

행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과 국토도시정책 활용방안 연구

Development and Application of an Agent Based Urban Simulation Model

김동한, 서태성, 구형수, 강민규, 성혜정, 김은빈

■ 연구진

연구책임 김동한 책임연구원

서태성 선임연구위원

구형수 연구원

강민규 연구원

성혜정 연구원

김은빈 연구인턴

■ 외부연구진

김현중 서울대학교 박사수료

이은영 오픈메이트 대표

채명기 SR C&P 대표

최성규 Various Links 대표

■ 연구심의위원

김동주 국토연구원 부원장

이원섭 국토연구원 국토계획연구본부장

안흥기 국토연구원 연구위원

김종학 국토연구원 책임연구원

윤서연 국토연구원 책임연구원

문태훈 중앙대학교 교수

조성균 국토교통부 서기관

발간사

국토와 도시공간은 시대적 여건을 반영하면서 끊임없이 변화하고 발전하고 있으며, 국토도시 정책은 이와 같은 변화에 대응하거나 변화를 견인하는 역할을 수행하고 있다. 이때 국토와 도시공간의 변화상을 미리 예측하고 정책의 효과성을 제고하기 위해서는 과학적인 지식에 기반한 정책지원 수단이 필요하다고 할 수 있는데, 서구 사회에서는 이와 같은 사회적 인식하에 1960년대 이후부터 다양한 도시모형이 개발되고 활용되어 왔다.

반세기가 넘는 기간 동안 변화하는 사회경제적 여건과 정책적 필요성에 따라 다양한 형태의 도시모형이 나타났는데, 최근에는 가구와 기업 등 도시를 구성하는 개별적인 행위주체들이 도시공간에 미치는 영향을 보다 구체적으로 살펴보고 이를 기반으로 도시공간의 변화를 파악하고자 하는 행위자 기반 모형이 서구 선진국을 중심으로 발전하고 있다.

이 연구는 국내에서 행위자 기반 도시모형을 개발하고 정책적 활용성을 파악하기 위한 선도적인 연구이다. 우리의 국토도시도 안정성장기에 접어들면서 국가주도의 대규모 개발에서 국민과 기업의 활동이 주도하는 시대로 변화하고 있고 공간변화의 동인이 보다 미시화되고 다양화되고 있어 이와 같은 연구는 시기적으로도 적절한 것이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 행위자 기반의 도시모형을 개발하고 사례지역에 적용하여 기본시나리오와 정책시나리오 하에서의 미래의 공간변화를 살펴보고 정책적 활용성을 살펴보았다. 그러나 도시모형을 개발하고 완성하는 것은 단연도 연구로 충족되기는 어려울 것이며, 중장기적인 노력이 필요한 것이라고 할 수 있다. 이번 연구를 통하여 국내의 도시모형 개발과 활용을 촉진하기 위한 노력이 보다 더 활성화되고, 또한 다양한 전문가들의 협력이 확대되는 계기가 되기를 바란다.

마지막으로 이 연구를 충실히 수행한 김동한 책임연구원, 서태성 선임연구위원,

구형수, 강민규, 성혜정, 연구원, 김은빈 연구인턴의 노고를 치하하며, 그리고 연구수행에 도움을 주신 외부연구진과 연구의 방향설정 등을 위해 조언을 아끼지 않은 연구심의위원과 연구자문위원께도 감사드린다.

2014년 12월

국토연구원장 김 경 환

주요 내용 및 정책제안

본 연구보고서의 주요 내용은 다음과 같음

- ① 미시화되고 다양화되는 국토도시 공간변화 어젠다에 과학적으로 대처하기 위해서는 이를 효과적으로 파악할 수 있는 방법론에 기반한 도시모형의 개발과 활용이 필요함
- ② 가구, 기업 등 개별적인 행위주체가 유발하는 공간변화를 사전에 파악해 볼 수 있는 행위자 기반의 도시모형 방법론을 정립하고, 실증적으로 활용가능한 시험모형을 개발함
- ③ 부산권(부산, 김해, 양산) 지역에 시범모형을 적용하여 고밀복합개발입지, 개별산업입지 등이 유발하는 공간변화를 시뮬레이션하고 결과를 분석함
- ④ 현추세 연장 시나리오 하에서는 산발적인 고밀개발과 외연적 확산이 나타나게 되나, 고밀복합형 재정비촉진지구, 신규산업단지 지정 등을 상정한 정책 시나리오 하에서는 보다 압축된 공간구조의 형성이 가능할 것으로 나타남

본 연구보고서의 정책제안은 다음과 같음

- ❶ 개발규제완화, 도시재생사업 등으로 인해 나타나게 될 국토공간 변화와 과급효과를 구체적으로 검토하고 국토도시 정책의 불확실성을 감소시키기 위한 과학적 정책 지원수단의 개발과 활용을 촉진할 필요가 있음
- ❷ 행위자 기반 도시모형을 지속적으로 개발하여 “정책변화 → 행위변화 → 공간변화”로 이어지는 사회경제적 과급효과를 사전에 시뮬레이션해 볼 수 있는 통합적 계획지원체계로 발전시켜 나갈 필요가 있음
- ❸ 도시모형과 계획지원체계 등을 활용한 합리적 분석과 시나리오에 기반한 미래공간구조의 구상 등을 국토도시정책(national planning policy)에 반영할 수 있도록 관련된 공간계획체계와 법제도를 보완해 나갈 필요가 있음

요약

1. 연구의 배경 및 목적

- 국토변화발전의 동인이 다양화되고 미시화됨에 따라 향후의 국토도시 정책변화 어젠다에 과학적으로 대처하기 위해서는 새로운 방법론에 기반한 도시모형의 개발과 활용이 필요
 - 라우리 모형이후 토지이용과 교통간의 상호관계에 중점을 두고 도시공간의 성장과 변화를 파악하기 위한 다양한 도시모형이 개발되었으나, 주로 하향식 관점에서 신도시 등 대규모 토지공급과 교통수요 추정 등에 중점을 두었음
 - 향후에는 기업, 가구 등 미시적인 행위주체가 유발하는 공간변화를 상향식 관점에서 파악하고 이에 대한 공간정책의 파급효과를 다양한 시나리오 하에서 예측해 볼 수 있는 도시모형을 개발하고 활용할 필요성이 있음
- 이 연구의 주요 목적은 미시적이고 동태적 관점에서 국토 및 도시 공간구조의 변화를 시뮬레이션하기 위한 도시모형을 개발하는데 있음
 - 이를 위해 도시계획과 지리학 등의 분야에서 최근 활발히 논의되고 있는 행위자 기반 모형(agent based model) 방법론을 활용하고자 하며, 이때 행위자의 입지선택을 위한 기반이론으로는 계량경제학의 입지이론을 적용
 - 그리고 개발한 시뮬레이션 모형을 사례 지역에 적용하여, 다양한 정책 시나리오에 따른 공간적 변화를 시뮬레이션하고 모형의 활용성을 검토
 - 나아가 향후 국토와 도시공간의 변화를 연구하기 위한 새로운 연구방법론을 정립하고, 국토도시정책의 수립과 집행에 기여할 수 있는 과학적 수단을 제시

2. 행위자 기반 도시모형의 개념과 특징

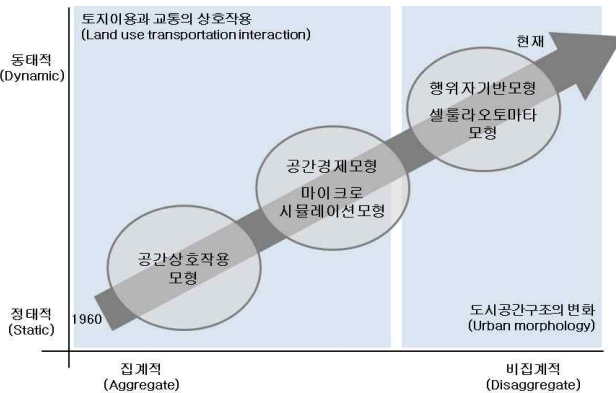
□ 행위자 기반 모형의 개념

- 행위자 기반 모형은 개별 행위자와 주변 환경을 기본적인 구성요소로 하여 대상 시스템을 구체화하고, 이들 간 상호작용에 따른 시스템의 변화를 동태적으로 시뮬레이션 하는 모형
- 나비효과(butterfly effect) 등 자연계를 연구하는 새로운 이론인 복잡계 이론(complexity theory)에 기반하고 있으나, 그러나 과거 뉴턴(Newton) 물리학의 이론 등과 같이, 사회 현상을 파악하는 새로운 틀로 그 활용이 확산되고 있음
- 특히, 경제학자 Thomas Schelling이 서로 다른 인종간의 주거분리(residential segregation) 현상을 개인의 선호에 따른 요인을 기반으로 설명한 이후에 사회과학 분야에서도 행위자 기반 모형의 활용가치가 증대되기 시작

□ 행위자 기반 도시모형의 특성과 장점

- 도시공간의 변화를 이해하고 정책지원 수단으로 활용하기 위하여 다양한 방법론에 기반한 도시모형이 개발되어 왔으나, 최근에는 서구 선진국을 중심으로 행위자 기반 도시모형의 개발과 활용이 증가하고 있음

<도시모형 주요 패러다임의 변화과정>



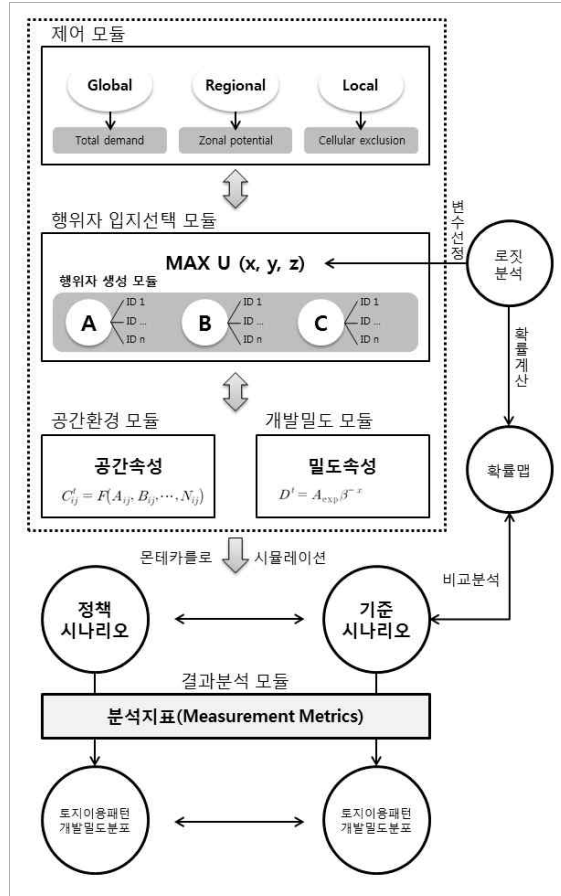
- 행위자 기반 모형은 가구나 기업 등 도시를 구성하는 각 행위집단과 행위주체 간들의 사회경제적 행위를 중심으로 도시현상을 설명함으로써, 국토와 도시의 변화를 상향식 관점에서 미시적이고 동태적으로 이해할 수 있게 함

3. 행위자 기반 도시모형의 설계와 개발

□ 모형의 기본구조

- 공간의 변화를 유발하는 행위체로 가구와 기업 등을 고려하며, 이들은 자신의 효용을 극대화하는 장소에 입지
- 입지선택에 영향을 미치는 변수와 계수는 로짓분석을 수행하여 정의
- 각 행위자가 선호에 따라 입지선택을 수행하면, 이의 결과로 토지이용 속성과 개발 밀도가 변화
- 이때 공간변화의 총량과 지역별 비율 등은 외생변수 또는 시나리오 상의 가설 등 제약요인에 의해 영향을 받음
- 시뮬레이션의 수행은 몬테카를로 기법에 의하여 여러 번 수행하고, 확률값을 도출할 수 있도록 설계
- 시뮬레이션 결과의 분석은 토지이용패턴과 개발밀도분포 등 별도의 측정지표를 적용하여 수행하고, 서로 다른 미래 공간구조의 특성을 비교·검토

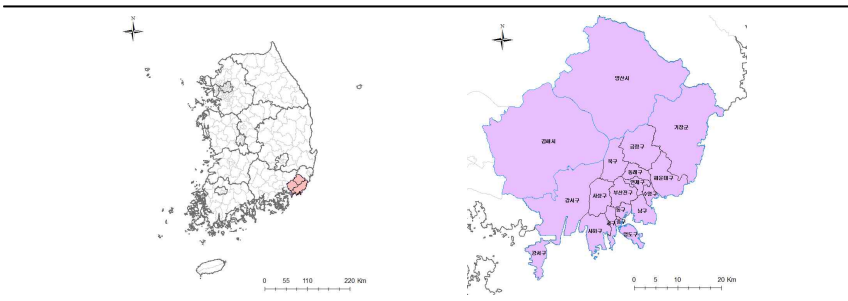
<모형의 기본구조 및 시뮬레이션 수행과정>



4. 모형의 실증 적용

- 모형의 성능과 유용성을 검토하기 위하여 사례지역을 선정하고 모형구동에 필요한 변수와 계수선정을 위한 기초분석 수행
 - 사례지역은 도시내부의 고밀복합개발과 도시외곽의 개별 난개발이 동시에 진행되고 있는 부산권(부산, 양산, 김해)으로 선정
 - 개발자(developer)와 개별산업(manufacturing firm)을 각각 고밀복합개발과 개별산업입지를 유발하는 행위주체로 상정하고 로짓분석을 통해 입지결정요인을 분석하고 모형에 반영

<사례연구 대상지>



<고밀복합개발입지 영향요인>

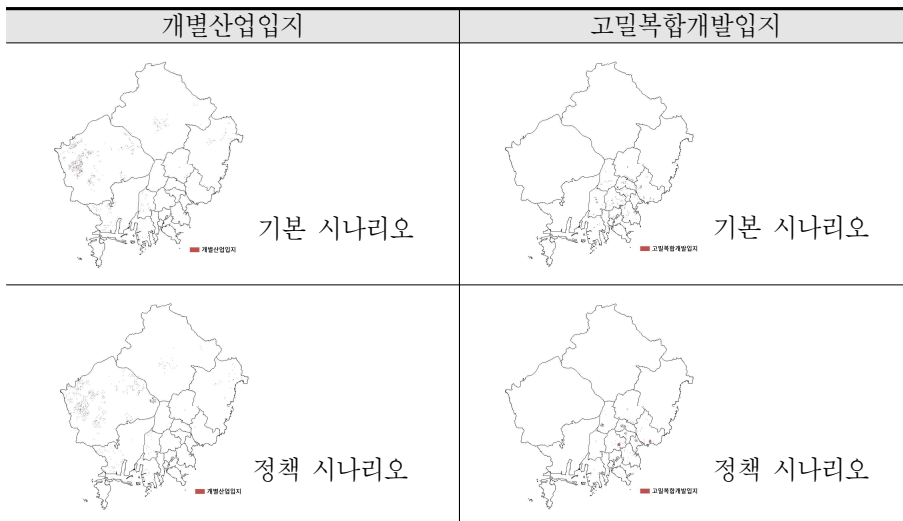
구분	변수
경제성	평균 공시지가(블록)
	평균 가구소득(블록)
근린 특성	상주인구밀도(집계구별, 인/ha)
	유동인구 집중도
	학교와의 거리(m)
	반경 200m 내 주거지역 토지이용 수
	반경 200m 내 상업지역 토지이용 수
	문화시설과의 거리(m)
교통 특성	도로와의 거리(m)
	지하철역과의 거리(m)
자연 특성	표고(m)
	경사(도)

<개별산업입지 영향요인>

구분	변수
경제성	평균 공시지가(원)
배후 특성	경제활동인구수(블록 자료*)
	제조업종사자수(읍면동)
	반경 500m 내 공업지역 토지이용 수
	녹지지역(녹지지역=1, 녹지지역 아님=0)
교통 특성	도로와의 거리(m)
	IC까지의 거리(m)
	기차역까지의 거리(m)
자연 특성	표고(m)
	경사(도)

- 시뮬레이션은 현추세연장 시나리오와 압축개발 정책시나리오를 대상으로 수행하고 결과를 분석
 - 현추세 연장 시나리오는 현재와 같은 공간변화 패턴이 향후에도 계속될 경우를 상정
 - 정책 시나리오는 충전개발 및 고밀개발 정책을 상정하고 부산에는 고밀복합형 재정비촉진지구의 지정을 김해와 양산에는 개별공장 입지 및 증설 기준을 강화하는 한편 새로운 산업단지의 신설을 전제
- 현추세 연장 시나리오 하에서는 부산시 내부에서는 해운대 등 부동산 투자가치가 높은 곳 위주로 산발적 고밀개발이 진행되고 김해시, 양산시 등에서는 개별산업입지 증가에 따른 도시의 외연적 확산이 나타남
- 정책 시나리오 하에서는 부산시 내부에는 고밀복합개발의 무분별한 난개발이 감소하고 주요 거점 위주로 복합고밀 개발이 분산적 집중 형태로 발생되고 김해시, 양산 등에는 개별공장 난개발이 감소하는 것으로 나타남

<시뮬레이션 수행결과>



5. 향후연구 및 정책과제

□ 향후연구

- 모형의 실증성을 제고하기 위해 외생변수로 모형에 반영한 부분 등에 관해 추가적인 분석을 수행하고 이에 해당하는 부문 모형을 추가로 개발할 필요가 있음
- 모형이 산출한 다양한 대안적 미래의 의미와 효과를 보다 체계적으로 이해하고 시뮬레이션 결과의 의미를 분석하고 평가하기 위해서 적절한 분석지표(measurement metrics)를 개발할 필요가 있음
- 모형을 보다 범용적인 정책지원수단으로 활용할 수 있도록 모형구동과 결과분석을 위한 일련의 기능이 하나로 통합된 계획지원시스템(planning support systems)으로의 확장 개발이 필요

□ 정책제언

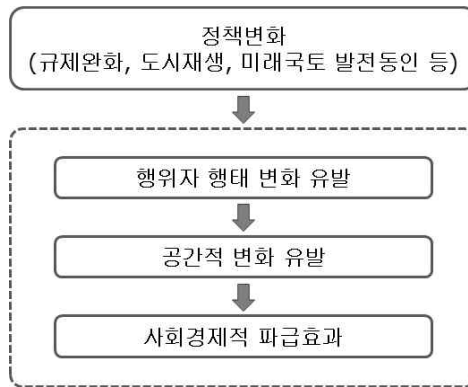
- 개발규제완화, 도시재생사업 등으로 인해 나타나게 될 국토공간 변화와 파급효과를 구체적으로 검토하고 국토도시 정책의 불확실성을 감소시키기 위한 과학적 정책 지원수단의 개발과 활용을 촉진할 필요가 있음

- 행위자 기반 도시모형을 지속적

으로 개발하여 “정책변화 → 행위변화 → 공간변화”로 이어지는 사회경제적 파급효과를 사전에 시뮬레이션해 볼 수 있는 통합적 계획지원체계로 발전시켜 나갈 필요가 있음

- 도시모형과 계획지원체계 등을 활용한 합리적 분석과 시나리오에 기반한 미래공간구조의 구상 등을 국토도시정책(national planning policy)에 반영할 수 있도록 관련된 공간계획체계와 법제도를 보완해 나갈 필요가 있음

<정책변화 및 파급효과>



차례

발 간 사	i
주요 내용 및 정책제안	ii
요 약	v
I. 연구의 개요	3
1. 연구의 배경과 필요성	3
1) 연구 배경	3
2) 연구 필요성	4
2. 연구의 목적	4
3. 연구범위, 방법, 절차	5
1) 연구의 범위	5
2) 연구의 방법	5
3) 연구의 흐름	7
4. 선행연구와의 차별성	8
1) 선행연구 현황	8
2) 선행연구와 본 연구와의 차별성	8
5. 연구의 기대효과	10
1) 학술적 측면	10
2) 정책적 측면	10
II. 행위자 기반 모형의 이론적 배경과 선행연구 검토	31
1. 도시모형의 기능, 역할, 전망	13
1) 공간상호작용모형	14
2) 공간경제모형	15

3) 마이크로 시뮬레이션 모형	17
4) 셀 기반 모형	18
5) 기존 모형 검토의 시사점	19
2. 행위자 기반 모형의 개념과 특성	20
3. 도시모형 방법론으로서의 행위자 기반 모형	23
 III. 행위자 기반 도시모형 개발을 위한 기초분석	72
1. 국토·도시 발전과 공간변화	27
2. 공간변화의 유형과 특성	28
3. 공간변화의 행위주체와 주요 영향요인	30
 IV. 행위자 기반 도시모형의 설계와 개발	3
1. 모형개발의 접근방법 및 고려사항	35
1) 기본 방향	35
2) 공간 단위	37
3) 시간 단위	37
4) 모형의 검사, 보정, 검증	38
2. 모형의 구성요소	39
1) 공간환경 모듈	40
2) 공간밀도 모듈	41
3) 행위자 생성 모듈	43
4) 행위자 입지선택 모듈	44
5) 제약요인 모듈	45
6) 시뮬레이션 결과분석 모듈	47
3. 모형의 논리적 구조와 구동절차	48
4. 모형의 개발환경 및 개발방법	51
5. 예비 시뮬레이션 수행 및 모형의 기본성능 검토	54
1) 입지 함수에 대한 시뮬레이션	54
2) 밀도 함수에 대한 시뮬레이션	56

V. 행위자 기반 도시모형의 적용과 결과분석	36
1. 사례연구 대상지 현황	63
1) 대상지 선정 배경	63
2) 인구현황	64
3) 지형지세	66
4) 토지피복 및 용도지역	67
5) 도로망 등 교통네트워크	70
6) 공시지가	71
7) 개발밀도	71
8) 정비예정구역 현황	74
2. 모형구동을 위한 실증분석	77
1) 행위자의 유형정의	77
2) 입지요인의 추정	78
3) 고밀복합입지의 개발밀도 추정	94
4) 외생변수 설정	198
3. 시나리오별 시뮬레이션	101
1) 기준 시나리오	101
2) 정책 시나리오	102
4. 시나리오별 결과분석	104
1) 기준 시나리오	105
2) 정책 시나리오	107
3) 시나리오별 결과 비교 및 시사점	109
VI. 결론 및 향후과제	113
1. 모형의 의의 및 한계	113
2. 모형의 활용 및 확장방안	114
3. 향후과제	117
1) 부문모형과 하위모형의 개발	117
2) 분석 지표의 개발	117
3) 통합적 계획지원시스템으로의 개발	118

4) 국토도시 정책과의 연계	118
참고문헌	121
SUMMARY	133

<표 1-1> 선행연구와의 차별성	2
<표 2-1> 행위자 기반 모형의 유형 구분	24
<표 3-1> 도시성장단계 구분 및 인구변화특성	91
<표 3-2> 주거, 상업, 산업입지의 주요요인	141
<표 4-1> 직접지표와 간접지표의 종류	84
<표 4-2> 행위자 기반 모형 개발 플랫폼 비교	241
<표 5-1> 사례연구 대상지 행정구역별 면적과 인구현황	51
<표 5-2> 사례연구 대상지 특성 비교	71
<표 5-3> 사례연구 대상지 용도지역 비율	81
<표 5-4> 사례연구 대상지 토지피복 비율	91
<표 5-5> 부산시 정비예정구역 선정 기준	51
<표 5-6> 부산시 정비예정구역 지정 현황	61
<표 5-7> 고밀복합개발입지 결정요인 변수설명	21
<표 5-8> 고밀복합개발입지 결정요인 분석결과	71
<표 5-9> 개별산업입지 결정요인 변수설명	91
<표 5-10> 개별산업입지 결정요인 분석결과	21
<표 5-11> 단핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수	51
<표 5-12> 다핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수	61
<표 5-13> 고밀복합개발입지 개발밀도(층수) 결정요인 분석결과	81
<표 5-14> 사례연구 대상지 인구 및 가구수 변화추세	91
<표 5-15> 사례연구 대상지 개별산업입지 변화추세	91
<표 5-16> 토지이용의 분산 및 집중 정도 분석결과(기준 시나리오)	50
<표 5-17> 도심지와외곽의 거리에 따른 밀도패턴 분석결과(기준 시나리오)	50
<표 5-18> 복합이용지수 분석결과(기준 시나리오)	60

<표 5-19> 토지이용의 분산 및 집중 정도 분석결과(정책 시나리오) ..	70
<표 5-20> 도심지와의 거리에 따른 밀도패턴 분석결과(정책 시나리오)	70
<표 5-21> 복합이용지수 분석결과(정책 시나리오)	80

<그림 1-1> 연구 흐름도	
<그림 2-1> 도시모형 패러다임 변화과정	4
<그림 2-2> 쉼링의 주거분리 모형 시뮬레이션 사례	1
<그림 4-1> 도심지로부터 거리증가에 따른 밀도변화 시뮬레이션	2
<그림 4-2> 모형의 기본구조 및 시뮬레이션 수행절차	0
<그림 4-3> 모형 개발 화면	35
<그림 4-4> 모형 초기화 화면	35
<그림 4-5> 입지선택에 영향을 미치는 독립변수	5
<그림 4-6> 효용변화 시뮬레이션	6
<그림 4-7> 단일도심 밀도변화 시뮬레이션	7
<그림 4-8> 복수도심 밀도변화 시뮬레이션	8
<그림 5-1> 사례연구 대상지	46
<그림 5-2> 사례연구 대상지 인구분포현황	6
<그림 5-3> 사례연구 대상지 표고 및 경사	7
<그림 5-4> 사례연구 대상지 토지피복 및 용도지역	8
<그림 5-5> 사례연구 대상지 도로현황 및 교통네트워크	0
<그림 5-6> 사례연구 대상지 공시지가 현황	1
<그림 5-7> 사례연구 대상지 법정 개발밀도	2
<그림 5-8> 사례연구 대상지 실제 개발밀도(층수 기준)	3
<그림 5-9> 사례연구 대상지 실제 개발밀도(용적률 기준)	4
<그림 5-10> 부산시 정비예정구역의 공간적 분포	7
<그림 5-11> 고밀복합개발 건물의 추출 과정	9
<그림 5-12> 고밀복합개발입지 종속변수	3
<그림 5-13> 고밀복합개발입지 독립변수	3
<그림 5-14> 고밀복합개발 입지확률	8

<그림 5-15> 개별산업입지 종속변수	0
<그림 5-16> 개별산업입지 독립변수	0
<그림 5-17> 개별산업 입지확률	4
<그림 5-18> 단핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수	6
<그림 5-19> 다핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수	7
<그림 5-20> 기본 시나리오 시뮬레이션 수행결과	101
<그림 5-21> 부산시 고밀복합형 재정비촉진지구 지정가능지	30
<그림 5-22> 김해시 신규산업단지 지정가능지	301
<그림 5-23> 정책 시나리오 시뮬레이션 수행결과	401
<그림 6-1> 정책변화 및 파급효과	51
<그림 6-2> 도시밀도에 따른 공간구조 구분(예시)	61

chapter I

연구의 개요

연구의 개요

이 장에서는 향후 국토공간의 변화를 효과적으로 파악하기 위한 새로운 과학적 수단으로써 행위자 기반 도시모형의 필요성에 대해서 설명하고, 모형을 개발하고 사례지역에 시험적용한 뒤 정책적 활용방안을 제시하고자 하는 연구의 목적을 제시하였다. 그리고 연구의 주요 방법론, 연구의 범위와 흐름에 대해서 설명하고, 관련된 선행연구와의 차별성과 연구의 기대효과를 제시하였다.

1. 연구의 배경과 필요성

1) 연구 배경

우리 국토는 고도성장과 대규모 신규개발 사업이 주도하던 시대를 지나, 안정 성장과 다변화된 개발이 주도하는 시대를 맞이하고 있다. 특히 도시지역의 외연적 확산뿐만 아니라 도시쇠퇴 및 재생, 고밀개발, 복합적 토지이용 등이 향후 국토 및 도시 공간변화의 주요한 의제로 등장하였다.

국토변화발전의 동인이 다양화됨에 따라, 국토를 보다 미시적인 관점에서 계획관리하는 국토도시정책(national urban policy)으로 패러다임이 변화하고 있고, 이와 같은 국토도시 정책변화 아젠다에 과학적으로 대처하기 위해서는 새로운 방법론에 기반한 도시모형의 개발과 활용이 필요하다고 할 수 있다.

2) 연구 필요성

1960년대 개발된 라우리(Lowry) 모형을 필두로 하여 도시공간의 성장과 변화를 파악하기 위한 다양한 도시모형(urban model)이 개발되고 활용된 바 있다. 전통적인 도시모형은 교외도시의 성장, 신도시의 개발 등이 도시정책의 주요 아젠다였던 시기에 발전하기 시작한 것으로 주로 하향식(top-down) 관점에서 토지이용과 교통망의 상호관계에 중점을 두고 대규모 토지공급과 이에 대응하는 교통수요 추정 등에 주요 관심을 두고 있으며, 행정구역과 같은 존(zone) 단위의 집계(aggregate) 데이터를 사용하여 분석결과를 산출하고 있다.

전통적인 도시모형은 토지이용·교통모형(Land Use Transportation Interaction Model)으로 일컬어지기도 하는데 그 자체의 타당성과 유용성을 가지고 있으나, 난개발, 개별입지 등 보다 미시화되고 다양해진 국토와 도시 공간문제를 탐색하고 관련 정책의 파급효과를 살펴보는 데는 한계를 가지고 있다.

이에 따라 서구 선진국 등에서는 1980년대 이후 보다 다양한 이론과 방법론에 기반한 도시모형의 개발이 추진되고 있는데, 국토발전 현상과 동인을 상향식(bottom-up) 관점에서 보다 구체적으로 파악하고 대처하기 위해서는 이에 적합한 방법론에 기반한 도시모형의 개발과 활용이 필요하다. 특히 향후에는 정부주도의 대규모 개발보다는 민간주도의 중소규모 개발이 국토도시의 변화를 주도할 것으로 예상되고 있어, 기업, 가구 등 미시적인 행위주체가 유발하는 공간변화와 이에 대한 공간정책의 파급효과를 다양한 시나리오 하에서 예측해 볼 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하고 관련 정책의 효율적 수립과 집행에 활용하기 위한 방안을 모색해 볼 필요성이 있다.

2. 연구의 목적

이 연구의 주요 목적은 미시적이고 동태적 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 활용하고자 한다. 행위자 기반 모형은 도시공간의 변화를 가구나 기업 등 개별 행위자의 의사결정행위(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, 이 연구에서는 행위자의 입지선택을 위한 기반이론으로는 계량경제학의 입지이론을 적용하여 모형을 개발하고자 한다. 그리고 개발한 모형을 사례 지역에 적용하여 모형의 논리적실증적 타당성을 검토하고, 다양한 정책 시나리오에 따른 공간적 변화를 시뮬레이션하여 모형의 실용성을 검토하고자 한다.

이와 같은 일련의 과정을 통하여 궁극적으로는 향후 국토 및 도시공간의 변화를 연구하기 위한 새로운 도시모형 연구방법론을 정립함과 동시에, 지속가능한 국토도시 정책의 수립과 집행에 기여할 수 있는 정책 지원 수단(planning support system)으로의 발전 가능성을 제시하고자 한다.

3. 연구의 범위, 방법, 절차

1) 연구의 범위

이 연구의 내용적, 공간적, 시간적 범위는 다음과 같다.

먼저 이 연구의 내용적 범위는 현실 공간에 적용하여 타당성 있는 결과물의 산출이 가능한 작동 가능한 행위자 기반 도시모형을 개발하는 것을 중심으로 구성된다. 개발하는 모형은 단연도 연구로 완성되는 모형이라기보다는 지속적 연구개발이 필요한 시험모형(pilot model)의 성격을 지닌다. 모형은 개별 행위자의 입지선택을 기준으로 미시적이고 동태적인 관점에서 도시의 외연적 확산, 도시 내부의 고밀개발 등과 같은 공간적 변화를 시뮬레이션할 수 있도록 구성하며, 이때 인구변화 등 보다 거시적인 사회경제지표가 미치는 영향은 외생변수(exogenous parameter)로 고려하

도록 한다.

다음으로 이 연구의 공간적 범위는 다음과 같다. 모형의 기본적인 행태 검증에 위한 이론 시뮬레이션의 경우 2차원 유클리디언 공간(R^2)에서 수행한다. 그리고 모형의 현실적 적용 가능성을 검토하기 위한 사례연구 지역은 난개발, 도시재생, 고밀개발 등을 복합적으로 겪고 있는 부산권(부산, 김해, 양산) 지역으로 선정하여 시뮬레이션을 수행하고 시사점을 도출한다.

마지막으로 이 연구의 시간적 범위는 다음과 같다. 모형을 통해 수행하는 시뮬레이션의 시간적 범위는 목적에 따라 자유롭게 설정할 수 있도록 모형을 개발하나, 사례지역을 대상으로 수행하는 시뮬레이션은 각종 데이터 구축 및 분석의 기준이 되는 현재로부터 약10년 후인 2025년을 상정하고 공간변화를 시뮬레이션을 실시한다.

2) 연구의 방법

이 연구는 다음과 같은 일련의 방법론을 통해 수행하였다. 먼저 도시모형과 행위자 기반 모형에 관한 선행연구를 검토하고 도시모형의 발전동향과 행위자 기반 모형의 주요 특징을 고찰하였다. 그리고 주거, 상업, 산업 등 행위자 기반 도시 모형에서 고려할 수 있는 행위 주체의 입지선택에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위하여 관련 이론과 연구들을 검토하였다.

도시모형은 궁극적으로는 컴퓨터 프로그램의 형태로 작동하게 되며, 기 개발된 모형을 활용하는 것이 아니라면 모형의 논리적 구조를 컴퓨터 프로그램으로 구현하는 개발과정이 필요하다. 이 연구에서는 Java 프로그래밍을 통하여 행위자 기반 도시 모형을 직접 개발하였는데, 이때 오픈소스 기반의 행위자 기반 모형 프로그래밍 플랫폼을 활용하여 컴퓨터 프로그래밍에 필요한 시간과 비용은 최소화하도록 하였다. 그리고 개발된 모형이 실제로 작동하는지 타당한 결과를 산출하는지 파악하기 위해서 사례 지역을 대상으로 실험연구를 수행하여 모형을 적용하고 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 이때 모형을 구동하기 위한 변수의 선정과 계수의 결정은 로짓 분석(logistic analysis)을 시행하여 결정하였다.

3) 연구의 흐름

<그림 1-1> 연구 흐름도



4. 선행연구와의 차별성

1) 선행연구 현황

행위자 기반 도시모형의 개발은 주로 국외의 연구자를 중심으로 진행되고 있다. 그러나 각각의 행위자 기반 도시모형에서 가장 중심이 된다고 할 수 있는 행위자의 의사결정행위와 관련해서는 대부분의 경우는 연구자가 임의적(ad-hoc)으로 정의한 행위규칙을 적용하는 경향이 있다. 이러한 한계를 극복하고 체계적인 입지선택 이론을 접목하여 행위자 기반 도시모형으로 개발한 사례는 국외의 연구자를 중심으로 일부 진행되고 있는데, 그러나 이 경우의 대부분은 이론적 차원의 모형개발이라고 할 수 있다. 이론적 가설에 기반한 행위자의 의사결정 특성을 이론공간에서 재구성하거나(Heikkilä & Wang, 2009), 통계정보를 기반으로 추출한 행위자의 행위특성을 이론공간에 대입하여 그 결과를 살펴보거나(Brown & Robinson, 2006), 가설적 행위자를 공간정보를 활용하여 사례지역에 적용한 연구(Kim & Batty, 2011) 등이 있다.

즉, 기존의 행위자 기반 도시모형 연구동향을 살펴보면, 현실 공간을 대상으로 복잡 다양한 공간변화를 시뮬레이션 하기보다는, 이론 공간 등을 상정하여 단핵도심 구조하에서의 임대가격 형성패턴 등을 시뮬레이션하거나, 난개발 등 외연적 도시확산의 형태적 특성 등을 파악하는데 주요 초점을 두고 있다.

2) 선행연구와 본 연구와의 차별성

이 연구는 행위자 기반 도시모형을 개발하는데 있어, 연구자가 임의적으로 정의한 의사결정규칙 등을 적용하지 않고 계량경제학의 입지이론에 기반하여 모형을 개발함으로써 모형의 이론적 체계성을 제고하고자 한다. 그리고 도시의 단순한 외연적 확산뿐만 아니라 도시재생, 고밀개발 등 보다 여러 형태의 공간변화를 파악하고자 하며, 이때 다양한 공간적 실증분석을 결합하여 모형의 현실성과 구체성을 제고하고자 한다는 측면에서 선행연구들과 차별성을 가진다고 할 수 있다.

<표 1-1> 선행연구와의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주 요 선 행 연 구	1	•과제명: Modeling urban growth: An agent based microeconomic approach to urban dynamics & spatial policy simulation •연구자: Kim & Batty(2011) •연구목적: 도시경제 입지이론 및 행위자 기반 모형의 접근을 통한 동태적 도시성장모형 구축	•문헌 연구 •이론 모형 정립 •동태적 시뮬레이션 •사례지역 연구	•문헌 연구 •공간적 외부효과 등을 고려한 주거 입지모형 정의 •자바 프로그래밍을 통한 행위자 기반 모형 개발 •이론 공간 시뮬레이션 수행(동태적, 이차원 공간) •수도권 지역을 대상으로 시뮬레이션 수행 •결과분석 및 시사점 도출
	2	•과제명: Fujita and Ogawa revisited: an agent-based modeling approach •연구자: Heikkila & Wang(2009) •연구목적: Fujita-Ogawa 모형을 행위자 기반 모형의 틀로 구현	•문헌 연구 •개념 모형 정립 •동태적 시뮬레이션	•Fujita-Ogawa 모형 고찰 •행위자 기반 모형의 특성 고찰 •이론 공간 시뮬레이션 수행(동태적, 이차원 공간) •결과분석 및 시사점 도출
	3	•과제명: Effects of Heterogeneity in Residential Preferences on an Agent-Based Model of Urban Sprawl •연구자: Brown & Robinson(2006) •연구목적: 행위자 기반 모형을 활용하여 도시 난개발 패턴 시뮬레이션	•문헌 연구 •개념 모형 정립 •행위자 입지선택 영향요인 분석 •동태적 시뮬레이션	•선행연구 고찰 •개념 모형 정의 •디트로이트 지역 사례 분석을 통한 행위자 입지선택 영향요인 및 모형계수 정의 •이론 공간 시뮬레이션 수행(동태적, 이차원 공간) •결과분석 및 시사점 도출
본 연구		•고밀복합개발 등 새로운 국토발전 동인에 대응할 수 있는 행위자 기반의 시뮬레이션 모형을 개발 •다양한 정책 시나리오하에서 시뮬레이션을 수행하고 시사점을 도출	•문헌연구 및 자료수집 •이론모형 정립 •행위자 기반 도시모형 개발 •사례 지역 적용 및 시뮬레이션 수행	•관련 이론 및 선행연구 검토 •동태작미시적 공간변화 시뮬레이션을 위한 행위자 기반 도시모형 정립 •행위자 기반 도시모형 개발 및 가능 검토 •국토도시정책 시나리오에 따른 공간변화 예측 •결과분석 및 향후과제 제안

5. 연구의 기대효과

1) 학술적 측면

학술적 측면에서 이 연구의 기대효과는 크게 두 가지로 제시할 수 있다.

먼저 도시모형 측면에서는 기존의 도시모형은 주로 토지이용과 교통의 상호 피드백 관계에 중점을 두고 존(zone) 단위의 집계(aggregate)된 결과물을 산출하나, 이 연구는 행위자의 미시적 입지선택 행위를 기반으로 셀(cell) 단위의 비집계(disaggregate)된 결과물을 산출함으로써 도시모형을 통해 보다 구체적인 공간변화 패턴을 도출할 수 있는 접근방법을 제시할 수 있다. 그리고 아직 시작단계에 있는 행위자 기반 도시모형의 발전에 기여할 수 있다.

다음으로 계량경제 입지이론 및 모형 관점에서는 기존의 이론체계는 정태적(static)인 측면에서 이론적 전제조건(단일 행위자, 일차원 단순 이론 공간 등에 기반하여 장기 균형(long-term equilibrium) 상태에서의 도시공간 구조 설명에 주요 초점을 두고 있으나, 이 연구는 이와 같은 입지이론의 전제조건을 완화하고 이를 시뮬레이션 모형에 도입하여 도시의 외연적 확산뿐만 아니라 고밀개발, 복합이용 등 도시공간이 다양한 형태로 변화하는 과정을 시뮬레이션하는 새로운 접근방법을 제시한다.

2) 정책적 측면

정책적 측면에서 이 연구는 국토와 도시의 재생, 입체화, 복합화 시대에 대응하여 도시공간이 변화하고 도시권이 발전되는 시공간 패턴을 다양한 시나리오하에서 검토할 수 있는 과학적 수단을 마련하고 이의 활용방안을 제시할 수 있다. 이 연구에서 개발하는 모형에서는 행위자의 의사결정에 영향을 미치는 각종 개발규제의 완화 또는 강화, 산업 단지의 지정, 고밀복합형 재개발촉진지구의 지정 등과 같은 현실적 정책수단을 고려할 수 있고 이를 통해 국토도시정책 결정의 불확실성을 감소시키고 현실 대응성을 높이는 데 기여할 수 있다. 나아가 도시모형을 체계적 정책지원 수단으로 발전시킨 계획지원체계(planning support systems)의 개발과 활용을 촉진할 수 있다.

chapter II

행위자 기반 모형의
이론적 배경과 선행연구 검토

행위자 기반 모형의 이론적 배경과 선행연구 검토

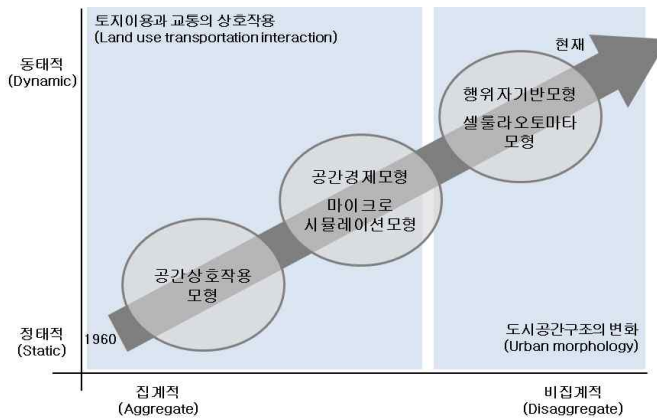
이 장에서는 다양한 방법론에 기반한 여러 유형의 도시모형을 살펴보고 각각의 특징을 고찰한 뒤, 도시모형의 새로운 방법론으로 최근 주목을 받고 있는 행위자 기반 모형의 개념과 특징에 대하여 살펴보았다. 행위자 기반 모형은 자연계를 연구하는 방법론으로 출발하였으나, 도시공간의 변화를 견인하는 행위주체(가구, 기업 등)의 의사결정행위를 동태적이고 미시적인 차원에서 고려할 수 있게 함으로써 도시모형의 새로운 방법론으로 부각되고 있다.

1. 도시모형의 기능, 역할, 전망

1960년대 도시모형이 최초로 출현한 이후, 변화하는 시대적 여건, 정책적 필요성, 학술적 발전 등에 영향을 받아 다양한 형태와 스타일의 도시모형이 발전되어 왔다. 각각의 도시모형은 고유한 논리적 구조와 기능을 가지고 있으나 단일한 유형으로 구분하기 용이하지 않은 경우가 많으나, 도시모형의 발전과정을 요약적으로 살펴보면 <그림 2-1>과 같다. 즉, 도시모형의 초기 발전기에는 도시를 하향식(top-down) 관점에서 정태적(static)이고 집계적(aggregate)인 방법으로 파악하였으나 최근에는 상향식(bottom-up) 관점에서 동태적(dynamic)이고 비집계적(disaggregate)인 방법으로 파악하는 패러다임으로 변화하고 있다(Batty, 2009; Iacono, Levinson, &

El-Geneidy, 2008). 내용적인 특징으로는 초기의 도시모형은 토지이용과 교통의 상호관계(land use transportation interaction)에 중점을 두고 개발되었으나, 최근의 도시모형은 토지이용과 교통의 관계보다는 도시형태의 변화(urban morphology)에 더 중점을 두고 개발되고 있다.

<그림 2-1> 도시모형 패러다임 변화과정



1) 공간상호작용모형

공간상호작용모형(spatial interaction model)은 중력모형(gravity model)의 원리에 기초하여 도시활동의 입지를 공간에 배분하는 토지이용-교통통합모형을 말한다. 이러한 모형의 시초는 라우리 모형(Lowry, 1964)이라고 할 수 있는데, 이는 중력모형을 기반으로 하고 있을 뿐 아니라, 기반산업의 분포에 따라 거주자의 입지가 결정되는 경제기반이론에도 이론적 근거를 두고 있다. 이후 Garin(1966)은 수정된 라우리 모형을 개발하였으며, 이후 이를 토대로 TOMM, PLUM 등과 같은 모형이 개발되기도 하였다. 그러나 Lee(1973)에 의해 대규모 도시모형(large scale urban model)에 대한 비판이 제기되고 이와 같은 모형의 개발이 쇠퇴하는 결과를 초래하였다.¹⁾

1) Lee(1973)는 지나친 포괄성(hyper-comprehensiveness), 구체성 부족(grossness), 방대한 자료 요구(hungriness), 제한성(wrongheadedness), 복잡성(complicatedness), 기계적인 방식

그럼에도 불구하고 이후 다시 개별 연구자들을 중심으로 ITLUP, LILT, IRPUD 등 공간적 상호작용을 기반으로 하는 여러 시뮬레이션 모형이 개발되었다. Putman(1974; 1983)은 라우리 모형을 일부 수정한 라우리-개린(Lowry-Garin) 모형을 토대로 주거입지모형(DRAM)과 고용입지모형(EMPAL)을 구성요소로 하는 ITLUP를 개발하였다. 이후 ITLUP는 일부 하위모형을 수정하여 GIS 환경에서 구동 가능한 새로운 패키지인 METROPILUS로 발전하였다.

또한, Mackett(1983)은 라우리모형과 교통모형을 결합하여 LILT를 개발하였는데, 이는 통근통행과 준별 매력도로 구성된 접근성 함수를 도출하고, 이를 통해 인구변화를 예측하여 각 zone에 배분하도록 되어 있다. 또한, Wegener(1982)는 IRPUD를 개발하였는데, 이는 토지이용에 관한 마이크로시뮬레이션이 어느 정도 기능하다는 점에서 기존의 공간상호작용모형과 차별화된다.

이와 같은 공간상호작용 기반의 토지이용-교통통합모형은 특정 지역 간의 상호작용을 해당 지역의 인구규모와 접근성에 의해 쉽게 표현할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 존 단위의 집계된 자료를 활용하여 개별요인들의 행태를 설명하기 어렵다는 단점이 있다.

2) 공간경제모형

공간경제모형은 공간투입산출모형(input-output model) 기반의 모형과 확률효용이론(random utility theory) 기반의 모형으로 대별하여 볼 수 있는데, 먼저 공간투입산출모형(input-output model)에 기초한 토지이용-교통통합모형은 지역 간 상호작용과 활동수요를 예측하는 데 공간투입산출모형을 활용한다. 이러한 범주에 속하는 대표적인 모형으로는 MEPLAN, TRANUS, PECAS 등이 있다.

Echenique et al.(1990)이 개발한 MEPLAN은 존 기반의 모형으로, 공간에 대한 수요를 예측하는 공간투입산출모형을 통해 각 zone에서의 부문별 거래의 흐름과 활동을 결정한다. 즉, 공간투입산출모형과 연계된 생산과 소비의 흐름이 교통예측모형의

(mechanicalness), 고비용(expensiveness)의 측면에서 기존의 대규모 도시모형을 비판하였다.

통행발생 및 배분의 과정을 대체하며, 교통수요로 변환된다. 그리고 이때 유발되는 통행수요를 포함하는 수단선택 및 경로선택모형을 통해 입지선택에 영향을 주는 접근성을 산출하도록 되어 있다. De la Barra(1989)가 개발한 TRANUS 역시 활동을 배분하는 데 있어 공간투입산출모형을 활용한다는 점에서 MEPLAN과 유사하다. 모형에서 다루는 대상 지역의 경제활동은 여러 부문으로 구분되며, 이들 활동에 대한 수요는 다항로짓모형에 의해 결정된다. TRANUS의 토지이용모형에서 각 활동 간의 상호작용은 출발지-목적지 간의 흐름행렬을 산출하며, 이 역시 MEPLAN과 마찬가지로 교통모형에서 통행수요로 변환된다(이희연, 2007).

또한, Hunt & Abraham(2003)가 개발한 PECAS는 MEPLAN과 TRANUS에서 사용된 공간투입산출모형을 보완하고 보다 일반화한 모형이다. 생산-교환-소비까지의 흐름이 거래가격과 교통비용으로 구성된 계층로짓모형에 의해 결정되며, 이러한 거래의 흐름이 교통수요로 변환되어 혼잡교통시간을 계산하는 데 사용된다. 특히, PECAS는 공간투입산출모형에 기반한 토지이용-교통통합모형 중에서 가장 완성도가 높은 모형으로 토지이용 부문에 대한 마이크로시뮬레이션도 가능하다.

다음으로 확률효용이론(random utility theory) 기반의 토지이용-교통통합모형은 주거 및 기업활동의 입지 선택에 있어 확률효용이론에 기초한 이산선택모형(discrete choice model)을 활용한다. 이러한 시도의 하나로 Anas(1982), Anas & Arnott(1994)는 균형상태의 토지이용-교통변화를 시뮬레이션하기 위해 CATLAS, METROSIM, NYMTC-LUM과 같은 일련의 모형을 개발하였다. 우선 CATLAS는 주택시장의 수요와 공급을 설명하기 위해 이산선택모형을 활용하고 있다. 공급측면에서 부동산개발업자는 수익을 극대화하는 입지와 개발방식을 채택하며, 수요측면에서 가구는 효용을 극대화하기 위해 주거입지와 교통수단을 선택한다. 이러한 효용의 변화는 접근성에 의해 결정되며, 이는 주택가격 및 임대료로 자본화되는 구조를 가지고 있다. 이후 CATLAS를 변형시킨 모형으로 METROSIM이 개발되었는데, 이는 대도시 주택시장에 관한 동적모형 포함하고 있다. 최종 버전인 NYMTC-LUM은 METROSIM에는 지역노동시장에 대한 하위모형을 추가하였으며, 보다 작은 단위의 존을 활용할 수 있도록 하였다.

또한, Martinez(1992; 1996)는 입찰지대이론(bid-rent theory)에 기초한 토지이용-교통통합모형인 MUSSA를 개발하였다. MUSSA의 경우 구매자는 잉여가치, 판매자는 가격, 개발업자는 수익을 극대화시킨다는 전제 하에 부동산의 공급과 수요에 대한 균형(equilibrium)상태를 가정한다. 토지이용부문은 4단계 교통예측모형과 연계되어 있지만, 보다 작은 존 단위의 분석이 가능하며, 가구유형을 아주 세밀하게 구분할 수 있다는 장점이 있다.

이후 Simmonds(1999)는 토지이용-교통간의 상호반응에 의한 동적시스템에 의해 진행되는 모형인 DELTA를 개발하였다. DELTA는 공간모듈과 활동모듈의 2가지 프로세스에 의해 작동된다. 공간모듈은 부동산에 대한 물량과 질을 예측하며, 활동모듈은 가구형성 및 소멸, 고용성장 및 감소, 입지와 부동산시장, 개인의 고용상태 등을 다룬다. 각종 활동에 대한 선택은 확률효용이론에 의해 이루어지며, 각 주기별 균형상태를 가정하고 있다.

3) 마이크로시뮬레이션모형

마이크로 시뮬레이션 모형²⁾은 집계화된 자료구조를 활용하지 않고, 개별 행위주체(가구, 기업 등) 및 공간단위를 보다 세밀화하여 토지이용 및 교통의 변화에 대한 미시적인 예측을 목표로 하는 특성을 가지고 있다. 이전에도 IRPUD나 MUSSA와 같은 모형은 특정단계에서 가구유형을 세분화하여 일부 마이크로시뮬레이션이 가능

2) 도시모형 방법론 중 개별 행위주체의 행위를 구체적으로 다루는 방법론으로는 마이크로 시뮬레이션 모형(micro simulation model)과 행위자 기반 모형(agent based model)과 이 있는데, 양자는 서로 유사성을 가지고 있으나, 이론적 근원과 지향점 등에서는 차이를 가지고 있다. 마이크로 시뮬레이션 모형은 Orcutt(1957)의 계량경제 연구에 직접적인 뿌리를 두고 있는데, 가구주(household) 등 개별 경제주체 특성과 행위에 관한 세부적인 데이터를 기반으로 각 경제 주체의 행동 특성을 추정하고, 외부요인(taxation 등)이 작용할 경우 개별 행위주체의 의사결정과 행동특성이 어떻게 변화하는지에 관심을 둔다. 반면 행위자 기반 모형은 자연계의 복잡계 시스템 연구(complexity science)에서 출발한 것으로 개별 행위자 간의 상호작용(interaction)과 이에 따라 창발적(emergence)으로 나타나는 대상 시스템의 변화에 더 관심을 두며, 개별 행위자에 대한 세밀한 데이터 보다는 단순한 이론적 가설 또는 명제로부터 출발하여 결과적으로 도출되는 복잡한 현상에 보다 더 관심을 두고 있다.

하였지만, 그 완성도가 높지는 않았다. 하지만, 이들과 유사하게 공간경제기반의 토지이용-교통통합모형으로 출발한 UrbanSim(Waddell, 2000)의 경우 최근 들어 완성도 높은 마이크로시뮬레이션 모형으로 발전하였다. UrbanSim 역시 가구의 입지 선택은 다항로짓모형으로 표현되지만, 시장청산(market clearing)을 가정하지 않는 비균형 모형구조를 취하고 있으며, 현재는 활동기반모형이나 행위자기반모형을 다른 하위모형과 연계시키려는 작업을 진행 중이다.

이와 더불어 개발 초기부터 마이크로시뮬레이션의 장점을 도입한 ILUMASS나 ILUTE 같은 모형도 있다. ILUMASS(Moeckel et al. 2003)는 IRPUD 모형에서 진화한 모형으로 인구변화, 가구생성, 기업수명주기, 주거 및 비주거 건설, 노동이동성, 주거이동성 등에 관한 하위모형을 포함하고 있다. 이때 각 하위모형은 활동과 통행행위에 관한 실시간 정보를 활용할 수 있는 활동기반모형과 연계되어 있다. 대표적인 마이크로시뮬레이션 모형은 ILUTE(Salvani & Miller, 2005)이다. ILUTE는 토지이용, 입지선택, 차량소유, 활동/통행패턴 등 서로 연관된 4개의 하위모형으로 이루어져 있으며, 시장청산을 가정하지 않는 불균형모형이다. 주택시장부문은 이동결정, 탐색과정, 매입 및 탐색종결 등의 과정을 통해 주거이동성 분석을 분석하며, 교통부문은 자동차 거래 및 활동의 스케줄링 등을 포함하고 있다.

4) 셀 기반 모형

셀(cell)기반 토지이용모형은 격자 형태의 셀을 기본적인 단위로 하여 공간변화를 시뮬레이션하는 모형을 통칭하며, 일반적으로 교통과의 상호작용은 고려하지 않은 상태로 토지이용변화만을 시뮬레이션하는 경우가 많다. 이와 같은 셀 기반 토지이용모형에서 주로 활용되는 모델링 기법은 셀룰러 오토마타(cellular automata)이다. 셀룰러 오토마타 모형은 격자로 분리된 셀의 상태가 주변 여건에 따라 자동적으로 변화되는 시스템으로, 이러한 변화는 여러 가지 형태의 전이규칙을 통해 결정되는 구조를 가지고 있다. 셀룰러 오토마타 모형은 기본적으로 ‘만약-그러면-그렇지않으면(if-then-else)’이라는 논리적 연산구조에 기반한 결정론적 규칙기반모형이지만, 통계

적 난수발생과 확률적 표현을 통해 비결정론적 요소들을 전이규칙에 포함시킬 수 있다.

셀룰러 오토마타 도시모형의 대표적인 사례 중 하나는 SLEUTH 모형이다. Clarke & Gaydos(1998)가 미국 지질조사국(U.S. Geological Survey)의 지원을 받아 개발한 SLEUTH는 경사도(Slope), 토지이용도(Landuse), 개발제한구역도(Exclusion), 도시영역도(Urban area), 도로망도(Transportation), 음영기복도(Hillshade) 등을 입력자료로 하여 도시의 우연적 성장, 외연적 성장, 비지적 성장, 도로유발 성장 등과 같은 성장유형을 정의하고 도시공간의 변화를 시뮬레이션 한다. 이와 같은 셀 기반 모형은 토지이용변화의 과정을 묘사하는 데 있어 유연성이 크다는 장점이 있지만, 토지개발과정에서 발생하는 행위주체 간 및 행위주체와 주변 환경과의 복잡한 상호관계를 구현하기가 어렵다는 한계도 있다.

5) 기존 모형 검토의 시사점

(1) 기존 모형의 구조적, 내용적 특징과 한계

토지이용교통모형으로 특징되는 전통적인 도시모형은 도시화, 교외화 등이 활발하게 진행되던 시기에 개발된 것으로 이에 대응하기 위한 차원에서 토지이용 변화와 교통수요 산정 등에 중점을 두고 있다. 또한, 하나의 통합된 모형에 토지이용, 인구, 경제, 교통, 환경 등 너무 많은 요소를 포함하고자 함에 따라 모형을 구동하는 데 필요한 자료가 너무 요구된다는 한계를 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 교통모형 측면에서는 많은 모형들이 여전히 과거의 4단계 교통수요예측모형을 활용하고 있다. 그리고 다수의 모형이 여전히 집계적인 방식을 취하고 있어 결과물의 구체성이 높지 않고, 각 시점에서의 균형 상태를 전제로 하는 정적 시스템을 가지고 있어 도시공간의 변화를 동태적으로 파악하는데는 한계를 가지고 있다.

반면 최근에 발전되고 있는 셀기반의 모형은 보다 미시적인 관점에서 도시의 변화를 파악하고 시뮬레이션할 수 있으나, 도시공간의 변화에 영향을 미치는 사회경제적 요인들을 고려하는데는 한계가 있는 상황이다.

(2) 기존 모형의 보정, 검증방법의 특징과 한계

도시모형이 산출하는 결과물의 타당성을 확보하기 위해서는 모형의 보정(calibration)과 검증(validation) 등이 필요하다. 모든 도시모형에 공통적으로 활용될 수 있는 일반화된 보정 및 검증 방법은 없으며, 개별 도시모형이 주로 활용하고 있는 계량모형(예: 중력모형, 로짓모형 등) 및 시뮬레이션 방식(예: 일반균형분석, 동태적분석 등)에 따라 서로 다른 접근방법을 취하고 있다. 예를 들어 공간상호작용모형인 ITLUP 모형의 경우 최소자승법(OLS)과 엔트로피 최대화 기법 등을 통해 파라미터를 추정하며, 공간경제모형인 UrbanSim은 로짓 분석(logistic analysis) 등을 활용하고 있다.

(3) 향후 도시모형의 발전방향

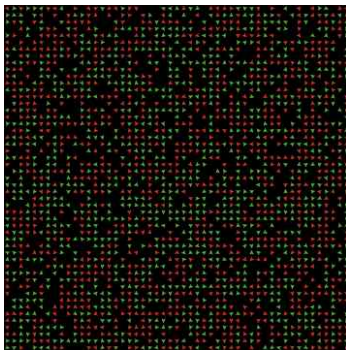
대규모 신도시 개발 또는 주거단지 조성 등의 전제하에 도시모형에 요구되었던 토지이용변화 및 교통수요 예측은 그 필요성이 점차 감소하고 있으며, 최근에는 도시형태와 거주적합성의 관계나 지속가능성에 대한 고려가 필요하게 되었다. 게다가 토지이용 및 공간구조의 변화는 장기간에 걸쳐 진행되는 것으로 쉽게 그 결과를 예측하기가 어렵고, 특정 정책시행에 대한 파급효과를 파악하기 위한 통제실험이 불가능하므로 다양한 대안적 미래를 탐색하고 미래에 대한 불확실성을 감소시켜 줄 수 있는 가상실험실(virtual laboratory)의 역할에 대한 요구가 증대하고 있다. 또한, 특정 지역에 대해 주민들이 보유한 스토리를 공유하고, 이를 계획과정에 활용하는 참여형 도시계획 기법이 확산됨에 따라, 과학적인 지식과 전제하에 발생가능한 미래를 스토리텔링(story telling) 형식으로 지원하는 도시모형의 역할도 요구될 것으로 예상된다.

2. 행위자 기반 모형의 개념과 특성

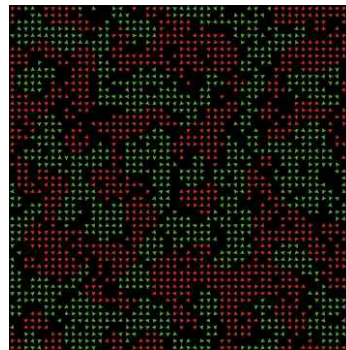
행위자 기반 모형은 개별 행위자와 주변 환경을 기본적인 구성요소로 하여 대상 시스템을 구체화하고, 이들 간 상호작용에 따른 시스템의 변화를 동태적으로 시뮬레이션 하는 모형이다. 행위자 기반 모형은 사회경제 시스템이나 도시공간 문제를 연구하기 위해 태동한 방법론은 아니며, 프랙탈(fractal), 나비효과(butterfly effect) 등 기존의 과학이론으로는 설명할 수 없는 자연현상을 연구하는 새로운 이론인 복잡계 이론(complexity theory)에 기반하고 있다.

그러나 과거 뉴턴(Newton) 물리학의 중력이론 등이 그러하였듯이, 사회 현상을 파악하는 새로운 논리적 틀로 도입되고 그 활용이 확산되고 있다. 특히, 경제학자 Schelling(1971)이 행위자 기반 모형의 개념을 기반으로 서로 다른 인종간의 주거분리(residential segregation) 현상을 설명³⁾한 이후에 사회과학 분야에서도 행위자 모형의 활용가치가 증대하기 시작하였는데, 이를 행위자 기반 시뮬레이션 모형으로 구현한 예시는 <그림 2-2>와 같다.

<그림 2-2> 쉘링의 주거분리 모형 시뮬레이션 사례



(이동 전)



(이동 후)

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

행위자 기반 모형의 특성을 이해하기 위해 일반론적인 관점에서 행위자 기반 모형의 구성요소를 살펴보면, 행위자(agent), 환경(environment), 속성(attribute), 주변 이웃(neighbourhood), 의사결정규칙(decision making behaviour) 등 5가지 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 실체적 환경 등 2가지 유형으로 구분 가능하다. ‘속성’은 행위자의 고유한 속성 값 또는 환경의 고유한 상태 값을 의미하며, ‘주변 이웃’은 행위자가 의사결정시 고려하는 공간적 범위를 정의한다. 그리고 ‘의사결정규칙’은 각 행위자의 고유한 행태특성을 규정한다.

이러한 행위자 기반 모형은 앞서 설명한 마이크로 시뮬레이션 모형과는 달리 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 모형을 구분하여 보면 <표 2-1>과 같이 이론적(theoretical) 모형, 유사 실증적(quasi-empirical) 모형, 실증적(empirical) 모형 등으로 구분할 수 있다(김동한, 2012).

<표 2-1> 행위자 기반 모형의 유형 구분

환경 \ 행위자	고안된 (Designed)	분석된 (Analysed)
고안된 (Designed)	이론적 모형	유사 실증적 모형
분석된 (Analysed)	유사 실증적 모형	실증적 모형

이때 어느 유형이 다른 유형보다 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 인과관계의 증명 등의 목적으로 활용할 수 있다.

3. 도시모형 방법론으로서의 행위자 기반 모형

국내외 연구 등에서 개발된 행위자 기반 도시모형은 주로 이론적, 유사 실증적 모형의 특징을 가지고 있다. 우선 이론적 행위자 기반 도시모형으로는 그린벨트의 효과성을 시뮬레이션 한 Brown et al.(2004), 부동산거래에 따른 토지가격의 형성을 시뮬레이션 한 Filatova et al.(2009) 등이 있다. 다음으로, 유사 실증적 행위자 기반 도시모형은 주로 도시 난개발을 시뮬레이션 하는 데 활용되고 있으며, 그 사례로 Brown & Robinson(2006), Torrens(2006) 등이 있다. 끝으로, 실증적 행위자 기반 도시모형으로 개발된 사례는 극히 소수이며 UrbanSim, ILUTE⁴⁾ 등과 같은 마이크로 시뮬레이션 모형들이 있다. 이러한 마이크로시뮬레이션 도시모형은 주거, 고용 등 다수의 하위모형으로 구성된 통합모형이며, 시뮬레이션에서 필요한 행위자에 관한 데이터는 가상의 인구를 생성하는 모형(population synthesiser)⁵⁾을 별도로 사용하여 통계적 추론에 의해 행위자를 생성하고 시뮬레이션을 수행하게 된다.

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

즉, 행위자 기반 모형은 도시현상을 모델링하는 데 있어 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 도시를 구성하는 각 행위 집단과 행위주체 간의 상호작용을 통해 도시현상

4) UrbanSim, ILUTE 등과 같은 모형은 개별 행위주체를 고려한다는 점에서 행위자 기반 모형으로도 일컬어지고 있으나, 엄밀하게는 마이크로 시뮬레이션 모형방법론에 보다 직접적인 학술적 뿌리를 두고 있다.

5) ALBATROSS, PopGen 등 다양한 가상 인구 생성 모형이 개발되어 있으나, 해당 국가나 지역의 인구통계 정보의 특성에 기반한 것으로 우리나라에 바로 적용하는 데는 한계가 있다.

을 설명함으로써, 도시현상을 상향식 관점에서 이해할 수 있게 한다. 둘째, 필지나 셀과 같은 미시적 공간단위에서의 공간변화를 시뮬레이션 할 수 있게 한다.

하지만, 행위자의 의사결정행위를 설명할 수 있는 사회과학적 이론이 아직 부족하고, 실증 데이터 부재 등으로 모형의 검증이 어렵다(Batty & Torrens, 2005)는 한계도 있다. 특히 UrbanSim과 같은 마이크로 시뮬레이션 모형처럼 대규모 실증적 모형으로 개발하고자 할 경우, 입력 데이터의 마련에만 수년이 소요되는 등(Patterson & Bierlaire, 2010), 방대한 데이터 요구량이 모형의 실용적 활용에 걸림돌이 될 수 있다.

chapter III

행위자 기반 도시모형
개발을 위한 기초분석

행위자 기반 도시모형 개발을 위한 기초분석

앞장에서 살펴본 바와 같이 서로 다른 방법론에 기반한 여러 유형들의 도시모형이 있는데, 파악하고자 하는 공간문제의 성격에 따라 적합성과 유용성이 달라진다고 할 수 있다. 이 장에서는 과거 정부주도의 대규모 개발방식에서 개별 기업과 국민이 공간변화를 견인하는 시대를 맞이하여 나타나고 있는 공간변화의 주요 유형과 특성을 살펴보았다. 그리고 그와 같은 공간변화를 추동하는 행위주체와 입지선택 영향요인들에 관한 선행연구들을 살펴보고 모형개발과 활용을 위한 시사점으로 활용하였다.

1. 국토·도시 발전과 공간변화

우리나라는 1960년대 이후 급속한 산업화를 겪으면서 국토와 도시도 빠른 모습으로 변화하여 왔다. 서구 선진국과 비교하여 볼 때 비교적 단기간에 압축적 도시화를 경험하였다고 할 수 있는데, 지난 반세기 동안 우리 국토와 도시의 발전 양상은 인구와 산업 집중에 따른 ‘외연확장적 도시화’에서, 도시적 삶의 관계가 정착되는 ‘내부형성적 도시화’로 이행하여 왔다고 할 수 있다. 이에 따라 정부 주도로 산업과 주거 개발을 배분하는 방식을 벗어나, 국토와 도시의 성장을 통합적 방식으로 관리하고 도시 내부에서는 공간구조나 인프라를 재구축하는 세부적 정책목표가 필요하게 되었다(김영표 외, 2008). 특히, 도시의 노후화 문제가 대두되면서 원도심 지역의

재생을 통한 도시 활력 증진 노력이 필요하게 되었으며, 도시내부의 공간변화에 대응하기 위한 정책목표와 세부적인 실천계획 등이 필요하다고 할 수 있다.

한편 우리나라는 각 도시, 지역별 발전의 단계와 양상이 다르므로, 이에 대한 정확한 실태분석이 선행되어야 하며, 그에 따른 맞춤형 발전 전략이 필요하다. 우리나라 도시화와 도시성장은 대도시 특히 수도권 지역 도시들의 급속한 성장과 확산을 그 특징으로 하고 있다. 이에 따라 국토 전체의 불균형적 발전이 이루어져 왔는데, 인구변화를 기준으로 도시의 성장 수준을 살펴보면 많은 도시권들이 중심도시의 인구집중을 통한 성장을 이루고 있으나 수도권, 부산권의 경우 교외화 혹은 역도시화의 특성이 나타나고 있다(이원섭 외, 2010; 정환용, 2003). 즉 이들 지역은 도시의 외연적 확산과 내연적 재도시화가 진행되고 있다고 할 수 있다.

급속한 사회경제 발전에서 안정된 성장시대로 접어들고 양적성장 시대에서 질적성장 시대로 변화하면서, 도시공간 역시 포드주의에 기반을 둔 대량생산 양식을 넘어 포스트 포드주의(post-Fordism)의 다품종·소량생산 양식으로 이행되고 있다(최막중, 2012). 예컨대, 산업입지의 경우 각종 기능의 엄격한 분리를 전제한 전문화된 산업단지 조성정책에서, 생산, 주거, 연구, 업무, 상업기능을 동일한 단지내에 조성하여 시너지 효과를 발생시킬 수 있는 복합적 산업입지 활성화로 그 방향이 전환되고 있다. 도시재생의 경우 노후지역의 단순 재개발의 개념에서 단위필지의 개발, 특색 있는 가로조성 등 다양한 스케일로 변화하고 있으며, 개별 도시와 지역의 특성과 주민의 수요 등에 따라 그 접근방법도 달라질 수 있을 것이다.

주택정책의 경우 신규공급 위주에서 기존 주거지 정비와 복지정책 등으로 정책기조가 전환되면서 지역의 장소적 특징을 반영한 다양한 가치의 실현이 주요 과제가 되고 있다(엄철호·하지영, 2011).

2. 공간변화의 유형과 특성

향후 국토공간 변화와 관련해서는 원심력(centrifugal)과 구심력(centripetal) 두 가지의 역학이 동시에 작용할 것으로 전망된다. 도시공간은 원심력(교외화)과 구심력

(집중화)이라는 특징을 동시에 가지며, 두 힘의 상호작용 및 네트워크에 의해 성장하고 발전한다(김홍주, 2008). 원심력은 도시의 외연적 확산 및 교외화를 의미하며 개별개발, 난개발 등 다양한 형태로 나타나는 데 반해, 구심력은 도시의 집중화를 의미하며 고밀개발, 복합개발과 같은 기존 도시공간의 재사용으로 나타난다.

도시성장을 단계별로 제시한 Berg & Klaassen(1980)은 도시 중심부와 주변부의 인구변화 추이를 토대로 도시성장의 과정을 도시화, 교외화, 반도시화, 재도시화 4단계로 구분하여 설명하고 있다. <표 3-1>에서 보는 바와 같이 도시화 단계에서는 도시 중심부로 인구가 집중되며, 교외화 단계에서는 도시 주변부로 인구가 확산되며, 역도시화 단계에서는 도시 중심부에서 인구가 감소하며, 재도시화 단계에서는 도시 주변부에서 인구가 감소하는 경향을 보인다. 이와 같이 도시 중심부와 주변 지역 간 기능적 의존관계가 심화되면서 대도시로의 통근권 확대는 교외화, 역도시화, 재도시화 등 공간적 순환모델(spatial cycle model)을 통해 설명되는데, 우리나라 도시는 수도권 대 비수도권, 대도시 대 중소도시 등 유형에 따라 그 성장 수준이 상이하므로, 각 유형별로 차별화된 공간정책 추진이 필요하다고 할 수 있다.

<표 3-1> 도시성장단계 구분 및 인구변화특성

성장단계	유 형	인구변화특성		
		중심	주변	전체
도시화	절대집중	++	-	+
	상대집중	++	+	+++
교외화	상대분산	+	++	+++
	절대분산	-	++	-
역도시화	절대분산	--	+	-
	상대분산	--	-	---
재도시화	상대분산	-	--	---
	절대집중	+	--	-

자료 : Berg & Klaassen(1980)

3. 공간변화의 행위주체와 주요 영향요인

전술한 바와 같이 국토와 도시의 변화는 서로 다른 단계로 구분하여 볼 수 있는데, 국토와 도시가 스스로 변화하였다기 보다는 시대적 여건에 따라 서로 다르게 작용한 개발정책과 행위에 의해 변화하였다고 할 수 있다. 과거 고도성장 시기에는 국가와 공공개발 사업자가 각종 개발사업의 위치와 규모 등을 하향식 방식으로 결정하여 왔으나, 이와 같이 공공이 주도하는 대규모 개발의 필요성은 점차 감소하고 있다.

향후에는 민간의 개발자와 수요자가 주도하는 맞춤형, 상향식, 자발적 개발과 입지가 보다 중요하게 국토의 공간변화에 영향을 미치게 될 것으로 전망되고 있다. 이는 공간변화의 요인이 다변화되면서 국토도시 정책의 불확실성을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 향후 국토공간 변화의 요인과 결과 등을 효과적으로 파악하고 정책적으로 대응하기 위해서는 공간변화에 영향을 미치는 행위주체의 의사결정과 입지선택을 보다 구체적으로 파악하고 이를 기반으로 공간변화를 예측해 볼 필요성이 증대하고 있다.

국토공간의 이용에 변화를 가져 오는 대표적 입지유형으로는 주거입지(residential location), 상업입지(retail location), 산업입지(industrial location) 등이 있으며, 주거입지, 상업입지, 산업입지에 영향을 미치는 요인들은 국내외를 막론하고 다양한 연구가 수행되었는데, 국내의 주요 연구는 다음과 같다.

주거입지에 영향을 미치는 요인에는 가구 및 주택특성, 교통특성, 근린특성 등이 있고(이창효, 2012; 성현곤, 2012; 정지은 외, 2011), 상업입지에 영향을 미치는 요인에는 소매특성, 경제성, 교통특성, 지역특성 등이 있다(최열·이백호, 2006, 이창수·정규섭, 1998). 산업입지에 영향을 미치는 요인에는 기업특성, 교통특성, 경제성, 노동시장, 집적성 등이 있다(안영수, 2013; 김창석·남진, 1996).

이들 연구에서 고려한 각 입지유형별 주요 입지요인과 가용자료 등은 <표 3-2>과 같으며, 이들 선행연구들로부터 입지선택요인의 일반적인 시사점을 얻을 수 있다. 하지만 이와 같은 변수들은 입지선택을 시군구 또는 읍면동 차원에서 총량적으로 나타내는데 활용한 것으로, 보다 미시적인 공간변화 형태를 시뮬레이션 하는데 활용하

기에는 한계를 가지고 있다.

<표 3-2> 주거, 상업, 산업입지의 주요요인

구분		주요 입지요인		자료
입지	행위주체			
주거 입지	가구주 (household)	가구특성	성별, 나이, 학력, 직업, 가구원수, 가구소득	주거실태조사, 한국노동패널(KLIPS),
		주택특성	주택가격, 지역주택가격, 주택유 형, 주택크기, 소유형태	주거실태조사, 한국노동패널(KLIPS), 인구주택총조사 KB 전국주택가격동향조사
		교통특성	대중교통 접근성, 편리성	가구통행실태조사, 지자체 통계
		근린특성	교육수준(학교의 질, 거리), 환경 수준(대기질, 소음), 도시서비 스(문화시설 등)	통계청, 지자체 통계 등
상업 입지	상업 (retail business)	소매특성	업종,	전국사업체조사(통계청)
		경제성	임대가격, 토지가격	중소기업청 상권정보시스템 국토교통부 공시지가
		교통특성	대중교통 접근성, 도로접근성	가구통행실태조사 지자체 통계
		지역특성	거주인구 및 유동인구	중소기업청 상권정보시스템 서울시 지능형도시정보시스템
산업 입지	제조업 (manufactur ing firm)	기업특성	기업형태, 기업연령, 종사자수	전국사업체조사(통계청)
		교통특성	도로, 철도, 지하철, 항구 등과의 접근성(거리)	지자체 통계
		경제성	토지가격, CBD 여부	국토교통부 공시지가
		노동시장	거주인구수, 대학수,	통계청 인구총조사
		집적성	업종 집적도(업체수, 종사자수)	전국사업체조사(통계청)

chapter IV

행위자 기반 도시모형의
설계와 개발

행위자 기반 도시모형의 설계와 개발

이 연구에서 개발하는 행위자 기반 모형은 여타의 도시모형들과 마찬가지로 여러 가지 이론, 방법, 기술 등이 등이 복합적으로 결합된 구조물이라고 할 수 있다. 이 장에서는 모형개발을 위한 접근방법, 구성요소, 기본구조, 개발방법 등을 제시하고, 이와 같은 전제하에 모형을 개발한 뒤 실제 사례지역에 적용하기 이전에 모형의 구현가능성과 기본성능을 검토하기 위하여 가상의 이론공간에서 예비 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 모형개발의 접근방법 및 고려사항

1) 기본 방향

도시모형은 개별 분과학문에서 추구하는 단일한 이론 또는 방법론과는 차이가 있으며, 다양한 이론(theory), 방법(method), 기법(technique)이 복합적으로 결합되어 만들어지는 논리적 구조물이라고 할 수 있다. 앞 장에서 설명한 바와 같이 도시모형의 전반적인 발전과정을 살펴보면 지역학, 지리학, 경제학 등 다양한 분과학문의 이론과 방법론을 수용하면서 발전하여 왔는데, 개별 모형의 목적과 성격 등에 따라 기반이 되는 이론과 방법론 등에는 차이가 있고 저마다 독창적인 접근방법을 취하고

있다.

최근 행위자 기반 모형이 도시모형의 새로운 방법론으로 각광받고 있고 개발과 활용이 증가하고 있다. 그러나 아직은 초기단계라고 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) 의사결정 규칙과 자기 발견적(heuristic) 접근 방법에 기반하여 모형이 개발되고 있으며 사회경제적 이론체계와의 통합은 아직 미흡한 상황이다(Crooks, Castle, & Batty, 2008; Manson & O'Sullivan, 2006; Matthews, Gilbert, Roach, Polhill, & Gotts, 2007). 이로 인해 대다수의 행위자 기반 도시모형은 도시 공간의 변화를 자율적인 (autonomous) 자기조직화(self-organisation) 관점에서 주로 파악하고, 도시의 변화에 영향을 미치는 사회경제적 동인 등은 체계적으로 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다.

이에 반해 이 연구는 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 계량경제모형 자체의 개발이나 심화를 추구하는 것은 아니며 여타 도시모형과 마찬가지로 여러 가지 이론, 방법, 기법 등이 복합적으로 사용하는 관점에서 접근한다.

따라서 이 연구에서 개발하는 행위자 기반 도시모형은 행위자 기반 모형을 구성하는 핵심적인 요소에 부가하여 다양한 사회경제적 분석기법 등을 통합한 통합적 행위자 기반 모형이라고 할 수 있다. 그리고 모형을 구성하는 구성 단위들은 그 자체로써 개별적인 분석 기법이나 모형이 되기도 하며, 각 구성 단위들이 정교한 결과를 산출하기 위해서는 방대한 실증적 데이터 분석을 필요로 하기도 한다.

그러나 이 연구는 단년도 연구로서, 모형을 구성하는 모든 구성 단위들의 논리적 구조를 구체적으로 정의하고 이를 뒷받침하기 위한 방대한 데이터 분석 등을 수행하는 데에는 시간과 비용의 한계를 가지고 있다. 그러므로 당해 연도 연구에서는 작동 가능하고 발전 가능한 논리적기술적 구조를 정립하고 이를 기반으로 한 시험모형

(prototype)을 구축하는데 중점을 둔다. 실증성과 구체성을 보다 강화하기 위한 하위모형의 구체화와 추가적인 데이터 분석 등은 향후 연구로 제시하고자 한다.

아래의 내용은 이와 같은 기본방향하에 이 연구에서 행위자 기반 도시모형을 개발하는데 있어 추가적으로 고려하고 있는 사항에 대한 것들로, 시물레이션의 공간단위와 시간단위 그리고 결과의 타당성을 확보에 대한 접근방법 등이다.

2) 공간 단위

전통적인 집계적(aggregate) 도시모형은 시군구, 읍면동, 또는 기타 조사구 등 통계정보가 존재하는 존(zone) 단위로 분석을 수행하고 결과를 도출한다. 반면 최근의 비집계적(disaggregate) 도시모형은 주로 셀(cell) 또는 필지(parcel) 단위로 시물레이션을 수행하고 결과물을 산출하고 있다. 존(zone) 단위의 모형은 기존의 통계정보 등을 활용할 수 있는 장점이 있으나, 모형 결과물의 공간적 구체성 또는 해상도(spatial resolution)를 구체화하는 데에는 한계가 존재한다. 반면에 셀(cell) 단위 모형은 공간적인 구체성을 표현하는 데는 장점이 있으나, 이와 같은 미시적 단위에서 활용 가능한 사회경제적 통계정보 등에는 한계가 있다.

이 연구에서의 개발하는 행위자 기반 도시모형은 공간변화의 기본단위로 셀 단위 래스터(raster) 데이터를 산출하도록 하여 결과물의 구체성을 높이하고자 한다. 그러나 동시에 존 단위 폴리곤(polygon)을 입력자료와 활용할 수 있도록 모형을 설계하여 자료 활용의 유연성과 결과물의 현실성을 제고하고자 한다. 이와 같은 통합적 자료활용 구조는 전통적 방식의 지역경제모형 등과의 연계를 용이하게 하여 추후 모형의 확장 개발시 보다 다양한 사회경제적 요인을 고려할 수 있도록 하기 위함이다.

3) 시간 단위

컴퓨터에서 작동하는 시물레이션 모형에서의 시간은 대개 이산형 시간(discrete time)이며, 시물레이션의 시작과 함께 시간 단위가 한 단계씩 증가한다($t, t+1, \dots$),

t+n). 한 단위의 시간이 경과하는 동안 모형에서는 사전에 정의된 기능이 실행되며, 이로 인해 모형의 대상이 되는 시스템의 변화가 수반된다.

한편 이와 같은 시뮬레이션 모형에서 컴퓨터가 인식하는 시간은 기본적으로는 추상적 시간(abstract time)이라고 할 수 있는데, 현실 세계의 시점과 시간단위를 처음부터 반영하고 있는 것은 아니다. 이에 현실적 시간의 의미를 부여하는 방법으로는 크게 두 가지로 구분하여 볼 수 있다. 모형에서 정의하는 특정 알고리즘의 수행에 기반하는 방법과 그로 인해 산출된 결과물에 기반하는 접근방법 등이 있다. 즉 모형에서 정의한 일련의 알고리즘이 수행되는 한 사이클에 현실적 시간의 의미를 부여하는 방법과(예를 들어, 행위자의 대안탐색, 입지선택 등 일련의 과정이 발생하는 것을 1년으로 정의할 수 있다), 그와 같은 알고리즘 수행의 결과로 발생하는 대상 시스템의 변화량에 기반하여 현실적 시간의 의미를 부여하는 방법이 있다(예를 들어, 1년간 발생 가능한 개발량을 산정하고 이에 도달하면 1년으로 정의할 수 있다).

전자의 경우 대상 시스템의 자발적 변화(spontaneous change)를 모델링 하는데 장점이 있으며, 후자는 제약적 변화(constrained change)를 모델링 하는데 이점이 있다. 이 연구는 후자의 접근방법에 기반하여 시간 단위를 결정하며, 외생적으로 산출된 목표 연도의 개발총량을 1년 단위로 구분하는 방식으로 시간의 흐름을 모델링 한다. 이때 목표연도 미래에 도달할 변화량을 시간적으로 구분함에 있어 S자 모양의 변화곡선을 따르도록 하는 등 별도의 선형 또는 비선형 함수를 정의하여 다양한 형태의 변화속도와 강도를 구현하는 것도 가능하다. 그러나 당해 연도 연구에서는 모형개발의 효율성을 고려하여, 단순 선형 변화를 가정하고자 한다.

4) 모형의 검사, 보정, 검증

개발하는 모형이 정상적으로 작동하고 타당한 결과를 산출하기 위해서는 모형의 검사(verification), 보정(calibration), 검증(validation) 과정이 필요하다. 모형의 검사란 모형의 구현과정에서 의도하지 않은 오류(bugs) 등을 내포하지 않고 모형이 목적한 바대로 구현되고 정상적으로 작동하는 지를 파악하는 과정을 의미한다. 모형의 보정이

란 모형의 각 계수들에 대한 최적의 계수값(best fit parameter set)을 결정하고 이를 통해 모형이 해당 지역의 현실적 특성에 맞는 결과물을 도출할 수 있도록 모형의 행태를 조정하는 것을 의미한다. 모형의 검증은 도출된 시뮬레이션의 결과물이 대상 시스템의 특성을 잘 대변하는지 민감도 분석 등을 통해 기준 이론과 비교하거나, 실제 관측을 통해 얻어진 데이터와 비교하여 판단하는 것을 의미한다.

그러나 현실적으로는 검사, 보정, 검증 등의 개념을 명확히 구분하여 수행하기가 용이하지 않고, 특히 미시적 도시모형의 경우 데이터의 가용성과 방법론의 문제 등으로 인하여 보정과 검증을 엄격하게 수행하는 데는 현실적 한계를 가지고 있다 (Batty & Torrens, 2005). 그리고 앞서 살펴본 바와 같이 도시모형을 개발하고 활용하는데 있어 일반화된 검사, 보정, 검증방법이 존재하지는 않으며 개별 모형의 특성과 필요에 따라 서로 다른 접근방법을 취하고 있다.

그럼에도 불구하고 모형구조와 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 적절한 확인 과정과 장치가 필요하다고 할 수 있는데, 이 연구에서는 모형의 검사와 검증을 위해서는 이론공간에서 예비 시뮬레이션을 수행하면서, 프로그램 코드의 오류를 수정함과 동시에 파라미터 변화에 따른 시뮬레이션 결과를 관찰하는 민감도 분석을 수행한다. 그리고 모형의 보정과 검증을 위해서는 로지스틱 회귀분석에 의한 변수 및 계수 도출, 로지스틱 분석에 의해 도출된 확률맵과 시뮬레이션 결과의 시각적 통계적 비교 등을 수행한다.

이러한 일련의 과정은 수십 차례의 모형의 반복 구동과 결과 비교(trial and error)를 수반하게 되는데, 이를 통해 모형의 구조를 개선하고 결과물의 신뢰성을 제고해 나가는 과정이라고 할 수 있다.

2. 모형의 구성요소

이상과 같은 접근방법과 전제조건 등에 기반하여, 이 연구에서 개발하는 행위자 기반 도시모형의 논리적 구성요소와 모듈은 다음과 같다. 각 모듈은 고유한 입력자료와 설정계수 등을 가지며, 각각의 기능을 수행하게 되는데, 모형의 적용대상지와

적용 시나리오 등에 따라 유연하게 사용 가능하다.

1) 공간환경 모듈(envronmental state module)

행위자 기반 도시모형을 개발하고 구동하기 위해서는 벡터(vector) 또는 래스터(raster) 형태의 다양한 실증적 공간정보를 활용할 필요성이 있다. 공간환경에 관한 실증적 정보들은 여러 가지 역할을 동시에 수행하게 된다. 모형구동의 공간적 범위를 설정하는 데 사용되기도 하고(모형의 초기조건 설정), 행위자가 입지선택을 하기 위해 참고할 수 있는 각종 변수들이 되기도 하며(모형의 구동 변수), 동시에 행위자의 입지선택에 따라 동태적으로 변화하는 상호작용의 대상이 되기도 한다(모형의 산출물). 모든 행위자 기반 모형이 공간환경에 대한 정보를 필요로 하는 것은 아니나, 이 연구에서 지향하는 바와 같이 행위자 기반 모형을 공간변화 시뮬레이션 모형으로 개발하기 위해서는 필수적인 요소라고 할 수 있다. 행위자 기반 도시모형에서 사용하는 공간정보들은 아래와 같은 것들이 있으며, 이들은 모형대상지의 성격과 특성을 규정하며 동시에 행위자의 입지선택 함수를 구성하는 주요 변수로 사용된다.

① 표고, 경사 등 자연환경(natural environment)에 관한 정보

② 기 개발지, 도로망 등 건조환경(built environment)에 관한 정보

③ 인구, 지가 등 사회경제적 환경(socio-economic environment)에 관한 정보

④ 토지이용, 용도지역 등 제도환경(institutional environment)에 관한 정보 등

공간환경 모듈은 이상과 같은 지리적 환경에 관한 다양한 정보를 기반으로, 모형을 초기화시키는데 필요한 기본정보를 제공하는 한편, 모형을 초기화시키면서 시뮬레이션 대상지 내에서 행위자에게 신규입지(new development)가 가능한 곳과 충전입지(infill development) 가능한 곳 등에 관한 정보를 제공하기 위한 분석기능도 수행한다. 신규입지 가능지는 개발이 불가능한 지역을 제외한 지역으로 주로 도시 외곽의 미개발지를 의미하는데, 기 개발지(예를 들어 시가화 건조 지역), 자연환경으로 인한 개발 제약지(예를 들어, 표고 200미터 이상 지역, 경사도 20도 이상 지역, 하천 및 수역 등), 법제도로 인한 개발 억제지(농업진흥지역, 보전산지, 자연공원 등)를

제외하여 산출⁶⁾가능하다. 한편 충진입지 가능지는 주로 도시 내부의 기 개발지에서 존재하게 되며, 지자체에서 정비예정구역을 선정하는 것과 같이 물리적 여건(과소필지비율, 노후불량현황 등)과 개발 여건(접도율, 나대지 비율 등) 등을 고려하여 산출⁷⁾가능하다.

일반적인 관점에서 신규 개발 가능지나 충진 개발 가능지에 관한 기준 등에 존재하고는 있으나, 모형에서 이를 기계적으로 정의하기 보다는 대상지의 특성과 여건에 따라 유연하게 적용하여야 결과물의 현실성을 높일 수 있다.

공간환경 모듈은 각종 공간정보를 입력자료로 활용할 수 있도록 모형에 로딩하고, 이상과 같은 정보에 기반하여 행위자의 입지선택이 발생하면 대상지의 토지이용 속성을 변경하고 별도의 출력 파일을 생성하여 추가분석 및 시각화가 가능하도록 하는 기능을 담당한다.

2) 공간밀도 모듈(spatial density module)

도시공간의 변화를 입체적으로 파악하기 위해서 2차원적인 토지의 이용 상태 변화뿐만 아니라 모형 대상지의 밀도(density)를 분석하고 변화폭을 산정하는 모듈이 필요하다. 밀도도 공간환경의 한 속성으로 파악할 수 있으나, 밀도의 현황분석과 추정에는 다양한 방법과 기준으로 수행될 수 있어, 향후 모형의 확장에 대비하여 별도의

6) 대규모 개발사업 등의 입지 가능지 파악을 위해서는 이와 같은 개발 가능지 또는 불능지 분석이 중요하다. 그러나 공장 난개발 등과 같은 소규모 개별 입지의 경우, 통상적인 개발불능지 또는 가용지분석에 의존하면 오히려 비현실적인 결과를 도출할 가능성이 크게 된다. 따라서 시뮬레이션 대상지의 개발패턴과 현안문제 등을 고려하여 가용지 및 불능지 도출의 기준을 유연하게 적용하여야 한다.

7) 충진개발 가능지역은 다양한 기준에 의하여 파악이 가능한데, 이를 정의하고 분석하는 것은 별도의 구체적인 조사 분석과 모형 구축이 필요한 주제라고 할 수 있다. 최근 도시내 재개발이 향후 도시 발전의 중요한 의제가 됨에 따라 서구 선진국에서는 국토공간을 대상으로 충진개발 잠재력을 파악하기 위한 현황분석 등을 수행하고 있다. 예를 들어 독일의 BMVBS(German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development)과 BBSR(German Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development)에서는 독일내 451개 도시와 타운을 대상으로 충진개발이 가능한 brownfields, gap sites 등을 체계적으로 파악하기 위한 연구를 수행하고 있다.

모듈로 분리하여 구성한다.

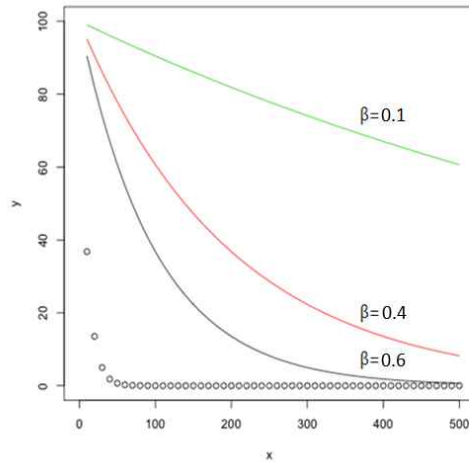
도시의 밀도는 인구밀도(population density)와 개발밀도(development density) 등으로 살펴볼 수 있으며, 전자는 단위 면적당 인구수로 표현되며 후자는 용적률(floor space index), 건폐율(ground space index), 층고(floor) 등 보다 다양한 지표로 표현될 수 있다. 양자 모두 일반적으로는 도시 중심지에서 가까울수록 높고 멀어질수록 감소하는 경향성을 가지고 있다.

이러한 현상을 최초로 계량적으로 파악한 Clark(1951)은 도시 중심지로부터의 거리 증가에 따른 밀도 감소를 수학적 함수로 표현하였으며, 다양한 도시의 사례를 분석하여 이와 같은 관계를 검증한 바 있다.

$$D(x) = A \exp^{-\beta x} \dots\dots\dots (1)$$

이때 A 는 도시 중심지에서의 최대 밀도값이며, β 는 도시 중심지로부터 거리 증가에 따른 밀도 변화를 나타내는 파라미터이며, x 는 도심지로부터의 거리를 의미한다. 위 함수에 대한 이해를 돕기 위하여 도심지에서의 최대밀도인 A 를 100으로 상정하고, β 값 변화에 따른 밀도변화를 시뮬레이션하여 살펴본 결과는 아래의 <그림 4-1>과 같다.

<그림 4-1> 도심지로부터 거리증가에 따른 밀도변화 시뮬레이션



그러나 위의 모형은 단핵도시를 기준으로 한 것으로 도심 공동화 현상, 부도심의 개발 등을 고려하지 못하였으며, 이러한 한계를 극복하기 위해 다양한 확장모형이 개발되기도 하였다(Newling, 1966; Small & Song, 1994; Wu, 1998). 이 경우 도시 중심지 또는 기존의 원도심 지역에서 부도심 지역으로 갈수록 밀도가 높아지다가, 도시 외곽으로 가면서 밀도가 다시 낮아지는 형태를 보인다.

$$D(x) = A \exp^{\beta x - \gamma x^2} \dots \dots \dots (2)$$

한편 현실공간은 다양한 이질성(heterogeneity)이 존재하는데 시뮬레이션의 현실성을 높이기 위해 위와 같은 함수 등에 통계적 난수(stochastic disturbance)인 S를 추가적으로 고려할 수 있으며(Yeh & Li, 2002), 이에 대한 함수는 다음과 같다.

$$S = 1 + \frac{\gamma - 1/2}{1/2} \alpha \dots \dots \dots (3)$$

이때 α 와 γ 는 $[0, 1]$ 의 범위를 가지는 난수 또는 상수이다.

3) 행위자 생성 모듈(agent population module)

행위자 기반 모형의 구동을 위해서는 공간환경을 정의하고 분석을 수행하는 것뿐만 아니라, 무엇보다 중요하게 의사결정의 기본 주체가 되는 개별 행위자들을 생성하고 공간적으로 배치해야 한다. 행위자 기반 모형 연구의 다수를 차지하고 있는 이론적 실험적 모형연구에서는 주로 연구자가 설정한 가설에 의하여 행위자의 수와 유형 등을 임의적으로 정의하고, 행위자의 성격과 속성에 대한 실증성에는 크게 관심을 기울이지 않은 경향이 있다.

그러나 한편 행위자 기반 모형과는 차이가 있으나, UrbanSim 등과 같은 마이크로시뮬레이션 모형들은 행위자의 성격과 속성에 대한 실증성을 보다 더 중요하게 다루고 있다. 그러나 개별 행위자에 대한 세부적인 실제 데이터를 구득하는 것은 현실상 불가능하므로 모형의 구동과 시뮬레이션 수행을 위해서 인구통계 샘플데이터로부터 가상의 행위자를 합성(population synthesis)할 수 있게 하는 별도의 외생모형을 결합하여 사용하고 있다. 서구 선진국을 중심으로 다양한 유형의 인구합성모형이 개발되어 있으며(PopGen 등), 각 모형에 따라 활용하는 통계자료, 추정 방법 등에 차이가 있다. 따라서 이를 단순 활용하기는 어려우며 인구합성모형의 개발 또한 중장기적 연구가 필요한 분야라고 할 수 있다.

행위자 기반 모형을 실증적인 정책연구 등에 활용하기 위해서는 행위자의 특성 등이 현실적으로 반영될 필요가 있는데, 이 연구에서는 별도의 인구합성 모형을 사용하지는 않고, 자체적으로 개발한 행위자 생성 모듈에 의해 행위자를 생성하고 초기화하였다. 행정구역별 인구 및 가구 수, 개별 공장 등록 수 등 통계지리정보의 속성 테이블로부터 실제 데이터를 읽어 들인 후, 통계적 비율에 의하여 행위자를 생성하고 공간적으로 할당하고, 이를 통해 행위자의 초기 숫자 및 비율, 지역별 분포 등을 정의하였다.

4) 행위자 입지선택 모듈(agent location choice module)

행위자가 대상지의 공간환경과 밀도 등에 대한 정보를 인식하고 입지선택을 수행하

기 위해서 필요한 의사결정기준을 정의하는 모듈이다. 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형의 근간을 이루는 부분이며, 연구자가 자의적(ad-hoc)으로 구성한 의사결정 규칙 또는 기존의 사회경제이론체계 등 다양한 기준에 의해 자유롭게 설정 가능한 부분이기도 하다.

전술한 바와 같이 최근에 행위자 기반 도시모형은 주로 임의적 의사결정규칙에 기반하여 입지선택 알고리즘을 정의하는 경향이 있어왔다. 이 연구에서는 행위자의 입지선택을 위한 의사결정기준으로 도시경제학 분야의 입지이론을 접목하고자 하는데, 이와 같은 입지선택이론은 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 입찰지대 이론(bid-rent theory)과, 실증적 검증에 보다 중점을 두고 제안된 McFadden(1973)의 확률적 효용이론(random utility theory)에 입각한 입지선택이론 등이 있다.

전자는 서로 다른 행위자(상업, 제조업, 가구 등)간의 지불능력 차이에 따른 시장경쟁과 도심지로부터의 거리와 교통비간의 트레이드오프(trade-off) 관계를 통해 도시 공간구조의 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 관련 연구가 이루어졌으며, 다양한 확장 모형 등이 존재한다.

한편 Anas(1982)는 입찰지대이론은 이론적 설명력은 높으나 실증적 검증 등에서는 확률적 효용이론이 보다 유리하다고 주장하기도 한다. 이론적·방법론적 차이는 있으나, 양자 모두 공간구조변화의 기반이론으로써 행위자 기반 모형과 결합 가능하다. 입찰지대 이론 기반의 모형은 이론적 설명력은 높으나, 개별 행위주체별로 차별화된 함수를 정의하고 실증적 계수를 도출하여 모형을 보정하는데 어려움이 있다.

이 연구는 확률적 효용이론에 기반하여 가구, 기업, 개발자 등 행위자의 입지선택 원리를 정의하고자 하며, 이에 따라 각 행위자는 자신의 효용을 극대화하는 위치에 입지하게 된다. 이에 대한 함수는 아래의 수식과 같으며, 해당 함수에 실제 사용할 변수는 선행연구 등에서 주로 활용되는 변수를 검토하여 확정하고자 하고, 다음

장에서 보다 구체적으로 제시하도록 한다.

$$U_{ai} = \sum_{s=1}^S \beta_s x_{ai} + \varepsilon_{ai}$$

.....(4)

여기서 S는 선택가능한 대안의 집합, β_s 는 각 대안에 대한 계수, x_{ai} 는 각 개인 i의 선택대안 a에 대한 벡터, ε_{ai} 는 겔블(Gumbel) 분포를 따르는 확률적 부분을 의미한다. 이상과 같은 전제하에 로짓모형을 구성하여 각 대안에 대한 선택확률을 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$P_{ai} = \frac{e^{x_{ai}}}{\sum e^{x_{ki}}}$$

.....(5)

5) 제약요인 모듈(constraint module)

행위자 기반 모형은 상향식(bottom-up) 관점에서 개별 행위자의 의사결정에 따라 유발되는 전체 시스템의 변화를 파악하고자 하는 특성이 있다. 이와 같은 상향식 방법론을 도시모형 분야에 활용할 경우, 가구, 기업 등 도시를 구성하는 행위주체의 의사결정행위를 변화의 동인으로 고려하고 이로 인해 도출되는 도시공간의 변화를 파악할 수 있다는 장점이 있으나, 개발에 영향을 미치는 제도적인 요인과 사회경제적인 요인들을 고려하지 못하거나, 이로 인해 결과로 도출되는 개발량이 과대 또는 과소하게 산정되는 단점 또한 존재한다.

이와 같은 한계점은 행위자 기반 모형 방법론 이전에 도입된 셀룰라 오토마타(cellular automata) 모형 방법론에서도 유사하게 나타난 바 있는데, 도시모형 연구자들은 이러한 문제점을 극복하기 위하여 모형이 산출하는 전체 변화량 등에 제약(constraint)을 두는 방법을 고안하여 활용한 바 있다(White & Engelen, 1997; Yeh & Li, 2001). 이러한 경우 시스템 변화의 기본적인 동인은 상향식(bottom-up) 관점에서 파악되되, 동시에 하향식(top-down) 관점에서의 제약요인

을 고려함으로써 모형 결과물의 현실성을 높임과 동시에, 외생변수 또는 외부모형과의 연계를 가능하게 하여 모형의 실용성 또한 높인다는 장점이 있다.

한편 이와 같이 시스템의 변화량을 제약요인(constraint)으로 설정하는 것은, 개발 총량을 할당(allocation)하는 것과는 차이가 있다. 전자는 시스템의 변화가 상향식(bottom-up)이고 자율적(autonomous)인 메커니즘에 의해 도출되나 시스템 변화 총량이 제약요인으로 설정된 임계치에 도달하면 시뮬레이션이 종료되는 것을 의미하는데 반해, 후자는 하향식(top-down)이고 결정론적(deterministic)으로 정의한 규칙(rule)에 의하여 모든 시스템의 변화가 결정되는 것을 의미한다.

이 연구에서는 이러한 제약요인(constraint)을 공간적 위계에 따라 전역(global), 지역(regional), 국지(local) 레벨로 구분하여 고려하여, 먼저 전역적 제약변수는 전체 대상지에 대한 개발 총량(total demand)을 산정하여 시뮬레이션에 반영한다. 다음으로 지역적 제약변수는 대상지 내부의 행정구역 등 폴리곤(polygon) 단위별로 잠재력(zonal potential) 등을 설정하며, 각 지역별 인구비율, 소득 수준 등과 같은 요인을 반영한다. 그리고 마지막으로 국지적 제약변수는 각 셀(cell) 단위로 제약사항(cellular exclusion)을 설정하며, 경사도 등에 의한 물리적 제약 요인과 개발제한구역 등과 같은 제도적 제약 요인을 반영하고자 한다.

6) 시뮬레이션 결과분석 모듈(analysis of simulation)

컴퓨터 환경 상에서 구현되는 시뮬레이션 모형은 다양한 대안적 미래를 산출할 수 있는데, 결과물의 특징을 손쉽게 이해하기 위해서는 적절한 분석지표(measurement metrics or indicators)를 활용할 필요가 있다. 예를 들어 공간변화 시뮬레이션 수행 결과, 개별적인 토지이용패치수(Number of Patches)가 높으면 신규 개발지가 확산(diffusion)되는 것을 의미하며, 최대패치지수(Largest Patch Index)가 높을 때는 기존 개발지로의 융합(coalescence)이 되고 있는 것을 의미한다(Nassar, Alan Blackburn, & Duncan Whyatt, 2014). 또한 단순한 토지이용 패턴보다는 다차원의 밀도지표를 활용하면 도시공간을 밀도분포 특성에 따라 다양하게 구분이

능하며, 이를 기반으로 에너지 절감형 공간정책 등의 다양한 정책방안 마련이 가능하다(Kickert, Berghauser Pont, & Nefs, 2014).

상기와 같은 결과분석 지표는 엄밀하게는 시뮬레이션 모형과는 별개로 작동되는 외적인 요소이나 한편으로 모형의 활용성을 높이기 위해서는 통합적 개발이 필요한 부분이기도 하다. 모형의 확장성을 고려하여 일부 지표는 모형에서 직접 산출될 수 있도록 하나, 당해 연도 연구에서는 Map Comparison Kit⁸⁾, Fragstats⁹⁾, Spacemate¹⁰⁾ 등 기 구축된 외생의 분석모형을 활용하여 산정하도록 한다.

이 모형에서 산출하는 결과물을 단독으로 분석하여 공간변화 정도를 파악할 수 있는 지표는 <표 4-1>과 같다. 먼저 직접적인 지표로는 토지특성지표(landscape metrics), 밀도지표(density index), 복합이용지표(mixed use index) 등이 있으며, 인구추계 데이터 등 다른 사회경제적 데이터와 조합하여 시뮬레이션 결과를 분석하고 의미를 파악할 수 있는 간접적인 지표로는 예를 들어 도시화 지역의 인구밀도, 1인당 토지 소비량, 기반시설 수용용량 등 보다 다양할 수 있다.

8) 네덜란드의 RIKS에서 개발한 공간정보 분석도구이다.

9) Oregon State University의 Dr. Kevin McGarigal가 개발한 공간패턴 분석모형. 최대 패치 수, 프랙탈 지수 등 다양한 공간패턴 분석함수를 포함하고 있다.

10) Delft University of Technology의 Dr. Meta Berghauser Pont 등이 개발한 밀도패턴 분석 모형이다. 용적률, 건폐율, 층고, 녹지율 등을 통합적으로 분석할 수 있다.

<표 4-1> 직접지표와 간접지표의 종류

직접 지표		
토지이용패턴 관련	밀도 관련	혼합 이용 관련
패치수(number of patches) 최대패치지수(largest patch index)	패치 밀도 (patch density)	복합이용지수(mixed use index)
간접 지표		

도시화 지역의 인구 밀도, 1인당 토지소비량, 기반시설 수용용량 등

3. 모형의 논리적 구조와 구동절차

앞에서 설명한 접근방법과 논리적 구성요소에 기반하여 이 연구에서 개발하는 모형의 전체적인 기본구조와 구동절차는 <그림 4-2>와 같으며, 각 모듈의 주요한 기능과 역할을 요약하면 다음과 같다. 먼저 공간환경 모듈은 대상지의 토지 이용 유형, 인프라 및 서비스 시설 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 신규입지 가능지와 충진입지 가능지를 인식할 수 있도록 한다. 공간밀도 모듈은 신규입지 발생지와 충진입지 발생지의 개발밀도를 결정하는 역할을 하며, 밀도함수를 통해 산정한 현재의 밀도패턴에 따라 미래의 밀도값을 부여하며, 행위자 생성 모듈에서는 개발자(developer), 가구(household), 기업(manufacturer)등 공간변화를 유발하는 행위주체를 생성하며, 이때 실제 통계 자료를 분석¹¹⁾하여 통계적 비율에 의하여 행위자를 지역적으로

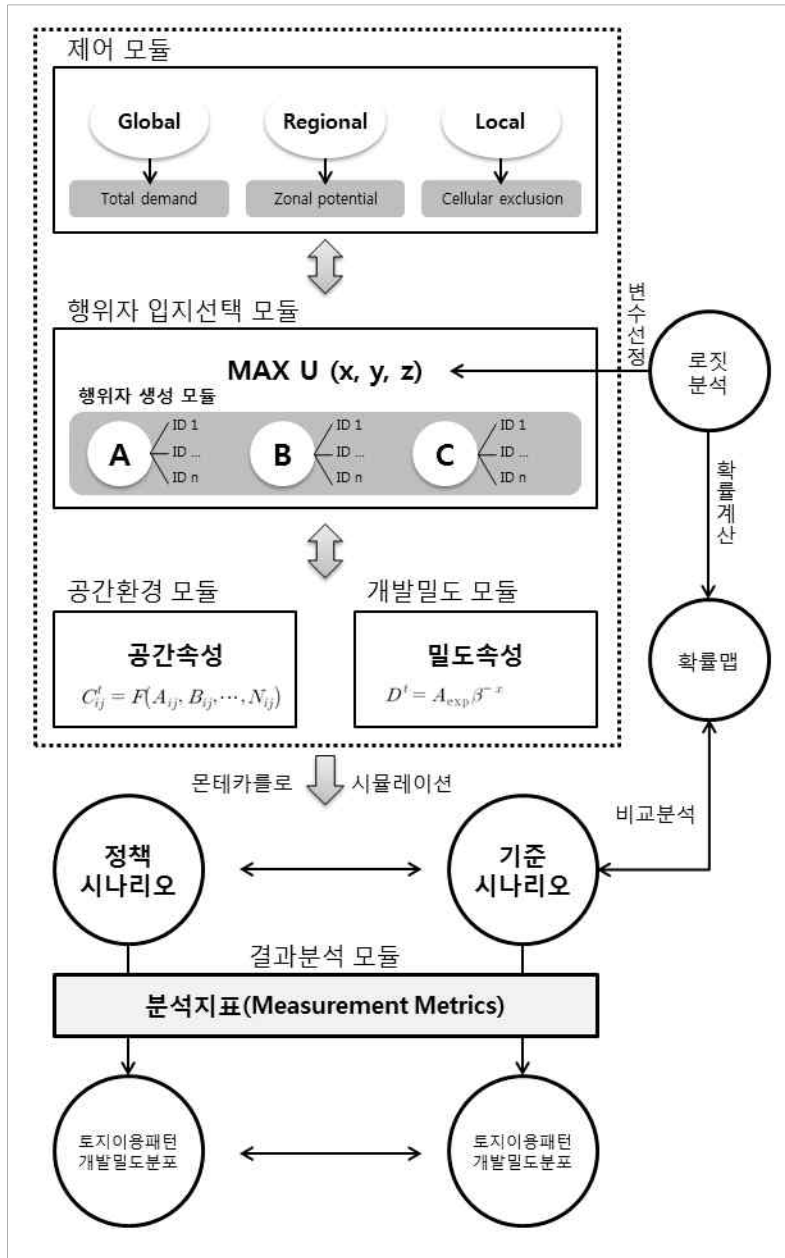
11) 이 모형은 셀 단위로 기본적인 입지선택을 수행하나, 행위자의 생성을 위해 사례지역의 벡터(vector)자료 형태의 통계지리정보를 입력정보로 활용하며, 통계지리정보에 포함된 속성 정보로부터 필요한 인구통계 정보를 로딩하여 분석 및 할당을 수행한다.

배분한다. 이후 각 행위자는 행위자 입지 선택 모듈의 함수식에 기반하여 자신의 효용을 산출한 후 이를 극대화하는 입지선택을 하게 되며¹²⁾, 이때 입지선택에 영향을 미치는 변수와 계수는 별도의 로짓분석을 수행하여 선정하게 된다. 한편 모형의 보정은 시뮬레이션 결과와 식 (5)에 의해 산정된 확률맵을 비교, 검토하여 수행한다. 각 행위자가 선호에 따라 입지선택을 수행하면, 이의 결과로 토지이용 속성과 개발밀도가 변화하게 되며, 시스템의 변화 총량은 외생변수 또는 시나리오 상의 가설에 의해 제약을 받는다. 시뮬레이션의 수행은 몬테카를로 기법에 의하여 여러 번 수행하고¹³⁾, 확률값을 도출할 수 있도록 설계하였다. 시뮬레이션 결과의 분석은 내부 분석모듈과 외부의 분석모형을 공히 활용하고자 한다.

12) 개발자의 입지선택행위를 행위자 기반 모형 또는 도시모형에서 고려하는 방법으로는 이윤극대화(profit maximisation), 손실회피(loss averting), 선호요인(developer preference) 등에 의한 방법이 있다(Magliocca 외, 2014). 이 연구에서는 선호요인에 의하여 개발자의 입지선택을 추정한다.

13) 몬테카를로 시뮬레이션 반복횟수를 올릴수록 결과산출에 필요한 시간이 증가하게 되는데, 2차원 공간에서 미시적 입지선택을 수행하는 행위자 기반 모형의 경우, 시뮬레이션에 필요한 시간이 비공간적인 모형보다 더 많이 필요로 하는 경향이 있다.

<그림 4-2> 모형의 기본구조 및 시뮬레이션 수행절차



4. 모형의 개발환경과 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 의사결정기준과 함수 등 정의, 논리적 구성모듈 등 설계와 같은 개념적 설계가 선행되어야 하며, 이를 컴퓨터 환경에서 구동 가능한 프로그램의 형태로 구현하기 위한 노력이 필요하다. 그리고 기존의 모형을 수정하거나 보완하지 않고 새로운 프로그램의 형태로 개발하고자 할 경우 많은 시간과 비용이 소요된다.

한편 행위자 기반 모형은 국토나 도시 등 공간연구 분야의 고유한 방법론이 아니라 자연과학 및 사회과학의 다양한 분야에서 확산되고 있는 방법론으로서, 국외의 대학과 연구소 등에서 행위자 기반 모형을 보다 효율적으로 개발하고 활용하기 위해 개발한 유상의 소프트웨어와 무상의 오픈소스 소프트웨어가 다수 존재한다. 이들 소프트웨어는 구체적인 분석 방법론, 의사결정 함수 등 모형의 논리적 구성을 위한 알고리즘은 제공하지 않으나, 모형개발을 위한 프로그래밍을 용이하게 도와주는 플랫폼의 기능을 제공하고 있다. 따라서 이를 모형개발의 플랫폼으로 활용할 경우 자료의 입출력을 위한 기능 개발 등 모형의 논리적 구성과는 무관한 모든 기능까지 자체적으로 개발할 필요가 없어 모형개발에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다.

여러 종류의 유무상의 행위자 기반 모형 개발 플랫폼이 존재하나, 공간정보를 활용한 행위자 기반 도시모형의 개발에 유용한 플랫폼은 미국의 노스웨스턴 대학에서 개발한 넷로고(NetLogo), 시카고 대학에서 개발한 리파스트(Repast), 조지메이슨 대학에서 개발한 지오메이슨(GeoMason) 등과 같은 것이 있으며, 각 소프트웨어에 대한 구체적인 기능과 내용은 아래의 <표 4-2>와 같다.

<표 4-2> 행위자 기반 모형 개발 플랫폼 비교

플랫폼 구 분	넷로고 (NetLogo)	리파스트 (Repast Simphony)	가마 (GAMA)	지오메이슨 (GeoMASON)
개발자	Uri Wilensky (Northwestern Univ.)	Michael North et al. (U of Chicago)	UMMISCO (프랑스/베트남 연구진)	Mark Coletti (George Mason Univ.)
개발년도	1999	2000	2007	2000
현재버전	5.0.5	2.1	1.6	1.5
문서화	잘 되어있음	잘 되어있음	잘 되어있음	개발 중
운영체제	Windows MacOS UNIX Linux	Windows MacOS Linux	Windows MacOS Linux Ubuntu	Windows MacOS UNIX Linux
라이선스 타입	Free 오픈소스 아님	BSD	GPL(v3)	AFL
모델 언어	NetLogo	C++, Java, ReLogo	GAML	Java
실행속도	중간	빠름	빠름	빠름
통합된 GIS기능	없음	있음	있음	있음
사용자 층	넓음	넓음	확대 중	확대 중
프로그래밍 난이도	하	상	중	상
설치 용이성	쉬움	중	쉬움	중
웹 사이트	http://ccl.northwestern.edu/netlogo/	http://repast.sourceforge.net/	https://code.google.com/p/gama-platform/	http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/extensions/geomason/

주: GPL(General Public License) : 소스코드를 공개해야 함

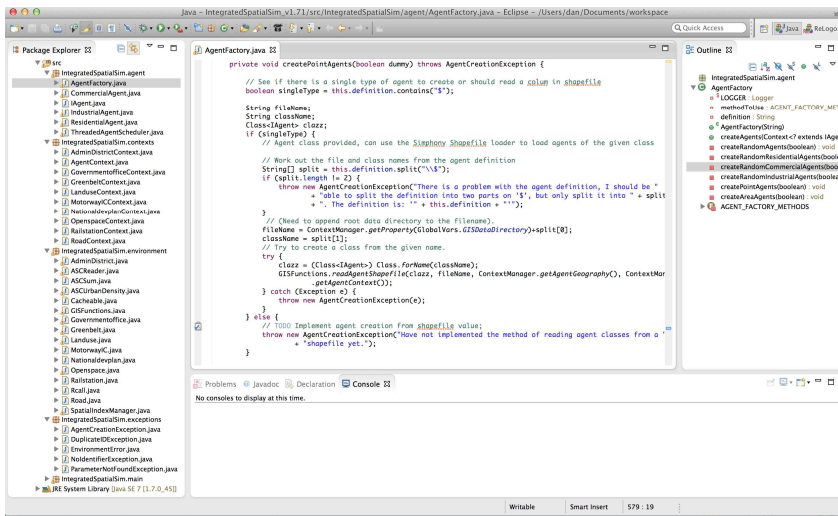
AFL(Academic Free License) : 2002년 Lawrence E. Rosen이 작성한 오픈소스라이선스

BSD(Berkley Software Distribution) : 소스코드를 공개하지 않아도 되는 공개 SW 라이선스

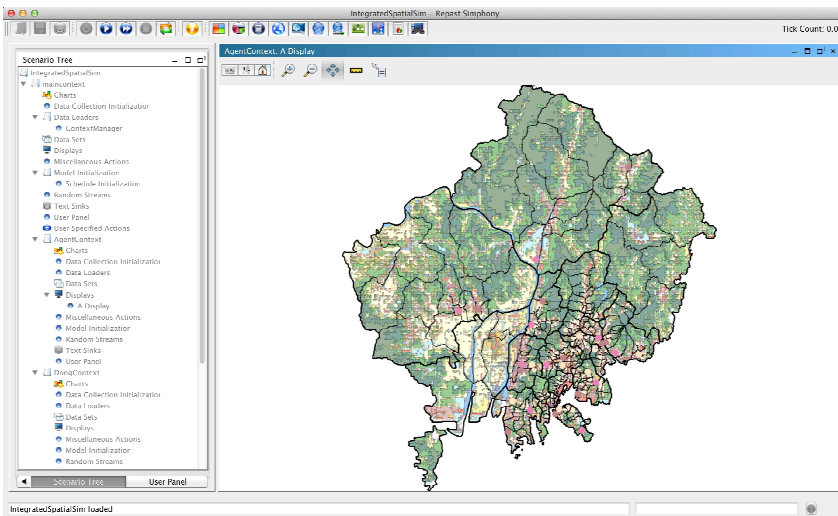
각 플랫폼은 장단점이 있는데, 넷로고나 가마 등은 프로그래밍이 상대적으로 쉽기는 하나 자체적인 언어를 사용하는 관계로 모형의 확장성 등에 한계가 있으며, 리파스트와 지오메이슨은 자바(Java) 언어의 사용을 기반으로 하고 있어 프로그램의 호환성과 확장성이 보다 더 좋다고 할 수 있다. 리파스트는 지오메이슨에 비교하여 보다 많은 모형 개발자층을 확보하고 있는데 이 연구는 향후 모형의 확장성 등을 고려하여

자바 언어 기반의 리파스트 심포니(Repast Symphony) 버전을 활용하여 모형을 개발 하였으며, 아래의 <그림 4-3>과 <그림 4-4>는 자바 프로그래밍을 통해 모형을 개발 중인 화면과, 사례지역인 부산권 지역의 각종 공간정보를 로딩하여 모형을 초기화한 모습이다.

<그림 4-3> 모형 개발 화면



<그림 4-4> 모형 초기화 화면



5. 예비 시뮬레이션 수행 및 모형의 기본성능 검토

컴퓨터 프로그램의 형태로 구현된 모형이 오류없이 코딩이 되어 잘 작동하는지, 입력자료 및 계수변화 등에 적절하게 반응하는 지 등에 대한 검토와 검증이 필요하다. 실제 사례 지역의 데이터를 사용하여 시뮬레이션하면서 이와 같은 과정을 수행할 경우 모형의 수정과 보완을 어렵게 하므로, 우선 가상의 공간에서 가상의 데이터를 사용하여 모형을 구동하고 예비 시뮬레이션을 수행하여 모형의 행태와 결과물을 검토하였다.

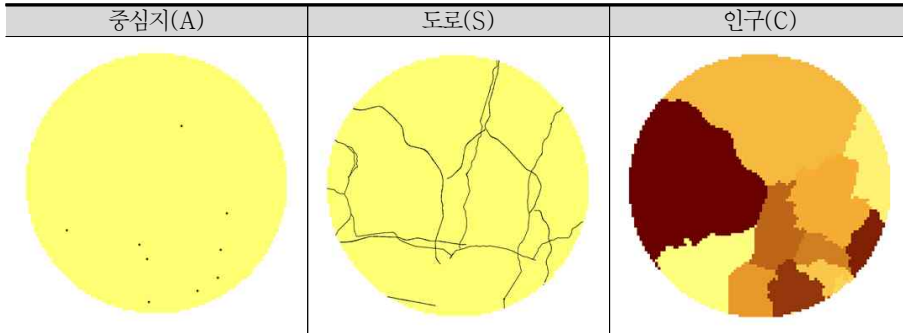
예비 시뮬레이션은 모형의 논리적 구조에 따른 결과물이 정상적으로 도출되는지 검증하고자 하는 것이며, 추후 실제 사례지역에 적용 시 파라미터를 산정하는 근거로 활용하고자 하는 것이다. 이 모형의 구조상 중요성이 가장 높다고 할 수 있는 행위자의 입지선택 함수와 도시공간의 밀도변화 함수를 대상으로 파라미터 변화에 따라 그에 부응하는 공간패턴이 산출되는지 검토하였다.

1) 입지 함수에 대한 시뮬레이션

가상의 지리적 공간을 상정한 시뮬레이션은 실제 사례지역에 대한 모든 변수를 상정하여 시뮬레이션을 수행하고 결과를 검토하는 것은 많은 시간을 필요로 하며, 개발중인 모형의 수정과 보완을 어렵게 하므로 가상의 공간과 입력변수를 상정하여 앞의 행위자 입지선택 함수(함수식 (4), 45 페이지)로 도출되는 결과를 검토하였다.

입력변수는 행위자의 입지선택에 영향을 미치는 요인을 중심지 접근성(A), 도로 접근성(S), 인구밀도(C), 통계적 난수(R) 등으로 상정하여, 가설적인 효용함수를 구성하고 각 변수에 대한 가설의 선호 변화를 상정하여 행위자의 효용 변화에 대응한 적합한 결과물을 산출하는지 검토하였다.

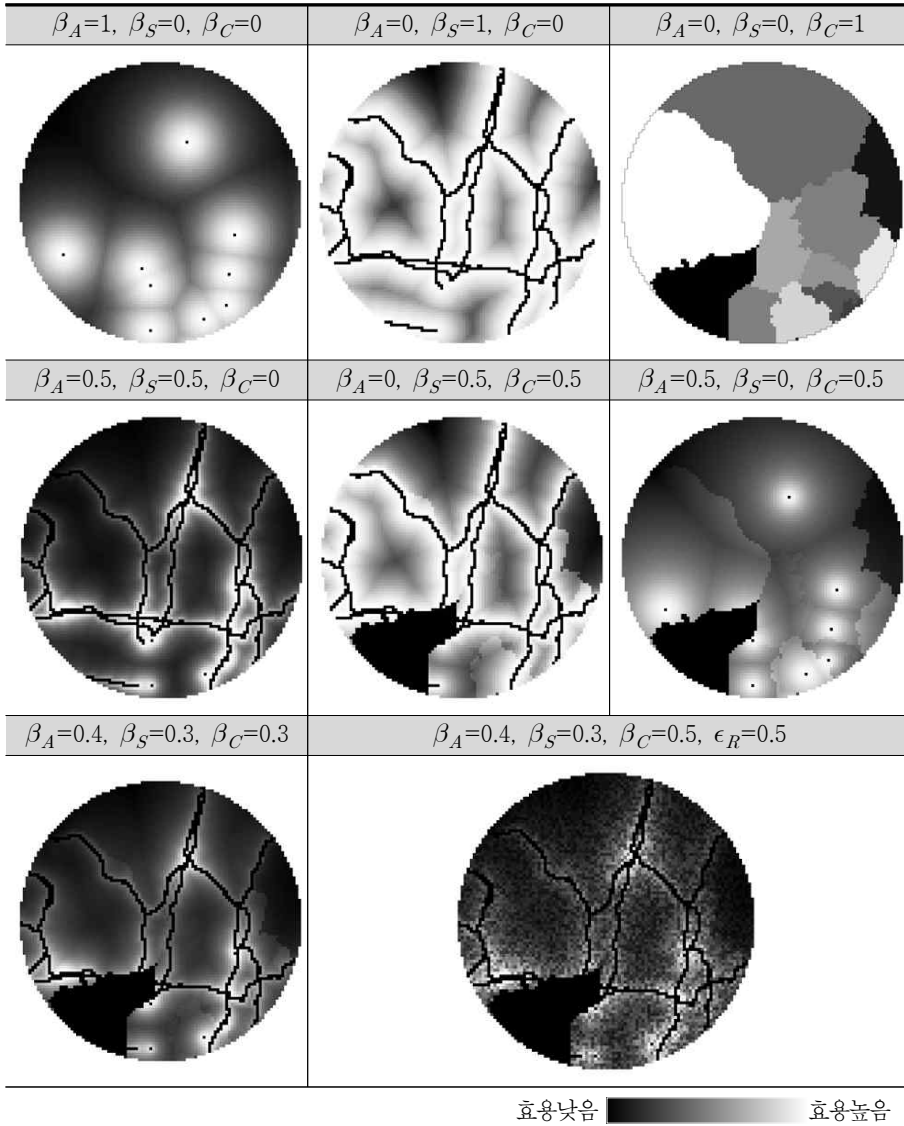
<그림 4-5> 입지선택에 영향을 미치는 독립변수



실험결과를 아래의 <그림 4-6>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 감소하는 결과를 보여주고 있다. 특히 통계적 난수(ϵ_R)¹⁴⁾까지 추가로 고려할 경우 실제 현실 공간에서 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. 실증적인 변수와 계수 설정은 사례지역에 대한 자료 분석 등을 통해서 수행 예정이며, 이에 대한 분석 결과는 다음의 장에서 구체적으로 설명한다.

14) 난수값은 0과 1사이의 범위에서 발생된다.

<그림 4-6> 효용변화 시뮬레이션

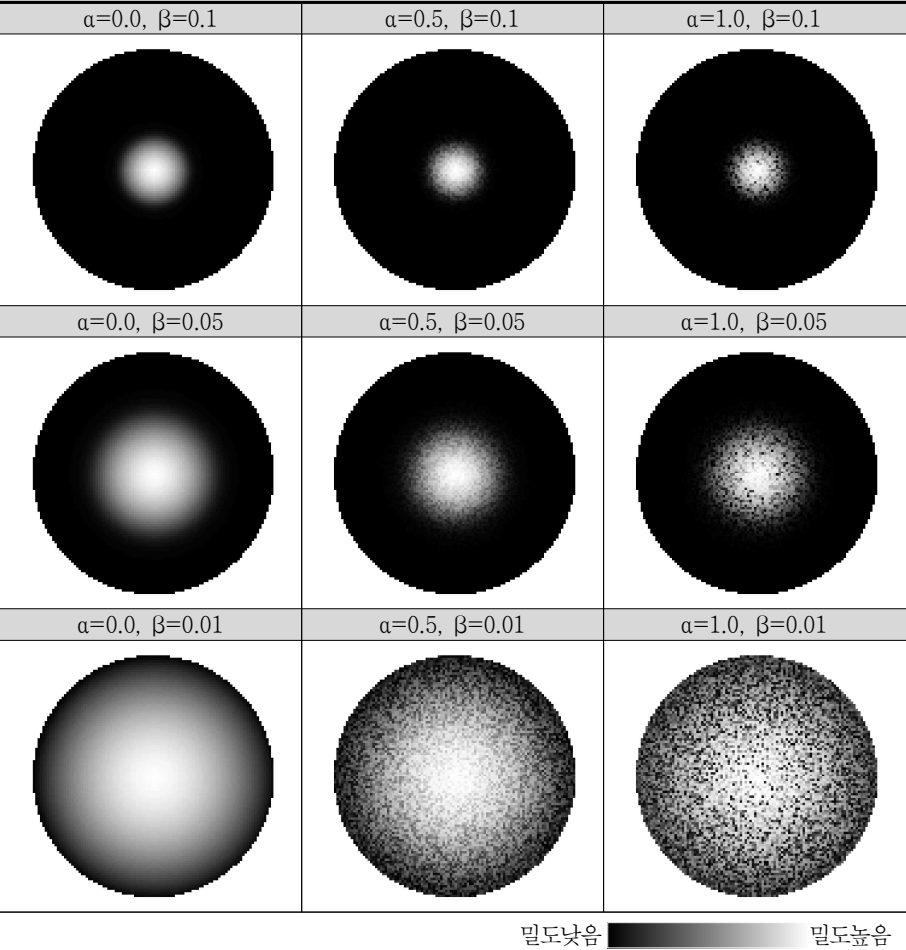


2) 밀도 함수에 대한 시뮬레이션

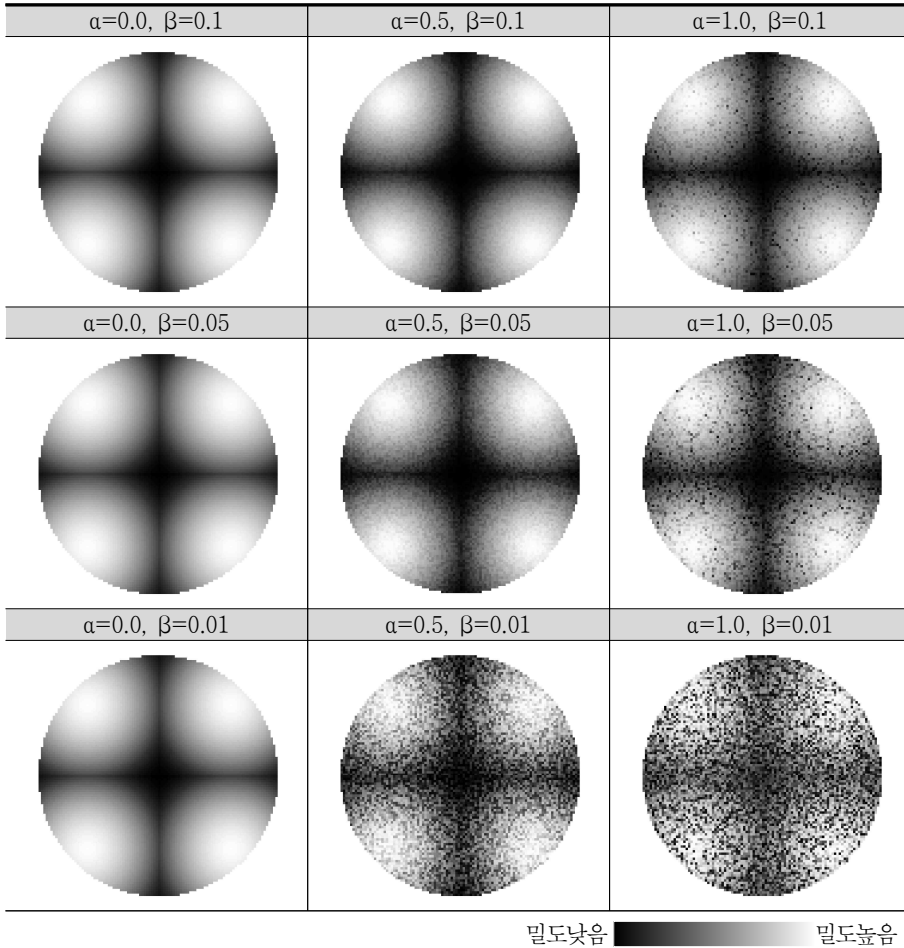
효용함수의 경우와 마찬가지로 밀도함수에 대한 가상의 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저, 단일 도심을 가정한 밀도변화 시뮬레이션을 수행하기 위하여, 가로와 세로

100개×100개의 격자 셀을 가지는 가상공간의 중심부에 도심지가 존재하는 것으로 가정하고, 식 (1)에 의해 도출되는 밀도변화를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션의 결과는 <그림 4-7>에서 보는 바와 같이 전체적으로는 중심지로부터 멀어질수록 밀도가 감소하는 틀을 유지하나 β 값이 증가할수록 거리감쇠(distance decay) 효과가 빠르게 나타나며, α 값이 증가할수록 국지적 불규칙성(stochastic disturbance)이 증가하는 공간패턴을 산출하고 있다.

<그림 4-7> 단일도심 밀도변화 시뮬레이션



<그림 4-8> 복수도심 밀도변화 시뮬레이션



한편 현실적으로는 다수의 도시가 다핵구조를 가지고 있으며, 이 연구의 사례지역인 부산 등 일부 도시의 경우 원도심의 밀도가 새로이 형성된 신도심 및 부도심 보다 낮은 경우가 존재한다. 이러한 경우를 위하여 복수의 도심을 가정한 밀도변화 시뮬레이션에서는 마찬가지로 그리드 크기가 100개×100개인 가상공간의 중심부에 도심지가 존재하나 주변에 4개의 부도심이 존재하고 원도심 보다는 부도심에 밀도가 더 높은 것으로 가정하고 밀도변화를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 수행 결과, <그림

4-8>에서 보는 바와 같이, 복수도심의 공간구조를 잘 표현하고 있으며, α 값이 증가할수록 국지적 불규칙성(stochastic disturbance)도 증가하고 있음을 알 수 있다.

chapter V

행위자 기반 도시모형의
적용과 결과분석

행위자 기반 도시모형의 적용과 결과분석

이 장에서는 사례지역을 대상으로 모형을 적용하고 시나리오별로 시뮬레이션을 수행한 뒤 결과를 분석하였다. 사례지역은 도시내부의 고밀복합개발과 도시외곽의 개별 난개발이 동시에 진행되고 있는 부산권(부산, 양산, 김해)으로 선정하였으며, 해당 지역의 특성에 맞는 입지요인과 밀도패턴 등을 로짓분석을 통해 도출하고 시뮬레이션에 반영하였다. 시뮬레이션은 현추세연장 시나리오와 고밀복합형 정책시나리오를 대상으로 수행하고 결과를 분석하였다.

1. 사례연구 대상지 현황

1) 대상지 선정 배경

모형을 실증적으로 적용하고 활용성을 검토하기 위해서 사례연구를 수행하고자 하며, 사례연구 지역은 부산권(부산, 김해, 양산)을 대상으로 하고자 한다(<그림 5-1>). 해당 지역은 최근 정부가 지정한 지역행복생활권 중 부산중심의 중추도시생활권(부산, 양산, 김해, 울주)과 유사하나 이중 울주군을 제외한 것이다¹⁵⁾. 부산시는

15) 공간변화와 관련하여 울주군은 부산시의 영향 보다는 지리적으로 보다 인접한 울산시의 영향이 더 클 것으로 판단하여 사례연구 대상지에서 제외하였다. 반면 김해시와 양산시는 부산시의 부족한 토지공급 문제에 영향을 받아 도시성장이 진행되고 있는 것으로 판단하여 동일한 사례연구 지역으로 포함하였다.

한국전쟁 당시 전국에서 모여든 피난민으로 인해 무계획적이고 급속하게 형성된 공간구조가 존재하고 있으며, 바다와 산지 등 지형적인 여건으로 인하여 다른 대도시권과는 차별화되는 보다 복잡한 공간구조를 가지고 있다. 한편 도시내부에는 노후불량 지역이 산재해 있으며 신규개발 가용지는 제한적인 상태에서 해운대구 등을 중심으로 고밀재개발 등이 확산되고 있는 상황이다. 한편 부산시에서 수용되지 못한 주거개발 등은 김해, 양산 등의 주변도시로 확산되고 있으며, 이들 지역은 개별산업입지 등 공장 난개발 문제도 겪고 있다.

<그림 5-1> 사례연구 대상지

2) 인구현황

인구를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 면적을 살펴보면 기장군, 강서구의 면적이 각각 218km²와 182km²로 가장 넓고 중구와 동구가 2.83km²와 9.73km²로 가장 작다. 인구를 살펴보면 해운대구와 부산진구에 약 43만명과 39만명으로 가장 많은 인구가 거주하고 있으며, 중구와 강서구는 약 5만명과 8만명으로 거주 인구가 가장 적다.

김해시와 양산시의 면적은 각각 463km²와 485km² 정도로 비슷하나, 김해시의 인구가 약 53만명, 양산시의 인구가 약 27만명으로 김해시의 인구밀도가 2배 정도 높음을 알 수 있다. 사례연구 대상지의 면적과 인구분포는 <표 5-1>과 <그림 5-2>와 같다.

<표 5-1> 사례연구 대상지 행정구역별 면적과 인구현황

행정구역	구분	면적(km ²)	세대수(세대)	인구 수(명)
부산광역시	소계	769.89	1,409,289	3,561,846
	중구	2.83	23,494	48,651
	서구	13.93	53,275	119,908
	동구	9.73	43,465	96,929
	영도구	14.13	57,132	136,461
	부산진구	29.69	163,444	390,933
	동래구	16.63	106,582	278,788
	남구	26.81	114,846	293,811
	북구	39.36	115,167	309,677
	해운대구	51.47	161,109	427,793
	사하구	41.72	134,915	351,863
	금정구	65.27	100,683	255,541
	강서구	181.63	30,335	77,018
	연제구	12.08	82,806	209,877
	수영구	10.21	72,181	176,522
	사상구	36.09	96,661	250,144
	기장군	218.28	53,194	137,930
김해시		462.81	184,977	528,730
양산시		485.35	102,031	274,770

자료: 국가통계포털(www.kosis.kr)

Map of Gyeonggi-do showing population density by county in 2015. The map uses a color scale from light orange to dark red to represent population density. A north arrow is in the top left, and a scale bar (0-20 km) is in the bottom left. A legend in the bottom right lists the population for each county.

영역

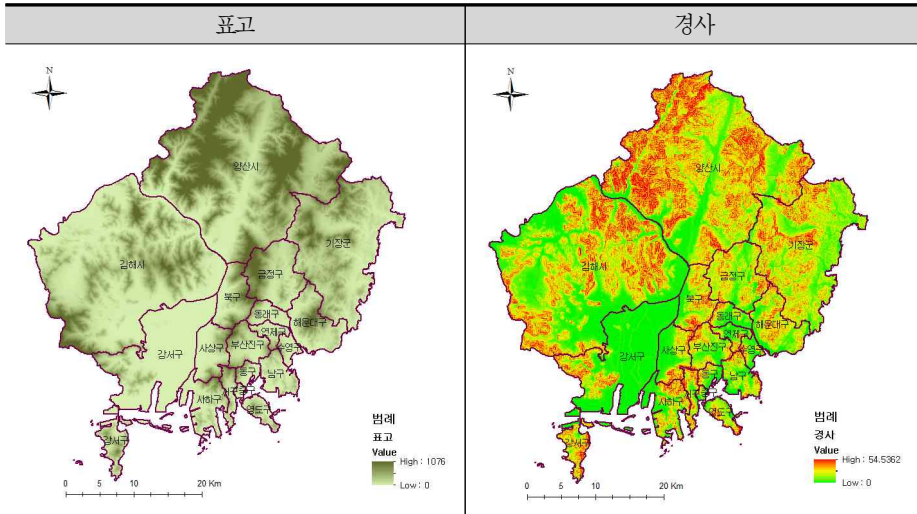
NewSite

연구수 (인), @GUNGJIL_NM

121930, 고양군	282811, 남구
48591, 용인	209877, 북구
77519, 김포	209877, 중구
99829, 불교	381980, 서양구
119928, 시구	350144, 시양구
126481, 화성	399930, 북양구
274770, 양양	487799, 북양구
274770, 양양	528730, 남양구
274770, 양양	

부산권 지역은 낙동강 하구지역을 포함하고 있어 전반적으로는 비교적 낮고 평탄한 지형으로 구성되어 있다. 그러나 동북 방면으로 경사와 표고가 높은 지형이 포함되어 있는데 이에 해당하는 양산시의 경우 대부분 표고와 경사가 높은 산지로 구성되어 있다. 따라서 일정 정도 이상의 경사가 있는 지역과 자연환경, 녹지가 우수한 보호지역이 포함되어 있으며, 이들 지역에 대한 개발이 억제되어 있다. 사례연구 대상지의 물리적, 자연적 여건은 <그림 5-3>과 <표 5-2>와 같다.

<그림 5-3> 사례연구 대상지 표고 및 경사



<표 5-2> 사례연구 대상지 특성 비교

부산광역시	김해시	양산시
- 인근 개발지 보다 높은 곳으로 주변환경 및 미관 저해 지역 - 경사 30% 이상 - 임목본수도 70% 이상 - 보호수 보호구역 - 녹지축 하천해안경관 단절지역 - 공원·개발제한구역 인접 지역 - 역사, 문화, 향토적 가치, 국방상 목적으로 원형 보전 지역 - 재해발생예상지역 - 환경보호지역 - 녹지지역 및 우량 농지	- 보호수 주변지역 - 역사문화향토적 가치 원형보전 - 자연환경보전법 지역 - 녹지지역 조수류 집단서식지 및 수목 집단 생육지 - 녹지지역 중 우량농지 - 주변경관·환경 저해지역	- 임목축적 150%이상 - 경사도 21도 이상

4) 토지피복 및 용도지역

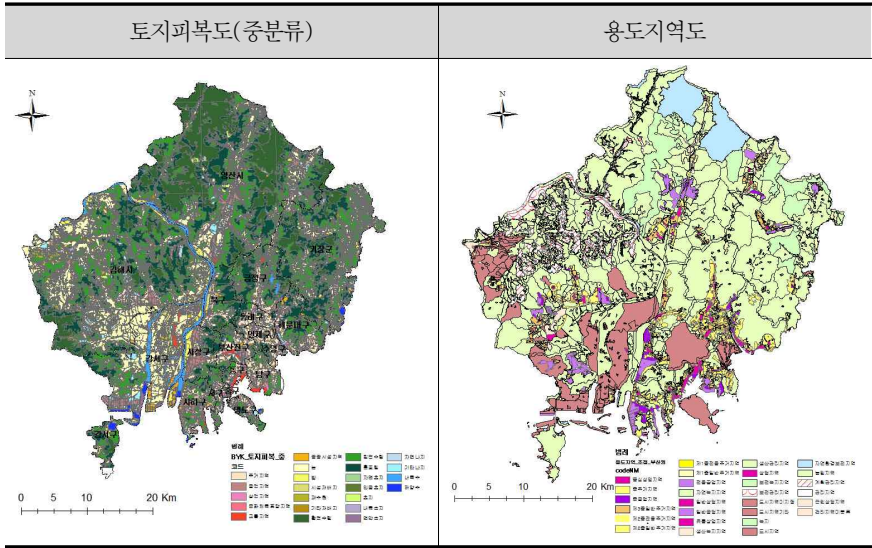
대상지의 토지가 어떻게 활용되고 있는지는 토지피복(land cover)과 토지이용(land use)을 통해 살펴볼 수 있는데 엄밀하게는 양자는 서로 다른 성격¹⁶⁾을 가지고 있는

16) 토지피복은 지표면의 물리적 특성을 기준으로 분류하며, 토지이용은 토지가 이용되는 사회

자료이나 현실적으로는 유사한 면이 많아 서로 호환되는 개념으로 사용되기도 한다.

먼저 토지피복상의 특성을 살펴보면 대상지 전체로 볼 때 산림지역이 거의 절반인 48% 정도를 차지하고 있으며, 시가화건조지역이 약 12.3%, 농업지역 15% 정도를 차지하고 있다. 다음으로 대상지의 용도지역을 살펴보면 녹지가 60%에 이르며, 주거지역이 10%를 차지하고 공업과 상업지역은 4%와 1%정도이다. 토지피복과 토지이용의 구성과 분포는 <그림 5-4>, <표 5-3>, <표 5-4>와 같다.

<그림 5-4> 사례연구 대상지 토지피복 및 용도지역



<표 5-3> 사례연구 대상지 용도지역 비율

대분류	중분류	면적비
용도지역	주거지역	10%
	공업지역	4%
	상업지역	1%
	녹지	59%
	기타	25%
	계	100

경제적 특성에 따라 분류한다.

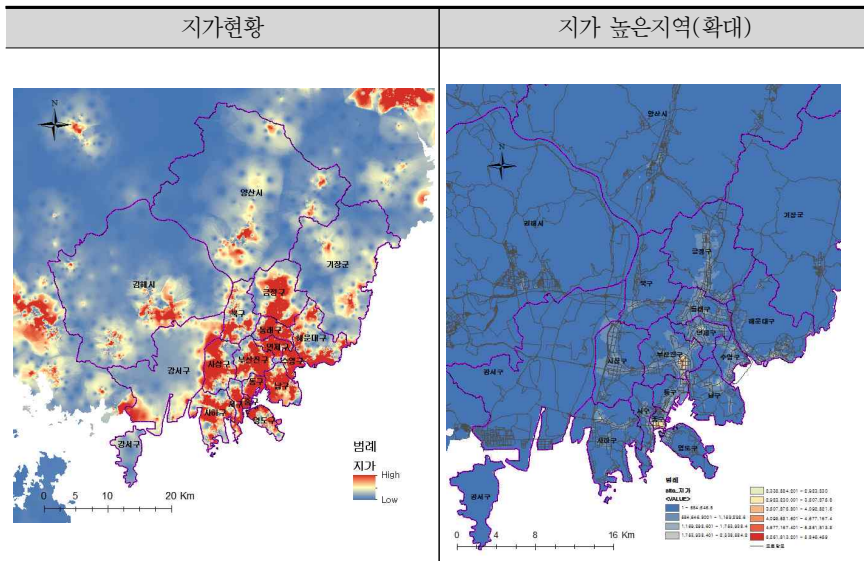
<표 5-4> 사례연구 대상지 토지피복 비율

대분류	중분류	면적비
시가화전조지역	주거지역	5.7%
	공업지역	2.1%
	상업지역	0.9%
	문화·체육·휴양지역	0.1%
	교통지역	2.4%
	공공시설지역	1.1%
	계	12.3%
농업지역	논	9.9%
	밭	3.1%
	시설재배지	0.8%
	과수원	0.8%
	기타재배지	0.4%
	계	15%
산림지역	활엽수림	16.1%
	침엽수림	16.5%
	혼효림	14.9%
	계	47.5%
초지	자연초지	0.4%
	인공초지	0.2%
	기타	0.2%
	계	0.8%
습지	내륙습지	0.4%
	연안습지	0.2%
	계	0.6%
나지	자연 나지	0.1%
	기타 나지	2.5%
	계	2.6%
수역	내륙수	2.6%
	해양수	18.7%
	계	21.3%

6) 공시지가

사례지역 전체의 공시지가 현황을 살펴보면 <그림 5-6>과 같다. 부산은 기장군과 강서구 양쪽 외곽을 제외한 대부분의 지역의 지가가 상대적으로 높게 형성되어 있는데 특히 원도심 지역에 해당되는 부산진구와 중구 남단, 부도심 지역에 해당되는 해운대 남단 등의 지가가 매우 높게 나타나고 있다. 양산시와 김해시의 경우는 각각의 중심지에 해당하는 양산시청 부근, 김해시청 부근의 지가가 높은 편이다. 교통접근성과 지가는 어느 정도 상관성을 가지고 있다고 할 수 있는데 대부분 주요 도로를 따라 지가가 높게 형성되어 있다.

<그림 5-6> 사례연구 대상지 공시지가 현황



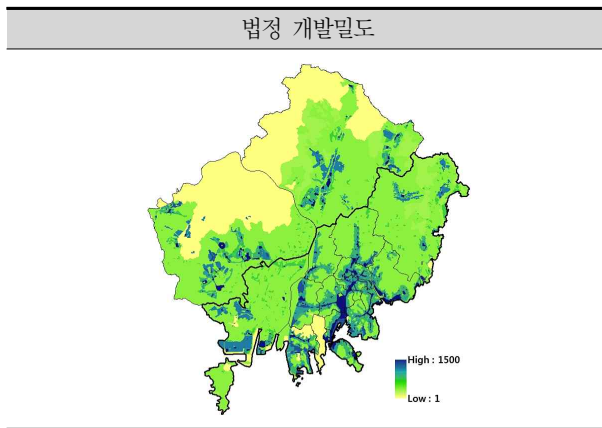
7) 개발밀도

도시의 개발밀도를 파악하는 것은 다양한 기준이 있을 수 있는데, 부산권 개발밀도의 일반 현황은 법정 개발밀도와 실제 개발밀도로 구분하여 살펴보았다. 법정 개발밀

도는 용도지역에서 규제하고 있는 최고 용적률을 기준으로 분석하였고, 한국토지종합정보망(KLIS) 자료에서 용도지역을 추출한 후 용도지역별 용적률을 분석하였다.

법정밀도를 분석한 결과는 <그림 5-7>과 같다. 평균적으로 부산광역시 중구, 동구, 부산진구, 해운대구 등이 높게 나타난 반면, 김해시와 양산시는 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

<그림 5-7> 사례연구 대상지 법정 개발밀도



실제 개발밀도는 건물의 층수를 기준으로 한 것과 토지의 용적률을 기준으로 한 것으로 구분하여 분석하였으며, 몇 단계의 자료가공을 통하여 분석을 수행하였다.

층수 기반의 개발밀도는 건물 수준에서 분석을 수행하였고, 이를 위해 새주소도로망 지도에서 층수에 관한 정보가 존재하는 건물을 추출하였다. 토지피복도에서 주거, 상업, 공업용지를 추출하였고, 각각의 용도 내 위치하고 있는 건물은 해당용지로 활용되고 있다고 가정한 후, 내삽화 기법(interpolation method) 중 하나인 역거리가중법을 활용하여 부산권 전역의 개발밀도를 추출하였다. 마지막으로 주거, 상업, 공업을 하나로 묶어 부산권의 전반적인 실제 개발밀도를 분석하였다.

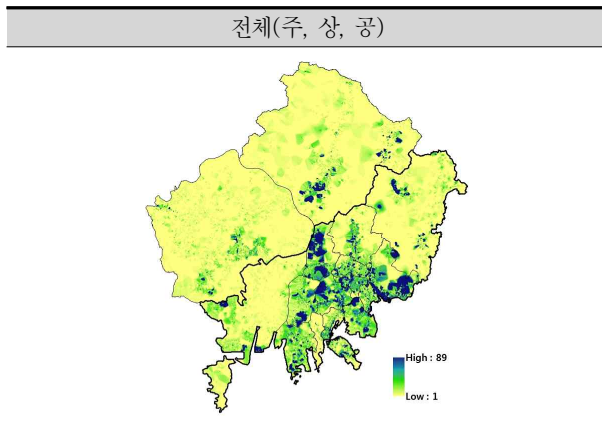
용적률 기반의 개발밀도는 전체적인 특성을 파악하기 위해 읍면동 단위에서 수행하였는데, 용적률을 기초로 개발밀도의 핫스팟(hot spots)을 분석하여 부산권 내에서 개발밀도가 높은 지역의 군집형태를 파악하였고, 분석에는 국지적 모란지수(Local

Moran's I)¹⁷⁾를 활용하였다.

실제 개발밀도의 분석결과는 용도에 따라 상이한 것으로 드러났다. 주거밀도는 부산광역시 해운대구, 북구, 연제구, 부산진구 등의 순이었고, 상업밀도는 부산광역시 수영구, 남구, 연제구 등의 순으로 높게 나타났으며, 공업밀도는 지역 간 편차가 크지 않은 가운데, 부산광역시 해운대구, 동래구, 연제구 등이 높은 것으로 분석되었다.

주거, 상업, 공업을 모두 합친 전체밀도에서는 부산광역시 해운대구, 연제구, 북구, 부산진구 등의 순으로 높았고, 지역적 특성으로 인해 김해시와 양산시 는 대부분의 용도에서 개발밀도가 부산광역시보다는 낮게 나타났다.

<그림 5-8> 사례연구 대상지 실제 개발밀도(층수 기준)

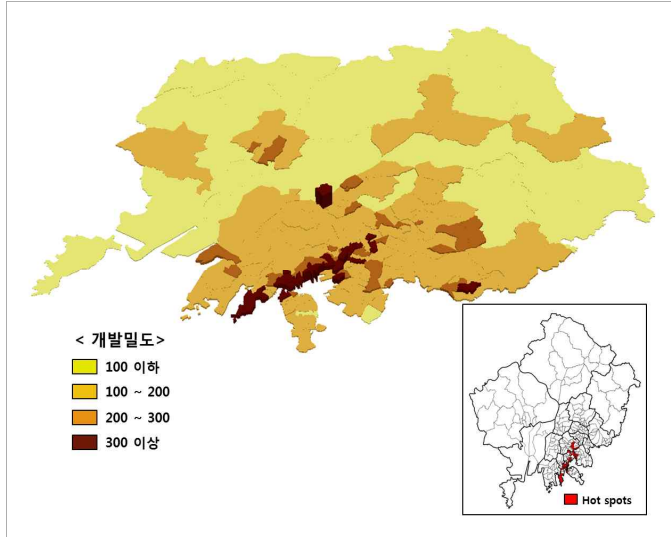


용적률을 기준으로 부산권 읍면동 단위에서 실제 개발밀도를 분석한 결과는 <그림 5-9>와 같다. 부산권은 남부지역에서 용적률이 높은 읍면동이 많이 나타나고 있는데, 부산권에서 모두 24개의 읍면동이 핫스팟으로 나타났으며, 이들 지역들은 아래와 같다. 문현4동, 우암2동, 범천1동, 전포3동, 범전동, 부전2동, 부전1동, 남항동, 범일4동, 범일2동, 좌천1동, 초량3동, 암남동, 충무동, 초장동, 동대신1동, 영주1동, 남포동,

17) Local Moran's I는 모두 네 가지 유형(high-high, low-low, high-low, low-high)이 존재한다. 여기서는 high-high 즉, 본 지역도 값이 높으면서, 주변 지역의 값도 높은 지역들만 대상으로 분석하였다. 이 방법은 값이 높은 지역들이 군집해 있는 특성을 파악할 수 있으며, 이를 통해 밀도가 높은 지역들이 공간적으로 군집한 특성을 파악할 수 있다.

광복동, 부평동, 보수동, 대청동, 동광동, 중앙동이 핫스팟 지역들임을 알 수 있다.

<그림 5-9> 사례연구 대상지 실제 개발밀도(용적률 기준)



8) 정비예정구역 현황

부산시에는 다수의 노후쇠퇴 지역이 존재하는데, 부산시는 「2020 부산광역시 도시 및 주거환경정비기본계획」을 통해 정비예정구역을 선정한 바 있다. 총 370개소 약 20.4km²이 선정되었는데, 선정을 위한 주요한 고려사항으로는 물리적 기준(노후불량건축물 비율, 밀도 기준 등)과 개발여건(나대지 포함 비율 등) 등이 있다. 선정 시 고려한 요소들에 대한 구체적인 사항은 <표 5-5>의 부산시 정비예정구역 선정기준 총괄표에 나타내었다.

부산시에 지정된 각종 정비예정구역에 대한 현황은 아래의 <표 5-6>과 같으며, 각 구역에 대한 위치도면은 아래의 <그림 5-10>과 같다. 모든 정비예정구역에서 재개발 또는 재정비 사업이 시행되는 것은 아닐 것이나 제도적인 측면에서 도시 재개발의 잠재력이 높은 지역이라고 할 수 있을 것이다.

<표 5-5> 부산시 정비예정구역 선정 기준

구분	주택재개발사업	주택재건축사업		주거환경 개선사업	도시환경 정비사업	주거환경 관리사업
		공동주택지	단독주택지			
1 차 (물리적 기준)	전제	·이래 형목 중 밀도 기준 및 건축물 노후불량현황 부지 면적 30000㎡ 이상을 필수항목으로 함	·경과년도 및 기타 항목 모두를 만족	·이래 형목 중 밀도 기준 및 건축물 노후불량현황을 필수항목으로 함	·이래 형목 중 밀도 기준 및 건축물 노후불량현황을 필수항목으로 함	·이래 기준의 어느 하나에 해당하는 지역
	대지현황	·과소필지 등 비율 40% 이상	-	·과소필지 등 비율 50%이상	·과소필지 등 비율 50%이상	1. 전용주거지역, 제1종일반주거지역 및 제2종일반주거지역 중 단독주택 및 다세대주택 등이 밀집한 지역으로서 주거환경의 보전·정비·개량이 필요한 지역 2. 해제된 정비구역 및 정비예정구역 3. 기존 단독주택재건축사업 또는 주택재개발사업을 위한 정비구역의 토지 등 소유자의 50퍼센트 이상이 주거환경관리사업으로의 전환에 동의하는 지역 4. 재정비촉진지구가 해제된 지역 및 존치지역
	건축물현황	·노후불량 건축물 80% 이상	·부산시 조례에 따름	·무허가주택 30% 이상 ·노후불량 건축물 80%이상	·노후불량 건축물 80%이상	
	밀도	·호수밀도 50호/ha이상	-	·호수밀도 50호/ha이상	·호수밀도 70호/ha이상	
	도로	· 4m미만도로점유율 30%이상 · 집도율 40%이하	-	·도로율 10%이상 (외곽도로제외) · 집도율 30%이하	· 4m미만도로점유율 40%이상 · 집도율 30%이하	
	기타	1. 상습침수구역 재해관리구역 2. 과소필지 등으로 현행 건축기준 등에 적합한 증축개축 등의 건축행위가 제한됨으로써 주거환경이 열악하게 된 곳 3. 국·공유지비율이 높은 곳 4. 순환용주택을 건설하기 위하여 필요한 지역 5. 기존재개발기본계획상 지정대상 범위로서 추진중인 지역	1. 부지면적 10,000㎡ 이상 2. 예정세대수 300호 이상	1. 현재세대수 200호 이상 2. 부지면적 10,000㎡ 이상	1. 상습침수구역 재해관리구역 2. 과소필지 등으로 현행 건축기준 등에 적합한 증축개축 등의 건축행위가 제한됨으로써 주거환경이 열악하게 된 곳 3. 국·공유지비율이 높은 곳 4. 정비기반시설이 극히열악한 지역	
2 차 (개발여건 분석)		·정비예정구역 선정시 진입도로 확보를 고려한 구역설정 (주택건설기준 등에 관한 규정 제25조) ·정비예정구역 선정시 나타지의 포함 비율 10%이하 ·경관 (해안, 고지대) ·용도지역 부적합 지역 ·통합가능성 검토 등 지역여건을 고려한 조정		·정비예정구역 선정시 진입도로 확보를 고려한 구역설정 (주택건설기준 등에 관한 규정 제25조) ·정비예정구역 선정시 나타지의 포함비율 10%이하		

출처: 부산광역시(2011)

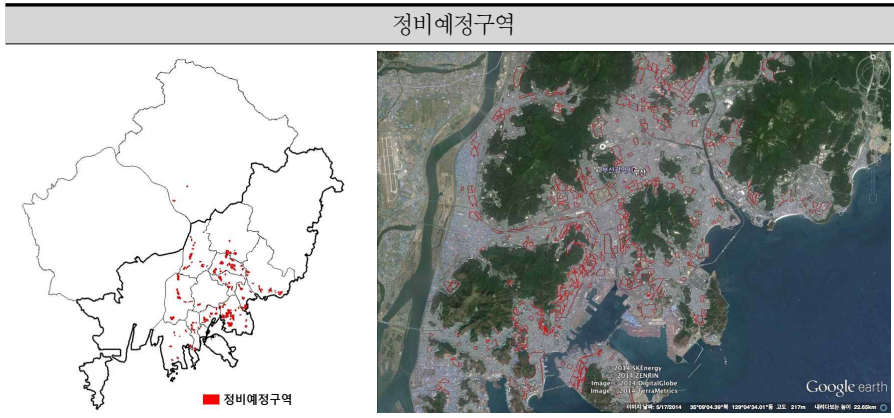
<표 5-6> 부산시 정비예정구역 지정 현황

(단위: 개소, 천m²)

구 분	계		주거환경 개 선		주 택 재개발		주 택 재건축		도시환경 정 비	
	개소	면적	개소	면적	개소	면적	개소	면적	개소	면적
계	370	20,446.0	125	4,614.6	145	10,478.8	81	3,950.6	19	1,402.0
중구	18	251.8	15	217.4	0	0.0	3	34.4	0	0.0
서구	39	1,222.5	24	682.6	13	493.0	2	46.9	0	0.0
동구	31	2,132.8	19	1,103.7	5	297.4	1	67.6	6	664.2
영도구	10	391.9	2	25.3	4	247.2	2	46.0	2	73.4
부산진구	63	3,303.5	21	404.5	29	2,116.6	10	391.5	3	392.0
동래구	24	2,098.9	0	0.0	9	1,236.2	14	827.1	1	35.6
남구	42	2,605.7	15	274.2	21	2,143.8	5	119.5	1	68.2
북구	24	1,438.5	3	204.0	13	572.6	7	644.4	1	62.6
해운대구	27	1,951.1	4	910.1	12	564.3	9	448.2	2	28.5
사하구	22	894.3	9	236.8	7	492.2	6	165.3	0	0.0
금정구	11	740.4	0	0.0	4	470.3	7	270.1	0	0.0
연제구	20	892.9	6	185.2	7	643.2	6	150.8	1	13.7
수영구	17	1,067.9	4	76.9	9	631.4	4	459.6	0	0.0
사상구	20	1,177.2	1	17.3	12	816.8	5	279.3	2	63.8
기장군	2	276.6	2	276.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0

출처: 부산광역시(2011)

<그림 5-10> 부산시 정비예정구역의 공간적 분포



2. 모형구동을 위한 실증분석

1) 행위자의 유형정의

이 연구에서 개발하는 모형은 행위자의 입지선택에 관한 의사결정 행위를 기본적인 동인으로 하여 공간의 변화를 시뮬레이션 할 수 있도록 고안되었다. 그러나 행위자의 종류와 유형 등은 고정하지 않았으며, 대상지의 특성, 분석목적 등에 따라 차별화하여 정의할 수 있도록 하였다.

국토공간의 변화에는 다양한 행위주체가 영향을 미치고 있으나, 연구와 분석의 목적에 따라 서로 다른 유형의 행위자를 고려할 수 있을 것이다. 사례연구지역인 부산권의 경우 부산시 내부의 고밀복합개발입지, 김해와 양산의 개별산업입지가 최근의 공간변화의 주요 동인이라고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 사례연구에서는 고밀복합개발입지와 개별산업입지를 유발하는 행위주체로 다음과 같은 두 가지 유형의 행위자를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다: ① 개발자(developer), ② 개별 산업(manufacturing firm).

한편 이들 행위자는 더욱 다양한 기준으로 세분화 할 수 있을 것이나, 행위자를

세분화 하는 것은 데이터 구득과 분석 등에 많은 시간과 비용이 필요로 하게 된다. 이 연구는 그와 같은 대규모 실용모형을 개발하기 이전 단계에서 핵심 방법론과 알고리즘을 개발하고 검증하는 연구의 성격을 지니고 있어 행위자의 속성과 유형은 가급적 단순화하였다. 행위자 유형과 속성에 관한 세분화는 후속연구에서 모형을 보다 실용화하는 관점에서 추진 가능할 것이다.

2) 입지요인의 추정

고밀복합개발입지와 개별산업입지 각 행위자별로 입지선택에 영향을 미치는 주요 변수를 결정하기 위해 이항로짓분석을 수행하였다. 주요 변수는 선행연구, 전문가 자문, 대상지 특성 분석, 자료구득 가능여부 등을 고려하여 선정하였으며, 경제성, 배후 특성, 교통 특성, 자연 특성 등 입지선택에 영향을 미치는 다양한 요인이 포함되도록 하였다.¹⁸⁾ 각각에 대한 자료구축 과정과 분석결과는 다음과 같다.

(1) 고밀복합개발입지

□ 변수구축

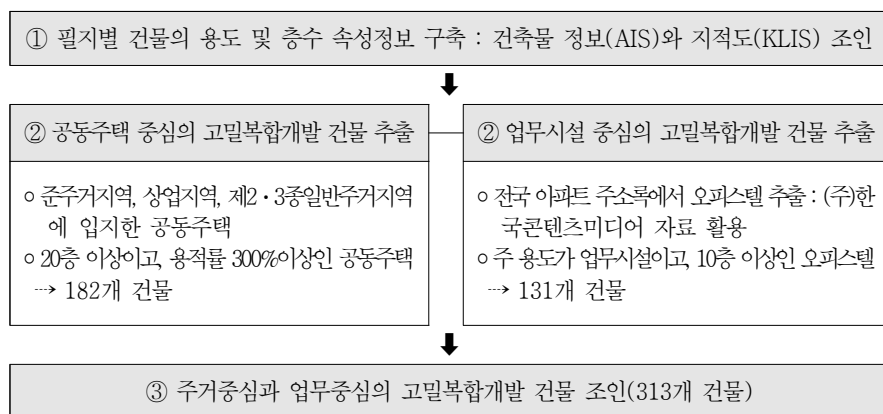
고밀복합개발의 분포를 살펴보기에 앞서 고밀복합개발의 정의에 충족하는 건물을 추출해야 하는데, 부산권을 포함한 우리나라에서는 고밀복합개발 건물을 별도로 구분하여 현황을 파악하고 있는 자료는 전무하다. 따라서 이 연구에서는 고밀복합건물의 개념을 먼저 정의하고 이에 부합하는 데이터를 구축하여 연구에 활용하였다.

이 연구에서의 고밀복합개발은 기능과 밀도를 기반으로 추출할 수 있고, 기능적 측면에서 주거, 상업, 업무의 세 가지 기능 중 두 가지 이상의 기능을 함께 갖고

18) 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 있다. 한편 오컴의 면도날(Ockham's Razor) 원칙에 의하면 동일한 현상을 설명하는 두 가지의 이론이 있다면 더 간단한 이론이 더 바람직하다는 경제성의 원칙도 고려하여 모형과 변수를 고려할 필요가 있다.

있는 건물이어야 함을 전제로 하였다. 우리나라에서 두 가지 복합기능을 갖는 건물들은 공동주택과 업무시설을 중심으로 구분이 가능하므로 이들 건물을 추출한 후 마지막으로 두 가지 자료를 병합하여 최종 분석에 활용하였다. 고밀복합개발 건물의 추출 과정은 <그림 5-11>과 같다¹⁹⁾.

<그림 5-11> 고밀복합개발 건물의 추출 과정



① 단계에서는 필지별 건물의 용도 및 층수 속성정보를 구축하였다. 이를 위해 건축행정정보시스템(AIS, Architecture Information System)의 속성자료를 한국토지정보시스템(KLIS, Korea Land Information System)의 지적도와 결합하였다.

② 단계에서는 공동주택 중심의 고밀복합개발 건물과 업무시설 중심의 고밀복합개발 건물을 서로 다른 방법으로 추출하고, 공동주택 중심의 고밀복합개발 건물은 용도지역상 준주거지역, 상업지역, 그리고 제 23종 일반주거지역에 입지한 공동주택으로 20층 이상이고, 용적률 300%이상으로 한정하였다. 업무시설 중심의 고밀복합개발

19) 이 연구에서 적용한 고밀복합개발 건물의 기준은 다양한 기준을 적용한 결과로서, 부산권 내에서 고밀복합개발 건물의 특성을 파악하기 가장 적합한 기준으로 판단된다. 그러나 고밀복합개발 건물에 대한 명확한 법적 정의가 없고, 관련 자료가 전무한 현실적 제약 속에서 이 연구의 접근방법은 일정 부분 한계를 지닐 수밖에 없다. 다른 관점에서 고밀복합개발 건물을 추출하고 고밀복합개발의 입지적 특성을 파악하는 방법에 대해서는 후속 연구과제로 수행가능할 것이다.

발 건물은 (주)한국콘텐츠미디어의 전국아파트주소록 자료를 활용하여 부산권의 모든 오피스텔을 추출한 후, 주 용도가 업무시설이고, 10층 이상인 오피스텔로 한정하였다.

마지막으로 ③ 단계에서는 공동주택 중심의 고밀복합개발 건물과 업무시설 중심의 고밀복합개발 건물을 조인하였다.

상기의 과정을 걸쳐 최종적으로 분석에 활용되는 고밀복합개발 건물 개소는 모두 313개이며, 분석과 시뮬레이션을 위하여 다음과 같이 종속변수와 독립변수를 구축하였다. 모든 변수들은 50m×50m의 공간해상도를 가지는 래스터(raster)자료로 구성된다. 먼저 종속변수는 50m×50m의 격자를 구성하여 격자 내에 고밀복합개발이 입지하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0의 값으로 입력하였다. 전체 313개의 고밀복합개발 건물 중 50m×50m에 두 개 이상이 입지하고 있는 건물은 모두 27개이며, 총 286개의 격자가 최종적으로 종속변수로 입력되었다.

고밀복합개발의 입지에 영향을 미치는 독립변수는 관련 선행연구에서 살펴본 주거입지와 상업입지의 요인들로 공통적으로 언급되고 있는 변수들을 종합적으로 고려하여 선정하였다. 이는 본 연구에서 정의하고 있는 고밀복합개발입지의 개념에 따르기 위함이다. 또한 공간자료의 구축이 불가능한 경우에도 본 연구에서는 활용할 수 없으므로, 자료의 구축 여부 또한 중요하게 고려하였다.

이와 같은 원칙을 통해 최종적으로 선정된 독립변수들은 경제성, 근린 특성, 교통 특성, 자연 특성으로 구분하고 구체적인 자료를 구축하였다. 경제성의 세부 독립변수들은 평균 공시지가와 평균 가구소득이며, 이 두 가지 변수는 지역의 경제성을 가장 대표적으로 보여주는 것이다. 평균 공시지가와는 달리 평균 가구소득은 국내에서 적용된 사례가 드문 관계로 이 자료의 구축과정에 대해서는 상술할 필요가 있을 것이다. (주)오픈메이트에서는 2010년 기준의 인구주택총조사를 활용하여 집계구보다 작은 단위의 블록 자료를 구축하였는데, 여기에는 평균 가구소득 자료가 있으며, 본 연구에서는 이 자료를 활용하였다. 블록 자료를 포인트로 변환하여 포인트 기반의 내삽화 기법(interpolation method)²⁰⁾ 중 하나인 역거리가중법(IDW, Inverse

20) 실제 관측된 위치 사이에 존재하는 미관측 지점들에 대한 데이터값을 추론하기 위해 사용하는 분석방법이다.

Distance Weighted)²¹⁾을 통해 평균 가구소득 자료를 구축하였다.

근린 특성은 상주인구밀도, 유동인구 집중도, 유사 토지이용의 특성(반경 200m 내 주거지역 혹은 상업지역 토지이용 수), 근접성(학교·문화시설·유통시설과의 거리)로 구성하였다. 상주인구밀도는 집계구 자료를 이용하여 구축하였고, 유동인구 집중도는 평균 가구소득과 마찬가지로 쥘오픈메이트의 자료를 활용하였으며, 변수의 구축과정 또한 동일하다. 반경 200m 내 주거지역과 상업지역의 토지이용 수를 모형에 반영한 이유는 고밀복합개발과 같은 입지는 공간적으로 군집하는 경향이 뚜렷하기 때문이다. 본 연구가 특정 업종의 상권입지를 분석하는 것이 아닌 까닭에 동종업체 혹은 경쟁업체 수를 고려하지 않았다. 변수의 구축은 근접 분석(neighborhood analysis) 중 중심합(focal sum)을 이용하여 각 셀을 중심으로 설정, 반경 200m 내 토지피복도 상 동일지역으로 활용되고 있는 토지이용 수를 계산하였다. 이를 바탕으로 주거가 어느 정도 포함되어 있는 건물에서는 정주생활에 절대적으로 요구되는 특정시설과의 접근성이 매우 중요한 입지 요인이 되므로 학교, 문화시설, 유통시설과의 거리 변수를 포함시켰다.

교통특성은 도로와의 거리와 지하철역과의 거리이며, 주거의 입지의 상업 및 업무입지의 입지에서 접근성은 절대적이라 할 수 있다. 특히 상업 및 업무입지에서 접근성은 여타 다른 요인들에 비해 중요성이 매우 높은 편이라 할 수 있으므로, 교통특성에 접근성 변수를 포함시키는 것이 타당하다.

마지막으로 자연특성은 표고와 경사로 구성하였는데, 표고와 경사는 인간의 정주활동을 서비스하는 모든 건물에 영향을 미치는 요인이므로 이에 대한 고려가 필수적이기 때문이다.

고밀복합개발입지 결정요인으로 고려한 변수들은 <표 5-7>과 같으며, <그림 5-12>와 <그림 5-13>은 각 종속변수와 독립변수를 공간자료로 구축한 것으로 자료 해상도는 50m×50m이다.

21) 관측값을 가지고 있는 지점과 추론하고자 하는 지점의 거리에 반비례하게 가중치를 두어 미관측 지점에 대한 데이터값을 추정하는 방법이다.

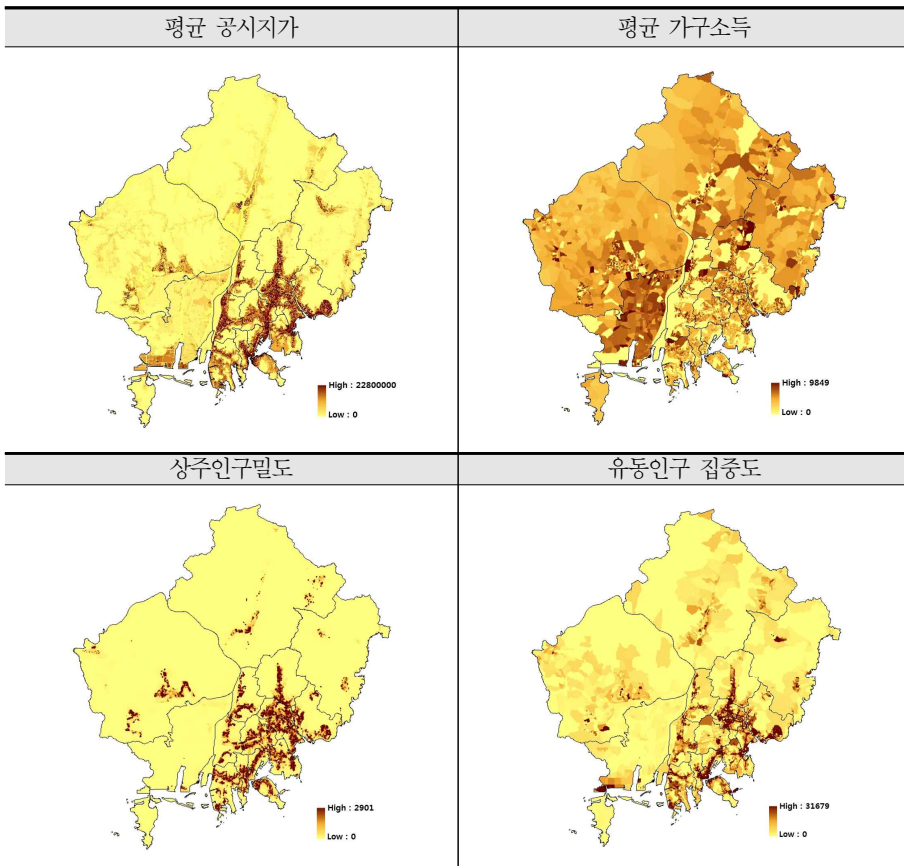
<표 5-7> 고밀복합개발입지 결정요인 변수설명

구분		변수	자료형태
종속 변수	고밀복합개발	고밀복합개발=1, 고밀복합개발 아님=0	이산형
독립 변수	경제성	평균 공시지가(블록)	연속형
		평균 가구소득(블록)	연속형
	근린 특성	상주인구밀도(집계구별, 인/ha)	연속형
		유동인구 집중도	연속형
		학교와의 거리(m)	연속형
		반경 200m 내 주거지역 토지이용 수	연속형
		반경 200m 내 상업지역 토지이용 수	연속형
		문화시설과의 거리(m)	연속형
		유통시설과의 거리(m)	연속형
	교통 특성	도로와의 거리(m)	연속형
		지하철역과의 거리(m)	연속형
	자연 특성	표고(m)	연속형
		경사(도)	연속형

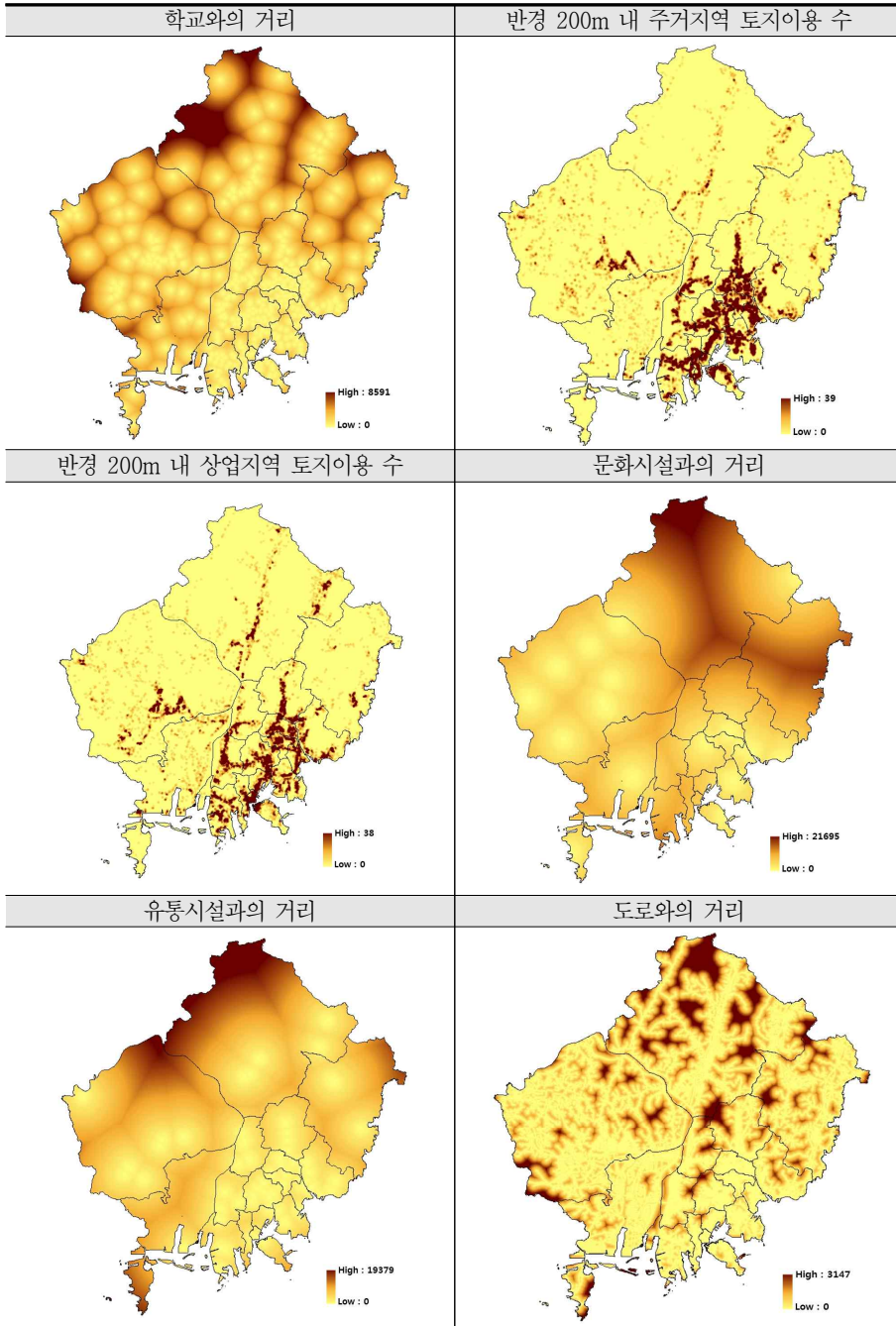
<그림 5-12> 고밀복합개발입지 종속변수



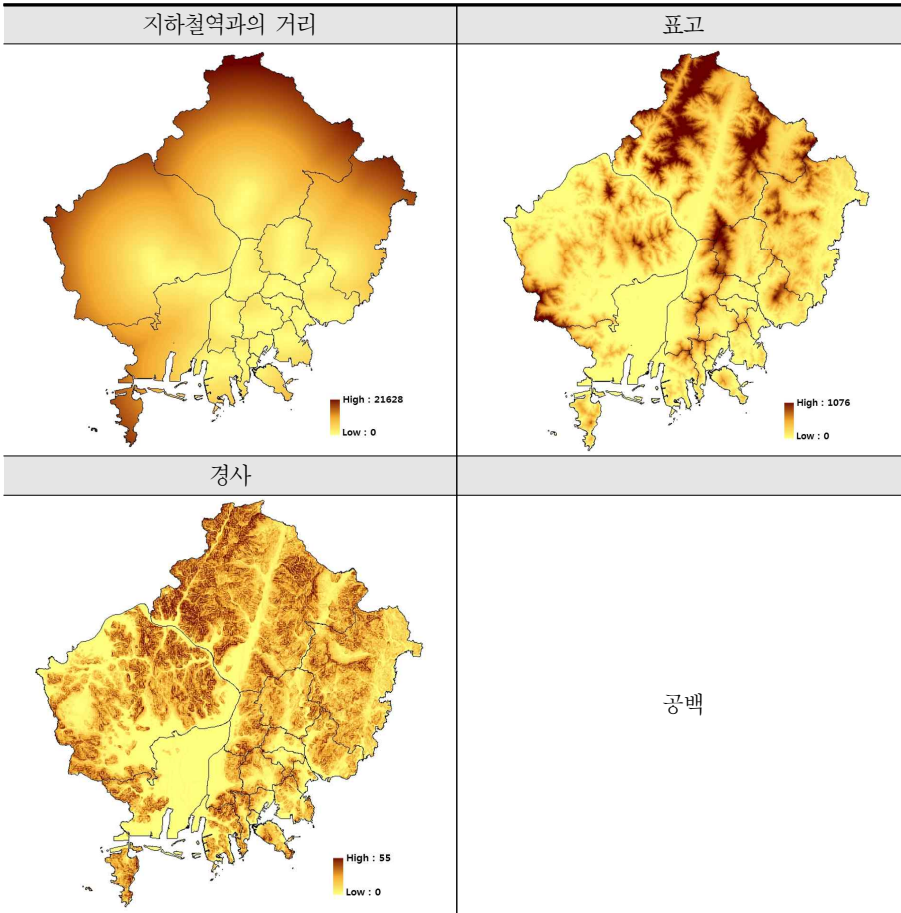
<그림 5-13> 고밀복합개발입지 독립변수



<그림 계속>



<그림 계속>



□ 분석결과

로짓모형을 구성하여 고밀복합개발입지의 결정요인을 분석한 결과는 <표 5-8>에 요약되어 있다. 모형의 설명력(ROC Curve=0.984)은 매우 높은 가운데, 독립변수들이 미치는 영향은 일반적인 주거 및 상업입지의 결정요인과 크게 다르지 않은 것으로 드러났다. 독립변수별 고밀복합개발입지에 미친 영향을 설명하면 다음과 같다.

경제성 변수들이 고밀복합개발입지에 미친 영향은 90% 이상의 유의수준을 확보하지 못하였는데, 이는 고밀복합개발입지의 결정이 공시지가와 가구소득에 크게 영향을 받지 않는다는 것으로서 예상과는 다소 상이한 것이라 할 수 있다. 왜 이러한 결과가

나왔는지에 대해서는 보다 면밀한 추가분석이 요구되는 것으로 판단되나, 최근에 나타나고 있는 고밀복합개발입지 경향으로 일정 부분 설명할 수 있으리라 판단된다. 과거와 달리 최근의 고밀복합개발입지는 공간적으로 확장하고 있으며, 용도지역도 상업지역 중심에서 주거지역 등으로 확대되고 있으므로 이와 같은 입지특성으로 인해 부산권에서는 경제성 변수들과 고밀복합개발입지 간에는 뚜렷한 연관성이 없는 것으로 판단된다.

근린 특성에서는 학교와의 거리만이 통계적 유의성의 확보하지 못하였을 뿐, 기타 모든 변수들은 매우 높은 통계적 유의성을 보였다. 상주인구밀도가 높을수록 고밀복합개발입지가 많이 분포하는 것으로 나타났는데, 인구밀도가 높은 지역은 주거 뿐 아니라, 상업 및 업무시설로서의 수요가 많기 때문인 것으로 풀이할 수 있다. 유동인구집중도도 고밀복합개발입지에 정(+)의 영향을 미쳤는데, 이 또한 고밀복합개발 건물 이용의 수요와 밀접한 관련성이 있다고 판단된다. 반경 200m 내 주거지역 토지이용수는 고밀복합개발입지에 부(-)의 영향을 미친 반면 반경 200m 내 상업지역 토지이용수는 정(+)의 영향을 미쳤다. 이는 부산권의 고밀복합개발입지가 상업지역 내 혹은 상업지역과 인접한 주거지역을 중심으로 결정되고 있는 경향을 보여주는 것이며, 문화시설·유통시설과의 거리가 가까울수록 고밀복합개발입지가 결정되고 있는데, 이는 정주생활에 있어 접근성이 중요하다는 사실에 비추어 볼 때, 자연스러운 결과라 할 수 있을 것이다.

교통특성의 분석결과는 일반적으로 알려진 사실들과 일치하였다. 도로와 지하철과의 거리가 가까울수록 고밀복합개발입지가 많이 나타나고 있는데, 이는 고밀개발의 접근성 측면의 입지 특성이 고려된 것으로 풀이할 수 있다.

자연 특성 중 표고만이 통계적 유의성을 확보하였다. 표고와 고밀복합개발입지 간에는 부(-)의 관련성을 맺고 있는데, 저지대를 중심으로 고밀복합개발입지가 결정되고 있기 때문인 것으로 보인다.

<표 5-8> 고밀복합개발입지 결정요인 분석결과

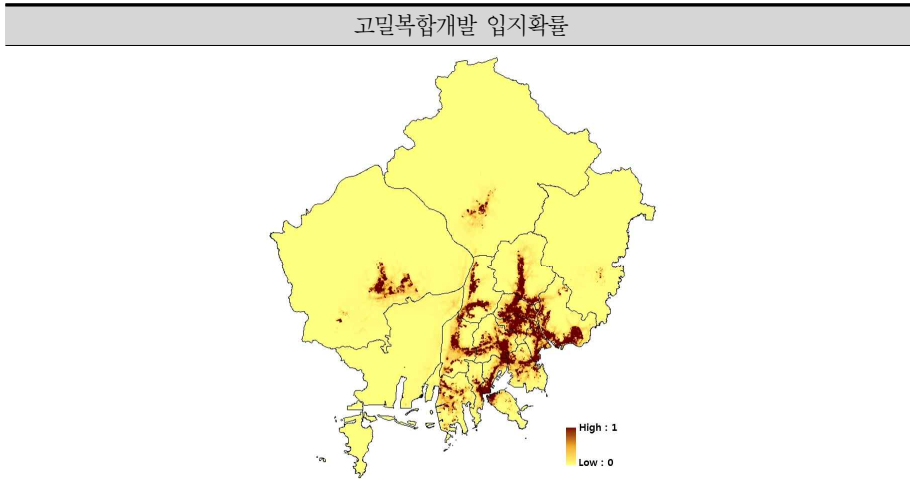
구분		계수	유의수준	표준오차	표준화 계수
상수항		-1.4277416	***	0.4745	
경제성	평균 공시지가	0.0000002		0.0000	0.0650
	평균 가구소득	0.0000075		0.0001	0.0066
근린특성	상주인구밀도	0.0056883	***	0.0006	0.4938
	유동인구 집중도	0.0002712	***	0.0001	0.2888
	학교와의 거리	0.0005371		0.0004	0.3709
	반경 200m 내 주거지역 토지이용 수	-0.0578814	***	0.0190	-0.1414
	반경 200m 내 상업지역 토지이용 수	0.0838093	***	0.0224	0.1874
	문화시설과의 거리	-0.0000899	**	0.0000	-0.2156
	유통시설과의 거리	-0.0005927	***	0.0002	-1.1961
교통특성	도로와의 거리	-0.0065612	***	0.0025	-1.2494
	지하철역과의 거리	-0.0005535	***	0.0001	-1.5764
자연특성	표고	-0.0026710	***	0.0010	-0.2520
	경사	0.0218893		0.0137	0.1272

$\chi^2=1313$, $-2\text{Log likelihood}=586$, ROC Curve=0.984

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

한편 이 로짓분석 결과를 활용하여 각 개별 셀들의 고밀복합개발입지 선택확률을 추정할 수 있다(함수식 (5), 45페이지). <그림 5-14>는 이를 통해 고밀복합개발입지의 확률을 계산한 것이며, 양산시와 김해시를 제외하고는 주로 기 입지하고 있는 지역들을 중심으로 확률이 높게 나타나고 있다. 양산시와 김해시에서는 현재까지 고밀복합개발 건물이 입지하지 않고 있지만, 향후 입지 확률이 높은 지역이 다수 포함되어 있다. 따라서 양산시와 김해시 일대에서 고밀복합개발 건물이 입지할 가능성이 높은 지역들은 향후 도시계획 차원에서 보다 면밀히 관리할 필요가 있을 것이다.

<그림 5-14> 고밀복합개발 입지확률



(2) 개별산업입지

□ 변수구축

개별산업입지의 결정요인 분석을 위해 산행연구 등을 검토하여 주요 변수를 구축하였다. 종속변수는 개별산업입지 유무이며, 독립변수들은 산업입지 관련 선행연구를 참조하여 변수들을 선정 및 구축하였다.

개별산업입지의 변수들은 경제성, 배후 특성, 교통 특성, 자연 특성으로 분류하였는데, 경제성은 거의 유일하게 구득 가능한 자료인 평균 공시지가를 대리변수로 활용하였고, 배후 특성은 개별산업입지의 근린 및 환경특성을 중심으로 구성하였다. 산업입지의 결정요인 중 고용의 용이성은 매우 중요하므로 경제활동인구수와 제조업종사자수를 본 모형에 활용하였다. 그리고 집적 경제를 추구하는 산업의 입지 특성을 고려하기 위해서는 반경 500m 내 공업지역 토지이용 수를 독립변수로 활용하였으며, 변수의 구축은 근접 분석(neighborhood analysis) 중 중심합(focal sum)을 이용하여 개별산업입지를 중심으로 설정, 반경 500m 내 토지피복도 상 공업지역으로 활용되고 있는 토지이용 수를 계산하였다. 배후 특성 중 녹지지역을 더미 변수로 선택한 이유는 우리나라에서 일반적으로 나타나고 있는 개별산업입지의 입지적 특성을

반영하기 위함이다. 즉, 우리나라에의 개별산업입지는 도시지역이 아닌 비도시지역 특히 녹지지역을 중심으로 입지하고 있어 새로운 난개발을 초래하는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 분석에서는 개별산업입지의 일반적인 입지특성이 부산권에도 적용되는 지를 확인하기 위해 녹지지역을 배후 특성 중 하나로 통제하고, 교통 특성은 해당 시설로부터의 거리를 기준으로 변수를 구축하며, 도로와의 거리, IC까지의 거리, 기차역까지의 거리로 구성하였으며, 마지막으로 자연특성은 경사도와 표고를 적용하였다.

개별산업입지 결정요인으로 고려한 변수들은 <표 5-9>와 같으며, <그림 5-15>와 <그림 5-16>은 각 종속변수와 독립변수를 공간자료로 구축한 것으로 자료 해상도는 50m×50m이다.

<표 5-9> 개별산업입지 결정요인 변수설명

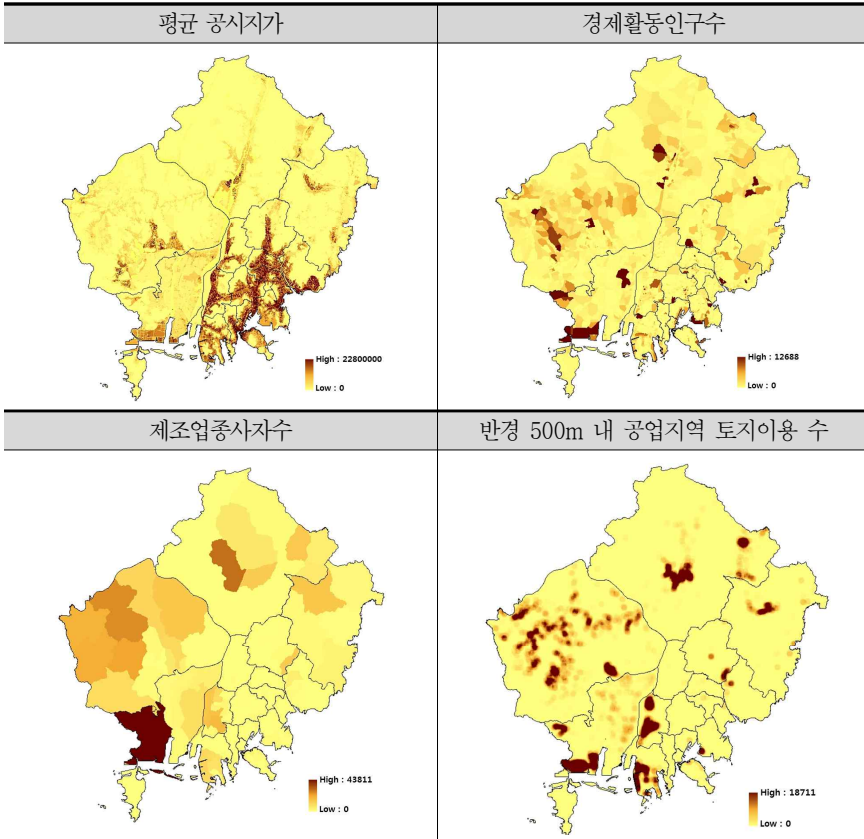
구분		내용	자료형태
종속변수	개별산업입지	개별산업입지=1, 개별산업입지 아님=0	이산형
독립변수	경제성	평균 공시지가(원)	연속형
	배후 특성	경제활동인구수(블록 자료*)	연속형
		제조업종사자수(읍면동)	연속형
		반경 500m 내 공업지역 토지이용 수	연속형
		녹지지역(녹지지역=1, 녹지지역 아님=0)	이산형
	교통 특성	도로와의 거리(m)	연속형
		IC까지의 거리(m)	연속형
		기차역까지의 거리(m)	연속형
	자연 특성	표고(m)	연속형
		경사(도)	연속형

*(주)오픈메이트의 통계지리정보 활용

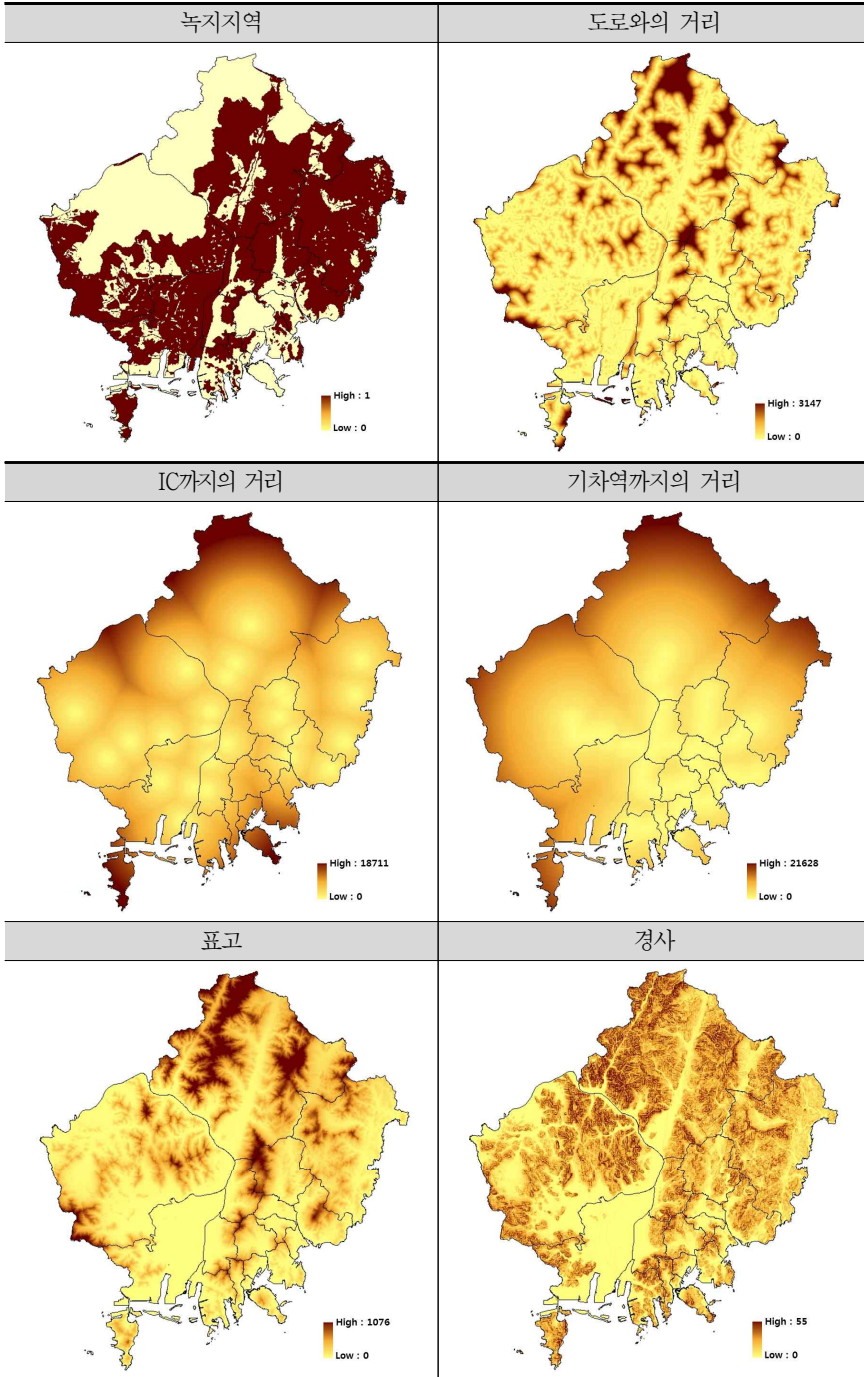
<그림 5-15> 개별산업입지 종속변수



<그림 5-16> 개별산업입지 독립변수



<그림 계속>



□ 분석결과

개별산업입지의 결정요인에 대한 로짓분석 결과는 <표 5-10>와 같다. 모형의 설명력(ROC Curve=0.732)은 높은 편이며, 모든 변수들의 유의수준의 99%이상인 것으로 분석되었고, 전반적으로 산업입지의 결정요인과 유사하게 나타났다.

<표 5-10> 개별산업입지 결정요인 분석결과

구분		계수	유의수준	표준오차	표준화 계수
상수항		-1.3760541	***	0.0360	
경제성	평균 공시지가	-0.0000004	***	0.0000	-0.0651
배후 특성	경제활동인구수	-0.0001837	***	0.0000	-0.0907
	제조업종사자수	0.0000192	***	0.0000	0.0939
	반경 500m 내 공업지역 토지이용 수	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

$\chi^2=5616$, $-2\text{Log likelihood}= 52930$, ROC Curve=0.732

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

세부 독립변수별 분석결과의 해석은 아래와 같다.

경제성을 대표하는 변수인 평균 공시지가는 개별산업입지에 부(-)의 영향을 미치는

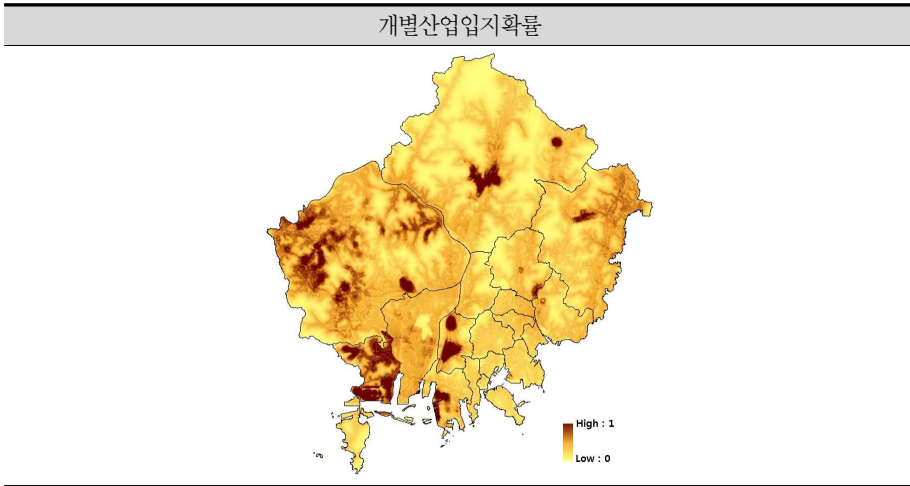
것으로 나타났는데, 개별산업입지는 평균 공시지가가 저렴한 곳에 입지하는 뚜렷한 경향을 보이고, 이는 영세한 개별산업 입장에서는 매우 합리적인 의사결정이라고 판단된다. 계획적인 관점에서 개별산업의 영세함이 계획입지의 걸림돌로 작용하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

배후 특성 중 경제활동인구수는 개별산업입지에 부(-)의 영향을 미친 반면 제조업 종사자수는 정(+)의 영향을 끼치고 있었다. 제조업종사자가 많을수록 노동의 숙련도가 높을 수 있으므로, 기업 활동에 핵심적인 노동력의 확보가 용이하므로 인적 자원 측면에서 제조업종사자가 많은 지역에 개별산업이 입지하고 있다. 공업지역이 밀집하여 입지하고 있는 지역을 중심으로 개별산업입지가 입지하고 있어 집적의 경제를 추구하고 있는 것으로 확인할 수 있으며, 부산권의 개별산업입지는 녹지지역보다는 비녹지지역 즉, 도시성이 상대적으로 강한 지역을 중심으로 입지하고 있는 특성을 보임을 알 수 있었다.

교통 특성들은 중 기차역까지의 거리는 개별산업입지와 정(+)의 연관성을 맺고 있는데 반해, 도로와의 거리, IC까지의 거리는 개별산업입지에 부(-)의 영향을 미치고 있는 것으로 드러났다. 도로와의 거리, IC까지의 거리가 가까울수록 개별산업입지가 입지하고 있는 특성으로 미루어볼 때, 교통 특성들 중 도로와 IC의 위치가 개별산업이 입지를 결정하는데 있어 더욱 중요한 것으로 평가할 수 있다.

한편 위에서 수행한 로짓분석 결과를 통해 각 행위자가 각 용도를 선택할 확률을 계산하면 입지선택 확률맵을 도출할 수 있다. <그림 5-17>은 개별산업입지의 확률을 계산한 것이며, 기 입지하고 있는 개별산업입지를 중심으로 입지 확률이 높게 나타난 가운데, 김해시 서부와 부산광역시의 강서구 일대가 신규 개별산업입지 확률이 높은 것으로 나타났다.

<그림 5-17> 개별산업 입지확률



3) 고밀복합입지의 개발밀도 추정

이 연구에서 제안하는 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션을 위해서는 개발밀도의 속성을 파악해야 하는데, 여기에서는 가장 일반적인 형태의 밀도경사함수를 추정해서 개발밀도 시뮬레이션에 활용하고자 하였다. 일반적으로 도시 중심지에서 가까울수록 밀도가 높고 멀어질수록 감소하는 경향이 존재한다.

가장 일반적인 경사도함수 추정방법은 Clark(1951)의 1차 지수함수모형(negative exponential model)과 2차 지수함수모형이 있으나 이 방법은 현실을 설명하기에는 함수의 형태가 너무 단순한 문제가 있다. 특히, 이 연구처럼 행위자 기반의 개발밀도의 속성모형을 적용하기 위해서는 개발밀도와 거리간의 관계를 선형인 것으로 가정해야 한다. 지수함수모형은 상기의 이유로 인해 본 연구에서의 적용이 어려우므로 본 연구에서는 보다 현실적인 모형인 3차 또는 4차식의 다항식을 활용하였다.

고밀복합개발입지의 층수기준의 개발밀도 (D)와 거리(x)의 함수관계는 다음과 같이 표현된다.

$$\cdot D = f(x)$$

다항식의 구조는 $D(x) = D_0 + b_1 - b_2 x^2 - b_3 x^3$ 으로 표현이 가능하며, 경사도함수는 도시공간구조의 기본 가정에 따라서 상이하게 나타난다. 즉, 도심지는 어디이며, 단핵구조 혹은 다핵구조의 형태에 따라 함수의 결과가 달라진다.

본 분석에서는 현실을 보다 체계적으로 반영하기 위해 단핵구조와 다핵구조를 모두 고려하여 분석을 수행하였으며, 단핵구조에서의 도심지는 부산광역시청²²⁾을 기준으로 하며, 다핵구조에서의 도심지들은 부산시, 김해시, 양산시의 시청과 구청을 다함께 고려하였다.

단핵구조에서의 고밀복합개발의 경사함수 결과는 <표 5-11>, <그림 5-18>과 같고, 모형의 설명력에서는 3차식과 4차식이 0.0485로 동일하게 가장 높은 것으로 나타났다. 하지만, 모형의 설명력이 5%도 되지 않은 관계로 단핵구조에서의 고밀복합개발 경사함수를 개발밀도 속성모듈로 활용하는 것은 현실적으로 어려운 실정이다.

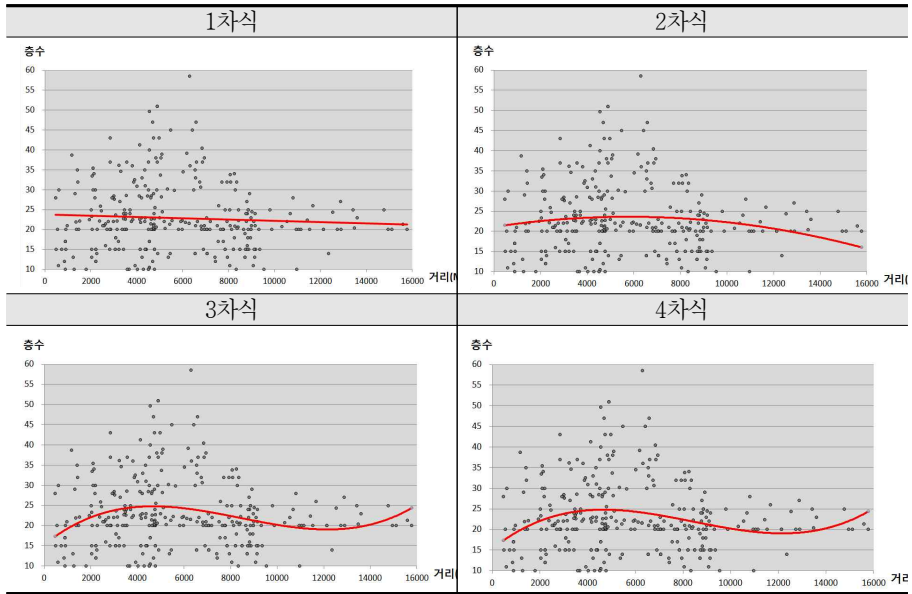
<표 5-11> 단핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수

함수 형태	상수	b_1	b_2	b_3	b_4	R^2
1차식	23.7510	-0.0002				0.0030
2차식	21.095	0.0009	-8E-08			0.0169
3차식	15.313	0.0047	-7E-07	3E-11		0.0485
4차식	15.308	0.0047	-7E-07	3E-11	-4E-18	0.0485

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

22) 부산광역시청은 중구 중앙동에 위치하고 있었으나, 1998년 현재의 위치인 연제구 연산5동으로 이전하였으며, 해당 위치에는 부산광역시청뿐만이 아니라 시의회, 법원 등 다양한 사법기관과 행정기관이 위치하고 있다. 특정 도시의 중심성은 통근통행분석 등 다양한 기준에 의해 파악될 수 있는 것이나, 이 연구의 목적과 범위에서 이를 수행하기에는 한계가 있어 현재의 시청사를 기준으로 설정하였다.

<그림 5-18> 단핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수



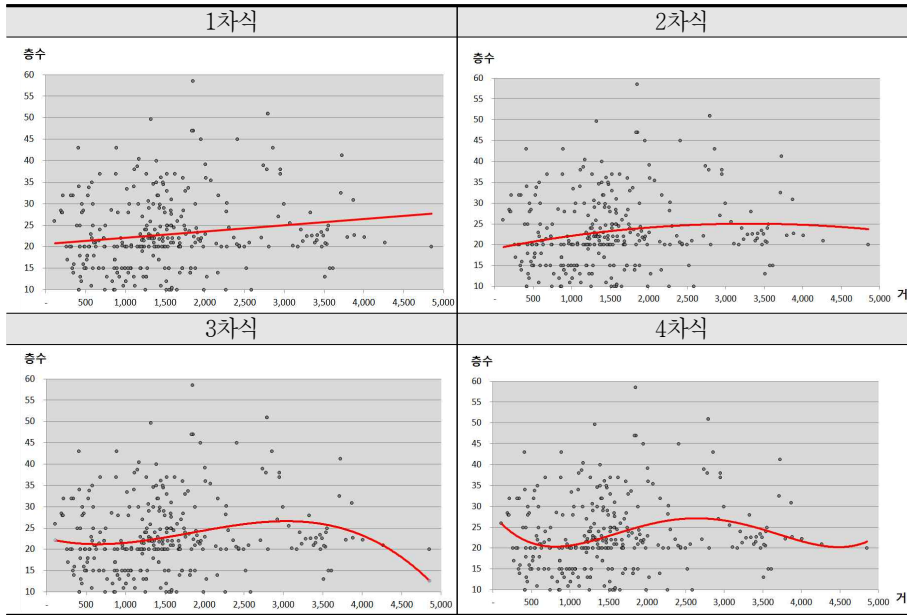
한편 <표 5-12>와 <그림 5-19>는 다핵구조에서의 고밀복합개발 경사함수를 추정한 것이다. 다핵구조에서는 4차식의 설명력이 0.0550으로 가장 높게 나타났으나, 다핵구조에서의 4차식 또한 모형의 설명력이 너무 떨어지는 까닭에 본 분석결과를 시뮬레이션에 적용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

<표 5-12> 다핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수

함수 형태	상수	b_1	b_2	b_3	b_4	R^2
1차식	20.6507	0.0015				0.0230
2차식	19.042	0.0036	-6E-07			0.0274
3차식	22.597	-0.0046	4E-06	-8E-10		0.0412
4차식	28.227	-0.0230	2E-05	-6E-09	6E-13	0.0550

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

<그림 5-19> 다핵구조에서의 고밀복합개발 밀도함수



이상의 분석결과를 종합하여 보면, 사례지역의 고밀개발복합입지의 밀도경사함수를 각각 단핵도시구조와 다핵도시구조를 상정하고 추정한 결과, 이를 시물레이션에 대입하여 활용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 모형의 설명력을 제고하기 위하여 회귀방정식으로 새롭게 복합개발밀도를 추정하여 시물레이션에 적용하기로 하였다. 이때 종속변수는 고밀복합개발입지의 개발밀도이므로, 이 분석에서는 층수를 개발밀도로 적용하였다. 그리고 독립변수는 고밀복합개발입지의 개발밀도를 결정하는 핵심적인 세 가지 변수로 공시지가, 인구밀도, 도심지와의 거리를 고려하였다. 기타 다른 독립변수들도 모형에 반영하여 다양한 형태의 회귀분석을 수행해 보았으나, 상기의 세 가지 변수들이 가장 유의미한 변수인 것으로 도출되었다.

분석결과는 <표 5-13>와 같으며, 모형에서 사용한 모든 독립변수들의 유의수준이 매우 높게 나타났다. 결과를 해석하여 보면, 먼저 공시지가와 인구밀도가 높을수록 고밀복합개발입지의 층수가 높은 것으로 나타났다. 그리고 신규 고층개발이 원도심지역보다 부도심 외곽지역에서 주로 발생하고 있는 부산지역의 특성으로 인하여 도심지

와의 거리가 멀수록 고밀복합개발입지의 층수가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 관련 이론과도 부합하는 것으로 판단되며, 부산권의 현실도 제대로 반영한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 본 분석결과를 고밀복합개발입지의 개발밀도 속성모델의 방정식으로 적용하여 고밀복합개발입지 행위자의 시뮬레이션을 수행하도록 하였다.

<표 5-13> 고밀복합개발입지 개발밀도(층수) 결정요인 분석결과

변수	계수	유의수준	표준오차
상수항	16.11962967	***	1.3107
공시지가	0.00000155	***	0.0000
인구밀도	0.00683431	***	0.0014
도심지와의 거리	0.00120343	**	0.0005

$$R^2=0.109$$

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4) 외생변수 설정

행위자 기반 모형과 같은 상향식 모형을 미시적 의사결정행위에만 기반하여 시뮬레이션 모형을 구동할 경우 중거시적인 측면에서 작용하는 사회경제적 제약요인들을 반영하지 못하여 비현실적 결과가 도출될 가능성 존재한다. 이러한 결과를 방지하고 현실적인 결과를 도출하기 위해 미래의 총개발량 등 전역적 제약요인을 설정하여 시뮬레이션에 반영할 수 있다.

국토도시공간의 변화에 가장 크게 영향을 미치는 것은 주거공간과 산업공간의 확산이라고 할 수 있다. 이를 살펴보기 위해 사례지역의 최근의 인구와 산업의 성장추세를 살펴보면, 먼저 인구 및 가구변화 동향은 아래의 <표 5-14>와 같다. 전체적으로 볼 때 인구수와 가구수가 증가하고 있어, 이와 같은 추세가 지속된다면 주거입지와 상업입지에 대한 수요가 계속 증가하게 될 것임을 알 수 있다. 부산시의 경우 인구수는

다소 감소하거나 정체되고 있는데, 가구수는 오히려 증가하고 있으며, 양산시와 김해시는 인구와 가구 모두 증가세를 보이고 있다.

<표 5-14> 사례연구 대상지 인구 및 가구수 변화추세

(단위 : 명, 가구)

도시명 연도	부산시		김해시		양산시	
	인구	가구	인구	가구	인구	가구
2006	3,635,389	1,288,672	461,925	152,154	229,573	79,676
2007	3,615,101	1,300,692	475,093	157,701	235,299	82,501
2008	3,596,063	1,311,724	490,025	163,890	246,848	87,272
2009	3,574,340	1,323,771	505,056	171,380	254,207	91,153
2010	3,600,381	1,371,346	517,316	178,354	264,334	96,584
2011	3,586,079	1,381,257	523,177	181,135	270,933	99,954
2012	3,573,533	1,389,526	528,730	184,977	274,770	102,031
2013	3,563,578	1,404,663	-	-	-	-

자료: 통계청 행정구역(시군)별 주민등록 세대 및 인구

<표 5-15> 사례연구 대상지 개별산업입지 변화추세

(단위: 개소, m²)

기준시기	부산시		김해시		양산시	
	개소	면적	개소	면적	개소	면적
2006년	5,707	10,115,351	3,599	11,008,714	1,086	4,233,978
2007년	5,787	10,076,112	4,026	12,136,770	1,156	4,193,377
2008년	5,267	10,629,678	4,245	12,679,931	1,199	4,435,035
2009년	5,590	11,044,917	4,484	13,294,558	1,222	4,521,580
2010년	5,605	11,075,301	4,653	13,645,667	1,216	4,527,055
2011년	5,806	11,369,755	4,840	13,970,334	1,248	4,606,966
2012년	6,007	11,528,540	5,061	13,970,334	1,259	4,717,598
2013년	6,436	11,950,379	5,244	14,489,416	1,337	4,862,307
2014년 (09월)	6,920	12,327,303	5,422	14,697,972	1,411	5,015,701

자료: 산업입지정보시스템(FEMIS)

한편 개별공장의 증가 추이를 살펴보면 <표 5-15>와 같다. 전체적으로 공장 개수가 증가하고 있는데, 과거 약 8여년간 부산시는 약 21.3%, 양산시는 29.9%, 김해시는 50.7% 정도의 개별 공장이 증가하였음을 알 수 있다.

이 연구에서는 이상과 같이 살펴본 해당 지역의 최근의 성장 추세 등을 참고하여 논리적인 타당성을 가지는 수준에서 10년 후인 2025년을 상정한 미래의 개발수요를 산정하였다²³⁾. 개별산업용지는 최근의 개별공장입지 증가추세를 반영하여 약 5.45km²로 산정하였고, 복합고밀개발용지는 정비예정구역으로 지정된 전체 면적의 약 10%에 해당하는 약 2km²로 산정하였다.

한편, 산업용지 및 주거용지 등 미래의 개발수요를 추정하기 위한 다양한 연구가 수행된 바 있으나, 이를 정확하게 예측할 수 있는 단일한 접근법이나 해법은 사실상 존재하지 않는다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 미래 시점에 대한 개발수요를 보다 정교하게 산정하기 위해서는 별도의 거시경제 또는 지역경제 모형을 사용할 수 있으며 이 경우 보다 구체적인 결과를 도출할 수 있을 것이다. 그러나 이 부분은 당해연도 연구의 범위로 포함하지 않았으며, 추후 후속연구를 통해 보완할 수 있을 것이다.

23) 총 통화량, 기준 금리를 등과 같은 거시경제 정책에 따른 생산 및 소비활동 변화를 예측하는 것과 마찬가지로, 국토도시 분야에서도 다양한 개발 수요하에서의 시나리오를 가정하여 예상되는 입지선택과 공간변화를 시뮬레이션 할 수 있을 것이며, 이러한 요소를 반영하여 서도 시뮬레이션이 가능하도록 모형을 설계하였다.

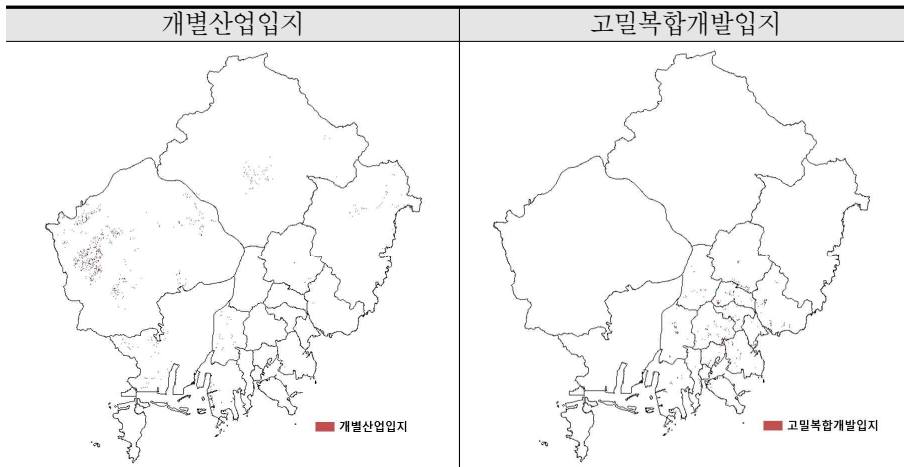
3. 시나리오별 시물레이션

1) 기준 시나리오

기준 시나리오는 현추세 연장(business as usual) 시나리오라고도 할 수 있으며, 현재와 같은 공간변화 패턴이 향후에도 계속될 경우를 상정하고 이러한 전제하에 시물레이션을 수행하였다. 이를 위해 로짓 분석을 통해 도출한 계수를 적용하여 시물레이션을 수행하여 복합고밀개발입지와 개별산업입지가 현재와 같은 패턴으로 증가할 경우에 나타나게 될 공간구조를 파악하였다.

시물레이션 결과로 나타나는 구체적인 공간변화 패턴은 <그림 5-20>과 같은데, 부산시 내부에서는 해운대 등 부동산 투자가치가 높은 곳 위주로 초고밀도 개발이 진행되는 것으로 나타났다. 그 중 상대적 매력도가 낮은 정비예정지역 등은 미개발 상태로 존치되는 것으로 나타났으며, 개별산업입지는 김해시, 양산시 등으로 확산되어 도시의 외연적 확산이 계속적으로 진행되는 것으로 파악되었다.

<그림 5-20> 기본 시나리오 시물레이션 수행결과



* 이 연구에서 개발한 행위자 기반 모형은 서로 다른 유형의 행위자와 행위를 동시에 고려할 수 있는 다중행위자 시스템(multi agent system)이며, 따라서 개별산업입지와 고밀복합개발입지는 동일한 시물레이션내에서 수행되고 결과도 복합적으로 산출되나 결과의 가독성을 위하여 분리하여 도면화하였음

2) 정책 시나리오

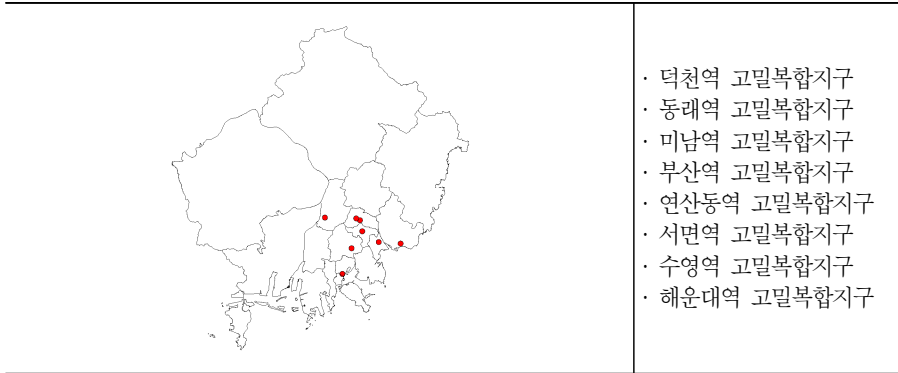
반면 정책 시나리오는 기준 시나리오에 대비하여 특정한 정책개입을 가정하고 이에 따라 도출되는 대안적 미래를 비교하기 위한 시나리오이며, 이와 같은 정책 시나리오는 토지이용 및 밀도규제, 대중교통지향개발 등 다양한 공간정책 시나리오를 정의하고 그 효과를 파악하고자 하는 것이다. 이 연구에서 정책 시나리오는 충전개발 및 고밀개발(infill development and densification) 정책을 상정하였다. 보다 구체적인 내용 측면에서는 부산에는 고밀복합형 재정비촉진지구²⁴⁾의 지정을 가정하는 한편, 이들 지구는 충전개발과 고밀개발을 장려하기 위한 입지규제 최소지구²⁵⁾의 역할을 동시에 가지는 것으로 가정하였다. 한편, 김해와 양산에는 개별공장 입지 및 증설 기준을 강화하는 한편 새로운 산업단지의 조성²⁶⁾을 가정하였다. 부산시에 지정가능한 고밀복합형 재정비촉진지구는 <그림 5-21>과 같으며, 김해시에 조성 가능한 신규 산업단지는 <그림 5-22>와 같다.

24) 「도시재정비 촉진을 위한 특별법」에 의거하여 지정할 수 있는 재정비 촉진지구 중의 하나이다. 국철, 지하철 및 경전철 등의 역 승강장의 중심점 또는 간선도로의 교차점에서 500m 이내의 철도와 지하철이 2개 이상 교차하는 역세권, 철도, 지하철과 버스전용차로가 3개 이상 교차하는 대중교통결절지, 기타 시, 도 조례로 정하는 주요 역세권 및 간선도로 교차지 등에 지정 가능하며, 이를 통해 토지의 고도이용과 건축물의 복합개발 도모할 수 있다.

25) 「2014. 2. 19. 국토교통부 보도자료」에 의해 공식화된 것으로 국토교통부에서 도심내 쇠퇴한 주거지역, 역세권 등을 주거상업문화기능이 복합된 지역으로 개발하기 위해 추진중인 정책이며, 2015년 지구지정 예정이다.

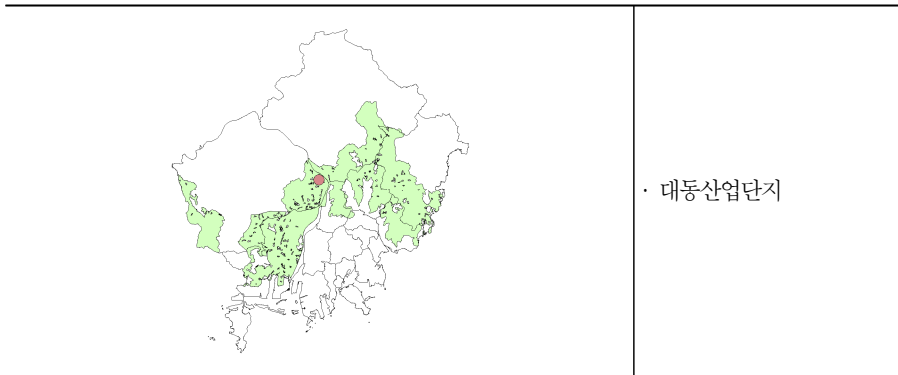
26) 김해시는 개별공장의 무분별한 확산을 막기 위한 한 방편으로, 신규 산업단지의 지정과 조성을 추진중이다. 그 중 대동산업단지는 김해시 대동면 원촌리 500 일대에 조성예정이며, 개발제한구역해제 등의 문제로 아직 최종 확정은 안 되었으나, 교통여건 등이 우수하여 개별공장의 집단입지를 확보할 수 있을 것으로 예상되고 있다(한국경제, 2013. 07. 29). 이 연구에서는 상기와 같이 진행되고 있는 대동산업단지의 신설을 가정하여 시뮬레이션을 수행한다. 다만, 이 연구는 해당 산업단지의 지정 및 조성과 관련하여서는 중립적인 견해를 가지고 있으며, 이 연구에서의 이론과 논리적 전제 등을 기준으로 구성된 행위자의 입지선호에 따라 해당 위치의 입지가 선호될지를 시뮬레이션하고 결과를 분석한다.

<그림 5-21> 부산시 고밀복합형 재정비촉진지구 지정가능지



* 고밀복합형 재정비촉진지구 지정요건에 부합하는 지역을 공간분석을 통해 도출한 결과 상기와 같은 지역이 해당되는 것으로 나타났으며, 해당 지역의 지하철역 명칭을 통해 각 고밀복합 가능지구의 명칭을 부여하였음. 이는 이 연구에서의 분석결과이며 중앙부처 또는 부산시에서는 이와 관련하여 공식적인 지정계획을 제시한 바 없음

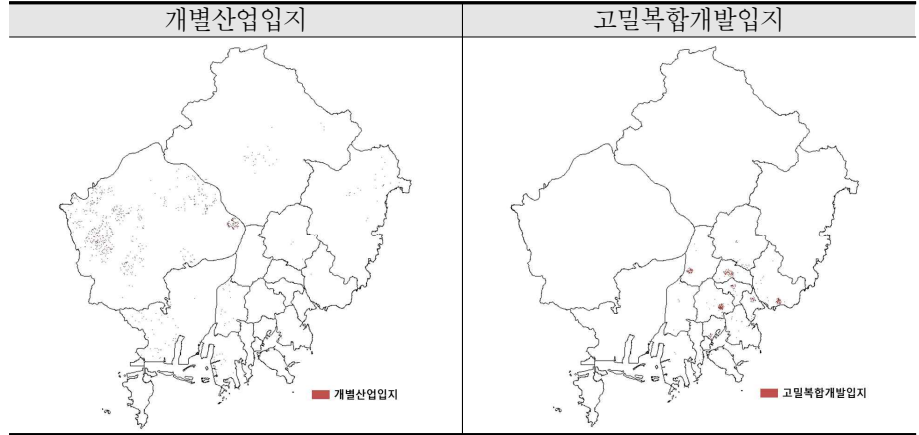
<그림 5-22> 김해시 신규산업단지 지정가능지



이와 같은 전제하에 수행한 시뮬레이션의 결과로 나타나는 구체적인 공간변화 패턴은 다음의 <그림 5-23>과 같다. 부산시 내부에는 고밀복합개발의 무분별한 난개발이 감소하고, 주요 거점 위주로 복합고밀 개발이 분산적 집중 형태로 발생한다. 그러나 모든 고밀복합지구에서 동등하게 개발이 활성화 되는 것은 아니며, 서면역 고밀복합지구 등 입지매력도가 높은 곳 위주로 주요한 개발이 발생할 것으로 예상된다. 한편 김해, 양산 등에는 개별공장 난개발이 감소하고, 신규로 추진되는 산업단지에

서도 개별공장의 입지가 진행될 것으로 나타나고 있으나, 해당 산업단지만으로 개별입지의 산발적 입지를 전체적으로 경감시키기에는 한계가 있는 상황으로 판단된다.

<그림 5-23> 정책 시나리오 시뮬레이션 수행결과



4. 시나리오별 결과분석

시나리오별 시뮬레이션 결과를 계량적으로 이해하기 위하여 토지이용패턴, 밀도패턴, 복합이용패턴 등을 기준으로 추가 분석을 실시하였다. 토지이용의 분산 및 집중 정도는 패치수(number of patches), 패치밀도(patch density), 최대패치지수(largest patch Index) 등을 적용하였으며, 밀도패턴은 도심지와외의 거리에 따른 패턴을 분석하였으며, 복합이용지수는 Cervero & Kockelman(1997)이 제안한 비유사성 지수(dissimilarity index)를 활용하여 지리적 연계성이 고려된 복합이용지수를 산출하였다.

$$\cdot \text{비유사성 지수} = \sum_k \frac{1}{k} \sum_i \frac{X_{ik}}{8}$$

여기서 k 는 분석에 활용되는 격자의 크기를 나타내며, X_{ik} 는 인접한 격자의 토지용도와 다르면 1의 값을, 같은 경우에는 0의 값을 가진다. 따라서 복합이용지수는 0에서 1의 값을 갖게 되는데, 이때 0에 가까울수록 단일한 용도 위주이며

1에 가까울수록 다양한 용도가 혼합되어 있음을 의미한다.

1) 기준 시나리오

기준 시나리오 하의 토지이용의 분산 및 집중 정도는 <표 5-16>과 같다.

<표 5-16> 토지이용의 분산 및 집중 정도 분석결과(기준 시나리오)

구분	개별산업입지	고밀복합개발입지
패치수	1418	924
패치밀도	0.8256	0.5380
최대패치지수	97.2449	97.4191

기준 시나리오 하의 밀도패턴은 <표 5-17>과 같다.

<표 5-17> 도심지와외의 거리에 따른 밀도패턴 분석결과(기준 시나리오)

개별산업입지			고밀복합개발입지			
도심지와외의 거리(km)	개소	비율	도심지와외의 거리(km)	개소	비율	평균 층수
0 ~ 2	77	3.5	0 ~ 1	294	29.4	20.4
2 ~ 4	227	10.4	1 ~ 2	381	38.1	21.4
4 ~ 6	143	6.6	2 ~ 3	211	21.1	22.8
6 ~ 8	182	8.3	3 ~ 4	27	2.7	24.1
8 ~ 10	286	13.1	4 ~ 5	77	7.7	25.7
10 ~ 12	613	28.1	5 ~ 6	10	1.0	28.0
12 ~ 14	370	17.0	합계(평균)	1,000	100.0	(22.2)
14 ~ 16	171	7.8				
16 ~ 18	98	4.5				
18 ~ 20	13	0.6				
합계	2,180	100.0				

기준 시나리오 하의 복합이용지수는 <표 5-18>의 내용과 같다.

<표 5-18> 복합이용지수 분석결과(기준 시나리오)

지역명		개별산업입지	고밀복합개발입지
부산광역시	강서구	0.0019	—
	금정구	0.0008	0.0021
	기장군	0.0010	—
	남구	0.0003	0.0056
	동구	—	0.0087
	동래구	—	0.0112
	부산진구	—	0.0089
	북구	—	0.0022
	사상구	0.0056	0.0030
	사하구	0.0048	0.0016
	서구	—	0.0036
	수영구	—	0.0112
	연제구	—	0.0064
	영도구	—	0.0020
	중구	—	0.0059
	해운대구	0.0006	0.0034
김해시	김해시	0.0062	—
양산시	양산시	0.0008	—
평균	—	0.0012	0.0042

2) 정책 시나리오

정책 시나리오의 토지이용의 분산 및 집중 정도는 <표 5-19>과 같다.

<표 5-19> 토지이용의 분산 및 집중 정도 분석결과(정책 시나리오)

구분	개별산업입지	고밀복합개발입지
패치수	1614	899
패치밀도	0.9397	0.5234
최대패치지수	97.2450	97.4172

정책 시나리오의 밀도패턴은 <표 5-20>와 같다.

<표 5-20> 도심지와의 거리에 따른 밀도패턴 분석결과(정책 시나리오)

개별산업입지			고밀복합개발입지			
도심지와의 거리(km)	개소	비율	도심지와의 거리(km)	개소	비율	평균층수
0 ~ 2	60	2.8	0 ~ 1	426	42.6	21.0
2 ~ 4	127	5.8	1 ~ 2	365	36.5	21.5
4 ~ 6	114	5.2	2 ~ 3	184	18.4	22.3
6 ~ 8	429	19.7	3 ~ 4	10	1.0	24.4
8 ~ 10	311	14.3	4 ~ 5	11	1.1	25.1
10 ~ 12	499	22.9	5 ~ 6	4	0.4	26.8
12 ~ 14	329	15.1	합계(평균)	1,000	100.0	(22.3)
14 ~ 16	181	8.3				
16 ~ 18	106	4.9				
18 ~ 20	24	1.1				
합계	2,180	100.0				

복합이용지수 분석결과는 <표 5-21>과 같다.

<표 5-21> 복합이용지수 분석결과(정책 시나리오)

지역명		개별산업입지	고밀복합개발입지
부산광역시	강서구	0.0018	—
	금정구	0.0005	0.0014
	기장군	0.0008	—
	남구	0.0002	0.0027
	동구	—	0.0089
	동래구	—	0.0126
	부산진구	—	0.0071
	북구	—	0.0032
	사상구	0.0039	0.0015
	사하구	0.0033	0.0008
	서구	—	0.0017
	수영구	—	0.0137
	연제구	—	0.0109
	영도구	—	0.0008
	중구	—	0.0045
	해운대구	0.0003	0.0033
김해시	김해시	0.0079	—
양산시	양산시	0.0004	—
평균	—	0.0011	0.0041

3) 시나리오별 결과비교 및 시사점

사례지역인 부산권 지역은 주거 및 산업개발 수요가 지속되고 있으며, 향후에도 개발압력이 계속 발생할 것으로 예상되고 있는데, 현추세 연장을 가정한 공간구조의 미래와 정책적 개입을 가정한 공간구조의 미래는 중요한 차이점이 있는 것으로 판단된다.

(1) 고밀복합개발입지

부산시에는 최근 수년간 고밀복합화가 급속히 진행되고 있는데, 개발밀도에 대한 적절한 계획관리가 이루어지지 않아 도시 내부의 고밀화가 무계획적으로 이루어지고 있는 상황이다. 이를 사전에 적절히 파악하고 대응하지 않으면, 우리나라가 2000년대 초반에 많은 사회적 비용을 치르면서 경험하였던 수도권 외곽의 무분별한 난개발 문제처럼 도시 내부의 고밀 난개발 문제가 발생하고, 특정 지역에 과부하가 발생하여 인프라 부족과 혼잡 문제 등이 발생할 가능성이 존재한다.

기존 시나리오하에서의 시뮬레이션은 이러한 가능성을 보여 준다고 할 수 있는데, 현재와 같은 패턴으로 고밀복합개발이 지속될 경우 부산시 전역에 지정된 각종 정비예정구역들에 파편화된 고밀화가 계속 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 반면 정책 시나리오하에서의 시뮬레이션은 이에 대응한 대안적 미래를 보여준다고 할 수 있다. 각종 고밀복합형 재정비지구를 지정하고 이를 중심으로 도시의 고밀복합화를 체계적으로 유도할 경우, 분산적 압축개발 형태로 개발밀도를 적절히 배분할 수 있을 것으로 판단된다.

다만 공공부문에서 하향식으로 각종 고밀복합지구를 지정한다고 해서 모두 성공적일 수 있는 것은 아니며, 개별 기업과 국민의 선호에 따라 그 결과는 달라질 수 있음을 시뮬레이션의 결과를 통해 알 수 있다. 따라서 관련 정책의 수립과 시행시 가구나 기업 등의 입지매력도 등을 고려한 분석과 시뮬레이션을 수행하고 각 지역별로 차별화된 정책을 시행할 경우 정책의 성공 가능성을 높일 수 있을 것이다.

(2) 개별산업입지

한편 부산권 지역은 산업입지에 대한 수요가 높아 개별산업입지가 지속적으로 증가해오고 있는데, 특히 김해시의 공장난개발 문제는 수년전부터 대두되어 진행되고 있다. 개별공장입지의 증가는 해당 지역의 생산성을 증대시키는 면이 있으나, 주로 미개발 상태의 오픈 스페이스를 무계획적으로 훼손시키며 자연 환경에 대한 사회적 비용 등을 상승시키는 문제점을 가지고 있다.

기존 시나리오하에서의 시뮬레이션은 현재와 같은 패턴으로 개별공장이 증가할 경우에 대한 미래를 보여주고 있는데, 분산적인 개별공장입지가 지속될 경우 오픈 스페이스에 대한 압력과 훼손이 더욱 심화될 것임을 알 수 있다. 해당 지자체 등도 이러한 문제를 인식하고 이에 대응하기 위하여 입지기준을 강화하거나 계획입지를 유도하기 위한 신규산업단지를 조성하는 등의 정책을 시행하고 있는 상황인데, 적극적인 정책개입이 없을 경우 이와 같은 문제는 더욱 심화될 수 있음을 보여주고 있다.

반면 정책 시나리오하에서의 시뮬레이션은 정책적 규제(regulation)와 유도(relocation)를 가정한 대안적 미래를 보여준다고 할 수 있다. 입지여건이 양호한 곳에 산업단지를 신규로 조성하면 개별 공장의 난개발을 일부 해소할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 산업단지 조성을 통해 절대적인 수용량이 충분히 충족되거나, 그 외의 지역에 대한 신규산업입지 자체가 제한되지 않는다면, 공장 난개발의 문제는 계속될 수밖에 없을 것임을 알 수 있다. 한편 개발제한구역을 해제하여 조성하는 산업단지 등은 일종의 섬과 같은 형태로 추후의 군집(clustering)과 집적(agglomeration)에 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 이로 인해 나타날 공간적 파급효과 등을 보다 면밀히 파악해 보고 추진할 필요가 있을 것이다.

chapter VI

결론 및 향후과제

결론 및 향후과제

행위자 기반 도시모형은 비교적 최근에 대두되어 발전되고 있는 방법론으로 국내외를 막론하고 실증적 모형으로 개발된 사례가 많지 않다. 이 연구에서 개발한 행위자 기반 도시모형은 기 개발된 모형을 수정·보완한 것이 아니라 자체적으로 개발한 것으로 향후 추가적인 발전가능이 높다고 할 수 있으나, 정책지원을 위한 과학적 의사결정지원 수단으로 발전시키기 위해서는 추가적인 실증분석 및 연구개발이 필요하다.

1. 모형의 의의와 한계

이 연구는 도시공간의 변화를 상향식 관점에서 파악하는 행위자 기반의 도시모형의 구축 방법론을 제시하고 시험모형을 개발하였다. 기 개발된 도시모형을 수정·보완한 것이 아니라, 자체적으로 논리적·기술적 프레임워크를 개발한 것으로, 독자성과 혁신성이 있는 연구 결과라고 할 수 있다. 이 연구에서 개발한 모형은 외국의 연구자들이 개발하여 배포한 기존 모형 등의 기능과 성능에 영향을 받지 않는다. 독자적 확장 가능성을 가지고 있으며, 따라서 후속의 연구개발을 통하여 독창적인 도시모형으로의 발전 가능성이 높다고 할 수 있다.

개발한 행위자 기반 도시모형은 현재 상태로도 재사용이 가능하여 이 연구에서 시험연구 지역으로 선정한 부산권 이외의 다른 지역을 대상으로도 모형의 적용과 시뮬레이션 결과의 도출이 가능하다. 그러나 그래픽사용자환경(GUI)까지 개발하지는 않았으며, 따라서 프로그래밍에 대한 전문지식이 없는 정책결정자나 일반사용자가

사용하기에는 한계가 있는 상황이다. 그리고 보다 정교한 정책지원 모형으로의 개발을 위해서는 대상이 되는 정책문제의 정의, 관련된 데이터 분석과 프로그래밍 작업 등이 추가적으로 필요하다고 할 수 있다. 즉 당해연도 연구에서 개발한 모형을 실용화 하기 위해서는 후속연구가 필요한 상황이며, 서구 선진국에서 개발된 각종 도시모형들도 단기간에 도출된 결과물이 아니라 수년간의 지속적 연구개발의 산물임을 주지할 필요가 있다.

2. 모형의 활용 및 확장방안

우리 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 진행중인 공간문제라고 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.

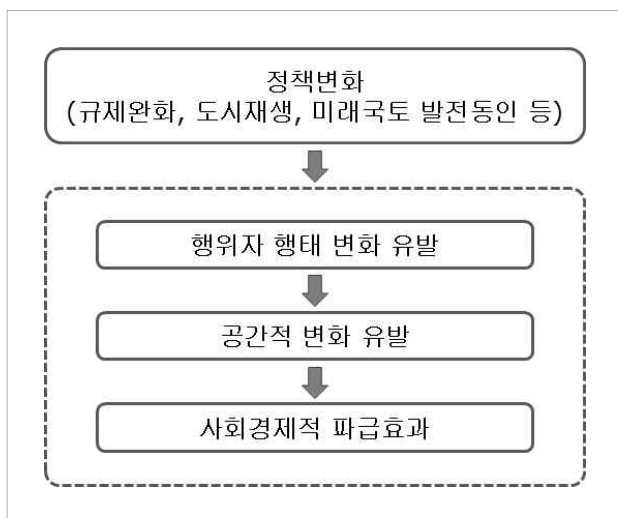
그리고 최근 각종 규제완화의 필요성이 대두되면서, 녹지·관리 지역에 대한 공장증설이 보다 수월해 지도록 제도가 개선되었으며²⁷⁾, 도시내부의 재건축과 재개발에 대한 규제도 완화되고 있다. 그럼에도 불구하고 이로 인해 나타날 국토도시 공간의 변화와 파급효과를 미리 검토하고 대응하기 위한 과학적 정책 지원수단은 아직 부재한 실정이다.

이 연구에서 제안한 행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형은 가구, 기업, 개발자 등 개별적 행위주체의 입지선택행위를 상향식 관점에서 파악하기 위한 구성요소(효용 극대화 원칙에 기반한 행위자 입지선택 모듈)를 핵심적인 요소로 하여 개발되었다. 그러나 동시에 행위자의 입지선택에 영향을 미치는 요인들을 하향식 관점에서도

27) 녹지지역과 관리지역 지정 이전부터 운영해 온 공장은 앞으로 2년간 건폐율 40%까지 기존 부지 내 설비증설 또는 근로복지시설 확충 등 시설 증설이 가능해진다(국토교통부, 2014. 6. 5. 보도자료).

반영할 수 있게 하는 구성요소(지역적, 전역적 요인을 반영할 수 있는 제약요인 모듈)까지 통합적으로 설계되었다. 따라서 이 연구에서 제안한 모형을 보다 보완하고 정교화하면 <그림 6-1>에서 보는 바와 같이 “정책변화 → 행위변화 → 공간변화”로 이어지게 되는 일련의 과정에 대한 파급효과를 사전에 검토하여 볼 수 있다.

<그림 6-1> 정책변화 및 파급효과



한편 전통적인 도시모형과 토지이용 변화모형은 1차원적·2차원적 도시확산에 중점을 두고 도시성장 관리, 기반시설 배분, 토지이용 배분, 용도지역지구 설정 등에 활용되어 왔다. 이러한 관점하에 거시적인 사회경제 환경의 변화에 영향을 받는 토지이용 변화 시스템의 과정과 결과를 특성화하고 계획시스템의 행위결정에 지식과 정보를 제공하는 동시에, 다양한 대안적 미래(what may be, what should be, what could be)를 탐색하고 불확실성을 감소시키는데 기여하여 왔다.

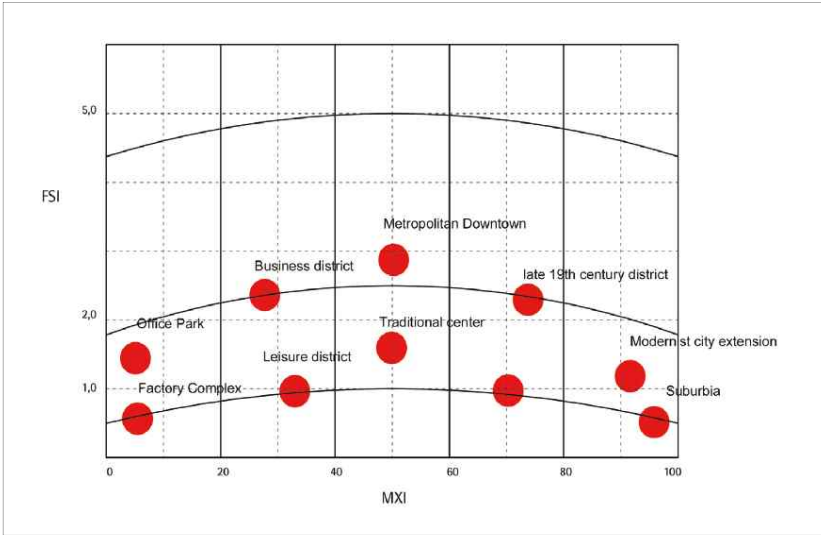
그러나 향후의 국토도시 정책은 수평적인 토지이용 변화와 이를 기반으로 한 인구 수용용량과 교통수요의 산정 등을 넘어 국토도시공간을 보다 입체적으로 파악하고 3차원적인²⁸⁾ 측면과 4차원적인²⁹⁾ 측면까지 고려하여 관리할 필요성이 대두되

28) 수직적 개발밀도 고려

29) 시간의 흐름에 따른 공간변화 고려

고 있다. 이 연구에서 제안하는 행위자 기반 도시모형을 보다 보완하고 확장하여 다음의 <그림 6-2>에서 보는 바와 같이 국토도시 차원에서 다양한 유형의 대안적 도시공간과 파급효과를 도식화하는데 활용할 수 있다.

<그림 6-2> 도시밀도에 따른 공간구조 구분(예시)



자료: Van den Hoek(2008) 수정보완

한편 도시 모형은 과학적 계획(scientific planning)의 기초하에 개발되고 활용되어져 왔으나 최근에는 협동적 계획(collaborative)을 위한 매체로도 그 활용이 확대되고 있다. 우리나라의 각급 공간계획에서는 다양한 조사분석을 거쳐 객관성을 확보하도록 하고 있으며, 주민 의견수렴 절차 등을 통하여 참여형 계획을 지향하고 있기도 하다.

그러나 각종 자료분석 등은 주로 문제진단과 현황파악 차원에서 수행되고 있으며, 다양한 대안적 미래를 검토하는 차원에서의 과학적 수단의 개발과 활용은 아직 미흡한 실정인데, 이 연구에서 제안하는 바와 같은 도시모형을 개발하고 활용할 경우 이와 같은 한계점을 극복하는데 기여할 수 있다.

3. 향후과제

1) 부문모형과 하위모형의 개발

도시모형을 개발할 때 주어진 시간과 비용의 제약조건 하에서 작동 가능한 모형을 개발하고 타 모형과의 연계 활용성을 높이기 위해서는 각종 외생변수와 논리적 가정에 근거하여 모형을 개발하고 구동할 수 있다. 그러나 모형의 실증성과 실용성을 보다 제고하기 위해서는 추가적인 자료 분석을 수행하고 이를 기반으로 부문 모형과 하위 모형을 추가로 개발할 필요가 있다. 특히 행위자 기반 도시모형의 실증성을 보다 강화하기 위해서는 별도의 데이터 수집 및 분석작업이 수행되어야 하는데, 예를 들어, 오스트리아 빈(Vienna)을 대상으로 개발한 행위자 기반의 주거 이동 모형(Gaube & Remesch, 2013)의 경우에는 Zucha 외(2005)가 빈(Vienna) 시민 8000여명을 대상으로 주거선호요인을 조사한 실증연구에 기반하고 있는데, 우리나라에 적합한 행위자 기반 도시모형으로 발전시켜 나가기 위해서는 가구와 기업 등의 선호에 관한 이러한 실증분석을 수행하고 모형에 반영시킬 필요가 있다.

2) 분석 지표의 개발

시뮬레이션 결과의 의미를 분석하고 평가하기 위해서는 적절한 분석지표(measurement metrics)가 필요하다. 이를 통해 행위자 기반 도시모형이 산출한 다양한 대안적 미래의 의미와 효과를 보다 체계적으로 이해할 수 있다.

분석지표는 시뮬레이션 모형과는 별개의 것이나 모형의 정책적 활용성을 높이기 위해서는 토지이용 패턴지표, 밀도 지표, 혼합적 토지이용 지표 등과 정책목표 설정과 환류과정 등에 필요한 분석지표를 구체적으로 파악하고 이를 시뮬레이션 모형 안에 통합적으로 개발할 필요성이 있다. 이 경우 시뮬레이션 결과를 보다 이해하기 쉽게 하며, 사회경제적 파급효과 등도 보다 명확하게 판단할 수 있게 한다.

3) 통합적 계획지원시스템으로의 개발

학술적 용도로 활용하거나 또는 연구개발 단계에 있는 모형은 통상적으로 입력자료의 준비나 처리를 위해서 별도의 소프트웨어를 사용하는 등 다양한 이질적 소프트웨어에 의해 약결합(loose-coupling) 형태로 구성되어 있다. 이는 모형의 개발과 활용에 필요한 시간과 비용을 절감하기 위한 목적에 의한 것이라고 할 수 있는데 따라서 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 등 비전문가를 위한 기능 등은 개발되어 있지 않는 경우가 많다. 이에 따라 모형의 논리적 구조와 프로세스를 구체적으로 잘 알고 있는 모형개발자 또는 전문가 등만 활용 가능하다.

이 연구에서 개발한 행위자 기반 도시모형을 보다 범용적인 정책지원수단으로 활용하려면 정책결정자나 정책과정에 참여하는 시민 등이 모형의 내용과 결과 등을 보다 쉽게 이해할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 모형구동과 결과분석을 위한 일련의 기능이 하나의 소프트웨어 또는 시스템안에 강결합(tight-coupling) 형태로 통합된 계획지원시스템(planning support systems)으로의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

4) 국토도시 정책과의 연계

컴퓨터 환경에서 구동되는 도시모형은 다양한 정책 실험을 가능하게 하는 가상의 실험실(virtual laboratory)이라고 할 수 있다. 서구 선진국 등에서는 계획수립과 정책집행 등에 도시모형을 활용하여 의사결정의 과학적 객관성을 제고할 뿐만 아니라 다양한 대안을 함께 탐색하는(reasoning together) 중요한 수단으로 활용하여 왔다. 반면, 국내의 경우 자체적으로 개발된 도시모형이 거의 없고, 주로 학술적인 차원에서 외국의 모형 등이 활용되고 있어, 정책결정자와 계획과정에 참여하는 다양한 주체들이 도시모형의 활용성을 인식하는 데는 한계를 가지고 있다.

그러나 우리나라의 국토도시 정책도 과학적 정책과 계획수립을 지향하고 있으며, 「국토기본법」과 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 등에서는 각종 과학적 기초조사와 평가분석 등에 기반하여 계획과 정책을 수립하도록 하고 있다.

따라서 국내에서 도시모형의 활용성을 높이기 위해서는 우리의 국토 및 도시개발 정책에 부합하는 다양한 정책 시나리오를 개발하여 정책과정에 활용할 수 있도록 하는 한편, 도시모형과 계획지원체계 등을 활용한 합리적 분석과 시나리오에 기반한 미래공간구조의 구상 등을 국토도시정책(national planning policy)에 반영할 수 있도록 관련된 공간계획체계와 법제도를 보완해 나갈 필요가 있다.

참고문헌

- 권용걸·강양석. (2002). "대형할인점 입지결정 요인에 관한 연구." 국토계획 37(1): 207-218.
- 국토교통부. (2014.2.19.). "국토부, 입지규제 최소지구 도입". 보도자료.
- 국토교통부. (2014.6.5.). "녹지·관리지역 내 기존 공장, 시설 증설 가능해져". 보도자료.
- 김대영. (2010). "인천시 대형할인점을 위한 입지분석 및 최적입지 선정". 국토지리학회지 44(4): 661-670.
- 김동한. (2012). "행위자 기반 도시모형의 장점 및 한계 분석에 관한 연구". 국토연구, 75, 69-85.
- 김수웅·이창석. (2011). "대형할인점의 입지 선정 중요도에 관한 연구: 용인시를 중심으로." 부동산학보연구 47: 54-75.
- 김영표 외. (2008). 상전벽해 국토 60년 : 정책편, 사업편. 경기 : 국토연구원.
- 김재형·고영선·박은경·김학소·옥동석·이창운·하현구. (2000). 민간투자사업에 대한 재정 지원 기준 및 절차 개선방안. 서울 : 한국개발연구원.
- 김재형·신성환·이창용·이항용·최석준. (2006). 민간투자사업 성과의 실증분석 및 제도개선방안 연구. 서울 : 한국개발연구원.
- 김창석, 남진 (1996). "수도권지역 기업본사의 입지이전 경로와 특성에 관한 연구". 국토계획 31(1): 43-72.
- 김태환. (1990). 한국의 공업입지 결정요인에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 김홍주. (2008). "대도시광역권의 지역 간 네트워크 구조 변화: 대전, 광주, 대구, 부산울산

- 광역시를 중심으로". 국토연구, 59, 263-280.
- 노승철. (2010). "위계선형모형을 이용한 인구이동 흐름 분석." 국토연구, 67, 123-142.
- 대한국토도시계획학회. (1999). 지역경제론. 보성각.
- 박상원·정명진. (2011). "수도권 공업입지규제가 주변지역 제조업 입지에 미친 효과 분석." 지방행정연구 25(3): 365-382.
- 박선아. (1999). 수도권 첨단기술산업 입지유인에 관한 연구: 수원과 안산 첨단기술산업 입지비교. 성균관대학교 석사학위논문.
- 배동걸·하성규. (2011). "주택의 최적 입지선정 방안에 관한 연구: 주택 공급자를 중심으로." 한국지역개발학회지 23(2): 115-134.
- 산업연구원. (1987). 기업의 입지결정요인분석. 서울 : 산업연구원
- 성현곤. (2012). "주거입지선택에서의 대중교통 접근성과 직주균형의 구조적 관계가 가구수준의 통행행태에 미치는 영향." 국토계획 47(4): 265-282.
- 안영수. (2013). 토지이용-교통모델 기반의 수도권 기업입지모델 개발 연구. 도시공학과. 서울, 서울시립대학교. 박사학위논문.
- 엄철호, 하지영. (2011). 주거문화 진단 및 주택정책 방향설정 연구. 경기 : 건축도시공간연구소.
- 우경·정승영. (2013). "도·소매업체의 입지에 영향을 주는 요인에 관한 연구". 동중앙아시안연구 24(1): 117-141.
- 이상규. (2004). "대형할인점의 매출액 결정에 있어서 입지요인의 영향에 관한 연구". 국토연구 40: 35-52.
- 이상율·이종호. (2004). "대구지역 벤처기업의 입지행태와 입지요인". 한국도시지리학회지 7(1): 51-69.
- 이원섭 외. (2010). 지방 대도시권의 실태 분석 및 발전방향. 경기 : 국토연구원.
- 이임동·이찬호·강상목. (2010). "편의점 매출에 영향을 미치는 입지요인에 대한 실증연구". 부동산학보연구 16(4): 53-77.
- 이창수, 정규섭. (1998). "상업시설 입지특성에 관한 연구". 한국GIS학회지 6(2): 217-231.

- 이창효. (2012). 토지이용-교통 상호작용을 고려한 주거입지 예측모델 연구: DELTA의 활용을 중심으로. 서울시립대학교 박사학위논문.
- 이한일·이변승. (2002). "수도권내 이전제조업체의 입지결정요인분석." 국토계획 37(7): 103-116.
- 이희연. (2007). 지속가능한 도시개발을 위한 계획지원시스템의 구축과 활용에 관한 연구. 대한지리학회지 42(1): 133-155.
- 임석희, 송민정. (2013). 대도시 도심부의 토지이용 변화 분석: 대구광역시를 사례로. 대한지리학회지, 48(6), 856-878.
- 정수연. (2008). "한국 상장, 코스닥 기업의 입지이전결정요인과 입지특성에 관한 연구." 부동산학연구 14(1): 65-80.
- 정일호·강미나·이백진·김혜란·서민호. (2010). 주택정책과 교통정책의 연계성 강화방안: 수도권 가구통행 및 주거입지 분석을 중심으로. 경기 : 국토연구원.
- 정지은 외. (2011). 외국인 거주자의 주거입지 선택 요인 분석에 관한 연구. 국토계획 46(6): 11: 7-129.
- 정환용 (2003). "한국의 도시성장단계에 관한 연구". 한국지역개발학회지, 15(2): 205-228.
- 천현숙. (2004). "수도권 신도시 거주자들의 주거이동 동기와 유형". 경기논단 봄호 91-111. 경기개발연구원.
- 최막중. (2012). 도시공동체에 의한 다품종,소량의 장소 만들기. 도시문제, 47: 10-11.
- 최막중·임영진. (2001). "가구특성에 따른 주거선택 및 주택유형 수용에 관한 실증분석". 국토계획 36(6): 69-81.
- 최열·석혜주. (2004). "대형할인점 입지적 특성 및 선호요인 분석: 부산시 대형할인점을 대상으로". 국토계획 39(5): 123-134.
- 최열, 이백호. (2006). 단독주택지내 상업 업종 특성 및 입지 형태 분석. 국토계획 41(2): 9-23.
- 최준영. (2011). 정보통신기술기업의 입지이동 변화특성 연구. 한양대학교 박사학위논문.
- 최창규, 이원영. (2008). "수도권 교외지역 개별입지공장 입지 요인에 대한 연구". 한국지역

- 개발학회지, 20(3): 21-38.
- 최창호·안동환. (2010). "산업별 창업기업의 입지결정요인 분석." 국토계획 45(2): 193-205.
- 홍성진. (2006). 업종별·기업별 입지특성을 고려한 입지선정에 관한 연구: 23개 제조업체를 중심으로. 연세대학교 석사학위논문.
- LH. (2010). 공공토지비축을 위한 계획수립 연구. 경기 : LH
- 부산광역시. (2011). 2020 부산광역시 도시 및 주거환경정비 기본계획. 부산광역시
- 부산광역시. (2011). 2030 부산도시기본계획. 부산광역시
- 부산광역시·경상남도. (2009). 2020년 부산권 광역도시계획 변경. 부산광역시·경상남도
- 빈미영·이수진·정의석. (2011). 경기도 교통카드자료를 이용한 통행패턴 분석과 활용방안 연구. 경기 : 경기개발연구원
- 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.
- Anas, A., & Arnott, R.J. (1994). The Chicago prototype housing market model, with tenure choice and its policy implications. Journal of Housing Research 5, 73-129.
- Baker, J., Parasuraman, A., Grewal, Dhruv. & Voss, G. B. (2002). The influence of multiple store environment cues on perceived merchandise value and patronage intentions, Journal of Marketing, 66(2), 120-141.
- Batty, M., & Torrens, P. M. (2005). Modelling and prediction in a complex world. Futures, 37(7), 745-766.
- Batty, M. (2009). Urban modelling. In R. Kitchin, & N. Thrift (Eds.), International encyclopedia of human geography (pp. 51-58). Amsterdam: Elsevier Science.
- Brown, D. G., Page, S. E., Riolo, R., & Rand, W. (2004). Agent-based and analytical

- modeling to evaluate the effectiveness of greenbelts. *Environmental Modelling & Software*, 19(12), 1097–1109.
- Brown, D. G., & Robinson, D. T. (2006). Effects of heterogeneity in residential preferences on an agent-based model of urban sprawl. *Ecology and Society*, 11(1), <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art46/>
- Castle, C., & Crooks, A. (2006). Principles and concepts of agent-based modelling for developing geospatial simulations. CASA Working Paper.
- Cervero, R. & Kockelman, K. (1997). “Travel demand and the three Ds: density, diversity and design”, *Transportation Research Part D*, 2(3), 199–219.
- Ciari, F. (2011). Modeling location decisions of retailers with an agent-based approach. Paper presented at the 11th Swiss Transport Research Conference, Monte Verità, Ascona.
- Christaller, W. (1938). *Die Zentralen Orte in Suddenutschland*. English translation by C. Baskin, 1966, *Central Places in southern Germany*, Edgewood Cliffs, N. J: Prentice-Hall.
- Clark, C. (1951). Urban population densities. *Journal of the Royal Statistical Society*, 114(4), 490–496.
- Clarke, K.C., & Gaydos, L. 1998. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographic Information Science* 12, 699–714.
- Couclelis, H. (2002). Why I no longer work with agents: A challenge for ABMs of human-environment interactions. In D. C. Parker, T. Berger & S. M. Manson (Eds.), *Agent-based models of land-use and land-cover change* (pp. 3–5). Belgium: LUCC International Project Office.
- Couclelis, H. (2005). "Where has the future gone?" rethinking the role of integrated land-use models in spatial planning. *Environment and Planning A*, 37(8),

1353–1371.

- Crooks, A., Castle, C., & Batty, M. (2008). Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6), 417–430.
- De la Barra, T. (1989). *Integrated transport and land use modeling: Decision chains and hierarchies*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Echenique, M. H., Flowerdew, A. D. Hunt, J. D. Mayo, T. R. Skidmore, I. J. & Simmonds, D. C. (1990). The Meplan models of Bilbao, Leeds and Dortmund. *Transport Reviews* 10(4), 309–22.
- Filatova, T., Parker, D. & 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* 12(1). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/3.html>.
- Garin, R. A. (1966). A matrix formulation of the Lowry model for intra-metropolitan activity. *Journal of the American Institute of Planners* 32, 361–64.
- Gaube, V., & Remesch, A. (2013). Impact of urban planning on household's residential decisions: An agent-based simulation model for Vienna. *Environmental Modelling & Software*, 45, 92–103.
- Heikkila, E. J., & Wang, Y. (2009). Fujita and Ogawa revisited: An agent-based modeling approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(4), 741–756.
- Huang, A., & Levinson, D. (2011). Why retailers cluster: an agent model of location choice on supply chains. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38(1), 82–94.
- Huff, D. L. (1963). A probability analysis of shopping centre trade areas. *Land Economics* 39, 81–90.
- Hunt, J. D., Abraham, J. E. (2003). *Design and application of the PECAS land*

- use modelling system. Paper presented at the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Sendai, Japan.
- Hunt, J. D., Abraham, J. E. & Weidner, T. J. (2010). Household behaviour in the Oregon 2 Model. In Pagliara, F., Preston, J. & Simmonds, D. (Eds.), *Residential Location Choice: Models and Applications* (pp. 181–208). Verlag, Berlin, Heidelberg : Springer.
- Iacono, M., Levinson, D., & El-Geneidy, A. (2008). Models of transportation and land use change: a guide to the territory. *Journal of Planning Literature*, 22(4), 323–340.
- Kickert, C. C., Berghauser Pont, M., & Nefs, M. (2014). Surveying density, urban characteristics, and development capacity of station areas in the Delta Metropolis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 69–92.
- Kim, D., & Batty, M. (2011). Modeling urban growth: An agent based microeconomic approach to urban dynamics and spatial policy simulation. CASA Working Paper.
- Klosterman, R. (2008). A new tool for a new planning: The what if?™ planning support system. In R. K. Brail (Ed.), *Planning support systems for cities and regions* (pp. 85–99). Cambridge, Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy.
- Lee, D. B. (1973). Requiem for large scale urban models. *Journal of the American Institute of Planners* 39(2), 163–78.
- Long, Y., & Shen, Z. (2013). Disaggregating heterogeneous agent attributes and location. *Computers, Environment and Urban Systems*, 42, 14–25.
- Lowry, I. S. (1964). *A model of metropolis*. Santa Monica, CA : Rand Corporation.
- Mackett, R. L. (1983). *The Leeds integrated land–use transport model(LILT)*. Crowthorne, UK : Transport and Road Research Laboratory.
- Magliocca, N. R., Brown, D. G., McConnell, V. D., Nassauer, J. I., & 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(5), 907–927.
- Manson, S., & O'Sullivan, D. (2006). Complexity theory in the study of space and place. *Environment and Planning A*, 38(4), 677–692.
- Martinez, F. J. (1992). The bid-choice land use model: an integrated economic framework. *Environment and Planning A*, 24: 871–85.
- Martinez, F. J. (1996). MUSSA: A land-use model for Santiago city. *Transportation Research Record*, 1552, 126–134.
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447–1459.
- McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in econometrics* (pp. 105–142). New York : Academic Press.
- Moeckel, R. Spiekermann, K. Schurmann, C. & Wegener, M. (2003). Microsimulation of land use, transport and environment. Paper presented at the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, May 27–29, Sendai, Japan.
- Nassar, A. K., Alan Blackburn, G., & Duncan Whyatt, J. (2014). Developing the desert: The pace and process of urban growth in Dubai. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 50–62.
- Nelson, R. L. (1958). *The Selection of Retail Location*. New York : McGraw-Hill.
- Newling, B. E. (1966). Urban growth and spatial structure: mathematical models and empirical evidence. *Geographical Review*, 56(2), 213–225.
- Newling, B. E. (1969). The spatial variation of urban population densities. *American*

- Geographical Society, 59(2), 242–252.
- Newman, P. W. & Kenworthy, J. R., (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of U.S. cities with global survey. *Journal of the American Planning Association*, 55(1):24–37.
- Orcutt, G. H. (1957). A new type of socio-economic system. *Review of Economics and Statistics*, 39(2), 116–123.
- Patterson, Z., & Bierlaire, M. (2010). Development of prototype UrbanSim models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(2), 344–366.
- Putman, S. H. (1974). Preliminary results from an integrated transportation and land use models package. *Transportation* 3(3): 193–224.
- Putman, S. H. (1983). *Integrated urban models: Policy analysis of transportation and land use*. London: Pion.
- Reilly, W. J. (1931). *The Law of Retail Gravitation*. The Knickerbocker Press.
- Salvani, P. & Miller, E. J. (2005). ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems. *Networks and Spatial Economics* 5(2): 217–34.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1, 143–186.
- Simmonds, D. (1999). The design of the DELTA land-use modelling package. *Environment & Planning B: Planning and Design* 26: 665–84.
- Simmonds, D. (2010). The DELTA Residential Location Model. In Pagliara, F., Preston, J. & Simmonds, D. (Eds.), *Residential Location Choice: Models and Applications* (pp. 77–97). Verlag, Berlin, Heidelberg : Springer.
- Small, K. A., & Song, S. (1994). Population and employment densities: structure and change. *Journal of Urban Economics*, 36, 292–313.
- Torrens, P. M. (2006). Simulating sprawl. *Annals of the Association of American Geographers* 96(2), 248–275.

- Van den Berg, L., & Klaassen, L. H. (1980). The contagiousness of urban decline. Netherlands : Economic Institute.
- Van den Hoek, J. W. (2008). The MXI (Mixed-use Index) as tool for urban planning and analysis corporations and cities. Corporations and Cities Envisioning Corporate Real Estate in the Urban Future Colloquium.
- Wegener, M. (1982). Modeling urban decline: A multi-level economic-demographic model of the Dortmund region. *International Regional Science Review* 7(1): 21-41.
- White, R., & Engelen, G. (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 235-246.
- White, R., & Engelen, G. (2003). Kalibratieprocedure: A Calibration Procedure for Constrained Large Neighbourhood Cellular Automata based Land Use Models. Paper presented at the 13th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, Lucca, Italy.
- Wu, F. (1998). An experiment on the generic polycentricity of urban growth in a cellular automatic city. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(5), 731-752.
- Yeh, A. G. O., & Li, X. (2001). A constrained CA model for the simulation and planning of sustainable urban forms by using GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(5), 733-753.
- Yeh, A. G. O., & Li, X. (2002). A cellular automata model to simulate development density for urban planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29(3), 431-450.
- Zellner, M. L., Riolo, R. L., Rand, W., Brown, D. G., Page, S. E., & Fernandez, L. E. (2010). The problem with zoning: nonlinear effects of interactions between location preferences and externalities on land use and utility. *Environment*

and Planning B: Planning and Design, 37(3), 408–428.

Zellner, M. L., Theis, T. L., Karunanithi, A. T., Garmestani, A. S., & Cabezas, H. (2008). A new framework for urban sustainability assessments: Linking complexity, Information and Policy. 32(6), 474–488.

Zucha, V., Rapa, S., Putz, I., et al., (2005). Wohnzufriedenheit und Wohnqualität in Wien. SORA–Institut for Social Research and Analysis, Wien.

<http://www.kosis.kr>

<http://www.elis.go.kr>

<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

<https://code.google.com/p/gama-platform/>

<http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/extensions/geomason/>

<http://repast.sourceforge.net/>

SUMMARY

Keywords: agent based model, urban model, random utility theory, land use, urban density

Since the pioneering work of Lowry in the 1960s, many urban models has 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. Yet, 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. The methodology has roots in the natural science field such as the complexity science, but it also provide meaningful insights for social systems as well as urban systems. The key strength is that it offers a way to understand urban systems through the interaction among individual members in the systems such as households and developers.

This research 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. It starts with reviewing history and issue in urban modeling and then move on the trend of urban development in general and in Korea. The research then defines the key behaviour and algorithms of the model before developing it as a functional computer program. We developed the model by using an open source programming platform, Repast Symphony. Then 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 and to support planning policy.

Yet, the model developed in this study is subject to further development. It is necessary to analyse more empirical data on agents' type and behaviour. At the same time, it is desirable to improve technical interfaces to make is as a planning support system. These requires continued research and development. It is noteworthy to mention that the development of an urban model and the advancement of urban modelling field in the developed countries such as the US have been benefited by strong support and investment from government sectors.

국토연 2014-20

행위자 기반의 공간변화 시뮬레이션 모형구축과
국토도시정책 활용방안 연구

지 은 이 김동한, 서태성, 구형수, 강민규, 성혜정, 김은
빈

발 행 인 김경환

발 행 처 국토연구원

출판등록 제25100-1994-2

인 쇄 2014년 12월 31일

발 행 2014년 12월 31일

주 소 경기도 안양시 동안구 시민대로 254

전 화 031-380-0114

팩 스 031-380-0470

ISBN 979-11-85948-15-7

한국연구재단 연구분야 분류코드 H990000

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2014, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서
정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.