

주택시장변동 분석을 위한 멀티에이전트 모형의 개발 및 시뮬레이션*

문태헌^{1*}

Multi-Agent Model and Simulation for the Dynamics of Housing Market*

Tae-Heon MOON^{1*}

요 약

조속한 주택시장의 안정화가 우리나라의 국가적 과제가 되었다. 이를 위해 주택시장의 특성을 반영하며 새로운 정책이 주택시장에 미치는 영향을 분석할 수 있는 도구의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구는 진주시를 대상으로 멀티에이전트 주택시장모형과 시뮬레이션시스템을 개발하고자 한다. 먼저 진주시의 지역적 주택시장을 분석한 다음, 주택선택모형, 헤도닉주택가격모형, 주거입지선택모형 등 3개의 하위 모형으로 구성된 멀티에이전트 모델을 개발하였다. 또한 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위해 150×100개의 셀로 구성된 가상공간을 설정하고 모형을 프로그래밍하였다. 이 시스템으로 도시개발이 주거 입지패턴에 미치는 영향을 분석하는 시뮬레이션을 실시해 보았다. 그 결과 단순히 도로, 상업시설, 편의시설의 입지만으로는 주거가 쉽게 유입되지 않음을 알 수 있었다. 대신에 녹지를 공급함으로써 매우 많은 주거입지를 유도할 수 있어 도시개발에서 인프라와 환경적 요인이 동시에 정비되어야 한다는 시사점을 발견할 수 있었다. 결론적으로 본 연구에서 개발한 멀티에이전트 모형과 시뮬레이션 시스템은 원활하게 작동하며, 다양한 정책실험과 주택시장의 분석에 유용하게 활용할 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 멀티에이전트모형, 주택시장, 시뮬레이션 시스템, 가상공간, 셀기반

ABSTRACT

The prompt recovery of housing market in Korea became the national task, for which tools that can analyze the influence that changing situation of housing market and new policy may have on the housing market needs to be developed. Thus, this research intends to develop

2009년 5월 20일 접수 Received on May 20, 2009 / 2009년 9월 22일 수정 Revised on September 22, 2009 / 2009년 9월 25일 심사완료 Accepted on September 25, 2009

* 이 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 학술진흥재단의 지원을 받아 수행한 연구이며 (KRF-2006-321-B01050), 2 단계 BK21의 지원을 받았음.

1 경상대학교 도시공학과 교수, ERDI, 2단계 BK21팀 Professor, 2nd Stage BK21 Team, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University

※ 연락처 E-mail : thmoon@gnu.ac.kr

Multi-Agent Housing Market Model and simulation system in Jinju City as a study area. Analyzing the local housing market of Jinju City, then multi-agent model of housing market that consolidates 3 sub-models, house choice model, hedonic model of house price and location choice model is developed. Moreover in order to develop simulation system the model is programmed in the virtual space of which the size is 150x100 cell including physical shape of city such as road, urban facilities, land use, etc. With the system, simulations are performed to confirm the impact of urban development on the pattern of residential location. As a result, it is found that the residential location can not be easily induced when only road, commercial and convenient facilities are supplied. However, it is also found that since supplying green results in very many residences, arrangement of infrastructure and environmental factor should be considered at the same time for urban development. As conclusion, it is confirmed that the model and simulation system developed in this research smoothly works to be utilized for the analysis of diverse policy experiment and housing market.

KEYWORDS : Multi-Agent Model, Housing Market, Simulation System, Virtual Space, Cell-Based

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지난 노무현 정부(2003~2008)는 부동산과 주택시장을 제어하기 위해 토지정보체계를 정비하고, 종합부동산세와 같은 세금을 강화하는 등 수 많은 제도와 정책을 시행하였으나 급등하는 주택시장을 안정시키는데 실패하였다. 반면 새정부에서는 예상치 못했던 국제금융위기로 주택시장이 급속히 위축됨에 따라 반대로 부동산 활성화 정책을 조심스럽게 준비하고 있다. 그러나 정부의 새 정책이 주택시장을 안정화시킬 수 있을지 확신하기 어렵다. 왜냐하면 과거 수많은 제도와 정책을 시행했음에도 불구하고 오히려 주택시장의 혼란이 가중되었기 때문이다. 그 원인 중에는 정부에서 주택시장의 메카니즘을 충분히 파악하지 못하고 성급하게 정책을 시행하였기 때문이라 할 수 있다. 그 결과 정부의 신뢰성은 약화되고, 정책이 제대로 작동하지 않는 악순환이 반복되고 말았다.

이와 같이 주택시장을 빠른 시일 내에 회복하는 것은 어려워 보이지만, 정상적인 시장의 회복을 앞당기는 노력이 어느 때보다 절실하

다고 할 것이다. 그러나 이때 무엇보다 주택시장을 정확히 분석하고, 여건의 변화나 각종 정책과 개발사업이 주택시장에 미치는 파급효과를 다각도로 분석할 수 있어야 한다. 또한 일반인이 이해하기 힘든 경제지표나 시장의 통계적 예측보다 대상지역의 지리적 특성을 반영하고 공간적으로 주택시장의 변화를 추적할 수 있는 새로운 방법론의 개발이 필요하다.

한편 주택시장은 결국 개개의 가구가 행한 개별적 선택행위의 집계치(aggregate)에 불과하기 때문에 개별 가구들의 주거 입지선택과 같은 마이크로(micro)한 수준에서 주택시장 분석이 가능한 방법의 개발이 필요하다. 또한 주택시장에서 잘못된 정책과 개발이 시행되면 국민과 지역경제에 엄청난 혼란을 초래하기 때문에 사전에 정책과 개발계획을 공간지리적으로 검증할 수 있는 도시개발 정책의 시뮬레이션 도구가 필요하다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 멀티에이전트(Multi-Agent)이론을 도입하여 주거입지 의사결정을 다룰 수 있는 주택시장을 모델링하고, 공간 지리적으로 접근 가능한 시뮬레이션시스템의 구축 및 시뮬레이션을 통한 주택시장의 유의한 정책적 발전방향을 모색해보고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

주택시장의 작동 메커니즘을 연구하기 위해 연구 대상지역으로서 주택시장이 활발한 인구 34만명의 지방도시 진주시를 선정하였다. 구체적인 연구 방법은 그림 1과 같으며, 첫 번째 단계는 설문조사이다. 이는 지역의 주택시장을 파악하고 모형 구축 및 시뮬레이션에 투입할 변수를 추출하기 위함이다. 두 번째 단계는 주택시장 모형의 개발이다. 이 단계는 멀티에이전트 주택시장 모형의 하부모형(sub models)을 개발하는 것으로 주거유형선택모형, 주택가격결정모형 그리고 주거 입지선택모형 등의 세 개 하부모형으로 구성되고, 컴퓨터 가상공간에서 사례지역을 2차원의 물리적 공간으로 구축하는 과정이다. 세 번째는 이상에서 개발된 모형의 작동을 검증한 다음, 도시개발 시나리오를 작성하여 이를 시뮬레이션해 보도록 한다. 그 결과 도시개발이 주택시장과 토지이

용에 미치는 영향을 분석하고, 마지막으로 건전한 주택시장 조성을 위한 정책방향을 제시하도록 한다. 한편 멀티에이전트 모형과 공간지리적 시뮬레이션을 위한 프로그래밍은 비교적 다루기 수월한 Multi-Agent System (MAS)를 사용하였다. MAS는 일본KKE연구소에서 개발하였으며, Visual Basic과 유사하여 접근이 용이한 특징이 있다.

관련연구 고찰 및 에이전트 이론의 도입

1. 관련연구

본 연구에서 도입하는 멀티에이전트 이론에서 에이전트는 연구의 범위와 목적에 따라 다양하게 정의할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 주택소유자(또는 하나의 주택)를 하나의 에이전트로 설정하였다. 따라서 멀티 에이전트라함은 에이전트가 복수 (multiple)개 존재함을 의미한다.

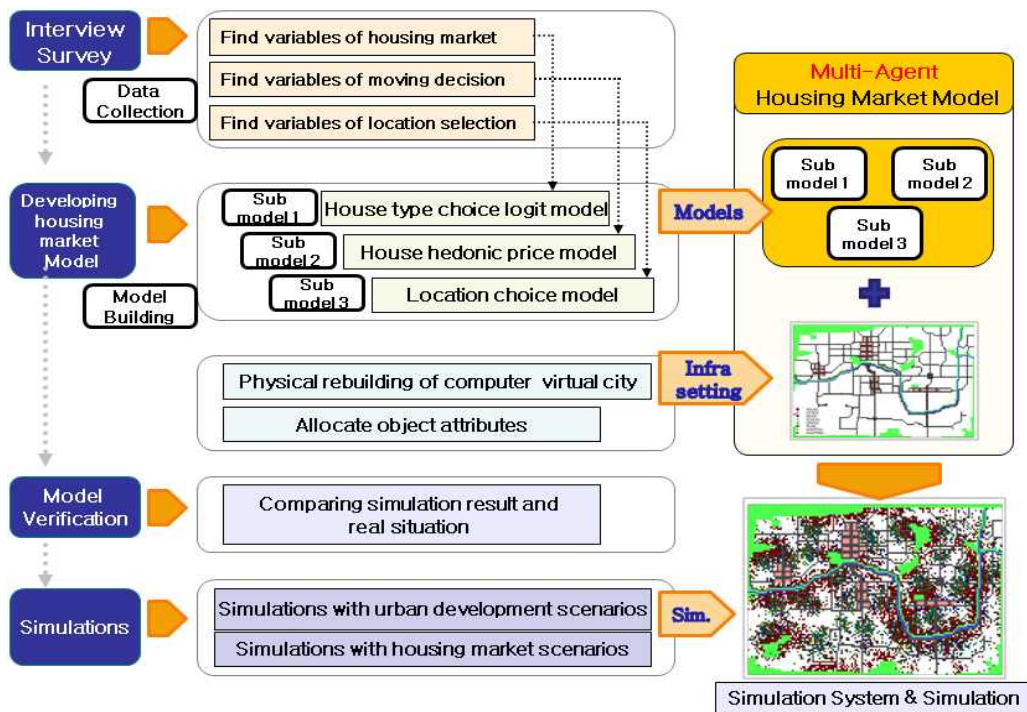


그림 1 연구 흐름

에이전트 모형은 최근에 지리학자, 경제학자, 사회학자들이 중심이 되어 사회현상에 대한 새로운 종류의 모형과 시뮬레이션 기술에 응용하면서 발전하기 시작하였다. 컴퓨팅 관련 하드웨어와 소프트웨어의 혁신적인 발전, GIS와 인공지능, 객체지향형(object oriented) 프로그래밍 기술의 발전도 에이전트 모형의 개발을 가속화시키는 계기가 되었다. 에이전트 모형은 복잡계(complexity)이론의 일종으로 복잡계이론은 많은 객체(object)가 그들이 가지고 있는 속성을 그대로 보존하면서 상호작용(interaction)과 학습을 통해 의사결정을 수행하는 상당히 진화된 특징을 가지고 있다.

주택시장은 개개인의 주거선택 및 거래과정이 모여서 거대한 주택시장을 형성하고, 그 결과 때로는 예기치 못한 모습으로 나타나기도 한다. 이런 주택시장의 다양함과 의외성 그리고 동적으로 변화하는 특징을 전통적인 연구방법으로 다루기가 불가능하며, 복잡계이론의 멀티에이전트 모형이 유효하다고 본 연구는 판단하는 것이다.

그러나 멀티에이전트 이론이 비교적 최근에 시작되었기 때문에 주택시장에 적용한 사례는 매우 적은 실정이다. 그중에서 Torrence(2001)와 I. Benenson(1998)의 연구가 대표적이라 할 수 있고, D.C.Parker(2003)는 도시 및 건축계획분야에서 응용 가능한 멀티에이전트 연구를 가장 많이 생산하고 있다. 주거선택에 관해서는 Timmerman이 주도하는 urban planning group의 연구가 거의 전부라고 할 수 있다. 그러나 이들 연구는 에이전트의 의사결정 모형이나 행동규칙의 개발에서 치밀하지 못하고 본 연구와 같이 아직까지 마이크로한 수준까지 다루지 못하고 있어 본 연구와 차별되는 점이라고 할 수 있다.

2. 멀티에이전트 주택시장모형의 기본전제

가상공간의 주택시장에 멀티에이전트 이론을 적용하기 위해 다음과 같은 기본 전제를

설정하였다. ① 에이전트는 연령, 가족수, 경제력, 교육수준 등과 같은 고유의 속성(attribute)을 가진다. ② 에이전트 간에는 서로의 속성과 행동을 참조하는 상호작용(interaction)이 존재하고 상호 학습한다. ③ 각 에이전트는 도로, 공원녹지, 학교, 상가 등 주변의 환경적 요소를 종합적으로 고려하여 주거선택 의사결정을 수행한다.

이상의 전제하에 본 연구는 컴퓨터 가상공간에서 여러 종류의 에이전트를 다수(multiple) 생성시키고 이들이 행하는 주택선택과정을 프로그램하여 주택시장을 작동시키게 되는 것이다.

사례지역 주택시장 특성과 하부모형의 개발

1. 주택유형 선택 확률 로짓모형

1) 사례지역 주택시장 특징 및 주택 유형별 선택확률

2005년 사례지역 진주시의 인구는 337,242명, 세대수 114,703세대로 조사되었다. 같은 해 주택수는 90,940호로 주택보급율이 79.3%로서 전국의 주택보급율 82.7%에 미치지 못하였다. 2005년을 기준으로 주택의 유형별 가구수는 단독주택 42,841호, 아파트 42,432호, 연립·다세대주택 3,059호로 각각 전체의 47.1%, 46.7%, 6.2%를 차지하고 있다.

이러한 사례지역을 대상으로 주택시장 에이전트모형을 개발하기 위해서는 사례지역의 주택특성과 주택선택에 영향을 주는 요인(변수)을 파악하고, 가구 특성에 따라 주택유형별 선택확률을 산정할 필요가 있다. 이를 위해 설문조사를 실시하여 주택선택에 영향을 주는 요인을 다항로지스틱(multinomial logistic) 방법으로 추출하였고, 주택유형별 선택확률을 다항 로짓모형(multinomial logit model, MLM)으로 구하였다. 설문기간은 2007년 5월부터 6월 사이에 실시하였으며, 총 1,200부를 조사

표 1. 변수내용

변수구분	변 수 명	코	딩	값
종속변수	주택유형	1: 연립주택 ¹⁾ , 2: 아파트, 3: 단독주택 ²⁾		
	나 이	1: 30대 이하, 2: 50대 이상, 3: 40대		
	직 업	1: 생산직, 2: 자영업, 3: 기타, 4: 사무직		
	가족수(명)	1: 2이하, 2: 3, 3: 5이상, 4: 4		
	주택평수(평)	1: 20 이하, 2: 31~40, 3: 41 이상, 4: 21~30		
독립변수	소유형태	1: 임차, 2: 자가		
	성별	1: 남성, 2: 여성		
	소득(만원)	1: 100이하, 2: 101~200, 3: 201~400, 4: 401이상		
	학력	1: 대졸이상, 2: 고졸이하		
	주택소유의식	1: 자가선호, 2: 상관없음		

※ 각 변수별 마지막 코딩값을 참조값으로 하였음.

- 1) 연립주택 : 연립주택, 다세대·다가구주택
- 2) 단독주택 : 단독주택, 점포주택

원이 직접면담방식으로 시행하여 667부(55.6%)를 회수하였다. 그 중에 유효 응답건수는 633부(52.8%)이었다.

먼저 MLM에서 종속변수는 주택유형으로 하고, 주택유형은 한국에서 통상적으로 분류하고 있는 연립주택, 아파트, 단독주택의 세가지로 하였다. 독립변수는 1차적으로 관련연구에서 유효한 변수로 분석된 변수를 중심으로 선정하였으며, 변수명과 카테고리의 내용은 표 1과 같다.

이상의 9개 독립변수를 MLM에 투입한 후 통계적으로 유의하지 않은 변수를 하나씩 제거해 가는 방법을 적용한 결과, 표 2와 같이 나이, 직업, 가족수, 주택평수, 소유형태는 유

의수준 1%에서 유의한 것으로 나타났다. 그러나 성별, 소득, 학력, 주택소유의식은 유의수준 1% 및 5%에서 유의하지 않은 변수로 판명되었다.

2) 주택유형 선택확률 산정

다음은 주택유형선택 확률을 구하기 위하여 앞에서 유의한 변수만을 대상으로 다항로지스틱분석을 실시하면 표 3과 같이 각 독립변수의 계수값을 구할 수 있다.

이상의 결과를 이용하여 주택유형별 선택 확률을 계산하기 위한 로짓모형을 구축해야 하는데, 선택확률은 로짓모형의 이론에 따라 식(1)과 같은 방법으로 계산할 수 있다.

표 2. 모형설정 및 유의성 검정 결과

구분	유의성 검정	모형 전체	나이	직업	가족수	주택 평수	소유 형태	성별	소득	학력	주택소유 의식
	χ^2	132.883	13.986	20.616	20.187	32.017	11.841	-	-	-	-
통계량	df	24	4	6	6	6	2	-	-	-	-
	p	.000	.007	.002	.003	.000	.003	-	-	-	-

표 3. 최적모형의 회귀계수

		연립주택			아파트		
		B	avg. (X)	XB	B	avg. (X)	XB
	절편	-1.873	1.000	-1.873	2.008	1.000	2.008
나이	30대 이하	-0.153	0.349	-0.053	-0.709	0.349	-0.247
	50대 이상	-0.973	0.320	-0.311	-1.281	0.320	-0.410
	40대	0	0.331	0.000	0	0.331	0.000
직업	생산직	-0.724	0.118	-0.085	-1.317	0.118	-0.155
	자영업	0.512	0.222	0.114	-0.417	0.222	-0.193
	기타	-0.018	0.320	-0.006	-0.387	0.320	-0.124
	사무직	0	0.340	0.000	0	0.340	0.000
가족수	2명 이하	1.601	0.189	0.303	-0.019	0.189	-0.004
	3명	0.369	0.211	0.078	-0.056	0.211	-0.012
	5명 이상	-0.162	0.153	-0.025	-0.617	0.153	-0.094
	4명	0	0.447	0.000	0	0.447	0.000
평수	20평 이하	0.671	0.173	0.116	-0.376	0.173	-0.065
	31~40평	0.116	0.360	0.042	0.717	0.360	0.258
	41평 이상	-0.567	0.109	-0.062	-1.457	0.109	-0.159
	21~30평	0	0.358	0.000	0	0.358	0.000
형태	임차	1.355	0.247	0.335	-0.130	0.247	-0.032
	자가	0	0.753	0.00	0	0.75	0.000
합계 및 효용계수		V_s^*	-1.429		V_a^{**}	0.871	

* V_s : utility coefficient of single detached house

** V_a : utility coefficient of apartment

$$P(i) = e^{V_i} / (e^{V_s} + e^{V_r} + e^{V_a}) \quad (1)$$

단, $P(i)$: 주택유형 i 를 선택할 확률

i : s(단독), r(연립), a(아파트)

V_i : 주택유형 i 의 효용계수(표 3 참조)

$$0 \leq P(i) \leq 1$$

이 때 에이전트가 단독주택, 연립주택과 아파트 중 하나를 반드시 선택해야 하므로 식(2)가 성립되어야 한다.

$$P(s) + P(r) + P(a) = 1 \quad (2)$$

이 공식에 위의 표 3에서 구한 V 값을 대입하여 정리하면 원하는 주택유형별 선택확률을 구할 수 있으며, 설문조사를 통해 분석된 사례지역에서 연립주택, 아파트, 단독주택을 선택할

확률은 각각 0.066, 0.658, 0.276로 나타났다.

2. 주택가격 헤도닉함수

주거를 이전하려는 경우에 주택의 가격이 중요한 결정요인이 되므로 주택가격의 결정모형을 구축할 필요가 있다. 이를 위해 사례지역의 20세대 이상의 공동주택을 대상으로 속성 데이터를 2007년 9월부터 11월에 걸쳐 조사하였다. 참고로 진주시의 공동주택 분포는 그림 2와 같으며, 속성 데이터는 주로 진주시청 건축과의 자료와 건설교통부의 부동산 거래통계, 부동산 안내 사이트(부동산114: www.r114.co.kr, 부동산뱅크: www.neonet.co.kr)를 참고하여 구축하였다. 수집된 자료는 헤도닉 가격함수모델(hedonic price model)로 진주시의 공동주택가

격결정 메카니즘을 규명하고 가격예측 모형을 개발하였다.

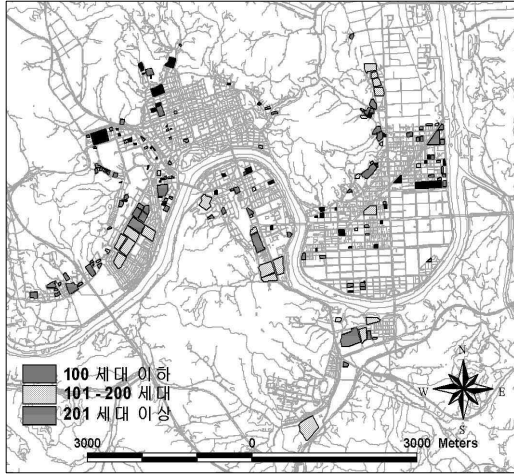


그림 2. 사례지역 공동주택 분포

진주시 건축과 자료에 따르면 2007년 9월 현재 진주시의 공동주택은 20세대 미만인 149개, 20세대 이상이 208개 단지이며 총 357개로 집계되었다.

이런 공동주택의 가격 결정요인을 분석하기 위해 헤도닉모델에서는 진주시 공동주택의 평균매매가격을 종속변수로 하고, 시청, 학교, 시장, 남강 등 주요 시설물과 공동주택과의 거리, 공동주택의 면적, 난방방식 및 난방연료, 현관구조, 방수 및 욕실수, 향, 호당 주차대수 등을 독립변수로 설정할 수 있다. 그러나 에이전트 모형이 앞에서 설정한 물리적 가상공간에서 작동하여야 하기 때문에 프로그램상에 정량적으로 반영이 어려운 변수는 무의미하게 되므로 이를 고려하여 주택가격 헤도닉함수를 구해 보았다. m²당 가격을 종속변수로 하고 본 시뮬레이션시스템에서 반영 가능한 자료를 대상으로 독립변수를 취하여 분석해 본 결과 식(3)과 같은 주택가격 헤도닉함수를 구할 수 있었다. 즉 식(3)에 의해 가상공간내에 위치한 에이전트(주택) 가격이 결정되게 된다.

$$211.750 + 9.474*(\text{대로접합여부}) - 0.038*(\text{초등학교거리}) - 0.022*(\text{시장마트거리}) - 0.030*(\text{남강거리}) \quad (3)$$

단, HP_i : 에이전트 i 의 주택가격 (만원/m²), 거리단위 : m

3. 주거 위치 선택모형

위에서 설정한 가상공간에서 최초 에이전트들은 랜덤하게 입지하게 된다. 그러나 주변여건과 속성을 감안하여 최적의 위치를 탐색하게 되며, 이때 본 연구는 각 에이전트가 자신의 만족도를 최대화하는 곳에 거주지를 정하게 될 것이라고 가정한다. 이런 가정하에 구체적인 입지결정방법은 에이전트가 후보지의 평가항목을 설정하고 항목별로 만족도를 구한 다음, 종합만족도가 최대인 후보지를 선정하는 것으로 하였다.

항목별 만족도계산은 다음과 같이 수행한다. 만족도는 현 위치에서 가장 가까운 시설물(예: 상업시설이면 가까운 쇼핑센터)까지 거리의 제곱에 반비례한다는 중력모형(gravity model)에 따른다고 하였으며, 여기에 다시 항목별 가중치를 적용하여 최종 만족도를 결정한다. 예를 들면, 통근의 편리성에 대한 만족도 ($Sat_{i,w}$)는 가상공간의 모든 지점(i)에서 직장(w)까지의 평균거리($mean(d_{i,w})$)와 표준편차($std(d_{i,w})$)를 구한 다음, 특정 i 지점에서 직장까지의 거리($d_{i,w}$)를 식(4)와 같이 표준화한 값으로 변환시킨 것을 만족도로 사용한다.

$$Sat_{i,w} = [d_{i,w} - mean(d_{i,w})] / std(d_{i,w}) \quad (4)$$

한편 평가항목별 가중치는 설문조사에서 조사된 바와 같이(표 4 참조) 에이전트의 유형별로 항목별 가중치를 별도로 적용하였다. 즉 평가항목은 설문조사에서 7가지 이사원인이 있는 것으로 정리되었으므로 이를 사용하였으며, 평가항목별 가중치는 원인별로 응답비율을 적

표 4. 유형별 대안 주택의 평가항목 및 가중치

평가항목	변수값 취득방법	개체유형별 빈도 및 가중치							
		1	2	3	4	5	6	7	
통근	직장거리	빈도	8	2	2	4	0	0	1
		%	12.5	33.3	13.3	11.8	0.0	0.0	25.5
자녀교육	초등학교거리	빈도	8	0	6	12	1	0	1
		%	12.5	0.0	40.0	35.3	33.3	0.0	25.5
교통편리	간선도로거리	빈도	1	0	0	0	0	2	0
		%	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	66.6	0.0
경제여건변 화	수입과 주택가격차이	빈도	24	1	3	14	0	0	1
		%	37.5	16.7	20.0	41.2	0.0	0.0	25.5
편의시설	의료시설, 수퍼거리	빈도	1	0	0	1	1	0	0
		%	1.6	0.0	0.0	2.9	33.3	0.0	0.0
주변환경	남강과 녹지지역거리	빈도	13	1	0	2	0	1	1
		%	20.3	16.7	0.0	5.9	0.0	33.3	25.5
상업시설 접근성	상업지역 및 쇼핑센터거리	빈도	1	2	0	0	0	0	0
		%	1.6	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기타		빈도	8	0	4	1	1	0	0
		%	12.5	0.0	26.7	2.9	33.3	0.0	0.0
계		빈도	64	6	15	34	3	3	4
		%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

용하였다. 따라서 종합만족도는 식(5)와 같이 계산된다.

$$TScore_{k,i}(x,y) = \sum_{l=1}^L D_{i,l} \times W_{k,l} \quad (5)$$

단, $TScore_{k,i}(x,y)$: 좌표(x,y)에 있는 k 유형 i 에이전트의 총 만족도

$D_{i,l}$: 에이전트 i의 l 평가항목 득점

$W_{k,l}$: k 유형의 l 평가항목 가중치

멀티에이전트 모형 및 시뮬레이션 시스템

1. 사례지역의 물리적 기반 모델링

사례지역 주택시장의 모델링과 시뮬레이션을 위해 사례지역의 물리적 형태를 가상공간으로 재구성하고 주택시장의 속성을 반영한 에이전트의 작동원리를 구현해야한다. 이를 위

해 컴퓨터상에서 그림 3과 같이 사례지역을 150×100셀의 2차원 가상공간으로 구성하였다. 공간내의 자연적 요소로서 도시의 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 남강(그림의 파란색)을 현실과 유사한 모습으로 구성하고, 남강 주변, 도심내 공원과 시 외곽에 녹지대를 설치하였다. 인공적 요소로서 간선도로망을 위주로 디자인하였으며, 도심 상업지역과 동서남쪽 지역에 각각 상업지역을 배분하였다.

2. 에이전트 유형분류

가상공간에 개별 주택 에이전트를 생성하여 배치하여야 한다. 그러나 이때 각 에이전트는 속성값(예를 들면 나이, 수입, 학력 등)을 가지고 있지 않기 때문에 생성과 동시에 초기 속성값을 부여해야 한다. 초기값은 앞에서 실시한 설문조사를 통해 수집된 지역 거주자의 특성을 반영하여 부여하였다. 즉 난수를 발생시

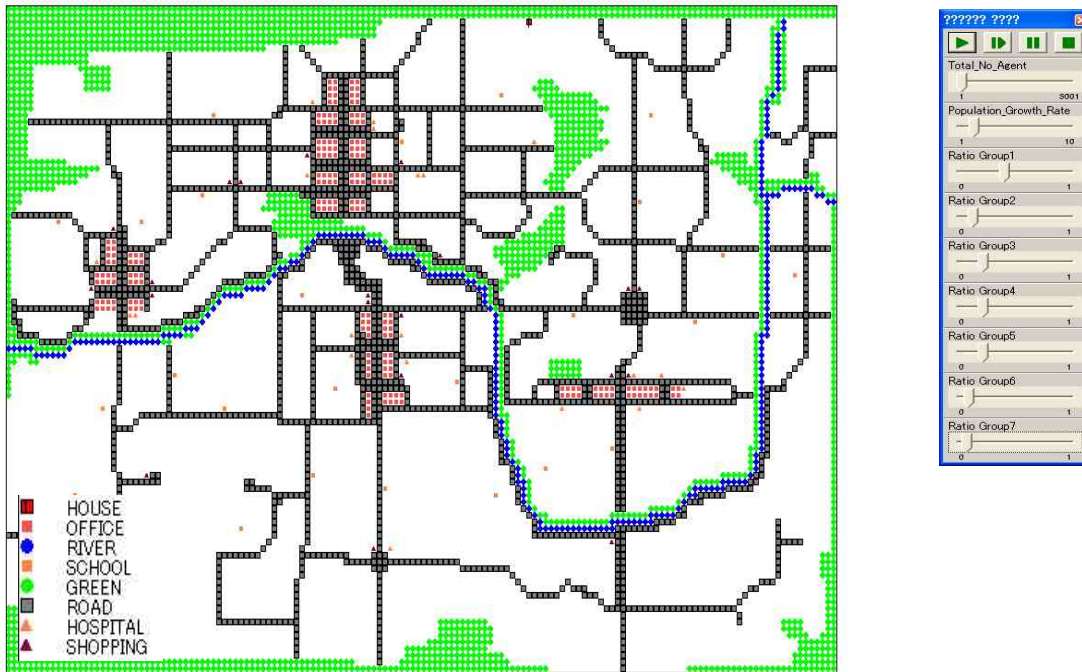


그림 3. 모형구축과 실험을 위한 가상공간의 설정

켜 랜덤하게 초기치를 부여하되 에이전트를 몇 개의 유형으로 분류한 다음, 유형별로 초기값을 부여하기로 하였다.

에이전트 유형의 분류 방법은 다음과 같다. 설문조사에서 유의한 것을 판명된 변수를 인자분석(factor analysis)에 투입하여 분석한 결과 표 5와 같이 4개의 factors를 추출하였다. 인자부하량(factor loading)을 중심으로 각 인자의 의미를 분석해 보면, 1인자는 '주거환경 만족도'를 의미하는 것으로 판단되며, 2인자는 '연륜 및 주거안정성', 3인자는 '이동 편리성', 4인자는 '주택규모와 수준', 5인자는 '소득과 주거의 불안정성', 6인자는 '생활비수준'을 나타내는 것으로 분석되었다.

그리고 4개 인자를 클러스터분석(cluster analysis)에 투입하여 에이전트들의 7개 유형으로 분류하였다. 그 결과 유형1의 에이전트들은 '주거환경을 중시하여 이사회수가 많으며 이동의 편의성을 중시하는 유형'으로 분류되

고, 유형2는 '절대적으로 소득이 적고 주거가 불안정한 유형', 유형3은 '소득과 주거가 불안정하며 출퇴근 교통이 편리한 곳에 선호하는 유형', 유형4는 '소득수준은 비교적 높으나 주거가 불안정한 유형', 5유형은 '이동성의 편리를 추구하는 유형', 6유형은 '소득이 높고 이사회수가 많은 유형', 7유형은 '주택규모도 크고 주변의 주거환경도 만족하여 이사회수가 적은 안정된 유형'으로 분류할 수 있다.

유형별 에이전트의 속성 초기값은 사례지역의 속성별 평균값과 표준편차를 구하여 정규분포에 따르는 난수를 발생시켜 초기치를 부여하였다. 예를 들면 5000명의 에이전트를 7가지 유형으로 분류한 다음, 유형별로 서로 다른 기준에 의해 나이, 자녀수, 수입 등의 초기값을 랜덤하게 부여하게 되는 것이다. 또한 유형별로 주거선택과정, 이사판단 시점에 대한 결정과정, 이사 대상주택의 평가 기준 및 만족도 산정방법 등을 따로 설정하여 다이내믹하고

표 5. 회전된 인자부하량

	factor			
	1	2	3	4
만족도_편의시설	.841	.060	-.005	.112
만족도_의료시설	.830	.000	.077	.013
만족도_교통시설	.795	-.023	.081	-.014
만족도_교육시설	.760	.115	-.090	-.009
만족도_문화여가시설	.750	.018	.183	.027
만족도_주택시설	.699	.009	.213	-.246
최초자가마련경과연도	-.073	.812	.013	-.209
혼인경과연도	.031	.799	.092	.179
연령	-.061	.758	.193	.273
초등자녀수	-.228	-.638	-.042	-.055
구입경과연도	.062	.638	-.004	-.495
학력	-.009	-.439	.299	.120
이동시간_직장	-.076	.010	.823	.011
이동시간_도심지	.212	.093	.749	-.103
이동시간_시장	.308	.053	.660	-.197
매입가격	-.145	-.134	-.064	.816
주택평수	.165	.205	-.153	.620
결혼후이사횟수	.081	.134	.024	-.058
총소득	-.110	-.066	.115	.220
월평균생활비	-.086	.044	-.058	-.116

다양한 주택시장을 반영할 수 있도록 하였다.

$$p_{m,t=2}, \quad q_{m,t=2} = 1 - p_{m,t=2} \quad (7)$$

3. 유형별 에이전트의 이사확률

앞 절의 설문조사 경우와 같이 에이전트가 이사하는 원인은 매우 다양하다. 그러나 이를 모두 반영하여 프로그램하기에는 상당한 추가적 통계 분석이 필요하므로 여기서는 에이전트의 이사확률을 유형별 거주년수의 평균과 표준편차를 가지는 정규분포에 따르는 난수를 발생시켜 각 개체별 이사확률로 사용하도록 하였다. 이러한 논리에 의해 매년 에이전트의 이사확률은 다음 식(6)~(9)와 같이 계산된다

$$p_{m,t=1}, \quad q_{m,t=1} = 1 - p_{m,t=1} \quad (6)$$

$$p'_{m,t=1} = (1 - p_{m,t}) \times p_{m,t+1} \quad (8)$$

$$p'_{m,t=2} = (1 - p_{m,t}) \times (1 - p_{m,t+1}) \times p_{m,t+2} \quad (9)$$

단,

$p_{m,t}$: m 유형의 에이전트가 t 년에 이사할 확률

$q_{m,t}$: m 유형의 에이전트가 t 년에 이사하지 않을 확률

$p'_{m,t}$: m 유형의 에이전트가 t 년에 최초로 이사할 확률

4. 주택시장 멀티에이전트 모형의 적용

이상의 과정을 프로그래밍하여 모형의 작동 과정을 살펴보기로 하였다. 먼저 주택 에이전트 5000개를 생성하여 가상공간에 랜덤하게 배치하였다. 이때 사례지역의 설문조사에서 나타난 유형별 에이전트 비율만큼 1유형 2,500개 (50.0%), 2유형 190개 (3.8%), 3유형 575개 (11.5%), 4유형 192개 (26.1%), 5유형 115개 (2.3%), 6유형 115개 (2.3%), 7유형 155개 (3.1%)를 생성하였다. 그러나 비율은 그림 3의 오른쪽에 있는 슬라이드바를 조정하여 변경이 가능하므로 다양한 실험이 가능하도록 하였다.

모형의 작동과정은 다음과 같다.

- 1단계 : 랜덤하게 배치된 5000개의 에이전트는 랜덤한 순서대로 현재의 위치에서 만족도를 계산한 후, 주변을 탐색하여 현재보다 만족도가 높은 지역으로 이사한다.
- 2단계 : 5000개의 에이전트에 대하여 한 번씩 새로운 위치로 이전할 수 있는 기

회가 부여된다. 이단계가 끝나면 제 1스텝(step)이 종료된다.

- 3단계 : 1단계부터 다시 반복하며 에이전트는 새로운 입지 선택과 이동을 반복하게 된다.
- 4단계 : 그러나 현재보다 만족도가 높은 위치가 발견되지 않으면 이전하지 않는다.

5. 시뮬레이션 : 도시개발과 기반시설 공급에 따른 주거입지 패턴 변화

1) 목적 및 설계

도시개발은 주거입지 패턴에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 택지개발을 인위적으로 시행하고 기반시설을 도로, 상업시설, 공원녹지, 병원 등 편의시설의 순서로 공급하여 각각의 경우에 택지개발지구내의 주거입지 패턴에 미치는 영향을 실험하여 도시개발사업과 주택시장의 관계를 분석에 보고자 한다. 이때 컴퓨터의 처리속도를 감안하여 에이

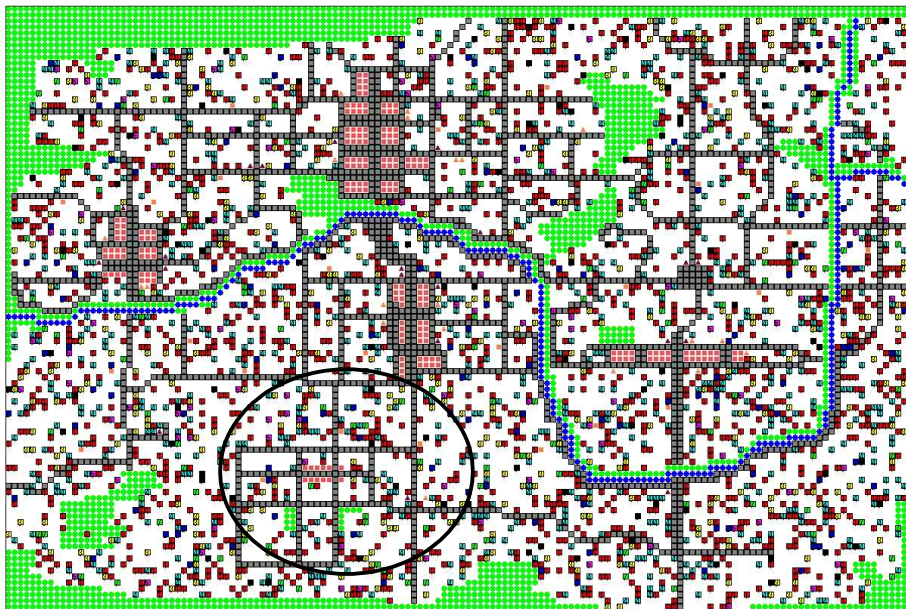


그림 4. 초기상태 (아래쪽에 중간 좌측에 택지개발을 시행하고 화면상에는 도로, 공원녹지, 상업, 편의시설을 갖춘 최종단계의 모습임)

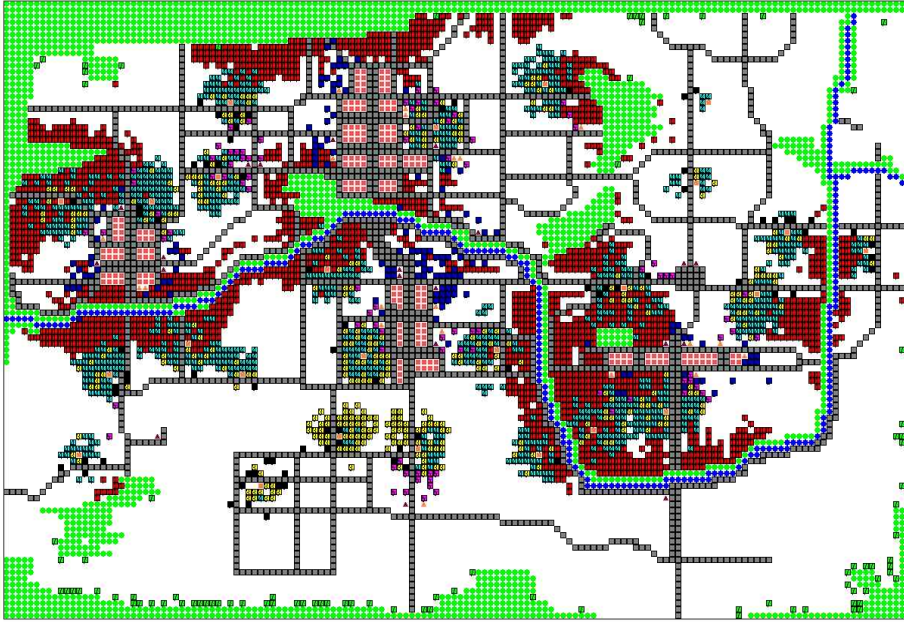


그림 5. 도로만 공급한 경우 (10 Step 경과후)

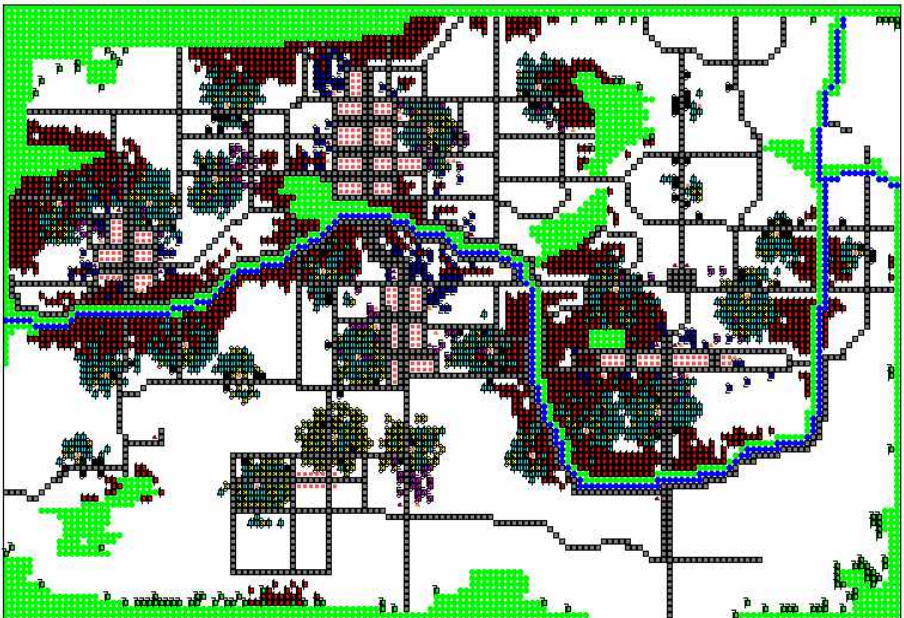


그림 6. 도로+상업을 공급한 경우 (10 Step 경과후)

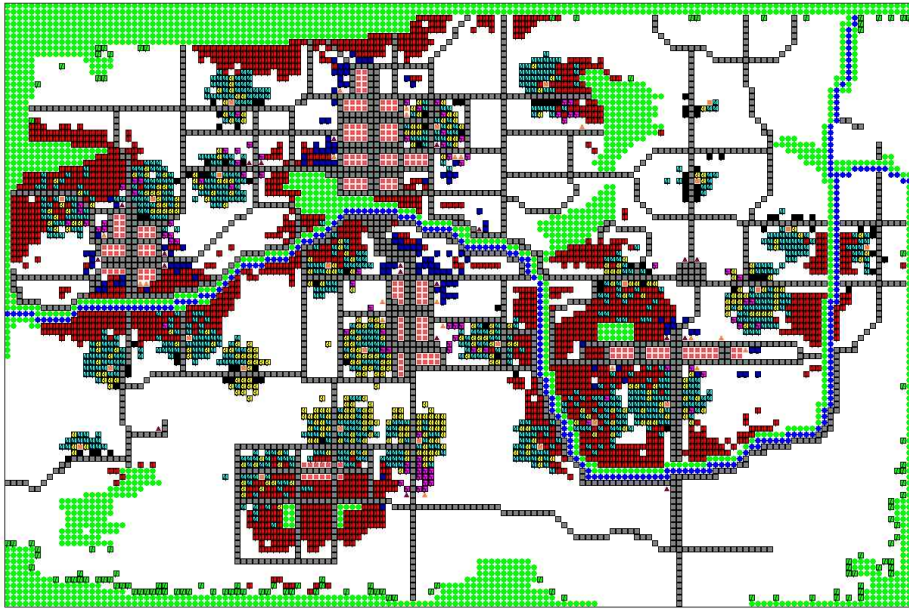


그림 7. 도로+상업+공원녹지를 공급한 경우 (10 Step 경과후)

전트 수를 3000개, 탐색반경은 50셀, 10 스텝까지만 실행시켜 보았다. 한편 도시개발은 가상공간의 남쪽(그림 4의 O부분) 공지에 택지개발을 시행하는 것으로 하였다.

위에서 기반시설을 제외한 주거 에이전트는 앞에서 분류한 7가지 유형이 있으며 그림 4와 같이 색깔별로 1유형(붉은색), 2유형(파란색), 3유형(노란색), 4유형(청록색), 5유형(보라색), 6유형(검정색), 7유형(녹색)으로 구분하였다.

2) 시뮬레이션

(1) 시나리오 1 : 택지개발에서 도로만을 신설하는 경우

가상공간의 남쪽 공지에 택지개발을 시행하되 기존의 학교를 포함하여 도로망만 개설하였을 경우, 주거입지는 그림 5와 같이 큰 변화가 발생하지 않았다. 학교주변으로 3유형의 에이전트들이 입지하고, 6유형도 도로변에 입지하였지만 다른 유형은 거의 주거지로 선택하지 않았다.

(2) 시나리오 2 : 택지개발에서 도로+상업시설을 공급하는 경우

이번에는 도로에 상업시설을 추가로 공급하도록 하고 이때의 주거입지를 분석해 보았다. 상업이 추가됨으로써 주거 입지가 대폭 늘어나게 되었다(그림 6참조). 3유형(노란색)과 4유형(청록색)이 학교 주변으로 집중되었으나 상업주변에는 별다른 변화가 발생하지 않았다. 5유형(보라색)도 조금씩 집중되고 있다. 특이한 것은 도로망이 개설되어 접근성이 향상되고 공원녹지가 풍부한 도로와 남쪽끝의 녹지대 사이에 유형1(빨간색)이 모여들기 시작하였다.

(3) 시나리오 3 : 택지개발에서 도로+상업+공원녹지를 공급하는 경우

도로와 상업시설에 공원녹지를 추가하였다. 이 경우는 그림 7과 같이 1유형의 에이전트가 택지개발지역에 대거 입지하였고, 밀도도 매우 높게 형성되었다.

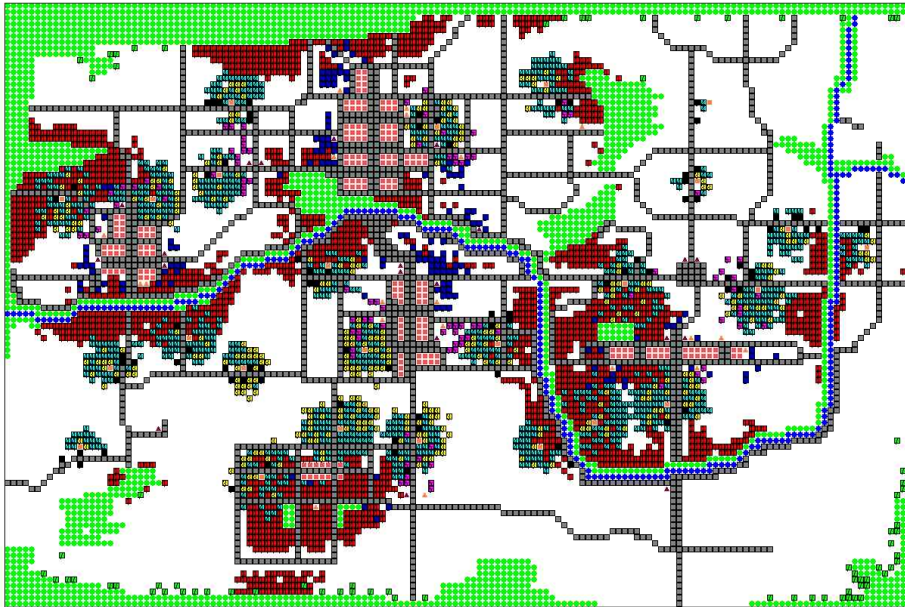


그림 8. 도로+상업+편의시설+공원녹지를 공급하는 경우

(4) 시나리오 4 : 택지개발에서 도로+상업+편의시설+공원녹지를 공급하는 경우

공원녹지와 편의시설등 택지개발을 완료하였을 경우에 학교를 중심으로 3유형과 4유형의 에이전트가 집중되고 공원녹지주변에 1유형이 집중하는 패턴을 보이고 있다 (그림 8참조).

화에 도움이 되지 않으며 난개발을 초래할 가능성이 있음을 설명하고 있다. 아울러 최근 한국의 각 도시에서 관심의 대상이 되고 있는 도시재생에서도 도로정비와 같은 단순한 정책만으로는 효과를 거두기 어렵고, 공원녹지 등의 기반시설이 동반되어야함을 알 수 있다.

3) 시뮬레이션 결과 종합

이상과 같은 시뮬레이션을 통해 모형이 제대로 작동함을 확인하였으며, 도시개발에서 도로만 공급했을 때는 주거입지를 유도하기 어렵고, 사례지역의 경우에 상업과 편의시설의 입지도 그다지 주거입지에 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 공원녹지를 추가로 공급했을 때는 매우 많은 주거가 입지하는 결과가 되어 도시개발에서 기반시설의 정비와 함께 환경적 요소도 동시에 고려해야함을 알 수 있다.

이는 어중간한 도시공간 개발은 지역 활성

결론

이상과 같이 본 연구는 지역의 실정을 고려한 주택시장 멀티에이전트 모형과 주택시장 마이크로 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 시뮬레이션에서는 도시개발 시나리오를 개발하여 시나리오 별로 주거입지와 토지이용변화를 분석하였다. 그 결과 도로와 같은 기반시설에 공원이나 녹지 등의 환경적 요소를 동시에 공급해야만 주거 유입과 토지이용 효율화를 도모할 수 있다는 시사점을 발견할 수 있었다. 이와 같이 본 연구에서 개발한 모형과 시뮬레

이선 시스템은 원활하게 작동하며 다양한 정책실험과 주택시장 분석에 활용할 수 있음을 확인하였다.

본 시스템에 에이전트 수를 추가하고 복잡한 행동 규칙을 프로그램 한다면 보다 현실에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 이를 위해서는 복잡한 주거 의사결정 과정에 대한 추가적인 연구가 필요하고, 과도한 계산 시간이 소요되는 컴퓨터 하드웨어의 한계를 극복해야 한다. 이 때문에 본 연구에서는 다양한 정책실험과 분석을 수행하지 못하였지만, 멀티에이전트 모형이라는 새로운 개념으로 주택시장을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통해 주택정책을 실험하여 정책의 타당성을 사전에 검토할 수 있는 기반을 마련하였다는데 의의가 있다. 또한 기존의 연구 수준을 한 차원 높일 수 있는 계기가 되었고, 에이전트 연구의 선도적 역할을 함으로써 건전한 주택시장을 앞당기는데 기여할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 문태현, 정운영. 2008. 공간지리적 주거특성을 고려한 공동주택 가격결정분석. 한국지리정보학회지 11(1): 68-79.
- Benenson, I. 1998. Multi-Agent simulations of Residential Dynamics in the city, CEUS, 122(1):25-42.
- Arentze, T. and H. Timmerman. 2003. A Multiagent Model of Negotiation Processes Between Multiple Actors in Urban Developments: A Framework For and Results of Numerical Experiments, Environment and Planning B: Planning and Design, 30: 391-410.
- Moon, T., Y. Jeong and K. Jeong. 2008. Determinant factors and probabilities of house type choice, J. of the Korean Planners Association. 43(2): 87-98.
- Torrence, P. 2001. New Tools for Simulating Housing Choices. Fannie Mae: Housing and the New Economy.
- Hattori. 1999. Artificial Society. Kyouritu, Tokyo. **KAGIS**