

토지이용 밀도에 대한 가로망 특성 효과 연구 : 2010년 서울시에 대한 공간구문론 적용

A Study on Impacts of Street Network on Land-Use Density in Seoul, Korea

강창덕

Kang Chang-Deok

중앙대학교 도시계획·부동산학과 조교수

Assistant Prof., Dept. of Urban Planning and
Real Estate, Chung-Ang Univ.
(cdkang@cau.ac.kr)

목 차

I. 서론

II. 관련 이론의 검토

III. 분석 자료와 분석 방법

1. 분석 자료와 기본 현황
2. 가로망 특성 분석 방법과 결과

IV. 실증분석 결과와 해석

1. 인구밀도 모형
2. 가구밀도 모형
3. 고용밀도 모형

V. 결론과 정책적 함의

1. 서론

도시는 머무름(settlement)과 움직임(movement)의 복합공간이다. 따라서 도시경제와 정책의 핵심적인 관심대상인 도시공간구조에 대한 연구는 갈수록 커지고 있다. 특히, 기후변화와 도시 문제에 대응하기 위해 토지이용과 교통 연계를 강화하기 위한 연구는 중요한 영역으로 성장하고 있다. 이와 관련하여 국내외 연구분야에서 새롭게 등장하고 있는 시각은 도시 공간구조를 구성하는 토지이용과 교통망 또는 가로망을 보다 긴밀하게 연계하여 보는 시각이다. 이러한 시각은 그동안 도시공간구조를 단핵도시 중심에서 다핵도시로 보는 시각으로부터 진화하였으며, 더 나아가 교통망과 토지이용의 관련성을 깊이 이해하려는 최근 흐름을 반영한 것이다.

본 논문에서 공간구문론 접근을 통해 토지이용 밀도를 분석하는 이유는 크게 세 가지다. 첫째, 가로망의 구조가 미시적 토지이용의 입지와 밀도를 결정하기 때문이다. 기존의 도시경제학적 접근방법은 대체로 도심과 부도심 등 중심지에 대한 접근성이 인구, 가구, 고용의 입지를 결정한다고 보았다. 이러한 시각은 경제 논리에 근거하여 사람과 기업의 입지 의사결정을 설명하고 예측하는 데 크게 기여하였다. 그러나 상대적으로 미시적 수준에서 인구, 가구, 고용의 집중과 분산 과정을 설명하는 데 많은 한계가 있다. 둘째, 기존의 도시공간구조를 교통 측면에서 바라본 연구는 도시공간구조가 교통수단의 차이, 교통망에 대한 물리적 혹은 시간적 거리비용에 따라 그 입지와 밀도가 달라진다고 보았다. 이러한 논리는 가로망의 특성에 대해 토지이용의 입지와 밀도가 어떻게 반응하는지에 대한 설명이 부족하다. 따라서 공간구문론 접근법을 통해 가로망의 특성을 계량화하고 토지이용 입지와 밀도에 대한 각 특성의 영향을 엄밀하게 분석할 필요가 있다. 끝으로, 공간구문론은 기존의 접근성 개념

을 보다 풍부하게 할 수 있는 새로운 시각이다. 즉, 교통수단과 이동 효율성 중심의 시각에서 가로망의 구조적 특성을 접근성 개념으로 받아들여 토지이용과 가로망의 연관성을 깊이 이해할 수 있는 접근법이다. 기후변화에 대응하기 위한 친환경 도시공간구조 개편에서 가로망 중심의 토지이용 개편이 핵심이라는 점에서 공간구문론은 기존의 논의를 보완하면서 동시에 정책적으로 실현 가능한 대안을 모색하는 데 풍부한 시사점을 제시할 것이다.

가로망 분석에서 공간구문론이 갖는 강점은 첫째, 교통수단 중심의 시각이 아니라 가로망의 구조적 특성으로 접근성을 진단할 수 있다는 점이다. 다수의 기존 논의는 교통수단이나 가로망을 전제하고 교통 거리, 비용이나 이용 편의성을 중심으로 분석한 반면, 공간구문론은 가로망 구조 특성을 계량화하여 도시 공간구조 변화에 대한 영향을 분석하는 시도다. 둘째, 가로망의 미시적 특성과 거시적 구조를 구체적으로 이해할 수 있는 접근법이다. 가로망의 연결구조를 다양한 측정지표로 진단하여 각 토지이용 주변의 가로망 특성을 포착할 뿐만 아니라 각 가로가 전체 가로망에서 차지하는 위상도 수치로 표현할 수 있다. 따라서 공간구문론 접근은 가로망의 분석을 넘어서 도시를 해석할 수 있는 새로운 관점이 되고 있다.

이 연구의 기본적인 시각이자 연구가설은 첫째, 도심에 대한 접근보다 가로망 특성이 강력한 밀도 결정인자일 것이다. 둘째, 미시적 수준의 토지이용 집중도는 그 성격에 따라 특정한 가로망 특성과 연관성이 높을 것이다. 끝으로, 각 토지이용과 직접 연결된 최인접 가로망 특성보다 일정한 반경 내 가로망 특성이 영향을 줄 것이다. 가로망은 교통 네트워크의 ‘연결효과’로 인해 인근의 다른 가로망과 연결되어야 그 기능을 발휘할 수 있기 때문이다.¹⁾

본 논문은 2010년 서울시를 대상으로 가로망의 특성이 상대적으로 미시단위인 집계구의 인구밀도,

가구밀도, 고용밀도 등에 미치는 영향을 계량모형으로 분석하고자 한다. 이를 위해 먼저 기존의 관련 문헌을 검토하고, 연구 틀과 분석방법을 모색하였다. 서울시 가로망 특성은 공간 구문론(Space Syntax)의 측정기법으로 분석하였으며 인구, 가구, 고용 등의 밀도는 통계청 집계구 단위로 측정하였다. 그다음 가로망이 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도 등에 미치는 영향을 계량모형으로 밝히고 그 결과를 해석하였다. 끝으로 연구 결과를 요약하고 정책적 시사점을 도출하였다.

II. 관련 이론의 검토

관련 이론의 검토를 통해 문제의식을 명확히 할 뿐만 아니라 분석모형과 변수 설정에 활용하고자 한다. 관련 이론은 대체로 도시공간구조를 보는 시각의 변화, 공간구문론에 의한 도시 연구, 대도시권의 밀도 연구 등으로 크게 나눌 수 있다. 이러한 기존 연구를 바탕으로 모형 설정과 분석을 시도한다.

먼저, 도시공간구조에 대한 도시경제학의 시각은 단핵도시에서 다핵도시로 변화되어 왔다. 도시 발달 초기 도시는 하나의 중심지에 일자리가 집중되다가 도시성장을 거치면서 여러 개의 하위 중심이 생기는 다핵도시로 변모한다는 것이다. 이 모형에서 토지이용 밀도는 규제 영향을 제외한다면 도심 또는 부도심에서 멀어지면서 그 밀도가 떨어지는 패턴을 보인다(Mills, 1972; O'Sullivan, 2009). 여러 실증 연구들은 기존의 단핵도시 모형이 역동적으로 변화하는 도시공간구조를 반영하지 못함을 비판하면서 도심과 부도심을 중심으로 인구, 고용, 건축물 등의 집중도와 주택가격이 높아지는 다핵도시가 확산되고 있음을 증명하였다(Ladd and Wheaton, 1991; Berry and

Kim, 1993).

한편, 도시공간구조의 형성과 변화를 교통망과 교통 비용 측면에서 분석하는 일련의 연구들이 등장하였다. 먼저 Wang(1998)의 연구는 사람들이 교통망을 따라 직장에 통근한다는 점에 주목하여 교통 네트워크의 변화에 따라 인구와 고용의 공간 분포가 어떻게 반응하는지 분석하고 각기 다른 교통 네트워크 시나리오별로 인구와 고용입지 패턴의 반응을 시뮬레이션 모형으로 검증하였다. Wang and Goldmann(1996)은 중력기반모형(Gravity-based model)을 이용하여 공간마찰계수 값과 도시 규모에 따라 가상의 인구밀도 패턴이 어떻게 달라지는지 살펴보았다. 이들이 발견한 핵심적인 결론은 교통망의 확대, 교통기술의 발전, 도시의 성장으로 인해 인구 밀도 곡선의 기울기는 단핵도시 구조에 비해 점차 낮아진다는 것이다.

건축 분야에서 시작된 공간구문론은 점차 도시공간구조를 진단하고 그 영향을 분석하는 데 활용되고 있다. 특히 공간구문론은 도로나 거리의 공간 구조를 연결도(Connectivity), 통제도(Control), 평균 깊이(Mean Depth), 총 깊이(Total Depth), 전체통합도(Global Integration), 국부통합도(Local Integration) 등 다양한 측면에서 측정할 수 있다는 장점이 있다. 그동안 공간구문론을 도시 연구에 적용한 대표적인 사례를 공간구조, 공간이용 패턴, 지가 등으로 구분하여 제시하고자 한다. 먼저 서울시를 공간구문론으로 측정한 도로망 특성과 도시공간구조 형성 사이의 인과 구조를 분석한 연구는 1970년대와 1980년대는 인구, 산업, 토지 이용이 먼저 자리를 잡은 뒤 도로망이 그 주변에 형성되었으나 1990년대부터 2006년까지 시기를 보면, 거꾸로 이미 만들어진 교통망을 따

1) 본 논문에서 가로망은 도로와 거리(street)를 모두 포괄하는 개념임. 즉, 도로와 거리를 하나의 분석단위로 하여 공간 구문론 접근법으로 가로망 특성을 진단하였음.

라 산업, 높은 지가, 도시화가 집중된 것으로 밝혀졌다(김정희, 2009). 도로와 가로망 특성은 개별 필지단위의 토지이용 변화에도 영향을 준다. 공간구문론을 통해 가로망을 정량적으로 진단하고 용도변경과의 관련성을 분석한 결과, 가로망의 통합도가 용도변경에 강하고 지속적인 영향을 미친 것으로 나타났다(조기혁 외, 2001). 도로망 특성에 따라 공간이용행태도 크게 달라진다. 한 광역시의 6개 지역을 대상으로 도로망의 통합도와 통행량 간의 연관성을 분석한 연구는 외국의 일반적인 경우와 다르게 국지적 공간 특성인 반경 10의 국부통합도가 보행량과 가장 상관관계가 높음을 밝혀냈다(장동국, 2004).

도로 혹은 가로망의 특성은 접근성의 측정으로 볼 수 있으며 이는 부동산 가격에 일정 부분 반영되어 나타난다. 인사동을 대상으로 한 연구는 전체통합도와 깊이가 지가의 변화를 설명하는 중요한 변수임을 밝히면서 향후 부동산 감정평가에서 가로망 특성이 반영되어야 함을 강조하였다(임현식 외, 2002). 한편, 서울 도심을 대상으로 한 연구에서 가로망의 통합도가 높은 지역에 상업과 서비스 활동이 보다 집중하는 경향을 보이고 토지 가격도 높았다. 반면, 주택은 통합도가 낮은 곳에 더 많이 분포하는 패턴을 보였다(Min et al, 2007).

최근 외국 연구는 토지 가격과 주택 가격을 분석하기 위한 새로운 대안으로 공간구문론 접근의 도입을 강조하고 있다. 폴란드의 토지 가격을 분석한 연구는 가로망의 평균 깊이와 국부통합도가 토지가격 변화를 설명하는 가장 중요한 변수임을 계량모형을 통해 포착하였다(Sacid, 2011). 영국 런던 사례는 면적 등 주택의 다른 특성과 더불어 가로망의 통합도가 가격에 반영되고 있음을 증명하였다(Chiaradia et al, 2009).

교통망을 공간구문론 접근으로 분석하여 향후 네트워크 변화가 가져올 영향에 대한 시뮬레이션도 가

능하다. 고속철도 도입에 의한 네트워크 통합도 변화를 시나리오 설정을 통한 연구에서 철도, 고속도로, 고속철도를 모두 포함하여 분석한 결과와 여기에 국도를 더해 계산한 결과, 부산과 서울을 중심으로 통합도는 현저히 개선되지만 대전은 상대적으로 미미하게 개선됨을 알아냈다(이훈기 외, 2003). 이러한 연구를 통해 통합도 취약지점에 대한 대안 마련과 통합도가 큰 지역의 토지이용 유도방안을 도출할 수 있다. 한편, 균형발전 사업이 도시공간구조에 미치는 영향도 공간구문론 접근으로 분석할 수 있다. 미아균형발전지구의 공간 파급효과를 분석한 연구는 미아생활권 개발은 국지적 공간 변화를 초래하였음을 전체통합도와 국부통합도 측정을 통해 밝혔다. 아울러 도로망에 대한 배려가 없어 인근 지역과의 연계성은 약화되었다(유경환 외, 2006). 상업 업종별로 가로망 특성과 상관관계는 크게 다르다. 청주시를 대상으로 한 연구는 상대 고객의 이동 특성과 도로망 특성에 따라 상업시설의 입지성향이 크게 달라진다는 결론을 얻었다(손영기 외, 2010). 비교적 최근 들어 공간구문론에 의한 가로망 분석은 보행자에게 편리한 환경을 만드는 데 활용되고 있다. 예를 들어, 가로망의 연결성은 다른 변수를 통제했을 때 국지적 수준에서 보행인의 차이를 설명하는 변수임이 밝혀졌다. 이 연구의 결과는 보다 나은 보행환경을 구상하는 데 기초자료가 될 것이다(Ozbil et al, 2011)

대도시권 밀도에 대한 연구는 대체로 인구와 고용 측면에서 도시공간구조 변화를 분석하고 있다. 2000년과 2009년 5대 도시권의 읍·면·동 단위 고용 분포에 대해 지리가중회귀분석과 퓨리어확장기법을 적용하여 밀도 변화를 추적한 연구는 서울과 대전은 단핵도시 구조에서 다핵도시 구조로 크게 변화되고 있음을 증명하였다(김지소 외, 2012). 또한, 이러한 양상은 대도시권별로 다르게 나타나고 있다. 인천광역시를 대상으로 그 다핵화 과정을 보면, 도시의 중

심성은 항구 쪽에서 점차 서울과 인접지역 쪽으로 옮겨가고 있으며 다양한 활동이 섞여 있는 것이 특징이다. 또한, 공간구조적 위계보다는 주요 지역에 연결된 교통망을 따라 인구와 고용이 공간적으로 확산되고 있다(노희순 외, 2004). 2000년 대구광역시의 통계청 집계구 단위로 인구와 주택 밀도 분석 결과, 총 밀도보다 주거지역 단위로 계산한 순밀도가 도시공간구조 변화를 포착하는 데 유리함을 증명하였다. 아울러 대구광역시는 도심 공동화와 교외화로 인해 인구와 주택밀도가 크게 달라지고 있음을 밝혔다. 이러한 연구결과는 교외화 현상과 정책에 대한 외국의 논의를 그대로 받아들이기보다는 우리의 현실을 반영한 연구가 중요함을 강조한다(김재익 외, 2006).

선행연구에 비해 이 연구가 갖는 차별성은 첫째, 서울시 전체의 가로망 특성을 공간구문론 접근으로 측정하고 인구, 가구, 고용 밀도에 주는 영향을 분석하였다. 이는 접근성을 주로 교통 거리와 비용의 관점에서 바라보는 기존 연구의 한계를 보완하기 위해 가로망의 구조적 특성을 접근성의 새로운 개념으로 바라보는 것이다. 둘째, 미시공간 자료인 통계청 인구주택총조사 서울시 집계구 단위 자료를 이용하여 가로망 특성의 미시적 효과를 포착하였다. 가로망 특성의 영향이 보다 미시적인 수준에서 나타날 것이라는 점을 주목한 것이다. 전역적 혹은 거시적 수준의 가로망 특성도 측정하여 미시적 수준의 밀도와 관련성도 분석한다. 셋째, 가로망 구조의 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도 등에 미치는 영향을 비교하였다. 특히 최근접 노드의 가로망 특성, 반경 100m 이내 평균 가로망 특성, 반경 300m 이내 평균 가로망 특성을 계량분석하여 가로망의 차별적 효과를 찾으려 하였다. 끝으로 인구, 가구, 고용 밀도가 넓은 지역에 분포하는 대도시

서울의 경우 가로망 특성과 각 밀도 간 연관성이 어떻게 나타나는지 살펴보려 하였다. 이는 향후 토지이용과 가로망의 연관성을 고려한 도시정책 마련에 일정 시사점을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

III. 분석 자료와 분석 방법

1. 분석 자료와 기본 현황

본 논문에서 토지이용 밀도는 인구, 가구, 고용 밀도를 의미한다. 또한 2005년과 2010년 통계청 인구주택총조사 집계구 자료, 2009년 서울시 도로 및 거리 공간 자료, 기타 서울시 교통 공간 자료를 사용하였다. 인구주택총조사 집계구 자료에서 인구, 가구, 고용 밀도를 집계구 단위로 계산하였다. 아울러 서울시 도로 및 거리 공간 자료는 다음 분석 방법 부분에서 자세히 설명할 공간구문론을 통해 가로망 특성을 측정하였다. 기타 서울시 교통 공간 자료로 도심, 부도심, 지하철역, 버스정류장, 인근 도로로부터 각 집계구 중심 간 직선거리를 얻었다.

인구, 가구, 고용 밀도는 일반적으로 널리 사용되는 1ha당 인구 수, 가구 수, 근로자 수로 계산하였다. 각 밀도는 2005년의 경우도 계산하여 분석모형의 독립변수로 사용하였다. 2005년 각 집계구별 밀도 정도를 통제한 후 가로망 특성의 영향을 분석하기 위함이다. 또한, 각 밀도와 가로망 특성 외에 각 집계구 중심점으로부터 도심, 부도심, 지하철역, 버스정류장, 도로까지 직선거리도 독립변수로 삼았다.²⁾ 그 이유는 크게 두 가지다. 첫째, 도시의 중심지와 주요 교통 노드 사이 거리를 측정한 독립변수로 사용하여 입지에 의한 영향력을 분석모형에서 통제하려는 것

2) 도심 기준은 서울시청이며, 부도심의 기준은 각각 강남역, 청량리역, 영등포역, 용산역, 상암역 등임. 이는 서울시 도시기본계획(2006)을 참고하여 정하였음.

이다. 둘째, 가로망 특성의 영향력과 기타 공간 변수의 영향력을 비교하기 위함이다. 최근 일련의 연구에서 제시한 바와 같이 도심과 부도심의 영향력보다 미시적 차원의 가로망 특성의 중요성이 커지고 있다는 점에 착안한 것이다.

본 논문의 분석 모형에서 사용한 자료 정보는 <표 1>과 같다. 이를 간략하게 보면, 평균적으로 2005년에 비해 2010년 인구밀도는 다소 감소하였다. 가구밀도는 같은 기간 동안 높아지는 추세다. 2005년부터 2009년 사이 고용밀도는 ha당 2명 정도 증가하는 데 그쳤다. 가로망 특성변수는 그 성격에 따라 값의 차이가 큰데 총 깊이가 가장 큰 값을 보이고, 전체 통합도가 가장 낮다. 입지 특성 변수는 시청, 부도심, 지하철역, 버스정류장, 도로 순으로 집계구 중심점으로부터 멀었다.

2. 가로망 특성 분석 방법과 결과

공간구문론(Space Syntax)은 공간구조를 분석하는 시각이자 방법론이기 때문에 가로망의 구조적 특성을 정량적으로 진단할 수 있다. 이 접근방법은 1970년대부터 영국 University College of London의 Hillier 교수와 그의 연구팀이 가로망에 대한 정량적 특성과 그 사회적 효과의 분석을 위해 개발하였다(Hiller and Hanson, 1984). 공간형태(Spatial Configuration)가 주요 분석대상인데, 특정 공간이 속한 모든 공간과 맺고 있는 상호 관련성에 초점을 둔다. 따라서 공간구문론은 특정 결절점(Node)이 연결선(Edge)을 통해 다른 모든 결절점과 맺고 있는 관련성의 특성을 계량화할 수 있다(이우형 외, 2001). 공간구문론에서 가로망 구조를 측정하는 대표적인 변

표 1 _ 분석 자료 개요

구분	변수	평균	표준편차
밀도특성(명/ha) ¹⁾	2010년 인구밀도	492.82	496.40
	2005년 인구밀도	493.63	523.23
	2010년 가구밀도	178.33	164.02
	2005년 가구밀도	166.73	162.30
	2009년 고용밀도	64.85	121.55
	2005년 고용밀도	62.57	117.23
가로 특성 ²⁾	통제도	1.17	0.12
	전체 통합도	0.02	0.02
	국부 통합도	1.26	0.15
	평균 깊이	793.70	140.56
	연결도	3.13	0.44
	총 깊이	342000000.00	606000000.00
입지특성(m) ³⁾	시청에 대한 거리	9421.49	3476.22
	도로에 대한 거리	88.15	72.78
	지하철역에 대한 거리	557.02	381.79
	버스정류장에 대한 거리	165.90	111.99
	부도심에 대한 거리	4676.09	2590.35

자료: 1) 각 연도별 통계청 집계구 자료(사례 수 13,221).

2) 2009년 가로망으로 계산(사례 수 13,221).

3) 서울시 공간정보(사례 수 13,221).

수는 연결도, 통제도, 평균 깊이, 총 깊이, 전체 통합도, 국부 통합도 등이다.

각 측정치의 의미를 보면, 연결도는 특정 노드에 직접 연결된 노드의 수를 말한다. 예를 들어, 연결도가 3이면 그 노드에 연결된 노드가 3개임을 의미한다. 통제도는 특정 노드가 인접 노드를 통제하는 정도를 뜻한다. 통제도의 의미를 구체적으로 보면, 특정 노드가 n 개의 인접 노드와 연결되어 있다면, 그 특정노드는 각 인접 노드를 $1/n$ 만큼 통제한다. 여기서 주의할 점은 통제도는 특정 노드와 인접 노드 간 일방적 관계가 아니라 통제를 주고받는 상호관계라는 점이다. 즉 $1/n$ 의 통제를 받는 노드는 다른 노드로부터도 통제를 받게 된다. 따라서 특정 노드의 통제도는 인접 노드 사이 통제의 총합이다. 통제도가 높은 노드는 주변 노드를 보다 많이 통제하면서 동시에 통제를 받고 있음을 뜻한다. 깊이는 공간구문론에서 중요한 측정지표이며, 특정 노드에서 다른 노드로 이동할 때 지나가야 하는 최소한의 축선 수를 뜻한다(이우형 외, 2001). 깊이는 총 깊이와 평균 깊이로 나뉜다. 총 깊이는 특정 노드에서 다른 모든 노드까지 측정된 깊이의 총합이며, 평균 깊이는 특정 노드에서 다른 모든 노드까지 측정된 깊이의 평균값이다. 평균 깊이는 가로망의 순환구조를 반영하지 못하여 가로망의 연결 정도를 충분히 측정할 수 없다. 이를 극복하기 위해 평균 깊이를 이용해 상대적 비대칭(Relative Asymmetry: RA)을 계산하고 단위공간 개수를 고려해 다시 실제 상대적 비대칭(Real Relative Asymmetry: RRA)을 계산한다. RRA의 역수는 일반적으로 전체 통합도이며, 특정노드가 속한 모든 공간 속에서 계산

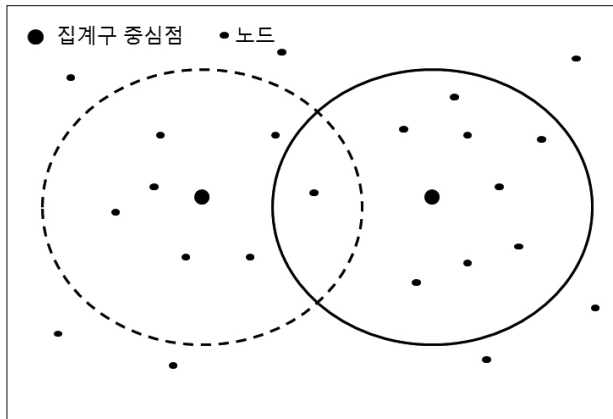
한다.³⁾ 반면, 국부 통합도는 반경 내 노드의 수를 한정하여 계산한 통합도다(최윤경, 2012). 본 논문에서는 반경(Radius)을 3으로 한정하여 국부통합도를 계산하였다. 다음의 계량분석모형에서 각 측정치의 다중공선성을 고려하여 성격이 다른 측정치는 하나의 모형에 넣고 성격이 유사한 측정치는 다른 모형에 넣는 방법으로 각 가로망 특성의 영향을 선별하였다.⁴⁾ 계량모형에서 각 독립변수에 대한 VIF(Variance Inflation Factor)는 1.03에서 3.81이기 때문에 다중공선성은 없는 것으로 나타났다.

본 논문에서 가로망 공간구조 특성을 분석하는 절차는 첫째, 분석대상인 서울시의 가로 축선도(Axial Map)를 구했다. 둘째, 가로 축선도를 공간구문론 원리에 근거해 만든 컴퓨터 프로그램으로 분석하였다. 본 논문은 UCL DepthMap 프로그램을 사용하여 연결도, 통제도, 평균 깊이, 총 깊이, 전체 통합도, 국부 통합도를 각각 계산하였다. 셋째, 각 집계구의 중심점(Centroid)을 만들고 각 중심점에서 계산한 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도는 가장 가까운 가로망의 특성으로부터 영향을 받는 것으로 가정하였다. 이러한 가정을 바탕으로 각 가로망 측정치는 크게 세 가지로 나누어 계산하였다. 하나는 집계구 중심점에 가장 가까운 가로망 노드의 각 측정값이며, 나머지 2개는 뒤에서 설명할 FCA분석기법으로 계산한 반경 100m와 300m 내 가로망 노드별 측정값의 평균값이다. ArcGIS 10의 Floating Catchment Area(FCA)분석법은 Point Distance 기능을 이용하여 각 중심점으로부터 일정한 거리 내의 가로망 노드와 해당 거리를 계산한 것이다. 이 분석법의 결과를 토대로 일정한 반경 내

3) 기존 문헌의 각 계산식을 인용해 보면, $RA=2(MD-1)/(k-2)$, $RRA=RA/Dk$, $Integration=1/RRA(MD)$ (MD: 평균 깊이, k: 단위공간의 수, Dk: k개 단위공간 조직의 보정치). 이에 대한 보다 구체적인 논의는 최윤경(2012)과 이우형 외(2001) 참조.

4) 선행연구 또한 대체로 측정된 가로망 특성을 모두 하나의 모형에 넣기보다는 가로망의 특정한 측면을 보여주는 소수의 변수를 모형에 넣는 방식을 택하고 있음. 그 이유는 측정값이 공통으로 접근성을 반영하고 있어 일정한 다중공선성이 발생하기 때문임(김정희, 2009). 특히, 서울과 같이 가로망이 공간적으로 밀집된 대도시 지역은 모형에서 가로망 특성 사이에 다중공선성이 발생할 가능성이 높아짐.

그림 1 _ FCA 분석기법의 개념도



자료: Wang(2006).

변수값의 평균을 계산하는 것이 평활방법(Smoothing Method)이다(Wang, 2006). 그 개념을 그림으로 표현하면 <그림 1>과 같다. 그림에서 보듯 각 집계구의 중심점으로부터 일정한 반경 내에 있는 노드의 가로망 특성의 측정값을 포착한 후 그 평균값을 구하는 방법이다.

본 논문의 가로망의 구조적 특성을 분석하기 위해 2010년 인구, 가구, 고용밀도를 종속변수로 한 계량모형을 만들고 독립변수에 6개의 가로망 특성, 도심과 부도심에 대한 거리, 지하철역, 버스정류장, 인접도로에 대한 거리, 2005년의 각 밀도 등을 넣어 각 변수의 계수값과 통계적 유의도를 살펴보고 각 밀도별 3개의 공간수준(최근접, 100m 반경, 300m 반경)의 가로망 특성별 차이점을 비교하였다. 아울러 각 모형에서 2005년의 각 밀도만을 독립변수로 한 모형에 비해 가로망 특성과 입지 특성을 추가한 모형이 전반적인 모형의 설명력을 통계적으로 유의미하게 개선했는지 검증하기 위해 카이제곱 검증의 하나인 Likelihood Ratio Test도 적용하고 그 결과를 해석하였다. 특히 결과로 나온 P Value는 어느 정도의 통계적 유의수준에서 가로망과 입지 특성이 모형의 설명력을 높였는지 보여준다.

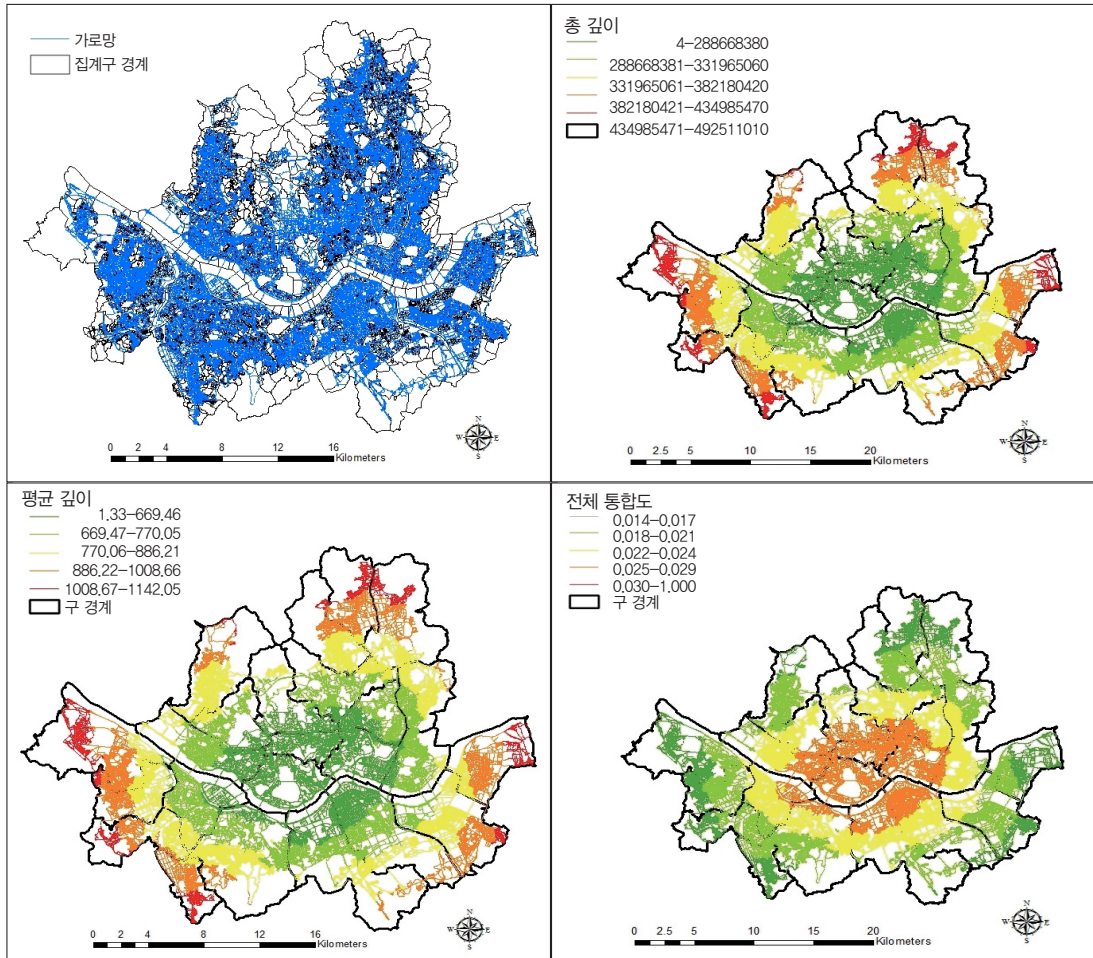
연구 사례인 집계구 및 가로망과 더불어 공간구문론에 따라 계산한 측정값 가운데 서울시 전체수준에서 그 윤곽이 뚜렷한 총 깊이, 평균 깊이, 전체 통합도 등을 제시하면 <그림 2>와 같다. 전반적으로 도심, 한강 주변 지역, 강남구와 서초구를 중심으로 총 깊이와 평균 깊이는 낮고 전체 통합도는 높은 패턴을 보이고 있다. 분석모형에서 사용한 연결도, 통제도, 평균 깊이 등은 국지적 현상이라 지도로 표현하면 알아보기 어려워 제시하지 않았다.

IV. 실증분석 결과와 해석

1. 인구밀도 모형

이미 앞에서 제시한 바와 같이 2010년 인구밀도를 종속변수로 한 후 가로망 특성, 2005년 인구밀도 특성, 입지 특성 등을 독립변수로 삼아 다중회귀모형으로 분석하였다. 각 모형의 사례 수는 1만 3,221개였으며, 조정된 결정계수는 0.90으로 높게 나왔다. 아울러 가로망 특성을 집계구 중심점 기준으로 최근접 노드의 값, 100m 반경 평균값, 300m 반경 평균값으로 나누어 크게 3개의 모형을 만들었다. 먼저, <표 2>에서 최근접 노드의 가로망 특성은 모두 유의수준 10%에서 통계적으로 유의미하게 인구밀도를 설명하지 못했다. 가로는 일정한 구역 내 다른 가로와 긴밀하게 연결되어야 제 기능을 할 수 있기 때문으로 보인다. 아울러 인구는 가로망에 의한 접근성이 낮은 지역까지 널리 분포하기 때문이기도 하다. 인구밀도 측면에서 2005년 인구밀도가 높은 집계구에서 2010년 인구밀도는 증가했다. 입지 특성의 경우 도심에서 멀어질수록 인구밀도는 증가했으며 부도심에서 멀어지는 경우 그 밀도가 감소하였다. 이 결과는 도심보

그림 2 _ 사례, 총 깊이, 평균 깊이, 전체 통합도의 공간 분포



다 부도심을 중심으로 멀어질수록 하락하는 분포패턴을 반영하고 있다. 아울러 지하철역에 대한 거리는 통계적으로 유의미하지 않았으며 도로에서 멀수록 인구밀도는 감소하고 버스정류장에서 멀수록 인구밀도는 증가하였다. 일반적으로 지하철역에 대한 거리는 중요한 입지 변수로 알려졌으나 가로망 특성의 영향력이 강해 이 변수는 통계적 유의미성을 잃은 것으로 추정된다.

〈표 3〉에서 가로망 특성을 100m 반경 평균값으로 계산한 결과를 보면, 통제도와 연결도가 높을수록 인구밀도가 높은 반면, 전체통합도가 높을수록 인구

밀도는 낮았다. 아울러 평균 깊이와 총 깊이가 클수록 인구밀도는 낮아지는 결과가 나왔다. 이 결과는 인구밀도가 국지적인 가로망 특성인 통제도와 연결도에 민감하고 동시에 다른 공간에 대한 접근성이 높을수록 커지는 패턴을 보이는 것이다. 한편, 전체통합도가 높을수록 인구밀도가 낮은 이유는 인구는 가로망의 접근성 외에 쾌적성, 학군 등을 고려하여 자리를 잡기 때문으로 보인다. 〈표 4〉에서 가로 특성을 300m 반경 평균값으로 계산한 결과를 보면, 앞의 100m 반경의 가로망 특성과 유사한 결과를 보인다. 다만, 연결도는 통계적으로 유의미하지 않았고 각 변수의 영향

표 2 _ 최근접 가로망 특성을 포함한 인구밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	15.30	1.26						
	전체 통합도	-36.92	-0.45	-29.21	-0.36				
	국부 통합도			0.91	0.09				
	평균 깊이					0.001	0.07		
	연결도							-1.39	-0.42
	총 깊이							0.00000001	0.19
인구밀도 특성	2005년 인구밀도	0.90***	341.10	0.90***	341.24	0.90***	341.21	0.90***	341.19
입지 특성	시청에 대한 거리	0.001*	1.91	0.001**	2.10	0.001*	1.68	0.001	1.64
	도로에 대한 거리	-0.09***	-4.37	-0.09***	-4.31	-0.09***	-4.31	-0.09***	-4.30
	지하철역에 대한 거리	0.01	1.52	0.01	1.58	0.01	1.53	0.01	1.51
	버스정류장에 대한 거리	0.03**	2.17	0.03**	2.23	0.03**	2.23	0.03**	2.24
	부도심에 대한 거리	-0.002**	-2.26	-0.002**	-2.29	-0.002**	-2.14	-0.002**	-2.17
상수		29.41**	2.08	44.77***	3.64	44.43***	4.59	47.43***	3.94
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.90		0.90		0.90		0.90	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		28.95(7)		27.38(7)		27.25(6)		27.43(7)	
P Value		0.0001		0.0003		0.0001		0.0003	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

표 3 _ 반경 100m 내 가로망 특성을 포함한 인구밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	320.16***	4.00						
	전체 통합도	-173.39***	-5.79	-153.35***	-5.19				
	국부 통합도			-102.36	-0.93				
	평균 깊이					-339.22***	-8.24		
	연결도							32.09*	1.81
	총 깊이							-6.91***	-6.50
인구밀도 특성	2005년 인구밀도	0.90***	341.22	0.90***	341.48	0.90***	341.01	0.90***	341.06
입지 특성	시청에 대한 거리	0.001**	2.22	0.001**	2.11	0.001**	2.29	0.001**	2.35
	도로에 대한 거리	-0.08***	-4.05	-0.08***	-4.10	-0.07***	-3.64	-0.08***	-3.69
	지하철역에 대한 거리	0.004	1.16	0.004	1.17	0.004	1.17	0.004	1.16
	버스정류장에 대한 거리	0.02*	1.71	0.02*	1.80	0.02	1.62	0.02*	1.65
	부도심에 대한 거리	-0.002**	-2.32	-0.002**	-2.46	-0.002**	-2.23	-0.002**	-2.28
상수		-105.03	-1.13	242.72***	6.43	740.95***	8.79	88.65**	2.16
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.90		0.90		0.90		0.90	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		68.26(7)		53.12(7)		93.73(6)		89.17(7)	
P Value		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

표 4 _ 반경 300m 내 가로망 특성을 포함한 인구밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	370.61**	2.53						
	전체 통합도		-5.16		-4.67				
	국부 통합도			70.82	0.18				
	평균 깊이						-7.17		
	연결도							28.37	0.87
	총 깊이							-9.13**	-4.95
인구밀도 특성	2005년 인구밀도	0.90***	341.50	0.90***	341.55	0.90***	341.62	0.90***	341.54
입지 특성	시청에 대한 거리	0.001**	2.26	0.001**	2.20	0.001**	2.20	0.001**	2.29
	도로에 대한 거리	-0.08***	-3.89	-0.08***	-4.02	-0.07***	-3.39	-0.07***	-3.51
	지하철역에 대한 거리	0.004	1.05	0.004	1.09	0.004	1.09	0.004	1.06
	버스정류장에 대한 거리	0.02*	1.66	0.02*	1.78	0.02	1.47	0.02	1.58
	부도심에 대한 거리	-0.002**	-2.37	-0.002**	-2.43	-0.002**	-2.16	-0.002**	-2.25
상수		-30.20	-0.18	354.42***	5.21	1080.56***	7.49	148.78**	1.98
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.90		0.90		0.90		0.90	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		54.42(7)		48.07(7)		77.26(6)		70.57(7)	
P Value		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

력에서 차이가 나고 있다. 즉, 300m 반경 내 통제도, 전체통합도, 평균 깊이, 총 깊이 등이 인구밀도를 보다 강하게 변화시키고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 최근접 특성보다는 더 먼 반경 내 여러 가로망 특성에 인구밀도가 크게 반응함을 시사한다.

각 인구밀도 모형의 Likelihood Ratio Test 통계값(LR Chi2)은 자유도 6 또는 7에서 최소 27.25, 최대 93.73이었다. 아울러 이 결과는 5% 유의 수준(P Value)에서 2005년 인구밀도, 입지 변수, 가로망 특성 변수를 모두 넣은 인구밀도 모형이 2005년 인구밀도만 독립변수로 한 경우에 비해 모형의 전반적인 설명력을 통계적으로 유의미하게 개선하였음을 보여주고 있다.

2. 가구밀도 모형

이미 앞에서 제시한 바와 같이 가구밀도 모형은 2010

년 가구밀도를 종속변수로 한 후 가로망 특성, 2005년 가구밀도 특성, 입지 특성 등을 독립변수로 삼아 역시 다중회귀분석을 하였다. 각 모형의 사례 수는 1만 3,221개이며, 조정된 결정계수는 0.88이다. 이 수치는 앞의 인구밀도 모형에 비해 약간 낮았다. 인구밀도 모형과 마찬가지로 가로망 특성을 집계구 중심점 기준으로 최근접 노드의 값, 100m 반경 평균값, 300m 반경 평균값으로 나누어 3개의 모형으로 제시하였다. 먼저 <표 5>에서 최근접 노드의 가로 특성은 통제도를 제외하고 모두 유의수준 10%에서 통계적으로 유의미하게 가구밀도를 설명하지 못했다. 즉, 가구밀도의 분포는 가로망 특성 가운데 최근접 노드 기준 통제도에만 민감하게 반응하였다. 통제도가 가구밀도에 유의미한 이유는 통제도의 속성에서 찾을 수 있다. 통제도는 단순히 직접 연결된 가로의 수를 표시하는 연결도와 달리 주변 공간과의 상호관계를 나타낸다. 즉, 통제도가 높은 노드는 주변 공간을 통

표 5 _ 최근접 가로망 특성을 포함한 가구밀도 특성

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	8.883**	2.050						
	전체 통합도	18.36	0.63	21.75	0.75				
	국부 통합도			3.68	1.08				
	평균 깊이					-0.002	-0.31		
	연결도							0.92	0.79
	총 깊이							0.00	-0.51
가구밀도 특성	2005년 가구 밀도	0.95***	314.57	0.95***	314.75	0.95***	314.91	0.95***	314.88
입지 특성	시청에 대한 거리	0.0002	1.14	0.0003	1.32	0.0003	1.31	0.0003	1.37
	도로에 대한 거리	-0.017**	-2.30	-0.016**	-2.25	-0.016**	-2.15	-0.016**	-2.16
	지하철역에 대한 거리	-0.002	-1.33	-0.002	-1.25	-0.001	-1.11	-0.001	-1.08
	버스정류장에 대한 거리	0.01**	2.44	0.01**	2.50	0.01**	2.56	0.01**	2.54
	부도심에 대한 거리	-0.0005*	-1.91	-0.0005*	-1.93	-0.0005*	-1.72	-0.0005	-1.62
상수		9.924**	1.98	15.196	3.48	20.975***	6.09	18.982***	4.44
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.88		0.88		0.88		0.88	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		18.33(7)		15.28(7)		13.57(6)		14.19(7)	
P Value		0.0106		0.0326		0.0348		0.0480	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

제하는 동시에 통제를 받는 것이다. 가구는 생활의 단위로서 직장과 편의시설 등 다른 비주거기능에 대한 접근성이 중요하다는 점이 반영된 것으로 보인다. 또한, 인구밀도 모형의 결과와 마찬가지로 2005년 가구밀도가 높은 집계구에서 2010년 가구밀도는 증가했다. 입지 특성의 경우 도심에 대한 거리는 통계적으로 유의미하지 않았고, 부도심에서 멀어질수록 가구밀도가 감소하였다. 아울러 지하철역에 대한 거리는 통계적으로 유의미하지 않았으며 도로에서 멀수록 가구밀도가 감소하고 버스정류장에서 멀수록 증가하는 결과는 인구밀도 모형과 같다.

〈표 6〉에서 가로 특성을 반경 100m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 통제도가 높을수록 가구밀도가 높은 반면, 전체 통합도가 높을수록 가구밀도는 낮은 것으로 밝혀졌다. 아울러 평균 깊이와 총 깊이가 클수록 가구밀도는 낮아지는 패턴을 보였다. 인구밀도 모형의 결과와 차이점은 연결도의 통계적 유의

미성은 없다는 것이다. 서울시 전체 가로망을 통한 접근성으로 볼 수 있는 전체 통합도가 높을수록 가구밀도가 낮아지는 결과에 대해 가구는 통합도가 낮은 지역까지 공간적으로 널리 분포했기 때문으로 추정할 수 있다. 이는 앞의 인구밀도에 미치는 영향과 마찬가지로 가구는 쾌적성, 학군, 편의시설 등 가로망 접근성 외의 요인도 선호하여 입지하는 현상을 반영한 것으로 보인다. 한편, 서울시 외곽으로 가면서 총 깊이와 평균 깊이가 커질수록 가구밀도는 떨어지는 패턴을 보이고 있다. 다른 변수를 통제했을 때 깊이와 가구밀도는 부(-)의 상관관계를 갖는 것이다. 〈표 7〉에서 가로 특성을 반경 300m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 앞의 반경 100m 내의 가로 특성과 유사한 결과를 보인다. 다만, 통제도는 통계적으로 유의미하지 않았고 각 변수의 영향력에서 차이가 났다. 즉, 반경 300m 내 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이 등 가로망 특성에 가구밀도가 보다 강하게 반응하고 있음을

표 6 _ 반경 100m 내 가로망 특성을 포함한 가구밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	73.53**	2.59						
	전체 통합도		-3.08		-2.62				
	국부 통합도			7.43	0.19				
	평균 깊이						-5.12		
	연결도							10.05	1.60
	총 깊이							-1.59***	-4.19
가구밀도 특성	2005년 가구밀도	0.95***	314.91	0.95***	315.13	0.95***	314.73	0.95***	314.75
입지 특성	시청에 대한 거리	0.0002	1.17	0.0002	1.21	0.0003	1.26	0.0003	1.25
	도로에 대한 거리	-0.02**	-2.08	-0.02**	-2.13	-0.01*	-1.80	-0.01*	-1.85
	지하철역에 대한 거리	-0.002	-1.57	-0.002	-1.53	-0.002	-1.59	-0.002	-1.58
	버스정류장에 대한 거리	0.01**	2.09	0.01**	2.14	0.01**	2.02	0.01**	2.04
	부도심에 대한 거리	-0.001**	-2.00	-0.001**	-2.05	-0.001*	-1.96	-0.001***	-1.97
상수		-22.62	-0.68	55.47***	4.14	174.27***	5.82	22.47	1.54
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.88		0.88		0.88		0.88	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		27.41(7)		20.76(7)		39.93(6)		36.71(7)	
P Value		0.0003		0.0041		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

표 7 _ 반경 300m 내 가로망 특성을 포함한 가구밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	80.27	1.54						
	전체 통합도	-44.36**	-2.32	-37.17**	-2.00				
	국부 통합도			36.85	0.26				
	평균 깊이						-4.28		
	연결도							14.76	1.28
	총 깊이							-2.15***	-3.28
가구밀도 특성	2005년 가구밀도	0.95***	315.06	0.95***	315.13	0.95***	315.09	0.95***	315.05
입지 특성	시청에 대한 거리	0.0002	1.14	0.0002	1.19	0.0002	1.20	0.0002	1.15
	도로에 대한 거리	-0.01**	-2.02	-0.02**	-2.10	-0.01*	-1.67	-0.01**	-1.77
	지하철역에 대한 거리	-0.002	-1.59	-0.002	-1.52	-0.002	-1.63	-0.002	-1.59
	버스정류장에 대한 거리	0.01**	2.08	0.01**	2.15	0.01**	1.93	0.01**	2.00
	부도심에 대한 거리	-0.001**	-2.01	-0.001**	-2.02	-0.001**	-1.92	-0.001*	-1.92
상수		-15.35	-0.26	67.07***	2.78	240.53***	4.70	20.24	0.76
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.88		0.88		0.88		0.88	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		20.19(7)		17.89(7)		32.06(6)		28.07(7)	
P Value		0.0052		0.0125		0.0000		0.0002	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

알 수 있다. 보다 넓은 지역에 걸쳐 전반적인 접근성이 좋거나 다른 노드까지의 거리가 멀어질수록 가구밀도는 낮아짐을 보여주고 있다. 이는 인구밀도의 반응과 같은 것인데 그 이유는 고용밀도 모형 결과를 해석하면서 다시 한번 논의할 것이다.

각 가구밀도 모형의 Likelihood Ratio Test 통계값(LR Chi2)은 자유도 6 또는 7에서 최소 13.57, 최대 39.93이었다. 또한, 이 결과는 5% 유의 수준(P Value)에서 2005년 가구밀도만 독립변수로 한 경우에 비해 2005년 가구밀도 변수에 가로망 특성과 입지 특성 변수를 모두 더한 경우가 모형의 전반적인 설명력을 통계적으로 유의미하게 높였음을 보여주고 있다.

3. 고용밀도 모형

앞의 모형이 인구와 가구밀도를 분석한 반면, 그 성격

이 다른 고용밀도에 대한 가로망 특성효과도 분석하였다. 비교를 통해 상호 간 차이점을 찾을 수 있을 것이다. 고용밀도 모형에서 2010년 고용밀도를 종속변수로 한 후 가로망 특성, 2005년 고용밀도 특성, 입지 특성 등을 독립변수로 삼아 역시 다중회귀분석으로 분석하였다. 각 모형의 사례 수는 1만 3,221개, 조정된 결정계수는 0.74이며, 앞의 인구와 가구밀도 모형에 비해 낮았다. 모형에 포함된 변수 외에 고용입지를 설명하는 다른 요인이 있음을 예상할 수 있다. 이 모형도 가로망 특성을 집계구 중심점을 기준으로 최근접 노드의 값, 반경 100m 내 평균값, 반경 300m 내 평균값으로 나누어 구성하였다. 먼저, <표 8>에서 최근접 노드의 가로 특성은 앞의 인구와 가구밀도에 비해 상대적으로 크게 다른 결과를 보였다. 이를 보면, 통제도, 국부 통합도, 연결도가 높을수록 고용밀도는 높아졌다. 가로 사이의 상호작용이 긴밀하고 국지적

표 8 _ 최근접 가로망 특성을 포함한 고용밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	13.534***	2.81						
	전체 통합도	11.11	0.35	14.44	0.45				
	국부 통합도			11.14***	2.94				
	평균 깊이					-0.001	-0.12		
	연결도							3.58***	2.75
	총 깊이							-0.00000002	-0.87
고용밀도 특성	2005년 고용밀도	0.88***	185.49	0.88***	185.40	0.88***	186.68	0.88***	184.89
입지 특성	시청에 대한 거리	0.0002	0.88	0.0002	0.92	0.0003	1.10	0.0004	1.30
	도로에 대한 거리	-0.032***	-3.95	-0.032***	-3.95	-0.030***	-3.74	-0.031***	-3.83
	지하철역에 대한 거리	-0.01***	-6.48	-0.01***	-6.44	-0.01***	-6.10	-0.01***	-6.01
	버스정류장에 대한 거리	-0.01**	-2.42	-0.01**	-2.39	-0.01**	-2.25	-0.01**	-2.34
	부도심에 대한 거리	-0.001*	-1.79	-0.001*	-1.81	-0.001*	-1.68	-0.0004	-1.35
상수		4.421	0.80	6.107	1.27	19.656***	5.08	12.131**	2.56
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.74		0.74		0.74		0.74	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		89.90(7)		90.64(7)		81.68(6)		89.22(7)	
P Value		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

표 9 _ 반경 100m 내 가로망 특성을 포함한 고용밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도								
	전체 통합도	4.58	0.14						
	국부 통합도	25.73**	2.16	26.54**	2.26				
	평균 깊이			20.66	0.48				
	연결도					17.934	1.10		
	총 깊이							7.06	1.01
고용밀도 특성	2005년 고용밀도	0.88***	185.80	0.88***	185.89	0.88***	186.19	0.88***	185.77
입지 특성	시청에 대한 거리	0.0001	0.25	0.0001	0.31	0.0001	0.39	0.0001	0.27
	도로에 대한 거리	-0.03***	-4.10	-0.03***	-4.11	-0.03***	-4.07	-0.03***	-4.09
	지하철역에 대한 거리	-0.01***	-6.35	-0.01***	-6.33	-0.01***	-6.40	-0.01***	-6.37
	버스정류장에 대한 거리	-0.01**	-2.29	-0.01**	-2.29	-0.01**	-2.30	-0.01**	-2.30
	부도심에 대한 거리	-0.0005	-1.55	-0.0005	-1.53	-0.0005	-1.61	-0.0005	-1.56
상수		-16.20	-0.44	-12.52	-0.84	-15.45	-0.46	-3.17	-0.20
사례 수		13,221							
조정된 결정계수		0.74		0.74		0.74		0.74	
Likelihood Ratio Test									
LR Chi2		89.93(7)		90.03(7)		86.04(6)		88.50(7)	
P Value		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

접근성이 높을수록, 가로에 연결된 가로 수가 많을수록 고용의 공간적 집중이 커지는 것이다. 이는 고용밀도가 인구나 가구밀도보다 가로망 특성에 강하게 반응함을 말해준다. 아울러 2005년 고용밀도가 높은 집계구에서 2010년 고용밀도는 증가하였다. 입지 특성의 경우 도심에 대한 거리는 통계적으로 유의미하지 않았고, 도로, 지하철역, 버스정류장, 부도심에 대한 거리가 멀어질수록 고용밀도가 감소하였다. 계수를 비교하여 각 변수의 영향력을 보면, 도로, 버스정류장, 지하철역, 부도심 순이었다. 이러한 결과는 앞의 인구밀도와 가구밀도 모형과 다른 결과다. 다양한 산업 간 연계와 더불어 소비자에 대한 접근성이 중요하여 가로망 특성과 교통망에 대한 거리에 따라 고용입지가 크게 달라짐을 시사한다. <표 9>에서 가로망 특성을 반경 100m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 전체 통합도가 높을수록 고용밀도가 높았다. 그

외의 가로망 특성변수는 유의수준 10% 기준에서 통계적으로 유의미하지 않았다. <표 10>에서 가로망 특성을 반경 300m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 최근접 가로망 특성에 비해 통제도의 통계적 유의미성은 없고 대신 연결도가 통계적으로 유의미한 변수로 나타났다. 아울러 전체 통합도는 일관되게 고용밀도를 높이는 효과를 주었다. 가로망 특성의 공간적 범위를 넓힐수록 서울시 전체의 가로망 접근성을 보여주는 전체 통합도와 국지적 측면에서 연결도가 크게 중요해지고 있음을 시사하고 있다. 경제활동의 교통망 의존 특성을 엿볼 수 있다.

여기서 보다 깊은 해석이 필요한 부분은 인구밀도와 가구밀도는 전체 통합도가 높으면 낮아지지만, 고용밀도는 상승한다는 점이다. 그 이유는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째, 전체 통합도가 높은 곳은 상대적으로 다른 지역에서 접근하기 유리하여 경제활동이

표 10 _ 반경 300m 내 가로망 특성을 포함한 고용밀도 모형

변수		모형 1		모형 2		모형 3		모형 4	
		계수	t	계수	t	계수	t	계수	t
가로망 특성	통제도	14.39	0.25						
	전체 통합도	79.36***	3.72	82.58***	3.97				
	국부 통합도			190.84	1.23				
	평균 깊이					43.13	1.55		
	연결도							32.69**	2.55
	총 깊이							-0.16	-0.23
고용밀도 특성	2005년 고용밀도	-0.000003	-0.01	0.0001	0.50	0.0001	0.37	-0.000005	-0.02
입지 특성	시청에 대한 거리	-0.03***	-4.26	-0.03***	-4.28	-0.03***	-4.16	-0.03***	-4.20
	도로에 대한 거리	-0.01***	-6.17	-0.01***	-5.99	-0.01***	-6.36	-0.01***	-6.22
	지하철역에 대한 거리	-0.01**	-2.24	-0.01**	-2.27	-0.01**	-2.24	-0.01**	-2.31
	버스정류장에 대한 거리	-0.0004	-1.45	-0.0004	-1.25	-0.0005	-1.63	-0.0004	-1.42
	부도심에 대한 거리	-95.10	-1.44	-88.09***	-3.27	-67.34	-1.18	-75.82**	-2.55
상수		13,221							
사례 수		0.74		0.74		0.74		0.74	
조정된 결정계수									
Likelihood Ratio Test		99.98(7)		101.43(7)		87.24(6)		98.26(7)	
LR Chi2		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	
P Value		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

주: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01, LR Chi2 부분의 괄호 값은 자유도(Degree of Freedom)임.

입지하려는 성향이 강하다는 점이다. 둘째, 전체 통합도가 높은 지역에 대한 경제활동의 지대 지불용의액이 인구와 가구에 비해 높아 이 지역을 경제활동이 차지한다. 끝으로, 인구와 가구의 공간 분포는 고용에 비해 서울시 전체에 걸쳐 나타나는 특성이 반영된 것이다. 인구와 가구는 가로망 접근성 외에 쾌적성, 학군, 인근 편의시설에 대한 접근도를 고려하여 입지하는 성향도 강하기 때문이다.

각 고용밀도 모형의 Likelihood Ratio Test 통계값(LR Chi2)은 자유도 6 또는 7에서 81.68~101.43이었다. 아울러, 이 결과는 5% 유의 수준(P Value)에서 모든 고용밀도 모형이 2005년 고용밀도만 독립변수로 한 경우에 비해 모형의 전반적인 설명력을 통계적으로 유의미하게 개선하였음을 보여주고 있다.

V. 결론과 정책적 함의

본 논문은 2010년 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도의 공간 분포에 가로망 특성이 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 공간구문론 접근 방법을 적용하여 가로망 특성을 통제도, 연결도, 평균 깊이, 총 깊이, 전체 통합도, 국부 통합도를 각각 계산하였다. 아울러 통계청 집계구 중심점을 기준으로 최근접 지점, 반경 100m 내, 반경 300m 내의 각 가로망 평균 특성값을 2005년 각 밀도, 입지 특성 변수와 결합하여 모형을 구성하였다. 모형은 다중회귀분석하였으며 그 결과를 각 가로망 특성을 고려하여 해석하였다. 특히, 해석 부분에서 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도에 가로망 특성이 미치는 영향의 차이점을 논의하였다.

연구 결과는 크게 가로망 특성을 중심으로 세 가지 측면에서 요약할 수 있다. 첫째, 인구밀도 모형에서

가로망 특성은 모두 통계적으로 유의미하지 않았으나, 반경 100m 내 통제도와 연결도가 높을수록 인구밀도가 높아졌고 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이가 높을수록 인구밀도는 낮았다. 이에 비해 반경 300m 내 통제도, 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이는 더 강한 효과를 냈으나 연결도는 통계적 유의미성이 없었다. 둘째, 가구밀도 모형에서 최근접 가로망 특성 가운데 통제도만 가구밀도에 통계적으로 유의미하게 영향을 주었으며, 반경 100m 내 가로망 특성 가운데 통제도는 가구밀도를 높이고 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이는 그 밀도를 낮추었다. 반경 300m 내 가로망 특성 가운데 통제도는 통계적으로 유의미하지 않았고, 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이는 커질수록 일관되게 가구밀도를 낮추었다. 끝으로, 고용밀도 모형에서 최근접 노드의 가로망 특성 가운데 통제도, 국부 통합도, 연결도가 높을수록 고용밀도는 높아졌다. 가로망 특성을 반경 100m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 전체 통합도만 높을수록 고용밀도가 높았다. 가로망 특성을 반경 300m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 앞의 최근접 가로망 특성에 비해 통제도의 통계적 유의미성은 없는 대신 전체 통합도와 더불어 연결도가 통계적으로 유의미한 변수로 나타났다. 두 번

수가 커질수록 고용밀도는 높았다. 이상의 연구 결과를 통계적으로 유의미한 변수를 중심으로 요약하면 <표 11>과 같다. <표 11>에서 보면, 인구밀도와 가구밀도는 공간적으로 미시와 거시수준의 가로망 특성으로부터 영향을 받는 반면, 고용밀도는 보다 넓은 지역 내에서 주로 전체 통합도와 연결도로부터 강한 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 논문을 통해 일정한 정책적 시사점을 다음과 같이 얻었다. 첫째, 2010년 서울시 인구, 가구, 고용밀도의 공간적 분포는 도심보다는 부도심, 다양한 주요 교통 결절지, 가로망 특성에 의해 달라지고 있음을 확인하였다. 특히 Likelihood Ratio Test 결과 가로망 특성과 입지 특성 변수가 모형의 설명력을 통계적으로 유의미하게 높임을 알 수 있었다. 이는 서울시가 기존의 단핵도시에서 탈피하여 보다 다양한 도시공간 구조적 요인에 의해 진화하고 있음을 보여준다. 따라서 향후 서울시 도시공간구조 개편을 위한 정책 구상과 실행에 가로망 특성과 밀도 변화의 관련성을 적극 반영하는 노력이 지속적으로 필요할 것이다. 둘째, 가로망 특성은 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도에 공통된 효과와 더불어 차별적 효과를 내고 있다. 인구, 가구, 고용 등은 입지특성이 다르므로 가로망 특성에 대한

반응이 다른 것이다. 이는 향후 교통망 또는 가로망과 토지이용을 연계시키는 전략을 구상할 때, 각 토지이용의 입지요인, 가로망을 통한 토지이용 간 연계성을 보다 엄밀하게 고려해야 함을 시사한다. 셋째, 인구밀도와 가구밀도에 대한 가로망 특성효과 가운데 전체 통합도가 높아지면 각 밀도는 하락하는 결과를 볼 수 있다. 통상 전체 통합도를 접근성으로 본다면 통합도가 높을수록 밀도가 높아지는 것이 일반적이다. 그러나 서울시에 대한 분석

표 11 _ 각 밀도에 대한 가로특성의 영향 요약

구분	인구밀도 모형	가구밀도 모형	고용밀도 모형
최근접	유의미한 변수 없음	통제도(+)	통제도(+) 국부 통합도(+) 연결도(+)
반경 100m 내	통제도(+) 전체 통합도(-) 평균 깊이(-) 연결도(+) 총 깊이(-)	통제도(+) 전체 통합도(-) 평균 깊이(-) 총 깊이(-)	전체 통합도(+)
반경 300m 내	통제도(+) 전체 통합도(-) 평균 깊이(-) 총 깊이(-)	전체 통합도(-) 평균 깊이(-) 총 깊이(-)	전체 통합도(+) 연결도(+)

결과, 전체 통합도와 인구 또는 가구밀도 간 연계성이 약한 것으로 밝혀졌다. 따라서 향후 접근성의 개선과 더불어 인구 또는 가구밀도의 입지 요인을 결합하여 가로망 주변의 인구 또는 가구밀도를 높이는 정책적 개입과 규제 완화가 필요할 것으로 보인다. 이와 같이 갈수록 토지이용과 교통 특성을 모두 고려하는 전일적(Holistic) 시각이 중요해질 전망이다. 끝으로, 각 모형에서 FCA 접근방법에 의해 얻은 최근접, 반경 100m 내, 반경 300m 내 기준의 각 가로망 특성을 분석한 결과, 최근접보다 반경 100m와 300m 내의 가로망 특성이 통계적으로 유의미하게 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도에 영향을 주었다. 이는 가로망이 인근 지역의 다른 가로망과 긴밀하게 연결되어야 제 기능을 한다는 연결 효과가 중요함을 말해준다. 따라서 토지이용과 교통망을 연계하는 정책은 토지이용과 교통망 간 관련성뿐만 아니라 교통망 사이의 연계성을 모두 고려하여야 한다. 이러한 시각을 좀 더 확대한다면 교통망은 도로, 지하철망, 버스노선, 거리 등이 유기적으로 연결된 형태로 만들어야 각 교통망이 효과적으로 작동할 것이다. 특히, 공간적 파급효과가 큰 철도역을 중심으로 가로망과 토지이용 구조를 점진적으로 연계하여 다른 대중교통과 자동차 도로망을 이 구조 속에서 재편하는 노력이 필요할 것이다. 아울러 국지적 연결성뿐만 아니라 서울시 전역에 보다 편리하게 도달할 수 있게 교통망을 구축하면 주요 교통 결절지를 중심으로 자연스레 밀도가 상승하는 효과도 얻을 수 있다. 물론 이를 위해 적절한 정책적 유도와 규제 조정도 뒤따라야 할 것이다.

본 논문은 가로망 특성 분석에 공간구문론 접근을 적용하고 토지이용 밀도에 미치는 영향을 살펴보았으나 아직 초보적 수준에 머물고 있다. 따라서 앞으로 공간구문론이 보다 발전된 접근법이 되기 위해 다음과 같은 방법이 함께 진행되어야 한다. 첫째, 가

로망에 대한 공간구문론의 정량적 분석과 더불어 정성적 분석이 병행되어야 한다. 가로망에 대한 정량적 분석 결과를 인근 지역의 사회·경제적 특성, 인간의 행태, 정부 규제 등 정성적 정보와 함께 검토하면 가로망이 도시공간구조에 미치는 영향을 보다 풍부하게 해석할 수 있을 것이다. 둘째, 이 연구에서 적용한 공간구문론은 도시공간의 표고 차이를 반영하지 못하고 있다. 따라서 표고차이를 반영한 축선을 만들어 분석하는 보다 현실적인 접근방법이 활성화되어야 한다. 가로망에 있는 사람의 위치에서 시각적으로 보이는 곳과 그렇지 않은 곳을 구분하여 축선작업을 하게 되면 물리적 표고차이를 반영한 입체적인 분석이 가능하다.

앞으로 보다 엄밀하게 가로망 특성을 진단하고 도시공간구조상 나타나는 다양한 파급효과를 분석한다면 접근성을 보다 입체적으로 이해하면서 지속가능한 도시공간구조 개편에 적절한 정책을 구상할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌 •••••

- 김재익·정현욱. 2006. “대도시 인구 및 주택밀도함수의 특성: 대구광역시 사례연구”. 주택연구 제14권 제1호, pp195-213.
- 김정희. 2009. “구조방정식모형(SEM)을 이용한 서울시 도로망과 사회·경제적 지표의 인과관계 변화 분석”. 대한지리학회지 제44권 제6호, pp797-812.
- 김지소·남기찬. 2012. “대도시권의 고용공간구조 변화양상 분석: 2000년, 2009년의 5대 대도시권을 중심으로”. 국토계획 제47권 제3호, pp77-90.
- 노희순·이창무·최막중. 2004. “도시공간구조의 다핵화 과정에 관한 연구”. 국토계획 제39권 제2호, pp47-61.
- 서울시. 2006. 서울시 도시기본계획. 서울: 서울시.
- 손영기·정대영·신영철. 2010. “공간구문론을 이용한 업종별 상업 공간 분석: 청주시를 사례로”. 한국지적정보학회지 제12권 제1호, pp45-55.
- 유경환·이명훈·김영욱. 2006. “서울시 균형발전사업이 도시공간구조에 미치는 영향에 관한 연구”. 국토계획 제41권

제6호, pp51-63.

이우형 · 김영옥. 2001. “서울 도시공간구조와 기능의 변천에 관한 연구”. 도시설계 제3권 제1호, pp41-58.

이훈기 · 김형철 · 김영옥. 2003. Space Syntax를 이용한 고속철도 개통에 따른 교통Network의 통합도 변화 연구. 안양 : 국토연구원.

임현식 · 김영옥 · 반영운. 2002. “도시공간구조와 지가의 상호 관련성에 관한 연구”. 대한건축학회논문집 계획계 제18권 제7호, pp133-140.

장동국. 2004. “도시공간구조와 공간이용: 공간구분론을 이용한 공간이용패턴 예측을 중심으로”. 국토계획 제39권 제2호, pp35-46.

조기혁 · 안건혁 · 이창무. 2001. “주거지역의 토지이용변화에 가로 체계가 미치는 영향”. 대한건축학회논문집 계획계 제17권 제11호, pp207-214.

최윤경. 2012. 사회와 건축공간. 서울 : 시공문화사.

Berry, B. and Kim, H. 1993. “Challenges to the Monocentric Model”. *Geographical Analysis* vol.25. pp1-4.

Chiaradia, A., Hillier, B., Barnes, Y. and Schwander, C. 2009. 6. 9. “Residential Property Value Patterns in London: Space Syntax spatial Analysis”. School of Architecture and the Built Environment. *KTH. 7th International Space Syntax Symposium*. Stockholm.

Hillier, B. and Hanson, J. 1984. *The Social Logic of Space*. Cambridge : Cambridge University Press.

Ladd, H. and Wheaton, W. 1991. “Causes and Consequences of Urban Form: Introduction”. *Regional Science and Urban Economics* vol.21. pp157-162.

Mills, E. S. 1972. *Studies in the Structure of the Urban Economy*. Baltimore : Johns Hopkins University.

Min, K., Moon, J. and Kim, Y. 2007. 6. 12. “The Effect of Spatial Configuration on Land Use and Land Value in Seoul”. Istanbul Technical University. *6th International Space Syntax Symposium*. Istanbul.

O’ Sullivan, A. 2009. *Urban Economics*. New York : McGraw-Hill.

Ozbil, A., Peponis, J. and Stone, B. 2011. “Understanding the Link between Street Connectivity, Land Use and Pedestrian Flows”. *Urban Design International* vol.16. pp125-141.

Sacid, A. 2011. “Space Syntax as a Tool to Assess Land Value”. in *Innovative Land and Property Taxation*. Nairobi, Kenya : United Nations Human Settlements Programme. pp170-189.

Wang, F. 1998. “Urban Population Distribution with Various Road Network: A Simulation Approach”. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol.25. pp265-278.

_____. 2006. *Quantitative Methods and Applications in GIS*. New York : Taylor & Francis.

Wang, F. and Guldman, J. M. 1996. “Simulating Urban Population Density with a Gravity-based Model”. *Socio-Economic Planning Sciences* vol.30. pp245-256.

-
- 논문 접수일: 2013. 1. 16
 - 심사 시작일: 2013. 1. 22
 - 심사 완료일: 2013. 3. 1

A Study on Impacts of Street Network on Land-Use Density in Seoul, Korea

Keywords: Land Use Density, Street Network, Seoul

This paper aims to analyze the impacts of street network on land-use density in Seoul, 2010. After reviewing previous study and obtaining related data, this study isolates how street network changes population, household, and employment density over Seoul city. This study confirms that higher control and connectivity increase population density while greater global integration, mean depth, and total depth decrease the density in population density models. In household density models, household density has positive association with control while the density does negative connection with global integration, mean depth, and total depth. Employment density increases with higher control, global and local integration, and connectivity in the models. Further, multiple regression models with Likelihood Ratio Test reveal that road and street networks as well as location variables have statistical significance in explaining the spatial variation of population, household, and employment density.

토지이용 밀도에 대한 가로망 특성 효과 연구 : 2010년 서울시에 대한 공간구문론 적용

주제어: 토지이용 밀도, 가로망 특성, 서울시

본 논문은 2010년 인구밀도, 가구밀도, 고용밀도에 가로망 특성이 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과는 크게 가로망 특성을 중심으로 세 가지 측면에서 요약할 수 있다. 첫째, 인구밀도 모형에서 가로망 특성은 모두 통계적으로 유의미하지 않았으나, 반경 100m 내 통제도와 연결도가 높을수록 인구밀도가 높아졌고 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이가 높을수록 인구밀도는 낮았다. 반경 300m 내 통제도, 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이는 더 강한 효과를 냈으나 연결도는 통계적으로 유의미하지 않았다. 둘째, 가구밀도 모형에서 최근접 가로망 특성 가운데 통제도만 통계적으로 유의미하게 가구밀도에 영향을 주었으며, 반경 100m 내 가로망 특성 가운데 통제도는 가구밀도를 높이고 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이는 그 밀도를 낮추었다. 반경 300m 내 가로망 특성 가운데 통제도는 통계적으로 유의미하지 않고, 전체 통합도, 평균 깊이, 총 깊이 등이 커질수록 일관되게 가구밀도는 낮아졌다. 끝으로 고용밀도 모형에서 최근접 노드의 가로망 특성 가운데 통제도, 국부 통합도, 연결도가 높을수록 고용밀도는 높아졌다. 가로망 특성을 반경 100m 내 평균값으로 계산한 결과, 전체 통합도가 높을수록 고용밀도만 높아졌다. 가로망 특성을 반경 300m 내 평균값으로 계산한 결과를 보면, 통제도의 통계적 유의미성은 없는 대신 전체 통합도와 더불어 연결도가 통계적으로 유의미한 변수로 나타났다. 그 결과 두 변수가 커질수록 고용밀도는 높았다.