

# 토지이용 - 교통 통합모형 구축 및 계획 간 정합성 평가에 관한 연구

A Study on Development of a Land Use-Transportation Integrated Model and  
Evaluate the Consistency Among the Established Urban Plans

유선철 Yu Seoncheol	안양대학교 수도권발전연구소 연구원(제1저자) Researcher, Capital Region Development Institute, Anyang Univ.(Primary Author) (katarsis717@gmail.com)
조규영 Cho Kyuyoung	안양대학교 도시정보공학과 교수 Professor, Dept. of Urban Information Engineering, Anyang Univ.(kyuyoung@anyang.ac.kr)
왕광익 Wang Kwangik	국토연구원 책임연구원 Associate Research Fellow, Korea Research Institute for Human Settlements(kiwang@krihs.re.kr)

## 목 차

- |                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| I. 서론                           | IV. 토지이용 - 교통 통합모형 구축 |
| 1. 연구의 배경 및 목적                  | 1. 모형의 구조             |
| 2. 연구내용 및 방법                    | 2. 자료구축               |
| II. 선행연구 검토 및 분석의 틀             | V. 계획과정에서의 활용방안       |
| 1. 선행연구 검토                      | 1. 대안별 정합성 검증         |
| 2. 분석의 틀 설정                     | 2. 모형의 활용방안           |
| III. 토지이용 - 교통 관련 모형 검토<br>및 평가 | VI. 결론                |
| 1. 관련 모형 검토                     |                       |
| 2. 모형의 평가                       |                       |
| 3. 모형의 구축방향                     |                       |

※ 본 논문은 유선철(2011)의 안양대학교 대학원 박사학위 논문을 재구성·보완하여 작성했음.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 후반 이후 급속한 경제성장으로 수도권으로의 과도한 인구집중 현상이 나타났으며, 수도권의 집중은 다양한 난개발을 야기했다. 이러한 난개발은 사회적인 문제로 부각되었으며, 나아가 환경의 질적 저하와 자연환경 파괴 등 많은 문제점을 수반하게 되었다. 이에 따라 정부에서는 2003년 국토의 난개발 방지 및 종합대책으로 '선개발후계획' 개발체계를 도입하기 위해 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」을 제정하여 도시계획수립체계를 정비했다. 그러나 이러한 계획체계의 정비에도 불구하고 다양한 환경변화에 대응하지 못한다는 비판이 늘고 있다. 우리나라의 계획체계는 산업사회와 대의제 민주주의를 기반으로 하는 전통적인 시스템을 고수하고 있어 세계화, 정보화, 분절화, 분권화, 거버넌스(governance)의 변화 등 최근의 환경변화에 부응하지 못하고 있다(서순탁, 2007).

특히 계획수립 과정에서 다양한 의사결정자들의 의견을 합의적으로 도출할 수 있는 시스템이 부족해 의견을 조정하는 데 많은 시간과 비용을 소비하는 실정이다. 계획수립을 위해서는 도시성장 가치와 자연환경, 삶의 질과 관련된 균형을 유지하기 위해 성장으로 인한 편익과 그 파급효과들에 대하여 적합한 문제점을 찾는 것이 매우 중요하다. 그러나 아직까지 이들 문제점에 대해 신뢰할 만한 근거들을 제공하는 수단으로서 다양한 정보들을 통합하고 분석·평가하기 위한 객관적인 방법론과, 이에 따른 보다 정확한 미래 예측이 부족한 실정이다. 이러한 이유로 국토종합계획, 수도권 정비계획, 수도권 광역도시계획, 도시기본계획, 도시관리계획 등 각 계획 간의 정합성에 문제가 나타나고 있으며, 이로 인한 많은 문

제점들이 제기되고 있다. 그 결과 도시계획제도의 탄력성과 실효성이 저하되고 있다고 할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 토지이용과 교통 간의 상호영향의 중요성에 대해 인식하고 이를 연결한 객관적인 방법론을 개발하려는 노력이 필요하다. 그러나 토지이용과 교통은 이론적으로 상호의 존적·순환적 관계성이 있음에도 불구하고 도시계획 등 실제의 공간계획과정에서는 개별적·단편적으로 다루어지는 경우가 많았다. 이 때문에 교통시설의 배치, 교통운영 체계의 시행 등 교통부문이 토지이용계획 과정에서 충분히 반영되지 못하고, 대규모 토지이용이나 토지개발 등의 활동은 교통계획 과정에서 제대로 반영되지 못하고 있는 실정이다(김광식, 2001).

따라서 본 연구는 현재 우리나라 도시계획 과정에서 다양한 문제점이 발생하고 있다는 점에 근거하여 그 문제점들을 해결할 수 있는 방안으로 토지이용-교통 통합모형을 구축하고, 이를 계획과정에 활용하는 방안을 모색하는 것이 목적이다.

### 2. 연구내용 및 방법

II장 선행연구 검토 및 분석의 틀에서는 인터넷과 문헌조사를 통해 관련 이론과 선행연구를 검토하여 시사점을 도출하고, 발굴한 이슈를 바탕으로 크게 세 가지로 구분하여 분석의 틀을 설정했다. III장 토지이용-교통 관련 모형 검토 및 평가에서는 인터넷과 문헌조사를 통해 현재까지 국내외에서 논의된 모형에 대한 장단점 등의 특징을 검토하고, 조사내용을 바탕으로 적합한 모형을 평가하여 도출했다. IV장 토지이용-교통 통합모형 구축에서는 연구의 범위인 수도권을 대상으로 통계조사 분석을 통해 관련 자료를 구축하도록 했다. 그리고 MATLAB 2009B, SAS 9.1, TransCAD4.5 등의 소프트웨어를 이용하여 모

형에 따른 미래 예측치를 추정하도록 했다. V장 계획과정에서의 활용방안에서는 검증지표를 설정하고, 모형 추정결과를 Arc GIS 9.3, ERDAS IMAGINE 8.6 등의 소프트웨어를 이용하여 수도권 광역도시계획과의 정합성을 검증했다.

## II. 선행연구 검토 및 분석의 틀

### 1. 선행연구 검토

#### 1) 도시계획 과정

도시계획 과정에 관한 연구는 정합성에 중점을 두기 보다는 주로 계획내용 개선, 계획체계상의 문제점을 검토하고 이를 보완하기 위해 제도나 개편체계를 제시하는 내용이었다. 먼저 계획내용의 개선에 관한 연구로 임완혁·이우중(2002)의 연구에서는 도시기본계획 수립과정상 수립주체 간의 갈등요인을 공무원 그룹과 엔지니어링 그룹으로 구분하여 설문지 분석을 통해 수립과정상의 문제점을 분석하고, 갈등요인을 크게 네 가지로 제시한 뒤, 정책적 대안을 제시했다. 그러나 수립주체 간의 갈등에 초점을 두어 근본적인 계획과정을 다루지 못했다는 점에서 한계가 있었다. 이병준(2007)은 공간계획과 환경계획의 통합성을 분석하여 제도, 내용 등에 대한 평가를 통해 향후 통합성 제고를 위한 방안을 제시했다. 마지막으로 계획체계상의 문제점 검토와 개선방향에 대한 연구로 서순탁(2007)은 현행 도시계획체계가 계획환경 변화에 부응하지 못하고 있다고 평가하고 문제점과 당면과제 도출 및 외국 계획체계와의 비교를 통해 도시계획 수립체계의 정비방향을 제시했다. 그러나 전반적인 도시계획체계에서 오는 문제점 검토를 통한 체계 개편방향 제시에 중점을 두었다.

이상 도시계획 과정에 관한 연구를 검토한 결과

대부분의 연구가 계획내용이나 방법 및 기법을 통해 계획과정에 적용하여 체계를 개편하는 종합적인 접근은 이루어지지 못하고 있음을 알 수 있었다.

#### 2) 토지이용 - 교통 통합모형

외국에서는 토지이용-교통 통합모형에 대한 관련 연구가 활발하게 진행되었는데 모형에 대한 소개 및 비교·평가, 모형의 적용, 모형의 개발방향 등을 제시하는 연구 등이 진행되어왔다.

먼저 Wegener(2004)는 도시의 변화과정에 대한 이론을 제시하고, 20개의 토지이용-교통모형을 포괄성, 모형의 구조, 이론적 기초, 모델링 기술, 역동성, 필요 데이터, 보정, 가동성, 응용 가능성 등으로 구분해 비교·검토하고, 미래 토지이용-교통모형의 방향을 제시했다. Waddell(2002)은 네 가지 대표적인 토지이용-교통 통합모형의 검토 후 UrbanSim을 활용하여 미국 오리건주의 Eugene-Springfield를 대상으로 시나리오별로 시뮬레이션을 실행했다. 그 결과 UrbanSim이 대도시지역의 계획모형으로 적합하며, 시스템적 접근 방법으로서 계획가에 제공될 수 있다고 주장했다. Duthie et al.(2007)은 토지이용-교통 통합모형인 TELUM과 UrbanSim 두 가지 모형을 텍사스주의 Austin지역을 대상으로 비교분석 후 적용하여 MPOs(Metropolitan Planning Organizations)가 요구하는 가장 적합한 모형을 찾기 위해 노력했다. 그 결과 UrbanSim은 요구되는 데이터를 구축하는 데 어려움이 있는 반면 MPOs가 원하는 결과물을 도출할 수 있었으며, TELUM은 이에 비해 데이터 구축이 쉽고 활용이 쉽다는 장점이 있다고 했다. Zhou et al.(2008)은 텍사스주의 Austin지역을 대상으로 토지이용-교통통합을 활용하여 시뮬레이션을 실시했다. G-LUM 모형과 표준교통수요모형을 활용하여 BAU(Business As Usual), 탄소발생에 대한 세금부과, UGB

(Urban Growth Boundary) 3개의 시나리오를 통해 분석했다.

이에 비해 우리나라는 아직까지 토지이용-교통 통합모형과 관련해 체계적이고 구체적인 연구가 진행되지 못했다. 몇몇 관련 연구들이 있었으나 관련 모형들에 대한 비교·분석과 일부 지역을 대상으로 한 시뮬레이션이 대부분이었다. 이희연(2007)의 연구에서는 토지이용-교통 통합모형을 지속가능한 도시개발을 위한 계획지원시스템의 개념으로 보고 먼저 시스템을 개념적으로 설계했다. 그리고 토지이용과 교통체계, 환경모형을 통합하는 모형(TRANUS)을 이용하여 용인시를 사례로 시뮬레이션했다. 그러나 다양한 관련 모형에 대한 검토가 부족했으며, 용인시 일부 지역을 공간적 대상으로 하여 계획지원시스템으로서 더 많은 지역을 대상으로 한 연구가 필요하다. 김태경 외(2009)의 연구는 도시성장관리모형에 대한 검토 후 토지이용-교통 통합모형인 G-LUM을 이용하여 경기도의 성장관리모형을 구축하고, 이를 통한 시뮬레이션으로 미래의 경기도 성장을 예측했다. 그러나 구체적인 모형에 대한 검토 및 인구와 고용의 성장에 대한 보정을 하지 못했으며, 환경부문에서의 요소를 도출하지 못했다. 이승일(2010)의 연구는 국내의 통합모형에 대한 선행연구의 고찰과, 토지이용-교통모형의 발전사를 구분해 검토하고 우리나라 대도시 지역의 사례 가동모형을 평가한 후 향후 모델의 개발방향을 제시했다. 그러나 모형에 대한 이론모델과 가동모델에 대해 구체적으로 검토하고 실질적으로 적용하지 않았다고 할 수 있다.

우리나라에서의 토지이용-교통 통합모형에 관한 연구는 해외에서 연구된 모형들에 대한 검토와 우리나라에 적용할 수 있는 가능성에 대한 평가, 일부 지역에 대한 모형의 적용을 통한 계획지원 혹은 성장관리의 방안으로 제시되어왔다. 그러나 대부분의 연

구에서 관련 모형에 대한 세부적인 검토가 부족하고 일부 지역에 국한하여 적용했거나 통합된 모형을 활용하여, 실제 도시계획에 적용할 수 있는 체계적 방안에 대한 내용이 미흡한 것으로 평가할 수 있다. 따라서 토지이용과 교통이 도시계획 과정에서 실질적으로 서로 연계될 수 있는 모형에 대한 검토 및 도출이 필요하며 이러한 모형을 바탕으로 한 계획체계가 마련되어야 할 것이다.

## 2. 분석의 틀 설정

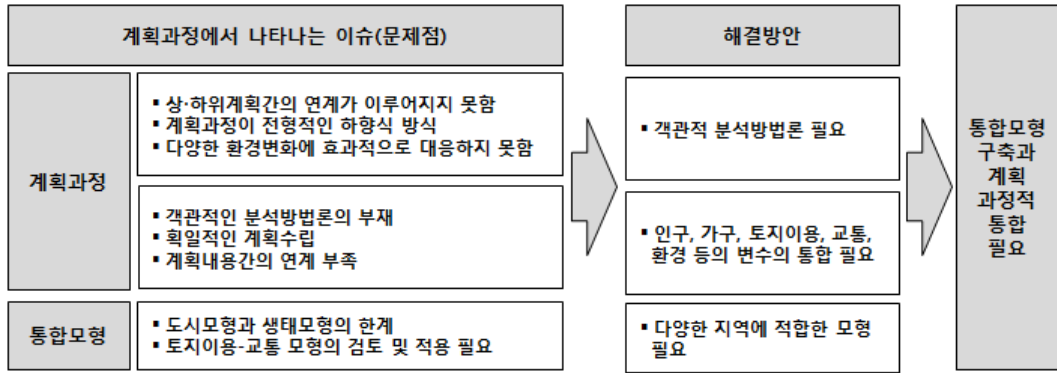
### 1) 계획과정의 문제점 및 모형의 필요성

선행연구에서 제기하고 있는 문제점과 이를 해결하기 위한 방안을 종합적으로 볼 때 다음과 같이 정리할 수 있다. 계획과정에서는 상하위계획 간의 연계 부족, 하향식 방식 등의 문제, 객관적 분석방법론의 부재, 계획내용 간의 연계 부족 등의 문제가 있었다. 통합모형과 관련해서는 도시모형과 생태모형의 한계, 토지이용-교통 통합모형의 검토 및 적용의 노력이 부족한 것으로 나타났다. 따라서 이러한 이슈의 문제점을 해결하기 위해서는 객관적 분석방법론을 마련하고 인구, 가구, 토지이용, 교통, CO<sub>2</sub> 등의 변수들을 통합해야 한다. 그리고 다양한 지역에 적합한 모형이 필요하며, 이러한 일련의 노력들을 계획 과정에 적용할 수 있는 변화가 필요하다. 다시 말해 결국 이러한 해결방안은 통합모형의 구축과 계획과정적 통합을 통해 접근할 수 있을 것이다(<그림 1> 참조).

### 2) 분석의 틀

본 연구에서는 앞서 제기된 도시계획 과정의 문제점을 모형을 적용하여 개선하기 위해 <그림 2>와 같

그림 1\_ 통합모형 구축과 계획과정적 통합의 필요성

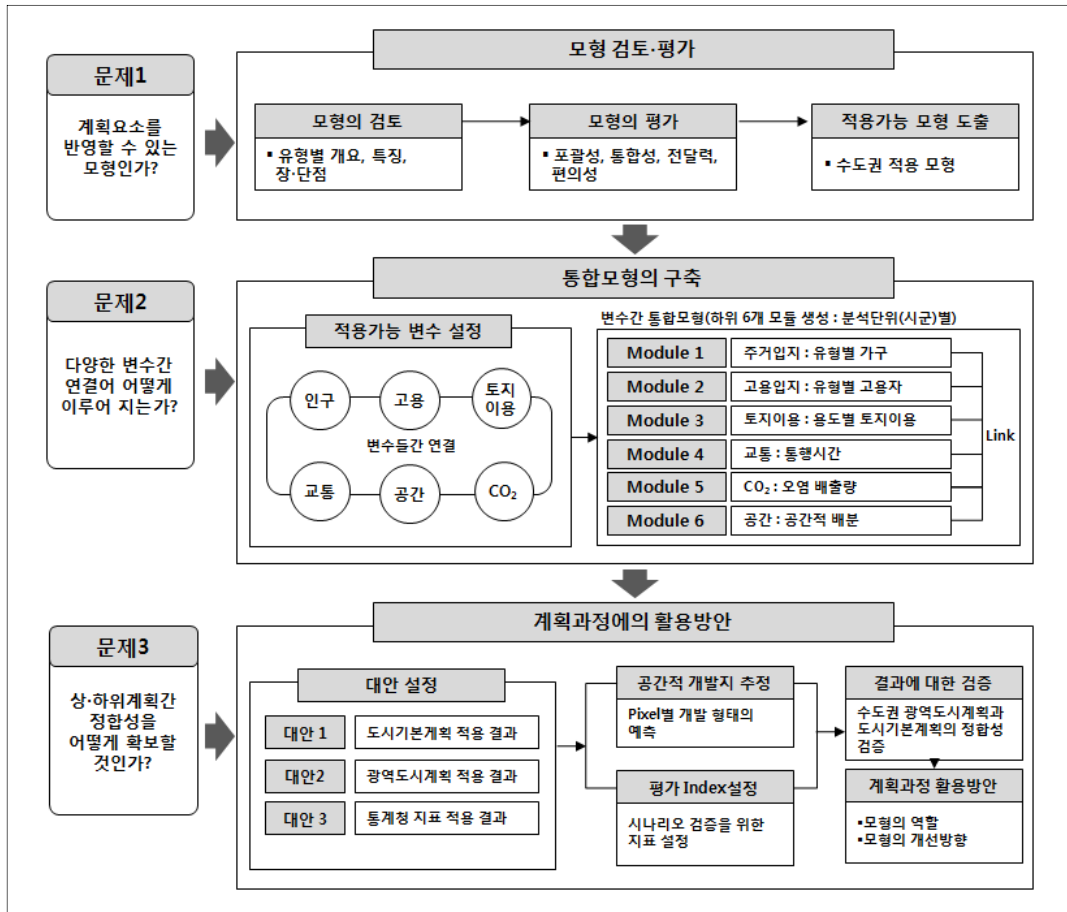


이 분석의 틀을 설정했다. 먼저 모형의 검토 및 평가에서는 현재까지 알려진 토지이용-교통 통합모형에 대한 평가를 통해 수도권에 적용 가능한 모형을 도출하도록 한다. 다음으로 통합모형의 구축에서는 모형에 활용 가능한 인구, 고용, 토지이용, 교통, CO<sub>2</sub>, 공간 등의 변수를 연결할 수 있는 통합모형으로서 크게 6개의 모듈(Module)을 구축하도록 한다. 다음으로 계획과정에서의 활용방안에서는 먼저 세 가지 대안을 설정하고 그 결과를 활용하여 지표를 작성, 수도권 광역도시계획과 도시기본계획과의 정합성을 검증한 후 계획과정에서의 활용방안을 검토하도록 했다. 모형 적용 대안은 세 가지로 작성하여 하위계획과 상위계획과의 정합성을 검토하도록 한다. 먼저 대안 1은 기존에 작성된 수도권 지자체의 도시기본계획의 시군별 목표인구를 모형에 적용한 경우이다. 이는 객관적·과학적인 방법론으로서 통합모형을 통해 기존에 수립된 각 시군별 도시기본계획의 목표인구를 적용함으로써 기존의 계획에 따른 결과를 도출하고자 한다. 이를 통해 기존계획의 결과가 수도권 광역도시계획에서 제시하는 내용과 얼마나 정합성

을 가지는지 평가할 수 있다. 대안 2는 수도권 광역도시계획에서 제시하고 있는 수도권 목표인구를 총량으로 하여 모형에 적용한 경우이다. 계획수립에 있어 수도권 광역도시계획의 목표인구를 적용하여 제약을 줌으로써 그 결과가 얼마나 정합성을 가지는지 평가할 수 있다. 이처럼 대안 1, 2는 기존의 계획을 그대로 수용하여 모형에 적용할 경우와 계획에 제약을 통해 모형에 적용할 경우의 결과를 바탕으로 상·하위계획 간의 내용과 공간적 정합성을 평가할 수 있는 지표를 도출할 수 있다. 마지막으로 대안 3은 통계청에서 추정하고 있는 시군별 미래 인구를 모형에 적용한 경우이다. 대안 1과 2와는 별개로 객관적인 비교기준으로서 다양한 요소들을 반영하여 추정된 통계청의 미래인구<sup>1)</sup>를 시군별로 모형에 적용한다. 통계청은 국가기본통계를 다루는 기관으로서 대안 1, 2의 결과와 비교하여 올바른 예측이 가능한지를 평가할 수 있을 것이다.

1) 통계청에서는 인구변동요인(출생, 사망, 국제이동) 자료와 출생 및 사망예측모형 자료를 활용하여 코호트요인법(Cohort Component Method)을 이용해 장래 인구를 추정함. 코호트요인법이란 특정 연도의 성 및 연령별 기준인구에 인구변동요인의 출생·사망·국제이동에 대한 장래변동을 추정하여 이를 조합하는 방법임.

그림 2\_ 분석의 틀



### III. 토지이용-교통 관련 모형 검토 및 평가

#### 1. 관련 모형 검토

토지이용-교통통합모형과 관련하여 8가지 범주로 구분하여 검토했다. 모형의 개발 시기 및 특징을 살펴보면 먼저 선형계획모형은 동태계획모형이며, 계층적 계획, 비선형계획모형 등의 기술분야에 특화된 모형보다 다루기 쉽고 이해가 쉬우며 계산이 쉽다는 장점을 가지고 1960년대부터 발전해왔다. 그러나 토지개발이나 교통투자를 강조하는 정책 등을 기술하

기에는 어려움이 있다(Waddell and Ulfarsson, 2004). 마이크로 시뮬레이션 모형은 1970년대 초 시스템의 종합적 차원 혹은 인구 전체의 높은 수준에서의 상호작용을 적용하여 인구의 개인적 행위를 컴퓨터를 통해 시뮬레이션하기 위해 시작되었으며, 컴퓨터 기술과 세부 데이터를 다룰 수 있는 능력의 향상으로 대중적인 분석도구로서 발전했다. 개인 수준의 모델링이 가능하여 실제세계에 근접한 분석이 가능하다. 이러한 마이크로 시뮬레이션 모형은 개개인의 입지 선택에 관한 결정으로서 새로운 접근 방법이다(Zhao and Chung, 2006). 예를 들어 마이크로 시뮬레이션



표 1\_모형의 평가

구분	포괄성(25)					통합성(25)	결과의 전달력(25)		편의성(25)			총합(100)
	경제이론기반	인구구조변화	시장메커니즘	소득	학습곡선		그래픽인터페이스	GIS활용력	용이성	자료구독성	업데이트	
공간상호작용모형	5	5	0	5	5	25	12	12	8	10	8	95
공간투입산출모형	5	5	5	5	5	25	12	12	0	10	8	92
선형계획모형	5	0	5	5	0	25	0	0	8	0	0	60
마이크로시뮬레이션모형	5	5	5	5	5	25	12	12	0	0	8	82
무작위효용/이산선택모형	5	5	5	5	5	25	12	0	8	0	8	78
셀룰러오토메타모형	0	0	0	0	5	0	12	0	0	0	8	25
규칙기반모형	5	5	5	0	5	0	12	12	8	10	8	70
기타모형	Makov Model of Residential Vacancy Transfer	0	5	0	5	5	0	0	0	8	0	23
	INDEX	0	0	0	0	5	25	12	12	0	0	62
	LUCAS	0	0	5	0	5	25	12	12	0	0	59
	Smart Places	5	0	0	0	0	0	12	12	8	0	45

주: Zhao and Chung(2006); Wegener(2004); Zhou et al.(2008)의 연구내용을 참조하여 작성.

## 2. 모형의 평가

앞서 관련 모형의 형태 및 방법론 등을 자세히 살펴 보았으며, 이를 기반으로 수도권에 적용 가능한 모형을 도출하기 위해 크게 포괄성, 통합성, 결과의 전달력, 편의성으로 구분하여 평가했다. 포괄성에 해당하는 평가지표는 경제이론을 기반으로 한 모형인지, 인구구조 변화를 모델링 했는지, 시장 메커니즘의 모델링 및 소득이 고려되었는지, 학습곡선이 모형에 반영되었는지에 대해 평가했다. 다음으로 통합성은 토지이용과 교통 간 변수들이 적절하게 통합된 형태의 모형으로 구축되었는지에 대해 평가했다. 결과의 전달력은 그래픽 인터페이스의 가용성과 GIS 활용력에 대해 평가했다. 마지막으로 용이성은 모형을 구동하는 데 얼마나 쉽고, 모형을 시뮬레이션하는 데 필요한 데이터가 간편한지의 여부, 업데이트가 활발하게 진행될 수 있는지, 필요한 자료를 쉽게

구득할 수 있는지에 대한 평가를 실시했다. 그리고 이를 점수화하기 위해 4개 평가지표가 동등하게 중요하다라는 가정하에 각 지표별로 25점씩을 부여했다. 그리고 각 부문별 세부지표에 대하여 다시 세분화하여 점수를 배분했다. 이렇게 평가한 결과 공간상호작용모형이 가장 높은 점수인 95점, 차순위로 공간투입산출모형이 92점이 부여되어 수도권에 적용하기 적합한 것으로 나타났다.

## 3. 모형의 구축방향

본 연구에서는 각 모형의 평가결과를 바탕으로 수도권을 대상으로 시뮬레이션하고자 한다. 이를 위해 현재까지 알려진 토지이용-교통 관련 모형에 대하여 크게 네 가지로 구분해 평가한 결과, 공간상호작용모형과 공간투입산출모형이 포괄성, 통합성, 결과의 전달력, 편의성이 높은 것으로 나타났다. 여기서 공

간상호작용모형은 DRAM, LILT, G-LUM, 공간투입산출모형에는 TRANUS, DELTA 등이 현재 많이 활용되고 있는 추세다. 이러한 모형들에는 각각 장단점이 있으나 본 연구에서는 소프트웨어의 구입비용과 구득 가능한 자료의 특성을 고려하여 최근에 업데이트된 공간상호작용모형 중 하나인 G-LUM을 선정해 적용하고자 한다. G-LUM의 경우 일반적인 행렬연산 프로그램인 MATLAB을 활용할 수 있으며, 코드가 공개되어 있어 누구나 사용할 수 있다는 점과 수도권 시군을 대상으로 하여 토지이용-교통과의 통합성을 바탕으로 다양한 현실을 반영하여 쉽게 사용이 가능하다는 장점이 있다. 특히 모형을 적용하여 시물레이션하기 위해 필요한 데이터의 구축이 용이하기 때문이다.

그러나 이 모형은 CO<sub>2</sub>, 교통변수들이 연결되지 못하고 있다는 한계가 있다. 바꾸어 말하면 계획요소를 다양하게 담아내는 형태의 모형으로는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 구축하려는 모형은 공간상호작용모형의 최신 버전인 G-LUM을 기반으로 교통과 CO<sub>2</sub>, 공간변수를 추가하여 연결된 형태로 모형을 구축하고자 한다.

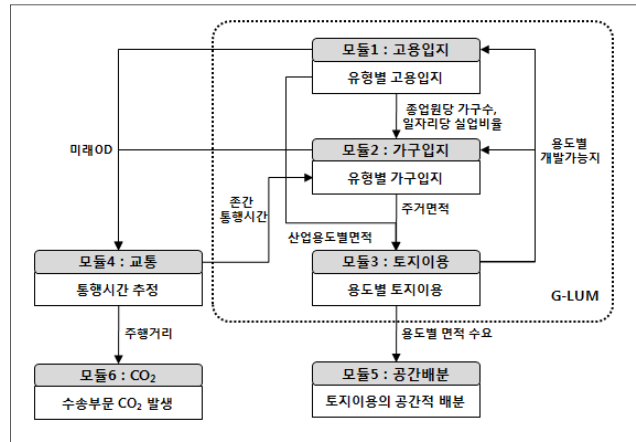
그러나 이 모형은 CO<sub>2</sub>, 교통변수들이 연결되지 못하고 있다는 한계가 있다. 바꾸어 말하면 계획요소를 다양하게 담아내는 형태의 모형으로는 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 구축하려는 모형은 공간상호작용모형의 최신 버전인 G-LUM을 기반으로 교통과 CO<sub>2</sub>, 공간변수를 추가하여 연결된 형태로 모형을 구축하고자 한다.

#### IV. 토지이용-교통 통합모형 구축

##### 1. 모형의 구조

먼저 MATLAB(Math Works 2005) 코드를 기반으로 G-LUM에 해당하는 함수들의 계수(Parameter)를 추정하도록 한다. 이를 위해서 두 개 연도의 데이터(2000년, 2005년)를 활용한다. 필요한 데이터는 크게 가구자료, 고용자료, 토지이용자료, 교통자료로 구분

그림 4\_ 모형의 구조



할 수 있다. 이를 G-LUM 함수에 적용하여 예측하고자 하는 단위별(2010년, 2015년, 2020년) 고용입지, 가구입지, 토지이용을 예측하도록 한다. 고용입지는 1, 2차 산업별로 용도별 개발가능지에 따라 그 입지가 결정된다. 가구입지는 모듈 1의 종업원당 가구수, 일자리당 실업비율과 모듈 3의 주거용도의 기개발지와 개발가능지, 모듈 4의 중간통행시간이 반영되어 유형별 가구입지가 결정된다. 토지이용은 모듈 1, 2의 면적에 따라 용도별 면적이 추정되는 형태다. 이러한 G-LUM의 하위모형과 함께 모듈 4에 해당하는 교통모형에서는 모듈 1, 2에서 추정된 고용과 가구를 이중제약중력모형을 활용하여 미래의 OD를 추정하고, KTDB에서 제공하는 교통망 자료를 활용, 통행배정을 통해 각 존별 통행시간을 추정하도록 한다. 이러한 모듈 4의 결과를 토대로 존별 주행거리를 추정하여 수송부문에 한정해 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하도록 한다. 오염원 배출량은 국립환경과학원의 대기오염물질 배출량 산정방법 편람에서 제시하는 방법론을 활용하여 각 분석존에서 배출되는 교통부문의 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하도록 한다. 그리고 마지막으로 모듈 5의 공간배분에서는 모듈 3의 용도별 수요면적을 활용하여 확률선택모형인 다항로짓

모형을 이용, 계수를 추정해 미래 토지이용의 공간적 배분을 추정하는 형태다. 여기서 토지이용에 영향을 미치는 가구입지는 교통모듈에서의 통행시간이 작용되어 변화하며, 다시 다음분석연도에서는 고용입지와 가구입지가 교통모듈에 영향을 주는 것을 반복하여 추정하도록 한다(<그림 4> 참조). 이러한 각 모듈별 내용을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

G-LUM의 하위 모형인 가구입지모형 RESLOC (Household Allocation)의 함수는 아래와 같으며, 이를 통해 유형별 가구 수를 추정하도록 한다.

$$N_{i,t}^n = \eta^n \sum_j Q_{j,t}^n \frac{W_{i,t-1}^n C_{i,j,t-1}^{\alpha^n} \exp(\beta^n c_{i,j,t-1})}{\sum_i W_{i,t-1}^n C_{i,j,t-1}^{\alpha^n} \exp(\beta^n c_{i,j,t-1})} + (1 - \eta^n) N_{i,t-1}^n \quad <식 1>$$

$$Q_{j,t}^n = \sum_k a_{k,n} \frac{E_{j,t}^k}{1 - u_k} \quad <식 2>$$

$$W_{i,t-1}^n = (L_{i,t-1}^\nu)^{q^n} (1 + x_{i,t-1})^{r^n} (L_{i,t-1}^r)^{s^n} \prod_n \left[ \left( 1 + \frac{N_{i,t-1}^{n'}}{\sum_n N_{i,t-1}^n} \right)^{b_n^n} \right] \quad <식 3>$$

여기서  $N_{i,t}^n$ : 시간  $t$ 에 존  $i$ 에 거주하는  $n$ 유형의 가구 수  
 $c_{i,j,t-1}$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 와  $j$  간의 impedance(통행시간 또는 비용)

$a_{k,n}$ : 대상지역에서  $k$ 유형의 고용자에 대한  $n$ 유형의 가구 수

$E_{j,t}^k$ : 시간  $t$ 에 존  $j$  내  $k$ 유형의 고용자 수

$u_k$ :  $k$ 유형의 실업비율

$L_{i,t-1}^\nu$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 의 개발 가능한 공지

$x_{i,t-1}$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 의 기개발된 토지의 개발가능한 용지부분

$L_{i,t-1}^r$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 의 주거용지

$W_{i,t-1}^n$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 에 대한  $n$ 유형의 가구가 느끼는 매력도

$Q_{j,t}^n$ : 고용을 가구로 변환

$\eta^n; \alpha^n; \beta^n; q^n; r^n; s^n; b_n^n$ : 모형보정을 통해 추정된 매개변수

다음으로 고용입지모형인 EMPLOC(Employment Allocation)의 함수는 다음과 같으며, 이를 통해 유형별 고용자 수를 추정하도록 한다. 고용자 수는 추정된 가구 수에 영향을 받으며, 1차, 2차, 3차 산업 등 유형별로 구분하여 토지이용모형과 연결된 형태로 추정하도록 한다.

$$E_{j,t}^k = \lambda^k \sum_i N_{T,i,t-1} \frac{M_{j,t-1}^k c_{i,j,t-1}^{\omega^k} \exp(\rho^k c_{i,j,t-1})}{\sum_j M_{j,t-1}^k c_{i,j,t-1}^{\omega^k} \exp(\rho^k c_{i,j,t-1})} + (1 - \lambda^k) E_{j,t-1}^k \quad <식 4>$$

$$M_{j,t}^k = (E_{j,t-1}^k)^a (L_j)^b \quad <식 5>$$

여기서  $N_{T,i,t-1}$ : 시간  $t-1$ 에 존  $i$ 의 총가구 수

$L_j$ : 존  $j$ 의 총면적

$M_{j,t-1}^k$ : 시간  $t-1$ 에 존  $j$ 에 대한  $k$ 유형의 고용자가 느끼는 매력도

$\lambda^k; \omega^k; \rho^k; a^k; b^k$ : 모형보정을 통해 추정된 매개변수

토지이용모형인 LUDENSITY(Land Consumption Rates) 함수식은 다음과 같다. 토지이용은 가구입지모형과 고용입지모형에 따라 주거면적, 산업용도별 면적 등을 추정하도록 한다.

$$\frac{L_{r,i,t}}{N_{T,i,t}} = k_0 L_{D,j,t-1}^{k_1} \left( \frac{L_{d,j,t-1}}{L_{D,j,t-1}} \right)^{k_2} \left( \frac{L_{b,j,t-1}}{L_{D,j,t-1}} \right)^{k_3} \left( \frac{L_{c,j,t-1}}{L_{D,j,t-1}} \right)^{k_4} \times \left( \frac{N_{1,i,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_5} \left( \frac{N_{2,i,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_6} \left( \frac{N_{3,j,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_7} \left( \frac{N_{4,j,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_8} \left( \frac{N_{5,j,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_9} \left( \frac{N_{6,j,t}}{N_{T,i,t}} \right)^{k_{10}}$$

<식 6>

$$\frac{L_{b,i,t}}{E_{b,i,t}} = g_0 L_{D,i,t-1}^{g_1} \left( \frac{L_{d,i,t-1}}{L_{D,i,t-1}} \right)^{g_2} \left( \frac{E_{b,i,t}}{E_{T,i,t}} \right)^{g_3}$$

$$\left( \frac{L_{b,i,t-1}}{L_{D,i,t-1}} \right)^{g_4} \left( \frac{L_{r,i,t-1}}{L_{D,i,t-1}} \right)^{g_5}$$

<식 7>

$$\frac{L_{c,i,t}}{E_{c,i,t}} = p_0 L_{D,i,t}^{p_1} \left( \frac{L_{d,i,t}}{L_{D,i,t}} \right)^{p_2} \left( \frac{E_{c,i,t}}{E_{r,i,t}} \right)^{p_3}$$

$$\left( \frac{L_{c,i,t}}{L_{D,i,t}} \right)^{p_4} \left( \frac{L_{r,i,t}}{L_{D,i,t}} \right)^{p_5}$$

<식 8>

여기서  $L$ : 사용 중인 토지( $r$ : 주거,  $D$ : 개발 가능지,  $d$ : 기개발지,  $b$ : 기본,  $c$ : 상업)

$E$ : 유형별 고용( $b$ : 기본,  $c$ : 도매와 서비스 일자리를 포함하는 상업)

$N$ : 유형별 가구(총 네 가지 유형)

$k$ 's,  $g$ 's,  $p$ 's: 추정된 매개변수임.

교통수요모형은 4단계 수요예측모형을 사용하도록 하며, 교통수요 추정을 위해 국가교통DB센터의 '2007년 국가교통DB구축사업'에서 구축된 전국권 네트워크 자료를 사용했다. 단계별 내용은 다음과 같다. 통행발생에서는 먼저 수도권을 영향권으로 설정하고, 이에 따른 시군 수준의 중준으로 구분된 자료를 활용하도록 한다. 다음으로 통행분포를 보면 교통존 간 통행량은 출발지와 목적지의 교통활동에 비례하고 교통존 간 거리에 반비례한다는 가정에서 출발한 이중제약중력모형을 사용하도록 하며, 다음과 같다.

$$T_{ij} = A_i \times O_i \times B_j \times D_j \times f(C_{ij}^{-1}) \quad \text{<식 9>}$$

여기서  $T_{ij}$ :  $i, j$  존 간 통행량

$A_i$ :  $i$  존의 발생량에 대한 balancing factor

$B_j$ :  $j$  존의 발생량에 대한 balancing factor

$O_i$ : 존  $i$ 에서 발생하는 총통행발생량  $\sum_j T_{ij}$

$D_j$ : 존  $j$ 에 도착되는 총통행도착량  $\sum_i T_{ij}$

$C_{ij}$ :  $i, j$  간의 통행비용

$f(C_{ij}^{-1}) = e^{-\beta C_{ij}}$ : 통행시간으로 표시된 통행에 대한 저항 함수( $\beta = "0.036791"$ )

<식 9>를 두 제약조건식에 대입하면 다음 <식 10>과 <식 11>을 유도할 수 있다. 다시 <식 10>과 <식 11>을 연립방정식을 통해  $A_i$ 와  $B_j$ 를 찾아 목표연도의 통행발생량을 추정하도록 한다.

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j f(C_{ij}^{-1})} \quad \text{<식 10>}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i f(C_{ij}^{-1})} \quad \text{<식 11>}$$

수단선택에서는 국가교통DB센터에서 제공하는 장래 수단 분담률(2011년, 2016년, 2021년 각각 승용차: 35.4, 35.5, 35.7, 버스: 28.6, 28, 27.2 택시: 6.3, 5.9, 5.8)을 적용하여 수단에 따른 통행량의 분포를 추정하도록 한다.<sup>2)</sup> 그리고 국토해양부의 '교통시설 투자평가지침 개정안'에서 제시하고 있는 수도권의 차종별 재차인원(승용차: 1.78, 버스: 27.23, 택시: 2.11)과 승용차 환산계수(버스: 3.50)를 적용하여 통행량을 추정하도록 한다.

다음으로 통행배정은 사용자 평형배정(User Equilibrium) 기법을 사용했으며, 함수식은 아래와 같다.

2) 본 연구에서는 국가교통DB에서 제공하는 교통망의 장래 수단 분담률 등을 사례별로 일괄적으로 적용하고자 함. 하지만 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 사례에 따라 교통망에서의 각각 용량과 분담률 등이 시간에 따라 수정되어 추정되어야 할 것임.

$$\text{Min} \sum_a \int_0^{V_a} C_a(W) dw \quad \text{<식 12>}$$

$$\text{s.t.) } \sum_{\gamma} T_{ij\gamma} = T_{ij}, \quad T_{ij\gamma} \geq 0$$

$$V_a = \sum_i \sum_j \sum_{\gamma} T_{ij\gamma} \delta_{ij}^{\alpha\gamma}$$

수송부문의 CO<sub>2</sub> 배출량 추정모형은 Tier3인 차종별 주행거리에 따라 배출계수를 적용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하도록 하며, 다음과 같다.

$$\text{Emission} = \sum_{a,b} VKT_{a,b} \times EF_{a,b} \quad \text{<식 13>}$$

여기서 Emission(kg): 배출량(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

VKT: 주행거리

EF: 산정계수

a: 차종(승용차, 택시, 버스, 화물)

b: 도로종류(고속국도, 국도, 지방도, 특별시도, 시군도)

365: 연간운행일수

공간적 배분을 위한 공간배분모형은 토지이용의 변환확률을 추정하여 목표연도의 도시성장에 따른 공간패턴을 예측하도록 한다.<sup>3)</sup> 이는 미래 개발지로서 개발될 토지의 토지이용 변환확률을 추정하여 도시 전체에서 개발될 확률이 높은 토지의 위치를 파악해낼 수 있다. 이를 위해 모형에서 추정된 시군 단위의 토지수요 값을 단위 픽셀(100m×100m)이 장래에 개발될 확률을 통해 장래 토지 수요가 발생하게 될 위치를 추정하도록 한다. 이러한 공간배분을 위한 함수는 다음과 같다.

먼저 토지의 효용함수는 다음과 같이 토지이용을 결정하는 속성들의 선형결합(a linear combination)으로 정의할 수 있다.

$$u = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} \quad \text{<식 14>}$$

여기서 α: 상수, β<sub>j</sub>: 계수, X<sub>ij</sub>: 속성변수

<식 14>에 근거하여 토지소유자 혹은 개발업자가 효용극대화를 성취할 수 있는 용도를 결정하면 그 토지의 용도가 전환될 확률은 다음의 식으로 추정할 수 있다.

$$P_i = \frac{e^u}{1 + e^u} \quad \text{<식 15>}$$

여기서 P<sub>i</sub>는 i번째 토지가 미개발/개발 또는 미개발/주거/산업용지로 전환될 확률, u는 <식 14>의 효용함수이며, 선형회귀식으로 표기한다. 이러한 선형회귀식을 바탕으로 다음과 같은 로짓함수를 도출할 수 있다.

$$\ln \left[ \frac{P_i}{(1 - P_i)} \right] = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} \quad \text{<식 16>}$$

선형회귀식의 좌항은 미개발/개발 또는 미개발/주거/산업용지로 전환될 확률(P<sub>i</sub>)을 전환하지 않을 확률(1 - P<sub>i</sub>)로 나눈 값의 자연지수 값으로 표현되며, 이 과정에서 우도비검정(likelihood Ratio)을 통해 계수를 추정한다.

공간적 배분과 함께 공간적으로 시가화의 확산 정도를 추정하고, 지수의 변화를 통해 공간의 변화 정도를 평가하도록 하며, 시가화 확산지수<sup>4)</sup>를 추정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$SI_i = \left( \left( \frac{S\%_i - D\%_i}{100} \right) + 1 \right) \times 50 \quad \text{<식 17>}$$

3) 이와 관련된 연구는 안종욱(2007), 김경희(2007), 노경식(2009)의 연구가 있으며, 본 연구에서는 가장 최근에 수행된 연구인 노경식(2009)의 방법론을 활용했음.

표 2\_ 모형구동을 위한 구축자료

구분		활용자료
고용	1차 산업	사업체기초통계조사 자료(통계청)
	2차 산업	
	3차 산업	
가구	유형1: 하위 소득층	인구주택총조사 자료 <sup>5)</sup>
	유형2: 중위 소득층	
	유형3: 중상위 소득층	
	유형4: 상위 소득층	
토지이용	공업용 토지이용	도시계획현황(공업용지)
	상업용 토지이용	도시계획현황(상업용지)
	주거용 토지이용	도시계획현황(주거용지)
	개발가능지	통계연보, 도시기본계획(시가화 예정용지)
	개발불능지	도시계획현황(자연환경보전지역, 녹지지역)
	도로면적	도시계획현황
	총면적	도시계획현황
교통	통행시간	KTDB에서 제공하는 수도권 5차 배포 자료의 OD와 Network를 TransCAD 4.5를 통한 통행배정에 따라 2005년 존별 통행시간을 추정하고, 2010~2020년은 G-LUM에 의해 추정된 가구와 고용자 수를 활용하여 OD를 구축하여 적용
공간배분	설명변수(인구밀도, 고용밀도, 토지이용현황, 접근성 요소, 물리적 요소, 경제적 요소, 제도적 요소 등)	GIS Straight line을 이용, 2005년 공시지가

여기서  $SI_i$ : 수도권(i)의 시가지확산지수를 말하며, 0에서 100값으로 표시

$D\%$ : 고밀도 지역의 수도권 인구비중

$D\%$ : 저밀도 지역의 수도권 인구비중

## 2. 자료구축

본 연구에서 구축한 모형을 통해 미래를 예측하기 위해서는 기본적으로 2000년, 2005년 두 시점의 자료가 필요하며, 구축된 내용과 활용자료는 <표 2>와 같다.

## V. 계획과정에서의 활용방안

### 1. 대안별 정합성 검증

계획과정에서 통합모형의 적용을 위해 대안별로 모형을 적용하여 추정된 결과를 바탕으로 상위계획인 수도권광역도시계획 목표와의 정합성을 검증하도록 한다. 대안 1은 기존에 수립된 수도권 지자체의 도시기본계획 시군별 목표인구를 모형에 적용한 경우,

4) 시가화의 확산정도를 평가할 수 있는 것으로, 황금희·정오락(2008)의 연구에서는 이를 시가화 확산의 정도를 나타내는 것으로 설명하고 있으며 지수를 구하기 위한 방법은 Lopez and Hynes(2003)의 연구에서 인용하여 설명하고 있음.

5) 가구자료는 인구주택총조사자료 중 소득수준의 구분이 되어 있는 시도별 자료를 활용하여 등간격추출(equal interval)을 통해 총 네 가지 유형별로 구분하여 그 비율을 시·군·구별로 적용하여 구축했음. 표본자료를 활용하는 것이 더욱 정확하지만 연구에서 필요한 2000년은 2% 표본자료에 가중값이 없어 불가능했으며, 2005년은 5%의 표본자료에 가중값이 존재하지만 시군별로 구분되어 본 연구에서 필요한 존 수준에서의 자료 구득이 불가능했음.

표 3\_ 정합성 검증을 위한 지표 및 내용

수도권 광역도시계획 내용		모형 추정 자료	활용지표	비고
내용적 정합	다핵공간구조 개편 및 자족생활권 형성	인구, 고용자, 면적	인구밀도, 고용밀도, 직주비율	인구밀도, 고용밀도에 의한 공간구조 변화와 직주비율의 공간적 변화에 따른 권역별 검토
	공간구조 개편 및 광역적 토지이용	용도별 토지이용	토지이용 변화	권역별 토지이용 용도변화에 따른 공간구조 변화
	대중교통 중심의 광역교통체계	통행시간	통행시간 변화	통행시간의 절대량과 증감률에 의한 시간감축 정도
	광역의 대기질, 수질, 생태계 보전체계	CO <sub>2</sub> 배출량	CO <sub>2</sub> 배출량 변화, 1인당 배출량 변화	CO <sub>2</sub> 배출량 변화에 따른 배출원 감축 가능성
공간적 정합	다핵공간구조를 통한 수도권의 균형개발, 광역적 토지이용	공간적 개발지 추정, 인구밀도	픽셀별 개발량, 시가지 확산지수	개발가능지에 대한 미래의 개발 형태를 예측, 시가지 확산 지수를 통해 공간적 확산정도 평가

대안 2는 수도권 광역도시계획에서 제시하고 있는 수도권 목표인구를 총량으로 모형에 적용한 경우로 대안 1과 2는 기존의 계획을 수용하여 모형에 적용한 제약의 결과다. 대안 3은 통계청에서 추정하고 있는 시군별 미래 인구를 모형에 적용한 경우로 대안 1과 2와 비교하여 올바른 예측이 가능한지를 평가하도록 한다. 이러한 대안별 정합성 검증은 크게 내용적 정합성과 공간적 정합성으로 나누어 검증하도록 했다. 내용적 정합성 검증을 위해 먼저 상위계획과 하위계획(모형 적용을 통한 결과) 간의 연결 지표의 마련이 필요하다. 본 연구에서는 수도권광역도시계획의 주요 전략을 검토하여 이를 하위계획과 비교·검증할 수 있는 검증지표를 설정했다. 이 중에서 통합모형을 통해 추정된 자료를 바탕으로 상위계획과의 검증이 가능한 다음 네 가지 전략을 중심으로 정합성을 검증했다. ① 다핵공간구조 개편 및 자족생활권 형성은 대안별 모형의 추정을 통해 도출된 인구 수, 고용자 수를 기반으로 인구밀도와 고용밀도, 직주비율 추정하여 권역별로 공간구조와 자족생활권에 영향을 미치는가에 대한 평가를 통해 광역도시계획과의 정합성을 판단했다. ② 공간구조 개편 및 광역적 토지이용은 대안별 주거, 상업, 공업용도의 토지이용 변화가 권역별로 어떻게 나타나며, 수

도권 전체에서 차지하는 비율을 통해 개발용도의 변화에 대한 평가로 정합성을 판단했다. ③ 대중교통 중심의 광역교통체계에서는 대안별로 추정된 OD를 적용하여 연도별 통행시간의 변화에 대한 평가를 통해 통행시간의 절대량과 증감률을 검토하여 시간감축이 대중교통 이용에 기인한다는 가정을 통해 정합성을 판단했다. ④ 광역의 대기질, 수질, 생태계 보전체계 구축에서는 대기오염에 한정하여 모형에서 도출된 수송부문의 통행거리를 활용하여 대안별 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화를 통해 배출원의 감축에 대한 정합성을 판단했다.

공간적 정합성은 지표에서 다루지 못하는 공간적 배분의 정도를 대안별 Pixel별 개발 형태의 예측을 통해 미래의 개발지를 추정했다. 그리고 인구밀도에 따른 시가지 확산지수를 추정하여 공간적으로 수도권 광역도시계획에서 전략적으로 제시하고 있는 주요 내용과 비교하여 그 정합성을 평가했다.

1) 다핵공간구조 및 자족생활권 형성

수도권광역도시계획에서는 ‘다핵공간구조의 개편 및 자족생활권’을 첫 번째 전략으로 수립하고, 이를 위해 서울 외곽에 거점도시를 육성하여 단핵집중의

표 4\_ 대안별 인구밀도, 고용밀도, 직주비율 비교

구분	인구밀도(인/㎢)				고용밀도(인/㎢)				직주비율(고용/가구)			
	2010년	2015년	2020년	연평균 증가율	2010년	2015년	2020년	연평균 증가율	2010년	2015년	2020년	
대안 1 (시군별 도시기본계획 인구 적용)	수도권	2,079	2,215	2,350	1.24	706	757	773	0.91	0.95	0.92	0.87
	서울	16,579	16,332	16,169	-0.25	5,319	5,198	4,932	-0.75	0.90	0.86	0.81
	인천	2,096	2,279	2,388	1.31	710	743	747	0.51	0.95	0.88	0.83
	경기	1,222	1,374	1,531	2.28	433	497	531	2.06	0.99	0.98	0.92
대안 2 (광역도시계 획 인구 적용)	수도권	1,975	1,970	1,949	-0.13	616	653	658	0.67	0.87	0.90	0.89
	서울	16,506	15,614	14,897	-1.02	4,591	4,453	4,182	-0.93	0.78	0.77	0.74
	인천	1,979	1,931	1,882	-0.50	616	642	642	0.42	0.87	0.90	0.90
	경기	1,118	1,170	1,195	0.67	381	431	452	1.72	0.95	0.99	1.00
대안 3 (통계청 인구 적용)	수도권	2,006	2,080	2,116	0.54	649	673	680	0.46	0.91	0.87	0.85
	서울	16,674	16,749	16,330	-0.21	4,863	4,626	4,425	-0.94	0.82	0.75	0.72
	인천	2,079	2,106	2,143	0.30	658	665	668	0.15	0.89	0.85	0.82
	경기	1,132	1,212	1,275	1.20	400	442	461	1.43	0.99	0.98	0.95

수도권 공간구조를 다핵공간구조로 개편하여 거점 도시를 중심으로 자족생활권을 형성한다고 명시하고 있다. 따라서 이러한 광역도시계획과 통합모형의 결과에 따른 대안별 자료의 검증에 위해 크게 인구 밀도, 고용밀도, 직주비율의 변화를 통해 이러한 공간구조와 자족생활권의 변화를 대안별로 검증했다.

대안 1의 결과 수도권의 인구밀도가 2010~2020년 사이 연평균 1.24%의 높은 증가율을 보이는 것으로 나타났으며, 고용밀도 역시 같은 기간 연평균 0.91% 증가했으나 직주비율이 오히려 2010년 0.95%에서 2020년 0.87%로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 고용의 증가보다 인구의 증가가 높게 나타났다기 때문이다. 지역적으로 서울은 인구밀도와 고용밀도가 감소했고, 경기는 높은 증가율을 보이는 것으로 나타났다. 대안 2는 수도권 전체의 인구밀도가 감소하지만 고용밀도와 직주비율이 증가하는 것으로 나타났다. 권역별로는 서울의 인구밀도와 고용밀도가 감소하는 것으로 나타났으며, 이에 비해 인천과 경기는 고용밀도와 직주비율이 증가하는 것으로 나타났다. 대안 3은 수도권 전체의 인구밀도와

고용밀도가 증가하지만 직주비율은 감소하는 것으로 나타났다. 서울과 인천은 대안 1과 비슷한 경향을 보였으며, 경기는 인구밀도와 고용밀도가 대안 1에 비해 그 증가비율이 낮게 나타났다. 따라서 대안 2에 의한 추정결과가 기존의 서울 중심의 단핵공간구조에서 벗어나 인천과 경기지역으로 고용인구가 증가하여 직주비율이 높게 나타나 광역도시계획에서 제시하고 있는 다핵공간구조와 자족생활권 형성에 정합성을 가지는 것으로 판단된다.

## 2) 공간구조 개편 및 광역토지이용

두 번째 검증내용으로 ‘공간구조 개편 및 광역토지이용’에 대한 정합성을 평가하기 위해 대안별 용도별 면적의 변화에 대한 검토를 했다. 광역도시계획에서는 서울과 주변도시 간 연담화 방지기능을 해운 서울 주변 개발제한구역의 집단취락 해제를 통해 광역적 차원에서 주거용지를 마련하려 하고 있다. 따라서 서울을 중심으로 인근 경기, 인천 지역의 용도별 면적의 변화를 통해 광역도시계획과의 정합성을

표 5\_ 대안별 토지이용의 용도 증가량 비교

(단위: km<sup>2</sup>, %)

구분		주거		상업		공업		계	
		2010~2015년	2015~2020년	2010~2015년	2015~2020년	2010~2015년	2015~2020년	2010~2015년	2015~2020년
대안 1 (시군별 도시기본계획 인구 적용)	수도권	89.93 (100)	83.35 (100)	2.37 (100)	1.26 (100)	22.27 (100)	13.04 (100)	114.57 (100)	97.66 (100)
	서울	8.10 (9.01)	6.56 (7.87)	0.47 (19.74)	0.26 (20.30)	0.37 (1.67)	0.12 (0.92)	7.80 (10.97)	7.10 (9.39)
	인천	10.08 (11.21)	7.90 (9.48)	0.15 (6.31)	0.07 (5.83)	2.33 (10.48)	1.19 (9.15)	12.57 (10.97)	9.17 (9.39)
	경기	71.75 (79.78)	68.89 (82.65)	1.75 (73.95)	0.93 (73.88)	19.56 (87.85)	11.73 (89.93)	93.06 (81.23)	81.55 (83.51)
대안 2 (광역도시 계획 인구 적용)	수도권	61.46 (100)	46.97 (100)	1.77 (100)	1.77 (100)	19.24 (100)	19.24 (100)	82.47 (100)	67.98 (100)
	서울	6.02 (9.80)	4.50 (9.59)	0.36 (20.12)	0.36 (20.12)	0.39 (2.03)	0.39 (2.03)	6.77 (8.21)	5.25 (7.72)
	인천	5.51 (8.96)	4.19 (8.92)	0.12 (6.97)	0.12 (6.97)	1.34 (6.99)	1.34 (6.99)	6.98 (8.46)	5.66 (8.32)
	경기	49.93 (81.24)	38.28 (81.49)	1.29 (72.91)	1.29 (72.91)	17.50 (90.98)	17.50 (90.98)	68.72 (83.33)	57.07 (83.95)
대안 3 (통계청 인구 적용)	수도권	71.13 (100)	64.04 (100)	1.34 (100)	1.09 (100)	19.15 (100)	11.02 (100)	91.63 (100)	76.15 (100)
	서울	9.17 (12.89)	6.28 (9.81)	0.20 (14.54)	0.29 (26.47)	0.20 (1.04)	0.09 (0.82)	9.56 (10.44)	6.66 (8.74)
	인천	6.19 (8.70)	10.53 (16.45)	0.09 (6.64)	0.05 (4.93)	0.99 (5.16)	0.67 (6.06)	7.27 (7.93)	11.25 (14.78)
	경기	55.77 (78.40)	47.23 (73.75)	1.06 (78.82)	0.75 (68.60)	17.97 (93.80)	10.27 (93.13)	74.80 (81.63)	58.24 (76.48)

평가했다. 그 결과 수도권 전체의 토지이용을 대안 별로 비교해볼 때 대안 1의 총면적이 가장 크게 증가한 것으로 나타났다. 다음으로 대안 3, 대안 2 순으로 면적이 증가하는 것으로 추정되었다. 이 중 광역도시계획의 전략으로 설정되어 있는 서울외곽 지역의 광역적 개발이 얼마나 이루어지는가에 대한 평가를 위해 수도권 전체에서 차지하는 서울의 증가량 비율과 경기, 인천의 증가량을 비교해보면, 토지이용도의 가장 많은 증가량을 차지하고 있는 주거용도의 경우 2010~2015년, 2015~2020년 각각 대안 1은 9.01%, 7.87%, 대안 2는 9.80%, 9.59%, 대안 3은 12.89%, 9.81%로 나타났다. 이는 대안 2가 서울의

직접적인 성장보다는 외곽지역인 경기지역을 중심으로 주거용도를 기반으로 상업·공업용의 면적이 증가한 것으로 판단된다. 또한 용도별 합계의 경우도 대안 2의 경우 서울이 8.21%, 7.72%, 경기가 83.33%, 83.95%를 차지해 이러한 결과를 뒷받침한다고 할 수 있다. 따라서 대안 2가 수도권광역도시계획의 전략 중 하나인 공간구조 개편 및 광역토지 이용과 정합성을 가진다고 평가할 수 있다.

### 3) 대중교통 중심 광역교통체계

세 번째 검증내용으로 대중교통 중심 광역교통체계

의 구축은 대기오염의 최소화와 서울 등의 중심도시에서 대중교통체계를 통해 통행시간을 단축하는 데 목적이 있다. 본 연구에서는 모형의 추정결과로 나타나는 통행시간의 변화를 통해 통행시간의 증감과 대안별 총량을 수도권과 권역별로 구분하여 수도권광역도시계획과의 적합성을 검증했다. 그 결과 총통행시간의 경우 모든 연도에서 대안 1이 가장 높게 나타났다. 지역별로는 모든 대안에서 서울이 전체 통행시간의 60% 이상을 차지하고 있었으며, 인천이 약 9%, 경기도가 약 28%를 차지하는 것으로 나타났다. 연평균 증가율을 살펴보면 대안 1이 가장 높은 2.07%, 대안 2가 가장 낮은 0.20%로 분석되었다. 특히 통행시간의 많은 비중을 차지하고 있는 서울의 연평균 증가율은 대안 2에서 감소하는 것으로 나타났다. 이는 서울에 집중되었던 교통량이 재차인원이 높은 대중교통의 이용에 의해 감소되는 것으로 보인다. 따라서 대안 2에 의해 추정된 지표들이 광역도시계획에

표 6\_ 대안별 통행시간 변화 비교

(단위: 시간, %)

구분		2010년	2015년	2020년	연평균 증가율
대안 1	수도권	653,876	748,377	802,203	2.07
	서울	397,587	423,563	428,096	0.74
	인천	60,227	71,798	78,423	2.68
	경기	196,063	253,016	295,685	4.19
대안 2	수도권	535,016	556,525	545,919	0.20
	서울	342,991	344,168	328,921	-0.42
	인천	48,127	50,853	50,378	0.46
	경기	143,898	161,503	166,621	1.48
대안 3	수도권	587,519	625,565	647,120	0.97
	서울	369,394	382,982	380,619	0.30
	인천	54,227	54,568	60,470	1.10
	경기	163,898	188,015	206,031	2.31

서 제시하는 전략과의 정합성이 높은 것으로 판단된다.

4) 광역 대기질 및 보전체계 구축

네 번째 검증 내용으로는 광역도시계획에서 제시하

표 7\_ 대안별 CO<sub>2</sub> 배출량 비교

구분		CO <sub>2</sub> 배출량(TonCO <sub>2</sub> /eq)				1인당 CO <sub>2</sub> 배출량 (1인/TonCO <sub>2</sub> /eq)		
		2010년	2015년	2020년	평균 증가율	2010년	2015년	2020년
대안 1 (시군별 도시기본계획 인구 적용)	수도권	15,060,836	16,923,043	17,725,315	1.64	1.68	1.59	1.62
	서울	9,157,455	9,578,026	9,459,110	0.32	1.10	1.03	1.04
	인천	1,387,227	1,623,571	1,732,808	2.25	1.96	1.82	1.79
	경기	4,516,153	5,721,446	6,533,398	3.76	2.78	2.47	2.41
대안 2 (광역도시계획 인구 적용)	수도권	12,587,717	12,845,258	12,305,773	-0.23	1.91	1.87	1.93
	서울	8,164,827	8,043,240	7,511,017	-0.83	1.23	1.18	1.20
	인천	1,108,487	1,149,945	1,113,144	0.04	2.32	2.18	2.20
	경기	3,314,404	3,652,072	3,681,612	1.06	3.47	3.29	3.34
대안 3 (통계청 인구 적용)	수도권	13,532,096	14,145,887	14,298,622	0.55	1.81	1.77	1.80
	서울	8,508,047	8,660,361	8,410,066	-0.12	1.19	1.17	1.18
	인천	1,248,963	1,233,946	1,336,143	0.68	2.16	1.92	2.08
	경기	3,775,086	4,251,579	4,552,413	1.89	3.08	2.93	2.88

고 있는 광역 대기질 및 보전체계 구축이다. 광역도 시계획에서는 대기오염저감과 하천·연안 수질보전 등의 환경관리를 제시하고 있지만 본 연구에서 검증할 수 있는 지표인 수송부문의 CO<sub>2</sub> 배출량<sup>6)</sup> 자료를 활용해 대안별로 광역도시계획에서 제시하고 있는 대기오염 정도의 정합성을 평가했다.

그 결과 수도권 전체 배출량 측면에서 볼 때 대안 2에 의한 추정량이 연평균 0.23% 감소하는 것으로 나타났으며, 배출량이 가장 많은 지역인 서울이 연평균 0.83% 감소해 대기오염 저감을 위한 대안으로서 정합성을 가진다고 평가할 수 있다. 대안 1, 대안 3은 각각 연평균 1.64%, 0.55% 증가하는 것으로 나타났다. 1인당 배출량의 경우 다른 대안과 비교해볼 때 대안 2가 약 0.1~0.3톤 높은 것으로 나타났지만 이는 다른 대안에 비해 대안 2의 낮은 인구증가율에 의한 것으로 판단된다. 따라서 대안 2가 광역적 차원에서 CO<sub>2</sub> 배출량을 최소화할 수 있는 대안으로 인구 및 고용자의 관리를 통해 안정적인 광역 대기질 및 보전체계를 구축하는 데 적합한 것으로 판단된다.

### 5) 공간적 배분

공간적 배분은 공간적 정합성을 검증하기 위한 것으로서 장래의 개발 가능성 중에서 개발 확률이 높은 지역을 공간적으로 추정했다. 이를 위해 인구밀도, 고용밀도, 도시설명변수 등이 사용되었으며, 다항로짓모형을 활용하여 추정된 대안별 공간적 배분을 추정했다. 그리고 인구밀도에 따른 시가화확산 지수 및 변화율을 추정해 시가화의 확산정도를 평가했다.

그 결과 대안 1은 2010년의 경우 2005년과 비교

그림 5\_ 공간적 배분 결과: 대안 1(2020년)

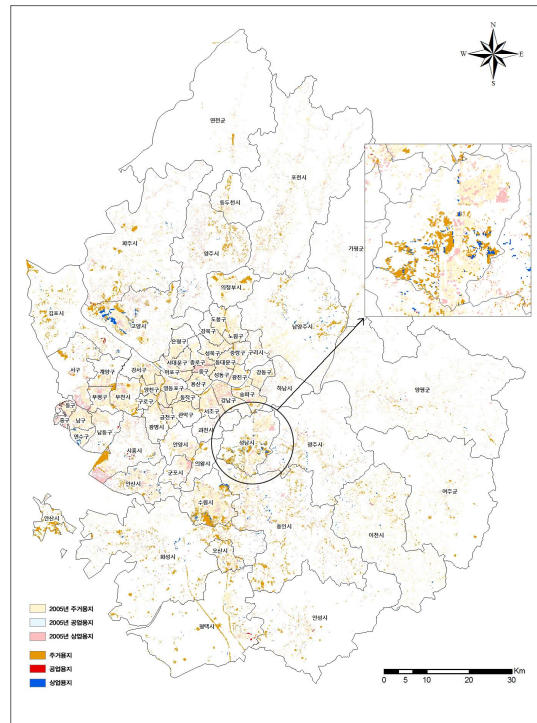


표 8\_ 시가화확산 지수 및 변화율(대안 1)

구분	2010년	2015년	2020년	연평균 변화율(%)		
				2010~2015년	2015~2020년	2010~2020년
확산 지수	50.24	50.11	49.78	-0.05	-0.13	-0.09

하여 서울 외곽지역의 주요 도시(북부: 김포시, 고양시, 동부: 남양주시, 서부: 시흥시, 안산시, 남부: 수원시, 성남시)를 중심으로 주거용지의 증가를 보였으며, 이러한 추세는 2020년까지 이어지는 것으로 나타났다. 그리고 대부분의 성장이 서울보다는 경기 지역에 집중되어 공간적으로 분산될 것으로 추정되었다. 시가화확산 지수와 그 변화율을 살펴보면

6) IPCC 가이드라인에 의하면 에너지, 산업, 농업, 토지이용 및 산림, 폐기물 부문으로 구분하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하도록 하고 있음. 또한 세부적으로 에너지 부문은 산업, 수송, 가정, 기타로 구분하여 각각 배출량을 산정하고 있으나 본 연구에서는 통합모형에서 다룰 수 있는 자료의 한계로 에너지부문의 수송부문으로 한정하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정, 검토했음.

그림 6\_ 공간적 배분 결과: 대안 2(2020년)

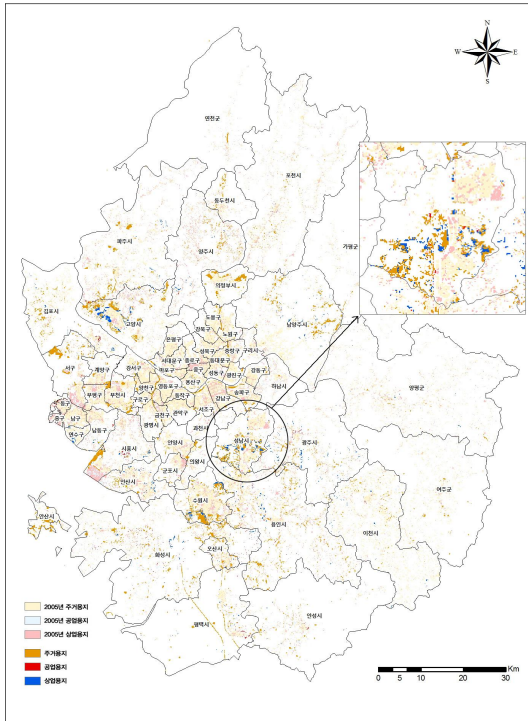


그림 7\_ 공간적 배분 결과: 대안 3(2020년)

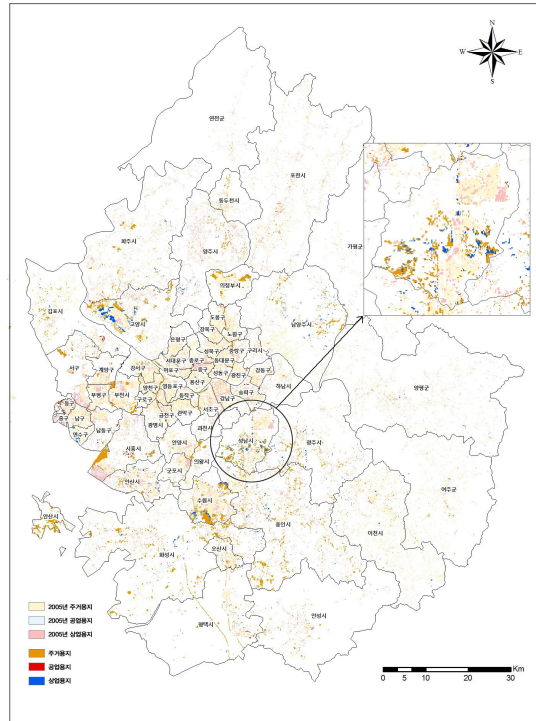


표 9\_ 시가화확산 지수 및 변화율(대안 2)

구분	2010년	2015년	2020년	연평균 변화율(%)		
				2010~2015년	2015~2020년	2010~2020년
확산 지수	47.76	52.07	52.32	1.75	0.09	0.92

표 10\_ 시가화확산 지수 및 변화율(대안 3)

구분	2010년	2015년	2020년	연평균 변화율(%)		
				2010~2015년	2015~2020년	2010~2020년
확산 지수	48.29	49.55	51.46	0.52	0.76	0.64

<표 8>과 같다. 2010년의 시가화확산 지수는 50.24에서 2020년 49.78로 연평균 0.09% 감소할 것으로 나타났다. 연도별로 살펴보면 거의 일정하게 다소 감소하는 것으로 보인다. 이는 수도권 전체에서 인구밀도가 높은 지역인 서울을 중심으로 지속적인 시가화가 이루어질 것으로 해석할 수 있다.

대안 2에 의한 공간적 개발지를 추정한 결과 대안 1과 비슷한 경향을 나타내고 있었다. 2005년에 비해 2010년, 2020년에는 경기도 지역을 중심으로 주거용도와 공업용도의 토지가 개발되었음을 알 수 있

다. 대부분의 개발지는 주거용도인 것으로 나타났으며, 서울지역 외곽의 주요 도시로의 다핵화가 이루어진 것으로 보인다.

시가화확산 지수와 그 변화율을 살펴보면 다음과 같다. 2010년의 시가화확산 지수는 47.76에서 2020년 52.32로 연평균 0.92% 증가한 것으로 나타났다. 연도별 증가율도 2010~2015년 1.75%, 2015~2020년 0.09%로 증가하여 2010~2015년 고밀도의 시군의 성장에 비해 저밀도의 도시의 성장이 컸던 것으로 보인다.

대안 3에 의한 공간적 개발지를 추정한 결과 앞선 대안들과 비슷하게 2005년과 비교해볼 때 2010년에 경기도에서 주거용도의 토지개발이 많이 이루어진 것을 알 수 있다. 2020년에도 서울외곽지역의 주요 도시들을 중심으로 다핵화가 진행되는 경향이 나타났다. 대안 1과 비교해볼 때 비슷한 현상을 보이거나 절대적인 개발량은 적은 것으로 판단된다. 시가화확산 지수와 그 변화율을 살펴보면 다음과 같다. 2010년의 시가화확산 지수는 48.29에서 2020년 51.46으로 연평균 0.64% 증가한 것으로 나타났다. 연도별 증가율도 2010~2015년 0.52, 2015~2020년 0.76%로 증가하여 고밀도의 시군의 성장에 비해 저밀도의 도시의 성장이 컸던 것으로 보인다. 대안 1과 비교할 때 반대되는 경향이 나타나는 것으로 평가할 수 있으며, 고밀도의 서울 중심의 도시 성장보다는 경기도 외곽의 저밀도인 지자체의 성장이 컸던 것으로 평가할 수 있다.

## 2. 모형의 활용방안

### 1) 계획과정의 활용방안

통합모형은 앞으로 미래를 예측하는 과학적인 방법으로서 계획체계의 문제점을 해결하는 하나의 수단으로 제시될 수 있을 것으로 판단되며, 계획과정에서의 이러한 통합모형의 역할은 다음과 같이 구분하여 설명할 수 있다.

첫째, 계획수립을 지원하는 도구로 활용될 수 있을 것이다. 통합모형을 활용하여 계획요소를 반영할 수 있는 다양한 변수에 대한 통합을 통한 정확한 미래예측이 이러한 계획수립 시의 문제점들을 해결하고 지원할 수 있을 것이다. 이는 결과적으로 도시기본계획에서 인구를 중심으로 수립되었던 각 부문별 계획에서 통합모형을 통해 각 부문별 계획요소 간의

연결을 통한 계획수립이 가능할 것이다. 또한 계획수립 당사자에게는 목표설정을 통한 시나리오 작성과 통합모형을 적용하여 보다 객관적이고, 간단하게 각종지표를 추정하고, 이를 기반으로 각종 계획을 수립할 수 있는 여건을 마련해줄 수 있을 것이다.

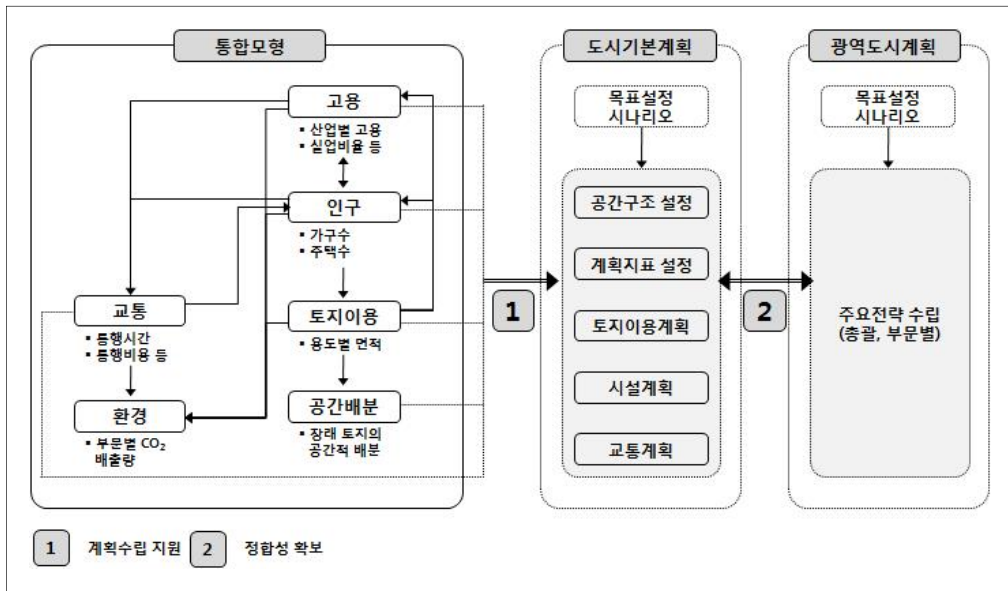
둘째, 상하위계획 간의 정합성을 확보할 수 있는 객관적인 방법론으로 활용될 수 있을 것이다. 통합모형은 이러한 상하위계획 간의 정합성 문제점을 해결하기 위한 객관적 방법론으로서 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 기존의 문제점 해결을 위해 소모적이었던 시간, 비용, 인력 등의 낭비를 줄일 수 있으며, 보다 원활한 계획체계의 수립이 가능할 것으로 기대된다. 이는 결과적으로 우리나라 계획체계 및 과정의 질을 높일 수 있는 계기가 될 수 있으며, 적절한 계획수립이 가능하리라 판단된다.

셋째, 다양한 지역에 적용 가능한 방법론으로 활용될 수 있을 것이다. 지역별로 적용할 수 있는 다양한 변수를 고려한 모형을 통해 특정 지역이 아닌 다양한 지역에 적용 가능한 일반적인 방법론으로 활용될 여지가 충분히 있다고 판단된다.

넷째, 환경부문에서 기후변화에 대응할 수 있는 방법론으로서의 역할을 수행할 수 있을 것이다. IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 토지이용, 에너지, 산업부문, 폐기물, 기타 부문에서의 배출량 산정을 위해 이에 해당하는 변수들의 연결을 통해 부문별 온실가스 배출량을 추정하는 데 통합모형이 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 온실가스 배출량을 예측함으로써 기후변화의 파급을 반영한 미래의 예측을 통해 적절한 계획을 수립하여 환경변화를 반영할 수 있을 것이다. 또한 이를 기반으로 적절한 대응정책 수립에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 2) 모형의 개선방안

그림 8\_ 통합모형의 역할



본 연구에서는 계획요소를 반영할 수 있도록 현재 활용이 가능한 수준에서 인구, 고용, 토지이용, 교통, 환경 등의 변수를 통합한 형태의 모형을 구축했다. 그러나 이는 현실세계를 완벽하게 반영한 미래예측의 결과라고 평가하기는 어렵다. 따라서 향후 이러한 통합모형은 다음과 같은 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

첫째, 다양한 변수들의 연결이 필요하다. 본 연구에서는 자료의 구득 및 활용 가능성의 한계로 인구, 고용, 토지이용, 교통, 환경, 공간 등의 변수로 한정하여 이들을 연결시켜 모형을 구축했다. 그러나 이외에 미래에 영향을 미칠 수 있는 변수와 다양한 지역에 적용 가능한 변수들이 많다. 따라서 향후에는 본 연구에서 다루지 못했던 다양한 변수들을 포함하여 이들 간의 연결을 통한 모형의 구축이 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 여섯 가지 변수들을 연결하는 데에 인구, 고용, 토지이용, 교통변수들 간의 연결은 적절하게 이루어졌다고 평가할 수 있으나 CO2와 공간변수들의 연결은 미흡했다고 할

수 있다. 특히 환경부문의 경우 인구, 고용, 토지이용 간에 연결이 필요하지만 교통변수와의 연결만을 가정하여 구축했다. 이에 다양한 변수를 추가하여 반영함과 동시에 기존 변수들의 연결을 고려하는 모형이 구축되어야 더 정확하게 미래를 예측할 수 있는 객관적 방법론으로 제시될 수 있을 것이다. 또한 이러한 변수의 사용과 연결 형태에 따라 IV장에서 검토한 다양한 모형을 기반으로 발전된 형태의 모형의 구축이 가능할 것이다. 이에 각각의 활용 가능한 모형을 최대한 구축해 적용하고 검증함으로써 적절한 모형을 도출해낼 수 있을 것이다.

둘째, 관련 자료의 구축 및 적용이 필요하다. 통합 모형에서 다루는 변수들은 다양하기 때문에 필요로 하는 자료 역시 다양하다. 본 연구에서는 인구(가구), 고용, 토지이용, 교통, 환경, 공간변수들을 활용했으나 현재 우리나라의 실정에서는 이에 필요한 자료들을 구득하기에 많은 어려움이 있었다. 인구부문의 자료는 인구주택 총조사자료를 활용했는데 표본조사 자료에서조차 모형에 필요한 데이터 속성을 갖지

못했다. 또한 토지이용의 경우에도 세부적인 자료(개발가능지, 미개발지 등)가 부족하여 기존 자료로 한정하여 활용했다. 따라서 먼저 이러한 각 변수들을 통합모형에서 고려할 수 있도록 기초통계자료가 체계적으로 구축되어야 할 것이다. 그리고 이러한 자료를 바탕으로 다양한 변수들을 활용한 모형이 구축되어야 모형의 역할을 충분히 수행할 수 있을 것이다.

셋째, 지표개발 및 적용이 필요하다. 본 연구에서는 상위계획과의 정합성을 위한 지표의 설정을 위해 모형에서 도출된 자료를 바탕으로 인구밀도, 고용밀도, 직주비율, 토지이용 변화, 통행시간 변화, CO<sub>2</sub> 발생량, 공간적 배분 등을 검증지표로 설정했다. 그러나 위에서 언급한 기초자료를 바탕으로 다양한 변수들이 고려된다면 이보다 세분화되고 다양한 지표의 개발이 가능할 것이다. 따라서 향후에는 모형의 결과에 따라 계획요소별로 충분히 대표할 수 있는 다양한 지표의 개발과 이를 적용한 정합성 확보가 필요할 것이다.

## VI. 결론

본 연구는 현재 우리나라 도시계획 과정에서 나타나는 문제점들을 검토함으로써 이를 해결할 수 있는 방안으로 토지이용-교통 통합모형을 구축하고, 이를 계획과정에 활용하는 방안의 모색을 연구의 목적으로 했다.

이를 위해 선행연구 검토와 관련된 이슈를 정리하고, 다양한 모형을 유형별로 구분하여 모형에 대한 평가를 실시한 결과 공간상호작용모형, 공간투입산출모형이 적합한 것으로 나타났다. 이 중 공간상호작용모형인 G-LUM에서 발전된 형태로서 교통-환경-공간변수들이 연결된 형태의 통합모형을 가장 적절한 모형구조로 설정했다.

모형은 현재 수준에서 적용이 가능한 변수로서 인구, 고용, 토지이용, 교통, CO<sub>2</sub>, 공간 변수들을 연결하는 형태로 구축했다. 다음으로 구축된 모형을 계획과정에서 활용하는 방안을 마련하기 위해 총 세 가지 대안을 작성했다. 대안 1은 수도권의 시군별 도시기본계획에서 제시하고 있는 목표인구를 모형에 적용, 대안 2는 수도권광역도시계획의 목표인구를 모형에 적용, 대안 3은 통계청에서 제시하고 있는 인구와 고용을 모형에 적용하는 것으로 하여 통합모형을 통해 대안별 미래를 예측했다. 다음으로는 대안별로 추정된 결과를 상위계획인 수도권 광역도시계획과의 정합성 평가를 위해 내용적 정합, 공간적 정합으로 구분하여 검증지표를 설정하고, 이를 비교했다. 내용적 정합을 위한 지표는 광역도시계획의 주요 전략 중 ① 다핵공간구조 개편 및 지속생태권 형성, ② 공간구조 개편 및 광역적 토지이용, ③ 대중교통중심의 광역교통체계, ④ 광역대기질, 수질, 생태계 보전체계 구축의 내용을 중심으로 정합성을 검증했다. 그 결과 내용적 정합성에서는 대안 2가 광역도시계획과의 정합성이 높은 것으로 나타났다. 공간적 검증은 미래에 토지이용별 Pixel별 공간적 입지를 추정하여 이를 광역도시계획의 내용과 비교했다. 그 결과 모든 대안에서 2020년 주요 거점도시를 중심으로 다핵화가 이루어진 것을 알 수 있었다. 이상의 검증결과 통합모형이 기존의 계획체계에서 발생하는 다양한 문제점들을 해결할 수 있는 적정 도구로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 이러한 통합모형 활용방안을 계획과정의 활용방안과 모형의 개선방안으로 구분하여 제시했다. 먼저 계획과정의 활용방안에서는 모형의 역할을 객관적 방법론으로서 계획체계에 적용, 계획체계를 지원하는 도구로서 활용, 환경부문에서 CO<sub>2</sub> 배출량 등의 변화에 대응할 수 있는 방법론으로 활용할 수 있을 것이라 제시했다. 다음으로 이러한 모형의 계획체계

의 적용을 위해 정합성 확보를 위한 합의와 수단으로서 해야 할 일을 언급했다. 향후 모형의 개선방안에서는 다양한 변수들의 연결, 관련 자료의 구축 및 적용, 정합성을 위한 평가지표 개발 및 적용을 제시했다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째, 수도권만을 연구대상으로 했다. 따라서 다양한 지역에 모형을 적용하기에는 어려움이 있으며, 이에 대한 향후 연구가 필요하다. 둘째, 토지면적 추정에 있어 산업단지 조성이나 고용유발 산업의 성장 등이 반영되지 못했다. 또한 용적률의 변화에 따라 그 면적이 달라질 수 있기 때문에 정확한 모형이 되기 위해서는 이러한 요소들이 반영되어야 할 것이다. 셋째, 모형에 대한 검증이 백캐스팅(Backcasting)에 의해 이루어져야 하지만 모형의 구조상 모듈 간의 연결 특성 때문에 불가능했으며, 검증방법에 대해 보완해야 할 것이다. 이러한 한계를 보완함으로써 미래 계획을 수립하는 데 다양한 대안들에 대한 결과 비교를 통해 보다 효율적이고 바람직한 계획을 지원하는 하나의 방법론으로 활용될 수 있을 것이라 생각한다.

#### 참고문헌 •••••

김경희. 2007. “도시성장예측을 위한 토지이용변화 모형의 구축에 관한 연구”. 안양대학교 석사학위 논문.  
 김광식. 2001. “교통계획과 토지이용계획 간의 연계체계 구축에 관한 연구: 영국의 PPG13과 LTP 사례를 중심으로”. 대한교통학회지 제19권 제1호. pp29-52.  
 김익기. 1991. “행태의 다양성을 고려한 토지이용-교통모형의 개발”. 대한교통학회지 제9권 제2호. pp2087-2100.  
 김제국. 2009. 경기도 시군 장기발전계획의 운용실태와 개선방안 연구. 경기 : 경기개발연구원.  
 김태경·박현수·권대환. 2009. 도시성장관리모형 구축을 위한 기초

연구. 경기 : 경기개발연구원.  
 노경식. 2009. “수도권 성장관리를 위한 성장예측과 토지적성평가 제도 활용방안에 관한 연구”. 안양대학교 석사학위 논문.  
 노정현·류제영. 1995. “토지이용-교통 통합모형을 이용한 공간계획 평가방법의 개발”. 국토계획 제30권 제2호. pp205-222.  
 노윤희. 1974. “도시기본계획의 문제점”. 도시문제 제9권 제5호. pp8-17.  
 서순탁. 2007. “도시계획수립제도의 문제점과 개편방향”. 서울특별시 정책연구발표회 자료. 서울특별시의회.  
 안중옥. 2007. “도시성장예측을 위한 CA-markov 모형구축 및 활용에 관한 연구”. 안양대학교 박사학위 논문.  
 유선철. 2011. “토지이용-교통 통합모형 구축 및 도시계획적 활용방안에 관한 연구”. 안양대학교 박사학위 논문.  
 이병준. 2007. “지속가능한 국토관리를 위한 공간계획과 환경계획의 통합적 접근에 관한 연구”. 서울시립대학교 박사학위 논문.  
 이승일. 2010. “저탄소-에너지절약도시 구현을 위한 우리나라 대도시의 토지이용-교통모형 개발방향”. 국토계획 제45권 제1호. pp265-281.  
 이희연. 2005. “도시·지역계획 수립시에 계획지원시스템의 활용가능성 탐색”. 환경논총 제43권. pp217-251.  
 \_\_\_\_\_. 2007. “지속가능한 도시개발을 위한 계획지원시스템 구축과 활용에 관한 연구”. 대한지리학회지 제42권 제1호. pp133-155.  
 임완혁·이우중. 2002. “도시기본계획 수립과정상의 문제점 및 개선방향에 관한 연구”. 대한국토·도시계획학회 2002년 추계학술대회 발표논문. pp261-273.  
 황금희·정오락. 2008. 경기도 시가지확산에 따른 공간적 영향 연구. 경기 : 경기개발연구원.  
 Berry, M. W., R. O. Flamm, B. C. Hazen, and R. L. Macintyre. 1996. “Lucas: A System for Modeling Land-Use Change”. *IEEE Computational Science & Engineering* vol.3, no.1. pp24-35.  
 Duthie, J., A. Voruganti, K. Kockelman, and S. T. Waller. 2008. “Uncertainty Analysis and its Impacts on Decision-Making in an Integrated Transportation and Gravity-Based Land Use Model”. *Proceeding of the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C. January 2009.  
 Herbert, J. and B. H. Stevens. 1960. “A Model for the distribution of Residential Activity in Urban Areas”. *Journal of Regional Science* vol.2. pp21-36.  
 Kain, J. F. 1986. “Computer Simulation Models of Urban Location”.

- ed. E. S. Mills. *Handbook of Regional and Urban Economics* vol.2. Amsterdam : North-Holland. pp847-875.
- Kolsterman, R. E. 1999. "The What If? Collaborative Planning Support System". *Environment and Planning B: Planning and Design* vol.26. pp393-408.
- Landis, J. D. 1994. "The California Urban Futures Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models". *Environment and Planning B* vol.21. pp399-420.
- Mackee, R. L. 1990. "Comparative Analysis of Modeling Land-Use Transport Interaction at the Micro and Macro Levels". *Environment and Planning* vol.22(A). pp459-475.
- Putman, S. H. 1983. *Integrated Urban Models*. London : Pion Press.
- \_\_\_\_\_. 1991. *Integrated Urban Models2: New Research and Applications of Optimization and Dynamics*. London : Pion Press.
- \_\_\_\_\_. 1995. "EMPAL and DRAM Location and Land Use Models: A Technica Overview". *Proceedings of Land Use Modeling Conference*. Dallas, TX : University of Pennsylvania, Department of city and Regional Planning.
- Southworth, F. 1995. *A Technical Review of Urban Land Use-Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*. Technical Report ORNL-6881. Washington, D.C. : U.S. Department of Energy.
- U.S. EPA. 2000. *Projecting Land-Use Change: A Summary of Model for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Pattern*. EPA/600/R-00/098. Cincinnati, OH. : U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- ULAM. 2004. *Urban Land Use Allocation Model Description*. Available from <http://www.ulam.org>.
- Waddell, P. 2002. "UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning". *Journal of the American Planning Association* vol.68, no.3. pp297-314.
- Waddell, P. and G. F. Ulfarsson. 2004. "Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models". eds. P. Stopher, K. Button, K. Haynes and D. Hensher. *Handbook of Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems*. New York, NY : Pergammon Press.
- Webster, F. V., P. H. Bly and N. Paulley. 1988. "Urban Land-Use and Transport Interaction: Policies and Models". Report on the International Study on Land Use and Transport Interaction(ISGLUTI). Avebury : Aldershot.
- Wegener, M. 1982. "Modeling Urban Decline: a Multilevel Economic-Demographic Model of the Dortmund Region". *International Regional Science Review* vol.7. pp21-41.
- \_\_\_\_\_. 1985. "The Dortmund Housing Market Model: a Monte Carlo Simulation of a Regional Housing Market". ed. Stahl, K. *Microeconomic Models of Housing Markets. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 239*. Berlin/Heidelberg/New York : Springer Verlag. pp144-191.
- \_\_\_\_\_. 2004. "Overview of Land-Use Transport Models". eds. D. Hensher, K. Button, K. Haynes and P. Stopher. *Handbook of Transport Geography and Spatial systems*. Oxford, UK : Elsevier.
- William, D. S. and C. Oliveri. 2004. "Downscaling climate change scenarios in an urban land use change model". *Journal of Environmental Management* vol.72. pp105-115.
- Zhao, F. and S. Chung. 2006. A Study of Alternative Land Use Forecasting Models - final report. *Technical Report BD015-10*. Tallahassee, Florida : Rlorida Department of Transportation. Available at: [http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed\\_Proj/Summary\\_PL/FD\\_OT\\_BD015\\_10\\_rpt.pdf](http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_PL/FD_OT_BD015_10_rpt.pdf).
- Zhou, B., K. Kockelman and J. D. Lemp. 2008. "Transportation and Land Use Policy Analysis Using Integrated Transport and Gravity-based Land Use Models". Proceeding of the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C. January 2009.

- 논문 접수일: 2011. 4. 7
- 심사 시작일: 2011. 4.13
- 심사 완료일: 2011. 5. 6

## A Study on Development of a Land Use–Transportation Integrated Model and Evaluate the Consistency Among the Established Urban Plans

**Keywords:** Land Use–Transportation Integrated Model, Urban Planning Process, Consistency

This study aims to suggest better ways to apply land use-transportation integrated model to identify and address the issues and problems that have emerged and been pending in the urban planning world. We were to construct a new model using G-LUM, a spatial interaction model developed and widely used recent days, and variables that complements the spatial interaction mode. Then we created indexes based on the results of the pre-described model evaluation to evaluate the consistency among the established urban plans. According to the evaluation results, the adopted population by Metropolitan City-Region Planning has the highest level of consistency. The integrated model developed through this study is able to be utilized as a tool to evaluate the planning consistency in urban planning processes, a means to support planning decision making processes and even a methodology to handle the environmental changes such as carbon emission. This study suggested an integrated model by connecting diverse variables and applied the model to an urban area. It is meaningful as this study suggested ways to diagnose the consistency among plans based on the cases and ways to apply the model to real-world urban planning processes.

### 토지이용 – 교통 통합모형 구축 및 계획 간 정합성 평가에 관한 연구

**주제어:** 토지이용-교통 통합모형, 도시계획 과정, 정합성

본 연구는 현재 우리나라 도시계획 과정에서 다양한 문제점이 발생하고 있다는 점에 근거해 이를 해결할 수 있는 방안으로 토지이용-교통 통합모형을 구축하고, 계획과정에서의 활용방안을 모색하는 것을 목적으로 했다. 이를 위해 공간상호작용모형인 G-LUM을 기반으로 인구, 고용, 토지이용, 교통, CO<sub>2</sub>, 공간변수를 연결한 형태로 모형을 구축하고, 모형을 적용하기 위해 필요한 자료를 고용 및 가구, 토지이용, 교통, 공간으로 구분하여 구축했다. 다음으로 상하위계획 간의 정합성 확보를 위해 이전 단계에서 모형을 통해 추정된 자료를 활용하여 상위계획인 수도권 광역도시계획과의 정합성 확보를 위한 지표를 설정하고, 대안별로 이를 구분하여 정합성을 검증했다. 그 결과 광역도시계획의 추정인구를 모형에 적용한 경우가 정합성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 통합모형은 계획과정에서 객관적 방법론으로서 계획체계에서 활용, 계획체계를 지원하는 도구, 환경부문에서 CO<sub>2</sub> 배출량 등의 변화에 대응할 수 있는 방법론 등으로 활용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 상하위계획 간의 정합성 확보를 위한 합의와 수단으로서 계획체계에 적용이 가능할 것이다. 그러나 이러한 통합모형이 가지고 있는 한계는 분명히 있으며, 이러한 한계를 극복하고 그 역할을 충분히 수행하기 위해서는 향후 다양한 변수들의 연결, 관련 자료의 구축 및 적용, 정합성을 위한 평가지표 개발 및 적용 등이 필요한 것으로 보인다.