



서울시 지하철에 대한 가로망 접근성의 토지가격 효과 연구* - Urban Network Analysis와 다층회귀모형의 적용 -

A Study of Effects of Accessibility of Street Networks to Seoul Subway System on Land Price - By Applying Urban Network Analysis and Multi-Level Regression Analysis -

강창덕**

Chang-Deok Kang

Abstract

As metropolitan cities around the world face multiple urban issues, public transport attracts attention as a measure for sustainable development. Therefore, the effects of access to public transit on neighborhoods are important academic and policy subject. This study measures five accessibility indicators for the Seoul subway system, considering both the frequency of subway operation and the characteristics of the street network, and analyzes their effects on residential and non-residential land prices. The key findings of this study confirm that the five subway accessibility indicators have a positive effect on residential and non-residential land prices. In particular, they generate a high premium to the prices of non-residential land rather than residential land. In addition, the higher the operation frequency of the nearest subway station or the straighter the street network reaching the subway stations, the greater the land price premium. Further, a land that people are frequently passing through to access a station or has more routes to a station generates higher price premium. The results of this study provide a reference for understanding the effects of public transport services and predicting the response of neighborhood real estate markets to the service.

Keywords: Subway, Accessibility, Land price, Multi-level regression analysis, Seoul

* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A01036764).

** 중앙대학교 도시계획부동산학과 교수 | Professor, Department of Urban Planning and Real Estate, Chung-Ang University | cdkang@cau.ac.kr |

1. 연구의 배경 및 목적

세계 주요 도시가 다양한 도시문제에 직면하면서 갈수록 대중교통체계의 구축과 운영에 대한 관심이 높아지고 있다. 이미 오래전부터 전 인류가 직면한 기후변화를 비롯하여 대도시는 교통 정체, 과도한 에너지 소비, 환경오염, 도시민의 삶의 질 저하 등 심각한 도전을 맞이하고 있다(Kang, 2019). 이를 해결할 수 있는 대안으로 대중교통의 확충과 대중교통 이용을 높일 수 있는 인근 지역의 토지이용에 대한 연구와 더불어, 이를 실현할 수 있는 정책을 마련하기 위해 전 세계 주요 도시는 매진하고 있다.

이러한 변화 속에서 이 연구의 주요 배경은 대중교통 시스템의 역할과 중요성의 증가, 대중교통 시스템의 외부 효과 측정, 우발 이익에 대한 과세 문제, 대도시 도시공간구조 변화 설명과 예측, 최근 급속히 관심이 높아지고 있는 수도권 신도시와 교통 투자 등이다. 첫째, 역사적으로 대중교통 시스템은 대도시의 경제와 사회발전의 토대였다(Lee et al., 2018). 또한, 시민의 삶의 질을 좌우하는 중요한 요소이다. 특히, 대중교통에 의한 이동성과 접근성의 개선은 기업과 상업활동의 경쟁력을 좌우할 뿐만 아니라, 시민의 일상생활과 사회적 형평에도 크게 영향을 주었다. 이미 도시경제연구에서 널리 검증된 바와 같이 대중교통서비스는 인근 지역의 부동산 가격에도 크게 영향을 준다. 일반적으로 특정 지역의 대중교통에 의한 이동성과 접근성이 좋을수록 그 지역의 평균 부동산 가격도 높다.

둘째, 세계 주요 도시의 기후 변화와 다양한 도

시 문제로 인해 대중교통은 자동차 이용을 줄이고, 친환경적인 지속가능한 도시 실현의 주요 정책 수단으로 부각되었다(Kang, 2019). 기후 변화 문제 이전에 이미 세계 주요 도시는 자동차 사용의 증가와 토지이용의 외연적 확산 과정속에서 교통정체, 대기오염, 에너지 과잉소비, 교통 정체로 인한 삶의 질 저하 등 다양한 문제에 직면해 있다. 이에 대한 대안으로 지하철과 버스 등 대중교통 시스템이 주목받고 있으며, 세계 주요 도시는 이에 대한 투자를 지속적으로 강화하고 있다.

셋째, 대중교통망 확충은 대표적인 공공투자이다. 이러한 활동은 이미 도시경제와 교통경제에서 입증하듯 사회적 비용과 편익을 발생시킨다. 대중교통망의 사회적 편익은 접근성 개선, 통행비용의 감소, 자동차 이용 감소로 인한 환경 개선 등의 편익을 주어 인근 지역의 부동산 가격도 높인다(Cervero et al., 2017). 반면, 사회적 비용은 대중교통망으로 인한 소음과 인근지역의 혼잡이 대표적이다. 이러한 사회적 편익과 비용은 교통 투자의 비용-편익 분석에서 반드시 고려해야 할 부분이다.

넷째, 외부 효과를 유발하는 교통투자와 서비스는 지역에 따라 크게 다르다. 예를 들어, 높은 수준의 대중교통 서비스는 인근 지역의 부동산 가격을 실질적으로 높이는 반면, 특정 지역에 적합하지 않은 대중교통 투자는 그 지역의 교통체계와 부동산 시장에 전반적으로 부정적인 영향을 준다. 이러한 대중교통 서비스의 불균형 문제는 공공서비스가 국민의 세금으로 공급된다는 점에서 형평성의 문제를 제기한다. 따라서 대중교통 서비스 불균형 공급은 부동산에 대한 조세를 통해

부분적으로 완화할 수 있다. 또한, 대중교통의 부동산 가격 효과 분석을 통해 대중교통의 외부 효과를 고려한 조세체계의 구상도 가능할 것이다. 예를 들어, 지하철 교통 투자로 인한 인근 지역의 우발이익을 측정하고, 이에 대한 적절한 과세 방안을 모색할 수 있을 것이다.

다섯째, 대중교통망이 인근 지역 부동산 가격에 영향을 주면 장기적으로 부동산 개발과 토지이용의 변화가 나타난다(Giuliano, 2017). 따라서 대중교통망에 대한 접근성이 부동산 가격에 미치는 영향을 규명함으로써 향후 도시공간구조의 변화상을 가늠할 수 있을 것이다. 도시계획과 정책에서 미래 예측이 매우 중요하므로 대중교통망 변화에 따른 도시공간구조 모니터링에 이 연구가 유용한 접근방법과 시사점을 제시할 것이다.

끝으로, 최근 서울의 높은 주택 가격으로 인해 정부가 추진 중인 3기 신도시 건설과 이를 지원하기 위한 지하철 등 대중교통망 확충에 대한 관심이 급격히 높아지고 있다. 그동안 신도시 주택 공급은 증가했으나, 교통 수요에 대응할 수 있는 대중교통망 확충은 충분하지 않았다. 이에 따라 향후 추진할 3기 신도시에 반드시 대중교통망 공급이 되어야 한다는 여론이 높아지고, 정부도 대중교통망 확충 정책을 추진할 것이다. 이러한 추세 속에서 과연 대중교통망 확충이 주택가격에 어떤 영향을 줄 것인지에 대한 경험 연구 필요성도 커지고 있다.

그동안 많은 연구들은 대중교통 서비스가 부동산 가격에 미치는 영향은 특성가격모형을 통해 분석하였다. 특성가격모형은 부동산을 하나의 복합재로 보고, 그 가격에 영향을 주는 외적, 내적 특

성의 잠재적 가격을 찾는다. 그간의 연구는 대중교통의 부동산 가격 효과를 규명해 왔다. 여러 연구의 결론을 단순하게 표현하는 데 어려움이 있지만, 대체로 대중교통 서비스는 인근지역의 부동산 가격에 긍정적인 영향을 주었다. 특히, 지하철과 버스중앙차로의 서비스 수준이 높을수록 부동산 가격의 상승이 나타났다. 상대적으로 대중교통망 인근의 소유이나 혼잡으로 인해 부동산 가격이 떨어지는 경우를 입증한 연구는 적다. Debrezion et al.(2007)과 Mohammad et al.(2013)은 메타연구를 통해 지하철의 토지와 부동산 가격 효과를 요약하여 제시하였다.

이 연구는 기존 연구를 바탕으로 하되, 다음과 같은 방향으로 진행하고자 한다. 첫째, 지하철역의 대중교통서비스 공급 수준이 다르다는 점에 착안하여 운행 빈도를 인근 지역의 토지가격에 영향을 주는 요인으로 활용한다. 둘째, 최근 대중교통에 대한 보행 접근성이 중요해진다는 점을 고려하여 토지 필지에서 인근 지역 지하철역에 도달할 수 있는 가로망 공간구조도 토지가격에 영향을 주는 요인으로 도입한다. 이는 지하철역에 대한 접근성 프리미엄이 가로망을 중심으로 발생함에 주목한 것이다. 끝으로, 지하철역별 운행 빈도와 가로망 공간구조 특성을 동시에 고려하여 총 5개의 접근성 지수를 측정하고, 토지가격에 미치는 영향을 분석한다. 이는 대중교통 접근성의 미시공간 구조적 특성을 포착하여 그 영향을 구체적으로 규명한다는 의미가 크다. 아울러 지하철역 접근성과 토지가격간 현실적인 관련성을 토대로 좀 더 구체적인 정책대안을 모색하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

이 연구는 크게 ① 지하철역 접근성 효과 연구와 ② 가로망 중심성 관련 연구를 바탕으로 진행한다. 이 연구와 선행연구를 비교하기 위해 간략하게 기존 연구의 주요 내용을 검토하였다.

1. 지하철역 접근성 효과 연구

그동안 지하철역에 대한 접근성이 부동산 가격에 미치는 영향에 대한 연구는 많았다. 이에 관한 기존 연구는 크게 지하철역에 대한 접근성, 지하철 TOD(transit-oriented development) 특성효과, 접근성 측정 등이 부동산 가격에 대해 미치는 영향을 분석하였다. 많은 연구는 부동산의 물리적 특성과 환경 특성을 통제하면서 지하철역에 대한 접근성이 부동산 가격에 미치는 영향을 살펴보고 있다(Bowes and Ihlanfeldt, 2001). 대부분의 연구는 지하철역에 대한 접근성이 부동산 가격을 높인다는 점을 경험연구를 통해 규명하는 것이었다(Bae et al., 2003; Cervero and Susantono, 1999; Dubé et al., 2013; Feng et al., 2011).

지하철역에 대한 접근성뿐만 아니라, 지하철 TOD 특성 또한 인근 지역의 부동산 가격에 영향을 준다. TOD 특성 가운데 우선 지하철역 인근 지역의 디자인요소도 중요한 가격 영향 요인이다. 예를 들어 미국의 경우 지하철역에 주차장이 있는 경우보다 보행 접근 후 지하철 탑승을 할 수 있는 역 인근 지역의 부동산 가격이 높았다(Kahn, 2007). 뿐만 아니라 TOD는 여러 특성이 결합된

형태라는 점에서 TOD 특성은 여러 요소가 부동산 가격에 시너지 효과를 낸다. 구체적인 연구로 보행자 친화적인 도시 환경이 TOD 특성과 결합되면서 인근 지역 아파트 가격을 높였다(Duncan, 2011). 또한, 토지이용 혼합도가 높고 대중교통에 대한 도보접근성이 높은 곳일수록 주택 가격에 긍정적인 영향을 주었다(Atkinson-Palombo, 2010). 게다가 홍콩의 R+P 연구는 지하철역 인근의 부동산 개발과 대중교통 서비스의 결합이 실질적으로 부동산 가격의 프리미엄을 발생시켰음을 보여주었다(Cervero and Murakami, 2009). 반면에, 부동산 가격을 낮추는 경우도 있다. 예를 들어 우리나라에서 지상으로 운행하는 지하철의 경우 200m 이내의 인근 부동산 가격을 낮추었다(Lee and Kim, 2015). 전반적으로 TOD 특성은 대중교통 이용률을 높이고, 이러한 편익은 인근 지역의 부동산 가격에 반영된다. 그동안 많은 연구는 대중 교통 서비스가 좋고, 지하철역 인근의 보행자 환경이 좋을수록 대중교통 이용률이 높은 것으로 나타났다(Sung and Oh, 2011). 그러나 이러한 관계는 지역별로 다르다. 중심지와 주변지역의 고밀 개발은 대중교통 이용률과 긍정적 상관관계가 있지만, 하위 중심지의 경우는 밀도보다는 토지이용의 혼합이 대중교통 이용률을 높였다(Lee et al., 2013). 결국 토지이용 혼합, 인근 지역 디자인, 대중교통 운행 빈도, 도로망의 특성 등 TOD 특성은 지하철역의 유형별로 다르게 나타난다(Kim et al., 2014).

그동안 지하철 접근성 측정은 주로 직선거리나 최단 네트워크 거리였다. 그러나 최근 연구들은 신뢰성을 높일 수 있는 진보된 개념을 활용하고 있다.

예를 들어 경로 직접성지수(route directness)는 직선 거리에 대한 네트워크 거리의 비율이다(Lin et al., 2014). 기회기반 대중교통 접근성은 인근의 고용, 교통망, 교통서비스를 모두 고려한 총 시간 기반 기회지수이다(Lei et al., 2012). 뿐만 아니라 지하철역에 대한 거리와 지하철 인근의 버스 가용성 모두 대중교통에 대한 접근성을 좌우한다(Kim et al., 2007). 이 연구는 서울의 주택시장이 대규모 주거지 개발이라는 공급 중심에서 대중교통망에 대한 접근성과 편리성이 중요해지는 수요 중심으로 변모하고 있다는 점에서 시의적절하다고 볼 수 있다(Yi and Lee, 2014).

이미 살펴본 바와 같이 지하철역에 대한 접근성은 인근 부동산 시장에 영향을 줄 뿐만 아니라, 그 영향은 지하철역의 특성별로 다르게 나타난다. 이 연구는 서울시 지하철역의 대중교통 서비스 공급이 다르고, 지하철역에 도달할 수 있는 가로망 구조의 특성이 다르다는 점에 착안하여 새로운 지하철역 접근성을 측정하고 그 영향을 토지 가격을 통해 분석한다.

2. 가로망 중심성 관련 연구

이 연구는 지하철역에 대한 접근성을 가로망 중심성으로 측정한다는 점에서 가로망 중심성에 대한 기존연구를 간략하게 살펴보고자 한다. 먼저, 가로망 중심성은 인구와 고용의 공간적 차이를 설명하는 중요한 변수이다. 미국 루이지애나에 대한 연구는 Betweenness, Straightness, Closeness으로 측정한 가로망 중심성이 인구와 고용 밀도에 미친 영향을 분석하였다. 연구결과,

Closeness와 인구/고용밀도의 상관관계가 가장 크고, Straightness, Betweenness 순으로 상관관계가 나타났다. 이러한 패턴은 가로망의 중심성과 토지이용의 공간적 집중으로 분석한 것인데, 교통과 토지이용의 연관성을 엄밀하게 규명하였다(Wang et al., 2011). 또 다른 연구는 경제활동의 입지와 가로망 중심성의 상관성을 규명하였다. 경험연구 결과로 보면, 가로망 이용빈도가 높은 소비자를 대상으로 한 소매활동이 그렇지 않은 소매활동에 비해 가로망 중심성에 민감하였다. 이러한 연관성은 소매활동이 가로망 중심성에 직접적으로 반응하기보다는 가로망 중심성이 높은 곳에 더 많은 사람들이 다니기 때문이다(Porta et al., 2012). 또, 다른 사례로 중국 장춘의 경우, 가로망 중심성과 상점 유형별 입지는 크게 다르게 나타났다. 즉, 가로망 중심성은 상업용 부동산 입지에 가장 강하게 영향을 주었다. 그러나 그 영향 정도는 상업용 부동산의 성격에 따라 크게 달랐다. 예를 들어, 전문점이 가장 크게 영향을 받았고, 그 다음으로 백화점, 슈퍼마켓, 소매점, 가구점, 건축자재소매점 순이었다. 가로망 중심성과 위상이 다른 소매점의 입지가 강한 연관성이 있음을 확인하였다(Wang et al., 2014).

비교적 최근 들어 가로망 중심성을 측정하고 그 영향을 주택가격을 통해 규명하는 연구가 나타났다. 먼저, 영국 웨일즈 카디프 주택가격을 분석한 연구는 도심, 공원, 병원에 대한 접근성을 통제하면서 가로망 중심성의 영향을 추정하였다. 모형에서 가로망 중심성 변수를 포함하면 전반적으로 모형의 설명력이 증가하였다. 이는 전통적인 주택특성과 인접환경 특성 외에 가로망 중심성이

주택가격의 형성을 이해하는 데 중요함을 보여준다(Xiao et al., 2015). 또 다른 연구는 2005년부터 2010년 사이 중국 난징의 주택가격을 분석하였다. 이 연구의 특성은 가로망 중심성의 시간적 변화가 주택 가격에 어떤 영향을 주었는지 추적하였다는 점이다. 그 결과를 보면 전체적으로 가로망 중심성이 높은 지역의 주택 가격이 높았으나, 일부 지역은 국지적 교통 정체 심화로 인해 주택 가격이 하락하는 패턴을 보였다(Xiao et al., 2014). 이미 교통연구에서 입증한 바와 같이 가로망이 개선되면 이에 대한 새로운 교통수요를 유발하기 때문이다.

가로망 중심성은 인근 지역의 토지이용 밀도 변화에도 영향을 준다. 스웨덴을 사례로 한 연구는 도시 전체를 네트워크 반경으로 설정한 글로벌 중심성은 상업, 산업, 공공 서비스 지역 밀도와 상관성이 높지만, 국지적인 네트워크 반경을 설정하여 측정된 로컬 중심성은 개발제한구역에 가까이 자리잡은 저밀도 주거용 밀도와 강한 상관관계를 보였음을 밝혔다(Rui and Ban, 2014). 한편, 중국 우한의 사례는 가로망의 폭에 따라 토지이용 밀도가 다를 것이라는 가설을 설정한 후, 가로망 폭을 고려하여 가로망 중심성을 측정하였다. 그 다음 측정된 가로망 중심성이 토지이용 밀도와 어떤 연관성이 있는지 규명하였다. 그 결과 전체를 대상으로 한 Closeness와 국지적 Straightness가 토지이용 밀도와 강한 양의 상관관계를 보였다(Liu et al., 2016).

전체적으로 그동안 가로망 중심성의 영향을 소매활동, 인근 지역의 부동산 가격, 토지이용 밀도 측면에서 살펴본 연구는 가로망 중심성이 도시공간구조를 측정하는 데 매우 유용하다는 점을 밝혔다. 이 연구는 이러한 기존 연구의 성과를 토대로 지하철역에 대한 접근성을 지하철 운행 빈도와 가로망 특성 모두 동시에 고려하여 새롭게 측정하고, 그 영향을 부동산 가격을 통해 규명하고자 한다.

3. 연구의 의의와 차별성

기존 연구 대비 이 연구의 차별성은 첫째, 기존의 지하철역 접근성은 대체로 직선거리와 네트워크 거리를 사용하였고, 지하철역까지 가로망 구조를 고려하지 못하는 경우가 많았다. 이 연구는 지하철역별 운행 빈도와 가로망 구조를 동시에 고려하여 Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index 등 총 5개의 지표를 측정한다.¹⁾ 둘째, 기존 연구는 역세권을 500m로 보는 시각이 다수였으나, 이 연구는 실제 도보접근 공간 범역이 1km임을 착안하여 이를 네트워크 반경으로 삼아 지하철역 접근성을 측정한다. 이 연구는 500m와 1km 네트워크 반경을 가정 한 후 총 5개의 지하철역 접근성을 측정 한 후 분석에서 비교한다. 셋째, Gravity 지표의 경우 그동안 거리마찰계수를 가정하거나 외국의 추정치를 사용하였다. 이 연구는 일반적인 접근 가능범역의 중간 지점을 기준으로 산출한 거리마찰계수를 적용

1) 기존 연구에서 자주 사용하는 지하철역에 대한 직선거리와 네트워크 거리는 가로망의 공간적 특성을 배제하고 있다. 이 연구에서 보듯 출발지(토지 필지)에서 도착지(지하철역)에 도달하는 데 필요한 가로망은 일정한 반경 내에서 이동을 전제하면 각 위치와 연결성에 의해 크게 다른 위상을 갖는다. 따라서 도착지 특성인 지하철역의 운행빈도와 가로망의 공간구조적 특성과 위상을 고려한 이 연구의 접근성 측정이 보다 현실적인 측정 지표이다.

한다. 이는 거리마찰계수 산정에 대한 논의를 풍부하게 하여 관련연구 발전에 기여할 것으로 기대한다. 넷째, 토지필지와 집계구 수준의 변수를 모두 분석하기 위해 이에 적합한 다층헤도닉가격모형을 적용한다. 이 모형은 도시연구에서 일반회귀모형의 단점을 보완할 수 있는 대안모형으로 주목받고 있다. 끝으로, 주거용과 비주거용 토지 가격에 대한 지하철역 접근성의 영향을 비교한 후 시사점을 제시한다.

III. 연구 자료와 연구 방법

1. 연구자료

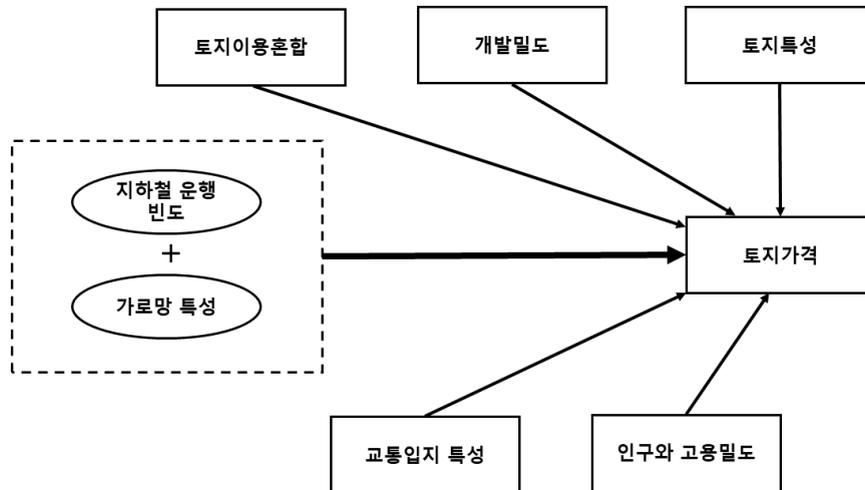
이 연구의 주요 자료는 2017년 서울시 표준지 공시지가 자료, 2017년 서울시 지하철 운행빈도 자료, 2016년 서울시 집계구 인구와 고용 자료, 기타 서울시 공간정보 자료이다. 먼저, 2017년 서울시 표준지 공시지가 자료는 다음과 같은 특성으로 인해 이 연구에 적합하다. 첫째, 표준지 공시지가 자료에 토지이용 상황이 있으므로 서울시 지하철역에 대한 접근성이 각 토지이용별로 어떻게

다른 영향을 주는지 비교분석이 가능하다. 둘째, 공시지가는 상대적으로 거시경제변동보다 인근 지역 변화에 따라 달라지므로 지하철에 대한 접근성이 어느 정도 영향을 주는지 분석하는 데 보다 나은 자료이다. 2017년 서울시 지하철 운행 빈도 자료는 대중교통 서비스의 공급 수준을 보여준다. 아울러 2017년 행정안전부 전자지도를 통해 부동산개발밀도와 토지이용혼합도를 측정하였다. 이 두 변수는 토지면적이 아닌 건축물 연면적으로 계산하여, 보다 현실적으로 서울시 집계구별 개발정도를 보여주고 있다는 장점이 있다. 그 다음 토지 가격에 영향을 미치는 인구와 고용밀도 자료를 얻기 위해 2016년 서울시 집계구 통계자료를 사용한다. 이를 요약하면 <표 1>과 같다.

보다 구체적으로 모형의 변수 구성을 설명하기 위해 <그림 1>을 제시하였다. 분석모형에서 종속 변수는 토지가격이며, 이 연구의 초점이 되는 설명변수는 지하철역 운행빈도와 가로망 공간 특성을 동시에 고려하여 측정한 Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index 등의 지하철역 접근성 변수이다. 아울러 이 연구는 개발밀도, 토지이용 혼합, 개별토지특성, 교통입지특성, 그리고 인구와 고용밀도를 통제한다. 개

<표 1> 연구 자료의 출처와 주요 내용

자료	출처	주요 내용
서울시 표준지 공시지가 자료	국토교통부(2017)	주소, 가격, 용도
서울시 지하철 운행 빈도	서울통계서비스(2017)	지하철역별 1일 운행빈도
서울시 건축물 자료	행정안전부(2017)	부동산개발밀도, 토지이용혼합
서울시 집계구 조사 자료	통계청(2016)	인구, 고용
기타 공간자료	서울특별시(2006)	버스정류장, 상권, 학교, 공원, 도로와 가로망



〈그림 1〉 모형의 변수 구성 개요

발밀도는 2017년 행정안전부 서울시 건축물 자료에서 연면적을 합한 후 집계구 면적으로 나누어 계산하였다. 토지이용혼합은 서울시 건축물 자료의 주거, 상업, 업무, 산업, 공공기관 등 총 5개 용도로 구분한 후, 각각 용도별 연면적에 엔트로피 지수를 적용하여 토지이용혼합도를 계산하였다(Song and Knapp, 2004). 토지이용혼합도는 0에서 1 사이의 값을 갖는데, 1에 가까울수록 토지혼합도가 높음을 의미한다. 개별토지특성은 2017년 서울시 표준지공시지가 자료에서 얻을 수 있는 토지 용도, 면적, 평지, 형상, 도로입면 특성을 각각 변수로 처리하였다. 2) 교통입지특성은 토지가격에 영향을 줄 수 있는 주요 입지조건이다. 각 주요 지점에 대한 직선거리를 계산하여 교통입지특성을 측정하는 변수로 채택하였다. 2020년 서울시 도

시기본계획을 참고하여 시청역을 도심의 기준으로 삼았고, 청량리역, 용산역, 강남역, 영등포역, 월드컵경기장역 등을 부도심의 기준으로 하였다. 아울러 도로와 가로망, 상권, 학교, 공원에 대한 직선거리를 측정 후 통제변수로 삼았다. 끝으로, 토지가격에 영향을 주는 인구와 고용자료를 통계청 집계구 자료에서 얻어 각각 집계구 면적으로 나누어 인구와 고용밀도를 계산하였다.

2. 연구 방법

이 연구는 지하철 운행빈도와 가로망 특성을 모두 측정하여 서울시 지하철역에 대한 접근성을 추정하고, 다층헤도닉가격모형을 통해 토지가격에 대한 효과를 분석한다. 여기서 지하철역에 대

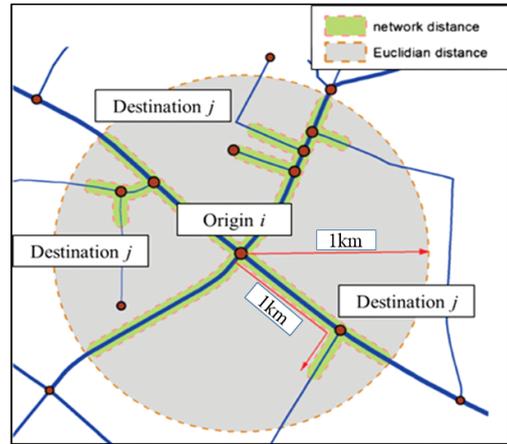
2) 주거용 토지가격모형에서 용도는 단독주택, 연립주택, 아파트, 다세대 등으로 구분하되, 다세대를 기준용도로 하고, 다른 용도는 모두 더미변수로 처리하였다. 비주거용 토지가격모형에서 업무용도가 기준용도이고, 상업용도를 더미변수로 만들었다. 모형에서 면적은 로그로 전환하여 설명변수로 삼았고, 평지변수는 평지인 경우를 1로 하고, 다른 경우는 모두 0으로 처리하였다. 형상은 정방형만 1로 하고 나머지는 0으로 만든 더미변수이다. 도로입면은 광대세각, 광대소각, 광대한면을 1로 하고, 나머지는 0으로 하여 모형에서 활용하였다.

한 접근성은 개별 지하철역의 운행 빈도와 가로망 특성을 동시에 고려하여 측정한다. 이 때 네트워크 반경이 필요하므로 500m와 1km로 가정하고, Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index 등 총 5개로 나누어 계산한다. 접근성의 측정은 MIT City Form Lab에서 개발한 Urban Network Analysis를 활용한다 (Sevtsuk, 2018).

1) 도시 네트워크 분석의 기본 골격

이 연구는 도시 네트워크 분석을 적용하여 서울시 지하철역에 대한 접근성을 총 5개의 지표로 진단한다. 이 연구에서 채택한 접근성 측정방법은 크게 세 가지 측면에서 기존 접근방법을 개선하였다. 첫째, 서울시 지하철역별 운행 빈도와 각 토지 필지에 이르는 가로망을 동시에 측정하여 지하철역 접근성을 수치화하였다. 여기서 운행 빈도를 가로망의 공간적 특성을 측정할 때 각 지표의 가중치로 사용하였다. 둘째, 지표 가운데 Gravity 측정시 필요한 거리조각 패러미터(베타 값)는 half-half 기법이라는 새로운 방법을 통해 추정된 후 적용하였다. 셋째, 그동안 널리 사용된 지표 외에 Redundancy Index라는 새로운 지표도 측정하여 분석모형에서 그 효과를 추정하였다. 이러한 새로운 지하철역 접근성 측정방법은 지하철역별 특성의 하나인 운행 빈도와 가로망 구조를 동시에 고려하여 보다 현실적인 접근성을 측정할 수 있다는 장점이 있다.

〈그림 2〉는 이 연구에서 적용한 서울시 지하철역 접근성 측정의 기본 골격이다. 이 그림에서 출발지(origin)는 토지필지이며, 도착지(destination)



자료 : 강창덕(2017), Liu et al.(2016)을 참고하여 필자가 일부 수정.

〈그림 2〉 지하철역 접근성 측정의 기본 골격

는 개별 지하철역이다. 이 연구의 방법은 각 토지 필지 위치와 각 지하철의 운행빈도를 노드로 설정한 후, 가로망 네트워크상 출발지와 도착지의 직선거리와 네트워크 거리를 활용하여 측정한다.

(1) Reach

Reach는 일반적으로 “누적 기회 접근성 지수”로 알려졌다(Jaber et al., 2017). 이 지수는 출발지를 중심으로 일정한 반경 내 목적지 혹은 목적지의 특성이 얼마나 있는지 측정한다. 일반적으로 이를 측정하기 위해 출발지, 목적지, 가로망 공간자료, 목적지의 특성이 필요하다. 이 지표를(식 1)로 표현하면 다음과 같다.

$$Reach[i]^r = \sum_{j \in G - \{i\}, d[i,j] \leq r} W[j] \quad (\text{식 1})$$

G 는 토지필지 i 지점에서 반경 r 이내에 도달할 수 있는 지하철 수의 합을 말한다. $d[i,j]$ 는 토지 필

지 i 와 지하철역 j 사이의 최단 네트워크 거리이다. $W(j)$ 는 지하철 j 에 저장된 지하철 운행 빈도이다.

(2) Gravity

앞에서 설명한 Reach는 단순히 일정한 반경 내 목적지의 특성을 합했지만 Gravity 지수는 여기에 거리 마찰을 추가하여 계산한 것이다. 이 지수는 Hansen(1959)에 처음 소개한 후 교통 연구에서 널리 활용된 지표이다. 기본적으로 Gravity 지수는 출발지의 접근성은 목적지의 매력도에 비례하고, 목적지에 대한 거리에 반비례하는 것으로 가정한다. 아래의 (식 2)는 이러한 가정을 수학적으로 표현한 것이다. 바로 베타 부분이 거리 조락효과를 반영한 부분인데, 그 값을 얼마로 할 것인가는 중요한 쟁점이다.

$$Gravity[i]^r = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i,j] \leq r} \frac{W[j]}{e^{\beta \cdot d[i,j]}} \quad (\text{식 } 2)$$

이미 앞에서 적시한 바와 같이 중력모형에서 적절한 거리조락 패러미터 값을 가정하는 것이 매우 중요하다. 그동안 교통 연구는 거리에 기반한 대중교통 서비스 이용 의사가 대중교통 서비스 접근성에 대한 거리조락함수를 추정하는 데 적합하다는 결과를 내놓았다. 이 방법은 전체 인구 가운데 특정한 대중교통 서비스를 이용한 인구의 비중을 통해 이용의사를 계산한다. 그러나 이러한 데이터를 얻기는 쉽지 않다. 대안적인 방법으로 Martínez and Viegas(2013)는 새로운 거리조락 패러미터 측정을 제안하였다. 이는 대중교통(버스정류장)에 대한 거리에서 느끼는 심리적 거리감 설문조사로 측정하는 것이다. 이 조사에서 사람들은 가까운

정도는 6.04분, 먼 거리는 14.91분으로 답하였다. Alfred Chu and Chapleau(2008)의 연구에서 제시한 대도시 보행자의 보행속도 1.2m/s로 앞의 연구 결과를 계산해 보면, 434.88m, 1,073.52m의 물리적 거리로 환산할 수 있다.

비록 사람들의 구체적인 보행에 대한 자료를 얻기 힘들지만, half-half 거리조락함수 계산법으로 거리조락 함수의 패러미터 계산이 가능하다(Östh et al., 2016). 이 방법은 전체 인구의 절반정도가 가장 멀다고 느끼는 거리를 걷고, 나머지 절반 정도의 인구가 가깝다고 느끼는 거리를 걷는 것으로 가정하였을 경우 중간 거리를 계산할 수 있다. 이 연구는 지하철역에 걸어서 갈 수 있는 중간 거리를 500m와 1km로 상정하고 거리조락 패러미터(베타 값)를 계산하였다. 이 연구는 이 베타값으로 가정하여 Gravity를 추정하였다. 500m에서 최대 1km로 가정한 근거는 2018년 3월 22일 MBC 보도이다, 이 보도에 의하면 서울연구원 손창우 박사의 인터뷰를 통해 지하철역에서 500에서 1,000m에 살고 있는 시민의 걷기 실천율이 가장 높다고 하였다.

(3) Straightness

Straightness는 특정 노드에서 다른 모든 노드까지의 최단거리 정도를 나타낸다는 점에서 직선 거리와 비슷하다(Porta et al., 2006). 그러나 이 지표의 특징은 직선거리와 네트워크 거리를 모두 측정하여 반영한다는 것이다. 이러한 내용은 다음 (식 3)과 같이 표현할 수 있다.

$$Straightness^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i,j] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]} \cdot W[j] \quad (\text{식 } 3)$$

이 식에서 G 는 앞의 지표식과 마찬가지로 토지 필지 i 지점에서 반경 r 이내에 도달할 수 있는 지하철 수의 합을 말한다. $\delta[i, j]$ 는 토지 필지 i 와 지하철역 j 사이의 직선 거리이다. $d[i, j]$ 는 토지 필지 i 와 지하철역 j 사이의 최단 네트워크 거리이다. $W(j)$ 는 지하철역 j 에 저장된 지하철 운행빈도이다.

(4) Betweenness

Betweenness는 가로망의 중심성을 측정하는 또 다른 지표이다. 이 연구의 경우, 각 노드에 저장된 가중치가 지하철 운행빈도이므로 Betweenness는 특정 노드 i 의 연결된 가로망 폭을 전체 통행 가운데 해당 노드 통과 통행의 비중으로 곱한 값이다 (Brandes, 2001). 이 의미를 표현하면 다음 (식 4)와 같다.

$$Betweenness^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\} : d[i, j] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}} \cdot W[j] \quad (식 4)$$

이 식에서 $n_{jk}[i]$ 는 토지 필지 i 를 경유하는 다른 설정한 노드 j 와 k 의 최단 경로의 수이며, n_{jk} 는 노드 j 와 k 의 최단 경로의 총수이다.

(5) Redundancy Index

각 토지필지에서 지하철역에 이르는 가로망은 매우 다양하다. 가장 짧은 거리의 가로망이 있지만 사람들은 여러 이유로 조금 먼 길도 이용한다. Redundancy Index는 각 토지필지에서 지하철역에 이르는 길이 많을수록 보행자에게 편의성과 선택을 제공한다는 점에 착안하여 개발된 지수이

다(Sevtsuk, 2018). 이 지수는 각 토지 필지에서 각 지하철역에 도달할 수 있는 최단 가로망에 비해 일정 비율 이상으로 이용할 수 있는 가로망이 얼마나 있는지를 측정한다. 이러한 내용을 수학적으로 표현하면 다음 (식 5)와 같다. 이 수식이 좀 복잡해 보이지만 핵심은 출발지와 도착지 사이의 가장 짧은 네트워크 거리 대비 출발지와 도착지 사이의 모든 경로 거리의 합으로 Redundancy Index를 계산한다는 점이다. 여기서 모든 경로의 합을 어느 정도 허용할 것인지에 따라 Redundancy Index는 달라진다. 이 연구는 허용치(경유비율, ρ)를 20%로 한정한다. 추정치의 결과는 최단 네트워크 거리를 일정한 비율만큼 허용했을 때 가로망 길이가 얼마나 이용 가능한지를 보여준다.

$$R^{\rho}[i, j] = \frac{\sum_{e \in G} W[e] \cdot \zeta^{i, j}[e, \rho \cdot d[i, j]]}{\sum_{e \in G} W[e] \cdot \zeta^{i, j}[e \cdot d[i, j]]} \quad (식 5)$$

이 식에서 $W[e]$ 는 G 에서 최단거리 사이 e 지점의 가중치이며, $d[i, j]$ 는 출발지 i 와 도착지 j 사이의 최단거리를 의미한다. e 지점의 가중치는 출발지 i 와 도착지 j 사이를 이동할 때 거치는 지점들의 특성을 의미하는데, 이 연구는 앞의 4개의 지표에서 지하철역 운행 빈도를 가중치로 계산하였으므로 일관되게 도착지 지하철역의 운행빈도를 가중치로 채택한다. $\zeta^{i, j}$ 는 e 지점과 다른 모든 지점간 단일 경로만 있는 경우 1이다. ρ 는 경유비율(detour ratio)이며, 이 연구는 1.2로 가정한다.

2) 다층해도닉가격모형

이 연구는 서울시 지하철역에 대한 접근성이

부동산 가격에 미치는 영향을 다층헤도닉가격모형을 통해 규명하고자 한다. 이 연구에서 분석하는 자료는 토지 필지 수준과 집계구 수준으로 각기 집계 단위가 다르다. 이에 따라 이러한 자료 구성에 적합한 다층헤도닉가격모형을 적용한다. 이 방법은 잔차의 무작위 분포를 가정한 일반적인 회귀모형이 갖는 한계를 보완할 수 있다. 다층헤도닉가격모형은 공간헤도닉모형과 더불어 공간적 자기상관성을 통제할 수 있는 접근방법이다. 공간헤도닉모형에 비해 다층헤도닉가격모형은 공간적 맥락과 특성과 개별 사례의 특성을 동시에 분석할 수 있다는 장점이 있다(Fotheringham et al., 2002).

일반적으로 집단내상관(intra-class correlation, ICC)를 검증한 후 그 값이 0.05보다 큰 경우에 다층 모형을 적용한다. 여기서 ICC는 집단내 분산을 집단간 분산으로 나눈 값이다(Rabe-Hesketh and Skrondal, 2008). 이 연구에서 집단은 인구주택총조사의 서울시 집계구이다. 이 연구에서 사용한 다층헤도닉가격모형의 추정식은 (식 6)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{ij} = \gamma_{00} + \beta_1 R_{ij} + \beta_2 L_{ij} + \beta_3 S_{ij} + \beta_4 T_{ij} + \beta_5 H_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (\text{식 6})$$

이 식에서 P_{ij} 는 각 용도의 토지가격이며, R_{ij} 는 지하철역 접근성 특성, L_{ij} 는 토지 개발과 토지이용 혼합 특성, S_{ij} 는 개별 토지 특성, T_{ij} 는 교통 및 입지특성, H_{ij} 는 인구와 고용밀도를 의미한다. 이 식에서 μ_{0j} 와 ϵ_{ij} 는 각각 집계구와 필지 수준의 잔

차를 나타낸다(Hox et al., 2018). 이 연구에서 모형의 함수식을 로그-로그 모형으로 채택한 이유는 독립변수의 단위가 각기 달라도 해석이 쉬울 뿐만 아니라, 계수를 독립변수의 변화에 대한 종속변수(토지가격)의 민감도인 탄력성으로 볼 수 있기 때문이다(오예지·강창덕, 2020).

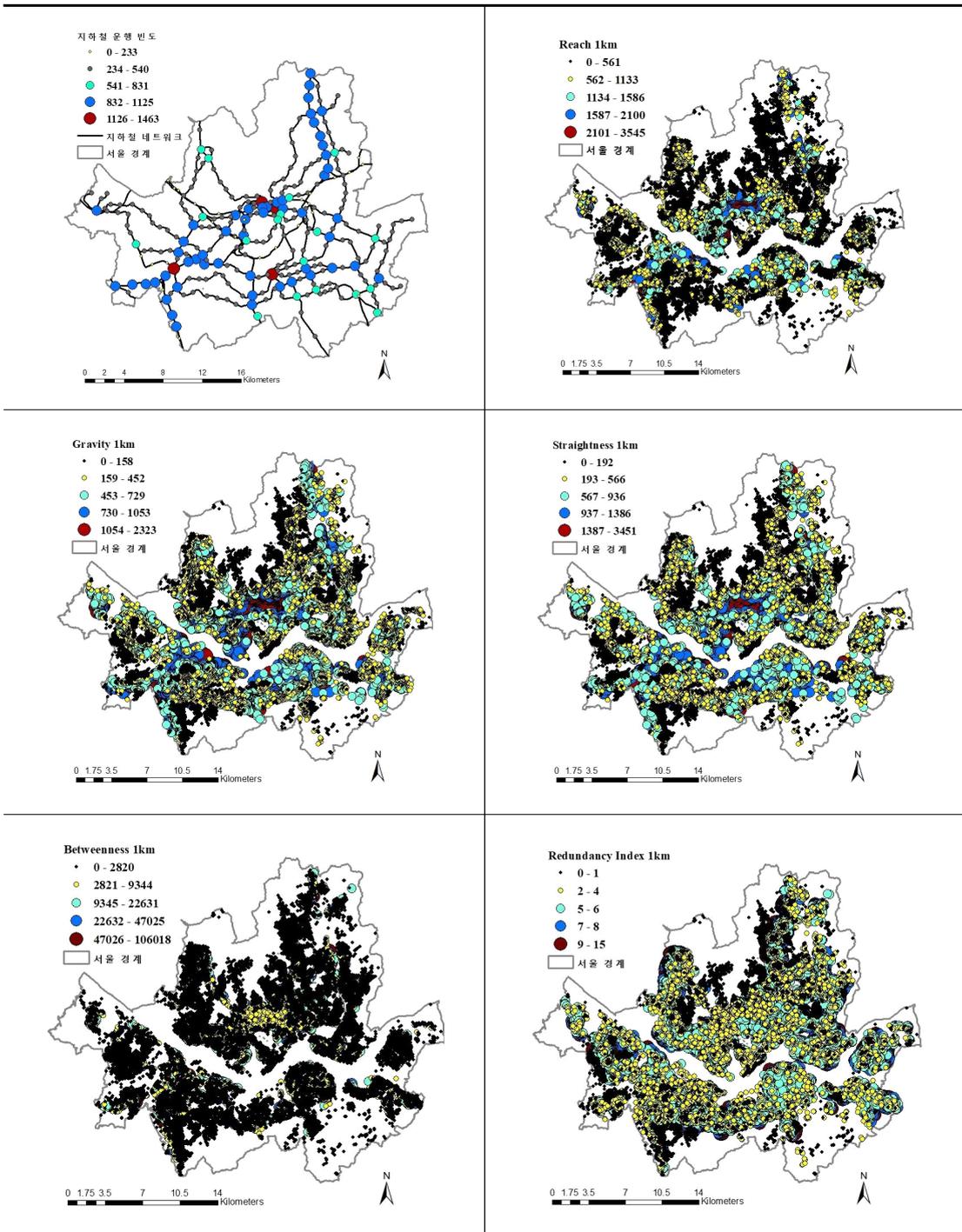
IV. 분석 결과

1. 접근성의 측정결과와 기술통계

〈그림 3〉은 2017년 서울시 지하철역 운행빈도와 더불어 도시 네트워크 분석 방법으로 측정된 총 5개 지표의 공간 분포를 보여주고 있다. 1km 네트워크 반경으로 Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index를 각 사례 토지필지 수준에서 측정된 값을 그림으로 표현한 것이다. 이 연구는 주거용 토지와 비주거용 토지를 사례로 네트워크 반경 500m와 1km의 경우 각각 토지 가격에 미치는 영향이 어느 정도 되는지 살펴보았다. Gravity 지수는 앞에서 제시한 half-half 계산법에 의해 500m, 1km 네트워크 반경을 가정하여 각각 0.00138, 0.000693 베타 값으로 계산하였다.

〈표 2〉는 지하철역으로부터 1km 반경 비주거용 토지가격 모형을 위한 기술통계이다. 3) 기술통계는 서울시 비주거용 토지가 갖는 5개의 가로망 네트워크 특성, 개발밀도, 토지이용혼합, 개별토

3) 지면의 한계로 인해 이 연구의 모형 가운데 지하철역으로부터 1km 반경 비주거용 토지가격모형을 위한 기술통계와 모형 결과를 중심으로 제시하였다.



〈그림 3〉 서울시 지하철역 운행빈도와 총 5개 접근성의 공간 분포(1km 반경)

〈표 2〉 비주거용 토지가격 모형 기술 통계(1km 반경 기준)

변수	사례수	평균	표준편차	최솟값	최댓값
비주거용 토지가격	7,701	8,959,606	6,967,175	645,000	86,000,000
가로망 네트워크 특성					
Reach	7,701	1,425.74	1,247.02	0.00	6,261.00
Gravity	7,701	931.92	796.56	0.00	3,805.78
Straightness	7,701	1,180.23	1,031.00	0.00	5,277.50
Betweenness	7,701	11,195.66	25,818.55	0.00	377,881.00
Redundancy Index	7,701	4.07	2.17	0.00	13.38
개발 밀도					
부동산 개발 밀도	7,701	18,253.72	69,626.03	0.00	6,048,034.00
토지이용 혼합					
토지이용 혼합도	7,701	0.58	0.17	0.00	0.95
개별 토지 특성					
업무	7,701	0.12	0.33	0.00	1.00
상업	7,701	0.88	0.33	0.00	1.00
면적	7,701	516.95	2,718.41	3.30	148,581.00
평지	7,701	0.99	0.12	0.00	1.00
형상	7,701	0.11	0.31	0.00	1.00
도로입면	7,701	0.43	0.49	0.00	1.00
교통입지 특성					
시청에서 거리	7,701	7,069.74	4,146.20	53.35	17,587.72
부도심에서 거리	7,701	3,977.00	2,119.10	91.32	12,063.44
도로에 대한 거리	7,701	68.15	81.93	0.01	1,938.07
버스 정류장에 대한 거리	7,701	104.70	81.17	2.03	1,343.45
가로망에 대한 거리	7,701	14.88	9.76	0.06	175.46
상권에 대한 거리	7,701	573.21	469.58	2.39	4,806.65
학교에 대한 거리	7,701	351.46	164.15	25.24	2,275.79
공원 접근성	7,701	180.45	112.18	0.00	863.43
인구와 고용밀도					
인구밀도	7,701	143.67	123.95	0.00	1,560.33
고용밀도	7,701	334.67	326.02	0.00	2,520.77

지특성, 교통입지특성, 인구와 고용밀도 특성을 보여주고 있다.

2. 분석 결과

지하철역에 대한 접근성이 토지가격에 미치는 영향을 크게 주거용 토지와 비주거용 토지(상업용과 업무용 토지)로 나누어 살펴 보았다. 지면의 한계로 인해 지하철역에 대한 1km 반경 기준 비주거용 토지가격모형에 대한 결과만을 <표 3>과 <표 4>로 제시하였다. 이 모형에서 지하철역에 대한 접근성은 Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index 등으로 측정하였으며, 다중공선성을 피하기 위해 각 한 개의 접근성만을 모형에 넣어 총 5개의 모형으로 구성하였다. 비주거용 토지 모형에서 토지 필지 수는 7,701이며, 집계구 수는 3,297이다. 집단내상관(ICC)값을 보여주는 Rho는 0.45~0.46으로 모형 적용의 판단 기준인 0.05보다 커 모형이 적합함을 말해준다. 전반적인 결정계수는 0.52~0.53으로 나타났다. 아울러, 집계구내 결정계수는 0.47, 집계구간 결정계수는 0.38~0.39이다. 다중공선성을 측정하는 VIF(variance inflation factor)를 적용해 본 결과, 모든 결과에서 그 최대값이 3.29이므로 다중공선성 문제는 없는 것으로 보인다.⁴⁾

주거용 토지와 비주거용 토지에 대한 지하철 접근성의 영향의 각 계수를 표현하면 <그림 4>와 같

다. 먼저 주거용 토지에 대한 영향을 보면, 500m 반경 이내에서 Reach, Gravity, Straightness, Betweenness, Redundancy Index 등 5개의 접근성 지표는 모두 유의미하게 긍정적인 영향을 주었다. 그러나 그 영향력은 1km 반경의 경우보다 낮았다. 이는 지하철역에 근접하는 경우 부정적 외부경제(소음, 혼잡)가 지하철역 접근성의 이익을 낮춘 결과로 보인다. 1km 반경 내에서 5개의 지표를 비교해보면, Gravity 지수의 영향이 가장 높고, 그 다음으로 Straightness, Reach, Betweenness, Redundancy Index 순이었다. 전체적으로 지하철 운행빈도가 많고 인근 지하철역에 이르는 길이가 짧거나(Reach와 Gravity), 직선에 가까울수록(Straightness) 접근성 프리미엄이 높았다. 아울러 일정 반경 내에서 이동할 때 지나가는 빈도(Betweenness)가 높은 지점과 각 주거용 토지 필지에서 지하철역에 이르는 길이 다양할수록(Redundancy Index) 토지 가격이 높았다. 결국 지하철역 운행빈도 수가 많고 가로망을 통해 지하철역에 이르는 접근성과 편리성이 높을수록 인근 지역의 주거용 토지가격에 프리미엄이 발생한 것이다. 다만, 500m 반경 내에서 Redundancy Index 가 다른 4개의 접근성 지표보다 큰 프리미엄 효과를 내고 있다. 지하철역에 도달할 수 있는 가로망의 선택지가 많다는 이점은 주로 지하철역에서 가까운 주거용 토지가격에서 크게 나타났다.

비주거용 토지의 경우 500m와 1km 네트워크 반경 모두에서 통계적으로 유의하고 긍정적 효과

4) 분석모형의 설명변수 가운데 부동산개발밀도와 고용밀도를 로그값으로 전환하면서 다중공선성을 측정하는 VIF 값이 3에 이르고 있다. 이에 대해 다중공선성을 우려하는 시각도 있을 수 있으나 이에 대한 일반적으로 합의된 견해는 없으며, 기존 연구는 VIF 값 3을 허용하고 있음을 확인하였다. 따라서 이 연구는 VIF 값 3인 변수의 사용에 다중공선성 문제가 없는 것으로 본다.

〈표 3〉 비주거용 토지에 대한 지하철역 접근성의 효과 1 (Reach, Gravity, Straightness, 1km 반경 기준)

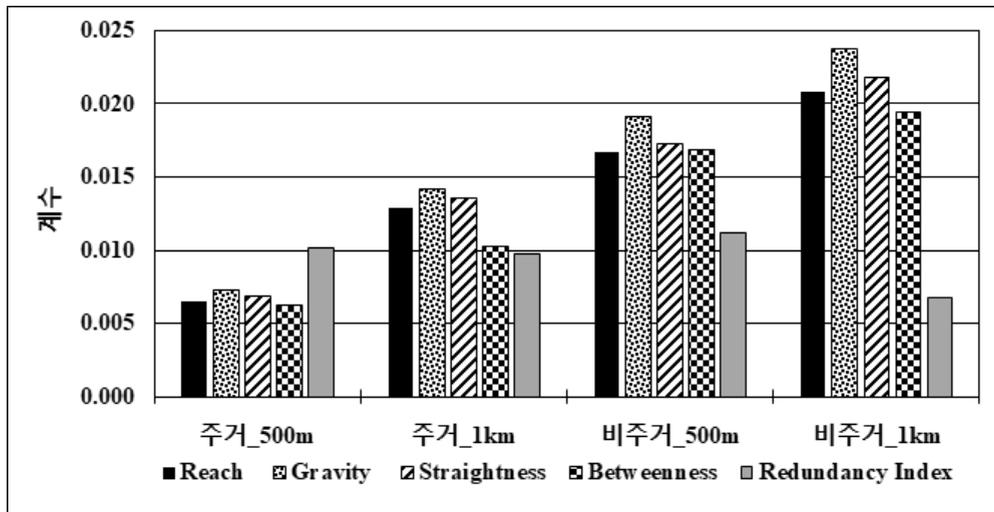
변수	Reach			Gravity			Straightness		
	계수	P> Z	VIF	계수	P> Z	VIF	계수	P> Z	VIF
Fixed effects									
가로망 네트워크 특성									
Log(Reach)	0.021	0.000	1.33						
Log(Gravity)				0.024	0.000	1.35			
Log(Straightness)							0.022	0.000	1.33
개발밀도									
Log(부동산개발밀도)	0.105	0.000	2.91	0.105	0.000	2.91	0.105	0.000	2.91
토지이용 혼합									
토지이용 혼합도	-0.083	0.029	1.11	-0.084	0.026	1.11	-0.084	0.027	1.11
개별토지특성									
상업	-0.069	0.000	1.23	-0.069	0.000	1.23	-0.069	0.000	1.23
면적	0.025	0.000	1.90	0.025	0.000	1.90	0.025	0.000	1.90
평지	0.197	0.000	1.04	0.196	0.000	1.04	0.197	0.000	1.04
형상	-0.022	0.059	1.02	-0.022	0.060	1.02	-0.022	0.059	1.02
도로입면	0.291	0.000	1.58	0.291	0.000	1.58	0.290	0.000	1.58
교통입지특성									
Log(시청에서 거리)	-0.141	0.000	2.01	-0.140	0.000	2.01	-0.140	0.000	2.01
Log(부도심에서 거리)	-0.047	0.000	1.05	-0.047	0.000	1.05	-0.047	0.000	1.05
Log(도로에 대한 거리)	-0.036	0.000	1.40	-0.036	0.000	1.40	-0.036	0.000	1.40
Log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.022	0.000	1.20	-0.022	0.000	1.20	-0.022	0.000	1.20
Log(가로망에 대한 거리)	0.068	0.000	1.78	0.069	0.000	1.78	0.068	0.000	1.78
Log(상권에 대한 거리)	-0.146	0.000	1.34	-0.145	0.000	1.35	-0.146	0.000	1.34
Log(학교에 대한 거리)	0.036	0.000	1.09	0.035	0.000	1.09	0.036	0.000	1.09
Log(공원접근성)	0.003	0.497	1.04	0.003	0.515	1.04	0.003	0.507	1.04
인구와 고용밀도									
Log(인구밀도)	-0.068	0.000	1.90	-0.068	0.000	1.90	-0.068	0.000	1.90
Log(고용밀도)	0.114	0.000	3.29	0.113	0.000	3.29	0.114	0.000	3.29
상수	16.306	0.000		16.285	0.000		16.298	0.000	
Random effects									
ICC		0.45			0.45			0.45	
결정계수									
집계구 내		0.47			0.47			0.47	
집계구 간		0.39			0.39			0.39	
전체		0.53			0.53			0.53	
사례수					7,701				
집계구 수					3,297				

주 : VIF, variance inflation factor; ICC, intra-class correlation.

<표 4> 비주거용 토지에 대한 지하철역 접근성의 효과 2(Betweenness, Redundancy Index, 1km 반경 기준)

변수	Betweenness			Redundancy Index		
	계수	P> Z	VIF	계수	P> Z	VIF
Fixed Effects						
가로망 네트워크 특성						
Log(Betweenness)	0.019	0.000	1.36			
Redundancy Index				0.007	0.002	1.10
개발밀도						
Log(부동산개발밀도)	0.107	0.000	2.91	0.106	0.000	2.92
토지이용 혼합						
토지이용 혼합도	-0.084	0.027	1.11	-0.072	0.059	1.11
개별토지특성						
상업	-0.070	0.000	1.23	-0.068	0.000	1.23
면적	0.026	0.000	1.91	0.024	0.000	1.89
평지	0.194	0.000	1.04	0.207	0.000	1.04
형상	-0.021	0.078	1.02	-0.023	0.048	1.02
도로입면	0.286	0.000	1.59	0.300	0.000	1.57
교통입지특성						
Log(시청에서 거리)	-0.135	0.000	2.05	-0.154	0.000	1.95
Log(부도심에서 거리)	-0.048	0.000	1.04	-0.050	0.000	1.05
Log(도로에 대한 거리)	-0.035	0.000	1.40	-0.035	0.000	1.40
Log(버스정류장에 대한 거리)	-0.021	0.000	1.20	-0.021	0.000	1.20
Log(가로망에 대한 거리)	0.066	0.000	1.78	0.067	0.000	1.78
Log(상권에 대한 거리)	-0.143	0.000	1.36	-0.153	0.000	1.32
Log(학교에 대한 거리)	0.035	0.000	1.09	0.035	0.000	1.09
Log(공원접근성)	0.003	0.548	1.04	0.004	0.391	1.04
인구와 고용밀도						
Log(인구밀도)	-0.069	0.000	1.90	-0.069	0.000	1.91
Log(고용밀도)	0.113	0.000	3.29	0.121	0.000	3.24
상수	16.228	0.000		16.529	0.000	
Random effects						
ICC		0.45			0.46	
결정계수						
집계구 내		0.47			0.47	
집계구 간		0.39			0.38	
전체		0.53			0.52	
사례수			7,701			
집계구 수			3,297			

주 : VIF, variance inflation factor; ICC, intra-class correlation.



〈그림 4〉 주거용과 비주거용 토지 가격에 대한 지하철역 접근성 효과 요약

를 보였다. 지표간 효과를 두 반경으로 나누어 비교해 보면, 500m 반경 내에서 상대적으로 약하게 나타나고 1km 반경 내에서 크게 나타났다. 전체적으로 5개의 지표를 비교해 보면, Gravity 지수의 영향이 가장 높고, 그 다음으로 Straightness, Reach, Betweenness, Redundancy Index 순이었다. 이러한 결과는 주거용 토지보다 비주거용 토지가격에 5개의 접근성이 더 강한 프리미엄 효과를 내고 있음을 보여준다. 전체적으로 비주거용 토지가격은 지하철 운행빈도가 많고 인근 지하철역에 이르는 길이 가깝거나(Reach와 Gravity), 직선에 가까울수록(Straightness) 높은 접근성 프리미엄을 얻었다. 아울러 일정한 반경 내 이동시 지나가는 빈도(Betweenness)가 많은 곳의 가격이 높았다. Redundancy Index의 영향은 500m 반경 내에서 강한 반면, 1km 반경 내에서 상대적으로 약했다. 지하철역에 도달할 수 있는 가로망의 선택지가 많다는 이점은, 상대적으로 보다 가까운

반경 내에서 강하게 나타남을 의미한다.

연구 결과를 요약하면, 지하철운행빈도와 가로망 특성을 모두 고려한 지하철역 접근성은 주거용과 비주거용 토지가격에 각기 다른 영향을 주었다. 대체로 주거용 토지가격보다 비주거용 토지가격에 상대적으로 크게 긍정적인 영향을 주었다. 이는 대중교통 서비스의 개선과 지하철역에 대한 더 좋은 접근성을 제공하는 가로망은 주거용보다 비주거용 토지가격에 대한 지불용의액을 높이는 것으로 해석할 수 있다. 결국 대중교통에 대한 접근성이 주는 편익은 상업과 업무 활동에서 크게 평가하고 있는 것이다. 아울러 5개 지표가 주는 영향을 비교해 보면, 인근 지역에 보다 빈번한 지하철 운행이 절대적으로 중요하고, 그 다음으로 가능한 직선에 가까운 가로망이 유리한 조건임을 알 수 있다. 아울러 일정한 반경 내 이동시 경유빈도가 많은 지점에 대한 선호가 높다는 점도 밝혀졌다. 다만, 지하철역에 이르는 길이 많다는

점은 주거용 토지에 중요한 이점이지만, 지하철역에서 멀리 떨어져 있는 비주거용 토지가격에 상대적으로 적은 이점을 주고 있다.

기타 변수의 경우, 토지용도 측면에 준거집단인 업무용보다 상업용은 낮은 가격을 보이고 있고, 부동산개발밀도가 높고 토지이용혼합도가 낮은 지역의 토지가격이 높았다. 토지특성상 형상을 제외하고 면적이 크거나 평지이거나 큰 도로에 면한 토지가격은 높았다. 교통 입지 측면에서 시청, 부도심, 도로, 지하철역, 버스 정류장, 가로망, 상권에서 멀어질수록 토지가격은 하락하는 패턴을 보였다. 그러나 학교와 가로망의 경우는 멀어질수록 토지가격은 높아졌다. 공원에 대한 접근성은 통계적으로 유의미하지 않았다. 끝으로 고용밀도가 높은 곳은 토지가격이 높았지만, 인구밀도가 높은 곳의 토지가격은 낮은 것으로 나타났다.

V. 결론

이 연구는 서울시 지하철역에 대한 접근성을 지하철 운행빈도와 가로망 특성을 동시에 고려하여 총 5개의 지표로 측정하고, 그 영향을 주거용 토지가격과 비주거용 토지가격으로 분석하였다. 주요 연구 결과를 요약하면, 지하철운행빈도와 가로망 특성을 모두 고려한 지하철역 접근성은 주거용과 비주거용 토지가격에 각기 다른 영향을 주었다. 대체로 주거용 토지가격보다 비주거용 토지가격에 상대적으로 크게 긍정적인 영향을 주었다. 이는 대중교통 서비스의 개선과 지하철역에 대한 더 좋은 접근성을 제공하는 가로망의 이점은

비주거용 토지가격에 상대적으로 크게 반영됨을 의미한다. 아울러 5개 지표가 주는 영향을 비교해보면, 인근 지역에 보다 빈번한 지하철 운행이 절대적으로 중요하고, 그 다음으로 가능한 직선에 가까운 가로망이 인근지역 토지가격에 프리미엄을 발생시킨다. 아울러 일정한 반경 내 이동시 경유빈도가 많은 지점에서 토지 가격 프리미엄이 크게 나타났다. 다만, 지하철역에 이르는 길이 많다는 점은 상대적으로 먼 곳의 주거용 토지에도 중요한 이점이지만, 지하철역에서 멀리 떨어져 있는 비주거용 토지가격에는 약하게 반영되었다.

이 연구의 경험적 모형의 결과는 다음과 같은 시사점을 준다. 첫째, 지하철역 접근성이 주거용 토지가격과 비주거용 토지가격에 미친 영향을 측정된 결과, 네트워크 거리 기준 1km 반경까지 영향을 주고 있음을 볼 수 있다. 이는 역세권을 직선 거리 500m로 보는 기준을 유연하게 적용해야 함을 의미한다. 이미 서구의 연구에서 검증한 바와 같이 역세권의 공간적 범역은 지하철역 인근지역의 사회경제적 특성과 토지이용에 따라 다를 수 있다는 것이다. 앞으로 보다 현실적인 역세권을 설정하는 연구가 필요하다. 둘째, 주거용 토지가격 모형에서 보듯, 지하철역에 인접한 주거용 토지보다 1km 반경까지 보다 넓은 지역에 자리잡은 주거용 토지가격에 지하철 접근성 프리미엄이 반영될 수 있음을 포착하였다. 이는 지하철 접근성이라는 외부성이 인접지역보다 먼 주거지역에서 지불용의액으로 나타날 수 있음을 의미한다. 셋째, 비주거용 토지가격의 경우 500m와 1km 반경 모두에서 지하철 접근성이 프리미엄을 발생시켰다. 상업용과 사무용 토지의 경우 지하철역

에 가까이 입지하고 있을 뿐만 아니라, 실질적으로 대중교통 접근성이 가격에 프리미엄을 발생시켰다. 이는 단순히 지하철역에 대한 접근성이 높아져서가 아니라 대중교통 이용 인구가 상업용 부동산 입장에서 유동인구가 될 수 있고, 대중교통 접근성이 사무용 부동산의 경우 업무상 이점으로 작용한 것으로 해석할 수 있다. 넷째, 지하철역의 운행빈도와 가로망 특성을 고려하여 측정된 5개의 접근성 지표는 토지가격에 영향을 주는 요인을 보다 풍부하게 제공하고 있다. 특히, 주거용과 비주거용별로 접근성에 의한 영향 정도와 공간적 범위가 크게 차이를 확인할 수 있었다. 또한, 일정한 공간적 범위 내에 지하철 운행빈도가 많고, 지하철역에 이르는 가로망이 직선에 가까운 환경을 부동산 시장에서 선호함을 확인하였다. 뿐만 아니라 일정한 공간적 범위 내에서 이동시 경유빈도가 높거나, 지하철역에 이르는 가로망이 풍부할수록 토지에 대한 지불용의액이 높았다. 이러한 결과는 대중교통에 대한 접근성을 개선하는 데 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 대중교통 접근성 개선이 인근지역의 부동산 가격에 미치는 영향을 다각적으로 이해하는 데 많은 시사점을 준다. 아울러 대중교통 접근성 개선이 중요한 도시정책이 되고 있는 시점에서 부동산 감정평가의 개선에도 기여할 수 있을 것이다. 다섯째, 지하철이라는 공공투자의 우발이익을 회수하는 세금을 부과하는 경우 지하철 접근성의 외부성을 이 연구에서 진행한 바와 같이 공간적 범위를 포착하여야 한다. 아울러 세금 부과와 경우 주거용뿐만 아니라, 비주거용 토지의 경우도 대상이 될 수 있다. 그동안 주로 주거용 부동산에 대한 우발이익 회수를 논의하였으

나, 비주거용 부동산의 경우도 실질적인 외부 효과로 인한 프리미엄이 발생하였다. 여섯째, 현재 GTX 등 신도시 개발에 따른 대중교통망 확충을 논의하고 있는데, 이 연구의 결과에서 보듯, 대중교통망의 확충은 인근 지역의 부동산 가격을 높인다. 따라서 주택 가격 안정을 위한 신도시 개발이 실현되기 위해서는 사전에 대중교통 서비스 제공에 따른 프리미엄 발생을 예측하고, 주택 가격 안정을 위한 적절한 주택 정책의 모색이 필요할 것이다. 일곱째, 대중교통망 확충에 의한 인근 지역 부동산 가격이 상승하는 경우 장기적으로 새로운 부동산 개발이 뒤따를 수 있다. 따라서 대중교통망 이용을 촉진하는 방향으로 인근 지역 도시개발이 진행될 수 있도록 관련 부처간 유기적 협력이 필수적이다.

끝으로, 이 연구의 한계로는 첫째, 2017년 한 해의 자료만을 분석하여 시간적 변화에 따라 달라지는 지하철역에 대한 접근성이 인근지역의 부동산 가격에 미치는 영향을 분석하지 못했다. 둘째, 지하철의 운행빈도라는 공급측면과 가로망 특성을 고려했지만 지하철 이용의 수요 측면을 반영하지 못했다. 앞으로 보다 발전된 기법으로 지하철 이용의 수요 측면도 반영할 수 있기를 기대한다. 셋째, 토지 가격에 한정하여 분석했으며 인구와 고용의 분포 등 보다 다양한 측면에 대한 영향을 분석하지 못하였다.

ORCID 

강창덕 <https://orcid.org/0000-0003-3935-9945>

참고문헌

1. 강창덕, 2017, 「서울시 가로망 중심성의 토지가격 효과 연구」, 『부동산연구』, 27(3):51-70.
2. 국토교통부, 2017, 서울시 표준지 공시지가 자료 보도자료.
3. 서울통계서비스, 2017, 서울시 지하철 운행빈도 자료 보도자료.
4. 서울특별시, 2006, 『2020년 서울도시기본계획』. 서울: 서울특별시.
5. 오예지·강창덕, 2020, 「서울시 복합용도개발에 대한 접근성이 토지가격에 미치는 영향 분석: 유형별 광역 효과와 국지 효과 비교를 중심으로」, 『서울도시연구』, 21(3):23-41.
6. 통계청, 2016, 서울시 집계구 자료, 보도자료.
7. 행정안전부, 2017, 서울시 건축물 자료, 보도자료.
8. Alfred Chu, K. K. and R. Chapleau, 2008, “Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2063(1):63-72.
9. Atkinson-Palombo, C., 2010, “Comparing the capitalisation benefits of light-rail transit and overlay zoning for single-family houses and condos by neighbourhood type in metropolitan Phoenix, Arizona,” *Urban Studies*, 47(11):2409-2426.
10. Bae, C. H. C., M. J. Jun, and H. Park, 2003, “The impact of Seoul’s subway line 5 on residential property values,” *Transport Policy*, 10(2):85-94.
11. Bowes, D. R. and K. R. Ihlanfeldt, 2001, “Identifying the impacts of rail transit stations on residential property values,” *Journal of Urban Economics*, 50(1):1-25.
12. Brandes, U., 2001, “A faster algorithm for betweenness centrality,” *The Journal of Mathematical Sociology*, 25(2):163-177.
13. Cervero, R., E. Guerra, and S. Al, 2017, *Beyond Mobility: Planning Cities for People and Places*, Washington, DC: Island Press.
14. Cervero, R. and J. Murakami, 2009, “Rail and property development in Hong Kong: Experience and extensions,” *Urban Studies*, 46(10):2019-2044.
15. Cervero, R. and B. Susantono, 1999, “Rent capitalization and transportation infrastructure development in Jakarta,” *Review of Urban & Regional Development Studies*, 11(1):11-23.
16. Debrezion, G., E. Pels, and P. Rietveld, 2007, “The impact of railway stations on residential and commercial property value: A meta-analysis,” *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 35(2):161-180.
17. Dubé, J., M. Thériault, and F. Des Rosiers, 2013, “Commuter rail accessibility and house values: The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992-2009,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54:49-66.
18. Duncan, M., 2011, “The impact of transit-oriented development on housing prices in San Diego, CA,” *Urban Studies*, 48(1):101-127.
19. Feng, C., W. Li, and F. Zhao, 2011, “Influence of rail transit on nearby commodity housing prices: A case study of Beijing Subway Line Five,” *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica*, 66(8):1055-1062.
20. Fotheringham, A. S., C. Brunsdon, and M. Charlton, 2002, *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*, Chichester, UK: Wiley.
21. Giuliano, G., 2017, *Land Use Impacts of Transportation Investments: Highway and Transit*, New York, NY: Guilford Press.

22. Hansen, W. G., 1959, "How accessibility shapes land use," *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2):73–76.
23. Hox, J. J., M. Moerbeek, and R. Schoot, 2018, *The Basic Two-Level Regression Model: Introduction*, London, UK: Lawrence Erlbaum.
24. Jaber, A., N. Wagner, and D. Papaioannou, 2017, *Benchmarking Accessibility to Services Across Cities*, Paris, France: International Transport Forum.
25. Kahn, M. E., 2007, "Gentrification trends in new transit-oriented communities: Evidence from 14 cities that expanded and built rail transit systems," *Real Estate Economics*, 35(2): 155–182.
26. Kang, C. D., 2019, "Spatial access to metro transit villages and housing prices in Seoul, Korea," *Journal of Urban Planning and Development*, 145(3):05019010.
27. Kim, S., G. F. Ulfarsson, and J. T. Hennessy, 2007, "Analysis of light rail rider travel behavior: Impacts of individual, built environment, and crime characteristics on transit access," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(6):511–522.
28. Kim, S. Y., A. R. Jo, I. G. Baek, and M. H. Lee, 2014, "An analysis of influencing relationship between density and TOD planning factors in Seoul Subway Station areas," *Journal of Korea Planning Association*, 49(5):279–303.
29. Lee, J. M. and J. Y. Kim, 2015, "Empirical analysis on impact of ground level subway station on neighboring apartment price using multi-level regression model," *Journal of Korea Planning Association*, 50(2):157–171.
30. Lee, S., C. Yi, and S. P. Hong, 2013, "Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas," *Cities*, 35:69–77.
31. Lee, W. K., S. Y. Sohn, and J. Heo, 2018, "Utilizing mobile phone-based floating population data to measure the spatial accessibility to public transit," *Applied Geography*, 92:123–130.
32. Lei, T. L., Y. Chen, and K. G. Goulias, 2012, "Opportunity-based dynamic transit accessibility in Southern California: Measurement, findings, and comparison with automobile accessibility," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2276:26–37.
33. Lin, T. G., J. C. Xia, T. P. Robinson, K. G. Goulias, R. L. Church, D. Olaru, J. Tapin, and R. Han, 2014, "Spatial analysis of access to and accessibility surrounding train stations: A case study of accessibility for the elderly in Perth, Western Australia," *Journal of Transport Geography*, 39:111–120.
34. Liu, Y., X. Wei, L. Jiao, and H. Wang, 2016, "Relationships between street centrality and land use intensity in Wuhan, China," *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1):1–14.
35. Martínez, L. M. and J. M. Viegas, 2013, "A new approach to modelling distance-decay functions for accessibility assessment in transport studies," *Journal of Transport Geography*, 26: 87–96.
36. Mohammad, S. I., D. J. Graham, P. C. Melo, and R. J. Anderson, 2013, "A meta-analysis of the impact of rail projects on land and property values," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 50:158–170.
37. Östh, J., J. Lyhagen, and A. Reggiani, 2016, "A new way of determining distance decay

- parameters in spatial interaction models with application to job accessibility analysis in Sweden,” *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(2):344–362.
38. Porta, S., P. Crucitti, and V. Latora, 2006, “The network analysis of urban streets: A primal approach,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(5):705–725.
39. Porta, S., V. Latora, F. Wang, S. Rueda, E. Strano, S. Scellato, A. Cardillo, E. Belli, F. Cárdenas, and B. Cormenzana, 2012, “Street centrality and the location of economic activities in Barcelona,” *Urban Studies*, 49(7): 1471–1488.
40. Rabe-Hesketh, S. and A. Skrondal, 2008, *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*, 2nd ed. Lakeway, TX: STATA Press.
41. Rui, Y. and Y. Ban, 2014, “Exploring the relationship between street centrality and land use in Stockholm,” *International Journal of Geographical Information Science*, 28(7):1425–1438.
42. Sevtsuk, A., 2018, *Urban Network Analysis: Tools for Modeling Pedestrian and Bicycle Trips in Cities*, Cambridge, MA: Harvard GSD.
43. Song, Y. and G. J. Knapp, 2004, “Measuring the effects of mixed land uses on housing values,” *Regional Science and Urban Economics*, 34(6):663–680.
44. Sung, H. and J. T. Oh, 2011, “Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea,” *Cities*, 28:70–82.
45. Wang, F., A. Antipova, and S. Porta, 2011, “Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana,” *Journal of Transport Geography*, 19(2):285–293.
46. Wang, F., C. Chen, C. Xiu, and P. Zhang, 2014, “Location analysis of retail stores in Changchun, China: A street centrality perspective,” *Cities*, 41:54–63.
47. Xiao, Y., C. Webster, and S. Orford, 2014, “Identifying house price effects of changes in urban street configuration: An empirical study in Nanjing, China,” *Urban Studies*, 53(1): 112–131.
48. Xiao, Y., S. Orford, and C. J. Webster, 2015, “Urban configuration, accessibility, and property prices: A case study of Cardiff, Wales,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(1):108–129.
49. Yi, C. and S. Lee, 2014, “An empirical analysis of the characteristics of residential location choice in the rapidly changing Korean housing market,” *Cities*, 39:156–163.

논문접수일: 2021년 4월 6일

심사(수정)일: 2021년 6월 29일

게재확정일: 2021년 7월 16일

국문초록

전 세계 대도시 문제가 심각해지면서 대중교통의 지속가능한 발전의 대안으로 지속적으로 주목받고 있다. 특히, 대도시 발전에서 대중교통 시스템의 역할과 중요성 증가, 대중교통 시스템의 외부 효과 평가, 대중교통 투자로 인한 우발 이익에 대한 과세, 도시공간구조 변화의 이해와 예측, 신도시 개발과 교통 투자 측면에서 대중교통서비스가 인근 지역에 미치는 영향은 중요한 학술적, 정책적 관심사이다. 이 연구는 서울시 지하철을 대상으로 지하철 운행빈도와 가로망 특성을 모두 고려한 총 5개의 접근성 지표를 측정하고, 그 효과를 주거용과 비주거용 토지가격으로 분석하였다. 분석 결과를 보면, 이 연구에서 측정한 5개의 지하철 접근성 지표는 주거용과 비주거용 토지가격에 긍정적 영향을 주었다. 특히, 주거용 토지보다는 비주거용 토지가격에 크게 프리미엄을 발생시켰다. 아울러 토지필지에서 가까운 지하철역의 운행빈도가 많거나 지하철역에 이르는 가로망이 직선일수록 토지가격 프리미엄이 크게 나타났다. 또한, 일정한 반경 내 이동시 경유빈도가 높은 곳과 지하철역에 이르는 가로망이 다양할수록 토지가격이 높았다. 이 연구의 과정과 결과는 향후 대중교통의 중요성이 커지고 관련정책이 많아지는 시점에서 부동산 시장 예측과 가치 평가에 일조할 것으로 기대한다.

주제어 : 지하철, 접근성, 토지가격, 다층회귀모형, 서울