

# 활동기반 통행자분석시스템(ABATA)을 이용한 토지이용변화에 따른 차량 배기가스 배출영향 사례 분석

## A Case Study on the Emission Impact of Land Use Changes using Activity-BAsed Traveler Analyzer (ABATA) System

엄진기\* · 이광섭\*\*

Eom, Jin Ki · Lee, Kwang-Sub

### Abstract

Activity-based modeling systems have increasingly been developed to address the limitations of widely used traditional four-step transportation demand forecasting models. Accordingly, this paper introduces the Activity-BAsed Traveler Analyzer (ABATA) system. This system consists of multiple components, including an hourly total population estimator, activity profile constructor, hourly activity population estimator, spatial activity population estimator, and origin/destination estimator. To demonstrate the proposed system, the emission impact of land use changes in the 5-1 block Sejong smart city is evaluated as a case study. The results indicate that the land use with the scenario of work facility dispersed plan produced more emissions than the scenario of work facility centralized plan due to the longer travel distance. The proposed ABATA system is expected to provide a valuable tool for simulating the impacts of future changes in population, activity schedules, and land use on activity populations and travel demands.

Keywords: Activity-based Model, Land Use, Emission Impact, Transportation Planning, Travel Demand

## 1. 서론

4차 산업혁명과 함께 인공지능(AI), 빅데이터 수집 및 분석기술, 정보통신기술(ICT) 등 최근 첨단기술의 발전이 우리의 삶에 많은 영향을 끼치고 있다(김홍광·

안종욱, 2019). 도시 및 교통계획 분야에서도 “스마트 도시(Smart City)”, “스마트 모빌리티(Smart Mobility)”가 등장하였다. 또한, 도시에 거주하는 사람들의 이동 및 생활 편의성 향상을 위해 최첨단 기술을 적용한 기술들이 소개되고 있고, 다양한 데이터를 활용한 연구

\* 한국철도기술연구원 철도정책연구실 수석연구원 Railroad Policy Research Department, Korea Railroad Research Institute (first author: jkom00@krii.re.kr)

\*\* 한국철도기술연구원 철도정책연구실 책임연구원 Railroad Policy Research Department, Korea Railroad Research Institute (corresponding author: leeks33@krii.re.kr)

가 진행되고 있다.

도시계획과 교통계획은 상호 밀접한 관계에 있다. 예를 들어, 신도시 건설계획 시, 도시 내 인구구조와 토지이용 등이 교통(수요 및 통행패턴)에 영향을 미치고, 에너지 및 미세먼지 등 환경에도 영향을 미친다(정종철·이상훈, 2018). 반대로 인간의 활동과 통행량의 규모에 따라 공공인프라와 토지이용이 결정될 필요도 있다(원석환·황철수, 2017). 효율적이며 최적의 도시 공간을 제공하기 위해서는 교통과 토지이용 간에 정보와 분석 결과가 서로 피드백되어 선순환 구조에 의해 토지이용계획이 수립되어야 한다. 하지만, 그동안의 최첨단 기술개발과 교통-토지이용간의 상호작용 연구의 성과에도 불구하고 여러 가지 제약사항으로 인해 신도시 계획에 그러한 선순환 구조가 이뤄지지 못했다. 이러한 이유에는 몇 가지가 있는데, 첫째 대부분의 인구 및 토지이용 관련 기초자료는 공간적 분석 단위가 행정동 단위이다. 교통수요를 분석하는 전통적인 4단계 교통수요 추정모형에서는 분석의 공간 단위를 교통존(Traffic Analysis Zone)이라 하는데 교통존 역시 기본적으로 행정동 단위로 설정된다. 즉, 동일한 행정동 내에서 거주하는 사람들은 이동패턴이 서로 유사하다고 가정한다. 필요시 분석가가 교통존을 세분화하기도 하나, 인구 및 토지이용 정보는 여전히 행정동 단위이다. 즉, 행정동보다 더 세밀한 블록(구역)단위의 토지이용계획을 세워야 하는 도시계획가 입장에서는 기존 4단계 교통수요 추정모형의 결과가 공간적 세밀성에서 많이 부족할 수밖에 없다(TRB, 2015; 손의영 외, 2004). 둘째, 기존의 교통분석방법론은 통행(Trip)에 초점을 맞춘다. 즉, 각 개인의 활동 패턴이나 이동의 연결성(Trip chain)에 대한 분석은 무시되고 있다(TRB, 2015). 셋째, 최근 다양한 빅데이터가 수집되고 있으나 기존 4단계 모형에서는 결과의 검증단계에서 활용될 수 있을 뿐이고, 4개의 단계로 분석과정이 고정되어 있어 활용할 수 있는 기초자료가 한정되어 있다. 결국, 분석과정에서 빅데이터의 활

용이 매우 어렵다. 마지막으로, 교통분석 결과와 토지이용계획 간의 선순환 피드백이 이뤄지기 위해서는 다양한 시나리오에 대한 시뮬레이션이 가능하고 그 결과가 적기에 제공되어야 하나, 4단계 교통수요 추정 모형은 분석에 많은 시간과 비용이 소요된다.

앞에서 언급한 교통-토지이용 간의 한계를 극복할 수 있는 최적의 대안이 활동기반모형(Activity-based model)을 활용하는 방법이다(엄진기, 2008; 박지영 외, 2012; TRB, 2015). 활동기반모형은 최근 해외 선진국에서 활발히 연구되고 있는 교통수요 분석방법론으로, 집합적인 개념인 통행보다는 개인의 활동과 통행패턴에 초점을 맞추고 있다. 분석의 단위 또한 세밀하여, 시간대별 및 건물단위로 분석이 가능하고 통신량 데이터 등을 활용한 분석도 가능하다.

이러한 배경하에, 본 연구에서는 활동기반모형 개념과 통신량 빅데이터를 활용한 통행자분석시스템(ABATA; Activity-BAsed Traveler Analyzer) 소개 및 분석사례를 소개하고자 한다. ABATA는 '도시인구의 하루 중 개인 스케줄(일정) 및 활동 분류별(가정, 업무, 쇼핑, 여가 등) 토지이용을 고려한 시간대별 활동인구 추정 및 활동인구 기반 통행량 추정을 위한 시스템'으로 정의할 수 있다(Eom et al., 2020).

ABATA시스템은 토지이용변화, 건물용도변화, 건물 운영시간 변화 등 미시적인 변경에 따른 수많은 시나리오에 대해 빠른 시간에 분석이 가능한 장점이 있다. 기존 4단계 모형을 기반으로 하는 소프트웨어(EMME, TransCAD)는 분석자의 작업환경에 의해 분석시간 및 결과가 크게 영향을 받는 반면, ABATA시스템은 결과의 투명성을 높이기 위해 분석자의 개입이 최소화되도록 시스템을 구성하였다. 따라서 최근 연구의 중요한 관심사인 재현성과 반복 가능성을 충족하는 장점이 있다(강진영·황철수, 2022).

본 연구에서는 ABATA 분석시스템을 활용하여 토지이용 변화에 의한 시간대별 및 블록별 교통수요와 이에 따른 차량 배기가스 배출영향에 대한 사례분석

을 소개하도록 한다. 분석사례는 도심 재건축, 재개발, 스마트시티 등 도시를 건설하기 이전, 계획단계에서 다양한 토지이용 대안에 대해 신속하게 시뮬레이션하여 교통에너지 또는 환경비용이 최소화되는 토지이용 계획을 수립할 수 있도록 의사결정을 지원하는데 연구의 목적이 있다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1. 교통-토지이용 상호작용에 관한 선행 연구

토지이용과 교통의 상호작용에 대한 연구는 국외에서 이론이 먼저 정립되었으며, 대표적인 도시통합모델은 PECAS, DELTA, UrbanSim 등이 있다(Wegener, 2004; Wagner and Wegener, 2007). 이승일(2010)은 토지이용-교통모델 관련하여 저탄소·에너지절약도시 구현에 적합한 통합모델을 검토하기 위해 PECAS, DELTA, UrbanSim 등의 특성을 비교한 바 있다.

PECAS는 토지이용 연동모델로 토지이용-교통 상호작용에 기반한 공간경제 시스템을 모델링하는 것으로, 지역경제이론에 바탕을 두고 있다. PECAS는 활동기반 배정모듈과 공간적 개발모듈로 구성되어 있다. 활동기반 배정모듈에서 토지이용 존의 경제적 활동량을 배분하고, 공간적 개발모듈에서 각 필지의 토지이용 변화를 예측한다(이승일 외, 2011).

UrbanSim은 미국에서 널리 사용되고 있는 대도시권 토지이용 모델로서, 토지이용, 교통, 공공정책 상호작용의 지역발전 추세와 환경영향을 모델링 한다(Waddell et al., 2010). 비집계적 구조에 기반한 통합 모델로, 환경분석 모듈과 통행예측 모듈을 포함하고 있다.

DELTA는 영국에서 개발한 토지이용 모델이며, 주거 입지, 인구, 고용, 부동산개발 등의 도시지역에서의 변화를 모델링한다. DELTA는 교통모델, 경제모델, 도시모델, 이주모델로 구성되어 있으며, 도시모델에는

개발(Development), 고용(Employment), 입지(Location), 전이(Transition), 활동환경(Area quality)의 5개의 핵심 하위모델로 구성되어 있다.

최근에는 국내에서도 토지이용-교통의 상호작용에 대한 중요성을 인식하고 연구들이 진행되어 왔다(김익기, 1994; 고주연·이승일, 2010; 김주영·이승재, 2012; 조성진·유건화, 2017). 이승일·장성만(2018)은 도시개발 또는 교통시설 도입에 따른 장기적인 영향을 분석하기 위해 토지이용과 교통의 연계를 기반으로 한 통합모델(이하 도시통합모델)을 개발했다. 여기서, 도시통합모델은 “도시시스템의 미래 패턴을 예측하거나 토지이용 또는 교통의 정책 및 계획의 영향력을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델”을 의미한다(Harris, 1985; 이승일·장성만, 2018).

김규일 외(2010)는 DELTA를 이용하여 네덜란드 Delft시를 대상으로 교통 에너지와 탄소배출 시나리오에 대한 분석을 수행한 바 있다. 이승일·이창효(2015)는 도시통합모델을 수도권에 적용하기 위해 DELTA(토지이용모델)와 Omnitrans(교통모델)을 이용하였다. 여기서, Omnitrans 교통모델의 결과를 DELTA의 입지 하위모델에 입력하여 주거입지모델의 모수를 산출하고 적합성을 분석했다.

이승일·장성만(2018)은 이승일·이창효(2015)의 수도권 모델을 이용하여 수원시 노면전차 운행이 인구 및 토지이용 분포와 타 교통수단에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

### 2.2. 활동기반모형에 관한 선행 연구

전통적 교통수요예측 모형은 4단계 수요추정모형으로써, 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정으로 이어지는 순차적인 분석모형이다. 이 모형은 논리적이고 이해가 쉽다는 장점으로 인해 전 세계적으로 가장 많이 활용되고 있다. 하지만, 네 개의 각 단계 간 상호 연관관계를 반영하지 못하고, 집합적인 시공간적

분석단위(1일, 행정동 단위)의 사용으로 인한 제약성, 개인 활동을 반영하지 못하고 통행시수를 고려하지 못하는 한계를 지니고 있다.

전통적인 4단계 수요추정모형의 단점을 극복하고자 활동기반모형이 개발되기 시작했으며, 해외를 중심으로 활발히 연구되고 있다. 활동기반모형은 근본적으로 4단계 수요추정모형과 차별성을 지닌다. 즉, 활동기반모형에서는 교통수요가 '통행(Trip)' 그 자체의 목적으로 발생 되는 것이 아니라, 각 개인의 '활동(Activity)'으로 인해 통행이 파생되는 것이라고 전제한다(TRB, 2015; Rasouli and Timmermans, 2014; 이승철·이종호, 2005).

활동기반모형은 크게 두 가지 시스템으로 개발 및 연구되고 있다. 전형적인 활동기반모형은 개인 활동스케줄을 구축하기 위해 분석 대상지역의 합성인구(Synthetic Population)를 생성하고, 각 인구에 대한 활동스케줄을 구축한 후 시뮬레이션 또는 통행배정모형에 의해 교통 네트워크 위에 이동을 시뮬레이션하여 그 결과를 산정한다. 교통 수요(Demand)와 공급(Supply)을 모두 고려하는 분석시스템이 있으며, 여기에는 FEATHERS, MATSim, Polaris, SimMobility가 포함된다. 이에 반해, 교통수요 측면에 중점을 둔 활동기반모형도 연구되고 있는데, ALBATROSS, CEMDAP, SimAGENT가 대표적이다.

SimMobility는 SMART(Singapore-MIT Alliance for Research and Technology)에서 개발하고 있는 활동기반모형으로서, 장기(Long-term), 중기(Mid-term), 단기(Short-term) 시뮬레이터로 구성되어 있다(Adnan et al., 2016; Lu et al., 2015). 장기 시뮬레이터는 거시적인 모델로서 토지이용, 부동산개발, 회사/집의 위치 선택, 자동차 소유 등의 장래 시나리오에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 중기 시뮬레이터는 전형적인 활동기반모형으로서 합성인구(가구 및 그 구성원)와 활동스케줄을 구축하고 교통 네트워크에 배정하여 통행량을 산출한다.

미국에서 개발 중인 POLARIS(Auld et al., 2013; Auld et al., 2016)는 기존의 TRANSIMS(Lee and Hobeika, 2007)를 발전시킨 시스템으로, 활동기반의 수요모델, 네트워크 시뮬레이션 모델, 교통관리 및 지능형 교통시스템(ITS) 시뮬레이션을 제공한다.

MATSim(Ciari et al., 2016)은 개인의 활동을 생성하고 교통 네트워크에 시뮬레이션하는 활동기반모형이며, FEATHERS(Bellemans et al., 2010; Bao et al., 2015; Baqueri et al., 2019)는 벨기에 플랑드르 지역의 활동스케줄을 제공하고 ALBATROSS와 결합하는 모형이다.

ALBATROSS는 일정한 규칙(Rule-based)을 기반으로 활동스케줄을 결정하는 등 개인의 활동과 이동을 시뮬레이션한다(Arentze and Timmermans, 2004; Arentze et al., 2000). 다양한 제약조건(시간적, 공간적 및 제도적 제약)을 통해 개인의 활동시간, 위치, 이동수단 등을 예측한다. 활동스케줄 모델은 순차적 의사결정 프로세스를 도입하여, 선택사항에 대한 동적 제약을 계산하고 개인행태 선택을 위한 의사결정트리 세트를 구성한다.

CEMDAP과 SimAGENT 역시 개인의 활동을 정의하고 활동스케줄을 구축하여 교통 네트워크 통행배정에 입력할 수 있는 O/D(Origin/Destination)을 산정한다.

국내에서는 해외에서 개발된 활동기반모형을 적용해보거나 검토하는 수준으로, 시스템개발은 미흡한 편이다. 이백진 외(2014)는 한국형 활동기반 시뮬레이션 개발을 목적으로 ACTOR(ACTivity-based micro-simulaOR)를 개발하였다. 하지만, ACTOR의 원형모델은 미국의 SimAGENT이며 이를 참조하여 개발하였다. 또한, 수도권을 대상으로 실증분석 및 사례분석을 제시하였으나, 교통수요분석을 위한 시뮬레이션 실용화에 목적을 두기보다는 기초연구를 수행하는 데 목적이 있다. 해외 모델을 국내에 바로 적용하기엔 데이터 수집, 모형 구축 등 현실적으로 어려움이 많

다. 예를 들어, 국내의 토지이용과 통행행태 특성이 해외 사례와 매우 달라 해외의 모형으로는 우리나라의 복합적인 토지이용 형태와 통행 특성을 반영하기 어려우며, 해외 활동기반모형이 요구하는 기초자료를 수집하기도 쉽지 않다.

### 2.3. 선행연구와의 차별성

도시통합모형은 토지이용과 교통의 상호 작용에 의해 장래 토지이용 및 통행의 변화를 예측하는 것이다. 하지만, 기존 도시통합모형은 교통의 수요예측보다는 이사와 주거지의 입지선택 문제, 교통시설 공급에 따른 건물 연면적의 개발패턴 변화 예측 등의 거시적이고 장기적인 관점에서 접근하고 있으며, 교통수요는 기존 4단계 수요예측모형의 결과를 그대로 받아들이는 경우가 많다. 즉, 전통적인 4단계 기법을 근간으로 한 교통수요는, 앞에서 설명한 4단계 수요추정모형의 한계를 그대로 지니고 있다.

이에 반해, 본 연구의 ABATA 시스템은 도시의 관점에서 본 도시통합모형과는 활용목적이 다르다. ABATA는 개인의 활동스케줄에 기반한 활동인구와 교통수요를 분석하고, 활동행태 및 토지이용의 변화가 장래 도시 내 통행과 환경에 미치는 영향 등을 파악하는 교통수요추정에 초점을 맞춘 시스템이다.

선행 연구와 차별화되는 본 연구의 특징 및 ABATA 시스템의 활용성(장점)은 다음과 같다. 첫째, 기존 활동기반모형은 기본적으로 가구와 그 구성원에 대한 합성인구를 먼저 생성하고, 각 개인에 대한 24시간 활동스케줄을 구축한다. 이때 합성인구는 분석 대상지역에 '거주'하고 있는 인구를 말한다. 즉, 분석 대상지역의 주민등록 기준의 인구만을 대상으로 활동스케줄을 작성하며, 분석 대상지역 외부에서 유입되는 인구의 활동 및 통행 특성을 고려하지 못하는 한계가 있다(이광섭 외 2019; Eom et al., 2020; 박예림·강영욱, 2019). UN(2017)에서는 상주인구가 도시서비스의 수

요를 잘 설명하지 못할 때 서비스 인구(Service population)를 작성하도록 권고하고 있다. 여기서 말하는 서비스 인구는 해당지역에서 실제 활동하고 있고 인구를 말하며, 실제 활동인구를 대변하지 못하는 주민등록 인구와 차별화한 실제 인구를 바탕으로 분석되어야 함을 강조하고 있다. 기존 연구에서는 외부에서 유입된 인구를 무시한 측면이 있으나, 본 연구에서 활용된 ABATA는 시간대별 통신량 자료를 바탕으로 해당지역에 존재하고 있는 인구를 고려하므로 시간대별 서비스 인구를 정확히 반영할 수 있는 장점이 있다. 또한, 합성인구를 별도로 생성할 필요가 없으므로 시뮬레이션 및 모형 검증 시간이 절약되는 장점이 있다.

두 번째 차별점은 분석의 시공간적 정밀성이다. ABATA는 전통적인 4단계 수요추정기법에서 사용하는 1일 단위의 O/D가 아니라, 시간대별 O/D를 구축한다. 공간적 단위 또한 행정동보다 더 세밀한 집계구 또는 블록 단위를 기준으로 분석이 가능하다. 이는, 복합용도가 많은 국내의 토지이용을 보다 세밀하게 분석할 수 있는 장점이 된다.

셋째, ABATA 시스템은 다양한 교통 및 도시정책 시나리오를 시뮬레이션할 수 있다. 각 분석단계별 알고리즘이 웹 기반의 GUI 시스템으로 구축되어 있어 이용자가 쉽고 편리하게 분석할 수 있고 분석결과를 GIS맵, 표, 그림 등으로 시각화할 수 있다. 시나리오 분석모듈은 미래 인구구성 변화(예, 고령화 사회), 활동행태(예, 활동스케줄) 변화, 토지이용 변화(예, 신규 건축물 건설), 이용시간 변화(예, 영업시간 변경, 질병확산 대비를 위한 재택근무, 휴교 등), 이벤트 발생 등에 따른 교통과 환경에 미치는 영향을 분석할 수 있고, 현재와 장래 시나리오에 대한 결과 비교가 가능하다. 특히, 본 연구의 사례에서 제시하듯이 토지이용변화가 교통 및 환경에 미치는 영향을 신속하게 시뮬레이션이 가능하므로, 스마트시티와 같은 신도시를 건설하기 전, 계획단계에서 다양한 대안을 단기간에 분석하

고 그 결과를 비교하여 최적의 토지이용과 교통수요를 검토할 수 있다는 장점이 있다.

### 3. 토지이용변화가 교통 및 환경에 미치는 영향 분석

#### 3.1. 활동기반 통행자분석시스템(ABATA) 소개

##### 3.1.1. 기초자료

ABATA 시스템에서 활용하는 데이터는 통신량 자료, 가구통행실태조사자료, 사회경제지표(인구, 종사자수) 등의 통계청 자료, 건물연상면적 자료, 학생 수 자료, GIS 맵, 네트워크 자료 등이다.

시간대별 통신량 자료는 이동통신사에서 기지국 단위로 파악된 시간대별 통신인구를 바탕으로 전수화하여 제공하고 있다(이광섭 외, 2019). 사생활보호를 위해 개인별 자료는 제공하지 않으며 활동목적 및 통행(출발지 및 도착지)에 대한 정보가 없다는 한계가 있으나, 거주인구 뿐만 아니라 해당 지역에서 활동하고 있는 시간대별 존재인구를 보다 정확히 파악할 수 있다는 측면에서 매우 유용한 자료이다. 통신량 자료는 민간 자료로이며, 자료 구득이 어려운 경우를 대비해 ABATA에서는 별도로 시간대별 총존재인구를 추정하는 모델을 구축하고 있어 이용자가 필요시 활용할 수 있다(이광섭 외, 2019).

가구통행실태조사자료(이하 가동자료)는 매 5년 마다 실시하는 전국 단위 조사이며, 통행에 대한 정보(통행목적, 이동수단, 출발지, 도착지, 출발시간, 도착시간 등)를 포함하고 있다. 가동자료의 원 목적은 개인별 통행을 조사하는 것이나, 활동에 대한 정보 또한 추출 가능하다. ABATA에서는 1시간 단위 활동스케줄 구축을 위해 가동자료를 활용한다.

사회경제지표(가구, 인구, 사업체별 종사자 수 등)은 통계청에서 제공하는 자료를 활용하며 신뢰성 및

고 정기적으로 제공되는 장점이 있다. 토지이용 정보는 용도별 건물 연상면적자료에 기반하며, 전국 연속 수치지형도 중 일부 자료를 활용하는데, 건물별 종류, 용도, 층수, 건물면적, 집계구 코드 등의 정보를 활용한다. ABATA에서는 각 건물을 집계구 또는 블록별로 집계하여 토지이용 정보를 구축하고 있다.

학생수 자료는 초중고 학생수 자료로서 NEIS에서 제공하는 자료(학교 위치 및 학생수)를 활용한다. GIS 데이터는 기초자료 및 결과를 지도상에 표현하기 위해 사용하며 통계청에서 제공하는 지도 자료를 활용한다. 교통 네트워크 자료는 KTDB에서 제공하는 원본을 기준으로 수정 및 편집이 가능한 기능을 구축하고 있다.

##### 3.1.2. 시스템 구성

ABATA 시스템은 크게 3개의 모듈로 구성된다. 데이터베이스 모듈은 앞에서 설명한 기초자료를 저장 및 관리한다. 현황분석 모듈은 현재 상황을 재현하며, 시나리오분석 모듈은 미래사회(또는 현재의 상황이 변화했을 때) 시나리오를 입력하고 분석한다. 현황분석과 시나리오 분석의 결과는 시각화 기능에 의해 표, 그림 또는 맵에 표현되며 결과를 표 형태로 저장할 수 있다.

현황분석(Base Scenario Analysis)에서는 Figure 1과 같이 기본적으로 5개의 단계를 거치게 된다. 첫째, 시간대별 총존재인구 추정단계는 분석지역의 총존재인구를 시간대별로 추정한다. 만약 분석지역의 통신량이 ABATA 시스템의 데이터베이스에 있다면, 해당 데이터를 불러오면 된다. 만약 통신량이 존재하지 않을 경우, ABATA 시스템에 내장되어 있는 시간대별 총존재인구 추정모델을 활용하여 추정할 수 있다. 해당 모델은 다중선형 회귀모델이며 상주인구와 주간인구를 활용하여 추정한다(이광섭 외, 2019).

두 번째 단계에서는 활동프로파일을 추정한다. 활

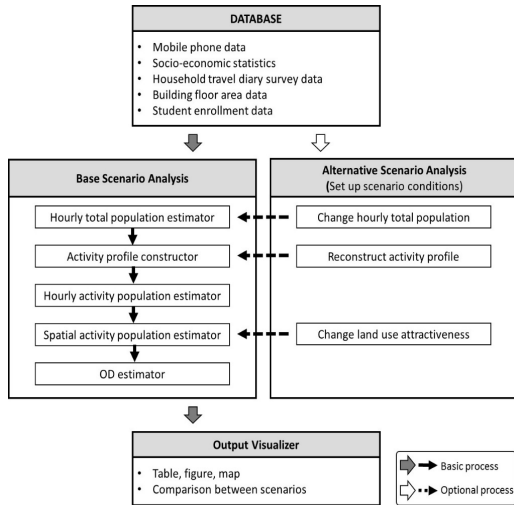


Figure 1. Structure of ABATA system  
Source: Eom et al., 2020

동프로파일은 분석 지역에서 활동하고 있는 사람들이 수행하고 있는 7개(업무, 주거, 학교, 학원, 쇼핑, 여가, 기타) 활동이 차지하는 비율을 시간대별로 집계한 것으로, 시간대별, 활동목적별로 활동의 상대적 구성비를 나타낸다. 이를 위해 가동자료의 통행을 활동스케줄 형태로 가공한다. 가동자료의 원본은 통행에 대한 정보이므로 이를 10분 단위의 활동스케줄로 변환하고 다시 1시간 단위로 집계하는 과정을 거치게 된다(Eom et al., 2020). 활동스케줄 변화는 미래사회 분석을 위해 중요한 요소로서, 예를 들어 미래 고령자 사회 시나리오를 분석하기 위해서는 고령자의 스케줄을 반영한 새로운 활동스케줄과 그 결과(활동프로파일)를 활용하여 분석하게 된다.

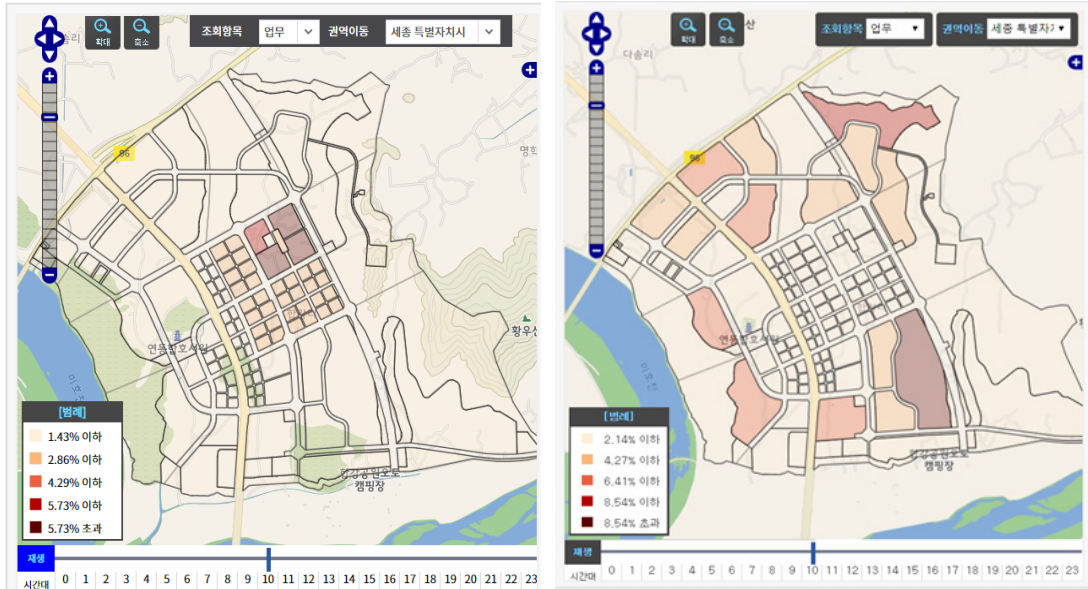
세 번째 단계에서는 앞의 두 단계의 결과를 결합하여 시간대별 활동인구를 산정한다. 즉, 첫 번째 단계의 결과인 시간대별 총종재인구와 두 번째 단계의 결과인 시간대별 활동프로파일을 결합하여 시간대별 활동별 인구가 산정되게 된다(Eom et al., 2020).

네 번째 단계에서는 시간대별, 활동목적별, 공간단위별 활동인구를 산정한다. 세 번째 단계까지의 인구

는 분석지역 전체의 시간대별, 활동별 총인구 개념이며, 이를 세부 공간단위(예, 집계구 또는 블록)로 배분하는 과정이다. 이를 위해 시간대별, 활동목적별 상대적 활동유인력 개념을 활용하여 세부 공간단위별 활동인구를 추정한다(Eom et al., 2020; Lee and Eom, 2020). 상대적 활동유인력은 다양한 기초자료를 바탕으로 한 다중회귀모형을 바탕으로 계산된다.

다섯 번째 단계에서는 최종적으로 시간대별, 수단별 기종점 O/D를 추정한다(Eom et al., 2020). 우선, 통행발생량을 산정하기 위해 가동자료를 활용하여 시간대별 및 활동별로 통행을 일으킬 확률(Conditional travel probabilities by activity type)을 산정한 후 네 번째 단계의 결과인 공간단위별, 시간대별, 활동목적별 활동인구에 적용하여 각 세부 공간별 통행발생량을 산정한다. 발생한 통행에 대한 도착지는 시공간별 상대적 활동유인력에 의해 배분되어, 결국 24 시간별, 7개 활동별, 공간단위별 O/D가 생성된다. 수단별 O/D는 의사결정트리 기법을 적용하여 산정한다. 의사결정트리는 데이터마이닝 분석의 대표적인 분석기법 중 하나로, 주어진 데이터를 특정 기준에 따라 분류하거나 예측하는 분석방법이다. ABATA에서는 가동자료를 활용하여 의사결정트리를 구축하며 개인 및 가구의 속성(성, 연령, 소득수준 등)과 교통수단의 특성(통행시간, 비용 등)을 반영하여 통행수단 결정을 위한 의사결정트리 모형을 구성한 후 최종적으로 수단별 기종점 O/D를 추정하게 된다(Eom et al., 2020).

ABATA 시스템 이용자는 분석의 목적에 맞게 시나리오를 설정할 수 있다. 시나리오는 크게 현황분석 시나리오(현재 상황 모사, Base scenario)와 대안 시나리오(미래 상황 모사, Alternative scenario)로 구성된다(Eom et al., 2020). 미래사회 변화에 대한 다양한 시나리오 분석을 수행할 수 있는데, 크게 시간대별 총종재인구 변화, 인구구조(예, 성, 연령 등) 변화, 활동스케줄 변화(예, 운영시간 변경 등), 토지이용 변화, 교통네트워크 변화 등에 대한 분석이 가능하다. 이용자는



Scenario (a): centralized plan

Scenario (b): dispersed plan

Figure 2. Land use scenarios for work activity

분석의 목적에 따라 앞에서 설명한 각 단계별 현황분석용 시나리오를 수정한 후 대안 시나리오를 설정하고 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

### 3.2. 토지이용 시나리오별 분석

#### 3.2.1. 토지이용 변화 시나리오

본 연구에서는 ABATA 분석시스템을 활용한 사례 연구로서, 토지이용 변화가 교통수요와 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 대상 지역은 스마트시티(세종시 5-1 생활권)이며, 분석을 위해 Table 1과 같이 토지이용계획을 가정하였다. 계획인구는 약 18,900명, 내부 존 수는 38개이며, 전체 연면적은 약 274만(m<sup>2</sup>)로써 주거지역이 28.5%, 업무지역이 3.7%, 상업 등 복합용도 2.1%, 공원 등이 37.5%로 구성되어 있다. 토지이용 시나리오는 Table 1에서 제시한 토지이용 면적을 그대로 가져가되 Figure 2와 같이 업무시설을 생활권 중앙에 집중시키는 기본 시나리오(a)와

주변으로 분산하여 배치하는 대안 시나리오(b)로 설정하였다. 업무용도 시설의 집중도가 Figure 2에 음영으로 표시되어있다.

업무용도 시설의 집중 및 분산에 따른 차량 배기가스 배출영향을 비교하기 위해 KDI의 예비타당성분석지침(『도로·철도 부문 사업의 예비타당성 표준지침

Table 1. Land use plan of Sejong smartcity 5-1 (assumption only for this case study)

Classification	Area (m <sup>2</sup> )	Percentage (%)
Home	781,317	28.5
Work	100,200	3.7
Shopping	58,017	2.1
School	65,936	2.4
Recreation (incl. park)	1,027,747	37.5
Other	555,666	20.3
Total	2,741,213	100



수정·보완연구(제5판』)의 환경비용 분석 방법을 활용하였으며 분석의 편의성을 위해 승용차 수단을 기준으로 산정하였다.

### 3.2.2. 분석결과

세종시 5-1 블록은 계획단계이므로 통신량 자료 및 통계청 인구 관련 자료가 존재하지 않으므로, 총 존재 인구 산정을 위한 기초데이터는 세종시 내 타 생활권의 통신량 자료를 활용하였다. 즉, 시간대별 존재인구의 패턴은 세종시 4-1 생활권과 유사하다고 가정하였다.

세종시 4-1 생활권 통신량 자료(2018년 기준)를 바탕으로 5-1 블록의 시간대별 존재인구를 추정한 결과, 약 18,000명에서 약 25,000명 사이로 나타났다(Figure 3). 오전 10시의 존재인구는 두 시나리오 모두 23,595명으로 추정되었다. 야간 시간대(01~06시)에는 실제 거주 인구로 볼 수 있으며, 주간 시간대에는 업무 등 다양한 활동을 위해 유입되는 인구로 인해 시간대별 존재인구가 거주인구보다 많음을 알 수 있다.

Figure 4는 세종시의 각 활동별 시간대별 인구분포를 보여주고 있다. 시간대별 활동별 인구분포는 KTDB의 가동자료(2016년 기준) 중 세종시에 해당하는 자료를 추출하여 입력자료로 활용하였다. 개인별 통행자료를 시간대별 개인 활동스케줄로 변환하여 활동프로파일로 산출하였다.

Figure 4의 활동프로파일은 오전 9시를 전후하여 업무/학교 활동이 점차 증가하고 있으며 가정활동이 줄어드는 상황을 보여주고 있다. 업무활동이 가장 많은 시간대는 오전 10시이며 총 존재인구의 약 60%에 해당한다. 업무활동인구가 증가하는 오전 8시부터 가정활동은 상대적으로 감소하는 추세를 보이며, 학교 활동은 증가한다. 여가 및 쇼핑활동은 오후 1시에 가장 많으며 오후 6시 이후 다시 증가하는 패턴을 보인다. 가정활동은 오후 7시 이후 다시 증가하여 업무활동인구보다 많아지고 있다.

Figure 5는 오전 10시에 세종시 5-1 블록에 존재하

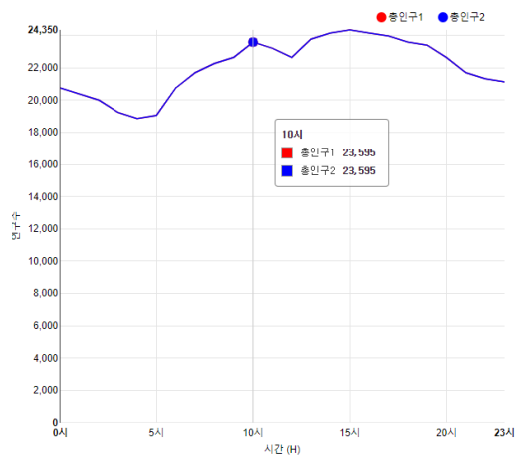


Figure 3. Hourly total activity population

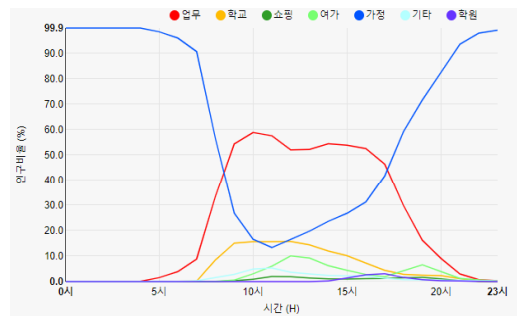
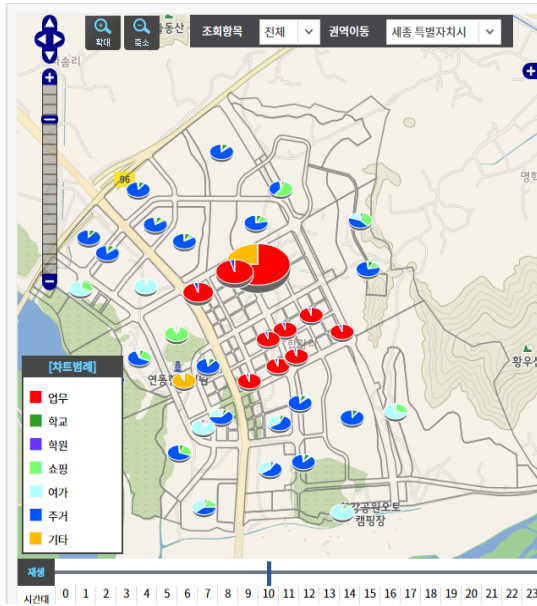


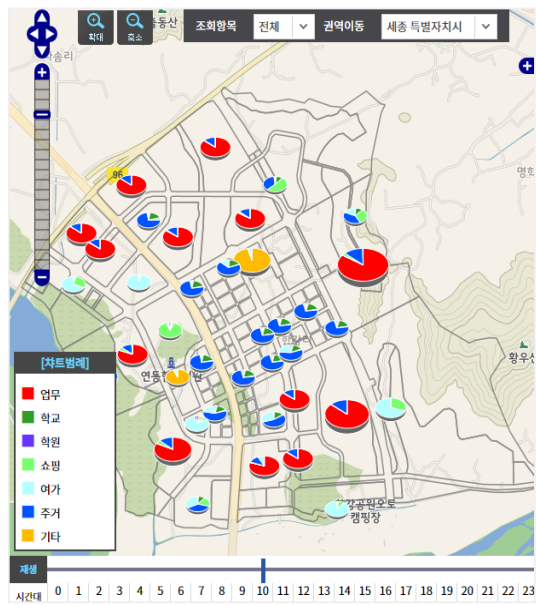
Figure 4. Hourly activity profile

는 인구의 활동별 인구 규모(활동인구)를 보여준다. 업무활동인구(빨간색)가 5-1 블록의 가운데 지역에 많이 존재하는 시나리오 (a)와 외곽지역에 존재하는 시나리오(b)의 특성을 그대로 보여주고 있다.

ABATA 시스템의 시공간 활동인구 표출은 시간대별로 7개 활동에 대해 활동에 참여하고 있는 인구수를 보여주며, 추정된 공간단위별(38개 존), 시간대별(24시간), 활동목적별(7개) 활동인구는 앞에서 설명한 바와 같이 기종점(O/D) 통행량 Matrix(38×24×7)를 생성하는 기초자료가 된다. 추정된 기종점 O/D를 기준으로 오전 8시의 TLF(D(Trip Length Frequency Distribution))를 시나리오별로 비교하여 Figure 6에



Scenario(a): centralized plan



Scenario(b): dispersed plan

Figure 5. Activity population by time of the day

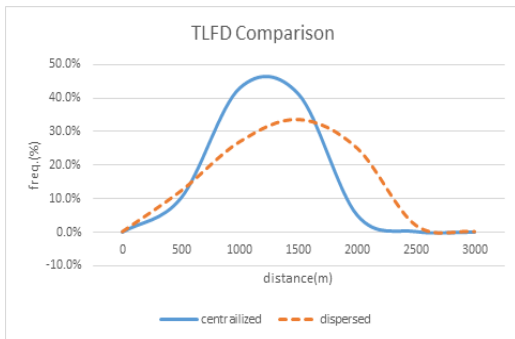


Figure 6. Comparison of TLFD (8 AM)

제시하였다. 예상대로, 업무시설 집중 시나리오와 비교해서 업무시설 분산 시나리오에서 통행거리 및 빈도 비율이 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다. 업무시설 집중 시나리오에서 통행거리는 약 1.2km에서 가장 큰 비율을 차지하는 반면, 업무시설 분산 시나리오에서는 통행거리 약 1.5km에서 가장 많은 빈도를 보이며 약 2.5km까지 분포되어 있다.

앞에서 추정한 두 가지 시나리오의 O/D와 가동차량의 세종시 승용차 분담비 36.03% 및 재차인원 1.15인을 기준으로 승용차 대수를 산정한 후, 다음 식을 사용하여 연간 대기오염 비용을 산출하였다.

$$VOPCS = VOPC_{\text{업무지역분산}} - VOPC_{\text{업무지역집중}} \quad \text{식(1)}$$

여기서,  $VOPC = \left( \sum_t^{24} \sum_l^L D_l \times VT \right) \times 365$

$D_l$ : 링크별(l), 승용차 대·km

$VT$ : 승용차 링크 주행속도에 따른 km당 대기오염비용

Table 2는 대기오염 비용을 산출하기 위한 기본적인 가정사항과 산출 결과를 보여준다. 분석에 사용된 원단위(원/km)는 KDI 예비타당성분석지침(『도로·철도 부문 사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완연구(제5판)』)에서 제시하고 있는 대기오염 비용 원단위

Table 2. Unit value (won/km) of auto emission & result

	Emission cost (won/year)	
	Base scenario	Alternative scenario
Base year	2016	
Mode	auto	
Unit. value	60km/h (example)	
CO	5.07	
HC	0.5	
Nox	3.11	
PM	0.0	
CO2	7.22	
Sum	15.9	
Total cost	20,783,801	24,478,734

를 준용하되, 본 연구의 기준년도(2016년)로 환산하기 위해 2005년 기준의 원단위에 소비자물가지수를 고려한 비용 원단위를 적용하였다. 승용차에서 배출되는 환경 오염물질인 CO, HC, NoX, PM, CO2 등에 대한 배출비용을 산정했는데, 통행배정에 의해 산출된 승용차 속도에 따라 서로 다른 배출비용 원단위를 적용하였다. Table 2는 승용차 기준 60km/h에서 배출되는 환경 오염물질의 원단위를 예시로 보여준다.

분석 결과, 업무시설 집중 시나리오에서 연간 약 2,078만원의 대기오염 비용이 발생하고, 업무시설 분산 시나리오에서는 연간 약 2,448만원의 대기오염 비용이 발생하는 것으로 나타나, 두 대안 간의 차이는 약 370만원/년으로 분석되었다. 예상한 바와 같이 업무시설 분산으로 인해 업무목적 평균 통행거리가 다소 증가되어 대기오염 비용 또한 증가한 것으로 나타났다. 업무시설의 집중에 의한 주변 도로의 혼잡으로 인한 대기오염 보다 업무시설의 분산으로 인해 증가한 통행거리로부터 발생하는 비용이 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 도로의 혼잡도 여건에 따라 상이한 결과가 나올 수 있으며 ABATA 시스템에서 시뮬레이션이 가능한 장점이 있다.

#### 4. 요약 및 결론

최근, 빅데이터, 정보통신기술 등 첨단기술의 발전으로 인해 도시 및 교통계획 분야에서도 스마트 도시와 스마트 모빌리티에 대한 관심이 증가하고 있다. 도시 내 인구구조와 토지이용은 교통 및 환경에 영향을 미치며, 반대로 그 영향을 최소화하기 위한 스마트 도시와 모빌리티가 수립될 필요도 있다. 즉, 효율적이고 최적의 도시공간을 제공하기 위해서는 교통과 토지이용 간 서로 피드백하며 선순환 구조에 의해 교통 및 토지이용계획이 수립되어야 한다.

본 연구는 그동안 지적되었던 전통적 4단계 모형의 한계를 극복하기 위해 활동기반모형을 기반으로 한 통행자분석시스템(ABATA: Activity-BASed Traveler Analyzer)을 소개하고, 사례연구로서 도시계획에 있어 토지이용의 변화가 시간대별 및 블록별 활동인구와 교통변화에 따른 환경영향을 분석하고 결과를 제시하였다. 이를 위해, 스마트시티(세종시 5-1 생활권) 사례를 대상으로 시뮬레이션 분석 결과를 제시하였다.

분석을 위한 시나리오를 ① 업무시설 집중, ② 업무시설 분산으로 설정하고, 생활권 내 업무용도 시설의 공간적 배치계획이 달라질 경우 활동인구 및 교통량의 영향으로 인해 환경오염비용(차량 배기가스 배출량) 또한 차이가 있음을 보여주었다. 분석 결과, 업무활동과 관련된 평균 통행거리가 상대적으로 길어지는 업무시설 분산 시나리오에서 환경오염 비용이 더 많은 것으로 나타났다.

ABATA 시스템은 대규모 쇼핑센터 시설의 오픈, 시설의 운영시간 변경, 용도별 공간적 입지 선택, 공동주택 개발 등 여러 시나리오에 대하여 분석할 수 있는 장점이 있다. 또한 고령자 인구 증가 등 장래 인구구조 변화에 대한 영향, 코로나19에 따른 인간 활동의 변화 등 향후 다양한 사례에 대한 분석이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서 소개한 사례는 ABATA 시스템 내에서 구현할 수 있는 다양한 시나리오 분석 내용 중 하나에 해당하며, 도시계획단계에서 토지이용 및 건물의 용도에 따라 인구 및 교통영향에 대한 분석이 효율적이고 실용적으로 수행 가능하다는 것을 강조하고 있다. 한편, 차량배기가스 배출 영향의 계량화를 위해서 예비타당성 지침을 준용함으로써 관련 연구에 대한 심도 있는 연구고찰이 수행되지 못한 한계가 있다.

ABATA 시스템에서 활용되는 기초데이터는 민간 자료인 통신량 데이터를 제외하면 모두 공공에 개방되어있는 자료이며, 통신량 데이터의 자료 구득이 어려울 경우를 대비해 별도로 시간대별 총 존재 인구를 추정할 수 있는 모델이 구축되어 있다. 본 시스템은 요구된 알고리즘이 Web 기반으로 구축되어 있어, 동일한 시나리오에 대한 분석결과가 일정하게 재현 및 반복될 수 있으며, 분석가에게 공유도 가능할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 기본사업(철도-대중교통 모빌리티 분석 기술 및 정책지원 연구, PK2302B1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

#### References

강전영, 황철수. 2022. GIS 및 공간 분석 연구의 재현성 (Reproducibility) 및 반복가능성(Replicability) - 대한지리학회지를 사례로. *대한지리학회지*. 57(5):425-435.

Kang JY, Hwang CS. 2022. Reproducibility and Replicability in the Studies about GIS and Spatial Analysis: The Case Study on the Journal of the Korean Geographical Society. *Journal of the Korean Geographical Society*. 57(5):425-435.

고주연, 이승일. 2010. 도시개발-교통시설 연동 개발.

국토계획. 45(5):163-179.

Go JY, Lee SI. 2010. Developing an urban development and transport infrastructure linking model: The case of Namyangju city. *Journal of Korea Planning Association*. 45(5):163-179.

김규일, 이창효, 이승일. 2010. DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석. *국토계획*. 45(6):117-135.

Kim KI, Yi CH, Lee SI. 2010. A scenario analysis on transport energy consumption and carbon emission using DELTA. *Journal of Korea Planning Association*. 45(6):117-135.

김익기. 1994. 토지이용-교통모형의 이론적 비교분석. *국토계획*. 29(4):135-155.

Kim IK. 1994. Theoretical comparison of land-use/transportation models. *Journal of Korea Planning Association*. 29(4):135-155.

김주영, 이승재. 2012. 통합토지이용 교통모형의 운용 방안에 관한 연구. *서울도시연구*. 13(1):99-120.

Kim JY, Lee SJ. 2012. A study of operation mechanisms of the integrated land-use-transportation. *Seoul Studies*. 13(1):99-120.

김홍광, 안종욱. 2019. 소셜 네트워크 분석을 이용한 4차 산업혁명 기술 분야의 연구 동향 분석. *지적과 국토정보*. 49(1):113-121.

Kim HG, Ahn JW. 2019. The Analysis of Research Trends in Technology to the Fourth Industrial Revolution using SNA. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 49(1):113-121.

박예림, 강영욱. 2019. 통신 데이터를 활용한 도보관광 코스 유동인구 추정 및 분석. *지적과 국토정보*. 49(1):181-195.

Park YR, Kang YO. 2019. Estimation of Flow Population of Seoul Walking Tour Courses

- using Telecommunications Data. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 49(1):181-195.
- 박지영, 이지선, 김영호, 유정복. 2012. 미래 인간이동 행태 분석을 위한 기초연구. 한국교통연구원. 2014-43.
- Park JY, Lee JS, Kim YH, Yoo JB. 2012. Forecasting Individual Travel Behavior based on Activity-based Approach. KOTI. 2012-24.
- 손의영, 권병우, 이만호. 2004. 카테고리별 다중회귀분석 방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발. 대한교통학회지. 22(1):33-42.
- Shon EY, Kwon BW, Lee MH. 2004. Modelling the subway demand estimation by station using the multiple regression analysis by category. *Journal of Korean Society of Transportation*. 22(1):33-42.
- 엄진기. 2008. 시·공간 활동인구 추정에 의한 통행수요 예측. 대한교통학회지. 26(5):163-174.
- Eom JK. 2008. Estimating travel demand by using a spatial-temporal activity presence-based approach. *Journal of Korean Society of Transportation*. 26(5):163-174.
- 원석환, 황철수. 2017. 교통 접근성 변동에 따른 도시 토지이용 변화에 관한 연구. 지적과 국토정보. 47(1):127-142.
- Won SH, Hwang CS. 2017. A Study on the Change of Urban Land Use According to the Change of Transportation Accessibility. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 47(1):127-142.
- 이광섭, 엄진기, 성명언, 이준, 문대섭. 2019. 통신량 자료를 활용한 시간대별 대중교통 이용지수 분석 및 서비스 인구 추정 - 수도권을 중심으로. 한국철도학회논문집. 22(12):1008-1017.
- Lee KS, Eom JK, Seong ME, Lee J, Moon DS. 2019. Analysis of hourly transit usage and estimation of hourly service population using mobile phone data - Focusing on Seoul Metropolitan area. *Journal of the Korean Society for Railway*. 22(12):1008-1017.
- 이백진, 윤서연, 이춘용, 오성호. 2014. 교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발 및 적용방안(II). 국토연. 2014-43.
- Lee BJ, Yoon SY, Lee CY, Oh SH. 2017. Development and Application of Activity-based Simulation Models for Promotion of Transportation Policy Effectiveness(II). *KRIHS*. 2014-43.
- 이승일. 2010. 저탄소·에너지절약도시 구현을 위한 우리나라 대도시의 토지이용-교통모델 개발방향. 국토계획. 45(1):265-281.
- Lee SI. 2010. Development scheme of a land-use transport model for Korea's large cities toward a low-carbon-energy-saving city. *Journal of Korea Planning Association*. 45(1):265-281.
- 이승일, 이주일, 고주연, 이창호. 2011. 토지이용-교통 통합모델의 개발과 운영. 도시정보. 356:3-17.
- Lee SI, Lee JI, Go JY, Yi CH. 2011. Development and operation of land use and transportation model. *Urban Information Service*. 356:3-17.
- 이승일, 이창호. 2015. 토지이용-교통 통합모델의 수도권 적용을 위한 모델 적합성 연구 - DELTA의 입지 하위모델의 모수산출을 대상으로. 국토계획. 50(3):39-54.
- Lee SI, Yi CH. 2015. Fitting a land use - transport model for its application to the Seoul Metropolitan Area - Calibrating the location sub-model of DELTA. *Journal of Korea Planning Association*. 50(3):39-54.
- 이승일, 장성만. 2018. 노면전차의 장기적·종합적 효과분석을 위한 토지이용-교통 통합모델의 수월

- 시 사례 적용. 국토계획. 53(1):63-84.
- Lee SI, Jang SM. 2018. Applying land-use transport integrated model for analyzing long-term and comprehensive effect of tram in the city of Suwon, Korea. *Journal of Korea Planning Association*. 53(1):63-84.
- 이승철, 이종호. 2005. TRANSIMS와 EMME/2를 이용한 활동기반모형과 4단계 모형의 비교분석 - 배정된 링크자료를 중심으로. 교통정책연구. 12(1):45-58.
- Lee SC, Rhee JH. 2005. Comparative analysis of activity-based model and UTMS model by TRANSIMS and EMME/2 assigned link data. *Journal of Transport Research*. 12(1):45-58.
- 정종철, 이상훈. 2018. 서울시 토지이용과 교통량에 따른 미세먼지의 공간분포. 지적과 국토정보. 48(1):123-138.
- Jeong JC, Lee SH. 2018. Spatial distribution of Particulate Matters in comparison with land-use and traffic volume in Seoul, Republic of Korea. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 48(1):123-138.
- 조성진, 유건화. 2017. 토지이용-교통 통합모형의 이론 및 적용사례의 고찰과 구축방안 논의. 국토연구. 94:3-19.
- Cho SJ, You GH. 2017. Land-use transportation integrated models: A literature review and research directions. *The Korea Spatial Planning Review*. 94:3-19.
- Adnan M, Pereira FC, Azevedo CML, Basak K, Lovric M, Eliu SR, Zhu Y, Ferreira J, Zegras C, Ben-Akiva ME. 2016. SimMobility: A multi-scale integrated agent-based simulation platform. Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington D.C., 2016.
- Arentze TA, Hofma F, Mourik H, Timmermans HJP. 2000. ALBATROSS: Multiagent, rule-based model of activity pattern decisions. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*. 1706:136-144.
- Arentze TA, Timmermans HJP. 2004. A learning-based transportation oriented simulation system. Transportation Research Part B. 38:613-633.
- Auld J, Hope M, Ley H, Sokolov V, Zhang K. 2016. POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations. Transportation Research Part C. 64:101-116.
- Auld J, Hope M, Ley H, Xu B, Zhang K, Sokolov V. 2013. Modeling framework for regional integrated simulation of transportation network and activity-based demand (Polaris). International Symposium for Next Generation Infrastructure. Wollongong, Australia.
- Bao Q, Kochan B, Bellemans T, Shen Y, Creemers L, Janssens D, Wets G. 2015. Travel demand forecasting using activity-based modeling framework FEATHERS: an extension. *International Journal of Intelligent Systems*. 30(8): 948-962.
- Baqueri SFA, Adnan M, Kochan B, Bellemans T. 2019. Activity-based model for medium-sized cities considering external activity-travel: enhancing FEATHERS framework. *Future Generation Computer Systems*. 96:51-63.
- Bellemans T, Kochan B, Janssens D, Wets G, Arentze T, Timmermans H. 2010. Implementation framework and development trajectory of FEATHERS activity-based simulation

- platform. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2175:111-119.
- Ciari F, Balac M, Axhausen KW. 2016. Modeling carsharing with the agent-based simulation MATSim. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2564:14-20.
- Eom JK, Lee KS, Seong ME. 2020. Development and application of the Activity-BASED Traveler Analyzer (ABATA) system. *Future Generation Computer Systems*. 106:135-153.
- Harris B. 1985. Urban simulation models in regional science. *Journal of Regional Science*. 25(4):545-567.
- Lee KS, Eom JK. 2020. Development and spatial transferability of hourly activity space attraction models by activity type at a census block level. *Transportation Planning and Technology*. 43(2): 188-207.
- Lee KS, Hobeika AG. 2007. Application of dynamic value pricing through enhancements to TRANSIMS. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2003:7-16.
- Lu Y, Adnan M, Basak K, Pereira FC, Carrion C, Saber VH, Loganathan H, Ben-Akiva ME. 2015. *SimMobility mid-term simulator: A state of the are integrated agent based demand and supply model*. Transportation Research Board 94th Annual Meeting. Washington D.C..
- Rasouli S, Timmermans H. 2014. Activity-based models of travel demand: Promises, progress and prospects. *International Journal of Urban Sciences*. 18(1):31-60.
- Transportation Research Board. 2015. *Activity-based travel demand models: A primer*. Washington D.C..
- UN. 2017. *Principles and recommendations for population and housing censuses*. New York, United Nations.
- Waddell P, Wang L., Charlton B, Olsen A. 2010. Microsimulating parcel-level land use and activity-based travel: Development of a prototype application in San Francisco. *The Journal of Transport and Land Use*. 3(2):65-84.
- Wagner P, Wegener M. 2007. Urban land use transport and environment models - Experiences with an integrated microscopic approach. *disP*. 170(3):45-56.
- Wegener M. 2004. *Overview of land-use transport models*. *Transport Geography and Spatial Systems*, Handbook 5 of the the Handbook in Transport. Pergamon/Elsevier Science. Kidlington, UK.

---

2023년 04월 05일 원고접수(Received)

2023년 05월 22일 1차심사(1st Reviewed)

2023년 06월 07일 2차심사(2st Reviewed)

2023년 06월 21일 게재확정(Accepted)

### 초 록

전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 교통수요모형은 전통적 4단계 교통수요모델이다. 하지만, 기존 분석방법은 시공간적으로 다양한 분석에 제약을 가지고 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위해 최근 활동기반 모형 및 시스템이 활발히 연구 개발되고 있다. 이에 본 연구에서는 빅데이터를 활용한 활동기반 통행자분석시스템 ABATA(Activity-Based Traveler Analyzer) 기술개발을 소개한다. 이 시스템은 시간별 총인구 추정, 활동 프로파일 생성, 시간별 활동 인구 추정, 공간 활동 인구 추정 및 출발지·목적지 추정 등의 구성요소를 포함한다. 제안된 시스템을 실증하기 위해 사례연구로 세종시 5-1 블록 스마트시티를 대상으로 토지이용변화에 따른 배기가스 배출영향을 평가하였다. 그 결과 업무시설 분산계획 시나리오의 토지이용이 업무시설 집중계획 시나리오보다 이동 거리가 길어 배출량이 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 제안된 ABATA 시스템은 활동 인구 및 통행 수요에 대한 인구, 활동 일정 및 미래 토지이용의 변화 영향을 시뮬레이션하기 위한 유용한 도구를 제공할 것으로 기대된다.

---

주요어 : 활동기반모형, 토지이용, 배출가스 영향, 교통계획, 교통수요