

토지이용-교통 통합모델의 수도권 적용을 위한 모델 적합성 연구*

- DELTA의 입지 하위모델의 모수산출을 대상으로 -

Fitting a Land use-Transport Model for its Application to the Seoul Metropolitan Area

- Calibrating the Location Sub-Model of DELTA -

이승일** · 이창효***
Lee, Seungil · Yi, Changhyo

Abstract

In this research the integration of DELTA and Omnitrans as a land use-transport model, which has wide experience in application for many cities, was selected to apply for the Seoul Metropolitan Area (SMA). Before applying it for simulating sustainable urban policies, the parameters of the location sub-model of DELTA were calibrated using a logit model to assume the parameters of the function of change in utility of location. The independent variables of the model were selected in consideration of Korean housing market: accessibility, cost of location, floorspace per household, and moving distance (whether or not less than 10 km). The results of the model estimation represented that all of the variable are significant and the parameters have high explanatory power. In order to confirm the reliability of the results, the parameters of SMA model were compared with those of Leicester and Leicestershire Integrated Transport Model (LLITM). While the variable of accessibility affects stronger in the case of SMA model, that of cost of location does reversed. The comparison results acceptably indicate that the City of Seoul has a stronger centrality than Leicester City.

키 워 드 · 토지이용-교통 통합모델, DELTA, 모델 적합성, 모수산출, 입지모델, 수도권
Keywords · Land use-Transport Model, DELTA, Model Fitting, Calibration, Location Model, Seoul Metropolitan Area

I. 서론

‘이명박 정부’에서 역점을 두고 추진하였던 저탄소·녹색성장의 정책을 도시개발 및 도시교통에 구현하기 위하여 서울을 비롯한 대도시에서는 기존 승용차 중심에서 대중교통 중심으로 토지이용체계의

전환을 모색하고 있고(이승일, 2010), 국토교통부에서는 지속가능한 교통체계 구축을 정책목표로 제시하고 있다(국토해양부, 2011). 그러나 저탄소도시를 지향하며 교통체계뿐 아니라 토지이용패턴을 바꾸는 일은 많은 비용을 수반하며 그 성과가 장기적으로 나타나므로 정책적용에 있어서 결정에는 큰 어

* 이 논문은 2013년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음

** University of Seoul (First author: silee@uos.ac.kr)

*** University of Seoul (Corresponding author: yich@uos.ac.kr)

려움이 따른다(이승일, 2010). 이와 같은 이유로 수 년전부터 토지이용과 교통의 장기적 상호작용에 따른 결과를 예측하기 위하여 국내에서도 토지이용-교통 통합모델(이하 통합모델)의 개발 및 적용을 위한 연구가 꾸준히 진행되어왔다(김태경 외, 2009; 이승일, 2010; 김규일 외, 2010; 유선철, 2010).

저탄소도시 건설을 위한 목적 외에도 최근 우리나라 도시가 직면한 인구경제·사회적 여건변화 때문에 도시개발의 효과를 사전에 평가하기 위한 목적으로 통합모델의 필요성이 부각되고 있다. 개발의 수요가 급감하면서 앞으로 도시주택개발을 성공적으로 추진하기 위해서는 장기적 수요예측이 요구되는데 이를 위해서도 통합모델은 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

북미와 유럽의 도시에서는 오래전부터 장기적 개발수요 또는 교통시설 이용수요의 예측을 위해 토지이용과 교통의 연계를 기반으로 한 통합모델을 개발하여 활용하고 있다. 특히, 친환경, 수송에너지 저감을 위한 도시정책의 개발과 장기적 정책효과의 검증은 목적으로 통합모델을 활용하여 계획과 정책의 실행력을 제고하고 있다(Wegener, 1994; 2004; SPARTACUS, 1998; PROPOLIS, 2004; Hunt *et al.*, 2005; 이승일 외, 2011). 반면, 국내에서는 90년대부터 지속적으로 연구가 이루어졌음에도 불구하고 아직까지 통합모델을 정책 실무에 활용하는 경험은 없는 실정이다(이승일 외, 2011).

통합모델을 정책 실무에 적극적으로 활용하기 위해서는 미국의 경우와 같이 제도적 기반을 마련하거나 유럽처럼 국가의 폭넓은 지원이 필요하겠으나(이승일, 2010), 무엇보다도 통합모델을 가상적 공간을 대상으로 적용하거나 실제 공간에 대해서도 실험적 수준에 머무는 것이 아니라 실제 도시를 대상으로 한 체계적 적용 경험의 축적이 중요하다. 즉, 도시의 변화추세를 통합모델에 반영하고 이를 확인하기 위한 모델 적합성(model fitting)의 검증

을 거친 후, 대상 도시의 미래 추세 시나리오와 함께 토지이용과 교통의 정책 시나리오를 시뮬레이션함으로써 도출한 장기적 예측결과들을 비교·평가할 수 있도록 해야 한다. 통합모델을 정책 실무에 활용하기 위해서는 이처럼 많은 시간과 노력을 요하는 어려운 과정을 밟아야 하는데 아직까지 우리나라에서는 통합모델의 체계적인 적용과정을 연구한 경험은 없다고 할 수 있다(이승일 외, 2011).

따라서 본 연구에서는 국내 도시에 통합모델을 실제적으로 적용하기 위한 첫 단계로, 실무 적용경험이 풍부한 국외 모델을 선정하고, 이를 수도권에 적용하기에 앞서 모델 적합성을 검증하기 위하여 통합모델의 핵심 기능인 주거임지모델의 모수를 산출하는 과정을 수행하고자 한다. 나아가 이 모델의 수도권 적용과 관련하여 산출한 모수와 국외 도시에 적용하기 위해 산출된 모수를 상호 비교함으로써 국외에서 개발한 통합모델을 국내 도시에 적용하는데 필요한 시사점을 도출하고자 한다. 본 연구에서는 수도권에 적용하기 위한 통합모델로서 영국에서 개발된 DELTA(토지이용모델)와 네덜란드에서 개발된 Omnitrans(교통모델)를 이용하였다(김규일 외, 2010). DELTA의 주거임지 하위모델 구동에 필요한 입력데이터는 2010년 기준의 수도권 데이터를 기초로 수집·가공하여 적용하였다.

본 논문은 모두 5개의 장으로 구성되어 있다. 2장에서는 통합모델 관련 이론과 모델의 적합성을 포함한 통합모델의 적용과정에 관한 선행연구를 고찰하였다. 3장에서는 DELTA의 개요와 이를 수도권에 적용하기 위한 과정을 제시하였다. 4장에서는 DELTA를 수도권에 적용하기 위한 모델의 적합성 검증 과정을 다루었고, 임지 하위모델의 모수를 산출하여 유럽 도시를 대상으로 적용된 모수와 비교하였으며, 이를 토대로 5장에서는 통합모델을 수도권에 적용하기 위한 시사점을 도출하였다.

II. 이론과 선행연구 고찰

1. 토지이용-교통 통합모델의 개요

토지이용-교통 통합모델(Land-use Transport Interaction Model: LT-model)은 다양하게 정의될 수 있으나, “도시시스템의 미래패턴을 예측하거나 토지이용 또는 교통 정책, 계획의 영향력을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델”(Harris, 1985)이라는 정의가 가장 보편적이다. 즉, 통합모델은 도시시스템을 모델링한 것으로 이해할 수 있다. 도시에서 일어나는 다양한 활동(activity)을 개별 활동자(actor) 별로 일일이 파악하는 것은 그 자체로도 어렵지만, 현재 활동의 입지조건을 미래의 변화에 투영하여 미래의 도시활동을 정확히 예측하는 것은 더욱 어렵다. 따라서 현재의 활동과 활동자 간 입지관계를 미래에도 적용시킬 수 있도록 단순하게 만든 도시의 모델¹⁾이 도시시스템이다(그림 1 참조).

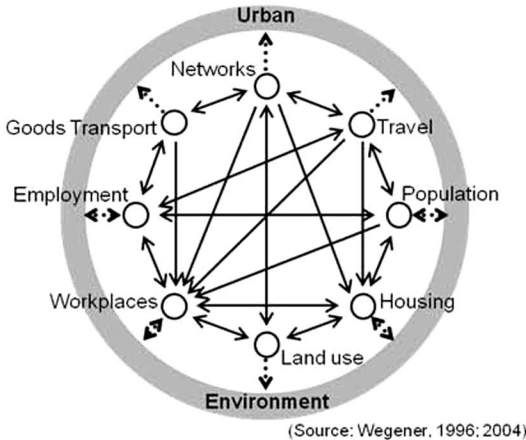


그림 1. 도시시스템
Fig 1. Urban System

Wegener(1996; 2004)는 가장 이상적인 통합모델의 프로토타입으로서 도시시스템을 제시하였다.²⁾ 그림 1의 도시시스템은 도시활동을 위한 도시의 물

리적 구조(토지이용과 교통네트워크)와 건물(주택과 비주거용 건물 즉, 공장, 창고, 쇼핑센터, 오피스 등), 그리고 활동자(인구와 근로자)와 통행(여객과 화물) 등의 하위시스템으로 구성되어있다. 각 하위시스템은 자체의 변화를 모델링하고 도시시스템은 하위시스템 간의 영향관계를 모델링하는 구조인데, 각 하위시스템은 모델링 대상의 특성에 따라 다를 뿐 아니라 변화속도³⁾에 있어서도 차이가 있다. 도시의 물리적 구조의 변화속도는 매우 느리지만 통행의 변화속도는 매우 빠르고, 활동자와 건물의 변화속도는 중간 정도라 할 수 있다.

하위시스템 사이에 존재하는 가장 기본적인 관계는 토지이용과 교통의 순환관계(그림 2 참조)인데, 이를 통해 통합모델은 입지매력도(또는 입지효용), 입지비용, 그리고 통행비용(또는 접근도)을 함께 고려하여 활동자가 활동의 입지를 선택하는 과정을 시뮬레이션하게 된다. 특히, 이 관계는 통합모델로 하여금 새로운 활동의 공간적 분포와 접근도의 공간적 분포가 서로 반복적으로 영향을 미쳐서 토지이용패턴과 통행패턴을 지속적으로 변화시키는 과정을 시뮬레이션 하여 장래의 도시공간구조 변화를 확인할 수 있도록 한다(이승일 외, 2011).

Wegener(1996; 2004)가 제시한 하위시스템과 하위시스템 간의 관계를 모두 반영하는 통합모델⁴⁾은 다음과 같은 도시시스템의 장·단기적 변화를 시뮬레이션 할 수 있다: ① 도시개발에 따른 건물 연면적의 양적·질적 변화가 활동자의 이사와 입지선택, 그리고 (여객과 화물)통행의 선택에 미치는 영향을 추정하거나, ② 교통시설의 공급에 의한 통행패턴의 변화와 건물 연면적의 변화를 추정할 수 있으며, ③ 활동자의 경제·사회·인구학적 변화에 따른 활동의 입지선택과 통행선택패턴의 변화를 예측할 수 있고, ④ 토지이용과 교통 측면의 법제도와 사회적 여건의 변화에 따른 건물 연면적의 개발패턴과 통행패턴에 있어서의 변화를 예측할 수 있다

(SPARTACUS, 1998; PROPOLIS, 2004).

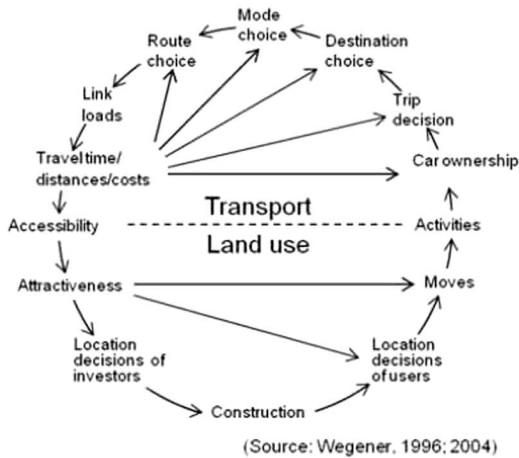


그림 2. 토지이용과 교통의 순환관계
Fig 2. The 'Land-use Transport Feedback Cycle'

이와 같은 다양한 적용 목적을 달성하기 위하여, 통합모델 개발과 관련한 모델이론도 꾸준히 발전해 왔다(이승일, 2010). 70년대 초반까지만 해도 하위 시스템 자체와 하위시스템 간에 내재된 전이(transition)와 선택(choice)의 과정을 구현하는데 있어서 공간상호작용과 중력모델을 이론적 토대로 삼았으나, 그 후에는 확률이론에 기초한 계량경제모델로 발전하였고 이는 다시 지역경제모델과 토지시장모델로 구분되었다(Iacono et al., 2008; 이승일, 2010). 최근 통합모델의 개발추세는 개별 하위시스템에서 발생하는 변화가 시간의 경과와 함께 그에 해당하는 다른 하위시스템에 미치는 영향을 공간, 시간, 대상에 있어서 공히 미시적으로 추정할 수 있도록 하는 동향을 보이고 있다(Wegener, 1996; 2004; Hunt et al., 2005; 이승일, 2010). 이런 추세를 고려하여 이승일(2010)은 최근 대표적인 구동 모델로, UrbanSim, PECAS, DELTA를 선정하여 특성⁵⁾을 비교하였으며, 그 결과 도시활동의 변화를 모델링하는데 적합하게 개발된 DELTA를 우리나라

에서 저탄소·에너지절약도시의 구현에 적합한 통합 모델로 평가하였다. 본 연구에서는 이 연구의 결과를 토대로, 수도권에 적용하기 위한 통합모델로서 영국에서 개발된 DELTA(토지이용모델)와 네덜란드에서 개발된 Omnitrans(교통모델)⁶⁾를 이용하였다.

2. 통합모델의 적용과 모델 적합성

그림 3과 같이, 통합모델은 시간의 경과에 따른 토지이용과 교통의 순환관계를 시뮬레이션하기 위하여 토지이용모델과 교통모델을 서로 연계시켜 구동한다(Simmonds, 1999; Wegener, 1996; 2004; 이승일 외, 2011). 통합모델에서 이 순환관계는 데이터의 흐름으로 구현되는데, 활동의 공간적 분포(time t) 데이터가 교통모델의 입력데이터로 주어지면 교통모델은 접근도의 공간적 분포를 출력데이터로 제공하고, 이는 다시 토지이용모델의 입력데이터가 되어 활동입지의 선택과정을 거쳐 새로운 활동의 공간적 분포(time $t+1$)를 제공한다. 이 과정은 목표연도(time $t+n$)까지 반복하게 된다.

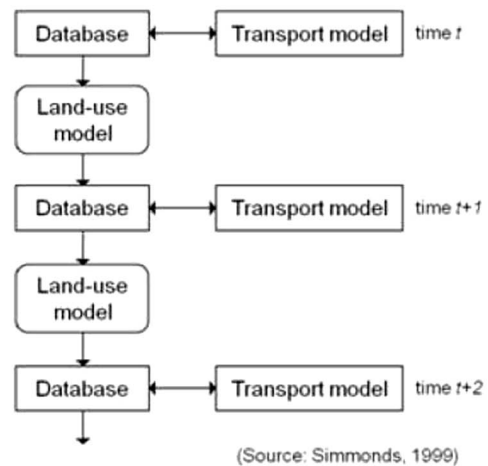


그림 3. 통합모델의 순환적 구동
Fig 3. Operation of LT-model over Time

통합모델의 순환적 구동을 실제 도시에 적용하기 위해서는 적용대상 도시의 변화추세를 통합모델에 반영하는 과정이 필요하다(그림 4 참조). 통합모델을 적용하는데 있어서 가장 많은 시간과 노력을 요하는 과정은 데이터와 정보를 수집하여 모델의 DB를 구축(그림 4의 (2)번 과정)하는 것이지만(이희연·김동완, 2006; 유선철, 2010), 그에 못지않게 중요한 과정은 모델 적합성 검증의 수행(그림 4의 (3)번 과정)이다(이승일 외, 2011). 지금까지 우리나라에서는 정책 실무에 활용할 목적으로 통합모델을 적용한 경험이 없기 때문에 당연히 모델의 적합성 검증과정에 대한 연구가 부재하다고 할 수 있다(이승일 외, 2011).

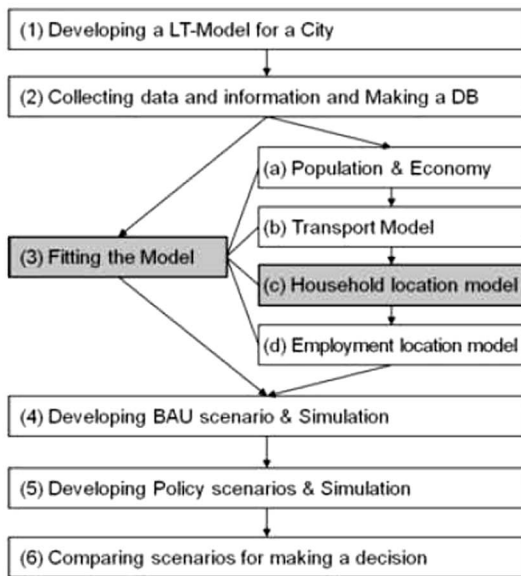


그림 4. 통합모델의 적용과정
Fig 4. Application Process of LT-model

모델의 적합성 검증은 통합모델의 하위모델들에 내재된 수식들의 모수를 산출(calibration)하는 과정과 모델을 구동하면서 산출결과를 검증(validation)하는 과정으로 이루어진다. 이 과정을 거쳐 대상

도시의 변화추세를 통합모델에 반영하게 되면, 비로소 대상 도시의 미래 추세 시나리오(그림 4의 (4)번 과정)와 토지이용과 교통의 정책 시나리오(그림 4의 (5)번 과정)를 시뮬레이션 함으로써 도출한 장기적 예측결과들을 비교·평가(그림 4의 (6)번 과정)하여 정책의사결정을 지원하게 된다(Hunt, 1994; Feldmann & Simmonds, 2009; Revil & Simmonds, 2011).

교통수요예측⁹⁾을 위하여 넓게 활용되고 있는 교통모델은 모델이론과 적용의 틀에 있어서 대체로 유사한 반면에, 토지이용모델은 개발자의 개발동기와 적용목적에 따라 모델이론뿐만 아니라 하위모델의 구성에 있어서 차이가 크다(Pagliara & Wilson, 2010; Hunt et al., 2005; Wegener, 1996; 2004; 이승일, 2010). 토지이용모델의 특성을 규명하는 것도 개발자마다 견해의 차이가 있지만, 모델의 적합성 검증을 수행하는 방식을 결정하는데 있어서는 일체형(unified)과 복합형(composite) 모델로 구분하는 것이 적절하다(Wegener, 1994; 2004). 투입-산출 기반으로 하위모델이 하나로 구성되어 있는 일체형 모델은 PECAS가 대표적이며 모델의 적용이 용이한 장점이 있다(이승일, 2010). 반면에, 여러 하위모델로 구성된 복합형 모델로는 DELTA와 UrbanSim이 대표적이며 하위모델의 변수들 간에 발생하는 다중공선성의 문제를 해결하기 힘든 단점이 있으나, 변화속도가 다른 하위시스템(그림 1 참조)을 고려할 수 있는 장점을 지녔다(이승일, 2010).

모델 개발자와 연구자의 입장에서, 방대한 데이터 수요로 인하여 시간과 인력이 많이 소요되지만 직접적인 성과가 되지 못하는 모델의 적합성 검증보다는, 바로 성과로 나타나는 시나리오 시뮬레이션에 연구를 집중하는 것은 매우 자연스러운 현상이다. 이로 인하여, 모델의 적합성 검증에 대한 선행 연구는 드문 편인데, 일체형 모델에 대해서는

PECAS의 전신인 MEPLAN⁸⁾을 Naples 대도시권에 적용(이하 Naples 모델)하면서 시행한 모수산출 연구(Hunt, 1994)가 대표적이고, 복합형 모델로는 DELTA를 Leicester-Leicestershire 도시권에 적용(이하 Leicester 모델)하면서 시행한 연구(Revil & Simmonds, 2011)가 대표적이다.

일체형인 Naples 모델의 모수를 산출하기 위하여 Hunt(1994)는 네스티드로짓모델을 사용하였고, 고용과 가구의 유형을 구분하기 위하여 군집분석을 수행하였으며, 로그선형다항회귀기법을 이용하여 시간경과에 따른 변화를 추정하였다. Naples 모델은 일체형이므로 대규모의 투입-산출 모델을 위해 시간과 공간에 있어서 동일한 기준의 방대한 데이터를 마련하는데 큰 어려움을 겪었고, 검증의 과정에도 어려움이 컸다(Hunt, 1994). 따라서 일체형 모델의 경우 모델의 적합성 검증이 곧 모델 적용이라고 할 수 있다.

반면에, 복합형인 Leicester 모델의 경우 모델의 개발과 적용 과정에서 축적된 경험을 바탕으로 대부분의 하위모델에 필요한 모수를 개발과정에서 내정하였고, 모델을 적용하는 도시의 경제·사회적 여건 및 건조환경(built environment)과 가장 관련이 깊은 가구의 재입지(relocation)과정을 대상으로 모델의 모수를 산출하였다(Revil & Simmonds, 2011). Leicester 모델의 입지 하위모델은 가구의 재입지 규명을 위하여 접근도, 입지비용, 가구당 점유면적, 신-구입지간 거리 등을 독립변수로 하는 로짓모델을 사용하였는데, 이에 필요한 현시선호 데이터의 확보를 위하여 해당지역에서 실시한 가구통행조사는 가구재입지 항목이 추가되었다. 입지 하위모델을 포함한 Leicester 모델의 적합성 확보과정에는 민감도분석이 이용되었는데, 이 과정에서 모든 하위모델의 모수를 미세조정(fine tuning)하여 관찰 데이터와 모델산출 데이터 간의 차이를 줄여나갔다(Revil & Simmonds, 2011).

3. 소결

본 연구에서는 국내 도시에 통합모델을 실제적으로 적용하기 위한 첫 단계로, 실무 적용경험이 풍부한 DELTA를 토지이용모델로 선정하고, 이를 수도권에 적용하기에 앞서 모델의 적합성 검증을 수행하기 위하여 DELTA의 핵심 기능에 해당하는 입지 하위모델의 모수를 산출하고자 한다. 이를 위해, 복합형 모델인 DELTA를 토지이용모델로 사용한 Leicester 모델의 모델 적합성 연구(Revil & Simmonds, 2011)를 본 연구의 직접적인 선행연구로 삼아서 수도권의 주거입지 하위모델에 대한 모수를 산출하는데 참고하고자 한다. 나아가 Leicester 모델의 입지모수와 수도권 모델의 모수를 상호 비교하여 수도권 모델적용에 있어서 시사점을 도출하고자 한다.

III. DELTA의 수도권 적용

1. DELTA의 개요

DELTA는 1995년에 영국 Cambridge의 David Simmonds Consultancy Ltd.(이하 DSC)에서 도시정책 실무에 적용할 목적으로 개발한 토지이용모델로서, 스코틀랜드의 Edinburgh에 최초로 적용되었고 이후 많은 도시에서 다양한 목적으로 활용되고 있는 대표적 복합형 토지이용모델이다(Simmonds, 1999; 2010; 김규일 외, 2010). 그림 5와 같이, DELTA는 도시시스템(그림 1 참조)의 하위시스템을 토지이용모델로 구현하기 위한 5개의 핵심 하위모델로 구성되어있다. 개발 총량과 위치를 모델링하는 ‘개발(Development: D)’, 직장이동의 수요를 계산하는 ‘고용(Employment: E)’, 가구의 입지와 재입지의 변화를 추정하는 ‘입지(Location: L)’, 가구의 형

성, 변화, 해체 등 인구학적 변화를 모델링하는 '전이(Transition: T)', 개발과 입지의 변화로 인한 지역 활동환경의 변화를 추정하는 '활동환경(Area quality: A)' 등이 그 하위모델이며, 각 하위모델의 머리글자를 따서 'DELTA'라는 이름이 만들어졌다. '차량소유(Car-ownership)' 하위모델은 나중에 추가되었다.

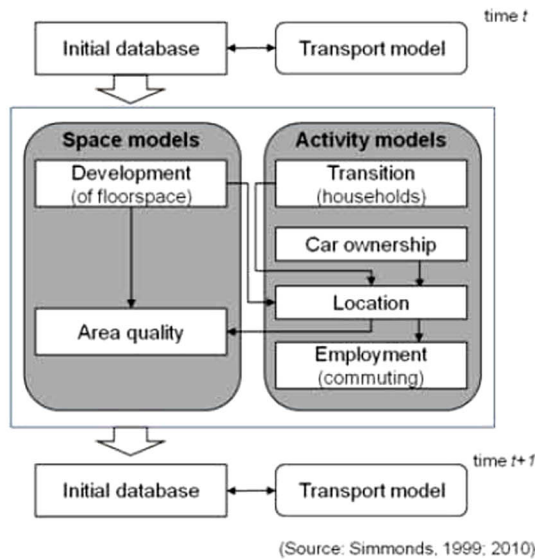


그림 5. DELTA의 1 주기 구성
Fig 5. Operation of DELTA in One Period

도시시스템(그림 1 참조)과 모델적용과정(그림 4 참조) 등을 통해 제시된 통합모델의 기본요건을 기준으로 DELTA의 특성을 살펴보면, 하위모델을 물리적 공간(개발과 활동환경)과 활동(전이, 차량소유, 입지, 고용)으로 명료하게 구분하고, 활동자(인구 또는 가구와 근로자)가 활동의 수행을 위하여 물리적 공간을 선택하는 과정을 사회경제학적으로 모델링하였다는데서 다른 토지이용모델과의 차이점을 찾을 수 있다. 다시 말하면, DELTA는 활동자 유형별 활동의 입지선택 행위를 활동자의 라이프사이클에 따른 사회경제적 특성의 변화뿐 아니라 입지별

건축 연면적의 공급 및 접근도와 가격 조건 등의 변화를 미시적으로 고려하여 부동산시장을 통해서 결정하도록 개발되었다고 할 수 있다(Simmonds, 1999; 2010; 김규일 외, 2010).

DELTA와 함께 통합모델을 구성해야 하는 교통 모델은 원칙적으로 외부모델로서 통행수요예측을 위해 개발된 어떤 상용 교통모델과도 연계될 수 있다. 그러나 실무적으로 보면 데이터의 호환을 위한 인터페이스의 구축 등 기술적으로 해결해야 할 문제가 많기 때문에 실제 연계경험이 있는 교통모델을 사용하는 것이 통합모델의 개발과 적용에 있어서 시간과 노력을 줄이는데 큰 도움이 된다(김규일 외, 2010). 이런 현실여건을 고려하여 본 연구에서는 Omnitrans를 DELTA와 연계할 교통모델로 선정하였다. 교통모델은 해당 시점(time t)에 주어진 교통네트워크를 기반으로 교통수단별로 출발 존과 도착 존 간의 접근도(통행시간 또는 비용)를 산출하여 활동의 입지선택 시 교통의 조건으로 고려할 수 있도록 하였다(그림 5 참조).

그림 3에서 제시된 통합모델 순환구조는 그림 5와 같이 DELTA에서 구현되었는데, 앞선 주기(time t)에서 모델이 구동된 후에 각 하위모델에서 출력된 데이터는 다음 주기(time $t+1$)에 해당 하위모델 또는 연계된 하위모델의 데이터로 입력되어 변화를 추정한다. DELTA는 다른 복합형 모델과 같은 dynamic 또는 quasi-dynamic 모델로서, 매 주기 별 투입과 산출의 엄격한 균형(equilibrium)을 전제로 하는 일체형 모델과는 달리, 투입과 산출의 불균형(non-equilibrium)을 허용하기 때문에 모델의 적합성 검증은 하위모델별로 모수를 산출하여 검증하는 방식으로 수행될 수 있다. 다만, 교통모델의 출력데이터를 입력한 후에 DELTA의 하위모델들을 차례로 거쳐서 도출된 토지이용 모델데이터와 관찰 데이터 간의 차이를 줄이기 위해서는 반복과정을 통해 개별 하위모델의 모수를 미세하게 조정하여야

한다.

그림 5에서 보듯이, 입지 하위모델은 대부분의 다른 하위모델 출력데이터를 입력데이터로 사용하므로 입지 하위모델의 결과는 DELTA 전체의 결과를 담고 있다고 할 수 있다(Revil & Simmonds, 2011; Pagliara & Wilson, 2010). 따라서 본 연구에서는 수도권을 대상으로 입지 하위모델의 모수 산출에 초점을 맞추었다.

2. DELTA-Omnitrans의 수도권 적용

본 연구에서는 DELTA를 토지이용모델로 그리고 Omnitrans를 교통모델로 선정하여 수도권에 적용한 본 연구의 통합모델을 ‘수도권 모델’로 명명하기로 한다. 본 연구의 목적에 따라, 수도권 모델은 통합모델의 적용과정(그림 4 참조) 중에서 시나리오의 시뮬레이션(그림 4의 (4)번, (5)번, (6)번 과정) 과정보다는 모델의 적합성 검증(그림 4의 (3)번 과정)에 초점이 맞추어져 구축되었다. 다시 말하면, 본 연구에서 수도권 모델의 적용은 모델 적합성 검증의 대상이 되는 입지 하위모델을 중심으로 하위모델에 적용할 모수를 산출하기 위해 필요한 기초데이터를 구축하고, 입지 하위모델에 내재되어 있는 로짓모델 기반의 효용함수 계산식의 독립변수에 입력될 값을 제공하는 하위모델(프로그램)을 구동하며, 종속변수에 해당하는 주거입지/재입지 관련 현시선호 데이터를 마련하여 로짓모델의 적용을 통한 효용함수 구성변수의 모수를 산출하는 것을 의미한다.

수도권 모델의 구축은 수도권을 대상으로 서울은 행정동 단위, 인천과 경기도는 시·군·구 단위로 구분하여, 서울 424개, 인천 10개, 경기 44개 존(모델의 공간 분석단위)을 설정하였다. 그러나 주거입지/재입지와 관련하여 구득 가능한 현시선호 데이터 중 하나인 ‘주거실태조사(2010년)’ 데이터의 공간단위

가 시·군·구로 제약되어 있기 때문에, 본 연구에서는 수도권 모델의 서울 지역 역시 시·군·구 단위로 재집계(re-aggregation)하였다.

수도권 모델의 적용을 위한 교통 네트워크의 구축은 도로와 대중교통(도시철도, 버스)을 모두 고려하였다⁹⁾. 도로는 ‘국가교통DB’에서 제공하는 교통주제도 데이터 중, Level 2 이상의 도로(2: 보조간선도로와 집산도로, 3: 주간선도로, 4: 고속도로)를 기준으로 하였고, 도시철도는 수도권에서 운행하는 철도(총연장 1,451km)에 대한 운행노선에 대한 공간정보를 교통모델에 입력하였다. 노선버스에 대해서는 서울의 경우 간선버스(파랑), 지선버스(녹색), 마을버스(노랑), 광역버스(빨강) 등의 노선을 구축하였고, 인천과 경기도의 버스노선은 광역버스(빨강) 노선만을 구축하였다. 버스 정류장과 운행정보에 대한 속성데이터는 교통안전공단에서 제공하는 수도권 버스노선 정보(2011년 10월 기준)를 활용하였다. 교통모델의 적합성 검증은 스크린라인 통행데이터를 이용하여 수행되었다.

IV. 모델의 적합성 검증

1 DELTA의 입지 하위모델 개요

DELTA의 입지 하위모델은 로짓모델에 기초하고 있으며, 세부적인 내용은 수식 1과 같다. 수식에서 확인할 수 있는 바와 같이, 로짓모델에서 핵심이 되는 효용함수(ΔV_{ij}^k)는 입지변화를 예측하고자 하는 기간의 효용값과 이전 시점을 기준으로 산정된 효용값 사이의 차이를 이용하는 점진적 로짓모델(incremental logit model)이라는 특징이 있다. 효용함수를 구성하는 요소는 가구유형별 해당 존의 입지비용, 접근도, 가구당 점유면적, 그리고 활동환경 수준 등이 대표적으로 이용되며(수식 2 참조),

이들 요소는 통합모델이 적용되는 지역의 특성과 통합모델 내부에서 산출될 수 있는 정보를 고려하여 변경이 가능하다. 또한, 수식 2의 θ 는 효용함수 구성요소별 영향력(즉, 효용함수 구성요소가 한 단위 증감할 때, 입지선택확률의 증감)을 의미하며, 이는 다항로짓모델을 활용한 통계분석을 뜻한다.

$$H(LP)_{ip}^h = H(P)_p^h \frac{H_{ii}^h \left(\frac{F(A)_{ip}^h}{F(O)_{ii}^h} \right) \exp(\Delta V_{ip}^h)}{\sum_i H_{ii}^h \left(\frac{F(A)_{ip}^h}{F(O)_{ii}^h} \right) \exp(\Delta V_{ip}^h)} \quad \text{-----}(1)$$

단, $H(LP)_{ip}^h$: 기간 p 동안 존 i 에 입지하는 가구 유형 h 의 전체 총량

$H(P)_p^h$: 기간 p 동안 입지하는 가구 유형 h 의 전체 총량

H_{ii}^h : t 시점 존 i 의 가구 유형 h 에 대한 가구수 총량

$F(A)_{ip}^h$: 기간 p 동안 존 i 에서 이용 가능한 주거(H) 연면적 총량

$F(O)_{ii}^h$: t 시점(과거) 존 i 에서 이미 점유되어 있는 주거(H) 연면적 총량

ΔV_{ip}^h : 기간 p 동안 존 i 에 대한 가구 유형 h 의 입지효용 변화량

$$\Delta V_{ip}^h = \theta_p^{hC} (C_{ip}^h - C_{ii}^h) + \theta_p^{hA} (A_{ip}^h - A_{ii}^h) + \theta_p^{ha} (a_{ip}^h - a_{ii}^h) + \theta_p^{hQ} (Q_{ip}^h - Q_{ii}^h) + \dots \quad \text{-----}(2)$$

단, C_{ip}^h : 기간 p 동안 존 i 에 가구 유형 h 가 입지하기 위한 비용

A_{ip}^h : 기간 p 동안 존 i 에서의 가구 유형 h 별 접근도

a_{ip}^h : 기간 p 동안 존 i 에서의 가구 유형 h 별 가구

당 점유면적

Q_{ip} : 기간 p 동안 존 i 의 활동환경 수준

2. 수도권 모델의 입지 하위모델 모수산출

본 연구에서는 수도권 모델에 적용 가능한 효용함수($V_i^{h'}$)의 구성요소로 가구유형별 입지비용, 접근도, 가구당 점유면적을 선정하였으며, 주거이동 패턴과 관련하여 가장 일반화되어 있는 특징인 단거리 이주 패턴을 통제변수로 적용하였다(수식 3 참조). 이와 같은 효용함수 구성요소들은 DELTA의 기준년도 입력데이터에 기초한 수도권 모델 구축과정에서 생성된다.¹⁰

$$V_i^{h'} = \theta^{h'C} C_i^{h'} + \theta^{h'A} A_i^{h'} + \theta^{h'a} a_i^{h'} + \theta^{h'D} D_{od}^{h'} \quad \text{-----}(3)$$

단, $C_i^{h'}$: 존 i 에 주거이동가구 h' 가 입지하기 위한 비용

$A_i^{h'}$: 존 i 에서 주거이동가구 h' 의 접근도

$a_i^{h'}$: 존 i 에서 주거이동가구 h' 의 가구당 점유면적

$D_{od}^{h'}$: 주거이동가구 h' 의 이전 주거지(o :출발지)와 선택 주거지(d :도착지) 간 거리관련 변수

θ : 모수

수도권 모델의 입지 하위모델 모수산출을 위해서는 개별 가구가 실제로 주거입지를 선택한 현시선택의 정보가 필요하다. 이를 위하여, 본 연구에서는 '주거실태조사(2010년)' 데이터를 활용하였다. 주거실태조사 데이터는 '이사경험'에 대한 정보와 '현재주택 거주시기', 그리고 '현재주택 소재지'와 '현재주택 전 거주지' 정보를 포함하고 있다. 이를 토대로, 1년 이내 주거이동을 실행한 가구를 도출하여

표 1. 변수 설정
Table 1. Definition of Variables

구분 Division	변수 Variable	내용 Content	비고 Others
설명변수 Independent variable	접근도 Accessibility $(A_i^{h'})$	통행시간 또는 통행비용 (일반화비용 반영) Travel time or cost based on generalized cost from transport model	-
	입지비용 Cost of location $(C_i^{h'})$	주거임대료 × 가구당 점유면적 Rent × Floorspace per household	-
	가구당 점유면적 Floorspace per household $(a_i^{h'})$	가구당 주거 점유면적 Residential floorspace per household	-
	주거이동 거리 (10km 이내 여부) Whether or not moving distance of less than 10 km $(D_{od}^{h'})$	이전 주거지와 주거입지 대안지역 간의 네트워크 거리 (10km 이내 여부) Network distance between previous location and alternative one	더미변수 ^{a)} Dummy
종속변수 Dependent variable	주거입지 선택 여부 Whether or not residential location choice	선택(1), 미선택(0) Choice(1), No choice(0)	-

a) 기준 항목: 10km 이상 거리의 주거입지 대안 선택
Reference: Choice of the alternative location over 10 km

분석의 대상으로 하였다. 분석대상 가구는 총 2,617 가구이다.

가구의 주거이동과 입지선택은 일반적으로 다수의 대안을 검토·비교한 후 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 2,617가구의 실제 주거입지선택 정보에 더하여, 가상의 선택되지 않은 대안 정보를 생성하였다. 가상의 선택되지 않은 대안은 선택 대안 1개 당 4개를 생성하였으며, 이는 무작위 난수 발생을 적용하였다. 즉, 선택 대안 1개와 미선택 대안 4개 등 총 5개의 대안에 대하여 2,617가구에 대한 분석 데이터를 구축하였다(표 1 참조). 수도권 모델에서는 가구유형에 따른 주거입지 선택특성을 반영하기 위하여 가구유형을 1인 가구 3개 유형(청년층, 장년층, 노년층), 부부 가구 3개 유형(청년층, 장년층, 노년층), 한부모 가구, 자녀가 있는 부부 가구, 3인 이상 성인 가구, 자녀가 있는 성인 가구 등 총 10

개로 구분하였으며, 이는 선행연구(Short, 1978; 황지은 외, 2011)에서 제시한 생애주기 변화에 기초한 가구유형 구분의 기준을 따랐다.

분석데이터를 이용하여 수행한 로짓분석 결과는 다음과 같다. 1년 이내에 주거이동을 실행한 전체 가구를 대상으로 분석한 결과는 수도권 모델에 적용하고자 하는 입지 하위모델의 입지효용함수 구성 요소가 모두 유의한 변수임을 확인할 수 있다. 독립변수별 분석결과를 살펴보면, 첫째, 지역의 접근도가 1단위 증가함에 따라 주거입지선택확률이 0.004% 감소하는 것으로 나타났다(음(-)의 모수). 이는 DELTA에서의 접근도가 해당지역으로 또는 해당지역으로부터 타 지역으로의 통행시간(또는 비용)을 의미하기 때문이며, 이는 토지이용-교통의 상호작용에 의한 영향이 수도권에서 가구의 주거입지선택에 영향을 미치고 있음을 의미한다. 둘째, 입

표 2. 로짓분석 결과(전체 주거이동 가구)

Table 2. Result of Logit Analysis (All of Moved Households)

변수 Variable	B	Std. E	Wald	Sig.	Exp(B)
접근도 Accessibility ($A_i^{h'}$)	-0.00003646	.000	393.882	.000 ***	0.99996
입지비용 Cost of location ($C_i^{h'}$)	-0.01232703	.001	222.922	.000 ***	0.98775
가구당 점유면적 Floorspace per household ($a_i^{h'}$)	0.00282734	.001	8.592	.003 ***	1.00283
10km 이내 입지선택 여부 Whether or not moving distance of less than 10 km ($D_{od}^{h'}$)	2.64491434	.060	1954.493	.000 ***	14.08224
Cox-Snell R ²	.405				

*Sig.<0.1, **Sig.<0.05, ***Sig.<0.01

표 3. 로짓분석 결과(가구유형별)

Table 3. Result of Logit Analysis by Household Types

구분 Division	B of $A_i^{h'}$	B of $C_i^{h'}$	B of $a_i^{h'}$	B of $D_{od}^{h'}$	Cox-Snell R ² (No. of Sample)
1인 가구 Single	청년층 Young	-0.00011841 ***	-0.01265301 ***	0.00233423	2.46184736 *** .431 (268)
	장년층 Old	-0.00007177 ***	-0.02212815 ***	0.00422965	2.68781875 *** .436 (288)
	노년층 Retired	-0.00007893 ***	-0.06093828 ***	0.02452434 *	3.12963749 *** .472 (88)
부부 가구 Couple	청년층 Young	-0.00005175 ***	-0.00155546	-0.00698382	2.21989381 *** .425 (82)
	장년층 Old	-0.00006242 ***	-0.02511693 ***	0.01709331 ***	3.07064209 *** .433 (185)
	노년층 Retired	-0.00001581	-0.02547548 ***	-0.00084678	2.71595327 *** .423 (85)
한부모가구 Single w/ children	-0.00001617	-0.02439284 ***	-0.00472248	4.02036572 *** .521 (69)	
자녀가 있는 부부가구 Couple w/ children	-0.00004091 ***	-0.01034421 ***	0.00417432 ***	2.72176551 *** .428 (919)	
3인이상 성인가구 3Adults	-0.00004754 ***	-0.01904552 ***	0.01312440 ***	2.84077673 *** .442 (410)	
자녀가 있는 3인이상 성인가구 3Adults w/ children	-0.00003804 ***	-0.01202866 ***	0.00732080 ***	2.90618413 *** .448 (223)	

*Sig.<0.1, **Sig.<0.05, ***Sig.<0.01

지비용의 영향 역시 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 주거입지선택에 있어 입지비용이 1단위 증가할수록 주거입지선택확률이 감소(1.233%)하는 것을 확인할 수 있다. 이는 개별 활동자(가구)의 합리적인 주거소비행태로 설명이 가능하다. 셋째, 지역의 가구당 점유면적 변수는 점유면적 1m²의 증가가 주거입지선택확률의 증가(0.283%)로 이어지는 것으로 확인되었다(양(+))의 모수. 이 역시 보다 양호한 주거환경 확보와 합리적 주거소비 측면으로 설명할 수 있다. 끝으로, 근거리 주거이동 행태를 나타내는 10km 이내 주거입지선택변수 역시 양(+))의 모수를 나타냈고, 수도권에서의 주거입지선택 역시 10km 이내에서의 주거입지선택이 10km를 넘어서는 주거이동에 비해 14배 이상 높은 확률로 이루어짐을 알 수 있다(표 2 참조).

가구유형별로 분석한 결과는 표 3과 같다. 전체 가구를 대상으로 분석한 결과와는 달리, 가구유형별로는 다소 특징적인 결과를 확인할 수 있다. 접근도는 노년층 부부가구와 한부모가구에서는 유의하지 않은 것으로 나타난 반면, 1인 가구의 주거입지선택 시, 타 가구유형에 비해 상대적으로 민감하게 반응하는 것으로 나타났고, 낮은 연령층에서 더욱 민감한 것으로 확인되었다. 입지비용 변수는 청년층 부부가구를 제외한 모든 가구유형에서 유의하였으며, 노년층 1인 가구의 주거입지 선택에서 가장 영향력이 큰 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 노년층 1인 가구의 재정·경제적 상황이 좋지 않기 때문으로 판단된다. 가구당 점유면적 변수는 1인 가구, 부부가구, 한부모가구에서 유의하지 않은 것으로 확인되었으나, 노년층 1인가구와 장년층 부부가구에서는 유의한 것으로 확인되었다. 또한, 자녀가 있는 부부가구, 3인 이상 성인가구, 자녀가 있는 3인 이상 성인가구 등 상대적으로 가구구성원 수가 많은 가구의 경우, 주거공간에 대한 추가 수요로 인하여 주거입지 선택 시 양(+))의 영향을 받는 것으로 판

단된다. 10km 이내 주거입지 선택 여부는 모든 가구유형에서 유의한 변수로 확인되었으며, 근거리 입지 선택패턴 역시 동일한 것으로 확인되었다.

3. 타 도시 모수와의 비교와 해석

본 연구에서 로짓분석을 통하여 도출한 수도권 모델의 입지 하위모델 모수는 국외에서 개발한 모델을 국내 도시에 적용할 때 필수적으로 수행되어야 할 과정이다. 이 절에서는 DELTA가 유럽의 도시에 적용하기 위해 도출한 입지 하위모델 모수와 본 연구결과를 비교함으로써 국내도시에 통합모델을 적용할 때 고려해야 할 사항에 대한 함의를 찾아보고자 한다. 비교 대상이 되는 국외 도시는 영국의 Leicester City를 포함하는 Leicestershire, London, England 중부지역에 위치하며 약 98만 명의 인구와 2,156km²의 면적을 가진 지역이다. 이 지역의 인구규모는 수도권에 비해 매우 적지만 2008년부터 개발·활용되고 있는 Leicester and Leicestershire Integrated Transport Model(LLITM; 앞에서는 Leicester 모델로 명명)이 Leicestershire 주변 지역을 광역적으로 포함하는 모델로 광범위한 주변 지역을 포함해야 하는 수도권 모델의 개발과 관련하여 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

LLITM의 모델 적합성 검증과 관련하여 Revil and Simmonds(2011)는 입지 하위모델에 대한 모수를 산출하여 제시하였다. 그 결과를 수도권 모델의 모수와 단순히 비교할 수 있도록 다음과 같이 사전작업¹¹⁾을 수행하였다. 로짓모델을 활용한 분석에서, 접근도와 입지비용을 입지효용함수의 구성요소로 설정하고, 통제변수의 종류와 형태를 변경시키면서 세 가지 모델의 입지 하위모델 모수를 산출하였다(표 4 참조).

표 4. 입지 하위모델 모수의 비교
Table 4. Comparison of Location Model Parameters

구분 Division	접근도 Accessibility	입지비용 Cost of location
LLITM	Model 1	-0.000314
	Model 2	-0.000554
	Model 3	-0.000287
수도권 모델 SMA model	-0.000766	-0.00203

LLITM의 입지 하위모델 모수와 본 연구의 분석 결과를 비교¹²⁾하기 위하여, 통행비용으로 산정되는 수도권 모델의 접근도와 통행시간으로 산정되는 LLITM의 접근도의 단위를 일치시키기 위하여 국내의 통근목적 통행시간비용인 182.45(원/분)을 반영(김현 외, 1999)하여 모수를 다시 계산하면 수도권 모델의 접근도 모수는 -0.000766으로 산정된다. 이 결과는 LLITM의 접근도 모수에 비해 상대적으로 민감하게 주거입지선택에 영향을 미침을 확인할 수 있도록 한다(표 4 참조). 또한, 입지비용 모수와 관련하여 모델에서 활용하는 통화단위를 일치시키기 위하여 6.04(₩/만원)을 적용하면 수도권 모델의 입지비용 모수는 -0.00203으로 다시 산정되는데, LLITM의 입지비용 모수와 비교할 때, 주거입지선택에 있어 상대적으로 덜 민감하게 작용하고 있음을 확인할 수 있었다.

서울의 중심성이 매우 강한 수도권에서 접근도가 상대적으로 더 중요한 주거입지선택의 영향요인인 것으로 밝혀진 점은 매우 타당한 결과라고 판단된다. 뿐만 아니라 주택보급률이 아직까지 100%에 미치지 못하는 수도권에서 입지비용이 상대적으로 주거입지선택에 미치는 영향이 더 약하다는 결과 역시 본 연구의 산출결과와 신뢰도를 높이는 중요한 검증결과라고 할 수 있다.

수도권 모델과 LLITM의 입지 하위모델 모수를

비교하여 각 지역의 주거입지선택패턴을 분석하는 것은 통합모델 적용의 신뢰도를 확인하는 과정이면서 동시에 역으로 모델 적합성의 검증과정을 통하여 도시간 활동자의 활동입지선택패턴을 비교·분석할 수 있는 과정이기도 한다. 따라서 이 과정을 통하여 통합모델 적용의 신뢰도 제고와 함께 도시간 동태적 비교연구라는 새로운 연구분야의 개척을 기대한다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 도시에 토지이용-교통 통합 모델을 실제로 적용하기 위하여 다수의 도시에 적용된 경험이 풍부한 DELTA와 Omnitrans를 수도권에 적용하면서 아직까지 국내에서는 수행한 경험이 없는 모델 적합성의 검증을 DELTA의 입지 하위모델을 대상으로 수행하였다. 수도권 모델에 적용 가능한 효용함수의 구성요소로 가구유형별 입지비용, 접근도(통행시간 또는 비용), 가구당 점유면적을 선정하였으며, 주거이동 패턴과 관련하여 가장 일반화되어 있는 특징인 단거리 이주 패턴을 통제변수로 적용하였다. 분석데이터를 이용하여 수행한 로짓 분석 결과, 1년 이내에 주거이동을 실행한 전체 가구를 대상으로 분석한 결과는 수도권 모델에 적용하고자 하는 입지 하위모델의 입지효용함수 구성요소가 모두 유의한 변수임을 검증하였고, 수도권에서 가구의 주거입지선택패턴에 대한 설명력이 높음을 확인하였다. 나아가 이 모델을 수도권에 적용하기 위하여 새로 산출한 모수와 Leicestershire 도시권에 적용하기 위해 이미 산출된 모수를 비교한 결과, 중심도시의 영향력이 매우 큰 수도권에서 접근도가 상대적으로 더 중요한 주거입지선택의 영향요인이며, 주택보급률이 아직까지 100%에 미치지 못하는 수도권에서 입지비용은 상대적으로 주거입지

선택에 미치는 영향이 더 약하다는 점으로 인하여 수도권 모델 적용의 신뢰도를 검증하였다.

본 연구의 결과는 아직까지 국내에서 실무적 경험이 전혀 없는 통합모델을 국내 도시의 바람직한 도시발전을 모색하기 위한 도시 및 교통정책의 효율적인 의사결정지원을 목적으로 활용하는데 유용할 것으로 판단한다. 동시에 통합모델을 이용한 도시간 동태적 비교연구의 새로운 분야를 개척하는데 기여하였다고 본다.

그러나 통합모델을 정책 실무에 활용하기 위해서는 모델 적합성의 검증과 함께, 적용대상 도시의 미래 추세 시나리오와 토지이용과 교통의 정책 시나리오를 시뮬레이션 하여 도출한 장기적 예측결과들을 비교·평가할 수 있어야 한다. 이 과정 또한 국내에서 연구한 경험이 없으므로 많은 시간과 노력이 필요하다. 이를 위해서 앞으로도 금번 연구와 함께 지속적인 후속연구가 수행되어야 할 것이다.

- 주1. 도시의 모델 즉, 통합모델의 목적은 미래의 변화를 정확하게 예측하는데 있다기보다는 변화에 관련된 도시시스템의 구성요소를 파악하고, 해당 요소의 영향력을 분석함으로써 변화를 바람직하게 유도하는 방안을 모색하는데 있다.
- 주2. Wegener(1996; 2004)는 자신이 제안한 도시시스템으로 현존하여 세계적으로 구동중인 통합모델의 특성과 기능 및 적용 영역을 평가하였다.
- 주3. 하위시스템의 변화속도의 차이는 장기적 시뮬레이션에서 의미 있는 정책효과를 예측할 수 있는데, 예를 들면 재건축 시행가능 기한의 변경설정으로 인한 지역별 통행패턴의 변화를 시뮬레이션 할 수 있다.
- 주4. 현실적으로 Wegener(1996; 2004)가 제안한 도시시스템을 완벽하게 구현한 통합모델은 없기 때문에 한 도시에 대해 본문에서 제시한 변화를 빠짐없이 시뮬레이션 하기 위해서는 여러 종류의 통합모델을 적용해야 한다(SPARTACUS, 1998; PROPOLIS, 2004).
- 주5. 이승일(2010)에 따르면 PECAS는 공간경제시스템, UrbanSim은 지역발전과 환경영향, DELTA는 도시활동의 변화를 모델링하기에 적합하도록 개발되었다고 평가하였다.
- 주6. Omnitrans는 네델란드 Omnitrans-international

B.V.이 개발한 다중교통수단에 대한 모델링이 가능한 교통 프로그램 패키지인데 본 연구에서 이를 선택한 이유는 DELTA와 연계경험이 있었기 때문이다(김규일 외, 2010).

- 주7. 현재 통용되는 교통모델들은 대부분 4단계 수요예측과정을 기반으로 하고 있고, 본 연구에서 사용한 Omnitrans도 이에 기반하고 있다.
- 주8. MEPLAN은 영국 Marchial Echenique and Partners에서 1985년부터 개발·보급한 모델패키지이다. 유럽뿐 아니라 미국 도시에 많이 적용되었으나 최근 모델개선과 적용이 더 이상 이루어지지 않고 있다.
- 주9. 수도권 모델 적용을 위해 구축된 교통 네트워크는 79개 존(시군구), 57,353개 링크, 40,510개 노드, 114개 지하철 서비스 노선, 그리고 450개 버스 서비스 노선으로 구성되어있다.
- 주10. 입지 하위모델 파라미터 산출에 이용된 독립변수 중 입지비용(C_i)과 접근도(A_i)의 산출식과 독립변수별 정보의 출처(DELTA 구성파일)는 다음과 같다.

[산출식]

$$C_i = r_{ip}^u$$

단, r_{ip}^u : 토지이용유형 u 에 대한 i 기간 동안의 존 i 임대료

$$A_i = \frac{1}{-\lambda^D} \left[\ln \left\{ \sum_j W_j \exp(-\lambda^D g_{ij}) \right\} - K^J \right]$$

$$K^J = \ln \sum_j W_j^{t0}$$

단, λ^D : 목적지 선택 관련 계수

W_j : 목적지 존 j 의 가중치

$t0$: 기준년도

g_{ij} : 출발지 존 i 와 목적지 존 j 사이의 일반화 비용

[정보출처]

$C_i^{h'}$: 존가구유형별 활동자와 토지이용(가구수와 주거연면적) 간 연계 정보(Sazn<><>.dat)

$A_i^{h'}$: 존가구유형별 접근도 정보(Avpl<><>.itm)

$a_i^{h'}$: 존가구유형별 활동자와 토지이용(가구수와 주거연면적) 간 연계 정보(Sazn<><>.dat)

$D_{od}^{h'}$: 존간 네트워크 최단거리 정보(Dszn<><>.dat)

- 주11. DELTA는 적용 도시의 주거입지선택특성에 따라 효용함수의 구성요소를 바꿀 수 있도록 하여 수도권 모델과 LLTM 간의 구성요소에 차이가 발생하였다. 그러나 이런 차이에도 불구하고 접근도(통행비용)와 입지비용의 모수를 비교하기 위하여 원단위를 일치시키고, 통제변수를 조정하는 사전작업을

수행하였다. 수도권 모델의 입지 하위모델의 두 변수를 기준으로 한 통합모델 간 비교와 관련하여, Revil & Simmonds(2011)이 분석한 결과는 다음과 같이 통제변수를 세 가지 모델별로 달리 적용하여 분석을 실행하였다. ① Model 1: 거리감쇄율을 변수, 존별 주거면적 변수 ② Model 2: 5km 이내 주거입지 선택 여부 변수, ③ Model 3: 5km 이내 주거입지 선택 여부 변수, 입지선택 지역에 대한 최소요구 면적 대비 가구당 점유면적 규모 차이 변수

주12. 로짓모델에서 분산계수(scale parameter) λ 는 확률변수(random variable) ϵ_r 의 분산(σ^2)과 $\sigma^2 = \pi^2 / (6\lambda^2)$ 의 관계를 갖게 되므로, 분산계수와 확률변수는 반비례 관계에 있다고 할 수 있다. 로짓모델에서 모수를 추정할 때, 분산계수 값을 별도로 추정하지 않기 때문에 계수 β 값은 분산계수와 실질적인 계수 값인 α 값이 내포된 값으로 해석하여 분석할 수 있으므로, 효율함수의 계수 β 를 $\lambda\alpha$ 로 해석하여 상대적 분산 상태를 추정하여 해석할 수 있다(김익기, 1998). 따라서 국외의 연구결과와 수도권을 대상으로 한 본 연구의 결과를 비교할 때, 변수의 단위를 일치시켜 모수값을 직접 비교할 경우에도 분산계수와 확률변수의 관계성에 유의하여 해석할 필요가 있다.

인용문헌

References

1. 국토해양부, 2011. 「지속가능 교통물류체계 지향형 도시만들기 지침 수립연구」, 경기.
MoLT, 2011, *A Research on the Manual for Sustainable Transport Oriented City*, Gyeonggi..
2. 김규일·이창호·이승일, 2010. “DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석”, 「국토계획」, 45(6): 117-135.
Kim, K., Yi, C., and Lee, S. 2010. “A Scenario Analysis on Transport Energy Consumption and Carbon Emission Using DELTA,” *Journal of Korea Planners Association*, 45(6): 117-135.
3. 김익기, 1998. “첨단여행자정보체계를 위한 노선선택 행태모형의 정산과 응용”, 「국토계획」 33(1): 77-90.
Kim, I. 1998. “Calibration and Application of Route Choice Behavioral Model for ATIS,” *Journal of Korea Planners Association*, 33(1): 77-90.

4. 김태균·변환희·정연우·최대식·석해준·이석규·이동찬, 2013. 「합리적 도시개발을 위한 교통계획과 토지이용계획 연계방안 연구」, 대전: 토지주택연구원.
Kim, T.G., Byun, H.H., Jung, Y.W., Choi, D.S., Seok, H.J., Lee, S.G. and Lee, D.C. 2013. *A Study on the Linkage of Transport and Land-use Planning for an Effective Urban Development*, Daejeon: Land & Housing Institute.
5. 김현·오세창·최기주, 1999. “통행목적별 수단별 통행 시간가치도출 및 유의성 검증”, 「대한교통학회지」 17(1): 113-129.
Kim, H., Oh, S.C. and Choi, G.J. 1999. “VOT Derivation for Different Trip Purposes, Travel Modes and Testing of Their Significance,” *Journal of Korean Society of Transportation*, 17(1): 113-129.
6. 유선철, 2010. “토지이용-교통 통합모형 구축 및 도시계획과정에서의 활용방안에 관한 연구”, 안양대학교 대학원 박사학위논문.
Ryu, S.C., 2010. “A Study on Development and Application of a Land Use - Transportation Integrated Model for Urban Planning Process,” Ph. D. Dissertation, Anyang University.
7. 이승일, 2010. “저탄소-에너지절약도시 구현을 위한 우리나라 대도시의 토지이용-교통모델 개발방향”, 「국토계획」 45(1): 265-281.
Lee, S., 2010. “Development Scheme of a Land-use Transport Model for Korea’s Large Cities toward a Low-Carbon-Energy-Saving City,” *Journal of Korea Planners Association*, 45(1): 265-281.
8. 이승일·이주일·고주연·이창호, 2011. “토지이용-교통 통합모델의 개발과 운영”, 「도시정보」 356: 3-17.
Lee, S., Lee, J.I., Go, J.Y. and Yi, C. 2011. “Development and Management of Land-use Transport Model,” *Urban Information Service*, 356: 3-17.
9. 이희연·김동완, 2006. “토지이용-교통 통합모델의 이론적 토대와 운용 메카니즘에 관한 소고”, 「환경

- 농촌」 44: 47-75.
- Lee, H.Y. and Kim, D.W. 2006. "A Paper on the Theoretical Base and Operating Mechanism of Land-use Transport Model," *Journal of Environmental Studies*, 44: 47-75.
10. 황지은·이창효·이승일, 2011. "마크프 체인 모델을 이용한 수도권 장기 가구구조 변화 예측 연구", 「국토계획」 46(6): 203-219.
- Wang, J., Yi, C. and Lee, S. 2011. "A Study on the Long-term Forecast of Household Composition Change of the Seoul Metropolitan Area Using a Markov Chain Model," *Journal of Korea Planners Association*, 46(6): 203-219.
11. Feldman, O. and Simmonds, D., 2009. "Use of the Auckland Land-use Modelling Survey in Calibrating Household Location Model," Paper presented to the 12th International Conference on Travel Behaviour Research, Jaipur, India: Le Meridien Hotel.
12. Harris, B., 1994. "The Real Issues Concerning Lee's Requiem", *Journal of the American Planning Association*, 60(1): 31-34.
13. Hunt, J.D., 1994. "Calibrating the Naples land-use and transport model," *Environment and Planning B*, 21: 569-590.
14. Hunt, J.D., Kriger, D.S. and Miller, J., 2005. "Current Operational Urban Land-use-Transport Modelling Frameworks: A Review," *Transport Reviews*, 25(3): 329-376.
15. Iacono, M., Levinson, D. and El-Geneidy, A., 2008. "Model of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory," *Journal of Planning Literature*, 22(4): 323-340.
16. Pagliara, F. and Wilson, C., 2010. The State-of- the-Art in Building Residential Location Models, in F. Pagliara, J. Preston and D. Simmonds (eds.) *Residential Location Choice: Models and Applications*, Heidelberg: Springer.
17. PROPOLIS, 2004. *PROPOLIS: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*, Final Report, DG Research.
18. Revil, E. and Simmonds, D., 2011. "Calibrating a Household Relocation Model for Leicestershire," Paper presented to the European Transport Conference, Glasgow: Crowne Plaza Hotel.
19. Simmonds, D. C., 1999. "The design of the DELTA land-use modelling package," *Environment and Planning B*, 26: 665-684.
20. Simmonds, D. C., 2010. The DELTA Residential Model, in F. Pagliara, J. Preston and D. Simmonds (eds.) *Residential Location Choice: Models and Applications*, Heidelberg: Springer.
21. Short, J. R., 1978. "Residential Mobility," *Progress in Human Geography*, 2: 419-447.
22. SPARTACUS, 1998. *SPARTACUS: System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability*, Final Report, CEC DG XII.
23. Wegener, M., 1994. "Operational Urban Models: State of the Art", *Journal of the American Planning Association*, 60(1): 17-29.
24. Wegener, M., 1996. Reduction of CO2 Emissions of Transport by Reorganisation of Urban Activities, in Y. Hayashi and J. Roy (eds.) *Transport, Land-use and the Environment*, London: Kluwer.
24. Wegener, M., 2004. Overview of Land-use Transport Models, in D.A. Hensher and K. Button(eds.) *Transport Geography and Spatial Systems*, Kidlington: Pergamon/Elsevier.

Date Received 2015-01-30
 Date Reviewed 2015-02-28
 Date Accepted 2015-02-28
 Date Revised 2015-03-18
 Final Received 2015-03-18