

서울시 지상철도의 Barrier Effect 측정지표 연구*

A Study on the Barrier Effect Indices by Ground Railways in Seoul

황지상** · 유석연***

Hwang, Ji-Sang · Yoo, Suk-Yeon

Abstract

Railways have driven urban growth in Korea, but those located on the ground are recognized as barriers. Despite the growing awareness of severance, domestic studies have rarely quantified community severance using empirical methods. International studies, however, have focused on quantifying the impact of severance, using the concept of 'Barrier effect' and 'Border vacuum'. Accordingly, this study aims to establish a set of indices that quantify the barrier effect of ground railways and to empirically verify the relationship between direct and indirect effects in Seoul. Direct effects were categorized into adjacency, station area, severance index, and circuitry, while indirect effects were divided into built-environment characteristics (diversity and ratio of small-sized plots) and vitality (daytime and nighttime de facto population). Using regression analysis, including spatial regression models, the study assessed how direct effects influence indirect effects. The findings are summarized in four points. First, indices for both direct and indirect barrier effects were derived based on the theoretical frameworks of the barrier effect and border vacuum. Second, the severance index—incorporating both railway distance and crossing accessibility—proved useful in quantifying spatial severance, confirming that crossings can mitigate negative impacts and function as connectors. Third, spatial autocorrelation was identified in indirect effects, and applying spatial regression models improved explanatory power compared to OLS, indicating that built-environment and vitality exhibit spatially clustered patterns. Fourth, the empirical results verified that direct effects such as crossability, walkability, and location influence indirect effects related to development and vitality. Overall, the proposed indices can support more evidence-based evaluations of railway-undergrounding projects and may be extended to other types of border vacuums, such as roads and rivers.

주제어 지역 단절, 단절효과, 경계공백지대, 지상철도, 공간회귀모형

Keywords Community Severance, Barrier Effect, Border Vacuum, Ground Railway, Spatial Regression Model

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

철도는 국내 대도시의 성장을 견인한 핵심시설이며 광역교통 기반시설로서 도시 내외의 이동을 원활하게 하는 필수 기반시설이다. 그러나 도시계획 패러다임이 보행자 중심으로 전환되면서

지상철도는 지역을 단절하고 보행자의 통행을 차단하는 장벽으로 인식되기 시작했다. 실제로 도시를 통과하는 지상철도 주변 지역은 도시공간의 단절로 인해 좁고 부정형의 필지가 다수 발생하고 노후화되어 있다(배용규 외, 2010). Jane Jacobs(1961)는 철도와 같은 긴 경계가 물리적 장벽을 형성하여 사람들의 접근을 차단하고 사회적 연결을 저해하여 도시기능이 정상적으로 작동할 수 없게 되는 악순환 구조와 현상을 '경계공백지대(Border Vac-

* 이 논문은 2025년 대한국토·도시계획학회 춘계산학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완하여 작성하였음.

** Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning and Design, University of Seoul (First Author: jijunlim0926@uos.ac.kr)

*** Professor, Department of Urban Planning and Design, University of Seoul (Corresponding Author: yoosy@uos.ac.kr)

uums)’로 정의하였다. 나아가 국외에서는 단절로 인한 문제를 개선하고자 ‘단절효과(Barrier Effect)’ 개념을 도입하여 단절을 식별·측정하고 단절효과 간 영향관계를 분석하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이와 같은 추세는 단절에 대한 기존의 주관적 판단에 더하여 단절의 본질을 이해하고 단절 강도를 식별·측정할 수 있는 일관된 도구의 개발이 필요하다는 것으로 이해할 수 있다(Anciaes et al., 2016). 국내에서도 지상철도로 인한 지역의 단절 문제가 논의되었으나 대부분 단절현상 자체보다는 단절을 개선하기 위해 추진하는 사업 중심의 연구와 정책이 주를 이루고 있었으며, 단절된 지역이 얼마나 단절되었는지와 단절요소가 주변 지역에 어떤 부정적 영향을 미치는지에 관한 정량화 연구가 부족하다.

「철도지하화 및 철도부지 통합개발에 관한 특별법(이하 철도지하화법)」이 2025년 1월 31일 시행됨에 따라 국토교통부는 사업선도지구 선정을 위한 기본계획과 가이드라인을 수립하고 있다. 철도로 인한 도시공간의 단절을 국가적 문제로 인식하고 지하화 사업에 재정을 투입하기 위한 법적 근거와 절차를 마련했다는 데에 의의가 있으나, 단절의 부정적 영향보다 사업성·실현가능성을 중심으로 대상지를 선정하며, 단절로 인한 영향을 정량적으로 비교할 수 있는 지점과 함께 관련 연구도 부족한 실정이다. 이러한 추진 방식에 따르면, 단절된 정도가 심각하여 도시문제의 해결이 시급한 지역이 사업성이 없다는 이유로 배제될 가능성이 있다. 따라서 단절현상에 대한 이해를 바탕으로 단절에 따른 영향을 정량적으로 제시할 수 있다면, 다양한 이해관계자를 설득하고 사업추진의 타당성을 제고하며 합리적인 사업대상지 선정에 기여할 수 있을 것으로 예상된다(van Eldijk et al., 2022).

이와 같은 배경에서 본 연구의 목적은 국외 연구에서 제시하는 단절효과와 경계공백지대에 대한 개념을 체계적으로 분석하여 지상철도로 인한 단절의 강도를 식별하고 정량적으로 측정할 수 있는 지표를 도출하는 것이다. 또한, 서울시를 대상으로 지상철도로 인한 단절효과를 측정하고 지표 간 영향관계를 분석함으로써 지표의 적합성을 실증한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 서울시에 위치한 철도의 지상구간이다. 지상철도는 선형의 광역교통기반시설로서 여러 시·군을 통과하여 지역을 연결하므로 이로 인한 단절현상의 연구도 다수의 시·군을 함께 분석할 필요가 있다. 그러나 지역 간 도시계획체계, 공간구조의 차이로 인해 단절의 영향을 동시에 분석하기는 어려우며, 현재 추진 중인 철도지하화사업이 개별 시·군 단위로 추진 중인 점을 고려하여 단일도시를 분석의 대상으로 선정하였다. 서울은 도시성장의 과정에서 철도를 중심으로 도시가 확장되어 도심구간에 광역철도가 다수 통과하고 있으며 인구밀도가 가장 높

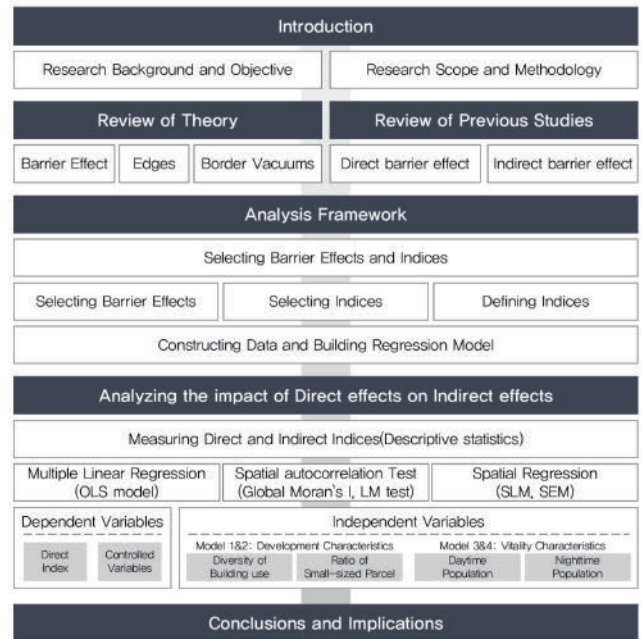


Figure 1. Research flow

은 도시로서 단절과 지하화사업으로 인한 영향이 가장 큰 지역이다. 또한, 「2040 서울도시기본계획」에서는 철도지하화를 통한 입체화 전략을 6대 공간전략 중 하나로 제시하였으므로 서울시를 연구의 대상으로 선정하였다.

연구의 흐름은 다음 세 단계로 나뉘며 단계별 연구 방법을 제시하였다. 첫째, 이론 고찰을 통해 단절에 대한 지금까지의 논의를 검토하고 선행연구에서 제시하는 다양한 단절효과를 ‘직접효과’와 ‘간접효과’로 분류하여 특성을 분석한다. 국내에 정착되지 않은 개념을 정립하기 위해 관련 국외 문헌과 선행연구를 고찰하여 단절효과와 경계공백지대에 대한 배경·정의·측정지표 등을 분석한다. 둘째, 연구 목적에 적합한 직접효과와 간접효과를 선정하고 이를 정량적으로 측정하기 위한 지표를 도출한다. 셋째, 서울시를 대상으로 지표를 측정하고 회귀모형을 통해 직접효과지표가 간접효과지표에 미치는 영향을 분석한다. 회귀모형은 다중선형회귀모형과 공간회귀모형을 활용하였다. GIS공간분석과 스트리트뷰를 통해 자료를 구축하고 지표를 측정하였으며 회귀분석에는 SPSS와 Geoda가 사용되었다. 연구의 흐름은 〈Figure 1〉과 같다.

II. 이론 고찰 및 선행연구 검토

1. 단절에 관한 이론 고찰

1) 지역 단절과 단절효과(Barrier Effect)

산업혁명 이후 철도와 자동차가 도시 내외를 연결하는 주 교통수단으로 자리매김하면서 각국의 정부기관은 지상철도와 고속도

로에 의한 도시 단절문제를 연구하기 시작했다. 그에 더해 도시민들의 보행, 건강, 환경에 대한 관심이 높아지면서 교통시설로 인한 보행공간의 단절이 중요한 문제로 대두되고 있다. 지역을 가로지르는 철도와 도로는 긴 장벽처럼 도시공간을 분리하여 보행자가 양분된 지역 사이를 통과하기 어려워진다. 소음·분진·진동과 같은 문제는 장벽에 인접한 지역의 생활에 부정적인 영향을 주어 자연스럽게 장벽 주변의 유동인구가 감소하면서 보행자들은 점차 철도와 도로를 도시의 경계로 인식하게 된다(배웅규 외, 2010; 한승찬 외, 2024). 또한, 물리적 단절이 심화된 지역에서는 인종·소득·계층의 분리 등 사회경제적 문제가 함께 나타나는 등 단절과 이로 인한 효과는 특정 분야에 그치지 않고 복잡적·연쇄적으로 나타나고 있다(Anciaes et al., 2016).

국외 연구에서는 이러한 현상을 ‘지역 단절(Community Severance)’로 설명하며 단절로 인한 부정적 효과를 ‘단절효과(Barrier Effect)’로 정의하고 있다. 연구마다 단절효과에 대한 해석이 달라 용어에 대한 합의가 이루어진 것으로 볼 수는 없다. 하지만 최근 연구에서는 교통시설이나 교통흐름에 의해 단절된 지역에서 발생하는 다방면의 영향으로 정의하고 있었으며 일부 연구에서는 ‘단절(Severance)’을 대체하여 쓰거나 단절을 측정하기 위한 도구를 지칭하기 위해 사용하고 있다(Anciaes et al., 2016).

선행연구에서 제시된 단절효과는 결정요소, 적용대상, 영향범위 등에 따라 ‘직접효과(Direct Effect)’와 ‘간접효과(Indirect Effect)’ 두 가지로 구분된다.¹⁾ 직접효과는 지역을 단절하는 시설(장벽)을 횡단할 때 필요한 노력과 비용을 의미하며, 간접효과는 단절의 직접효과가 개인과 지역사회, 나아가 도시차원에 미치는 광역적 영향을 의미한다. 다수의 연구에서는 단절현상이 나타나는 일련의 과정에서 직접효과와 간접효과가 상호복합적 관계에 있다는 점을 시사하고 있다. 즉, 교통시설로 지역이 단절되면 그 파급효과가 도시차원까지 확장되고 상호작용하여 사람들의 행동과 인식을 변화시키고 도시공간의 변화를 유발하게 된다(Tate and Mara, 1997; Héran, 2011; van Eldijk et al., 2022). 단절 문제가 사회적 문제로 대두되면서 단절로 인한 직접효과가 도시공간에 걸쳐 나타나는 간접효과에 어떤 영향을 미치는지 분석하는 연구도 나타나기 시작했다. 이 과정에서 단절효과의 복잡성 때문에 단절효과의 측정과 평가기준에 주관적·정성적 평가방법이 사용되기도 하였으나, 이러한 방법은 일관적이지 못하고 다양한 이해관계자를 설득하는 데 한계가 있으며 불완전한 의사결정을 내릴 위험이 높다(Anciaes et al., 2016; van Eldijk et al., 2022). 이를 보완하고자 국외에서는 단절효과의 객관적 측정과 평가를 위한 정량적 지표 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 국내에서도 단절효과에 대한 정량적 평가와 직접효과·간접효과의 영향관계에 대한 연구방법론을 도입하며, 지금까지의 정성적 평가방식에 더해 정량적 지표를 제시하여 단절을 인식하고 강도를 측정할 필요가 있다.

2) 경계(Edges)

미국의 도시계획가 케빈 린치(Kevin Lynch)는 도시의 물리적 환경이 사람들의 삶과 행동에 영향을 주며 어느 도시에서나 사람이 공통적으로 인식하는 도시이미지를 제시하여 각 요소의 디자인 기법을 제시하였다. 그가 제시한 5가지 도시이미지 요소 중 경계(Edges)는 철도, 해안, 개발구역과 같은 선형의 경계를 의미한다. 일반적으로 경계는 도시를 가로지르며 양측을 단절시킴으로써 사람들이 접근하기 어렵게 만들어 장애물로 인식되며 두 지역을 구분 짓는다. 그러나 때로는 경계가 두 지역을 연결하는 통로의 역할을 하는데, 시각적·물리적으로 통과할 수 있으며 분리된 양측 지역과 도시구조적으로 긴밀하게 연결되어 있으면 그것은 장벽이 아니라 두 지역을 연결하는 교역의 선이 된다. 마치 통로(Paths)가 결절점(Nodes)으로 연결되는 것처럼, 경계 역시 통로나 지구(Districts) 사이를 연결하는 요소가 될 수 있도록 설계되어야 함을 시사하였다. 그는 경계가 접합부가 되기 위해서는 높은 가시성을 가져 사람들에게 인식되어야 하며 하나의 큰 장벽이 아니라 높은 투과성을 가져 경계 이외에 통로와 결절점의 역할을 할 수 있어야 함을 강조했다. 이처럼 케빈 린치가 제시한 경계는 도시의 단절요소이며 동시에 횡단이 가능하거나 시각적으로 연결된 소통과 교역의 장소이자 도시의 중요한 구성요소임을 확인하였다.

3) 경계공백지대(Border Vacuum)

The Death and Life of Great American Cities(1961)에서 제인 제이콥스(Jane Jacobs)는 도시의 물리적 환경이 보행자에게 중대한 영향을 미친다고 주장하였다(이동엽·성현곤, 2020). 그녀가 제시한 개념 가운데 ‘경계공백지대(Border Vacuum)’는 캠퍼스, 대형병원, 대규모 공원과 같은 ‘대규모의 단일용도’와 철도, 고속도로, 하천 등 ‘길게 뻗은 선형 시설’로 인해 발생한 도시의 경계와 그 주변 지역의 특성을 의미한다. 본 연구는 철도와 같은 선형시설에 나타나는 경계공백지대의 의미에 주목하였다. 그녀의 주장에 따르면 철도는 오래전부터 사회적 경계를 상징하였으며 지역을 물리적·기능적으로 단절하여 도시환경에 영향을 미친다. 철도는 보행자에게 경계(Border)이자 도시공간의 종착지로 인식되어 주변으로의 통행이 감소하고 그로 인해 토지이용이 단순화·저밀이용되며 악순환이 반복된다. 그 결과 토지의 가치가 하락하고 신축행위가 적게 일어나며 기반시설이 열악한 지역의 쇠퇴가 더욱 가속화되고 토지이용이 단순화되는 현상이 나타난다. 결과적으로 그녀는 철도와 같은 경계의 주변지역에는 사람들이 다니지 않는 공백지대가 형성되고 이러한 일련의 현상을 경계공백지대의 ‘황폐화 과정’으로 설명하였다.

그렇다고 해서 모든 경계지역이 불필요하거나 유해한 것은 아니다. 철도와 같은 경계는 대체로 도시를 양분하고 파편화하지만, 양쪽 지역이 경계를 통과하여 물리적·시각적으로 연결되고

기능적으로 구조화될 수만 있다면 경계선은 장벽이 아니라 교환의 장이 될 수 있다(Lynch, 1960; Jacobs, 1961). 이러한 주장은 현대 도시의 철도에서도 나타나 사람들이 모이는 철도역과 횡단시설은 도시의 절절점이자 이음매 역할을 하고 있다(배용규 외, 2010). 즉 일반적인 상황에서는 철도와 인접할수록 단절에 의한 경계공백지대의 특성이 더 강하게 나타나지만, 철도역과 같은 횡단시설 주변부에서는 단절의 부정적 효과를 상쇄시킬 만한 긍정적인 효과가 나타날 수도 있다고 해석할 수 있다(de Nadai et al., 2016).

이와 같은 경계공백지대의 특성은 단절로 인한 간접효과를 측정하는데 다음 두 가지의 시사점을 제시한다. 첫째, 철도로 인해 지역이 단절되면 그 영향으로 인해 주변 도시의 다양성, 개발행위, 인구 등이 감소하는데, 이는 단절효과 중에서 간접효과와 같은 맥락으로 해석된다. 제인 제이콥스는 단절의 간접효과가 갖는 복잡한 메커니즘을 경계공백지대 이론으로 설명하였으므로 두 개념 사이에는 매우 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 둘째, 케빈 린치에 이어 제인 제이콥스의 주장에서도 나타난 횡단시설의 긍정적 효과가 실재하는지 증명할 필요가 있다. 만약 횡단시설 주변에서 단절의 간접효과에 미치는 긍정적 효과를 검증할 수 있다면 단절문제의 해소를 위한 대안으로 철도지하화사업 이외에 횡단시설의 설치, 경계부의 시각적 디자인설계 등 다양한 접근이 필요하다.

2. 단절효과에 관한 선행연구 검토

도시공간의 물리적 단절에 관한 선행연구는 국외에서 주로 이루어졌으며, 단절효과(Barrier Effect)에 관한 연구와 경계공백지대(Border Vacuum)에 관한 연구로 분류할 수 있다. 본 연구에서 검토한 주요 선행연구는 <Table 1>과 같다.

단절효과에 관한 초기 연구는 Tate(1997)와 같이 정부기관에서 지역의 단절을 방지하기 위한 지침을 목적으로 수행되었으며 보행자가 체감하는 단절 지표를 활용하여 설문조사 방식으로 연구하였다. Héran(2011)은 단절 지표를 설정하여 프랑스의 도시에 적용하였으며, Meltofte and Nørby(2013)는 단절효과에 영향을 미치는 변수를 정량화하기 위해 진술선호 기법을 활용하였다. Anciaes et al.(2016)과 van Eldijk et al.(2022)은 단절효과와 관련한 국제 문헌을 종합하여 단절의 결정요인, 단절효과의 구분과 측정지표 등 단절에 대한 개념과 단절효과 정량화 방법론을 정립하였다. Millard-Ball et al.(2024)과 Benavides et al.(2024) 등의 최근 연구에서는 공간분석 데이터를 활용하여 단절의 정량화 지표를 제시하고 지표의 특성과 대상지에서의 영향을 분석하였다.

경계공백지대의 개념을 처음으로 제시한 Jacobs(1961)는 Lynch(1960)가 주장한대로 경계에서의 부정적 효과와 긍정적 효과의

Table 1. Summary of the key literature

Category	Author	Year	Methodology
Barrier Effect	Tate	1997	Community survey
	Héran	2011	Site analysis
	Meltofte and Nørby	2013	Stated preference
	Anciaes et al.	2016	Literature review
	van Eldijk et al.	2022	Literature review
	Millard-Ball et al.	2024	Regression
Border Vacuum	Benavides et al.	2024	Sensitivity analysis
	Lynch	1960	-
	Jacobs	1961	-
	Sung et al.	2013	Regression
	de Nadai et al.	2016	Regression
	Lee and Sung	2020	Regression
	Vidal-Domper et al.	2024	Self-organizing feature map
	Cai et al.	2025	Regression

공존에 대해 논의했으며, 경계가 도시의 활력과 다양성을 결정하는 중요한 요소로서 통제되어야 한다고 설명했다. 뒤이은 다수의 선행연구에서는 경계공백지대의 물리적 특성이 도시 활력과 다양성에 미치는 영향을 분석하였다. Sung et al.(2013)은 서울시 행정동 단위 보행자 수를 종속변수로 설정하여 물리적 환경이 보행활동에 주는 영향을 분석하였다. de Nadai et al.(2016)은 이탈리아 도시에 대한 도시환경변수를 중심성, 토지이용, 작은 블록, 경계공백 등 4가지 요인으로 압축하고 이동전화 데이터를 활용하여 활동밀도에 미치는 영향을 분석하였다. 이동엽·성현곤(2020)은 서울시 집계구 단위의 소매업 매출을 종속변수로 설정하고 도로, 철도, 대규모 시설, 하천 등에 인접 여부를 독립변수로 설정하여 경계공백 요소가 도시 활력도에 미치는 영향을 분석하였다. Vidal-Domper et al.(2024)은 범죄데이터를 활용하여 경계공백지대를 비롯한 도시조직 형태가 범죄에 미치는 영향을 확인하였다. Cai et al.(2025)은 베이징을 대상으로 도시활력 측정을 위해 위성·POI·인구·교통 등 빅데이터를 활용한 신경망 기반의 분석방법론을 활용하여 경계공백지대까지의 거리 등 도시 활력 지표의 비선형적 공간분포를 분석하였다.

이처럼 단절효과와 경계공백지대 관련 선행연구들은 대부분 단절에 의한 다양한 효과를 ‘직접효과’와 ‘간접효과’로 설정하여 상호 관계를 분석하거나 단절효과를 정량화한 지표를 활용하였다. 마찬가지로 경계공백지대 관련 선행연구에서도 경계 주변의 물리적 특성을 독립변수로 활용하고 도시 활력과 다양성 지표를 종속변수로 활용하였는데, 해당 변수들은 각각 단절로 인한 ‘직접효과’와 ‘간접효과’와 같은 의미로 해석된다. 또한, 선행연구에서 설정한 직접효과와 간접효과는 연구 목적에 따라 세분화되며, 직

접효과는 시설특성(Barrier Features), 횡단가능성(Crossability), 보행성(Walkability), 접근성(Accessibility), 안전성(Safety), 위치특성(Location) 등으로 구분되며, 간접효과는 ‘개발특성(Built Environment)’과 ‘활성화 특성(Vitality)’으로 나뉜다. 각 단절 효과의 의미와 연구에서 활용된 목적을 파악하기 위해 직접효과와 간접효과별로 세밀하게 선행연구를 검토하였다.

1) 직접효과 관련 선행연구 검토

선행연구에서 활용되고 있는 단절의 직접효과는 단절된 주변 지역의 보행환경에 영향을 미치는 물리적 특성을 나타내며, 아래와 같이 6개로 구분할 수 있다.

① 시설특성(Barrier Features)

시설특성은 단절을 유발하는 시설이 갖는 물리적 특성으로 현장조사를 통해 구축하거나 관리청에서 제공하는 자료로 확인할 수 있다. 관련 연구에서는 주로 철도보다는 도로를 대상으로 조사하였는데 통행량, 차선 수, 폭원과 같이 도로를 건널 때 방해가 되는 시설의 특성으로 구성된다. Benavides et al.(2024)은 도로로 인한 단절지수 개발을 위해 도로의 폭원별 접근성과 도로의 일일 평균통행량을 측정하여 시설특성을 반영한 단절효과를 분석하였다.

② 횡단가능성(Crossability)

횡단가능성은 단절 유발 시설을 횡단하는 데 필요한 노력과 시간을 의미하며 많은 선행연구에서 중요한 단절효과로 다루었다. Meltofte and Norby(2013)와 Millard-Ball et al.(2024)은 횡단시설까지의 거리를 통해 측정하였으며, Tate(1997)와 Hérán(2011)은 설문조사나 현장조사를 통해 횡단시설의 수를 측정하였다. 횡단가능성은 Lynch(1960)와 Jacobs(1961)의 이론에서도 제시된 특성으로서 경계의 횡단가능 여부는 경계가 장벽과 절절점 중 어떤 역할을 하는지 결정하는 중요한 요소라고 볼 수 있다.

③ 보행성(Walkability)

보행성은 단절로 인해 주변 지역에서 나타나는 보행연결성의 감소를 의미하며, 네트워크 분석 등에서 ‘연결도(Connectivity)’의 측정을 통해 분석한다. CROW(2011)는 우회경로와 연결이 끊긴 도로의 수를 통해 보행 네트워크의 특성을 분석하였으며, Dhanani and Vaughan(2016)은 런던을 대상으로 공간구문론(Space Syntax)을 활용해 교차로의 보행중심성을 분석하였다.

④ 접근성(Accessibility)

접근성은 단절로 인해 특정 목적지로의 도달이 어려워지는 정도를 측정하는 지표이다. 일반적으로 사용되는 접근성과 같은 의미이며 선행연구에서는 특정 서비스시설을 대상으로 분석하였

다. Casado-Sanz et al.(2019)은 활동단절지수(Activity Severance Index)를 개발하여 두 지역 간 학교, 병원, 건강센터, 식료품점, 금융기관, 공공기관, 약국 등 활동 시설까지의 접근성을 비교하였다. 접근성은 보행성과 유사한 특성을 갖지만, 접근성을 측정하는 지표들은 특정 시설로부터의 서비스영역을 대상으로 해당 지역이 갖는 잠재적 수요를 추정하여 결합한 지표라는 점에서 보행성과 차이가 있다.

⑤ 안전성(Safety)

안전성은 단절이 발생한 주변 지역의 보행환경이 얼마나 안전한지를 의미한다. Tate and Mara(1997)는 현장조사를 통해 확인할 수 있는 객관적인 안전성 외에 단절된 지역에서 사람이 느끼는 심리적 안전성을 확인했다. 과거에는 대부분 설문조사를 통해 심리적 요인을 분석하는 방식으로 이루어졌고, 최근 연구에서는 Mindell et al.(2017)과 같이 정부기관이나 지자체에서 제공하는 범죄 건수 등을 결합하여 분석하기도 한다.

⑥ 위치특성(Location)

위치특성은 단절을 유발하는 시설과 측정대상이 되는 단위 사이의 위치적 관계를 의미하며, 셀(Cell) 단위 또는 정부기관에서 제공하는 센서스블록 단위의 분석기법을 활용한 최근 연구에서 확인된다. Benavides et al.(2024)은 뉴욕시의 ‘Census Block Group(CBG)’ 데이터를 활용해 CBG 중심으로부터 단절 시설인 도로까지의 거리를 주요 변수로 활용하였으며, 이동열·성현곤(2020)은 서울시 집계구가 철도와 고속도로 등 경계시설과 인접한지 여부를 변수로 활용하였다.

2) 간접효과 관련 선행연구 검토

간접효과의 분석에는 설문조사와 인터뷰를 통해 조사되는 통행수요·통행선택 등이 주로 활용된다. 도시변화를 측정하는 다양한 유형의 변수들도 활용되고 있었는데, 직접효과와 달리 도시공간에 미치는 단절의 복잡한 영향에 대해 측정해야 하며, 분석단위나 연구분야에 따른 스펙트럼이 매우 넓어 일반화하기 어렵다(van Eldijk et al., 2022). 따라서 본 연구에서는 Jacobs(1961)가 제시한 경계공백지대의 특성에 기초해 단절의 간접효과를 분류하였다.

① 개발특성(Built Environment)

개발특성은 단절효과가 미치는 광범위한 효과 중 하나로 주변 지역의 물리적 환경에 나타난 영향을 의미한다. 예시로 철도와 철도역은 도시개발 과정에서 핵심 역할을 하며 공간구조의 형성에 기여하는데, 이 과정에서 기존 도시구조를 단절시키거나 지역 간 불균형을 초래할 수 있다(Bolton, 2015; van Eldijk et al., 2022). 한편 Jacobs(1961)는 경계공백지대 관련 논의에서 막다른

골목이 생기거나 파편화되면서 도시기능의 다양성이 감소하고, 경계 주변에 위치한 노후지역에서는 신축이 발생하지 않아 점차 침체된다는 점을 강조하였다. 이러한 논의에 따라 지역의 건축물과 도시구조 등 개발특성이 단절로 인해 간접적으로 영향받음을 알 수 있다.

② 활성화 특성(Vitality)

Jacobs(1961)는 사람들의 발걸음이 끊기는 것이 경계공백지대의 근본적인 문제라고 하며, 경계방향으로 이어지는 통행량이 감소하여 철도와 인접할수록 인구가 감소하는 공백지대가 형성된다고 하였다. 이러한 현상은 도시가 활성화되는데 필수적인 보행이 활성화되지 못함에 따라 거리의 활기가 감소하는 결과로 이어진다. 활성화의 정도는 인구 외에 경제적·사회적 요소로도 설명될 수 있다. 이동엽·성현곤(2020)은 경계공백지대에서의 활성화 정도를 소매업 매출 분석을 통해 측정하였으며 de Nadai et al.(2016)은 사업체 수와 종사자 수와 같은 경제적 지표를 활용하여 활성화 특성을 분석하였다.

3. 연구의 차별성

본 연구는 주로 국외에서 검토되었던 단절효과와 개념과 경계공백지대에 관한 심층적 분석을 통해 지상철도로 인한 단절효과 측정지표를 도출하고 서울시를 대상으로 측정하여 지표의 유효성을 검증하는 것이다. 이에 따른 연구의 차별성은 두 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 국내에서 정착되지 않은 단절효과와 개념을 정립한 정량화 연구이다. 단절효과(Barrier Effect)를 키워드로 하는 국내 도시계획·설계 분야의 연구는 없었고, 도시재생·개발 관련 사례연구 중 대상지가 철도 주변 지역인 경우 단절에 대한 문제점이 간접적으로 제시된 정도이다. 이에 도시 단절을 주제로 독립적인 연구를 수행할 필요가 있으며, 대상지 기반의 정성적 분석에 더하여 단절의 강도를 측정하기 위한 정량적 분석방법이 고도화되어야 한다. 특히 국외에서 적용되었던 단절효과 개념을 지상철도로 인한 서울시의 단절 지역에 적용함으로써 단절의 영향을 구체적으로 파악할 수 있으며, 단절 강도의 정량화 지표를 제시하여 철도지하화사업 등 국내 다양한 사업의 평가체계 마련에 시사점을 제시할 수 있다. 따라서 본 연구는 도시공간의 단절을 독립적인 주제로 하는 본격적인 정량적 지표연구라는 점에서 차별성이 있다.

둘째, 직접효과와 간접효과와 검토 과정에서 단절효과와 경계공백지대에 대한 관련성을 검토하고 두 개념을 종합하여 단절효과와 측정지표를 도출하였다. 두 주제는 매우 밀접한 관련이 있음에도 불구하고 동시에 검토되거나 언급된 연구는 드물다. 특히 대다수의 선행연구는 Jacobs가 주장했던 도시활력과 다양성에만 초점을 두어 상대적으로 경계공백지대에 대한 지표는 고도화되

지 못했다. 따라서 본 연구는 경계공백지대의 특성인 개발특성과 활성화 특성을 단절로 인한 간접효과로 정의하고 직접효과와의 관계를 분석한다는 점에서 차별성이 있다.

III. 분석의 틀

1. 단절효과 측정지표 도출

1) 단절효과 선정

단절효과와 경계공백지대 관련 이론 및 선행연구를 검토한 결과, 단절효과는 6가지 ‘직접효과’와 2가지 ‘간접효과’로 구분되며 선행연구마다 활용한 단절효과가 상이함을 확인했다. 본 연구에서는 8가지 단절효과 중 연구에 활용하기 어렵거나 부적합한 3가지 단절효과를 아래와 같은 사유로 제외하였다. 먼저 ‘시설특성’은 단절시설의 폭원·차선 수·교통량 등의 지표로 구성되는데 본 연구의 대상인 철도로 인한 단절에서는 분석 필요성이 낮다고 판단하여 제외하였다. 또한, ‘접근성’은 특정 시설을 대상으로 하는 분석으로서 본 연구에서는 서울시 전역의 단절효과를 검증하기 때문에 제외하였다. 마지막으로 ‘안전성’은 보행자가 단절된 지역에서 심리적으로 느끼는 보행환경의 안전성을 의미하는데, 대부분 설문조사를 통해 확인되는 지표이므로 제외하였다. 이에 따라 최종적으로 연구에서 다루는 단절효과로는 〈Figure 2〉와 같이 ‘횡단가능성’, ‘보행성’, ‘위치특성’ 등 3가지 직접효과와 ‘개발특성’, ‘활성화 특성’ 등 2가지 간접효과를 선정하였다.

2) 측정지표 도출

앞서 선정한 5가지 단절효과에 대하여 각 효과를 측정하기 위한 지표 도출을 위해 선행연구에서 활용된 측정지표를 구분하고

Classification	Description	Methodology	Select
Direct Effects			
Barrier Features	What is the barrier and what properties does it have?	Site audits Traffic Observation	×
Crossability	How easy is it to cross the barrier?	GIS Analysis Survey & Interview	○
Walkability	Does the barrier reduce the ability to walk around?	GIS Analysis	○
Accessibility	Does the barrier prevent people from reaching certain destinations?	Contingent valuation GIS Analysis	×
Safety	How safe is the pedestrian environment around the barrier?	Site audits Survey & Interview	×
Location	How far is it from the facilities?	GIS Analysis	○
Indirect Effects			
Built Environment	What are the development characteristics around the barrier?	GIS Analysis	○
Vitality	Is the area around the barrier active?	GIS Analysis	○

Figure 2. Selection of barrier effect

적합한 지표를 선정하였다. 횡단가능성은 ‘횡단시설까지 거리(횡단시설거리)’, ‘지연시간’, ‘수직이동여부’, ‘지붕창 설치여부’와 같이 철도를 횡단하는 데 영향을 주는 지표를 통해 측정한다. 개별 횡단시설을 조사하여 지연시간이나 수직이동 여부를 직접 확인하기에 한계가 있고 횡단시설의 수는 분석지점에서 개수를 산정하는 분석단위 설정이 모호하여 ‘횡단시설거리’를 선정하였다. 보행성 측정지표로는 ‘우회도’, ‘연결이 끊긴 경로 수’, ‘네트워크 분석’ 등이 있으며 선행연구에서 활용도가 높은 ‘우회도’를 채택하였다. 위치특성 지표로는 경계공백지대의 특성을 검증하기 위해 ‘단절요소까지의 거리(철도거리)’, ‘단절요소와 인접(인접)’, ‘역세권’ 등을 선정하였는데, 선정된 지표 가운데 ‘횡단시설거리’와 ‘철도거리’는 ‘단절지수(Severance Index)’로 통합하여 두 요소의 결합을 통해 해석될 수 있도록 하였다.

개발특성은 다양성과 노후도를 측정하는 지표로 구분된다. 다

양성 측정지표로는 ‘건물용도다양성’과 ‘토지이용다양성’이 있는데 본 연구에서는 철도 주변에서 건축물의 기능적 다양성을 측정하기 위해 ‘건물용도다양성’ 지표를 선정하였다. 노후도 측정지표로는 국외연구에서 제시한 건축물의 노후화 지표를 대신하여 서울시 여건상 지역의 개발정도를 판단할 수 있는 ‘과소필지 비율’을 선정하였다. ‘활성화 특성’의 측정에는 ‘인구’, ‘소매업매출’, ‘사업체 수’, ‘종사자 수’ 등 사회·경제적 지표가 활용되었는데, 본 연구에서는 가장 높은 빈도로 활용된 인구지표를 선정하고 주·야간 생활인구로 구분하였다. 최종적으로 선정된 지표는 <Table 2>와 같다.

3) 지표별 특성 및 측정방법

① 인접(Adjacency)

인접 지표는 단절된 지역이 철도부지와 직접 인접하는지 여부

Table 2. Selection of barrier effect indices

Effect on		Indices	Previous studies*													Selection and final indices
			Barrier effect									Border vacuum				
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1) Direct Effect																
Crossability	Distance to crossing				○						○	○			● ③ Severance Index	
	Number of crossings	○		○												
	Delay at Ccrossing		○				○									
	Height			○												
Walkability	Circuitry		○	○							○				● ④ Circuitry	
	Number of disconnected streets		○							○						
	Network analysis					○	○									
Location	Distance to railway (barrier)						○		○		○	○	○		● ③ Severance Index	
	Adjacent to railway (barrier)												○		● ① Adjacency	
	Station area												○		● ② Station area	
2) Indirect effect																
Built environment	Diversity of building uses										○	○	○		● ⑤ Diversity of building uses	
	Diversity of land uses					○					○	○	○			
	Built areas							○			○	○				
	Ratio of deteriorated building										○	○	○			
	Ratio of small-sized parcel														● ⑥ Ratio of small-sized parcel	
Vitality	Population					○		○			○	○	○	○	● ⑦ Daytime de facto pop. ⑧ Nighttime de facto pop.	
	Retail sales												○			
	Number of establishments												○			
	Number of workers											○	○	○		

* A: Tate(1997), B: CROW(2011), C: Hérán(2011), D: Meltote and Nørby(2013), E: Dhanani and Vaughan(2016), F: Mindell et al.(2017), G: Casado-Sanz et al.(2019), H: Benavides et al.(2024), I: Millard-Ball et al.(2024), J: Jacobs(1961), K: Sung et al.(2013), L: de Nadai et al.(2016), M: Lee-Sung(2020)

를 의미한다. 선행연구에서 경계공백지대는 주변 지역의 활력을 감소시키지만, 철도와 인접한 지역에서는 오히려 긍정적 효과가 나타남을 도출하였다(de Nadai et al., 2016; Sung et al., 2015; 이동엽·성현곤, 2020). 본 연구에서는 집계구가 철도와 인접하면 1, 인접하지 않으면 0으로 측정하여 인접 여부에 따른 단절효과와 그 영향을 검증한다.

② 역세권(Station Area)

역세권은 인접 지표와 마찬가지로 역 주변에서 나타나는 다양한 활동을 비롯해 역 중심의 고밀개발을 지향하는 대중교통지향형개발(TOD)이 도시공간에 적용되고 있음을 감안하여 선정하였다. 특히 서울시에서는 역세권에 대한 고밀복합용도 개발을 정책적으로 유도함에 따라 다양한 역세권 사업이 추진되고 있다. 따라서 지상철도로 단절된 지역일지라도 역세권에서의 개발행위나 인구집중으로 인해 도시활력이 높게 나타날 수 있음을 검증할 필요가 있다. 역세권의 범위는 서울시 정책에 따라 시행하는 역세권 사업의 특성을 반영하기 위해 관련 조례 및 운영기준을 참고하여 250m²로 설정하였다. 집계구 중심점이 역으로부터 반경 250m 이내에 위치한 집계구는 1, 그렇지 않은 집계구는 0으로 측정하였다.

③ 단절지수(Severance Index, SI)

단절지수는 특정 분석지점에서 철도와 횡단시설의 관계에 따라 본 연구에서 새롭게 제시한 단절 측정지표이다. 앞서 선정한 철도거리(Distance to Railway, D_r)와 횡단시설거리(Distance to Crossing, D_c) 지표를 단독으로 보면 분석지점이 철도로부터 어떤 관계에 있는지 특정할 수 없으며 다른 지표에 따라 입지적 특성이 달라진다는 한계가 있다. 예를 들어 철도와와 거리가 같더라도 횡단시설과 가까이 있는 지역과 먼 지역은 서로 입지가 다르므로 단절에 따른 영향도 다르게 나타날 것이다. 그러므로 두 지표를 결합하면 분석지점이 철도로부터 어떤 위치적 관계에 있는지 추정할 수 있고, 단절의 직접효과인 ‘횡단가능성’과 ‘위치 특성’을 모두 고려한 지표로서 의미를 갖게 된다. 따라서 식 (1)과 같이 계산되는 단절지수(SI)를 최종 지표로 선정하였다. 식 (1)에서 D_r/D_c 값은 D_r (철도까지 거리)가 감소하고 D_c (횡단시설까지 거리)가 증가할수록 작아지며 단절 정도와 반비례하여 0과 1 사이의 값을 갖는다. 이러한 특성을 고려하여 1에서 뺀 역지수를 설정함으로써 SI가 증가하면 단절의 강도가 큰 것으로 해석할 수 있다.

$$SI(\text{단절지수}) = 1 - (D_r/D_c) = 1 - \sin\theta \quad (1)$$

D_r : 철도까지 거리

D_c : 횡단시설까지 거리

θ : 분석지점에서 횡단시설까지 직선과 철도가 이루는 각

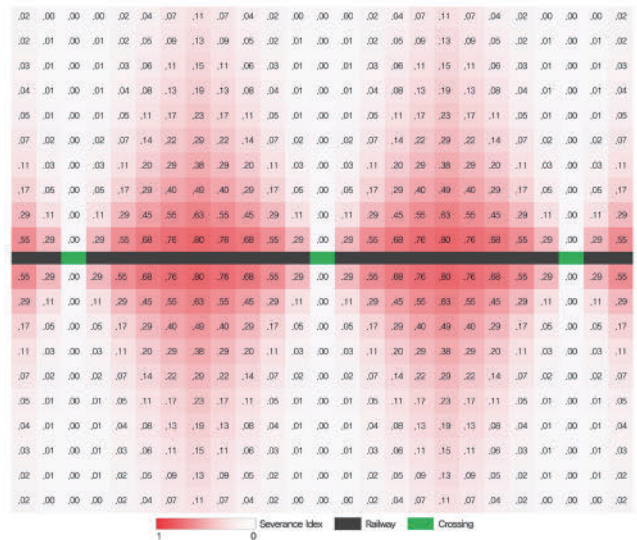


Figure 3. Example of SI (by 100 m grid cell)

〈Figure 3〉은 가상의 철도와 횡단시설로부터 주변 지역을 100m 정방형 그리드 단위 셀(Cell)로 도식화하여 위치에 따른 SI의 변화를 나타낸다. 철도까지의 거리가 충분히 먼 집계구는 D_r 과 D_c 의 값이 근사하므로 SI가 0에 가까워지지만, 철도에 일정 거리 안으로 가까워지면 D_r 과 D_c 의 차이가 SI값에 미치는 영향이 커진다. 즉 SI는 집계구가 철도와 가까울수록 횡단시설의 위치에 더 민감하게 변화한다.

SI는 분석지점에서 횡단시설까지의 직선이 철도와 이루는 각도를 의미하기도 한다. 해당 각도를 θ 라고 할 때 식 (1)에서 D_r/D_c 는 $\sin\theta$ 와 같다. 따라서 〈Figure 4〉와 같이 θ 값이 증가하면 철도와 멀어져 SI는 낮아지고, θ 값이 감소하면 철도와 가까워져 SI가 증가한다.³⁾ 단절 지역에서 횡단시설까지의 직선이 철도와 이루는 각도가 90도에 가까우면 횡단시설 또는 그 연장선에 더 가까이 위치하게 되는데, 해당 지점은 철도 반대편에 대한 경관·시야가 확

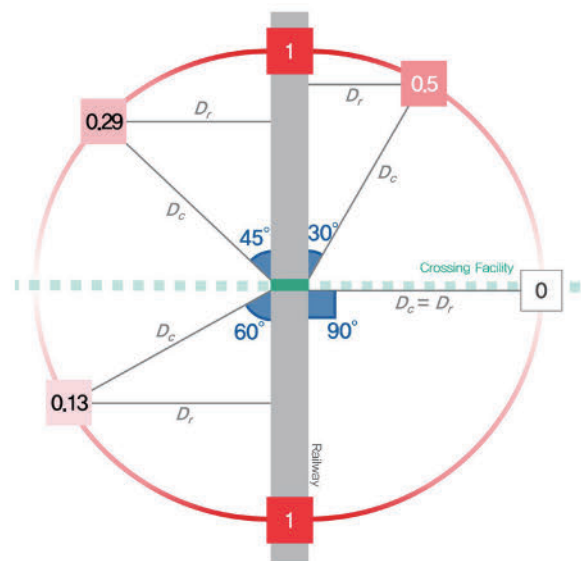


Figure 4. Example of SI (by angle)

보되며 횡단경로의 선택 면에서 유리할 것이다. 종합하면 *SI*는 Lynch(1960)가 주장한 횡단지점에서의 시각적 침투가 단절 해소에 영향을 미친다는 개념을 설명하는 변수라는 점에서도 의미가 있다.

④ 우회도(Circuitry)

우회도는 단절된 지역의 보행 네트워크 구조를 파악하기 위한 변수로서 특정 시·종점 사이의 네트워크거리를 직선거리로 나누어 계산하며, 두 지점 사이의 직선거리 대비 실제 가로망의 우회 정도에 따른 이동거리 증가율을 판단할 수 있는 지표이다. 예시로 Héran(2009)의 연구에서 측정한 우회도는 일반적인 도시지역에서 1.15~1.25로 나타나지만, 도시 외곽지역이나 의도적인 보행 방해가 발생하는 지역에서는 1.3 이상으로 증가하였다. 특히 인공적 장애물인 철도가 위치한 지역에서는 가로망이 직접적으로 끊겨 막다른 길이 생기므로 지역 일대의 전반적인 연결성이 감소하여 네트워크거리가 증가하게 되며 우회도가 높게 나타난다(Héran, 2009; van Eldijk et al., 2022).

우회도의 계산식은 독일 지리학자 Schaur(1991)에 의해 식 (2)와 같이 정의되었으며, 특정 지점에서 일정 반경 이내에 위치한 지점까지의 네트워크거리(*N*) 총합을 직선거리(*S*) 총합으로 나누어 계산한다(Héran, 2011). 대부분의 선행연구에서는 이 방법을 활용하여 평균 우회도를 계산하였는데 셀(Cell) 단위의 분석에서는 지점 사이의 간격이 같아 모든 지점에서 반경 내 위치한 다른 지점의 개수(*k*)가 일정하므로 합리적인 비교가 가능하다. 그러나 집계구처럼 형상과 크기가 다른 분석단위에서는 식 (2)로 계산할 경우, 반경 내 지점의 수가 상대적으로 많으면 우회도 절댓값이 상승하는 편향이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 집계구 수에 따른 편향을 최소화하기 위해 식 (3)의 평균우회도 방식을 적용하여 집계구 중심점으로부터 반경 내 집계구 중심점까지의 우회도의 평균값을 측정하고자 한다.

$$Circuitry(우회도) = \Sigma(N) / \Sigma(S) \quad (2)$$

$$Circuitry(평균우회도) = \Sigma(N/S) / k \quad (3)$$

N: 반경 500m 내 집계구 중심점까지 네트워크거리

S: 반경 500m 내 집계구 중심점까지 직선거리

k: 반경 500m 내 집계구 중심점 수

⑤ 용도다양성(Diversity of Building Uses)

용도다양성은 경계공백지대에서 나타나는 다양성을 확인하기 위한 지표로 Jacobs가 철도 주변 지역에서 토지이용이 단순해지고 건축물의 다양성이 감소해질 것이라고 한 주장에 따라 설정하였다. Sung et al.(2013)은 행정동 단위에서 토지이용의 다양성을 측정하기 위해 주거-비주거 비율을 바탕으로 엔트로피지수를 활용하였지만, 본 연구에서는 행정동보다 세분화된 집계구 단위

의 분석을 위해 건축물의 용도다양성을 측정하고자 한다. 따라서 식 (4)와 같이 '심슨 다양성 지수(Simpson's Diversity Index)'의 역지수를 용도다양성 지표로 설정하였다. 심슨 다양성 지수는 임의의 두 개체가 같은 유형에 속할 확률을 나타낸다. 0에 가까울수록 다양성이 높고, 1에 가까울수록 동질성이 높음을 나타내는 지수이며 역수를 이용하여 보다 직관적으로 다양성과 동질성을 표현할 수 있다(고은정·안건혁, 2014; 김나현·박인권, 2023). 집계구 내 개별 건축물의 용도는 '단독주택', '공동주택', '근린생활시설', '판매시설', '업무시설', '기타' 등 6가지로 구분하였으며 복합건축물은 주용도를 기준으로 측정하였다.

$$\frac{1}{D} = \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)} \quad (4)$$

D: 심슨의 다양성 지수

N: 해당 집계구에 포함된 건축물 수

n_i: *i*번째 건축물 용도에 속하는 건축물 수

⑥ 과소필지비율(Ratio of Small-sized Parcel)

과소필지비율은 선행연구에서 제시하지 않았으나, 본 연구에서 선정한 지표로 지역의 침체 정도를 측정하기 위한 지표이다. 국내의 철도 주변 주거지 관련 연구에서 서울의 철도 단절지역에는 좁고 부정형한 필지가 많아 자력으로 정비를 추진하기 어려운 지역이 많다고 언급한 바 있다(배용규 외, 2010). 또한, 「도시정비법 시행령」 별표1과 「서울특별시 도시정비조례」 제2조제9호에서는 과소필지 밀집지역을 노후한 지역으로 정의하고 있으며, 「서울특별시 건축 조례」에서는 대지의 분할이 가능한 최소면적을 규정함으로써 과소필지를 정의하고 있다. 이처럼 소규모 필지에서는 건축행위가 불가능하여 대지로서의 효용을 다할 수 없으므로 서울시에서는 해당 필지가 밀집한 지역의 정비를 통해 도시와 주거환경을 개선하고 있다. 이러한 배경에서 과소필지가 많이 남아있는 지역은 상대적으로 노후화된 지역이며 장기간 방치되어 정비가 이루어지지 않은 지역임을 유추할 수 있으므로 단절로 인한 침체 정도를 측정하기 위한 지표로서 과소필지비율은 의미가 있다고 볼 수 있다.

과소필지비율의 측정은 필지의 구적면적을 과소기준과 비교하여 기준면적 이상은 0, 기준면적 미만인 과소필지는 1로 측정하며, 집계구 내 총 필지 수 대비 과소필지 수 비율을 통해 과소필지 비율을 측정하였다.⁴⁾

⑦ 주간생활인구

단절의 간접효과 중 활성화정도를 측정하기 위한 지표로 생활인구(De Facto Population)를 선정하였는데, 이는 특정 지역의 시간대별 존재하는 모든 인구를 나타내는 개념이다. 생활인구는 실제 도시활동에 반영된 인구를 집계하므로 기존 주민등록인구

의 한계를 보완하는 지표이다. 그중에서도 주간(10시~17시)인구는 상주인구에서 해당 지역으로의 유입·유출인구를 반영하므로 실질적으로 도시 활동이 나타나는 지역을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 집계구 단위로 「서울열린데이터광장」에서 제공하는 2024년 10월 21일에서 27일까지의 일주일간 주간인구를 활용하였다. 생활인구 데이터는 이동 인구도 함께 집계되므로 월요일과 금요일에는 개인의 직업과 활동특성에 따라 상이한 일상생활이 나타난다는 특수성을 감안하여 제외하였다(김순관·황의정, 2020; 김해솔 외, 2024). 또한, 주중과 주말로 구분하여 시간당 평균값을 측정하고 두 값을 합산하여 지표로 설정하였다.

⑧ 야간생활인구

야간생활인구는 생활인구 중 야간(0시~6시)에 존재하는 인구로서 실질적으로 상주인구의 개념과 유사하므로 단절이 지역의 거주인구 변화에 어떤 영향을 미치는지 확인할 수 있는 지표이다. 또한, 주간생활인구는 교통수단에 따른 이동이 조사시점과 맞물려 교통 밀집지역에서 높게 나타나지만, 야간생활인구는 교통수단으로 인한 이동이 상대적으로 적게 반영되므로 거주자 측면에서 단절로 인한 활성도를 비교할 수 있다는 장점이 있다.

2. 분석단위 설정 및 자료구축

본 연구에서는 2016년 기준 서울시 집계구(Output Area, OA)를 분석 단위로 설정하였다. 집계구는 기초단위를 결합한 근린 지역 통계서비스 구역으로 인구, 사회경제적 동질성과 형상을 고려하여 구축되어 행정동보다 작은 규모로 공간분석을 할 때 유리한 단위이다. 단절현상이 보행자 관점에서 이루어짐을 감안하여 마이크로 스케일 수준에서 측정할 필요가 있으므로 집계구를 분석단위로 설정하였다(이동엽·성현곤, 2020; Sung et al., 2013; Saelens and Handy, 2008). 집계구 데이터는 서울시에서 제공하는 생활인구를 활용하기 위해 해당 자료의 기준 시점인 2016년 집계구 19,153개를 분석의 단위로 설정하였다.⁵⁾ 앞서 설정한 지표 가운데 거리를 측정하는 일부 지표는 집계구의 중심점을 기준으로 산정하기 때문에 GIS를 활용하여 중심점 데이터를 구축하였다. 그 과정에서 700개 집계구는 중심점이 집계구 바깥에 위치하고 있어 집계구 내부로 조정하기 위해 가장 가까운 외곽선 위의 점으로 조정하였다.

또한, 서울시 지상철도로부터 발생하는 단절효과를 측정하기 위해 지상에 위치한 철도부지 전 구간과 차량기지를 경계(Barrier)로 설정하고 자료를 구축하였다. 철도부지는 서울시에 위치한 국가철도 6개 노선과 서울시 도시철도 지상구간 및 차량기지로 구성되며 국토지리정보원에서 제공하는 수치지형도 상 철도부지⁶⁾를 활용하여 〈Figure 5〉와 같이 구축하였다. 철도부지는 면(Polygon) 데이터로 선로(Line)를 포함하며 도로 같은 다른 시설

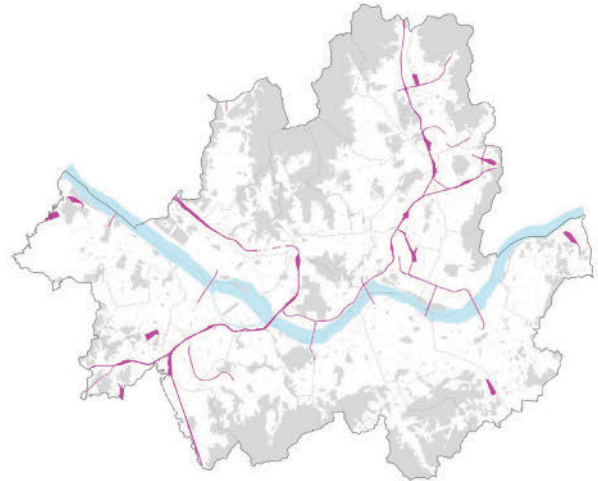


Figure 5. Ground railway (barrier) in Seoul



Figure 6. Crossing facilities of railway

의 상부에 위치한 교량형 시설은 지표에 투영된 면을 나타낸다.

철도시설의 횡단가능성 지표 측정을 위해 GIS와 스트리트뷰⁷⁾를 이용하여 〈Figure 6〉과 같이 횡단시설 데이터를 구축하였다. 교통수단과 관계없이 철도를 횡단할 수 있는 모든 통행로를 횡단시설로 간주하였다. 구축된 횡단시설의 종류는 도로, 횡단보도, 고가도로, 지하도로, 교량, 공지, 공원⁸⁾ 등으로 관련 데이터를 ArcGIS를 활용하여 형태에 따라 점·선·면 데이터로 가공하였다. 모든 횡단시설은 철도부지와 중첩(Intersect)하여 철도의 상·하부에 위치한 부분을 횡단시설로 분석하도록 조정하였다. 차량기지과 같이 별도 횡단시설이 없거나 철도가 끝나는 부분은 단절이 해소되어 실제로 횡단이 가능함을 분석에 반영하기 위해 철도부지 끝에 접한 도로와 면한 부분을 횡단시설로 설정하였다.

3. 분석모형 및 기법

1) 다중선형회귀모형(OLS)

제4장에서는 도출한 지표가 단절효과를 설명하는 데 유의한 지

표이며 직접효과가 간접효과에 영향을 미친다는 점을 실증한다. 이를 위해 서울시 집계구를 대상으로 지표를 측정하고, 다중선형 회귀분석을 통해 직접효과와 간접효과의 관계를 분석한다. 선행 연구 검토에 따라 단절로 인한 직접효과와 간접효과는 서로 밀접한 관련이 있으며 직접효과지표가 높을수록 간접효과에 해당하는 용도다양성과 과소필지비율 및 생활인구에 부정적인 영향을 보일 것으로 예상된다. 실증분석을 위해 간접효과지표를 종속변수로 갖는 다중선형회귀모형을 구축하였다. 종속변수로는 간접효과지표에 해당하는 용도다양성, 과소필지비율, 주간생활인구, 야간생활인구를 설정했다. 모형1과 모형2에서는 각각 용도다양성과 과소필지비율을 종속변수로 설정하여 개발특성에 미치는 영향을 검토하였고, 모형3과 모형4에서는 주간생활인구와 야간생활인구를 종속변수로 설정하여 활성화 특성에 미치는 영향을 분석했다.

독립변수로는 직접효과지표인 인접, 역세권, 단절지수, 우회도를 설정하였으며, 단절지표 이외에 관련 연구에서 사용된 입지특성, 토지특성, 건축물특성, 경제적특성을 통제변수로 설정하였다. 통제변수는 서울시의 공간적 특성을 통제하기 위해 추가되었으며 그중 ‘집계구면적’은 집계구의 공간적 분포특성을 반영하고 생활인구를 면적에 따라 통제하기 위해 설정하였다. 연구에서 설정한 변수는 <Table 3>과 같다.

2) 공간적 자기상관성 진단

단절효과가 갖는 특성 중 하나는 경계에 가까운 지역으로부터 연쇄적으로 나타나며 도시의 물리적 요소와 상호작용한다는 점이다. 이에 따라 공간적 연쇄성과 확산성을 고려해야 하며 다중선형회귀모형만으로는 지상철도로 인한 단절효과를 충분히 설명하기 어려울 수 있다. 이에 본 연구는 다중선형회귀모형에서 도출된 잔차에 대해 전역적 모란지수(Global Moran's I)와 LM검정(Lagrange Multiplier Test)을 병행하여 공간적 자기상관성이 존재하는지 확인하고자 한다.

먼저 전역적 모란지수는 공간적 자기상관성을 측정하는 대표적인 통계량으로, -1에서 1 사이의 값을 가지며 공간통계 상 비슷한 값을 가진 지역들이 얼마나 군집해 있는지를 나타낸다. 1에 가까울수록 유사한 값들이 모여있는 양(+)의 자기상관성을 나타내고, -1에 가까울수록 서로 다른 값들이 모여 있는 음(-)의 자기상관성을 나타내며, 0에 가까울수록 자기상관성이 낮고 데이터가 무작위로 분포함을 의미한다(정수영·전희정, 2021).

LM검정은 모란지수를 통해 공간적 자기상관성이 나타난 회귀모형에 대해 공간적 상관성의 유형을 판단하여 적합한 공간회귀모형을 판단하는 데 활용된다. GeoDa를 활용해 도출하였으며 LM-lag, LM-error 및 각 검정통계량의 Robust 값을 함께 확인하여 공간적 자기상관성의 존재 여부를 통계적으로 진단하였다.

Table 3. Description of variables

Variables		Description	Source
Dependent variables (Indirect barrier effect)	Diversity of building use	Simson's reciprocal index	Building Register
	Ratio of small-sized Parcel	According to ordinance on building	
	Daytime population	De facto population (10-17)	Seoul Metropolitan Government
	Nighttime population	De facto population (0~6)	
Independent variables (Direct barrier effect)	Adjacency	-	Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
	Station area	-	
	Severance index	-	Ministry of Interior and Safety
	Circuitry	-	
Controlled variables	Location characteristics	Area of output area	Seoul Metropolitan Government
		Distance to central place	-
	Land characteristics	Ratio of road area	Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
		Ratio of irregular parcel	
		Slope gradient	National Geographic Information Institute
	Building characteristics	Ratio of new building	Building Register
		Average age of building	
		Land price	
	Economic characteristics	Ratio of land use area	Seoul Metropolitan Government
		A residential area	
		A commercial area	
		An industrial area	

3) 공간회귀모형

단절효과가 공간적 자기상관성을 가진다면 일반적인 선형모델로는 추정계수가 편향될 가능성이 존재한다. 공간효과를 통제하기 위해서 공간회귀모형(Spatial Regression Model)을 활용하여야 한다(서수복, 2014). 본 연구는 대표적인 공간회귀모형인 공간시차모형(Spatial Lag Model, SLM)과 공간오차모형(Spatial Error Model, SEM)을 활용하였다.

공간시차모형은 종속변수가 인접지역의 종속변수에 영향을 받는 공간적 의존 구조를 반영한 모형이다. 본 연구에서는 각 집계구의 간절효과가 해당 집계구의 직접효과뿐만 아니라 인접 집계구의 간절효과와도 연관되어 있는지 검증하기 위해 공간시차모형을 적용하였다. 공간오차모형은 오차항에 내재된 공간적 자기상관성을 통제하기 위한 모형이다. 이는 각 집계구에서 직접효과로 설명되지 않은 간절효과의 잔차가 인접지역의 잔차와 유사한 패턴을 보이는지를 검증하고 그 효과를 통제하여 본 연구에서 추정된 직접효과와 간절효과 간 영향관계의 신뢰도를 높일 수 있다.

공간회귀모형의 활용을 위해서는 공간적 인접성(Contiguity)을 규정하는 공간가중행렬에 대한 정의가 필수적이다. 본 연구에서는 Rook, Queen, Bishop 등 여러 인접성 정의 방식 가운데 경계 공유 여부를 기준으로 인접성을 정의하는 Rook 방식의 공간가중행렬을 적용하였다. 이는 공간 단위에서 가장 보편적으로 활용되며 특히 행정구역에 대상으로 하는 연구에서 Rook방식을 다수 채택하였다(Anselin, 2003; 조준혁 외, 2014; 전수영·전희정, 2019; 백설·김홍순, 2023). 따라서 본 연구에서는 Rook방식의 공간가중행렬을 통해 서로 경계를 공유하는 집계구 사이에 공간적 상호작용이 존재한다는 것을 가정하여 공간회귀분석을 수행하였다.

IV. 분석결과

1. 기술통계

서울시를 대상으로 설정된 변수를 분석하여 전체 집계구 19,153개 중 건축물 데이터가 누락되거나 우회도가 측정되지 않은 2,175개 집계구를 제외한 16,978개 집계구를 대상으로 자료를 구축하였다. 건축물이 누락된 집계구는 비교적 최신에 조성된 건축물로 인해 공간정보는 존재하지만 건축물대장이 결합되지 않은 데이터로서 활용이 불가능한 자료로 파악되었다. 또한, 우회도가 측정되지 않은 집계구는 시 경계나 한강변에 위치한 면적이 큰 집계구로서 주변 지역까지 도달거리가 500m를 초과하여 우회도가 측정될 수 없었다.

도출된 16,978개 집계구가 분석에 활용하였으며 그중 생활인구가 집계되지 않은 집계구를 추가로 제외하기 위해 주간생활인구가 누락된 7개소, 야간생활인구가 누락된 28개소를 제외하였

다. 이에 따라 종속변수로 건축물 용도다양성과 과소필지비율에는 16,978개, 주간인구에는 16,971개, 야간인구에는 16,950개 집계구가 분석에 활용되었다. 변수별 기초통계량은 <Table 4>와 같다.

1) 직접효과지표 측정 결과

서울시 집계구를 대상으로 철도부지, 횡단시설, 집계구 자료를 활용하여 단절로 인한 4가지 직접효과지표(인접, 역세권, 단절지수, 우회도)를 측정하고, 아래와 같이 지표별 측정결과를 정리하였다.

인접 지표에 대하여 16,978개 집계구 중 574개가 철도와 직접 인접하여 철도부지를 따라 선형으로 분포하고 있었다. 해당 집계구는 철도에서 기인한 소음·진동의 직접적 영향을 받으며 경계공백지대의 부정적 요소가 가장 높은 수준일 것으로 예상되는 지역이다. 그러나 한편으로 철도에 인접한다는 것은 역과 횡단시설과도 가까워진다는 것을 의미하므로 일부 인접 지역에서는 활성도가 높고 다양한 도시활동이 나타날 수 있다.

역세권 지표에 대하여 서울시 정책을 고려하여 지하철역을 포함한 모든 역을 대상으로 역세권을 설정하여 측정한 결과, 16,978개 집계구 중 2,276개(13.4%)가 역세권에 위치한 것으로 나타났다. 선행연구를 통해 해당 집계구에서는 개발특성과 활성화 특성이 비역세권지역에 비해 양호한 수준일 것으로 예상된다. 역세권 지표를 통해 역세권에서 나타나는 경계공백지대의 특성을 파악할 수 있으며 선행연구에서 언급되었던 역의 소통적 기능을 검증하고자 한다. 또한, 모든 지하철역을 대상으로 역세권변수를 구축하였으므로 서울시의 공간적 특성을 통제하는 효과가 있을 것으로 예상된다.

단절지수에 대해 서울시를 대상으로 철도거리와 횡단시설거리를 측정⁹⁾한 결과, 16,978개 집계구 중 15,043개(88.6%)에서 단절지수가 0.1 미만으로 단절영향이 미미한 것으로 나타났고, 반대로 단절지수가 0.5 이상으로 단절의 영향이 큰 지역은 449개로 나타났다. 단절지수의 평균값이 0.048이고 표준편차가 0.136임을 고려하면 0.5 이상으로 단절의 직접효과가 매우 높은 지역들은 단절지역의 현황을 잘 나타내는 지역으로 볼 수 있다. 또한, 차량기지와 같은 대규모 철도부지는 규모에 비해 내부 접근이 불가능하고 횡단시설이 부지 양 끝에 위치하여 더 멀고 넓은 지역까지 단절의 영향이 미치는 것으로 확인되었다.

우회도에 대해 시계 지역에 위치하거나 면적이 큰 집계구 등 500m 이내에 다른 집계구가 없는 123개 집계구가 측정되지 않았다. 연구에 활용된 16,978개소를 기준으로 우회도는 최소 1.072, 최대 25.116이었으며, 평균값은 2.023, 표준편차는 0.815로 독립변수 중 관측치 간 차이가 가장 크게 나타났고, 우회도가 3 이상인 집계구는 1,310개소, 5 이상인 집계구는 181개소를 분석된다. 한편 측정되지 않은 집계구를 대상으로 탐색반경을 충분히 넓혀

Table 4. Descriptive statistics

Variable		Unit	N	Min	Max	Mean	S.D			
Dependent variables (Indirect barrier effect)	Diversity of building use		–	16,978	1.000	10.500	1.897	0.902		
	Ratio of small-sized parcel		%	16,978	0	95.283	16.480	18.235		
	Daytime population		thousand	16,971	0.001	116.941	1.134	2.707		
	Nighttime population		thousand	16,950	0.000	40.894	1.061	1.337		
Independent variables (Direct barrier effect)	Adjacency		–	16,978	0	1	0.034	0.181		
	Station area		–	16,978	0	1	0.134	0.341		
	Severance index		–	16,978	0	1	0.048	0.136		
	Circuitry		–	16,978	1.072	25.116	2.023	0.815		
Controlled variables	Location characteristics	Area of output area		ha	16,978	0.030	232.179	2.679	7.377	
		Distance to central place		km	16,978	0	3.300	0.489	0.437	
		Ratio of road area		%	16,978	0	99.925	19.542	10.717	
	Land characteristics	Ratio of Irregular Parcel		%	16,978	0	100	90.733	14.491	
		Slope gradient		degree	16,978	0	29.422	4.082	4.216	
		Ratio of land use area	A residential area		%	16,978	0	100	88.110	28.382
			A commercial area		%	16,978	0	100	3.721	15.791
			An industrial area		%	16,978	0	100	4.423	19.878
		Building characteristics	Ratio of new building		%	16,978	0	100	9.472	16.464
	Average age of building		year	16,978	0	86.500	27.523	8.199		
	Economic characteristics	Land price		million won	16,978	0.033	64.360	4.415	3.306	

분석하였다면, 시계지역에서는 도로접근성이 매우 낮은 특성에 따라 우회도가 높게 나타났을 것이다. 시계지역뿐 아니라 하천·고속도로·공원·대규모단지와 같이 도시의 경계 주변부에서 상대적으로 높았는데, 이와 같은 특성을 고려하여 우회도의 결정요인을 추가 분석하여 철도와 같은 경계가 도로망 구성에 어떤 영향을 미치는지 향후 연구를 통해 검토할 필요가 있다.

2) 간접효과지표 측정 결과

서울시 집계구를 대상으로 4가지 간접효과지표(용도다양성, 과소필지비율, 주간생활인구, 야간생활인구)를 측정하였다.

건축물의 용도다양성을 측정하기 위해 2024년 10월 기준 서울시의 건축물대장 데이터를 집계구에 결합하였고,¹⁰⁾ 건축물 데이터 누락으로 463개 집계구가 분석에서 제외되었다. 분석에 활용된 16,978개 집계구는 최소 1부터 최대 10.5의 값을 가지며, 평균은 1.897, 표준편차는 0.902였다. 1 이상 2 미만인 집계구는 9,711개소(57.2%)이며, 5 이상으로 용도다양성이 높은 집계구는 96개소로 나타났다.

과소필지비율 분석 결과, 16,978개 집계구의 평균 과소필지비율은 16.5%이며 최소 0%에서 최대 95.3%로 나타났다. 40% 이상으로 과소필지가 밀집한 집계구는 2,197개로 전체의 12.9%를 차지한다. 영등포와 서울도심 지역에 과소필지가 밀집하고 있으며,

상대적으로 양천구, 여의도, 강남권 지역에서는 과소필지가 거의 나타나지 않았다. 이러한 분포는 지상철도의 분포와 유사한 측면이 있을 것으로 예측되며 추가적인 분석을 통해 실증할 필요가 있다.

생활인구에 대해 분석대상인 16,978개소 중 인구가 측정되지 않은 지역을 추가로 제외하여 주간 16,971개, 야간 16,950개를 분석하였다. 주간인구는 평균 1,134명, 최고 116,941명으로 표준편차는 2,707명으로 나타났다. 시간당 1천 명 미만의 집계구는 12,201개로 전체 집계구의 71.9%를 차지해 대부분 집계구는 평균 미만의 활동인구를 나타낸다. 분석 결과 일부 철도 주변 지역에서도 생활인구가 높게 나타났는데, 이러한 지역에서는 철도 탑승자들을 포함한 역 주변의 활동이 반영된 것으로 해석할 수 있다. 야간인구는 평균 1,061명, 최고 40,894명으로 주간인구 대비 평균은 약 73명, 최고인구는 약 7만 6천 명 감소한 것으로 나타났다. 시간당 1천 명 미만의 집계구는 10,166개소로 전체 집계구의 60.0%였는데, 이는 주간생활인구 대비 2,135개소 감소한 수치로 주간 활동인구가 주거지로 분산된 결과로 해석할 수 있다.

2. 다중선형회귀모형 분석결과 및 검증

4가지 간접효과를 종속변수로 하는 모형1~4에 대한 다중선형

회귀분석 결과는 <Table 5>에 정리하였다. 용도다양성을 종속변수로 하는 모형1 분석 결과 ‘인접’지표는 양(+)의 영향을 나타내며 ‘단절지수’와 ‘우회도’는 음(-)의 영향을 나타내고 있다. 과소필지비율을 종속변수로 하는 모형2에서 ‘인접’, ‘역세권’, ‘단절지수’는 양(+)의 영향을 나타내며 ‘우회도’는 음(-)의 영향을 나타낸다. 주·야간 생활인구를 종속변수로 갖는 모형3과 모형4에서 ‘인접’, ‘역세권’, ‘우회도’는 양(+)의 영향을 나타내며 ‘단절지수’는 음(-)의 영향을 나타내고 있다. 각 모형의 설명력은 각각 22.6%, 24.8%, 35.9%, 15.3%로 나타났으며, 모형1의 역세권 지표를 제외하면 모든 직접효과지표에서 유의하게 나타났다. 결과적으로 서울시 지상철도를 대상으로 집계구 단위로 분석한 직접효과지표는 통제변수와 함께 간접효과에 해당하는 개발특성과 활성화 특성을 설명하는 변수로서 의미가 있음을 확인하였다.

그러나 도출한 다중선형회귀모형의 결과는 다음과 같은 한계가 있다. 먼저 4개의 직접효과지표와 11개의 통제변수를 설정했음에도 전반적인 모형의 설명력이 낮게 나타났다. 이러한 결과는 비록 단절의 직접효과지표가 유의수준을 충족할지라도 종속변수의 극히 일부분만 설명하고 있음을 의미한다. 또한, <Table 6>과 같이 다중선형회귀모형의 잔차를 대상으로 전역적 모란지수를 통

해 공간적 자기상관성을 검증한 결과 모형1 0.213, 모형2 0.472, 모형3 0.161, 모형4 0.137로 나타나 양(+)의 공간적 자기상관성이 나타났다. 이는 선형회귀모형의 기본 가정 중 하나인 오차항의 독립성이 위배되었음을 의미하며, 4가지 다중선형회귀모형에서 나타난 낮은 설명력은 일반적인 선형모형으로는 설명하지 못하는 공간효과가 내재되어 있음을 시사한다. 따라서 본 연구는 공간적 자기상관성을 통제하기 위해 선형회귀모형을 공간회귀모형으로 대체하여 분석하였다.

공간효과의 유형을 구분하고 다중선형회귀모형을 대체할 공간모형을 선정하기 위해 LM 검정을 수행하였다. 분석 결과 LM(Lag)과 LM(Error) 통계량이 모두 유의하게 나타났으므로 LM 통계량만으로는 공간효과의 특성을 통계적으로 구분할 수 없다. 따라서 Robust LM 통계량을 비교한 결과 모형1, 모형3, 모형4에서 Robust LM(Error)이 더 높게 나타나 공간오차모형(SEM)이 적합한 모형임을 확인하였으며, 모형2에서 Robust LM(Lag)가 더 높으므로 공간시차모형(SLM)의 적합도가 더 높음을 확인하였다. LM 검정 결과와 모형별 채택된 공간회귀모형은 <Table 6>에 정리하였다.

Table 5. Result of multiple linear regression (OLS)

Variable		Model 1 Diversity of building uses		Model 2 ratio of small-sized parcel		Model 3 Daytime population		Model 4 Nighttime population	
		Coef.	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value	Coef.	t-value
Intercept		1.626 ***	21.695	-20.361 ***	-13.633	-3.520 ***	-17.183	-0.415 ***	-3.567
Independent variables	Adjacency	0.134 ***	3.264	2.314 ***	2.839	0.844 ***	7.545	0.218 ***	3.426
	Station area	0.004	0.203	3.731 ***	10.186	0.205 ***	4.079	0.092 ***	3.229
	Severance index	-0.270 ***	-4.955	3.847 ***	3.541	-0.543 ***	-3.638	-0.210 **	-2.470
	Circuitry	-0.108 ***	-13.085	-.773 ***	-4.681	0.066 ***	2.902	0.025 *	1.907
Controlled variables	Area of output area	0.022 ***	22.659	0.100 ***	5.104	0.194 ***	71.840	0.063 ***	40.996
	Distance to central place	-0.114 ***	-7.588	-3.716 ***	-12.377	-0.208 ***	-5.060	-0.130 ***	-5.550
	Ratio of road area	0.024 ***	37.045	0.246 ***	19.122	0.028 ***	15.617	0.008 ***	7.709
	Ratio of irregular parcel	-0.005 ***	-12.029	0.167 ***	19.151	0.003 ***	2.468	0.001 **	2.164
	Slope gradient	0.006 ***	4.089	0.892 ***	28.169	-0.021 ***	-4.726	-0.013 ***	-5.101
	A residential area	0.000	0.276	0.009	0.878	0.022 ***	16.393	0.008 ***	10.328
	A commercial area	0.001	1.049	0.206 ***	15.849	0.043 ***	24.342	0.015 ***	14.317
	An industrial area	0.001	1.396	0.118 ***	10.219	0.026 ***	16.701	0.009 ***	9.729
	Ratio of new building	0.009 ***	23.039	0.176 ***	21.740	0.009 ***	7.881	0.008 ***	12.377
	Average age of building	0.012 ***	14.474	0.634 ***	38.648	0.012 ***	5.318	0.002 **	1.897
	Land price	0.010 ***	4.823	-1.270 ***	-31.272	0.161 ***	28.891	0.033 ***	10.523
obs.		16,978		16,978		16,971		16,950	
R-squared		0.226		0.249		0.359		0.154	
Adj R-squared		0.226		0.248		0.359		0.153	

*p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01

Table 6. Global Moran's I and LM test

Test	Model 1 Diversity of building uses	Model 2 ratio of small-sized parcel	Model 3 Daytime population	Model 4 Nighttime population
Moran's I	0.213 ***	0.472 ***	0.161 ***	0.137 ***
LM (lag)	1,652.193 ***	9,552.967 ***	739.518 ***	702.274 ***
LM (error)	1,864.516 ***	9,126.341 ***	1,058.854 ***	762.586 ***
Robust LM (lag)	10.799 ***	624.481 ***	21.172 ***	19.320 ***
Robust LM (error)	223.122 ***	197.854 ***	340.508 ***	79.632 ***
LM (SARMA)	1,875.315 ***	9,750.821 ***	1,080.026 ***	781.907 ***
Selected model	Spatial error model (SEM)	Spatial lag model (SLM)	Spatial error model (SEM)	Spatial error model (SEM)

*p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01

3. 공간회귀모형 분석결과

1) 단절이 개발특성에 미치는 영향 분석

공간회귀모형을 통해 단절이 개발특성에 미치는 영향을 분석한 결과는 <Table 7>과 같다. 먼저 모형1을 통해 건축물 용도다양성에 미치는 영향을 공간오차모형을 통해 분석했다. 앞서 도출한 다중선형회귀모형보다 공간오차모형에서 R^2 와 Log Likelihood 값이 증가하였으며 AIC와 SC 값이 감소했으므로 공간오차모형이 용도다양성에 미치는 단절 영향 도출에 더 적합한 모델임을 확인할 수 있었다. Likelihood Ratio 통계량도 유의하므로 공간오차계수(λ)가 적합한 것으로 나타났으며, 양(+)의 값을 가지므로 집계구 간 건축물 용도다양성은 설명변수로 설명되지 않은 잔차의 공간적 군집성이 존재함을 의미한다.

과소필지비율을 종속변수로 하는 모형2에는 공간시차모형이 활용되었다. 다중선형회귀모형과 비교하였을 때 R^2 와 Log Likelihood 값이 현저히 증가하였고, AIC와 SC 값이 의미 있는 수준으로 감소하였다. R^2 가 0.566으로 선형모형에 비해 설명력이 두 배 이상 개선되었다. Likelihood Ratio 통계량 역시 유의하므로 공간시차계수(ρ)가 적합한 것으로 나타났고, 양(+)의 값이므로 과소필지비율이 인접 집계구의 과소필지비율과 강하게 연관된 공간 확산효과가 존재함을 의미한다.

모형1의 공간오차모형에서 설명변수별 회귀계수는 역세권과 토지이용변수를 제외한 모든 변수에서 유의하게 나타났고, 다중선형회귀모형과 비교하였을 때 유의한 변수의 회귀계수의 방향성이 모두 일치함을 확인하였다. 모형2의 공간시차모형에서 단절지수와 공업지역 변수를 제외한 모든 변수가 유의하게 나타났으며, 모형1과 마찬가지로 다중선형회귀모형과 비교하면 유의한 변수의 회귀계수 방향성이 일치하였다. 모형1의 역세권 변수와 모형2의 단절지수를 제외하면 단절의 직접효과지표가 용도다양성과 과소필지비율에 모두 유의한 영향을 미치는 것으로 나타나 직접효과지표가 간접효과인 개발특성에 영향을 미치며 단절을 측정하는 데 유의한 지표임을 검증하였다. 또한, 종속변수인 용도

다양성과 과소필지비율은 철도로 단절된 지역의 개발특성을 판단하기 위한 간접효과 지표로서 타당성을 확인했으며, 두 간접효과지표 모두 공간적 자기상관성에 따라 인접한 집계구 간에 군집성이 있음을 확인하였다.

본 연구는 단절의 4가지 직접효과지표가 개발특성으로 분류한 간접효과인 용도다양성과 과소필지비율에 어떤 영향을 미치는지를 확인하기 위한 것으로 해당 분석결과를 세부적으로 논의하고자 한다. 모형1에서 인접지표와 단절지수는 각각 용도다양성에 양(+)과 음(-)의 영향을 나타내어 두 지표 간 정반대의 영향을 미치고 있다. 이러한 결과는 단절지수가 높아질수록 용도다양성이 감소하지만 철도와 직접 인접한 지역에서는 다양성이 증가하여 경계공백지대에서의 부정적 효과가 감소한다고 해석된다. 이처럼 철도 인접 지역에서 긍정적 효과와 부정적 효과가 동시에 나타나는 비선형적 관계는 선행연구에서 검토된 바 있으며 철도 인접 지역의 물리적 경계를 제어한 효과가 나타난 것으로 해석할 수 있다(이동엽·성현근, 2020; Sung et al., 2015; Dogan and Lee, 2024). 단절지수와 우회도는 용도다양성에 음(-)의 영향을 나타내는데 이는 Jacobs(1961)가 주장한 바와 같이 철도로 인한 단절의 부정적인 직접효과가 지역의 다양성을 감소시키는 경계공백지대의 특성을 확인할 수 있다.

모형2는 철도와 인접한 지역에서 과소필지비율이 높게 나타나며 장기적으로 침체된 지역이 많은지 확인하기 위한 모델이다. 분석 결과 인접지표와 역세권은 양(+)의 영향으로 나타났는데, 역세권 지역이 비역세권 지역에 비해 과소필지 비율이 높으며 철도 인접 지역에서 과소필지 비율이 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 우회도는 과소필지비율에 음(-)의 영향을 나타내는데 우회도가 높은 지역일수록 과소필지가 적고 필지의 규모가 커져 목적지로의 우회 정도가 높아지는 것으로 해석할 수 있다.

특히 단절지수는 다중선형회귀모형에서는 유의한 양(+)의 영향을 나타냈으나, 공간시차모형에서는 유의하지 않게 전환되었다. 공간적 자기상관성을 고려하지 않은 선형모형에서는 철도와 의 거리를 기반으로 하는 단절지수의 특성이 과소필지비율의 공

Table 7. Spatial regression model for diversity of building uses and ratio of small-sized parcel

Variables / Statistics		Model 1: Diversity of building uses			Model 2: Ratio of small-sized parcel		
		OLS	SEM		OLS	SLM	
		Coef.	Coef.	z-value	Coef.	Coef.	z-value
Spatial effect	ρ (rho)					0.661 ***	101.268
	λ (lambda)		0.377 ***	38.255			
Intercept		1.626 ***	1.445 ***	17.874	-20.361 ***	-13.035 ***	-11.482
Independent variables	Adjacency	0.134 ***	0.160 ***	3.264	2.314 ***	2.660 ***	4.295
	Station area	0.004	-0.004	0.203	3.731 ***	1.327 ***	4.758
	Severance index	-0.270 ***	-0.207 ***	-4.955	3.847 ***	-0.854	-1.034
	Circuitry	-0.108 ***	-0.081 ***	-13.085	-0.773 ***	-0.414 ***	-3.300
Controlled variables	Area of output area	0.022 ***	0.022 ***	22.659	0.100 ***	0.106 ***	7.128
	Distance to central place	-0.114 ***	-0.112 ***	-7.588	-3.716 ***	-1.245 ***	-5.433
	Ratio of road area	0.024 ***	0.021 ***	37.045	0.246 ***	0.177 ***	18.059
	Ratio of irregular parcel	-0.005 ***	-0.004 ***	-12.029	0.167 ***	0.081 ***	12.212
	Slope gradient	0.006 ***	0.007 ***	4.089	0.892 ***	0.329 ***	13.484
	A residential area	0.000	-0.001 **	0.276	0.009	-0.019 **	-2.493
	A commercial area	0.001	-0.001	1.049	0.206 ***	0.065 ***	6.506
	An industrial area	0.001	-0.001 *	1.396	0.118 ***	0.010	1.181
	Ratio of new building	0.009 ***	0.011 ***	23.039	0.176 ***	0.105 ***	16.921
	Average age of building	0.012 ***	0.016 ***	14.474	0.634 ***	0.350 ***	27.261
	Land price	0.010 ***	0.016 ***	4.823	-1.270 ***	-0.585 ***	-18.353
obs.		16,978	16,978		16,978	16,978	
Model fit statistics	R ²	0.226	0.311		0.249	0.566	
	Log likelihood	-20,155.2	-19,428.9		-70,950.8	-67,199.4	
	AIC	40,342.4	38,889.8		141,934.0	134,433.0	
	SC	40,466.2	39,013.6		142,057.0	134,564.0	
Spatial dependence (Likelihood ratio)			1,452.555 ***			7,502.839 ***	

*p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01

간접 군집현상을 일부 설명하는 것으로 추측된다. 반면, 공간적 자기상관성이 통제된 공간시차모형에서는 이미 공간가중치를 통해 인접 지역의 영향이 충분히 설명되어 단절지수에 의한 거리효과가 유의하지 않게 나타났다. 이러한 결과는 과소필지비율이 철도까지의 거리로 인해 군집된 특성 외에도 서울시 공간 전체에서 강한 군집 특성이 나타남을 의미한다. 아울러 공간가중행렬을 사용하지 않는 지리가중회귀모형(Geographically Weighted Regression)과 같은 국지적 선형회귀모형에서는 전역적 공간구조가 충분히 제거되지 않았을 수 있으므로 단절지수가 지역적 특성을 설명함에 따라 유의하게 작용할 수 있는 가능성을 시사한다.

2) 단절이 활성화 특성에 미치는 영향 분석

공간회귀모형을 통해 단절이 활성화 특성에 미치는 영향을 분석한 결과는 <Table 8>과 같다. 모형3과 모형4에서는 각각 주간

과 야간의 생활인구를 종속변수로 설정하였으며, 두 모형 모두 통계적으로 더 적합한 공간오차모형을 채택하였다. 분석 결과, R²와 Log Likelihood 값이 증가하고 AIC와 SC 값이 감소하여 공간회귀모형이 다중선형회귀모형보다 우수한 적합도를 보이는 것으로 나타났다. 다만, 통계량의 개선 폭이 모형1과 모형2보다 작으므로 활성화 특성에서는 공간효과가 비교적 작게 나타난 것으로 해석된다. 또한, Likelihood Ratio가 유의하며 공간오차계수(λ)가 각각 0.192와 0.221로 나타나, 회귀모형의 잔차에 내재된 약한 공간적 자기상관성이 통제되었다.

모형3과 모형4의 분석결과에서 부정형필지 비율을 제외한 모든 변수가 유의한 것으로 나타났다. 이에 따라 단절의 직접효과 지표가 생활인구에 따른 활성화 특성을 설명하는 지표로서 유의함을 검증하였다. 모든 변수에서 다중선형회귀모형과 공간오차모형의 회귀계수 방향성이 일치하였는데, 이는 공간효과가 추정

Table 8. Spatial regression model for daytime and nighttime population

Variables / Statistics		Model 3: Daytime population			Model 4: Nighttime population		
		OLS	SEM		OLS	SEM	
		Coef.	Coef.	z-value	Coef.	Coef.	z-value
Spatial effect	ρ (rho)						
	λ (lambda)		0.192 ***	17.354		0.221 ***	20.250
Intercept		-3.520 ***	-3.364 ***	-15.597	-0.415 ***	-0.423 ***	-3.422
Independent variables	Adjacency	0.844 ***	0.839 ***	7.206	0.218 ***	0.200 ***	2.992
	Station area	0.205 ***	0.185 ***	3.437	0.092 ***	0.070 **	2.270
	Severance index	-0.543 ***	-0.545 ***	-3.326	-0.210 **	-0.252 ***	-2.653
	Circuitry	0.066 ***	0.073 ***	2.957	0.025 *	0.031 **	2.206
Controlled variables	Area of output area	0.194 ***	0.188 ***	70.968	0.063 ***	0.061 ***	40.728
	Distance to central place	-0.208 ***	-0.144 ***	-2.941	-0.130 ***	-0.124 ***	-4.332
	Ratio of road area	0.028 ***	0.027 ***	14.585	0.008 ***	0.007 ***	6.469
	Ratio of irregular parcel	0.003 ***	0.002	1.230	0.001 **	0.001 *	1.746
	Slope gradient	-0.021 ***	-0.023 ***	-4.791	-0.013 ***	-0.015 ***	-5.206
	A residential area	0.022 ***	0.021 ***	15.215	0.008 ***	0.008 ***	9.815
	A commercial area	0.043 ***	0.039 ***	20.450	0.015 ***	0.014 ***	12.400
	An industrial area	0.026 ***	0.025 ***	14.847	0.009 ***	0.009 ***	8.928
	Ratio of new building	0.009 ***	0.009 ***	7.969	0.008 ***	0.008 ***	11.548
	Average age of building	0.012 ***	0.013 ***	5.425	0.002 **	0.004 ***	3.081
	Land price	0.161 ***	0.159 ***	25.302	0.033 ***	0.032 ***	8.681
obs.		16,971	16,971		16,950	16,950	
Model fit statistics	R ²	0.359	0.384		0.154	0.188	
	Log likelihood	-37,207.2	-36,939.3		-27,558.8	-27,296.8	
	AIC	74,446.4	73,910.5		55,149.6	54,625.6	
	SC	74,570.3	74,034.4		55,273.4	54,749.4	
Spatial dependence (Likelihood ratio)			535.896 ***			523.942 ***	

*p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01

량의 크기에만 영향을 주었으나 영향력의 방향성을 바꿀 정도로 왜곡하지는 않았음을 의미한다. 또한, 모형3에서의 설명력과 유의수준이 모형4보다 높게 나타났다는 점에서 단절의 직접효과지표가 야간(상주)의 도시 활동보다는 주간에 발생하는 사람들의 활동과 이동을 더 잘 설명하는 것으로 보인다. 특히 공간오차모형을 채택하였음에도 불구하고 여전히 야간인구에서 설명력이 낮게 나타나 직접효과를 비롯한 설명변수가 야간의 활성화 특성의 일부만 설명하는 한계가 있다.

본 연구의 주요 관심주제인 단절의 직접효과지표가 활성화 특성에 미치는 영향을 중점적으로 검토하고자 한다. 모형3과 모형4의 회귀계수를 비교하면, 주간생활인구와 야간생활인구가 직접효과지표로부터 받는 영향의 크기에서 차이가 나타났다. 대체로 모형3의 회귀계수가 모형4보다 두 배 이상 높게 나타났다. 그러나 영향을 미치는 방향성은 두 모형에서 일정하게 나타났으며,

인접, 역세권, 우회도는 생활인구에 양(+)의 영향을 보이고 단절지수는 음(-)의 영향을 나타낸다.

두 모형 모두 인접지표와 역세권지표가 양(+)의 영향을 보이고 있다. 특히 인접지표는 회귀계수가 모형3과 모형4에서 각각 0.839, 0.200으로 나타나 같은 터미변수인 역세권에 비해 높은 양(+)의 영향을 미치고 있었다. 이러한 결과는 생활인구 데이터의 집계 방식이 위치 기반인 점에 기인한 것으로 선로 위 열차의 탑승객 수가 집계되어 해당 집계구의 인구에 높은 영향을 주고 있는 것으로 파악된다. 한편 역세권 지표가 인구수에 양(+)의 영향을 보이는 결과는 철도역이 횡단시설로서 주변에 미치는 긍정적 효과가 단절의 부정적 영향보다 크게 작용한 결과로 해석된다. 그 밖에도 서울시의 역세권 주변에서 나타나는 공간적 특성에 따라 인구가 집중되는 지역에서의 긍정적 효과가 단절의 부정적 효과보다 더 크게 작용했을 가능성이 있다.

단절지수의 증가는 철도와 가깝고 횡단시설과 거리가 멀어짐을 의미하는데 그에 따른 회귀계수가 음(-)의 방향성을 나타내는 점에서 선행연구와 경제공백지대 이론에 따라 예상된 결과가 나타난 것으로 해석된다. 또한, 인접지표의 결과와는 반대로 단절지수는 주·야간 생활인구에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 보아 철도와의 거리에 따른 인구변화에서 모형1과 같은 비선형적 관계가 나타남이 확인되었다. 단절지수와 인접지표는 모두 증가할수록 철도에 인접한 경향을 보이는데 두 변수의 회귀계수가 반대로 도출된 점은 철도와의 거리에 따른 인구의 비선형적 특성이 나타났을 가능성을 의미한다.

우회도는 주간인구와 야간인구에 모두 양(+)의 영향을 보이며 두 모형에서 각각 99%와 95% 신뢰수준에서 종속변수를 설명하고 있다. 이러한 결과는 우회도가 높아짐에 따라 보행자가 감소하여 생활인구가 줄 것이라는 예측과는 상반된다. 우회도가 생활인구에 양(+)의 영향을 미치는 원인은 철도 주변의 아파트단지나 대규모시설 등으로 인해 우회도가 증가함에도 인구가 높게 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 우회도와 생활인구 간 연관성은 단절의 긍정적 효과라기 보다는 철도 주변에 대규모 시설이 위치하게 된 입지적 특성과 지역적 맥락을 고려하여 우회도가 어떤 영향을 미쳤는지 국지적으로 확인할 필요성을 제시한다.

4. 소결

제4장에서는 앞서 도출한 4가지 직접효과지표(인접, 역세권, 단절지수, 우회도)와 4가지 간접효과지표(용도다양성, 과소필지비율, 주간생활인구, 야간생활인구) 간의 영향관계를 확인하기 위해 지표를 측정하고 회귀분석을 수행했다. 측정결과 인접과 역세권 지표는 철도 인접 지역, 역세권 지역에서 1과 0으로 구분되었다. 단절지수는 지상철도와 가까울수록 높고 멀어질수록 낮게 나타났다. 우회도는 철도 주변 지역 외에도 시계지역, 하천 주변, 고속도로 주변과 같은 다양한 경제지역에서 높게 나타나는 경향이 파악되었다.

이후 단절의 직접효과가 간접효과에 미치는 영향을 분석하기 위해 다중선형회귀분석을 실시하였다. 분석 결과, '횡단가능성', '보행성', '위치특성'을 나타내는 직접효과지표는 간접효과인 '개발특성'과 '활성화 특성'에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 선행회귀모형의 잔차에 대한 전역적 모란지수 분석을 통해 공간적 자기상관성이 남아있음을 확인하였으며 LM 검증을 통해 모형별 공간회귀모형의 종류 중 대안을 채택하였는데, Robust LM 통계량을 활용하여 모형 1·3·4는 공간오차모형(SEM), 모형2는 공간시차모형(SLM)을 대안으로 설정하였다.

공간회귀모형 분석 결과 공간회귀계수가 유의하게 나타나 공간적 자기상관성이 통제되었으며 회귀모형의 통계량 비교 결과 일반회귀모형 대비 적합한 모형임을 확인하였다. 모든 유의한 변

수에 대한 회귀계수가 선행회귀모형과 방향성이 일치하였다는 점에서 공간적 자기상관성이 변수의 방향성보다는 영향력의 크기를 왜곡하였던 것으로 추측된다. 단절의 직접효과에 대한 회귀계수를 통해 간접효과에 미친 영향을 도출한 결과는 다음과 같다. 먼저 '단절지수'와 '우회도'의 증가는 단절의 직접효과인 '횡단가능성'과 '보행성'을 감소시켜 간접효과인 용도다양성을 감소시킨 것으로 보인다. 그러나 '인접'지표에서는 반대로 철도에 인접할수록 다양성이 높은 경향성이 나타났는데, 선행연구에서 제시한 역과 횡단시설이 단절된 두 지역을 연결하여 발생한 긍정적 효과가 반영된 것으로 해석된다. 이러한 특성은 주·야간 생활인구에서도 나타났으며 인접, 역세권 지표와 달리 단절지수는 음(-)의 영향력을 나타냈다. 이와 같은 결과를 통해 일반적으로는 철도와 가깝고 횡단시설과 멀어질수록 단절의 부정적 특성이 나타나지만, 철도나 역세권에 인접한 집계구에서는 긍정적 특성이 나타나는 비선형적 구조를 확인하였다. 또한, 단절로 인해 '우회도'가 증가함에 따라 용도다양성과 과소필지비율이 감소하고 생활인구가 증가하였는데, 이러한 결과는 철도로 인해 단절된 지역에 대규모 단일 기능의 시설이 입지하여 나타난 것으로 해석할 수 있다.

V. 결론

1. 연구의 요약

본 연구에서는 서울시를 대상으로 지상철도로 인한 지역의 단절효과를 정량적으로 측정하기 위한 지표를 도출하고 직접효과가 간접효과에 미치는 영향을 회귀모형을 통해 실증하였다. 연구를 통해 도출한 결과는 다음과 같다. 첫째, 단절효과와 경제공백지대의 개념을 바탕으로 단절효과를 직접효과(횡단가능성, 보행성, 위치특성)와 간접효과(개발특성, 활성화 특성)로 구분하고, 단절의 직접효과를 측정하기 위한 지표로 '인접', '역세권', '단절지수', '우회도', 간접효과지표로 '용도다양성', '과소필지비율', '생활인구(주·야간)'를 도출하였다. 둘째, 지상철도로 인한 단절의 직접효과지표는 간접효과에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 중에서도 '단절지수'를 통해 횡단시설까지의 거리와 철도까지 거리를 동시에 활용하여 분석지점으로부터 철도와 횡단시설과의 위치 관계를 정의할 수 있으며, 횡단시설이 단절된 두 지역을 시각적·물리적으로 연결함으로써 부정적 영향을 완화하고 오히려 결절점이 될 수 있다는 이론을 확인했다는 점에서 향후 단절효과의 정량화지표로 활용될 수 있다. 셋째, 단절의 간접효과에는 공간적 자기상관성이 존재하였으며 이를 통제하기 위해 공간회귀모형을 적용한 결과 모형 적합도가 유의미하게 개선되었으며, 공간효과가 회귀계수의 방향이 아닌 크기에 영향을 나타내었다. 마지막으로 도시의 복합적인 요인에 의해 나타나는 개발특성과 활성화 특성을 단절로 인한 간접효과로 설정하여 직접효과와의 관

계성을 입증하였다. 이로써 단절의 직접효과 중 ‘횡단가능성’, ‘보행성’, ‘위치특성’이 간접효과인 ‘개발특성’과 ‘활성화 특성’에 미치는 영향을 실증하였다.

2. 연구의 시사점 및 한계

본 연구는 다음과 같은 시사점을 제시할 수 있다. 첫째, 본 연구에서 도출한 평가지표를 활용하여 서울뿐만 아니라 국내 도시에서 철도로 인한 단절의 정도를 정량화하여 사업에 적용할 수 있는 평가 체계를 고도화할 수 있다. 이러한 방법론이 지속적으로 연구된다면 향후 단절 해소를 위한 정책 결정을 보다 합리적으로 할 수 있다. 둘째, 단절효과에 대한 연구는 철도뿐만 아니라 다양한 경계공백지대를 대상으로 고려할 필요가 있다. 철도 이외에도 도로, 하천, 대규모 시설과 같은 경계공백지대에 대한 단절효과를 정량화하여 경계공백의 특성을 분석하고 시설별 단절의 영향을 파악할 수 있다. 셋째, 단절지수와 인접지표가 간접효과에 미치는 영향이 상반되었다는 점에서 철도 주변 지역에서 단절에 미치는 효과가 비선형적으로 나타남을 확인하였다. 이러한 결과는 단절효과의 분석에 있어 횡단시설에 대한 고려가 중요하다는 점을 제시하며 후속 연구에서 지리가중회귀모형과 같은 국지모델이나 비선형 예측모델을 활용하는 것이 유용하다는 시사점을 제시한다.

본 연구는 다음과 같은 한계점이 있다. 먼저 지표선정과정에서 직접효과 중 시설특성·접근성·안전성을 제외하여 단절효과의 검증에 있어 시설의 특성 및 사회적·경제적·심리적 특성이 배제되었다는 점이다. 또한, 직접효과지표 중 실제 통행수요를 반영하는 지표와 지역주민이 느끼는 단절의 심리적 요인이 배제되었으므로 이를 활용한 접근성과 안전성 지표 관련 후속 연구가 필요하다. 아울러 연구에서 제시한 지표인 과소필지비율은 경계공백지대의 노후화된 특성을 완전히 대표하기에 불충분하며, 단절지수는 지숫값의 추가적인 검증과 고도화가 필요하다. 마지막으로 연구에서 채택된 간접효과는 개발특성과 활성화 특성 이외에도 계획·정책적 요소와 시장여건이 반영될 수 있으므로, 변수를 다양화하여 직접효과와의 관계를 분석할 필요가 있다.

주1. 일부 선행연구에서는 간접효과를 개인적 수준과 광범위한 수준으로 세분화하기도 하였으나 선행연구에서도 정확한 기준을 제시하지 않고 있으므로 본 연구는 직접효과와 간접효과를 두 범주로 구분하고자 한다.

주2. 『서울시 역세권 활성화사업 운영기준』에서는 입지여건에 따라 반경 250m와 350m를 모두 제시하고 있으나 본 연구는 집계구 중심점 기준으로 산정하는 점을 감안하여 250m로 설정하였다.

주3. θ 는 예각으로 산정하여 값이 최소 0에서 최대 90이므로 $\sin\theta$ 가 0과 1 사이의 값을 갖는다. 해당 범위에서 θ 와 $\sin\theta$ 는 비례관계에 있으므로 각도의 크기가 커지면 단절지수(S)도 증가한다.

주4. 과소필지 기준은 『서울시 건축조례』 제29조에 따라 주거지역 90m², 상

업지역 150m², 녹지지역과 공업지역은 200m², 도시지역 미분류지역은 90m²로 설정하였다. 각 필지에 지정된 용도지역에 따라 구분되며 한 필지에 둘 이상의 용도지역이 지정된 경우는 면적 비율이 가장 높은 용도지역의 과소필지기준을 적용하였다.

주5. 서울시는 연도별 인구변화 비교를 위해 최초 집계된 2016년 당시 19,153개의 집계구 형상 기준 생활인구를 집계하고 있다.

주6. 해당 자료는 위성지도를 변환하여 국토지리정보원에서 제공하는 공간정보이며, 실제 철도 지상구간임에도 누락된 지역은 위성지도와 비교하여 직접 구축하였다.

주7. 구글, 네이버, 카카오 스트리트뷰와 서울시 3차원 지도를 비교하여 가장 최근의 이미지를 참고하였다. 스트리트뷰 활용시점은 2024년 10월이다.

주8. 일부 폐선구간(오류선, 경춘선)이 포함되어 있으나, 경의선숲길 같이 완전 개방된 형태가 아니며 일부 구간은 완충녹지 조성, 입체보리 등으로 접근이 어려운 구간이다. 따라서 해당 공원화된 폐선구간은 철도부지에 포함하여 분석되던 전 구간이 철도시설이면서 동시에 횡단시설인 것으로 간주하여 분석하였다.

주9. 단절지수는 집계구 중심점을 기준으로 최단거리에 위치한 철도거리를 먼저 측정하고 이후 해당 철도의 상부에 위치한 횡단시설 중 최단거리를 측정하였다. 최단거리에 해당하는 철도거리와 횡단시설거리를 각각 도출하면 철도와 횡단시설이 불일치하는 경우가 발생하므로 이와 같은 방법으로 오류를 방지하였다.

주10. 2024년 10월 기준 건축물대장 데이터를 필지로 결합하여 활용하였다. 이 과정에서 필지가 집계구 경계에 걸쳐있는 경우 10% 이상 편입한 경우에만 집계구 내에 포함하여 분석하였으며 편입 비율을 가중치로 곱하여 해당 건축물의 동수를 산정하였다.

인용문헌 References

- 고은정·안건혁, 2014, “사회적 다양성에 영향을 미치는 근린환경 특성에 관한 실증분석: 서울시를 대상으로”, 『서울도시연구』, 15(1): 1-15.
Ko, E.J. and Ahn, K.H., 2014. “Effects of Neighborhood Environment on Social Diversity: Focused on Seoul”, *Seoul Studies*, 15(1): 1-15.
- 김나현·박인권, 2023, “아파트단지 외부공간 개방정책에 대한 입주주민의 지지도 영향요인 간 구조적 관계: PLS-SEM을 이용한 탐색적 연구”, 『국토계획』, 58(5): 89-107.
Kim, N.H. and Park, I.K., 2023. “Structural Relationships among the Factors Influencing Residents’ Support for the Policy of Opening Apartment Complex Open Space to the Local Community: Exploratory Study with PLS-SEM”, *Journal of Korea Planning Association*, 58(5): 89-107.
- 김순관·황의정, 2020, 『서울시 통행 변화 20년: 1996-2016』, 서울: 서울연구원.
Kim, S.G. and Hwang, Y.J., 2020. *Tewnty Years of Travel Change in Seoul: 1996-2016*, Seoul: Seoul Institute.
- 김해솔·고승욱·이승일, 2024, “서울시 지역특성과 교통접근성이 주중/주말 생활인구 분포에 미치는 영향 분석”, 『국토계획』, 59(4): 53-68.
Kim, H.S., Go, S.W., and Lee, S.I., 2024. “Analyzing Local Characteristics and Transportation Accessibility on Weekday/

- Weekend Distribution of De Facto Population in Seoul”, *Journal of Korea Planning Association*, 59(4): 53-68.
5. 배응규·윤기학·정중대, 2010. “도심부 철도공간을 활용한 도심 재생 프로젝트의 쟁점과 해결과정 - 서울역과 용산역 사이 공간을 중심으로”, 『도시설계』, 11(4): 111-128.
Bae, W.K., Yoon, K.H., and Jung, J.D., 2010. “An Urban Re-development Approach to the Railroad Track Area in Seoul - Focused on the Area between Seoul Station and Yongsan Station”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 11(4): 111-128.
 6. 백설·김홍순, 2023. “공간모형의 활용을 통한 도시 특성과 도시 범죄 위험도 간의 영향관계 분석: 서울시 전체범죄 및 성폭력을 중심으로”, 『국토계획』, 58(1): 16-32.
Baek, S. and Kim, H.S., 2023. “An Analysis of the Influence Relationship between urban Characteristics and Urban Crime Risk through the Use of Spatial Models: A Focus on Overall Crime and Sexual Violence in Seoul”, *Journal of Korea Planning Association*, 58(1): 16-32.
 7. 서수복, 2014. “지가변동과 토지거래량의 공간적 자기상관에 관한 연구”, 『국토계획』, 49(8): 21-34.
Seo, S.B., 2014. “A Study on the Spatial Autocorrelation of Land Price Variation and Trading Volume”, *Journal of Korea Planning Association*, 49(8): 21-34.
 8. 이동엽·성현곤, 2020. “제인 제이콥스의 경계공백지대가 소매업 매출에 미치는 영향 - 서울시를 중심으로 -”, 『서울도시연구』, 21(3): 167-183.
Lee, D.Y. and Sung, H.G., 2020. “How Do Jane Jacobs’ Border Vacuums Affect Retail Sale in the Great Seoul City?”, *Seoul Studies*, 21(3): 167-183.
 9. 정수영·전희정, 2019. “빈집 증가의 공간적 자기상관성에 대한 탐색적 연구”, 『국토계획』, 54(7): 89-102.
Jung, S.Y. and Jun, H.J., 2019. “Exploring Spatial Dependence in Vacant Housing Growth”, *Journal of Korea Planning Association*, 54(7): 89-102.
 10. 조준혁·이영성·정해영·곽태우, 2014. “쇠퇴한 지역에 사는 사람들은 건강도 쇠퇴할까?”, 『국토계획』, 49(6): 109-125.
Jo, J.H., Lee, Y.S., Jung, H.Y., and Kwak, T.W., 2014. “Does a Health of People Living in Declined Regions also Decline?”, *Journal of Korea Planning Association*, 49(6): 109-125.
 11. 한승찬·함혁수·유종현, 2024. “지상철도의 부정적 영향 완화를 위한 지불의사액 추정: 서울 서남부 지상철도 구간을 대상으로”, 『국토계획』, 59(5): 78-86.
Han, S.C., Ham, H.S., and Yoo, J.H., 2024. “Estimating Willingness to Pay for Distance from Ground Railroads: A Case Study of Southwestern Seoul”, *Journal of Korea Planning Association*, 59(5): 78-86.
 12. Anciaes, P.R., Jones, P., and Mindell, J., 2016. “Community Severance: Where Is It Found and at What Cost?”, *Transport Reviews*, 36(3): 293-317.
 13. Anselin, L., 2003. “Spatial Externalities, Spatial Multipliers, and Spatial Econometrics”, *International Regional Science Review*, 26(2): 153-166.
 14. Benavides, J., Usmani, S., Kumar, V., and Kioumourtzoglou, M.A., 2024. “Development of a Community Severance Index for Urban Areas in the United States: A Case Study in New York City”, *Environment International*, 185: 1008526.
 15. Bolton, T., 2015. “The Spatial Character of London’s Railway Terminus Neighbourhoods”, Paper presented at the 10th International Space Syntax Symposium, London: UCL.
 16. Cai, X., Wen, C., Wang, H., and Chen, W., 2025. “Identifying Spatial Distribution of Urban Vitality Using Self-Organizing Feature Map Neural Network”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2): 62.
 17. Casado-Sanz, N., Guirao, B., and Gálvez-Pérez, D., 2019. “Population Ageing and Rural Road Accidents: Analysis of Accident Severity in Traffic Crashes with Older Pedestrians on Spanish Crosstown Roads”, *Research in Transportation Business & Management*, 30: 100377.
 18. de Nadai, M., Staiano, J., Larcher, R., Sebe, N., Quercia, D., and Lepri, B., 2016. “The Death and Life of Great Italian Cities: A Mobile Phone Data Perspective”, Paper presented at the 25th International Conference on World Wide Web, Montréal Québec Canada.
 19. Dhanani, A. and Vaughan, L., 2016. “Towards a Walkability Model for Strategic Evaluation of Policy Action and Urban Active Transport Interventions”, Paper presented at the 48th Meeting of the Universities’ Transport Study Group, Edinburgh: UTSG.
 20. Dogan, O. and Lee, S.G., 2024. “Jane Jacobs’s Urban Vitality Focusing on Three-facet Criteria and Its Confluence with Urban Physical Complexity”, *Cities*, 155: 105446.
 21. Jacobs, J., 1961. *The Death and Life of Great American Cities*, New York: Vintage Books.
 22. Lynch, K., 1960. *The Image of the City*, Cambridge: MIT Press.
 23. Millard-Ball, A., Silverstein, B., Kapshikar, P., Stevenson, S., Barrington-Leigh, C., 2024. “Dividing Highways: Barrier Effects and Environmental Justice in California”, *Journal of Planning Education and Research*, 45(3): 686-699.
 24. Mindell, J.S., Anciaes, P.R., Dhanani, A., Stockton, J., Jones, P., Haklay, M., Groce, N., Scholes, S., and Vaughan, L., 2017. “Using Triangulation to Assess a Suite of Tools to Measure Community Severance”, *Journal of Transport Geography*, 60: 119-129.
 25. Saelens, B.E. and Handy, S.L., 2008. “Built Environment Correlates of Walking: A Review”, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7): 550-566.
 26. Sung, H., Lee, S., and Cheon, S., 2015. “Operationalizing Jane Jacobs’s Urban Design Theory: Empirical Verification from the Great City of Seoul, Korea”, *Journal of Planning Education and Research*, 35(2): 117-130.
 27. Sung, H.G., Go, D.H., and Choi, C.G., 2013. “Evidence of Jacobs’s Street Life in the Great Seoul City: Identifying the Association of Physical Environment with Walking Activity on Streets”, *Cities*, 35: 164-173.
 28. Tate, F.N., 1997. “Social Severance”, *Transfund New Zealand Research Report*, 80.

29. Tate, F.N. and Mara, K., 1997. "An Evaluation Frame Work For Social Severance", in *IPENZ Annual Conference 1997, Proceedings of Engineering our nation's future; Volume 1*, Papers presented in The Technical Programme of the IPENZ Annual Conference held in Wellington, February 7-10, 1997, Wellington, N.Z. Institution of Professional Engineers New Zealand.
30. van Eldijk, J., Gil, J., and Marcus, L., 2022. "Disentangling Barrier Effects of Transport Infrastructure: Synthesising Research for the Practice of Impact Assessment", *European Transport Research Review*, 14(1): 1-19.
31. Vidal-Domper, N., Herrero-Olarte, S., Hoyos-Bucheli, G. and Benages-Albert, M., 2024. "Do Jane Jacobs's Conditions Fostering the Presence of People Influence Crimes in Public Space? An Econometric Analysis in la Mariscal Neighborhood in Quito", *Cities*, 148: 104863.
32. CROW, 2011. *Barrièrewerking van Lijninfrastructuur*, Ede: CROW.
CROW, 2011. *Barrier Effect Of Line Infrastructure*, Ede: CROW.
33. Héran, F., 2009. "Des Distances à vol D'oiseau aux Distances Réelles ou de L'origine des Détours", *Flux*, 76-77(2): 110-121.
Héran, F., 2009. "From Distances as the Crow Flies to Actual Distances or from the Origin of Detours", *Flux*, 76-77(2): 110-121.
34. Héran, F., 2011. "La Ville Morcelée -Effets de Coupure En Milieu Urbain", *Collection Méthodes et Approches*.
Héran, F., 2011. "Urban Severance -Barrier Effects in Urban Environment", *Collection Methodes et Approches*.
35. Meltofte, K.R. and Nørby, L.E., 2013. "Vejen som Barriere for Fodgængere", *Artikler fra Trafkdage på Aalborg Universitet*, Aalborg: Trafikdage.
Meltofte, K.R. and Nørby, L.E., 2013. "The Road as a Barrier for Pedestrians", *Articles from Traffic Days at Aalborg University*, Aalborg: Trafikdage.
36. Schaur E., 1991. *Ungeplante Siedlungen: Charakteristische Merkmale, -Wegesystem Flächenteilung*, Stuttgart: Krämer [u.a.].
Schaur E., 1991. *Non-planned Settlements: Characteristic Features-Path System, Surface Subdivision*, Stuttgart: Krämer [u.a.].

Date Received	2025-08-01
Reviewed(1 st)	2025-08-24
Date Revised	2025-11-24
Reviewed(2 nd)	2025-12-06
Date Accepted	2025-12-06
Final Received	2026-05-13