

교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발 및 적용방안(I)

Development and Application of Activity-based Simulation Models for Promotion
of Transportation Policy Effectiveness(I)

이백진, 윤서연, 이춘용

■ 연구진

연구책임 이백진 연구위원
공동연구책임 윤서연 책임연구원
이춘용 선임연구원

■ 외부연구진

Konstadinos Goulias 교수, University of California Santa Barbara
Tom Bellemans 교수, Hasslet University
조창현 교수, 경희대학교
추상호 교수, 홍익대학교

■ 연구심의위원

박재길 국토연구원 선임연구원
정진규 국토연구원 연구위원
안흥기 국토연구원 연구위원
김호정 국토연구원 연구위원

주요 결론 및 정책제안

본 연구보고서의 주요 결론은 다음과 같음

- ① 실효성 높은 교통정책 수립과 실행을 위해서는 인구 및 사회 여건변화,에 따른 중장기 교통수요 변화, 친환경·생활교통 중심의 교통정책 변화에 따른 영향을 평가할 수 있는 종합적·미시적 교통계획모형이 필요하다.
- ② 활동기반 시뮬레이션 모형을 수도권에 적용해 실증분석 한 결과 지역특성을 반영한 교통정책 수립, 하루의 모든 시간대의 통행량과 통행발생원인 등에 관한 분석, 개개인의 시·공간적 활동범위 도출로 교통정책 파급효과 평가 등을 통해 교통정책의 실효성 제고에 기여 가능하다.
- ③ 활동기반 시뮬레이션 모형을 장래 수도권 인구 및 사회변화(고령자 인구 증가, 여성의 사회진출 증대) 시나리오에 대해 실증분석 결과 중장기 교통에의 영향을 효과적으로 분석할 수 있었다.
- ④ 활동기반 접근방법론의 이론검토, 실증분석, 해외모형 분석 등을 통해 한국형 활동기반 시뮬레이션 모형(ACTOR)의 개발계획을 수립하였다.

본 연구보고서의 주요 정책제안은 다음과 같음

- ① 본 연구는 기초과제로서 교통정책 시뮬레이션 모형의 개발 필요성이 높음을 강조한다. 특히 변화된 교통정책의 방향을 효과적으로 지원할 수 있는 교통계획지원 툴로서 활동기반 시뮬레이션 모형 개발은 중요하다.
- ② 교통데이터 수집에 대한 제언으로 가구통행조사 수집변수의 경우 정교한 정책평가를 가능하게 할 몇 가지 주요 변수들과 그 변수들이 어떠한 정책평가에 사용될 수 있는지에 대해 제안하였다.
- ③ 교통데이터 수집 방법에 대한 제언으로 가구통행조사 데이터를 수집하기 위해 위성 형태의 조사 방법의 도입 필요성을 제안하였다.

발간사

교통정책은 한 국가나 지역, 또는 도시의 당면과제 해결과 앞으로 추구해야 할 목표를 달성하기 위한 수단으로서 정책수립당시의 사회·경제적 맥락과 깊은 관계를 유지하며 변화한다. 그동안 우리나라의 교통정책도 사회·경제적 여건에 대응하여 변화해왔다. 예를 들면 1960년대에서 1980년대까지는 인구 및 자동차의 급속한 증가에 대응한 교통인프라 확충, 1990년대부터 2000년대까지는 도시부 인구집중 심화와 본격적인 자동차 시대 도래에 따른 교통수요관리와 운영효율강화에 집중하였다고 할 수 있다. 이때까지 우리나라는 지속적인 경제성장, 인구증가, 자동차 증가 등에 따라 발생하는 교통문제들을 완화하고자 교통시설의 양적확대를 추구하는 교통정책들이 주류를 이루었다.

최근 우리나라 경제가 저성장 시대에 돌입하고, 낮은 출산율에 따른 인구감소와 고령화, 여성의 사회진출 확대, 정보통신기술 발달 등과 같은 사회·경제·문화적 여건이 변화되고 있다. 또한 교통에 대한 이용자들의 요구도 친환경 교통수단 이용에 대한 수요 증가, 생활복지의 강조, 이동의 형평성 등 과거에 비해 매우 다양하고 복잡해지고 있다. 따라서 실효성 높은 교통정책의 수립과 실행을 위해서는 변화된 사회여건의 반영하고, 이용자들의 다양한 수요에 대응하며, 정책에 따른 반응을 효과적으로 평가할 수 있는 교통계획모형 개발이 매우 중요하다. 또한 이를 통해 교통정책의 의사결정과정을 보다 합리적으로 지원할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 점에 주목하여 기존 우리나라에서 주로 사용되어온 4단계 교통계획 모형의 한계를 인식하고, 이를 보완하여 정책결정과정에 도움을 줄 수 있는 방안을 찾고자 했다. 이 연구에서 다루어지고 있는 활동기반 접근법은 기존의 모형이 다루고 있는 구역과 구역 사이의 총통행량이 아니라 개인과 가구의 활동과 통행에 대한 의사결정과정과 그에 연관된 중요 변수에 주목한다. 활동기반의 미시적 시뮬레이션은 총량적 모형에서는 파악할 수 없는 하루 중 연속적인 인구

이동과 가족구성원간의 상호작용, 장기적인 사회경제적 변화에 따른 행태변화 등을 파악할 수 있도록 하여 활동과 통행에 대한 다각적인 분석을 가능하게 한다. 현재 사용되고 있는 방법론을 보완하고, 교통정책의 실효성을 높이기 위해서는 정책의 영향을 미시적 수준에서 구체적으로 파악할 필요가 있으며, 그 중요한 방안으로서 활동기반모형에 대한 지속적인 연구와 적용실험이 필요하다. 따라서 이 연구는 향후 국토연구원에서 수행할 활동기반모형에 대한 연구의 첫 걸음으로써 그 의의가 크다 하겠다.

끝으로 본 연구를 수행하는데 노력을 아끼지 않은 이백진 연구위원, 윤서연 책임연구원, 이춘용 선임연구위원의 노고를 치하하며, 외부연구진으로 참여해 주신 미국 UCSB의 Konstadinos G. Goulias 교수, 벨기에 Hasselt대학의 Tom Bellemans 교수와 조창현, 추상호 교수님께도 깊이 감사드린다.

2013년 12월

국토연구원장 김 경 환

요약

지금까지 우리나라의 교통정책 수립과 평가를 위해 적용되어온 계획 모형은 **통행기반의 4단계 모형(Trip-based Four Step Model)**이다. 해당 모형은 모형식의 단순성과 계산 편의성 등의 이유로 1980년대 이후 지금까지 적용되어왔으나 교통정책의 실효성 측면에서 많은 한계가 있다. 본 연구에서는 4단계 모형을 보완하고 실효성 높은 교통정책 수립과 실행을 위해 **활동기반 모형(Activity-based Model)**에 주목한다.

이 연구는 교통정책 실효성 제고를 위해 우리 실정에 부합하는 활동기반의 시뮬레이션 모형 개발 및 적용방안 제시를 목적으로 한다. 본 연구는 총 2개년도로 진행되는데 이번 보고서는 제 1차년(2013년)도 연구결과에 대해 기술한다. 또한 이 연구에서 개발되는 모형은 **ACTOR(ACTivity-based Micro-SimulatOR)**로 명명하였다. 금년도(1차년도)는 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용 가능성 및 정책적 실효성을 검증하고, 향후 본 연구에서 제안한 모형(ACTOR) 개발을 위한 개발계획 수립까지를 목표로 하였다. 2차년도 연구는 ACTOR 모형의 프로토타입 개발을 목표로 하며, 실증분석을 통한 향후 개발모형의 확장계획 및 정책방안을 제시한다.

1차년도 연구는 다음과 같은 점에 주안점을 두고 수행되었다. 첫째 활동기반 모형의 현장 적용을 위한 장애요인과 극복방안이 무엇인지에 대해 논의한다. 활동기반 접근방법론의 장점에도 불구하고 실제 현장 적용하는 데 있어서는 다양한 장애요인들(예, 활동 데이터 수집 문제, 기초 통계 수집 단위 문제 등)이 존재하며, 따라서 ACTOR 모형의 활용성을 높이기 위해 장애요인을 사전에 파악하고 이에 대응한 극복방안을 제시하고자 한다. 둘째, 활동기반 모형의 유효성에 대해 검증하고자 하였다. 활동기반 모형의 유효성 검증은 모형의 추정결과와 현장 실측자료(예, 통행량)의 비교 등을 통해 현실 재현성을 검증하였다. 셋째, 활동기반 모형의 정책적 활용도를 알아보기 위해 시나리오분석을 실시하였다. 이 연구에서는 1차년도에 구축된 활동기반 시뮬레

이선 모형을 기반으로 수도권 지역을 대상으로 교통정책(예, 통행비용 증가)에 따른 영향을 평가하였다. 특히 수도권 지역 대상 인구 및 사회(예, 고령화, 여성의 사회진출 증가) 변화가 교통에 미치는 영향에 대해 평가하는 등 다양한 시나리오를 바탕으로 실증분석을 실시하였다. 넷째, 한국형 활동기반 모형의 개발계획을 수립하였다. 해외 모형을 그대로 차용한 1차년도 연구결과를 바탕으로 2차년도의 한국형 활동기반 모형 구축을 위한 구체적 개발계획을 수립하였다.

제2장 새로운 교통계획모형의 필요성

이 장에서는 우리나라 교통정책의 여건변화를 사회적 변화와 정책 패러다임 변화 관점에서 살펴보고 기존 모형의 한계와 새로운 교통계획모형의 필요성을 제시하였다. 또한 교통정책의 실효성 측면에서 교통계획모형이 갖추어야 할 요건을 제시하고, 기존 대표적인 교통계획모형인 통행기반의 4단계 접근방법론에 대해 이론적 측면과 정책적 측면에서 한계가 있음을 제시하였다. 끝으로 해외 주요 선진국들이 교통정책 실효성 제고를 위해 어떠한 정책적 노력을 하고 있는지 간략하게 살펴보았다.

우리나라의 교통정책은 과거 경제성장 지원을 위한 ‘양적확대’에서 최근 친환경과 생활교통 중심의 ‘질적개선’으로 전환되고 있다. 교통정책의 실효성 측면에서 이러한 변화는 교통정책에 따른 교통수요 변화를 보다 정교하게 예측하고, 또한 2차, 3차 파급효과를 평가할 수 있는 정책 틀이 필수적이다. 반면 기존 통행기반 4단계 계획모형은 한계가 있다. 그럼 새로운 교통계획모형은 어떠한가. 첫째, 통행발생 단계에서 통행발생 주체를 기존 존(Zone) 단위에서 개개인으로 전환하여 분석할 수 있어야 한다. 둘째, 분석단위를 개별 통행이 아닌 통행과 통행들 간의 관계에 두고 상호 연관된 통행들의 영향관계를 반영할 수 있어야 한다. 셋째, 통행발생의 정확한 수요예측뿐 아니라 구체적으로 어떤 원인과 경로로 발생되었는지를 설명할 수 있어야 한다. 즉 기존 4단계 접근방법론은 개인의 의사결정과정을 블랙박스로 놓은 이론 구조로 통행발생의 원인을 설명하기 어려운 구조이다. 넷째, 통행발생을 하루 동안 개인이 행한 총 활동의 일부로 인식하고 개인의 특성(사회경제적 특성, 가구의사결정 구조, 주변 환경 등)에 따른 통행 의사결정행동을 분석할 수 있어야 한다.

제3장 활동기반 모형의 이론과 적용사례

이 장에서는 활동기반 모형의 일반적인 이론과 적용사례에 관하여 고찰하였다. 먼저, 일반적인 교통계획모형에 대해 설명하고, 활동기반 모형의 기본적 특성, 실제 활동모형 적용에 있어 지적되는 한계 등에 대해 기술하였다. 또한 활동기반 모형을 이용한 해외 사례와 구체적인 모형개발 사례를 살펴보았다.

활동기반 모형의 특성을 간략하게 요약하면, 활동기반 모형은 통행을 활동의 파생수요로서 간주하고, 개인의 일일활동에서 교통행태의 본질을 규명하여 정책에 이용하고자 하는 접근방법론으로 1970년대 교통부문에 소개되어 1990년대부터 관심이 집중되어오고 있다. 국내의 경우 교통정책 수립과 평가를 위한 교통계획 모형은 통행기반 모형인 4단계 모형을 기반으로 하고 있는데 이는 모형의 단순성과 계산 편의성에 기인하고 있다. 특히, 4단계 모형에 비해 활동기반 모형을 적용한 경우에도 모형의 재현성 측면에서는 큰 차이가 없는 경우가 있으며 이에 따라 모형의 단순성과 계산 편의성을 이유로 4단계 모형을 선호하는 경우가 많다. 그러나 최근 컴퓨터 계산능력 향상으로 비교적 복잡하고 장시간의 계산노력에 대한 장애가 해소되고, 모형의 재현성은 비슷하나 설명적 측면에서 매우 뛰어난 활동기반 모형의 적용사례가 선진국에서 증가하고 있다.

해외 활동기반 모형 개발 현황을 살펴보면, 대표적으로 미국, 네덜란드, 캐나다를 중심으로 개발되어 있고 최근에는 추가 확장 단계 모듈(예, 온실가스 배출 등)의 개발이 진행 중이다. 대표적으로 STARCHILD, AMOS, SimAGENT, SimTRAVEL, ALBATROSS, FEATHERS 등이 있다. 활동기반 모형의 적용 현황을 살펴보면 교통수요관리(TDM), 교통사업 효과평가, 토지이용과 교통을 동시에 고려한 효과 분석 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 활동기반 모형의 적용사례는 지속적으로 확대되고 있으며 특히 교통정책에 따른 직접효과와 더불어 2차, 3차의 연쇄통행에 미치는 영향, 토지이용에 따른 통행행태 변화를 분석할 수 있다는 점에서 주목받고 있다.

이에 반해 국내에서 활동기반 모형에 대한 연구사례는 매우 부족한 실정이다. 또한 일부 관련 연구들에서도 이론적 측면의 검토가 대부분이며 본 연구와 같이 전체 활동기반 모형을 활용하여 시뮬레이션을 수행하는 연구는 전무한 실정이다.

제4장 실증분석

이 장에서는 해외에서 개발된 활동기반 모형을 이용하여 국내에서의 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용 가능성과 유용성을 검증하였다. 또한, 자료구축에서부터 모형화 방법론, 시뮬레이션 결과까지를 면밀히 검토하여 국내 실정에 부합하는 모형개발을 위한 시사점을 도출하였다.

실증분석의 공간적 분석 범위는 수도권으로 설정하고, 수도권 가구통행실태조사(2010년)와 통계청의 지역별 인구·사회자료, 분석용 교통네트워크 자료 등 현재도 널리 이용되고 있으며 손쉽게 구할 수 있는 데이터를 기본 입력 데이터로 사용하였다.

활동기반 모형의 검증은 통행량의 정확성보다는 개략적인 현실 재현성과 기존 4단계 모형과는 차별화된 정책지표 도출 등을 통한 정책적 유효성 검증에 주안점을 둔다. 본 연구에서 적용한 해외 개발모형은 미국 남캘리포니아에 적용된 효용기반 시뮬레이션인 SimAGENT와 의사결정모형에 기반한 ALBATROSS를 중심으로 벨기에에서 개발된 FEATHERS이며, SimAGENT를 개발한 캘리포니아 대학교 산타바바라(University of California Santa Barbara)와 FEATHERS를 개발한 하셀트 대학교(Hasselt University)와의 국제협동연구를 통해 본 과제를 진행했다.

(1) 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용과 주요 개발이슈사항

□ 인구합성

인구합성의 목적은 해당 존(행정동)의 상위 공간 단위의 마이크로데이터에서 가구와 인구를 가져와서 존의 집계정보와 유사하도록 존을 채워주는 것이다. 수도권 인구합성의 최종 결과물은 1107개의 존에 거주하는 약 2000만 명의 가구와 인구 데이터베이스로 도출된다. 본 연구 중 SimAGENT를 이용한 테스트에서는 Arizona State University에서 제공한 소프트웨어인 PopGen을 적용하였으며, FEATHERS를 이용한 테스트에서는 하셀트대학교에서 자체적으로 제작한 인구합성 알고리즘을 사용하였다. 인구합성 결과 수도권 전체에서는 변수별로 입력된 집계 데이터에 상당히 근접한 결과를 보였다. 인구합성을 수행하는 과정에서 PopGen을 기준으로 하여 주요 개발 이슈사항을 도출하였다.

(2) 개인/가구의 활동 시뮬레이션 모형 추정결과

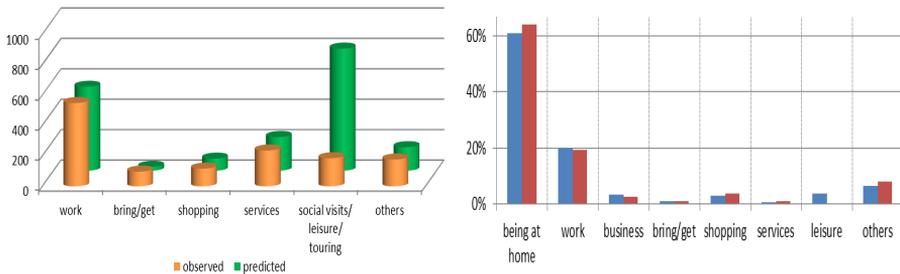
본 연구 초기에 시행한 FEATHERS의 1차 테스트에서는 해외 활동 시뮬레이션 모형의 구조를 유지하고 국내 데이터를 적용한 결과 국내의 교통특성이 충분히 반영되지 못하는 한계가 있었다. 따라서 국내 교통특성을 반영하여 일부 모형을 보정한 결과 모형의 설명력과 타당성이 개선됨을 보였다. 예를 들면 시간대별 통행량 분포에 대한 실측값(2010년 가구통행실태 조사자료)과 예측값(모형의 추정결과)을 비교해 보면 거의 비슷한 분포 특성을 보여 효과적으로 현실을 대변한 모형이 구축된 것으로 판단된다. 1차 테스트에서는 퇴근시간(17시~20시)의 통행량이 실측치에 비해 작게 예측되었지만, 반복추정을 더 거친 최종결과에서는 수도권 실측치와 더 유사한 통행량 분포를 보였다. 이와 같이 개인/가구의 활동 시뮬레이션을 수행하는 과정에서 주요 개발 이슈사항을 도출하였다.

<그림> FEATHERS 모형의 보정결과(국내 교통특성 반영)

[1차 테스트]

[보정 후 결과]

<활동 유형별 활동시간 분포>



□ 주요 분석결과

활동 목적 통행의 오전 첨두(AM Peak) 통행량 비율은 일 통행량 대비 약 19% 수준으로, 활동목적별 분포비율을 보면 일 통행량은 귀가통행량 46.7%, 출근통행이 27.7%, 오전 첨두 통행량은 출근통행이 82.2% 비율로 대부분을 차지한다. 활동 목적 통행의 지역간 통행분포 비율은, 일 통행량과 오전 첨두 통행량의 가장 큰 차이는 서울시 내부통행과 경기도에서 서울로 통행하는 통행량의 차이로 오전 첨두에

경기도에서 서울로 진입하는 통행량이 많고 서울시 내부 통행량이 감소하였다.

수단별 통행량 분포는 일 통행량과 오전 첨두 통행량 비교시 오전 첨두에 승용차의 비율이 38.6%에서 44.1%로 높아지는데 이는 오전 첨두 출근통행시 승용차를 더 많이 이용하기 때문이다. 활동 목적별 수단 통행량의 분포를 일 통행량 수단 분담비율 자가운전 38.6%, 비동력수단(걷기, 자전거) 15.6%, 대중교통 45.8%와 비교해보면, 귀가와 사회적 활동/레저활동은 수단분담 비율이 유사하고, 출근과 배움/마중 활동 목적은 자가운전의 분담 비율이 높아지며, 쇼핑 및 기타 활동 목적은 대중교통의 분담 비율이 높아지는 것으로 분석된다. 이 결과는 주로 근무와 연관된 시간가치가 높은 활동에서 자가운전을 주로 이용하고, 쇼핑 및 기타 활동과 같은 시간 제약이 낮은 활동에서 대중교통을 주로 이용한다는 것을 보여준다.

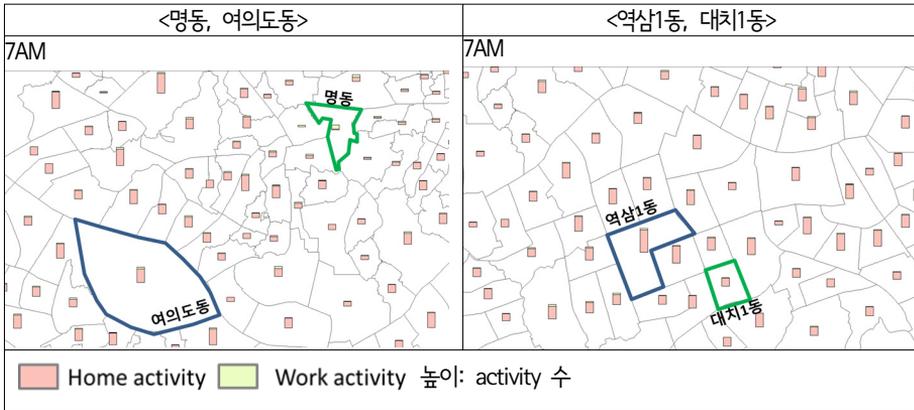
(3) 교통정책의 실효성 측면에서 활동모형의 유효성 검증

교통정책의 실효성 측면에서 활동모형의 유효성을 검증하기 위해 다양한 측면에서 분석결과를 실증적으로 제시하였다. 첫째, 24시간의 연속적인 통행량 변화를 분석 가능하였다. 종래 4단계 접근법이 주로 피크시간대 통행량만을 도출하는 반면 활동기반 시뮬레이션 모형은 24시간의 연속적인 통행량 변화를 파악할 수 있다. 실제 시간대별 예측 통행량 분석결과를 살펴보면, 수도권은 오전 6시부터 통행량이 증가하다가 오전 7시에 정점을 이루고 오전 9시에 빠르게 감소하며 이는 출근통행의 영향으로 판단된다. 퇴근 시간에는 오후 17시부터 통행량이 증가되어 오후 18시에 정점, 오후 19시부터 빠르게 감소함을 볼 수 있다. 특히 비첨두시간대인 오전 10시와 11시대에 도 서울 일부도로(서부간선, 강남북로 등)에서는 교통혼잡이 산발적으로 관찰되었다. 하지만 이 결과는 앞에서 설명한 활동 시뮬레이션에서 설명한 이슈사항이 포함된 결과이므로 수도권의 실제 교통상황과는 상이할 수 있어 주의가 필요하다.

둘째, 지역특성을 반영한 시간대별 활동변화가 분석 가능하였다. 활동기반 시뮬레이션 결과를 이용해 지역별 특성(즉, 교통존의 특성)에 따라 시간대별로 활동이 일어나는 패턴을 비교할 수 있다. 그 예로 명동, 여의도동, 역삼 1동, 대치 1동의 시간대별 활동 변화를 비교하였다. 이러한 분석결과는 활동기반 모형을 적용함으로써

토지이용과 활동 및 교통의 영향관계를 파악할 수 있음을 알 수 있으며, 최근 주목받고 있는 토지이용과 교통을 동시에 고려한 평가를 가능하게 함으로서 교통정책의 실효성 제고에 기여할 수 있다.

<그림> 시간대에 따른 교통존별 활동패턴 비교

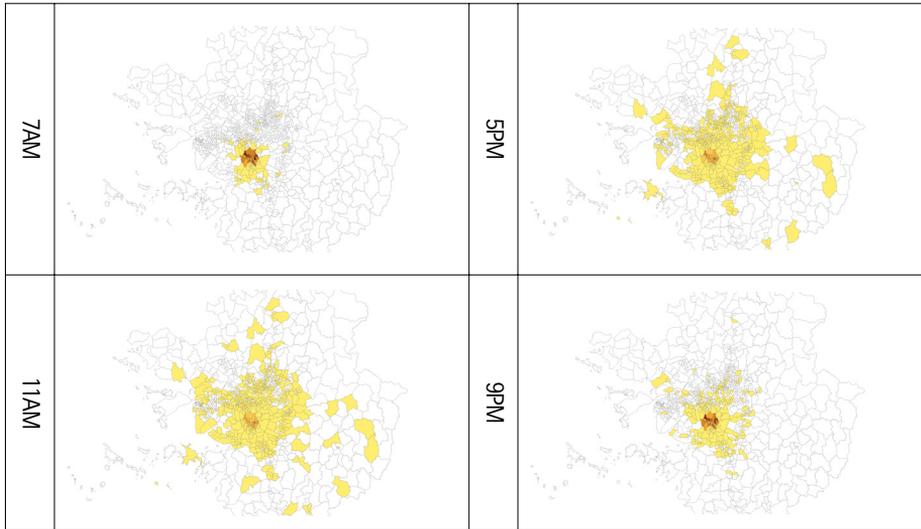


셋째, 하루의 모든 시간대별 통행량 및 통행발생원을 도출 가능하다. 시뮬레이션 대상지역에서 평균적인(특별한 사건이나 이벤트가 일어나지 않는) 평일에 나타나는 쇼핑활동의 분포를 시간대별로 분석할 수 있다. 예를 들면 주로 오전 9시부터 오후 7시 사이에 주로 쇼핑활동이 이루어지며, 오전은 11시, 오후는 3~5시에 가장 많은 쇼핑 활동이 이루어지는 패턴을 보인다. 최근 도시환경 개선을 위한 교통정책은 첨두시 통행량 감소뿐만 아니라 비첨두시의 통행 발생량 또한 주요한 정책대상이며, 따라서 활동기반 모형을 적용함으로써 하루의 모든 시간대의 통행량과 통행발생원인 등에 관한 분석이 가능하여 교통정책 실효성 제고에 기여할 수 있다.

끝으로 개개인의 시·공간적 활동범위 도출로 교통정책의 파급효과를 평가할 수 있다. 즉 활동기반 시뮬레이션 결과에서는 교통정책의 분석대상으로 하는 지역주민들만을 대상으로 거주지에서 출발한 주민들이 하루 동안 어느 정도 범위를 이동하는지 관찰 가능하고 시간대별로 분석하는 것이 가능하다. 그 예로 안양시에 대해 생성된 가상인구(synthetic population) 중 무작위로 10%를 선택해 활동이 일어나는 교통존을 시간대별로 분석한 결과를 제시하였다. 활동기반 모형은 개별 통행만이 아닌

하루 전체의 통행패턴을 파악할 수 있으며, 이는 새로운 교통시설물(예, 신규 철도노선, 도로 등) 도입 등에 따라 누가(어떤 지역), 어느 정도 많은 영향을 받을 수 있는지를 명확히 분석할 수 있어 교통정책 실효성 제고에 기여하는 것이 가능하다. 동일한 방법으로 지역별, 활동분류별, 인구그룹별, 통행수단별 등에 대해서도 더욱 세밀한 분석이 가능하다.

<그림> 안양 주민의 시간대별 활동 위치



(4) 활동기반 시뮬레이션 모형의 정책 활용 사례분석

활동기반 시뮬레이션 모형이 정책 분석에 있어 유용함을 검증하기 위해 구축된 시뮬레이션 모형을 이용하여 교통정책에 대한 적용 사례를 제시하고, 특히 기존 통행기반 4단계 모형과의 차별화된 정책지표를 도출하여 이를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하였다. 먼저, 교통정책(통행비용 증가)에 따른 시나리오 분석결과 교통정책에 따른 통행시간 증가는 개인의 하루 중 활동 및 통행에 가장 유의한 영향이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 테스트한 교통시간 및 교통비용 변화 시나리오에서 교통정책(통행 비용, 시간)은 개인의 활동위치(단거리 통행증가 등)와 활동스케줄(통행포기, 출발시간 변경 등)에 밀접한 영향이 있음을 도출하였으며, 이러한 분석은 기존 4단계 모형으로는 분석이 불가능한 부분으로, 4단계 모형에

제5장 활동기반 시뮬레이션 모형 개발계획

이 장에서는 한국형 활동기반 시뮬레이션 모형(ACTOR)의 개발계획 수립을 위해 해외 교통수요모형들의 분석 구조를 보다 구체적으로 살펴보고 또한 해외 모형을 이용한 실증분석 결과를 반영하여 차년도 개발계획 수립의 시사점을 도출하였다.

해외 활동기반 시뮬레이션 모형(SimAGENT, FEATHERS)의 실증분석 결과 모형 추정의 설명력과 유의성은 거의 차이가 없는 것으로 판단되었다. 개발 가능성 측면에서 SimAGENT 모형은 프로그램의 소스코드를 개방하고 있어 자유로운 프로그램 개발이 가능한 장점이 있다. 따라서 실증분석 및 모형구조 분석결과를 바탕으로 SimAGENT를 기반으로 한국형 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 모형을 개발한다. ACTOR 모형의 기본구조는 SimAGENT의 기본구조와 동일하게 설계하나 실제 모형의 적용성과 한국의 상황을 반영할 필요성이 있기 때문에 많은 수정이 필요하다.

첫째, 시뮬레이션 프로그램의 최적화가 필요하다. ACTOR 모형은 SimAGENT 프로그램을 최적화하는 것에서부터 시작한다. 이를 위해 ①모형 단계별 입출력 형식을 동일하게 유지하여 모든 단계가 일괄 추정될 수 있도록 계획한다. ②모형단계별 오류 점검 및 오류 표출모듈을 추가한다. ③프로그램 코딩을 최적화 한다.

둘째, ACTOR 모형은 한국의 상황을 반영하여 별도의 가상인구생성 보정방법론을 개발한다. 이를 위해 ①교통존(행정동) 단위 가구구성 및 가구소득 예측모형을 개발한다. ②가구통행실태조사 자료를 활용하여 6세미만 어린이 통행행태 보정모형을 개발한다. ③이외에도 구 단위로 되어있는 통계청 인구센서스 자료를 동 단위로 배분하기 위해 별도의 보정을 실시한다.

셋째, 장기선택모형을 수정한다. SimAGENT에서 적용된 장기선택모형(주거지/직장/가구구성 선택 등)은 미국의 고유특성인 인종에 따른 영향 등을 반영하고 있어 국내 상황을 반영한 별도의 장기선택 모형 개발이 필요하다. 따라서 ACTOR 모형은 주거지/직장/가구구성에 대한 관련 연구들을 활용하여 장기선택모형을 개발한다. 또한 향후 국내 사회변화를 반영할 수 있도록 유연한 모형을 개발한다.

넷째, 개인/가구 활동모형을 수정한다. SimAGENT에서 적용된 개인/가구 활동모형은 먼저 미국의 고유특성이 반영되어 있고, 실무적으로 적용하기 곤란한 매우

복잡한 계량경제모형들이 적용되어 이에 대한 모형의 재검토가 필요하다. 특히 복잡한 계량경제모형은 세부적인 통행행태를 반영할 수 있다는 측면에서 장점이 있으나, 적용된 변수들에 대한 데이터 확보 문제와 추정값이 통계적으로 유의하지 않을 경우 전체적인 모형의 정확도와 설명력이 떨어지는 문제가 발생가능하다. 따라서 ACTOR 모형에서는 ①한국의 고유특성이 반영된 모형을 별도로 개발해야할 필요성이 있다. 특히 개인/가구 활동모형은 매우 많은 수의 다양한 모형들을 포함하고 있기 때문에 차년도 연구에서는 핵심적인 항목들에 대해서만 우선적으로 별도의 신규모형을 개발하기로 한다. ②모형의 단순화를 시도한다. 즉 가능한 비슷한 설명력을 유지하고 단순화가 가능한 모형은 추가 분석을 통해 단순화 한다. 또한 유사 설명변수에 대해서는 동일한 모형을 적용한다.

금년도 연구 결과를 바탕으로 ACTOR 모형의 기본구조와 주요 개발항목을 도출하였다. 그러나 보다 세부적인 모형의 구조설계와 개발항목에 대해서는 차년도에 보다 많은 논의를 통해 구체화할 필요성이 있다. 또한 각 단계별 적용모형에 대해서는 보다 많은 연구고찰을 통해 최적의 모형을 선택하는 과정을 통해 보다 정교하게 선택할 필요성이 있으며 이는 차년도 연구를 통해 완성할 것이다.

차례

주요 결론 및 정책제안	i
발간사	iii
요약	v
제1장 연구의 개요 및 목적	1
1. 연구의 배경 및 목적	3
1) 연구의 배경	3
2) 연구의 목적	5
2. 연구의 주안점	6
3. 연구의 흐름 및 추진방법	8
1) 연구의 범위와 흐름	8
2) 연구의 추진방법	10
4. 본 연구의 기대효과	11
제2장 새로운 교통계획모형의 필요성	13
1. 교통정책의 여건 변화	15
1) 사회적 여건 변화	15
2) 교통정책의 패러다임 변화	18
2. 교통정책의 실효성 제고를 위한 교통계획모형	19
1) 교통계획모형의 역할과 요건	19
2) 기존 교통계획모형의 한계	20
3) 교통정책 실효성 제고를 위한 새로운 교통계획모형의 필요성	22
3. 교통정책의 실효성 제고를 위한 주요 선진국 동향	23
제3장 활동기반 모형의 이론과 적용사례	25
1. 활동기반 모형의 이론	27

1) 개발 배경	27
2) 교통계획모형의 종류	28
3) 활동기반 모형의 특성	30
4) 활동기반 모형의 모형화 방법론	32
5) 활동기반 모형의 적용성에 관한 논의	33
2. 활동기반 모형 개발 및 적용 사례	36
1) 해외 활동기반 모형 개발 현황	36
2) 국내 활동기반 모형 개발 현황	47
제4장 실증분석	49
1. 실증분석의 개요	51
1) 실증분석의 목적	51
2) 실증분석의 단계별 방법론	53
3) 실증분석을 위한 입력자료	55
2. 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용	56
1) 인구합성(Population synthesis)	56
2) 개인/가구의 활동 시뮬레이션 모형 추정 결과(FEATHERS)	61
3) 교통정책 실효성 측면에서 활동모형의 유효성	67
3. 활동기반 시뮬레이션 모형의 정책 활용 사례분석	75
1) 통행비용 변화에 따른 영향분석: SimAGENT	75
2) 인구사회변화에 따른 영향분석: FEATHERS	87
3) 활동기반 시뮬레이션의 시나리오 분석 결과 종합	91
제5장 활동기반 시뮬레이션 모형 개발계획	93
1. 국내 교통수요모형의 비판적 고찰	95
1) 국내 교통수요모형 구축 과정	95
2) 국내 교통수요 모형의 문제점	98
2. 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 고찰	100
1) 활동기반 시뮬레이션 모형의 기본 구조	100
2) 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 분석	103
3. 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 모형의 개발 이슈	110
1) 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 비교	110
2) ACTORM형의 기본구조와 주요 개발 항목	110

제6장 결론 및 향후 과제	117
1. 연구의 결론	119
2. 정책제언	121
1) 효과적인 교통정책 시뮬레이션 모형 개발 필요	121
2) 활동기반모형의 정책활용	122
3) 데이터 수집에 대한 제언	123
참고문헌	129
SUMMARY	137
부록1: SimAGENT를 이용한 시뮬레이션 세부사항	139
부록2: FEATHERS를 이용한 시뮬레이션 세부사항	146

〈표 3-1〉	교통계획모형의 종류	29
〈표 3-2〉	활동기반 모형의 특성	31
〈표 3-3〉	활동기반 모형의 적용을 위한 제약요인	35
〈표 3-4〉	활동기반 시뮬레이션 모형의 해외 개발사례 요약	45
〈표 3-5〉	활동기반 모형을 활용한 교통정책 분석 사례(미국)	46
〈표 4-1〉	입력자료 설명	55
〈표 4-2〉	교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수	57
〈표 4-3〉	활동 목적별 통행량	64
〈표 4-4〉	활동 목적 통행량의 지역간 분포	64
〈표 4-5〉	수단통행량의 수단별 분포	64
〈표 4-6〉	활동 목적별 수단통행량 분포	65
〈표 4-7〉	교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수	75
〈표 4-8〉	시나리오별 개인 및 가구의 통행행태에 미치는 영향	78
〈표 4-9〉	시나리오별 각 가구원의 공간적 이동 및 이동거리, 교통비용 변화(예시)	80
〈표 4-10〉	교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수	87
〈표 5-1〉	활동 발생-분담 모형 시스템	104
〈표 5-2〉	활동스케줄링 모형 시스템	105
〈표 5-3〉	ALBATROSS의 활동스케줄링 시스템의 의사결정 트리	108
〈표 5-4〉	한국형 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 개발이슈	112
〈표 5-5〉	활동 발생-분담 모형 개발 이슈	115
〈표 5-6〉	활동스케줄링 모형 개발 이슈	116
〈표 6-1〉	현재 수도권 가구통행실태조사의 통행목적 분류	124

〈그림 1-1〉 연구의 흐름	9
〈그림 2-1〉 인구 구성비 변화(2006~2016)	17
〈그림 2-2〉 고령자 목적통행 발생 원단위	17
〈그림 2-3〉 여성 목적통행 발생 원단위	17
〈그림 2-4〉 정보통신기기 이용유무에 따른 활동발생 비율	17
〈그림 2-5〉 사회 및 경제적 여건변화에 따른 교통정책 변화	19
〈그림 3-1〉 활동계획 분석모형의 현실 재현성과 계산의 복잡성	30
〈그림 3-2〉 활동기반 모형의 모형화 방법론	32
〈그림 3-3〉 활동과 통행의 시뮬레이션 결과	38
〈그림 3-4〉 SimAGENT의 장기 추정 시뮬레이션 흐름도	39
〈그림 3-5〉 OpenAMOS, DynusT, MALTA의 작동 구조	40
〈그림 3-6〉 ADAPTS의 시뮬레이션 흐름도	41
〈그림 3-7〉 ILUTE의 구조	42
〈그림 3-8〉 ILUTE와 MATSim으로 추정된 토론토 지역의 교통에 의한 일산화탄소 발생량	43
〈그림 3-9〉 FEATHERS 모형	44
〈그림 4-1〉 개발모형 검증을 위한 실증분석 흐름	54
〈그림 4-2〉 인구합성 알고리즘	56
〈그림 4-3〉 인구합성 결과: 수도권 전체	58
〈그림 4-4〉 인구합성결과 분석: 쌍문1동과 낙성대1동의 비교	59
〈그림 4-5〉 FEATHERS 모형의 보정결과(국내 교통특성 반영)	62
〈그림 4-6〉 시간대별 예측 통행량	68
〈그림 4-7〉 시간대별 예측 통행량(계속)	69
〈그림 4-8〉 시간대에 따른 교통존별 활동패턴 비교	71
〈그림 4-9〉 시간대에 따른 쇼핑활동의 분포	73
〈그림 4-10〉 안양 주민의 시간대별 활동 위치	74
〈그림 4-11〉 활동종류별 참여빈도와 교통수단 이용빈도	76
〈그림 4-12〉 시나리오별 각 활동별 통행거리 변화	82
〈그림 4-13〉 시나리오별 쇼핑활동을 위한 통행의 스케줄링과 통행거리	84
〈그림 4-14〉 시나리오별 출근 통행의 시작시간 분포	86

〈그림 4-15〉	사나리오별 쇼핑, 사회적 만남, 가구 업무, 외식 통행의 시작 시간 분포	86
〈그림 4-16〉	활동종류별 참여빈도와 교통수단 이용빈도	87
〈그림 4-17〉	보행, 자전거, 대중교통의 시간대별 교통량 분포	88
〈그림 4-18〉	걷기, 자전거, 대중교통 이용목적	88
〈그림 4-19〉	남성과 여성의 시간대별 자녀배웅 및 쇼핑 활동 분포	90
〈그림 5-1〉	4단계 교통모형의 기본구조와 국내(대도시권) 적용 모형	97
〈그림 5-2〉	활동기반 시뮬레이션 모형의 기본 구조	101
〈그림 5-3〉	SimAGENT와 FEATHERS 모형의 구조	103
〈그림 5-4〉	ALBATROSS의 활동스케줄링 시스템	107
〈그림 5-5〉	ACTOR 모형의 기본구조와 개발항목	111
〈그림 6-1〉	위성형태의 조사방법	127

chapter 1

연구의 개요 및 목적

연구의 개요 및 목적

이 장에서는 우리나라의 인구, 사회, 경제적 여건 변화에 따른 실효성 있는 교통정책 수립을 위해 활동기반 시뮬레이션 모형의 필요성을 중심으로 연구의 배경을 설명하였다. 또한 이 연구의 목적, 실증분석의 범위, 주요 연구방법론 등에 대해 기술하였다. 끝으로 기존 관련 선행연구에 대한 검토를 통해 본 연구의 주안점과 차별성을 제시하고 연구의 체계와 흐름에 대해 설명하였다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

지금까지 우리나라의 교통정책 수립과 평가를 위해 적용되어온 계획 모형은 **통행기반의 4단계 모형**(Trip-based Four Step Model)이다. 해당 모형은 모형식의 단순성과 계산 편의성 등의 이유로 1980년대 이후 지금까지 적용되어왔으며, 특히 자동차 이용을 중심으로 기반시설의 양적확장을 위한 교통정책들의 의사결정지원과 효과평가에 주로 활용되어 왔다. 그러나 모형의 단순화는 통행발생 원인인 활동(Activity)의 배제, 통행과 토지이용의 연계성 미흡, 개인 및 집단(가구)의 의사결정과정 배제, 통행의 연속성 배제 등의 내재적 한계로 최근 주요한 교통정책 수립과 효과평가가 어렵고 예측모형의 정확성 문제도 야기되고 있다.

즉 교통정책의 실효성 측면에서 통행기반의 4단계 모형은 다음과 같은 한계가

있음을 지적할 수 있다. 첫째, 교통정책이 과거 경제성장 지원을 위한 ‘양적확대’에서 최근 친환경생활교통 중심의 ‘질적개선’으로 전환되고 있는데 이에 따른 영향효과를 정교하게 파악하기 곤란하다. 또한 교통정책의 영향을 계층별(예, 소득), 지역별로 평가하지 못한다. 예를 들면, 출근시간대 자가용 이용억제를 위한 교통정책의 경우, 통행기반 모형은 출근통행만을 단독으로 고려하는 반면 이용자들은 회사의 외부업무, 가족을 위한 퇴근길 쇼핑 등을 목적으로 자가용을 이용할 수 있다. 즉 자가용 이용억제 정책에 따른 효과를 정확하게 예측하고 평가하기 위해서는 통행의 연속성(즉, 출근→출장→쇼핑, 집단(가구)의 의사결정(즉, 가족을 위한 퇴근길 쇼핑), 활동(즉, 출장이나 퇴근길 쇼핑을 위해 출근시간대 자가용 이용), 통행과 토지이용의 연계성(즉, 집 근처 쇼핑센터에서 쇼핑 또는 회사근처 쇼핑센터에서 쇼핑) 등을 복합적으로 고려할 필요가 있다. 그러나 기존 통행기반 4단계 모형에서는 이러한 복합적이고 다양한 통행특성을 반영하지 못하고 있다.

둘째, 인구, 사회, 경제 변화를 반영한 중장기 교통수요예측에 한계가 있다. 우리나라는 낮은 출산율과 고령화에 따른 인구구조변화, 여성의 사회진출 확대, 가구소득증대에 따른 여가수요 증대 등 교통정책 수립에 영향을 주는 다양한 인구, 경제, 사회적 여건들이 변화하고 있다. 즉 실효성 있는 중장기 교통정책 수립을 위해서는 이러한 사회변화에 따른 교통수요 변화를 효과적으로 예측하는 것이 중요한데 기존 통행기반 4단계 모형만으로는 한계가 있다. 예를 들면 여성의 사회진출 확대에 따른 교통수요 변화를 생각해 보자. 기존 4단계 모형에서는 통행발생 원인인 활동(Activity)과 통행의 연속성을 고려하지 않기 때문에 여성의 사회진출에 따른 영향을 단순히 출퇴근목적 통행 증감에 대해서만 다룰 것이다. 반면, 실제 여성의 사회진출이 활발해짐에 따라 출퇴근 이외에도 가정유지(육아, 물품구입 등)를 위한 퇴근길 쇼핑 통행의 증가, 남편의 가사분담에 따른 쇼핑 통행 증가 등의 복합적 영향을 가져올 수 있으며, 이러한 통행변화는 기존 4단계 모형에서 고려하기에는 한계가 있다.

따라서 실효성 높은 교통정책 수립과 실행을 위해서는 새로운 인구, 사회, 경제 등 여건변화에 따른 중기 및 장기 교통수요 변화를 예측하고, 친환경생활교통 중심의 패러다임 변화에 따른 단기 및 중기 교통수요 영향을 효과적으로 평가할 수 있는

종합적이고 미시적인 새로운 교통계획 모형이 필요하며, 이러한 측면에서 본 연구는 **활동기반 모형(Activity-based Model)**에 주목하고자 한다.

활동기반 모형(Activity-based Model)은 개인을 의사결정 주체로 하며 통행을 활동수행에 따라 발생하는 유발수요로서 하루 통행을 연속적 통행시슬로 고려하는 접근방법론이다. 교통수요 분석에 있어 통행과 통행간 상호관계, 개인 및 가구의 집단의사결정, 통행의 시·공간 제약을 복합적으로 고려하는 다차원 의사결정과정을 동시에 모형화하는 방법론이다. 활동기반 모형의 구체적 이론과 방법론, 기존 통행기반 4단계 접근방법론과의 차별성 등에 대해서는 제 2장과 3장에서 자세하게 다룬다.

활동기반 모형은 인구사회경제 및 IT기술 변화에 따라 다양화되고 있는 개인들의 통행행태 변화를 보다 현실적으로 재현함은 물론 국가·지역·도시의 목표 지향적 교통정책 수립과 평가가 가능하다. 또한 교통정책의 실효성 측면에서 기존 통행기반 4단계 모형에서 활동기반 모형으로 전환하는 것은 교통정책이 기반시설의 ‘양적확대’ 중심에서 개인의 일상활동에 영향을 미치는 ‘질적개선’ 중심으로 변화되고 있는 시점에서 그 중요성이 보다 강조된다.

미국, 유럽과 같은 주요 선진국의 경우 통행기반 4단계 모형의 한계점을 인식하고, 활동기반 모형의 개발과 적용이 활발하게 이뤄지고 있다. 대표적인 활동기반 모형으로는 SimAGENT, OpenAMOS, FEATHERS 등이 있다.

2) 연구의 목적

이 연구는 교통정책 실효성 제고를 위해 우리 실정에 부합하는 활동기반의 시물레이션 모형 개발 및 적용방안 제시를 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구는 총 2개년도로 진행되는데 이번 보고서는 제 1차년(2013년)도 연구결과에 대해 기술한다. 또한 이 연구에서 개발되는 모형은 ACTOR(ACTivity-based micro-simulatOR)¹⁾로

1) 미시적 시물레이션 모형(Micro-simulation Model)은 기존 4단계 추정방법론이 개인들의 통행행태를 지역존(Zone)으로 집계하는 집계(Aggregate) 모델링 기법인데 반해, 개인 또는 가구의 통행행태를 개별적으로 재현하는 비집계(Disaggregate) 모델링 기법

명명하였다.

금년도(1차년도)는 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용 가능성 및 정책적 실효성을 검증하고, 향후 본 연구에서 제안한 모형(ACTOR) 개발을 위한 개발계획 수립까지를 목표로 한다. 즉 ACTOR 모형개발을 위한 준비와 실험단계로 모형의 이론적 검토, 국내외 개발 현황, 실증분석을 통한 모형의 검증 및 최적 접근방법론 선정, 단계적 개발계획 수립까지를 목표로 한다. 2차년도 연구는 ACTOR 모형의 프로토타입 개발을 목표로 하며, 실증분석을 통한 향후 개발모형의 확장계획 및 정책방안을 제시한다.

모형개발에 있어서는 연구기간의 제약을 고려하여 기존 개발된 오픈소스 형식의 미시적 시뮬레이션 모형을 바탕으로 국내에 적합한 프로토타입 모형(Prototype Model)으로 개발한다. 즉 프로토타입 모형 개발은 기본적으로 기 개발된 해외모형을 차용하고, 모형 내 모듈(모형의 변수, 알고리즘 등)을 국내 실정(예, 데이터 유효성, 타 모형과의 결합성 등)에 맞도록 수정, 개선하는 것을 의미한다. 단, 이 연구의 모형 개발경험을 바탕으로 향후 모델의 공간적 확대와 추가 확장모듈(예, 인구변화 시뮬레이션 모델, 온실가스 배출량 산정모델 등) 개발을 위한 관련 연구 또한 지속적으로 수행될 것이다.

2. 연구의 주안점

전체 2개년으로 계획된 연구에서 금년도(1차년도)의 연구는 다음과 같은 점에 주안점을 두고 수행되었다.

첫째 활동기반 모형의 현장 적용을 위한 장애요인과 극복방안이 무엇인지에 대해 논의한다. 활동기반 접근방법론의 장점에도 불구하고 실제 현장 적용하는 데 있어서는 다양한 장애요인들(예, 활동 데이터 수집 문제, 기초 통계 수집 단위 문제 등)이 존재하며, 따라서 ACTOR 모형의 활용성을 높이기 위해 장애요인을 사전에 파악하고 이에 대응한 극복방안을 제시하고자 한다.

둘째, 활동기반 모형의 유효성에 대해 검증하고자 하였다. 활동기반 모형의 유효성

검증은 비교지표 문제 등 한계가 있으며, 모형의 추정결과와 현장 실측자료(예, 통행량) 등을 통해 현실 재현성을 검증하였다.

셋째, 활동기반 모형의 정책적 활용도를 알아보기 위해 실증분석을 실시하였다. 이 연구에서는 1차년도에 구축된 활동기반 시뮬레이션 모형을 기반으로 수도권 지역을 대상으로 교통정책(예, 통행비용 증가)에 따른 영향을 평가하였다. 특히 수도권 지역 대상 인구 및 사회(예, 고령화, 여성의 사회진출 증가) 변화가 교통에 미치는 영향에 대해 평가 등 다양한 시나리오를 바탕으로 실증분석을 실시하였다. 다시 한 번 주지할 점은, 본 연구(1차년도) 사례분석은 해외모형을 그대로 차용한 결과이며, 향후 2차년도 연구를 통해 우리나라 실정이 반영된 모형(ACTOR)을 구축하여 재평가할 예정이다.

넷째, 한국형 활동기반 모형의 개발계획을 수립하였다. 해외모형을 그대로 차용한 1차년도 연구결과를 바탕으로 2차년도의 한국형 활동기반 모형 구축을 위한 구체적인 개발계획과 이용확대 방안을 마련한다.

요약하면, 이 연구는 활동모형 접근방법론을 적용하여 기존 통행기반 4단계 모형의 대안을 마련하고, 국내 상황에 적합한 활동기반 시뮬레이션을 개발하여 새롭게 변화되고 있는 다양한 교통정책들을 보다 효과적으로 지원할 실증사례분석과 활용방안을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 통행기반 4단계 모형과 활동기반 시뮬레이션 모형의 비교분석을 통해 장단점을 파악하였다. 또한 해외에서 개발되어 있는 모형들을 적극 활용하고, 사전테스트 등을 통해 국내 상황에 적합한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발을 위한 모형구조, 지표개량 등을 수행한다.

3. 연구의 흐름 및 추진방법

1) 연구의 범위와 흐름

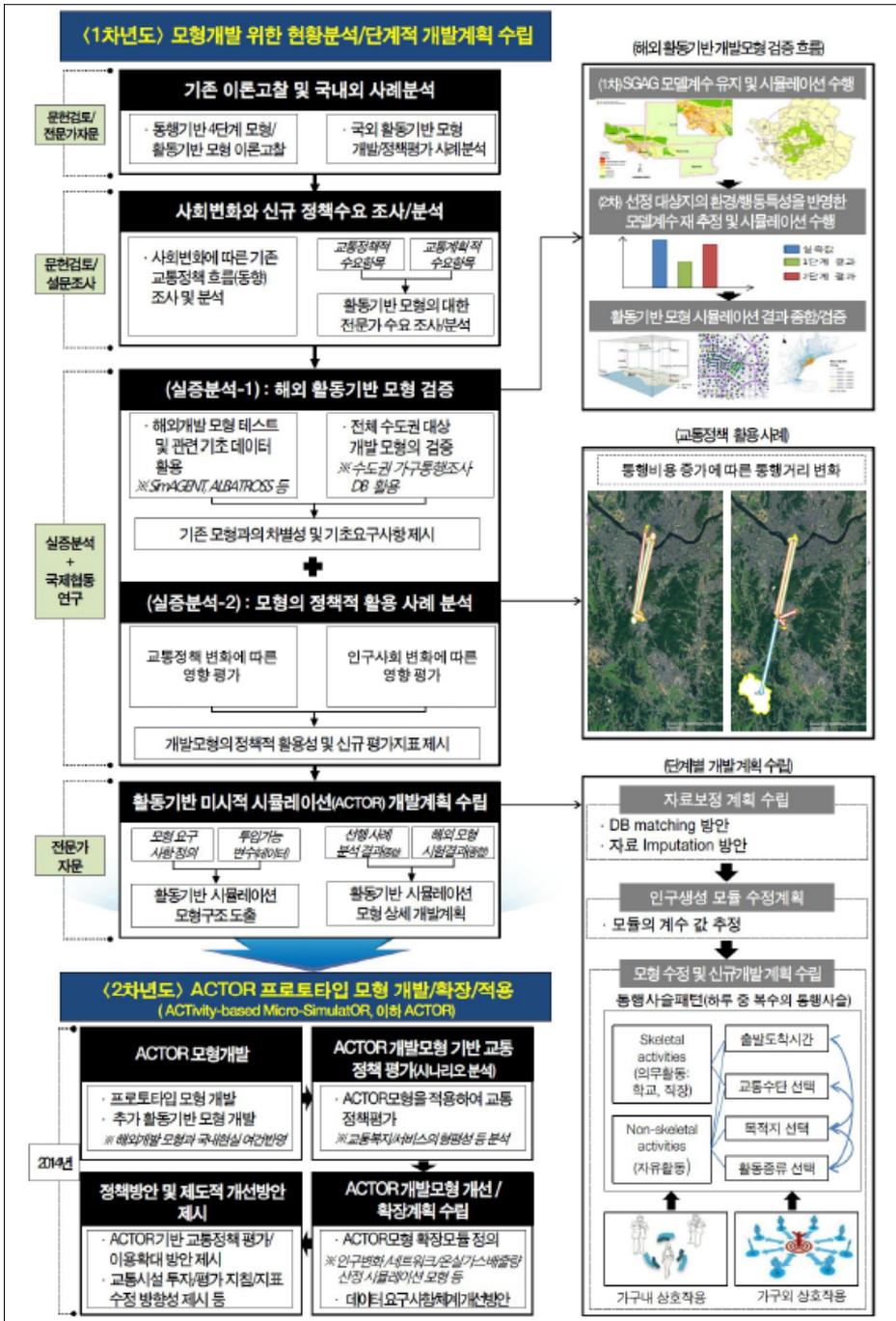
이 연구에서 사용하는 각종 통계 자료의 시간적 범위는 수도권 가구통행실태조사가 실시된 2010년을 기준으로 하며, 법제도적 사항은 2013년을 기준으로 하였다. 또한 모형의 검증 및 실증분석을 위한 공간적 범위는 수도권 전체를 대상으로 하였다.

내용적으로는 먼저 1차년도(2013년)에는 현황분석, 실증분석 및 단계적 개발계획 수립을 주요 내용으로 한다. 먼저, 기존 이론 및 국내외 개발사례를 검토한다. 구체적으로는 통행기반 4단계 모형과 활동기반 모형의 장단점에 대한 이론적 검토와 국외 활동기반 모형의 개발사례 및 정책평가 사례를 기술하였다.

다음으로 실증분석을 실시하였다. 실증분석은 크게 활동모형의 검증과 정책적 활용성 제시를 목적으로 하고 있다. 활동모형 검증은 해외 개발모형(SimAGENT, FEATHERS)들을 활용하여 다각적인 사전테스트 및 비교검토를 통해 ACTOR 모형 개발을 위한 시사점을 도출한다. 이때 수도권 가구통행조사DB를 활용해 수도권 전체에 대한 개발모형을 검증한다. 활동모형의 정책적 활용성에 대해서는 수도권 지역을 대상으로 통행비용 증가 등 다양한 교통정책에 따른 영향을 평가해 보고, 향후 인구 및 사회(예, 고령화, 여성의 사회진출 증가)적 변화가 교통에 미치는 영향을 평가해 본다. 끝으로 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 모형의 개발계획을 수립한다. 이를 위해 모형의 요구사항과 이용 가능한 데이터의 한계를 고려한 모형구조를 도출하고, 선행사례 검토, 해외 개발모형 사전테스트 결과를 토대로 구체적 개발내용을 정립한다.

2차년도(2014년)은 ACTOR의 프로토타입 모형개발을 주요 내용으로 한다. 먼저, 모형은 오픈소스(Open Source) 방식의 프로토타입 모형으로 개발하고 해외 개발모형과 국내 상황의 차이점을 반영하여 우리 실정에 맞는 추가 모형도 개발한다. 본 연구에서 개발된 모형의 유효성을 검증하기 위해 시나리오 분석을 통해 교통정책을 평가해 본다.

<그림 1-1> 연구의 흐름



즉 제안된 개발모형을 바탕으로 수도권 가구통행조사DB를 활용해 최근 교통정책들에 대해 평가하고, 특히 최근 주요 교통정책인 교통복지, 교통서비스 형평성 등에 대해 분석한다. 다음으로 개발모형의 개선 및 확장계획을 수립한다. 실증분석을 바탕으로 향후 개발모형의 개선방향을 제시하고 개발모형의 확장모듈을 정의(예, 인구변화 시뮬레이션 모형, 네트워크 시뮬레이션 모형, 온실가스배출량 산정모형 등)한다. 또한 향후 데이터 요구사항 및 국가 교통데이터 체계에 대한 개선방안을 제시한다. 끝으로 정책방안 및 제도적 개선방안을 도출한다. 활동기반 시뮬레이션을 활용한 교통정책 평가방안을 비롯하여 개발모형의 이용확대 방안 등을 제시한다.

2) 연구의 추진방법

이 연구를 수행하기 위해 먼저 주요 선행연구 및 국내외 자료 조사를 실시하였다. 구체적으로 개별 연구목적에 의해 분석된 기존 선행연구 검토와 관련 세부 분석자료 구축하였다. 수도권 지역 대상 가구통행실태 조사(2010년), 교통존별 인구 자료, 토지이용, 도로 네트워크 자료 등을 획득해 실증분석의 입력데이터로 활용하고, 향후 모형개발을 위한 국내 자료의 문제점, 처리방안 및 개선방안을 도출하였다.

다음으로 해외 개발사례 조사와 분야별 외부전문가를 적극 활용하였다. 해외의 활동기반 시뮬레이션 모형을 개발, 적용하고 있는 대학(미국 UCSB와 벨기에 Hasselt 대학)과 관계 기관들을 방문하여 모형개발 및 적용에 있어 고려사항 등을 심층 조사하였다. 또한 국내 교통계획모형의 전문가 그룹을 중심으로 자문 목적 라운드테이블을 구축하고, 세부 이론 검토 및 정책방향 제시와 관련한 협력연구(원고청탁 등)를 통해 해당 분야 연구의 전문성을 제고하였다.

관학연 연구협의회 개최 및 현장 연구를 수행하였다. 정책수요자인 정부 관계기관과 지방자치단체 연구원들과의 연구협의회를 개최하여 실효성 있는 정책대안 발굴과 현장연구 수행을 통해 연구 성과의 정책 활용성 및 적시성을 극대화 하고자 하였다.

국내 및 국제 세미나를 개최하였다. 관련 전문가 대상 국내 및 국제 세미나를 각 1회씩 개최하여 연구결과 홍보를 통한 정책 실현 가능성 확대에 노력하였다.

특히, 국제 세미나는 8월 6일 개최하였는데 “활동기반 시뮬레이션 모형의 정책평가 사례 및 방법론”을 주제로 미국(UCSB 대학의 Konstadinos Goulias 교수, Southern California 정부의 Dr. Simon Choi), 벨기에(하셀트 대학의 Tom Bellemans 교수와 Cho Sungjin) 등 해외 전문가들이 참가하였다.

4. 본 연구의 기대효과

먼저 정책적 측면에서 본 연구는, 첫째 저성장시대, 저출산과 고령화에 따른 인구구조 변화 등 인구, 경제, 사회 변화에 따른 단기, 중기, 장기 교통수요변화를 예측함으로써 정책 시나리오에 따른 교통기반시설의 신규투자 및 운영을 위한 정책지원에 기여할 수 있다. 둘째 교통정책의 패러다임이 기반시설의 ‘양적확대’에서 ‘질적개선’으로 전환됨에 따른 단중기 교통수요 영향을 미시적으로 평가함으로써 계층별, 지역별 맞춤형 교통정책 수립과 체계적 정책시행 지원이 가능하다. 셋째, 친환경·생활복지, 사회적 형평성 문제가 강조되는 시점에서 활동기반 접근방법론은 기존 통행기반 접근방법론에 비해 새로운 평가지표(접근성, QOL, Social Equity Index 등) 산출에 효과적이며, 이를 기반으로 신정부 주요 국정비전(국민행복) 평가에 활용가능하다.

학술적 측면에서 본 연구는, 기존 통행기반 4단계 모형에 대처하는 활동기반의 새로운 분석모형을 제시함으로써 학술적으로 기여하고 관련 후속 연구 기회를 제공한다. 특히 활동의 종류와 목적, 활동시간, 교통수단, 활동기간, 통행사슬 등 다차원 의사결정과정의 모형화 방법론을 제시한다. 둘째 개인과 집단의 의사결정과정 모형화에 기여한다. 또한 시공간 제약을 고려한 모형화가 가능한데, 개인의 활동패턴을 시공간적(예, 환승, 대중교통운영시간, 상점운영시간 등) 제약을 반영하여 모형화한다. 끝으로 지금까지 국내에서 단편적으로 연구되어 온 활동기반 접근방법론을 이용한 미시적 시뮬레이션 모형구축을 시도한다.

chapter 2

새로운 교통계획모형의 필요성

새로운 교통계획모형의 필요성

본 장에서는 우리나라 교통정책의 여건변화를 사회적 변화와 정책 패러다임 변화 관점에서 살펴보고 기존 모형의 한계와 새로운 교통계획모형의 필요성을 제시하였다. 또한 교통정책의 실효성 측면에서 교통계획모형이 갖추어야 할 요건을 제시하고, 기존 대표적인 교통계획모형인 통행기반의 4단계 접근방법론에 대해 이론적 측면과 정책적 측면에서 한계가 있음을 제시하였다. 끝으로 해외 주요 선진국들이 교통정책 실효성 제고를 위해 어떠한 정책적 노력을 하고 있는지 간략하게 살펴본다.

1. 교통정책의 여건 변화

1) 사회적 여건 변화

우리나라는 교통정책 수립에 영향을 주는 다양한 인구, 경제, 사회적 여건들이 변화하고 있다. 낮은 출산율과 고령화에 따른 인구구조변화, 여성의 사회진출 확대, 가구소득증대에 따른 여가수요 증대, 정보통신기술 발달에 따른 활동의 대체(인터넷 쇼핑 등)와 재택근무 등은 장래 교통수요변화에 많은 영향을 줄 것이다.

통계청(2010)의 장래인구추계 현황을 바탕으로 인구구조 변화를 살펴보면 낮은 출산율과 고령화 현상이 진전되고 있음을 알 수 있다. 유소년인구(0-14세) 비율은 2006년 18.3%에서 2016년 13.6%로 약 4.7% 감소되는 반면, 고령인구(65세 이상) 비율은 2006년 9.5%에서 2016년 13.5%로 약 4.0% 증가하고 향후 지속적인 증가로

2060년에는 40.1%를 차지할 것으로 예측되고 있다(통계청, 2010)〈그림 2-1〉.

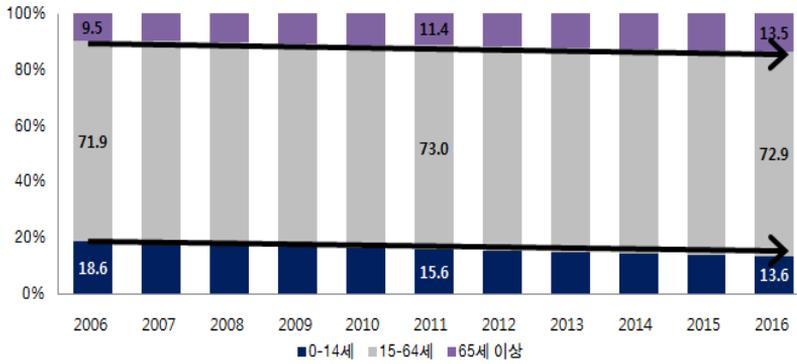
고령자들의 사회활동도 지속적으로 증가하고 있는데 이에 따라 해당 계층의 교통수요 또한 증가하고 있다. 수도권 가구통행실태조사 자료(수도권교통본부, 2010)를 바탕으로 경기도 고령자들의 목적별 교통수요 변화를 살펴보면 2006년 0.9(통행/인)에서 2010년 1.31(통행/인)으로 약 42.4% 증가하고 특히 활발한 사회활동으로 출근목적 통행의 증가율이 높음을 알 수 있다〈그림 2-2〉.

여성의 사회활동 증가도 지속적으로 증가되고 있는데 여성의 경제활동 참가율은 90년대 이후 꾸준히 증가(1990년:47.0%→2010년:49.2%) 추세이다(송유미·이제상, 2011). 여성의 사회경제 활동과 함께 통행발생량도 증가하고 있는데 수도권 가구통행 실태조사 자료(수도권교통본부, 2010)를 바탕으로 경기도 여성의 총 목적통행 발생비율 변화를 살펴보면 2006년 1.64(통행/인)에서 2010년 1.89(통행/인)으로 0.25(통행/인), 약 15.2% 만큼 증가하였다〈그림 2-3〉.

정보통신기술 발달은 시민들의 통행행태에도 많은 변화를 가져오고 있다. 이백진 외(2012)는 정보통신기기 활용은 통행빈도를 증가시키는 보완(상승)효과로 교통수요 증가에 기여하거나 대체효과로 교통수요의 감소를 촉진 할 수 있음을 논증하였다. 예를 들면 인터넷 이용은 교제활동과 통행발생을 감소시키는 효과가 존재하고 전화통화는 교제활동과 통행발생을 증가시키는 효과가 있었다(이백진 외, 2012)〈그림 2-4〉.

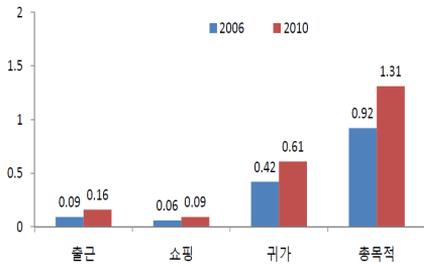
교통정책의 실효성 측면에서 인구, 경제, 사회적 여건변화에 따른 중장기 교통수요의 변화에 등에 대한 예측은 매우 중요하다. 예를 들면 고령인구 및 단독가구 증가에 따른 교통수요변화, 여성의 사회진출 확대에 따른 다목적(multipurpose) 통행 증가, 가구소득증대에 따른 여가통행 증가, 사회발전에 따라 다양화되는 교통수요의 시공간적 배분 등이다. 그러나 통행기반 4단계 접근방법과 같은 기존 교통계획 모형으로는 사회적 변화에 효과적으로 대응한 교통수요 예측에는 한계가 존재한다. 즉 인구, 사회, 경제적 여건변화는 교통부문에 다양하고 복합적인 변화를 초래하나 이를 반영한 중장기 교통수요 변화를 계량적으로 예측 가능한 교통계획모형이 아직까지 부재한 실정이다.

<그림 2-1> 인구 구성비 변화(2006~2016)

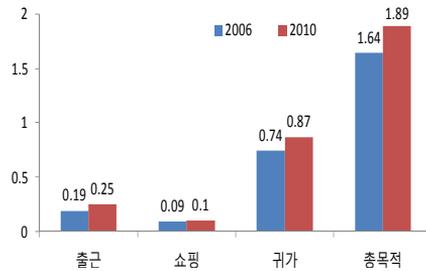


(자료: 국가통계포털, <http://kosis.kr>)

<그림 2-2> 고령자 목적통행 발생 원단위

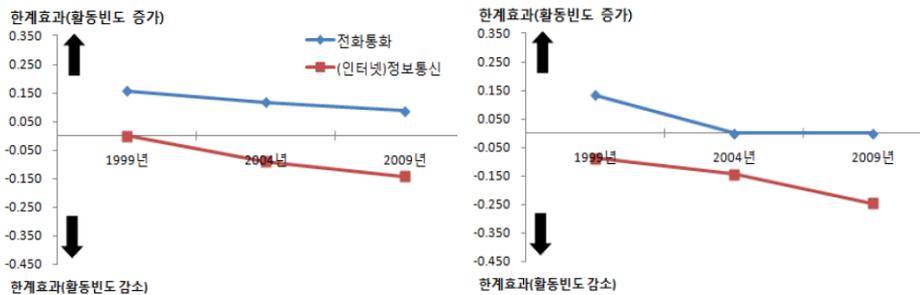


<그림 2-3> 여성 목적통행 발생 원단위



(자료: 수도권교통본부, 2012)

<그림 2-4> 정보통신기기 이용유무에 따른 활동발생 비율(좌: 교제활동, 우: 통행)



(자료: 이백진 외, 2012)

2) 교통정책의 패러다임 변화

우리나라 교통정책에도 패러다임 변화가 일어나고 있다. 즉 교통정책이 과거 경제성장 지원을 위한 ‘양적확대’에서 최근 친환경·생활교통 중심의 ‘질적개선’으로 전환되고 있는 것이다. 본 연구에서는 기존 관련 문헌 검토를 바탕으로 우리나라 교통정책의 변화를 3단계로 구분하여 정리하였다(강영옥·박수홍, 2000; 김수철, 2004; 국토해양부, 2011^a; 국토해양부, 2011^b; 국토해양부, 2012)〈그림 2-5〉.

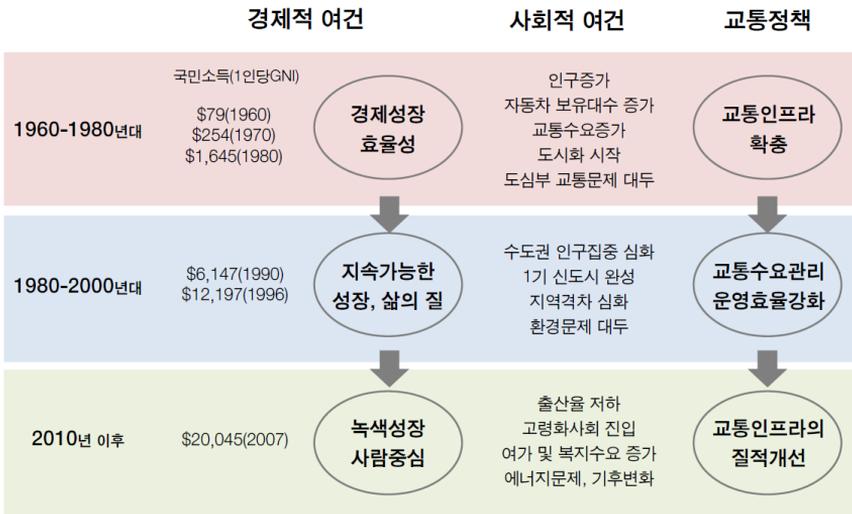
1단계(1960년~1980년대)의 교통정책은 경제성장과 효율성을 중시하는 사회·경제적 여건과 급격히 증가하는 교통수요에 대응하기 위한 기반시설 구축 및 확충에 집중하였다.

2단계(1990년~2000년대)의 교통정책은 고도성장과 자동차 시대의 교통수요증가에 대응하기 위한 기반시설 연계 및 확충에 집중하였다. 특히 본격적 자동차 시대에 따라 도시권에서는 도시환경문제 완화, 수도권 인구집중 완화 등을 위한 교통수요관리(TDM)과 광역교통연계체계 정비가 시작되었다.

끝으로 3단계(2010년~최근)의 교통정책은 고도성장에서 저성장, 낮은 출산율과 고령화, 일상생활 환경의 개선 등에 대응하기 위한 친환경·생활복지강조, 교통의 형평성, 생활밀착형 서비스 제공, 녹색교통수단(보행·자전거·전기자동차 등) 이용확대에 집중되고 있다.

교통정책의 실효성 측면에서 정책 패러다임이 기반시설의 ‘양적확대’ 중심에서 개인의 활동에 영향을 미치는 ‘질적개선’ 중심으로 전환됨에 따라, 교통정책 수행에 따른 단기 및 중기의 교통수요 변화를 정교하게 예측할 수 있어야 한다. 더불어 다양한 교통정책이 이용자 계층별, 지역별 어떠한 차별적 영향이 있는지 등에 대한 평가도 가능하여야 한다. 그러나 통행기반 4단계 접근방법과 같은 기존 교통계획 모형으로는 이러한 교통정책 패러다임 변화에 대응한 정책평가에는 한계가 있다.

<그림 2-5> 사회 및 경제적 여건변화에 따른 교통정책 변화



2. 교통정책의 실효성 제고를 위한 교통계획모형²⁾

1) 교통계획모형의 역할과 요건

교통정책 실효성 제고를 위한 교통계획모형의 역할은 무엇인가를 우선적으로 살펴본다. 교통정책은 인간의 사회·경제 활동에 필연적으로 수반되는 이동에 따른 교통 혼잡, 도시환경, 사회적 배제 등의 교통문제들을 해결하기 위한 것으로, 이러한 교통문제들은 교통주체 하나하나의 의사결정의 산물이다(조창현, 2007). 즉 교통정책의 실효성 제고를 위한 교통계획은 교통주체 개인들의 교통 관련 의사결정을 규정하는 개인과 사회와의 관계에 대한 이해가 선행되어야 하며, 교통계획 모형은 이러한 의사결정구조를 모형에 반영할 수 있어야 한다. 예를 들면 대표적인 교통문제인 교통정체는 특정 교통수요(예, 평상시 출퇴근 통행, 휴가철 여가통행)의 시공간적 집중에 의해 발생하며 이는 교통관련 의사결정에 영향을 주는 개인과 사회와의

2) 이 장은 원고의뢰(조창현, 경희대학교) 내용을 요약 제시한 것임

영향관계(예, 학생들의 보습학원 방학기간과 휴가철 여가통행에 의한 도로혼잡 발생 기간)을 고려함으로써 보다 정확히 이해될 수 있다.

그러면 교통정책 실효성 제고를 위해 교통계획 모형이 갖추어야 할 요구조건은 무엇인가. 대표적인 요구조건으로 3가지를 들 수 있는데 수요예측의 정확성, 다양한 정책변수의 평가 가능성, 모형 사용의 편리성 이다.

먼저, 수요예측의 정확성은 교통계획 모형의 핵심 기능으로 특정 시간대에 특정 공간에 분포되는 특정 통행의 특성을 정확히 인지하고 예측하는 것이다. 교통계획 모형의 수요예측 정확성(또는 수요발생 원인에 대한 설명력)을 향상시키기 위해서는 단순히 통행 자체만이 아닌 통행이 갖는 사회적 성격(즉 활동)을 보다 명확히 이해하고 모형에 반영할 수 있어야 한다.

다양한 정책변수의 평가 가능성은, 신규 도로나 교통수단 도입 등 교통시설 또는 서비스 공급에 따른 교통수요의 변화를 예측해 내는 것뿐만 아니라, 사회제도적 측면의 교통정책 실행에 따른 교통수요의 변화 역시 예측 가능해야 함을 의미한다. 대표적인 교통정책인 교통수요관리(TDM: Travel Demand Management) 혹은 이동성관리(MM: Mobility Management)는 교통시설 공급이 아닌 사회제도를 통해 교통수요 변화를 유도하는 정책으로 이용자들이 해당 정책에 어떻게 반응할 것인가를 명확히 함으로서 정책의 실효성을 높일 수 있으며, 교통계획 모형은 이러한 반응을 인지하고 예측 할 수 있어야 한다.

끝으로 모형 사용의 편리성은, 복잡한 이론을 바탕으로 개발된 교통계획 모형을 계획을 수립하는 실무자들이 현실적인 문제에 적절하게 대처하고 지향하는 정책목표를 이룰 수 있도록 유연하고 쉽게 활용될 수 있어야 한다는 것이다.

2) 기존 교통계획모형의 한계

□ 이론적 측면의 한계

우선 이론적 측면에서 기존 교통계획모형의 한계를 살펴보자. 지금까지 대표적인 교통계획모형은 통행기반의 4단계 접근법으로 해당 모형이 갖는 특성은 다음 세

가지이다. 첫째 교통계획 수요예측(OD, 링크별 통행량 및 통행속도 등)은 ‘통행발생-통행배분-수단선택-노선배정’의 연쇄 모듈 구조를 갖는다. 둘째, 개별 통행(trip)을 분석 단위로 한다. 셋째, 통행발생의 주체를 존(zone)으로 하는데 이는 존을 기반으로 한 통행발생 모듈의 출력 값이 통행배분 모듈의 입력 값으로 활용되기 때문이다.

이러한 이론적 배경을 가지고 있는 기존 4단계 교통계획 모형의 한계는 다음과 같다. 첫째, 통행발생에서 노선배정까지 모형의 연쇄 모듈 구조는 전 단계의 결과가 다음 단계의 입력 값으로 활용되는 순차적 구조로, 전 단계의 오차가 다음 단계로 누적되는 한계가 있다. 특히 통행발생 모듈은 가장 취약한 모듈로서, 주로 사회경제적, 지리적, 교통 환경 변수들을 이용한 회귀 모형으로 통행발생을 예측하는데 개인의 의사결정과정을 배제하여 정확성이 떨어지며, 특히 미래 사회의 변화하는 교통 여건을 포괄하는 통행발생 예측에는 한계가 있다.

둘째, 통행발생부터 노선배정까지 각각의 모듈들이 서로 다른 원리로 구성되어 있어 이론적 일관성이 결여된다. 통행발생은 존 기반의 회귀 모형, 통행배분은 존 기반 중력모형, 수단선택은 개인 기반 확률이론, 노선배정은 최적화 기법이 주로 활용되는데 각 모듈별로 다른 행동원리들이 적용됨에 따라 논리적 일관성과 현실성이 결여된다.

셋째, 개별 통행을 독립적으로 취급함으로써 통행 간 연쇄적인 영향관계를 고려하지 않는 한계가 있다. 특히 토지의 복합적·고밀도 이용에 따라 갈수록 복잡해지는 생활환경으로 다(多)목적, 다(多)수단 통행이 증가하고 통행과 통행과의 영향관계가 증가하는 시점에서 개별 통행단위의 분석 프레임은 수요예측에 한계가 있다.

넷째, 통행은 활동에 따라 파생적으로 발생하기 때문에 통행 자체만을 분석대상으로 하여 최적화하는 모형 구조는 주-종이 바뀌는 근본적인 논리적 결함이 있다.

다섯째, 존 기반 교통계획 모형은 사회변화, 접근성 변화 등 교통 여건 변화에 따라 개인들의 반응을 반영할 수 있는 구조가 결여되어 있다. 즉 존별 사회경제적 특성, 지리적 조건, 교통 환경 변수들을 이용한 모형 구조로는 사회변화의 결과로서 일상이 변화하고 이에 따른 통행의 변화를 설명하기에는 한계가 있다.

여섯째, 교통정책이 교통 행동에 미치는 직접적인 영향 이외에 2차, 3차로 발생하는

간접적인 영향을 모형에 수용하는데 한계가 있다. 예를 들면, 한 통행에 관련 교통 서비스 수준 개선이 다른 연쇄적인 통행들에 미치는 영향, 가구 내 다른 구성원들의 통행에 미치는 영향, 정책변수들이 특정 개인 및 가구의 통행에 미치는 영향 등에 대한 평가가 곤란하다.

□ 정책적 측면의 한계

교통정책의 실효성 측면에서 기존 4단계 교통계획 모형은 수요예측의 정확성과 다양한 정책변수의 평가 가능성 측면에서 한계가 존재한다. 먼저 수요예측의 정확성은, 최근 교통시설물 확충 등 양적성장 중심의 교통정책에서 TDM 또는 MM과 같은 관리중심의 교통정책으로 전환되는 시점에서 교통 수요예측의 정확성에 근본적인 한계가 있다. 즉 관리중심의 교통정책은 직접적인 수요변화 외에도 다른 부문에까지 연쇄적으로 이끌어내는 수요 변화의 영향이 크며 이는 통행과 통행간의 영향관계 분석을 통해 예측가능하나, 단일통행만을 고려하는 4단계 접근법에서는 이러한 연쇄적 수요변화를 반영할 수 없는 한계가 있다. 예를 들면, 운전면허를 소유한 개인이 오전에 대중교통을 이용해 출근하였다면 퇴근 때 자가용 이용은 선택대안에서 제외되어야 한다.

둘째 다양한 정책변수의 평가 가능성은, 관리중심의 교통정책을 효과적으로 평가하기 위해서는 해당 정책에 의한 직접영향과 함께 이에 따른 2차, 3차적으로 발생하는 통행이 총량적으로 매우 큰 비중을 차지하며 이를 평가할 수 있는 구조가 부재한다. 예를 들면, 재택근무제 실시에 따른 통행수요 변화를 기존 4단계 접근법은 출퇴근 통행발생 감소 정도를 예측하나, 재택근무로 인해 집에서 쉬게 된 차를 이용해 주부가 쇼핑 등의 다른 목적통행으로 이용이 가능한데 이러한 가구구성간의 집단 의사결정과정에 대한 고려가 불가능하다.

3) 교통정책 실효성 제고를 위한 새로운 교통계획모형의 필요성

지금까지 우리나라에 적용되어 왔던 대표적인 교통계획모형인 통행기반의 4단계

접근법의 한계를 살펴보았다. 그러면 교통정책 실효성 제고를 위한 새로운 교통계획모형은 어떠해야 하는가.

교통시설물의 양적확대를 위한 교통정책에서 통행수요관리, 교통복지, 재택근무, 삶의 질 등 교통관리와 교통시설물의 질적 개선을 위한 교통정책들의 중요성이 강조되고 있다. 이러한 시점에서 정책의 실효성 제고를 지원하기 위한 교통계획모형은 사회적 여건 하에 파생적으로 발생하는 통행특성과 발생구조를 효과적으로 반영할 수 있어야 한다. 이를 위해 새로운 교통계획모형은 다음을 고려할 수 있어야 한다.

첫째, 통행발생 단계에서 통행발생 주체를 기존 존(Zone) 단위에서 개개인으로 전환하여 분석할 수 있어야 한다. 둘째, 분석단위를 개별 통행이 아닌 통행과 통행들 간의 관계에 두고 상호 연관된 통행들의 영향관계를 반영할 수 있어야 한다. 셋째, 통행발생의 정확한 수요예측뿐 아니라 구체적으로 어떤 원인과 경로로 발생되었는지를 설명할 수 있어야 한다. 즉 기존 4단계 접근방법론은 개인의 의사결정과정을 블랙박스로 놓은 이론 구조로 통행발생의 원인을 설명하기 어려운 구조이다. 넷째, 통행발생을 하루 동안 개인이 행한 총 활동의 일부로 인식하고 개인의 특성(사회경제적 특성, 가구의사결정 구조, 주변 환경 등)에 따른 통행 의사결정행동을 분석할 수 있어야 한다.

3. 교통정책의 실효성 제고를 위한 주요 선진국 동향

최근 주요 선진국들은 교통정책의 실효성 제고를 위해 다양한 노력을 하고 있으나 본고에서는 교통계획의 패러다임 변화와 어떠한 지표들이 새롭게 적용되고 있는지를 중심으로 살펴본다. 최근 주요 선진국의 교통정책 목표는 혼잡완화, 도시환경 보호, 이용자들의 접근성 향상 등이 있으며 각 정책들의 개별적 시행보다는 이들 전략을 상호 연계한 종합적 교통정책들을 추진 중이다(Strader, 2012).

미 연방도로청의 수요관리 통합 가이드라인에서는, 교통정책의 실효성 증대를 위해 ‘토지이용과 교통 프로그램 통합’ 필요성 강조하고, 또한 기존 출퇴근 통행 중심에서 생활중심(New-travel market: 학교, 레저, 병원, 대학, 특별 이벤트 등)

분야로 TDM의 개념을 확장하고 있다 (Schreffler et al., 2012). 또한 도시의 지속가능성과 살기 좋은 도시 만들기 지원을 위해 교통계획 과정에 건강과 거주적합성 등을 병행하여 고려하도록 하고 있다(US DOT, 2012). 예를 들면 미국 캘리포니아 주 패서디나(Pasadena)시의 'PacScore' 프로그램은 보행과 자전거 친화적 도시건설을 위한 것으로, 사업의 효과평가는 토지이용, 커뮤니티, 다수단 교통시스템의 상호 관련성을 반영할 수 있는 새로운 평가지표(접근성, 지속가능성, 거주 적합성(livability))를 적용하고 있다(Dock et al., 2012).

캐나다 토론토의 'Mobility Hub' 프로그램은 철도역 반경 800m내 지역을 교통과 사람소통의 중심지로 만드는 도시계획으로 이를 위해 토지이용과 교통계획의 효율적 연계, 다양한 교통수단간의 연계를 주요 지표로 활용하고 있다(Engel-Yan and Leonard, 2012; Metrolinx, 2011). 또한 전통적인 교통의 이동성(Mobility) 중심에서 도시의 일상생활에서 요구되는 다양한 활동을 보장할 수 있는 접근성(Accessibility)을 강화하는 정책들을 추진 중인데, 이동성이 주로 교통시설의 공급측면에서 도로 확장을 통한 이동개선과 서비스 수준 향상을 의미하는 반면, 접근성은 사람들의 활동을 연결하는 것으로 통행 그 자체가 아닌 일상 활동, 주변 토지이용과 교통을 병행하고 있다 (Metrolinx, 2008). 유럽연합의 도시 모빌리티 실천계획은 도시 모빌리티 최적화를 위해 교통뿐만 아니라 토지이용, 건강, 환경정책들을 효과적으로 통합 필요성을 강조하고 있다(Engel-Yan and Leonard, 2012).

이와 같이 주요 선진국들은 토지이용과 교통의 통합, 이동성 보다는 접근성, 일상 활동의 파생수요로서 통행 인식, 교통뿐만 아니라 건강, 환경 등의 종합적 교통정책 필요성 강조하고 있으며, 새로운 교통계획모형은 이러한 정책적 필요성을 지원할 수 있어야 한다.

chapter 3

활동기반 모형의 이론과 적용사례

활동기반 모형의 이론과 적용사례

본 장에서는 활동기반 모형의 일반적인 이론과 적용사례에 관하여 고찰하였다. 먼저, 일반적인 교통계획모형에 대해 설명하고, 활동기반 모형의 기본적 특성, 실제 활동모형 적용에 있어 지적되는 한계 등에 대해 기술하였다. 또한 활동기반 모형을 이용한 해외 사례와 구체적인 모형개발 사례를 고찰 하였다. 본 장에서 검토한 활동기반 모형의 이론과 적용사례 결과는 한국형 활동기반 시뮬레이션 모형개발을 위한 시사점을 도출하는데 활용된다.

1. 활동기반 모형의 이론

1) 개발 배경

활동기반 모형은 통행을 활동의 파생수요로서 간주하고, 개인의 일일활동에서 교통행태의 본질을 규명하여 정책에 이용하고자 하는 접근방법론으로 1970년대 교통부문에 소개되어 1990년대부터 관심이 집중되어오고 있다. 기존 교통계획모형에서 주로 적용되어온 4단계모형(Four-step Model)과 집계모형(Aggregate Model)의 한계를 극복하기 위해 1970년대 유럽에서 시공간지리학(Time-Space Geography)학파에 의해 소개되었다. 특히 1990년대 교통수요관리(Transportation Demand Management, TDM)에 대한 관심이 높아지면서 통행수요에 대한 보다 근원적인 이해 필요성이 부각되어 활동기반 모형에 대한 관심이 높아졌다. 즉, 교통정책의 흐름이 시스템 공학적 접근방식에서 인간행동의 근본적인 이해를 근거로 한 교통수요

관리 중심으로 변화되어, 연구의 방향도 교통과 통행에 관련하여 “어떻게” 행동하는가 하는 기존의 방향에서 “왜” 그렇게 행동하는가 하는 원인분석(Causality)에 관심이 집중된 것이다.

2) 교통계획모형의 종류

교통계획모형의 종류는 종래 4단계 모형의 기본이 되는 통행기반 모형(Trip-based model), 가정기반 통행모형(Tour-based model), 활동기반 모형(Activity-based model)로 구분할 수 있다(McNally, 2000; Bowman and Ben-Akiva, 1997).

먼저 통행기반 모형은 1970년부터 1980년대에 주로 개발된 모형으로 4단계모형의 기본 형태로 활동계획을 트립(Trip)³⁾ 단위로 구분하며, 주로 접근성 변수(시간, 비용)를 이용해 계량경제의 효용최대화 이론에 기초한 방법론이다(원제무, 1995). 부분적으로 통행의 시간과 공간제약, 가구구성원들 사이의 상호인과관계를 반영하기도 하나, 개별 트립들을 구분하여 모형화 하기 때문에 완전한 형태의 시간과 공간제약, 트립과 트립간의 상호관계 등을 반영할 수 없으며, 또한 활동의 체제시간과 활동 시간대에 대한 모형화는 불가능하다.

가정기반 통행모형은 1980년대부터 1990년대에 주로 개발된 모형으로 활동계획을 가정기반으로 출발하고 돌아오는 트립들을 한 통행으로 구분하여 분석함으로써 트립과 트립간의 상호관계 등을 효과적으로 모형화 한다. 그러나 가정기반 통행이 하루 2번 이상 발생하는 경우 통행과 통행간의 상호관계 등을 반영하는 것이 불가능하다는 단점이 있다. 즉 통행간의 시간과 공간제약을 반영할 수 없다.

활동기반 모형은 1990년대부터 본격적인 연구가 시작되었다(Arentze and Timmermans, 2004). 1997년 이후 적용사례가 증가하고 있으며, 하루의 전체 활동을 재현하는 것으로 가장 현실을 반영하고 있으나 데이터 수집, 모형 계산의 노력 등이 필요하다는 문제점이 지적된다. 이상의 비교는 <표 3-1>로 요약할 수 있다.

3) 통행은 실제 트립(trip)과 복수의 트립으로 구성되는 투어(tour)로 구분되는데 국내에서는 모두 ‘통행’으로 번역하여 사용됨

국내의 경우 교통정책 수립과 평가를 위한 교통계획 모형은 통행기반모형인 4단계 모형을 기반으로 하고 있으며, 이는 실제 분석을 위한 모형화의 단순성과 계산의 편의성에 기인한다. 특히, 4단계 모형에 비해 활동기반 모형을 적용한 경우에도 모형의 재현성 측면에서는 큰 차이가 없는 경우가 있으며 이에 따라 모형의 단순성과 계산 편의성을 이유로 4단계 모형을 선호하는 경우가 많다. 그러나 최근 컴퓨터 계산능력 향상으로 비교적 복잡하고 장시간의 계산노력에 대한 장애가 해소되고, 모형의 재현성은 비슷하나 설명적 측면에서 매우 뛰어난 활동기반 모형의 적용사례가 선진국에서 증가하고 있어 국내에서도 보다 현실적인 모형 구현을 위한 노력이 필요할 것이다.

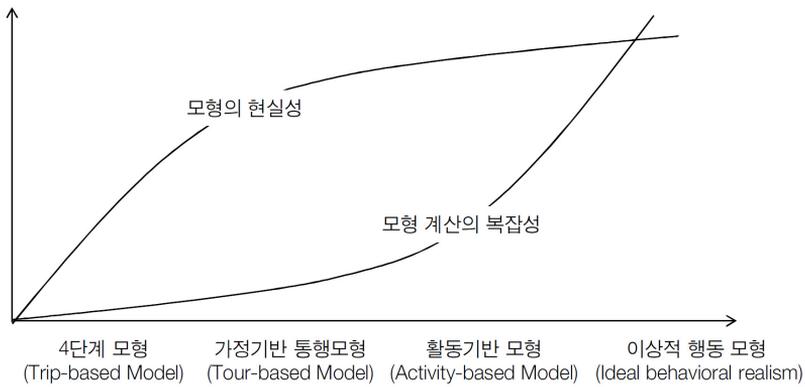
<표 3-1> 교통계획모형의 종류

구분	교통수요 분석의 단위	비고
실제 활동계획		
통행기반모형 (Trip-based model)		<ul style="list-style-type: none"> ·트립의 시간특성 미고려 ·트립과 트립간의 상호 시간적·공간적 제약 미고려
가정기반통행모형 (Tour-based model)		<ul style="list-style-type: none"> ·통행과 통행간의 상호 시간적·공간적 제약 미고려
활동기반모형 (Activity-based model)		<ul style="list-style-type: none"> ·가장 현실성이 높은 모형이나 계산 노력 필요

주) H=가정, W=업무, PB=사적업무, O=기타, S=쇼핑

(자료: Bowman and Ben-Akiva, 1997)

<그림 3-1> 활동계획 분석모형의 현실 재현성과 계산의 복잡성



(자료: Belleman and Cho, 2013; Michael and Eric, 2001)

3) 활동기반 모형의 특성

기존 교통계획 모형들은 특정시점에서 특정장소의 통행량 자료를 수집하여 통행수요를 분석함으로써, 통행이 유발된 원인과 시간대별로 변화하는 통행특성을 고려하는데는 한계가 있다. 따라서 개인들 사이의 특성이 무시되거나 통행자의 속성이 통행수요에 미치는 영향 등을 충분히 고려할 수 없다. 반면 활동기반 모형은 통행을 일상활동의 파생수요로서 간주하고 개인의 일상활동 전체를 모형화하기 때문에 분석을 위한 의사결정 단위, 시공간, 분석변수들의 활용측면에서 기존 교통계획모형과는 차별화 된다고 할 수 있다(Arentze and Timmermans, 2004).

활동기반 모형의 분석을 위한 의사결정단위는 개인보다는 가구를 다양한 일상활동의 계획을 수행하는 주체로 간주하여, 통행행위를 관련 활동의 성격, 가구의 욕구, 교통체계 특징과 정책, 시간과 비용 등의 제약조건으로 분석한다. 분석을 위한 시간단위를 기존 특정일 또는 특정 시간대 관측 통행량에서 연속적(즉, 하루, 일주일 단위)으로 측정된 관측 자료를 이용하고, 통행자의 일상활동계획(Activity Planning) 전체에 대해 모형화를 시도 한다(Bowman and Ben-Akiva, 1997).

분석 대상인 통행행위를 출발지와 도착지를 이동하는 연결시키는 하나의 동질적인 행위로 보는 종전의 관점에서 통행을 의무 통행, 자유 통행, 유지관리 통행 등으로

구분함으로써 경제적 요인뿐만 아니라 통행의 다양한 제약요건을 반영 할 수 있다. 분석을 위한 주요 변수들은 기존 시간과 비용 변수들을 포함하고, 새로운 변수로서 인간의 생활주기(예, 특정 장소에서의 체재시간, 일주일 동안의 총 통행횟수, 특정통행 중 발생한 정지횟수 등) 등을 반영할 수 있다.

<표 3-2>는 이상의 활동기반 모형의 특성과 분석 가능한 교통정책의 요약이다.

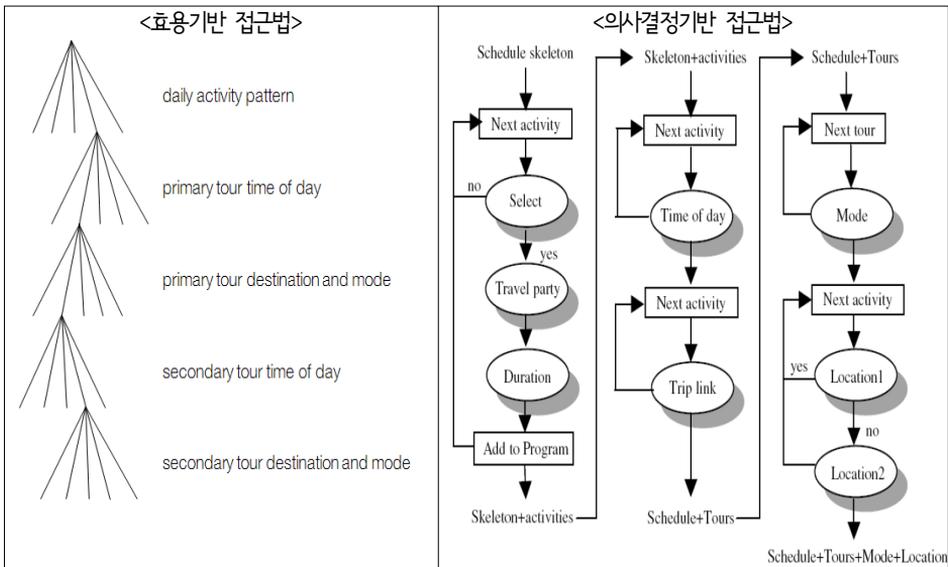
<표 3-2> 활동기반 모형의 특성

구분	4단계 모형 대비 차이점	교통정책 분석의 적용 (예시)
의사결정단위	-개인보다는 가구	-Car sharing 효과분석 -자가용 이용 억제정책(TDM) -여성사회 진출, 고령화 등에 따른 중장기 교통 수요 예측 등
시간단위	-연속적(즉, 하루, 일주일 단위)으로 측정된 관측 자료로 24시간 통행변화 예측	-비첨두시간 도로혼잡 분석 -교통의 환경영향 정교 예측 등
통행구분	-통행을 출발지→도착지 이동의 동질적인 행위로 보지않고, 의무/자유/유지관리 통행 등으로 분류	-유류비에 대한 자가용 이용의 비탄력성 평가 등
주요 변수	-기존 시간과 비용 변수 포함 새로운 변수로서 생활 주기(예, 체재시간, 정지횟수 등) 반영	-교통접근성 평가(환승 등) -교통의 형평성 평가 -IT기술발전의 교통영향평가 등

4) 활동기반 모형의 모형화 방법론

교통부문에서 활동기반 모형의 모형화 방법론은 크게 효용기반 접근법과 의사결정기반 접근법으로 구분될 수 있다(Bowman and Ben-Akiva, 1997; 조창현, 2007). 먼저 효용기반 접근법은 계량경제학적 접근방법론으로서 효용이론(utility theory)에 기반하고, 분석모형은 의사결정 단계별 다양한 선행방정식을 가정한 모형(예: logit model, nested logit model 등)을 적용한다. 반면 의사결정기반 접근법은 개인의 의사결정에 대한 심리학적 접근방법론으로 다양한 의사결정규칙(rule-based algorithm)들을 도출함으로써 복잡하고 비선형적인 의사결정과정을 현실적으로 재현하고자 한다<그림 3-2>. 대표적 효용기반 시뮬레이션 기법은 미국에서 개발된 ‘SimAGENT’이고, 의사결정기반 시뮬레이션 기법은 벨기에에서 개발된 ‘FEATHERS’ 모형이다. 이 연구는 효용기반 접근법과 의사결정기반 접근법에 기초한 각각의 모형에 대한 실증분석을 통해 각 모형의 장단점을 분석하고 우리 실정에 적합한 모형을 선택한다.

<그림 3-2> 활동기반 모형의 모형화 방법론



(자료: Arentze and Timmermans, 2004, Ben-Akiva and Bowman, 1997)

5) 활동기반 모형의 적용성에 관한 논의

교통계획 측면에서 활동기반 접근방법론의 장점에도 불구하고 실제 현장 적용에는 다양한 제약요인과 논란이 존재한다. 이 장에서는 활동기반 모형의 적용성에 관한 한계를 이론적 측면, 데이터 측면, 모형화 측면에서 살펴본다.⁴⁾ 그러나 이 장에서 지적하는 모형의 문제점은 본 연구에서 모든 해법을 제시하기에는 한계가 있으며 관련 학술적 연구들이 국내외에서 수행되고 있어 지속적인 검토와 수정이 필요하다.

(1) 이론적 측면의 한계

활동기반 모형에서 제기되고 있는 다양한 특성을 반영한 구체적인 모형의 이론적 근거가 충분히 정립되지 않았다(McNally, 2000). 첫째 활동에 관한 시간과 공간관의 연계성은 기존 통행기반이나 가정기반모형에 비해 명확하나 이를 개인별로 모형화하는 데는 한계가 존재한다. 둘째, 일일 활동과 영향요인들이 동시에 고려된 모형(integrated)이 필요하나 순차적(sequential) 모형이 대부분으로 활동모형의 기본개념과 불일치하는 문제가 있다. 끝으로 지금까지 활동모형 관련 대부분의 연구가 상대적으로 이론적 측면만이 강조된 한계가 있고, 미시적 시뮬레이션 모형이 장래예측이나 정책분석과 같은 실무적 측면에서 적용가능한지에 대한 이슈가 남아있다.

(2) 데이터 측면의 한계

활동기반 모형의 적용성 측면에서 중요한 이슈는 데이터 측면의 한계이다. 먼저 활동일지조사(Activity Diary Survey)의 어려움이다. 통행실태조사(Trip Diary survey)는 조사표 작성이 간편하고 작성시간이 적게 소요되어 응답률이 높은 것으로 평가된다. 반면에 통행의 정의가 다소 불분명하여 단거리, 비동력수단, 비가정기반 통행에 대해 과소응답을 보이고 교통수요관리 같은 교통정책 분석에 이용되는 세부적 통행행태를 조사하는 데는 한계가 지적되고 있다(Stopher, 1992). 활동일지조사는 사람의 통행은 물론 무엇을 하는지 등의 사람행태에 관한 정보를 얻을 수 있어

4) 이 장은 원고의뢰(추상호, 홍익대학교) 내용을 요약 제시한 것임

단거리 및 비가정기반 통행에 대한 과소응답을 상대적으로 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 교통정책의 효과를 분석할 수 있는 행동기반모형의 자료를 제공할 수 있다. 반면 응답자들에게 많은 양의 정보를 얻어야 하므로 통행실태조사보다 복잡한 형태의 조사를 요구하며 이로 인해 상대적으로 응답률이 저조하다는 단점이 있다.

다음으로 활동일지조사의 기본 단위인 활동의 종류에 대한 정의가 모호하다. 즉 단순히 가정기반 또는 비가정기반 활동으로 구분할 것인지 등에 따라 정보의 양이 제한될 수 있다. 이밖에 동일 장소 또는 인접 장소에서 복합적인 활동을 한 경우에 대한 명확한 정의가 없어 설문응답에 어려움이 발생한다. 또한 어떤 교통정책을 분석하느냐에 따라 영향을 받을 수 있는 다양한 활동유형의 분류가 요구된다.

(3) 모형화 측면의 한계

활동기반 모형의 일반적인 주요 모듈은 다음과 같이 구성되어 있다. 즉 인구합성모듈(Synthetic Population Generation), 활동 발생 및 스케줄링 모듈(Activity Generation and Scheduling), 수단선택(Mode Choice), 통행배정(Trip Assignment 또는 Traffic Microsimulator) 이다.

먼저 인구합성모듈은 조사표본자료에 절대적으로 의존하므로 모집단을 반영한 다양한 가구구조형태를 구성하는데 한계가 있다. 즉 표본에서 다양한 가구구조형태가 추출되어야 모집단의 가구구조들을 반영한 활동유형들을 생성할 수 있다. 그러나 현실적으로 조사시간 및 조사비용 등으로 인해 표본수의 제약이 발생하고, 따라서 모집단의 가구구조 유형구분에 한계가 존재하므로 활동발생예측의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 또한 이러한 가구들을 네트워크상의 활동장소에 배정해야 하므로 더욱 다양한 공간적 분포자료가 필요하며 이를 위해 충분한 표본이 확보되어야 한다. 결과적으로 다양한 가구유형의 표본추출 없이는 다양성 문제가 해결되지 않으므로 기존의 집합적(aggregate) 형태의 수요예측과 큰 차이가 없는 문제가 발생할 수 있다. 또한 가구유형의 추출은 랜덤확률분포(Random Probability Distribution)에 근거하여 가구를 생성하고 있기 때문에 매번 다른 결과를 양산하여 노선배정결과가 실행시마다 다르게 나타나므로 일관성 문제의 소지가 있다(VDOT, 2009).

다음으로 모형분석을 위한 공간적 단위의 차이이다. 활동기반 모형의 공간적 분석단위는 센서스블록, 필지 등의 세부단위를 사용하는 것이 가능하나, 우리나라의 인구사회통계자료가 읍면동 기준으로 수집되고 있어 공간적 불일치로 인한 모형예측력이 저하될 수 있다. 특히 기준연도 모형의 경우 매우 세부적인 단위까지 자료취득이 가능하더라도 장래 예측시 세부단위까지의 인구 및 사회경제지표예측자료가 가능한지는 불확실하다. 결국은 활동기반 모형이 단순히 4단계모형의 개선수준 정도로 활용되는 결과를 초래하고 있다.

<표 3-3> 활동기반 모형의 적용을 위한 제약요인

구분	주요 제약요인 및 논의
이론적 측면	<ul style="list-style-type: none"> -현재까지 활동기반 모형 관련 다양한 이론들이 존재하며 명확한 주류 이론 미정립(McNally, 2000) -일일 활동과 영향요인들이 동시에 고려된 모형(integrated)이 필요하나 순차적(sequential) 모형이 대부분으로 활동모형의 기본개념과 불일치 -활동의 정의에 관한 문제 <ul style="list-style-type: none"> · 활동일지조사(activity diary survey)의 기본 단위인 활동의 종류에 대한 정의가 모호함, 즉 단순히 가정기반 및 비가정기반 활동으로 구분할 것인지 등에 따라 정보의 양이 제한될 수 있음 · 또한 어떤 교통정책을 분석하느냐에 따라 영향을 받을 수 있는 다양한 활동유형의 분류가 요구됨
데이터 측면	<ul style="list-style-type: none"> -동일지조사(activity diary survey)의 어려움 <ul style="list-style-type: none"> · 활동일지조사는 통행의 원인과 현황에 대한 자세한 정보를 얻을 수 있으나 응답자들에게 많고 복잡한 형태의 응답요구로 설문 응답률과 누락 비율이 높음 -활동기반 모형에서 강조하는 가구와 가구원간의 시공간적, 개인 상호간의 제약에 관한 자료수집에는 일정부분 한계가 존재(Stopher, 1992) -모형의 공간적 단위와 조사데이터 단위의 불일치 <ul style="list-style-type: none"> · 활동기반 모형의 공간적 분석단위는 주로 센서스블록, 필지 등 세부단위를 기준으로 한 반면, 우리나라 인구사회통계자료는 읍면동 기준으로 공간적 불일치 발생 · 또한 기준연도 모형에서 세부 단위까지 자료취득이 가능하더라도 장래 예측시 동일수준의 인구 및 사회경제지표 예측자료가 가능한지는 불확실함
모형화 측면	<ul style="list-style-type: none"> -활동기반 모형의 구성모델 중 활동생성의 입력자료단계인 synthetic population generation 모델은 조사표본 자료에 의존하나, 모집단을 반영한 다양한 가구구조형태를 모두 구성하기 어려움 <ul style="list-style-type: none"> · 실제 조사시간 및 조사비용 등 표본 수의 제약으로 모집단의 가구구조 유형구분에 한계가 존재하며, 이는 모형의 신뢰성과 집계방식 수요예측과 차별화 어려움 · 또한 이러한 가구들을 네트워크상의 활동장소에 배정해야 하므로 다양한 공간적 분포자료가 필요하며 이를 위해 충분한 표본의 확보가 관건 -가구유형의 추출은 random probability distribution에 근거하여 가구를 생성하고 있기 때문에 매번 다른 결과를 양산하여 통행배정 결과가 실행시마다 다르게 나타날 수 있으며, 이로 인해 모형의 일관성 문제 제기(VDOT, 2009)

2. 활동기반 모형 개발 및 적용 사례

1) 해외 활동기반 모형 개발 현황

활동기반 모형은 대표적으로 미국, 네덜란드, 캐나다를 중심으로 개발되어 있고 최근에는 모형의 개선과 추가 확장 단계 모듈(예, 온실가스 배출 등)의 개발이 진행 중이다.

효용이론에 기초한 대표모형으로는 STARCHILD, AMOS, SimAGENT, PCATS, SimTRAVEL, ADAPTS, TASHA, DASH 등이 있다(Timmermans, 2005; U.S. DOT, 2011). 규칙기반이론에 기초한 대표모형으로는 SMASH, ALBATROSS, FEATHERS 등이 있다(Ettema, 1996; Arentze and Timmermans, 2000; Arentze and Timmermans, 2004; Timmermans and Arentze, 2011). 다음은 이 중 최근에 특별한 정책 목적을 위해 개발되었거나 새로운 행동모델링 매커니즘을 포함하고 있는 모형 몇 가지에 대한 소개이다.

(1) SimAGENT: Simulator of Activities, Greenhouse Emissions, Networks, and Travel

캘리포니아주에서는 2008년 토지이용을 조절해서 온실가스배출을 줄이려는 목적을 가진 상원 법안 375가 통과되었다. 이 법안은 18개의 MPO(Metropolitan Planning Organization)가 교통, 주택, 지역 토지이용 정책을 이용하여 온실가스 저감에 대한 구체적인 지속가능성 목표치를 정하도록 하고 있다. 교통은 캘리포니아의 온실가스 배출량에서 가장 큰 비중을 차지하기 때문에 매우 중요하게 다루어지고 있으며, 총 자동차 주행량인 VMT(Vehicle Miles Traveled)가 가장 대표적인 관련 지표이다.

SCAG(Southern California Association of Governments)은 상원 법안 375에 대응해 다양한 정책이 VMT에 미치는 영향을 정확히 예측하기 위해 2009년부터 활동기반 모형 개발에 투자하고 있다. 적용 지역은 로스앤젤레스, 오렌지, 리버사이드, 벤투라, 샌버나디노, 임페리얼의 여섯 개의 카운티이다.

SCAG의 활동기반 모형인 SimAGENT에 개발에 참여한 연구 그룹은 University of California Santa Barbara의 Konstadinos G. Goulias 교수 그룹, Arizona State University(ASU)의 Ram Pendyala 교수 그룹, University of Texas Austin의 Chandra Bhat 교수 그룹이다. SimAGENT의 개발에는 총 3단계에 걸쳐 핵심 모형 개발을 위해 약 100만달러가 투자되었다(Goulias, 2013^d).

SimAGENT 개발의 1단계(2009년 4월 ~ 2010년 1월)에서는 계수 보정 없이 기존 개발 지역에서 계수를 가져와서 SCAG지역에 적용하는 평가단계를 거쳤다. 이 단계에서는 시뮬레이션 결과나 VMT 추정치에서의 오류를 감수하고 하드웨어적, 소프트웨어적 적합성 및 추가 개발범위를 결정하기 위한 분석을 수행했다.

2단계(2010년 2월 ~ 2010년 12월)에서는 남캘리포니아의 지역 특성을 반영하도록 새로운 모델 계수를 추정하여 시뮬레이션을 시행했다. 이 단계에서 1단계에서 나타난 오류를 대폭 수정할 수 있었다.

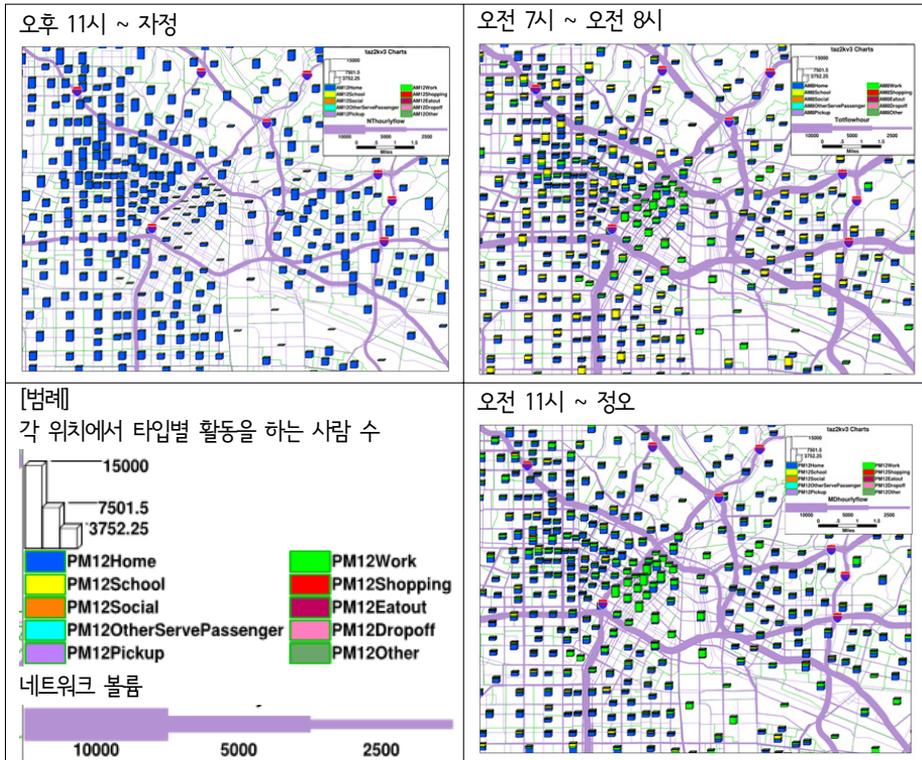
이후, 3단계(2011년 1월 ~ 2011년 6월)에서는 2단계를 보완하기 위한 추가 보정을 시행했고, 3단계 후 핵심 모형 이외에 장기 추정을 위한 가구 진화 모델(Household evolution model)을 추가로 개발하였다.

SimAGENT는 크게 네 개의 단계를 거쳐 교통수요를 추정한다. 그 첫 번째 단계인 인구합성에서는 ASU에서 개발한 PopGen(Population Generator)을 사용한다. 이 소프트웨어는 교통존마다 주어진 인구분포 요약값을 충족시키도록 가구와 개인을 행위자(agent)로 생성한다. 두 번째 단계인 장기의사결정모형에서는 UT Austin에서 개발한 소프트웨어인 CEMSELTS(Comprehensive Econometric Microsimulator for Socioeconomics, Land Use and Transportation System)를 이용하여 직장과 학교의 위치, 보유 자동차종 등 장기적인 선택변수를 통계적 방법으로 할당한다.

세 번째 단계에서는 전 단계에서 할당된 장기의사결정변수에 기반하여 24시간동안의 활동과 통행 스케줄을 분단위로 시뮬레이션한다. 이 단계에서 사용되는 소프트웨어인 CEMDAP(Comprehensive Econometric Micro-simulator for Daily Activity-travel Patterns) 또한 UT Austin에서 개발했으며, 이 소프트웨어에서 생성된 통행수요가 배정모듈의 입력값으로 사용된다.

이와 같은 단계를 거쳐 네트워크 배정을 실행한 결과를 각 교통존에서의 시간대별 활동참여와 함께 지도 위에 표현함으로써 결과를 제시한다.

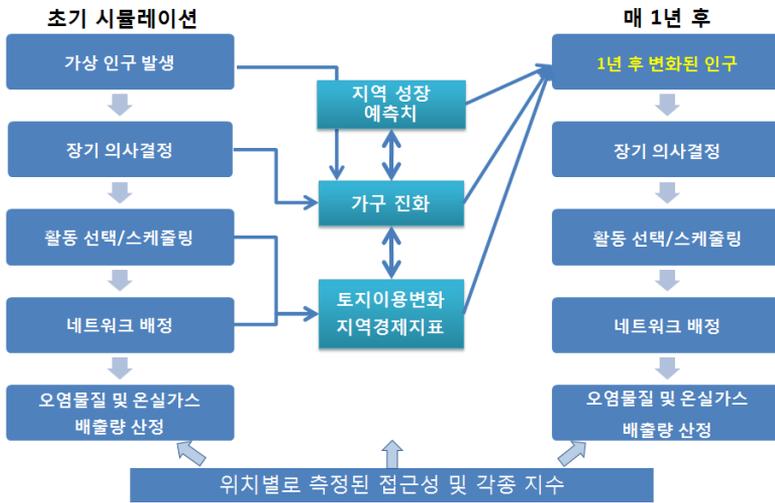
<그림 3-3> 활동과 통행의 시뮬레이션 결과



(자료: Goulias, 2013^d)

이러한 구조를 가진 SimAGENT를 이용한 지역의 장기 시뮬레이션 방법론이 개발되고 있으며, 여기서는 위에 언급한 가구 진화모델(household evolution model)이 중요한 역할을 한다. 장기 시뮬레이션을 위해서는 지역 경제 및 인구 전망이 함께 입력변수로 사용되며, 인구 구성의 변화와 함께 다년간의 토지이용의 변화를 기반으로 교통수요 및 온실가스 배출량을 예측한다. <그림 3-4>는 SimAGENT 개발팀에서 제시한 장기수요 모형의 구조이다.

<그림 3-4> SimAGENT의 장기 추정 시뮬레이션 흐름도



(자료: U.S. DOT, 2011; Goulias^b, 2013)

(2) SimTRAVEL: Simulator of Transport, Routes, Activities, Vehicles, Emissions, and Land

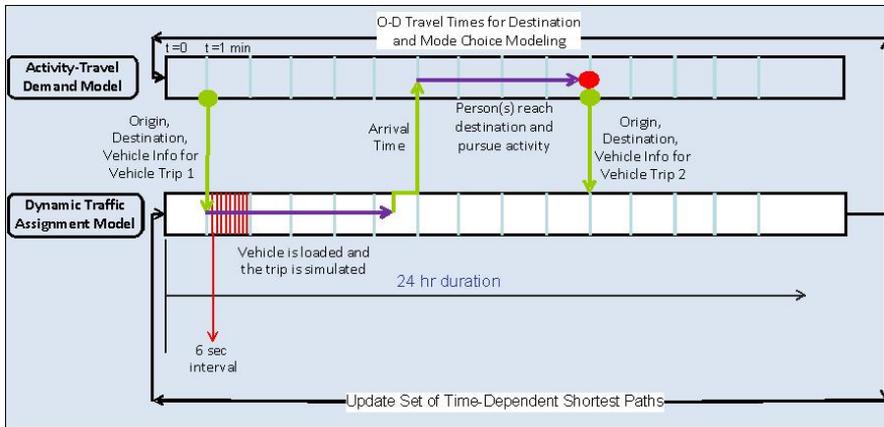
교통수요모델에서 보통 활동 발생(activity generation)과 통행배분(traffic assignment)가 분리되어 순차적으로 이루어지는 데 반해, 행동 패턴 모델링의 현실성을 더욱 높이기 위해 활동 시뮬레이터와 DTA(Dynamic Traffic Assignment)를 결합하여 활동에 대한 결정에서 각 시점의 교통상황을 고려할 수 있도록 한 것이 SimTRAVEL의 가장 큰 특징이다(예: 퇴근 시간 정체가 심할 때 시간이 지나면 정체가 줄어들 것을 예상해 10분 늦게 출발하기로 결정하는 행동을 모형화).

SimTRAVEL의 개발은 Federal Highway Association(FHWA)의 지원으로 추진되어 오픈소스 시뮬레이션 소프트웨어 개발 프로젝트로 추진되었으나(2008.07~2011.06) 현재 완벽한 오픈소스 정책을 시행하고 있지는 않다(Pendyla 외 2009).

이 프로젝트에 참여한 그룹은 ASU의 Ram Pendyala 교수 그룹, UC Berkeley의 Paul Waddell 교수 그룹, University of Arizona의 Yi-Chang Chiu 교수 그룹과

Mark Hickman 교수 그룹이다. SimTravel은 각각의 그룹에서 개발된 모형들을 조합하고 있으며, 그 모형은 각각 토지이용 시뮬레이터인 UrbanSim, 장기 의사결정 모델과 하루동안의 스케줄 시뮬레이터를 모두 포함하고 있는 OpenAMOS(Open Activity-Mobility Simulator), 동적 통행배정 모형인 DynusT(Dynamic Urban Systems for Transportation)이다. 여기에 MALTA(Mesoscopic Assignment and Loading of Traffic, Activities)라는 모듈을 더하여 DynnusT의 시뮬레이션 결과를 집계하여 매 시간의 O-D 통행시간 매트릭스를 업데이트 하고, 이 값이 OpenAMOS에서 의사결정에 사용된다.

<그림 3-5> OpenAMOS, DynusT, MALTA의 작동 구조



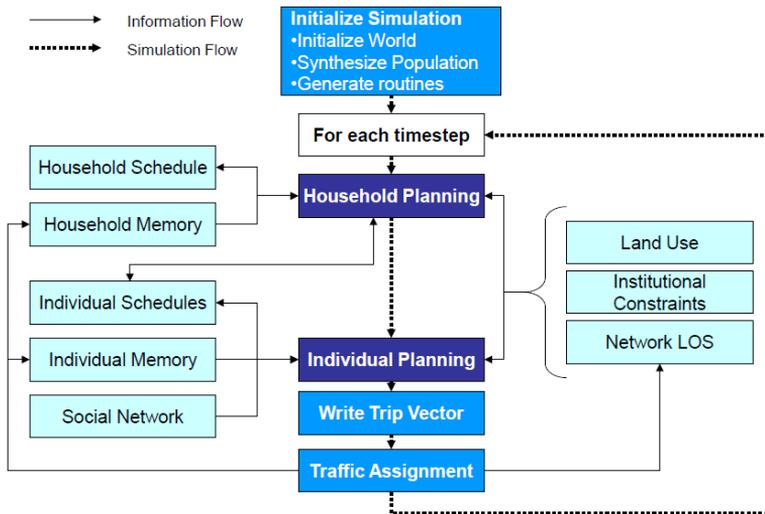
(자료:Pendyala, 2009)

(3) ADAPTS: Agent-based Dynamic Activity Planning and Travel Scheduling

ADAPTS는 활동 스케줄링 과정에 대한 모델을 개선해서 스케줄링에 영향을 미치는 정책들(예: 다양한 ITS 설치, ride sharing, 원격 근무, flex time strategies, 혼잡통행료 등)의 영향을 더욱 정확하게 파악할 수 있도록 하기 위해 개발된 모델 구조이다(Auld and Mohammadian, 2009). 스케줄링의 과정의 모델링을 위해 가구 스케줄, 가구의 과거 스케줄링에 대한 기억, 개인 스케줄, 개인의 과거 스케줄에 대한 기억, 사회 네트워크 등을 다양하게 고려하는 시스템을 이용한다. 이 모형의 개발프로젝트는

University of Illinois Chicago의 Kouros Mohammadian 교수 그룹이 국가과학재단 (National Science Foundation, NSF)과 University of Illinois at Chicago의 Integrative Graduate Education and Research Traineeship(IGERT) 의 지원으로 진행했다.

<그림 3-6> ADAPTS의 시뮬레이션 흐름도



(자료:Auld and Mohammadian, 2009)

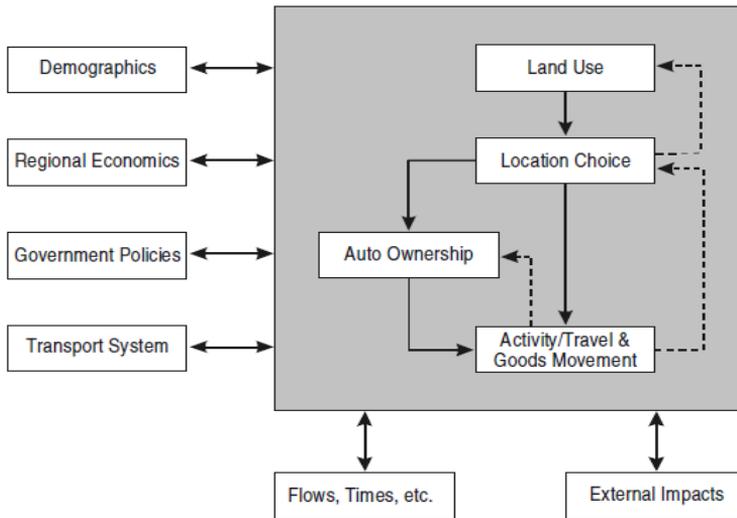
(4) DASH: Dynamic Activity Simulator for Households

DASH는 동적교통분배모델과의 결합을 염두에 두고 새로운 형태로 개발된 활동발생(activity generation) 모형이다. 활동 스케줄링시 시간의 흐름에 따라 시시각각 변화하는 상황을 고려하여 행위자의 효용(utility)을 업데이트하고 상황에 맞도록 스케줄을 조정할 수 있도록 하는 것이 특징이다(Glebe and Kim, 2010). 이 모형은 Portland State University의 John Glebe 교수 그룹에서 개발이 이루어졌으며, Metro(Oregon주 Portland 정부)의 Transportation Research and Modeling Service의 지원으로 추진되었고, 현재 지속적인 개발이 이루어지지 않는 상태이다(2007.7~2009.12).

(5) TASHA/ILUTE

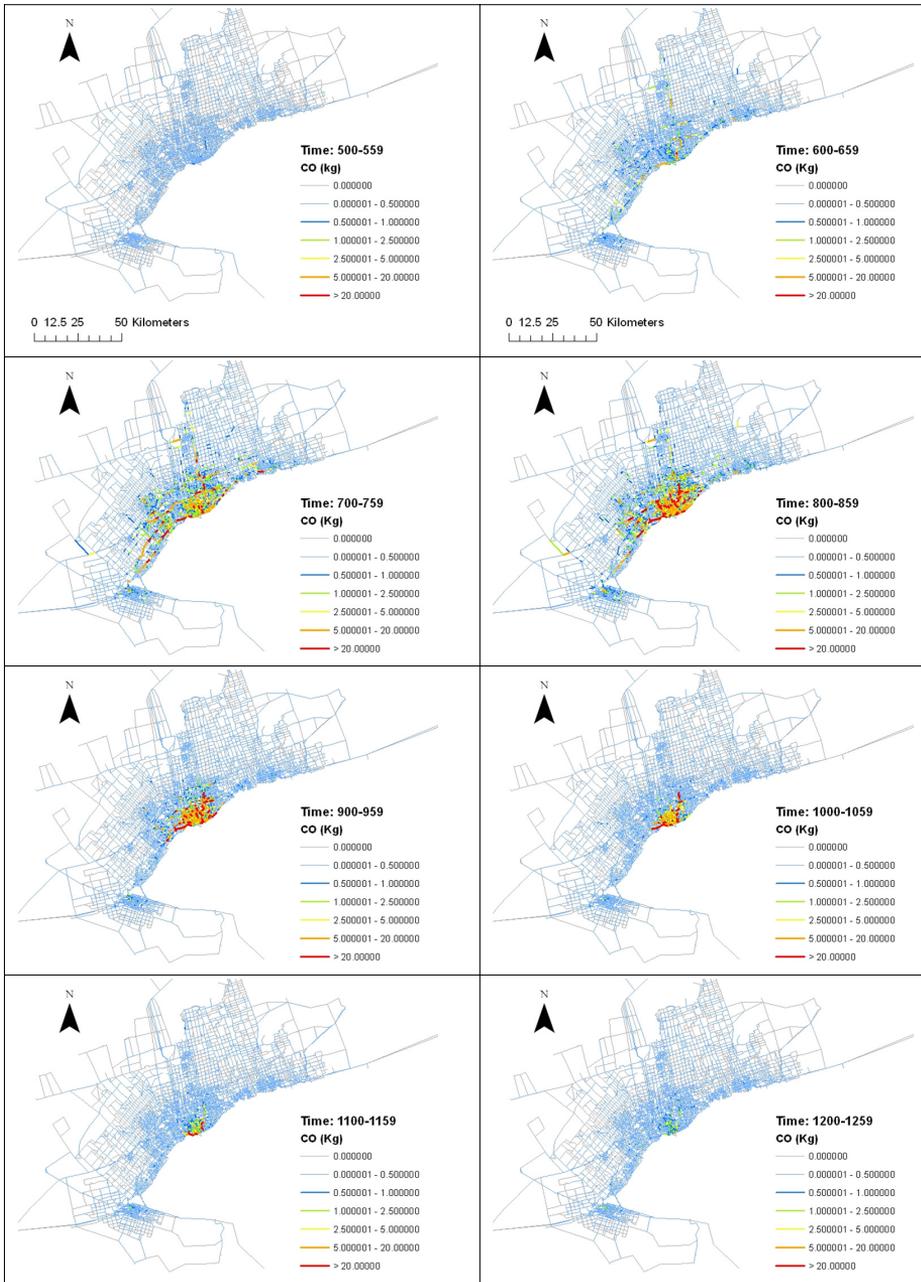
TASHA(Toronto Area Scheduling model for Household Agents)는 가족 구성원 간의 상호작용을 고려하고 활동의 시작 시간과 길이의 동시확률분포(joint probability)를 고려하여 하루동안의 스케줄을 모델링한다(Miller and Roorda, 2003). ILUTE(Integrated Land Use, Transportation, Environment)는 교통수요와 토지이용의 상호작용을 설명하기 위해 TASHA와 토지이용 모델을 결합하는 형태로 구성되어 있다(Salvini and Miller, 2005). TASHA와 ILUTE는 University of Toronto의 Eric Miller 교수 그룹이 개발하고 있으며 토론토 인근 지역을 대상으로 하고 있다. 최근 TASHA의 결과가 교통류 시뮬레이션 모델인 MATSim과 결합되어 교통에서 유발되는 대기오염을 4단계 모델의 결과보다 더욱 상세히 모델링 할 수 있도록 개발이 이루어졌다.

<그림 3-7> ILUTE의 구조



(자료: Salvini and Miller, 2005)

<그림 3-8> ILUTE와 MATSim으로 추정한 토론토 지역의 교통에 의한 일산화탄소 발생량

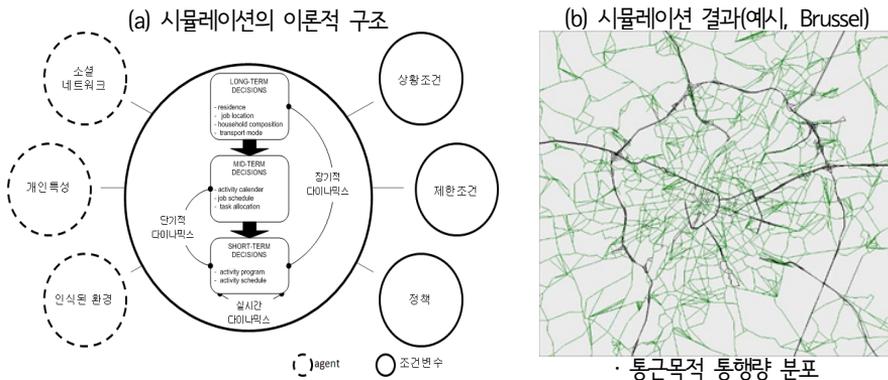


(자료: Miller, 2010)

(6) ALBATROSS: A Learning Based Transportation Oriented Simulation System

ALBATROSS는 일반적으로 이용되는 통계적 방법론이 아니라 학습 알고리즘을 이용해 복잡한 환경과 조건 하에서의 의사결정을 시뮬레이션 한다. 주어진 데이터에서 의사결정 트리를 도출하기 위해 CHAID(Chi-squared Automatic Interaction Detection) 의사 결정 트리가 이용되는 해당 모형은 1997년 처음 제안되어 2000년 가장 초기버전의 개발이 완료되었고 현재는 인생주기 모델 등 추가 모델이 개발되고 있다(Arentz and Timmermans, 2000; Arentz and Timmermans, 2004; Arentz and Timmermans, 2005). ALBATROSS는 Harry Timmermans와 Theo Arentz 교수 그룹(Eindhoven University of Technology)에서 개발되었으며, 벨기에 Hasselt University에서 정부가 원하는 정책 시뮬레이션을 위해 FEATHERS(Forecasting Evolutionary Activity-Travel of Households and their Environmental RepercussionS) 시스템으로 개발되었다(Bruno, 2012).

<그림 3-9> FEATHERS 모형



(자료: Arentz and Timmermans, 2004; Bellemans, 2013)

다음은 지금까지 소개한 각 모형의 특징을 표로 정리한 것이다.

<표 3-4> 활동기반 시뮬레이션 모형의 해외 개발사례 요약

모형유형	모형 개요	개발주체	비고
SimAGENT (미국)	-SCAG(Southern California Association of Governments)는 상원법안 375에 대응해 정책이 총 주행거리와 교통에서 유발되는 온실가스 배출량에 미치는 영향을 정확히 예측하기 위해 2009년부터 활동기반 모형 개발에 투자. 정책변화에 따른 온실가스 배출량 산정, 지역의 토지이용 과 교통수요 장기추정 등 응용	-UC Santa Barbara -UT Austin -Arizona State University	-적용지역: Los Angeles, Orange, Riverside, Ventura, San Bernardino, Imperial -개발비용: \$1,040,000 (2009.04~2011.06)
ALBATROSS, FEATHERS (네덜란드, 벨기에)	-학습 알고리즘과 CHAID 의사 결정 트리를 이용하여 복잡한 환경과 조건하에서의 의사결정을 시뮬레이션 함 -1997년 처음 제안되어 2000년 초기버전 개발 완료, 현재는 인생주기 모델 등 추가모델 개발중	-Harry Timmermans -Theo Arentze -Eindhoven University of Technology	-FEATHERS(Forecasting Evolutionary Activity -Travel of Households and Their Environmental Repercussion)시스템으로 개발됨
SimTRAVEL (미국)	-교통수요 모델에서 보통 활동 발생과 통행배정이 분리되어 순차적으로 이루어지는 데 반해 행동패턴 모델링의 현실성을 더욱 높이기 위해 활동 시뮬레이터와 동적통행배정을 결합하여 활동에 대한 결정에서 각 시점의 교통상황을 고려 할 수 있도록 함	-Arizona State University -UC Berkeley -U of Arizona	-Federal Highway Association 지원 (2008.07~2011.06)
ADAPTS (미국)	-활동 스케줄링 과정에 대한 모델을 개선해서 스케줄링에 영향을 미치는 정책의 효과를 더욱 정확하게 파악할 수 있도록 하기 위해 개발된 모델 구조	-University of Illinois Chicago	-NSF(National Science Foundation), University of Illinois at Chicago의 IGERT의 지원 개발
TASHA/ ILUTE (캐나다)	-TASHA(Toronto Area Scheduling Model for Household Agents): 가족 구성원간의 상호작용을 고려하고 활동의 시작 시간, 지속시간 joint probability를 고려하여 하루동안의 스케줄을 모델링 함 -ILUTE(Integrated Land Use, Transportation, Environment): 교통수요와 토지이용의 상호작용을 설명하기 위해 TASHA와 토지이용 모델을 결합	-University of Toronto	-최근 TASHA의 결과가 MATSim과 결합 -교통에서 유발되는 대기오염을 4단계 모델의 결과보다 더욱 상세히 모델링 가능
DASH (미국)	-동적통행배정 모델과의 결합을 염두에 두고 새로운 형태로 개발된 활동발생모델 -활동 스케줄링시 시간의 흐름에 따라 시간각각 변화하는 상황을 고려하여 utility를 업데이트하고 상황에 맞도록 스케줄을 조정할 수 있도록 하는 것이 특징	-Portland State University	-Metro(Oregon주 Portland정부)의 Transportation Research and Modeling Service의 지원으로 추진

(7) 해외 활동기반 모형 적용 현황

미국을 중심으로 활동기반 모형의 적용 현황을 살펴보면 교통수요관리(TDM), 교통사업 효과평가, 토지이용과 교통을 동시에 고려한 효과 분석 등 다양한 분야에 적용되고 있다(U.S. DOT, 2011). 활동기반 모형의 적용사례는 지속적으로 확대되고 있으며 특히 교통정책에 따른 직접효과와 더불어 2차, 3차의 연쇄통행에 미치는 영향, 토지이용에 따른 통행행태 변화를 분석할 수 있다는 점에서 주목받고 있다.

<표 3-5> 활동기반 모형을 활용한 교통정책 분석 사례(미국)

적용분야	적용 사례	비고 (적용연도)
교통관리 (TDM)	-목적: 혼잡통행료(Road Pricing)의 파급영향효과 분석 -주요 분석 내용 · 혼잡통행료 부과에 따른 파급효과를 직접효과인 수단분담 조정효과, 간접효과로 쇼핑 통행 빈도, 업무활동 빈도 변화 등에 대해 평가하였으며, 소득계층별 통행목적별 영향 분석	LA 카운티
토지이용과 교통	-목적: 도시공간개발에 따른 영향효과 분석 -주요 분석 내용 · 도시공간 클러스터링에 따른 교통의 영향을 통행 시간대(Time-of-day)별로 분석하고, 활동과 통행의 변화 예측 · 개인별 효과뿐만 아니라 가구별 의사결정 구조를 고려한 영향효과 분석	프레스노, 샌디에고 (2011)
교통관리 (TDM)	-목적: 도로유료화(혼잡 요금 존 도입)에 따른 영향효과 분석 -주요 분석 내용 · 합리적 도로유료화를 위해 이용자들의 시간가치 분포, 이용자 세분화를 통한 합리적 비용 책정(정액할인, 50%할인 등) · 도로유료화에 따른 장기선택(업무지, 등교, 차량소유 변화 등) 변화와 단기적 영향으로 시간비용 상쇄 효과 분석	맨해튼 (2002)
교통관리 (TDM)	-목적: 근무시간 조정에 따른 교통의 파급효과 분석 -주요 분석 내용 · 유연근무제(Flexible working time), 근무시간 변경(주 5일 8시간 근무 vs. 4일 9시간)에 따른 교통부문의 효과를 시나리오 기반으로 분석 · 전체 통행량 변화, 시간대별 통행량 변화, 비업무 통행비용 변화 등을 종합적으로 분석 · 시간대별 차량주행거리(VMT)변화, 도로별 시간단위(30분) 지체도 감소 효과 등 분석	벌링턴 시 (2011)
토지이용과 교통	-목적: 토지이용 변화가 통행유형에 미치는 영향 분석 -주요 분석 내용 · 토지이용 대안(지역성장 거점, 산업센터 개발 등)별 유발수요 및 교통개선 효과, 추가 유발수요 등 분석 · 토지이용(주택유형, 상업용도, 주차장 등)와 통행유형(위탁, 외식, 쇼핑 등)의 상관관계, 가구별/직업별 통행행태 등 분석	퓨젯사운드 지역 (2006)
교통사업 평가	-목적: 교량 확장사업에 따른 모빌리티(Mobility) 효과 분석 -주요 분석 내용 · 교량 확장사업의 시나리오별(각 방향별 1차로씩 추가, HOV 차로 건설 등) 파급효과를 활동기반 모형을 적용하여 분석	샌디에이고 (2011)

(자료: U.S. DOT, 2011)

2) 국내 활동기반 모형 개발 현황

국내에 활동기반 모형을 적용한 몇몇 연구가 수행된 경우가 있는데, 김태중(2012)는 활동기반 시뮬레이션 모형 개발을 위한 동적 확률적 모형을 기존 방법론과 비교분석을 하였다. 특히 동적확률적 모형(MATSim)과 정적 결정론적 사용자 평형모형(EMME/2)를 통한 시뮬레이션 결과를 비교분석하였다. 서상언 외(2006년)은 서울시 가구통행조사DB를 이용한 고령자 활동스케줄링 모형을 구축하여 고령자의 통행특성과 통행행태를 분석하고자 하였다. 상기 연구는 활동모형을 적용하였다는 측면에서 의의가 있으나 일부 단편적 사례분석에 한정되어있다. 국내 개발사례를 검토한 결과 활동기반 시뮬레이션 모형을 적용한 국내사례는 전무한 실정이다. 이에 반해, 해외에서는 활동기반 시뮬레이션 개발과 적용이 활발하게 이루어지고 있다.

교통시뮬레이션 모형을 개발하는 시도도 있었다. 김수철 외(2009~2013)은 교통정책의 수립 및 집행을 위한 통합교통정책 지원 및 분석시스템 개발을 목적으로 연구를 수행하였는데, 구체적인 개발 모형으로는 통합형 인터모달 교통수요분석모형 개발, 한국형 수요분석 모형 개발, 거시적 정책지원모형 개발, 사용자 접근성 및 국가교통DB와 연계된 시스템 구축 등이다. 이상건 외(2011년)의 경우 정보통신기술 발달이 교통수요에 미치는 영향의 거시적 분석을 목적으로 U-국토환경에 대비한 교통수요예측기법의 개발 및 적용방안에 대해 논의하였다. 그러나 상기 두 연구 모두 기존 교통수요예측모형의 전반(통행발생→통행분포→수단선택→통행배정)에 걸친 모형 개선을 시도하였으나, 통행기반 모형을 바탕으로 하고 있어 모형자체가 내재하고 있는 문제해소에는 미흡하다.

chapter **4**

실증분석

실증분석

본 장에서는 SimAGENT와 FEATHERS를 이용한 실증분석 결과를 제시하고, 두 모형에 공통적인 인구합성, 장기의사결정, 활동시뮬레이션에 대한 시사점을 도출하였다. 정책 시나리오 테스트로는 차량 운행비용 증가, 대중교통 운행비용 증가, 첨두시간 정체 심화의 세 가지 교통상황 변화 시나리오와 노년인구 증가 및 여성 취업률 증가의 두 가지 장기적인 인구와 사회적 변화 시나리오를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 활동기반 모형을 장, 단기적 정책 분석에 사용했을 때 유용한 도구가 될 수 있음을 도출하였다.

1. 실증분석의 개요

1) 실증분석의 목적

본 장에서는 해외에서 개발된 활동기반 시뮬레이션 모형을 이용하여 국내에서의 적용 가능성과 유용성을 검증하려 한다. 또한, 자료구축에서부터 모형화 방법론, 시뮬레이션 결과까지를 면밀히 검토하여 국내 실정에 부합하는 모형개발을 위한 시사점을 도출하려 한다.

실증분석의 공간적 분석 범위는 수도권으로 설정하며, 수도권 가구통행실태조사(2010년)와 통계청에서 제공하는 지역별 인구·사회자료, 분석용 교통네트워크 자료

등 현재도 널리 이용되고 있으며 손쉽게 구할 수 있는 데이터를 기본 입력 데이터로 사용한다.

활동기반 모형의 검증은 통행량의 정확성보다는 개략적인 현실 재현성과 기존 4단계 모형과는 차별화된 정책지표 도출 등을 통한 정책적 유효성 검증에 주안점을 둔다. 본 연구에서 적용한 해외 개발모형은 미국 남캘리포니아에 적용된 효용기반 시뮬레이션인 SimAGENT와 의사결정모형에 기반한 ALBATROSS를 중심으로 벨기에에서 개발된 FEATHERS이다. SimAGENT를 개발한 캘리포니아 대학교 산타바바라(University of California Santa Barbara)와 FEATHERS를 개발한 하셀트 대학교(Hasselt University)와의 국제협동연구를 통해 본 과제를 진행했다. 앞 장에서 살펴본 활동기반 모형들은 각각 주안점이 되는 정책평가를 위해 개발하거나 특징적인 행동 모델링방법을 사용하고 있으며 연구성과로서 우수한 모형들만 선별한 것이기 때문에, 모형 자체의 우열을 가리는 것이 큰 의미가 없다. 본 연구에서 테스트한 SimAGENT와 FEATHERS는 일정 규모 이상의 지역에 안정적으로 적용된 사례와 개발팀과의 협업 가능성, 지속적인 개발 진행 등의 요소를 고려해 선정하였다.

본 과제의 금년도 실증분석의 가장 큰 목적은 앞서도 설명한 바와 같이 국내 자료를 이용하여 해외 개발모형을 수도권에 시험적으로 적용함으로써 모형구축에 있어 발생 가능한 다양한 문제점들을 도출하고 향후 한국형 ACTOR 모형 개발을 위한 시사점을 도출하는 것이며, 활동기반 시뮬레이션 모형을 적용함으로써 교통정책 실효성 제고 등 새로운 분석기법 적용에 따른 가능성을 검토하고자 한다.

본 보고서의 실증분석 결과는 SimAGENT 모형과 FEATHERS 모형의 추정결과를 구분하지 않고 조합하여 제시하는 점에 대해서는 주의가 필요하다.⁵⁾

5) 이는 현재까지 각각의 모형을 이용한 모형추정의 완성도에 차이가 있기 때문이며 본고에서는 활동기반 시뮬레이션 모형을 적용하였을 때 도출 가능한 결과를 개략적으로 제시하기 위함임

2) 실증분석의 단계별 방법론

이 절에서는 실증분석을 위한 단계별 과정을 미국의 SimAGENT를 기준으로 설명하며, FEATHERS의 경우에도 모형의 추정과정은 유사하다.

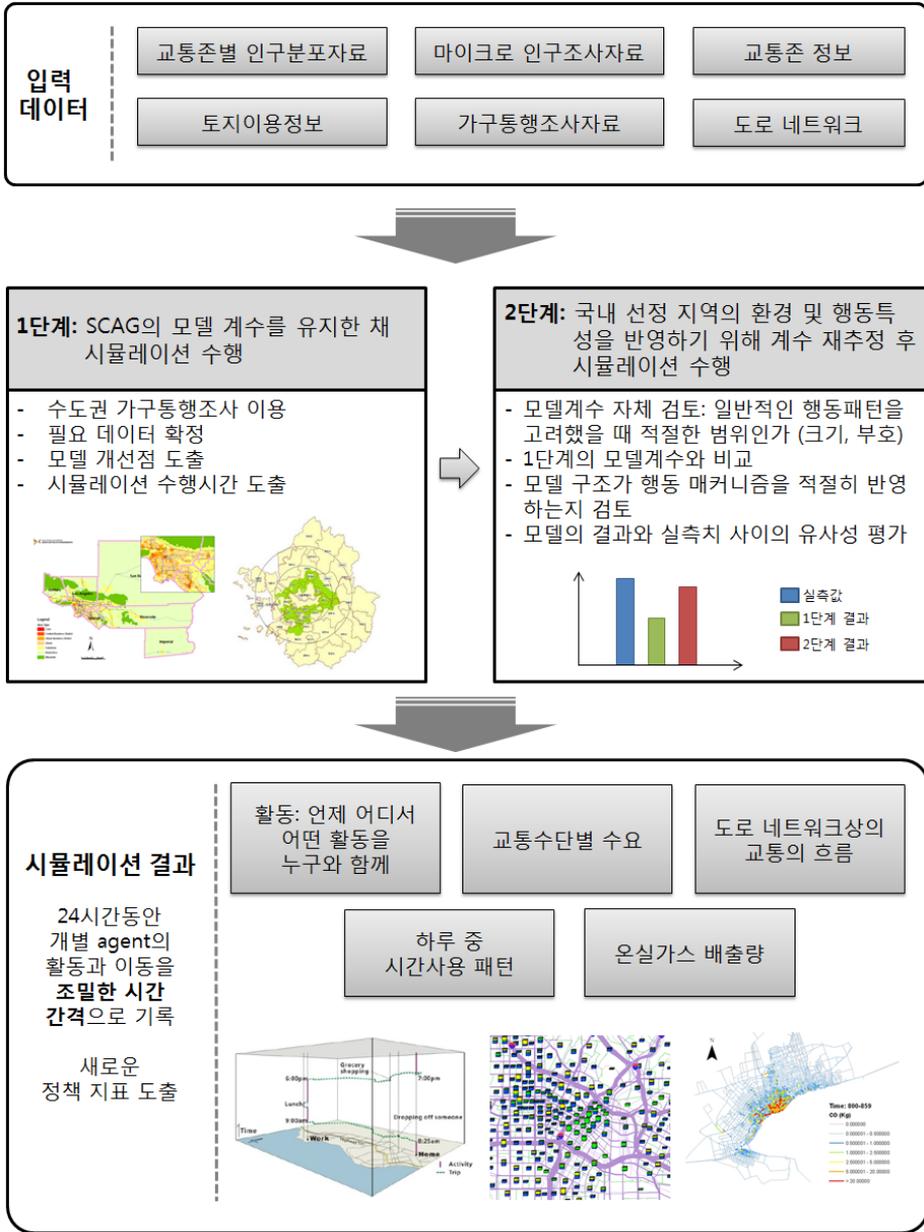
SimAGENT를 이용한 분석에서는 미국 SCAG 지역에서 추정된 모델계수를 유지한 채, 수도권 가구통행조사 데이터와 인구조사자료를 입력자료로 하여 시물레이션 각 단계(가상 인구 생성, 장기 의사결정모델, 활동/통행 시물레이션, 통행배정)에 사용되는 데이터베이스를 구성하였다. 각 데이터 아이템별로 시물레이션에서 필요한 조건과 국내에서 확보 가능한 데이터의 사양을 비교했으며, 부족한 경우 시물레이션에 미칠 영향을 최소화할 수 있는 방법을 고안하여 적용하였다.

가상인구 생성을 위한 변수 선정에 있어서는 지역 특성에 따라 가구 및 개인의 특징을 정의하는 변수의 조합이 다르다. SCAG의 경우 인종과 소득, 가구원 수, 거주 위치와의 상관성을 고려해 인종을 중요한 변수로 포함했으며, 이것을 고려해 한국의 경우 가상인구 생성에서 중요하게 고려되어야 할 변수를 포함하고자 했다.

장기 의사결정모형에서는 시물레이션의 계수를 SCAG에서 도출된 모델계수로 유지해서 시물레이션하는 방법과 가상인구생성의 입력변수로부터 가져올 수 있는 변수들을 그대로 사용하는 방법 중 후자를 채택하였다. 그 이유는 차량소유나 직주거리, 학교와 집 사이의 거리 등이 캘리포니아와 수도권의 경우 차이가 커서 활동시물레이션 결과에까지 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

수도권의 상황을 반영하기 위해서는 수도권의 데이터를 이용하여 계수를 재추정한 후 시물레이션을 수행하여야 하지만, 본 연구의 목표는 활동기반 모형의 적용가능성과 정책테스트 가능성을 검증하는 것이므로 연구범위에서 제외되었다. 단, 결과 검증단계에서 사용된 모형 계수가 크기, 부호에 있어 일반적인 행동패턴을 반영하는지 검토하고 1단계 모델계수와의 비교를 통해 SCAG지역과 국내 대상 지역의 행동적 상이점을 도출한다. 또한, 전체 모델 구조가 실제 행동 메커니즘을 잘 반영하는지 검토하고 변경이 필요한 부분은 없는지 검토한다. 본문에 포함하지 않은 시물레이션 적용상의 세부사항은 본 보고서의 부록에 수록하였다.

<그림 4-1> 개발모형 검증을 위한 실증분석 흐름



3) 실증분석을 위한 입력자료

시뮬레이션 분석을 위한 입력자료는 교통존별 인구분포자료, 마이크로 인구조사자료, 교통존 정보, 토지이용정보, 가구통행조사자료, 도로 네트워크 등에 대한 자료가 요구된다. 본 연구에서 사용한 활동기반 시뮬레이션 분석을 위한 입력 자료는 크게 교통분석 존 GIS 데이터, 2010년도 통계청 행정동별 집계자료 및 마이크로 샘플 데이터, 2010년도 가구통행실태조사 자료 등이며, 수도권 교통네트워크 구축과 존간 통행시간 및 비용(초기 입력 값) 산정을 위해 별도의 네트워크 분석을 수행하였다.

<표 4-1> 입력자료 설명

자료명	설명
교통분석존 GIS 데이터	-수도권(서울, 경기, 인천)을 1107개 행정동 단위로 구분한 GIS 데이터 -인접존 연산, CBD, 쇼핑 중심지 지정 등을 위해 사용
2010년 통계청 행정동별 집계자료	• 가구 정보 -주거 형태(아파트, 단독, 다세대 등), 거주형태(자가, 전세, 월세, 등) -동별 가구원수별 가구수, 소득별 가구수 정보 없음 • 인구: 성별, 연령, 취업여부 등 다양한 정보 포함 • 산업: 20개의 산업분류코드에 대한 동별 사업체 수, 종사자수 집계 자료
2010년 통계청 마이크로데이터 샘플 2% (약 40만 명) ^{주)}	-행정동별 집계자료와 거의 동일한 정보에 대해 2% 샘플에 포함된 가구와 개인이 응답한 원본 데이터 -특별시, 광역시, 도단위의 행정구역 단위로 제공됨
2010년 수도권 가구통행조사 데이터 약 2.5%(약 66만 명)	-가구, 개인, 통행으로 나누어진 테이블 -행정동의 교통존단위로 주거위치 및 활동위치 제공 -가구소득 정보 제공
수도권 네트워크 데이터	-2010년도 도로 및 대중교통망(지하철 및 버스)
O-D간 평시, 첨두 통행자료	• 주요 제공 DB -자동차, 버스, 지하철, 버스+지하철에 대해 통행시간 및 거리제공 -대중교통수단에 대해서는 접근시간, 대기시간, 정류장에서 정차하는 시간, 및 환승횟수 제공 • 통행시간 및 통행비용 산정 -2010년 기준 도로네트워크 + 대중교통 line 데이터 -2010년 기준 주 이용 교통수단 OD(9개) : 도보/자전거, 화물/기타, 비노선버스, 철도, 승용차, 택시, 버스, 지하철, 버스+지하철, 화물 OD의 경우 국가교통 DB의 화물통행량 적용

주) 인구합성단계에서 사용을 고려했으나 검토 후 가구통행조사 데이터로 대체하기로 결정

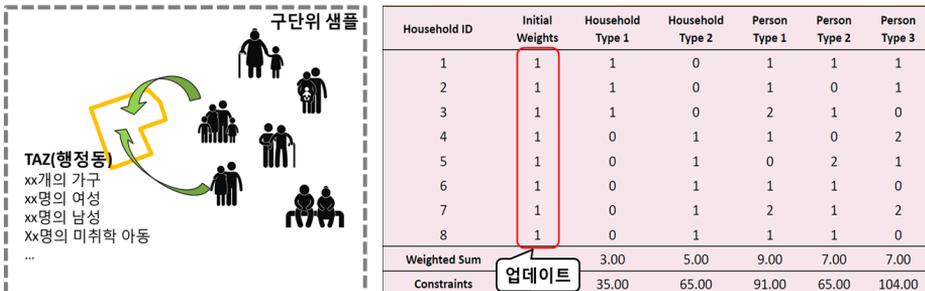
2. 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용

1) 인구합성(Population synthesis)

인구합성의 목적은 해당 존(행정동)의 상위 공간 단위의 마이크로데이터에서 가구와 인구를 가져와서 존의 집계정보와 유사하도록 존을 채워주는 것이다. <그림 4-2>의 초기 가중치(weight)를 반복계산(iteration)을 통해 업데이트하면서 각 항목별 가중치를 고려한 총계가 교통존별 집계와 허용오차범위 이내로 가까워지도록 하는 것이 인구합성 알고리즘의 주요 매커니즘이다.

수도권 인구합성의 최종 결과물은 1107개의 존에 거주하는 약 2500만 명의 가구와 인구 데이터베이스로 도출된다. 본 연구 중 SimAGENT를 이용한 테스트에서는 Arizona State University에서 제공한 소프트웨어인 PopGen(Population Generator, <http://urbanmodel.asu.edu/popgen.html>)을 적용하였으며, FEATHERS를 이용한 테스트에서는 하셀트대학교에서 자체적으로 제작한 인구합성 알고리즘을 사용하였다. 두 소프트웨어는 동일한 인구합성법(Ye et al. 2009)을 기반으로 해서 가구수준 변수와 개인수준 변수를 동시에 만족시키는 가상의 인구를 생성하지만, 소프트웨어 구현에서 차이가 있을 수 있다. 두 소프트웨어의 정확성 비교 등은 본 연구에 포함하지 않았다.

<그림 4-2> 인구합성 알고리즘



(1) 입력변수

본 연구에서 수도권 대상 인구합성을 위해 적용된 주요 변수는 <표 4-2>에서 제시된 바와 같다. 기준 변수의 선정은 1차 인구합성 테스트에서 프로그램의 러닝타임이 12시간 이하임을 고려할 때 인구 연령구간을 조밀하게 나누어도 실행시간이 과도하게 길어지지 않을 것이라 예상하고 분석 교통존의 인구가구특성 데이터를 구성하였다.

<표 4-2> 교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수

변수명	설명
가구원정보	성별(남, 여), 연령(5세 간격)
가구정보	가구원 수(1인가구수, 2인이상 가구 수), 주거형태(아파트, 비아파트), 점유형태(자가, 전세, 월세, 기타)
연령분포	일반가구와 집단가구에 속한 내국인 전체를 대상으로 하며 나머지 변수는 일반가구 대상임
가구소득	행정동별 소득분포를 알 수 없어 그것을 대체할 수 있는 주거형태(아파트, 아파트 외)와 점유형태(자가, 전세, 월세, 기타)를 사용하여 보정

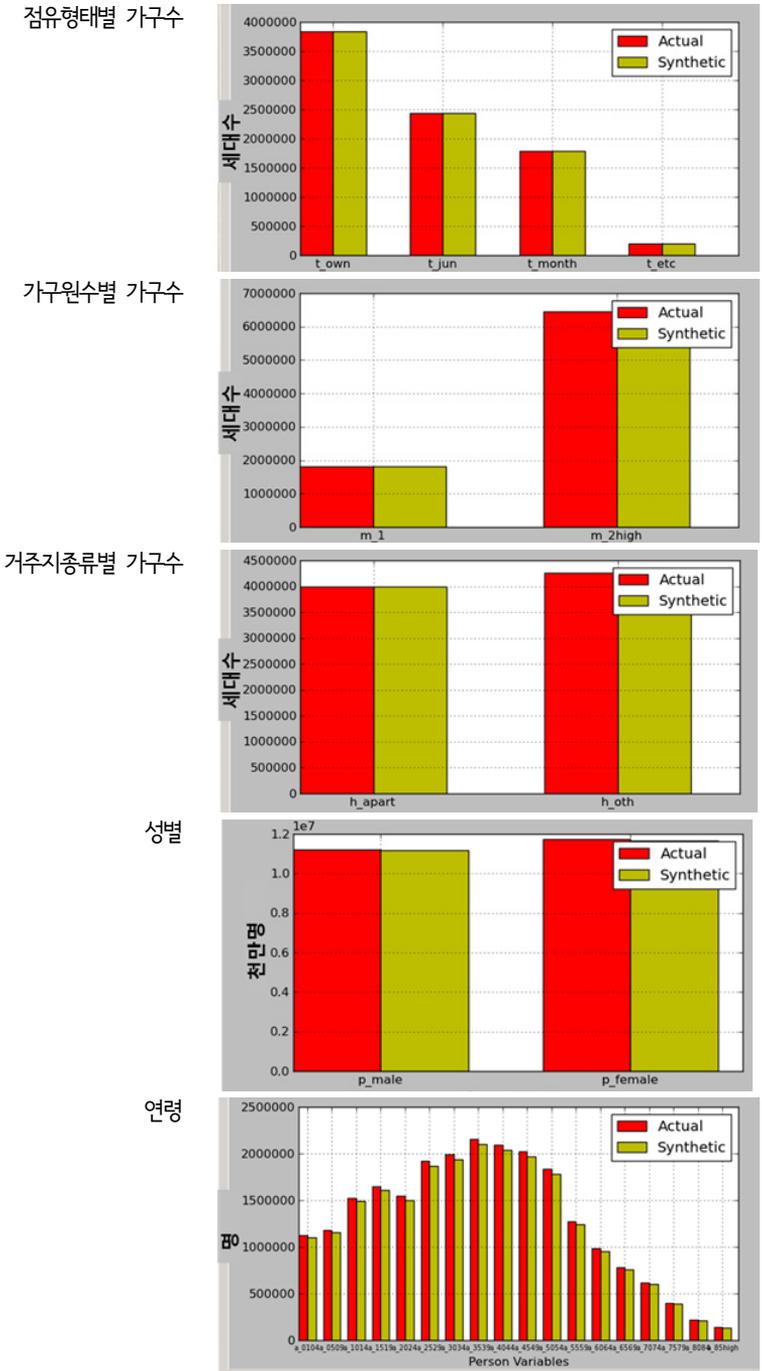
(2) 결과 검증

인구합성 결과 수도권 전체에서는 변수별로 입력된 집계 데이터에 상당히 근접한 결과를 보였다<그림4-3>. 단, 인구조사의 연령분포 집계는 일반가구와 집단가구(예: 학교 기숙사, 공장 기숙사, 사회복지시설 등)에 속한 내국인 전체를 대상으로 하는 반면 다른 변수들은 일반가구만을 대상으로 하기 때문에 집단가구 비율이 높은 지역의 경우 인구합성 결과와 실제 인구에 차이가 발생할 수 있다.

일례로 <그림4-4>는 대학교 기숙사가 많은 낙성대1동과 상대적으로 집단가구가 적은 쌍문1동을 비교한 결과를 보여준다. 쌍문1동은 모든 변수에서 입력변수와 합성 결과가 거의 유사한 반면, 낙성대1동에서는 연령분포, 특히 기숙사에 사는 20대의 연령대에서 오차가 많이 발생함을 확인할 수 있다.

향후 인구합성을 개선하기 위해서는 현재 가구 수와 인구를 연결하는 연결고리가 미흡한 부분을 보정하기 위한 추가 데이터 보강이 필요하며, 개인 특성 변수(예: 고용여부 등)를 추가해야 경제여건 변화 등의 요소를 반영할 수 있다.

<그림 4-3> 인구합성 결과: 수도권 전체

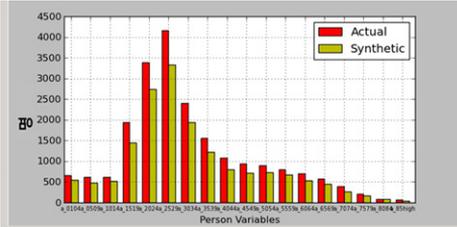
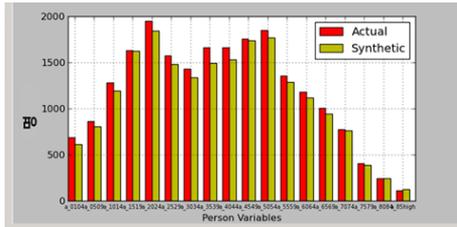


<그림 4-4> 인구합성결과 분석: 쌍문1동과 낙성대1동의 비교

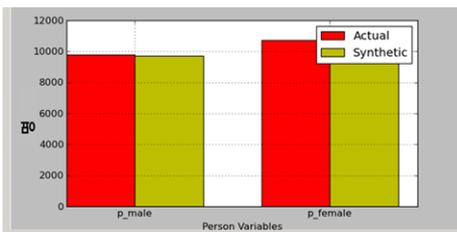
[쌍문1동]

[낙성대1동]

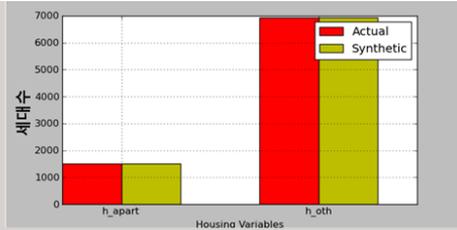
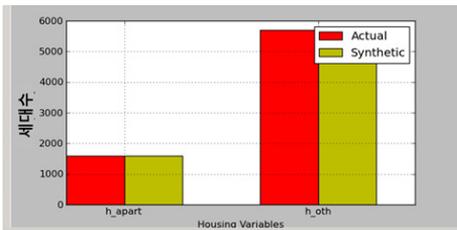
연령



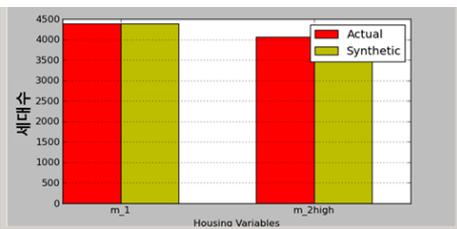
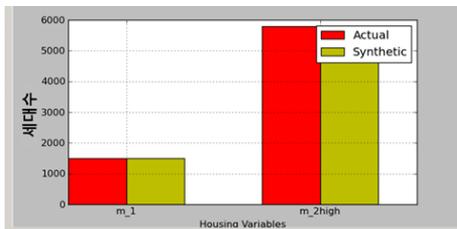
성별



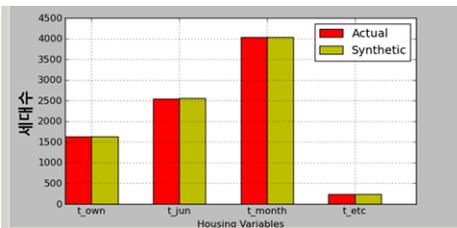
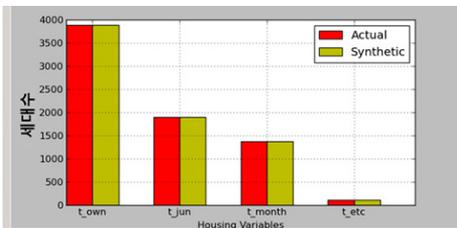
주거형태(아파트, 아파트 외 모두)



가구원 수(1인가구, 2인 이상 가구)



점유형태(자가, 전세, 월세, 기타)



(3) 인구합성 단계의 주요 이슈사항

인구합성을 수행하는 과정에서 PopGen을 기준으로 하여 도출한 이슈사항은 다음과 같다.

첫째, 통계청 마이크로 자료는 도 단위 위치만 공개되어 있어 가상 인구 생성시 중요시되어야 할 공간적 연관성(spatial correlation)을 반영하기 힘들다. 이러한 이유 때문에 통계청 마이크로데이터 대신 가구통행실태조사를 구 단위로 묶어 이용하는 방법을 사용했는데, 이 방법에서는 통계청 집계 데이터와 항목 구분이 약간씩 다른 경우가 있어 양쪽을 일치시키는 재분류 단계가 필요하다.

둘째, 통계청 동단위 통계에 소득자료가 없어 소득분포를 고려한 인구 생성이 곤란하다는 점이다. 이 문제에 대해서는 소득을 대체할 수 있는 데이터로 거주지 종류(아파트, 단독주택, 다세대, 연립 등)와 주택소유여부(자가, 전세, 월세, 기타) 등을 이용하였다.

셋째, 가구통행실태조사는 배우자와 자녀를 제외한 가구원 관계가 구체적으로 기록되어 있지 않아 관계를 알 수 없는 경우가 있으며(예: 조손가정, 조부/조모가 함께 사는 가정), 통계청은 함께 사는 세대 수로 가구를 구분하기 때문에 가구 구조를 정확히 매칭하는데 어려움이 있었다.

넷째, 통계청 자료에서는 가구원수 분포가 동단위가 아닌 구 단위로 공개되어 있어, 동 수준에서 가구 수와 인구수를 맞추기 위한 자료가 부족하다. 구 단위의 점유형태별 가구원수 분포 자료와 동단위의 점유형태 분포 자료를 이용하여 동 단위 가구원수별 분포를 추정하는 방법으로 테스트해본 결과 오히려 오차의 원인이 늘어나는 경우가 있어 동단위로 공개된 1인가구수와 1인이상 가구수만으로 인구합성을 진행했다.

다섯째, 통행실태조사에서는 6세 미만의 개인 특성 및 통행이 기록되어 있지 않다. 활동기반 모형, 특히 SimAGENT에서는 아이를 어린이집에 데려다 주는 등의 가구원 간 상호작용을 고려한 시뮬레이션을 수행하기 때문에 꼭 필요한 정보이다. 따라서 본 연구에서는 6세 미만의 어린이는 성별을 임의로 생성하여 가상의 샘플을 사용하는 방법을 사용했다.

2) 개인/가구의 활동 시뮬레이션 모형 추정 결과(FEATHERS)

(1) 활동기반 시뮬레이션 모형의 보정

본 연구 초기에 시행한 FEATHERS의 1차 테스트에서는 해외 활동 시뮬레이션 모형의 구조를 유지하고 국내 데이터를 적용한 결과 국내의 교통특성이 충분히 반영되지 못한 한계가 있었다. 따라서 국내 교통특성을 반영하여 일부 모형을 보정한 결과 모형의 설명력과 타당성이 일부 개선되었으며, 본 연구결과를 바탕으로 차년도 한국형 활동모형 개발계획 수립에 참조하려 한다. 아래 기술된 내용은 <그림 4-5>에서 그래프 형태로 제시되어 있다.

첫째, 1차 테스트에서 활동 유형별 활동시간 분포가 사회적 방문/레저/여행에 대해 큰 격차가 있었으나, 활동 유형을 세부 분류로 구분하고 반복 추정을 통해 보정한 결과 시뮬레이션의 결과가 개선되었다. 따라서 향후 과제로 국내 상황을 반영한 활동유형의 재분류 또는 이러한 오차를 최소화 할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

둘째, 1차 테스트의 교통수단 부담률은 자가운전은 과소추정, 대중교통은 과대추정 되었으나 국내 실정을 반영하여 대중교통 유형을 보다 세분화해 반복추정을 통해 보정한 결과 시뮬레이션의 결과가 개선되었다. 해외 모형의 대중교통 유형은 국내의 대중교통 유형에 비해 단순하게 정의되어 있어 일부 대중교통 유형을 보다 세분화해 구분할 필요가 있다. 향후 과제로 국내 상황을 반영한 교통수단 부담모형을 적용할 수 있도록 모형 수정이 필요하며, 더불어 국내 데이터 특성에 맞도록 교통수단의 분류를 재정의 할 예정이다.

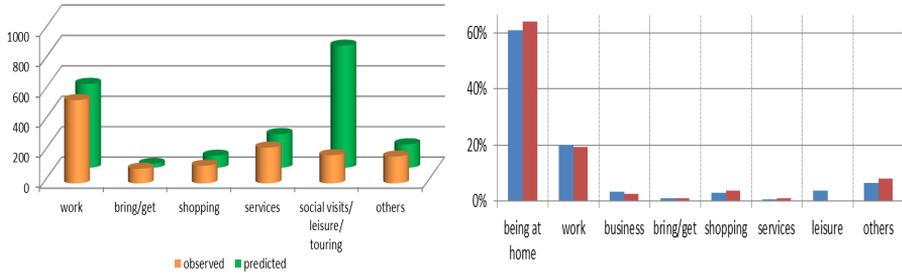
이와 같이 국내의 교통특성을 반영하여 모형의 일부를 보정한 결과 전반적인 개선이 가능하였다. 시간대별 통행량 분포에 대한 실측값(2010년 가구통행실태 조사 자료)과 예측값(모형의 추정결과)을 비교해 보면 거의 비슷한 분포 특성을 보여 효과적으로 현실을 대변한 모형이 구축된 것으로 판단된다. 1차 테스트에서는 퇴근시간(17시~20시)의 통행량이 실측치에 비해 작게 예측되었지만, 반복추정을 더 거친 최종결과에서는 수도권 실측치와 더 유사한 통행량 분포를 보인다.

<그림 4-5> FEATHERS 모형의 보정결과(국내 교통특성 반영)

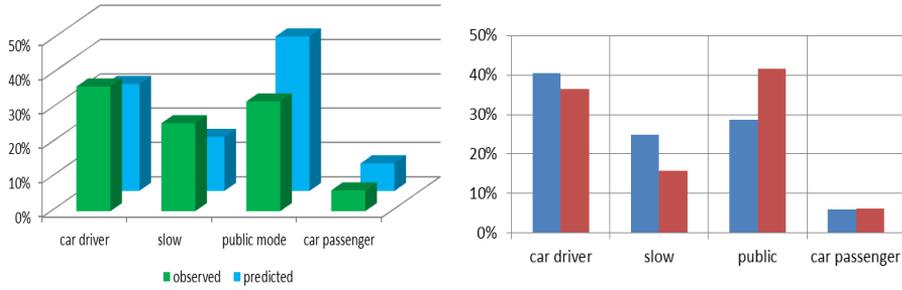
[1차 테스트]

[보정 후 결과]

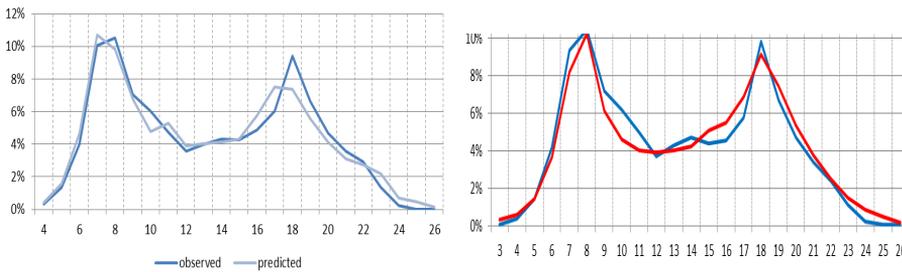
<활동 유형별 활동시간 분포>



<교통수단 부담률>



<시간대별 통행량 분포>



(2) 활동기반 시뮬레이션 모형을 이용한 수도권 통행행태 분석

이 장에서는 수도권 가구통행실태 조사 자료(전체 수도권 모집단의 10%, 17세 이상 성인만을 대상)를 이용하여 FEATHERS 활동기반 시뮬레이션 모형을 추정한 결과를 보여준다.

활동 목적 통행의 오전 첨두(AM Peak) 통행량 비율은 일 통행량 대비 약 19% 수준으로, 활동목적별 분포비율을 보면 일 통행량은 귀가통행량이 가장 많은 46.7%, 출근통행이 27.7%, 오전 첨두 통행량은 출근통행이 가장 많은 82.2% 비율로 출근통행이 대부분을 차지한다.

활동 목적 통행의 지역간 통행분포 비율을 보면, 일 통행량과 오전 첨두 통행량의 가장 큰 차이는 서울시 내부통행과 경기도에서 서울로 통행하는 통행량의 차이로 오전 첨두에 경기도에서 서울로 진입하는 통행량이 많고 서울시 내부 통행량이 감소하는 결과를 보여준다.

수단별 통행량 분포는 일 통행량과 오전 첨두 통행량 비교시 오전 첨두에 승용차의 비율이 38.6%에서 44.1%로 높아지는데 이는 오전 첨두 출근통행시 승용차를 더 많이 이용하기 때문이다.

활동 목적별 수단 통행량의 분포를 일 통행량 수단 분담비율 자가운전 38.6%, 비동력수단(걸기, 자전거) 15.6%, 대중교통 45.8%와 비교해보면, 귀가와 사회적 활동/레저활동은 수단분담 비율이 유사하고, 출근과 배웅/마중 활동 목적은 자가운전의 분담 비율이 높아지며, 쇼핑 및 기타 활동 목적은 대중교통의 분담 비율이 높아지는 것으로 분석된다. 이 결과는 주로 근무와 연관된 시간가치가 높은 활동에서 자가운전을 주로 이용하고, 쇼핑 및 기타 활동과 같은 시간 제약이 낮은 활동에서 대중교통을 주로 이용한다는 것을 보여준다.

<표 4-3> 활동 목적별 통행량

활동목적 구분	일 통행량		오전 침두 통행량	
	통행량	통행비율	통행량	통행비율
귀가	1,403,453	46.7%	18,504	3.2%
근무(출근)	833,416	27.7%	470,201	82.2%
업무, 일	142,234	4.7%	11,602	2.0%
마중/배웅	40,726	1.4%	11,026	1.9%
쇼핑	178,579	5.9%	11,984	2.1%
서비스	43,666	1.5%	11,379	2.0%
사회적활동, 레저	1,866	0.1%	9	0.0%
기타	360,896	12.0%	37,532	6.6%
계	3,004,836	100.0%	572,237	100.0%

<표 4-4> 활동 목적 통행량의 지역간 분포

구분	일 통행량				오전 침두 통행량				
	서울	인천	경기	sum	구분	서울	인천	경기	sum
서울	1,001,358	42,931	232,131	1,276,420	서울	181,879	6,862	42,750	231,491
인천	42,862	230,285	65,679	338,826	인천	10,226	41,280	13,949	65,455
경기	232,200	65,610	1,091,780	1,389,590	경기	55,393	13,421	206,477	275,291
계	1,276,420	338,826	1,389,590	3,004,836	계	247,498	61,563	263,176	572,237
구분	서울	인천	경기	sum	구분	서울	인천	경기	sum
서울	33.3%	1.4%	7.7%	42.5%	서울	31.8%	1.2%	7.5%	40.5%
인천	1.4%	7.7%	2.2%	11.3%	인천	1.8%	7.2%	2.4%	11.4%
경기	7.7%	2.2%	36.3%	46.2%	경기	9.7%	2.3%	36.1%	48.1%
계	42.5%	11.3%	46.2%	100.0%	계	43.3%	10.8%	46.0%	100.0%

<표 4-5> 수단통행량의 수단별 분포

구분	일 통행량		오전 침두 통행량	
	수단 통행량	통행비율	수단 통행량	통행비율
자가운전	1,085,921	38.6%	240,638	44.1%
비동력수단(걸기, 자전거)	439,369	15.6%	58,256	10.7%
대중교통	1,290,209	45.8%	246,212	45.2%
계	2,815,499	100.0%	545,106	100.0%

<표 4-6> 활동 목적별 수단통행량 분포

활동목적	교통수단	일 통행량	통행비율
귀가	자가운전	503,803	38.3%
	비동력수단(걸기, 자전거)	206,516	15.7%
	대중교통	604,861	46.0%
	계	1,315,180	100.0%
근무(출근)	자가운전	362,952	45.6%
	비동력수단(걸기, 자전거)	77,703	9.8%
	대중교통	355,428	44.6%
	계	796,083	100.0%
업무, 일	자가운전	78,941	58.6%
	비동력수단(걸기, 자전거)	15,166	11.3%
	대중교통	40,572	30.1%
	계	134,679	100.0%
마중/배웅	자가운전	32,170	79.9%
	비동력수단(걸기, 자전거)	3,289	8.2%
	대중교통	4,802	11.9%
	계	40,261	100.0%
쇼핑	자가운전	34,733	21.4%
	비동력수단(걸기, 자전거)	44,226	27.2%
	대중교통	83,532	51.4%
	계	162,491	100.0%
서비스	자가운전	9,515	23.5%
	비동력수단(걸기, 자전거)	7,985	19.7%
	대중교통	23,051	56.8%
	계	40,551	100.0%
사회적 활동, 레저	자가운전	744	43.8%
	비동력수단(걸기, 자전거)	205	12.1%
	대중교통	748	44.1%
	계	1,697	100.0%
기타	자가운전	63,063	19.4%
	비동력수단(걸기, 자전거)	84,279	26.0%
	대중교통	177,215	54.6%
	계	324,557	100.0%
합계	자가운전	1,085,921	38.6%
	비동력수단(걸기, 자전거)	439,369	15.6%
	대중교통	1,290,209	45.8%
	계	2,815,499	100.0%

(3) 활동기반 시뮬레이션 단계의 주요 이슈사항

아래는 SimAGENT와 FEATHERS에서 공통적으로 나타난 활동시뮬레이션 단계의 주요 이슈사항이다.

첫째, 일반적인 활동조사나 시간이용조사 자료는 24시간의 모든 활동기록을 활용하고 통행이 없는 경우도 포함하는 반면, 수도권 가구통행 조사는 통행이 발생하지 않거나 최초 통행 이전의 활동(예, 아침 출근 이전 활동)에 대한 정보가 존재하지 않아 포괄적인 행동패턴 시뮬레이션에 어려움이 있다. 활동을 보완하기 위해 일부 가정을 통해 자료를 보완할 필요성이 있다. 예로 아침 통근/통학 이전의 활동은 일반적으로 재택 활동으로 가정 할 수 있으며, 현재의 통행실태조사에서 나타나지 않는 이러한 활동을 시뮬레이션 하기 위해서는 향후 추가적인 데이터의 수집이나 이러한 정보를 담고 있는 데이터와의 통합 분석이 필요하다.

둘째, 수도권은 매우 다양한 대중교통수단(여러 종류의 버스체계, 지하철, 기차 등)들이 존재하는 반면, 해외모형은 자가용 운전자/탑승자, 도보 이외에 단순히 대중교통으로 분류하고 있어 연구지역의 대중교통 수단별 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다. 특히 다양한 종류의 버스체계는 각각 다른 통행특성을 나타낼 수 있어 분석결과에 유의한 영향을 미칠 것으로 판단되어 이에 대한 고려가 필요하다.

셋째, 해외모형 입력자료 중 인구자료에는 가구 및 가구원단위의 사회경제적 속성이 포함되는데 이들 중 일부(가구별 월수입분포, 연령층구분 등)변수들에 대한 구분 범위가 수도권 데이터와 상이한 경우가 있다. 이는 비교적 단순한 문제로 프로그램의 일부 수정을 통해서 해결 가능하다.

넷째, 해외모형에서 정의하고 있는 통행목적 및 활동유형의 종류와 국내 자료(가구통행조사)의 유형 차이에 있으며 이에 따른 모형의 정확도에 영향을 미치는 것으로 분석된다. 예를 들면, 해외모형은 쇼핑활동을 정기/비정기로 구분하나 국내 자료는 구분하지 않으며, 해외모형은 지인 방문, 여가, 관광을 따로 구분하는 반면 국내 자료는 여가로 통합하여 정의하고 있다.

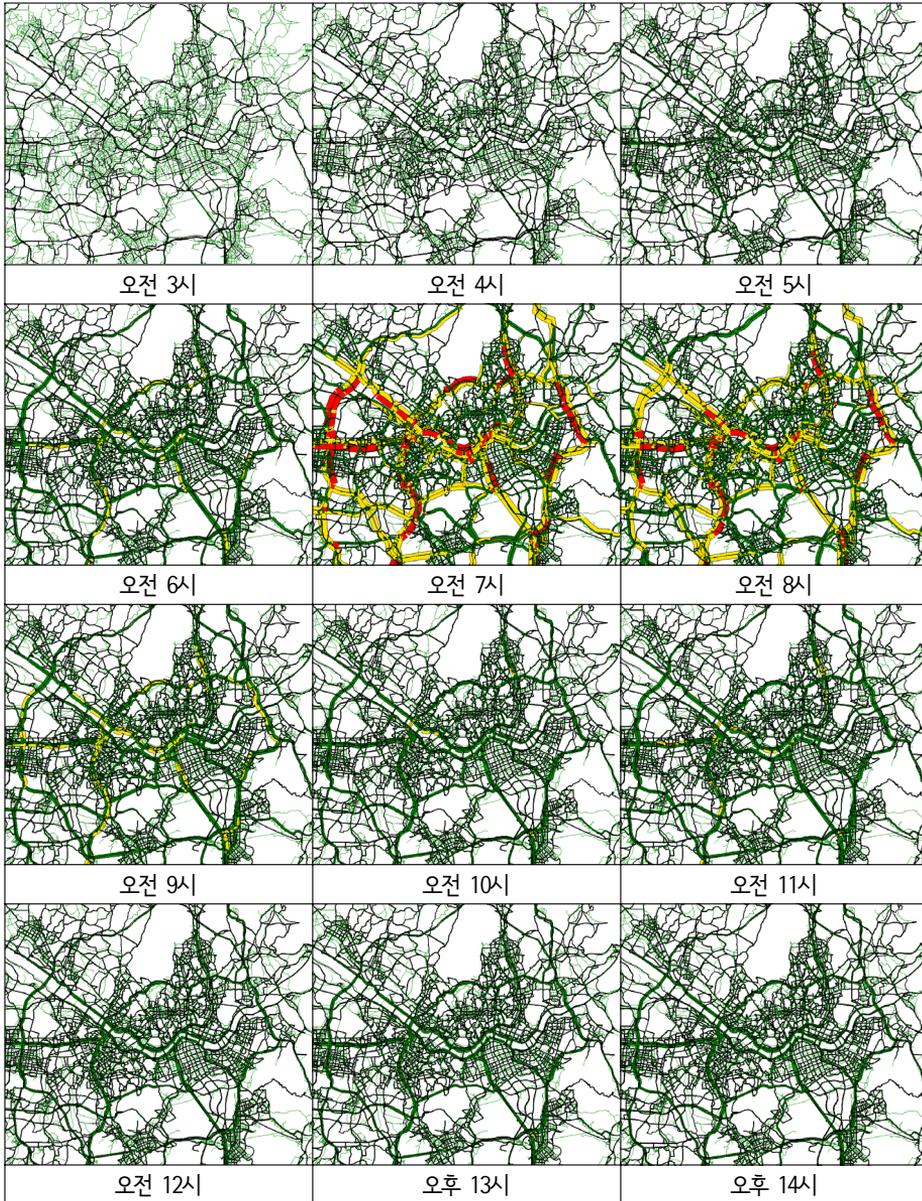
향후 연구로서 국내 현황을 반영하여 해외모형의 자료 형식에 맞추거나 해외모형의 활동유형을 수정·보완할 필요가 있다.

3) 교통정책 실효성 측면에서 활동모형의 유효성

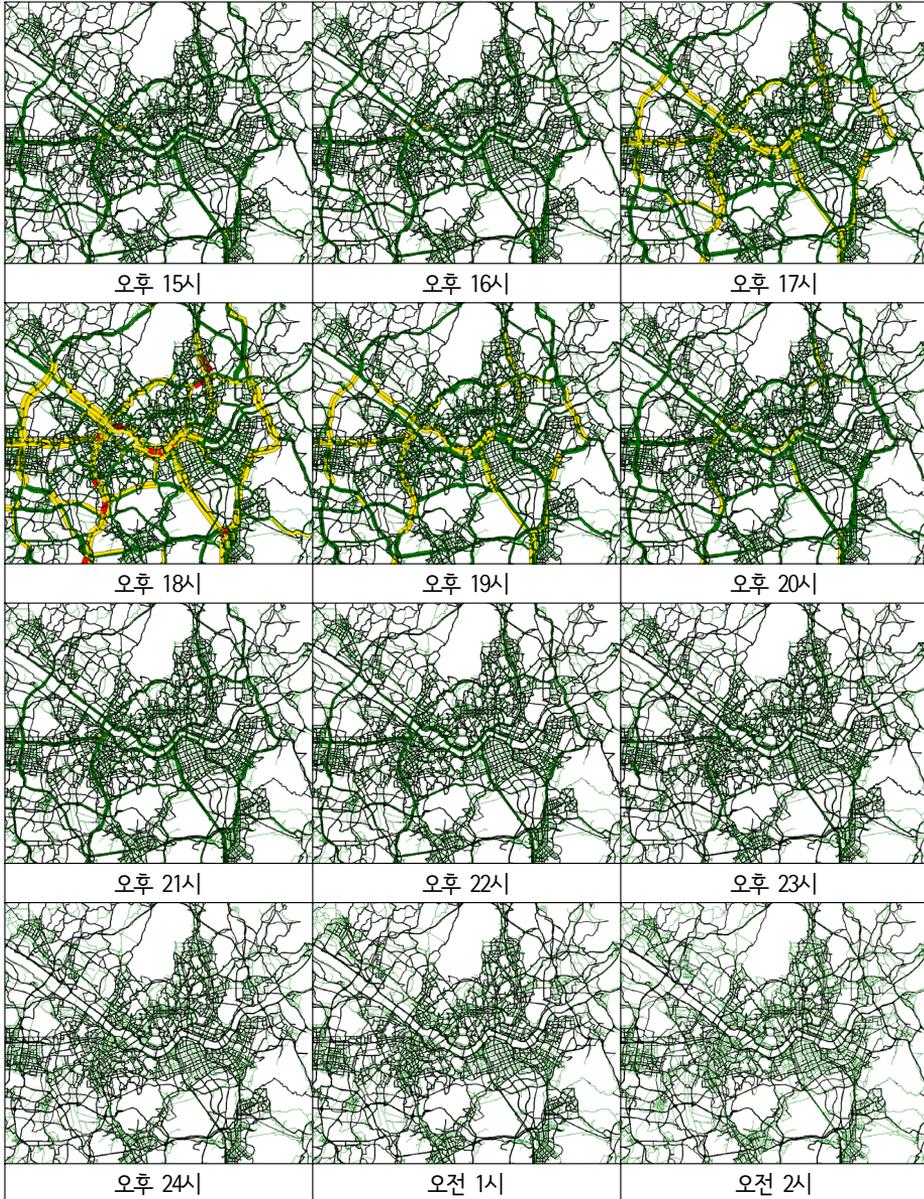
(1) 24시간의 연속적인 통행량 변화 분석 가능

종래 4단계 접근법이 주로 첨두시간대 통행량만을 도출하는 반면 활동기반 시뮬레이션 모형은 24시간의 연속적인 통행량 변화를 파악할 수 있다<그림 4-6, 4-7>. 시간대별 예측 통행량 분석결과를 살펴보면, 수도권은 오전 6시부터 통행량이 증가하다가 오전 7시에 정점을 이루고 오전 9시에 빠르게 감소하며 이는 출근통행의 영향으로 판단되며, 퇴근 시간에는 오후 17시부터 통행량이 증가되어 오후 18시에 정점, 오후 19시부터 빠르게 감소함을 볼 수 있다. 특히 비첨두시간대인 오전 10시와 11시대에 도 서울 일부도로(서부간선, 강남북로 등)에서는 교통혼잡이 산발적으로 관찰되었다. 하지만 이 결과는 앞에서 설명한 활동 시뮬레이션에서 설명한 이슈사항이 포함된 결과이므로 수도권의 실제 교통상황과는 상이할 수 있어 주의가 필요하다.

<그림 4-6> 시간대별 예측 통행량



<그림 4-7> 시간대별 예측 통행량 (계속)



(2) 지역특성을 반영한 시간대별 활동변화 분석 가능

활동기반 시뮬레이션 결과를 이용해 지역별 특성(즉, 교통존의 특성)에 따라 시간대별로 활동이 일어나는 패턴을 비교할 수 있다. 그 예로 <그림 4-8>은 명동, 여의도동, 역삼 1동, 대치 1동의 시간대별 활동 변화를 보여준다

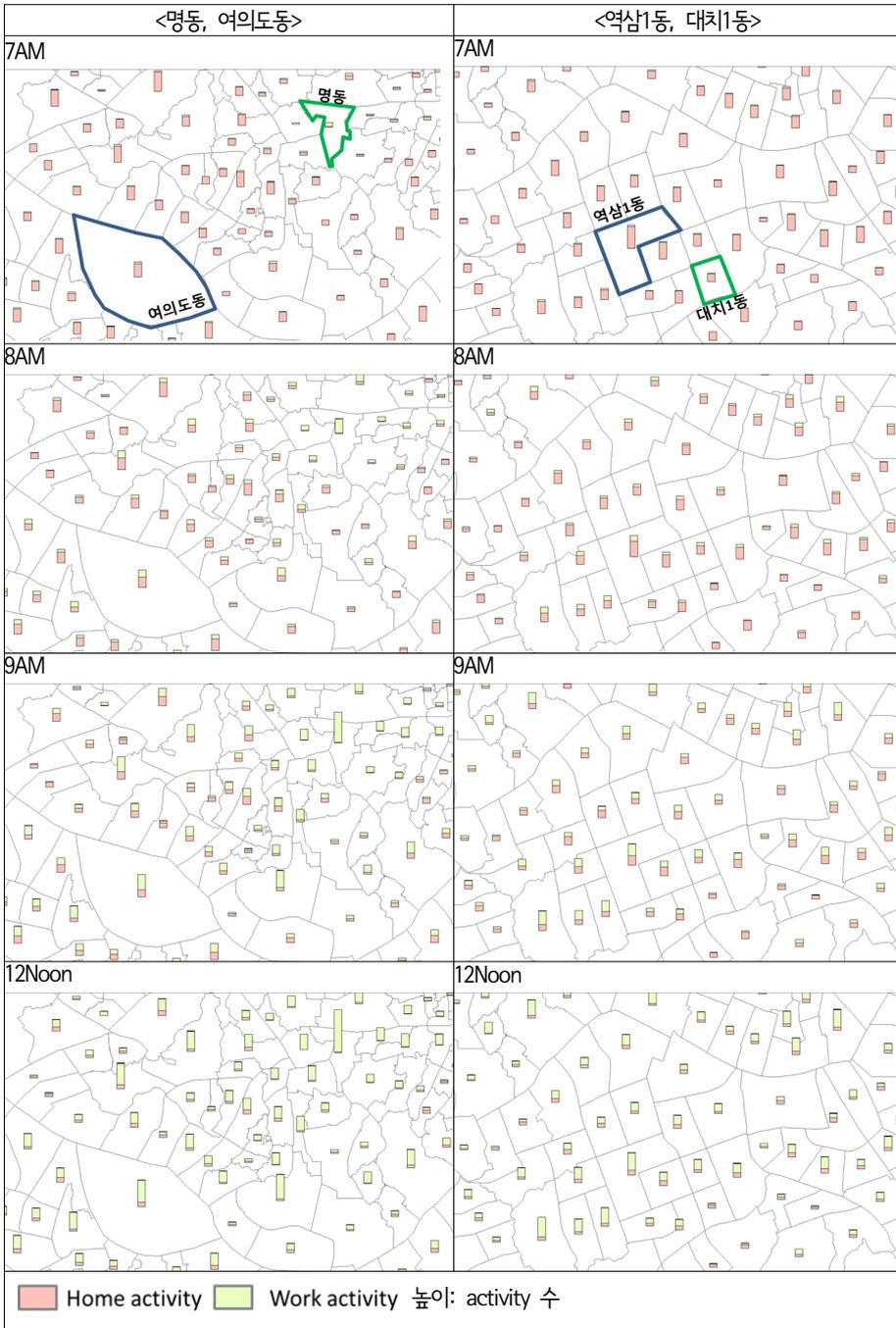
명동의 토지이용 특성은 주거지가 거의 없는 지역으로 호텔, 편의점, 상점 등의 근무지가 주로 존재하여 야간인구보다 주간인구가 월등히 많을 볼 수 있다. 특히 오전 7시에도 주거지 활동(home activity)보다 근무지 활동(work activity)가 많아 다른 지역과 확연한 차이를 보인다.

여의도동의 경우에는 주거지와 근무지가 혼재되어 있어 시간변화에 따라 거주자들의 일부가 근무 및 기타 활동을 위해 다른 교통존으로 빠져나가고 외부에 거주하면서 여의도에서 근무하는 사람들이 유입되어 야간인구보다 주간인구가 더 많아지는 활동특성을 보인다. 역삼 1동 또한 주거지와 근무지가 혼재되어 있으며 여의도동과 비슷한 토지이용 특성으로 활동특성 또한 비슷한 패턴을 보인다.

대치 1동의 경우는 주거지가 대부분의 토지이용을 차지하고 있어, 거주자들은 오전에 다른 존으로 빠져나가지만 근무를 위해 유입되는 사람은 제한되어 있으며, 주간인구가 야간인구보다 더 많아지는 활동특성을 보인다.

이러한 분석결과는 활동기반 모형을 적용함으로써 토지이용과 활동 및 교통의 영향관계를 파악할 수 있음을 알 수 있으며, 최근 주목받고 있는 토지이용과 교통을 동시에 고려한 평가를 가능하게 함으로서 교통정책의 실효성 제고에 기여할 수 있다.

<그림 4-8> 시간대에 따른 교통존별 활동패턴 비교



(3) 하루의 모든 시간대별 통행량 및 통행발생원 도출 가능

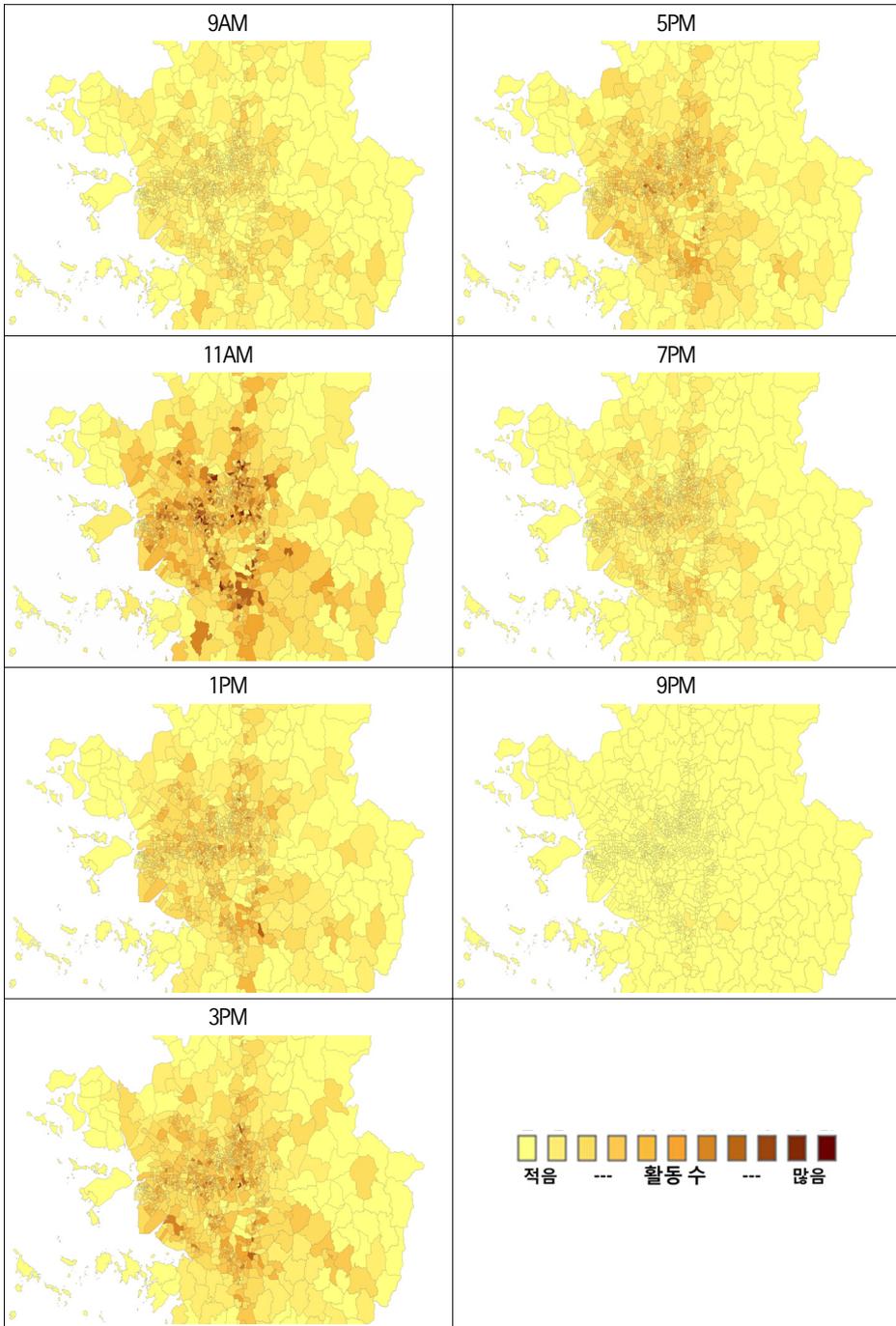
〈그림 4-9〉는 시물레이션 대상지역에서 평균적인(특별한 사건, 이벤트가 일어나지 않는) 평일에 나타나는 쇼핑활동의 분포를 시간대별로 분석한 결과이다. 주로 오전 9시에서 오후 7시 사이에 주로 쇼핑활동이 이루어지며, 오전은 11시, 오후는 3~5시에 가장 많은 쇼핑 활동이 이루어지는 패턴을 보인다. 최근 도시환경 개선을 위한 교통정책은 첨두시 통행량 감소뿐만 아니라 비첨두시의 통행 발생량 또한 주요한 정책대상이며, 따라서 활동기반 모형을 적용함으로써 하루의 모든 시간대의 통행량과 통행발생원인 등에 관한 분석이 가능하여 교통정책 실효성 제고에 기여할 수 있다.

(4) 개개인의 시·공간적 활동범위 도출로 교통정책 파급효과 평가

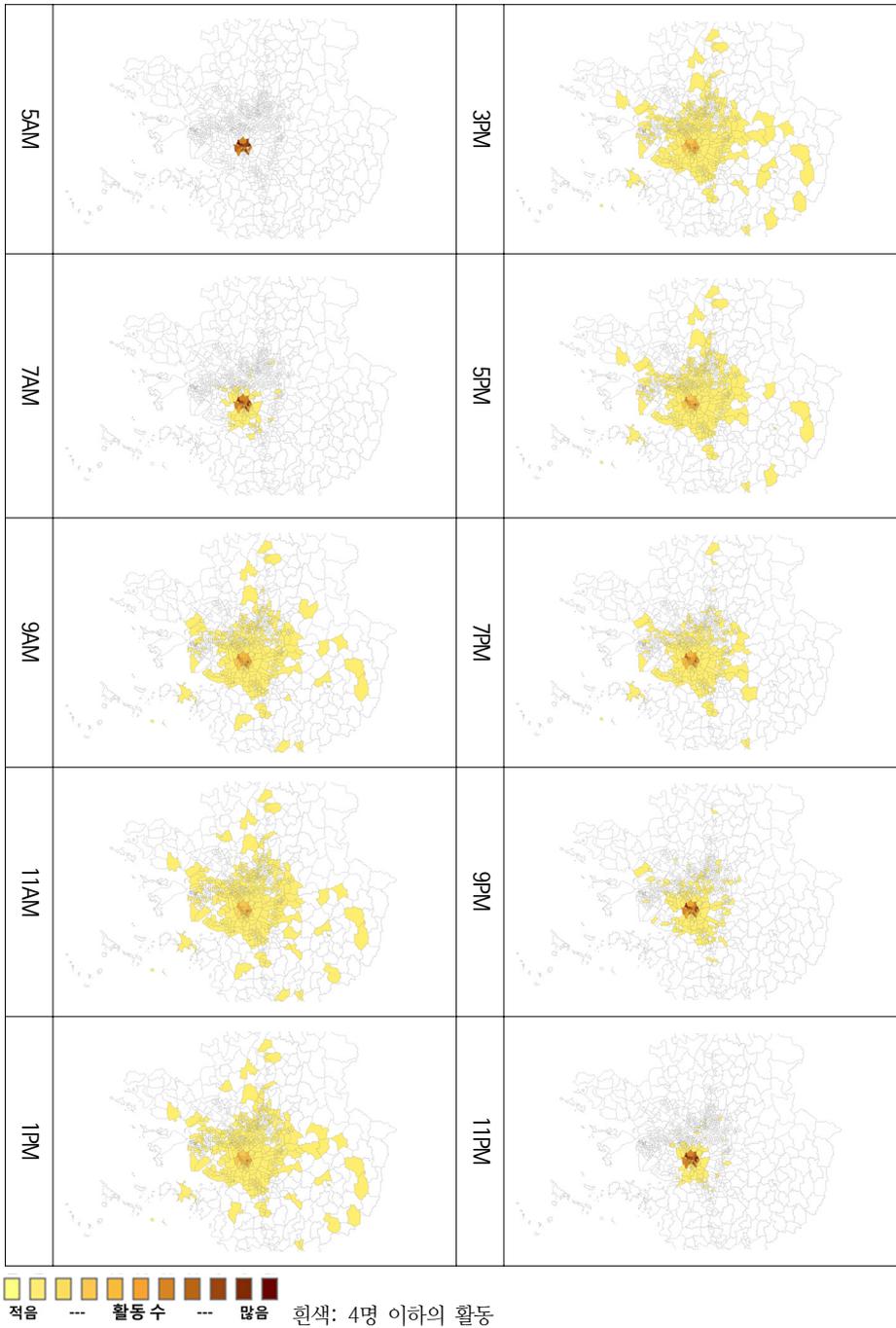
활동기반 시물레이션 결과에서는 교통정책의 분석대상으로 하는 지역주민들만을 대상으로 거주지에서 출발한 주민들이 하루 동안 어느 정도 범위를 이동하는지 관찰 가능하고 시간대별로 분석하는 것이 가능하다.

〈그림 4-10〉은 그 예로 안양시에 대해 생성된 가상인구(synthetic population) 중 무작위로 10%를 선택해 활동이 일어나는 교통존을 시간대별로 분석한 결과이다. 활동기반 모형은 개별 통행만이 아닌 하루 전체의 통행패턴을 파악할 수 있으며, 이는 새로운 교통시설물(예, 신규 철도노선, 도로 등) 도입 등에 따라 누가(어떤 지역), 어느 정도 많은 영향을 받을 수 있는지를 명확히 분석할 수 있어 교통정책 실효성 제고에 기여하는 것이 가능하다. 동일한 방법으로 지역별, 활동분류별, 인구그룹별, 통행수단별 등에 대해서도 더욱 세밀한 분석이 가능하다.

<그림 4-9> 시간대에 따른 쇼핑활동의 분포



<그림 4-10> 안양 주민의 시간대별 활동 위치



3. 활동기반 시뮬레이션 모형의 정책 활용 사례분석

본 절에서는 활동기반 시뮬레이션 모형이 정책 분석에 있어 유용함을 검증하기 위해 구축된 시뮬레이션 모형을 이용하여 교통정책에 대한 적용 사례를 예시하고, 특히 기존 통행기반 4단계 모형과의 차별화된 정책지표를 도출하여 이를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하려 한다. SimAGENT를 이용해서는 단기간에 일어난 통행비용 변화 시나리오를 3가지로 테스트했고, FEATEHRS는 4가지의 시나리오 중 주로 장기적 인구·사회변화가 교통수요에 미치는 영향에 대해 분석했다. 각각의 모델을 이용해 분석한 시나리오는 다르지만 두 가지 모두 장, 단기 변화에 대한 영향을 시뮬레이션 하는 것이 가능하다. 단, 여기에 제시된 결과치는 수도권에 최적화된 모형에서 도출한 것이 아니므로 주의가 요구된다.

1) 통행비용 변화에 따른 영향분석: SimAGENT

첫 번째 분석은 수도권을 대상으로 통행비용 변화에 따른 영향을 SimAGENT 시뮬레이션을 통해 시나리오 분석을 실시했다. <표 4-7>은 SimAGENT를 이용해 분석한 시나리오에 대한 설명이며, 이후 분석 결과에서는 각각 S1~S3으로 축약하여 각 시나리오를 표시한다. 시나리오의 설정은 중장기 유가상승 및 교통비용 증가 등으로 인해 자가용과 대중교통 운행비용이 2배가 된다고 가정하였다(S1, S2). 또한 통행시간 증가 시나리오는 중장기 수도권 자가용 이용비율 증가를 고려하여 교통정책으로 인한 통행시간이 약 2배 증가하는 것으로 가정하였다(S3).

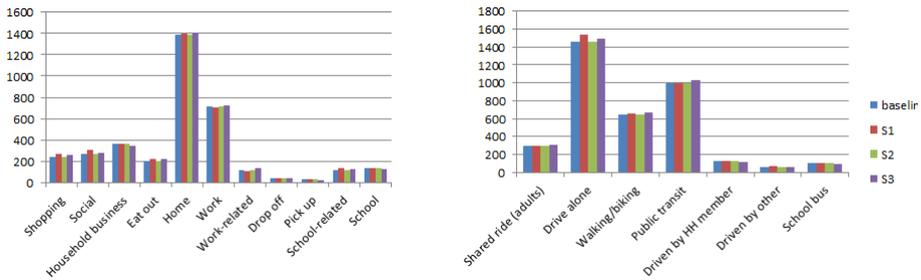
<표 4-7> 교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수

시나리오	설명
베이스라인 시나리오	수도권의 현 상태 통행비용 유지
시나리오 1 (S1)	자가용 운행비용 2배 증가
시나리오 2 (S2)	대중교통(지하철, 버스) 운행비용 2배 증가
시나리오 3 (S3)	아침, 저녁 첨두시간(7am-9am, 5pm-8pm)의 교통정체 심화에 따른 통행시간 2배 증가

(1) 통행비용이 활동참여와 교통수단 이용행태에 미치는 영향

시나리오 분석결과 통행비용(통행요금, 통행시간) 변화에 따라 활동참여빈도와 교통수단 총량적 이용빈도는 거의 일정하여, 통행비용 변화에 대해 상당히 비탄력적이라고 할 수 있다(그림 4-11). 이러한 원인으로는 첫째 활동에 대한 수요가 통행비용에 상관없이 일정하게 발생함을 의미할 수도 있고(활동이 통행을 유발함), 둘째 모델구조나 모델계수가 통행비용 효과를 반영하지 못했거나 인구를 사회경제적 지표에 따라 나누어 분석을 할 경우 서로 반대의 영향을 받아 상쇄 효과가 존재하기 때문으로 생각할 수 있다. 추후 수도권에 최적화된 모형을 추정하여 사용하고, 지역별, 인구계층별 분석을 하면 더욱 정확한 영향을 파악할 수 있을 것이다.

<그림 4-11> 활동종류별 참여빈도(좌)와 교통수단 이용빈도(우)



(2) 통행비용이 개인 및 가구의 통행행태에 미치는 영향

이 분석에서는 SimAGENT를 이용해 테스트한 시나리오의 시뮬레이션 결과가 가구와 개인 레벨에서 어떠한 정보를 포함하는지 설명한다. 단, 대중교통비용 증가 시나리오(S2)의 경우 베이스라인 시나리오와 활동 및 통행 패턴이 거의 같게 나타나 본 분석에 포함하지 않았다.

<표 4-8>은 시뮬레이션으로 얻어지는 다양한 정보 중 한 가구에 대한 활동과 통행의 특성 및 스케줄링에 대한 정보의 예시이며 컬럼별로 포함하고 있는 내용은 다음과 같다.

- 가구원ID(PID), 투어ID(TID)
- 활동에 대한 정보: 활동지속시간(Activity Duration), 활동 종류(Atype)

- 통행에 대한 정보: 통행의 출발 존(O_Zone_ID), 도착 존(D_Zone_ID), 통행 시작시간(StartT), 통행시간(TravelT), 도착시간(ArriveT), 통행거리(Distance), 통행수단(Mode), 첨두시간대 통행여부(PeakTrip)
- 네트워크 입력 데이터를 조회하여 얻을 수 있는 정보: 각 통행별로 통행수단을 고려한 비용(Cost)

시뮬레이션을 통해 얻어진 개인과 가구의 활동/통행에 대한 이러한 정보를 바탕으로 시나리오별로 <표 4-9>와 같은 분석을 수행할 수 있다. 이 분석에는 가구원 개개인의 활동과 통행의 공간구조, 가구원별 이동거리, 가구원별 교통비용 등이 포함된다.

분석결과, 시나리오 S1이나 시나리오 S3와 같이 시간적, 금전적 제약이 더해질 경우 통행 거리를 줄이거나 아예 통행을 포기하여 통행빈도가 줄어드는 현상이 발생할 수 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 보다 자세한 분석은 향후 전체 시뮬레이션 결과에 대해 시공간적 분석을 추가로 실시하면 파악 가능하다.

<표 4-8> 시나리오별 개인 및 가구의 통행행태에 미치는 영향

시나리오	PID	TID	ActType	OZoneID	DZoneID	StartT	TravelT	ArriveT	Activity Duration	PeakTrip	Distance (km)	Mode	Cost (원)
	1	1	7	676	48	180	30	210	107		22.9	3	1300
		5	3	48	47	317	5	322	65	AM	1.8	2	0
		5	7	47	48	387	4	391	523		1.8	2	0
	2	0	6	48	676	914	30	944	496		26.0	3	1350
		1	3	676	906	552	10	562	422		4.2	1	906
		1	6	906	676	994	9	993	447		4.0	1	792
	3	1	7	676	48	249	23	272	508		22.9	3	1250
		0	6	48	676	780	30	810	115		26.0	3	1350
		8	1	676	674	925	3	928	59		0.8	1	271
	4	8	6	674	676	987	2	990	450		0.8	1	219
1		2	676	418	720	54	774	13		35.5	1	4919	
1		0	418	318	787	46	833	3		20.0	1	4168	
	1	2	318	307	836	5	841	31		2.2	1	453	
	1	2	307	210	872	28	900	19		8.0	1	2529	
	1	0	210	12	919	31	950	38		8.4	1	2798	
1	1	6	12	676	988	64	1052	388		32.9	1	5771	
	1	7	676	48	180	30	210	704		22.9	3	1300	
	0	6	48	676	914	30	944	496		26.0	3	1350	
2	1	1	676	1016	609	39	648	17		20.2	1	7082	
	1	6	1016	676	665	33	698	742		20.2	1	5928	
	1	7	676	48	249	23	272	508	AM	22.9	3	1250	
3	0	6	48	676	780	30	810	630		26.0	3	1350	
	1	0	676	691	912	12	924	225		5.6	1	2176	
	1	6	691	676	1149	11	1160	16		5.6	1	2038	
4	2	0	676	903	1176	12	1188	7		3.0	1	2166	
	2	6	903	676	1195	6	1201	239		3.0	1	1129	

<표 4-8> 시나리오별 개인 및 가구의 통행행태에 미치는 영향(계속)

시나리오	PID	TID	ActType	OZoneID	DZoneID	StartT	TravelT	ArriveT	Activity Duration	PeakTrip	Distance (km)	Mode	Cost (원)
자전거 운행비용 200% 시나리오 (S1)	1	1	7	676	48	249	23	272	387	AM	22.9	3	1250
		0	6	48	676	659	30	689	289		26.0	3	1350
		8	1	676	676	978	2	980	196	PM	0.0	1	179
		8	6	676	676	1176	2	1178	262		0.0	1	179
	3	1	7	676	48	298	23	321	96	AM	22.9	3	1250
		5	1	48	48	417	5	422	10		0.0	2	0
		5	7	48	48	432	2	434	515		0.0	2	0
		0	6	48	676	949	22	971	23	PM	26.0	3	1300
4	8	1	676	695	994	25	1019	155		2.0	1	2247	
	8	6	695	676	1174	5	1179	261		2.0	1	420	
	1	7	676	222	179	38	217	442		23.6	3	1350	
	0	6	222	676	659	38	697	743		23.3	3	1350	

<표 4-9> 시나리오별 각 가구원의 공간적 이동 및 이동거리, 교통비용 변화(예시)

	Baseline 시나리오	자가용 통행비용 증가 시나리오 (S1)	첨두시 정체 심화 시나리오 (S3)
가구원 이동패턴			
이동거리	가구원 1: 52.2km 가구원 2: 8.1km 가구원 3: 52.2km 가구원 4: 106.4km 가구원 1: 2650원 가구원 2: 1688원 가구원 3: 3090원 가구원 4: 20638원	가구원 1: 48.6km 가구원 2: 40.1km 가구원 3: 48.6km 가구원 4: 17.1km 가구원 1: 2650원 가구원 2: 13010원 가구원 3: 2600원 가구원 4: 7509원	가구원 1: 48.6km 가구원 2: 0.0km 가구원 3: 52.6km 가구원 4: 46.6km 가구원 1: 2959원 가구원 2: 0원 가구원 3: 5216원 가구원 4: 2700원
교통비용			



(3) 통행비용이 개인 및 가구의 활동 위치 선택에 미치는 영향

이 분석에서는 통행비용, 통행시간의 변화가 활동 위치의 선택에 어떠한 영향을 미치는지 SimAGENT의 결과를 이용하여 분석했다. 앞의 분석에서 통행비용 및 시간이 변화하더라도 활동에 대한 수요는 탄력적으로 변하지 않음을 알 수 있었는데, 통근, 통학 등 임의로 통행은 근무 위치, 학교 위치를 옮기지 않는다는 가정 하에 거리를 줄일 수 없으므로, 이 분석에서는 그 외의 활동에 대한 통행거리를 살펴보았다.

분석의 결과는 <그림 4-12>에 제시하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

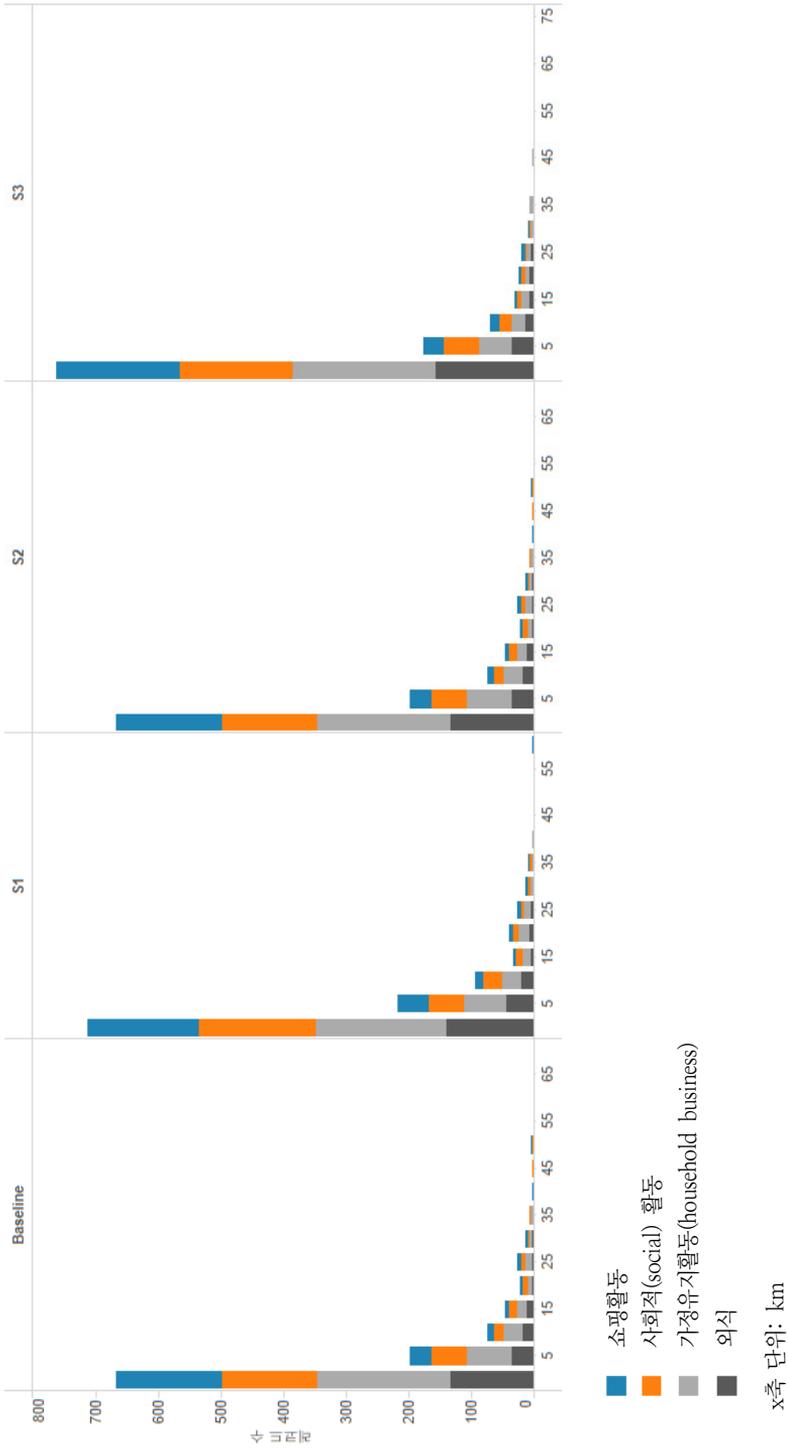
첫째, 자가용 통행비용 증가 시나리오(S1)에서는 통행비용을 절약하기 위해서 근거리 통행이 증가함을 볼 수 있으며, 특히 0~15km이내 통행이 증가했다.

둘째, 대중교통 통행비용 증가 시나리오(S2)에서는 통행거리 단축 영향이 거의 나타나지 않으며, 대중교통을 이용하는 목적지는 거리를 단축하기 위한 대안이 많지 않기 때문에 비용이 증가하더라도 거리를 단축할 수 없는 것으로 나타난다.

셋째, 첨두시간대 통행시간 증가 시나리오(S3)에서 통행거리 단축 영향이 가장 크게 나타나며, 시나리오(S1)에 비해 단거리(0~5km이내) 통행이 크게 증가함을 볼 수 있다.

시뮬레이션 결과에 의하면 활동위치 선택은 비용 변화에 대한 탄력성보다 시간 지연에 대한 탄력성이 높았다. 이러한 패턴은 개인은 통행시간을 단축하기 위해 가까운 활동 위치를 선택하는 영향과 고정된 통학·통근시간의 제약에 의해 다른 활동(예, 쇼핑 등)은 상대적으로 가까운 활동위치를 선택하려는 경향(time budget)이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.

<그림 4-12> 시나리오별 각 활동별 통행거리 변화



(4) 통행비용이 개인 및 가구의 활동 스케줄링에 미치는 영향

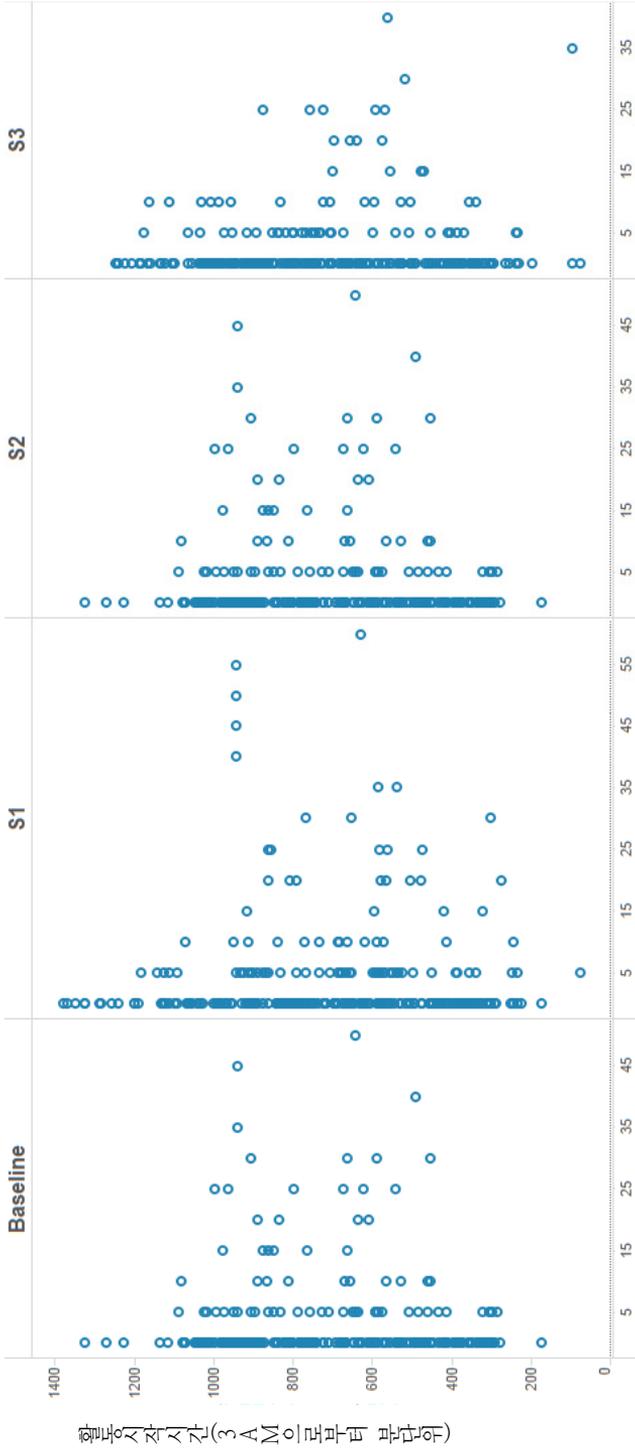
이 분석에서는 통행비용, 통행시간의 변화가 활동 위치와 스케줄의 선택에 어떠한 영향을 미치는지 SimAGENT의 결과를 이용하여 분석하였다. 주요 분석 내용은 통행비용이 증가하거나 침두시 통행시간이 증가하더라도 여전히 존재하는 활동에 대한 필요를 충족하기 위해 활동시간을 조정하거나 위치를 조정하는지에 주목하였고, 대표적으로 쇼핑활동의 시공간적 패턴을 분석하였다.

분석의 결과는 <그림 4-13>에 제시하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

자가용 통행비용 증가 시나리오(S1)에서는 통행비용을 절약하기 위해서 상대적으로 통행비용이 낮은 비침두시간대로 쇼핑활동이 이동함을 볼 수 있으며, 비침두시간대에는 장거리 쇼핑통행이 여전히 존재한다. 이와 달리 대중교통 통행비용 증가 시나리오(S2)에서는 쇼핑활동의 위치와 스케줄에 대한 영향이 거의 없는 결과가 나타났다. 침두시간대 통행시간 증가 시나리오(S3)에서는 통행시간을 절약하기 위해 상대적으로 통행시간이 적게 걸리는 비침두시간대로 쇼핑활동이 이동함을 볼 수 있으며, 새로이 추가된 저녁 침두시간대에는 쇼핑통행의 거리가 현저히 줄어들어 정체로 인한 통행시간 증가가 공간적 제약으로 작용함을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과에 의하면 하루 동안의 교통상황(네트워크 속도), 활동위치, 개인의 하루 중 스케줄은 서로 밀접한 영향을 가지고 있으며, 이러한 상호작용을 고려하기 위한 방법론으로서 활동기반 모형의 장점을 보여준다.

<그림 4-13> 시나리오별 소피화율을 위한 통행의 스케줄링(활동시작시간)과 통행거리의 분포



x축 단위: km

y축 단위: 분, 3AM으로부터 흐른 시간 (ex: 600=3AM+10시간=1PM)

(5) 통행비용이 침두시간 변화에 미치는 영향

앞의 분석은 입력데이터로 주어진 침두시간대의 높은 통행비용과 통행시간을 피하기 위해 활동에 대한 수요를 다른 시간대로 재배치하게 되는 영향을 보여주며, 이러한 스케줄링은 반대로 침두시간대의 변화를 가져올 수 있어, 추가로 침두시간 이동에 대한 분석을 수행하였다.

분석의 결과는 <그림 4-14, 4-15>에 제시하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 자가용 통행비용 증가와 대중교통 통행비용 시나리오(S1, S2)는 출근통행의 시작시간에 큰 영향을 미치지 않는 반면, 침두시간대 통행시간의 증가는 출근시간을 앞당기는 효과가 있다.

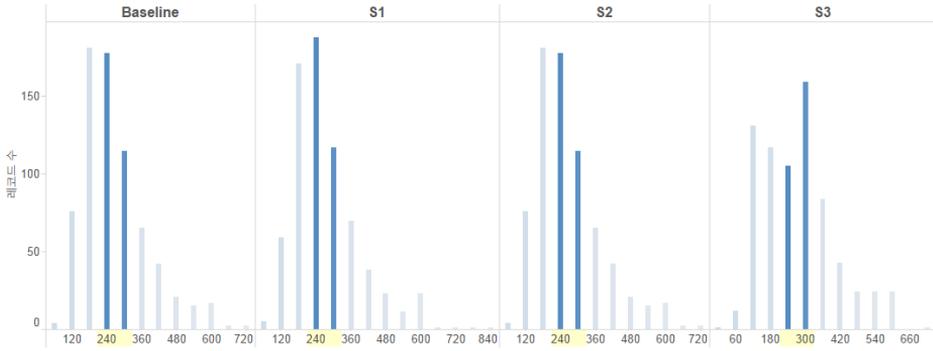
둘째, 출근, 통학 및 집으로 가는 통행을 제외한 통행 시작시간은 자동차 통행비용 증가와 오전, 오후 침두시간대 통행시간 증가에 의해 비침두시간대인 낮과 밤에 통행이 증가하는 변화가 보이나 크게 뚜렷하지는 않다.

셋째, 두 경우 모두 대중교통 비용의 증가(S2)는 활동의 스케줄에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

이와 같은 패턴을 보이는 원인으로는 출근통행과 같이 도착시간이 정해져 있는 통행의 경우는 통행비용보다는 통행시간에 크게 영향을 받으며, 상대적으로 출/도착 시간이 자유로운 통행의 경우에는 통행비용, 통행시간 모두에 영향을 받아 스케줄이 결정되지만 스케줄이 정해져 있는 다른 활동과의 상호작용 등에 의해 영향이 뚜렷하지 않은 것을 이유로 생각할 수 있다.

통행 스케줄 조정에 의해 시뮬레이션 결과로 얻어지는 침두시간대는 입력값으로 주어진 침두시간과 다르게 나타날 가능성이 있으며, 이러한 이유로 앞서 기술한대로 활동기반 모형과 동적통행배정(dynamic traffic assignment)을 결합하려는 노력이 이루어지고 있다.

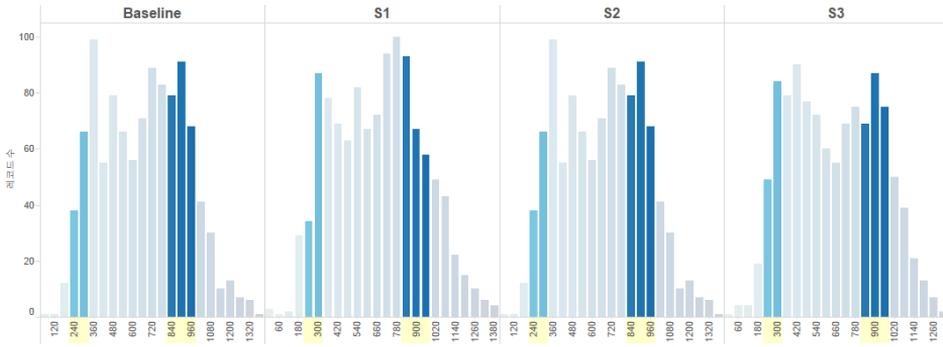
<그림 4-14> 시나리오별 출근 통행의 시작시간 분포



진한 파란 색: 오전 침투

x축 단위: 분, 3AM으로부터 흐른 시간 (ex: 240=3AM+4시간=7AM)

<그림 4-15> 시나리오별 쇼핑, 사회적 만남, 가구 업무, 외식 통행의 시작 시간 분포



진한 파란 색: (왼쪽) 오전 침투 (오른쪽) S3에 적용된 오후 침투

x축 단위: 분, 3AM으로부터 흐른 시간 (ex: 240=3AM+4시간=7AM)

2) 인구·사회변화에 따른 영향분석: FEATHERS

FEATHERS를 이용해서는 <표 4-10>에 제시한 시나리오에 대한 분석을 수행했으며, 이후 분석 결과에서는 각각 F1~F4으로 축약하여 각 시나리오를 표시한다.

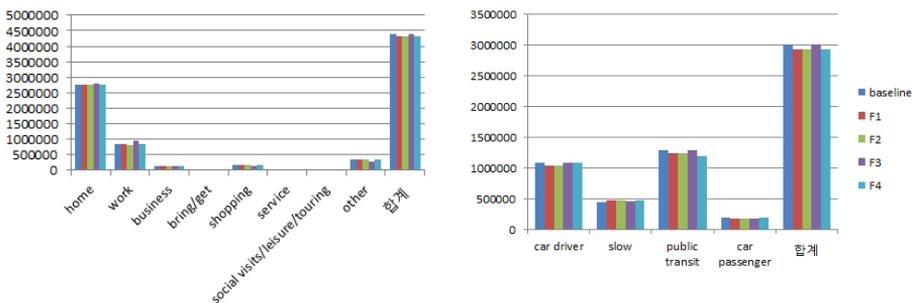
<표 4-10> 교통존(행정동)의 인구가구특성 보정을 위한 주요 변수

시나리오	설명
베이스라인 시나리오	수도권의 현 상태 통행비용, 인구가구조, 여성 경제활동 참여율 유지
시나리오 1 (F1)	자가용 운행비용 20% 증가
시나리오 2 (F2)	대중교통(지하철, 버스) 운행비용 20% 증가
시나리오 3 (F3)	고령화에 의한 노령자 비율이 증가하여 인구가구성비 변화 <ul style="list-style-type: none"> •청장년층 인구비율 감소율 (19-34세→10% 감소, 35-54세→5% 감소) •고령층 인구비율 증가율 (65-74세→10% 증가, 75세 이상→5% 증가)
시나리오 4 (F4)	여성의 경제활동 참여 증가에 의한 여성 취업자 20% 증가

(1) 시나리오별 활동참여와 교통수단 이용행태에 미치는 영향

분석결과 시나리오에 따라 활동참여빈도와 교통수단 이용빈도는 총량을 분석했을 때 거의 일정한 것으로 나타났다<그림 4-16>. F1 시나리오와 F2 시나리오의 경우에는 앞의 SimAGENT의 분석과 중복되는 부분이 있으므로, 본 분석에서는 인구가구조(고령화) 변화 시나리오 3(F3)과 사회경제(여성 취업자 증가) 변화 시나리오 4(F4)에 대해 보다 자세히 살펴보았다.

<그림 4-16> 활동종류별 참여빈도(좌)와 교통수단 이용빈도(우)



(3) 여성의 사회진출 증가가 교통에 미치는 영향

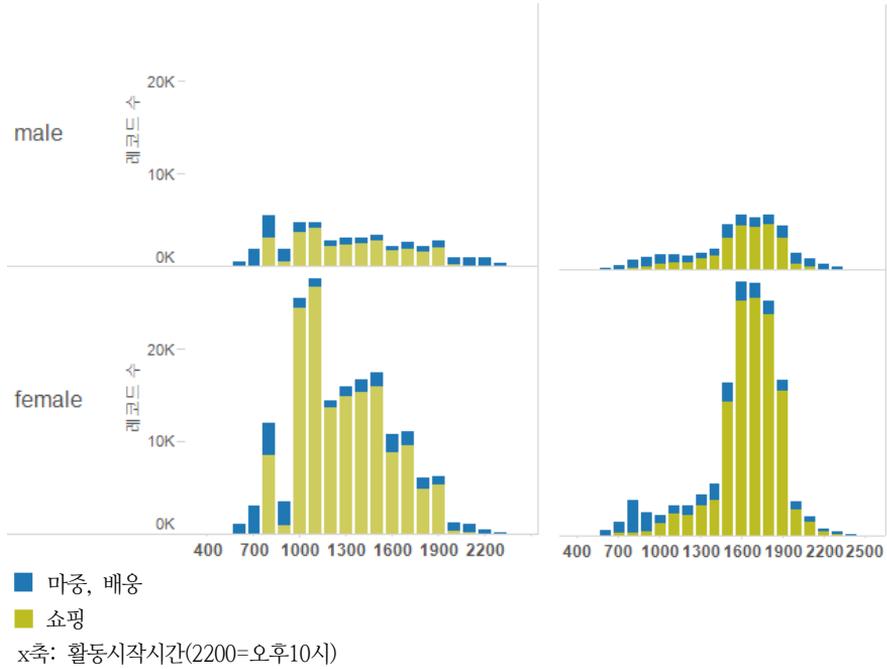
여성의 사회진출 증가(여성 취업률 증가)가 교통에 미치는 영향은 다양하게 예상할 수 있는데, 본 연구에서는 가구 내에서 주부들이 주로 맡고 있는 활동인 쇼핑과 자녀 마중/배웅 활동을 중점적으로 분석하였다(그림 4-19).

현 상태(베이스라인)를 우선 살펴보면 남성에 비해 여성의 자녀 마중/배웅 활동비율이 매우 높은 것을 알 수 있으며, 시나리오에서 제시한 여성의 사회진출이 증가할지라도 여성의 자녀 마중/배웅 활동비율에는 큰 변화가 없는 것으로 분석된다. 또한 시간대별 자녀 마중/배웅 활동빈도의 경우도 시나리오에 따라 큰 차이가 없는데 이는 자녀의 등/하교시간이 대부분 고정되어 있기 때문에 유연한 시간 할당의 여지가 없기 때문으로 판단된다.

쇼핑 활동의 경우 여성의 사회진출 증가에 따라 영향이 자녀 마중/배웅 활동에 비해 상대적으로 그 영향이 큰 것으로 분석된다. 즉, 여성의 사회진출 증가에 따라 쇼핑활동의 시간 때가 주로 저녁시간 때에 집중되는 것을 알 수 있는데, 이는 여성의 낮 시간 업무로 저녁시간 때로 쇼핑 활동을 이동시키기 때문이며, 향후 저녁시간 쇼핑물 주변 교통량 증가의 가능성을 시사한다. 또한 남성의 경우도 저녁시간 쇼핑 활동이 증가하고 있는데, 이는 여성의 직업 활동으로 남성과 여성이 쇼핑 활동을 분담했기 때문으로 판단된다.

이러한 분석결과로 활동모형 시뮬레이션을 적용함으로써 기존 4단계 모형에서는 알 수 없었던 사회변화에 따른 교통의 파급영향 분석, 가구구성원 간의 활동 분담에 따른 교통변화, 통행목적별 영향정도의 차이 등을 효과적으로 분석할 수 있음을 알 수 있다. 더불어 가구구성원들의 상호작용 패턴은 지역의 문화적 특성에 따라 상이하므로 한국형 활동모형 개발을 통해 국내의 특성을 반영할 필요가 있다.

<그림 4-19> 남성과 여성의 시간대별 자녀배웅 및 쇼핑 활동 분포
 베이스라인 시나리오 여성취업률 20% 증가 시나리오



3) 활동기반 시뮬레이션의 시나리오 분석 결과 종합

본 연구에서는 기존 4단계 모형에 비해 활동기반 시뮬레이션의 활용성을 검토하기 위해 교통정책 변화와 인구·사회변화에 따른 시나리오 분석을 실시하였다.

먼저, 교통정책(통행비용 증가)에 따른 시나리오 분석결과 교통정체에 따른 통행시간 증가는 개인의 하루 중 활동 및 통행에 가장 유의한 영향이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 테스트한 교통시간 및 교통비용 변화 시나리오에서 교통정책(통행 비용, 시간)은 개인의 활동위치(단거리 통행증가 등)와 활동스케줄(통행포기, 출발시간 변경 등)에 밀접한 영향이 있음을 도출하였으며, 이러한 분석은 기존 4단계 모형으로는 분석이 불가능한 부분으로, 4단계 모형에 비해 활동기반 모형을 적용함으로써 이러한 상호작용을 효과적으로 파악하여 교통정책의 실효성 증대에 기여가 가능할 것으로 보인다.

장기 사회인구적 변화 시나리오인 고령화와 여성의 사회진출 증가 시나리오의 분석결과, 고령화가 진행됨에 따라 자가용 운전의 감소 및 대중교통과 비동력수단을 이용한 출퇴근이 증가함을 도출하였고, 여성의 사회진출 증대에 따라 남성과 여성의 쇼핑활동 분담과 이에 따른 퇴근 후 쇼핑활동이 증대될 것을 도출하였다. 행동패턴과 가구내 상호작용을 모형화하는 활동기반 모형을 적용함으로써 기존 4단계 모형으로는 분석하기 힘든 사회변화에 따른 교통의 파급영향 분석, 가구 구성원간 상호작용에 따른 교통변화, 통행목적별 영향정도의 차이 등을 새롭게 분석할 수 있어 인구사회변화에 따른 중·장기 교통정책의 실효성 증대에 기여가 가능할 것으로 보인다.

chapter **5**

활동기반 시뮬레이션 모형
개발계획

활동기반 시뮬레이션 모형 개발계획

본 장에서는 한국형 활동기반 시뮬레이션 모형(ACTOR)의 개발계획 수립을 위해 국내 및 해외 교통수요모형들의 분석 구조를 보다 구체적으로 살펴보고 또한 해외 모형을 이용한 실증분석 결과를 반영하여 차년도 개발계획 수립의 시사점을 도출하였다.

1. 국내 교통수요모형의 비판적 고찰

국내에서 교통계획을 위해 적용되는 교통수요모형은 대도시권(수도권, 부산·울산권, 대구광역권, 대전광역권, 광주광역권) 및 전국 지역 간으로 구분되어 있으며, 각 권역별 2010년에 수행된 가구통행실태조사를 기반으로 모두 전통적인 4단계 모형을 이용하여 구축되어 있다.

1) 국내 교통수요모형 구축 과정

국내 교통수요모형은 기준연도 전수화 된 통행량을 기준으로 통행발생, 통행분포, PA(Production-Attraction)→O/D 통행량 전환, 수단선택 과정을 순차적으로 모형화하는 전통적인 4단계 접근방법론을 적용하였다.

첫 번째, 통행발생 단계 모형은 사회경제지표와 통행목적별 발생·도착량을 이용해 회귀모형을 구축하고, 기준연도의 차이를 보정하기 위하여 전수화 결과와 회귀모형

결과를 이용한 보정계수를 일괄 적용한다.

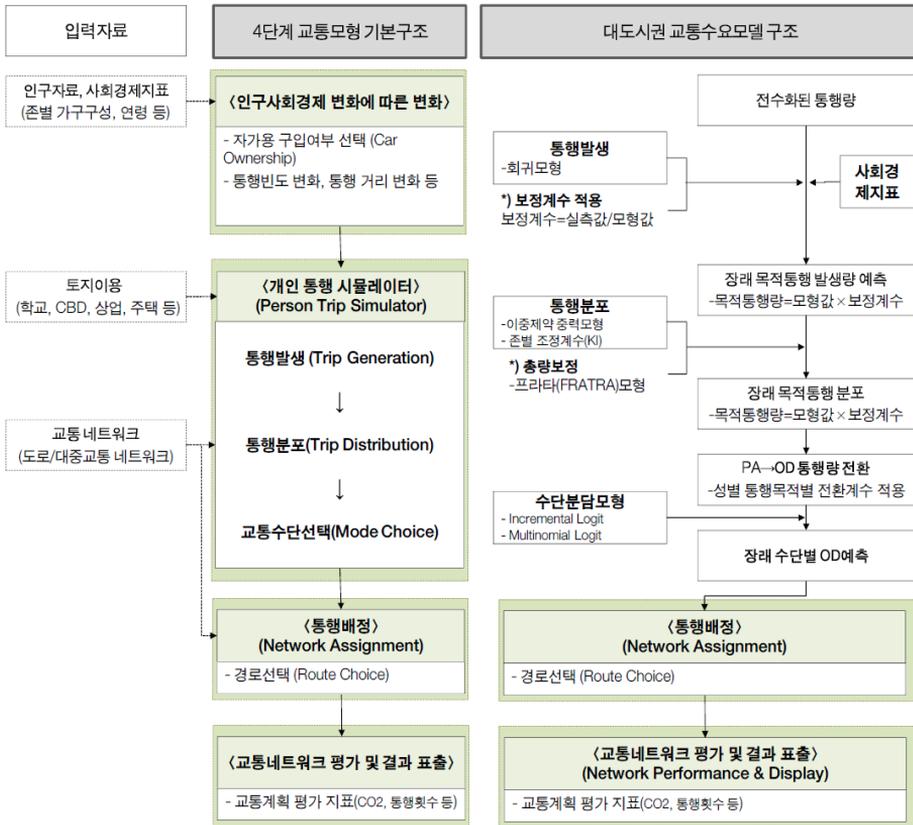
두 번째, 통행분포 단계 모형은 통행목적별 전수화 결과와 존간 통행거리를 이용해 이중제약 중력모형을 구축하고, 기준연도와의 차이를 보정하기 위해 보정계수를 적용해 보정한다.

세 번째, PA→O/D 통행량 전환 모형은 전수화 자료에서 산출된 통행목적별 전환계수를 이용하여 통행목적별 PA 통행분포를 OD 통행분포로 전환한다.

네 번째, 교통수단선택 단계 모형은 다음과 같이 3단계를 거쳐 구축한다.

- 1단계: 이용자의 교통수단 이용가능성에 대해 전수화 된 통행량을 기준으로 수단별 선택비율을 적용시킨다.
- 2단계: 이용 가능한 교통수단들에 대해서는 통행비용과 통행시간을 이용하여 다항 로짓모형을 구축하여 수단 분담율을 계산한다.
- 3단계: 기준연도와의 차이를 보정하기 위하여 전수화 된 결과를 이용한 Incremental 로짓모형을 적용하여 보정한다.

<그림 5-1> 4단계 교통모형의 기본구조와 국내(대도시권) 적용 모형



(자료: Meyer and Miller, 2001; 원제무, 1995)

2) 국내 교통수요 모형의 문제점

국내 교통수요모형의 모든 단계별 모형에서 추정결과와 전수화 결과를 일치시키기 위해 보정계수를 적용함에 따라 교통정책의 효과나 장래 교통수요변화 예측에는 한계가 존재하게 된다. 즉, 교통수요모형의 단계별(통행발생, 통행분포, 교통수단선택) 보정계수는 주로 중존을 기준으로 산정하는데, 예를 들면 토지이용 변화(대규모 재개발, 신도시 개발 등)가 비교적 큰 경우 현실과는 괴리된 추정결과가 도출되는 문제가 초래된다. 또한 보정계수 적용에 따라 인구관련 계획, 교통시설계획 등에 따른 효과를 정확히 평가하기 곤란하기 때문에 향후 보정계수 적용이 아닌 각 단계별 모형이 최대한 현실을 설명할 수 있도록 구축되어야 할 필요가 있다.

(1) 통행발생단계에서 사회·경제적인 측면의 변화 고려 필요

통행발생단계 모형은 대부분 회귀분석 모형을 적용하는데 비교적 단순한 구조의 회귀분석 모형으로는 장래 다양한 사회경제 변화에 따른 통행발생량 변화를 효과적으로 예측하지 못할 수 있다. 특히 주로 적용되고 있는 모형의 설명변수도 대부분 인구에 기초한 사회지표만으로 구성되어 사회경제적 변화에 따른 교통부문의 변화를 충분히 설명하지 못하는 한계가 있다.

또한 장래 고령화 및 가구구조의 변화로 통행패턴, 즉 통행의 빈도와 이용교통수단 등이 변화할 것으로 예상되나 현재의 통행발생 회귀모형으로는 이러한 변화를 설명하기에 어려움이 있다. 따라서 통행발생 모형의 설명변수로서 인구관련 지표가 아닌 가구구조나 경제수준 등에 따라 세분화된 모형 개발이 필요하다.

(2) 통행분포단계에서 현실적인 통행저항 반영 필요

통행분포단계 모형은 단순히 중간 통행거리를 이용한 이중제약 중력모형이 적용되기 때문에 예를 들면 대표적 교통수요관리(TDM)정책인 혼잡통행료 징수, 대중교통 전용차로와 같은 교통정책에 따른 효과평가가 곤란하다. 따라서 현실적인 통행 저항을 적용하기 위해 통행비용인 통행시간, 유료도로비용, 운행비용 등의 반영을 고려해볼 필요가 있다.

(3) 교통수단선택단계에서 모형 구조 및 선택 대상의 다양화 필요

교통수단선택모형 중 1·3단계는 수단선택모형이 아닌 단순히 전수화된 수단분담비율을 적용하며, 2단계에서만 수단선택모형(다항로짓모형)을 적용한다. 교통수단선택모형은 대표 교통수단만이 대상이며 접근 교통수단은 배제되기 때문에, 통행배정단계에서 접근 교통수단은 전수화 통행량 비율과 동일하게 배정되고, 따라서 접근 교통수단 개선 등 정책효과 평가에 제약이 있다. 이러한 교통수단선택모형의 문제점들을 해결하기 위해 우선 대중교통망 네트워크 구축이 시급하고, 모형 구축에 있어서는 접근교통수단을 포함할 수 있는 진보된 교통수단선택모형(예, Nested Logit 모형) 적용이 필요하다.

(4) 통행배정단계의 시간대별 세분화 필요

통행배정 단계 모형은 현재 일단위로 배정하고 있으나, 장래 사회변화(여가통행증가, 정보통신기술 발달 등)에 따른 통행의 영향을 효과적으로 반영하기 위해서는 시간대별 통행배정이 가능해야 한다.

(5) 교통수요모형의 단계별 유기적 연계 및 전산화 필요

모형 추정단계마다 별도 프로그램(예, 엑셀)을 이용해야 하는 등 전체 과정이 통합되지 못해 수요예측의 비효율성과 중간 오류·누락 등 문제가 있어 전체 과정을 통합하는 전산화와 이를 위한 추정단계별 입·출력의 효과적 연계구조 마련이 필요하다.

2. 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 고찰

본 연구의 실증분석에 적용한 해외모형(SimAGENT, FEATHERS)을 중심으로 해외 교통수요모형들의 구조를 구체적으로 고찰하였다.

1) 활동기반 시뮬레이션 모형의 기본 구조

기존 대표적인 교통모형인 4단계 모형은 개별통행(Trip)만이 분석대상인 반면, 활동모형은 ①개인의 하루 동안 상호 연관된 모든 활동들을 재현하고, ②가구 구성원들의 상호작용을 반영하기 때문에 상대적으로 복잡한 모형 구조를 가지고 총 5개 모듈로 구분할 수 있다.

(1) 모듈 1. 가상인구 생성 시뮬레이터

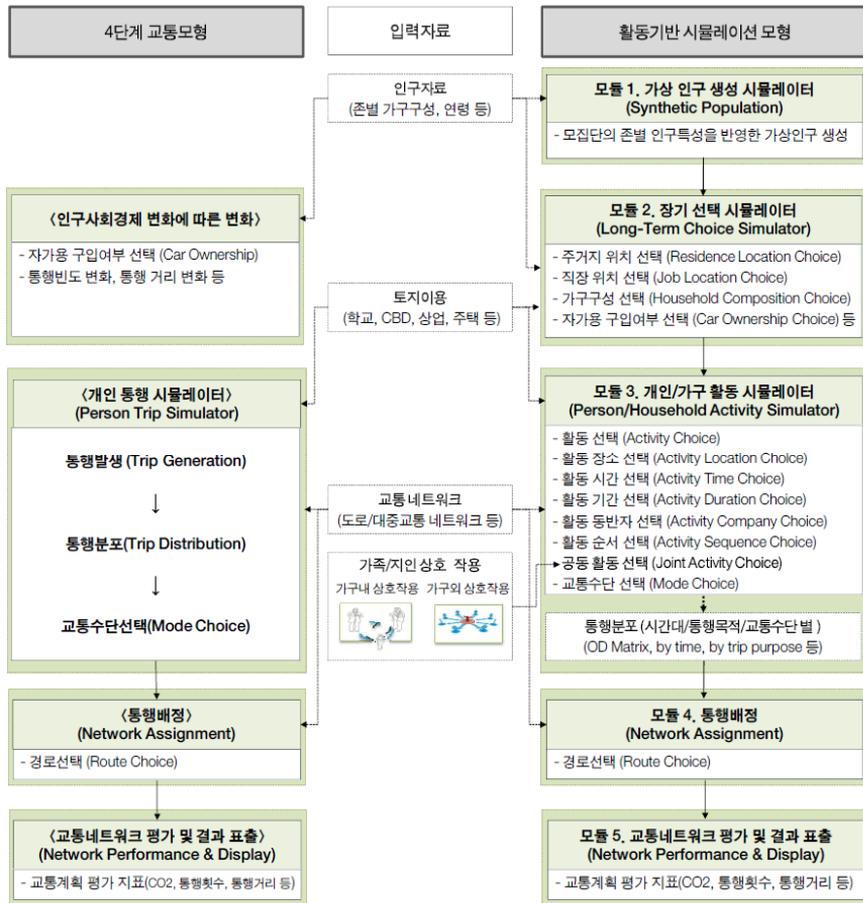
활동기반 모형의 가장 첫 단계로, 입력자료 존(행정동)의 인구특성(가구구성 등)과 사회경제특성(가구소득 등)을 해당 존의 모집단인 집계정보와 근사시키도록 가상인구를 생성한다. 기존 4단계 모형에 비해 활동모형은 개인의 일상활동, 가구구성원들의 상호작용을 통한 공동활동(Joint Activity), 활동분담(예, 부모의 자녀 돌봄 또는 쇼핑 분담 등) 등이 중요 분석대상이기 때문에 가상인구 생성(Synthetic Population Generation) 단계에서 생성된 가상인구 데이터베이스의 대표성이 중요하다. 본 연구의 해외모형들(SimAGENT, FEATHERS)은 동일한 가상인구 생성 알고리즘을 적용하며(Ye et al. 2009) PopGen(Population Generator, SimAGENT에서 사용)과 내부 프로그램(FEATHERS에서 사용)으로 별도 프로그램으로 구현되어 있다.

(2) 모듈 2. 장기선택 시뮬레이터

개인의 일상활동에 영향을 주는 외적환경(시공간 선택-주거 및 직장 위치, 인구-가구구성, 자녀 수, 결혼, 사회·경제-자가용 구입 등)에 대한 의사결정으로 토지이용 등 공간정책, 사회·경제정책, 교통정책 등에 의한 영향을 시뮬레이션 하는 모듈이다.

장기선택 시뮬레이터의 경우 활동모형의 분석 프레임에는 속해 있으나, 대부분 타 분야(장래 인구 및 가구구성 변화, 토지이용 변화 등)의 연구결과를 차용하거나 별도의 모형을 구축하여 추정된 결과를 활용한다. 단, 교통요인이 장기선택에 영향을 미치는 경우(예, 주거지 또는 직장 위치 선택, 자가용 구입여부 등)에는 별도의 모형을 가지고 있는데 해외모형인 SimAGENT는 CEMSELTS(Comprehensive Econometric Microsimulator of Socio-Economics, Land use and Transportation) FEATHERS는 ABSOLUTE(Acronym for Activity-Based System of Land Use and Transport Events)의 장기(long-term)의사결정 시뮬레이터를 별도로 보유하고 있다.

<그림 5-2> 활동기반 시뮬레이션 모형의 기본 구조



(자료: Meyer and Miller, 2001; Bowman and Ben-Akiva, 1997)

(3) 모듈 3. 개인/가구 활동 시뮬레이터

개인이 하루 동안 수행하는 모든 일상활동(어떤 활동을, 누구와, 언제, 어디서, 얼마동안, 교통수단)을 재현하는 모듈로 활동모형의 핵심기능이며, 모형화방법론에 따라 효용기반 접근법과 의사결정기반 접근법으로 구분된다. 특히, 기존 4단계 모형과 달리 가구구성원간의 상호작용에 의한 공동 활동(예, 가족외식 등), 활동분담(예, 아이돌봄 등)을 고려하는 측면에서 기존 접근 방법론과의 차별점을 찾을 수 있다. 개인 및 가구의 하루 동안 수행하는 모든 활동 시뮬레이션의 결과는 최종적으로 시간대별, 통행목적별, 교통수단별 출발지와 목적지 존간 통행량 OD 자료로 집계될 수 있으며, 본 연구에서 사용한 해외모형들인 SimAGENT는 효용기반 접근법, FEATHERS는 의사결정기반 접근법을 적용하여 개인의 일상활동을 모형화한다.

(4) 모듈 4. 통행배정

통행배정의 경우에는 기존 4단계 모형과 동일한 정적 통행배정 방법론이 적용하고 있으며, 본 연구의 분석대상인 해외모형들(SimAGENT, FEATHERS)의 경우에도 대부분 통행배정을 기존 4단계 모형과 동일한 정적 통행배정 방법론을 적용하는데 이것은 활동모형 본연의 목적을 달성하는데 제약조건이 된다. 따라서 차년도 ACTOR 모형 개발에 있어서는 동적통행배정(TRANSIMS, MATSim 등)이 가능한 모형의 구축방법론을 고려하려고 한다.

(5) 모듈 5. 교통네트워크 평가 및 결과 표출

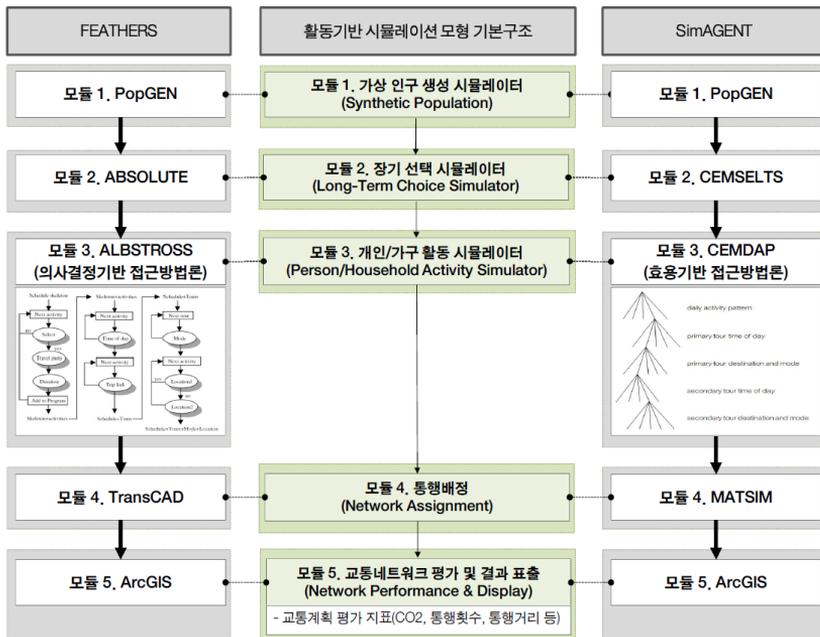
활동모형의 분석결과를 효과적으로 제시하기 위한 각종 지표와 GIS를 기반으로 결과를 표출하는 단계이다. 교통 정책적 측면에서 주요 지표와 활동기반 모형을 통해 새롭게 도출될 수 있는 지표들을 정리하고, GIS S/W는 본 연구에서 개발예정인 ACTOR가 공개모형임을 고려해 선택할 예정이다.

2) 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 분석

활동모형의 기본구조를 기준으로 살펴보면, 대부분의 해외 활동모형은 가상인구 생성 시뮬레이션(모듈 1), 장기의사결정 시뮬레이션(모듈 2), 통행배정(모듈 4), 교통 네트워크 평가 및 표출(모듈 5) 부문에서 큰 차이가 없다. 이 절에서는 본 연구의 목적이 한국형 활동모형(ACTOR)의 프로토타입 개발인 점을 고려해 핵심엔진인 개인/가구 활동 시뮬레이터(모듈 3)를 중심으로 고찰하며, 그 결과는 다음과 같다.

개인/가구 활동 시뮬레이터(모듈 3)의 모형화 방법론은 효용기반 접근법과 의사결정기반 접근법으로 구분되며, 이 절은 미국에서 개발되고 효용기반 접근방법론을 채택한 SimAGENT와 유럽(네덜란드, 벨기에)에서 개발되고 의사결정기반 접근방법론을 채택한 FEATHERS를 비교, 고찰한다.

<그림 5-3> SimAGENT와 FEATHERS 모형의 구조



(자료: Arentz and Timmermans, 2004; Bhat 외, 2013)

(1) SimAGENT 활동기반 시뮬레이션 모형

SimAGENT 활동모형의 핵심은 개인/가구 활동 시뮬레이터(모듈 3)의 CEMDA P6)으로 개인/가구의 하루 동안 일상활동을 재현하기 위해 효용기반의 계량경제학적 접근방법론에 기반하고, 의사결정 단계별 적절한 계량경제모형들을 적용한다(Bhat 외, 2013). CEMDAP 모형은 크게 두 부분의 의사결정 단계로 구분되는데 ①활동 발생-분담 모형 시스템(Activity generation-allocation model system)과 ②활동스케줄링 모형 시스템(Activity scheduling model system)이다(Bhat 외, 2013).

활동 발생-분담 모형 시스템은 어떤 시점(평일, 주말)에 가구 단위의 활동패턴(활동종류, 시간, 장소 등) 예측을 목적으로 하며, 특히 가구구성원간의 상호작용을 통한 활동 분담(예, 어린이 등교 동반자)을 예측하는 것이 가능하다.

<표 5-1> 활동 발생-분담 모형 시스템(Activity generation-allocation model system)

활동대상	활동 내용	계량경제모형
어린이	어린이 학교 활동 유무	이항로짓모형(Binary Logit Model)
	어린이 학교 활동 시작시간	생존모형(Duration Model)
	어린이 학교 활동 종료시간	생존모형(Duration Model)
부모	어른 회사 활동 유무	이항로짓모형(Binary Logit)
	어른 회사 활동 시작시간	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)
	어른 회사 활동 종료시간	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)
어른(대학생)	어른(대학생) 학교 활동 유무	이항로짓모형(Binary Logit Model)
	어른(대학생)학교 활동 시작시간	회귀모형(Regression Model)
	어른(대학생)학교 활동 종료시간	회귀모형(Regression Model)
어린이 교통수단	어린이 등교 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)
	어린이 하교 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)
부모의 활동분담	부모(아빠 vs 엄마) 중 어린이 등교 동반자	이항로짓모형(Binary Logit Model)
	부모(아빠 vs 엄마) 중 어린이 하교 동반자	이항로짓모형(Binary Logit Model)
활동종류 및 활동 시간	외부활동 유무	이항로짓모형(Binary Logit Model)
	외부활동 총 시간(외부, 통행, 내부 활동 시간)	Fractional Split Model
	활동 선택(총 9개 종류의 활동)	MDCEV(Multiple Discrete Continuous Extreme Value)

(자료: Bhat 외, 2013)

6) CEMDAP-Comprehensive Econometric Microsimulator of Daily-Activity Travel

활동스케줄링 모형 시스템은 어떤 시점(평일, 주말)에 개인의 활동스케줄링 예측을 목적으로 하며, 특히 CEMDAP의 경우 공동활동(Joint Activity)을 반영하고 17세 이하 어린이에 대한 활동스케줄링도 별도로 예측한다는 점에서 특징이 있다.

<표 5-2> 활동스케줄링 모형 시스템(Activity scheduling model system)

활동대상	활동 내용	계량경제모형	
직장인	출퇴근 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
	업무 통행 이전 통행 횟수	순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
	업무 통행 횟수	순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
	업무 통행 이후 통행 횟수	순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
	업무 통행 이전 통행 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
	업무 통행 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
	업무 통행 이후 통행 교통수단	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
	통행 중 중간경유지(stop) 경유 횟수	순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
	통행 이전 가정 또는 회사 체류 시간	회귀모형(Regression Model)	
	중간경유지(stop) 활동 종류	다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
	중간경유지(stop) 활동 시간	회귀모형(Regression Model)	
	중간경유지(stop) 통행 시간	회귀모형(Regression Model)	
	중간경유지(stop) 장소	공간위치선택모형(Spatial Location Choice Model)	
	비직장인	단독 통행 횟수	순서화프로빗모형(Ordered Probit)
공동활동 또는 마중/배웅 이전 단독 통행 유무		이항로짓모형(Binary Logit Model)	
공동활동 또는 마중/배웅 이후 단독 통행 유무		이항로짓모형(Binary Logit Model)	
통행 교통수단		다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
통행 중 마중/배웅 중간경유지(stop) 경유 횟수		순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
통행 중 중간경유지(stop) 경유 횟수		순서화프로빗모형(Ordered Probit)	
통행이전가정 체류 시간		회귀모형(Regression Model)	
중간경유지(stop) 활동 종류		다항로짓모형(Multinomial Logit Model)	
중간경유지(stop) 활동 시간		회귀모형(Regression Model)	
중간경유지(stop) 통행 시간		회귀모형(Regression Model)	
중간경유지(stop) 장소		공간위치선택모형(Spatial Location Choice Model)	
공동활동 (Joint Activity)		공동 또는 단독 통행 유무	이항로짓모형(Binary Logit Model)
		공동활동 시작시간	회귀모형(Regression Model)
		공동활동 중간경유지(Stop) 통행시간	회귀모형(Regression Model)
	공동활동 장소	공간위치선택모형(Spatial Location Choice Model)	
	가정 기반 공동활동 통행 자동차 이용 종류	MDCEV(Multiple Discrete Continuous Extreme Value)	
어린이	등교 통행 시간	회귀모형(Regression Model)	
	하교 통행 시간	회귀모형(Regression Model)	
	단독 자율활동 교통수단	이항로짓모형(Binary Logit Model)	
	단독 자율활동 시작시간	회귀모형(Regression Model)	
	단독 자율활동 중간경유지(stop)활동시간	회귀모형(Regression Model)	
	단독 자율활동 중간경유지(stop)통행시간	회귀모형(Regression Model)	
	단독 자율활동 중간경유지(stop) 장소	공간위치선택모형(Spatial Location Choice Model)	

(자료: Bhat 외, 2013)

본 연구의 실증분석 결과 SimAGENT 모형은 실행적 측면에서 다음과 같은 장·단점이 있다.

주요 장점으로는, 전체 모형이 계량경제모형을 적용하고 있기 때문에 교통적 관점에서 비교적 이론적 근거가 명확하고, 프로그램의 소스코드가 개방(Open Source Code)되어있기 때문에 활용 가능성이 높다.

주요 단점으로는 첫째, 매우 정교하고 복잡한 계량경제모형들이 적용되어 단계별로 적용된 모든 모형을 추정해야 하는 어려움이 있다. 둘째, 단계별 적용되는 주요 변수들이 통계적으로 유의하지 않게 추정될 수 있으며, 중요 변수가 포함되지 않았을 경우 모형의 정확도와 설명력이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 셋째, 매 단계 추정되는 모형의 오차가 단계를 거칠 때마다 누적되어 최종 추정결과의 오차가 증가될 수 있다. 넷째, CEMDAP 이전과 이후 모듈로 입력과 출력 포맷이 연계되지 않아 매 단계별로 모형의 추정결과를 별도 프로그램으로 정리하고 다음 단계의 모형의 입력 값으로 활용함으로써 사용의 불편함이 있다.

(2) FEATHERS 활동기반 시뮬레이션 모형

FEATHERS 활동모형의 핵심은 개인/가구 활동 시뮬레이터(모듈 3)의 ALBATROSS⁷⁾으로 개인/가구의 하루 동안 일상활동을 재현하기 위해 의사결정기반 접근방법론을 적용하고, 의사결정 단계별로 동일한 규칙기반(Rule-based system)모형을 적용 한다(Bellemans, 2013). 즉, ALBATROSS모형은 의사결정은 효용극대화가 아닌 학습과 적응에 있다고 가정하고 그 실행방법으로 규칙기반 의사결정 방법론을 적용 한다(Arentze 외, 2001).

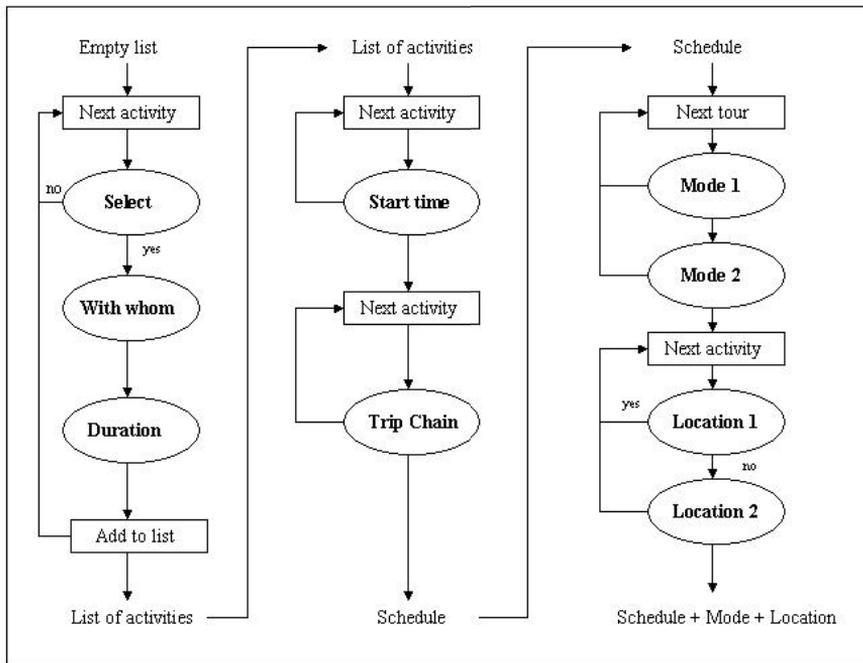
ALBTROSS 모형은 크게 두 부분의 의사결정 단계로 구분되는데, 그것은 ①활동의 의사결정 규칙을 도출하는 시스템과 ②활동스케줄링 시스템(Scheduler Engine)이다. 활동의 의사결정 규칙 도출 시스템은 조사된 활동 일지 데이터로부터 의사결정 테이블(Decision Table, DT)를 CHAID⁸⁾ 알고리즘을 통해 도출하며, 활동스케줄링

7) ALBATROSS-A Learning-BASed TRansportation Oriented Simulation System

8) CHAID: Chi-squared Automatic interaction Detection(의사결정트리 알고리즘)

시스템은 개인의 활동스케줄링 예측을 목적으로 해서 일련의 스케줄링 행동(활동종류, 시작시간, 지속시간, 통행연쇄, 교통수단, 활동 장소 등)에 대한 동일한 규칙모형을 적용하는데 총 26개의 의사결정 테이블(DT)을 적용하여 추정 한다(Bellemans, 2013).

<그림 5-4> ALBATROSS의 활동스케줄링 시스템



(자료: Ettema, 1996)

<표 5-3> ALBATROSS의 활동스케줄링 시스템의 의사결정 트리(decision tree, DT)

활동 대상	활동 내용	의사결정트리(DT) 예시																				
업무	업무 활동 유무	<p>Decision tree example</p> <pre> graph TD Distance --> Short Distance --> Long Short --> Parking Long --> Train_serv[Train serv.] Parking --> Bad1[Bad] Parking --> Good1[Good] Train_serv --> Bad2[Bad] Train_serv --> Good2[Good] </pre> <table border="1"> <tr> <td>Slow</td> <td>0.90</td> <td>0.71</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Car</td> <td>0.08</td> <td>0.29</td> <td>0.70</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>Car Pool</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.30</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td>Public</td> <td>0.02</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0.40</td> </tr> </table>	Slow	0.90	0.71	0	0	Car	0.08	0.29	0.70	0.40	Car Pool	0	0	0.30	0.20	Public	0.02	0	0	0.40
	Slow		0.90	0.71	0	0																
	Car		0.08	0.29	0.70	0.40																
	Car Pool		0	0	0.30	0.20																
	Public		0.02	0	0	0.40																
	업무 활동 총시간																					
	업무 활동 총 횟수																					
	업무 활동별 시간																					
	업무 활동별 쉬는 시간																					
	업무 활동 시작시간																					
	업무 활동 장소, 현 위치와 이전 위치 동일 여부																					
	업무 활동 장소 가정 내/외, 구 단위																					
	업무 활동 장소 인구크기 순위, 구 단위																					
	업무 활동 장소 최근접 여부, 구 단위																					
	업무 활동 장소 거리대, 구 단위																					
업무 활동 장소 인구크기 순위, 동 단위																						
업무 활동 장소 거리대, 동 단위																						
업무 교통수단																						
비업무	비업무 고정활동 유무																					
	비업무 고정활동 총 횟수																					
	비업무 고정활동 총 시간																					
	비업무 고정활동 연쇄																					
	비업무 고정활동별 시작시간																					
	비업무 자유활동 유무																					
	비업무 자유활동 시간																					
	비업무 자유활동 시작시간																					
	비업무 자유활동 연쇄																					
	비업무 활동 장소																					
	비업무 활동 장소 거리별																					
	비업무 교통수단																					

(자료: Bellemans, 2013).

FEATHERS 모형은 실행적 측면에서 다음과 같은 장·단점이 있다.

주요 장점으로는, 전체 모형의 구조가 일관된 의사결정체계(DT)로 적용되기 때문에 모형추정이 용이하고, 다양한 정책변수 효과평가가 가능하다. 추정모형의 지리적, 인구집단별, 상황별 이전가능성(Transferability)이 비교적 높다.

주요 단점으로는, 첫째 교통부문에서 규칙기반 의사결정 모형의 이론적 근거가 현재까지 불충분(전문가 수용성 측면)하며, 둘째 어린이(17세 이하)의 활동스케줄링을 고려하고 있지 않아 예측결과물을 국내 수도권 가구통행조사 자료와의 직접 비교 검토가 곤란하다. 셋째 시뮬레이션 프로그램의 라이선스가 벨기에 하셀트 대학에 있어 모든 프로그램을 별도로 개발해야 하는 어려움이 있다.

3. 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 모형의 개발 이슈

1) 해외 활동기반 시뮬레이션 모형 비교

해외 활동기반 시뮬레이션 모형(SimAGENT, FEATHERS)의 실증분석 결과 모형 추정의 설명력과 유의성은 거의 차이가 없는 것으로 판단되어 모형 추정의 용의성과 실제 개발 가능성 측면에서의 검토를 수행하였다.

모형 추정의 용의성은 개인/가구 활동 시뮬레이터의 모형구조가 상대적으로 단순하고 단계별 추정이 아닌 동일 분석 프레임에서 모든 활동패턴을 모형화하는 FEATHERS가 비교적 양호한 것으로 판단된다. SimAGENT 모형의 경우 활동 시뮬레이터의 추정이 매우 복잡하고, 개발단계의 문제로 개발자가 아닌 사람이 프로그램 실행 중 코드를 수정해가며 실행할 수 없는 문제가 있다.

실제 개발 가능성 측면에서는 SimAGENT 모형은 프로그램의 소스코드를 개방하고 있어 자유로운 프로그램 개발이 가능한 반면, FEATHERS 모형은 벨기에 하셀트 대학에서 프로그램 라이선스를 보유하고 있으나 공개는 어렵다는 의견이 있었다. FEATHERS 모형의 핵심엔진은 ALBATROSS 시스템이며 해당 프로그램 라이선스는 네덜란드 아인트호벤 대학이 보유하고 있어, 해당 대학과의 공동연구를 통한 라이선스 확보 가능성을 검토할 필요가 있다.

따라서 현 시점에서는 SimAGENT 모형을 기반으로 개발계획을 수립하고자 하며, ①해당 모형은 계량경제학 모형을 적용한다는 측면에서 이론적 배경이 명확하고 ②일부 모형은 현재 교통 분야에서 활용되는 것으로 향후 개발 모형에 대한 교통전문가들의 수용성이 높을 것으로 기대된다.

2) ACTORM형의 기본구조와 주요 개발 항목

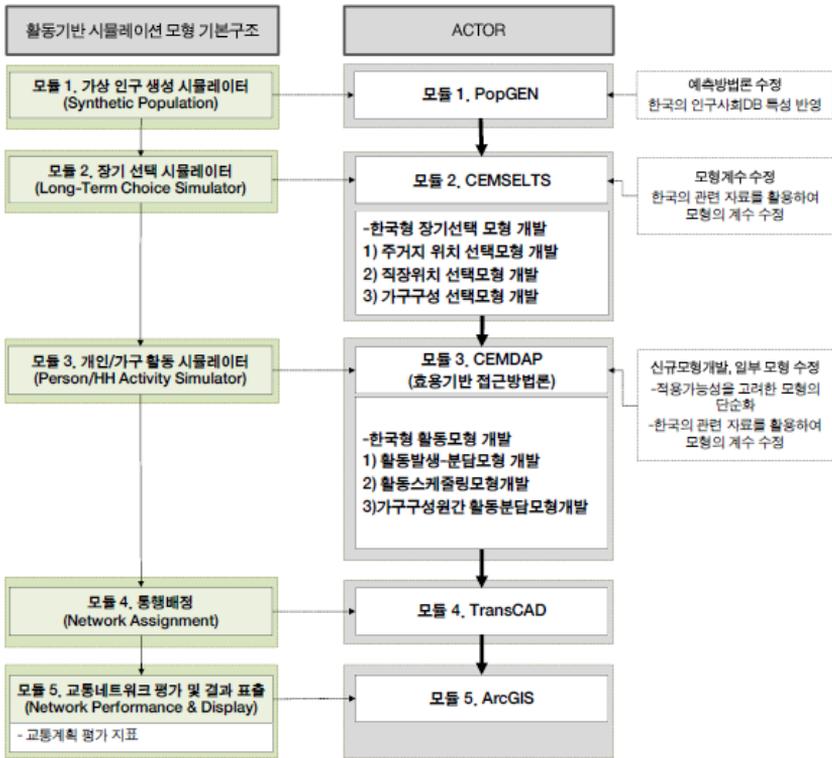
실증분석 및 모형구조 분석결과를 바탕으로 SimAGENT를 기반으로 한국형 활동기반 시뮬레이션(ACTOR)을 개발한다. ACTOR 모형의 기본구조는 SimAGENT의

기본구조와 동일하게 설계하나 실제 모형의 적용성과 한국의 상황을 반영할 필요성이 있기 때문에 많은 수정이 필요하다.

(1) 시뮬레이션 프로그램의 최적화

실증분석 결과 실무적인 활용성을 위해 SimAGENT 프로그램 최적화가 필요하다. SimAGENT는 매 단계별 모형간 입력과 출력 포맷이 연계되지 않아 단계별로 모형의 추정결과를 별도 프로그램으로 정리하여 재입력하기 때문에 모형추정의 효율성이 떨어지고 추정결과의 일관성 문제도 발생한다. 또한 SimAGENT모형이 몇 개 대학들에서 공동으로 개발되어 프로그램의 일관성이 결여되고 프로그램 구동에 발생하는 오류 메시지를 표출하는 부분이 없어 보완이 필요하다.

<그림 5-5> ACTOR 모형의 기본구조와 개발항목



따라서 ACTOR 모형은 SimAGENT 프로그램을 최적화하는 것에서부터 시작하며, 첫째 모형 단계별 입출력 형식을 동일하게 유지하여 모든 단계가 일괄 추정될 수 있도록 계획한다. 둘째 모형단계별 오류 점검 및 오류 표출모듈을 추가한다. 셋째 프로그램 코딩을 최적화 한다.

<표 5-4> 한국형 활동기반 시뮬레이션(ACTOR) 개발이슈

분석단계	현황 및 문제점	개발이슈
모듈1. PopGEN (가상인구생성)	<ul style="list-style-type: none"> -국내 통계청 인구센서스 자료는 도단위 위치만 공개되어 있어 가상 인구 생성시 중요시되어야 할 spatial correlation 이 반영되기 곤란 -국내 통계청 인구센서스 자료는 가구별 소득자료가 부재하여 별도의 가구별 소득분포 생성 필요 -국내 통계청 인구센서스 자료는 가구원수 분포가 동단위가 아닌 구단위로 공개되어 별도 보정 필요 -가구통행실태조사 자료와 통계청 자료의 구분기준이 달라 가구구성을 정확히 매칭하기 곤란 -가구통행실태조사 자료는 6세 미만의 개인 특성 및 통행이 기록되어 있지 않음 	<p><가상인구생성 보정방법론 개발></p> <ol style="list-style-type: none"> 1)교통존(행정동)단위 가구구성 및 가구 소득 예측모형 개발 2)가구통행실태조사 자료를 활용하여 6세미만 어린이가 통행행태 보정모형 개발
모듈2.CEMSELTS (장기선택모형)	<ul style="list-style-type: none"> -CEMSELTS의 주거지/직장/가구구성 등의 장기선택모형들은 미국의 고유특성인 인종에 따른 영향을 반영하고 있어 국내 상황과 다름 	<p><한국형 장기선택 모형 개발></p> <ol style="list-style-type: none"> 1)주거지 위치 선택모형 개발 2)직장 위치 선택모형 개발 3)가구구성 선택모형 개발 4)기타 국내 사회변화 반영 모형 <p>-예, 고령화, 여성취업증가 등</p>
모듈3. CEMDAP (개인/가구 활동모형)	<ul style="list-style-type: none"> -미국의 고유특성이 반영되어 추정된 활동 발생-분담 모형(Activity generation-allocation model)과 활동스케줄링 모형(Activity scheduling model)의 재추정 필요 -모형 단계별 매우 복잡한 계량경제모형들이 적용되어 단계 별로 적용된 모든 모형들이 유의하게 추정되는 경우에만 최종 결과를 얻을 수 있어 모형 추정 곤란 -단계별 적용되는 주요 변수들이 통계적으로 유의하지 않게 추정될 수 있으며, 이 경우 모형의 정확도와 설명력이 떨어지는 문제 발생 가능 -매 단계 추정되는 모형의 오차가 단계를 거칠 때마다 누적되어 최종 추정결과의 오차가 증가될 수 있음 -단계별 입력과 출력 포맷이 연계되지 않아 매 단계별로 모형의 추정결과를 별도 프로그램으로 정리하여 활용하기 때문에 모형추정의 효율성과 일관성 문제 발생 가능 -SimAGENT 모형이 몇 개 대학들에서 공동으로 개발되어 일관성이 결여되고 프로그램 내부 여러 상존 	<p><한국형 활동 모형 개발></p> <ol style="list-style-type: none"> 1)활동발생-분담모형 개발 2)활동스케줄링모형 개발 3)가구구성인간 활동분담모형 개발 <p><적용 모형 단순화></p> <ol style="list-style-type: none"> 1)가능한 비슷한 설명력을 유지하고 단순화가 가능한 모형의 추가 실험 <p>-예, 활동선택모형(MDCEV) 대체</p> <ol style="list-style-type: none"> 2)유사 설명변수에 대해서는 동일한 모형 적용 <p>-예, 활동시간모형은 생존모형 적용</p> <p>-수정 불가</p> <p><프로그램 최적화></p> <ol style="list-style-type: none"> 1)모형 단계별 입출력 형식을 동일하게 유지하여 모든 단계가 일괄추정될 수 있도록 수정 2)모형 단계별 여러 점검 및 에러 표출 모듈 추가 3)프로그램 코딩 최적화
모듈4. MATSIM (통행배정)	<ul style="list-style-type: none"> -정적 통행배정 모형의 한계 	<p><통행배정 S/W 변경></p> <p>-정적 통행배정 모형을 그대로 유지하고 TransCAD 적용</p>

(2) 가상인구생성(PopGEN) 수정

SimAGENT에서 적용하는 가상인구생성 방법론은 미국의 사회경제적 여건과 자료 포맷을 기준으로 설정되어 있다. 그러나 국내의 데이터 형식과 자료수집방식에 일부 상이한 점이 있어 이에 대한 모형 수정이 필요하다. 예를 들면 국내 통계청 인구센서스 자료는 가구별 소득 자료가 부재하여 별도의 가구별 소득분포를 생성할 필요성이 있다. 또한 가구통행실태조사 자료는 6세 미만의 개인 특성 및 통행이 기록되어 있지 않다. 따라서 ACTOR 모형은 한국의 상황을 반영하여 별도의 가상인구생성 보정방법론을 개발한다. 첫째 교통존(행정동) 단위 가구구성 및 가구소득 예측모형을 개발한다. 둘째 가구통행실태조사 자료를 활용하여 6세미만 어린이 통행행태 보정모형을 개발한다. 이외에도 구 단위로 되어있는 통계청 인구센서스 자료를 동 단위로 배분하기 위해 별도의 보정을 실시한다.

(3) 장기선택모형 수정

SimAGENT에서 적용된 장기선택모형(주거지/직장/가구구성 선택 등)은 미국의 고유특성인 인종에 따른 영향 등을 반영하고 있어 국내 상황을 반영한 별도의 장기선택 모형 개발이 필요하다. 따라서 ACTOR 모형은 주거지/직장/가구구성에 대한 관련 연구들을 활용하여 장기선택모형을 개발한다. 또한 향후 국내 사회변화를 반영할 수 있도록 유연한 모형을 개발한다.

(4) 개인/가구 활동모형 수정

SimAGENT에서 적용된 개인/가구 활동모형은 먼저 미국의 고유특성이 반영되어 있고, 실무적으로 적용하기 곤란한 매우 복잡한 계량경제모형들이 적용되어 이에 대한 모형의 재검토가 필요하다. 특히 복잡한 계량경제모형은 세부적인 통행행태를 반영할 수 있다는 측면에서 장점이 있으나, 적용된 변수들에 대한 데이터 확보 문제와 추정값이 통계적으로 유의하지 않을 경우 전체적인 모형의 정확도와 설명력이 떨어지는 문제가 발생가능하다. 따라서 ACTOR 모형에서는 첫째 한국의 고유특성이 반영된 모형을 별도로 개발해야할 필요성이 있다. 특히 개인/가구 활동모형은 매우 많은

수의 다양한 모형들을 포함하고 있기 때문에 차년도 연구에서는 핵심적인 항목들에 대해서만 우선적으로 별도의 신규모형을 개발하기로 한다. 둘째 모형의 단순화를 시도한다. 즉 가능한 비슷한 설명력을 유지하고 단순화가 가능한 모형은 추가 분석을 통해 단순화 한다. 또한 유사 설명변수에 대해서는 동일한 모형을 적용한다. 예를 들면, SimAGENT의 경우 활동시간을 예측하는데 회귀모형과 로짓모형이 혼재되어 사용되는 경우가 있었다. 따라서 가능한 동일한 모형형식을 갖도록 수정한다.

ACTOR 모형개발을 위해 구체적인 각 단계별 개인/가구 활동모형의 개발이슈는 아래 <표5-5>와 <표5-6>에 정리하였다. 각 표의 개발이슈에서 모형 재추정이란 SimAGENT에서 적용된 모형을 그대로 유지하면서 모형의 계수를 새롭게 추정하는 것이다. 신규모형이란 SimAGENT의 모형과는 별도의 신규모형을 개발하는 것이다. 기타란 추후 재검토해야 할 필요성이 있는 항목을 나타낸다.

이 장에서는 금년도 연구 결과를 바탕으로 ACTOR 모형의 기본구조와 주요 개발항목을 도출하였다. 그러나 보다 세부적인 모형의 구조설계와 개발항목에 대해서는 차년도에 보다 많은 논의를 통해 구체화할 필요성이 있다. 또한 각 단계별 적용모형에 대해서는 보다 많은 연구고찰을 통해 최적의 모형을 선택하는 과정을 통해 보다 정교하게 선택할 필요성이 있으며 이는 차년도 연구를 통해 완성할 것이다.

<표 5-5> 활동 발생-분담 모형 개발 이슈

활동 대상	활동 내용	계량경제모형	개발이슈			비고
			모형 재추정	신규 모형	기타	
어린이	어린이 학교 활동 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	어린이 학교 활동 시작시간	생존모형(DM)	√			
	어린이 학교 활동 종료시간	생존모형(DM)	√			
부모	어른 회사 활동 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	어른 회사 활동 시작시간	다항로짓모형(MNL)		√		생존모형(DM)
	어른 회사 활동 종료시간	다항로짓모형(MNL)		√		생존모형(DM)
어른 (대학생)	어른(대학생) 학교 활동 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	어른(대학생)학교 활동 시작시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	어른(대학생)학교 활동 종료시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
어린이 교통수단	어린이 등교 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	어린이 하교 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
부모의 활동분담	부모(아빠 vs 엄마) 중 어린이 등교 동반자	이항로짓모형(BL)	√			
	부모(아빠 vs 엄마) 중 어린이 하교 동반자	이항로짓모형(BL)	√			
활동종류 및 활동시간	외부활동 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	외부활동 총 시간(외부, 통행 내부 활동 시간)	Fractional Split Model	√			
	활동 선택(총 9개 종류의 활동)	MDCEV			√	모형재검토

주) Binary Logit(BL), Duration Model(DM), Multinomial Logit Model(MNL), Regression Model(RM)
 Spatial Location Choice Model(SP), Ordered Probit Model(OP)
 Multiple Discrete Continuous Extreme Values(MDCEV)

<표 5-6> 활동스케줄링 모형 개발 이슈

활동대상	활동 내용	계량경제모형	개발이슈			비고
			모형 재추정	신규 모형	기타	
직장인	출퇴근 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	업무 통행 이전 통행 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	업무 통행 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	업무 통행 이후 통행 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	업무 통행 이전 통행 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	업무 통행 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	업무 통행 이후 통행 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	통행 중 중간경유지(stop) 경유 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	통행 이전 가경 또는 회사 체류 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	중간경유지(stop) 활동 종류	다항로짓모형(MNL)			√	모형재검토
	중간경유지(stop) 활동 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	중간경유지(stop) 통행 시간	회귀모형(RM)	√			
중간경유지(stop) 장소	공간위치선택모형(SM)	√				
비직장인	단독 통행 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	공동활동 또는 마중비용 이전 단독 통행 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	공동활동 또는 마중비용 이후 단독 통행 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	통행 교통수단	다항로짓모형(MNL)	√			
	통행 중 마중비용 중간경유지(stop) 경유 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	통행 중 중간경유지(stop) 경유 횟수	순서화프로빗모형(OP)	√			
	통행이전가경 체류 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	중간경유지(stop) 활동 종류	다항로짓모형(MNL)			√	모형재검토
	중간경유지(stop) 활동 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	중간경유지(stop) 통행 시간	회귀모형(RM)	√			
중간경유지(stop) 장소	공간위치선택모형(SM)	√				
공동활동 (Joint Activity)	공동 또는 단독 통행 유무	이항로짓모형(BL)	√			
	공동활동 시작시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	공동활동 중간경유지(Stop) 통행시간	회귀모형(RM)	√			
	공동활동 장소	공간위치선택모형(SM)			√	
	가경 기반 공동활동 통행 자동차 이용 종류	MDCEV			√	모형재검토
어린이	등교 통행 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	하교 통행 시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	단독 자율활동 교통수단	이항로짓모형(BL)	√			
	단독 자율활동 시작시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	단독 자율활동 중간경유지(stop)활동시간	회귀모형(RM)		√		생존모형(DM)
	단독 자율활동 중간경유지(stop)통행시간	회귀모형(RM)	√			
	단독 자율활동 중간경유지(stop) 장소	공간위치선택모형(SM)	√			

주) Binary Logit(BL), Duration Model(DM), Multinomial Logit Model(MNL), Regression Model(RM)

Spatial Location Choice Model(SP), Ordered Probit Model(OP)

Multiple Discrete Continuous Extreme Values(MDCEV)

chapter 6

결론 및 향후 과제

결론 및 향후 과제

본 장에서는 실증분석을 토대로 본 연구가 목표로 한 활동기반 모형의 도입가능성에 대한 검증 결과를 요약하며, 활동기반 모형을 도입했을 때 교통정책결정과 교통계획을 선진화하여 정부가 목표로 하는 맞춤형 정책 및 토지정책과 연계된 정책 수립을 뒷받침할 수 있음을 제시한다. 또한 실증분석 과정에서 도출된 미래에 필요한 정책테스트를 위해 가구통행실태조사방법의 개선안도 제안하였다.

1. 연구의 결론

실효성 높은 교통정책 수립과 실행을 위해서는 새로운 여건변화에 따른 중·장기 교통수요 변화, 친환경·생활교통 중심의 패러다임 변화에 따른 단·중기 교통수요 영향을 평가할 수 있는 종합적·미시적 교통계획모형의 개발 필요성이 높다. 지금까지 교통정책 수립을 위한 교통계획모형은 통행기반(Trip-based)의 4단계 모형(Four-step model)이 주로 적용되어 왔으나, 교통정책 수립과 세부 실행에 이르기까지 이용자 요구 파악, 시행 효과, 정책 수행의 영향을 받는 지역주민의 통행행태 변화를 다각적으로 고려할 수 없어 계층별/지역별 차별적인 정책대안 선택에는 한계가 있어왔다. 이러한 4단계 모형의 한계에도 불구하고 현재까지 국내 교통시설 투자를 위한 타당성 평가에 지속적으로 적용되고 있어, 대안 모형을 제시할 필요가 있으며, 이러한 차원에서 본 연구는 우리나라 교통정책의 실효성 제고를 위해 한국형 활동기반

시뮬레이션 모형(ACTOR, ACTivity-based micro-simulatOR) 개발을 목적으로 하고 있다.

이 연구는 총 2개년도로 구분하여 진행되며 1차년도(2013년)는 활동기반 시뮬레이션 모형의 적용 가능성 및 정책적 실효성을 검증하고, 향후 ACTOR 모형개발을 위한 개발계획 수립까지를 목표로 하고 있다. 2차년도(2014년)은 ACTOR 모형의 프로토타입 개발을 목표로 하며, 실증분석을 통해 향후 개발모형의 확장계획 및 정책방안을 제시하려 한다. 본 보고서에 해당하는 1차년도에는 ACTOR 모형개발을 위한 준비와 실험단계로 모형의 이론적 검토, 국내외 개발 현황 고찰, 실증분석을 통한 모형의 유효성을 검증하고 끝으로 단계적 개발계획을 수립하였다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 해외모형을 활용해 교통정책의 실효성 측면에서 활동기반 시뮬레이션 모형의 유효성을 실증분석을 통해 검증하였다. 그 결과, 활동기반 시뮬레이션 모형은 지역특성을 반영한 교통정책 수립, 하루의 모든 시간대의 통행량과 통행발생원인 등에 관한 분석, 개개인의 시·공간적 활동범위 도출로 교통정책 파급효과 평가가 가능하고 24시간의 연속적인 통행량 변화 분석 등을 통해 교통정책의 실효성 제고에 기여 가능성을 도출하였다.

둘째, 해외모형을 활용해 교통정책 변화와 인구사회변화에 따른 시나리오를 산정하고 실증분석을 통해 모형의 활용성을 검증하였다. 기존 4단계 모형에 비해 활동기반 모형을 적용함으로써 교통정책에 따른 영향분석 뿐만 아니라 인구·사회적 변화에 따른 중·장기 교통에의 영향을 효과적으로 분석할 수 있음을 검증할 수 있었다.

교통정책평가의 사례로 통행비용 변화를 살펴보았으며, 개인의 활동위치(단거리 통행증가)와 활동스케줄(통행포기, 출발시간 변경)에 밀접한 영향이 있음을 보였고, 이러한 상호작용을 고려함으로써 교통정책의 실효성을 증대에 기여 가능하다. 인구·사회변화에 따른 시나리오 분석결과, 고령화가 진행됨에 따라 자동차 운전의 감소로 대중교통의 이용이 늘고, 여성의 사회진출 증대에 따라 남성과 여성의 쇼핑활동 분담과 이에 따른 퇴근 후 쇼핑활동이 증대되는 결과가 도출되었다.

셋째, 국내 및 해외모형 검토와 실증분석 결과를 반영해 한국형 활동기반 시뮬레이

션 모형(ACTOR)의 개발계획을 제시하였는데, 현재 소스가 공개된 미국의 SimAGENT 모형을 수정하는 형태로 주요 개발계획을 제시하였다.

2. 정책제언

1) 효과적인 교통정책 시뮬레이션 모형 개발 필요

본 연구는 기초과제로서 연구되었다. 따라서 구체적인 정책을 제안하는 대신 본 연구에서 제안한 모형 개발의 필요성을 우선 강조한다. 교통정책의 문제들은 실제 이를 효과적으로 지원할 수 있는 교통계획지원 툴의 부재가 큰 원인 중 하나며 따라서 활동기반 시뮬레이션 모형의 도입이 매우 중요한 과제이다. 특히 다음 세 가지 정책적 관점에서 본 연구에서 제안된 모형 개발의 필요성이 있다.

첫째, 중앙정부가 수립하고 있는 교통 관련 법정계획들에 대한 충분한 사전·사후 평가를 추진할 필요성이 있으며, 이때 중·장기 인구·사회·경제적 변화를 반영해야 하나 이를 효과적으로 지원할 수 있는 의사결정 지원 툴이 부재하다. 이에 따라 교통 관련 주요 법정계획(국가기간교통망계획, 대도시권광역교통계획, 도시교통정비계획 등)들의 대부분은 주요 교통축의 시설 정비와 계획 방향성만을 제시하고 있어 법정계획의 실효성이 낮으며, 이러한 계획은 대부분이 중·장기 계획임에도 불구하고 인구·사회·경제 변화에 따른 교통에의 파급효과를 효과적으로 평가하지 못함에 따라 관련 법정계획의 합리성과 지속성이 약화될 소지가 있다.

둘째, 중앙 또는 지방정부의 교통정책을 지역별/이용자 계층별로 세분화한 맞춤형 정책을 수립할 필요성이 있으나 이를 효과적으로 지원할 수 있는 정책지원 툴이 부재하다. 즉 시민들의 사회활동이 다양화되고 복잡화됨에 따라 교통정책의 목표 계층을 명확히 하고 어떠한 계층이 영향을 받는지, 계층별 요구사항은 무엇이고 통행행태는 어떠한 변화가 있을 것인지 등에 대한 효과적인 평가가 불가하여, 이용자 맞춤형 정책 수립이 효율적으로 이루어지지 못하고 있다.

셋째, 교통분야 뿐만 아니라 토지이용계획, 주택계획 등과 효과적으로 연계된

종합적 교통정책을 수립할 필요성이 있으나, 아직까지 이를 통합한 정책 지원틀이 부재하다. 예를 들면, 중앙과 지방정부가 공동으로 수립해 추진하는 대도시권별 광역교통계획의 경우 토지, 주택, 교통의 통합적 관점에서 계획되기 보다는, 개별 교통수단(도로·철도·대중교통 등)의 단일 시설 확충 위주로 수립되고 있다. 또한 중앙과 지방의 정책 연계 등 대도시와 주변도시 간 토지이용 변화에 선행적인 정책 대응도 미흡한 실정으로, 이는 토지이용과 교통을 통합하여 고려할 수 있는 종합적 계획모형이 부재한 것도 큰 원인의 하나이다.

2) 활동기반모형의 정책활용

본 과제에서는 교통정책의 실효성 측면에서 활동모형의 유효성을 검증하기 위해 다양한 측면에서 분석결과를 실증적으로 제시하였다. 분석 결과 4단계 모형의 집계적 분석에서는 불가능한 다양한 분석을 활동기반모형으로 수행할 수 있었다. 따라서 정책의 실효성을 높이기 위해서는 현 4단계모형을 이용한 분석뿐만 아니라 활동기반모형을 이용한 심층적인 분석을 활용할 필요가 있다.

활동기반 시뮬레이션은 하루 동안의 인구의 이동을 연속적으로 관찰하고 분석하는 것을 가능하게 함으로써 개개인의 사공간적 활동범위 도출로 교통정책의 파급효과를 구체적으로 평가할 수 있다. 즉, 활동기반 시뮬레이션 결과에서는 교통정책의 분석대상으로 하는 지역주민들만을 대상으로 거주지에서 출발한 주민들이 하루 동안 어느 정도 범위를 이동하는지 관찰 가능하고 시간대별로 분석하는 것이 가능하다. 따라서 교통환경 변화(예, 새로운 교통시설물 도입, 통행비용 변화 등)에 따라 어떤 지역에 사는 누가, 어떠한 활동과 통행에 의해 어느 정도의 영향을 받을 수 있는지를 명확히 분석할 수 있어 교통정책 실효성 제고에 기여할 수 있다. 동일한 방법으로 지역별, 활동분류별, 인구그룹별, 통행수단별 등에 대해서도 더욱 세밀한 분석이 가능하다. 이러한 활동기반모형의 특징은 단중기의 교통상황변화 뿐만 아니라 장기적인 사회경제적 변화에 대한 영향을 파악하고 대안 정책의 파급효과 또한 예측할 수 있도록 할 것이다.

또한 여성의 사회진출이 배우자의 행동패턴에 미치는 영향 등의 상세한 가족 구성원 간의 상호작용, 하루 동안의 활동과 통행의 스케줄링에서 나타나는 제약조건 등 4단계 모형으로는 고려하기 힘든 요소들을 포함하여 교통정책의 영향을 제시하므로, 2차, 3차의 간접효과까지를 포함한 종합적인 분석이 가능하다. 따라서 현재는 제한적으로 교통행태의 연구에 사용되고 있는 활동기반모형의 정책 활용을 확대할 필요성이 있다.

3) 데이터 수집에 대한 제언

활동기반 모형의 개발은 다양한 정책대안을 테스트할 수 있는 발전된 모형개발 자체로서의 의미도 있지만, 유용하게 사용될 수 있는 새로운 데이터에 대한 요구사항 및 데이터 수집방법의 개선사항을 도출할 수 있다는 점에서도 그 중요성을 찾을 수 있다. 본 연구에서 사용된 SimAGENT의 경우에도 개발초기에는 기존 4단계 모형에서 사용된 데이터와 동일한 2001 캘리포니아 가구통행조사에 기반했지만, SimAGENT 개발단계에서 도출된 데이터 개선사항을 2012 캘리포니아 가구통행조사에 제안하여 반영하는 선순환 관계를 가진 바 있어, 모형개발과 데이터 수집 사이의 상호 발전의 좋은 사례이기도 하다. 아래는 본 연구에서 도출한 가구통행조사에 대한 주요 제안사항이며, 본 과제는 2차년도에도 지속적으로 교통데이터 수집 담당기관과의 교류를 통해 활동기반 모형의 개발과 데이터의 수집이 상호 긍정적인 영향을 주고받을 수 있도록 추진할 계획이다.

(1) 가구통행조사 수집 변수에 대한 주요 제언

정교한 정책평가를 가능하게 할 몇 가지 주요 변수들과 그 변수들이 어떠한 정책평가에 사용될 수 있는지에 대한 설명이다.

활동정보, 시간사용의 상세한 기록

현재 가구통행조사는 교통존을 기준으로 한 이동패턴을 알아내는 것에 주안점을

두고 있어, 활동기반 모형에서 교통수요를 추정하는 데 있어 중요하게 고려되는 활동에 대한 자세한 정보가 수록되어 있지 않다. 활동에 대한 정보는 다음과 같이 개선될 수 있다.

첫째, 통행목적(활동)의 세분화이다.

현재 수도권 가구통행조사에서는 활동을 아래와 같은 10가지로 구분하는데, 상당부분이 집, 직장, 학교에 관련된 활동이 차지하고 있어 통행패턴 중 일상적으로 반복되는 부분은 상대적으로 잘 반영하는 반면, 나머지 부분은 몇 개의 분류로 뭉뚱그려져 있다. 이러한 활동 분류는 앞으로 여가활동, 친교활동의 증가나 가족간 동반활동 증가 등에 대한 영향을 자세히 파악하기 힘들고, 학교나 직장에 다니지 않는 사람들의 행동패턴을 잘 묘사할 수 없는 단점이 있다. 따라서 현재 열 가지의 활동분류를 현재 해외에서 활용되고 있는 활동기반 조사 등을 참고하여 개선할 필요가 있다. 또한 단일한 활동 뿐 아니라 부가적인 활동목적(예: 식사를 하며 업무 관련 회의 진행 등)을 기록하도록 하면 활동에 대한 더욱 정확한 정보를 얻을 수 있다.

<표 6-1> 현재 수도권 가구통행실태조사의 통행목적 분류

코드	코드내역(2010년)
1	누군가를 태우거나 내려주려고
2	귀가
3	출근
4	등교
5	학원수강
6	직업관련업무
7	업무 후 직장으로 돌아감
8	물건을 사러(쇼핑)
9	여가/오락/친교
10	기타(개인용무)

둘째, 시간사용에 대한 보다 정교한 조사이다.

활동에 대한 자세한 정보에서 더 나아가 조사의 형태를 시간사용 중심으로 구성하면 시간사용에 있어 존재하는 제약조건(constraint)과 보완작용(예: 집에서의 오락활동이 야외 오락활동과 상호보완), 교환작용(예: 긴 출퇴근 시간과 자녀와 보내는 시간의

총합과의 상관관계) 등을 더욱 구체적으로 알 수 있다.

셋째, 교통존을 기준으로 한 위치가 아닌 장소에 대한 정보로 기록해야 한다.

현재는 활동 위치를 단순히 행정동 단위의 존 ID로 기록하고 있는데, 그에 더해 대신 장소를 특정할 수 있도록 하거나(○○공원, ○○백화점 등) 그 장소가 가지는 의미(친구 집, 자녀가 다니는 학교 등)를 기록하도록 해서 활동이 이루어지는 맥락을 파악할 수 있도록 하면 통행이 발생하는 원인을 더욱 잘 파악할 수 있다.

□ 위치정보의 개선

현재 가구통행조사의 활동위치는 현재 사용되는 교통존인 행정동 단위로 제공된다. 하지만 대중교통의 이용, 걷기 등의 행동을 실제와 가깝게 반영할 수 있는 정교한 교통계획모형을 구축하기 위해서는 행정동보다 작은 크기의 존을 사용할 필요가 있다. 현재 공개된 상태의 위치정보로는 작은 교통존을 사용한 모델을 구축하거나 작은 공간단위를 사용한 토지이용 모형과 융합하는 테스트가 어려워 위치정보의 제공방법이 개선될 필요가 있다.

또한, GPS를 통행조사에 사용해서 위치정보를 수집하는 방법이 여러 연구에서 발전되어 최근에는 실제 대규모 통행조사에서 사용되고 있으며(2012년 캘리포니아 주 가구통행조사, California DOT, 2013), 이 경우 응답자가 직접 위치정보를 기입하는 수고를 줄이고, 조사의 정확도를 높일 수 있는 등의 장점이 있다. 이러한 발전되고 있는 기술을 적용하여 현재의 데이터 수집방법을 보완하는 것도 고려해볼 사항이다. 단, GPS를 이용한 조사는 단말기 비용 때문에 데이터 수집비용이 높으므로, 수도권 가구통행조사에 적용할 경우에는 샘플의 일부에 적용해 모형의 위치추정 정확도를 높이는 방법을 사용할 수 있다.

□ 개인간(특히 가구구성원 사이의) 상호작용

활동기반 모형의 최근 발전방향 중 한 가지는 개인간 상호작용을 모형에 포함함으로써 모형의 정확도를 높이고 정교한 정책대안 테스트를 가능하게 하는 것이다(Bhat and Pendyala, 2005). 개인간 상호작용은 활동에 대한 결정에 밀접하게 연관되어

있음이 알려져 있어, 발전된 형태의 교통수요모형에서는 중요하게 다루어져야 할 부분이다(Dugunji and Walker, 2005; Carrasco and Miller, 2006; Carrasco et al., 2008; Habib et al., 2008; Farber and Páez, 2009; Arentze and Timmermans, 2008; Timmermans and Zhang, 2009; Axhausen, 2010; Goulias and Yoon, 2011; Walker et al., 2011; Deutsch and Goulias, 2013). 기본적으로 기록되어야 할 개인간 상호작용은 공동활동(joint activity)과 차량동승(shared ride)이고, 추가적으로는 공동활동이 아니더라도 누구를 위한 활동이었는지(예: 가족을 위한 장보기, 개인적인 여가로서의 쇼핑)를 기록하도록 하면 활동의 동기를 더욱 잘 파악할 수 있다(Pribyl and Goulias, 2005). 따라서 개인간 상호작용의 기록을 위해서는 통행실태조사의 가구원 관계를 더 자세히 기록할 필요가 있다.

□ 차량 선택 및 이용행태에 대한 정보

향후 교통에서 소비되는 에너지를 모형화하거나 교통에서 발생하는 온실가스의 양을 산정하려할 때 차량 사용의 패턴은 중요한 정보를 제공한다. 에너지와 환경문제가 점차 중요해지고 있어 이러한 변수들의 정확도 높은 모형화를 위해서는 통행실태조사에 가구가 보유하고 있는 차량의 정보(차종, 배기량, 연식 등)를 자세히 기록할 수 있도록 문항을 추가하는 것이 중요하다.

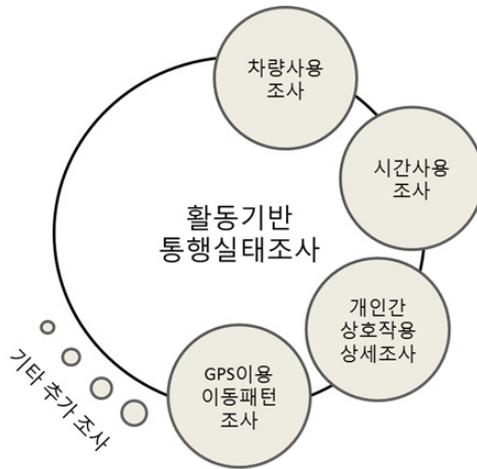
(2) 가구통행조사 데이터 수집방법에 대한 제안

현재의 가구통행조사에 다양한 정책을 테스트 할 수 있는 변수들을 모두 추가하게 되면 응답자의 부담이 커져 응답률이 저조해질 가능성이 크다. 현재 수도권 가구통행 조사는 샘플사이즈가 상당히 크기 때문에 저조한 응답률은 데이터 수집에 큰 어려움이 될 수 있어 조사 전체에 필요한 모든 변수를 추가하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 현재의 틀을 크게 바꾸지 않으면서 풍부한 정보를 모을 수 있는 방법을 사용해야 하는데, Goulias 등(2013)이 제안한 위성 형태의 조사 방법이 유용하게 사용할 수 있는 방법 중 한 가지이다.

위성형태의 조사방법은 수도권 가구통행조사처럼 샘플사이즈가 큰 경우 전체

샘플을 몇 개의 하위 샘플로 나누어 각각에 대해 특정 부분의 자세한 조사항목을 구성하는 것이다. <그림 6-1>은 Goulias 등(2013)이 논문에서 제시한 내용과 Goulias 교수와의 인터뷰(윤서연, 2013)를 바탕으로 수도권 가구통행조사에 대해 위성 형태 조사 방법을 시험적으로 적용해본 내용이다.

<그림 6-1> 위성형태의 조사방법



(자료: Goulias et al.(2013)에서 제안한 내용을 기반으로 함)

참고문헌

- 강영옥, 박수홍, 2000. 서울서울지역 도시성장 예측에 관한 연구. 대한지리학회지, 제35권 4호, pp. 621~639
- 국가통계포털. KOSIS. <http://kosis.kr/>
- 국토연구원·미국 SCAG. 2013. 한국형 활동기반 교통수요모델의 개발 및 정책방향 국제세미나. 2013. 8. 6. KRIHS G20 Hall.
- 국토해양부. 2009. 교통시설 투자평가지침 개정안
- 국토해양부. 2011^a. 국가교통물류발전시행계획(안)
- 국토해양부. 2011^b. 제3차 중기교통투자계획(안)
- 국토해양부. 2012. 국토해양업무보고자료
- 국토해양부. 2013. 2013년도 성과계획서(안)
- 김수철, 2004. 수도권 광역교통체계의 구축과 신도시 교통체계 개선 방향. 교통 73호. 교통개발연구원. pp.38-45.
- 김수철, 2009~2013, 교통정책 지원 및 분석시스템 개발, 국토교통과학기술진흥원
- 김태중, 2012. 교통수요 추정을 위한 활동기반 교통 시뮬레이션 모형 적용에 관한 연구 : 강남구 사례를 중심으로, 서울시립대학교
- 서상언, 정진혁, 김순관, 2006. 활동 스케줄 분석을 통한 고령자의 통행특성과 통행행태에 관한 연구, 대한교통학회지, 제24권 제5호, pp. 88-108
- 송유미, 이제상. 2011. 저출산의 원인에 관한 연구: 산업사회의 변화와 여성의 사회 진출을 중심으로, 보건사회연구, 제 31권 1호, pp. 27-61

- 수도권교통본부. 2012. 여객 기종점통행량(O/D) 전수화 및 장래수요예측 공동조사-제3
 편 통행지표 및 정책제언
- 원제무. 1995. 도시교통론. 박영출판사
- 윤서연. 2013. 지속가능한 경제발전을 위한 남캘리포니아의 통합교통계획. 국토. 해외리
 포트. 통권 제379호. pp116-119
- 윤서연. 2013. “남캘리포니아 활동기반 교통계획모형의 개발과 비전” 국토. e-interview.
 2013. 11
- 이백진, 윤서연. 2012. “교통정책 평가를 위한 미시적 시뮬레이션 모형: 알바트로스의
 개발과 적용” 국토. e-interview. 2012. 11
- 이백진, 김준기, 오성호. 2012. “스마트 지식사회에 대응한 교통인프라 정책연구”, 국토연
 구원
- 이상진, 김호정, 조춘만. 2011, U-국토환경에 대비한 교통수요예측기법의 개발 및 적용방
 안 연구, 국토연구원
- 원제무. 1995. 도시교통론, 박영사
- 조창현. 2007. “활동기반 접근법에 의한 활동패턴의 맥락적 정보분석과 프로파일” 대한교
 통학회지. 제25권 제26호. pp.171-183
- 통계청. 2010. 장래인구추계
- 한국개발연구원 공공투자관리센터. 2011. 2011년도 일괄 예비타당성조사 보고서. 제3차
 국토·국지도 5개년 계획안 총괄
- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans. 2000. Albatross: a learning based
 transportation oriented simulation system. Eindhoven: Eirass
- Arentze, T.A., A.W.J. Borgers, F. Hofman, S. Fujii, C.H. Joh, A. Kikuchi, R. Kitamura,
 H.J.P. Timmermans and P. Van der Waerden. 2001. Rule-based versus utility
 maximizing models of activity-travel patterns: A comparison of empirical
 performance, in D. Hensher(ed.), Travel Behavior Research: The Leading Edge,
 Pergamon, Amsterdam, 569-584.
- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans. 2004. Albatross 2.0, Eirass

- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans. 2004. A learning-based transportation oriented simulation system, *Transportation Research B*, 38, pp. 613-633
- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans. 2005. *Albatross 2.0: A Learning Based Transportation Oriented Simulation System*(Eindhoven: European Institute of Retailing and Services Studies)
- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans. 2008. Social networks, social interactions, and activity-travel behavior: A framework for microsimulation. *Environment and planning. B, Planning and design*, 35(6), 1012.
- Auld, J., and Mohammadian, A. K. 2009. Framework for the development of the Agent-based Dynamic Activity Planning and Travel Scheduling(ADAPTS) model. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, 1(3), 245-255
- Axsen, J. 2010. *Interpersonal Influence within Car Buyers' Social Networks: Observing Consumer Assessment of Plug-in Hybrid Electric Vehicles(PHEVs) and the Spread of Pro-Societal Values*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-10-15.
- Bellemans, T. and Cho, S.J., 2013. Activity based models: positioning with respect to 4-step models and general introduction, Draft paper.
- Bellemans, T. 2013. FEATHERS Models: Methodology and Application, Presented in the international Seminars Program on Activity-based Simulation Models for Promotion of Transportation Policy Effectiveness Present roles and Future Directions, Korea Research Institute for Human Settlements(KRIHS), Gyeonggi-do, Korea.
- Bhat, C.R. and Pendyala, R.M. 2005. Modeling intra-household interactions and group decision-making. *Transportation*, 32(5): 443-448.
- Bhat. C.R., Raleti, R. Pendyala, R.M. and Goulias, K.G. 2013. *SimAGENT Activity-Based Travel Demand Analysis*, Report Submitted to Southern

- California Association of Governments.
- Ben-Akiva, M. and J. Bowman. 2000. Activity-Based Disaggregate Travel Demand Model System with Activity Schedules, Transportation Research Part A 35, pp.1-28.
- Bowman, J.L. and M.E. Ben-Akiva. 1997. Activity-based Forecasting. In Texas Transportation Institute(eds.) Activity-based travel forecasting conference, June 2-5, 1996. Summary, Recommendations, and compendium of papers, Washington, D.c.: Travel Model Improvement Program, U.S. Department of Transportation and U.S. Environmental Protection Agency.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M.B., and Brundell-Freij, K. 2012. The Stockholm congestion charges-5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. Transport Policy. vol.20. pp1-12. London: Elsevier.
- Bruno, K. 2012. Implementation, Validation and Application of an Activity-based Transportation Model for Flanders, Doctoral Thesis, Universiteit Hasselt.
- California Department of Transportation. 2013. 2010-2012 California Household Travel Survey Final Report. www.dot.ca.gov/hq/tsip/otfa/tab/documents/chts.../FinalReport.pdf
- Carrasco, J. and Miller, E. 2006. Exploring the Propensity to Perform Social Activities: A Social Networks Approach. Transportation, 33, 463-480.
- Carrasco, J. A., Hogan, B., Wellman, B., and Miller, E. J. 2008. Collecting social network data to study social activity-travel behavior: an egocentric approach. Environment and planning. B, Planning and design, 35(6), 961.
- Community Planning Association of Southwest Idaho(COMPASS). 2009. Mobility Management Strategies: Accessibility Options Report.
- Deutsch K. and Goulias, K. G. 2013. Decision Makers and Socializers, Social Networks, and the Role of Individuals as Participants. Transportation, Volume 40, Issue 4, pp 755-771.

- Dock, F.C., Greenberg, E., and Yamarone, M. 2012. Multimodal and Complete Streets Performance Measures in Pasadena, California. *ITE Journal*, vol. 82, no. 1. Institute of Transportation Engineers, pp.33-37.
- Dugundji, E. R., and Walker, J. L. 2005. Discrete choice with social and spatial network interdependencies: An empirical example using mixed generalized extreme value models with field and panel effects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1921(1), 70-78.
- Engel-Yan, J., Leonard, A. 2012. Mobility Hub Guidelines: Tools for Achieving Successful Station Areas. *ITE Journal*, vol. 82, no. 1. Institute of Transportation Engineers, pp.42-47.
- Ettema, D. 1996. Activity-Based Travel Demand Modeling, Doctoral Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- European Commission. 2013. Innovation in urban mobility: Policy making and planning.
- European Commission. 2009. Action Plan on Urban Mobility.
- Farber, S., and Páez, A. 2009. My car, my friends, and me: a preliminary analysis of automobility and social activity participation. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 216-225.
- FHWA. 2008. TRANSIMS overview, <http://code.google.com/p/transims/>.
- Gliebe, J. and Kim, K., 2010. Time-Dependent Utility in Activity and Travel Choice Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2156, pp.9-16.
- Goulias^a, K.G., 2013. Activity-Travel Happiness and Related Ideas. 2013. 국토연구원 인프라21 세미나 자료. 2013. 8. 7.
- Goulias^b, K.G., 2013. New Generation Large Scale Activity Microsimulation Models(SimAGENT), Presented in the international Seminars Program on Activity-based Simulation Models for Promotion of Transportation Policy

- Effectiveness Present roles and Future Directions, Korea Research Institute for Human Settlements(KRIHS), Gyeonggi-do, Korea.
- Goulias^c, K.G., Pendyala, R.M., and Bhat, C.R. 2013. Keynote—Total Design Data Needs for the New Generation Large-Scale Activity Microsimulation Models. *Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making*, 21.
- Goulias^d, K.G. Bhat, C.R., Pendyala, R.M., Chen, Y., Paleti, R., Konduri, K. Yoon, S.Y. and Tang, D. 2013. SimAGENT Overview, Report Submitted to SCAG.
- Goulias K.G. and Yoon, S.Y. 2011. On the Relationship Among Travel Behavior, Time Use Investment and Expenditures in Social Networks. Paper presented at the 16th HKSTS International Conference, Hong Kong, China, December 17-20, 2011, and published in the conference proceedings, pp. 429-436.
- Habib, K.M., Carrasco, J.A., and Miller, E.J. 2008. Social context of activity scheduling: discrete-continuous model of relationship between "with whom" and episode start time and duration. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2076(1), 81-87.
- Litman, T. 2013. The New Transportation Planning Paradigm. *ITE Journal*. vol.83. no.6.
- Litman, T. 2012. *Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- McNally, M.G. 2000. The activity-based approach, in *Handbook of Transport Modelling*, Pergamon, pp. 53-69
- Metrolinx. 2008. *The Big Move: Transforming Transportation in the Greater Toronto and Hamilton Area(GTHA)*.
- Metrolinx. 2011. *Mobility Hub Guidelines for the Greater Toronto and Hamilton Area*.
- Meyer, M.D and Miller, E.J. 2001. *Urban Transportation Planning*. McGraw-Hill Higher Education

- Miller, E.J. 2010. Agent-Based Microsimulation Models for Urban Policy Analysis, TRAM & CIRRELT Transportation Seminar, McGill University, Montreal.
- Miller, E. J., and Roorda, M. J. 2003. Prototype model of household activity-travel scheduling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1831, pp. 114-121.
- Pendyala, R.M., Chiu, Y.C., Hickman, M., Waddell, P. 2009. Modeling the Urban Continuum in an Integrated Framework: Location Choice, Activity-Travel Behavior, and Dynamic Traffic Patterns, Interim Report.
- Přibyl, O. and Goulias, K.G. 2005. Simulation of daily activity patterns incorporating interactions within households: Algorithm overview and performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, . 1926(1): p. 135-141.
- Salvini, P., and Miller, E. J. 2005. ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems. *Networks and Spatial Economics*, 5(2), 217-234
- Schreffler, E.N., Gopalakrishna, D., Smith, E., and Berman, W. 2012. Integrating Demand Management Into the Transportation Planning Process. *ITE Journal*, vol. 82. no. 1. Institute of Transportation Engineers. pp.38-41.
- Stopher, P.R. 1992. Use of an activity-based diary to collect household travel data, *Transportation* 19(2), pp. 159-176
- Strader, B. 2012. Performance Metric for Plans, Projects, and Planner. *ITE Journal*, vol. 82. no. 1. Institute of Transportation Engineers. pp.31-32.
- Timmermans, H. J. 2005. *Progress in Activity-based Analysis*, Elsevier, 2005.
- Timmermans, H. J., and Zhang, J. 2009. Modeling household activity travel behavior: Examples of state of the art modeling approaches and research agenda. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(2), 187-190.
- Timmermans, H.J.P., Arentze, T.A., and Joh, C.H. 2002, *Analysing space-time*

- behaviour: New approaches to old problems, *Progress in Human Geography*.
- Litman, T. 2012. *Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- TRB. 2008. Material presented at Innovation in Transport Modeling, Tempe, Arizona
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2012. *Travel Model Improvement Program(TMIP) Activity Based Model Webinar Series Instructor's Manual*.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2011. *The Role of FHWA Programs In Livability*.
- VDOT. .2009. *Implementing Activity-based Models in Virginia*, VTM Research Paper 09-01, VDOT
- Walker, J. L., Ehlers, E., Banerjee, I., and Dugundji, E.R. 2011. Correcting for endogeneity in behavioral choice models with social influence variables. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(4), 362-374.
- Ye, X., Konduri, K., Pendyala, R. M., Sana, B., and Waddell, P. 2009. A methodology to match distributions of both household and person attributes in the generation of synthetic populations. In *88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC.
- Yoon, S.Y. 2013. "Feasibility of applying activity-based simulation model framework in Seoul Metropolitan Area". presented on the International Seminar *Activity-based simulation models for promotion of transportation policy effectiveness: present roles and future directions*. August 6. 2013.

SUMMARY

Keywords: activity-based travel demand model, simulation

This report describes the efforts to introduce the activity-based simulation framework to the Seoul Metropolitan Area(SMA) hoping to share the general experience of introducing a new model system to SMA and also specific measures employed to overcome various issues faced while developing a prototype model specifically for SMA. SMA is the region surrounding and including Seoul, the capital of South Korea, with 25 million people being one of the biggest metropolitan areas in the world by population. This project was conducted in collaboration with the Transportation Research Institute(IMOB) of Hasselt University, GeoTrans Laboratory at University of California Santa Barbara, and Southern California Association of Governments(SCAG) trying to develop a prototype model based on pilot tests using FEATHERS that has been applied for Flanders in Belgium and SimAGENT developed for SCAG.

This report is based on the first phase of the project and includes the following. First, the data issues in different steps of activity-based simulation are described. Since the data available from various sources for SMA was not prepared for a specific activity-based simulation model, it is necessary to find missing parts from the dataset design that the simulation models assume, alternatives for the missing

parts, and suggestions for future data collection if possible. In addition, all the data issues affect generation of synthetic agents that properly represent the actual population of the region. We also present the efforts to generate a synthetic population that is as close to the actual population as possible.

Second, due to the high density and the complex nature of SMA's urban and transportation system, there are model features needed specifically in the context of SMA. They include representation of trips by transit modes and non-motorized modes(the share of each mode is 32% and 33.6% respectively in the SMA household travel survey conducted in 2010) and the cost structure for different demographic groups(e.g., discount of public transit fares for students, free metro ride for seniors in SMA, etc). We present challenges faced while trying to achieve these goals and some of the solutions applied in the current phase of the project.

Third, all these efforts are required mainly because we need a proper tool to analyze urban and transportation policy scenarios taking many important factors into account. In this report, three scenarios of changes in travel cost and time and two scenarios of long-term sociodemographic transition are tested using SimAGENT and FEATHERS. The results include multi-faceted analyses on the impacts of each scenarios, most of which are not available when four step models are used.

Lastly, we present our plan for the development of an activity-based model for Korea and suggestions for transportation policy analysis and data collection based on the results of this report.

부록1. SimAGENT를 이용한 시뮬레이션

세부 사항

1. 소프트웨어

- PopGen, CEMSELTS, CEMDAP은 현재 누구나 이용할 수 있는 public domain에 속해 있으며, 소스코드 제공받음

2. 하드웨어

- 현재는 University of California Santa Barbara의 Geo-Trans Lab에서 관리하고 있는 서버 2대 사용 중
 - 서버1: Intel Zeon processors X7460@2.66GHz(4 proccesors), 메모리 104GB
 - 서버2: Intel Zeon processors X5570@2.93GHz(2 proccesors), 메모리 72GB

3. 단계별 설명

1) 인구 합성(Population synthesis)

□ 입력 데이터

- 존(행정동)별 가구, 인구 집계자료: 2010 센서스 집계자료 이용
- 구 단위로 위치가 기록된 마이크로(가구, 인구) 데이터: 2010 수도권 가구통행실태자료 이용
- 인구 합성에 있어 실제 인구의 특성을 잘 반영하는 가상인구 데이터베이스를 생성하기 위해 기준이 되는 변수의 선정이 중요함
- SCAG 적용 사례
 - 캘리포니아의 경우 멕시코 이민의 영향으로 ethnic background가 가구원수, 가구구조, 가구소득, 교육정도, 주거위치와 큰 연관관계가 있음
 - ethnic background를 포함한 경우와 그렇지 않은 경우 인구합성 결과에 차이가 있음
- 수도권 적용에 있어 고려한 사항
 - 행정동별 소득분포를 알 수 없어 그것을 대체할 수 있는 주거형태(아파트, 기타)와 점유형태(자가, 전세, 월세, 기타)를 사용
- SCAG과 수도권의 입력자료 비교는 <표1>과 같음

<표 1> SCAG지역과 수도권에서 사용된 인구합성 기준 항목 비교

	SCAG	수도권
가구 변수	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Household Type (가구구성) <ul style="list-style-type: none"> 1) Family: Married Couple 2) Family: Male Householder, No Wife 3) Family: Female Householder, No Husband 4) Non-family: Householder Alone 5) Non-family: Householder Not Alone ➢ Household Size (가구원수) <ul style="list-style-type: none"> 1) 1 Person 2) 2 Persons 3) 3 Persons 4) 4 Persons 5) 5 Persons 6) 6 Persons 7) 7 or more Persons ➢ Household Income (가구소득) <ul style="list-style-type: none"> 1) \$0 -\$14,999 2) \$15,000 -\$24,999 3) \$25,000 -\$34,999 4) \$35,000 -\$44,999 5) \$45,000 -\$59,999 6) \$60,000 -\$99,999 7) \$100,000 -\$149,999 8) Over \$150,000 ➢ Presence of Own Children (자녀유무) <ul style="list-style-type: none"> 1) Yes; 2) No 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 가구원수 <ul style="list-style-type: none"> 1) 1인 2) 2인 이상 ➢ 주거형태 <ul style="list-style-type: none"> 1) 아파트 2) 비아파트 ➢ 점유형태 <ul style="list-style-type: none"> 1) 자가주택 2) 전세 3) 월세 4) 기타
개인 변수	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Gender (성별) <ul style="list-style-type: none"> 1) Male; 2) Female ➢ Age (연령) <ul style="list-style-type: none"> 1) Under 5 years 2) 5 to 14 years 3) 15 to 24 years 4) 25 to 34 years 5) 35 to 44 years 6) 45 to 54 years 7) 55 to 64 years 8) 65 to 74 years 9) 75 to 84 years 10) 85 and more ➢ Ethnicity (인종, 민족) <ul style="list-style-type: none"> 1) White alone 2) Black or African American alone 3) American Indian and Alaska Native alone 4) Asian alone 5) Native Hawaiian and Other Pacific Islander alone 6) Some other race alone 7) Two or more races 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 성별 <ul style="list-style-type: none"> 1) 남 2) 여 ➢ 나이 <ul style="list-style-type: none"> 1) 만 0~4세 2) 5~9세 3) 10~14세 4) 15~19세 5) 20~24세 6) 25~29세 7) 30~34세 8) 35~39세 9) 40~44세 10) 45~49세 11) 50~54세 12) 55~59세 13) 60~64세 14) 65~69세 15) 70~74세 16) 75~79세 17) 80~84세 18) 85이상

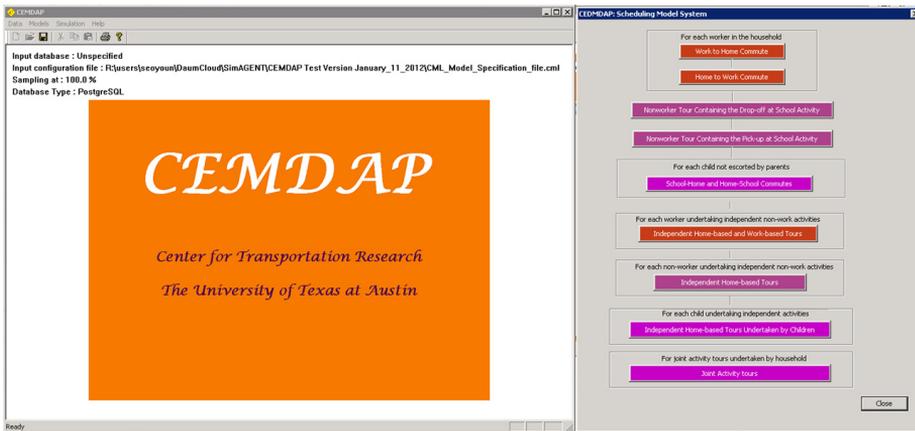
2) 장기 의사결정모델 - CEMSELTS

- 자동차 보유대수 및 종류, 학교 위치, 근무 위치, 소득수준 등 인구 등 가구의 장기적 결정 변수 추정
 - 본 보고서에 포함된 내용에서는 CEMSELTS에서 추정하는 (캘리포니아 지역을 기준으로 한) 자동차 종류, 보유대수, 소득수준 등이 수도권이 크게 다를 것으로 예상되어 가구통행조사에서 얻을 수 있는 항목을 최대한 사용함

3) 활동, 통행 시뮬레이터 - CEMDAP

- 앞 단계에서 완료된 가상 인구의 가구, 인구특성, 장기 의사결정변수와 지역의 지리적 구조를 고려하여 활동과 통행을 분단위로 시뮬레이션함
- <그림1>은 본 연구에서 사용된 버전의 CEMDAP의 주요한 유저 인터페이스이다.

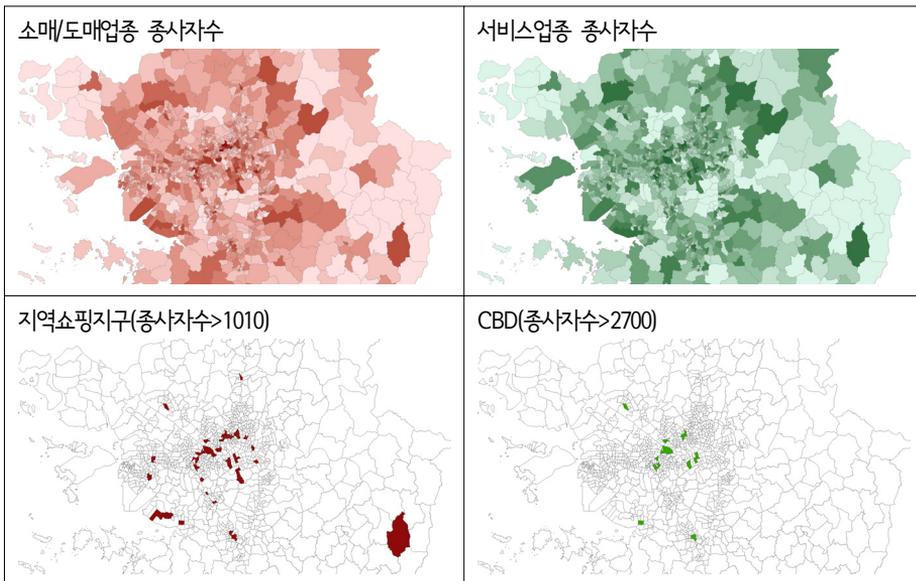
<그림 1> CEMDAP 유저 인터페이스



- Input data
 - 장기적 의사결정변수를 포함한 synthetic population
 - 가구, 가구원 테이블
 - 존 특성

- 존 내 산업분야별 종사자수, 각 산업에 대한 접근성
- [CBD, 지역쇼핑지구] 정확한 정의가 없어 관련 업종의 종사자수를 이용해서 일반적으로 - CBD, 지역쇼핑지구라고 생각되는 교통존이 선택되는 조건을 찾아냄
- [CBD] 여의도, 강남 테헤란로 부근, 서울시청 부근, 수원시청 부근, 안산시청 부근, 일산 중심부 등이 선택되는 조건. ⇒ 서비스업 종사자(금융, 공공 등)가 2700명 이상인 교통존
- [지역쇼핑지구] 명동, 남대문시장, 대표적 백화점, 아울렛을 포함하는 교통존이 선택되는 조건. ⇒ 소매, 도매업 종사자가 1010명 이상인 교통존
- 현재 적용한 조건은 교통존의 크기에 의한 종사자의 밀도차이를 고려하지 않으므로 차후 존의 특성을 면밀히 검토하여 누락된 존이 있는지 확인할 예정
- <그림2>는 각각 소매·도매업 종사자수로부터 추출한 지역쇼핑지구와 서비스업 종사자로부터 추출한 CBD이다

<그림 2> 업종별 종사자별 분포와 지역쇼핑지구, CBD도출



- 존간 관계 및 통행시간
 - 인접존 여부 및 존간 거리
 - 시간대별, 교통수단별 통행시간 및 비용
- CEMDAP의 필수 입력자료는 <표 2>에 나열
- Output
 - 분단위의 활동 시뮬레이션

<표 2> CEMDAP 필수입력 데이터

테이블명	변수명	변수 설명
Houshdolds (가구)	HID	가구 ID
	N_ADULTS	가구 내 성인 수
	N_AUTOS	가구 소유 차량수
	Zone_ID	거주 교통존
	Structure	가구 구조
Persons (가구원)	HID	
	PID	가구내 가구원 ID
	Employed	근로여부
	Studying	재학여부
	License	운전면허 취득여부
	Work_zone	근로자의 경우 직장 위치
	Stud_zone	학생의 경우 학교 위치
	Female	성별
Parent	부모 여부	
Zones (존특성)	ZID	교통존 ID
	CBD	CBD 교통존
	Shopdist	가장 가까운 쇼핑지구까지의 거리
	REMPACC	소매업에 대한 접근성
	RSEMPACC	소매업과 서비스업에 대한 접근성
	SEMP	존 내 서비스업 종사자수
	REMP	존 내 소매업 종사자수
	NUMPERS	존 내 인구
Zone2Zone (존간 관계)	ORIG_ZON	origin
	DEST_ZON	destination
	ADJACENT	인접존 여부
	Distance	존간 거리
LOSdir (시간대 정의)	STAT_T	시간대가 시작되는 시점(3am으로부터 분단위로 기록)
	END_T	시간대가 끝나는 시점
	TBNAME	시간대별 존간 통행시간/비용 테이블 이름
LOS (Level of service, 시간대별 존간 통 행시간/비용)	ORIG_ZON	출발존
	DEST_ZON	목적존
	SAME_ZON	출발존-목적존
	ADJACENT	인접존
	DISTANCE	존간 거리
	DA_IVTT	Drive alone 차내 시간
	DA_OVTT	Drive alone 차외 시간
	DA_COST	Drive alone 비용
	TR_AVAIL	대중교통 이용가능여부
	TR_IVTT	대중교통 차내 시간
	TR_OVTT	대중교통 차외 시간(접근시간, 환승시간, 대기시간 등)
	TR_COST	대중교통 비용
	SR_IVTT	Shared ride 차내 시간
	SR_OVTT	Shared ride 차외 시간
	SR_COST	Shared ride 비용

부록2. FEATHERS를 이용한 시뮬레이션 세부 사항

벨기에 하셀트 대학, IMOB(Transportation Research Institute)

1. 하드웨어

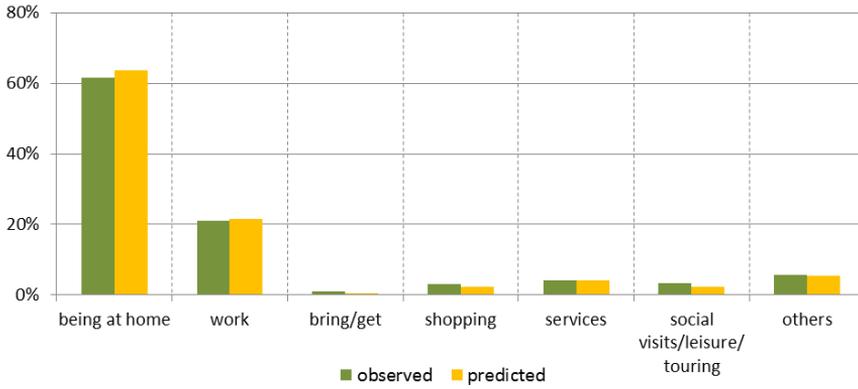
- 프로세서: Intel(R) Xeon(R) CPU X5670 @ 2.93GHz, 2.93GHz(2 processors)
- 메모리: 48,0 GB
- 시스템: Windows 64-bit operating system

2. 시뮬레이션 결과

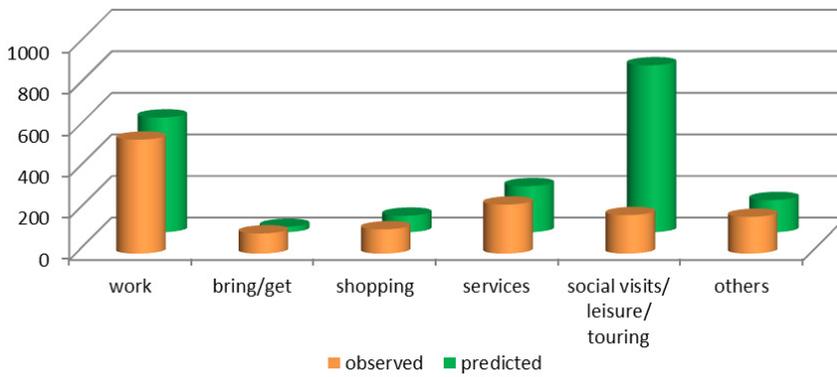
- 다음은 본문에서 제공되지 않은 기타 시뮬레이션 결과이다

□ 활동특성

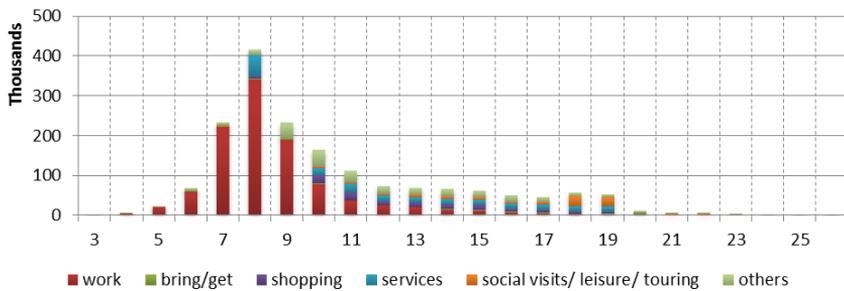
○ 유형별 활동량 분포



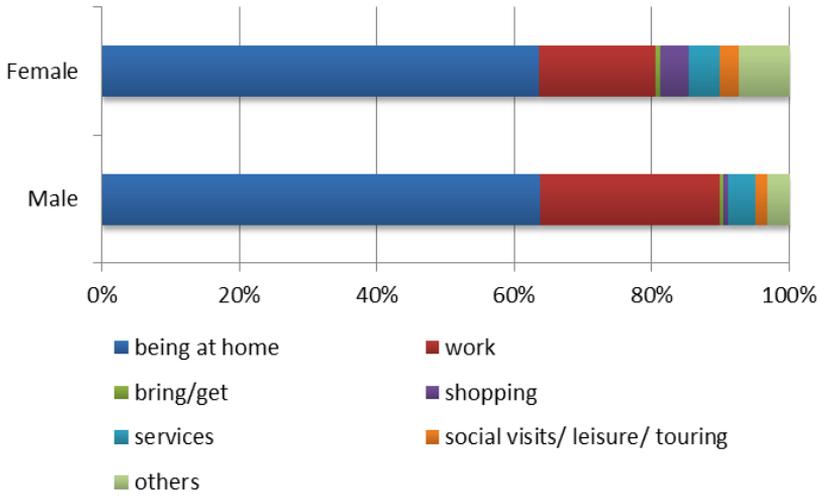
○ 유형별 활동시간분포



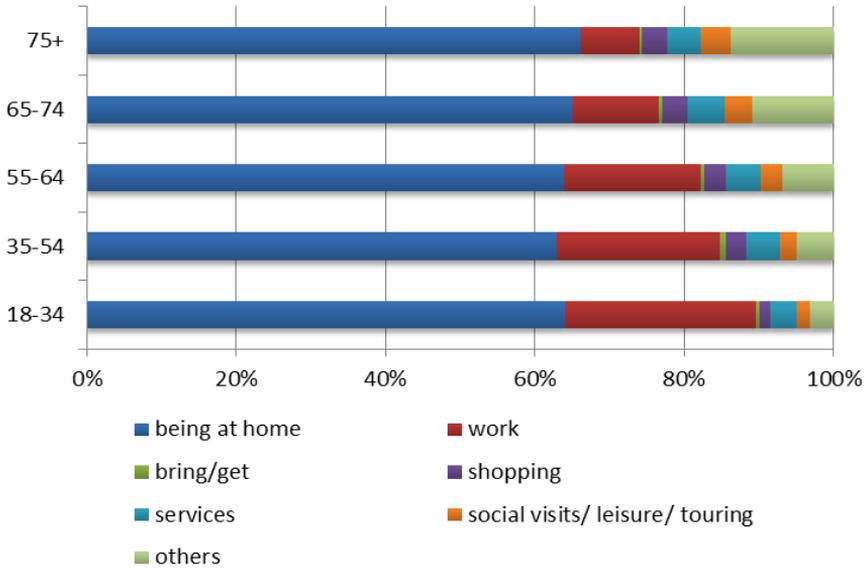
○ 매 시간대 유형별 활동량분포



○ 성별 활동유형분포



○ 연령대별 활동유형분포



3. 입력자료

□ 활동/통행 일과표

○ 가구단위

Attribute	Value	Detail
Household ID	ID	Unique integer ID
Survey type	1	Default value
Location ID	ID	Subzone ID
Household composition	1="Single worker" 2="Single1worker" 3="Double1worker" 4="Double2workers" 5="Double0workers"	
Socio-economic class	1="0-1249" 2="1250-2249" 3="2250-3249" 4="3250+"	Household income Remark : Arbitrary categorization Unit:€
Age oldest household member	1="18-34 yr" 2="35-54 yr" 3="55-64 yr" 4="65-74 yr" 5="75+yr"	
Are there any children of a specific age class?	1="No children" 2="Younger than 6" 3="Between 6 and 12" 4="Older than 12"	Remark: Only the lowest class is kept in case multiple classes apply.
Number of cars	0 - 2	Remark: All values above 2 are truncated towards 2
Number of household members	1 - 2	Remark: A maximum of two adults is assumed in the model
Model type	1	Default value
Weight	1	Default value

○ 가구원단위

Attribute	Value	Detail
Person ID	ID	Unique integer ID
Household ID	ID	ID of the Household to which the person belongs
Person age	1="18-34 yr" 2="35-54 yr" 3="55-64 yr" 4="65-74 yr" 5="75+ yr"	
Work status	0="No work" 2="Work"	
Gender	1 = "Male" 2="Female"	
Driving license	0="No" 1="Yes"	
Postal code		Remark: Only necessary for Flanders study area. For other study areas use arbitrary value.

○ 활동단위

Attribute	Value	Detail
Activity ID	ID	Unique integer ID
Person ID	ID	ID of person executing activity
Day	1=Monday 2=Tuesday 3=Wednesday 4=Thursday 5=Friday 6=Saturday 7=Sunday	Weekday
Activity type	1="Being at home" 2="Work" 3="Bring/get" 4="Shopping(daily)" 5="Shopping(non-daily)" 6="Services" 7="Socialvisits" 8="Leisure" 9="Touring" 10="Other"	
Beginning time	300 - 2700	3 o'clock - 3 o'clock next day E.g. 2:15pm yields 1415
Duration		unit: min
Location ID	ID	Subzone ID If home location, then locationID = -1

○ 통행단위

Attribute	Value	Detail
Journey ID	ID	Unique integer ID
Person ID	ID	ID of person executing journey
Day	1=Monday 2=Tuesday 3=Wednesday 4=Thursday 5=Friday 6=Saturday 7=Sunday	Weekday
Beginning time	300 - 2700	3 o'clock - 3 o'clock next day E.g. 2:15pm yields 1415
Duration		unit: min
Transport mode	1="Car driver" 3="Slow" 4="Publictransport" 6="Carpasenger"	
Origin location ID	ID	Subzone ID
Destination location ID	ID	Subzone ID

□ 인구자료

○ 가구단위

Attribute	Value	Detail
Household ID	ID	Unique integer ID
Location ID	ID	Subzone ID
Household composition	1="Single worker" 2="Single1worker" 3="Double1worker" 4="Double2workers" 5="Double0workers"	
Socio-economic class	1="0-1249" 2="1250-2249" 3="2250-3249" 4="3250+"	Household income: Remark:Arbitrary categorization Unit:€
Age oldest household member	1="18-34 yr" 2="35-54 yr" 3="55-64 yr" 4="65-74 yr" 5="75+ yr"	
Are there any children of a specific age class ?	1="No children" 2="Younger than 6" 3="Between 6 and 12" 4="Older than 12"	Remark: Only the lowest class is kept in case multiple classes apply.
Number of cars	0 - 2	Remark: All values above 2 are truncated towards 2
Number of household members	1 - 2	Remark: A maximum of two adults is assumed in the model

○ 가구원단위

Attribute	Value	Detail
Person ID	ID	Unique integer ID
Household ID	ID	ID of the Household to which the person belongs
Person age	1="18-34 yr" 2="35-54 yr" 3="55-64 yr" 4="65-74 yr" 5="75+ yr"	
Work status	0="No work" 2="Work"	
Gender	1="Male" 2="Female"	
Driving license	0="No" 1="Yes"	

□ 위치자료

○ SUPERZONE

Attribute	Value	Detail
Superzone ID	ID	Unique integer ID
Most central Zone in Superzone	ID	ID of Zone

○ Zone

Attribute	Value	Detail
Zone ID	ID	Unique integer ID
Number of paid parking places		
Number of free parking places		
Total number of parking places		
Average parking price long parking time		unit: 0,01 €
Average parking price short parking		unit: 0,01 €
Most central Subzone of Zone	ID	ID of Subzone

○ SUBZONE

Attribute	Value	Detail
Subzone ID	ID	Unique integer ID
Urban density	1 = High 2=Higher 3=Middle 4=Lower 5=Low	Remark: Arbitrary discretization
Total number of employees		
Total number of school children		
Number of employees daily goods		
Number of employees non-daily goods		
Number of employees catering		
Number of employees banks/post offices		
Number of households		
Area size		unit: decameter ²

□ 네트워크자료

○ SUPERZONE

Attribute	Value	Detail
Origin ID	ID	Superzone ID
Destination ID	ID	Superzone ID

○ ZONE

Attribute	Value	Detail
Origin ID	ID	Zone ID
Destination ID	ID	Zone ID

○ SUBZONE

Attribute	Value	Detail
Origin ID	ID	Subzone ID
Destination ID	ID	Subzone ID
Free floating car travel time		unit: 0,1 min
Car travel time in morning peak as percentage of free floating car travel time		unit: 0,1 min
Car travel time in evening peak as percentage of free floating car travel time		unit: 0,1 min
Train travel time including access and egress		unit: 0,1 min
Train access + egress time as percentage of train travel time including access and egress		
Train travel distance including access and egress		unit: 0,1 min
Bus/Tram/Metro travel time including access and egress		unit: 0,1 min
Bus/Tram/Metro access + egress time as percentage of BTM travel time including access and egress		
Number of Bus/Tram/Metro tariff zones		Remark: This is specific to the Flanders study area. For other regions the number of tariff zones determining the price of a single ticket has to be provided together with the unit-price of a single tariff zone. In case another method is used for calculating ticket prices, this should be communicated.
Car distance fastest route		unit: 0,1 min
Slow distance shortest route		unit: 0,1 min

국토연 2013-20

교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모
형 개발 및 적용방안(I)

지 은 이 이백진, 윤서연, 이춘용

발 행 인 김경환

발 행 처 국토연구원

출판등록 제25100-1994-2

인 쇄 2013년 12월 31일

발 행 2013년 12월 31일

주 소 경기도 안양시 동안구 시민대로 254

전 화 031-380-0114

팩 스 031-380-0470

ISBN 978-89-8182-286-6

한국연구재단 연구분야 분류코드 B170300

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2013, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서
정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.