

교통수요 예측을 위한 활동기반 접근 방법: 경향과 적용현황 고찰

임광균* · 김시곤** · 정성봉***

Kwang-Kyun Lim*, Sigon Kim**, SungBong Chung***

Activity-based Approaches for Travel Demand Modeling: Reviews on Developments and Implementations

ABSTRACT

Four-step travel-demand modeling based on a trip-level has been widely used over many decades. However, there has been a wide variance between forecasted- and real-travel demands, which leads less reliable on the model implications. A primary reason is that person's real travel behavior is not properly captured throughout the model developments. An activity-based modeling (ABM) approach was proposed and developed toward increasing the accuracy and reality of person's travel behavior in the U.S. since 1990', and stands as a good alternative to replace the existing trip-based approach. The paper contributes to the understanding of how the ABM approaches are dissimilar to the trip-based modeling approach in terms of estimation units, estimation process, their pros and cons and etc. We examined three activity-based travel demand model systems (DaySim, CT-Ramp, and CEMDAP) that are most commonly applied by many MPOs (Metropolitan Planning Organization). We found that the ABM approach can effectively explain multi-dimensional travel decision-makings and be expected to increase the predictive accuracy. Overall, the ABM approach can be a good substitute for the existing travel-demand methods having unreliable forecasts.

Keywords : Travel demand modeling, Trip-based model, Activity-based model, Travel behavior

초 록

교통수요 예측 모델에서 통행을 기본 단위로 사용하는 4-단계 통행기반 모형은 오랜 시간동안 광범위하게 사용되어 왔으나, 최근 교통수요 예측의 결과가 차량 개통 후 실제 교통량과 차이가 크게 발생되어, 예측 결과에 대한 불신이 증가되고 있다. 이러한 교통량 예측의 차이는 인간의 자연스러운 통행활동을 모형 개발 단계에서 고려하지 않기 때문이다. 그러나 미국에서는 교통수요 예측의 정확성과 현실성을 높이기 위해 활동기반 모형을 1990년대 부터 활발하게 연구 및 개발하여 집진적으로 기존 4-단계 통행기반 모형을 대체하고 있는 상황이다. 본 논문은 통행기반 모형과 활동기반 모형을 분석단위, 분석절차, 문제점 등을 상호 비교·검토하는데 목적을 두었다. 기존의 교통수요 예측 방법론의 문제점을 진단하기 위해, 미국을 중심으로 대표적인 세 가지 활동기반 모형 시스템(DaySim, CT-Ramp, CEMDAP)을 사용하였다. 통행기반 모형은 인간의 다차원적인 통행의사 결정 과정을 효율적으로 쉽게 설명할 수 있으며, 이는 교통수요 예측의 정확성을 한층 더 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 우리나라도 수요 예측의 현실성과 정확도를 높이기 위해 인간의 활동을 기반으로 보완, 개선된 수요 예측 방법론이 검토되어야 한다.

검색어 : 교통수요 예측, 통행기반 모형, 활동기반 모형, 통행패턴

* 플로리다대학 토목공학과 박사 (lim.kwangkyun@gmail.com)

** 중신회원·교신저자·서울과학기술대학교 철도대학원 교수 (Corresponding Author·Seoul National University of Science and Technology, Graduate school of Railroad Professor·sigonkim@seoultech.ac.kr)

*** 중신회원·서울과학기술대학교 철도대학원 교수 (sbchung@seoultech.ac.kr)

Received December 5 2012, Revised December 12 2012, Accepted December 17 2012

1. 서론

교통에서 발생하는 각종 문제들은 다차원적이다. 즉, 교통혼잡, 배기가스, 교통사고, 그로 인한 경제의 영향 등은 결코 한 분야의 개선만으로 극복되기 어렵다. 도시화, 전 지구적인 대기오염 문제, 안전의식 향상 등은 정부 및 지자체로 하여금 높은 교통시설 인프라 비용을 필요로 한다. 기존 시설의 변경이나 신설은 장기간에 걸친 막대한 비용이 소요되며, 사업추진이 되더라도 상당한 재원 투자 대비 성공적인 문제해결은 보장되지 못했다. 따라서, 기존 교통시설 인프라를 최대한 효과적으로 사용하고, 다양한 사람들의 불확실한 교통패턴을 분석할 필요성이 증가되었다. 이를 위해 교통수요예측 방법은 그러한 의사결정 지원을 위해 필수적이고, 교통에서 발생하는 다차원적인 문제를 효과적으로 예측하기 위해 오랫동안 연구되고 사용되어져 왔다. 즉, 교통수요예측은 일상 생활에서 교통과 관련하여 발생하는 모든 행위들을 확률적인 방법으로 예측하고, 이를 교통과 관련된 정책 시행시 의사결정의 도구로 활용된다. 예컨대, 교통시설, 교통환경, 사람들의 교통행위(travel behavior), 사회경제지표(socio-demographic)의 변화에 따라, 사람들의 다른 통행패턴을 예측한다. 또한 이러한 수요예측은 국가와 도시별로 다른 방향과 목적을 갖고 적용되기도 한다.

교통수요예측의 목적이 국가 및 도시별로 다르더라도, 교통수요 모형을 구성하는 기본적인 이론은 모든 곳에서 동일하게 적용되어 왔다. 대표적으로 4-단계 교통수요 예측모형(trip generation, trip distribution, mode choice, and traffic assignment)은 오랜 시간 동안 가장 공통적으로 이용되는 방법이다. 이 방법은 하나의 통행(trip)을 분석의 기본 단위로 사용한다. 여기서 통행이란, 하나의 중간 정차지에서 다른 곳의 정차지까지의 이동이며, 그 이동은 시간과 공간 그리고 교통수단의 다양한 정보를 포함한다. 그러나, 통행단위의 사용은 사람들의 통행패턴을 사실대로 묘사하지 못하는 한계를 갖고 있다. 즉, 통행은 단순히 한 사람에 의해 만들어진 결과물도 아니며, 하나의 목적지에서 다른 목적지까지 독립된 단위

로 가정할 수 없다. 각 통행은 가족 구성원들 또는 다른 사람들이 참여하여 이루어지는 복합적인 의사결정이자 일련의 쇄사슬처럼 서로 연결된 더 높은 차원의 투어(Tour)로 우선 정의되어야 한다. 이러한 문제 인식에서 많은 연구들이 기존의 교통수요 예측 모형을 더욱 현실과 가깝게 묘사할 수 있는 방법을 고안하였다. 활동기반(activity-based) 모형은 사람들의 통행패턴을 보다 효율적이고 현실에 맞게 예측하기 위해 1970년대 후반부터 유럽과 미국을 중심으로 이론적 연구가 시작되었고, 1990년대 들어 본격적으로 개발, 적용되기 시작했다. 활동(activity)이란 여러 개의 독립된 통행 단위를 하나의 복합적인 단위로 정의하며, 통행과 마찬가지로 시간과 공간, 통행수단과 같은 다양한 통행정보가 포함된다. 복잡한 교통정책(혼잡통행료, 교통수요 이동정책) 시행으로 인한 실시간 교통수요 변화 측정의 필요성 증가 등은 활동기반 모형 개발을 더욱 촉진하였다. 이에 최근 10년 동안 미국의 여러 대도시들은 활동기반 모형 개발에 많은 투자와 노력을 기울이고 있다.

아쉽게도 우리나라는 아직 활동기반 모형에 대한 연구가 시작되지 못하고 있는 실정이며, 이의 소개 및 필요성에 대해 다루는 논문도 보기 힘들다. 따라서, 본 연구는 활동기반 모형에 대한 소개, 필요성과 기존 통행기반 모형이 갖는 문제점, 그리고 활동기반 모형의 연구진행 현황을 미국 사례를 중심으로 살펴 보고자 한다.

2. 통행기반 모형 vs. 활동기반 모형

Figure 1은 일상적으로 발생하는 개인의 하루 통행패턴을 보여주며, 이를 기본으로 통행기반과 활동기반 수요예측모형을 비교하고 설명한다(Bhat et al., 2007).

통행기반 모형은 분석의 단위인 통행이 다른 통행과 독립되고 분리된 것으로, 다른 통행과 연관성이 고려되지 않는다. 통행기반 모형에서는 6 개의 독립된 통행이 다음과 같이 정의된다. 한 개의 HBO(home-based other) 통행(집 → 학교), 한 개의 HBSH(home-based shopping) 통행(장보기 → 집), 네 개의 NHB(non-home

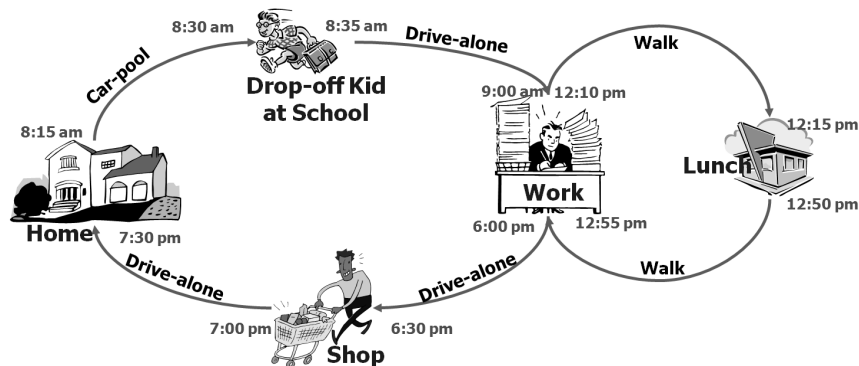


Fig. 1. Daily Travel Patterns of a Person

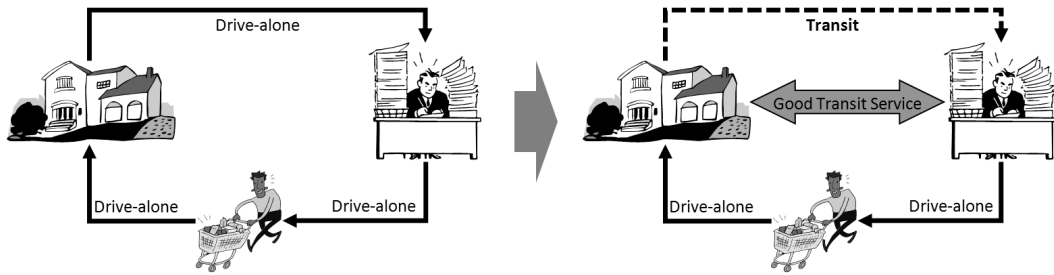


Fig. 2. Effect of Transit Improvements-Inconsistent Travel Modes

based) 통행. 그러나 활동기반 모형에서는 두 개의 투어(tour)로 정의할 수 있다. 첫 번째 투어는 집을 기반으로 한(집 → 학교 → 직장 → 장보기 → 집) 일련의 통행시슬로 정의되고, 두 번째 투어는 직장을 기반으로 정의된다(직장 → 점심 → 직장). 즉, 활동기반의 정의는 통행기반의 단위를 포함한 더 넓은 의미의 단위로 정의되며, 하나의 투어 내에서 발생하는 통행은 상호 독립적이지 않은 종속적이고 연결되어 있는 복합체적인 의사결정 결과물이며, 사용된 교통수단과 통행시간의 의사결정도 이에 대한 범위에 포함된다. 모델링 관점에서 하나의 독립된 단위로 간주되는 통행기반 모형이 활동기반 방법론 보다 훨씬 간단하고 편리하다. 그러나 통행기반 모형은 다음과 같은 4 가지 문제점을 갖고 있다.

첫째, 교통수단 선택의 일관성이 결여될 수 있다(Figure 2) (Bhat et al., 2007). 집에서 일터까지 자가용으로 출근 하고(혼자 운전) 집에 오는 길도 혼자 운전하여 식료품 가게에 거쳐 장보기를 한 후 집으로 돌아가는 하루의 통행여정을 고려해보자. 이 사람의 교통수단은 집에 돌아오는 길에도 출근 길에 사용된 동일한 교통수단을 이용할 것이다. 즉, 일반적으로 집을 나서기 위해 사용된 교통수단은 마찬가지로 집에 돌아오는 길에도 사용된다. 그러나 집과 직장 사이에 통행시간을 단축시켜 주는 대중교통 시스템이 새로 도입되어 직접 자가운전이 불필요 해졌다고 가정해 보자. 여전히 집에 돌아오는 길에 식료품 가게를 들러야 하는 상황에서, 이 사람의 통근 수단이 어떻게 바뀔지 생각해 보자. 통행기반 모형에서는 각 통행간 독립적이고 개별적인 의사결정으로 분석한다. 따라서 높아진 대중교통의 효용은 모형내에서 대중교통으로의 수단변경 가능성이 높아질 것이다. 즉, 독립된 통행단위의 사용은 일관되지 않은 수단 선택 오류의 문제가 발생될 수 있다.

둘째, 통행패턴의 변화를 반영하기 어렵다. 앞선 예제에서 통행기반 모형의 일관되지 않은 수단선택의 오류를 다루었다. 그러나 단순히 교통수단 선택의 일관성 문제를 떠나 개선된 대중교통 시스템은 이 사람의 통행패턴을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 통근 시간에 대중교통을 이용한다면, 집으로 돌아오는 교통 편도 일반적으로 동일한 대중교통을 이용할 것이며, 식료품 구매를 위한 통행은 집에 도착 후 자가운전으로 이루어 질 것이다. 이는 통행단위

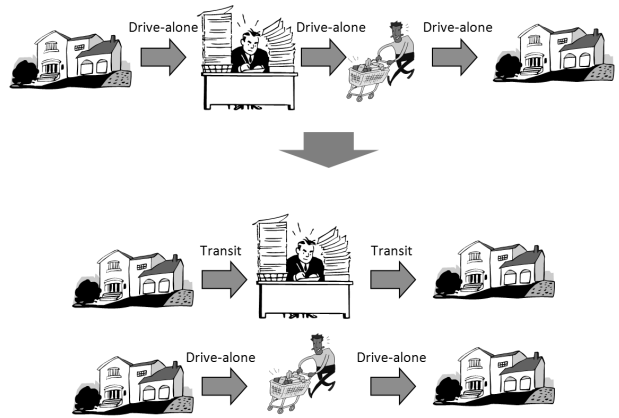


Fig. 3. Effect of Transit Improvements-Alternative Travel Responses

로는 세 개의 통행에서 네 개의 통행으로 증가하고, 투어단위로는 한 개에서 두 개로 증가된다(Figure 3). 기존의 통행 단위 모형에서는 통행발생 단계에서 이미 전체 통행의 개수가 결정되었기 때문에 이러한 통행패턴의 변화를 분석과정내에서 재 반영하기가 어렵다.

셋째, 시간대별 자세한 교통수요 변화 관찰이 어렵다. 통행기반 모형에서는 시간선택(time-of-day model) 모형 모듈이 고려되지 않으며, 이는 시간대별 자세한 교통수요 예측을 어렵게 한다. 하루 전체의 예측된 통행량에 침두시율을 적용하여 간접적으로 침두·비침두시 교통수요를 계산할 수 있을지라도 시간대별 자세한 교통수요 분산율은 여전히 한계로 남는다. 예를 들면, 교통수요 분산을 위해 시행되는 출·퇴근 시간 탄력제 적용에 따른 교통수요 분산 정도를 보기 위해서는 30분 단위의 통행량 변화 예측이 필요할 수 있다. 그러나 단순히 침두율에 따른 침두시 교통수요 예측은 이의 정확한 교통수요 분산정책의 시행에 따른 효과를 검증하기는 어렵다.

넷째, 가족 구성원 또는 비 구성원과 함께 만들어지는 통행패턴 분석이 어렵다. Figure 1과 같이 첫 번째 통행에서 아이를 학교에 태워다 주는 통행을 Figure 4와 같이 생각해 보자. 통행기반 모형에서 사람 1은 두 개의 통행, 사람 2는 오전에 아이를 학교에 태워다 주면서 만든 세 개의 통행, 그리고 오후에 아이를 데려오면서 만든 추가의 두 개 통행으로 전체 다섯 개의 통행을 만들었다. 추가적으

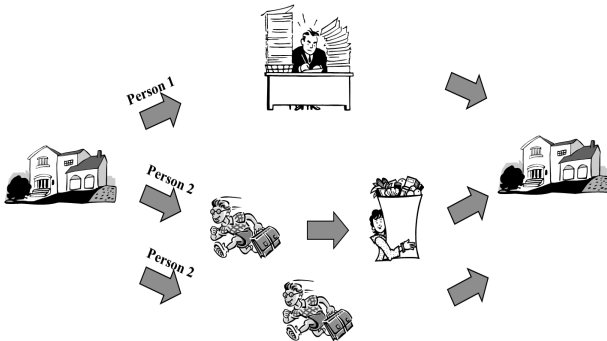


Fig. 4. Inter-personal Dependencies and Indirect Effects

로 어린이는 두 개의 학교통행을 만들었다. 이는 개인의 관점에서 전체 이혼 개의 통행량이 된다. 그러나, 전체 가구의 관점에서 실제 만들어진 통행량은 전체 일곱 개로 감소된다. 이는 어린이의 학교통행이 동일한 교통수단으로 사람 2와 함께 만들어진 결합된 통행이므로, 전체 통행량에 영향을 주지 않는다. 그러나 개인 차원에서 분석되는 통행기반 모형은 결합(joint) 통행의 경우 중복 계산되는 오류를 범한다. 비록 전체 가구의 관점에서 분석된다 하더라도 기본적으로 통행기반 모형에서는 결합된 통행의 경우 어떤 가구원과 통행을 함께 했는지에 대한 추가적인 분석은 불가능 하다. 특히 레크레이션 목적 통행의 경우 상당수가 가족 구성원들과 함께 만들어지는 결합통행이라는 점을 고려했을 때 (Lim, 2012), 이의 현실적인 통행패턴 분석은 필수적이다.

3. 모형별 분석절차

Figure 5는 두 모형의 기본적인 의사결정 과정을 개념화하였다. 통행기반 모형에서는 한 모듈의 분석 결과물이 다음 모듈의 분석을 위해 입력자료로 사용되고 그 이전의 분석 과정은 다시 수정되지 않는 순차처리 과정이 사용된다. 그러나, 활동기반 모형에서는 이전 모듈의 결과물이 다음 모듈의 분석과정에서 나오는 결과물과 내부적인 결과물 간의 불일치가 발생될 때 다시 이전 단계로 돌아가서 그 결과물이 상호 일치 될 때까지 반복 분석되는 동시처리 과정이 사용된다(Bhat et al., 2007).

통행기반 모형을 간략하게 살펴보면, 처음 통행발생(trip generation) 모듈은 일반적으로 통행이 집에서 시작되는지 또는 집 외 다른 곳에서 시작되는지 먼저 구분하며 그에 따라 다음과 같이 세 가지 통행목적으로 구분한다. HBW(Home-based work) 통행, HBNW(Home-based non-work) 통행, NHB(Non-home-based) 통행. HBNW통행은 HBSH(Home-based shopping), HBSR (Home-based social / recreational), HBO(Home-based other) 통행으로 세분화되었다. 통행 목적별 통행량은 통행발생 모듈에

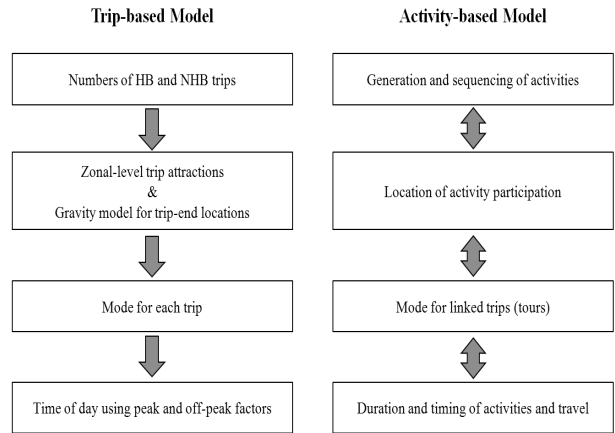


Fig. 5. Trip-based and Activity-based Methods

존(zone) 간 사회경제 데이터를 입력자료로 사용하여 통행발생 및 유입모형을 통해 존별 통행 발생량과 유입량을 예측해왔다. 통행분포(Trip Distribution) 모듈은 존(Zone) 간 통행시간을 변수로 사용한 마찰계수(Friction factor)와 함께 통행분포 모듈에 입력값으로 사용하여 발생-유입량(Production-Attraction, PA)을 예측하며, 수단선택(Mode Split) 단계에서는 PA메트릭스와 혼잡·비혼잡시 도로 통행시간 자료를 사용하여 출발-목적지(Origin-Destination, OD) 별 통행량을 산출한다. 마지막으로 침두·비침두시율을 사용하여 알파의 통행량이 침두 또는 비침두 시간에 발생될 것인지를 예측한다.

활동기반 모형에서는 우선 여러 개의 통행으로 연결된 투어의 개수를 예측하고, 각 투어별로 몇 개의 통행이 발생되는지를 모형화한다. 각 투어내의 통행은 집에서 출발해서 집으로 돌아오기까지 몇 개의 중간 정착지가 있었는지를 예상하며, 각 중간 정착지의 위치와 이동하는데 사용된 교통수단 그리고 각 정착지에 머무른 체류시간과 출발시간을 하나의 셋으로 동시처리 과정을 통해 분석한다. 일반적으로 투어 단위에서 개수와 위치, 교통수단, 시간 등을 산출하고, 각 투어 내의 중간 정착지의 개수와 위치, 교통수단, 시간 등을 예상할 수 있는 모형을 모듈화 한다. 활동기반 모형의 자세한 소개 및 검토는 현재 미국에서 사용 중인 사례를 중심으로 다음 장에서 언급한다.

4. 활동기반 모형 개발 현황

지금까지 통행기반과 활동기반 모형의 개념적인 비교 설명은 두 모형의 명확한 차이점을 이해하고 소개하는데 중점을 두었다면, 이 장에서는 현재 활동기반 모형이 어떻게 운용되고 개발되고 있는지 미국의 몇 가지 대표적인 사례를 살펴본다.

활동기반 모형은 포틀랜드(Bradley, et al., 1998; Bradley, et

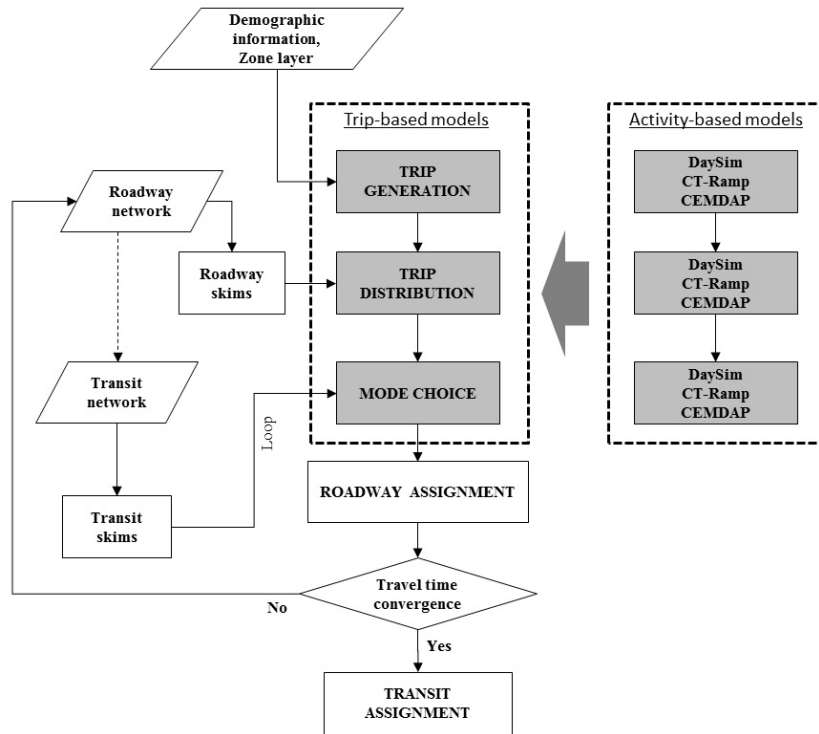


Fig. 6. A Conventional Travel Demand Model Framework

al., 1999), 샌프란시스코(Bradley, et al.,2001; Jonnalagadda, et al., 2001), 뉴욕(Vovsha, et al., 2002); 콜럼버스(Vovsha, et al., 2003); 델러스(Bhat, et al. 2004), 세크라멘토(Bowman, et al., 2006), 시애틀(Bradley, et al., 2008), 덴버, 애틀랜타, 템파, 잭슨빌, 마이애미 등 미국 내 대도시를 중심으로 많은 곳에서 개발·적용되고 있다(구체적인 지역별 개발 현황은 AMPO 보고서 페이지 11-15 참조할 것). 활동기반 모형의 모듈 구성은 연구자의 연구목표 및 교통수요 모형의 활용 목적, 이론적인 방법론의 차이, 인간의 통행 패턴을 바라보는 관점 차이 등에 따라 각각 다른 모듈 구성과 분석절차를 갖는다. 즉, 통행기반 모형과 같이 4단계의 정형화된 하나의 공통된 모듈 시스템은 아직까지 존재하지 않는다.

많은 지역에서 개발되고 있는 활동기반 모형은 개발자에 따라 대표적으로 크게 세 가지로 분류되며, DaySim, CT-Ramp (Coordinated travel-regional activity based modeling platform), CEMDAP(Comprehensive econometric micro-simulator for daily activity- travel patterns) 으로 불리운다. 이 밖에도 FAMOS (Florida activity mobility simulator) (Pendyala, 2004), ALBATROSS(A learning based transportation oriented simulation system) (Arentze & Timmermans, 2004), TASHA(Travel activity scheduler for household agents) (Miller & Roorda, 2003) 모형과 같은 다른 분류도 있으나, 본 논문에서는 가장 일반적

으로 사용되는 처음의 세 가지 모델 시스템에 국한하여 자세하게 비교·설명한다.

Figure 6은 교통수요 예측의 일반적인 절차를 간단하게 도식화 하여 활동기반 모형이 어떻게 기존 통행기반 모형을 대체할 수 있는지를 보여준다(Mirzaei et al., 2007). 활동기반 모형은 기존의 통행기반 모형에서 사용되는 통행발생, 통행분포 및 수단선택 모듈을 동시에 분석하는 과정으로 Fig. 6에서 보는 것처럼 세 개의 독립된 모듈을 하나의 활동기반 모듈로 대체할 수 있다(위에 그림).

4.1 DaySim

DaySim 시스템은 주로 Mark Bradley와 John Bowman에 의해 1996년도에 캘리포니아의 세크라멘토 지역 교통수요 예측을 위해 개발되었다. 세크라멘토 지역 이외에도 현재 플로리다 잭슨빌 지역의 교통수요 모형을 개선하는데 DaySim 시스템을 기반으로 구축되고 있다. DaySim은 크게 네 가지의 모듈로 구성된다. 일상적인 직장과 학교 위치, 가구별 자동차 보유 결정이 장기적인 관점에서 선택 문제로 구성되고, 다음은 개인의 하루 일상 패턴 결정, 투어 단위에서의 선택, 통행(Trip) 단위에서의 선택 문제들이 단기적인 관점에서 구성된다. 상위 단계인, 직장 및 학교의 위치 결정은 네트워크 접근성과 다양한 토지이용 현황에 대한 속성이 주요 인자로 사용된다. 본 모형은 일곱 개의 다른 목적(일, 학교, 배송, 쇼핑,

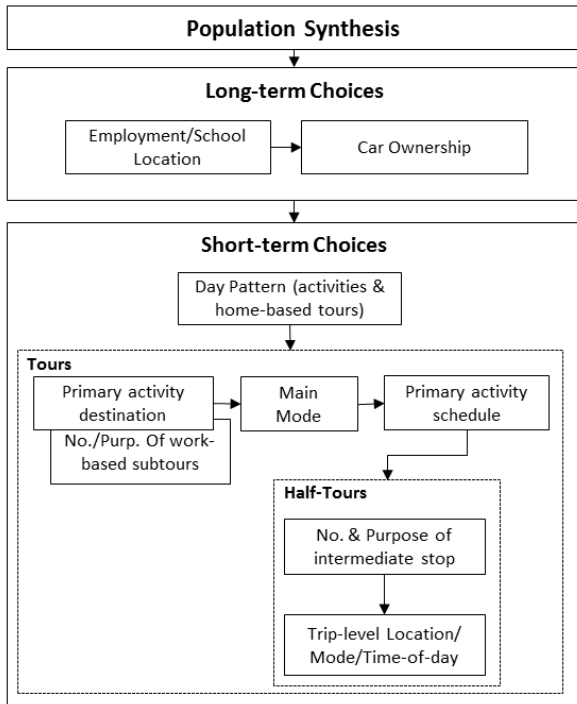


Fig. 7. DaySim Structure

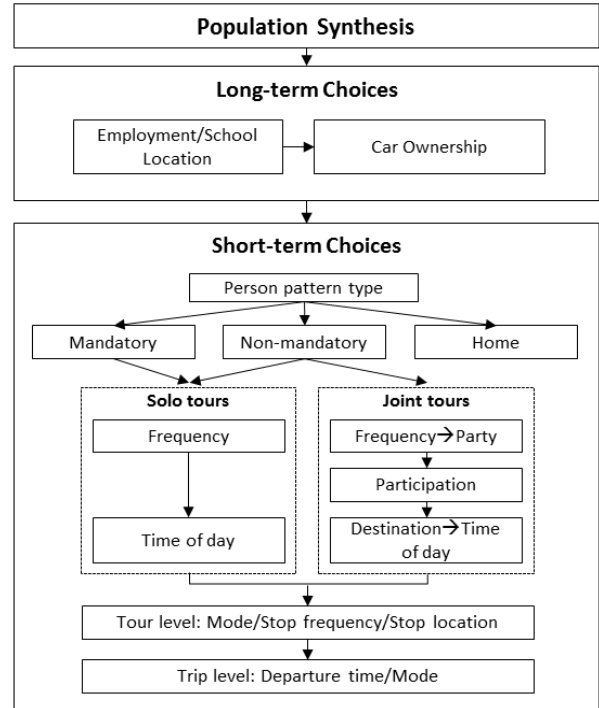


Fig. 8. CT-Ramp Structure

개인용무, 외식, 소셜·레크레이션)을 구분하여 활동 및 통행 발생에 공통적으로 사용하며, 목적지 위치 결정은 존 단위 보다 작은 파슬(Parcel) 단위까지 이루어진다. 각 통행은 각각의 목적지에 도착 및 출발시간을 30분 단위로 예측하였다. 앞서 언급한 것처럼, 활동기반 모형의 가장 큰 차이점은 상위단위에서 이루어진 결정이 하위단위에서 이루어지는 결정에 따라 다시 동시적인 절차를 통해 그 결정이 다시 수정되는 반복과정이다. 이를 위해 DaySim 시스템에서는 하위 단위에서 결정되는 선택 효용을 로그섬(Logsums)으로 통합하여 그 값을 다시 상위 단위에서 반영하여 다시 전 단계에서 이루어진 결정을 수정하고 반복되는 방법을 사용한다(Bradley et al., 2010). DaySim의 기본적인 분석 단위는 한 사람을 기준으로 하루에 발생하는 활동 및 통행 패턴을 예측한다. 그러나, 각 가구 구성원과 결합되어 이루어지는 선택문제는 다루지 못하고 있다. Figure 7은 이러한 일련의 과정을 간략하게 도식화 하였다.

4.2 CT-Ramp

2002년에 개발되어 사용되고 있는 뉴욕 모형, 2004년에 개발된 컬럼버스 모형은 CT-Ramp 시스템이 구축되는 기본적인 토대가 되었고, 2009년 애틀랜타 지역을 위한 ARC 모형과 샌프란시스코의 MTC 모형 구축시 CT-Ramp 시스템이 보다 발전되었다(Figure 8 참조). CT-Ramp모형의 기본적인 구성은 앞서 설명된 DaySim 시스템의 구성과 전체적으로 많이 유사하다. 그러나, 활동기반

모형을 개인단위 뿐만 아니라 전체 가구단위에서도 분석을 하고, 가구 구성원들과 함께 하는 결합(Joint) 투어도 예측할 수 있다는 점은 DaySim 시스템과 크게 대조된다(PB Americas, Inc. 2009).

4.3 CEMDAP

CEMDAP 시스템은 2003년 University of Texas at Austin에서 Chandra Bhat, Ph.D를 중심으로 개발되었다. 기존의 두 시스템과는 달리 CEMDAP은 크게 직업이 있는 사람과 없는 사람으로 구분하여 활동 및 통행을 분석하였고, 처음으로 시간선택 모듈에서 시간을 이산형(discrete)이 아닌 연속형(continuous) 변수로 사용하여 모델의 현실성과 세부 시간대별 예측의 정확도를 높였다(Bhat et al., 2004; Pinjari et al., 2006). Figure 9에서 제시된 것처럼 CEMDAP시스템은 세 개의 활동 발생 관련 모듈과, 일곱 개의 활동 스케줄 관련 모듈로 구성되며, 각각의 모듈은 다시 부수적인 모듈과 연결된다(Figure 9에서는 공간의 제약으로 두 개의 부수적인 모듈만 제시되었고, 각 회색 박스는 각각의 부수적인 모듈을 의미한다). 본 시스템에서는 부분 결합(Joint) 투어진 자녀 학교 배움 통행을 추가적으로 고려하여 결합투어에 대한 모델링을 향상시켰다. 이전의 DaySim과 CT-Ramp 시스템에서는 Multinomial logit(또는 Nested logit) 모델이 주로 사용된 반면, CEMDAP 시스템에서는 초이스 셋(choice set)의 다른 특징에 따라 여섯 개의 다양한 모델링 방법(binary logit, multinomial logit, hazard-

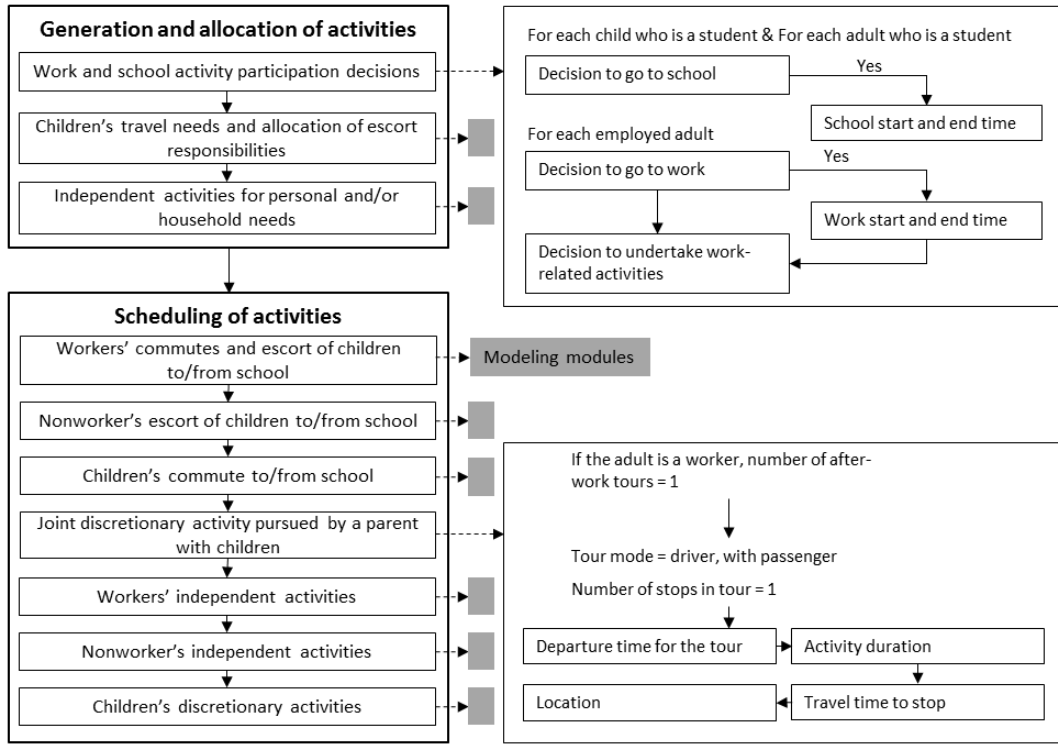


Fig. 9. CEMDEP Structure

duration, regression, ordered probit, spatial location choice 모델)이 사용되었다. 전체적으로 CEMDAP 시스템이 이전 두 시스템과 비교하여 보다 다양하게 활동·통행 패턴 모형화가 가능하며, 보다 현실적인 교통통행 패턴 설명이 가능하다. 현재 CEMDAP 시스템은 남부 캘리포니아 지역 활동기반모형 개발의 기본 골격으로 채택되어 개발되고 있다.

4.4 활동기반 모형의 종합적인 비교

지금까지 주요 세 가지 활동기반 모형의 전체적인 구성을 살펴보고, 좀 더 구체적인 각 활동기반 모형의 분석 방법 및 속성에 대한 비교는 아래 Table 1과 같이 추가로 제시하였다. 앞서 설명된 바와 같이 CEMDAP 모듈은 기존의 다른 활동기반 모듈에 비해 보다 다양한 활동기반 패턴 분석이 가능하며, 각각의 다른 선택환경에 맞는 다양한 이론적인 모델 시스템을 적용하여 보다 정확한 통행패턴 분석 노력을 기하였다.

4.5 활동기반 모형 개발에 따른 이슈

지금까지 통행기반 모형은 50년이 넘는 기간 동안 교통수요 예측이 필요한 분야에서 광범위하게 사용되어 왔다. 동시에, 사람 및 교통의 통행패턴을 보다 현실에 가깝게 예측하려는 노력도 병행되었다. 최근 기존의 통행기반 모형에서 활동기반 모형으로

개선하고자 하는 노력은 교통수요 예측의 정확도를 높이고, 사람들의 교통관련 활동을 사회·경제 지표에 연관하여 효과적인 설명이 가능하게 되었다. 활동기반 교통수요 모델은 그 예측의 정확성과 사실적인 교통활동을 묘사할 수 있는 장점에도 불구하고, 아직까지 실질적으로 개발되어 기존 통행기반 모형을 완벽히 대체하지 못하고 있다. 여기서는 활동기반 모형이 갖는 보편적인 편견과 이에 대한 의견을 제시한다.

첫째, 활동기반 모형은 복잡하다. 기존의 4-단계로 이루어진 통행기반 모형과 비교하면, 활동기반 모형은 보다 많은 의사 결정 모듈이 복잡하게 연결되어 있고, 이에 따른 다양한 분석방법을 필요로 한다. 그러나 실제 사람이 통행 발생시 내리는 의사결정 과정을 각 단계별로 묘사하고, 각 단계별 의사 선택과정이 도출되기 때문에 보다 쉽게 일련의 의사결정 과정을 설명할 수 있다.

둘째, 활동기반 모형은 많은 양의 데이터 정보가 필요하다. 모형 개발을 위한 광범위한 가구 통행 설문 조사는 데이터 획득에 있어 분명한 어려움이다. 그러나 기존에 조사된 가구 통행 자료로도 기본적인 활동기반 패턴을 분석할 수 있다. 예를 들면, 각 통행이 만들어진 시간, 위치, 통행자 정보, 사용된 교통수단 정보 등은 기본적인 활동 및 투어를 정의하는 요소를 모두 포함하고 있다. 즉, 포함된 데이터 정보의 양은 다차원적인 의사결정과정을 얼마나 자세히 모형화 하느냐에 따라 달라진다.

Table 1. Contrasting DaySim, CT-Ramp, and CEMDAP Modules

Attributes	DAYSIM Structure	CT-RAMP Structure	CEMDAP Structure
Activity patterns • Unit • Tour purposes	Person-day 7 HB tour (work, school, escort, personal business, shopping, meal, social recreational), 1 work-based subtour	Person-day (household) 3 activity patterns (mandatory, nonmandatory, and in-home)	Person-day (household) 7 home-based tours (work, school, shopping, personal/household business, social/recreational, eat-out, serving passenger)
Intra-household interaction • Fully joint tour • Pick-up/drop-off trips for child	N/A N/A	Considered N/A	Considered Considered
Classification of person types	Worker (full- and part-time) Nonworker (retired, other) Student (university, pre-school, non-driving age, driving age)	Worker (full- and part-time) Nonworker (retired, other) Student (university, pre-school, non-driving age, driving age)	Worker (student, nonstudent) Nonworker Child
Mode choice • Unit • Type of mode	Tour/trip 8 modes	Tour/trip 13 modes	Tour/trip 5 modes
Activity frequency • Max. number of tours • Max. number of stops	3 tours 5 stops	2 tours 3 stops	4 tours 4 stops
Temporal resolution	An half-hour segment	An hour segment	Continuous-based
Spatial resolution	Zone and parcel level	Zone level	Zone level
Applied model system	Multinomial logit, Nested logit models	Multinomial logit model	Binary logit, Multinomial logit, Hazard-duration, Linear-regression, Ordered probit, Joint unordered- ordered probit, Simultaneous equations, Spatial location choice models
Software platform	Cube Voyager and Delphi/Pascal	Cube /TP+ and Java	TransCAD

셋째, 활동기반 모형은 많은 컴퓨터 기술을 필요로 한다. 많은 모델 구성요소의 필요성과 각 모듈간 상호종속되고 연결되어 있는 특징으로 모델 개발단계에서 많은 통계처리 기술과 검증을 위한 시뮬레이션 및 기타 컴퓨터 프로그래밍 등의 기술을 필요로 한다. 그러나, 오늘날 많은 상용화된 통계처리 프로그램 및 프로그래밍 등은 상당한 시간 투자 없이도 쉽게 활용하여 적용이 가능할 것으로 판단된다.

넷째, 활동기반 모형은 아직 정형화된 절차 및 소프트웨어가 없다. 통행기반 모형과 달리, 활동기반 모형의 의사결정 모듈 구성은 아직까지 각 개발자의 생각에 따라 조금씩 다른 의사결정 모듈 시스템을 갖는다. 그로 인해, 활동기반 모형을 적용할 수 있는 공동된 소프트웨어 플랫폼은 마련되어 있지 않다. 그러나, 지금까지 연구되어 개발되고 있는 기존의 활동기반 모형의 의사결정 모듈 참고는 충분히 다른 연구자와 지역에서 향후 개발될 모형의 방향을 제시하기에 충분할 것으로 생각된다.

5. 결론

통행기반 모형의 기본적인 설명과 통행기반 모형 사용으로 인해 발생하는 몇 가지 단점을 언급하였고, 그에 대한 개선으로 활동기반 모형을 소개하였다. 이를 위해 미국에서 일반적으로 많이 사용되는 세 가지 모듈 시스템을 예로 들어 각각의 속성과 특징을 비교하였다. 통행기반에서 활동기반 모형으로 교통수요예측 모델을 개발하는데 있어 상대적인 모형의 복잡함, 자세한 데이터의 필요 등은 분명히 기존의 방법과 비교하여 약간의 어려움이 있지만, 좀 더 현실에 가깝게 통행패턴을 묘사할 수 있다는 장점은 활동기반 모형의 필요성을 더욱 증가시켰다.

미국에서도 아직까지 연구가 완료되어 구체적으로 활동기반을 통해 예측된 교통수요가 실제 통행기반을 통한 예측값과 비교하여 얼마나 사실과 정확인지에 대한 검증은 많이 이루어지지 못했다. 그로 인해 활동기반 모형의 개발 및 연구를 위해 투자된 비용과 노력이 얼마나

가치가 있는지에 대한 확실한 대답은 여전히 불확실하다.

그러나 기존 통행기반 수요예측모형은 교통시설의 변화로 인한 교통수단 선택의 비일관성 및 새로운 통행패턴 변화에 대한 문제가 있다. 또한 자세한 시간대별 교통수요 변화 관찰이 어렵고, 가족 구성원 또는 비 구성원과 함께 만들어지는 통행패턴 분석이 불가능하다. 이러한 문제들로 인해 활동기반 수요예측모형이 연구·개발되었다. 또한, 우리나라에서는 최근 교통수요예측의 결과가 차량 개통 후 실제 교통량과 차이가 크게 발생되어, 예측 결과에 대한 불신이 증가되고 있다. 이러한 교통량 예측의 차이는 인간의 자연스러운 통행활동을 모형 개발 단계에서 고려하지 않기 때문이다.

통행기반 모형은 인간의 다차원적인 통행의사 결정 과정을 효율적으로 쉽게 설명할 수 있으며, 이는 교통수요 예측의 정확성을 한층 더 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 우리나라도 수요예측의 현실성과 정확도를 높이기 위해 인간의 활동을 기반으로 보완, 개선된 수요예측방법론이 검토되어야 한다.

References

- Arentze TA, Timmermans HJP (2004), "A learning-based transportation oriented simulation system." *Transportation Research. Part B: Methodological* 38:613-633.
- Association of Metropolitan Planning Organization (AMPO) (2011), "Advanced Travel Modeling Study," Final Report.
- Bradley, M., J.L. Bowman, Y. Shifan, T. K. Lawton. and M.E. Ben-Akiva. (1998) "A System of Activity-Based Models for Portland, Oregon. Report prepared for the Federal Highway Administration Travel Model Improvement Program." Washington, D.C.
- Bhat, C.R., J.Y. Guo, S. Srinivasan and A. Sivakumar (2004), "A Comprehensive Econometric Microsimulator for Daily Activity-Travel Patterns." TRR, 1894, pp. 57-66.
- Bhat, C., A. Pinjari, N. Eluru, J. Guo, S. Srinivasan, R. Copperman, and I. Sener (2007), "Activity-based Travel Demand Modeling: CEMDAP Performance Measurements and Validation," http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/conferences/2007/PM/3D_Chandra_Bhat.pdf
- Bowman, J.L., M.A. Bradley, J. Gibb (2006), "The Sacramento Activity-Based Travel Demand Model: Estimation and Validation Results." Presented at the 2006 European Transport Conference, Strasbourg, France.
- Bradley, M., J.L. Bowman, and T. K. Lawton (1999) "A Comparison of Sample Enumeration and Stochastic Microsimulation for Application of Tour-Based and Activity-Based Travel Demand Models," Presented at European Transport Conference, Cambridge, UK.
- Bradley M., M. Outwater, N. Jonnalagadda and E. Ruiter (2001) "Estimation of an Activity-Based Micro-Simulation Model for San Francisco." Paper presented at the *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C.
- Bradley, M.A., J.L. Bowman, J. Castiglione (2008), "Activity Model Work Plan & Activity Generation Model." Work Plan Report- Draft 2.
- Bradley, M., J.L. Bowman, and B. Griesenbeck (2010) "SACSIM: An applied activity-based model system with fine level spatial and temporal resolution," *Journal of Choice Modeling*, Vol 3, No 1, pp. 5-31.
- Jonnalagadda N, J. Freedman, W. Davidson and J. D. Hunt (2001) "Development of a Micro-Simulation Activity-based Model for San Francisco - Destination and Mode Choice Models." Paper presented at the *80th Annual Meeting of the TRB*, Washington DC.
- Lim, K.K (2012) "Intra-Household Interactions in Social-Recreational Activities and Travel." Ph.D dissertation at University of Florida.
- Miller, E. J. and M. J. Roorda (2003). "A Prototype Model of Household Activity/Travel Scheduling." *Transportation Research Record*, No. 1831, pp. 114-121.
- Mirzaei, A. and N. Eluru (2007), "A Comparison of CEMDAP Activity-based Model with DFWRM 4-Step Model," 11th TRB National Transportation Planning Application Conference, http://nctcog.org/trans/modeling/presentations/TBApplicationConf_CEMDAP_May2007.pdf
- PB Americas Inc. (2009), "Activity-based Travel Model Specifications: Coordinated Travel-Regional Activity Based Modeling Platform (CT-RAMP) for the Atlanta Region," Atlanta Regional Commission.
- Pendyala, R.M. (2004), "Phased Implementation of a Multimodal Activity-Based Travel Demand Modeling System in Florida," Final report, Vol II: FAMOS Users Guide, Florida Department of Transportation.
- Pinjari, A., N. Eluru, R. Copperman, I.N. Sener, J.Y. Guo, S. Srinivasan, and C.R. Bhat. (2006), "Activity-Based Travel-Demand Analysis for Metropolitan Areas in Texas: CEMDAP Models, Framework, Software Architecture and Application Results," FHWA/TX-07/0-4080-8
- Vovsha P, E. Petersen and R. Donnelly (2002) "Micro-Simulation in Travel Demand Modeling: Lessons Learned from the New York Best Practice Model," *Transportation Research Record*. 1805, pp. 68-77
- Vovsha P, E. Petersen and R. Donnelly (2003) "Explicit Modeling of Joint Travel by Household Members: Statistical Evidence and Applied Approach." *Transportation Research Record*. 1831, pp. 1-10.