

서울시 가로망 중심성의 토지가격 효과 연구*

Effects of Street Centrality on the Land Prices in Seoul, South Korea

강창덕**

Kang, Chang Deok

Abstract

This study aimed to measure street centralities with the street width, and to analyze their effects on the residential and non-residential land prices in Seoul, South Korea. Most of the studies on urban economics and policy focusing on the urban spatial structure have evolved in terms of their perspective from monocentric to polycentric models. Recently, their themes shifted to measuring street centralities and capturing their effects on urban phenomena. To expand the existing studies and discussion, this study analyzed the street centralities with the street width, and how they changed the land prices. Multilevel regression models generated a few key findings relevant to the relationship between street centralities and land prices. While a higher detour volume and closeness to wider streets commanded premium residential land prices, higher visibility and detour volume to wider streets were associated with higher non-residential land prices. These findings suggest a robust connection between street configuration and near-land prices. Thus, the results of this study suggest a few insightful policy implications for urban planners, urban designers, real estate developers, and appraisers.

Keywords ▶ street centrality, land price, multilevel regression models, Seoul

초 록

이 연구는 가로망 폭을 반영하여 가로망 중심성을 측정하고 그 효과를 토지가격을 통해 규명한다. 그동안 도시공간구조를 분석한 도시경제와 정책에 대한 연구는 단핵도시구조에서 다핵도시구조로 발전하여 왔다. 그러나 이러한 시각은 여전히 도시현상을 설명하는 데 한계가 있으므로 미시공간수준의 가로망 분석이 새로운 연구영역으로 자리잡고 있다. 특히, 최근에 가로망 중심성을 다양한 방법으로 측정하고 도시현상에 대한 효과를 경험적으로 분석하는 연구가 많아지고 있다. 이 연구는 기존의 시각을 확장하기 위해 가로망 폭을 반영한 중심성을 측정한 후 주거용과 비주거용 토지가격에 대한 효과를 분석하였다. 이 연구의 다층회귀분석모형 결과는 대체로 주거용 토지의 경우 폭이 넓은 가로망에 도달하는 경우 빈도가 많고 이러한 가로망에 가까이 있으면 가격이 높은 것으로 나타났다. 비주거용 토지는 넓은 가로망에 도달하는 경우 빈도가 높고 가시성이 높은 가로망에 가까이 있으면 가격 수준이 높았다. 이러한 연구 결과는 가로망 폭을 고려한 보다 현실적인 가로망 중심성이 토지 시장에 미치는 효과를 경험적으로 검증한 것이다. 이를 통해 가로망 중심성이 향후 토지가격에 미치는 영향을 규명하고 장기적으로 토지시장의 변화를 예측할 수 있는 기초 자료가 될 것이다.

주요 단어 ▶ 가로망 중심성, 토지 가격, 다층회귀분석모형, 서울

* 이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016S1A5A2A01023046).

** 중앙대학교 도시계획·부동산학과 부교수, 주저자 (cdkang@cau.ac.kr)

I. 서론

이 연구는 서울시 가로망 공간구조를 공간 중심성 차원에서 진단하고 그 효과를 토지 가격¹⁾자료 분석을 통해 측정한다. 구체적으로 이 연구는 가로망 중심성을 도시 네트워크 분석(Urban Network Analysis, 약자 UNA) 접근 방법으로 Betweenness, Straightness, Closeness 등 총 3개의 지표로 측정하고, 토지 가격에 대한 영향을 다층회귀분석모형(multilevel regression models)으로 분석한다.

기존의 관련연구를 검토한 결과, 가로망 중심성을 진단하고 토지 가격에 대한 효과를 분석하는 이 연구의 주요 배경은 크게 여섯 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 기존 도시경제학과 도시연구에 의하면, 가로망은 주거, 상업, 업무, 산업 등 다양한 토지이용의 입지와 토지가격에 영향을 주는 핵심요인이다(Wang et al., 2011). 따라서 가로망의 공간구조적 특성을 이해하고 경제활동, 토지이용, 인구와 고용의 입지, 토지와 부동산 가격 등의 연관성을 분석하는 것이 여러 도시문제를 진단하고 대응방안을 모색하는 데 매우 필요하다. 둘째, 가로망은 도심에 대한 거리, 주요 시설에 대한 거리 등 소위 전통적인 변수보다 도시 전체에 걸쳐 다양한 입지 상황과 접근성을 일관되게 진단할 수 있는 자료이다(Xiao et al., 2016a). 따라서 가로망 중심성 분석 연구는 최근 들어 학계에서 많은 관심과 지지를 받으며 진행되고 있다. 특히, 도심이나 부도심에 대한 거리보다 가로망 중심성이 부동산 가격을 더욱 잘 설명한다는 연구도 있다(Xiao et al., 2016b). 셋째, 가로망 공간구조의 특성을 정량적으로 측정해야 도시가 직면한 다양한 문제를 개선할 수 있다는 점이다. 이에 따라 그동안 다양한 연구방법이 적용되어 왔으나 보다 현실적이고 적실한 대안을 모색하는 데 일정한 한계가 있으므로 가로망의 공간구조를 다각적이고 미시적으로 볼 수 있는 혁신적인 분석방법이 필요하다. 넷째, 그동안 가로망 연구는 노드 중심이고 노드에 연결된 가로망의 폭을 고려하지 못했다. 따라서 실측자료에 근거한 “연결

된 가로망 폭”을 고려한 가로망 공간구조 연구가 보다 현실적인 대안 모색을 가능하게 할 것이다(Liu et al., 2015). 다섯째, 가로망의 공간구조적 특성을 경제적 가치로 측정하기 위해 토지가격에 미치는 영향을 분석한다. 가로망은 인구와 고용의 분포, 토지이용 등 다양한 측면에 영향을 주지만 가로망 접근성에 대한 지불용의액이 토지가격이라는 위치가치에 반영된다는 점에서 이 연구는 토지 가격에 대한 파급효과를 규명하고자 한다. 끝으로, 가로망 공간구조에 대한 풍부한 지리정보자료와 자료의 정량화가 가능한 컴퓨터 기술의 발전으로 인해 새로운 시각으로 도시공간구조를 엄밀하게 분석할 수 있게 되었다.

이 연구의 주요 목적은 서울시 가로망 중심성을 가로망 폭 실측자료에 도시 네트워크 분석 접근방법을 적용하여 측정하고, 토지 가격에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이 연구는 먼저 선행 연구를 검토하고 서울시 가로망 중심성을 진단할 수 있는 총 3개의 대표적인 지표를 선정한다. 그 다음 선정된 지표를 통해 서울시 가로망 중심성을 다양한 네트워크 반영별로 측정한다. 그 다음 다층회귀분석모형을 통해 다양한 사회경제, 입지적 변수를 통제 후 서울시 가로망 중심성이 토지가격에 미치는 영향을 분석한다. 끝으로, 연구 결과를 종합하여 정책적 시사점을 제시한다.

II. 선행연구 검토 및 연구의 차별성

이 연구와 관련된 선행연구는 크게 도시공간구조에 대한 네트워크 접근, 가로망 중심성 연구, 부동산 가격 연구로 나눌 수 있다. 각 연구영역을 검토하고 새로운 도시 네트워크 공간구조 접근방법으로 서울시 가로망 중심성 분석을 시도하고자 한다.

1. 도시공간구조에 대한 네트워크 접근

그동안 도시공간구조에 대한 연구는 단핵도시에서 다핵도시로 진전되었다. 그 후 다핵도시모형의 설명

1) 이 연구에서 공시지가는 토지가격으로 칭한다. 이는 실거래가격은 아니지만 토지가치보다 일반적으로 통용되는 용어이기 때문이다.

력이 한계에 도달하면서 보다 미시공간적 수준의 교통망 특성을 분석하고 도시현상에 대한 효과를 연구하는 방향으로 진화하고 있다. 공간 네트워크 분석은 이미 18세기 무렵부터 시작되어 발전해 왔지만 본격적인 연구가 진행되는 것은 비교적 최근이다 (Crucitti et al., 2006; Jiang and Liu, 2011). 최근 들어 네트워크 분석방법이 주목을 받는 대표적인 배경은 선진국 주요 대도시를 중심으로 토지이용과 교통망의 연계성을 강화하여 보다 지속가능한 도시를 만들어야 한다는 시각이 확산되었기 때문이다. 이에 따라 그간의 연구는 교통 네트워크에 대한 분석과 더불어 건물내 각 공간의 연결성, 도시 가로망에서 유동인구 흐름, 상점과 서비스 업체의 공간 분포 등 매우 다양한 공간 현상을 분석하는 방향으로 확장되고 있다 (Haggett and Chorley, 1969; Hiller et al., 1987; Porta, et al., 2005; Sevtsuk, 2010).

20세기 도시경제학은 도시공간상 가계와 기업의 경제적 입지 패턴을 도시공간구조에 대한 보다 구체적인 분석을 통해 규명하고 있다. 이러한 연구 주제는 입지 분석, 집적, 교통 혼잡 문제, 도시의 형성과정 등을 이해하는 데 필수적이다. 기존 도시연구에서 도시의 미시적 교통망을 분석에서 도외시하여 도시공간구조의 경제적 작동원리를 찾는 데 한계가 많았다. 또한, 개별 가구와 기업은 주어진 교통망과 인근의 토지이용을 고려하여 입지선택을 하므로 기존 연구와 다른 보다 미시적 분석이 필요하였다. 다시 말하면, 도시 내에서 가구와 기업의 입지 선택은 경제활동에 대한 직선거리가 아니라 교통망의 네트워크 거리에 의존한다는 것이다.

도시공간구조에 대한 대표적인 정량적 접근은 크게 접근성 분석(accessibility analysis)과 공간구문론(space syntax)이다. 이 가운데 접근성 분석은 국내외 도시와 교통 분석에서 널리 측정하고 인구, 고용, 경제활동, 토지이용 등에 영향을 주는 변수로 주목받고 있다. 접근성의 의미는 출발지에서 목적지에 쉽게 도달할 수 있는 정도이다. 교통속도 중심의 이동성 패러다임이 교통문제 해결에 한계가 있다는 점에서 학계와 실무는 출발지와 목적지 사이 실질적인 접근 용이성인 접근성에 대한 관심과 활용이 높아지고 있다. 접근성 지수는 크게 Graph Theory and

Spatial Separation Indices, Cumulative Opportunities Indices, Gravity Indices, Utility Indices, Time Space Indices 등 총 5개로 나눌 수 있다 (Bhat et al., 2002).

공간구문론은 자동차 중심의 교통 거리나 비용보다 인간 중심의 시각으로 가로망 구조를 진단하는 접근방법이다. 즉, 인간의 인지력은 일상 생활의 물리적 통행에 대한 경험을 바탕으로 특정 공간에 대한 접근성을 인식하고 입지를 결정하는 경향이 강하다. 초기에 건축 분야에서 사용하기 시작한 공간구문론은 점차 넓은 도시공간구조를 정량화하고 그 파급효과를 분석하는 데 활용되고 있다. 그간의 국내외 실증 연구를 보면, 서울시의 경우 발전 시기별로 인구, 산업, 토지이용의 변화와 도로망 변화 사이에 각기 다른 인과관계가 있음이 밝혀졌다(김정희, 2009). 아울러 공간적으로 미시적 수준에서 도로와 가로망 특성은 개별 필지의 토지이용 변화를 초래하였다(조기혁, 안건혁, 이창무, 2001). 또한, 공간구문론의 정량 지표 가운데 하나인 전체통합도와 깊이는 토지 가격을 바꾸기도 한다. 가로망 접근성의 차이는 토지 가격에 지불용의액으로 반영되는 것이다(임현식, 김영옥, 반영운, 2002). 최근 외국 연구는 공간구문론 측정지표 가운데 평균 깊이와 국부통합도가 인근 지가에 영향을 주었음을 포착하였다(Saeid, 2011).

지금까지 살펴본 접근성 분석과 공간구문론이 방법론상 갖는 한계를 극복할 수 있는 방법은 네트워크로 연결된 건조환경과 토지이용의 특성을 반영하는 것이다. 대표적으로 Lowry(1964)와 Garin(1966)의 연구는 도로망의 공간구조적 특성에 따라 인구밀도와 고용밀도가 달라짐을 확인하였다. Wang(1998)의 연구는 인구밀도와 고용밀도의 도로망에 대한 반응을 앞의 두 연구 방법을 결합하여 분석함으로써 보다 풍부한 논의를 제시하였다. 이러한 방법론을 다양한 분야에 적용한 연구인 Wang과 Guldmann(1996)은 도로망이 토지이용의 공간적 분포에 미치는 영향을 분석하였다. 최근의 연구들은 보다 세련된 개념을 동원하여 현상을 포착하고, 이를 분석에 활용하고 있다. 그 대표적인 예는 시-공간 접근성(space-time accessibility)과 도로망 밀도 지수(road network density index) 연구 (Miller, 1999; Borruso, 2008)와 도로망 또는 가로망

분석에 네트워크 중심성을 적용한 연구이다(Porta et al., 2005). 최근 서울시 가로망 노드에 대한 가중치 없이 가로망 자체를 SDNA(Spatial Design Network Analysis)로 분석한 연구는 인접 중앙성, 사이 중앙성, 단절성, 효율성 지표가 인근 토지 가격 변화에 유의미한 영향을 주고 있음을 밝혔다(강창덕, 2015).²⁾

이상의 연구 결과를 보면, 다음과 같은 연구 흐름상 특징이 있다. 첫째, 단핵 혹은 다핵 도시공간구조 연구에서 공간적으로 미시적인 교통망 혹은 가로망 연구로 연구 대상이 이동하고 있다. 둘째, 방법론적으로 보다 엄밀한 가로망 공간구조 계량화 시도가 계속되고 있다. 공간자료와 계량화 기법의 발전으로 인해 앞으로 가로망 공간구조적 특성을 진단하는 계량분석기법은 더욱 발전할 것이다. 셋째, 가로망 공간구조에 대한 계량화를 통해 얻은 지표는 인구, 고용, 경제활동, 토지이용 등 도시현상의 공간적 분포를 설명하고 예측하는 데 활용하고 있다. 본 연구는 가로망 공간구조 특성을 진단하고 그 파급효과를 분석하는 일련의 연구 흐름을 받아 들여 서울시 가로망 중심성을 진단하고 토지가격을 통해 그 영향을 측정하고자 한다.

2. 가로망 중심성 관련 연구

본 연구과제에서 채택한 가로망 중심성 관련 대표적인 연구를 검토한 후 보다 개선된 연구를 진행하고자 한다. 그간의 연구는 주로 가로망 중심성을 Betweenness, Straightness, Closeness로 측정하고 그 파급효과를 상업과 경제활동의 입지, 주택 가격, 토지이용과 경제활동 밀도 등의 측면에서 분석하였다.

가로망 중심성은 인구와 고용의 공간 분포를 설명하는 요인이다. 미국 루이지애나를 대한 연구는 가로망 중심성이 인구와 고용 밀도에 Betweenness, Straightness, Closeness가 얼마나 영향을 주는 지 측정하였다. 구체적으로 보면, Closeness가 가장 강한 상관관계를 보이고 그 다음으로 Straightness,

Betweenness 순이었다(Wang et al., 2011). 또 다른 연구는 경제활동과 가로망 중심성의 상관성을 분석하였다. 그 결과, 일반 소비자를 대상으로 한 경제활동이 그렇지 않은 경제활동에 비해 상대적으로 가로망 중심성에 민감하게 반응하면서 입지하였다(Porta et al., 2012).

중국 장춘을 사례로 한 연구는 가로망 중심성이 상업 유형별 입지와 어떤 연관성이 있는 지 분석하였다. 연구 결과에 의하면, 가로망 중심성은 상업용 부동산 입지를 설명하는 중요한 변수임을 확인하였다. 각 상업용 입지별로 영향이 다르게 나타났는데 전문점이 가장 민감하였고 그 다음으로 백화점, 슈퍼마켓, 소매점, 가구점, 건축자재소매점 순이었다(Wang et al., 2014).

가로망 중심성은 주택가격에도 큰 영향을 준다. 먼저, 영국 웨일즈 카디프 주택가격에 대한 연구는 가로망 중심성 뿐만 아니라 일반적인 접근성을 측정하는 도심, 공원, 병원에 대한 거리변수를 모두 포함한 모형의 설명력이 높음을 입증하였다(Xiao et al., 2016a). 또 다른 연구는 중국 난징의 주택가격자료를 이용하여 2005년부터 2010년 사이 변화된 가로망 중심성의 변화가 주택 가격에 주는 영향을 살펴 보았다. 일반적으로 가로망 중심성이 높아지면 주택가격이 상승하는 것으로 보나 일부 지역은 교통 정체 심화로 인해 오히려 주택 가격이 하락하는 경향을 보였다(Xiao et al., 2016a). 시계열적으로 보면 개선된 가로망 중심성은 새로운 교통수요를 높이기 때문이다.

비교적 최근인 2014년과 2015년 가로망 중심성 연구는 토지이용 밀도에 대한 영향 연구로 진전되었다. 먼저, 스웨덴에 대한 연구는 전체 도시를 네트워크 반경으로 설정한 글로벌 중심성은 상업, 산업, 공공 서비스 지역밀도와 상관성이 높은 반면, 국지적인 네트워크 반경으로 측정한 로컬 중심성은 개발제한구역에 인접한 저밀도 주거용 밀도와 강한 상관관계를 보였음을 입증하였다(Rui and Ban, 2014). 한편, 중국 우한의 경우 실측자료가

2) 강창덕(2015) 연구는 가로망 자체의 구조적 특성을 사이 중앙성, 인접 중앙성, 단절성, 효율성 측면에서 측정하고 토지가격에 대한 효과를 분석한 반면, 이 연구는 세 개의 중심성(Betweenness, Closeness, Straightness)을 가로망의 구조적 특성과 가로망 폭을 모두 고려하여 계산하고 이를 표준화한 후 토지 가격에 대한 효과를 분석했다는 차이점이 있다.

아닌 가로망 위계별로 가중치를 두어 가로망 중심성을 측정하고 토지이용 밀도와 상관관계를 규명하였다(Lui et al., 2015). 이 논문의 기여는 그 상관관계가 토지이용별, 공간 분포별로 다르게 나타났음을 밝혔다라는 점이다.

가로망 중심성에 대한 대부분 연구는 가로망 노드를 기본 단위로 하여 Betweenness, Straightness, Closeness 등 총 3개의 중심성을 측정하고 그 영향을 검증하였다. 즉, 가로망의 각 노드를 같은 단위로 보고 계산했다는 한계가 있다. 이에 따라 가로망의 공간적 위상을 반영하지 못했다. 현재까지 하나의 연구만 가로망 위계를 반영하도록 각 노드에 가중치를 두어 계산하고 토지이용과 관련성을 규명하였다(Lui et al., 2015). 본 연구는 이러한 기존 연구의 한계를 개선하기 위해 서울시 가로망 폭에 대한 실측 자료를 이용한 각 노드별로 연결된 가로망의 폭의 합을 계산하여 가로망 중심성을 측정하였다.

3. 부동산 가격 연구

이 연구의 주제인 가로망 중심성의 부동산 가격 효과를 분석하기 위해 우선 기존의 부동산 가격 연구를 살펴보았다. 도시와 부동산연구에서 부동산 가격은 부동산 시장을 진단하고, 공공정책의 공간적 효과를 측정하는 데 널리 사용되는 지표이다.

부동산 가격에 대한 연구는 많지만 도시공간구조적 특성의 부동산 가격효과에 대한 연구에 한정하여 살펴보고자 한다. 기존 연구에서 살펴본 부동산 가격의 주요 결정요인은 인근의 부동산 개발, 인구 및 가구, 주택, 교통, 학교 접근성 특성 등으로 요약할 수 있다. 부동산 개발과 부동산 가격의 연관성을 보면, 첫째, 더 좋은 입지를 차지하려는 다양한 용도간 경쟁으로 인해 상업용 토지나 업무용 토지 주변 주거용 토지 가격은 상대적으로 높다(Cao and Cory, 1982). 또한, 부동산 개발이 집중되거나 상업용 부동산 개발이 활발한 지역은 부동산에 대한 개발수요가 많아 전반적으로 부동산 가격이 비싸다(Pozdena, 1988). 둘째, 인근 지역 부동산 개발의 가격효과는 직접적인 경우보다는 다양한 개입변수에 의해 달라지는 비선형적(Non-Linear)

으로 나타난다(Grether and Mieszkowski, 1980 ; Li and Brown, 1980). 셋째, 소득이 높아지고 다양한 입지 쾌적성에 대한 선호가 강해지면서 다른 지역보다 좋은 어메니티를 갖춘 지역의 부동산 가격이 높다(Song and Knaap, 2004). 끝으로, 도로, 공원 등과 같은 공공투자사업과 건축물 디자인의 심미도는 부동산 가격의 프리미엄으로 나타난다(Kain and Quigley, 1970 ; Cheshire and Sheppard, 1995 ; Kang and Cervero, 2009 ; Vandell and Lane, 1989).

부동산 수요의 근본요인으로 논의되고 있는 인구 및 가구가 많지만 부동산 공급이 원활하지 않은 지역의 부동산 가격은 높아진다(McDonald and McMillen, 2007 ; Brueggeman and Fisher, 2008). 부동산 수요와 공급 사이의 상호 관계는 단기와 장기에 다르게 나타난다. 단기적으로 급속한 수요 증가는 가격 상승을 초래하지만 장기적으로 가격 상승폭은 작아질 가능성이 높다(Miller and Geltner, 2005).

여기서 제시한 다양한 변수 외에 접근성이 좋고 지역경제 성장률이 높은 지역에 부동산 수요가 집중되면서 결국 부동산 가격의 상승을 초래한다(김경민, 이금숙, 송예나, 2010). 또한, 부동산 가격의 변화 요인으로 가구의 인구사회적 특성과 소득 수준, 좋은 학교에 대한 접근성, 향후 재건축 가능성(Mankiew and Weil, 1989 ; 이주형, 1989 ; 오규식, 이왕기, 1997 ; 이상경, 신우진, 2001 ; 이정민, 2004), 한강과 같은 자연 어메니티에 대한 접근성, 환경오염, 자연녹지와 조망(최내영, 2003 ; 허세림, 1994; 배수진, 2000 ; 윤정중, 유완, 2001), 대중교통 서비스 규모와 수준 (Giuliano, 2004 ; O'Sullivan, 2009), 지하철에 대한 접근성(Voith, 1993 ; Cervero and Landis, 1997), 대중교통 개선책으로 운영중인 버스중앙차로의 부동산 가격 효과 (Rodriguez and Targa, 2004 ; Cervero and Kang, 2011), 초중고 등 각급 학교에 대한 접근성과 입시 성과(김경민, 이양원, 2007) 등이 있다.

전반적으로 부동산 가격 연구에서 가로망 노드의 연결된 가로망 폭 자료를 통해 가로망 중심성을 측정하고 그 영향을 부동산 가격으로 측정하는 연구는 거의 없다. 이미 제시한 바와 같이 부동산 가격

은 부동산 자체의 특성, 주변의 토지이용 특성, 그리고 근처 가로망의 공간구조적 특성에 의해 크게 달라진다는 점에서 보다 개선된 방법으로 가로망 중심성을 측정하고 다른 설명변수를 통제하여 가로망 중심성의 영향을 분석하면 도시공간구조, 부동산 가격, 감정평가 부문에 새로운 시각과 연구 영역을 제공할 것이다.

4. 연구의 차별성

이 연구의 차별성은 첫째, 기존의 가로망 공간구조 분석에서 노드의 특성을 고려하지 않았지만 이 연구는 각 노드에서 연결된 가로망의 폭을 합하여 분석하였다. 특히, 가로망 분류상 규정된 가로망 폭으로 계산한 것이 아니라 서울시 가로망 폭에 대한 실측 자료를 활용했다는 차이점이 있다. 둘째, 그동안 가로망 중심성 연구는 대체로 가로망 중심성을 Kernel Density 방법을 통해 그리드 수준으로 저장한 후 경제활동 밀도, 토지이용 밀도 등에 대한 상관관계(correlation) 중심으로 보았지만 이 연구는 토지 가격에 대해 영향을 줄 수 있는 다양한 독립변수를 통제하면서 가로망 중심성의 효과를 규명한다. 셋째, 기존 연구는 가로망 연결 규모가 노드의 빈도에 따라 다르게 가로망 중심성 계산에 반영될 수 있다는 점을 놓치고 있으나 이 연구는 가로망 중심성 3개의 표준화 계산을 통해 기존 연구의 한계를 극복하고자 한다. 넷째, 가로망 네트워크 반경은 300m, 500m, 1km, 3km, 5km로 각기 다르게 설정하여 네트워크 반경별 차이점을 전체 토지, 주거용 토지, 비주거용 토지로 나누어 비교하고자 한다.

III. 연구 자료와 연구 방법

1. 연구 자료와 변수 구성

이 연구의 주요 자료는 2013년 서울시 표준지 공시지가 자료, 2013년 서울시 도로와 가로망 자료, 2010년 서울시 집계구 자료, 기타 서울시 공간

정보 자료이다.³⁾ 2013년 기준 서울시 도로와 가로망 자료는 서울시 도로와 가로망을 모두 포함한 공간정보이다. 이 자료는 각 도로와 가로망의 실측된 폭(Width) 정보가 들어 있다. 따라서 이 연구에서 도로와 가로망 지리정보와 더불어 실측된 가로망 폭을 이용할 것이다. 토지가격 자료는 연구자가 확보한 2013년 서울시 표준지 공시지가 자료를 사용할 것이다. 이 연구에서 공시지가 자료를 사용하는 이유는 두 가지이다. 첫째, 서울시 가로망 폭을 고려하여 측정한 가로망 중심성이 각 토지이용별 효과에 대한 비교 분석이 가능하다. 현재 주소지별 토지 실거래 가격에 대한 자료는 얻기 어렵기 때문에 공시지가 자료는 용도별 파급효과 비교에 적합하다. 참고로 국토부 토지 실거래가 조회에서 주소는 읍면동 수준으로 제공된다. 둘째, 공시지가 자료는 상대적으로 거시경제변동에 대한 민감성이 적기 때문에 공간적 특성인 가로망 중심성의 부동산 가격 효과를 측정하는 데 적합하다고 판단하여 사용하고자 한다.

이 연구는 토지 가격에 영향을 미치는 인구와 고용밀도 자료를 얻기 위해 2010년 서울시 집계구 통계자료를 사용할 것이다. 이 자료는 분석대상인 2013년 토지가격 자료에 시기적으로 가장 가까운 공간자료이다. 이를 요약하면 <표 1>과 같다.

이 연구의 변수 구성에서 중심성을 연구자가 직접 측정하였고 개발밀도와 토지이용 혼합도는 2009년 서울시 재산세 자료를 활용하여 측정하였다. 토지이용 혼합도는 일반적으로 사용하는 엔트로피 지수로 계산하였다. 개별 토지 특성은 공시지가자료상 용도를 더미 변수로 처리하고 면적은 그대로 이용하였다. 평지 변수는 평지인 토지는 1, 그 외는 0값을 넣어 더미변수로 만들었다. 형상은 정방형은 1, 그 외는 0으로 처리하였다. 아울러 도로 입면은 광대세각, 광대소각, 광대한면의 경우 1, 그 외는 0으로 변수화하였다. 교통입지 특성은 서울시, 통계청, 행정자치부에서 얻은 도심, 부도심, 도로, 지하철역, 버스 정류장, 가로망, 상권, 학교, 공원에 대한 직선거리를 측정하여 분석하였다.

3) 이 연구는 가로망 연결과 폭에 대한 정확한 정보를 2013년 서울시 도로와 가로망 자료에서 얻을 수 있으므로 이 자료와 시기가 맞는 2013년 표준지 공시지가 자료를 통해 분석하였다.

〈표 1〉 연구 자료의 출처와 주요 내용

자료	출처	주요 내용
서울시 표준지 공시지가 자료	국토교통부, 2013년	주소, 가격, 용도
서울시 도로 및 가로망 자료	행정자치부, 2013년	위치, 도로 구분, 도로 폭
서울시 집계구 조사 자료	통계청, 2010년	인구, 고용
서울시 지하철역	통계청 통계지리정보서비스	지하철역 위치
서울시 버스정류장	서울시 TOPIS	버스정류장 위치
서울시 상권	서울시	주요 상권 위치
서울시 시청, 부도심	통계청 통계지리정보서비스	서울시 도시기본계획 참고 후 위치 정보 사용
서울시 학교, 공원	행정자치부	학교와 공원의 위치

2. 연구 방법

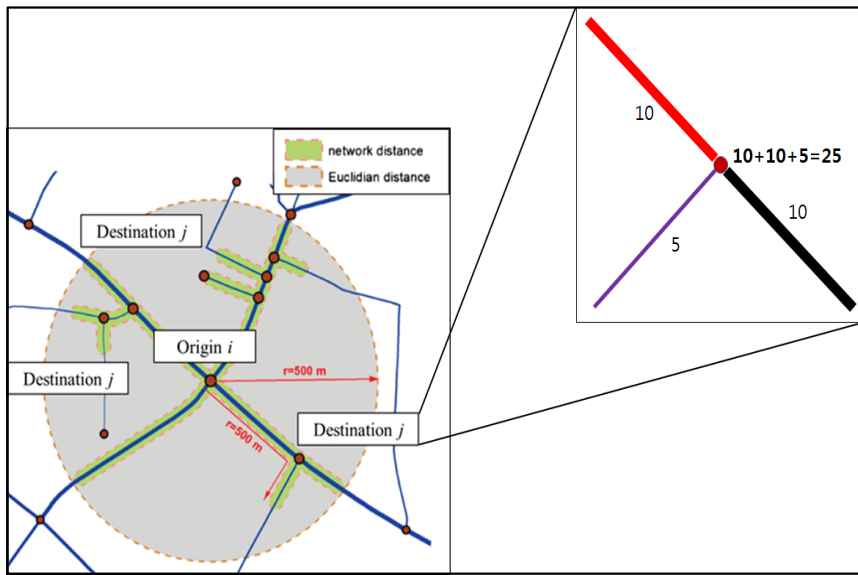
이 연구는 도시 네트워크 분석을 통해 가로망 중심성을 측정하고, 다층회귀분석모형을 통해 토지가격에 대한 효과를 분석한다. 가로망 중심성은 일반적인 지표인 Betweenness, Straightness, Closeness로 측정하되 자료의 공간적 특성을 감안하여 표준화된 3개의 지표로 전환하여 모형에서 독립변수로 삼는다. 다층회귀분석모형은 각 변수의 집계단위가 다르다는 점을 착안하여 채택하였다.

(1) 도시 네트워크 분석 접근방법

도시 네트워크 분석 방법을 적용하여 서울시 가로망 중심성을 총 3개의 지표로 진단할 것이다. 이 연구에서 채택한 이 접근법은 크게 두 가지 측면에서 기존 접근방법을 개선하였다. 첫째, 가로망 공간 구조를 가로망 자체뿐만 아니라 각 노드의 연결된 가로망 폭까지 모두 고려하여 그 중심성을 측정한다. 기존 연구는 가로망의 노드를 같은 존재로 보고 진단하였다. 그러나 가로망 위 각 노드는 연결된 가로망 폭이 다르므로 그 위계성 또는 차이점을 감안한 새로운 가로망 중심성 측정이 필요하다. 둘째, 가로망의 위계구조를 반영한 이 연구의 가로망 중심성

은 보다 현실적이고 입체적인 가로망 중심성을 측정할 수 있다는 장점이 있다. 이는 앞으로 가로망의 위계구조를 감안한 보다 실효성있는 도시정책, 도시디자인을 모색하는 데 기여할 것이다.

〈그림 1〉은 이 연구에서 규정한 가로망 중심성 개념과 노드별로 계산한 연결된 가로망 폭의 계산방법을 제시하고 있다. 이미 앞에서 밝힌 바와 같이, 이 연구의 방법은 각 노드를 출발점과 도착점을 설정하고, 연결된 가로망 네트워크상 이들간 직선거리와 네트워크 거리를 3개의 가로망 중심성 계산에 사용하였다. 〈그림 1〉은 모두 가로망의 노드인 출발점(Origin) i 를 중심으로 여러 도착점(Destination) 노드 j 까지 네트워크 거리와 직선거리를 각각 500m로 설정한 모습이다. 이 연구에서 출발점은 개별 토지 위치이며, 도착점은 네트워크 반경내 가로망 노드이다. 이 연구에서는 노드의 연결 규모를 반영하지 못하는 기존 연구를 한계를 개선하기 위해 도착점의 연결 규모를 실측자료를 통해 계산하였다. 그림에서는 가로망 폭이 각각 5미터 한 개와 10미터 두 개가 연결된 노드의 연결 규모 값을 $25(10+10+5)$ 로 계산함을 보여주고 있다. 여기서 계산된 25가 곧 “연결된 가로망 폭”이며 가로망 중심성 3개 지표 계산시 가중치(해당 노드의 특성)로 사용된다.



<그림 1> 가로망 중심성과 노드별 연결된 가로망 폭 계산

출처 : Liu et al. (2015)를 연구자가 일부 수정

가로망 공간구조의 중심성 분석을 위한 3개 지표와 표준화된 3개 지표의 의미를 살피고 그 계산식을 소개하면 다음과 같다(City Form Lab, 2013).

① Betweenness

Betweenness는 전체 교통 네트워크에서 특정 지점의 중요성을 측정하는 지표이다. 이를 위해 교통 네트워크에 있는 모든 노드 지점쌍의 최단경로와 그 최단경로가 특정 지점을 지나가는 비율을 목적지 노드 특성의 합에 곱하여 계산한다. 예를 들어, 이 연구의 경우 각 노드에 저장된 가중치가 연결된 가로망 폭이므로 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 (1)과 같다.

$$Betweenness[i]^r = \sum_{j,k \in G - \{i\}, d[j,k] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}} \cdot W[j] \quad (1)$$

이 식에서 $n_{jk}[i]$ 는 특정 노드 i 를 경유하는 노드 j 와

k 의 최단 경로의 수이며, n_{jk} 는 노드 j 와 k 의 최단 경로의 총수이다. 여기서 계산한 값의 비율을 목적지 노드의 연결된 가로망 폭인 $W[j]$ 를 곱해 Betweenness를 측정한다. Betweenness는 특정 지점 i 를 지나가는 최단경로뿐만 아니라 목적지의 가중치를 모두 고려할 수 있다.

② Straightness

Straightness는 특정 노드에서 다른 모든 노드까지의 최단거리 정도를 나타낸다는 점에서 직선거리와 비슷하다(Porta et al., 2005). 그러나 이 지표의 특징은 직선거리와 더불어 가로망의 기하학적 제약 조건(네트워크 특성)을 고려한다는 점이다. 일정한 반경내 Straightness는 두 노드간 직선거리를 두 노드간 네트워크 거리로 나눈값으로 각 목적지 노드의 매력도(연결된 가로망 폭)에 곱해 계산한다. 이를 개념적으로 풀어 보면, 두 지점간 거리가 멀어질수록 네트워크 거리와 직선거리의 차이가 감소함을 반영한 지표이다. 이는 다음 식 (2)와 같다. 이 중심성은 그 개념상 가시성(Visibility)을 의미하기도 한다. 즉, 출발점과 도착점 사이의 네트워크 거리가 직선거리에 가

깝고 도착점의 가로망 폭이 클수록 그 값이 커지기 때문이다.

$$Straightness[i]^r = \sum_{j \in G-\{i\}, d[i,j] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]} \cdot W[j] \quad (2)$$

이 식에서 G는 앞의 지표식과 마찬가지로 노드 i 지점에서 반경 r 이내에 도달할 수 있는 다른 노드의 수를 말한다. $\delta[i,j]$ 는 출발지 노드 i 와 목적지 노드 j 사이의 직선 거리를 의미한다. $d[i,j]$ 는 출발지 노드 i 와 목적지 노드 j 사이의 최단 네트워크 거리이다. $W(j)$ 는 목적지 노드 j 에 저장된 연결된 가로망 폭이다.

③ Closeness

Closeness는 일정 반경내에서 한 노드에서 다른 노드간 최단 네트워크 거리와 목적지의 매력도를 곱한 값의 합을 역수로 계산한다. 이는 일정한 거리 임계치내에서 한 노드를 중심으로 도달가능한 다른 노드에 얼마나 많은 연결된 가로망 폭이 있는 지 측정하는 지표이다. 이를 표현하면 다음 식 (3)과 같다.

$$Closeness[i]^r = \frac{1}{\sum_{j \in G-\{i\}, d[i,j] \leq r} (d[i,j] \cdot W[j])} \quad (3)$$

이 식에서 G는 앞의 지표식과 마찬가지로 i 지점에서 반경 r 이내에 도달할 수 있는 다른 노드의 수를 말하며, $d[i,j]$ 는 출발지 노드 i 와 목적지 노드 j 사이의 최단 네트워크 거리이다. $W(j)$ 는 목적지 노드 j 에 저장된 연결된 가로망 폭이다. 여기서 주의할 점은 Closeness값은 출발지와 도착지간 최대 거리는 네트워크 반경이기 때문에 가중치가 클수록 그 값이 작아진다. 따라서 분석 결과 나온 계수가 음인 경우 양으로 해석해야 한다.

④ 표준화한 중심성 지표

이미 밝힌 바와 같이 이 연구는 서울시 가로망의 각 노드를 각각 출발점과 도착점으로 삼아 3개의 중심성 지표를 계산한다. 또한, 각 노드의 연결 규모를 계산하여 노드의 특성으로 계산식에 반영한다. 이러한 연구방법과 자료의 특성상 가로망 폭은 작지만 노드가 많은 지역은 가로망 폭이 넓고 노드가 적은 지역에 비해 가로망 중심성이 높아지는 왜곡현상이 일어날 수 있다. 따라서 앞의 3개의 중심성 지표 개념을 응용하여 아래 세 개의 식(4), (5), (6) 과 같이 각 중심성 지표를 표준화하였다(City Form Lab, 2013; Liu et al., 2015). 계산 결과 표준 Betweenness와 Straightness의 값은 0에서 1 사이지만, Closeness는 반드시 0에서 1사이 값을 갖지는 않는다.

$$\begin{aligned} & \text{betweenness}(i)_{\text{norm}}^r \\ &= \frac{\sum_{j,k \in G-\{i\}, d(i,j) \leq r} \left[\frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}} \times W(j) \right]}{\left[\sum_{j \in G-\{i\}, d(i,j) \leq r} W(j) - 1 \right] \sum_{j \in G-\{i\}, d(i,j) \leq r} W(j)} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\text{straightness}(i)_{\text{norm}}^r = \frac{\sum_{j \in G - \{i\}, d(i,j) \leq r} \left[\frac{d^{\text{Eucl}}(i,j)}{d(i,j)} \times W(j) \right]}{\sum_{j \in G - \{i\}, d(i,j) \leq r} W(j)} \quad (5)$$

$$\text{closeness}(i)_{\text{norm}}^r = \frac{\sum_{j \in G - \{i\}, d(i,j) \leq r} W(j)}{\sum_{j \in G - \{i\}, d(i,j) \leq r} [d(i,j) \times W(j)]} \quad (6)$$

(2) 다층회귀분석모형

서울시 가로망 중심성이 부동산 가격에 미치는 영향은 다층회귀분석모형을 통해 포착하고자 한다. 일반적으로 자료의 구조를 검토하여 분석방법을 결정한다. 이 연구의 자료는 공간적으로 크게 필지 수준과 집계구 수준으로 나뉜다. 토지가격과 주요 지점에 대한 직선거리 등 개별 토지의 특성은 필지 단위로 수집되며, 인구와 고용밀도와 같은 사회경제적 특성은 집계구 단위로 계산한다. 따라서 독립변수와 종속변수의 분석 단위가 서로 다른 자료를 분석할 때 적합한 방법을 선택해야 한다. 이 연구는 다양한 분석방법 가운데 다층회귀분석모형을 적용할 것이다. 이 모형은 잔차의 무작위 분포를 가정하는 최소자승회귀모형 (Ordinary Least Square Model)에 비해 상대적으로 계수 추정치의 오류를 피할 수 있는 대표적인 방법이다.

간략하게 구상하고 있는 다층회귀분석모형을 소개해 보면, 첫째, 이 연구에서 미시 수준의 자료는 토지 가격, 도시 가로망 중심성 3개의 지표, 토지 특성, 교통 및 입지 특성 등 각 필지 단위의 정보이다. 반면, 집계구 단위의 자료는 인구, 고용, 부동산 개발 특성이다. 둘째, 다층모형은 단순히 자료의

집계 단위가 다르다고 해서 무조건 적용하는 방법은 아니다. 따라서 통상 집단내상관 (Intraclass Correlation, 이하 ICC) 테스트를 한 후에 그 값이 0.05보다 클 경우 다층 모형을 채택한다. 여기서 ICC는 집단내 분산을 집단간 분산으로 나눈 값이다 (Rabe-Hesketh and Skrondal, 2008). 이 연구에서 집단은 인구주택총조사의 서울시 집계구이다. 셋째, 이 연구에서 사용한 다층회귀분석모형의 추정식은 다음 식 (7)과 같이 표현할 수 있다. 이 식에서 P_{ij} 는 토지가격이며, R_{ij} 는 가로망 중심성 (3개 지표) 특성, L_{ij} 는 개발밀도와 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 잔차를 나타낸다 (Hox, 2002). 또한, 이 연구는 다양한 모형을 시도한 결과, 명목변수를 제외한 독립변수와 종속변수를 모두 로그 전환한 후 분석하는 로그-로그 모형을 채택하였다. 변수의 로그 전환 부분에 대한 일반적인 합의는 없지만 로그-로그모형의 장점은 계수를 탄력성 개념으로 해석할 수 있다는 것이다. 아울러 이론적, 경험적 연구 결과에 비추어 로그-로그 모형의 해석이 적합하다고 판단하였다.

$$P_{ij} = \gamma_{00} + \beta_1 R_{ij} + \beta_2 L_{ij} + \beta_3 S_{ij} + \beta_4 T_{ij} + \beta_5 H_{ij} + \mu_{0j} + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

IV. 실증분석 결과

1. 실증분석 개요

이 연구의 실증분석에서 핵심은 가로망 폭을 가중치로 하여 측정된 3개의 가로망 중심성이 전체 토지, 주거용 토지, 비주거용 토지에 미친 영향을 다중회귀분석모형으로 측정하는 것이다. <표 2>, <표 3>, <표 4>는 분석결과를 집계한 것이다.⁴⁾ 이 연구는 네트워크 반경을 300m, 500m, 1km, 3km, 5km 등으로 나누어 측정하고 비교 분석한 각 모형은 전체적으로 집단내 상관(ICC)값이 0.05보다 크므로 다중회귀모형의 사용이 적합하였다. 더불어 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, VIF)가 최대 4이므로 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다. 모형의 결정계수를 보면, 각 네트워크 반경별 전체모형 모두 집계구내 0.73, 집계구간 0.61, 전체 0.73이다. 주거용 모형의 결정계수는 집계구내 0.25~0.26, 집계구간 0.29, 전체 0.29이며, 비주거용 모형의 결정계수는 집계구내 0.49~0.50, 집계구간 0.36~0.37, 전체 0.53이다.

2. 가로망 중심성의 토지가격 효과

이 연구의 핵심 가설인 가로망 중심성의 토지가격 효과를 명확히 제시하기 위해 각 모형에서 가로망 중심성의 계수만 추출하여 그림으로 표현하였다. 전체적으로 보면, 비주거용 토지, 전체 토지, 주거용 토지 순으로 가로망 효과가 크게 나타났다. 이는 비주거용 토지가 가로망의 구조와 가로망 폭에 민감하게 반응함을 의미한다.

주거용 토지와 비주거용 토지를 모두 포함한 전체 모형에서 가로망 중심성의 토지가격효과는 <그림 2>와 같다. 먼저, Betweenness의 경우 300m 네트워크 반경에서 통계적 유의미성이 없지만 500m에서 5km 네트워크 반경으로 가면서 점차 높아지는 패턴을 보이고 있다. Straightness는 상대적으로 미약하지만 300m에서 1km반경까지 비

슷한 수준의 영향을 주고 있다. 특이점은 3km반경에서 통계적으로 유의미하지 않고 5km반경에서는 부정적 효과가 나타났다는 점이다. Closeness의 경우 1km반경 까지 효과가 높아지다가 5km반경에서는 부정적 효과를 보였다. 이러한 연구 결과를 보면, 대체로 출발지에서 도착지로 이동하는 동안 거쳐 가는 빈도가 높고 도착지점 가로망의 폭이 넓은 지역에 위치한 토지가격의 가격이 높았다. 또한, 출발지와 도착지사이의 가로망이 직선에 가까운 지를 보여주는 Straightness는 1km반경이내에서만 토지가격을 높였다. 국지적인 가시성이 토지 가격에 프리미엄을 발생시키고 있음을 확인하였다. 끝으로 넓은 가로망이 토지에 가까이 있으면 프리미엄이 발생하지만 그 가로망에서 멀리 떨어져 있는 토지가격은 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 이와 같은 가로망 중심성의 전체 토지에 대한 효과는 주거용 토지와 비주거용 토지로 구분하여 보면 보다 구체적으로 이해할 수 있을 것이다.

<그림 3>은 주거용 토지를 대상으로 한 분석 결과이다. 이 결과는 앞의 전체모형의 경우와 사뭇 다르다. 먼저, Betweenness는 1km에서 5km반경으로 갈수록 다소 높아졌다. Straightness는 1km반경까지 비교적 약한 프리미엄을 발생시키지만 5km반경에서는 약한 할인 효과를 초래하였다. Closeness는 1km반경에서는 토지가격을 높였지만 5km반경에서는 부의 효과를 냈다. 이러한 결과는 주거용 토지의 경우 가로망이 직선에 가까운 것보다는 폭이 넓은 가로망이 1km 이내에 가까이 있는 것이 중요하며 경유빈도가 큰 곳의 주거용 토지는 1~5km 반경에서만 토지 가격을 높이는 패턴이 나타났다. 이러한 연구 결과는 주거용 토지는 가로망으로부터 멀리까지 분포하는 것이 특징이므로 각 토지에서 가로망에 도달하는 데 경유하는 정도가 높은 토지는 비주거용 토지보다 약하기는 하지만 위치상 프리미엄을 얻고 있음을 알 수 있다. 결국 주거용 토지는 폭이 넓은 가로망이 근처에 가까이 있으면 크게 반응하고 있다. 그 공간적 범위가 1km반경에 이르는 것은 가로망으로부터 멀리까지 주거용 토지가 분포하는 현실을 반영하

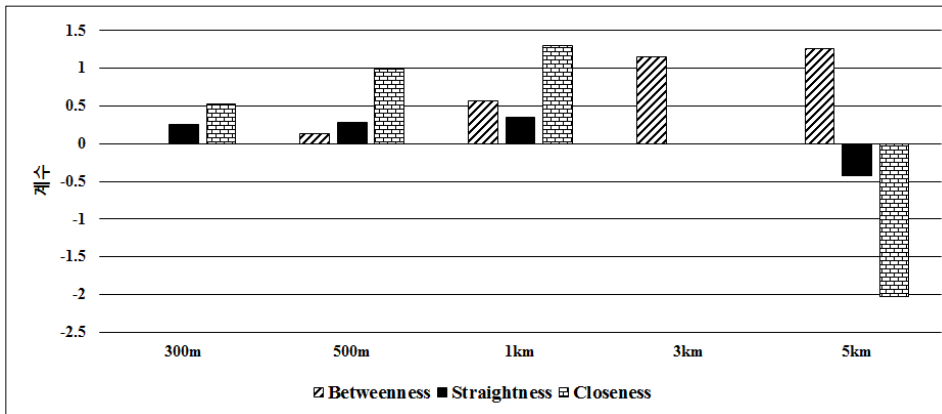
4) 연구논문 지면 제약으로 인해 기술통계와 500m와 1km 이외의 네트워크 반경을 적용한 분석 결과는 제시하지 않았다.

는 것이다. 이러한 연구 결과는 가로망 폭은 고려하지 않았지만 가로망에 대한 Closeness가 주택 가격을 높인다는 기존 연구가 확인한 바와 같다 (Xiao et al., 2016a).

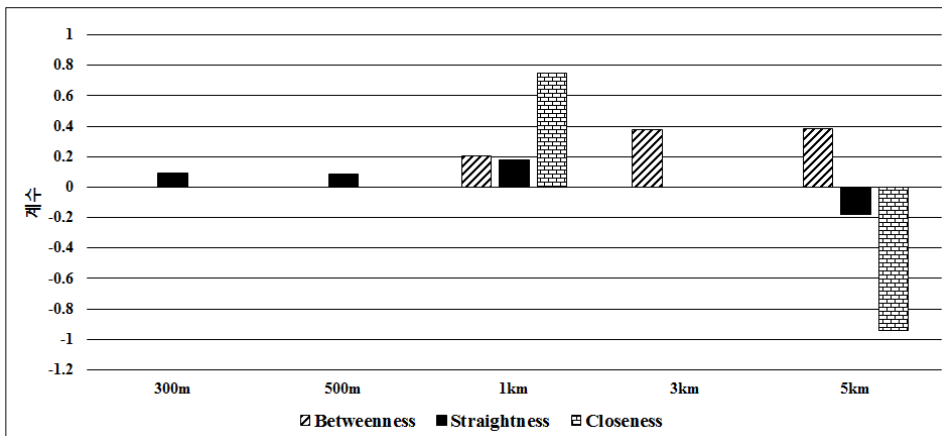
<그림 4>에서 보여주고 있는 비주거용 토지가격에 대한 가로망 중심성 효과는 앞의 전체모형과 주거용 토지의 경우보다 크게 나타났다. 먼저, Betweenness는 300m반경에서 비주거용 토지가격을 낮추었지만 1km에서 5km 반경에서는 크게 토지가격을 높였다. 특히, 3km에서 가장 높다가 5km에서 다시 낮아졌다. 다른 곳에 가는 동안 경유빈도가 높고 도달 지점의 가로망 폭이 넓을수록 비주거용 토지 가격에 프리미엄이 발생하는 것이다. 또한, 가시성을 반영하는 Straightness는 1km반경 내에서 가격을 높였다. 이는 상대적으로 국지적 가시성이 높은 가로망구조와 넓은 가로망 폭이 많은 지역의 비주거용 토지 가격이 높음을 의미한다. 끝으로 Closeness는 전체 반경에서 유의미하지 않았다. Betweenness와 Straightness의 설명력이 상대적으로 높아서 나온 결과로 보인다. 이 결과를 앞의 주거용 토지에 대한 효과와 비교해 본다면, 비주거용 토지는 가시성을 의미하는 Straightness와 경유빈도가 높은 지점에서 프리미엄을 얻게 되는 것이다. 이러한 결과는 비록 가로망 폭을 고려한 분석은 아니지만 많은 사람이 경유하는 지점과 가시성이 높은 지점에 상업용 부동산이 입지하는 경향이 강하다는 결론과 유사하다 (Porta et al., 2009; Wang et al., 2014).

가로망 중심성 이외의 통제변수도 토지 가격에 일정한 영향을 주고 있다. 우선 부동산 개발밀도가 높고 토지이용 혼합도가 낮은 장소의 토지 가격이 높았다. 개발밀도가 높은 지역은 대체로 입지 선호가 강한 지역이며 혼합도가 낮다면 단일 용도 입지가 강한 지역이다. 단일 용도 개발이 강한 지역의 경우 토지이용 집적의 편리성과 기회가 낮아 입지적으로 유리하지 않기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 보인다. 개별 토지용도로 보면, 다세대 주택 대비 아파트 프리미엄이 가장 높았으며 업무용 토지 대비 상업용 토지 프리미엄은 낮았다. 대체로 서울시 토지 시장에서 아파트 용도와 업무용 토

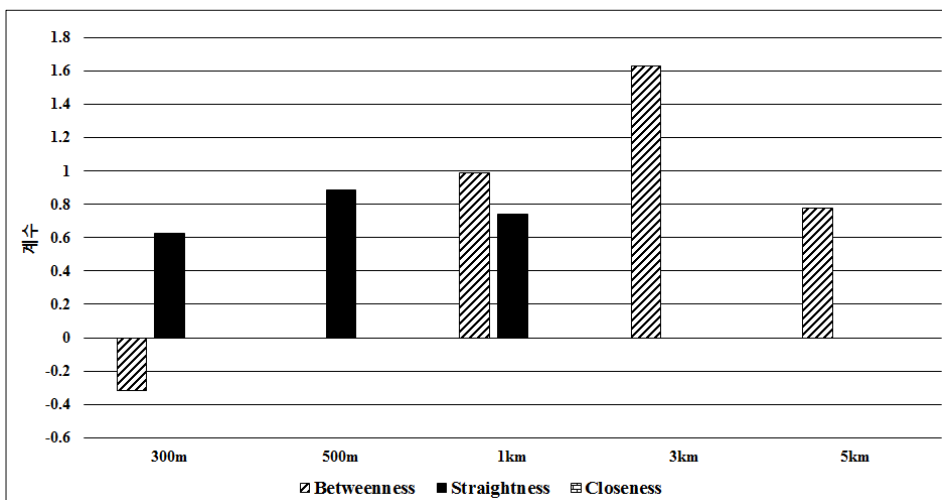
지 용도는 다른 용도에 비해 고평가되고 있는 현실을 반영한 것으로 보인다. 면적이 넓고 평지이며 넓은 도로에 입면한 토지 가격은 높았지만 형상은 통계적으로 유의미하지 않았다. 적어도 이 연구에서 토지 가격에 유리한 요소는 면적, 평지, 넓은 도로 접근으로 나타났다. 교통입지 측면에서 시청, 부도심, 도로, 가로망, 지하철역, 버스 정류장, 상권, 공원으로부터 멀어질수록 토지 가격은 하락하는 패턴을 보였지만 학교에 대한 거리는 통계적으로 유의미하지 않았다. 이는 도심, 부도심, 대중교통 결절점, 주요 상권과 어메니티에 대한 접근성이 높으면 토지가격이 높고, 멀어지면 낮아지는 패턴을 보여준다. 주거용 토지의 경우 학교에 대한 거리는 다른 변수에 비해 영향력이 적은 것으로 보인다. 반면, 비주거용 토지의 경우 학교에서 멀수록 토지 가격이 높았다. 일반적으로 비주거용 토지는 학교에서 멀리 자리잡는 입지 특성 때문이다. 끝으로 고용밀도가 높은 곳의 토지 가격은 높았지만 인구 밀도는 정반대의 효과를 보였다. 일반적으로 고용밀도가 높은 지역은 입찰지대곡선상 높은 지대와 지가를 형성하고 있으므로 이 지역에 있는 토지는 높은 가격을 보이고 인구 밀도가 높은 지역은 그 반대의 경향성을 나타냈다.



<그림 2> 가로망 중심성의 토지가격 효과 (전체 모형)



<그림 3> 가로망 중심성의 토지가격 효과 (주거용 토지 모형)



<그림 4> 가로망 중심성의 토지가격 효과 (비주거용 토지 모형)

<표 2> 가로망 중심성의 전체 토지가격 효과

변수	모형 1 (500m)			모형 2 (1km)		
	계수	P > Z	VIF	계수	P > Z	VIF
Fixed Effects						
가로망 네트워크 특성						
중심성						
표준 Betweenness	0.127	0.01	1.20	0.561	0.00	1.16
표준 Straightness	0.282	0.00	1.43	0.346	0.00	1.74
표준 Closeness	-0.995	0.00	1.21	-1.297	0.00	1.40
개발 밀도						
log(부동산 개발 밀도)	0.075	0.00	1.39	0.075	0.00	1.39
토지이용 혼합						
토지이용 혼합도	-0.075	0.00	1.85	-0.079	0.00	1.85
개별 토지 특성						
단독주택	-0.015	0.01	3.13	-0.015	0.01	3.13
연립주택	0.057	0.00	1.15	0.054	0.00	1.15
아파트	0.102	0.00	1.26	0.102	0.00	1.26
상업	0.489	0.00	3.99	0.487	0.00	4.00
업무	0.525	0.00	1.78	0.523	0.00	1.78
주상복합	0.251	0.00	2.54	0.249	0.00	2.54
면적	0.063	0.00	1.70	0.064	0.00	1.70
평지	0.052	0.00	1.38	0.048	0.00	1.41
형상	0.000	0.95	1.03	0.000	0.96	1.03
도로입면	0.305	0.00	1.66	0.305	0.00	1.67
교통입지 특성						
log(시청에서 거리)	-0.087	0.00	1.83	-0.087	0.00	1.85
log(부도심에서 거리)	-0.068	0.00	1.11	-0.070	0.00	1.12
log(도로에 대한 거리)	-0.017	0.00	1.08	-0.017	0.00	1.08
log(지하철역에 대한 거리)	-0.088	0.00	1.40	-0.087	0.00	1.41
log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.030	0.00	1.22	-0.028	0.00	1.23
log(가로망에 대한 거리)	-0.033	0.00	1.19	-0.034	0.00	1.19
log(상권에 대한 거리)	-0.110	0.00	1.50	-0.110	0.00	1.50
log(학교에 대한 거리)	0.018	0.00	1.05	0.017	0.00	1.05
log(공원 접근성)	-0.043	0.00	1.06	-0.044	0.00	1.06
인구와 고용밀도						
log(인구밀도)	-0.080	0.00	1.96	-0.080	0.00	1.97
log(고용밀도)	0.019	0.00	1.79	0.019	0.00	1.80
상수	16.863	0.00		16.825	0.00	
Random Effects						
ICC		0.60			0.60	
결정계수						
집계구 내		0.73			0.73	
집계구 간		0.61			0.61	
전체		0.73			0.73	
사례 수			23,457			
집계구 수			8,674			

〈표 3〉 가로망 중심성의 주거용 토지가격 효과

변수	모형 3 (500m)			모형 4 (1km)		
	계수	P > Z	VIF	계수	P > Z	VIF
Fixed Effects						
가로망 네트워크 특성						
중심성						
표준 Betweenness	0.049	0.21	1.24	0.204	0.00	1.19
표준 Straightness	0.083	0.00	1.41	0.181	0.00	1.82
표준 Closeness	-0.297	0.14	1.29	-0.751	0.00	1.63
개발 밀도						
log(부동산 개발 밀도)	0.053	0.00	1.66	0.053	0.00	1.65
토지이용 혼합						
토지이용 혼합도	-0.018	0.40	2.47	-0.020	0.35	2.47
개별 토지 특성						
단독주택	-0.006	0.10	1.30	-0.007	0.09	1.30
연립주택	0.005	0.64	1.20	0.003	0.75	1.20
아파트	0.111	0.00	1.70	0.111	0.00	1.70
면적	0.081	0.00	1.98	0.081	0.00	1.97
평지	0.058	0.00	1.33	0.056	0.00	1.36
형상	0.004	0.21	1.03	0.004	0.21	1.03
도로입면	0.077	0.00	1.18	0.075	0.00	1.18
교통입지 특성						
log(시청에서 거리)	-0.057	0.00	1.56	-0.058	0.00	1.58
log(부도심에서 거리)	-0.102	0.00	1.22	-0.104	0.00	1.22
log(도로에 대한 거리)	-0.007	0.00	1.03	-0.007	0.00	1.03
log(지하철역에 대한 거리)	-0.050	0.00	1.31	-0.050	0.00	1.31
log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.007	0.03	1.08	-0.005	0.12	1.09
log(가로망에 대한 거리)	-0.041	0.00	1.17	-0.041	0.00	1.15
log(상권에 대한 거리)	-0.063	0.00	1.29	-0.063	0.00	1.29
log(학교에 대한 거리)	0.002	0.68	1.05	0.001	0.76	1.04
log(공원 접근성)	-0.049	0.00	1.04	-0.049	0.00	1.04
인구와 고용밀도						
log(인구밀도)	-0.070	0.00	2.07	-0.070	0.00	2.07
log(고용밀도)	0.016	0.00	2.15	0.016	0.00	2.15
상수	16.529	0.00		16.464	0.00	
Random Effects						
ICC		0.85			0.85	
결정계수						
집계구 내		0.25			0.26	
집계구 간		0.29			0.29	
전체		0.29			0.29	
사례 수			12,048			
집계구 수			7,050			

〈표 4〉 가로망 중심성의 비주거용 토지가격 효과

변수	모형 5 (500m)			모형 6 (1km)		
	계수	P > Z	VIF	계수	P > Z	VIF
Fixed Effects						
가로망 네트워크 특성						
중심성						
표준 Betweenness	-0.017	0.91	1.22	0.992	0.00	1.20
표준 Straightness	0.884	0.00	1.33	0.742	0.00	1.28
표준 Closeness	1.736	0.43	1.02	1.927	0.38	1.02
개발 밀도						
log(부동산 개발 밀도)	0.157	0.00	1.31	0.157	0.00	1.31
토지이용 혼합						
토지이용 혼합도	0.023	0.57	1.10	0.014	0.72	1.09
개별 토지 특성						
상업	-0.068	0.00	1.21	-0.068	0.00	1.21
면적	0.047	0.00	1.54	0.049	0.00	1.52
평지	0.197	0.00	1.04	0.194	0.00	1.04
형상	-0.018	0.13	1.02	-0.016	0.19	1.02
도로입면	0.303	0.00	1.35	0.308	0.00	1.35
교통입지 특성						
log(시청에서 거리)	-0.129	0.00	2.19	-0.125	0.00	2.20
log(부도심에서 거리)	-0.045	0.00	1.07	-0.047	0.00	1.08
log(도로에 대한 거리)	-0.036	0.00	1.10	-0.038	0.00	1.09
log(지하철역에 대한 거리)	-0.093	0.00	1.26	-0.092	0.00	1.27
log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.043	0.00	1.13	-0.042	0.00	1.14
log(가로망에 대한 거리)	-0.028	0.00	1.18	-0.029	0.00	1.19
log(상권에 대한 거리)	-0.130	0.00	1.43	-0.130	0.00	1.43
log(학교에 대한 거리)	0.028	0.00	1.09	0.026	0.01	1.09
log(공원 접근성)	-0.021	0.01	1.16	-0.022	0.01	1.16
인구와 고용밀도						
log(인구밀도)	-0.093	0.00	1.92	-0.096	0.00	1.93
log(고용밀도)	0.043	0.00	1.16	0.044	0.00	1.16
상수	16.247	0.00		16.335	0.00	
Random Effects						
ICC		0.46			0.46	
결정계수						
집계구 내		0.50			0.50	
집계구 간		0.36			0.36	
전체		0.53			0.53	
사례 수			7,096			
집계구 수			3,121			

V. 결론과 시사점

이 연구는 서울시를 대상으로 가로망 폭을 고려한 가로망 중심성이 주거용과 비주거용 토지 가격에 미치는 영향을 분석하였다. 가로망은 공공투자의 영역이지만 부동산 시장에 영향을 준다. 또 이러한 영향을 장기적으로 도시공간구조의 변화를 초래한다. 이러한 측면에서 가로망 폭을 고려하여 가로망 중심성을 측정하고 그 효과를 토지 가격을 통해 측정하는 이 연구는 향후 도시공간구조 변화에 대한 이해와 대응에 기여할 것으로 기대한다.

이 연구의 주요 결과는 첫째, 가로망 중심성의 효과는 비주거용 토지, 전체 토지, 주거용 토지 순으로 크게 나타났다. 이러한 결과는 비주거용 토지가 가로망의 네트워크 구조와 가로망 폭으로부터 크게 영향을 받고 있음을 보여준다. 일반적으로 상업용과 업무용 토지 입지의 경우 교통망의 편리성과 규모에 크게 반응한다는 점을 확인한 것이다. 둘째, 비주거용 토지가격은 토지 위치지점에서 폭이 넓은 가로망 도달지점으로 이동시 경유빈도가 높고 이동 경로가 직선에 가까울수록 프리미엄이 높았다. 반면 폭이 넓은 가로망이 가까이 있는 지여부는 영향력이 없었다. 이는 유동인구와 접근성을 중시하는 비주거용 토지의 경우 많은 사람이 경유하는 지점과 잘 보이는 곳에 있으면 가격이 높은 패턴을 보여준다. 셋째, 주거용 토지 가격은 폭이 넓은 가로망이 근처에 가까이 있으면 크게 높았다. 경유 빈도가 높은 곳의 가격은 반경이 넓어질수록 점차 높아졌고, 가시성이 높은 가로망을 따라 가로망 폭이 넓으면 비교적 약하지만 가격은 높은 것으로 나타났다. 끝으로, 주거용 토지와 비주거용 토지를 모두 합하여 분석한 결과, 대체로 출발지에서 도착지로 이동하는 동안 거쳐 가는 빈도가 높고 도착지점 가로망의 폭이 넓은 지역에 위치한 토지가격의 가격이 높았다. 아울러 국지적으로 가시성이 높아지면 토지 가격도 높음을 확인하였다.

이 연구의 결과는 몇 가지 시사점을 주고 있다. 첫째, 이 연구는 가로망 폭을 고려한 가로망 중심성이 주거용과 비주거용 토지 가격에 영향을 주고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 앞으로 공공투자

에 따른 인근 지역의 주거용과 비주거용 지가 변화를 설명하고 예측하는 데 활용할 수 있을 것이다. 둘째, 가로망 중심성의 효과는 주거용과 비주거용 토지가격에 다르게 영향을 주고 있음도 증명되었다. 상대적으로 넓은 지역에 분포하는 주거용 토지의 경우 가시정보다는 인근 지역에 폭이 넓은 가로망이 많고 이동시 경유빈도가 많은 곳에서 프리미엄이 발생하였다. 반면, 비주거용 토지의 경우 가시성의 영향이 크게 나타났다. 결국 토지의 용도와 입지적 특성에 따라 토지 가격이 달라짐을 다시 한번 보여주고 있다. 셋째, 이 연구의 결과는 향후 가로망 중심성을 고려한 보다 발전된 토지 가격 감정평가에도 활용 가능성이 높다. 이미 교통망을 고려한 감정평가가 진행중이지만 가로망의 구조적 특성, 가로망의 규모를 고려하는 데 한계가 있다. 따라서 이 연구의 방법론을 활용한다면 보면 엄밀한 감정평가가 가능할 것이다. 특히, 갈수록 국지적으로 가격의 상승과 하락이 예상되는 현재의 상황을 고려한다면 공간적으로 미시적 수준의 특성을 고려한 감정평가의 필요성은 더욱 증가할 것이다. 넷째, 이 연구의 접근방법은 향후 가로망 중심성이 인구, 고용, 토지이용 등 다양한 도시공간구조적 특성에 주는 영향을 다각적으로 진단할 수 있을 것이다. 아울러 서울시뿐만 아니라 광역시, 중소도시 수준의 분석이 가능할 것이며 이는 급격한 변화를 맞이하고 있는 국토공간구조의 진단과 향후 대응 방안 모색에 기초 자료를 제공할 것이다. 다섯째, 연구 결과를 통해 서울시 가로망 공간구조와 인구, 고용, 토지이용, 부동산 시장의 연관성을 엄밀하게 규명한다면 향후 가로망 공간구조 변화로 인한 파급효과를 미리 가늠할 수 있을 것이다. 특히, 가로망 공간구조는 정책적 노력에 의해 달라진다는 점에서 가로망에 대한 공공투자의 파급효과를 규명하는 계기를 제공할 것이다. 여섯째, 이 연구의 결과는 차후 도시연구와 부동산 분야의 대한 실증적 연구에 기초 토대를 제공할 것이다. 예를 들어, 가로망 공간구조 분석 결과로 나온 3개의 지표를 독립변수로 삼아 인구와 고용밀도에 미치는 영향, 오피스 임대료와 공실률, 토지이용 변화 등 부동산의 주요 지표에 대한 효과를 계량모형을 통해 분석할

수 있다. 끝으로, 실무적 차원에서 가로망 공간구조에 대한 분석은 서울시 도시기본계획의 공간구조 구상방향과 전략이 적합한지를 검증해 볼 수 있다. 서울시가 보유한 인구, 고용, 부동산 가격, 건축에 대한 시계열 자료에 이 연구의 접근방법을 적용한다면 서울시 가로망 공간구조 변화에 의한 파급효과를 한눈에 알 수 있을 뿐만 아니라 그 변화의 동인을 이해하고 정책적 대안을 모색하는 데 기여할 수 있을 것이다. 아울러 미래의 서울시 가로망 공간구조 변화에 따른 도시공간구조 변화에 대한 사전 예측도 가능하다.

이 연구의 한계는 토지의 실거래가격이 아닌 공시지가를 통해 분석하였다는 점이다. 공시지가 자료는 취득이 상대적으로 쉽다는 장점은 있지만 가로망 특성의 시장가치를 포착하는 데 한계가 있다. 아울러 가로망의 방향성과 높이에 대한 자료를 확보할 수 있다면 보다 풍부한 분석이 가능할 것이다.

Ⅰ 참고문헌 Ⅰ

1. 강창덕, 2015, "가로망 공간구조 특성이 토지가격에 미치는 영향", 서울도시연구 16(4), 서울연구원: 85~107
2. 국토교통부, 2013, 서울시 표준지 공시지가 자료
3. 김경민 · 이금숙 · 송예나, 2010, "복합용도개발과 교통이 아파트가격에 미치는 영향", 한국경제지리학회지 13(4), 한국경제지리학회: 515~528
4. 김경민 · 이양원, 2007, "사교육시장 미 교육성고가 아파트 가격에 미치는 영향: 2004년 이후 아파트가격 상승기를 중심으로", 국토연구 55, 국토연구원: 239~252
5. 김정희, 2009, "구조방정식모형(SEM)을 이용한 서울시 도로망과 사회 · 경제적 지표의 인과관계 변화분석", 대한지리학회지 44(6), 대한지리학회: 797~812
6. 배수진, 2000, "주택가격에 내재한 녹지의 가격 측정에 관한 연구", 서울대학교 도시공학과 석사학위논문
7. 오규식 · 이왕기, 1997, "아파트 가격에 내재한 경관조망 가치의 측정", 국토계획 32(3), 국토연구원: 139~151
8. 윤정중 · 유완, 2001, "도시경관의 조망특성이 주택가격에 미치는 영향", 국토계획 36(7), 대한국토도시계획학회: 67~84
9. 이상경 · 신우진, 2001, "재건축 가능성이 아파트 가격에 미치는 영향", 국토계획 36(5), 대한국토도시계획학회: 101~110
10. 이정민, 2004, "부동산정책변화에 따른 건설업의 생존경쟁에 관한 연구", 부동산정책연구 5(2), 한국부동산정책학회: 1~16
11. 이주형, 1989, "주거선택 및 주택이동 결정에 학군이 미치는 영향에 관한 연구", 국토계획 24(2), 대한국토도시계획학회: 157~174
12. 임현식 · 김영옥 · 반영운, 2002, "도시공간구조와 지가의 상호관련성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 계획계 18(7), 대한건축학회: 133~140
13. 조기혁 · 안건혁 · 이창무, 2001, "주거지역의 토지이용변화에 가로체계가 미치는 영향", 대한건축학회논문집 계획계 17(11), 대한건축학회: 207~214
14. 최내영, 2003, "한강시민공원이 주변 아파트가격에 미치는 영향에 관한 연구: 독섬지구 한강시민공원을 중심으로", 국토계획 38(3), 대한국토도시계획학회: 275~285
15. 통계청, 2010, 서울시 집계구 자료
16. 행정자치부, 2013, 도로 및 가로망 자료
17. 허세림, 1994, "헤도닉가격기법을 이용한 주택특성의 잠재가격 측정", 주택연구 2(2), 한국주택학회: 27~42.
18. Bhat C., S. Handy, K. Kockelman, H. Mahmassani, Q. Chen, and L. Weston, 2002, *Development of an Urban Accessibility Index: Literature Review*, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin: 1~84
19. Borruso, G., 2008, "Network Density Estimation: a GIS Approach for Analysing Point Patterns in a Network Space" *Transactions in GIS* 12, Wiley: 377~402
20. Brandes, U., 2001, "A Faster Algorithm for Betweenness Centrality", *Journal of Mathematical Sociology* 25(2), Taylor & Francis: 163~177
21. Brueggeman, W, and J. Fisher, 2008, *Real Estate Finance & Investments*, McGraw-Hill/Irwin
22. Cao, V. and D. Cory, 1982, "Mixed Land Uses, Land-Use Externalities, and Residential Property Values: A Reevaluation" *The Annals of Regional Science* 16(1), Springer: 1~24
23. Cervero, R. and J. Landis, 1997, "Twenty Years of the Bay Area Rapid Transit System: Land Use and Development Impacts" *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 31(4), Elsevier: 309~333
24. Cervero, Robert and C. Kang, 2011, "Bus Rapid Transit Impacts on Land Uses and Land Values in Seoul, Korea", *Transport Policy* 18(1), Elsevier: 102~116
25. Cheshire, P. and S. Sheppard, 1995, "On the Price of Land and the Value of Amenities" *Economica* 62, London School of Economics: 247~267
26. City Form Lab, 2013, *Urban Network Analysis*

27. Crucitti P., V. Latora, and S. Porta, 2006, "Centrality in Networks of Urban Streets" *Chaos* 16(1), American Institute of Physics: 2-10
28. Garin, R., 1966, "A Matrix Formulation of the Lowry Model for Intrametropolitan Activity Allocation" *Journal of the American Institute of Planners* 32, Taylor & Francis: 361-364
29. Giuliano, G., 2004, "Land Use Impacts of Transportation Investments: Highway and Transit" *The Geography of Transportation*, Guilford Press: 237-271
30. Grether, D. and P. Mieszkowski, 1980, "The Effects of Nonresidential Land Uses on the Prices of Adjacent Housing: Some Estimates of Proximity Effects" *Journal of Urban Economics* 8(1), Elsevier: 1-15
31. Haggett, P. and J. Chorley, 1969, *Network Analysis in Geography*. Butler & Tanner Ltd.
32. Hillier, B. and J. Hanson, 1984, *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press
33. Hillier, B., R. Burdett, J. Peponis, and A. Penn, 1987, "Creating Life: Or, Does Architecture Determine Anything?" *Architecture and Behavior* 3(3), Association de la revue Architecture & Comportement: 233-250
34. Hox, J., 2002, "The Basic Two-Level Regression Model: Introduction," *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*. Routledge: 11-39
35. Jiang, B. and X. Liu, 2011, "Computing the Fewest-Turn Map Directions Based on the Connectivity of Natural roads" *International Journal of Geographical Information Science* 25(7), Taylor and Francis: 1069-1082
36. Kain, J. and J. Quigley, 1970, "Measuring the Value of Housing Quality" *Journal of the American Statistical Association* 65(330), Taylor & Francis: 532-548
37. Kang, C. and R. Cervero, 2009, "From Elevated Freeway to Urban Greenway: Land Value Impacts of the CGC Project in Seoul, Korea." *Urban Studies* 46(13), Sage: 2771-2794
38. Li, M. and H. Brown, 1980, "Micro-Neighborhood Externalities and Hedonic Housing Prices." *Land Economics* 56(2), Board of Regents of the University of Wisconsin System: 125-141
39. Liu, Y., X. Wei, L. Jiao, and H. Wang, 2015, "Relationships between Street Centrality and Land Use Intensity in Wuhan, China", *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), American Society of Civil Engineers: 1-14
40. Lowry, I., 1964, *A Model of Metropolis*. Rand Corporation
41. Mankiew, N. and D. Weil, 1989, "The Baby Boom, the Baby Bust, and the Housing Market" *Regional Science and Urban Economics* 19, Elsevier: 235-258
42. McDonald, John F. and McMillen, Daniel P., 2007, *Urban Economics and Real Estate: Theory and Policy* Wiley-Blackwell
43. Miller, H., 1999, "Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Methods." *Geographical Analysis*, Wiley: 187-212
44. Miller, Norman G. and Geltner, David M. 2005, *Real Estate Principles for the New Economy* South-Western Educational Pub.
45. O'Sullivan, A., 2009, *Urban Economics*. McGraw-Hill
46. Porta, S., P. Crucitti, and V. Latora, 2005, "The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach." *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(5), Sage: 705-725
47. Porta, S., E. Strano, V. Iacoviello, R. Messora, V. Latora, A. Cardillo, F. Wang, and S. Scellato, 2009, "Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy", *Environment and Planning B: Planning and Design* 36(3), Sage: 450-465
48. Porta, S., V. Latora, F. Wang, S. Rueda, E. Strano, S. Scellato, A. Cardillo, E. Belli, F. Cardenas, B. Cormenzana, 2012, "Street centrality and the location of economic activities in Barcelona", *Urban Studies* 49(7), Sage: 1471-1488
49. Pozdena, R., 1988, *The Modern Economics of Housing*, Quorum Books
50. Rabe-Hesketh, S. and A. Skrondal, 2008, *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*. STATA Press
51. Rodriguez, Daniel A. and F. Targa, 2004, "Value of Accessibility to Bogota's Bus Rapid Transit System" *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 24(5), Taylor & Francis: 587-610
52. 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), Taylor & Francis: 1425-1438
53. Saeid, Ahmed, 2011, *Space Syntax as a Tool to Assess Land Value*. United Nations Human Settlements Programme

54. Sevtsuk, A., 2010, *Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville*, Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology
55. Song, Y. and G. Knaap, 2004, "Measuring the Effects of Mixed Land Uses on Housing Values" *Regional Science and Urban Economics* 34, Elsevier: 663~680
56. Vandell, K. and S. Lane, 1989, "The Economics of Architecture and Urban Design: Some Preliminary Findings" *AREUEA Journal* 17, Wiley: 235~260
57. Voith, R., 1993, "Changing Capitalization of CBD-Oriented Transportation Systems-Evidence from Philadelphia, 1970-1988." *Journal of Urban Economics* 33(3), Elsevier: 361~376
58. Wang, F., 1998, "Urban Population Distribution with Various Road Network: A Simulation Approach." *Environment and Planning B: Planning and Design* 25, Sage: 265~278
59. Wang, F., A. Antipova, and S. Porta, 2011, "Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana", *Journal of Transport Geography* 19(2), Elsevier: 285~293
60. Wang, F., C. Chen, C. Xiu, and P. Zhang, 2014, "Location analysis of retail stores in Changchun, China: A street centrality perspective", *Cities* 41, Elsevier: 54~63
61. Wang, F., Guldmann, J.M., 1996. "Simulating Urban Population Density with a Gravity-based Model" *Socio-Economic Planning Sciences* 30, Elsevier: 245~256
62. Xiao, Y., C. Webster, and S. Orford, 2016a, "Identifying house price effects of changes in urban street configuration: An empirical study in Nanjing, China", *Urban Studies* 53(1), Sage: 112~131
63. Xiao, Y., S. Orford, and C. Webster, 2016b, "Urban configuration, accessibility, and property prices: a case study of Cardiff, Wales", *Environment and Planning B: Planning and Design* 42, Sage: 1~22

-
- 논문 접수일 : 2017. 6. 30
 - 1차 수정일 : 2017. 8. 16
 - 게재 확정일 : 2017. 9. 15