

통근 네트워크 중앙성 분석과 주거용 토지가격 효과 연구*

- 서울시를 사례로 -

강 창 덕**

A Study on Commuting Network Centrality and Its Effects on Residential Land Price in Seoul, Korea*

Chang-Deok Kang**

요약 : 이 연구는 2010년 가구통행실태 조사 자료를 이용해 서울시 통근 네트워크 중앙성을 측정하고 토지가격에 미치는 효과를 다층회귀모형으로 분석하였다. 주요 연구 결과는 첫째, 서울시의 내향 중앙성은 도심, 강남구, 영등포구 여의도동을 중심으로 높았고, 외향 중앙성은 서울시 전반에 걸쳐 주로 주거지역을 중심으로 높게 나타났다. 사이 중앙성과 인접 중앙성은 대체로 도심, 강남구와 서초구, 영등포구 여의도동을 중심으로 높았으며, 위세 중앙성은 도심, 강남구와 서초구, 영등포구 여의도동 외에 구로구와 금천구 일부 행정동에서 높았다. 아울러, 클러스터링 지수와 RVPR(Reciprocated Vertex Pair Ratio)은 서울시 주거와 직장이 혼재된 지역을 중심으로 높았다. 이러한 통근 네트워크 중앙성의 공간 분포는 서울시 토지 이용 상황을 반영하고 있다. 둘째, 총 10개의 모형을 통해 검증한 결과, 대체로 내향 중앙성은 토지가격을 높였지만 외향 중앙성은 통계적 유의성이 없었다. 사이 중앙성, 인접 중앙성, 위세 중앙성은 일관되게 토지가격을 높였다. 또한, RVPR과 클러스터링 지수는 일관되게 토지가격을 낮추었다. 이 연구의 결과는 향후 도시공간구조 관련 정책에 대한 의사결정에 활용할 수 있을 것이다.

주제어 : 통근 네트워크, 네트워크 중앙성, 주거용 토지가격, 서울시

ABSTRACT : This study aims to isolate the effects of commuting network centrality on residential land price in Seoul, Korea. Network metrics include in-degree, out-degree, betweenness, closeness, prestige centrality, clustering coefficient, and Reciprocated Vertex Pair Ratio(RVPR) of Dong-unit in Seoul. Multilevel regression models confirm that in-degree centrality, closeness, betweenness, and prestige centrality have increased the residential land price. In the models, however, clustering coefficient and RVPR have decreased the price. The key findings provide insightful policy implication for measuring dynamic urban spatial structure and decision-making of urban planners, urban designers, and transportation planners.

Key Words : commuting network, network centrality, residential land price, Seoul

* 이 연구는 「2013년 서울 연구 논문 공모전」 응모를 통해 받은 자료를 바탕으로 진행하였음.

** 중앙대학교 도시계획·부동산학과 부교수(Associate Professor, Department of Urban Planning and Real Estate, Chung-Ang University).
E-mail: cdkang@cau.ac.kr, Tel: 02-820-5959

I. 서론

도시공간구조는 복잡한 흐름의 공간이다. 다양한 토지이용이 도시공간을 차지하고 있지만 사람들은 이동하면서 도시공간을 이용한다. 갈수록 도시공간구조의 변화는 더욱 복잡해지고 있으며 이를 이해하고 예측할 수 있는 다양한 시각이 등장하고 있다. 여러 시각 가운데 최근 크게 주목받으며 활용되고 있는 대표적인 접근방법은 네트워크 과학(Network Science)이다. 도시공간상 토지이용은 결절(Vertex)이고 토지이용 간 이동은 연결선(Edge)이므로 도시공간상 복잡한 흐름현상의 특징을 네트워크 과학의 분석방법으로 찾아낼 수 있다. 네트워크 과학이 크게 주목받는 이유는 미시적 수준의 결절과 각 개체 간의 연결 특성을 모두 고려하여 계량지표로 측정할 수 있기 때문이다(Newman, 2010). 그동안 사회과학 연구에서 네트워크 특성 분석이 현상의 설명과 예측에 크게 기여해왔으며 점차 도시연구에 새로운 분석방법으로 적용되고 있다.

도시공간구조의 다양한 이동 흐름에서 가장 중요하면서 기본적인 부분은 주거와 직장 간 통근이동이다. 주거와 직장의 입지와 두 토지이용 간 이동 흐름이 도시공간구조의 변화를 크게 좌우하기 때문이다. 따라서 도시공간구조를 경제 원리로 연구하는 도시경제학은 가수와 기업의 입지 선택을 핵심 영역으로 다루고 있다(O'Sullivan, 2009).

이 연구는 주거와 직장간 통근 흐름을 네트워크 과학의 분석방법을 적용해 그 공간 분포 특성을 분석하고, 주거와 직장 간 통근의 도시공간구조적 특성이 주거용 토지가격에 미치는 영향을 계량모형으로 분석한다. 그동안 네트워크 과학의 분석방법을 이용한 도시공간구조에 대한 연구가 있

었으나 대체로 시군구 단위에 한정적인 분석방법을 적용한 것이 대부분이다. 따라서 이 연구의 주요 특징은 행정동 수준의 단위로 통근 네트워크 구조를 보다 풍부한 접근방법으로 진단했다는 것이다. 뿐만 아니라 그동안 크게 연구하지 않은 통근 네트워크의 중앙성이 토지가격에 미치는 영향도 규명하였다.

통근 네트워크 구조의 토지가격 효과를 보는 것은 최근 기후 변화에 대응한 도시공간구조 개편 추세에 일정한 시사점을 제공한다. 자동차 중심의 교통과 토지이용 구조에서 대중교통 중심 교통망 구축과 교통 이동량이 적은 직주 근접형 공간구조로 이행하려는 정책적 노력에 도움이 될 것이다. 특히, 토지이용과 교통 간 관련성 변화는 비교적 단기에 부동산 가격에 반영된다는 점에서 도시공간구조의 특성 진단과 그 경제적 성과를 토지가격이라는 구체적 자료로 측정하는 것은 학술과 정책 측면에서 의미가 있다. 이 연구는 선행연구에 비해 상대적으로 미시 단위에서 통근 네트워크 구조를 진단하고, 경험연구가 많지 않은 토지가격 효과를 분석한다는 차별성이 있다.

이러한 배경하에서 이 연구는 2010년 수도권 가구통행실태 조사 자료를 통근 네트워크 진단 지표를 통해 분석한 후 공시지가 자료에서 추출한 주거용 토지가격에 미치는 영향을 규명한다. 이를 위해 우선 관련 연구의 핵심 논의를 조망하고 연구 자료와 방법을 소개한다. 그 다음, 분석을 통해 얻은 총 8개의 네트워크 특성의 공간 분포를 지도로 표현하고 주요 특성을 찾았다. 그 다음 주거용 토지 가격에 대한 통근 네트워크 효과를 분석하였다. 끝으로 연구 결과를 요약하고 그 정책적 함의를 제시하였다.

II. 기존 연구 검토

이 연구와 직결된 연구 분야는 크게 통근 네트워크에 대한 네트워크 과학 분석, 통근과 부동산 시장의 관련성 연구, 그리고 부동산 가격 결정요인 연구이다. 이러한 연구흐름을 전반적으로 검토하는 이유는 이 연구의 주제와 직결된 논문이 많지 않다는 점을 보완할 수 있기 때문이다. 먼저, 도시공간구조를 네트워크 과학 접근방법으로 분석한 연구이다. 도시공간상 대표적인 이동은 직장과 주거지를 오가는 통근이다. 직장과 주거지는 토지이용 혹은 부동산 개발을 의미하며 통근은 이들을 연결하는 흐름이다. 최근 들어 도시공간을 네트워크 구조로 바라보면서 분석하는 다양한 연구가 크게 주목받고 있다(Batty, 2013). 도시의 상호작용속에서 도시 내부의 각 공간별 위상은 동일하지 않다. 그 위상을 직장과 주거지의 수직적 집중지와 경제활동과 주거지 기능의 수직적 위계로 본다면 자연스럽게 도시공간구조의 위상을 분석하는 방법이 필요해진다.

도시공간구조상 통근의 중요성이 크고, 통근은 직장과 주거지를 오가는 흐름이라는 점에서 네트워크 과학의 접근 방법을 적용하려는 다양한 연구가 나타났다. 대체로 대표적인 우리의 초기 연구는 수도권 통근통행량을 기준으로 지역을 구분하고 각 지역별 통근통행 발생인자를 밝혔다(손승호, 2003). 또한, 통근통행의 지역별 특성을 고려하여 권역을 구분하는 시도도 하였다(백승걸, 2003). 그러나 이러한 접근방법은 대체로 도시공간구조상 직장과 주거지 특성에 의한 지역구분에 머물고 있었고, 통근의 역동적인 구조를 파악하는데 많은 한계가 있었다. 이에 따라 직장과 주거지 간 상호 연결의 특성을 다각적으로 포착할 수 있

는 방법이 사회과학의 네트워크 분석에서 도입되었다.

통근 네트워크를 네트워크 과학으로 분석한 연구를 간략하게 살펴보면 이 주제의 연구 동향을 파악하고자 한다. 네트워크 특성 연구는 주로 물리학에서 시작하여 사회학을 비롯한 사회과학에서 먼저 활발하게 연구되었으며, 이후 도시연구와 교통 등 도시공간구조 특성을 분석하는 데 응용되었다. 대표적으로 Irwin and Hughes(1992)는 도시공간구조에 대한 네트워크 접근 연구를 전반적으로 검토한 후, 네트워크 과학이 도시공간구조를 분석하는 데 효과적임을 입증하였다. 그 응용영역은 더욱 확장되고 있는데, 미국 본토의 통근 패턴을 접근성과 복잡계 과학 접근으로 분석한 연구는 통근 연결성의 지역적 차별성을 찾아내고 동시에 접근성이 취약한 지역을 선별하였다(Caschili and De Montis, 2013). 이러한 네트워크 과학 이론을 독일 통근 패턴에 적용한 연구는 통근의 공간 구조를 진단하면서 적용 가능성을 검증하였다(Gorman et al., 2007). 또한, 독일의 통근 패턴 자료를 분석한 연구는 접근성과 네트워크 과학의 분석을 통해 지역별 차이점을 규명하였다(Reggiani et al., 2011; Patuelli et al., 2010). 네트워크 연결성은 교통 분야에서도 주목받고 있는데 한 연구는 사이 중앙성(Betweenness Centrality)이 교통 흐름 패턴을 찾아내고 예측하는 데 효과적임을 보였다(Puzis et al., 2013). 이탈리아에 대한 연구는 통근 네트워크 방법론의 발전에 의해 보다 개선된 분석 결과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다(Montis et al., 2010). 도시계층과 통근 네트워크에 대한 대표적인 연구는 전반적으로 통근 통행 자료에 연결성 분석을 적용하여 도시계층성과 구조적 특성을 찾았다. 먼저, 1990년부터 2000년까

지 통근 통행의 변화를 연결 중앙성, 근접 중앙성, 위세 중앙성으로 진단한 연구는 수도권 시군구 수준에서 상위계층과 하위계층을 구체적으로 선별하여 도시공간구조의 역동적인 변화를 추적하였다(이희연·김홍주, 2006). 또 다른 연구는 네트워크 접근방법으로 수도권 통행자료를 분석하여 도시계층성을 진단하였다(한대호·홍현철, 2008).

통근 네트워크 특성이 토지가격에 미치는 영향을 직접적으로 제시한 연구는 흔하지 않다. 그러나, 통근 네트워크 특성에 따른 공간의 위상과 역할 변화에 의해 부동산 가격은 달라진다. 또한, 달라진 부동산 가격은 가구와 기업의 입지선택, 부동산 개발 등에 영향을 주게 된다. 따라서 통근 네트워크 특성을 부동산 가격과 연관지어 보는 연구는 향후 도시개발의 구상과 실행 결정에 중요한 기초 자료가 될 것이다. 통근 네트워크와 부동산 가격의 연관성에 대한 직접적인 연구는 거의 없으므로 이 연구는 통근과 부동산 시장 간 관련성 연구와 더불어 부동산 가격 결정요인 연구를 차례로 살펴보고자 한다. 먼저, 근로자들은 일반적으로 주택 가격, 임금, 통근 시간 등을 전체적으로 고려하여 직장과 주택의 입지를 결정한다. 한 경험연구에 의하면 지역간 인구가동과 지역내 인구 밀도는 그 지역내 임금수준과 주택 가격에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2001). 주택 가격과 통근행태를 연계한 연구는 특정 지역내 주택 가격이 높은 경우 지역내 통근은 줄고 외부 지역으로부터 통근이 많아졌다. 높은 주거 비용은 해당 지역의 내부 통근을 줄이는 효과를 낸 것이다(Cameron and Muellbauer, 1998). 이러한 현상은 좀 더 넓은 범위의 도시공간구조에서도 나타났다. 즉, 근로자들은 고용 중심지 주변의 높은 주택 가격으로 인해 먼 곳에서 출퇴근을 하게 된다

(Cervero and Wu, 1997). 주택가격의 차이로 인한 직장과의 공간 분리는 개인의 선택이지만 통근 비용과 환경오염의 증가라는 사회적 비용을 발생시켰다. 따라서 고용 중심지 인근에 저렴한 가격 수준의 주택을 공급하는 정책이 필요하다. 이러한 정책은 통근 비용을 줄일뿐만 아니라 자동차 출퇴근으로 인한 교통 혼잡, 환경 오염, 에너지 소비를 줄이는 대안이 된다(Sultana, 2002). 이러한 연구의 성과를 이 연구의 주제와 관련지어 본다면, 대체로 주택 가격의 수준과 통근 패턴의 변화를 중심으로 보고 있다. 따라서 직접적으로 통근 네트워크의 위상과 주택 가격 혹은 부동산 가격을 결부지어 분석하지 않았다. 한편, 이 연구의 주제와 관련하여 토지를 포함한 부동산 가격 결정요인에 대한 검토도 필요하다. 이에 관한 연구는 상당히 많으므로 여기서는 핵심적인 요인을 중심으로 요약하고자 한다. 일반적으로 부동산 가격 결정요인 분석에 특성가격모형(Hedonic Price Models)을 적용하여 결정요인을 선별하고 그 영향 정도를 제시하는 것이 대부분이다(Rosen, 1974). 관련 분야의 전반적인 흐름을 보면, 어느 요인을 중심으로 보느냐에 따라 연구 가설과 결과가 달라진다. 주요 주제는 부동산 인근 지역의 인구와 가구 밀도, 고용과 기업체 밀도, 부동산 개발 상황, 삶의 질, 주택개발 정도, 교통과 학교에 대한 접근성 등이다. 이와 관련된 경험연구를 보면, 부동산의 근본 수요요인인 인구와 가구의 밀도가 높을수록 주택가격은 상승한다(McDonald and McMillen, 2007; Brueggeman and Fisher, 2008). 그러나, 일정한 지역내에서 고용이나 사업체의 밀도가 높은 경우 용도간 입지경쟁으로 인해 부동산 가격이 상승하기도 한다. 또한, 상업용 또는 업무용 토지에 가까이 자리잡거나 부동산 개발이 집중

된 곳 주변의 주거용 토지일수록 가격수준이 높았다(Cao and Cory, 1982; Pozdena, 1988). 이미 도시경제학의 원리가 제시하듯 토지 용도 간 개발 경쟁이 심하거나 개발이 집중적으로 일어나는 선호지역의 부동산 가격이 높은 것이다. 그러나 부동산 가격과 인근 개발, 토지이용 간의 관계는 국지적 특성에 따라 단선적이라기보다는 국지적 맥락에 따라 크게 달라질 수 있다(Grether and Mieszkowski, 1980; Li and Brown, 1980). 아울러 소득수준이 높고 삶의 질을 중시하는 선진국 대도시를 중심으로 부동산 인근 지역의 자연 환경 쾌적성, 상업시설에 대한 편리한 접근성, 주변 지역 건물의 디자인 수준, 도시의 자연 쾌적성을 높이는 정부의 투자 사업 등도 부동산 가격을 변화시킨다는 연구가 많아지고 있다(Song and Knaap, 2004; Kain and Quigley, 1970; Cheshire and Sheppard, 1998; Kang and Cervero, 2009; Vandell and Lane, 1989). 지금까지 요약한 부동산 가격 결정요인 외에도 편리한 교통 접근성, 학업성도가 좋은 학군, 미래의 주택 재건축 가능성, 환경오염 심각성, 지하철과 버스 등 대중 교통서비스 개선 여부도 인근지역의 부동산 가격에 영향을 주고 있다(Cervero and Landis, 1997; Rodriguez and Targa, 2004; Giuliano, 2004; O'Sullivan, 2009; Cervero and Kang, 2011; 이주형, 1989; 허세립, 1994; 오규식·이왕기, 1997; 이상경·신우진, 2001; 이정민, 2004; 김경민·이양원, 2007).

기존 연구는 크게 통근 네트워크 특성 분석, 통근 패턴과 지역 부동산 시장의 관련성, 부동산 가격 결정요인 연구 등으로 요약할 수 있다. 이러한 연구 성과를 보면, 상대적으로 다각적인 통근 네트워크 진단 지표 활용하지 못했다. 뿐만 아니

라 통근 네트워크 중앙성이 토지가격에 미치는 영향에 대한 연구는 초보 단계이다. 이러한 토지가격에 대한 효과는 장기적으로 토지이용의 입지와 밀도 변화에 영향을 준다는 점에서 보다 엄밀한 방법을 적용하여 깊이 살펴보아야 하는 영역이다. 이 연구의 핵심 연구 가설은 통근 네트워크 특성에 따라 주거용 토지가격은 각기 다른 영향을 받고 있다는 것이다. 통근 네트워크 중앙성은 도시공간구조의 관계와 위상을 동시에 보여주는 것이기 때문에 도시공간구조의 특성이 주거용 토지가격에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 이 연구는 향후 도시계획과 정책, 교통 계획과 정책, 도시디자인의 변화에 따른 통근 네트워크 변화가 부동산 가격에 미치는 파급효과를 이해하는 데 기여할 수 있다. 이미 널리 알려진 바와 같이 부동산 가격의 변화는 장기적으로 토지이용, 통근 패턴, 인구 이동 등에 직접적인 영향을 주는 요소이다.

Ⅲ. 연구자료와 연구방법

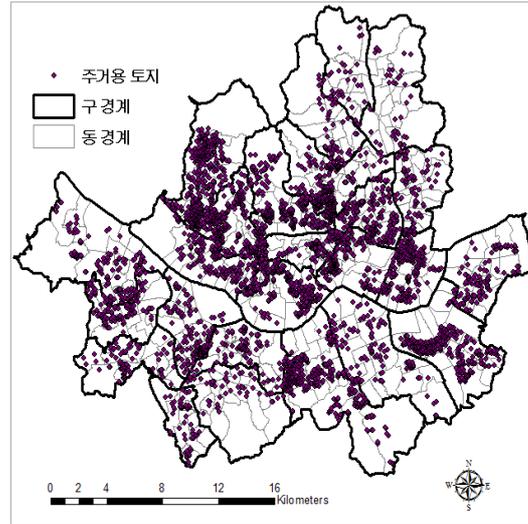
1. 연구자료 개요

이 연구에서 사용한 자료는 크게 다섯 가지이다. 먼저, 서울시 통근 네트워크 특성을 측정하기 위해 2010년 수도권 가구통행실태 조사 자료를 활용하였다. 이 자료는 통근 이동뿐만 아니라 다양한 이동 관련 정보를 제공한다. 이 가운데 출발지가 집이고 도착지가 직장인 자료만 추출하여 주거와 직장이 자리잡은 행정동을 찾았다.

또한, 개별공시지가 자료는 통근 네트워크 특성의 영향을 받는 토지가격과 토지 특성을 모형에 반영하기 위해 활용하였다. 여기서 토지 특성은 주택용도, 평지, 토지형상, 도로 입면 상황을 더미

변수로 전환하여 모형에 포함하였다. 주택용도는 다세대주택을 기준으로 하고 단독주택, 연립주택, 아파트인 토지의 경우 각각 1, 그 외는 0을 부여하였다. 아울러 평지, 정방형, 가장형, 세장형, 사다리, 광대로입면인 경우 각각 1, 그렇지 않은 경우는 0으로 처리하였다. 더미변수 선정에는 해당 필지의 사례수도 고려하였다. 이 연구는 개별공시지가 자료의 양이 너무 많아 2007년 표준지에 가까운 주거용 토지를 추출하여 사용하였다. 토지가격에 네트워크 특성뿐만 아니라 행정동별 건물, 인구, 세대, 사업체, 고용자수 등도 영향을 줄 수 있으므로 행정동별 건물 집계 자료와 서울시 통계 자료를 확보하여 모형을 만들었다. 끝으로, 개별 토지가격에 도심, 부도심, 도로, 지하철 역, 버스 정류장 등에 대한 거리가 중요한 영향을 준다는 점에서 서울시 교통지리정보도 사용하였다. 자료 구축을 위해 토지가격 자료는 주소정제(geocoding) 작업을 통해 지도를 만들었고 교통지리정보에 대한 직선 거리를 측정하였다. <그림 1>은 주거용 토지의 공간분포를 보여준다. 토지가격, 토지 특성, 교통입지 특성은 토지 필지 단위로 측정하였고 다른 변수는 행정동별 집계이므로 토지와 교통 입지 정보를 담은 지도와 행정동별 정보를 담은 지도를 ArcGIS 10 프로그램에서 교차(Intersection)처리

하여 하나의 자료로 만들어 사용하였다. <표 1>은 이 연구에서 사용한 자료를 요약한 것이다.



<그림 1> 주거용 토지의 공간 분포 (2010)

앞에서 제시한 행정동별 건물집계자료는 토지가격에 미치는 영향 측정을 위해 각 행정동별 주거, 상업, 업무, 산업, 기타의 비중을 계산하였고 각 용도의 혼합정도는 일반적으로 사용되고 있는 엔트로피 지수로 측정하였다.¹⁾ 이 지수는 0에서 1까지로 계산되는데 0에 가까울수록 해당 행정동의 토지이용이 단순하고 1에서 가까울수록 여러

<표 1> 자료 출처

자료	출처	추출정보
가구통행 실태조사	수도권교통본부(서울시), 2010	집출발과 직장도착 행정동 위치
개별공시지가 자료	서울시 토지관리과, 2010	토지가격과 특성
건물집계자료	서울시, 2010	행정동별 용도별 면적
서울시 통계	서울시, 2010	행정동별 인구, 세대, 사업체, 고용자수
서울시 교통지리정보	서울시, 2010	도심, 부도심, 도로, 지하철역, 버스 정류장 위치정보

1) 건축법 시행령(2010)과 홍남희·이명훈(2011)을 참고하여 용도별 부동산개발을 분류하였다. 연구모형에서 부동산개발 비중은 기타를 제외한 주거, 상업, 사무, 산업용 부동산 비중만을 변수로 넣었다.

〈표 2〉 부동산 개발 혼합 지수 계산과 설명

구분	계산식	설명
부동산 개발 혼합지수	$\frac{\sum_{i=1}^k [(p_i) \cdot (\ln p_i)]}{\ln k}$	<p>p_i: 행정동별 건물 총면적에서 각 용도별 부동산 (건물)의 연면적이 차지하는 비중</p> <p>k: 행정동내 부동산 분류 수(5)</p>

출처: Dobesova and Krivka(2012)에서 수정, 강창덕(2013)

토지이용이 혼합되어 있음을 의미한다(계산방법은 〈표 2〉 참조).

2. 연구방법

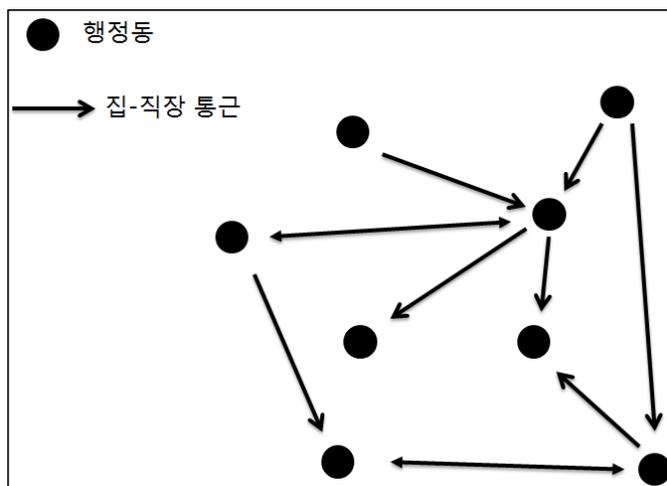
1) 네트워크 중앙성 지표

이 연구에서 적용한 첫 번째 방법은 통근 네트워크 중앙성 측정을 위해 사회 연결망 연구에서 일반적으로 사용하는 네트워크 중앙성 지표이다. 앞의 수도권 가구통행실태 조사의 자료에 네트워크 중앙성 지표를 적용하면, 2010년 기준 424개 행정동 단위로 양적 지표를 계산할 수 있다. 각 지표를 간략하게 살펴보면 〈표 3〉과 같다. 네트워크의

기본 구조는 노드와 연결선인데, 이 연구에서 노드는 행정동을 의미하며 연결선은 주거지에서 직장으로 가는 방향과 연결을 의미한다. 기본 구조를 표현하면 〈그림 2〉와 같다.

네트워크 중앙성을 진단하는 지표는 다양하지만 이 연구는 NodeXL을 이용하여 가장 대표적인 8개의 지표로 서울시의 통근 네트워크 중앙성을 진단하였다(Hansen et al., 2011). 〈표 3〉에서 제시한 각 지표의 의미를 구체적으로 살펴보면 뒤의 각 지표의 공간 분포 패턴 해석에 대한 이해를 돕고자 한다(김용학, 2011; 이수상, 2012).

내향 중앙성(In-degree Centrality)과 외향 중앙성(Out-degree Centrality)은 방향성이 있는 네트워크 구조에서 얻을 수 있다. 내향 중앙성은 각



〈그림 2〉 통근 네트워크 기본 구조

〈표 3〉 네트워크 중앙성 지표와 설명

네트워크 중앙성 지표	설 명
내향 중앙성	각 행정동으로 들어오는 연결선의 수
외향 중앙성	각 행정동에서 나가는 연결선의 수
사이 중앙성	한 행정동이 통근 네트워크 상에서 얼마나 중개자 역할을 하는 보여주는 지표. 이는 특정한 두 행정동 사이의 최단거리 경로 수를 중개자 역할을 하는 행정동을 통과하는 경로 수로 나눈 값의 합임
인접 중앙성	한 행정동에서 도달할 수 있는 다른 모든 행정동에 대한 최단 거리 합의 역수. 즉, 특정 행정동에서 통근 네트워크 안의 다른 행정동에 도달하는 연결거리의 합이 적을 수록 인접 중앙성이 높은 것임
페이지 랭크	위세 중앙성 지표의 하나임. 인터넷 웹사이트 연결성 측정에서 시작된 개념으로 행정동의 연결상 중요도를 표시. 연결선의 수가 많거나 연결선이 많은 행정동과 연결된 경우 높음
클러스터링 지수	통근 네트워크에서 특정 부분을 중심으로 연결된 행정동이 얼마나 밀집되어 있는 지 측정. 특정 행정동의 연결선 갯수는 $k(k-1)/2$ 로 나누어 계산. 여기서 k 는 특정 행정동에 연결된 행정동의 개수임
위세 중앙성 (아이겐벡터 중앙성)	각 행정동의 영향력을 측정하는 중앙성임. 이는 연결선이 많은 행정동에 연결된 행정동일수록 높아짐
Reciprocated Vertex Pair Ratio (RVPR)	쌍방향으로 연결이 되어 있는 행정동의 수를 연결된 행정동의 수로 나눈 값. 쌍방향 연결의 정도를 나타냄

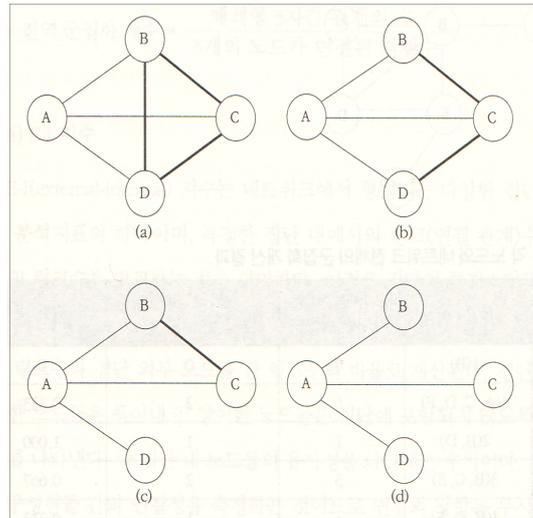
출처: Hansen et al.(2011), 김용학(2011), 이수상(2012)를 참고하여 필자가 연구에 맞게 재구성

행정동으로 들어오는 연결선의 수이며, 외향 중앙성은 각 행정동에서 나가는 연결선의 수이다. 이를 좀 더 구체적으로 보면, 내향 중앙성은 외부 행정동에 주거지를 두고 각 행정동으로 출근하는 숫자이며, 외향 중앙성은 각 행정동에서 외부 행정동으로 출근하는 숫자이다. 그 의미를 볼 때, 주로 직장이 많은 행정동에서 내향 중앙성이 높고, 주거지가 많은 행정동에서 외향 중앙성이 높다. 사이 중앙성(Betweenness Centrality)과 인접 중앙성(Closeness Centrality)도 중요한 네트워크 중앙성 지표이다. 먼저, 사이 중앙성은 한 행정동이 통근 네트워크 상에서 얼마나 중간자 역할을 하는

지를 보여준다. 이는 특정한 두 행정동 사이의 최단 연결선 수를 중간자 역할을 하는 행정동을 통과하는 연결선 수로 나눈 값을 모두 합하여 계산한다(이수상, 2012). 여기서 중간자라는 표현은 이 연구의 통근 네트워크 구조에서 특정 행정동에서 다른 행정동으로 연결된 연결선 중간에 위치한 행정동을 의미한다.²⁾ 즉, 실제 중간자 역할을 하는 행정동을 거친다는 의미가 아니라 전체 통근 네트워크 관계 구조에서 중간자의 위상을 갖는다는 의미이다. 인접 중앙성은 한 행정동에서 도달할 수 있는 다른 모든 행정동에 대한 최단 거리 합의 역수로 계산한다. 즉, 특정 행정동을 기준으로

2) 이 연구의 대상은 통근 네트워크이므로 실제로 중간에 위치한 행정동을 거쳐 이동하는 것이 아니다. 따라서 이 연구에서 적용한 중앙성은 전체 통근 네트워크의 구조를 진단하는 지표임을 다시 한번 밝힌다.

통근 네트워크 안의 다른 행정동에 도달하기 위한 연결거리의 합이 적을수록 인접 중앙성이 높은 것이다.³⁾ 이를 좀 더 쉽게 설명하자면, 도심과 같이 관계 구조에서 중심에 위치한 행정동은 다른 행정동에 연결된 거리가 상대적으로 짧다는 것이다.⁴⁾ 이는 전체 통근 네트워크 관계속에서 특정한 행정동이 중앙에 위치하는지를 보여주는 지표이다. 미국 구글(Google)에서 만든 페이지 랭크(Page Rank)는 원래 인터넷 웹 페이지 간 연결도를 계산하기 위해 만들어진 것인데 연결강도를 측정하는 또 다른 지표이다. 이는 특정한 행정동에 연결선이 많거나 연결선이 많은 행정동에 연결된 행정동에서 높게 나타난다. 클러스터링 지수(Clustering Coefficients)는 통근 네트워크에서 특정 부분을 중심으로 연결된 행정동이 얼마나 밀집되어 있는지를 측정한다. 이 지수는 특정 행정동의 연결선 개수를 $k(k-1)/2$ 로 나누어 계산하는데 여기서 k 는 특정 행정동에 연결된 인접 행정동의 개수이다 (이수상, 2012). 이에 대한 구체적인 개념은 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다. 행정동 A를 기준으로 인접 행정동 간 연결도가 높은 (a)가 가장 클러스터링 지수가 높고, 그렇지 않은 (d)가 가장 낮다. 위세 중앙성(Prestige Centrality)은 이 연구에서 아이겐벡터(Eigenvector) 지수로 측정하였는데 이는 연결선이 많은 행정동에 직접 연결된 행정동에서 높다. 즉, 보다 많은 행정동에 연결된 행정동과 직접 연결관계를 맺은 행정동은 그렇지 않은 행정동에 비해 통근 네트워크상 위세 중심성이 높다고 볼 수 있다. 이를 사람의 사회적 관계로 본다면 인간관계가 많은 사람과 친한 사람의 영향력이



출처: 이수상(2012)

<그림 3> 클러스터링 지수 예시

클 수 있음과 유사하다. 끝으로 Reciprocated Vertex Pair Ratio(RVPR)는 특정한 행정동과 연결된 행정동 가운데 쌍방향으로 연결된 행정동의 수를 연결된 행정동의 총 수로 나눈 값이다. 전체 연결선에서 쌍방향 연결선이 많을수록 그 값이 높아진다. RVPR이 높은 행정동은 내부에 직장과 주거지를 모두 갖고 있으면서 외부 행정동으로 출퇴근이 빈번한 지역이다. 이들 지역은 직장과 주거지가 혼재되어 있는 주변지일 가능성이 높다.

2) 다층 회귀분석

통근 네트워크 중앙성이 토지 가격에 미치는 영향 분석에는 자료 구조에 적합한 다층 회귀분석(Multilevel Regression Analysis)을 적용하였다. 앞에서 설명했지만 이 연구의 자료는 크게 토지 필지 단위와 행정동 단위이다. 따라서 이러한 자

3) 이 연구에서 사용한 프로그램은 최단거리 합의 역수를 자동으로 계산하므로 직관적으로 측정된 인접 중앙성 값이 높을수록 인접 중앙성이 높다.

4) 이 연구에서 행정동 간 거리는 물리적 거리 혹은 교통 거리가 아니라 관계의 거리를 의미한다.

료 구조에 적합한 방법을 선택해야 한다. 이 연구의 자료는 일반적으로 적용하는 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)에 맞지 않을 수 있으므로 검증과정을 거쳐 다층 회귀분석으로 통근 네트워크 특성의 토지 가격 효과를 찾아보았다.

이 연구의 분석모형을 수식으로 표현하면 다음 식 (1)과 같다.

$$P_{ij} = \gamma_{00} + \beta_k N_{ijk} + \beta_k L_{ijk} + \beta_k T_{ijk} + \beta_k R_{ijk} + \beta_k S_{ijk} + \mu_{0j} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

이 수식에서 i 는 개별 필지이며, j 는 행정동이다. P 는 평방미터당 토지 가격을 로그로 전환한 값이며, N 은 통근 네트워크 특성의 벡터, L 은 개별 토지 특성의 벡터, T 는 교통입지 특성의 벡터, R 은 부동산 개발 특성의 벡터, S 는 사회경제 특성의 벡터이다. u 와 ε 는 각각 행정동 단위와 토지 필지 단위의 잔차이다. γ_{00} 은 상수이며, β_k 는 계수이다($k=1, 2, 3, \dots, m, m$ =변수의 수). 이 연구의 모형에서 필지단위(1수준) 변수는 개별 토지특성과 교통 입지 특성이며, 행정동단위(2수준) 변수는 통근 네트워크 중앙성, 부동산개발 특성, 사회경제 특성 등이다.

이 연구와 같이 필지 단위와 행정동 단위 변수를 쓴다고 하여 모두 다층 회귀분석을 적용하는 것은 아니다. 즉, ICC(Intra-Class Correlation) 값이 판단 기준점인 0.05를 넘는 경우에만 이 연구방법을 사용한다(Rabe-Hesketh and Skrondal, 2008; 이희연·노승철, 2012).⁵⁾

IV. 통근 네트워크 중앙성의 공간 분포 특성과 토지 가격 효과

1. 서울시 통근 네트워크 중앙성 공간 분포 특성

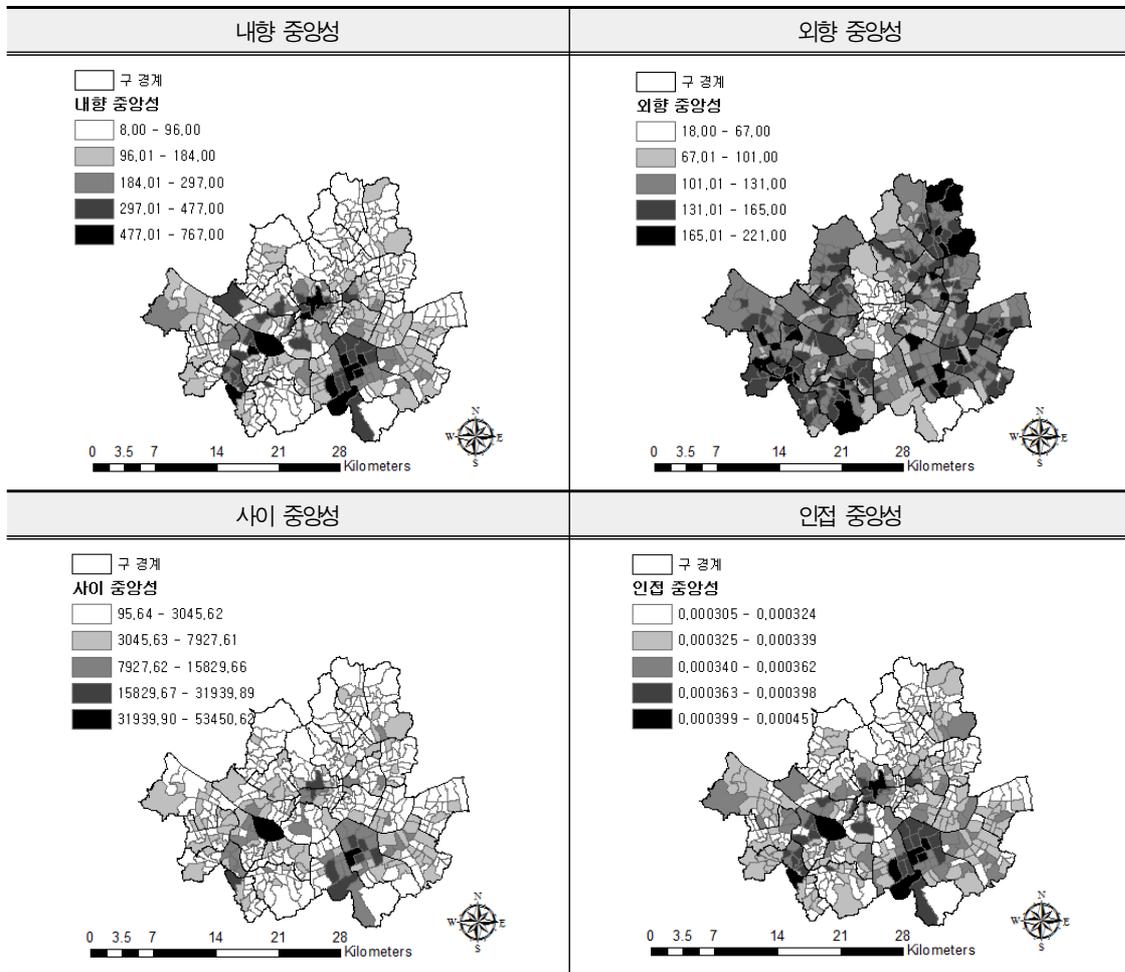
통근 네트워크 중앙성을 서울시 행정동 단위로 계산할 수 있기 때문에 계산한 중앙성을 행정동 지도에 표시할 수 있다.⁶⁾ 이는 한 눈에 통근 네트워크 중앙성의 공간 분포 패턴을 보여준다. 앞에서 제시한 총 8개의 네트워크 중앙성의 공간 분포를 서울시에 국한하여 살펴 보고자 한다. <그림 4>와 <그림 5>에서 서울시의 네트워크 중앙성을 자세히 보면 보다 명확한 분포 패턴을 알 수 있다. 먼저, 서울시 내향 중앙성과 외향 중앙성의 공간 분포를 보면, 내향 중앙성은 도심, 강남구, 영등포구 여의도동을 중심으로 높았다. 그 이유는 이 지역에 기업이 집중되어 있어 일자리가 많기 때문이다. 또한, 외향 중앙성은 서울시 전반에 걸쳐 주로 주거지역을 중심으로 높게 나타났다. 주거지에서 외부 지역으로 출근하는 패턴을 보이고 있는 것이다. 사이 중앙성과 인접 중앙성은 대체로 도심, 강남구와 서초구, 영등포구 여의도동을 중심으로 높았다. 이들 지역간 통근, 이들 지역과 주거지 간 통근이 많기 때문이다. 위세 중앙성을 나타내는 페이지 랭크와 아이겐벡터 중앙성은 도심, 강남구와 서초구, 영등포구 여의도동 외에 구로구와 금천구 일부 행정동에서 높았다. 이들 지역은 주거지와 더불어 주로 오피스와 제조업이 밀집된 지역이며, 이 지역을 중심으로 다른 행정동에 대한 통

5) 이희연·노승철(2012)은 책에서 명시적으로 ICC 값이 0.05 미만인 경우 선형회귀모형을 적용할 것을 권하고 있다.

6) 행정동의 중심점 지도에 통근 네트워크 중앙성 값을 표현해 보았으나 가독성이 크게 떨어져 불가피하게 각 행정동 면단위에 표현하였다. 그러나 지도에 표현된 네트워크 중앙성이 각 행정동 안에서 모두 하나의 값을 갖는 것이 아니라 중심점을 기준으로 측정된 값이라는 점에 주의해야 한다.

근 구조와 이들 지역간 통근 구조가 서로 긴밀하게 연결되어 있기 때문이다. 즉, 페이지 랭크와 아이겐벡터 중앙성은 주요 고용 중심지와 직접적으로 연결되어 있음을 나타내므로 주거용 토지가격이 높을 가능성이 크다. 끝으로, 클러스터링 지수를 보면, 이 값이 높을수록 일종의 도당(Clique)을 형성하는 것으로 볼 수 있는데, 대체로 서울시 직장주거지가 혼재된 지역을 중심으로 높다. 이 지역의 경우 국지적 수준의 통근 네트워크를 형성하고 있으므로 대체로 주거용 토지가격은 상대적으로 낮을 것이다. 높은 RVPR은 행정동 간 서로

오고감이 행정동 간 전체 통근에서 차지하는 비중이 높음을 나타낸다. 이러한 행정동은 직장과 주거가 모두 있으며, 행정동 간 쌍방의 출퇴근이 많다는 것이 특징이다. 다시 말하면, 주거와 직장이 분리되어 있음을 나타내는 지표이다. 이러한 직주분리의 성격과 토지가격 간 관련성을 분석해 보면, 직주 분리의 경제적 가치 혹은 부동산 시장의 반응을 토지가격을 통해 측정할 수 있다. 지금까지 설명한 서울시 통근 네트워크 중앙성 공간 분포는 서울시의 통근 공간구조를 반영할 뿐만 아니라 가구와 기업의 입지패턴에 대한 도시경제학적



〈그림 4〉 서울시 네트워크 중앙성의 공간 분포 패턴 1

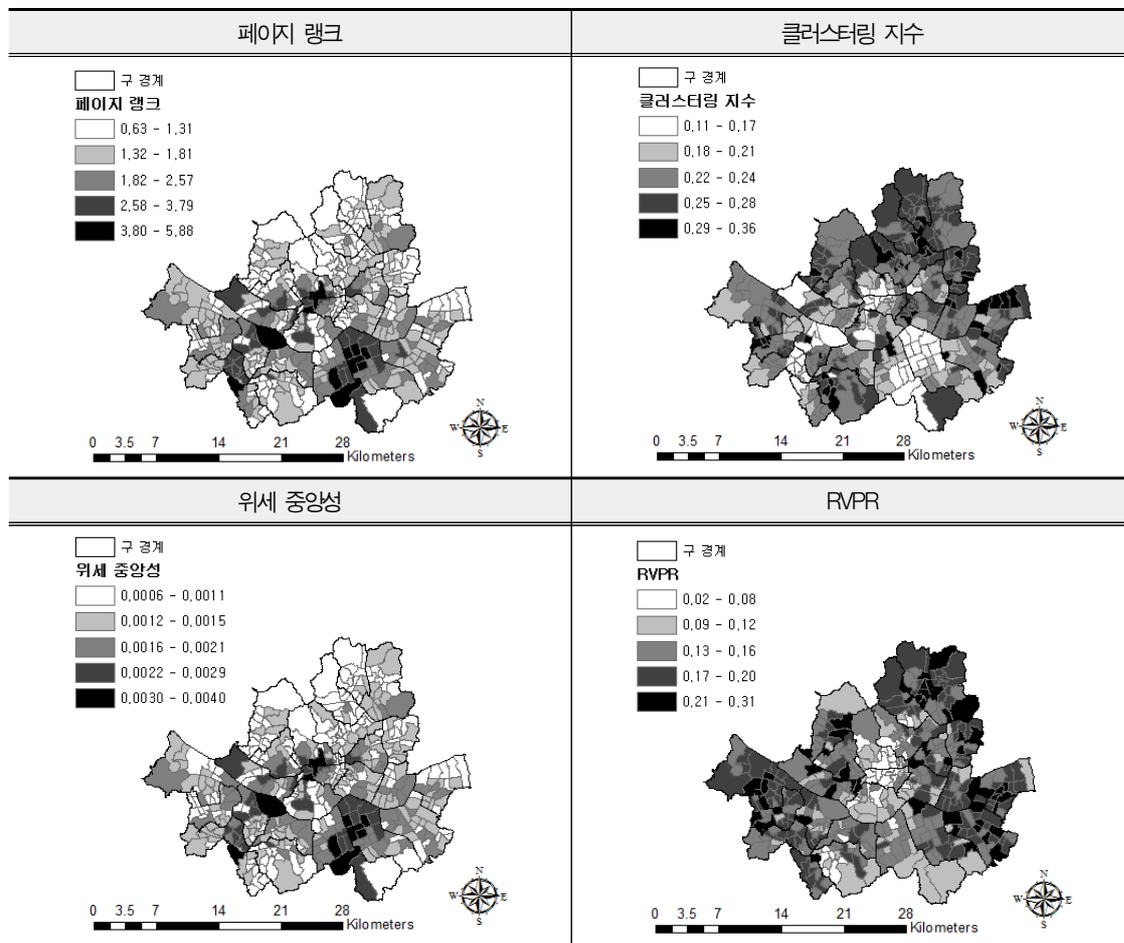
원리로 설명할 수 있다. 즉, 서울시는 도시성장과정을 거치면서 단핵도시에서 다핵도시로 변화되었다. 뿐만 아니라 서비스업 중심의 산업구조 재편, 소득의 상승, 도시개발에 의한 인구 이동, 교통망의 발달 등으로 인해 기업의 국지적 집중과 주거지의 확산을 초래하였다(Seoul Development Institute, 2003). 특히, 도시경제의 원리에서 말하듯, 교통비용을 절감할 수 있는 접근성이 좋은 지역을 중심으로 기업과 일자리가 집중하고 그 외의 지역으로 주거지가 정착을 하면서 현재의 직장과

주거 네트워크를 형성하게 되었다.⁷⁾

2. 통근 네트워크 중앙성의 토지가격 효과 모형 결과와 해석

1) 모형 개요

이 연구는 통근 네트워크 중앙성이 주거용 토지가격에 미치는 영향을 분석하기 위해 앞에서 제시한 자료를 이용해 모형을 구성하였다. 자료 구조는 이미 연구방법에서 제시한 바와 같이 토지



<그림 5> 서울시 네트워크 중앙성의 공간 분포 패턴 2

7) 서울시 도시공간구조의 역사적 발전 과정은 Seoul Development Institute(2003) 참조

필지 단위와 행정동 단위로 나누어진다. 이 모형에서 종속변수는 토지가격이며, 독립변수는 통근 네트워크 중앙성, 개별 토지 특성, 교통입지 특성, 부동산 개발 특성, 사회경제 특성으로 구분하였다. 이 가운데 통근 네트워크 중앙성 변수로 내향 중앙성, 외향 중앙성, 사이 중앙성, 인접 중앙성, 클러스터링 지수, 위세 중앙성(아이겐벡터 중앙성)을 선정하였다.⁸⁾ 변수 선정의 근거는 기존 연구에서 논의한 사이 중앙성, 인접 중앙성, 위세 중앙성 외에 연결의 방향성이 있는 통근 네트워크의 특성을 반영하는 내향과 외향 중앙성, 클러스터링 지수와 RVPR을 모형에 포함하여 그 차이점을 비교하고자 새롭게 시도하였다. 아울러 각 중앙성의 의미는 다르지만 서로 일정한 상관성이 있음을 고려하여 <표 4>와 같이 상관관계를 분석한 후 상관성이 낮은 변수로 총 5개의 변수군을 만들었다. 아울러 각 변수의 특성도 감안하여 각 변수군을 내향-외향 중앙성, 사이 중앙성-RVPR, 인접중앙성-RVPR, 클러스터링 지수, 위세중앙성(아이겐벡터 중앙성) 등으로 구성하였다. 또한, 사회경제 특

성은 인구, 가구, 사업체, 고용 밀도로 나눌 수 있지만 인구-고용 밀도, 세대-사업체 밀도를 하나의 변수 쌍으로 하여 총 10개의 모형을 만들었다.⁹⁾ 모형에서 종속변수와 독립변수의 값이 크게 다른 경우가 있으므로 선형의 변수 관계를 만들기 위해 종속변수인 토지가격의 로그값을 사용하였고, 독립변수에서 선별적으로 로그값을 적용하였다. 이를 보이기 위해 모형 결과의 해당 변수 이름에 log를 표시하였다. 분석에 사용한 개별 필지 수는 4,363개이고 행정동은 382개였다. <표 5>와 <표 6>의 모형 1에서 10까지 보면 전체적으로 ICC값이 0.71~0.76으로 나타나 다층모형이 적합함을 보여주고 있다. 아울러 전체 결정계수는 0.29~0.38이며, 행정동 내 결정계수는 0.33, 행정동 간 결정계수는 0.36~0.43이었다.¹⁰⁾

2) 모형 결과와 해석

이 연구에서 모형은 총 10개인데, 앞과 뒤의 5개 모형은 사회경제 특성이 다르다. 즉, 앞의 5개 모형에서 사회경제 특성은 인구밀도와 고용밀도

<표 4> 네트워크 중앙성의 상관관계 분석 결과

구분	내향 중앙성	외향 중앙성	사이 중앙성	인접 중앙성	위세 중앙성	페이지 랭크	클러스터링 지수	RVPR
내향 중앙성	1							
외향 중앙성	-0.1767	1						
사이 중앙성	0.8684	0.0147	1					
인접 중앙성	0.9711	0.033	0.9057	1				
위세 중앙성	0.9604	0.0841	0.8695	0.9907	1			
페이지 랭크	0.9671	0.056	0.9171	0.9947	0.9917	1		
클러스터링 지수	-0.8711	0.0295	-0.6984	-0.8602	-0.8699	-0.8688	1	
RVPR	-0.0361	0.6359	0.0048	0.0475	0.0821	0.0694	-0.0133	1

8) 페이지 랭크는 위세 중앙성과 특성이 거의 유사하여 모형분석에서 제외하였다.
 9) 인구밀도와 고용밀도 간 상관관계 계수는 -0.0469이므로 상관관계는 낮았다.
 10) 이 연구의 계량분석에서 사용한 Stata 프로그램은 전체 결정계수, 행정동 내 결정계수, 행정동 간 결정계수를 모두 제공한다. 여기서 결정계수는 모형의 적합도(goodness of fit)를 나타내며 기존 문헌과 국제 학술지에서 인정받은 방법이다(Duncan, 2011).

<표 5> 통근 네트워크 중앙성의 주거용 토지가격 효과 모형 1

변수	모형 1		모형 2		모형 3		모형 4		모형 5	
	계수	P > Z								
Fixed Effects										
통근 네트워크 중앙성										
log(내향 중앙성)	0.067	0.010								
log(외향 중앙성)	-0.054	0.265								
log(사이 중앙성)			0.050	0.000						
log(인접 중앙성)					1.116	0.001				
클러스터링 지수							-0.950	0.027		
log(위세 중앙성)									0.122	0.016
RVPR			-0.829	0.014	-0.810	0.015				
개별 토지 특성										
단독주택	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002
연립주택	0.080	0.000	0.079	0.000	0.079	0.000	0.079	0.000	0.079	0.000
아파트	0.350	0.000	0.351	0.000	0.350	0.000	0.350	0.000	0.350	0.000
평지	0.051	0.000	0.051	0.000	0.051	0.000	0.051	0.000	0.051	0.000
정방형	0.091	0.000	0.092	0.000	0.092	0.000	0.092	0.000	0.092	0.000
가장형	0.085	0.000	0.085	0.000	0.085	0.000	0.085	0.000	0.085	0.000
세장형	0.108	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000
사다리	0.058	0.000	0.058	0.000	0.058	0.000	0.058	0.000	0.058	0.000
광대로입면	0.039	0.223	0.039	0.221	0.039	0.223	0.040	0.218	0.040	0.217
교통입지 특성										
log(시청에서 거리)	-0.012	0.615	-0.020	0.426	-0.020	0.429	-0.020	0.399	-0.028	0.249
log(부도심에서 거리)	-0.106	0.000	-0.101	0.000	-0.097	0.000	-0.106	0.000	-0.107	0.000
log(도로에 대한 거리)	-0.011	0.001	-0.011	0.001	-0.011	0.001	-0.011	0.001	-0.011	0.001
log(지하철 역에 대한 거리)	-0.077	0.000	-0.077	0.000	-0.077	0.000	-0.077	0.000	-0.077	0.000
log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.013	0.004	-0.013	0.004	-0.013	0.004	-0.013	0.004	-0.013	0.004
부동산개발 특성										
주거용 부동산 비중	1.167	0.000	1.215	0.000	1.251	0.000	1.142	0.000	1.133	0.000
상업용 부동산 비중	-0.441	0.186	-0.461	0.164	-0.466	0.157	-0.418	0.210	-0.422	0.206
사무용 부동산 비중	0.015	0.965	-0.137	0.689	-0.300	0.395	0.009	0.980	-0.045	0.896
산업용 부동산 비중	-0.803	0.025	-0.910	0.010	-0.927	0.008	-0.885	0.013	-0.892	0.013
부동산 개발 혼합	0.440	0.033	0.609	0.003	0.673	0.001	0.426	0.034	0.455	0.024
사회경제적 특성										
log(인구밀도)	-0.239	0.000	-0.254	0.000	-0.242	0.000	-0.262	0.000	-0.263	0.000
log(고용밀도)	0.248	0.000	0.257	0.000	0.248	0.000	0.265	0.000	0.259	0.000
상수	15.318	0.000	15.069	0.000	24.273	0.000	15.737	0.000	16.428	0.000
Random Effects										
ICC	0.72		0.72		0.71		0.72		0.72	
결정계수										
행정동 내	0.33		0.33		0.33		0.33		0.33	
행정동 간	0.42		0.42		0.43		0.41		0.41	
전체	0.37		0.38		0.37		0.37		0.37	
사례 수	4,363									
행정동 수	382									

<표 6> 통근 네트워크 중앙성의 주거용 토지가격 효과 모형 2

변수	모형 6		모형 7		모형 8		모형 9		모형 10	
	계수	P > Z								
Fixed Effects										
통근 네트워크 중앙성										
log(내향 중앙성)	0.128	0.000								
log(외향 중앙성)	-0.088	0.074								
log(사이 중앙성)			0.074	0.000						
log(인접 중앙성)					1.753	0.000				
클러스터링 지수							-1.635	0.000		
log(위세 중앙성)									0.218	0.000
RVPR			-0.759	0.027	-0.764	0.023				
개별 토지 특성										
단독주택	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002	-0.023	0.002
연립주택	0.081	0.000	0.080	0.000	0.080	0.000	0.080	0.000	0.080	0.000
아파트	0.350	0.000	0.350	0.000	0.350	0.000	0.350	0.000	0.350	0.000
평지	0.052	0.000	0.052	0.000	0.052	0.000	0.052	0.000	0.052	0.000
정방형	0.092	0.000	0.092	0.000	0.093	0.000	0.092	0.000	0.092	0.000
가장형	0.086	0.000	0.086	0.000	0.086	0.000	0.086	0.000	0.086	0.000
세장형	0.109	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000	0.109	0.000
사다리	0.058	0.000	0.057	0.000	0.058	0.000	0.058	0.000	0.058	0.000
광대로입면	0.040	0.219	0.040	0.212	0.040	0.214	0.040	0.211	0.040	0.209
교통입지 특성										
log(시청에서 거리)	-0.015	0.539	-0.037	0.145	-0.037	0.135	-0.027	0.251	-0.041	0.087
log(부도심에서 거리)	-0.107	0.000	-0.107	0.000	-0.100	0.000	-0.109	0.000	-0.110	0.000
log(도로에 대한 거리)	-0.012	0.001	-0.012	0.001	-0.012	0.001	-0.012	0.001	-0.012	0.001
log(지하철 역에 대한 거리)	-0.078	0.000	-0.078	0.000	-0.078	0.000	-0.078	0.000	-0.077	0.000
log(버스 정류장에 대한 거리)	-0.012	0.007	-0.012	0.007	-0.012	0.007	-0.012	0.007	-0.012	0.007
부동산개발 특성										
주거용 부동산 비중	0.588	0.040	0.628	0.028	0.708	0.012	0.552	0.052	0.535	0.060
상업용 부동산 비중	0.556	0.185	0.434	0.304	0.441	0.291	0.459	0.280	0.496	0.242
사무용 부동산 비중	1.081	0.001	0.985	0.004	0.654	0.063	1.142	0.001	1.015	0.003
산업용 부동산 비중	-0.098	0.792	-0.272	0.462	-0.323	0.377	-0.245	0.511	-0.267	0.473
부동산개발 혼합	0.314	0.153	0.556	0.014	0.649	0.004	0.372	0.087	0.402	0.064
사회경제적 특성										
log(세대밀도)	0.074	0.174	0.021	0.686	0.036	0.490	0.019	0.715	0.021	0.689
log(사업체밀도)	-0.106	0.039	-0.072	0.161	-0.081	0.112	-0.066	0.202	-0.078	0.128
상수	15.107	0.000	15.036	0.000	29.453	0.000	15.927	0.000	17.153	0.000
Random Effects										
ICC	0.72		0.72		0.72		0.76		0.73	
결정계수										
행정동 내	0.33		0.33		0.33		0.33		0.33	
행정동 간	0.38		0.37		0.38		0.36		0.36	
전체	0.30		0.31		0.31		0.29		0.29	
사례 수	4,363									
행정동 수	382									

이며, 뒤의 5개 모형은 세대밀도와 사업체 밀도이다. <표 5>와 <표 6>은 다층회귀모형으로 통근 네트워크 특성이 토지 가격에 미친 영향을 분석한 결과이다. 아래 모형 결과의 해석은 앞에서 제시한 식 (1)을 기준으로 제시하였다.

(1) 통근 네트워크 특성

모형 1에서 10까지 결과에서 통근 네트워크 특성의 각 변수군별 효과를 살펴 보면, 대체로 내향 중앙성은 토지가격을 높였지만 외향 중앙성은 5% 수준에서 통계적 유의성이 없었다. 즉, 내향 중앙성이 1% 상승하면 토지가격은 <모형 1>에서 0.067%, <모형 6>에서 0.128% 상승하였다. 이 결과는 내향 중앙성이 높은 행정동은 직장이 많아 외부로부터 유입되는 근로자가 많은 곳이기 때문이다. 이미 도시경제학에서 말하듯 직장과 주거용 토지 간 경쟁속에서 직장의 입지가 많은 곳의 지대가 높은 것이 일반적이다. 뿐만 아니라 직장에 인접하여 절약된 교통비용이 주거용 토지가격에 반영된 결과이기도 하다. 외향 중앙성의 통계적 유의미성이 없는 것은 내향 중앙성의 설명력이 더 크기 때문인 것으로 보인다. 사이 중앙성, 인접 중앙성, 위세 중앙성은 일관되게 토지가격을 높였다. 사이 중앙성은 1% 상승하면 <모형 2>에서 0.05%, <모형 7>에서 0.074% 상승하였다. 그리고 토지가격에 대한 인접 중앙성의 1% 상승 효과는 <모형 3>에서 1.116%, <모형 8>에서 1.753%로 나타났다. 반면에 토지 가격에 대한 위세 중앙성의 1% 상승효과는 <모형 5>에서 0.122%, <모형 10>에서 0.218%였다. 대체로 세 중앙성 가운데 인접 중앙성의 영향력이 가장 크고 그 다음으로 위세 중앙성, 사이 중앙성 순이었다. 이 결과는 특정 행정동을 기준으로 통근 네트워크 안의 다른 행정동에

도달하기 위한 연결거리의 합이 적을수록 주거용 토지가격이 높음을 의미한다. 즉, 통근 네트워크 구조속에서 연결된 행정동에 도달하기 쉬울수록 토지가격 상승 효과가 나타나고 있다. RVPR과 클러스터링 지수는 일관되게 토지가격을 낮추었다. 모형 결과를 구체적으로 보면, 토지가격에 대한 RVPR의 1% 상승은 -0.759%~-0.829%로 토지가격을 낮추었다. 같은 경우에 클러스터링 지수의 토지가격 효과는 -0.95%~-1.635%였다. 이러한 결과는 이미 앞에서 제시한 서울시 RVPR과 클러스터링 지수의 공간 분포 특성을 통해 이해할 수 있다(<그림 5> 참조). 즉, RVPR이 높은 행정동은 직장과 주거지가 혼합되어 있으며 통근 네트워크 구조상 연결된 행정동으로 오고감이 많은 직주 분리지역으로 볼 수 있다. 이 지역은 대체로 도심에서 서울시와 경기도 경계선으로 갈수록 많고, 주거용 토지가격은 상대적으로 낮다. 아울러 국지적 연결이 많아 클러스터링 지수가 높은 지역 또한 통근 네트워크의 중심성이 낮고 토지가격 또한 상대적으로 높지 않은 것이 특징이다.

(2) 개별 토지 특성

모형에서 개별 토지 특성은 모두 더미변수로 처리하여 분석하였다. 개별 토지 특성의 토지 용도에서 다세대용 토지가격을 기준으로 볼 때, 연립주택, 아파트인 경우는 상대적으로 토지가격이 높은 반면, 단독주택의 경우 상대적으로 토지가격이 낮은 것으로 나타났다. 또한, 토지 고저의 평지와 토지 형상의 정방형, 가장형, 세장형, 사다리형은 모두 토지 가격을 높였다. 반면, 광대로입면은 통계적으로 유의미하지 않았다. 토지의 고저, 형상, 도로 입면 특성은 이들의 영향력을 통제하기 위해 모형에 포함하였다.

(3) 교통입지 특성

교통입지 특성 측면에서 시청으로부터 거리는 통계적으로 유의미하지 않았고, 부도심으로부터 거리는 멀어질수록 토지가격이 낮아졌다. 이러한 결과는 적어도 토지가격의 형성 측면에서 도심의 영향력보다 부도심의 영향력이 강해졌음을 보여 준다. 결국 서울시가 단핵공간구조에서 상대적으 로 다핵공간구조로 진화되고 있음을 알 수 있다. 토지가격은 도로, 지하철 역, 버스 정류장으로부터 멀어질수록 하락하였으며 지하철역의 영향력 이 가장 컸다. 지하철 역은 버스와 같은 대중교통 서비스에 비해 보다 넓은 공간에 빠른 속도로 도 달할 수 있는 장점이 반영되었기 때문이다.

(4) 부동산 개발 특성

부동산 개발의 각 비중에서 주거용과 산업용 부동산 개발 비중만 통계적으로 유의미하였다. 그 결과를 보면, 주거용 부동산 개발이 많으면 토지 가격이 상승하는 반면 산업용 부동산 개발 비중이 높아지면 토지 가격은 하락하였다.¹¹⁾ 주거용 부 동산 개발이 많은 곳은 이미 입지적 장점을 갖고 있으며 주거용 부동산 간 경쟁이 클 수 있어 가격 을 높이는 반면, 산업용 부동산은 먼지, 소음 등 부정적 외부 효과를 낼 수 있어 주거용 토지가격 을 낮춘 것으로 보인다. 부동산 개발의 통합도가 높아지면 토지가격은 상승하였다. 서울시에서 부 동산 개발의 혼합도가 높은 곳은 대체로 주요 대 중 교통망과 대로 주변이다. 따라서 이 지역의 주 거용 토지가격은 상업시설에 대한 용이한 접근성, 교통망에 대한 편리적 이용 가능성 등으로 인해 높아진 것으로 보인다.

(5) 사회경제 특성

사회경제 특성 가운데 인구밀도는 토지가격을 낮추었지만 고용 밀도는 높이는 효과를 보였다. 세대 밀도는 일관되게 통계적으로 유의미하지 않 았고, 사업체 밀도는 통계적 유의미성이 불안정하 여 모형에 따라 달리 나타났다. 인구밀도가 높은 곳은 대체로 주거지역이며 고용 밀도가 높은 것은 경제활동이 많은 곳이다. 이러한 결과는 앞의 부 동산 개발 특성에서 주거용 부동산 비중이 높으면 주거용 토지가격이 높아진다는 것과 연관지어 상 충되어 보일 수 있다. 그러나, 주거용 부동산 개발 과 인구밀도는 서로 다른 성격의 변수라는 점에서 해석에 무리는 없어 보인다. 요약하자면, 도시경 제학의 입지 경쟁 원리에 따라 경제활동이 많은 곳 이 주거용 토지가격이 더 높아지는 것이다. 반면, 세대나 사업체 밀도는 모형에서 다른 변수의 영향 력으로 인해 설명력을 잃은 것으로 해석할 수 있다.

V. 결론과 정책적 함의

이 연구는 2010년 수도권 가구통행실태 조사 자료를 이용해 서울시 통근 네트워크 중앙성을 측 정하고 토지가격에 미치는 효과를 다층회귀모형 으로 분석하였다. 연구 결과를 통근 네트워크 중 앙성을 중심으로 간략하게 요약하면 첫째, 서울시 내향 중앙성은 도심, 강남구, 영등포구 여의도동 을 중심으로 높았고, 외향 중앙성은 서울시 전반 에 걸쳐 주로 주거지역을 중심으로 높게 나타났 다. 사이 중앙성과 인접 중앙성은 대체로 도심, 강 남구와 서초구, 영등포구 여의도동을 중심으로 높 았으며, 위세 중앙성은 도심, 강남구와 서초구, 영

11) 부동산개발 혼합과 각 부동산 개발의 비중은 다른 성격의 변수이다. 따라서 각 변수의 효과는 변수 성격을 고려하여 해석하였다.

등포구 여의도동 외에 구로구와 금천구 일부 행정동에서 높았다. 아울러, 클러스터링 지수와 RVPR은 서울시 주거와 직장이 혼재된 지역을 중심으로 높았다. 이러한 결과는 그동안 서울시 도시공간구조가 발전하면서 형성된 통근 네트워크 구조를 반영하는 것이다. 둘째, 통근 네트워크 특성이 주거용 토지가격에 미친 영향을 간략하게 요약하면, 내향 중앙성은 토지가격을 높였지만 외향 중앙성은 5% 수준에서 통계적 유의성이 없었다. 이 결과는 이미 도시경제학에서 증명한 바와 같이 직장주택의 입지경쟁속에서 직장이 많은 곳의 지대가 높음을 의미한다. 그 다음 사이 중앙성, 인접 중앙성, 위세 중앙성은 일관되게 토지가격을 높였다. 모형에서 나온 계수를 비교해 보면, 세 개의 통근 네트워크 중앙성 가운데 인접 중앙성의 영향력이 가장 크고 그 다음으로 위세 중앙성, 사이 중앙성 순이었다. RVPR과 클러스터링 지수는 일관되게 토지가격을 낮추었다.

이 연구의 결과가 주는 정책적 함의는 첫째, 이 연구는 보다 다양한 네트워크 특성 지표를 적용하여 복잡한 서울시의 통근 네트워크 구조를 행정동 단위로 진단하였다. 기존의 네트워크 과학에서 주로 사용하는 지표를 통근 네트워크 구조를 이해하는데 활용할 수 있음을 보여주고 있다. 앞으로 역동적인 도시공간구조의 특성을 파악하고 대안을 모색하는데 기여할 수 있다. 둘째, 이 연구는 2010년 통근 네트워크 중앙성이 토지가격에 미치는 영향도 분석하였다. 토지 가격은 장차 토지이용의 입지와 밀도에 장기적으로 영향을 미치는 변화요인이라는 점에서 연구 결과는 통근 네트워크 구조 변화의 파급효과를 진단하는 데 응용할 수 있다. 다시 말하면, 이 연구의 경험연구를 통해 향후 도시공간구조를 재편하는 정책이 해당 지역의 토지

가격에 주는 영향을 미리 예측할 수 있을 것이다. 셋째, 앞으로 도시공간구조에 대한 의사결정에 기초자료가 될 수 있다. 정책적 노력에 의해 통근 네트워크가 어떻게 변화하는지 미리 진단할 수 있을 뿐만 아니라 네트워크 중앙성 변화로 인한 토지시장 효과도 사전에 가늠할 수 있으므로 도시계획, 도시설계, 도시교통 정책에 대한 구상과 효과적인 실행에 활용할 수 있을 것이다. 끝으로, 이 연구의 분석방법과 연구성과는 향후 토지이용과 대중교통을 연계한 정책을 적극적으로 실행할 경우 도시공간구조의 통근 네트워크 변화를 진단하고 평가하는 데 활용할 수 있을 것이다. 즉, 이 연구의 방법을 시계열 자료에 적용하여 통근 네트워크의 변화상을 추적할 수 있다. 이를 통해 정책의 공간구조 변화 효과를 측정할 수 있을 것이다. 아울러 정책 효과에 대한 평가 결과는 향후 더 개선된 토지이용과 대중교통 연계방안을 구상하고 실행하는 데 기초자료가 될 것이다.

이 연구는 아직 개별 행정동 간 통근 네트워크 구조 파악, 통근 네트워크 중앙성 변화에 따른 다양한 도시공간구조 효과 분석, 시계열상 네트워크 중앙성 변화 등을 분석하지 못하는 한계를 보이고 있다. 향후 이러한 연구과제는 자료의 확보와 엄밀한 방법론의 개발을 통해 추진할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 강창덕, 2013, "서울시 보행 편의성 지수 측정과 정책과제", 『서울도시연구』, 14(4): 1~25.
- 김경민·이양원, 2007, "사교육시장 및 교육성고가 아파트 가격에 미치는 영향: 2004년 이후 아파트가격 상승기를 중심으로", 『국토연구』, 55: 239~252.
- 김용학, 2011, 『사회 연결망 분석』, 서울: 박영사.

- 백승걸, 2003, “전국 통행기종점 자료를 이용한 지역간 상호관련성 분석” 『국토계획』, 38(3): 147~158, 대한국토도시계획학회.
- 서울특별시 토지관리과, 2010, 「개발공시지가 자료」.
- 서울특별시, 2010, 「건물집계자료」.
- 서울특별시, 2010, 「서울시 교통지리정보」.
- 서울특별시, 2010, 「서울시 통계」.
- 손승호, 2003, “수도권의 통근통학통행과 지역구조의 변화”, 『한국도시지리학회지』, 6(1): 69~83, 한국도시지리학회
- 수도권교통본부(서울시), 2010, 「가구통행실태조사」.
- 오규식·이왕기, 1997, “아파트 가격에 내재한 경관조망 가치의 측정”, 『국토계획』, 32(3): 139~151.
- 이상경·신우진, 2001, “재건축 가능성이 아파트 가격에 미치는 영향”, 『국토계획』, 36(5): 101~110.
- 이수상, 2012, 「네트워크 분석 방법론」, 서울: 논형.
- 이정민, 2004, “부동산정책변화에 따른 건설업의 생존경쟁에 관한 연구”, 『부동산정책연구』, 5(2): 1~16.
- 이주형, 1989, “주거선택 및 주택이동 결정에 학군이 미치는 영향에 관한 연구”, 『국토계획』, 24(2): 157~174.
- 이희연·노승철, 2012, 「고급통계분석론: 이론과 실습」, 파주: 법문사.
- 이희연·김홍주, 2006, “서울대도시권의 통근 네트워크 구조 분석”, 『한국도시지리학회지』, 9(1): 91~111, 한국도시지리학회.
- 한대호·홍현철, 2008, “서울로의 연결성과 통행으로 본 수도권 도시계층성”, 『한국도시지리학회지』, 11(1): 43~51, 한국도시지리학회.
- 허세림, 1994, “헤도닉가격기법을 이용한 주택특성의 잠재 가격 측정”, 『주택연구』, 2(2): 27~42.
- 홍남희·이명훈, 2011, “지속가능한 개발 관점에서의 서울시 도시공간구조 변화특성에 관한 연구”, 『국토계획』, 46(1): 39~50, 국토연구원.
- 건축법 및 동법 시행령, 2010.
- Batty, M., 2013, *The New Science of Cities*, Boston: MIT Press.
- Brueggeman, W. and Fisher, J., 2008, *Real Estate Finance and Investments*, Columbus: McGraw-Hill.
- Cameron, G. and Muellbauer, J., 1998, “The Housing Market and Regional Commuting and Migration Choices”, *Scottish Journal of Political Economy*, 45(4): 420~446.
- Cao, T. and Cory, D., 1982, “Mixed Land Uses, Land Use Externalities, and Residential Property Values: A Reevaluation.” *Annals of Regional Science*, 16(1): 1~24.
- Caschili, S. and De Montis, A., 2013, “Accessibility and Complex Network Analysis of the U. S. Commuting System”, *Cities*, 30: 4~17.
- Cervero, R. and Landis, J., 1997, “Twenty Years of the Bay Area Rapid Transit System: Land Use and Development Impacts”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(4): 309~333.
- Cervero, R. and Kang, C., 2011, “Bus Rapid Transit Impacts on Land Uses and Land Values in Seoul, Korea”, *Transport Policy*, 18(1): 102~116
- Cervero, R. and Wu, K., 1997, “Polycentrism, Commuting, and Residential Location in the San Francisco Bay Area”, *Environment and Planning A*, 29(5): 865~886.
- Cheshire, P. and Sheppard, S., 1998, “Estimating the Demand for Housing, Land, and Neighbourhood Characteristics.” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 60(3): 357~382.
- Dobesova, Z. and Krivka, T., 2012, “Walkability Index in the Urban Planning: A Case Study in Olomouc City”, *Advances in Spatial Planning*, Shanghai: InTech.
- Duncan, M., 2011, “The Impact of Transit-oriented Development on Housing Prices in San Diego, CA”, *Urban Studies*, 48(1): 101~127.
- Giuliano, G., 2004, “Land Use Impacts of Transportation Investments: Highway and Transit”, *The Geography of Urban Transportation*, New York: Guilford Press.
- Gorman, S., Patuelli, R., Reggiani, A., Nijkamp, P., Kulkarni, R., and Haag, G., 2007, “An Application of Complex Network Theory to German Commuting Patterns”, *Network Science, Nonlinear Science and Infrastructure Systems*, 102: 167~185.
- Grether, D. and Mieszkowski, P., 1980, “The Effects of Nonresidential Land Uses on the Prices of Adjacent Housing: Some Estimates of Proximity Effects”, *Journal of Urban Economics*, 8(1): 1~15.
- Hansen, D., Shneiderman, B., and Smith, M., 2011,

- Analyzing Social Media Networks with NodeXL: Insights from a Connected World*, Massachusetts: Morgan Kaufmann.
- Irwin, M. and Hughes, H., 1992, "Centrality and the Structure of Urban Interaction: Measures, Concepts, and Applications", *Social Forces*, 71(1): 17~51.
- Kain, J. and Quigley, J., 1970, "Measuring the Value of Housing Quality", *Journal of the American Statistical Association*, 65(330): 532~548.
- Kang, C. and Cervero, R., 2009, "From Elevated Freeway to Urban Greenway: Land Value Impacts of the CGC Project in Seoul, Korea." *Urban Studies*, 46(13): 2771~2794.
- Kim, S., Orazem, P., and Otto, D., 2001, "The Effects of Housing Prices, Wages, and Commuting Time on Joint Residential and Job Location Choices", *American Journal of Agricultural Economics*, 83(4): 1036~1048.
- Li, M. and Brown, H., 1980, "Micro-Neighborhood Externalities and Hedonic Housing Prices", *Land Economics*, 56(2): 125~141.
- McDonald, J. and McMillen, D., 2007, *Urban Economics and Real Estate: Theory and Policy*, Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Montis, A., Chessa, A., Campagna, M., Caschilli, S., and Deplano, G., 2010, "Modeling Commuting Systems through a Complex Network Analysis: A Study of the Italian of Sardinia and Sicily", *Journal of Transport and Land Use*, 2(3/4): 39~55.
- Newman, M., 2010, *Networks: An Introduction*, Oxford: Oxford University Press.
- O'Sullivan, A., 2009, *Urban Economics*, New York: McGraw-Hill.
- Patuelli, R., Reggiani, A., Nijkamp, P., and Bade, F., 2010, "The Evolution of the Commuting Network in Germany", *Journal of Transport and Land Use*, 2(3/4): 5~37.
- Pozdena, R., 1988, *The Modern Economics of Housing*, Westport: Quorum Books
- Puzis, R., Altshuler, Y., Elovici, Y., Bekhor, S., Shifan, Y., and Pentland, A., 2013, "Augmented Betweenness Centrality for Environmentally Aware Traffic Monitoring in Transportation Networks", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 17(1): 91~105.
- Rabe-Hesketh, S. and Skrondal, A., 2008, *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*, College Station: Stata Press.
- Reggiani, A., Bucci, P., and Russo, G., 2011, "Accessibility and Impedance Forms: Empirical Applications to the German Commuting Network", *International Regional Science Review*, 34(2): 230~252.
- Rodriguez, D. and Targa, F., 2004, "Value of Accessibility to Bogota's Bus Rapid Transit System", *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 24(5): 587~610.
- Rosen, S., 1974, "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *The Journal of Political Economy*, 82(1): 34~55
- Seoul Development Institute, 2003, *Seoul, 20th Century: Growth and Change of the Last 100 Years*.
- Song, Y. and Knaap, G., 2004, "Measuring the Effects of Mixed Land Uses on Housing Values", *Regional Science and Urban Economics*, 34: 663~680.
- Sultana, S., 2002, "Job/Housing Imbalance and Commuting Time in the Atlanta Metropolitan Area: Exploration of Causes of Longer Commuting Time", *Urban Geography*, 23(8): 728~749.
- Vandell, K. and Lane, S., 1989, "The Economics of Architecture and Urban Design: Some Preliminary Findings", *AREUEA Journal*, 17: 235~260.

원 고 접 수 일 : 2013년 12월 18일
 1차심사완료일 : 2014년 3월 7일
 2차심사완료일 : 2014년 4월 18일
 최종원고채택일 : 2014년 4월 24일