

부동산개발 예측모형의 적용방안 연구  
: 서울시 강북지역을 사례로  
Application of Prediction Models for Real Estate Development  
in North Seoul, Korea

강창덕 서울시립대학교 연구교수  
Kang Chang Deok Research Professor, Univ. of Seoul  
(cdklab@uos.ac.kr)

목 차

- I. 서론
- II. 관련 이론의 검토
  - 1. 도시공간구조와 부동산개발 이론 연구
  - 2. 도시성장모형 개관
  - 3. 다항로짓모형 개관
- III. 분석자료와 모형의 구성
  - 1. 분석대상
  - 2. 부동산개발 변화의 범주와 모형의 구성
  - 3. 자료의 요약 통계량
- IV. 실증분석 결과 및 예측
  - 1. 모형의 개요
  - 2. 모형의 결과와 해석
  - 3. 예측 결과
- V. 결론과 정책적 함의

## I. 서론

도시계획은 기본적으로 현실 문제를 분석하고 미래를 예측하여 의도하는 목표를 달성하려는 정책적 노력이다. 최근 도시계획의 주요 특성은 과거 정부 주도의 하향식 계획에서 벗어나 민간의 경제활동과 가계의 수요 변화를 토대로 한 상향식 계획으로 바뀌었다는 것이다(Batty, 2007). 이 가운데 민간부문의 부동산개발은 정부정책에 반응하면서 도시공간구조를 변화시킨다. 때문에 민간의 부동산개발 변화에 대한 실증적 설명과 예측은 올바른 도시계획을 구상하고 실행하는 데 필수적이다.

지난 10여 년간 미국과 유럽 국가를 중심으로 가계와 기업활동의 변화, 정부 정책, 교통, 도시의 물리적 특성 등을 분석하기 위해 지리정보체계와 고급 계량기법을 결합한 모형에 대한 논의가 활발하였다. 특히, 현대 토지이용계획 분야에서 이러한 모형은 계획지원체계(Planning Support System)라는 핵심 영역으로 자리잡고 있다(Berke, et al. 2006). 광범위한 미시단위의 데이터 구축, 통계분석 기법의 급격한 진화, 컴퓨터 기술의 발전, 그리고 지리정보체계 등 공간 분석 기술의 도약이 그 배경이다. 그동안 미국과 유럽을 중심으로 다양한 도시성장모형이 나왔으나, 각 모형은 주안점과 장단점이 각각 다르다(Brail and Klosterman, 2001).

이 논문은 부동산개발을 분석하고 이를 예측할 수 있는 모형을 서울시 강북지역에 적용한 후 그 시사점을 얻고자 한다. 이를 위해 우선 부동산개발 예측모형의 구상에 바탕이 되는 도시공간구조와 부동산개발 관련 이론을 개관하고, 미국과 유럽을 중심으로 논의되고 있는 도시성장모형을 소개한다. 아울러 본 연구의 분석방법인 다항로짓모형을 개관하고 연구모형을 구상한다. 그 다음 실증연구

를 위해 분석자료와 방법을 제시한 후, 모형의 주요 결과를 해석한다. 끝으로 모형에서 나온 예측 결과를 소개하고, 결론과 향후 모형의 개선방안을 제시한다.

## II. 관련 이론의 검토

실증모형의 설명변수 선정과 분석방법 선택을 위해 크게 세 가지 방향의 선행연구가 필요하다. 먼저, 도시 전반의 성장과정과 부동산개발에 대한 이론을 개관하는 것이다. 이는 부동산개발 예측모형을 구성하는 데 필요한 자료를 수집하고 그 결과를 해석하는 데 바탕이 되며, 부동산개발의 변화를 설명하는 변수를 선정하는 데 좋은 지침이 된다. 둘째, 도시성장과정을 설명하고 예측하는 도시성장모형을 소개한다. 이는 부동산개발 예측에 응용할 수 있는 분석방법의 장단점을 검토하고, 보다 적절한 방법을 선택하는 데 필요한 부분이다. 셋째, 이 연구에서 선택한 다항로짓모형의 기본적인 논리와 연구모형의 구성을 요약한다. 다항로짓모형을 실증연구에 적용하기에 앞서 간략하게 소개하여 연구방법에 대한 이해를 돕고자 하는 것이다.

### 1. 도시공간구조와 부동산개발 이론 연구

지난 200년간 도시성장과 변화를 설명하려는 연구가 도시경제와 도시지리학을 중심으로 활발하게 이루어졌다. 기본적으로 도시공간구조의 핵심부인 기업과 가계의 입지결정을 경제논리로 설명하는 이론이 주류였다. 그 이론적 계보를 간략하게 살펴 연구 구상의 토대로 삼고자 한다(O'Sullivan, 2007; Giuliano, 2004).

현대도시경제학은 경제활동의 집적이익이 도시공간구조를 설명하는 핵심 요인으로 등장하였음에

주목하고 있다. 집적이익은 크게 세 가지 측면에서 나타난다. 첫째, 투입물의 입지적 근접에 의한 생산성 향상이다. 둘째, 지리적으로 집중된 노동시장의 공유에 의해 기업의 노동 수요와 노동자의 공급이 적은 비용으로 연결될 수 있다. 셋째, 산업의 공간적 근접으로 인해 기업 간 지식 또는 정보의 교환이 원활하다. 개념적으로 집적이익은 유사한 산업 간의 국지화 경제와 각기 다른 기업 간의 집적이익인 도시화 경제로 나뉜다(McDonald and McMillen, 2007). 그러나 도시의 용량을 초과하는 기업과 가구의 지리적 집중은 교통혼잡, 환경오염 등 외부 불경제의 증가를 낳기도 한다(이정전, 2006). 교통기술의 발전에 따라 경제활동과 주거지는 도심에서 멀리 떨어져 자리잡게 되었다. 때문에 도시는 기존의 단일중심구조에서 여러 부도심의 등장에 의해 다핵구조로 바뀌었다. 기존 연구에 따르면, 부도심은 여러 도시 기능 간 경쟁과 협력, 특정 산업이 누리는 국지적 이점, 산업 간 긍정적 외부성, 어메니티와 문화 등 교통 이외의 요소 등으로 인해 출현한다. 따라서 도시공간상 지대 분포는 도심과 부도심을 중심으로 높아지다가 거리가 멀어질수록 떨어지는 모습을 보인다(Anas, Arnott and Small, 1998).

민간부문에서 수익을 추구하는 부동산 디벨로퍼는 그 극대 지점을 개발하고자 하는데, 이는 최유효원리에 의해 결정된다. 토지가치는 그 토지 위의 경제활동으로 인한 수입에서 요소가격을 제외한 잔여가치이기 때문에 그 잔여가치가 가장 큰 지점이 주요 개발지가 되는 것이다(Brueggeman and Fisher, 2008). 때문에 토지가치의 변화는 부동산개발을 추동하는 기본적인 강력한 요인이다. 부동산의 노후화 혹은 기능의 퇴화 또한 새로운 부동산개발을 촉진한다. 결국 가치가 낮아지는 건물을 새로 지어 그 가치를 유지 혹은 높이기 위해

새로운 부동산개발이 일어난다(Ling and Archer, 2008).

부동산개발도 일정한 주기성을 보인다. 이는 시간의 흐름에 따른 부동산의 가치 저하, 즉 감가상각과 직결되어 있다. 어떤 부동산개발을 하면 시간의 흐름에 따라 그 가치는 낮아지지만 일정 기간 후 새로운 개발을 했을 때의 이익은 점차 증가한다. 때문에 같은 토지 위에 개발되는 건물의 용도는 건물 수명과 새로운 개발이 주는 이익의 크기에 의해 일정한 주기로 바뀌는 것이다(Geltner, et al. 2007).

이미 앞의 도시성장이론에서 언급한 바와 같이 부동산개발은 공간상 균일하지 않다. 즉, 교통비용의 차이는 부동산개발의 공간적 차이를 낳는다. 기업의 경제활동은 이윤극대화와 비용극소화를 추구하기 때문에 교통비용이 가장 낮은 지점을 선호한다. 또한, 가계는 중심지 접근에 대한 교통비용을 고려하여 주택소비의 규모와 위치를 선택한다(DiPasquale and Wheaton, 1996).

부동산 디벨로퍼의 의사결정 과정을 보면, 부동산개발은 부동산의 가격 수준, 임대료, 그리고 이자율에 대한 기대에 달려 있다. 즉, 디벨로퍼는 시장 상황에 대한 판단을 바탕으로 의도적으로 개발을 늦추거나 서두르는 것이다. 이러한 행태는 도심을 중심으로 한 순차적 개발보다는 비지적 개발, 단절된 토지이용, 부도심의 고밀도화를 낳는다.

일반적으로 부동산 디벨로퍼와 투자자는 토지시장과 교통의 변화를 주시하면서 신규 개발, 재개발, 그리고 다양한 투자기회를 찾으려 한다. 이 가운데 주택 재개발의 경우 디벨로퍼는 새로 개발할 토지의 가격이 기존의 토지가격에 철거비용을 더한 것보다 높을 때 시작한다(Rosenthal and Hesley, 1994). 개발과정에 대해, 디벨로퍼는 일단 건설허가를 얻은 경우 시장 변화보다는 새로운 정

보에 민감하게 반응한다(Somerville. 2001). 또한, 디벨로퍼의 의사결정과정에서 개발부담금보다 토지이용 규제에 영향력이 더 큰 것으로 나타났다(Mayer and Somerville. 2000). 특히, 토지이용 규제는 단독 주택 이외의 부동산 개발과정에 직접적인 영향을 주는 것으로 밝혀졌다(McMillen and McDonald. 1991; Wallace. 1988). 통상 교통 투자의 토지시장 효과를 측정하는 연구는 미시 단위의 데이터를 사용할수록 보다 유의미한 결과를 얻을 수 있으며, 최근 추세는 토지이용 변화모형에 보다 다양한 변수를 포함시키는 것이다(Irwin and Geoghegan. 2001).

기존 이론을 바탕으로 한 이 연구는 부동산개발을 추동하는 요인으로 사회경제적 요인과 주변지역 개발 특성, 토지 가격 및 규제 특성, 교통 및 입지 특성, 토지이용 복잡도 등을 선택하였다.

## 2. 도시성장모형 개관

이 연구의 부동산개발 예측모형은 그동안 비약적으로 발전해 온 도시성장이론에서 기본적인 아이디어를 얻고 있다. 1960년대 이후 도시성장모형은 도시 및 지역과학의 이론적 발전, 광범위한 데이터의 수집, 컴퓨터 기술의 발전과 데이터 처리 능력의 지속적인 향상, 그리고 토지이용과 교통의 통합모형을 요구하는 제도적 변화로 인해 발전해 왔다. 특히, 1990년대 도시의 평면적 확산과 교통거리의 증가 등으로 인한 기후변화와 지구온난화가 현안으로 등장하면서 도시성장모형은 도시계획, 토지이용, 교통계획 등 공공부문의 물론이고 부동산개발과 투자 등 민간부문의 관심도 높다. 미국의 경우 교통부문과 건물부문이 각각 전체 이산화탄소 배출의 약 28%와 30%를 차지한다(Ewing, et al. 2008). 결국 일정한 규제 속에서 토지이용 변화를

주도하는 부동산개발과 교통의 유기적 결합을 위한 모형의 정립이 시급하다.

도시성장모형의 조류는 크게 공간적 상호작용 모형(Spatial Interaction Model), 셀룰러 오토마타 모형(Cellular Automata Model), 축소 모형(Reduced Form Model), 그리고 행위자기반 모형(Agent-based Model)으로 나눌 수 있다. 먼저, 공간적 상호작용 모형은 도시공간상 사람, 정보, 화물의 출발지와 도착지 간 흐름에 초점을 둔다. 교통 흐름에 일정한 비용이 발생하기 때문에 공간상 상호작용은 출발지와 도착지의 비용에 대한 상대적 이점에 의해 결정된다는 것이 기본원리다(Rodrigue, et al. 2009). 이 모형은 중심지에 대한 접근성과 출발지-도착지 간 이동을 분석하기 때문에 교통시설 투자와 혼잡통행료 등 교통정책의 파급효과를 예측하는 데 유용하다. 반면, 토지이용과 환경규제 관련 정책의 파급효과를 설명하고 예측하는 데는 한계가 있다.

도시현상에 대한 거시 분석은 설명력과 예측력이 떨어진다는 한계를 극복하기 위해 셀룰러 오토마타 모형은 도시공간상 환경의 변화에 의해 개발가능지가 어떻게 달라지는지를 미시적 단위에서 포착한다(Benenson. 2004). 예를 들어, 새로 개발된 고속도로 주변에 부동산 개발패턴을 셀 단위로 분석한다. 이 모형은 기존 모형과 달리 개체의 미시적 행동이 거시적 수준의 새로운 현상을 낳는다는 복잡계이론을 따른다. 때문에 발현적 특성에 의한 도시공간구조 변화를 분석한다(Deal and Pallathucheril. 2008). 이 모형은 셀 단위의 예측을 하기 때문에 일정한 가정을 통해 특정한 셀을 분석에서 제외한 후 그 결과를 예측하고 비교하는데 적합하다. 반면, 현실의 부동산 개발행태나 과정 또는 개발 관련 정책의 변화에 따른 파급효과를 예측하지 못하는 단점이 있다.

축소모형(Reduced Form Models)은 특정 필지의 토지이용 변화나 공간 단위의 밀도 변화를 그 필지 혹은 공간단위의 물리적 입지 특성, 인구 및 경제 특성, 평균 경사도 등 인근 지역의 특성을 통해 예측한다. 특히, 통계학의 모형 적합도(goodness of fit)를 기준으로 부동산개발의 확률에 직접적인 영향을 주는 요인을 선별해낸다(Landis, 2001). 즉, 가용 가능한 설명변수를 모두 모형에서 사용하는 것이 아니라 통계적 적합성 검증을 통해 소수의 중요한 설명변수를 가려내는 것이다. 이에 대한 대표적인 연구는 John Landis가 주도한 California Urban Futures(CUF) 모형이며, 1998년 CUF-2는 캘리포니아 베이지역의 토지이용변화를 다항로짓모형을 통해 분석하였다(Landis and Zhang, 1998a, 1998b). 이 모형의 장점은 정책을 포함한 다양한 변수를 변화시켜 다양한 시나리오를 구성하고, 부동산개발이나 토지이용 변화를 예측할 수 있다는 점이다. 실용적 측면에서 이 모형은 연속 변수보다는 명목 변수의 변화를 예측하는 데 효과적이다(이성우 외, 2005).

행위자기반 모형은 특정한 행위자가 일정한 동기와 의사결정의 논리에 의한 상호작용이 시스템 전체에 미치는 영향을 평가한다. 작은 공간 단위의 행위자 간 상호작용을 적절하게 설명하는 모형을 구성하고, 미시 단위의 행위자 간 상호작용이 거시수준에 미치는 영향을 예측하는 것이다. 때문에 이 모형은 작은 공간 단위 혹은 적은 수의 행위자 연구에 적합하다. 끝으로, 여기서 차례로 논의한 공간 상호작용 모형, 셀룰러 오토마타 모형, 그리고 축소 모형의 확률 접근의 장점을 받아들인 UrbanSim 모형은 보다 넓은 지역의 도시성장 변화를 설명하고 예측하는 접근법이다(Waddell, Liu and Wang, 2008).

여기서 소개한 도시성장 모형은 그 나름의 장점과 단점이 있다. 이 연구는 서울시의 취득 가능한

데이터에 앞의 도시성장모형 가운데 축소모형에서 채택하는 다항로짓모형을 적용한다. 이를 통해 서울 강북지역의 부동산개발 변화를 예측하고, 향후 활용가능성을 논의하고자 한다. 이 방법을 선택한 이유는 첫째, 통계기법에 대한 일정한 지식이 있으면 비교적 쉽게 적용할 수 있기 때문이다. 둘째, 다항로짓모형은 설명변수를 통제된 상황에서 종속변수인 각 범주가 나타날 확률을 계산할 수 있다. 이 확률은 미래의 변화를 예측할 뿐만 아니라 설명변수의 변화에 따른 확률 분포의 변화를 측정하는 데 필요하다. 최근 토지이용 변화에 대한 인근 지역의 효과를 측정하는 데 사용되기도 하였다(Zhou and Kockelman, 2008). 셋째, 이 모형의 종속변수는 연속변수를 일정한 간격으로 나눈 명목변수로 만들 수 있기 때문에 부동산개발뿐만 아니라 향후 도시의 다양한 연구 주제에 응용할 수 있다. 이미 앞선 국내의 한 연구는 다항로짓모형을 적용하여 대구시의 미개발된 토지가 주거 또는 비주거용 토지로 개발될 확률을 미시단위로 추정하였다(박헌수, 조규영, 2008).

### 3. 다항로짓모형 개관

이산선택(Discrete Choice)모형의 발전은 도시연구에 큰 영향을 미쳤다. 도시현상의 다양한 선택지를 종속변수로 하여 분석이 가능할 뿐만 아니라 종속변수의 각 선택지에 대한 발생 확률을 계산할 수 있기 때문이다. 최근 도시현상에 대한 설명과 더불어 미래 예측이 중요해진다는 점에서 로짓모형의 유용성은 더욱 높아질 전망이다. 특히, 정책변화에 따른 파급효과에 대한 모의실험에 로짓모형을 활용할 수 있다(윤대식·윤성식, 1998).

이 연구는 다항로짓모형을 이용하여 부동산개발의 변화를 설명하고 예측한다. 이미 잘 알려진

바와 같이 다항로짓모형은 명목종속변수의 범주가 두 개 이상인 경우에 적용한다. 이 연구의 다항로짓모형을 보여주는 수식은 다음과 같다.

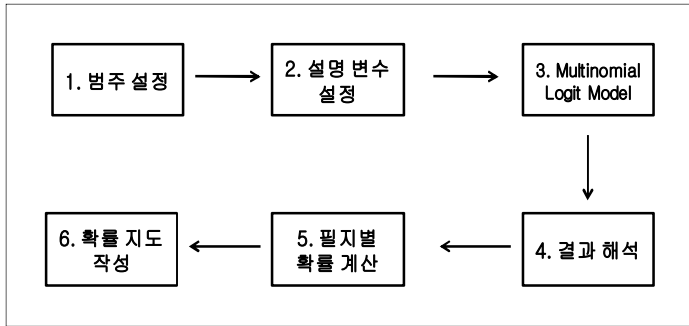
$$h_{ij} = \log \frac{P_{ij}}{P_{ij}} = \alpha_j + \beta_j x_i$$

이 식에서  $P_{ij}$  는 연구 사례  $i$ 의 반응이  $j$ 번째 범

표 1 \_ 자료의 출처, 측정방법, 단위

변수		데이터	측정방법	단위
토지개발 변화		공시지가자료	구분기준	필지단위
사회 경제 및 개발 특성	인구밀도 변화(명)	서울시통계연보	(2007년 인구밀도-2001년 인구밀도) /2001년 인구밀도	동
	고용밀도 변화(명)	서울시통계연보	(2007년 고용밀도-2001년 고용밀도) /2001년 고용밀도	구
	공원면적비율	서울시통계연보	공원면적/구면적	구
	기개발지비율	서울시통계연보	(대지, 학교, 도로 면적)/구면적	구
	도로면적비율	서울시통계연보	도로 면적/구면적	구
	주거용 허가비율	서울시통계연보	주거용 허가면적/총허가 면적	구
	상업용 허가비율	서울시통계연보	상업용 허가면적/총허가 면적	구
토지 가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	공시지가자료	2001년 공시지가(원/평방미터)	필지단위
	토지가격 변화	공시지가자료	(2007년 토지가격-2001년 토지가격) /2001년 토지가격	필지단위
	용적률	서울시 자료	서울시 규제 지도상 용적률	규제단위
	건폐율	서울시 자료	서울시 규제 지도상 건폐율	규제단위
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	서울시버스조합	GIS로 거리측정	필지로부터 버스정류장
	지하철역 직선 거리(m)	서울시 지도정보	GIS로 거리측정	필지로부터 지하철역
	시청 직선 거리(m)	서울시 지도정보	GIS로 거리측정	필지로부터 시청
	인근도로 직선 거리(m)	서울시 지도정보	GIS로 거리측정	필지로부터 인근 도로
	한강까지 직선 거리(m)	서울시 지도정보	GIS로 거리측정	필지로부터 한강
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	서울시 지도정보	GIS로 거리측정	필지로부터 개발제한구역
토지 이용 복합도	주거비율	공시지가자료	주거용 건물 연면적/건물 연면적의 총합	격자단위(1ha)
	상업비율	공시지가자료	상업용 건물 연면적/건물 연면적의 총합	격자단위(1ha)
	주상복합비율	공시지가자료	주상복합용 건물 연면적/건물 연면적의 총합	격자단위(1ha)
	공업비율	공시지가자료	공업용 건물연면적/건물 연면적의 총합	격자단위(1ha)
	기타 용도비율	공시지가자료	기타 건물연면적/건물 연면적의 총합	격자단위(1ha)

그림 1\_ 연구 모형 개관



주에 들어갈 확률,  $P_{ij}$ 는 연구사례  $i$ 의 반응이  $J$ 범주에 들어갈 확률,  $q_j$ 는 식의 상수,  $\beta_j$ 는 회귀계수의 벡터,  $x_i$ 는 설명변수(이 연구에서 사회경제적 요인, 주변지역 개발 특성, 토지 가격 및 규제 특성, 교통 및 입지 특성, 토지이용 복합도)를 뜻한다. 여기서,  $j = 1, 2, \dots, J-1$ 이다.

실증분석을 위해 일련의 단계를 구상해야 한다. 이를 알기 쉽게 표현하면 <그림 1>과 같다. 이 연구를 위해 우선 다항로짓모형의 종속변수 범주를 일정한 기준으로 설정한다. 그 다음 그 종속변수를 설명하는 변수에 대한 자료를 수집하여 분석 단위별로 일치시키는 작업이 필요하다. 준비된 자료를 다항로짓모형을 통해 분석한 후 그 결과를 해석한다. 결과가 전반적인 통계적 유의미성을 갖고 현실적인 타당성이 있으면 각 범주의 확률을 분석 단위별로 계산한다. 그 다음 지리정보체계 프로그램을 이용하여 각 단위별로 저장된 확률을 지도로 표현한다.

### III. 분석자료와 모형의 구성

#### 1. 분석대상

이 연구에서 사용한 데이터는 개별공시지가 자료와 서울시 통계자료다. 우선, 2001년과 2007년 사이의 부동산개발 변화를 추적하기 위해 2001년과

2007년 서울시 강북지역 개별공시지가 자료에서 같은 주소의 토지에서 용도가 바뀐 사례를 추출하였다. 추출된 사례 가운데 이 연구가 설정한 부동산개발 범주에 해당되는 경우만 부동산개발 예측 모형의 종속변수로 삼았다. 따라서 개별공시지가 자료의 동일 주소 필지에 비해 사례 수는 적다.

그 다음 토지의 용도 변화 혹은 부동산의 개발 변화를 설명하는 변수를 공시지가 자료와 서울시 통계자료에서 정리하였다. 공시지가 자료에서 추출한 변수는 2001년 토지의 공시지가, 2001년과 2007년 사이 토지가격 변화를 등이며, 인접 지역의 특성을 파악하기 위해 주거, 상업, 주상복합, 공업용 토지의 비중을 계산하였다.

서울시 통계자료에서 부동산개발을 설명하는 사회경제 변수, 인접지의 공원 비중, 도로 비중, 건설 허가 등의 변수를 얻었다. 그 다음 토지이용 규제 변수를 대표하는 2007년 서울시 토지이용지도에서 용적률과 건폐율을 모형에 포함시켰다.

이미 이론적 배경에서 살펴본 바와 같이 교통과 입지요소는 부동산개발 패턴 변화에 절대적인 영향을 준다. 관련 변수를 얻기 위해 지리정보체계를 이용하여 시청, 개발제한구역, 한강, 버스정류장, 지하철역, 인접 도로에 대한 거리 등을 측정하였다. 설명한 데이터의 내용과 출처는 <표 1>과 같다. <표 1>의 토지개발변화 범주에 대한 설명은 다음 부분에서 자세히 설명하고 있다.

#### 2. 부동산개발 변화의 범주와 모형의 구성

이 연구는 2001년과 2007년 사이 서울시 강북지

표 2\_ 나지개발모형의 부동산개발 범주구분

구분	2001년	2007년
토지이용불변	주거, 상업, 주상나지	주거, 상업, 주상나지
주거나지개발	주거나지	단독주택, 연립주택, 다세대주택, 아파트
상업나지개발	상업나지	상업용, 오피스
주상나지개발	주상나지	주상용

표 3\_ 기존 토지개발모형의 부동산개발 범주구분

구분	2001년	2007년
토지이용불변	주거, 상업, 주상	주거, 상업, 주상
단독연립형	단독주택	연립주택
단독다세대형	단독주택	다세대주택
단독아파트형	단독주택	아파트
단독상업형	단독주택	상업용
단독주상용	단독주택	주상용
상업주상용	상업용	주상용
주상상업용	주상용	상업용
다세대단독형	다세대주택	단독주택
주상단독형	주상용	단독주택

역의 부동산 개발 모형을 만들기 위해 우선 부동산 개발 변화를 우선 나지개발모형과 기존토지개발모형으로 나누었다. 나지개발모형은 2001년과 2007년 사이에 나지가 신규개발된 경우를 분석하며, 기존 토지개발모형은 같은 기간 동안 기존 개발토지가 다른 용도로 개발된 경우를 살펴본다.

나지개발모형은 2001년 주거나지, 상업나지, 주상나지가 2007년 주거용, 상업용, 주상용 토지로 개발된 경우다. 이 모형에서 준거집단은 2001년과 2007년 사이 나지상태를 유지한 토지다(<표 2>의 토지이용불변).

기존 토지개발모형은 2001년의 주거(단독주택, 다세대주택), 상업, 주상 등 이미 개발된 토

지가 2007년 그 용도를 바꾸어 개발된 경우다. 이 분석을 위해 다음과 같이 부동산개발변화 유형을 구분하였다. 이 모형에서 준거집단은 2001년과 2007년 사이 토지개발상태를 유지한 필지다(<표 3>의 토지이용불변).

부동산개발유형을 위와 같이 만든 후 이를 다항로짓모형의 종속변수로 삼았고, 이미 앞에서 소개한 사회경제 및 개발 특성, 토지가격 및 규제 특성, 교통 및 규제 특성, 토지이용 복합도를 설명변수로 정하였다. 그 다음 다항로짓모형의 결과를 얻은 후 이를 해석하고 각 범주가 일어날 확률을 구하였다.

### 3. 자료의 요약 통계량

이 연구는 나지개발모형과 기존 토지개발모형으로 나누어 서울시 강북지역의 부동산개발을 예측하고자 한다. 이에 앞서 모형을 구성하는 변수의 요약 통계량을 소개하면 다음과 같다.

먼저, 나지개발모형의 경우(<표 4> 참조) 총 표본수는 1만 2,007개, 이 가운데 준거집단은 9,696개였으며, 2007년까지 주거용 토지로 개발된 예는 1,458개, 상업용 및 오피스로 개발된 토지는 757개, 그리고 주상용으로 개발된 토지는 96개였다. 인근지역은 대체로 고용보다 인구가 증가하고, 개발지가 많으며, 상업용 허가보다 주거용 허가가 많은 지역이다. 토지가격은 2007년 현재 평방미터당 최대 3,900만 원이었고, 일

부지역에서는 토지가격이 하락하였으나 전반적으로 상승하는 패턴을 보이고 있다. 각 사례입지는 교통 및 입지 측면에서 도로, 버스정류장, 지하철역 순으로 가까이 자리 잡고 있다. 토지이용 복합도 측면에서 전반적으로 주거지역의 비중이 높은 곳에 주로 입지하고 있다.

기존 토지개발모형을 위한 사례의 요약 통계량을 보면(<표 5> 참조), 총 사례수는 37만 8,470 개이며, 이 가운데 토지이용불변이 34만 4,121개

로 가장 많다. 그 다음 단독주택에서 다세대주택으로 용도변경 개발한 경우가 1만 3,961개로 많았다. 각 사례 필지는 인구밀도와 고용밀도가 각기 다른 여러 곳에 분포하고 있으며, 나지개발모형의 경우와 비슷하게 기개발지와 주거용 개발 허가가 많은 곳에 자리 잡고 있다. 2001년 평방미터당 토지가격은 나지모형보다 높은 평방미터당 최대 5,900만 원이다. 이 모형의 사례는 교통 및 입지 측면과 토지이용 복합도 측면에서 나지모형의 사

표 4\_ 나지개발모형의 요약 통계량

변수		표본수	평균	표준편차	최소값	최대값
사회경제 및 개발특성	인구밀도 변화(명)	12,007	0.04	0.40	-0.75	1.98
	고용밀도 변화(명)	12,007	0.06	0.08	-0.04	0.25
	공원면적비율	12,007	0.01	0.01	0.00	0.04
	기개발지비율	12,007	0.43	0.10	0.30	0.63
	도로면적비율	12,007	0.12	0.03	0.08	0.21
	주거용 허가비율	12,007	0.57	0.25	0.05	0.87
	상업용 허가비율	12,007	0.31	0.19	0.09	0.77
토지가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	12,007	2,533,930	2,834,409	51,100	39,100,000
	토지가격 변화	12,007	1.29	1.24	-0.61	21.74
	용적률	12,007	0.55	0.10	0.20	0.60
	건폐율	12,007	2.57	2.03	0.50	10.00
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	12,007	194.60	153.35	0.09	1505.38
	지하철역 직선 거리(m)	12,007	827.03	787.00	7.25	4029.85
	시청 직선 거리(m)	12,007	5677.09	3274.07	57.91	15231.30
	인근도로 직선 거리(m)	12,007	31.10	30.62	0.001	428.25
	한강까지 직선 거리(m)	12,007	5273.77	3336.06	49.25	15577.43
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	12,007	1283.83	1304.99	0.12	6404.70
토지이용 복합도	주거비율	12,007	0.56	0.34	0.00	1.00
	상업비율	12,007	0.19	0.30	0.00	1.00
	주상복합비율	12,007	0.05	0.09	0.00	1.00
	공업비율	12,007	0.00	0.05	0.00	1.00

표 5\_ 기존 토지개발모형의 요약 통계량

변수		표본수	평균	표준편차	최소값	최대값
사회경제 및 개발특성	인구밀도 변화(명)	378,470	0.05	0.30	-0.75	1.98
	고용밀도 변화(명)	378,470	0.05	0.08	-0.04	0.25
	공원면적비율	378,470	0.01	0.01	0.00	0.04
	기개발지비율	378,470	0.44	0.10	0.30	0.63
	도로면적비율	378,470	0.12	0.03	0.08	0.21
	주거용 허가비율	378,470	0.60	0.24	0.05	0.87
	상업용 허가비율	378,470	0.25	0.17	0.09	0.77
토지가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	378,470	2,557,710	2,666,166	147,000	59,400,000
	토지가격 변화	378,470	1.09	0.64	-0.58	91.07
	용적률	378,470	0.58	0.05	0.20	0.60
	건폐율	378,470	2.56	1.67	0.50	10.00
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	378,470	159.26	107.31	0.27	1575.99
	지하철역 직선 거리(m)	378,470	579.85	413.25	2.43	3996.64
	시청 직선 거리(m)	378,470	6307.35	2963.12	36.85	15381.64
	인근도로 직선 거리(m)	378,470	24.52	23.73	0.0005	581.02
	한강까지 직선 거리(m)	378,470	4820.24	3107.29	8.65	15878.42
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	378,470	1691.66	1267.15	0.57	6393.43
토지이용 복합도	주거비율	378,470	0.59	0.30	0.00	1.00
	상업비율	378,470	0.16	0.27	0.00	1.00
	주상복합비율	378,470	0.09	0.12	0.00	1.00
	공업비율	378,470	0.00	0.03	0.00	0.95

례와 유사한 지역에 주로 자리 잡고 있다.

#### IV. 실증분석 결과 및 예측

##### 1. 모형의 개요

이 연구의 나지개발모형과 기존 토지개발모형은 이미 소개한 바와 같이 2001년과 2007년 사이 같은 주소를 가진 토지 가운데 나지에서 개발되었거

나 기존의 개발지가 새로운 용도로 개발된 필지에 초점을 두고 있다. 이를 위해 부동산 개발 유형별 필지를 선별한 후 이를 다양한 설명변수와 결합하여 데이터를 구축하였다.

구축된 데이터에 다항로짓모형을 적용하여 변화된 부동산 개발별로 설명변수의 계수를 구하였으며, 각 부동산 개발별 발생확률을 필지별로 계산하였다. 여기서 구한 확률은 다양한 설명변수를 통제된 상태에서 향후 각 필지의 개발유형과 그 가능

성을 수치로 표현해준다. 일반회귀분석의 결정계수와 동일한 의미는 아니지만, 실증분석의 모형 적합성을 보여주는 Pseudo R-Square는 나지개발모형과 기존 토지개발모형 모두 0.17이었다. 또한, 다중공선성을 진단하는 VIF 값은 두 모형의 각 독립변수가 공선성이 없음을 보여주고 있다.

이러한 과정에서 얻은 나지개발모형과 기존 토지개발모형의 결과를 제시하면서 이를 해석하고자 한다. 그 다음 모형의 결과에 따라 구한 각 부동산 개발의 확률을 지도로 표현하고 논의하고자 한다.

## 2. 모형의 결과와 해석

### 1) 나지개발모형

나지개발모형은 크게 2001년과 2007년 사이 주거나지에서 단독주택, 연립주택, 다세대주택, 아파트 등 주거용 토지로 개발된 경우, 상업나지에서 오피스 및 상업용 토지로 개발된 경우, 그리고 주상나지에서 주상용 토지로 개발된 경우로 나누어 분석하였다.

<표 6>의 모형 결과를 보면, 대체로 인구밀도보다 고용밀도가 증가한 지역에서 나지개발이 활발하게 일어났으며, 공원면적이 많은 지역에서 주거개발과 오피스 및 상업용 개발이 많았다. 그 외 기개발지, 도로면적, 건축 허가는 통계적으로 유의미하지 않았다. 또한 2001년에서 2007년 사이 토지가격이 높아질수록 나지가 상업용과 주상용 토지로 개발되었다. 이는 가치가 높은 토지로 개발되면서 토지가격도 높아졌음을 의미한다. 토지이용규제상 용적률은 주거개발과 주상개발에 유의미한 효과를 주었다. 교통 및 입지측면에서 보면, 세 개발유형 모두 버스정류장에 가까울수록 활발하게 일어난 반면, 상업용과 주상용 토지개발은 인근도

로와 지하철역에 가까이 올수록 높았다. 아울러 한강 인근 필지는 대체로 상업용 토지로 개발되었다. 토지이용 복합도 측면에서 보면, 주거용 토지개발은 주거비용이 높은 지역에서 활발하게 일어난 반면, 이 지역에서 상업용 및 주상용 토지개발은 적었다. 상업용 토지개발은 기존의 상업지에서 높게 나타났지만, 주거용과 주상용 토지개발은 낮았다. 또한 주상복합이 높은 지역에서 주상용 토지개발이 많았다. 전반적으로 인근지역의 주요 토지이용과 유사한 토지개발이 일어나고 있음을 알 수 있다.

### 2) 기존 토지개발모형

기존 토지개발모형은 크게 9가지 개발유형으로 나누었다. 여기서 선정한 9개의 개발유형은 2001년에서 2007년 사이 강북지역의 토지이용변화 가운데 사례수가 많고, 그 용도변경이 비교적 현저한 것으로 선정하였다. <표 7, 8, 9>의 모형 결과를 구체적으로 보면 다음과 같다.

우선, 단독주택에서 연립주택용으로 그 용도를 변경하여 개발하는 경우는 주로 인구밀도보다 고용밀도가 높아지는 지역에서 일어났다. 고용증가에 따른 주택수요를 충족시키기 위해 연립주택 개발이 증가한 것으로 보인다. 이 경우 공원면적은 통계적으로 의미가 없었지만, 기존 개발지가 많고 상업용 허가 비중이 높은 지역에서 대체로 단독주택이 연립주택으로 개발되었다. 또한, 2001년 토지가격보다는 2007년까지 가격 상승률이 높을수록 연립주택 개발이 많았다. 단독주택에서 연립주택으로 개발되면서 토지가격이 상승한 것으로 보인다. 용적률이 높으면 개발이 용이하였으며, 버스정류장에서 멀고, 한강에 가까울수록 이러한 개발이 활발하게 나타났다. 아울러, 상업지역이나 주상복합의 비중보다 주거지역의 비중이 높은 곳에서

표 6 \_ 나지개발모형의 결과

변수		주거나지에서 주거 개발			상업나지에서 오피스, 상업 개발		주상나지에서 주상 개발			VIF	
		계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	계수	p		p >  z
사회 경제 및 개발 특성	인구밀도 변화(명)	0.60	7.80	0.00	0.11	0.73	0.47	0.58	2.09	0.04	1.45
	고용밀도 변화(명)	1.64	3.97	0.00	4.33	6.85	0.00	2.95	1.88	0.06	1.3
	공원면적비율	22.35	4.21	0.00	24.57	3.88	0.00	-1.21	-0.08	0.94	2.88
	기개발지비율	-0.09	-0.12	0.90	0.75	0.68	0.50	3.04	1.15	0.25	6.34
	도로면적비율	-1.97	-0.92	0.36	-4.14	-1.52	0.13	-3.51	-0.44	0.66	5.82
	주거용 허가비율	0.11	0.38	0.71	0.05	0.12	0.91	-0.33	-0.34	0.73	6.4
	상업용 허가비율	-0.45	-1.07	0.28	-1.07	-1.69	0.09	-0.12	-0.08	0.94	8.44
토지 가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	0.00	1.44	0.15	0.0000002	8.26	0.00	0.0000005	4.51	0.00	2.4
	토지가격 변화	0.16	7.62	0.00	0.22	6.16	0.00	0.22	2.05	0.04	1.16
	용적률	2.61	6.76	0.00	-0.64	-1.09	0.28	3.68	1.83	0.07	1.41
	건폐율	-0.11	-2.57	0.01	0.09	3.64	0.00	-0.41	-3.36	0.00	2.91
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	-0.00060	-2.61	0.01	-0.00171	-3.65	0.00	-0.0041	-2.88	0.00	1.47
	지하철역 직선 거리(m)	0.00002	0.39	0.70	-0.00001	-0.08	0.94	-0.0006	-1.72	0.09	1.98
	시청 직선 거리 (m)	-0.00001	-0.67	0.50	0.00016	6.20	0.00	0.0001	1.65	0.10	3.91
	인근 도로 직선 거리(m)	-0.00004	-0.05	0.96	-0.01	-3.29	0.00	-0.03	-3.25	0.00	1.1
	한강까지 직선 거리(m)	0.00007	4.38	0.00	-0.00005	-2.17	0.03	-0.00011	-1.92	0.06	3.1
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	0.00014	4.20	0.00	0.00007	1.40	0.16	0.00002	0.17	0.86	2.26
토지 이용 복합 도	주거비율	0.92	6.35	0.00	-2.63	-10.40	0.00	-2.08	-3.70	0.00	2.7
	상업비율	-2.52	-8.04	0.00	1.05	5.16	0.00	-2.20	-3.04	0.00	3.66
	주상복합비율	-0.47	-1.20	0.23	-0.53	-1.04	0.30	5.46	8.51	0.00	1.21
	공업비율	-3.23	-1.96	0.05	-1.48	-1.36	0.17	-26137.40	-0.01	0.99	1.08
상수	-4.18	-7.70	0.00	-3.06	-3.76	0.00	-5.45	-2.53	0.01		
Log Likelihood 값	-6396.48										
표본수	12007										
Pseudo R-Square	0.17										

주로 일어났다.

단독주택에서 다세대주택으로 전환하여 개발하는 경우는 고용밀도와 인구밀도가 모두 높아지는

지역에서 일어났다. 인근지역의 공원면적과 기개발지의 비중이 높고, 도로면적비율이 낮을수록 이러한 개발이 일어나기 쉬웠다. 또한, 2001년 토지

가격이 낮을수록 그리고 용적률이 높을수록 단독주택이 다세대주택으로 바뀌었다. 교통 및 입지 측면에서 버스정류장, 지하철역, 한강, 개발제한구역에서 멀어질수록 다세대 개발은 낮았다. 토지이용복합도 측면은 단독주택이 연립주택으로 개발되는 패턴과 유사하다.

단독주택이 아파트로 개발되는 경우 고용밀도의 변화가 인구밀도의 변화보다 월등히 높은 영향을 주었다. 고층의 아파트 개발은 인근 지역의 고용밀도 변화와 긴밀한 관계가 있음을 보여준다. 반면, 공원면적과 건축허가가 많은 지역은 단독주택이 아파트로 개발되기 어려운 것으로 나타났다. 이는 특정 지역에 대규모 토지개발을 요구하는 아파트 개발의 특성이 반영된 것으로 보인다. 토지가격 측면에서 2007년 새로운 개발로 인해 토지가격은 상승하였으며, 용적률보다 건폐율이 높을수록 아파트 개발이 많았다. 지하철역, 시청, 개발제한구역에 가까울수록 단독주택이 아파트로 개발되는 경우가 많았다. 이는 서울시 강북의 도시공간구조를 반영하는 것으로 보인다. 즉, 도심인 서울시청 인근과 서울시의 외곽인 개발제한구역 인근에 아파트개발이 집중되는 패턴이다. 한강에서 멀어질수록 단독주택이 아파트로 바뀌었는데 이는 이미 한강 주변이 아파트로 개발되어 있는 점을 반영하고 있다. 인근 지역 토지이용 측면에서, 주거비율이 높은 곳에 이러한 유형의 개발이 높았다.

다음은 단독주택이 상업용 토지로 개발되는 경우를 살펴보기 위해 한다. 인구밀도보다 고용밀도가 높아질수록 이러한 유형의 개발이 많았으며, 건축허가가 많을수록 상업용 토지개발은 적었다. 이 결과는 기대한 결과와 좀 다른데, 교통망을 따라 국지적으로 단독주택이 상업용 토지로 개발되는 반면, 주거용-상업용 건축허가는 교통 외 다른 요소로 인해 달라지기 때문으로 보인다. 아울러 토지가격

의 상승률과 용적률이 높을수록 이러한 유형의 개발이 많았다. 토지가격의 상승은 2001년과 2007년 사이 단독주택이 상업용 토지로 개발되면서 가격이 상승한 것으로 보는 것이 타당하다. 아울러, 시청까지의 거리는 통계적으로 유의미하지 않았지만 한강에서 멀수록, 그리고 버스정류장, 지하철역, 인근도로, 개발제한구역에서 가까울수록 단독주택이 상업용 부동산으로 개발되었다. 이는 상업용 부동산이 교통시설과 교통망을 중심으로 활발하게 개발되고 있음을 보여준다. 끝으로 토지이용상 상업용 부동산의 비중이 높을수록 단독주택이 상업용 부동산으로 전환되었다.

단독주택이 주상복합으로 개발되는 경우도 인구밀도 증가보다 고용밀도 증가와 직결되어 있다. 또한, 공원면적, 기개발지, 도로면적이 많을수록 이러한 유형의 개발이 일어났다. 토지가격의 상승과 높은 용적률은 주상복합 개발과 긴밀하게 연계되어 있다. 단독주택에서 주상용 토지로 개발되면서 토지가격이 올랐다. 시청과 한강에서 멀수록, 버스정류장, 지하철역, 인근 도로, 개발제한구역에 가까울수록 단독주택이 주상복합으로 개발되는 패턴을 보였다. 아울러, 인근 지역의 주상복합개발의 비중이 높을수록 단독주택이 주상복합으로 전환, 개발되었다.

한편, 상업용 토지가 주상복합으로 전환되는 경우는 고용밀도가 증가하면 적어지고, 인구밀도가 높아지면 활발하게 나타났다. 인근 지역에 개발된 토지가 많고, 건축허가가 많을수록 이러한 유형의 개발이 많았다. 높은 용적률은 이러한 개발을 촉진하지만 상업용 토지가 주상복합으로 전환되면서 토지가격은 하락했다. 주상복합보다는 상업용으로 토지를 개발하는 것이 토지 가치를 높이기 때문이다. 이러한 유형의 개발은 인근도로, 버스 정류장과 개발제한구역에 가까울수록 많이 나타났다. 반

표 7\_ 기존 토지개발모형의 결과 1

변수		단독주택용 토지에서 연립주택용 토지			단독주택용 토지에서 다세대주택용 토지			단독주택용 토지에서 아파트용 토지			VIF
		계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	
사회 경제 및 개발 특성	인구밀도 변화(명)	-0.63	-3.59	0.00	0.28	8.84	0.00	0.87	27.41	0.00	1.22
	고용밀도 변화(명)	4.14	8.34	0.00	0.73	6.53	0.00	6.15	25.56	0.00	1.20
	공원면적비율	1.24	0.18	0.86	15.78	11.50	0.00	-20.85	-8.29	0.00	2.13
	기개발지비율	1.91	1.94	0.05	2.38	12.24	0.00	0.60	1.62	0.11	5.78
	도로면적비율	-12.92	-4.02	0.00	-9.90	-14.07	0.00	8.27	5.34	0.00	6.31
	주거용 허가비율	1.41	3.19	0.00	1.80	17.68	0.00	-5.14	-33.47	0.00	4.82
	상업용 허가비율	3.57	5.67	0.00	1.91	14.04	0.00	-9.98	-41.74	0.00	5.61
토지 가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	0.0000001	1.09	0.28	-0.000001	-29.94	0.00	-0.000002	-24.47	0.00	1.88
	토지가격 변화	0.14	1.82	0.07	-0.16	-7.13	0.00	1.54	85.38	0.00	1.33
	용적률	8.02	4.99	0.00	4.57	16.37	0.00	-8.28	-43.16	0.00	1.11
	건폐율	-0.41	-4.35	0.00	0.00	0.13	0.89	0.25	18.55	0.00	2.40
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	0.00091	2.56	0.01	-0.00035	-3.90	0.00	0.0004	3.54	0.00	1.26
	지하철역 직선 거리(m)	0.00001	0.12	0.90	-0.00063	-22.61	0.00	-0.0010	-21.92	0.00	1.34
	시청 직선 거리 (m)	-0.00001	-0.39	0.70	0.00003	5.76	0.00	-0.0002	-24.03	0.00	3.70
	인근도로 직선 거리 (m)	-0.00048	-0.33	0.74	-0.01	-15.04	0.00	-0.0003	-0.57	0.57	1.11
	한강까지 직선 거리 (m)	-0.00009	-4.26	0.00	-0.00003	-7.50	0.00	0.0001	11.89	0.00	2.57
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	0.00005	1.29	0.20	-0.00014	-13.69	0.00	-0.0004	-23.80	0.00	2.13
토지 이용 복합 도	주거비율	0.66	2.69	0.01	0.89	15.04	0.00	0.74	9.07	0.00	3.38
	상업비율	-1.67	-3.64	0.00	-0.49	-5.32	0.00	-1.34	-9.86	0.00	4.21
	주상복합비율	-3.68	-6.15	0.00	-1.30	-11.58	0.00	-0.61	-3.64	0.00	1.49
	공업비율	-1.74	-0.49	0.62	-1.99	-2.79	0.01	-5.26	-3.98	0.00	1.06
상수	-11.68	-9.63	0.00	-5.69	-23.50	0.00	5.26	21.78	0.00		
Log Likelihood 값	-143715.45										
표본수	378470										
Pseudo R-Square	0.17										

면, 지하철역과 시청에서 먼 지역에서 단독주택이 시설보다는 상업, 주상복합 등의 비중이 높은 지역 주상복합으로 개발되었다. 토지이용면에서는 주거에서 단독주택이 주상복합으로 개발되는 패턴을

표 8\_ 기존 토지개발모형의 결과 2

변수		단독주택용 토지에서 상업용 토지			단독주택용 토지에서 주상용 토지			상업용 토지에서 주상용 토지			VIF
		계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	
사회경제 및 개발 특성	인구밀도 변화(명)	0.29	3.00	0.00	0.68	15.44	0.00	0.48	4.66	0.00	1.22
	고용밀도 변화(명)	6.43	12.85	0.00	4.06	17.93	0.00	-2.20	-4.13	0.00	1.20
	공원면적비율	-19.61	-3.23	0.00	23.38	10.89	0.00	-0.87	-0.18	0.86	2.13
	기개발지비율	1.64	1.86	0.06	1.91	5.27	0.00	8.39	11.40	0.00	5.78
	도로면적비율	-3.29	-1.34	0.18	2.96	2.77	0.01	-24.53	-12.01	0.00	6.31
	주거용 허가비율	-3.27	-9.11	0.00	-0.83	-5.46	0.00	0.58	1.97	0.05	4.82
	상업용 허가비율	-1.62	-3.10	0.00	-0.31	-1.54	0.13	2.21	4.94	0.00	5.61
토지 가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	-0.000002	-14.39	0.00	-0.000004	-8.61	0.00	-0.0000001	-2.96	0.00	1.88
	토지가격 변화	1.70	70.04	0.00	1.69	93.86	0.00	-1.01	-9.76	0.00	1.33
	용적률	2.02	3.13	0.00	4.72	12.36	0.00	3.69	4.65	0.00	1.11
	건폐율	-0.17	-6.20	0.00	-0.02	-1.78	0.08	-0.12	-5.03	0.00	2.40
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	-0.01	-9.87	0.00	-0.00246	-12.88	0.00	-0.00413	-9.51	0.00	1.26
	지하철역 직선 거리(m)	-0.00149	-11.31	0.00	-0.00086	-16.12	0.00	0.00034	5.09	0.00	1.34
	시청 직선 거리(m)	-0.00002	-1.27	0.21	0.00002	2.74	0.01	0.00004	1.95	0.05	3.70
	인근도로 직선 거리(m)	-0.02	-7.24	0.00	-0.02	-18.37	0.00	-0.04	-14.96	0.00	1.11
	한강까지 직선 거리(m)	0.0001	7.29	0.00	0.0002	20.41	0.00	0.000003	0.17	0.87	2.57
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	-0.0005	-13.08	0.00	-0.0002	-14.31	0.00	-0.000302	-8.13	0.00	2.13
토지 이용 복합 도	주거비율	-1.22	-5.97	0.00	-0.41	-4.68	0.00	-2.04	-11.51	0.00	3.38
	상업비율	1.53	7.11	0.00	-1.73	-14.08	0.00	1.02	5.70	0.00	4.21
	주상복합비율	-0.48	-1.21	0.23	0.76	5.20	0.00	1.31	5.58	0.00	1.49
	공업비율	-0.94	-0.46	0.65	-1.42	-1.60	0.11	1.64	2.02	0.04	1.06
상수											
Log Likelihood 값	-3.17	-4.63	0.00	-8.96	-26.58	0.00	-6.18	-8.89	0.00		
표본수	-143715.45										
Pseudo R-Square	378470										
	0.17										

보였다.

인구밀도와 고용밀도가 높을수록 주상용 토지

가 상업용 토지로 활발하게 개발되었다. 많은 공원

면적은 유리한 조건이었으나 기개발지, 도로면적,

표 9\_ 기존 토지개발모형의 결과 3

변수		주상용 토지에서 상업용 토지			다세대주택용 토지에서 단독주택용 토지			주상용 토지에서 단독주택용 토지			VIF
		계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	계수	p	p >  z	
사회경제 및 개발 특성	인구밀도 변화(명)	1.05	13.75	0.00	-0.02	-0.31	0.76	0.51	2.90	0.00	1.22
	고용밀도 변화(명)	2.22	5.48	0.00	12.27	41.76	0.00	2.25	2.59	0.01	1.20
	공원면적비율	19.10	5.40	0.00	-16.91	-5.61	0.00	23.19	3.49	0.00	2.13
	기개발지비율	-0.99	-1.63	0.10	6.80	15.99	0.00	7.66	6.26	0.00	5.78
	도로면적비율	-2.92	-1.55	0.12	-18.06	-9.24	0.00	-21.43	-5.63	0.00	6.31
	주거용 허가비율	-2.85	-11.90	0.00	0.18	0.71	0.48	-0.47	-0.96	0.34	4.82
	상업용 허가비율	-4.36	-12.45	0.00	0.39	1.12	0.27	0.04	0.05	0.96	5.61
토지 가격 및 규제 특성	2001년 토지가격	0.0000002	8.33	0.00	-0.000002	-21.41	0.00	-0.000001	-4.62	0.00	1.88
	토지가격 변화	1.24	31.86	0.00	-0.45	-9.30	0.00	-3.47	-15.67	0.00	1.33
	용적률	2.93	5.00	0.00	2.38	4.74	0.00	-5.00	-5.49	0.00	1.11
	건폐율	-0.11	-5.61	0.00	-0.03	-0.88	0.38	0.10	2.07	0.04	2.40
교통 및 입지 특성	버스정류장 직선 거리(m)	-0.01	-13.23	0.00	-0.00126	-7.21	0.00	-0.0006	-1.18	0.24	1.26
	지하철역 직선 거리(m)	-0.00040	-4.99	0.00	-0.00035	-5.81	0.00	-0.0004	-2.42	0.02	1.34
	시청 직선 거리(m)	-0.00001	-0.65	0.52	0.00003	2.35	0.02	-0.0001	-2.17	0.03	3.70
	인근도로 직선 거리 (m)	-0.05	-17.87	0.00	-0.01	-6.92	0.00	-0.04	-7.77	0.00	1.11
	한강까지 직선 거리 (m)	0.00017	11.34	0.00	-0.0002	-21.17	0.00	-0.0001	-2.81	0.01	2.57
	개발제한구역까지 직선 거리(m)	-0.00007	-2.38	0.02	-0.0002	-7.81	0.00	-0.0001	-1.71	0.09	2.13
토지 이용 복합 도	주거비율	-2.14	-14.34	0.00	-0.31	-3.02	0.00	-0.87	-2.82	0.01	3.38
	상업비율	-0.54	-3.42	0.00	-1.01	-6.15	0.00	-0.53	-1.37	0.17	4.21
	주상복합비율	3.46	20.99	0.00	-0.42	-2.25	0.03	2.47	6.67	0.00	1.49
	공업비율	-2.90	-2.11	0.04	-0.99	-0.83	0.41	0.06	0.03	0.98	1.06
상수	-3.56	-6.97	0.00	-3.62	-6.79	0.00	0.86	0.85	0.39		
Log Likelihood 값	-143715.45										
표본수	378470										
Pseudo R-Square	0.17										

건축허가 등이 많은 지역에서는 이러한 유형의 개발을 보기 어렵다. 용적률이 높은 지역일수록 상업용 토지개발이 활발하게 나타났으며, 이러한 개발로 인해 토지가격은 상승하였다. 또한, 상업용 토지의 특성상 버스정류장, 지하철역, 인근 도로에

가까울수록 이러한 개발이 많았다. 또한, 한강에서는 멀고 개발제한구역에 가까운 지역에서는 주상용 토지가 상업용 토지로 전환되었다. 토지이용상 주거, 상업, 공업용 토지이용의 비중이 높을수록 이러한 유형의 개발은 적었다.

고용밀도가 증가할수록 다세대주택이 단독주택으로 개발되었다. 인근 지역의 개발이 많고, 공원면적과 도로 면적이 적은 지역일수록 이러한 유형의 개발이 증가하였다. 건축허가는 통계적으로 유의미하지 않았다. 이러한 패턴은 주변이 개발되고, 고밀도 고용이 특징인 지역의 다세대주택이 단독주택으로 바뀌는 추세를 반영한다. 이러한 유형의 개발은 토지가격의 하락을 가져온다. 새로 개발되는 단독주택은 버스정류장, 지하철역, 인근 도로, 개발제한구역, 한강에 가까울수록 많았다. 단독주택의 경우 교통 편리성과 어메니티를 선호하기 때문으로 보인다. 토지이용상 이러한 유형의 개발은 주거, 상업, 주상복합의 비중이 높아질수록 적게 일어난다.

끝으로, 주상용 토지가 단독주택으로 전환되는 경우인데, 이는 현실에서 많지 않다. 모형 결과를 보면, 인구밀도, 고용밀도, 인근지역의 공원면적, 기개발지 면적 등이 많을수록 이러한 유형의 개발이 일어났다. 이러한 유형의 개발은 용적률이 높을수록 적게 일어났으며, 토지 가격은 하락하였다. 이러한 개발은 지하철역, 인근도로, 시청에 가까울수록 보다 활발하게 나타났다. 또한, 주상복합의 비중이 높은 지역에서 많이 나타나는 개발 유형이다.

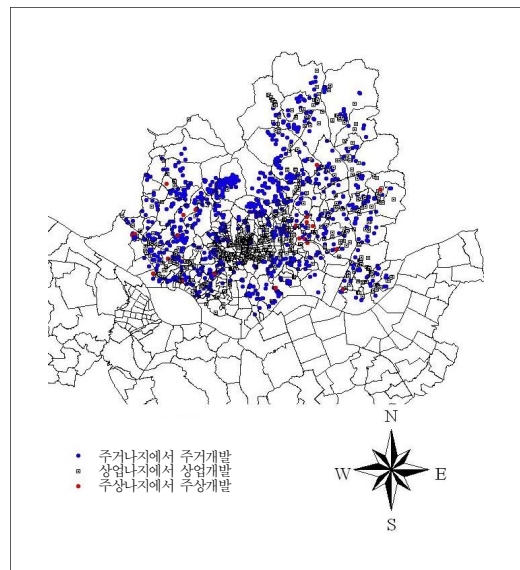
### 3. 예측 결과

이미 모형의 개요에서 설명한 바와 같이 다항로짓 모형은 종속변수인 각 부동산개발 변화의 확률을 각 필지 단위로 계산한다. 앞에서 해석한 나지개발 모형과 기존 토지개발모형에 다항로짓모형을 적용한 후 각 개발 유형별 확률을 구하였다. 이 확률은 관련 설명변수를 통제된 상황에서 2001년에서

표 10\_ 나지개발모형의 관찰사례와 예측사례 비교

구분	관찰사례	예측사례
토지이용불변	9,696	9,696
주거나지개발	1,458	1,539
상업나지개발	757	741
주상나지개발	96	31

그림 2\_ 나지개발모형의 예측사례 공간 분포



2007년 사이 각 필지의 부동산 개발 가능성을 수치로 보여주는 것이다. 이 확률은 학문적 의미보다는 도시계획이나 부동산개발 실무에서 향후 부동산 개발 패턴을 예측하는 데 사용된다. 예를 들어, 이 연구는 2001년부터 2007년까지 부동산개발 유형을 2001년의 설명변수 자료와 변수의 변화로 부동산개발 확률을 구했지만, 2007년 자료와 미래 특정연도에 대한 예상자료를 가지고 미래 특정연도의 부동산개발 확률을 구할 수 있는 것이다.

이 연구의 나지개발모형과 기존 토지개발모형에서 나온 각 부동산 유형별 확률분포를 소개하고자 한다. 다항로짓모형은 각 부동산개발별 확률을 계산하지만 그 가운데 가장 높은 확률을 가진 부

동산 개발을 최종적으로 예측된 부동산개발로 본다. 통상 다항로짓모형의 확률 저장을 최대확률법(Maximum-Probability Method)이라 하는데, 이 방법은 종종 원래의 토지이용불변 사례수보다 예측된 토지이용불변 사례수가 많다. 이러한 단점을 극복하기 위해 사례제한법(Case-Constrained Method)이 도입되고 있다(Landis and Zhang, 1998a, 1998b). 이 방법은 예측된 토지이용불변 사례 수가 많을 수 있다. 이 연구 또한 예측된 사례가 애초에 관찰된 사례보다 많기 때문에 사례제한법을 적용하여 예측 결과를 얻었다. 우선, 나지개발모형에서 주거나지개발의 경우 관찰사례보다 많게 예측되었고, 상업나지개발과 주상나지개발은 적었다.

예측된 결과를 지도로 표시해 보면 <그림 2>와 같다. 전반적으로 상업나지개발은 도심에 중심으로 나타날 가능성이 높고, 그 외곽 방향으로 주거나지개발이 나타날 것으로 예측되었다. 주상나지개발은 도심부와 강북지역 부도심에 혼재되어 있으며 그 수는 상업나지나 주거나지개발보다 적은 것이 특징이다.

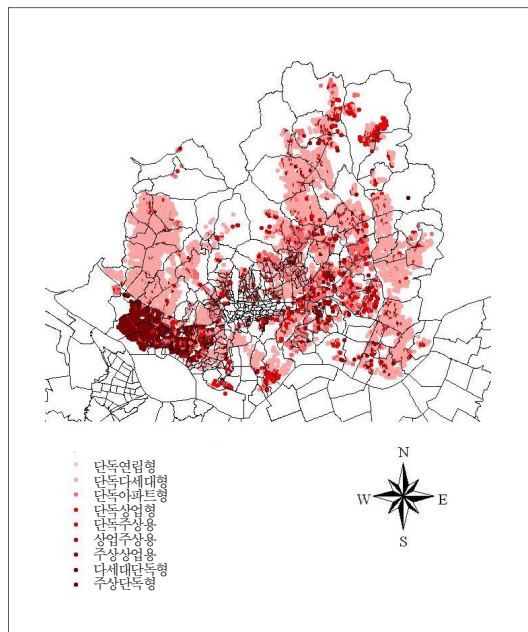
기존 토지개발모형의 경우, 단독주택이 다세대주택과 아파트로 개발될 것으로 예상되는 사례가 관찰 사례보다 많다. 또한, 다세대주택에서 단독주택으로 개발될 가능성이 높은 사례도 기존의 관찰 사례보다 많게 나왔다. 그 외의 부동산개발 유형은 관찰사례가 예측사례보다 많았다.

기존 토지개발모형에서 예측된 결과를 지도로 표시해 보면 <그림 3>과 같다. 전반적인 공간 분포를 보면, 주로 은평구, 도봉구, 강북구, 중랑구, 광

표 11\_ 기존 토지개발모형의 관찰사례와 예측사례 비교

구분	관찰사례	예측사례
토지이용불변	344,121	344,121
단독연립형	649	4
단독다세대형	13,961	18,419
단독아파트형	6,643	6,936
단독상업형	856	218
단독주상용	4,981	2,888
상업주상용	1,207	603
주상상업용	1,716	1,199
다세대단독형	3,933	4,044
주상단독형	403	38

그림 3\_ 기존 토지개발모형의 예측사례 공간 분포



진구 등에서 단독주택이 연립주택, 다세대주택으로 개발될 가능성이 높았다. 또한, 단독주택이 아파트로 개발될 가능성이 높은 곳은 성북구, 동대문구, 성동구 등이다. 아울러 마포구는 단독주택이 상업용 토지로 개발되고, 다세대 주택이 단독주택

으로 개발될 가능성이 높은 곳이다. 마포구의 경우 다소 특이한 개발 확률을 보이고 있는데, 이를 그대로 인정하기보다는 지역 여건을 검토하여 그 현실 타당성을 따져 보아야 할 것이다. 이러한 과정은 부동산개발 예측모형의 적합성을 더욱 높이게 된다.

여기서 다항로짓모형의 예측결과는 향후 부동산 개발의 예측에 참고할 수 있는 자료가 된다. 물론 부동산 개발의 예측 결과에 대한 타당성 검토를 통해 모형 자체를 다시 수정할 수 있다. 타당성 검토는 도시계획 당국의 향후 토지이용, 교통, 환경 계획뿐만 아니라 부동산 개발을 담당하는 민간의 행태와 의견을 통해 가능할 것이다. 다음 결론과 정책적 함의 부분에서 부동산개발 예측 모형의 향후 발전방향과 과제에 대해 논의해 보고자 한다.

## V. 결론과 정책적 함의

이 연구는 2001년과 2007년 사이 서울시 강북지역의 부동산 개발변화에 초점을 두고, 부동산 개발 예측 모형을 구상하여 이를 관련 자료와 기법을 통해 적용해 보았다. 이를 위해 우선, 도시공간구조와 부동산 개발, 도시성장모형, 다항로짓모형에 대한 기존의 논의를 개관하였다. 그 다음 부동산개발 유형을 나눈 뒤 나지개발모형과 기존 토지개발모형을 구성하고 각각 다항로짓모형을 적용하였다. 그 결과에 대한 해석을 통해 어떤 요인이 각 부동산 개발 변화를 설명하는지 살펴보았다. 모형 결과와 더불어 각 부동산 개발유형별 예측 결과를 제시하고 그 패턴을 제시하였다. 예측 결과는 일부 특이한 개발유형을 제외한다면 전반적으로 현재 서울시 강북지역의 부동산개발 추세를 반영하고 있는 것으로 보인다.

이 연구의 나지개발모형과 기존 토지개발모형

은 우선, 서울시 강북지역의 부동산개발이 사회경제, 교통 및 입지, 토지시장 특성, 토지이용 복합도 등 다양한 요인에 의해 역동적으로 달라짐을 보여 주었다. 아울러 다항로짓모형을 기존 데이터와 지리정보 등에 적용할 경우 각 부동산개발 유형별로 예측이 가능함을 알려 주었다.

이 연구에서 제시한 구상과 적용 결과는 서울시 강북지역에 한정하고 있다는 것 외에 미국과 유럽을 중심으로 발전하고 있는 도시성장모형에 비추어 아직 초보적 형태다. 앞으로 부동산개발 예측 모형의 발전을 위해 다음과 같은 점들이 개선되어야 한다. 첫째, 부동산개발이 도시의 다양한 변수에 의해 달라진다는 점에서 좀 더 많은 관련 자료가 필요하다. 예를 들어, 인구, 경제, 토지이용 규제와 변화, 지형 등 다양한 시계열 자료가 필수적이다. 둘째, 부동산개발을 담당하는 민간부문의 의사결정과 행태적 측면에 대한 고려가 필요하다. 최근 주목받고 있는 행태경제학에서 강조하듯 부동산 개발에 대한 민간의 의사결정과 대응은 반드시 경제 논리에만 의존하지 않는다. 따라서 통계와 지리정보기법에 의한 모형에 비경제적 논리에 의해 의사결정을 하는 민간부문에 대한 연구가 반영되어야 한다. 셋째, 방법론적 측면에서 공간분석기법이 본격적으로 도입되어야 한다. 가령, 다항로짓모형이 다루지 못하는 공간적 자기상관 문제를 극복할 수 있는 공간계량 다항로짓모형(Spatial Multinomial Logit Model)의 적용이 절실하다. 넷째, 정책부문이 모형에 도입되어야 한다. 특히, 부동산 개발은 도시계획, 교통, 토지이용 규제, 환경 규제 등 정부의 다양한 정책에 의해 크게 좌우된다는 점에서 정책 시나리오별 부동산개발 예측이 가능한 시스템을 모형에 추가하여야 한다. 끝으로, 이 연구에서 제시한 연구의 논리는 종속변수가 명목변수인 경우 혹은 연속변수를 일정한 범주로 만

든 변수에 적합하다는 점에서 앞으로 인구성장, 주택분포, 기후변화, 물 소비, 에너지 소비 등을 예측하는 데 응용할 수 있다.

이미 앞에서 소개한 바와 같이 부동산개발 예측 모형을 비롯한 도시성장 모형, 기후변화모형, 에너지 및 물 소비 모형은 풍부한 자료와 고급 통계기법이 필요한 영역이다. 또한, 많은 자원과 인력이 필요하고, 고급 지리정보분석기법도 필수다. 때문에 어느 개인 연구자의 노력만으로 불가능하며, 인력, 자원, 자료 등을 국가 차원에서 지원하는 것이 필수적인 분야다. 또한, 도시, 환경, 교통, 부동산 등 다양한 분야의 전문가의 참여가 핵심이다. 특히, 우리의 경우 급격한 산업화와 도시화로 인해 도시 성장과 환경변화를 예측하는 일이 시급하다. 우리나라 도시성장과 환경 변화 등을 분석하고 향후 변화 추세를 예측할 수 있는 다양하고 엄밀한 모형을 적극 검토할 시점이다.

## 참고문헌

박헌수·조규영. 2008. “확률선택모형에 의한 대구시의 토지이용변화에 대한 실증분석”. 국토연구 제58권. 안양 : 국토연구원. pp137-150.

윤대식·윤성식. 1998. 도시모형론: 분석기법과 적용. 서울 : 홍문사.

이성우·민성희·박지영·윤성도. 2005. 로짓 프라빗모형 응용. 서울 : 박영사.

이정진. 2006. 토지경제학. 서울 : 박영사.

Anas, A., Arnott, R. J., and Small, K. 1998. “Urban Spatial Structure”. *Journal of Economic Literature* vol.36. Pittsburgh : American Economic Association Publications. pp1426-1464.

Batty, M. 2007. *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press.

Benenson, I. and Torrens, P. M. 2004. *Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena*. West Sussex : Wiley.

Berke, P. R., Godschalk, D. R., Kaiser, E. J., and Rodriguez, D. A. 2006. *Urban Land Use Planning*. Urbana Champaign and Chicago, IL : University of Illinois Press.

Brail, R., and Klosterman, E. 2001. *Planning Support Systems*. Redlands, California : ESRI.

Brueggeman, W. B., and Fisher, J. D. 2008. *Real Estate Finance and Investments*. New York : McGraw-Hill.

Deal, B., and Pallathucheril. 2008. “Simulating Regional Futures: The Land-Use Evolution and Impact Assessment Model(LEAM)”. in Brail, R.(eds). *Planning Support Systems for Cities and Regions*. Cambridge, MA. : Lincoln Institute of Land Policy.

DiPasquale, D., and Wheaton, W. 1996. *Urban Economics and Real Estate Markets*. Englewood, NJ : Prentice Hall.

Ewing, R., Bartholomew, K., Winkelman, S., Walters, J., and Chen, D. 2008. *Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change*. Washington D.C : Urban Land Institute.

Geltner, D., Miller, N., Clayton, J., and Eichholtz, P. 2007. *Commercial Real Estate Analysis & Investments*. Mason, Ohio : Thompson Higher Education Mason.

Giuliano, G. 2004. “Land Use Impacts of Transportation Investments: Highway and Transit”. in Hanson, S. and Giuliano, G.(eds). *The Geography of Urban Transportation*. New York : Guilford Press.

Irwin, E. G., and Geoghegan, J. 2001. “Theory, Data, Method: Developing Spatially Explicit Economic Models of Land Use Change”. *Agriculture, Ecosystem and Environment* vol.85. San Diego : Elsevier. pp7-23.

Landis, J. 2001. “CUF, CUF II, and CURBA: A Family of Spatially Explicit Urban Growth and Land-Use Policy Simulation Models”. in Brail, R. and Klosterman, R.(eds). *Planning Support Systems*. Redland, CA : ESRI.

Landis, J., and M. Zhang. 1998a. “The Second Generation of the California Urban Futures Model. Part 1: Model Logic and Theory”. *Environment and Planning B*

- vol.25. London : Pion. pp657-666.
- \_\_\_\_\_. 1998b. "The Second Generation of the California Urban Futures Model. Part 2: Specification and Calibration of the Land-Use Change Submodel". *Environment and Planning B* vol.25. London : Pion. pp795-824.
- Mayer, C., and Somerville, C. 2000. "Land Use Regulation and New Construction". *Regional Science and Urban Economics* vol.30. San Diego : Elsevier. pp639-662.
- McMillen, D., and McDonald, J. 1991. "A Simultaneous Equations Model of Zoning and Land Values". *Regional Science and Urban Economics* vol.21. San Diego : Elsevier. pp55-72.
- \_\_\_\_\_. 2007. *Urban Economics and Real Estate: Theory and Policy*. Malden, USA. : Blackwell Publishing.
- O'Sullivan, A. 2007. *Urban Economics*. New York : McGraw-Hill.
- Rodrigue, J., Comtois, C., and Slack, B. 2009. *The Geography of Transport Systems*. New York : Routledge.
- Rosenthal, S., and Helsley, R. 1994. "Redevelopment and the Urban Land Price Gradient". *Journal of Urban Economics* vol.35. San Diego : Elsevier. pp182-200.
- Somerville, C. 2001. "Permits, Starts, and Completions: Structural Relationships versus Real Options". *Real Estate Economics* vol.29. Hoboken : Wiley. pp161-190.
- Waddell, P., Liu, X., and Wang, L. 2008. "UrbanSim: An Evolving Planning Support System for Evolving Communities". in Brail, R.(ed.). *Planning Support Systems for Cities and Regions*. Cambridge, MA. : Lincoln Institute of Land Policy.
- Wallace, N. 1988. "The Market Effects of Zoning Undeveloped Land: Does Zoning Follow the Market?". *Journal of Urban Economics* vol.23. San Diego : Elsevier. pp307-326.
- Zhou, B., and Kockelman, K. 2008. "Neighborhood Impacts on Land Use Change: A Multinomial Logit Model of Spatial Relationships". *The Annals of Regional Science* vol.42, no.2. Heidelberg : Springer Berlin. pp321-340.

- 
- 논문 접수일: 2010. 4.12
  - 심사 시작일: 2010. 4.15
  - 심사 완료일: 2010. 5.10

---

**ABSTRACT**


---

### **Application of Prediction Models for Real Estate Development in North Seoul, Korea**

Keywords: Real Estate Development, Prediction Models, North Seoul

This paper aims to apply the prediction models for real estate development in North Seoul from 2001 to 2007. After reviewing related literature and gaining related data in 2001 and 2007, the multinomial logit models for this analysis identifies the effects of socioeconomic attributes, land price and land use regulation, transportation and locational attributes, and land use mix on the change of real estate development in North Seoul. This study also reveals the probability of each real estate development from the multinomial logit models and discusses the results.

This study confirms that the rise of employment density, land price, and transportation facilities encourage the development of raw lands. Further, single family housing near transportation network tends to be converted to condominium, commercial and retails, and mixed-use due to the increase of employment density and proximity to transportation facilities. Finally, the prediction models in this study would be applied to forecast urban growth, climate change, and energy and water consumption in Korea.

### **부동산개발 예측모형의 적용방안 연구: 서울시 강북지역을 사례로**

주제어: 부동산개발, 예측모형, 서울시 강북지역

본 연구는 서울시 강북 14개 구 지역의 부동산개발 예측모형을 구상하고 실제 데이터에 적용하였다. 이를 위해 우선 기존 문헌을 검토하고 2001년과 2007년 관련 자료를 얻은 후, 다항로짓모형을 적용하여 설정한 부동산 개발 유형별 변화에 사회경제적 특성, 토지가격과 규제, 교통 및 입지 특성, 그리고 토지이용 복잡도가 어떻게 영향을 미치고 있는지 분석하였다. 그 다음 각 부동산 개발 유형별 확률을 계산하고 이에 대한 논의를 하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 나지개발의 경우 2001년과 2007년 사이 고용밀도의 변화, 교통시설과 교통망 등이 개발을 촉발하는 요인이었다. 둘째, 기존 토지개발의 경우, 대체로 단독주택이 고용밀도의 변화, 교통시설에 대한 근접성 등으로 인해 단위당 지가가 높은 아파트, 상업용 토지, 주상용 토지로 개발되고 있음을 보여주고 있다. 셋째, 다항로짓모형에서 나온 부동산개발 예측결과는 기존 토지개발모형보다 나지개발모형의 경우 비교적 뚜렷하고 기존의 도시개발 패턴에 부합하는 것으로 나타났다.

본 연구의 접근법은 풍부한 데이터에 좀 더 발전된 분석방법을 적용하여 정교한 모형을 구축한다면 부동산개발 예측뿐만 아니라 향후 도시성장, 기후변화, 에너지와 물소비 모형에 응용할 수 있을 것이다.