

행위자 기반 도시모형의 개발과 실증적 적용*

Development and Application of an Agent Based Urban Model

김동한 Kim Donghan**, 김현중 Kim Hyunjoong***, 구형수 Koo Hyeongsu****, 김은빈 Kim Eunbin*****

Abstract

Since the pioneering work of Lowry in the 1960s, many urban models have developed to understand how urban systems work and change. Early urban models tend to focus on the relationship and interaction between land use and transportation, but recent urban models pay more attention to urban morphology with an interest on self-organising nature of urban systems. Agent based urban modelling approach is gaining popularity as a new means to study an urban systems in this context. This study aims to develop an agent based urban model as a new scientific tools to understand changes in urban systems and to support planning policy making. The study introduces urban economic theory and analysis into the agent based modelling framework. We then developed a model by using an open source programming platform, Repast Simphony. The model was applied to a case study area of Busan Metropolitan Area(Busan, Gimhae, Yangsan) to see if it properly works and generates valid simulation outcomes. We has confirmed that the model offers new and meaningful ways to understand urban future.

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

1. 서론

도시모형(Urban Model)은 1960년대 개발된 라우리(Lowry) 모형을 필두로 하여 도시공간의 성장과 변화를 파악하기 위한 목적으로 다양하게 개발되고 활용된 바 있다. 전통적인 도시모형은 토지이용교통모형(Land Use Transportation Interaction Model)으로 일컬어지기도 하는데, 이들은 교외도시의 성장, 신도시의 개발 등이 도시정책의 주요한 관심이었던 시기에

발전하기 시작한 것으로, 토지이용과 교통망의 상호 관계에 중점을 두고 대규모 토지공급의 파급효과와 이에 대응하는 교통수요 등을 파악하는 데 주로 활용되었다(Batty 1989).

이들 모형의 타당성과 유용성은 여전히 유효하다고 할 수 있으나, 새롭게 대두되고 있는 난개발, 개별 입지 등 보다 미시화되고 다양해진 국토·도시 공간 문제를 탐색하고 관련 정책의 파급효과를 살펴보는 데는 한계를 가지고 있다(Batty 2004).

* 본 논문은 '김동한, 서태성, 구형수, 강민규 외, 2014. 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용방안 연구 안양: 국토연구원'의 내용을 기초로 작성되었음.

** 국토연구원 책임연구원(제1저자) | Associate Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | Primary Author | dhkim@krihs.re.kr

*** 일리노이주립대학교 방문연구원 | Visiting Research Fellow, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign | k452k452@hanmail.net

**** 국토연구원 책임연구원 | Associate Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | shkoo@krihs.re.kr

***** 국토연구원 연구원 | Assistant Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements | ebkim@krihs.re.kr

서구 선진국 등에서는 1980년대 이후 보다 다양한 이론과 방법론에 기반한 도시모형의 개발이 추진되고 있는데, 이들 모형들은 도시공간의 발전현상과 동인을 상향식(bottom-up) 관점에서 보다 구체적으로 파악하고 대처하기 위한 목적을 가지고 있다(Batty 2008).

우리나라도 향후에는 정부 주도의 대규모 개발보다는 민간 주도의 중소기업 개발이 국토·도시의 변화를 주도할 것으로 예상되고 있어, 기업, 가구 등 미시적인 행위주체가 유발하는 공간변화와 이에 대한 공간정책의 파급효과를 다양한 시나리오하에서 예측해볼 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하고 관련 정책의 효율적 수립과 집행에 활용하기 위한 방안을 모색해 볼 필요성이 있다.

본 논문의 주요 목적은 미시적이고 동태적인 관점에서 국토와 도시 공간구조의 변화를 시뮬레이션하기 위한 도시모형을 구축하는 데 있다. 이를 위해 도시계획과 지리학 등의 분야에서 최근 활발히 논의되고 있는 행위자 기반 모형(Agent Based Model) 방법론을 중심으로 모형을 개발하고 활용방안을 살펴보고자 한다.

한편, 행위자 기반 모형은 도시공간의 변화를 가구나 기업 등 개별 행위자의 의사결정 행위(decision making behaviour)에 따라 파악할 수 있게 하는 논리적 틀을 제공하나, 행위자가 의사결정을 수행하는 구체적인 기준 등을 제공하는 것은 아니다. 행위자의 의사결정 기준은 모형을 개발하는 연구자가 임의로 정의하거나 기존의 이론 등을 적용할 수 있는데, 본 논문에서는 행위자의 입지선택을 위한 기반이론으로 계량경제학의 입지이론을 적용하여 모형을 개발하고자 한다. 그리고 개발한 모형을 사례지역에 적용하

여 모형의 논리적·실증적 타당성을 검토하고, 다양한 정책 시나리오에 따른 공간적 변화를 시뮬레이션하여 모형의 실용적 확장 가능성을 검토하고자 한다.

이와 같은 일련의 과정을 통하여 궁극적으로는 향후 국토 및 도시 공간의 변화를 연구하기 위한 새로운 도시모형 연구방법론을 정립함과 동시에, 지속가능한 국토·도시 정책의 수립과 집행에 기여할 수 있는 정책 지원 수단으로의 발전 가능성을 제시하고자 한다.

II. 행위자 기반 도시모형의 개념과 특징

1. 행위자 기반 모형의 개념과 특징

행위자 기반 모형은 개별 행위자와 주변 환경을 기본적인 구성요소로 하여 대상 시스템을 구체화하고, 이들 간의 상호작용에 따른 시스템 변화를 동태적으로 시뮬레이션하는 모형이다. 행위자 기반 모형은 사회경제 시스템이나 도시공간 문제를 연구하기 위해 태동한 방법론은 아니며, 자연과학 분야에 이론적 기반을 두고 프랙탈(fractal), 나비효과(butterfly effect) 등 기존의 과학이론으로는 설명할 수 없는 자연현상을 연구하는 새로운 이론인 복잡계 이론(complexity theory)을 구성하는 중요한 방법론으로 발전하고 있다.

그러나 행위자 기반 모형은 과거 뉴턴(Newton)의 중력이론(gravity theory) 등이 그러하였듯이, 사회현상을 파악하는 새로운 논리적 틀과 방법으로 도입되고 그 활용이 확산되고 있다. 특히, 경제학자 Schelling(1971)이 행위자 기반 모형의 개념을 기반으로 서로 다른 인종 간의 주거분리(residential segregation) 현상을 설명한¹⁾ 이후에 사회과학 분

1) 각 개인이 이웃에 자신과 동일한 인종이 많이 거주하면 그곳에 계속 거주하고 그렇지 않으면 다른 곳으로 이주하는 과정이 반복될 경우, 사회 전체적인 관점에서는 주거분리 현상이 일어남을 설명하였음.

야에서도 행위자 모형의 활용가치가 증대하기 시작하였다(Huang, Parker, Filatova and Sun 2013; O’Sullivan 2008; Benenson 2004).

행위자 기반 모형의 특성을 이해하기 위해 일반적으로 관점에서 행위자 기반 모형의 구성요소를 살펴보면, 행위자 기반 모형은 행위자(agent), 환경(environment), 속성(attribute), 주변 이웃(neighbourhood), 의사결정규칙(decision making behaviour) 등 다섯 가지 구성요소로 나누어 살펴볼 수 있다. 행위자 기반 모형의 가장 핵심적인 요소는 ‘행위자’이며, 행위자가 활동하는 공간이 바로 ‘환경’이다. 이때 환경이 구체적 속성을 가지고 행위자와 상호작용을 하는지 여부에 따라 추상적 환경 또는 실제적 환경 등 두 가지 유형으로 구분할 수 있다. ‘속성’은 행위자의 고유한 속성값 또는 환경의 고유한 상태값을 의미하며, ‘주변 이웃’은 행위자가 의사결정 시 고려하는 공간적 범위를 정의하는데, 폰노이만(von Neumann) 네이버후드, 무어(Moore) 네이버후드 등과 같은 유형이 있다. 그리고 ‘의사결정규칙’은 각 행위자의 고유한 행태 특성을 규정하게 되는데, 개별 모형마다 다른 방식으로 정의될 수 있다.

이러한 행위자 기반 모형은 앞서 반드시 행위자에 관한 세부적인 실증 데이터를 가지고 있어야만 하는 것은 아니며, 많은 경우 이론적 가설 등을 적용하여 시뮬레이션을 수행하기도 한다. 이러한 관점에서 행위자와 환경요소의 실증성 여부에 따라 행위자 기반 모형은 이론적(theoretical) 모형, 유사 실증적(quasi-empirical) 모형, 실증적(empirical) 모형 등으로 구분할 수 있다(김동한 2012; Couclelis 2002).

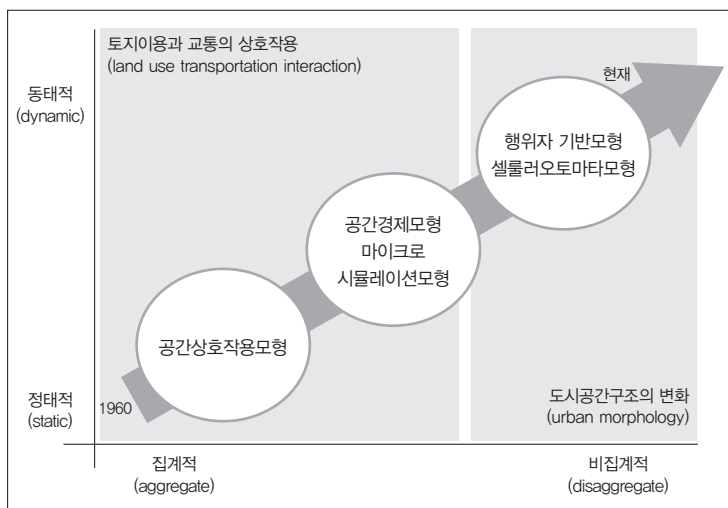
이때 어느 유형이 다른 유형

보다 더 유용하다고 할 수는 없으며 각 유형별로 서로 다른 활용 특성을 가지고 있다. 이론적 모형은 새로운 지식의 탐구, 유사 실증적 모형은 행위자 또는 환경의 변화를 가정한 가상적 실험, 실증적 모형은 새로운 사실의 발견이나 인과관계 증명 등의 목적으로 활용할 수 있다.

2. 도시모형 방법론으로서의 행위자 기반 모형

도시모형이 단일의 이론 또는 방법론에 기반하고 있는 것은 아니다. 변화하는 시대적 여건, 정책적 필요성, 학술적 발전 등에 영향을 받아 다양한 형태와 스타일의 도시모형이 발전되어 왔다. 각각의 도시모형은 고유한 논리적 구조와 기능을 가지고 있으며 유형을 구분하기도 용이하지 않은 경우가 많으나, 도시모형의 발전 과정을 간략하게 살펴보면 <그림 1>과 같이 도시화할 수 있다. 도시모형의 초기 발전기에는 도시를 하향식(top-down) 관점에서 정태적(static)이고 집계적(aggregate)인 방법으로 파악하고자 하였으나 최근에는 상향식(bottom-up) 관점에서 동태적(dynamic)이고 비집계적(disaggregate)인 방법으

그림 1 _ 도시모형 패러다임의 변화 과정



로 파악하는 패러다임으로 변화하고 있다. 내용적인 측면에서 초기의 도시모형은 토지이용과 교통의 상호관계(land use transportation interaction)에 중점을 두고 인구, 고용, 산업 등 도시 시스템의 다양한 부분을 종합적으로 고려하고자 하였으나, 최근의 도시모형은 토지이용과 교통의 종합적 상호관계보다는 도시형태의 변화(urban morphology) 등 도시 시스템의 부분적 측면에 더 중점을 두고 개발되고 있다(Batty 2009; Iacono, Levinson and El-Geneidy 2008).

행위자 기반 모형은 비집계적인 관점에서 상향식으로 도시 공간구조의 형성과 변화를 파악하는 도시모형의 새로운 방법론으로도 본격적으로 활용되기 시작하고 있는데, 이는 무엇보다 행위자 기반 모형 방법론을 통하여 도시 시스템의 변화를 유발하는 행위주체를 능동적으로 고려할 수 있게 함과 동시에 도시의 변화를 동태적이고 미시적인 관점에서 파악할 수 있게 하기 때문이다.

행위자 기반 모형은 도시현상을 모델링함에 있어 다음과 같은 장점을 가지고 있다(김동한 2012). 첫째, 도시를 구성하는 각 행위집단과 행위주체 간의 상호작용을 통해 도시현상을 설명함으로써, 도시현상을 상향식 관점에서 이해할 수 있게 한다. 둘째, 필지나 셀과 같은 미시적 공간단위에서 동태적인 공간변화 시뮬레이션을 용이하게 할 수 있다. 셋째, 다양한 분과 학문에서 활용되는 방법론으로 다양한 모델 개발 플랫폼이 존재하고 모형개발에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다.

하지만 행위자의 의사결정 행위를 설명할 수 있는 사회과학적 이론이 아직 부족하고, 실증 데이터의 부재 등으로 모형의 검증이 어렵다(Batty and Torrens 2005)는 한계도 있다. 특히 개별 행위자에 관한 구체적 데이터를 확보하여 대규모 실증적 모형으로 개발하고자 할 경우, 방대한 데이터 요구량이 모형의 실용적 활용에 걸림돌이 될 수도 있다.

III. 행위자 기반 도시모형의 설계와 개발

1. 전제조건 및 기반 이론

전술한 바와 같이 최근 행위자 기반 모형이 도시모형의 새로운 방법론으로 각광받고 있고 개발과 활용이 증가하고 있다. 그러나 아직은 초기 단계라고 할 수 있으며 완성된 범용모형으로 개발된 사례는 거의 없다고 할 수 있다. 주로 학술적이고 실험적인 차원에서 모형개발이 추진되고 있는데, 내용적 특성을 살펴보면 주로 임의적(ad-hoc) 의사결정규칙과 자기발견적(heuristic) 접근방법에 기반하여 모형이 개발되고 있으며 사회경제적 이론 체계와의 통합은 아직 미흡한 상황이다(Crooks, Castle and Batty 2008; Manson and O'Sullivan 2006; Matthews, Gilbert, Roach, Polhill and Gotts 2007). 이로 인해 대다수의 행위자 기반 도시모형은 도시 공간의 변화를 자율적인 자기조직화(autonomous self-organisation) 관점에서 주로 파악하고, 도시의 변화에 영향을 미치는 사회경제적 동인 등은 체계적으로 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다.

이에 반해 본 논문은 이와 같은 기존 행위자 기반 도시모형의 한계점을 극복하고 보다 체계적인 사회과학 이론과 방법론을 행위자 기반 모형과 결합하고자 하는 접근방법을 취한다. 그리고 이를 위해 행위자의 주요한 의사결정 알고리즘으로 계량경제학적 이론과 방법론을 활용하고자 한다. 그러나 계량경제 모형 자체의 개발이나 심화를 추구하는 것은 아니며 여타 도시모형과 마찬가지로 여러 가지 이론, 방법, 기법 등을 복합적으로 사용하는 관점에서 접근한다.

따라서 본 논문에서 개발하는 행위자 기반 도시모형은 행위자 기반 모형을 구성하는 핵심적인 요소에 부가하여 다양한 사회경제적 분석기법 등을 통합한 통합적 행위자 기반 모형이라고 할 수 있다.

이는 행위자가 대상지의 공간환경과 밀도 등에 대한 정보를 인식하고 입지선택을 수행하기 위해서 필요한 의사결정 기준을 정의하는 모듈이다. 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형의 근간을 이루는 부분이며, 연구자가 자의적(ad-hoc)으로 구성된 의사결정규칙 또는 기존의 사회경제이론 체계 등 다양한 기준에 의해 자유롭게 설정 가능한 부분이기도 하다.

본 논문에서는 행위자의 입지선택을 위한 의사결정 기준으로 도시경제학 분야의 입지이론을 접목하고자 하는데, 이와 같은 입지선택 이론은 크게 두 가지로 구분하여 살펴볼 수 있다.

폰 튀넨(von Thunen)의 농업적 토지이용이론에 기반을 두고, Alonso(1964)가 현대적 도시공간의 관점에서 재구성하여 도시경제학의 근간을 이루고 있는 입찰지대이론(bid-rent theory)과, 실증적 검증에 보다 중점을 두고 제안된 McFadden(1973)의 확률적 효용이론(random utility theory)에 입각한 입지선택 이론 등이다.

전자는 서로 다른 행위자(기업, 가구 등) 간의 지불능력 차이에 따른 시장경쟁과 도심지로부터의 거리와 교통비 간의 트레이드오프(trade-off) 관계를 통해 도시공간구조의 형성을 설명하고 있으며, 후자는 서로 다른 선호를 가지는 행위자의 효용극대화 원칙에 입각한 확률적 입지선택에 따른 공간구조의 형성을 설명할 수 있다.

양자 모두 도시경제학 분야에서 많은 연구가 이루어졌으며, 다양한 확장모형이 존재한다. 그러나 Anas(1982) 등은 입찰지대이론은 이론적 설명력이 높으나 실증적 추정 등에서는 확률적 효용이론이 보다 유리하다고 주장하기도 한다.

이론적·방법론적 차이는 있으나, 양자 모두 공간구조변화의 기반이론으로서 행위자 기반 모형과 결합이 가능하다. 그러나 본 논문은 개별 행위자의 선호요

인을 보다 다양하게 고려하고 통계적으로 추정할 수 있는 확률적 효용이론에 기반하여 가구(household), 산업(manufacturer), 개발자(developer) 등과 같은 개별 행위자의 입지선택 원리를 정의하고자 하며, 이에 따라 각 행위자는 자신의 효용을 극대화하는 위치에 입지하게 된다. 이에 대한 함수는 <식 1>과 같다. 해당 함수에 실제 사용할 변수는 선행연구 등에서 주로 활용되는 변수를 검토하여 확정하고자 하며, 다음 장에서 보다 구체적으로 제시하도록 한다.

$$U_{ai} = \sum_{s=1}^S \beta_s X_{sai} + \varepsilon_{ai} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

여기서 S 는 선택 가능한 대안의 집합, β_s 는 각 대안에 대한 계수, X_{ai} 는 각 개인 i 의 선택대안 a 에 대한 벡터, ε_{ai} 는 검블(Gumbel) 분포를 따르는 확률적 부분을 의미한다. 한편, 이상과 같은 전제하에 로짓모형을 구성하여 각 대안에 대한 선택확률을 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$P_{ai} = \frac{e^{X_{ai}}}{\sum_{k \in S} e^{X_{ki}}} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

2. 모형의 구조와 구동절차

본 논문에서 개발하는 행위자 기반 모형의 전체적인 구조와 구동 절차는 <그림 2>와 같으며, 모형은 다수의 하위모듈로 구성된다. 각 모듈별로 주요한 기능과 역할을 요약하면 다음과 같다. 먼저 공간환경 모듈은 대상지의 토지이용 유형, 인프라 및 서비스시설 유무, 토지 가격, 표고 및 경사 등 다양한 변수를 모형에 로딩하여, 행위자가 이러한 정보를 인식하고 자신의 효용을 산정할 수 있도록 함과 동시에, 모형에서 정의한 분석방법에 의하여 행위자가 입지선택 가능지를 인식할 수 있도록 한다. 행위자 생성모듈에서는 가구, 산업, 개발자 등 공간변화를 유발하는 행위주체를 생

성한다. 이때 실제 통계자료를 분석²⁾하여 통계적 비율에 의하여 행위자를 지역적으로 배분한다. 이후 각 행위자는 행위자 입지선택 모듈의 함수식에 기반하여 자신의 효용을 산출하고 이를 극대화하는 입지선택을 하게 되는데,³⁾ 이때 입지선택에 영향을 미치는 변수와 계수는 별도의 로짓분석을 수행하여 선정한다. 한편 모형의 보정은 시물레이션 결과와 <식 2>에 의해 산정된 확률맵을 비교·검토하여 수행한다. 각 행위자가 선호에 따라 입지선택을 수행하면, 그 결과로 토지이용 속성과 개발밀도가 변화하게 되며, 시스템의 변화 총량은 외생변수 또는 시나리오상의 가설에 의해 제약을 받는다. 시물레이션은 몬테카를로 기

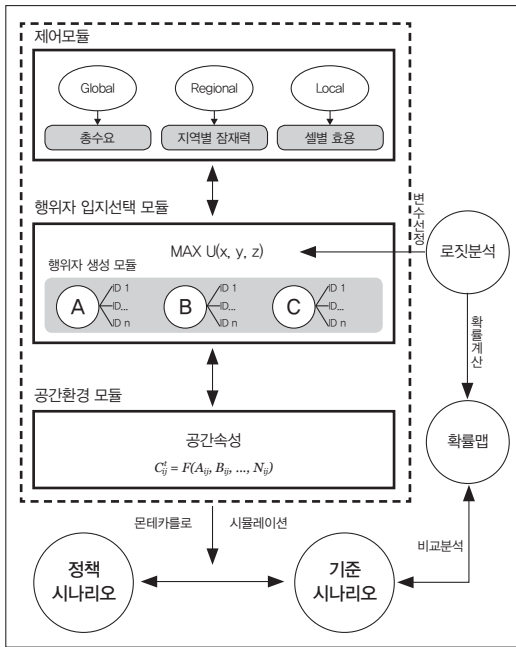
법에 의하여 여러 번 수행하고,⁴⁾ 확률값을 도출할 수 있도록 설계하였다. 시물레이션 결과 분석은 내부 분석모듈과 외부의 분석모형을 공히 활용하고자 한다.

3. 개발환경 및 개발방법

시물레이션 모형은 과학적 지식과 원리를 기반으로 하여 구축된 논리적 구조물이나, 궁극적으로는 컴퓨터 환경에서 프로그램의 형태로 구현된다. 따라서 모형개발을 위해서는 대상이 되는 문제의 정의와 관련 이론 등 검토, 행위자의 의사결정 기준과 함수 등 정의, 논리적 구성모듈 등 설계와 같은 개념적 설계가 선행되어야 하며, 이를 컴퓨터 환경에서 구동 가능한 프로그램의 형태로 구현하기 위한 노력이 필요하다. 그리고 기 개발된 모형을 수정하거나 보완하는 것이 아니라 새로운 프로그램의 형태로 개발하고자 할 경우 많은 시간과 비용이 소요된다.

행위자 기반 모형은 국토나 도시 등 공간연구 분야의 고유한 방법론이 아니라 자연과학 및 사회과학의 다양한 분야에서 확산되고 있는 방법론으로서, 해외의 대학과 연구소 등에서 행위자 기반 모형을 보다 효율적으로 개발하고 활용하기 위해 개발한 유상의 소프트웨어와 무상의 오픈소스 소프트웨어가 다수 존재한다. 이들 소프트웨어는 구체적인 분석방법론, 의사결정 함수 등 모형의 논리적 구성을 위한 알고리즘은 제공하지 않으나, 모형개발을 위한 프로그래밍을 용이하게 도와주는 플랫폼의 기능을 제공하고 있다. 따라서 이를 모형개발의 플랫폼으로 활용할

그림 2_ 모형의 기본 구조와 구동 절차



- 이 모형은 셀 단위로 기본적인 입지선택을 수행한다. 행위자의 생성을 위해 사레지역의 벡터(vector)자료 형태의 통계지리 정보를 입력정보로 활용하며, 통계지리 정보에 포함된 속성정보로부터 필요한 인구통계 정보를 로딩하여 분석 및 할당을 수행함.
- 개발자의 입지선택 행위를 행위자 기반 모형 또는 도시모형에서 고려하는 방법으로는 이윤 극대화(profit maximisation), 손실 회피(loss averting), 선호요인(developer preference) 등에 의한 방법이 있음(Magliocca, Brown, McConnell and Nassauer et al. 2014). 본 논문에서는 선호요인에 의하여 개발자의 입지선택을 추정함.
- 몬테카를로 시물레이션 반복횟수를 올릴수록 결과 산출에 필요한 시간이 증가하게 되는데, 2차원 공간에서 미시적 입지선택을 수행하는 행위자 기반 모형의 경우, 시물레이션에 필요한 시간이 비공간적인 모형보다 더 많이 필요한 경향이 있음.

경우 자료의 입출력을 위한 기능개발 등 모형의 논리적 구성과는 무관한 모든 기능까지 자체적으로 개발할 필요가 없어 모형개발에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다.

여러 종류의 유무상의 행위자 기반 모형개발 플랫폼이 존재하나, 공간정보를 활용한 행위자 기반 도시 모형의 개발에 유용한 플랫폼은 미국의 노스웨스턴 대학에서 개발한 넷로고(NetLogo), 시카고 대학에서 개발한 리파스트(Repast), 조지메이슨 대학에서 개발한 지오메이슨(GeoMason) 등이 있다.

각 플랫폼은 장단점이 있는데, 넷로고 등은 프로그래밍이 상대적으로 쉽기는 하나 자체적인 언어를 사용하는 관계로 모형의 확장성 등에 한계가 있으며, 리파스트와 지오메이슨은 자바(Java) 언어의 사용을 기반으로 하고 있어 프로그램의 호환성과 확장성이 보다 더 좋다고 할 수 있다. 리파스트는 지오메이슨과 비교하여 보다 많은 모형개발자층을 확보하고 있는데 본 논문은 향후 모형의 확장성 등을 고려하여 자바 언어 기반의 리파스트 심포니(Repast Symphony) 버전을 활용하여 모형을 개발한다.

IV. 모형의 적용

1. 예비 시뮬레이션

1) 개요

도시모형의 개발은 컴퓨터 프로그래밍을 수반하게 되는데, 모형이 오류 없이 코딩되어 잘 작동하는지, 입력자료 및 계수변화 등에 적절하게 반응하는지 등에 대한 검토와 검증이 필요하다. 그러나 개발 초기 단계에서부터 실제 사례지역의 데이터를 사용하여 시뮬레이션하면서 이와 같은 과정을 수행할 경우 모형의 수정과 보완을 어렵게 하므로, 우선 가상의 공

간에서 가상의 데이터를 사용하여 모형을 구동하고 예비 시뮬레이션을 수행하여 모형의 행태와 결과물을 검토하였다.

예비 시뮬레이션은 모형의 논리적 구조에 따른 결과물이 정상적으로 도출되는지 검증하고자 하는 것이며, 추후 실제 사례지역에 적용 시 파라미터를 산정하는 근거로 활용하고자 하는 것이다. 이를 위해 모형의 구조상 중요성이 가장 높다고 할 수 있는 행위자의 입지선택 함수를 대상으로 파라미터 변화에 따라 그에 부응하는 공간패턴이 산출되는지 검토하였다.

2) 시뮬레이션 및 결과

이와 같은 목적하에 가상의 공간과 입력변수를 행위자 입지선택에 상정하여 도출되는 결과를 검토하였다.

입력변수는 행위자의 입지선택에 영향을 미치는 요인을 중심지 접근성(A), 도로 접근성(S), 인구밀도(C), 통계적 난수(R) 등으로 상정하였으며(〈그림 3〉참조), 이를 기반으로 가설적인 효용함수를 구성하고, 각 변수에 대한 선호변화를 상정하여 행위자의 효용변화에 대응한 적합한 결과물을 산출하는지 검토하였다.

실험 결과 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 각 변수에 대한 선호가 변화함에 따라 차별화된 효용의 분포를 보여주고 있다. 모형에서 상정한 효용함수 등은 잘 작동하고 있는데, 각 개별 변수인 중심지 접근성(A), 도로 접근성(S), 인구밀도(C)에 대한 계수값($\beta_A, \beta_S, \beta_C$)이 증가하거나 감소할수록 효용이 증가하거나 감소

그림 3_ 입지선택에 영향을 미치는 요인

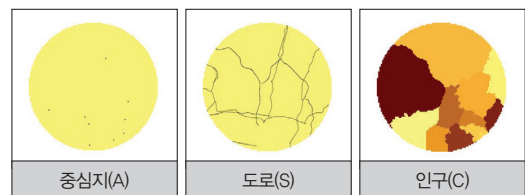
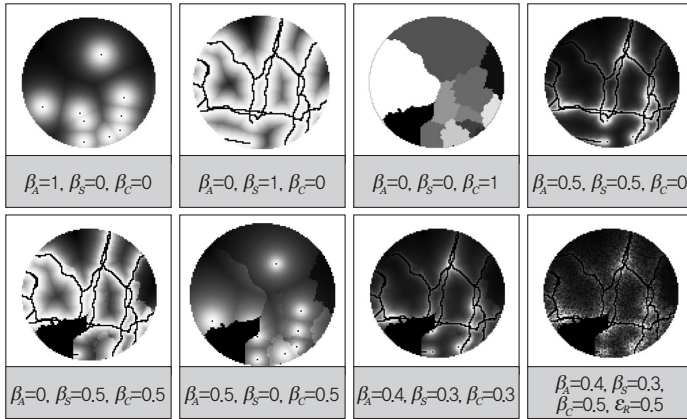


그림 4_ 입지선택 효용변화 시뮬레이션



주: 색이 진해질수록 효용이 낮음.

하는 결과를 보여주고 있다. 특히 통계적 난수(ϵ_A)까지 추가로 고려할 경우 실제 현실공간에서 나타나는 것과 같은 불규칙성과 이질성을 구현하고 있으므로, 실제 사례지역의 현실에 부합하는 변수 및 계수를 적용하여 시뮬레이션을 수행할 경우 타당성 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실증 시뮬레이션

1) 개요

다음으로는 사례지역을 대상으로 모형을 적용하고 시나리오별로 시뮬레이션을 수행한 뒤 결과를 분석하였다. 사례지역은 부산권(부산시, 김해시, 양산시)으로 선정하였으며, 해당 지역의 특성에 맞는 입지 요인과 밀도패턴 등을 로짓분석을 통해 도출하고 시뮬레이션에 반영하였다. 시뮬레이션은 현 추세연장(business as usual) 시나리오와 정책시나리오를 대상으로 수행하고 결과를 분석하였다.

본 논문에서 개발하는 모형은 행위자의 입지선택

에 관한 의사결정 행위를 기본적인 동인으로 하여 공간의 변화를 시뮬레이션할 수 있도록 고안되었다. 그러나 행위자의 종류와 유형 등은 고정하지 않았으며, 대상지의 특성, 분석 목적 등에 따라 차별화하여 정의할 수 있도록 하였다.

국토공간의 변화에는 다양한 행위주체가 영향을 미치고 있으며, 연구와 분석의 목적에 따라 서로 다른 유형의 행위자를 고려할 수 있을 것이다. 사례연구지역인 부산권의 경

우 부산시 내부의 고밀복합개발입지, 김해시와 양산

그림 5_ 사례연구 대상지



5) 난수의 값은 0과 1사이의 범위에서 발생됨.

표 1_ 개별 산업입지 결정요인 변수 설명

구분		내용	자료형태
종속변수	개별 산업입지	개별 산업입지=1, 개별 산업입지 아님=0	이산형
독립변수	경제성	평균 공시지가(원)	연속형
		경제활동 인구수(블록*)	연속형
	배후 특성	제조업 종사자수(읍면동)	연속형
		반경 500m 내 공업지역 토지이용수	연속형
		녹지지역(녹지지역=1, 녹지지역 아님=0)	이산형
	교통특성	도로와의 거리(m)	연속형
		IC까지의 거리(m)	연속형
		기차역까지의 거리(m)	연속형
	자연특성	표고(m)	연속형
		경사(도)	연속형

주: *는 (주)오픈메이트의 공간DB인 통계지리정보 활용.

시의 개별 산업입지가 최근의 공간변화의 주요 동인이라고 할 수 있다.

이와 같은 관점에서 사례분석에서는 개별 산업입지를 유발하는 행위주체로 개별 산업(manufacturing firm) 행위자를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

한편 이들 행위자는 더욱 다양한 기준으로 세분화할 수 있을 것이나, 행위자를 세분화하는 것은 데이터 구득과 분석 등에 많은 시간과 비용이 소요된다. 본 논문은 이와 같은 대규모 실용모형을 개발하기 이전 단계에서 핵심방법론과 알고리즘을 개발하고 검증하는 연구의 성격을 지니고 있어 행위자의 속성과 유형은 가급적 단순화하였다. 행위자 유형과 속성에 관한 세분화는 후속 연구에서 모형을 보다 실용화하는 관점에서 추진 가능할 것이다.

2) 모형의 보정을 위한 실증분석

개별 산업입지 행위자별로 입지선택에 영향을 미치는 주요 변수를 결정하기 위해 이항로짓분석을 수행하였다. 주요 변수는 선행연구, 전문가 자문, 대상지 특성 분석, 자료구득 가능 여부 등을 고려하여 선정하였으며, 경제성, 배후 특성, 교통 특성, 자연 특성 등 입지선택에 영향을 미치는 다양한 요인이 포함되도록 하였다.⁶⁾ 각각에 대한 자료구축 과정과 분석 결과는 다음과 같다.

(1) 변수구축

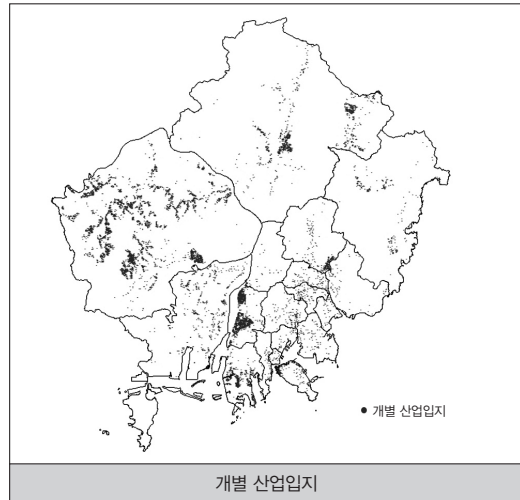
개별 산업입지의 결정요인 분석을 위한 종속변수는 개별 산업입지 유무이며, 독립변수들은 산업입지 관

6) 입지선택 요인으로 고려하는 변수가 많으면 모형의 현실성과 설명력을 높일 수는 있으나, 반면 모형개발의 효율성 문제, 다중공선성 문제 등을 야기할 수 있으므로 적절한 수준에서 변수를 선정할 필요가 있음. 한편 오컴의 면도날(Ockham's Razor) 원칙에 따라 동일한 현상을 설명하는 두 가지의 이론이 있다면 더 간단한 이론이 더 바람직하다는 경제성의 원칙도 고려하여 모형과 변수를 고려할 필요가 있음.

련 선행연구(산업연구원 1987; 김태환 1990; 김창석, 남진 1996; 이한일, 이변승 2002; 최창규, 이원영 2008; 안영수 2013)를 참조하여 변수들을 선정 및 구축하였다.

개별 산업입지의 변수들은 경제성, 배후 특성, 교통 특성, 자연 특성으로 분류하였는데, 경제성은 거의 유일하게 구득 가능한 자료인 평균 공시지가를 대리 변수로 활용하였고, 배후 특성은 개별 산업입지의 근린 및 환경 특성을 중심으로 구성하였다. 산업입지의 결정요인 중 고용의 용이성은 매우 중요하므로 경제 활동 인구수와 제조업 종사자수를 본 모형에 활용하였다. 그리고 집적 경제를 추구하는 산업의 입지 특성을 고려하기 위해서는 반경 500m 내 공업지역 토지이용수를 독립변수로 활용하였으며, 변수의 구축은 근접 분석(neighborhood analysis) 중 중심합(focal sum)을 이용하여 개별 산업입지를 중심으로 설정, 반경 500m 내 토지피복도상 공업지역으로 활용되고 있는 토지이용수를 계산하였다. 배후 특성 중 녹지지역을 터미변수로 선정하 이유는 우리나라에서 일반적으로 나타나고 있는 개별 산업입지의 입지적 특성을 반영하기 위함이다. 즉, 우리나라의 개별 산업입지

그림 6_ 종속변수



는 도시지역이 아닌 비도시지역, 특히 녹지지역을 중심으로 입지하고 있어 새로운 난개발을 초래하는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 논문에서는 개별 산업입지의 일반적인 입지 특성이 부산권에도 적용되는지를 확인하기 위해 녹지지역을 배후 특성 중 하나로 통제하였다. 또한 교통 특성은 해당 시설로부터의 거리를 기준으로 변수를 구축하며, 도로와의 거리, IC까지의 거리, 기차역까지의 거리로 구성하였으며, 마

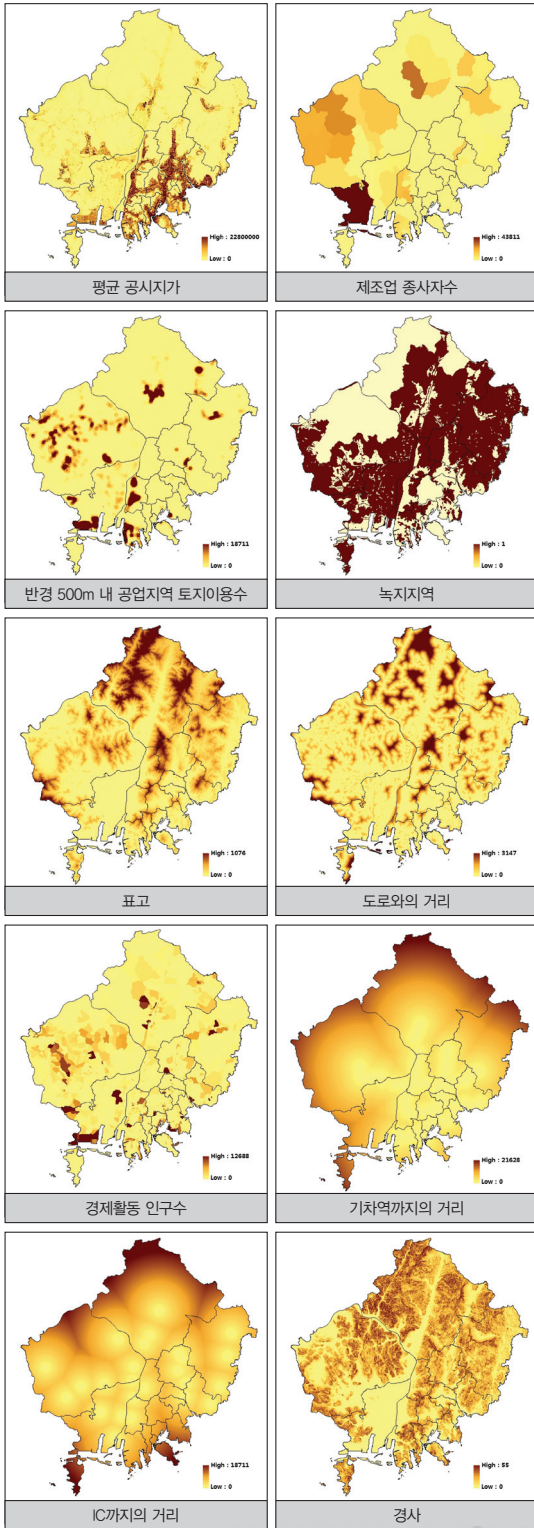
표 2_ 개별 산업입지 결정요인 분석 결과

구분		계수	유의 수준	표준오차	표준화 계수
상수항		-1,3760541	***	0,0360	-
경제성	평균 공시지가	-0,0000004	***	0,0000	-0,0651
	경제활동 인구수	-0,0001837	***	0,0000	-0,0907
배후 특성	제조업 종사자수	0,0000192	***	0,0000	0,0939
	반경 500m 내 공업지역 토지이용수	0,0191155	***	0,0006	0,1917
	녹지지역	-0,2640981	***	0,0253	-0,0721
교통 특성	도로와의 거리	-0,0016864	***	0,0001	-0,3228
	IC까지의 거리	-0,0000944	***	0,0000	-0,1740
	기차역까지의 거리	0,0000474	***	0,0000	0,1299
자연 특성	표고	-0,0018510	***	0,0001	-0,1741
	경사	0,0067599	***	0,0015	0,0382

주: 1) $\chi^2=5616$, $-2\text{Log likelihood}=52930$, $\text{ROC Curve}=0.732$.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

그림 7_ 독립변수



지막으로 자연 특성은 경사도와 표고를 적용하였다.

개별 산업입지 결정요인으로 고려한 변수들은 <표 1>과 같으며, <그림 6>과 <그림 7>은 각 종속변수와 독립변수를 공간자료로 구축한 것으로 자료 해상도는 50m×50m다.

(2) 추정 결과

개별 산업입지의 결정요인에 대한 로짓분석 결과는 <표 2>와 같다. 모형의 설명력(ROC Curve=0.732)은 높은 편이며, 모든 변수들의 유의 수준이 99% 이상인 것으로 분석되었고, 전반적으로 산업입지의 결정요인과 유사하게 나타났다.

3) 시뮬레이션

시뮬레이션은 분석자료와 동일한 해상도인 50m×50m 격자셀을 기반으로 하였으며, 기준 시나리오와 정책 시나리오로 구분하여 수행하였다. 기준 시나리오는 현 추세연장 시나리오라고도 할 수 있다. 즉, 현재와 같은 공간변화 패턴이 향후에도 계속될 경우를 상정하고 이러한 전제하에 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 로짓 분석을 통해 도출한 계수를 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, 개별 산업입지가 현재와 같은 패턴으로 미래에도 진행될 경우에 나타나게 될 공간구조를 파악하였다.

시뮬레이션 결과로 나타나는 구체적인 공간변화 패턴은 <그림 8>과 같은데, 요약하여 살펴보면 개별 산업입지의 경우 김해시, 양산시 등으로 확산되어 도시의 외연적 확산이 계속적으로 진행되는 것으로 파악되었다.

반면 정책 시나리오는 기준 시나리오에 대비하여 특정한 정책 개입을 가정하고 이에 따라 도출되는 대안적 미래를 비교하기 위한 시나리오다. 이와 같은 정책 시나리오는 토지이용 및 밀도규제 등 다양한 공간

그림 8_ 기준 시나리오 시뮬레이션 결과



그림 9_ 신규 산업단지 후보지

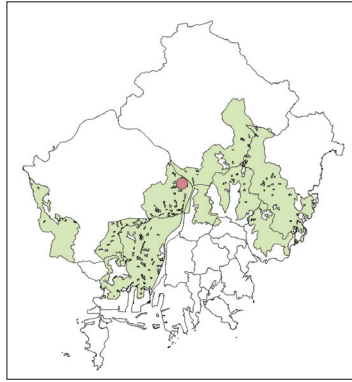


그림 10_ 정책 시나리오 시뮬레이션 결과



정책 시나리오를 정의하고 그 효과를 파악하고자 하는 목적을 가지고 있다. 본 논문에서 정책 시나리오로 개별 산업입지의 경우, 김해시와 양산시에는 개별공장입지 및 증설 기준을 강화하는 한편 새로운 산업단지의 조성⁷⁾을 가정하였다. 김해시에 상정한 신규 산업단지는 <그림 9>와 같으며 시뮬레이션 결과는 <그림 10>과 같다.

3. 시사점

사레지역인 부산권 지역은 주거 및 산업개발 수요가 지속되고 있으며, 향후에도 개발압력이 계속 발생할 것으로 예상되고 있는데, 현 추세연장을 가정한 미래의 공간구조와 정책적 개입을 가정한 미래의 공간구조는 중요한 차이점이 있는 것으로 판단된다.

한편 부산권 지역은 산업입지에 대한 수요가 높아 개별 산업입지가 지속적으로 증가하고 있는데, 특히 김해시의 공장 난개발 문제는 수년 전부터 대두되어 진행되고 있다. 개별 공장입지의 증가는 해당지역의

생산성을 증대시키는 면이 있으나, 주로 미개발 상태의 오픈 스페이스를 무계획적으로 훼손시키며 자연 환경에 대한 사회적 비용 등을 상승시키는 문제점을 가지고 있다.

기준 시나리오하에서의 시뮬레이션은 현재와 같은 패턴으로 개별 공장이 증가할 경우에 대한 미래를 보여주고 있는데, 분산적인 개별 공장입지가 지속될 경우 오픈 스페이스에 대한 압력과 훼손이 더욱 심화될 것임을 알 수 있다. 해당 지자체 등도 이러한 문제를 인식하고 이에 대응하기 위하여 개별 공장의 입지 기준을 강화하거나 계획입지를 유도하기 위한 신규 산업단지를 조성하는 등의 정책을 시행하고 있는 상황이라는 하나, 이와 같은 적극적인 정책 개입이 없을 경우 공장 난개발의 문제는 더욱 심화될 것임을 보여주고 있다.

반면 정책 시나리오하에서의 시뮬레이션은 정책적 규제(regulation)와 유도(relocation)를 가정한 대안적 미래를 보여준다고 할 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 살펴본 바와 같이 입지매력도가 양호한 곳에 산업

7) 김해시는 개별 공장의 무분별한 확산을 막기 위한 방편으로, 신규 산업단지의 지정과 조성을 추진 중임. 그중 대동산업단지는 김해시 대동면 원촌리 500 일대에 조성할 예정이며, 개발제한구역 해제 등의 문제로 아직 최종 확정 안 되었으나, 교통 여건 등이 우수하여 개별 공장의 집단입지를 확보할 수 있을 것으로 예상됨(한국경제 2013). 본 논문에서는 상기와 같이 진행되고 있는 대동산업단지의 신설을 가정하여 시뮬레이션을 수행함. 다만, 본 논문은 해당 산업단지의 지정 및 조성과 관련하여서는 중립적인 견해를 가지고 있으며, 본 논문에서의 이론과 논리적 전제 등을 기준으로 구성한 행위자의 입지 선호에 따라 해당 위치의 입지가 선호될지를 시뮬레이션하고 결과를 분석함.

단지를 신규로 조성하면 개별 공장의 집적을 유도할 수 있고 이를 통해 공장 난개발을 일부 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 산업단지 조성을 통해 절대적인 수용량이 충분히 충족되거나, 그 외의 지역에 대한 신규 산업입지 자체가 제한되지 않는다면, 공장 난개발의 문제는 계속될 수밖에 없을 것임을 알 수 있다. 한편 개발제한구역을 해제하여 조성하는 산업단지 등은 일종의 섬과 같은 형태로 추후의 자발적인 군집(clustering)과 집적(agglomeration)을 발생시키는 데는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 산업단지 조성 시 이러한 측면도 보다 면밀히 파악해 보고 추진할 필요가 있을 것이다.

V. 결론 및 향후 과제

우리나라 국토는 2000년대 초반 이후 수도권 외곽을 중심으로 난개발의 문제를 겪기 시작하였으며, 이에 대응하기 위하여 다양한 제도적 개선책을 마련한 바 있다. 그러나 공간계획제도는 각종 개발행위를 원천적으로 차단하기 위한 수단이 될 수는 없으며, 따라서 다양한 형태의 난개발은 아직도 진행 중인 국토·도시문제라고 할 수 있다. 예를 들어, 대도시 외곽의 아파트 난개발은 줄어들었다고 할 수 있으나, 비도시 지역의 공장 난개발, 도시지역 내부의 고층건물 난개발 등과 같은 공간문제가 나타나고 있다. 그리고 최근 각종 규제완화의 필요성이 대두되면서, 녹지·관리 지역에 대한 공장 증설이 보다 수월해지도록 제도가 개선되었으며,⁸⁾ 도시 내부의 재건축과 재개발에 대한 규제도 완화되면서 기존 도시지역의 고밀복합형 추진개발이 증가할 가능성도 존재한다.

그럼에도 불구하고 이로 인해 나타날 국토·도시

공간의 변화와 파급효과를 미리 검토하고 대응하기 위한 과학적 정책 지원수단은 아직 부족한 실정이다.

이러한 배경하에 본 논문에서는 행위자 기반 도시모형의 구축 방법론을 정립하고 실증모형을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형은 가구, 기업, 개발자 등 개별적 행위주체의 입지선택 행위를 상향식 관점에서 파악하기 위한 구성요소(효용극대화 원칙에 기반한 행위자 입지선택 모듈)를 핵심적인 요소로 하여 개발되었다. 그러나 동시에 행위자의 입지선택에 영향을 미치는 요인들을 하향식 관점에서도 반영할 수 있게 하는 구성요소(지역적, 전역적 요인을 반영할 수 있는 제약요인 모듈)까지 통합적으로 설계되었다. 따라서 이 연구에서 제안한 모형을 보다 보완하고 정교화하면 ‘정책 변화 → 행위 변화 → 공간 변화’로 이어지게 되는 일련의 과정에 대한 파급효과를 사전에 검토하여 볼 수 있다.

한편 본 논문은 기 개발되어 공개된 행위자 기반 모형을 수정·보완한 것이 아니라 자체적으로 논리적·기술적 프레임워크를 개발한 것으로, 독자성과 혁신성이 있는 연구 결과라고 할 수 있다. 본 논문에서 개발한 행위자 기반 도시모형은 외국의 연구자들이 개발하여 배포한 기존 모형 등의 논리적 전제와 기능에 종속되지 않으며, 독자적 확장 가능성을 가지고 있다. 따라서 후속의 연구개발을 통하여 독창적인 도시모형으로의 발전 가능성이 높다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서 개발한 행위자 기반 도시모형은 현재 상태로도 재사용이 가능하여 당해 연도 연구에서 시험연구 지역으로 선정된 부산권 이외의 다른 지역을 대상으로도 모형의 적용과 시뮬레이션 결과의 도출이 가능하다.

8) 녹지지역과 관리지역 지정 이전부터 운영해 온 공장은 앞으로 2년간 건폐율 40%까지 기존 부지 내 설비 증설 또는 근로복지시설 확충 등 시설 증설이 가능해짐(국토교통부 2014).

그러나 컴퓨터 프로그래밍 등에 관한 전문지식이 없는 정책결정자나 일반사용자가 사용하기에는 한계가 있는 상황인데, 이는 모형의 구동을 위한 그래픽사용자환경(GUI)까지 개발하지는 않았으며, 모형의 구동을 위해서는 모형의 소스코드에 대한 이해가 필요하기 때문이다.

그리고 보다 실용적인 정책지원 모형으로의 개발을 위해서는 대상이 되는 정책문제의 정의, 관련 데이터 분석작업 등도 추가적으로 필요하다고 할 수 있으며, 지속적인 연구개발을 통해 모형을 확장하고 보완해 나갈 필요성이 있다.

참고문헌 •••••

김동한, 2012. 행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계 분석에 관한 연구. 국토연구 75권: 69-85.

김동한, 서태성, 구형수, 강민규, 성해정, 김은빈, 2014. 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용 방안 연구. 안양: 국토연구원.

김창석, 남진, 1996. 수도권지역 기업본사의 입지이전 경로와 특성에 관한 연구. 국토계획 31권, 1호: 43-72.

김태환, 1990. 한국의 공업입지 결정요인에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교.

산업연구원, 1987. 기업의 입지결정요인분석. 서울: 산업연구원

안영수, 2013. 토지이용-교통모델 기반의 수도권 기업입지모형 개발 연구. 박사학위논문, 서울시립대학교.

이한일, 이변승, 2002. 수도권내 이전제조업체의 입지결정요인분석. 국토계획 37권, 7호: 103-116.

최창규, 이원영, 2008. 수도권 교외지역 개별입지공장 입지 요인에 대한 연구. 한국지역개발학회지 20권, 3호: 21-38.

한국경제, 2013. 김해 대동첨단산업단지 조성 '탄력'. 7월 29일. <http://golf.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=201307297600h&nid=009&sid=010620>(2014년 10월 20일 검색).

Alonso, W., 1964. *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Anas, A., 1982. *Residential Location Markets and Urban Transportation*:

Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models. New York: Academic Press.

Batty, M., 1989. Urban modelling and planning: Reflections, retrodictions and prescriptions. In *Remodelling Geography*. ed. B. Macmillan, 147-169. Oxford: Blackwell.

_____. 2004. Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics. *Environment and Planning A* 37, no.8: 1373-1394.

_____. 2008. Fifty years of urban modeling: Macro-statics to micro-dynamics. In *The Dynamics of Complex Urban Systems: An Interdisciplinary Approach*. eds. Albeverio, S., Andrey, D., Giordano, P. and Vancheri, A. Heidelberg: Physica-Verlag HD.

_____. 2009. Urban modelling. In *International Encyclopedia of Human Geography*. eds. Kitchin, R. and Thrift, N., 51-58. Amsterdam: Elsevier Science.

Batty, M. and Torrens, P. M., 2005. Modelling and prediction in a complex world. *Futures* 37, no.7: 745-766.

Benenson, I., 2004. Agent-based modeling: From individual residential choice to urban residential dynamics. In *Spatially Integrated Social Science*. eds. Goodchild, M. F. and Janelle, D. G. Oxford: Oxford University Press.

Couclelis, H., 2002. Why I no longer work with agents: A challenge for ABMs of human-environment interactions. In *Agent-based Models of Land-use and Land-cover Change*. eds. Parker, D. C., Berger, T. and Manson, S. M., 3-5. Belgium: LUCC International Project Office.

Crooks, A., Castle, C. and Batty, M., 2008. Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment and Urban Systems* 32, no.6: 417-430.

Huang, Q., Parker, D., Filatova, T. and Sun, S., 2013. A review of urban residential choice models using agent-based modeling. *Environment and Planning B: Planning and Design* 41, no.4: 661-689.

Iacono, M., Levinson, D. and El-Geneidy, A., 2008. Models of transportation and land use change: A guide to the territory. *Journal of Planning Literature* 22, no.4: 323-340.

Magliocca, N. R., Brown, D. G., McConnell, V. D., Nassauer, J. I. and Westbrook, S. E., 2014. Effects of alternative developer decision-making models on the production of ecological subdivision designs: Experimental results from an agent-based model. *Environment and Planning B: Planning and Design* 41, no.5: 907-927.

Manson, S. and O'Sullivan, D., 2006. Complexity theory in the study

of space and place. *Environment and Planning A* 38, no.4: 677-692.

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* 22, no.10: 1447-1459.

McFadden, D. 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. In *Frontiers in Econometrics*. ed. Zarembka, P., 105-142. New York: Academic Press.

O'Sullivan, D. 2008. Geographical information science: Agent-based models. *Progress in Human Geography* 32, 4: 1-10.

Schelling, T. C. 1971. Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology* 1: 143-186.

- 논문 접수일: 2015. 7. 10
- 심사 시작일: 2015. 7. 22
- 심사 완료일: 2015. 8. 5

요약

주제어: 행위자 기반 모형, 도시모형, 토지이용 변화, 도시계획, 복잡성

미시화되고 다양화되는 국토·도시 공간변화 어젠다에 과학적으로 대처하기 위해서는 이를 효과적으로 파악할 수 있는 방법론에 기반한 도시모형의 개발과 활용이 필요하다. 본 논문에서는 가구, 기업 등 개별적인 행위주체가 유발하는 공간변화를 사전에 파악해 볼 수 있는 행위자 기반의 도시모형 방법론을 정립하고, 실증적으로 활용 가능한 시험모형을 개발하였다. 자바(Java) 프로그래밍 언어 기반의 오픈소스 플랫폼을 활용하여 모형을 개발하였으며, 모형의 핵심 알고리즘으로는 도시경제학의 입지선택이론을

적용하였다. 모형의 타당성과 실용성을 검증하기 위하여 이론 시뮬레이션을 수행한 뒤, 부산권(부산시, 김해시, 양산시) 지역에 시범모형을 적용하여 개별 산업입지 등이 유발하는 공간변화를 시뮬레이션하고 결과를 분석하였다. 시뮬레이션은 두 가지 시나리오를 상정하여 수행하였다. 현 추세연장 시나리오 하에서는 개별 산업입지의 산발적인 외연적 확산이 나타나게 되나, 신규 산업단지 지정 등을 상정한 정책 시나리오하에서는 보다 압축된 공간구조의 형성이 가능할 것으로 나타났다.