

# 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계 분석에 관한 연구

A Study on the Strength and Limitation of Agent Based Urban Models

김동한

Kim Donghan

국토연구원 책임연구원

Associate Research Fellow, Korea Research Institute for  
Human Settlements  
(dhkim@krihs.re.kr)

## 목 차

### I. 서론

### II. 도시모형의 발전동향

1. 기반이론 및 방법론의 다양화
2. 공간 및 시간의 세분화

### III. 행위자 기반 모형의 기본 개념

1. 행위자 기반 모형의 이론적 기반
2. 행위자 기반 모형의 방법론적 특성

### IV. 행위자 기반 도시모형의 개발동향 및 사례분석

1. 분석의 틀
2. 이론적(theoretical) 행위자 기반 도시모형
3. 유사 실증적(quasi-empirical) 행위자 기반 도시모형
4. 실증적(empirical) 행위자 기반 도시모형

### V. 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계

1. 행위자 기반 도시모형의 장점
2. 행위자 기반 도시모형의 한계

### VI. 결론 및 시사점

www.kci.go.kr

## I. 서론

1960년대 도시모형(urban model)이 최초 개발된 이래<sup>1)</sup> 다양한 도시모형이 개발되어 왔으며 도시계획 의사결정 지원에 활용되어 왔다. 학술적 이론개발 측면보다는 실용적 정책지원을 주요 목적으로 처음 개발되기 시작한 도시모형은 개별 분과학문에서의 다양한 이론과 방법론을 수용하면서 다양한 형태로 발전되었다.

도시모형은 서로 다른 관점에서 분류와 이해가 가능하나, 도시모형의 주요한 발전동향을 살펴보면 거시적 공간단위(aggregate)에 기반한 정태적(static) 모형에서 미시적 공간단위(disaggregate)에 기반한 동태적(dynamic) 모형의 개발로 그 추세가 전환되고 있다(Batty, 2008, 2009; Lacono et al, 2008). 그리고 이러한 동태적·미시적 도시모형을 구현하기 위한 주요 방법론으로는 셀룰라 오토마타 모형과 행위자 기반 모형 등이 최근 각광을 받고 있다.

셀룰라 오토마타 모형(cellular automata model)은 생물학, 물리학 분야에서 자기복제 현상을 연구하기 위한 방법론으로 1950년대 최초 개발되었으며, 1970년대에 지리학자인 Tobler(1970, 1979)에 의해 공간변화 연구에의 적용가능성이 최초 타진되었고, 1980년대에 이르러 Couclelis(1985)에 의해 도시계획 분야에 최초 소개되었다. 현재 미시적·동태적 도시모형 구현을 위한 대표적 방법론이며, 다수의 범용 모형(generic model)이 개발되어 다양한 지역의 토지 이용변화 연구에 활용이 가능하다.

행위자 기반 모형(agent based model)은 셀룰라 오토마타 모형에 비해 방법론적 기원이 명확하지 않

으나, 시스템을 구성하는 개별 인자의 변화를 통해 대상 시스템의 변화를 파악한다는 측면에서 셀룰라 오토마타 모형의 특성을 일부분 공유하면서 발전하기 시작하였다. 사회과학 분야에는 노벨경제학 수상자인 Schelling(1971)이 인종 간 주거분리(segregation) 현상을 행위자 기반 모형의 개념을 이용하여 설명한 이후 그 가치가 주목되기 시작했다. 이후 행위자 기반 모형은 정부, 토지개발자, 가구주 등과 같이 도시를 구성하는 행위주체의 의사결정행위를 통해 도시공간의 변화를 설명할 수 있는 새로운 방법론으로 인식되고 있으며, 서구 선진국을 중심으로 다양한 행위자 기반 도시모형이 개발되고 있다. 그러나 도시모형 분야에 가장 최근에 도입된 방법론으로 실용적 정책지원 도구로서의 개발과 활용은 상대적으로 많지 않다.

셀룰라 오토마타 도시모형은 주로 도시의 물리적 속성을 모형의 주요 변수로 고려하는 데 반해, 행위자 기반 도시모형은 셀룰라 오토마타 모형의 동태적이고 미시적인 장점을 수용하면서도 도시를 구성하는 여러 사회경제적 행위주체의 의사결정 행위와 이에 따른 도시변화를 고려할 수 있다는 장점이 있다.

이에 다양한 관점에서 행위자 기반 도시모형이 개발되고 있는 바, 이러한 모형들의 특성과 한계를 파악할 수 있는 분석적 틀이 필요하다. 따라서 본 연구는 행위자 기반 도시모형의 특성을 파악할 수 있는 논리적 틀을 정립하고, 이를 통해 도시공간의 변화를 연구하는 새로운 방법론으로서의 행위자 기반 도시모형의 개발동향 및 주요 사례를 분석, 시사점을 도출하고자 한다.

이러한 목적하에 제2장에서는 도시모형의 전반적인 발전동향을 살펴보고 도시모형 분야에 있어 행

1) 1950년대 중반부터 수행된 디트로이트 대도시권 교통 연구(Detroit Metropolitan Area Transportation Study)와 시카고 지역 교통 연구(Chicago Area Transportation Study)는 과학적 분석에 기반하여 교통수요를 추정하고 이를 도시교통계획에 반영하고자 하였던 최초의 시도라고 할 수 있음. 이에 영향을 받아 1960년대에 라우리(Lowry)는 인구, 고용, 교통, 토지이용 등과의 상호관계에 입각한 도시모형을 정립함으로써 다양한 형태의 도시모형이 개발되는 보다 직접적인 단초를 마련하였음.

위자 기반 모형의 위상을 살펴본다. 그리고 제3장에서는 행위자 기반 모형의 이론적 배경 및 방법론적 특성을 검토한다. 이후 제4장에서는 행위자 기반 도시모형의 개발 동향과 개별 모형 구축 사례를 분석하고, 제5장에서는 이와 같은 행위자 기반 도시모형의 장점과 한계점을 제시한다. 마지막으로 제6장의 결론부에서는 도시모형 관련 연구에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

## II. 도시모형의 발전동향

### 1. 기반이론 및 방법론의 다양화

도시모형이라 함은 용어상으로는 도시에 관한 모형을 의미하는 것으로 원론적으로는 도시의 다양한 측면이 도시모형의 대상 분야가 될 수 있다. 그러나 실제로는 도시의 토지이용 변화를 중점적인 연구대상으로 하여 관련 모형이 개발되고 발전되어 왔으며 따라서 토지이용변화모형(land use change model) 등으로 불리기도 하며, 토지이용과 교통의 상호관계에 중점을 둔 도시모형의 경우 토지이용교통모형(land use transportation model) 등으로 일컬어지기도 한다.

지난 반세기 동안 다양한 도시모형들이 개발되고 도시계획 분야에 활용되었는데, 도시 분야에서 내재적으로 발전된 독창적 이론 및 방법론보다는 물리학, 경제학 등 타 분과학문에서 전래된 이론과 방법론을 수용하면서 발전되었다. 따라서 도시모형은 개별 사례에 따라 기반 이론 및 방법론 등이 상이하게 나타나며, 다양한 관점에서 분류가 가능하다.

그러나 도시모형 발전사에서 가장 중요한 역할을 한 방법론을 유형화하여 살펴보면 크게 공간상호작용모형(spatial interaction models), 계량경제 모형(econometric models), 셀기반 모형(cell based models), 행위자 기반 모형(agent based models) 등과

같은 유형으로 구분할 수 있다(Lacono et al, 2008). 물론 이와 같은 구분이 기 개발된 모든 도시모형을 다 대표할 수는 없다. 그러나 도시모형을 구현하는 주요 관점과 방법론이 어떻게 변화하여 왔는지를 보여 주며, 도시모형의 주요한 발전 동향을 압축하여 제시한다. 이에 대한 개략적 설명은 다음과 같다.

공간상호작용 모형은 물리학의 중력이론에 착안하여 1940년대에 지리학 분야에서 먼저 발전된 중력모형(gravity model)에 그 기반을 두고 있다. 그러나 Wilson(1967, 1970, 1974)이 엔트로피 극대화(entropy maximisation) 방법을 도입하는 등 기존 중력모형의 도시적 적용을 개선하고 동시에 ‘중력’이라는 용어 대신 ‘공간상호작용’이라는 용어를 사용하면서 도시모형의 대표적인 한 분야로 집대성하였다. 모형의 기본적인 작동원리는 중력이론에서 설명하는 바와 같이 특정 지역 간의 상호작용 즉 인구이동 및 교통통행 등은 해당 지역의 인구 규모와 지역 간의 거리에 영향을 받는다는 것을 기본 개념으로 하고 있다. 이를 기반으로 대상지역을 출발지(origin) 및 목적지(destination)로 대별되는 다수의 구역(zone)으로 구분하고, 이들 구역 간의 상호작용과 이러한 상호작용의 변화에 따른 토지이용 등의 변화를 탐구한다. 도로 등 교통네트워크가 이때 이러한 상호작용을 변화시키는 데 기여하게 되는 것으로 가정하며, 이러한 메커니즘을 기반으로 토지이용과 교통흐름 간의 상호관계를 구체적으로 고려하게 된다.

계량경제 모형은 도시공간의 변화를 경제학적 관점을 통해 파악하고 있는데 지역경제(regional economics) 이론에 기반한 모형과 미시경제(micro economics) 이론에 기반을 둔 모형 등으로 다시 구분할 수 있다. 전자는 공간상호작용 모형과 유사하게 구역(zone) 간의 상호작용 및 상태변화에 주요 초점을 두나, 투입산출 모형(input-output model) 등을 기반으로 하여 대상지역 내의 상품(goods) 및

서비스(service)의 교환 흐름을 분석하고 이를 토지 수요 등으로 전환하여 추정하고 대상지의 공간변화를 파악하는 방법을 취한다. 반면 후자는 가구주 및 개발자 등과 같은 시장(market)을 구성하는 행위주체의 경제적 의사결정에 따라 도시공간의 구조변화를 파악하는 방법을 취한다. 이때 행위주체의 의사결정을 실증적으로 설명하기 위해 확률효용이론(random utility theory) 등을 활용하기도 한다. 그리고 이러한 미시경제학적 접근의 현실성을 보다 높이기 위한 방법으로 마이크로 시뮬레이션(micro simulation)의 형태로 발전되기도 하였다.

셀 기반 모형은 격자 형태의 셀을 기본적인 공간 단위로 하여 공간의 변화를 연구하는 도시모형을 통칭한다. 과거 자료에 대한 시계열적 통계분석과 이를 통해 도출된 전이 확률에 기반한 마코브 체인(Markov chain) 형태의 모형과, 특정한 전이 규칙에 기반하여 셀의 자율적 변화에 보다 초점을 두는 셀룰라 오토마타 모형 등이 있는데, 전자보다는 후자가 주를 이루고 있다. 셀룰라 오토마타 모형은 전술한 바와 같이 대상 지역을 다수의 격자 셀 형태로 구분한 뒤 각 셀과 주변 셀의 관계를 정의하고 이를 기반으로 해당 셀의 미래 변화 여부 및 변화 형태를 설명하는 방법이다. 이때 셀의 변화는 각 모형의 고유한 전이 규칙(transition rule)에 의해 결정되는데 기존에 정립된 사회경제 이론에 근거하기보다는 행태적 현실성(behavioural realism)을 극대화할 수 있는 임의적(ad-hoc)인 전이 규칙<sup>2)</sup>들이 개발되어 주로 활용된다.

행위자 기반 모형은 도시 공간에 영향을 미치는 행위자를 구체화하고 이의 의사결정 행위를 구체적으로 모델링하여 도시 공간의 변화를 설명한다. 그러나 행위자 기반 모형은 행위자를 기반으로 하여 도시

를 모델링할 수 있는 프레임워크의 성격을 지니는 것이며, 도시를 구성하는 행위자의 구체적 유형과 행위자의 의사결정행위를 구체적으로 설명하는 이론 및 방법론을 제시하는 것은 아니다. 오히려 이는 각 개별 행위자 기반 모형의 고유한 접근 방법에 따라 다르게 정의되는 부분이다. 행위자 기반 모형의 일반적인 특성과 모형별 구체적 속성 등은 제3장과 제4장에서 자세히 다루므로 여기서는 구체적인 설명을 생략한다.

## 2. 공간 및 시간의 세분화

앞에서 살펴본 바와 같이 도시모형은 도시를 이해하고 분석하기 위한 다양한 이론과 방법론을 수용하면서 발전해 왔다. 그러나 한편으로는 대용량 데이터 처리를 위한 컴퓨터의 연산능력 및 정보기술의 발전, 사회경제 및 도시계획의 가치변화 등 다양한 환경적·거시적 여건 등에도 영향을 받으면서 발전해 왔다.

이러한 영향이 집약적으로 표출된 대표적인 단면이 공간과 시간을 표현하는 방식이라고 할 수 있는데, 이에 따른 도시모형의 유형 구분 또한 도시모형의 발전 동향을 이해하는 데 중요한 열쇠를 제공한다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 도시모형을 구분해 보면 도시모형은 공간적 표현 측면에서는 집합적 모형(aggregate model)에서 비집합적 모형(disaggregate model)으로, 시간적 표현 측면에서는 정태적 모형(static model)에서 동태적 모형(dynamic model)으로 발전해 왔다고 할 수 있다(Batty, 2012).

집합적 모형이란 모형에서 구성요소로 고려하고 있는 인구, 고용 등과 같은 변인들과 이들의 상호작용으로 나타나는 공간적 변화의 결과를 구역(zone) 또는 지역(region) 등과 같이 비교적 대규모 공간단

2) 예를 들어, 비도시 상태의 셀 주변에 도시 상태의 셀이 있거나 일정 거리 내에 도로 네트워크 등이 존재하면 해당 비도시 셀은 도시화 셀로 변한다는 등의 전이 규칙이 있을 수 있음. 유사한 형태의 여러가지 전이 규칙이 적용될 수 있는데, 주로 현실 공간의 실제 도시화 과정을 모방(mimicry)한 전이 규칙들이 개발되어 사용됨.

위(coarse spatial resolution)에서 취합하여 총량적 차원에서 파악하는 방식의 모형을 의미한다. 반면에 비집합적 모형은 모형에 포함되는 변인들을 보다 작은 수준의 개별 인자 등으로 분해해서 고려하게 되며 이를 셀(cell), 필지(parcel) 등과 같은 비교적 작은 공간단위(fine spatial resolution)로 표현한다. 따라서 전자에서 단위 공간은 공간적 동질성(homogeneity)을 갖는 일정 넓이의 지역으로 가정되나, 후자에서 단위 공간은 공간적 이질성(heterogeneity)을 파악할 수 있게 하는 기초 단위가 된다.

한편 정태적 모형이란 변인들의 관계 및 시스템의 속성 변화를 파악함에 있어 시간적인 요소를 고려하지 않는 모형을 의미한다. 반면, 동태적 모형이란 시간의 흐름에 따른 대상 시스템의 변화를 다루는 모형을 의미한다. 전자는 그 속성상 대상 시스템의 구조(structure)에 보다 더 관심을 두게 되며, 후자는 시스템의 행태(behaviour)에 보다 더 큰 관심을 두게 된다.

1980년대 중반까지 도시모형의 주류를 이루고 있던 공간상호작용 모형, 계량경제 모형 등과 같은 모형은 집합적·정태적 모형의 속성을 지니고 있었다. 이러한 도시모형은 그 방법론적 특성상 균형상태(equilibrium)에 도달한 도시 시스템의 상태 특성을 이해하고 이를 통해 관심이 되는 도시 문제에 대한 최적해(optimum solution)를 도출하고자 하는 경향이 강하였다. 반면 1980년대 중반 이후부터 본격적으로 개발되고 있는 셀 기반 및 행위자 기반 모형 등과 같은 모형은 비집합적·동태적 모형의 속성을 가지고 있다. 이와 같은 도시모형은 도시를 연속적인 불균형상태(disequilibrium)로 이해하면서 시간의 흐름에 따른 시스템의 행태 변화(behavioural change)를 이해하는 데 중점을 둔다.

한편 이러한 공간 및 시간에 대한 표현방식의 변화는 도시모형의 성격 및 용도에 있어 보다 근원적인 패러다임 변화를 반영한 것이기도 하다. 예를 들어 공

간상호작용 모형, 계량경제 모형 등은 공공부문에서 도시개발을 보다 능동적으로 수행하던 시기에 출현한 것으로, 토지이용과 교통의 관계성에 중점을 두고 적절한 도시개발 및 교통인프라 공급용량을 산정하는 데 주로 활용되었다.

반면 셀 기반 모형 및 행위자 기반 모형 등은 비계획적인 개별 개발행위의 영향을 파악하는 것이 중요하게 대두되면서 출현한 것으로, 교통통행량 등 교통부문의 구체적 인자를 주요 설명변수로 하지 않으며, 서비스 접근성, 자연 환경성 등 다양한 형태의 선호인자를 설명변수로 하여 도시확산 및 난개발 등을 도시 형태론(urban morphology) 관점에서 다루고 있다.

이와 같은 여러 유형의 도시모형 방법론은 도시와 도시공간의 변화를 서로 다른 관점에서 다루고 있으며 각각의 장단점이 있어, 특정 방법론의 절대적 우위를 논할 수는 없으며 모형의 구축 및 활용 목적 등에 따른 상대적 적합성만을 논할 수 있을 것이다. 그러나 이 연구에서 살펴보고자 하는 행위자 기반 모형 등과 같이 새롭게 대두되고 있는 방법론은 도시를 이해할 수 있는 새로운 틀을 제공함으로써 기존의 시각으로는 볼 수 없었던 도시현상을 조명하게 해준다는 장점이 있다. 제3장부터는 이 연구의 주제인 행위자 기반 모형을 보다 구체적으로 살펴보도록 한다.

### III. 행위자 기반 모형의 기본 개념

#### 1. 행위자 기반 모형의 이론적 기반

행위자 기반 모형은 단일 분과학문 또는 이론체계에 서 출발한 것은 아니며, 상이한 분야에서 개별적인 연구들이 축적되며 그 틀을 갖추어가고 있다고 할 수 있는데, 크게 세 가지 관점에서 이론적 근원을 찾을 수 있다.

첫째, 수학적·계산적 관점에서 행위자 기반 모



형에 대한 기원은 1940년대 후반 동적으로 변화할 수 있는 개별적 연산 인자인 셀룰라 오토마타에 대한 이론적 기반을 제시한 폰 노이만(von Neumann)까지 거슬러 올라갈 수 있다. 행위자 기반 모형에서 행위자는 독자적인 정보를 보유하고 필요한 연산을 처리할 수 있는 기초 단위가 되는데 이러한 측면에서는 전술한 바와 같이 셀룰라 오토마타 모형과 그 이론적 기반을 공유한다고 할 수 있다.

둘째, 그러나 독자적인 의미를 지닌 행위자 기반 모형의 출현은 1970년대 이후에 본격적으로 나타나게 된다. 이러한 개별 행위자 기반 모형의 출현은 개별 행위자를 기반으로 하여 대상 시스템의 특성을 모델링하는 새로운 개념적 틀을 제시함으로써 행위자 기반 모형의 가치를 알리게 되는 계기를 마련하게 된다.

사회과학 분야에서 대표적인 사례로는 경제학자 Schelling이 제시한 주거분리 모형이 있는데, 각 개인이 단순히 자신과 유사한 이웃과 근접해 거주하고자 하는 행위가 집합적으로 발현하면 사회적 차원의 인종 간 주거분리 현상으로 발전할 수 있음을 이 모형을 통해 제시하였다(Schelling, 1971). 자연과학 분야에서의 대표적인 사례로는 고도화된 지능이 없는 철새 등 개별 동물이 집단지성을 이루면서 무리지어 이동하는 원리와 현상을 행위자 기반 모형을 이용하여 구현하기도 하였다(Reynolds, 1987).

셋째, 1990년대 이후부터는 행위자 기반 모형의 특성이 종합화되고 보다 일반적인 방법론 관점에서 체계화되기 시작하였다.

Holland(1995)와 Holland and Miller(1991)는 상호작용하면서 변화하는 개별 행위자를 기본 구성요소로 하는 복잡적응계(complex adaptive system)의 개념을 정립하였고, 이러한 성격의 시스템을 구현하고 연구하는 핵심 수단으로서 행위자 기반 모형의 개념을 체계화하였다.

Axelrod(1997)는 행위자 기반 모형은 전통적

인 사회과학 방법론인 귀납법(induction), 연역법(deduction)과는 차별되는 방법론적 특성을 가지고 있는 사회과학의 제3의 방법론(third way of doing science)이라고 주장하였다. Axelrod에 의하면 행위자 기반 모형은 연역법과 같이 이론적 가설을 기반으로 출발하나 명제(theorem)를 도출하는 것이 아니라 귀납적으로 분석 가능한 데이터들을 생성한다는 점에서 연역법과 차별성을 지닌다. 반면 귀납법과 같이 현실 세계를 직접적으로 측정된 데이터에 기반한 것이 아니라 시뮬레이션을 통해 생성된 데이터를 통해 추론을 수행한다는 점에서 귀납법과는 차별된다는 것이다. 반면, 생성된 데이터의 분석을 통해 발견되지 않은 패턴을 찾아낸다는 점에서는 귀납법과 유사하고, 가설에 대한 결과를 찾아낸다는 점에서는 연역법과 유사하다고 주장하였다.

Epstein(2007) 또한 Axelrod와 유사한 관점에서 기존의 사회과학방법론과 차별화되는 행위자 기반 모형의 특성을 제시하면서 행위자 기반 모형은 창조적 사회과학(generative social science)이라는 새로운 학문 영역이라고 주장하였다.

요약하면, 행위자 기반 모형은 당초 각 개별 분과 학문에서 실험적이고 혁신적인 방법론으로 출현하였으나 행위자 기반 모형을 적용한 개별 연구가 증가하고 그 가치가 주목받게 됨에 따라 행위자 기반 모형에 대한 일반 이론이 정립되는 한편 행위자 기반 모형의 방법론적 특성이 과학철학적 관점에서도 검토되는 등의 진전이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

## 2. 행위자 기반 모형의 방법론적 특성

행위자 기반 모형은 상호작용하는 개별 행위자 그리고 행위자와 상호작용하는 환경을 기본적인 구성요소로 하여 대상 시스템을 구체화하고, 행위자 및 환경 변수와의 상호작용에 따른 시스템의 변화를 동태적

으로 시뮬레이션 하는 모형이다. 행위자 기반 모형의 구성요소를 보다 자세히 살펴보면 다음과 같은 다섯 가지 구성요소로 설명할 수 있다.

① 행위자(agent): 행위자 기반 모형의 핵심적인 요소다. 행위자의 의사결정행태는 대상 모형에 따라 달라지지만, 다음과 같은 공통적 속성을 갖는다.

② 환경(environment): 행위자가 활동하는 공간이며, 개념적 또는 실체적 공간 두 가지 유형으로 구분해 볼 수 있다. 전자는 각 행위자가 타 행위자의 존재 및 위치를 파악하기 위한 참조 정보만 제공하며 그 자체는 구체적 속성을 갖지 않기 때문에 행위자의 의사결정에 영향을 받거나 또는 행위자의 의사결정에 영향을 미치지 않는다. 따라서 시간의 흐름과 관계없이 고정되어 있다. 후자의 경우 공간은 이를 구성하는 기초 단위별로 고유한 속성을 가질 수 있으며, 행위자의 의사결정에 영향을 미치거나 행위자의 의사결정의 결과로 그 상태가 변화할 수 있다. 행위자 기반 모형에서 환경은 행위자의 의사결정 행위에 영향을 미치는 것은 하나 그 자체로 능동적인 변화를 수반하지는 않으며, 행위자의 의사결정 행위의 컨텍스트를 제공하거나, 행위자의 의사결정 행위의 결과로 변화는 다소 수동적인 속성을 지니고 있다.

③ 행위자 및 공간 속성(attribute/state): 행위자는 고유한 특성을 가지고 있으며, 이를 반영하여 단수 또는 다수의 속성값을 가질 수 있다. 환경 역시 고유한 상태값을 가질 수 있다.

④ 네이버후드(neighbourhood): 행위자는 일정한 물리적 범위 내에서 자신 주변의 행위자 속성 또는 공간환경의 상태를 탐색한다. 탐색범위의 형태는 사각형 및 원형 등 다양하게 정의될 수 있으며, 크기 또한 다양하게 정의될 수 있다. 행위자가 의사결정시 고려하는 공간적 범위를 정의하는 요소다.

⑤ 의사결정규칙 및 전이규칙(decision making rule/transition rule): 각 행위자 기반 모형의 고유한 행태

특성을 규정하는 요소다. 이를 통해 각 행위자가 타 행위자 또는 환경 변수와 상호작용하고 변화하는 규칙을 정의한다. 이 또한 각 행위자 모형에 따라 다양하게 나타날 수 있다.

이상과 같은 특징을 가지는 행위자 기반 모형은 도시를 연구하는 새로운 틀을 제공한다. 특히 기존의 도시모형 방법론에서는 구체화가 불가능하였던 시스템의 개별 구성 인자들의 행위를 조망함으로써, 상향식(bottom-up) 관점에서 도시현상을 설명할 수 있게 한다. 나아가 공간정책 같은 하향식(top-down) 요소도 고려함으로써, 양자 간 힘의 접점을 모델링할 수 있게 한다. 다음 절에서는 이와 같은 행위자 기반 모형 접근방법을 이용한 도시모형의 사례와 주요 동향을 분석한다.

#### IV. 행위자 기반 도시모형의 개발동향 및 사례분석

##### 1. 분석의 틀

행위자 기반 모형은 행위자 간의 상호관계에 따른 시스템의 변화에만 중점을 두는 비공간 행위자 기반 모형과, 행위자 간의 상호작용뿐만 아니라 행위자와 공간의 상호관계에도 중점을 두는 공간 행위자 기반 모형으로 구분할 수 있다.

전자의 경우 Schelling의 주거분리 모형에서 제시한 바와 같이 도시 사회적 현상을 탐구하는 수단으로 활용될 수 있으나 전통적인 도시모형의 관심 분야인 공간적 변화를 연구하는 수단으로는 한계가 있다. 후자의 경우는 행위자가 공간적 특성에 반응하여 의사결정을 수행하거나 행위자의 의사결정 결과로 공간적 특성이 변화하는 것을 모델링할 수 있어 도시모형으로의 가치가 높은 후자의 접근법을 중심으로 행위자 기반 도시모형의 개발 및 활용이 주로 시

도되고 있다.

그러나 이와 같은 행위자 기반 모형이 도시연구 분야에 활용된 기간이 길지 않아, 이에 관한 동향을 연구한 사례는 많지 않으나 몇몇 선행연구들은 행위자 기반 도시모형의 목적 및 적용분야 등에 기준하여 다음과 같이 행위자 기반 도시모형을 구분하고 있다.

Couclelis(2002)는 행위자 기반 도시모형을 구성하는 행위자와 공간환경이 논리적 가정 등에 기반하여 창출된(designed) 것인지 실증적 자료 등에 근거하여 분석된(analysed) 것인지에 따라 속성을 구분하고 이의 조합에 따라 ① 창출된 행위자 및 창출된 환경, ② 창출된 행위자 및 분석된 환경, ③ 분석된 행위자 및 창출된 환경, ④ 분석된 행위자 및 분석된 환경 등의 네 가지 유형으로 구분하고 각각에 대한 개략적 특성을 제시하였다. 이 연구는 행위자 기반 도시모형을 유형화할 수 있는 개념적 틀을 제시하였으나, 각 유형에 해당되는 모형에 대한 조사 등은 포함되지 않은 추상적 수준의 연구라고 할 수 있다.

Parker et al.(2003)은 행위자 기반 도시모형을 적용분야에 따라 ① 자연 자원 관리, ② 농업 경제, ③ 고고학, ④ 도시 시뮬레이션 등과 같은 유형으로 구분하고, 각 유형에 해당하는 행위자 기반 모형의 개략적 특성 및 사례 적용 지역 등을 살펴보았다. 이 연구는 이를 통해 행위자 기반 도시모형이 다양한 공간문제의 탐색과 해결에 활용될 수 있음을 제시하였다.

Matthews et al.(2007)은 행위자 기반 도시모형을 적용목적에 따라 ① 정책분석 및 계획, ② 참여형 모

형, ③ 공간 및 토지 이용의 패턴 설명, ④ 토지 이용의 기능 설명 등으로 구분하고 관련된 모형 등을 간략히 소개하였다. 이 연구는 이러한 사례 분석을 기반으로, 현 시점에서 행위자 기반 도시모형은 대규모 정책지원 수단으로서의 가치보다는 새로운 도시적 현상을 탐구하는 연구 수단으로서의 가치가 더 높다고 주장하였다.

상기와 같은 선행연구들은 주로 행위자 기반 도시모형의 활용 분야 등에 중점을 두고 개별 사례들을 소개하고 있다. 따라서 도시연구를 위한 새로운 방법론으로서의 행위자 기반 모형의 특성과 이를 개발하기 위한 접근방법 등은 구체적으로 다루지 못하고 있다.

본 연구에서는 선행연구의 이와 같은 한계를 고려하여, 두 가지 관점을 교차하여 행위자 기반 도시모형의 유형을 구분하고 개별 모형 개발 사례와 특징을 분석하고자 한다.

먼저, 행위자 기반 도시모형의 존재론적 측면에서 실증성 정도를 기준으로 하여 ① 이론적 행위자 기반 도시모형, ② 유사 실증적 행위자 기반 도시모형, ③ 실증적 행위자 기반 도시모형 등과 같은 세 가지 유형으로 구분하고자 한다.

이론적 행위자 기반 도시모형이란 행위자의 속성 및 의사결정 행위 그리고 행위자가 활동하는 공간환경이 모두 실증적 분석이 아닌 이론적 가설에 기반한 모형을 의미한다. 그리고 유사 실증적 행위자 기반 도시모형은 행위자 또는 공간환경 중 일부만 실증적 자료 및 분석에 기반한 모형을 의미한다. 마지막으로 실

표 1 \_ 행위자 기반 도시모형 유형구분 및 내용

| 구분      | 항목                                                       | 세부특성                                                                                      |
|---------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 존재론적 측면 | 이론적 행위자 기반 도시모형<br>유사 실증적 행위자 기반 도시모형<br>실증적 행위자 기반 도시모형 | 행위자와 공간의 속성이 논리적 가정에 기반<br>행위자 또는 공간 속성의 일부분이 실증적 분석에 기반<br>행위자와 공간의 속성 모두 실증적 분석에 기반     |
| 방법론적 측면 | 임의적 의사결정규칙<br>수학적 함수<br>기존 모형 및 이론<br>조사 및 데이터 분석        | 모형의 행태를 직관적인 의사결정규칙에 기반하여 정의<br>수학적 함수 형태로 정의<br>기 정립된 이론 또는 모형을 활용 및 확장<br>데이터 분석을 통해 정의 |



증적 행위자 기반 도시모형은 행위자와 공간환경이 모두 실증적 자료 및 분석에 기반한 모형을 의미한다.

다음으로는, 행위자 기반 도시모형의 방법론적 측면에서 모형에 적용된 의사결정규칙의 특성에 따라 구분하여 ① 임의적 의사결정규칙, ② 수학적 함수, ③ 기존 모형 및 이론, ④ 조사 및 데이터 분석 등과 같은 네 가지 유형으로 구분하고자 한다.

임의적 의사결정규칙이란 모형의 행태를 기존 이론과 방법론 등에 기반하지 않고 ‘if-then-else’ 조건문 등과 같은 직관적인(ad-hoc) 행위규칙 형태로 정의하는 것을 의미한다. 수학적 함수란 모형의 행태를 단수 또는 복수의 수식을 통해 정의하는 것을 의미하며, 기존 모형 및 이론은 기 정립된 사회경제적 이론 등을 행위자 기반 도시모형의 틀 안에 도입하는 것을 의미한다. 마지막으로 조사 및 데이터 분석은 모형의 행태 정의를 위해 기존 분석 자료를 활용하거나 직접 자료 분석을 수행하는 것을 의미한다.

이 연구에서는 위와 같은 유형 구분에 기반하여 행위자 기반 도시모형의 개발과 활용에 유의미한 시사점을 주는 대표적인 사례를 선택하여 특성을 분석하고 이를 종합하여 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계점 등을 제시하고자 한다. 이러한 관점에서 선정 한 행위자 기반 도시모형은 <그림 1>과 같으며, 각 모

형에 대한 특징은 다음 절에서 제시한다.

논의 전개의 편의상 각 절은 모형의 존재론적 측면을 기준으로 구성하였으며, 이에 해당되는 개별 모형과 각 모형이 채택한 방법론적 특징을 제시함으로써 다양한 유형과 형태의 행위자 기반 도시모형을 조 명하도록 한다.

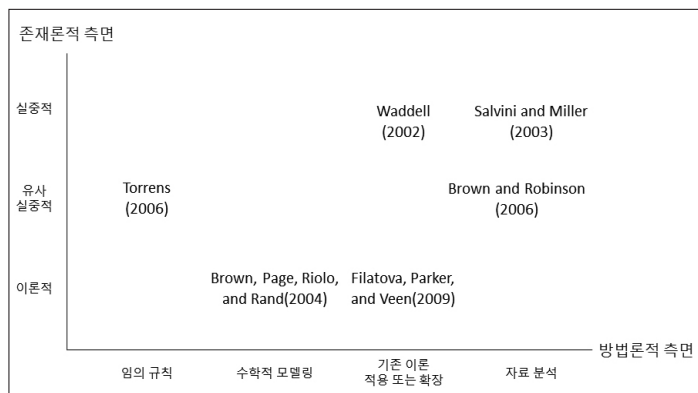
## 2. 이론적(theoretical) 행위자 기반 도시모형

이론적 행위자 기반 도시모형이란 행위자의 속성 및 의사결정 행위 그리고 행위자가 활동하는 공간환경 이 모두 논리적 가설에 기반하고 있다. 실증 자료에 기반하지 않으므로 실제 사례지역에 대한 예측 용도 로 활용되기는 어려우나, 새로운 도시적 현상을 탐색 하고 발견하는 수단으로 활용될 수 있다. 적용된 방법 론에 따라 모형의 특성이 달라지나 대표적인 사례로 는 다음과 같은 모형이 있다.

Brown et al.(2004)는 그린벨트의 효과성을 시물 레이션하기 위한 모형을 구축하였다. 이 모형은 가 구주를 기본적인 행위자로 설정하고, 그린벨트의 위 치 및 형태 등이 가구주의 주거입지 선택에 미치는 영향과 이로 인해 나타나는 공간구조의 형태를 파악 하고자 하였다. 한편 개별 행위자인 가구주의 입지

선택 기준을 정의하기 위해서는 미 시경제학적 효용 함수 형태의 수학적 함수를 정의한 후 이를 행위자의 의사결정 기제로 모형에 적용하여 다양한 조건하에서 가구주의 주거입지 선호를 가정할 수 있도록 하였다. 그리고 외생 조건으로 그린벨트의 형태 및 위치, 도시기반 시설의 위치 등을 이론상의 2차원 공간에서 다양하게 가정한 후 시물레이션을 수행하였다. 이 연구는 시물레

그림 1 \_ 분석대상 행위자 기반 도시모형 사례



이선을 통해 그린벨트의 폭이나 위치 등에 따라 도시적 주거입지의 외연적 확산과 난개발을 억제하는 효과가 있음을 증명하였으나, 한편으로 이러한 효과는 대상지의 환경적 요건, 도시기반 시설 등의 위치 등에 의해서도 크게 영향을 받는다는 것을 제시하였다.

Filatova et al.(2009)은 부동산 거래를 통한 토지 가격의 형성과 이의 공간적 분포를 파악하기 위한 시뮬레이션 모형을 구현하였다. 이 모형은 토지의 판매자와 구매자를 기본적인 행위자로 하여 이들 간의 토지거래에 따라 나타나게 되는 토지가격의 형성을 시뮬레이션 하는 한편, 토지 구매자의 입지선호 및 판매자와의 상호작용에 따라 상아하게 나타나는 토지 가격 분포와 공간구조의 형성을 파악하고자 하였다. 이 연구에서는 모형의 행태를 정의하기 위해서 전통적인 도시경제학의 지대이론(Alonso, 1964)을 기본적인 틀로 채택하여 해당 이론체계에서 가정하는 바와 같이 도시 내에 단일의 중심업무지구(CBD)가 존재하고 중심지로부터 거리가 증가함에 따라 교통비는 증가하고 따라서 토지가격은 하락한다는 가정을 수용하면서 모형을 구현하였다. 따라서 이 모형은 행위자의 선호 변화에 따라 중심지 주변의 토지가격이 다양하게 변화하는 현상을 행위자 기반 모형을 이용하여 동태적으로 탐색하기 위한 방법을 제시하였다는 의미를 지니기는 하나, 전통적인 도시경제이론이 가정하는 단핵(mono-centric) 도시구조에서 제시하는 바와 같이 중심지로부터 거리가 멀어질수록 토지가격이 하락한다는 이론적 단순성을 초월하는 성과를 제시하지는 못하였다.

### 3. 유사 실증적(quasi-empirical) 행위자 기반 도시모형

유사 실증적 행위자 기반 모형은 행위자 또는 공간환경 중 일부는 논리적 가설에 기반하고 있으나 다른 일

부는 실증적 자료 및 분석에 기반하고 있으며, 이는 다시 행위자의 속성 및 의사결정 행위 등만 실증 분석에 기반한 경우와 공간환경에 대한 특성만 실증 자료에 기초한 경우로 구분해 볼 수 있다. 이 유형에 해당하는 모형은 완전한 실증모형은 아니나 모형의 목적에 따라 필요한 부분에 한해 실증성을 부여함으로써 현실 공간문제의 탐색과 해결에 유용하게 활용될 수 있다. 이에 대한 사례로는 다음과 같은 모형이 있다.

Brown and Robinson(2006)은 가구주의 주거입지 선택행위가 도시 난개발에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위한 모형을 개발하였다. 이 모형은 가구주를 기본적인 행위자로 하여 가구주의 입지선택 기준이 달라짐에 따라 도시 난개발의 공간적 패턴이 변화하여 나타나는 현상을 시뮬레이션 하고자 하였다. 행위자의 입지선택 행위를 정의하기 위해서는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 함수에 기반한 주거입지 효용함수를 정의하여 모형에 적용하였다. 이때 행위자의 구체적 유형 및 각 유형별 주거입지 선호계수를 실증적으로 도출하기 위해서 디트로이트 지역 연구(Detroit Area Study)에서 지역 주민들이 주거입지 시 고려한 요인들에 관한 설문조사 자료를 분석하여 가구주의 유형 및 구체적 선호계수를 도출하였다. 그리고 이와 같은 행위자의 행태에 관한 실증적 자료를 바탕으로 이를 2차원의 가상적 이론 공간에서 적용하여 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 수행함으로써 행위자의 특성 및 선호 변화에 따른 도시 난개발 패턴 생성을 현실적으로 분석하였다. 이 연구는 시뮬레이션을 통해 해당 지역의 가구주가 도시서비스시설에 대한 접근성 또는 입지대상지의 환경성 등에 어떠한 선호를 가지느냐에 따라 다양한 주거입지 패턴 및 공간구조가 형성될 수 있음을 제시하였다.

Torrens(2006)도 행위자의 입지선택 관점에서 도시 난개발을 시뮬레이션하기 위한 모형을 구축한 바 있다. 그러나 앞서 언급한 Brown and

Robinson(2006) 등의 연구와는 방법론적으로 대비되는 특성을 가지고 있다. 이 모형에서의 행위자는 현실 세계에서 도시개발을 유발시키는 가구주 또는 개발자 등과 같은 실질적 행위주체로 의미가 부여되지 않았으며, 따라서 행위자의 유형 및 속성 등은 구체화하지 않았다. 대신 이 모형에서는 도시개발이 발생하는 공간적 패턴을 즉시적 이동(immediate movement), 비지적 이동(leap-frog movement), 도로 유발 이동(road-like movement) 등과 같이 유형화한 임의적(ad-hoc) 의사결정규칙을 정의한 후, 대상 토지의 조건이 부합하면 가상의 개별 행위자가 해당 위치로 이동하여 도시개발을 촉발시키는 방식으로 모형을 구현하였다. 그리고 이와 같은 행위자의 의사결정행위를 종합적으로 실제 사례 지역에 적용하여 도시성장 및 난개발이 진행되는 과정을 시뮬레이션하였다. 모형의 적용 지역으로는 미국의 Midwestern Megalopolis<sup>3)</sup> 지역을 선정하여 적용한 후 이러한 방법론이 실제 연구대상 지역의 도시성장 및 난개발 패턴을 시뮬레이션하는 데 유용하게 활용될 수 있음을 제안하였다.

#### 4. 실증적(empirical) 행위자 기반 도시모형

실증적 행위자 기반 도시모형은 행위자와 공간환경이 모두 실증적 자료 및 분석에 기반하고 있다. 모형에 대한 적절한 보정(calibration) 및 검증(validation) 과정을 거쳐 미래의 공간변화를 예측(prediction)하기 위한 용도로 활용될 수 있다. 그러나 실증적 행위자 기반 도시모형은 모형의 실증성을 확보하기 위하여 다양한 스타일의 이질적인 분석모형과 결합될 수밖에 없는 속성을 가지며, 따라서 이론적 또는 유사 실증적 모형처럼 독자적 형태로 존재하기보다는 상

이한 모형 방법론과 결합된 형태로 구성된다. 예를 들어, 행위자의 의사결정 행위에 대한 실증성을 확보하기 위하여 기 정립된 사회경제이론을 접목하기도 하며, 입력 자료의 분석과 모형 파라미터 추출을 위해 관련된 분석 및 통계적 추론 등을 활용하기도 한다. 또한 각종 내생 변수를 생성하기 위해 여러 하위 모형 등을 포함하기도 한다.

이와 같은 실증적 행위자 기반 도시모형의 대표적인 사례로는 UrbanSim(Waddell, 2002)과 ILUTE(Salvini and Miller, 2003) 모형 등이 있다. 이들 모형은 다수의 하위모형으로 구성되어 있어 이 연구에서 이에 대한 상세한 부연설명을 포함시키기는 어려우나, 각 모형에 대한 간략한 설명은 다음과 같다. UrbanSim의 경우 가구 및 기업의 전이 모형, 가구 및 기업의 입지 모형, 토지가격 모형, 토지개발 모형 등의 하위 모형 등으로 구성되어 있으며, ILUTE의 경우 인구전이 모형, 노동시장 모형, 주택시장 모형, 교통수단 모형 등과 같은 하위 모형으로 구성되어 있다. 이들 모형은 각각이 가지는 하위 모형과 하위 모형이 산출하는 내생 변수들의 유기적 연계를 통해서도 시공간의 변화를 시뮬레이션 한다. 그리고 이들 모형은 행위자의 의사결정행위를 설명하기 위해서 확률 효용이론(random utility theory) 등을 도입하고 있으며 이의 연장선상에서 모형의 파라미터를 내생적·실증적으로 추정하기 위하여 로지스틱 회귀모형 등을 사용하고 있다.

한편 UrbanSim과 ILUTE 등과 같은 실증적 행위자 기반 도시모형은 시스템을 구성하고 있는 행위자에 관한 구체적인 데이터를 필요로 하게 되는데, 각종 사회경제적 데이터가 잘 구비된 서구 선진국의 경우 도 각 개별 행위자에 대한 실증적 데이터를 구하는 것은 현실적으로 불가능한 측면이 있다. 따라서 모형에

3) 시카고 등을 포함하는 미시간호수 주변의 대도시권.

서 필요로 하는 개별 행위자에 대한 데이터 요구조건 등을 충족시키기 위해서는 관련된 인구통계자료 등을 기반으로 가상의 행위자를 합성하여 사용하는 방법(population synthesis)<sup>4)</sup>을 주로 사용한다.

## V. 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계

### 1. 행위자 기반 도시모형의 장점

도시를 이해하고 연구하는 새로운 틀로서 최근 행위자 기반 도시모형에 대한 관심과 활용이 증가하고 있다. 이 연구에서는 행위자 기반 도시모형의 장점을 다음과 같이 크게 세 가지로 나누어서 제시하고자 한다.

첫째, 도시를 구성하고 있는 행위주체의 다양한(heterogeneous) 의사결정행위를 상향적(bottom-up)인 관점에서 모델링할 수 있게 한다. 현대의 도시는 하향식 관점에서 정의한 제도 및 규정 등에 전적으로 의존해 작동한다기보다는 도시를 구성하고 있는 다양한 주체들에 의해 형성되고 발전하고 있다. 도시는 가구, 기업, 공공기관 등 다양한 행위집단들로 구성되며, 이러한 행위집단들은 다시 고유한 행위특성을 지니는 개별 가구 및 기업 등 행위주체들로 구성되어 있다. 이러한 관점에서 도시를 이해하고 모델링하기 위한 적절한 방법론을 행위자 기반 도시모형이 제공하고 있다. 행위자 기반 모형은 서로 다른 유형의 행위집단의 대표적 특성뿐만 아니라 각 집단을 구성하는 개별 행위주체의 고유한 행동 특성을 고려할 수 있게 한다. 그리고 도시를 구성하는 각 행위집단과 행위주체 간의 상호작용을 통해 도시현상을 설명하고 있는데, 이를 통해 도시현상을 상향식 관점에서 이해할 수 있게 할 뿐만 아니라 필요 시 하향식

(top-down) 관점의 영향을 고려한 통합적 접근도 반영할 수 있게 한다.

둘째, 행위자와 환경 간의 상호작용을 공간적으로 구체적(spatially disaggregated)이고 동태적(dynamic)인 관점에서 모델링할 수 있게 한다. 장소와 위치의 문제를 다룰 수 있는 것은 도시모형이 다른 분야의 모형과 차별화되는 중요한 속성인데(Harris, 1989), 기존의 집합적(aggregate) 공간 단위의 도시모형은 시도 및 읍면동 등과 같이 통계 자료를 구성하는 공간단위에 기반하고 있으며, 이에 기반한 산출물을 도출한다. 그러나 날로 복잡해지고 다양해져가는 도시문제의 이해에 있어, 이와 같은 집합적 공간단위에 기반한 도시모형은 그 활용성에 있어 한계점을 노정하고 있다. 반면 행위자 기반 모형은 필지 및 셀 등 대상 공간을 보다 미시적인 관점에서 공간의 변화를 모델링할 수 있게 한다. 또한 중장기 균형 상태의 속성(state) 보여주는 정적(static) 모형이 아니라 도시가 동적으로 변화하는 과정(process)을 보여줄 수 있는 장점이 있다. 이는 도시의 공간적 속성뿐만 아니라 시간적 속성을 함께 보여준다고 할 수 있다. 즉, 도시는 살아 있는 유기체와 같이 끊임없이 변화하는 속성을 지니고 있는데, 도시의 확산 등과 같이 그 과정과 공간적 패턴 등을 중요하게 이해할 필요가 있을 때 특히 유용하다고 할 수 있다.

셋째, 다양한 모델링 프레임워크(generic modelling framework)의 존재로 인해 모형개발이 상대적으로 용이하다. 도시모형은 궁극적으로는 컴퓨터 환경에서 작동 가능한 프로그램의 형태로 구체화된다. 대부분의 도시모형은 논리적 구조설계 이후 독자적인 노력에 의해 독립적 프로그램으로 개발되는 과정을 거치게 된다. 그러나 행위자 기반 모형 자체는 도시 분

4) 가상의 행위자와 각 행위자의 속성을 간접적인 자료 등을 기반으로 통계적 추론을 통해 생성하고 이를 이용하여 시뮬레이션을 수행하는 것임.

아뿐만 아니라 다양한 분과학문에서 사용되는 모형 방법론이며 대학 및 연구소 등에서 지식자원 공유를 위해 오픈소스 형태로 개발한 다양한 기능과 형태의 행위자 기반 모형 프레임워크가 존재한다. 노스웨스턴 대학(Northwestern University)에서 개발한 넷로고(NetLogo), 시카고 대학(University of Chicago)에서 개발한 리파스트(Repast), 산타페 연구소(Santa Fe Institute)에서 개발한 스왐(Swarm) 등이 대표적인 사례다. 물론 이러한 모델링 프레임워크의 활용은 어느 정도의 컴퓨터 프로그래밍을 필요로 한다. 그러나 이러한 프레임워크의 존재는 무의미한 중복적 기술개발(reinventing the wheel)을 방지하고 모형의 독창적인 논리체계 개발에 보다 집중할 수 있도록 한다. 즉, 도시모형 개발의 효율성 제고에 큰 장점을 제공한다. 그리고 이는 단순히 손쉽게 활용할 수 있는 기술적 리소스가 있다는 차원을 넘어, 타 분과학문에서 개발된 모형과의 연계 및 통합을 가능하게 하는 장점이기도 하다. 이는 다른 도시모형 방법론에서는 볼 수 없었던 장점 중 하나다.

## 2. 행위자 기반 도시모형의 한계

반면 행위자 기반 도시모형은 상기와 같은 장점에도 불구하고, 한편으로는 사회과학적 이론기반이 아직 미흡하고, 실증 데이터 부재 등으로 모형의 검증(validation)이 실질적으로 불가능한(Batty and Torrens, 2005) 등의 한계도 분명히 존재한다. 이 연구에서는 행위자 기반 도시모형의 한계점을 다음과 같은 세 가지 관점에서 제시하고자 한다.

첫 번째, 행위자 기반 모형은 그 속성상 개별 주체를 중심으로 한 개체주의(individualism)를 강조하고 있으며, 이는 도시연구에 있어 중요한 제도적(institutional) 영향을 간과하게 할 소지가 있다. 즉 제도적 영향을 고려하지 않은 상태에서 자체적으로 창발

(emergence)하는 현상에 대한 발견적(heuristic) 접근법을 중시하게 될 가능성이 존재한다. 행위자 기반 모형이 복잡성 과학(complexity science)의 기초와 결합되면서 이러한 동향은 더욱 강조되고 있는데, 사회경제적 속성을 고려하지 않아도 되는 미시적 스케일의 모형(보행자 모형 등)에서는 이와 같은 접근 방법이 오히려 유용할 수 있으나, 제도적 요인을 무시할 수 없는 중거시적 스케일의 모형에서는 도시를 이해하는 수단으로 한계를 노정할 수밖에 없다. 따라서 이와 같은 한계를 극복하기 위해서는 다양한 스케일의 사회경제적 모형을 내외생적으로 수용하는 통합적 접근이 필요하다고 할 수 있다.

두 번째, 행위자의 의사결정행위를 설명할 수 있는 사회과학적 이론이 부족하다(Crooks et al, 2008). 미시경제학 등 사회과학의 일부 분야에서 기 정립된 이론을 제외하고는 행위자의 행위를 설명할 수 있는 이론체계는 미흡한 실정이다. 따라서 다수의 행위자 기반 도시모형은 임의적 의사결정규칙을 적용하여 모형을 개발하고 있다. 이러한 애드혹(ad-hoc) 방식의 모형 개발은 기 정립된 이론에 의존하지 않고도 현실의 속성을 반영한 모형의 행태를 구현할 수 있다는 장점이 될 수도 있다. 그러나 검증된 이론에 기반하지 않고 임의적인 의사결정에 기반하여 구현된 것으로 설명력(explanatory power)에 한계를 노정할 수밖에 없다. 다양하게 정의될 수 있는 행위자의 행위를 설명할 수 있는 이론의 정립은 사회과학 각 분야의 발전이 전제되어야 하는 것으로 도시모형 구현 차원에서 실천하기에는 한계가 있다.

세 번째, 행위자의 행태를 분석하기 위한 실증적 데이터 구득이 어렵다는 점이다. 도시모형 분야에 활용되는 대부분의 실증자료는 행정구역 등을 기본 단위로 하는 통계자료와 공간정보 등이다. 최근 들어 마이크로 데이터 등 개별 행위자에 대한 자료가 구축 및 제공되고는 있으나 아직은 시험적인 단계이며 폭넓



게 구축가능하지는 않다. 이는 행위자 기반 도시모형의 개발과 검증을 어렵게 하고 활용성을 제약하는 요인으로 작용한다.

예를 들어 UrbanSim과 같은 실증적 행위자 기반 도시모형의 경우 필요한 모든 데이터를 충족시키려면 평균 2년 정도의 시간이 필요한 것으로 파악되고 있다(Patterson and Bierlaire, 2010). 즉 행위자 기반 도시모형의 실증성을 극대화하기 위해서는 방대한 데이터를 필요로 하게 되는데, 이는 오히려 모형의 실용성을 저해하는 요인으로 작용하게 된다. 학술적 관점에서는 이와 같은 방대한 데이터 요구량을 기준으로 모형의 장단점을 평가하기 어려우나, 실용적인 의사결정 지원 관점에서는 중대한 단점이라고 할 수 있어 이와 같은 문제를 해소하기 위한 방안이 필요하다고 할 수 있다.

## VI. 결론 및 시사점

모형은 복잡한 현실을 보다 단순화하여 체계적으로 이해하기 위한 도구다. 따라서 모든 모형은 대상 시스템을 추상화하고 간략화하는 환원주의(reductionism)를 내포할 수밖에 없다. 다만 적절한 수준의 추상화 또는 구체화가 무엇이라는 해당 모형의 목적에 달려 있다고 할 것이다. 구체성이 증가할수록 현실성은 증대하나 동시에 모형의 복잡성이 증대하게 되며 이는 모형의 설명력과 실용성을 축소시킨다. 반대의 경우 모형의 이론적 간결성은 높아지나 현실성은 감소하게 된다.

전술한 바와 같이 행위자 기반 도시모형은 도시를 구성하는 개별 행위주체의 의사결정행위를 모델링할 수 있다는 것과 이 행위주체들이 도시공간에 미치는 영향을 구체화할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이를 위해 행위자의 특성을 어느 수준까지 어떠한 방법으로 고려할 것인가는 여타 다른 모형 방법론과

마찬가지로 해당 모형의 목적, 모형을 구축하기 위한 시간 및 비용 등에 의해 결정될 수밖에 없을 것이다.

1960년대 라우리 모형을 시작으로 개발되기 시작한 도시모형은 토지이용과 교통흐름의 상관관계에 대한 실용적인 지식을 도시정책 분야에 제공하기 위한 목적으로 처음 개발되었다. 따라서 이론모형보다는 정책모형의 성격을 가지고 있었으며, 토지이용 변화를 연구하기 위한 분야에 특화되어 발전되었다. 반면 다양한 도시공간문제의 탐색과 도시현상의 이론화라는 성격은 상대적으로 희박하였다. 그러나 서구 사회를 기준으로 볼 때 1970년대까지 전성기를 구가 하였던 도시모형은 그 실효성에 있어 혹독한 비판을 받기도 하였으며(Lee, 1973), 이는 도시모형과 도시정책의 연결고리를 약하게 만드는 한편 이후의 도시모형들은 실용적 의사결정 지원수단에서 벗어나 학문분야(academic domain)로 자리매김하게 되는 계기가 되기도 하였다(Batty, 1989).

이와 같은 과정에서 새롭게 출현한 행위자 기반 도시모형은 아직은 실증적 정책지원 도구로서의 개발은 미흡하나 새로운 관점에서 도시공간을 이해하고 탐색할 수 있게 하는 개념적 틀을 제공하고 있다.

정책지원 도구로서의 가치가 보다 높은 실증적 행위자 기반 도시모형은 상세한 행위자의 특성을 고려하고 있으나, 이와 같은 속성은 데이터 구축에 어려움을 초래할 가능성이 높음을 살펴보았다. 그러나 본 연구에서 제시한 다른 사례에서 살펴본 바와 같이 행위자에 대한 상세한 데이터가 행위자 기반 모형의 필수요건은 아니며, 이론적, 유사 실증적 행위자 기반 도시모형도 다양한 도시문제의 탐색과 도시계획에 필요한 지식의 제공에 활용될 수 있음을 살펴보았다.

본 연구는 지금까지 개발된 모든 행위자 기반 도시모형을 다루지는 못하였다. 그러나 행위자 기반 도시모형의 유형을 체계적으로 제시하고 개별 사례들의 특징을 분석함으로써 행위자 기반 도시모형의 개

발과 활용에 대한 중요한 이정표와 시사점을 제시하고자 하였다. 공간상호작용 모형 등 전통적 토지이용 교통모형은 개발에 막대한 시간과 비용을 필요로 하며, 실증적 모형이 아닌 이론적 또는 유사 실증적 차원에서는 그 용도와 의미가 희박하다. 반면 이 연구에서 살펴본 바와 같이 행위자 기반 도시모형은 다양한 방법론 및 이론에 기반하여 실증적 모형뿐만 아니라 다양한 유사 실증적 모형 또는 이론적 모형의 형태로도 개발되고 활용될 수 있다. 한편 그럼에도 불구하고 행위자 기반 모형이 도시를 연구하는 새로운 모형방법론으로 자리매김하기 위해서는 사회경제적 제도의 요인을 고려하는 통합적 접근, 행위자의 의사결정 행위를 설명할 수 있는 이론체계와의 결합 등이 필요하다고 할 수 있다.

전술한 바와 같이 행위자 기반 모형 자체가 도시적 현상을 설명하는 체계를 가지고 있는 것은 아니며, 하향식 관점에서 도시를 구성하는 행위자의 의사결정행위를 통해 도시의 변화를 조명할 수 있게 하는 방법론적 틀이다. 어떠한 관점에서 행위자 기반 도시모형을 구성하느냐는 아직 미결의 문제(open question)이며, 개별 연구자들이 행위자 기반 도시모형의 이와 같은 장점과 한계를 잘 이해하고 다양한 관점에서 관련 모형을 개발하고 활용함으로써 더 구체화될 수 있을 것이다.

## 참고문헌 •••••

- Alonso, W. 1964. *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press.
- Axelrod, R. 1997. "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences." *Complexity* vol.3, no.2. pp16-22.
- Batty, M. 1989. "Urban Modelling and Planning: Reflections, Retrodictions and Prescriptions". ed. Macmillan, B. *Remodelling Geography*. Oxford : Blackwell. pp147-169.
- . 2008. "Fifty Years of Urban Modeling: Macro-Statics to Micro-Dynamics". eds. Albeverio, S., Andrey, D., Giordano, P. and Vancheri, A. *The Dynamics of Complex Urban Systems: An Interdisciplinary Approach*. Heidelberg : Physica-Verlag HD.
- . 2009. "Urban Modelling". eds. Kitchin, R. and Thrift, N. *International Encyclopedia of Human Geography*. Amsterdam : Elsevier Science. pp51-58.
- . 2012. "A Generic Framework for Computational Spatial Modelling". eds. Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. and Batty, M. *Agent-Based Models of Geographical Systems*. Dordrecht, Netherlands : Springer.
- Batty, M. and Torrens, P. M. 2005. "Modelling and Prediction in a Complex World". *Futures* vol.37, no.7. pp745-766.
- Brown, D. G., Page, S. E., Riolo, R. and Rand, W. 2004. "Agent-Based and Analytical Modeling to Evaluate the Effectiveness of Greenbelts". *Environmental Modelling & Software* vol.19, no.12. pp1097-1109.
- Brown, D. G. and Robinson, D. T. 2006. "Effects of Heterogeneity in Residential Preferences on an Agent-Based Model of Urban Sprawl". *Ecology and Society* vol.11, no.1. art.46. <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art46/>.
- Couclelis, H. 1985. "Cellular Worlds: A Framework for Modelling Micro-macro Dynamics". *Environment and Planning A* vol.17, no.5. pp585-596.
- . 2002. "Why I No Longer Work with Agents: A Challenge for ABMs of Human-Environment Interactions". eds. Parker, D. C., Berger, T. and Manson, S. M. *Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change*. Belgium : LUCC International Project Office. pp3-5.
- Crooks, A., Castle, C. and Batty, M. 2008. "Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation". *Computers, Environment and Urban Systems* vol.32, no.6. pp417-430.
- Epstein, J. M. 2007. "Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling". eds. Levin, S. A. and Strogatz, S. H. *Princeton Studies in Complexity*. Princeton, USA : Princeton University Press.
- Filatova, T., Parker, D. and Veen, A. v. d. 2009. "Agent-Based Urban Land Markets: Agent's Pricing Behavior, Land Prices and Urban Land Use Change". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol.12, no.1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/3.html>.

- Harris, B. 1989. "Beyond Geographic Information Systems". *Journal of the American Planning Association* vol.55, no.1. pp85-90.
- Holland, J. H. 1995. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. New York : Helix Books.
- Holland, J. H. and Miller, J. H. 1991. "Artificial Adaptive Agents in Economic Theory". *American Economic Review* vol.81, no.2. pp365-371.
- Lacono, M., Levinson, D. and El-Geneidy, A. 2008. "Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory". *Journal of Planning Literature* vol.22, no.4. pp323-340.
- Lee, D. B. 1973. "Requiem for Large-Scale Models". *Journal of the American Institute of Planners* vol.39, no.3. pp163-187.
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G. and Gotts, N. M. 2007. "Agent-Based Land-Use Models: A Review of Applications". *Landscape Ecology* vol.22, no.10. pp1447-1459.
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. and Deadman, P. 2003. "Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review". *Annals of the Association of American Geographers* vol.93, no.2. pp314-337.
- Patterson, Z., and Bierlaire, M. 2010. "Development of Prototype UrbanSim Models". *Environment and Planning B: Planning and Design* vol.37, no.2. pp344-366.
- Reynolds, C. W. 1987. "Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model". In *14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. Anaheim, USA.
- Salvini, P. A., and Miller, E. J. 2003.8.10~15. "ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems". International Conference on Travel Behaviour Research. In *10th IATBR Conference*. Lucerne, Switzerland.
- Schelling, T. C. 1971. "Dynamic Models of Segregation". *Journal of Mathematical Sociology* vol.1. pp143-186.
- Tobler, W. 1970. "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region". *Economic Geography* vol.46, no.2. pp234-240.
- . 1979. "Cellular Geography". eds. Gale, S. and Olsen, G. *Philosophy in Geography*. Dordrecht : Reidel. pp379-386.
- Torrens, P. M. 2006. "Simulating Sprawl". *Annals of the Association of American Geographers* vol.96, no.2. pp248-275.
- Waddell, P. 2002. "UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning". *Journal of the American Planning Association* vol.68, no.3. pp297-314.
- Wilson, A. 1967. "A Statistical Theory of Spatial Distribution Models". *Transportation Research* vol.1. pp253-269.
- . 1970. *Entropy in Urban and Regional Modeling*. London : Pion.
- . 1974. *Urban and Regional Models in Geography and Planning*. New York : John Wiley.

- 
- 논문 접수일: 2012. 10. 01
  - 심사 시작일: 2012. 10. 26
  - 심사 완료일: 2012. 11. 13

## A Study on the Strength and Limitation of Agent Based Urban Models

**Keywords:** Agent Based Model, Urban Model, Land Use Change, Urban Planning, Complexity

Various types of urban models have been developed and used to support planning decision making since the 1960's. In general, urban models have evolved from early static and aggregate models to recent dynamic and disaggregate ones. Particularly, agent based modelling approach is gaining popularity as a new way to study urban systems from such dynamic and disaggregate perspectives. The purpose of this study is to provide a framework to understand the characteristics of agent based urban models and their uses. To do so, this research starts with reviewing overall trends of urban modelling and explains the notions of agent based models. Then it analyses the cases of agent based urban models in the light of ontological and methodological view points. Based on such classifications, it examines the methodological characteristics of individual agent based modelling research. In the concluding section, the research discusses the strength and limitation of this new modelling approach for the study of urban systems and planning policy support.

## 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계 분석에 관한 연구

**주제어:** 행위자 기반 모형, 도시모형, 토지이용변화, 도시계획, 복잡성

1960년대 이후 도시의 변화를 설명하고 도시계획 의사결정을 지원하기 위해 다양한 도시모형들이 개발되고 활용되어 왔다. 이와 같은 도시모형은 다양한 이론과 방법론에 기반을 두고 발전하였는데, 최근에는 도시를 구성하는 개별 행위주체의 의사결정행위에 중점을 두고 도시공간의 변화를 파악하고자 하는 행위자 기반 도시모형에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 다양한 관점에서 연구되고 있는 행위자 기반 도시모형들의 특성과 한계를 파악할 수 있는 분석은 아직 미흡하다. 이에 본 연구는 행위자 기반 도시모형의 특성을 파악할 수 있는 논리적 틀을 정립하고 이를 통해 행위자 기반 도시모형의 연구동향을 분석하고 행위자 기반 도시모형의 장점과 한계를 도출하고자 한다. 이를 위해 먼저 도시모형의 전반적인 발전동향을 살펴봄으로써 행위자 기반도시모형의 위상과 일반적인 특성을 파악한 후, 모형의 존재론적 관점과 방법론적 관점으로 구분하여 분석틀을 정립하고, 이에 기반하여 각 개별 연구사례의 주요 특징을 분석하였다. 그리고 결론으로 도시공간의 변화를 연구하는 새로운 방법론으로서의 행위자 기반 도시모형의 장점과 한계를 제시하였다.