또한, 딥러닝 모델의 가로 녹사율 측정을 왜곡할 수 있는 겨울철(12월~2월) 촬영 이미지 636장을 제외하였다. 최종적으로 본 연구는 설문 응답자 1,000명의 주변 생활권 800m 버퍼 내의 240,266장의 GSV 파노라마 이미지를 활용하였다. GSV 파노라마 이미지의 특성상 이미지 가장자리(edge)에는 왜곡이 발생하기 때문에, 인간의 시야각(human field of view)을 기준으로 좌우 270°, 상단 80°, 하단 70°를 초과하는 왜곡 영역을 제거하였다(Yin and Wang, 2016). 본 연구는 최종적으로 이렇게 정제된 GSV 파노라마 이미지를 딥러닝 모델 기반의 의미론적 분할 기법을 적용하여 가로 녹사율을 측정하였다. 딥러닝 모델은 가로 환경 추정에서 높은 정확도를 보이는 ADE20K 데이터셋 학습 기반의 HRNetV2-W48 모델을 활용하였다. 본 연구는 HRNetV2-W48 모델을 통해 식생 객체로 분류된

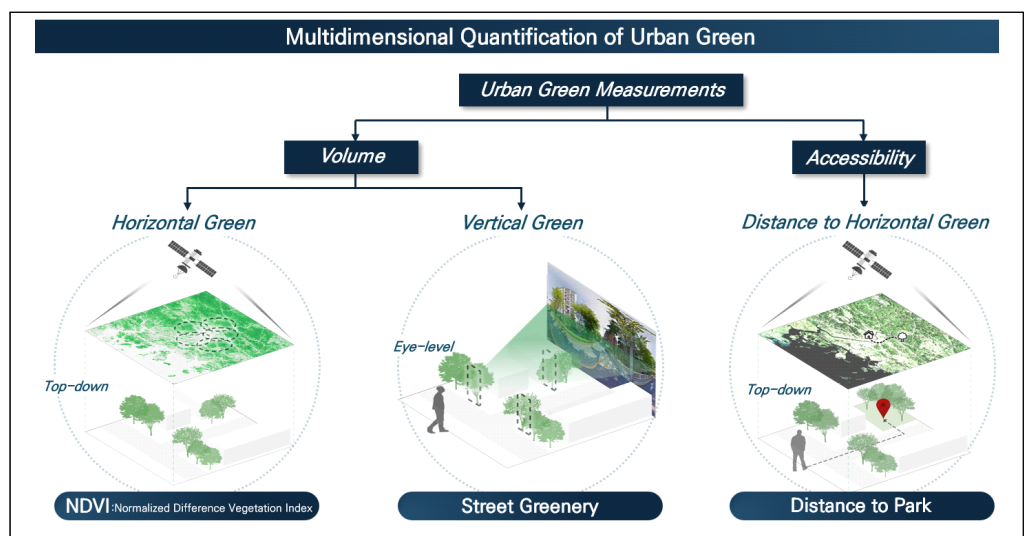


Figure 2. Multidimensional quantification of green
source : USGS Landsat 8 satellite, Google Street View data © 2021 Google

Table 2. Measurement of variables

Variable	Measurement	Source
Dependent variables		
Physical health	1-5 Likert scale, 5=strongly healthy: Overall health conditions	Online Survey (2021)
Mental health	Reverse coding by summing perceived stress scale (PSS-10)	
Mediation variables		
Social capital		
Network 1	1-4 Likert scale: I know many of my neighbors	Online Survey (2021)
Network 2	1-4 Likert scale: My neighbors are friendly with each other	
Trust	1-4 Likert scale: I trust my neighbors	
Sense of community 1	1-4 Likert scale: I am proud to live in my neighborhood	
Sense of community 2	1-4 Likert scale: I feel I belong to a community	
Independent variables		
Residential self-selection		
Walking behavior	1-4 Likert scale, 4=strongly agree: Engage in utilitarian walking around residential neighborhoods regardless of the walking environment	Online Survey (2021)
Socio-demographic Characteristics		
Gender	1=male; 0=female	Online Survey (2021)
Age	years	
Monthly household income	1=under 100 million won-11=over 1,000 million won	
Marital status	1=married; 0=unmarried	
Occupation	1=employed; 0=unemployment	
Education	1-4 Likert scale, 4=master’s degree or higher	
Health behavior		
Sleep quality	1-5 Likert scale, 5=sleeping very well	Online Survey (2021)
Drink	1-5 Likert scale, 5=more than 4 times a week	
Smoke	1=yes; 0=no	
Walkable Environments		
Intersection density	Number of intersections / total street length in 0.8km buffer (km)	KT DB (2018)
Crosswalk density	Number of crosswalk / total street length in 0.8km buffer (km)	Data Seoul (2018)
ln(bus stop density)	Number of bus stop / total street length in 0.8km buffer (km)	KT DB (2018)
Subway station density	Number of subway station / total street length in 0.8km buffer (km)	
Land use mix	$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k p_i \cdot \frac{p_i \ln(p_i)}{\ln(k)}$ (k: total number of land use type, p: percentage of each land use type i in the area) Land use mix entropy index (0-1)	Data Seoul (2018)
Green Environments		
ln(Street Greenery)	Average of (vegetation pixels / total pixels x 100) within a 0.8 km buffer	GSV (2018)
NDVI	Average of [(Band5-Band4)/(Band5 + Band4)] in the 0.8km buffer	USGS (2021)
ln(Distance to life zone park)	Shortest distance to nearest life zone park(m)	Public Data & Data Seoul (2021)
ln(Distance to theme park)	Shortest distance to nearest theme park(m)	
ln(Distance to nature park)	Shortest distance to nearest nature park(m)	

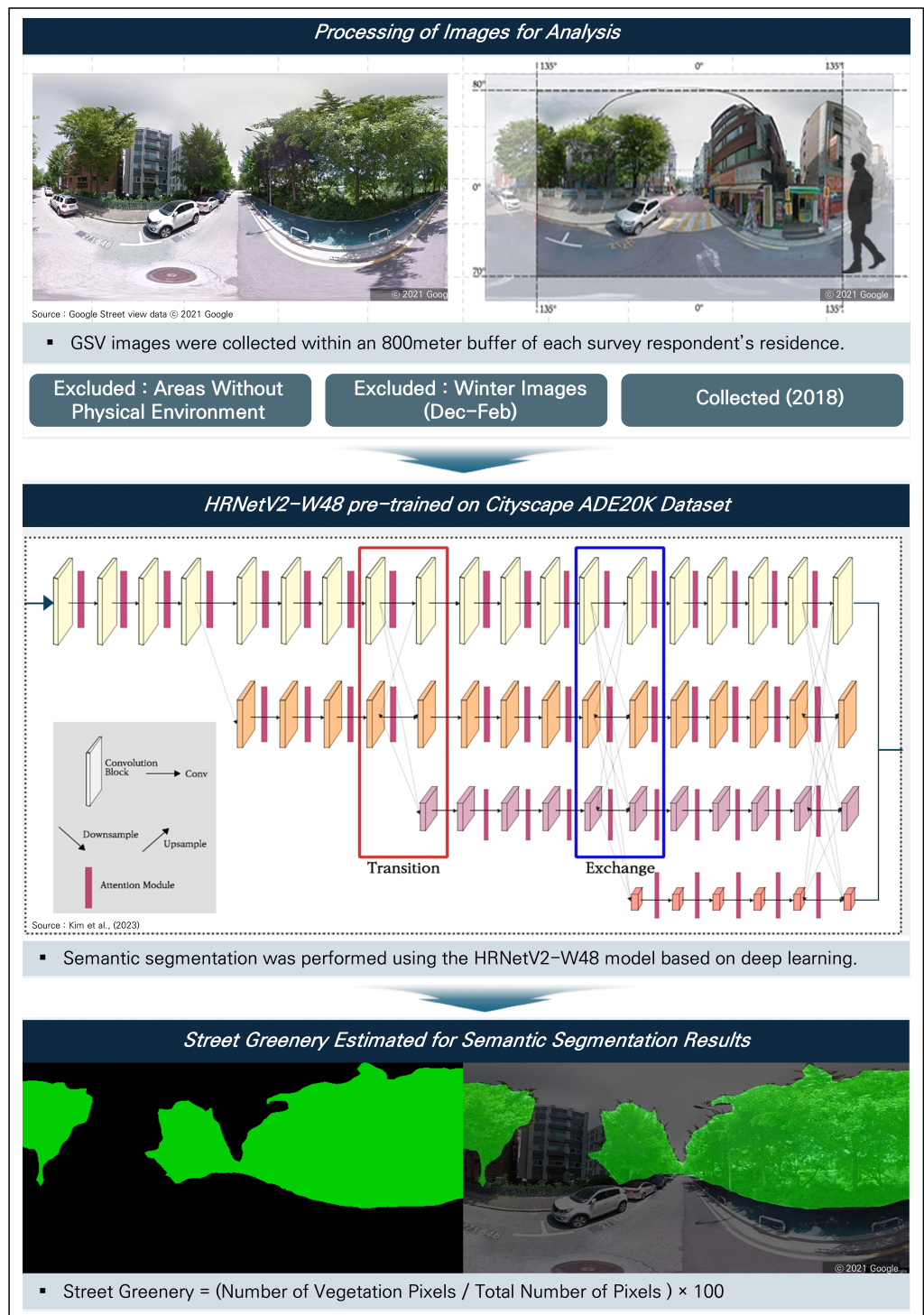


Figure 3. Deep learning-based process for street greenery measurements
source : Google Street View data © 2021 Google; Kim et al., 2023b

픽셀 수를 전체 픽셀 수로 나눈 비율에 100을 곱하여 가로 녹사율[식생 픽셀 수 / 전체 픽셀 수) × 100]을 산출하였다(Zhou et al., 2020).

3.4 연구의 모형

본 연구는 구조방정식을 활용하여 다양한 도시 녹지 환경이 사회적 자본을 매개로 개인의 신체 · 정신 건강에 미치는 파급효과를 추정한다. 구조방정식 모형은 미리 가정된 인과 관계에 대한 직 · 간접적인 영향을 실증적으로 추

정할 수 있다(Fan et al., 2016). 연구의 개념적 모형은 다음과 같이 설정하였다(Figure 4 참조). 모델 1의 종속변수는 신체 건강 수준, 모델 2의 종속변수는 정신 건강 수준이며, 매개변수는 다섯 개의 관찰변수로 측정된 사회적 자본을 잠재변수(latent variable)로 설정하였다.

전통적인 구조방정식 모형은 종속변수 및 매개변수를 연속형 변수로 가정한다. 하지만 본 연구의 종속변수인 신체 건강 수준과 매개변수인 사회적 자본 수준은 순서형 변수이기 때문에, 전통적인 구조방정식 모형을 적용할 경우 오차의 정규성과 등분산성 가정에 위배되어 편향(biased)된 표준오차가 발생할 수 있다(김수민과 김수영, 2018). 이러한 한계를 극복하기 위해, 본 연구에서는 순서형 변수 또는 이분형 변수가 종속변수로 사용될 경우 결과를 강건하게 추정할 수 있는 WLSMV(Weighted Least Square Mean and Variance adjusted) 추정법을 사용하였다(Brown, 2015). 통계분석은 Stata 14.0(StataCorp, 2015)과 M-Plus 8.3(Muthén & Muthén, 2019)을 활용하였으며, 부트스트래핑(bootstrapping) 방법을 통해 매개효과의 통계적 유의성을 검증하였다. 모형적합도 평가에는 SRMR(Standardized Root Mean Square), RMSEA(Root Mean Square Error of Approximation), CFI(Comparative Fit Index), TLI(Tucker-Lewis Index)를 활용하였다.

4. 연구 결과

4.1 기술통계

Table 3은 본 연구의 기술통계 결과를 보여준다. 종속변수인 신체 건강과 정신 건강 수준의 평균은 각각 2.97과 29.92로 응답자는 개인 건강을 보통 수준으로 평가하였다. 사회적 자본에서는 공동체 의식 문항에 대해 가장 높은 평균값이 확인되었다. 보행 행태는 2.86으로 나타났으며, 응답자의 성별은 여성 52%, 남성 48%, 연령은 평균 46.39세로 나타났다. 결혼 여부는 기혼이 미혼보다 더 높게 나타났다. 또한, 응답자 중 92%가 직업이 있는 것으로 나타났다. 응답자 평균 수면의 질은 2.98로 보통인 것으로 나타났으며, 흡연 여부는 흡연자가 23%인 것으로 나타났다. 보행 건조 환경 특성에서 교차로 밀도의 평균은 6.18, 토지이용 혼합도의 평균은 0.74로 나타났다. 횡단보도 밀도의 평균은 10.67, 버스정류장 밀도는 0.85, 지하철역 출입구 밀도는 0.11로 나타나, 대부분의 응답자가 대중교통을 이용할 수 있는 적합한 거리에 있는 것으로 나타났다. 녹지 환경 특성으로는 가로 녹사율의 평균은 5.23으로 나타났다. NDVI의 평균값은 0.07로 나타났다. 생활권 공원, 주제공원, 자연공원 접근성의 평균은 각각 228.53, 1419.58, 945.50인 것으로 나타났으며, 주거지와 근접하게 위치한 생활권 공원까지의 거리가 가장 가깝게 나타난 것으로 확인된다. 마지막으로, 버스정류장 및 가로 녹사율 변수, 공원까지의 거리 변수는 정규성 가정(normality assumption)을 위배하여, 본 연구는 이를 통계적으로 보정해주기 위하여 로그 변환(Ln)을 수행하였다.

4.2 확인적 요인분석(Confirmatory Factor Analysis) 결과

본 연구의 매개변수인 사회적 자본을 측정하기 위해 관찰변수로, ‘네트워크’ 두 문항, ‘신뢰’ 한 문항, ‘공동체 의식’ 두 문항을 설정하였다. 연구의 측정 모형에 대한 확인적 요인분석을 통하여, 잠재변수인 사회적 자본에 있어 관

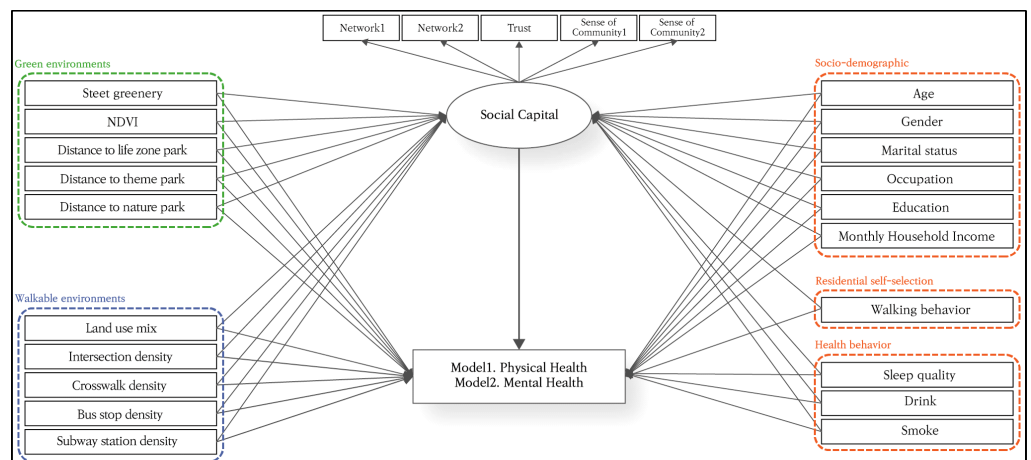


Figure 4. Research conceptual framework

Table 3. Descriptive statistics of variables

Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Variance inflation factor
Dependent variables					
Physical health	2.974	0.766	1	5	1.17
Mental health	29.923	5.051	12	46	1.42
Mediation variables					
Social capital					
Network 1	2.097	0.749	1	4	2.00
Network 2	2.203	0.781	1	4	2.14
Trust	2.407	0.760	1	4	1.96
Sense of community 1	2.515	0.767	1	4	1.96
Sense of community 2	2.501	0.768	1	4	2.21
Independent variables					
Residential self-selection					
Walking behavior	2.869	0.649	1	4	1.09
Socio-demographic Characteristics					
Gender	0.481	0.499	0	1	1.20
Age	46.392	15.064	19	88	2.12
Monthly household income	5.340	2.490	1	11	1.27
Marital status	0.622	0.485	0	1	2.13
Occupation	0.920	0.271	0	1	1.09
Education	2.590	0.637	1	4	1.15
Health behavior					
Sleep quality	2.985	1.006	1	5	1.20
Drink	2.276	1.281	1	5	1.18
Smoke	0.232	0.422	0	1	1.23
Walkable Environments					
Intersection density	6.189	3.159	0.122	15.247	1.97
Crosswalk density	10.674	4.154	1.127	24.117	1.20
ln(bus stop density)	-0.235	0.391	-1.462	0.958	1.21
Subway station density	0.117	0.094	0	0.655	1.27
Land use mix	0.744	0.102	0.209	0.979	1.19
Green Environments					
ln(Street greenery)	1.481	0.580	0.143	3.269	1.79
NDVI	0.079	0.020	0.016	0.159	2.63
ln(Distance to life zone park)	5.222	0.687	1.036	7.085	1.02
ln(Distance to theme park)	6.948	0.860	3.851	8.718	1.06
ln(Distance to nature park)	6.401	1.068	2.246	8.266	2.05

차별수들의 표준화 계수인 요인 부하량(factor loading)을 확인하였다. 그 결과 관찰변수들의 표준화 계수인 요인 부하량이 모두 0.50 이상(Hair et al., 2010)의 부하량을 가져 수렴타당성(convergent validity)을 확보한 것으로 나타났다. 또한, 모형적합도는 RMSEA, SRMR, CFI, TLI를 통해 평가하였으며, 우수한 모형 적합도를 가지는 것으로 확인하였다(Table 4 참조).

4.3 구조방정식 모형 결과

4.3.1 구조방정식 적합도 검정

Table 5는 본 연구의 개념적 모형을 토대로 분석한 구조방정식 모형의 적합도 지수를 보여준다. 모델 1의 종속 변수는 신체 건강, 모델 2의 종속변수는 정신 건강이며 매개변수는 사회적 자본이다. 모델 1과 모델 2 모두 모형

Table 4. Results of CFA

Social Capital	Estimate	Standard Deviation	P-Value	R ²
Network 1	0.571	0.027	0.000	0.326
Network 2	0.595	0.025	0.000	0.354
Trust	0.732	0.017	0.000	0.536
Sense of community 1	0.804	0.016	0.000	0.647
Sense of community 2	0.927	0.014	0.000	0.859
Model fit indices				
Number of Observations	1,000			
RMSEA	0.040			
CFI	1.0			
TLI	0.998			
SRMR	0.004			
Cronbach α	0.8403			

Table 5. Model fit

Index	Criteria	Model 1	Model 2
RMSEA	≤ 0.08	0.023	0.021
SRMR		0.034	0.037
CFI	≥ 0.90	0.994	0.994
TLI		0.989	0.991

적합도 기준인 RMSEA, SRMR 0.08 이하, CFI, TLI 0.90 이상을 충족한다.

4.3.2 신체 건강 모형 결과

녹지 환경과 사회적 자본, 신체 건강의 관계를 분석한 모델 1의 구조방정식 결과는 Figure 5와 같다. 사회적 자본은 신체 건강에 유의미한 영향을 미쳤다. 신체 건강에 가로 녹사율, 교차로 밀도, 월평균 가구소득, 수면의 질이 유의미한 정(+)의 직접영향을 미치는 것으로 나타났다. 사회적 자본에는 가로 녹사율, 보행 행태, 연령, 월평균 가구소득, 수면의 질이 유의미한 정(+)의 직접영향을 미치는 것으로 확인되었다. Table 6은 모델 1의 간접 효과, 직접 효과 그리고 총 효과를 보여준다. 가로 녹사율, 월평균 가구소득, 수면의 질은 사회적 자본과 신체 건강 각각의 직접 효과와 사회적 자본의 매개효과를 통해 신체 건강을 증진시키는 간접 효과, 총 효과가 모두 유의미한 것으로 나타났다.

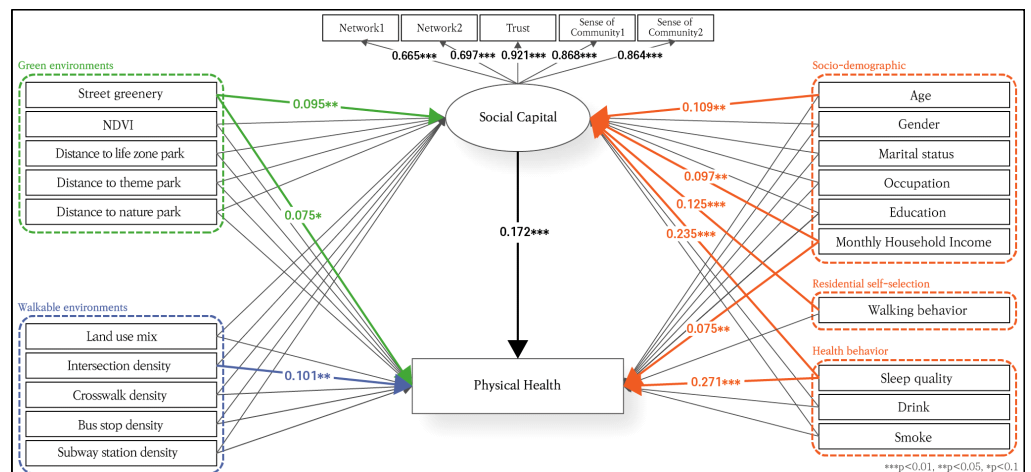


Figure 5. Model 1 physical health results

Table 6. Model 1 physical health indirect effect and direct effect

	Direct effect				Indirect effect		Total effect	
	Social capital		Physical health		Physical health		Physical health	
	Standard coefficient	95% confidence interval	Standard coefficient	95% confidence interval	Standard coefficient	95% confidence interval	Standard coefficient	95% confidence interval
Gender	0.009	(-.061 - .074)	0.036	(-.029 - .110)	0.001	(-.012 - .015)	0.037	(-.028 - .114)
Age	0.109**	(.024 - .202)	-0.063	(-.154 - .027)	0.019**	(.004 - .041)	-0.045	(-.137 - .043)
Monthly household income	0.097**	(.024 - .174)	0.075**	(.008 - .146)	0.017**	(.004 - .035)	0.092**	(.021 - .164)
Marital status	0.078	(-.017 - .168)	0.037	(-.046 - .116)	0.013	(-.002 - .035)	0.050	(-.034 - .131)
Occupation	0.001	(-.065 - .071)	0.036	(-.040 - .107)	0.000	(-.012 - .014)	0.036	(-.042 - .110)
Education	0.002	(-.064 - .076)	0.057	(-.017 - .128)	0.000	(-.011 - .014)	0.058	(-.018 - .131)
Sleep quality	0.235***	(.165 - .300)	0.271***	(.204 - .350)	0.040***	(.020 - .064)	0.312***	(.247 - .383)
Drink	-0.025	(-.092 - .045)	-0.003	(-.064 - .060)	-0.004	(-.017 - .008)	-0.008	(-.069 - .056)
Smoke	0.037	(-.042 - .104)	-0.043	(-.114 - .018)	0.006	(-.007 - .021)	-0.037	(-.105 - .026)
Walking behavior	0.125***	(.048 - .199)	0.015	(-.057 - .097)	0.022**	(.007 - .039)	0.036	(-.037 - .116)
Intersection density	-0.036	(-.144 - .054)	0.101**	(.010 - .183)	-0.006	(-.022 - .009)	0.095**	(.000 - .176)
Crosswalk density	0.039	(-.041 - .114)	-0.030	(-.098 - .052)	0.007	(-.007 - .022)	-0.023	(-.096 - .061)
Bus stop density	-0.035	(-.101 - .038)	0.018	(-.058 - .089)	-0.006	(-.019 - .007)	0.012	(-.064 - .086)
Subway station density	0.040	(-.029 - .108)	0.003	(-.068 - .066)	0.007	(-.005 - .022)	0.010	(-.058 - .072)
Land use mix	-0.022	(-.077 - .049)	-0.028	(-.097 - .033)	-0.004	(-.016 - .009)	-0.032	(-.099 - .029)
Street greenery	0.095**	(.003 - .180)	0.075*	(-.007 - .170)	0.016*	(.001 - .036)	0.091**	(.014 - .186)
NDVI	0.029	(-.069 - .121)	-0.061	(-.152 - .025)	0.005	(-.011 - .024)	-0.056	(-.151 - .032)
Distance to life zone park	0.023	(-.035 - .081)	-0.027	(-.087 - .033)	0.004	(-.006 - .016)	-0.023	(-.084 - .038)
Distance to theme park	-0.031	(-.092 - .033)	-0.044	(-.112 - .017)	-0.005	(-.019 - .006)	-0.050	(-.115 - .016)
Distance to nature park	-0.021	(-.113 - .060)	-0.028	(-.110 - .057)	-0.004	(-.021 - .012)	-0.031	(-.120 - .053)
Social capital			0.172***	(.088 - .247)				

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

4.3.3 정신 건강 모형 결과

Model 2의 구조방정식을 통해 녹지 환경과 사회적 자본, 정신 건강의 관계를 분석해 산출한 결과는 Figure 6과 같다. 사회적 자본은 정신 건강에 유의미한 영향을 미쳤다. 정신 건강에 연령, 월평균 가구소득, 직업, 수면의 질이 유의미한 정(+)의 직접영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 정신 건강에 생활권 공원까지의 거리, 횡단보도 밀도가 유의미한 부(-)의 직접영향을 미치는 것으로 확인되었다. 즉, 거주지에서 생활권 공원까지의 거리가 가까울수록 정신 건강을 향상시키는 유의미한 효과가 나타났다. 사회적 자본에는 가로 녹식율, 연령, 월평균 가구소득, 수면의 질이 유의미한 정(+)의 직접영향을 미치는 것으로 확인되었다.

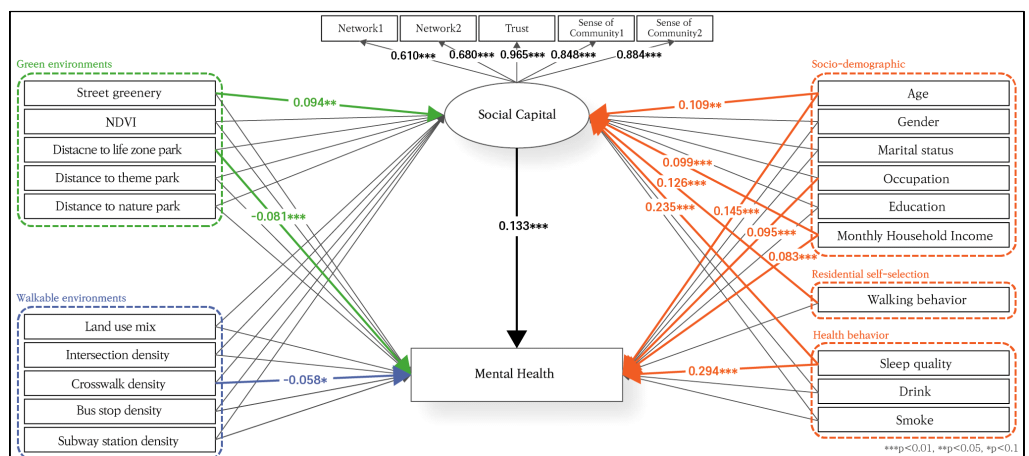


Figure 6. Model 2 mental health results

Table 7은 모델 2의 간접 효과, 직접 효과 그리고 총 효과를 보여준다. 연령, 월평균 가구소득, 수면의 질은 사회적 자본과 정신 건강 각각의 직접 효과, 간접 효과, 총 효과가 모두 유의한 것으로 나타났다. 녹지 환경 특성 중 가로 녹사율은 모델 1과 달리, 정신 건강에 직접 효과를 미치지 않지만, 사회적 자본의 매개효과를 통해 정신 건강을 향상시키는 간접 효과가 유의하게 나타났다. 또한, 생활권 공원까지의 거리는 유의미한 부(-)의 직접 효과, 총 효과가 유의미하게 나타나, 거주지에서 생활권 공원까지의 거리가 가까울수록 정신 건강을 향상시키는 것으로 확인되었다.

5. 결론

5.1 연구 결론

현대 도시는 점차 보행 중심의 일상권 구조로 공간이 계획되고 있으며, 이에 따라 도시민의 일상 속 녹지 공간은 단순한 환경적 기능을 넘어, 지역 사회 보건 증진과 사회적 자본 형성의 촉매제 역할이 새롭게 주목받고 있다. 생활권 내 주거, 상업, 녹지의 유기적 연계를 통해 시민의 건강을 향상시키는 것은 조경계획가와 정책입안자에게 점차 중요한 과제로 부상하고 있다. 본 연구는 도시 녹지 환경과 개인 건강 간의 관계에서 거주민의 사회적 자본이 갖는 매개효과를 구조방정식 모형을 통해 실증하였다. 또한, 보행자 시점에서 직접 경험하는 수직적 녹지 환경을 정밀하게 측정하기 위해, 최근 주목받는 기술인 가로환경 이미지 빅데이터와 딥러닝 기반 분석 모델을 활용하여 가로 녹사율을 측정하였다. 그 결과, 다양한 형태의 사회적 자본이 도시 녹지 환경과 개인의 건강 간의 관계에서 유의미한 매개효과를 가지며, 수직적·수평적 녹지 환경의 유형에 따라 개인의 건강에 미치는 영향이 상이하다는 것을 실증적으로 확인하였다.

Table 7. Model 2 mental health indirect effect and direct effect

	Direct effect				Indirect effect		Total effect	
	Social capital		Mental health		Mental health		Mental health	
	Standard Coefficient	95% Confidence Interval	Standard Coefficient	95% Confidence Interval	Standard Coefficient	95% Confidence Interval	Standard Coefficient	95% Confidence Interval
Gender	0.007	(-.059 - .076)	0.045	(-.015 - .107)	0.001	(-.008 - .011)	0.046	(-.014 - .109)
Age	0.109**	(.023 - .204)	0.145***	(.061 - .230)	0.014**	(.003 - .032)	0.159***	(.073 - .248)
Monthly household income	0.099***	(.024 - .173)	0.083***	(.022 - .146)	0.013**	(.004 - .028)	0.096***	(.035 - .157)
Marital status	0.076	(-.023 - .161)	0.038	(-.046 - .129)	0.010	(-.001 - .027)	0.048	(-.033 - .0141)
Occupation	0.000	(-.066 - .065)	0.095***	(.031 - .160)	0.000	(-.010 - .009)	0.095***	(.030 - .159)
Education	0.001	(-.061 - .070)	0.010	(-.051 - .071)	0.000	(-.010 - .009)	0.010	(-.052 - .070)
Sleep quality	0.235***	(.166 - .299)	0.294***	(.226 - .359)	0.031***	(.015 - .051)	0.325***	(.261 - .389)
Drink	-0.026	(-.095 - .040)	0.007	(-.051 - .066)	-0.003	(-.015 - .005)	0.003	(-.056 - .063)
Smoke	0.036	(-.037 - .100)	-0.034	(-.091 - .031)	0.005	(-.004 - .015)	-0.029	(-.089 - .036)
Walking behavior	0.126***	(.044 - .198)	0.013	(-.051 - .074)	0.017**	(-.005 - .033)	0.030	(-.035 - .092)
Intersection density	-0.036	(-.114 - .053)	0.025	(-.052 - .102)	-0.005	(-.018 - .007)	0.021	(-.059 - .100)
Crosswalk density	0.037	(-.038 - .110)	-0.058*	(-.124 - .010)	0.005	(-.004 - .018)	-0.053	(-.117 - .017)
Bus stop density	-0.036	(-.104 - .032)	0.020	(-.041 - .081)	-0.005	(-.016 - .004)	0.015	(-.048 - .076)
Subway station density	0.040	(-.025 - .113)	0.000	(-.065 - .059)	0.005	(-.003 - .018)	0.005	(-.059 - .065)
Land use mix	-0.021	(-.077 - .048)	0.021	(-.030 - .080)	-0.003	(-.012 - .006)	0.018	(-.033 - .078)
Street greenery	0.094**	(.008 - .177)	0.000	(-.076 - .076)	0.013*	(.001 - .029)	0.013	(-.063 - .088)
NDVI	0.030	(-.059 - .126)	0.036	(-.029 - .104)	0.004	(-.008 - .020)	0.040	(-.026 - .110)
Distance to life zone park	0.022	(-.032 - .079)	-0.081***	(-.136 - -.028)	0.003	(-.004 - .012)	-0.078***	(-.133 - -.025)
Distance to theme park	-0.032	(-.092 - .026)	0.020	(-.040 - .083)	-0.004	(-.015 - .003)	0.016	(-.043 - .077)
Distance to nature park	-0.020	(-.100 - .061)	-0.043	(-.116 - .030)	-0.003	(-.016 - .009)	-0.046	(-.118 - .028)
Social capital			0.133***	(.062 - .197)				

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

본 연구의 실증분석 결과, 녹지 환경 특성 중 가로 녹시율은 신체 건강 모형에서 직접 효과, 간접 효과, 총 효과가 모두 유의한 것으로 나타났다. 따라서 생활권 주변의 수직적 녹지 환경은 사회적 자본의 축진을 통해 신체 건강을 향상시키는 중요한 형태임을 나타낸다. 쾌적한 가로 녹지는 생활권 내·외 지역 간의 연결성을 높이고, 보행을 통한 주민들의 신체 활동을 촉진함으로써 거주민의 신체 건강에 직접적으로 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 또한, 이러한 가로 녹지 환경은 주민 간의 대면 상호 작용을 증진시켜 사회적 자본을 강화하며(Kim et al., 2024), 증가된 사회적 자본은 도시 및 지역 공동체 내 다양한 사회적 활동과 신체 활동 수준을 향상시켜 결과적으로 거주민의 신체 건강을 더욱 증진시킨다(Eriksson, 2011). 이러한 결과는 도시 녹지 정책에서 녹지 면적의 양적 확충뿐만 아니라, 수직적 녹지의 질적 개선이 개인의 사회적 자본 및 신체 건강 증진에 있어 중요한 요인임을 시사한다. 특히, 가로 녹지는 도시민이 일상생활 속에서 가장 쉽게 접근할 수 있는 녹지 형태로서, 수목 활력도 증진을 위한 정기적인 수목 진단과 수목 상태에 따른 수관 밀도 조절 등 장기적인 활력도 유지·관리를 위한 정책적 지원이 필요하다. 또한, 공원 공급 중심의 전통적인 녹지공급 정책에 더해, 가로수, 벽면 녹화 등 다양한 수직적 녹지 요소를 포함한 가로 녹지의 확충은 도시민의 신체 활동과 보행 활동을 보다 촉진할 수 있는 실천적 접근 방법이 될 수 있다(Markevych et al., 2017).

정신 건강 모형에서는 가로 녹시율이 직접적인 영향을 미치지 않는 반면, 사회적 자본을 매개로 정신 건강에 유의미한 간접 효과를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가로 녹시율의 증진이 사회적 자본을 매개로 개인의 정신 건강을 향상시킬 수 있는 중요한 환경적 요인임을 시사한다. 즉, 가로 녹지를 통해 증진된 사회적 자본은 이웃 간의 사회적 교류 및 유대감을 강화하고, 이러한 관계성의 향상은 개인의 정신 건강을 지원할 수 있는 간접적이면서도 실천 가능한 경로로 작용할 수 있다. 한편, 거주지에서 생활권 공원까지의 높은 접근성은 정신 건강에 유의미한 직접 효과를 미치는 것으로 나타났다. 생활권 공원은 주거지와 가장 인접한 위치에 있어 도시민이 일상적으로 이용할 수 있는 가장 보편적인 공공녹지 공간이다. 이러한 공원 접근성이 정신 건강에 미치는 긍정적인 파급효과는 많은 선행 연구에서 검증된 바 있으며, 최근 팬데믹(COVID-19) 기간 동안 도시민 스트레스 완화 수단으로 생활권 공원의 중요성이 더욱 부각되었다. 따라서, 생활권 공원의 우선적 확충은 도시민의 정신 건강 증진에 기여할 수 있는 실질적인 정책적 방안이 될 수 있으며, 나아가 생활권 공원과 도시공원을 유기적으로 연결하는 가로 녹지 네트워크(greenway) 구축은 도시민의 신체·정신 건강을 동시에 증진시킬 수 있는 통합적 전략이 될 수 있을 것이다.

마지막으로, 보행 건조 환경 특성 중 교차로 밀도는 신체 건강에 유의미한 직접 효과를 가지는 것으로 나타났다. 높은 교차로 밀도는 생활권이 보다 세분화된 소규모 블록으로 설계되어 있음을 의미하며, 이는 보행 친화적인 도시 환경으로 간주된다(Ozbil et al., 2011). 따라서 도시민의 신체 건강 증진을 위해 소규모 블록 기반의 도시 설계를 활성화할 필요성을 시사한다. 아울러, 교차로 주변의 가로 녹지를 강화하는 조경 설계를 병행할 경우, 보행 환경의 질을 높이는 동시에 도시민의 사회적 자본 및 신체·정신 건강을 함께 증진시킬 수 있는 효과적인 방안이 될 수 있다.

5.2 연구 의의 및 한계점

본 연구는 도시 녹지 환경이 거주민의 건강에 미치는 직접적 영향뿐만 아니라 사회적 자본을 통한 간접적 영향을 종합적으로 분석하였다. 이는 녹지 환경이 거주민의 건강에 미치는 영향을 다양한 경로를 통해 이해하는 데 도움이 될 것이다. 또한, 본 연구는 도시 녹지를 다차원적으로 정량화하여 거주민 건강에 미치는 상이한 효과를 분석했다. 특히, 기존의 전통적인 녹지 측정방식인 NDVI와 공원 접근성에 더해 답러닝 분석을 활용하여 보행자 시점의 가로 녹시율을 정량화하였다는 점에서 의의가 있다. 마지막으로, 본 연구의 결과는 향후 조경계획가 및 정책입안자에게 건강 도시 조성을 위한 실천적 가이드라인을 제공할 수 있으며, 생활권 내 녹지 공간 확충 필요성을 뒷받침하는 실증적 근거가 될 수 있을 것이다.

다만, 본 연구는 몇 가지 한계점을 가진다. 첫째, 본 연구에 활용된 자료는 특정 한 시점에 수행된 설문조사를 통하여 구축되었다. 본 연구는 이러한 횡단면 자료를 활용하여 분석을 수행하였기 때문에 시간적 선후관계를 기반으로 한 인과성을 파악하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 향후 패널 추적조사와 같은 종단면 자료를 활용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구에 활용된 건강 관련 설문은 응답자의 주관적 관점으로 자기 기입(self-report) 된 자료이다. 이러한 자기 기입 방식은 응답자의 실제 건강 상태를 반영하는데 한계가 있으며, 추후 연구에서는 객관적인 건강검진 자료, 웨어러블 기기(wearable device) 기반 자료 등을 활용한 객관적 측정 변수 구축이 필요하다. 셋째, 사회적 자본이 높은 개인들이 녹지가 풍부한 지역을 선호하여 거주지를 선택했을 가능성이

있다. 이러한 역인과성(reverse causality)을 면밀히 통제할 수 있는 추가적인 연구가 필요할 수 있다. 넷째, 본 연구는 사회경제적 특성을 고려하는데 개인의 설문 응답자료만을 활용하였다. 후속 연구에서는 개인 단위의 사회경제적 특성뿐 아니라 공간 단위의 사회경제적 특성(예, 지역 주택가격, 임대료 등)이 녹지 분포와 개인의 사회적 자본에 동시에 영향을 미쳤을 가능성이 있음을 고려해야 한다. 마지막으로, 수직적 녹지 환경 측정 과정에서 데이터의 제약으로 인해 가로수의 수종, 생육 상태 등 미시적 가로 녹지 특성을 세부적으로 반영하지 못했다는 한계가 있다. 향후 연구의 한계점을 보완하고, 연구 지역을 확장하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

1. 강신우(2020) 녹지와 주관적 정신건강의 연관성. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 견진훤(2024) 파리시의 새로운 생활권 녹지정책에 나타난 효용적 가치에 관한 연구. 프랑스 문화연구 63(1): 55-74.
3. 기동환(2020) Google Street View 와 딥러닝을 활용한 근린가로의 시각적 녹지율이 목적별 보행시간에 미치는 영향분석. 한양대학교 대학원 석사학위논문.
4. 김수비, 김수영(2018) 이분형 종속변수를 포함하는 모형의 매개효과 검증. 한국심리학회지: 일반 37(3): 441-470.
5. 김우락, 구자훈(2011) 주거지 정비사업에서 협력적 거버넌스 구축이 사회적 자본 형성에 미치는 영향: 서울휴먼타운 살기좋은 마을만들기 시범사업 사례를 중심으로. 국토계획 46(4): 105-119.
6. 박근덕, 이수기, 이은영, 최보율(2017) 개인 및 가구특성과 물리적 환경이 거주민의 우울에 미치는 영향 연구: 경기도 지역사회건강조사 2013-2014 자료를 중심으로. 국토계획 52(3): 93-108.
7. 서울특별시(2023) 2040 서울도시기본계획. <https://url.kr/ior695>
8. 서현진, 전병운(2011) 대구시 도시근린공원의 접근성에 따른 환경적 형평성 분석. 한국지리정보학회지 14(4): 221-237.
9. 신형섭(2022) 가로 보행환경이 상업용 부동산 가격에 미치는 영향 연구: 머신러닝 및 딥러닝 기법을 중심으로. 한양대학교 도시대학원 석사학위논문.
10. 임은정(2021) 정신건강에 영향을 미치는 도시환경 요인에 대한 문헌적 고찰. 주택도시연구 11(3): 79-101.
11. 정명희, 이상훈, 장은미, 홍성욱(2012) MODIS NDVI 시계열 패턴 변화를 이용한 산림식생변화 모니터링 방법론. 한국공간정보학회지 20(4): 47-55.
12. Brown, T. A.(2015) Confirmatory Factor Analysis for Applied Research. Guilford publications.
13. Carpenter, M.(2013) From 'healthful exercise' to 'nature on prescription': The politics of urban green spaces and walking for health. Landscape and Urban Planning 118: 120-127.
14. Carpiano, R. M. and P. W. Hystad(2011) "Sense of community belonging" in health surveys: What social capital is it measuring?. Health & place 17(2): 606-617.
15. Ccami-Bernal, F., D. R. Soriano-Moreno, D. Fernandez-Guzman, K. G. Tuco, S. D. Castro-Diaz, A. L. Esparza-Varas and D. Rojas-Rueda(2023) Green space exposure and type 2 diabetes mellitus incidence: A systematic review. Health & Place 82: 103045.
16. Deng, Y. and P. Zhao(2022) Quantifying residential self-selection effects on commuting mode choice: A natural experiment. Transportation Research Part D: Transport and Environment 104: 103197.
17. Eriksson, M.(2011) Social capital and health-implications for health promotion. Global Health Action 4(1): 5611.
18. Fan, Y., J. Chen, G. Shirkey, R. John, S. R. Wu, H. Park and C. Shao(2016) Applications of structural equation modeling (SEM) in ecological studies: An updated review. Ecological Processes 5: 1-12.
19. Francis, J., B. Giles-Corti, L. Wood and M. Knuiman(2012) Creating sense of community: The role of public space. Journal of Environmental Psychology 32(4): 401-409.
20. Frumkin, H., G. N. Bratman, S. J. Breslow, B. Cochran, P. H. Kahn Jr, J. J. Lawler and S. A. Wood(2017) Nature contact and human health: A research agenda. Environmental Health Perspectives 125(7): 075001.
21. Gascon, M., M. Triguero-Mas, D. Martínez, P. Dadvand, J. Forns, A. Plasència and M. J. Nieuwenhuijsen(2015) Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces:

- A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(4): 4354–4379.
22. Google(2021) Google Street View data. Available at: <https://www.google.com/maps/>
23. Hair, J. F., W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson(2010) *Multivariate data analysis* (7th ed). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
24. Hartig, T., R. Mitchell, S. De Vries and H. Frumkin(2014) Nature and health. *Annual Review of Public Health* 35(1): 207–228.
25. Handy, S., X. Cao and P. Mokhtarian(2005) Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10(6): 427–444.
26. Hanzl, M.(2021) Urban forms and green infrastructure—the implications for public health during the COVID–19 pandemic. *Cities & Health* 5(sup1): S232–S236.
27. Hillsdon, M., J. Panter, C. Foster and A. Jones(2006) The relationship between access and quality of urban green space with population physical activity. *Public Health* 120(12): 1127–1132.
28. Huang, W. and G. Lin(2023) The relationship between urban green space and social health of individuals: A scoping review. *Urban Forestry & Urban Greening* 85: 127969.
29. Ijla, A. M.(2012) Does public space create social capital?. *International Journal of Sociology and Anthropology* 4(2): 48.
30. Ki, D. and S. Lee(2021) Analyzing the effects of Green View Index of neighborhood streets on walking time using Google Street View and deep learning. *Landscape and Urban Planning* 205: 103920.
31. Kim, J. I., C. Y. Yu and A. Woo(2023a) The impacts of visual street environments on obesity: The mediating role of walking behaviors. *Journal of Transport Geography* 109: 103593.
32. Kim, J. S., S. W. Park, J. Y. Kim, J. Park, J. H. Huh, S. H. Jung and C. B. Sim(2023b). E-hrnet: Enhanced semantic segmentation using squeeze and excitation. *Electronics* 12(17): 3619.
33. Kim, S., J. Jeon, Y. Noh and A. Woo(2024) Impacts of streetscape features on individual social capital: Applying Korea's neighborhood data to street view images to improve lives of the socially vulnerable. *Land* 13(5): 631.
34. Lochner, K., I. Kawachi and B. P. Kennedy(1999) Social capital: A guide to its measurement. *Health & place* 5(4): 259–270.
35. Markevych, I., J. Schoierer, T. Hartig, A. Chudnovsky, P. Hystad, A. M. Dzhambov and E. Fuertes(2017) Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. *Environmental research* 158: 301–317.
36. Mazumdar, S., V. Learnihan, T. Cochrane and R. Davey(2018) The built environment and social capital: A systematic review. *Environment and behavior* 50(2): 119–158.
37. OECD.(2001) Human and social capital are keys to well-being and economic growth, says OECD report. OECD Report.
38. Ostrom, E.(2000) Social capital: a fad or a fundamental concept. *Social Capital: A Multifaceted Perspective* 172(173): 172–215.
39. Ozbil, A., J. Peponis and B. Stone(2011) Understanding the link between street connectivity, land use and pedestrian flows. *Urban Design International* 16: 125–141.
40. Pooley, J. A., L. Cohen and L. T. Pike(2005) Can sense of community inform social capital?. *The Social Science Journal* 42(1): 71–79.
41. Pretty, J., J. Peacock, R. Hine, M. Sellens, N. South and M. Griffin(2007) Green exercise in the UK countryside: Effects on health and psychological well-being, and implications for policy and planning. *Journal of Environmental Planning and Management* 50(2): 211–231.
42. Putnam, R. D.(1993) The prosperous community. *The American Prospect* 4(13): 35–42.
43. Samsudin, R., T. P. Yok and V. Chua(2022) Social capital formation in high density urban environments: Perceived attributes of neighborhood green space shape social capital more directly than physical ones. *Landscape and Urban Planning* 227: 104527.

44. Schipperijn, J., P. Bentsen, J. Troelsen, M. Toftager and U. K. Stigsdotter(2013) Associations between physical activity and characteristics of urban green space. *Urban Forestry & Urban Greening* 12(1): 109–116.
45. Strain, T., C. Fitzsimons, C. Foster, N. Mutrie, N. Townsend and P. Kelly(2016) Age-related comparisons by sex in the domains of aerobic physical activity for adults in Scotland. *Preventive Medicine Reports* 3: 90–97.
46. Thompson-Coon, J., K. Boddy, K. Stein, R. Whear, J. Barton and M. H. Depledge(2011) Does participating in physical activity in outdoor natural environments have a greater effect on physical and mental wellbeing than physical activity indoors? A systematic review. *Environmental Science & Technology* 45(5): 1761–1772.
47. U.S. Geological Survey.(2021). Landsat 8. Retrieved from <https://www.usgs.gov/>
48. Ulrich, R. S.(1983) Aesthetic and affective response to natural environment. In *Behavior and the natural environment* (pp. 85–125). Boston, MA: Springer US.
49. Ulrich, R. S., R. F. Simons, B. D. Losito, E. Fiorito, M. A. Miles and M. Zelson(1991) Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* 11(3): 201–230.
50. WHO(1946) <https://www.who.int/about/governance/constitution>
51. WHO(1998) The solid facts: Social determinants of health.
52. Wang, Z., A. Buu, D. K. Lohrmann, P. C. Shih and H. C. Lin(2021) The role of family conflict in mediating impulsivity to early substance exposure among preteens. *Addictive Behaviors* 115: 106779
53. Woo, A., K. Joh and C. Y. Yu(2023) Making space and building social capital: Unpacking the relationships between community center use and social capital in urban regenerated neighborhoods in Seoul, Korea. *Habitat International* 132: 102742.
54. Yin, L. and Z. Wang(2016) Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery. *Applied Geography* 76: 147–153.
55. Yu, S., B. Yu, W. Song, B. Wu, J. Zhou, Y. Huang and W. Mao(2016) View-based greenery: A three-dimensional assessment of city buildings' green visibility using Floor Green View Index. *Landscape and Urban Planning* 152: 13–26.
56. Zang, P., X. Liu, Y. Zhao, H. Guo, Y. Lu and C. Q. Xue(2020) Eye-level street greenery and walking behaviors of older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(17): 6130.
57. Zhao, J., J. Wu and H. Wang(2020) Characteristics of urban streets in relation to perceived restorativeness. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 30(2): 309–319.
58. Zhou, Y., Y. Yuan, Y. Chen and S. Lai(2020) Association pathways between neighborhood greenspaces and the physical and mental health of older adults—A cross-sectional study in Guangzhou, China. *Frontiers in Public Health* 8: 551453.