

시간효과를 반영한 통행발생모형 개발

김상록* · 김진희 · 김형진 · 정진혁

연세대학교 도시공학과

The Trip Generation Models with Time-effects

KIM, Sangrok* · KIM, Jinhee · KIM, Hyung Jin · KIM, Hyung Jin ·
CHUNG, Jin-Hyuk

Department of Urban Planning & Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

Abstract

This research introduces a trip generation model reflecting time-series effects derived from a panel analysis with the data collected from the national household trip surveys conducted in 1996, 2002 and 2006. The existing methods are unable to reflect time-series effects from the change of socioeconomic conditions because the parameters applied to the model were basically from the base year of study - the parameter values were unchanged. This study proposes a new trip generation model developed through a panel analysis performed with the data collected from the last three national household trip surveys. From the results, it was found that the number of school trips increases and that the number of shopping trips decreases as time passes. The results showed that there are time-series effects affecting in trip generation.

우리 시간의 흐름에 따라 사회·경제 구조, 생활양식 등 여러 요소가 변하면서 사람들의 통행목적과 통행태도 변하게 된다. 하지만 기존의 통행발생모형은 장래 수요예측 시 기준연도에 추정된 parameter 값이 장래에도 동일하기 때문에 시간과 통행태도의 변화를 반영할 수 없는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 시간변화를 반영한 통행발생모형을 개발하였다. 가구통행실태조사는 특정 시점의 통행특성을 조사한 횡단면 자료이지만 그동안의 3번의 조사를 통해 시계열적 측면이 보완되었고, 조사자료를 기초로 하여 행정동을 기준으로 OD를 구축하기 때문에 이를 하나의 패널로 설정하여 패널분석을 수행할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1996년부터 2006년까지 조사된 가구통행실태조사자료 및 전수화 OD, 각 기준연도의 사회경제지표를 이용하여 패널분석을 통해 통행발생모형을 개발하였다. 분석 결과 시간이 지나면서 유의한 시간효과가 나타났다. 학원통행의 경우에는 시간이 지날수록 인구당 통행발생량이 증가하는 시간효과의 패턴이 나타났고, 쇼핑통행의 경우에는 감소하는 시간효과의 패턴이 나타났다.

Key Words

Panel Analysis, Household Survey, Trip Generation Model, Fixed Effect Model, Time-effects
패널분석, 가구통행실태조사, 통행발생모형, 고정효과모형, 시간효과

* : Corresponding Author
alwaysgreen83@hanmail.net, Phone: +82-2-2123-3569, Fax: +82-2-393-6298

1. 서론

1. 연구의 배경

사람들의 통행행태는 다양한 요인의 영향으로 인해 변화한다. 2004년 시행된 주 5일 근무제는 비일상적 활동의 비율을 상승시키며 주말통행행태의 변화를 일으켰으며, 수도권 대중교통 통합요금제는 대중교통의 수송비율 등 수단선택에 많은 변화를 일으켰다. 무선통신망의 확충과 지능형 교통체계의 발달, GPS의 보급 등으로 인해 정보의 획득이 쉬워짐으로써 출발시간, 경로선택 등의 다양한 행태에 영향을 끼쳤다. 이외에도 고령화 사회로의 진입, 고속철도망 구축, 도로시설 인프라 확충, 자동차 보급률 증가 등 다양한 요인으로 인해 통행행태는 고정적이지 않고 시간이 지나며 계속적으로 변화하고 있다.

현재 장래 수요예측에 사용되고 있는 국내의 통행발생모형은 혼단위 회귀분석법과 카테고리분석법을 주로 사용하고 있으며, 설명변수로 연령별 인구, 산업 종사자 수, 학생수 등 인구 관련변수를 주로 사용하고 있다.

따라서 좀 더 정확한 장래 수요예측을 위해서는 이러한 사람들의 통행행태의 변화를 반영할 필요가 있다. 하지만 기존의 통행발생모형은 설명변수로 사용되는 사회경제지표에 대해서만 예측을 수행할 뿐, 모형에 사용되는 파라미터는 기준연도에 추정된 파라미터 값이 장래에도 동일하기 때문에 시간과 통행행태의 변화를 반영할 수 없는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 복합요인으로 인한 통행행태의 시간적 변화를 시간효과(Time-effect)라고 명명하고, 기존 모형의 문제점을 개선하기 위하여 가구통행실태조사 자료를 이용하여 패널분석을 통해 시간변화를 반영할 수 있는 통행발생모형을 개발하고, 시간효과를 추정하는 방법론을 제시하였다.

2. 연구의 목적

수요분석 4단계모형은 예비타당성조사 등 대부분의 교통수요예측에서 표준적 과정으로 자리 잡고 있다. 4단계모형은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 노선배정의 각 개별적 과정을 순차적으로 거치게 된다. 따라서 각 단계는 선행단계의 결과에 큰 영향을 받는다. 특히 통행발생은 4단계모형의 첫단계로써 통행량의 총량을 결정짓는

매우 중요한 단계이다. 만약 통행발생 추정이 잘못 이루어진다면 나머지 3단계가 아무리 추정이 잘 이루어진다고 하더라도 과소/과대추정이 발생할 수 밖에 없다. 따라서 통행발생 추정결과에 따라 전체 수요 예측에 크게 영향을 미치므로 통행발생모형의 중요성은 아무리 강조해도 지나칠 것이 없다.

본 연구에서는 가구통행실태조사 자료를 이용하여 서울지역을 중심으로 시간효과의 존재유무를 분석하고, 분석결과를 바탕으로 시간효과의 변화양상을 통해 장래의 시간효과를 추정하는 것을 목적으로 하고 있다. 시간효과 추정 방법론을 제시함으로써 이를 통해 보다 정확하고 효율적인 장래 교통수요 추정이 가능해지고, 향후 추가되는 가구통행실태조사 자료를 통해 모형의 오차가 줄어들고 더 행태변화를 잘 나타낼 수 있는 시간효과의 추정이 가능해질 것으로 기대한다. 또한 장래 교통수요 예측의 정확성 향상을 통해 수요분석이 기반이 되는 교통시설의 효율성이 높아지고 적합한 교통인프라 구축이 이루어질 것으로 기대한다.

II. 선행 연구 및 이론적 고찰

1. 선행 연구 분석

사회적 요인의 변화가 사람들의 통행행태에 미치는 영향에 대해서 다방면의 연구가 활발히 이루어지고 있었다. 윤대식은 2002년과 2003년의 연구에서 교통정보의 제공이 사람들의 통행행태에 미치는 영향을 분석하였다. 대구시의 직장인들을 대상으로 현시전화자료와 잠재신택자료를 수집하여 네스티드 로짓모형을 추정한 결과, 교통정보가 통행자의 경험에 새로운 판단근거로 작용하여 통행자의 선택을 변화시키며, 불완전한 교통정보는 통행자들의 교통정보에 대한 신뢰도를 하락시킴으로써 교통시스템 전체적인 비효율을 발생시킬 수 있다는 결론을 얻었다. 교통정보 제공이라는 시스템적 변화를 통해 통행수단의 변화가 활발히 일어났다는 것을 통해 통행발생량의 변화에도 영향을 미침을 알 수 있다.

김태호 (2008)는 구조방정식모형을 통해 주 5일 근무제 시행이 고속도로 이용자의 여가통행 행태에 미치는 변화를 연구하였다. 여가통행에 영향을 미치는 사회·경제적 변수수들을 경제적 특성, 가구 특성, 개인 특성으로 분류하고, 주 5일 근무제 시행 전·후에 따른 여가통행특

성 모형을 비교하고 영향 관계를 도출하였다. 그 결과 여가통행에 가장 많은 영향을 미치는 것은 경제적 특성으로 나타났고, 가구특성의 경우는 여가통행에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 우리나라의 여가활동이 개인의 취향에 따른 여가활동보다는 경제적으로 여유롭고 가구원에 영향을 받지 않는 사람들이 많은 활동을 하는 것으로 나타났다. 따라서 낮은 출산율과 급속한 고령화 현상을 경험하고 있는 우리나라의 현상은 장래 여가통행발생량에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

이렇듯 여러 연구의 결과들이 사회적 요인의 변화를 통해 사람들의 통행패턴이 변화할 것이라는 예측을 보여주고 있다. 하지만 통행발생모형에 대한 대부분의 연구는 설명변수와 모형구조에 집중되어 있고, 시계열적 측면에서 접근한 연구는 미진한 실정이다.

김재만 (2009)은 인구기반 통행발생 모형이 갖고 있는 한계를 극복하기 위하여 경제변수인 가구소득을 고려한 통행발생 모형을 개발하였다. 이 연구에서는 2006년 가구통행실태조사 자료의 통계적 분석을 통해 가구소득의 증가가 통행발생량 및 통행거리의 증가와 밀접한 연관이 있음을 밝혔다. 또한 가구통행실태조사 자료의 가구소득항목의 높은 오기입 확률로 인해 적용이 어려운 문제점을 극복하기 위해 가구소득에 대한 설문항목 표준화를 제안하였다. 하지만 가구소득과 통행발생과의 관계에만 주목하고 소득의 변화에 따른 행태의 변화는 고려하지 못하였다.

국내의 경우 패널분석을 이용한 연구는 대부분 현상에 대한 실증분석이 주를 이루었으며, 패널분석을 활용한 장래 예측에 관한 연구는 주로 국외에서 활발히 이루어졌다.

Baltagi는 1994년의 연구에서 식(1)과 같은 BLUP (Best Linear Unbiased Predictor)를 이용하여 장래의 통행발생량을 예측하는 방법을 제시하였다.

$$y_{i,T+S} = Z_{i,T+S} \delta_{GLS} + \left(\frac{T\sigma_{\mu}^2}{T\sigma_{\mu}^2 + \sigma_v^2} \right) \quad (1)$$

위 식에서 T 는 해당 조사연도를 나타내며, S 는 경과 시간으로 $T+S$ 는 장래 추정연도가 된다. 하지만 BLUP는 자체의 분산만을 이용하기 때문에 장래의 시간효과의 변화를 추정할 수 없는 한계를 지니고 있다. 이러한 시간효과 변화를 예측하기 위해 Richard Schmalensee는 1998년의 연구에서 식(2), 식(3)의 Spline model과

Log Model을 이용하여 시간효과의 추세를 통해 장래 시간효과를 예측하는 방법을 제시하였다.

$$\text{Spline Model } \beta_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 (t - 1970) \quad (2)$$

$$\text{Log Model } \beta_t = \beta^* + \beta^{*1} t + \beta^{*2} (t - 1940) \quad (3)$$

이를 통해 1950년부터 1990년까지의 이산화탄소 배출에 관한 패널 자료를 이용하여 2050년까지의 석유연료로 인한 이산화탄소 배출량을 예측하였다.

2. 패널분석(Panel Analysis)

패널모형이란 패널 자료를 이용한 계량경제분석으로서 시계열 분석과 횡단면 분석을 동시에 수행하는 분석 모형을 의미한다. 시계열 자료의 정보와 횡단면 자료의 정보를 모두 이용할 수 있기 때문에 시계열과정에서 발생하는 추정오차와 지역별 단위의 자료에서 발생하는 추정 오차를 통제할 수 있는 장점이 있다. (Baltagi, 2001)

이를 일반적인 선형모형으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$y = \alpha + X\beta + \epsilon, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

위 식에서 y 는 i 번째 지역(개인, 가구, 행동동 등)의 시점 t 에서의 반응값이고, X 는 k 개의 변수로 이루어진 설명변수이며, 오차항 ϵ 는 식(5)와 같은 오차성분모형을 따른다고 가정한다.

$$\epsilon = \mu_i + \lambda_t + v \quad (5)$$

i 지역의 t 년도 종속변수와 설명변수이며, μ_i 는 관찰되지 않은 지역특성효과(Unobservable individual effect), λ_t 는 관찰되지 않은 시간효과(Unobservable time effect), v 는 확률적 교란항(Remainder stochastic disturbance term)을 말한다.

식(5)와 같이 회귀모형을 이용하여 패널 자료의 지역 특성효과와 시간효과를 오차항을 통해 분석하는 방법을 Error Component Regression Model이라고 하며, 오차항의 고려방식에 따라 One-Way Error Component Regression Model과 Two-way Error Component Regression Model로 나누어진다. One-Way Error Component Regression Model은 지역특성효

과와 시간효과 중 어느 한 가지만을 고려한 모형으로, 오차항이 $\epsilon = \mu_i + v$ 나 $\epsilon = \lambda_t + v$ 의 형태가 된다. 반면 Two-way Error Component Regression Model은 두 효과를 모두 고려한 모형으로, 오차항이 $\epsilon = \mu_i + \lambda_t + v$ 의 형태가 된다.

또한 패널모형은 오차항에 대한 가정에 따라 이와 같은 패널분석 추정식은 오차항에 대한 가정에 따라 고정효과모형(Fixed Effect Model)과 확률효과모형(Random Effect Model)로 구분된다. 고정효과모형은 관찰되지 않는 시간 및 지역특성 효과 μ_i , λ_t 를 고정된 상수항으로 가정한다. 이 모형은 각 지역마다 개별특성 효과를 구분하여 계수를 추정할 수 있지만 개별특성 효과를 반영하는 더미변수를 생성하는 과정에서 너무 많은 자유도를 소모하게 되어 추정의 정확성이 감소하게 되는 단점이 있다.

확률효과모형은 μ_i , λ_t 를 고정되지 않고 확률적으로 변화하는 변수로 보고, μ_i , λ_t 와 v 는 서로 독립이며 각각 $\mu_i \sim i.i.d.(0, \sigma_\mu^2)$, $\lambda_t \sim i.i.d.(0, \sigma_\lambda^2)$, $v \sim i.i.d.(0, \sigma_v^2)$ 라고 가정한다. 이 모형은 자유도의 손실을 줄일 수 있고, 최소제곱법(OLS)을 사용하지 않고 일반화 최소제곱법(GLS)을 이용하여 분석을 하기 때문에 이분산성이나 자기상관과 같은 문제점을 해결하는 데 있어서 고정효과모형보다 효과적이다. 하지만 오차항과 설명변수간의 상관관계로 인해 불편추정이 되지 못할 수도 있으므로 개별특성효과와 설명변수간의 엄격한 독립을 요구한다. 따라서 검정을 통해서 두 모형 중 적절한 모형을 선택하여야 한다.

III. 분석자료

패널분석은 시계열 자료의 정보와 횡단면 자료의 정보가 모두 포함된 패널 자료를 이용하여야 한다. 본 연구의 자료가 수집된 가구통행실태조사는 교통체계효율화법에 근거한 5년 단위의 대규모 교통조사로서, 일반인이 하루 동안 통행한 내역을 일기형태로 조사해 교통지역별(행정동), 교통수단별, 통행목적별로 통행 OD를 구축하게 된다. 이 조사를 통해 조사연도의 현행화한 OD와 사회경제지표를 산출하게 되며, 장래 30년 후까지의 OD와 사회경제지표를 예측하게 된다.

가구통행실태조사는 1996년과 2002년, 2006년에 걸쳐 총 3회가 시행되었으며, 이를 통해 시계열적 측면이 보완되었기 때문에 패널자료로써 활용이 가능하다.

(Table 1) TAZ of the household trip survey

| Region | # of zones | | |
|-------------|------------|------|------|
| | 1996 | 2002 | 2006 |
| Seoul | 526 | 522 | 522 |
| Gyeonggi-do | 464 | 489 | 529 |
| Incheon | 146 | 118 | 136 |
| Etc | - | 13 | 335 |
| Sum | 1136 | 1142 | 1522 |

또한 조사를 통해 구축되는 기준연도 통행기중점표(Origin/Destination, 이하 OD)는 행정단위인 행정동을 분석 준으로 설정하기 때문에 이를 하나의 패널단위로 설정하여 패널분석을 수행할 수 있다.

하지만 각 배포자료의 변수 구분 기준이나 단위가 상이한 부분이 있기 때문에 그대로 적용을 하게 되면 편이가 발생할 가능성이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 존 체계가 확연히 다른 경기도 및 인천시, 그 외 지역은 분석에서 제외하고, 존체계가 동일한 서울지역에 대해 분석을 수행하였다. 시간에 따른 행정동의 신설, 통·폐합을 반영하여 서울지역의 총 522개 존을 분석범위로 선정하였다.

IV. 통행발생모형의 추정

본 연구의 통행발생모형의 추정식은 식(6)과 같다.

$$y = \alpha + X\beta + \lambda_t + v \tag{6}$$

위 식에서 i 는 서울지역 522개의 존, t 는 가구통행실태조사의 각 조사연도를 나타내며, 종속변수 y 는 i 존의 t 년도 통행발생량이 된다.

본 연구에서 사용될 패널 자료는 횡단면 자료를 시간으로 연결한 자료이기 때문에 횡단면 자료에서 나타날 수 있는 이분산의 문제와 시계열 자료의 계열상관의 문제점이 동시에 등장한다. 즉, 회귀분석에서 오차항의 분포상태가 횡단면적 특성과 시계열적 특성에 복합적으로 나타난다는 것이다. 따라서, 이 문제를 해결하기 위해 고정효과모형, 확률효과모형을 통해 분석해 보았다.

1. Pooled Regression Model

패널분석을 수행하기에 앞서 시간에 따른 통행행태의

변화를 살펴보기 위해 기존의 3개년도의 OD에 대해 Pooled Regression Model을 추정하였다. Pooled Regression Model은 (6)과는 달리 시간 및 지역특성 효과가 없다는 가정을 하고 있다. 따라서 추정식은 식 (7)과 같다.

$$y = X\beta + v \quad (7)$$

기존 통행발생모형에서는 상수항을 포함한 모형을 사용하였으나 이번 분석에서는 통행목적/조사연도 간 통행발생량 원단위의 비교를 좀 더 쉽게 하기 위해서 상수항을 제거하였다. 식(7)을 통해 가구통행실태조사에서 제공되는 사회경제지표들을 설명변수로 하여 각 조사연도의 목적별 통행발생모형을 추정하였다.

〈Table 2〉의 추정결과를 살펴보면 목적별로 시기에 따른 통행패턴의 변화가 상이한 것을 확인할 수 있다. 출근통행과 등교통행의 경우 통행량 계수의 변화 폭이 크지 않고, 일반적으로도 행태변화가 크지 않은 목적통행이기 때문에 분석에서 제외하였다. 또한 여가 및 기타통행의 경우 각 조사연도별로 목적 구분이 다른 통행들을 합친 경우이기 때문에 행태의 변화를 분석하기 어렵다고 판단되어 분석에서 제외하였다. 따라서 통행량 계수의 변화 폭이 크고 행태변화율이 높다고 판단되는 학원통행과 쇼핑통행을 분석대상으로 선정하였다.

〈Table 2〉 Estimation of Pooled Regression Model

| Trip purpose | Independent variable | Coefficient of Trip (t-value, R2) | | |
|--------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 1996 | 2002 | 2006 |
| Work | # of employee | 0.257 (12.89, 0.8906) | 0.27 (13.25, 0.9039) | 0.288 (13.87, 0.8943) |
| School | Pop. 6~21 | 0.518 (139.1, 0.9114) | 0.485 (20.27, 0.9145) | 0.485 (21.02, 0.9264) |
| Academic | Pop. 6~21 | 0.248 (65.08, 0.8875) | 0.407 (45.65, 0.8744) | 0.505 (51.7, 0.8906) |
| Shopping | Pop. over 15 | 0.135 (37.44, 0.9012) | 0.118 (34.39, 0.8905) | 0.109 (30.45, 0.8836) |
| Etc | Pop. over 15 | 0.344 (33.27, 0.8911) | 0.385 (32.56, 0.8875) | 0.373 (35.11, 0.8975) |

2. One-way Error Component Model

1) 목적별 통행발생모형 추정

먼저 학원목적통행에 대해 고정효과모형과 확률효과모형을 각각 추정하였다. 본 연구의 자료는 조사시점이 3곳에 불과하여 추정해야 할 시간효과 λ_t 가 3개이므로 자유도 확보가 비교적 용이하다. 또한 각 시점의 시간 간격이 4~6년으로 비교적 폭이 크고 그 사이 발생한 사회구조적인 변화가 많기 때문에 시간효과의 추정이 용이할 것으로 판단하였다. 하지만 조사시점의 부족은 시간효과의 패턴을 파악하고 예측하기 어렵기 때문에 장래 시간효과를 추정할 때는 단점으로 작용하는 문제점을 안고 있다. 추정식은 앞서 제시한 식(6)과 같다.

고정효과모형의 경우 시간효과 λ_t 를 상수항으로 고려하기 때문에 모형식에서는 기존의 상수항 α 와 합쳐진 형태로 제시된다. 반면 확률효과모형의 경우 시간효과 λ_t 를 확률변수로 고려하기 때문에 고유의 분산을 갖으며, 상수항 α 는 따로 추정된다.

모형에 사용된 설명변수는 가구통행실태조사 자료에서 인구관련(초등학생/중학생/고등학생/대학생 수/수용학생수, 총 학생수, 전체 인구, 6~17세 인구, 22~65세 인구, 6~21세 인구) 변수를 사용하였으며, 그 중 가장 설명력이 높은 6~21세 인구와 15세 이상 인구 변수를 선별하였다. 모형의 추정결과는 〈Table 3〉, 〈Table 4〉와 같다.

학원목적 통행모형의 추정결과를 먼저 살펴보면 6~21세 인구는 학원목적 통행발생량에 통계적으로 유의하게 정(+)의 효과를 미친 것으로 판단되었으며 연도별 시간효과의 추정계수들은 통계적으로 유의하였다. 시

〈Table 3〉 Estimation of Fixed Effect Model

| Trip purpose | Independent variable | β | Time Effects | | | R ² |
|--------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------|
| | | | λ_{1996} | λ_{2002} | λ_{2006} | |
| Academic | Pop. 6~21 | 0.351 (33.03) | -509.17 (-7.76) | 266.01 (4.57) | 641.7 (11.6) | 0.451 |
| Shopping | Pop. over 15 | 0.075 (13.51) | 1000.89 (9.65) | 772.61 (7.21) | 663.05 (6.11) | 0.320 |

〈Table 4〉 Estimation of Random Effect Model

| Trip purpose | Independent variable | β | α | Var(λ_t) | Var(v) | R ² |
|--------------|----------------------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Academic | Pop. 6~21 | 0.35 (33.01) | 134.541 (0.49) | .720934 D+06 | .214909 D+06 | 0.276 |
| Shopping | Pop. over 15 | 0.075 (13.46) | 816.623 (6.71) | .181033 D+07 | .174104 D+05 | 0.313 |

간효과는 시간이 지남에 따라 증가하는 패턴이 나타났으며, 1996년에서 2002년까지는 총 775통행이 증가하여 연간 129통행이 증가했으나 2002년부터 2006년까지는 375통행이 증가하여 연간 93통행이 증가함으로써, 학령인구에 대한 학원목적 통행발생량의 증가율은 둔화되고 있음을 확인할 수 있다.

쇼핑목적 통행모형의 추정결과를 살펴보면, 학원목적 통행과 마찬가지로 Pooled Regression Model 추정결과와 비슷하게 15세 이상 인구 변수가 가장 높은 설명력을 보였다. 15세 이상 인구는 쇼핑목적 통행발생량에 통계적으로 유의하게 정(+)의 효과를 미친 것으로 판단되었으며 연도별 시간효과의 추정계수들은 모두 통계적으로 유의하였다. 시간효과는 시간이 지남에 따라 감소하는 패턴이 나타났으며, 1996년에서 2002년까지는 총 228통행이 감소하여 연간 38통행이 감소했으나 2002년부터 2006년까지는 110통행이 감소하여 연간 27통행이 감소함으로써, 15세 이상 인구에 대한 쇼핑목적 통행발생량의 감소율은 둔화되고 있음을 확인할 수 있다.

2) 모형의 검증

고정효과모형과 확률효과모형 중 적절한 모형을 선택하기 위해 Breush & Pagan의 Lagrange Multiplier test와 Hausman test를 시행하였다.

LM 검정은 시간효과 $\lambda_i = 0$ 이라는 귀무가설을 갖고 시간효과의 유무에 대한 검정을 하며, Hausman test는 시간효과 λ_i 와 설명변수와의 상관성 여부를 테스트하여 확률효과모형 사용의 타당성을 검증하게 된다.

<Table 5>의 통계량을 보면 두 모형의 LM-통계량은 18857.26과 31.85로 $\chi^2(2)$ 분포를 따르는 통계량 99%의 임계치 9.21보다 훨씬 크므로 귀무가설을 기각하게 되어 '6~21세 인구 - 학원목적 통행발생량'의 관계와 '15세 이상 인구 - 쇼핑목적 통행발생량'의 관계에 시간효과가 존재함을 보여주고 있다. 즉, 통행발생모형 설정 시 시간효과를 고려해야 한다는 것을 지지하고 있다.

<Table 5> Test statistic

| Trip purpose | $LM \sim \chi^2(2)$ | $W \sim \chi^2(1)$ |
|--------------|---------------------|--------------------|
| Academic | 18857.26 | 3.18 |
| Shopping | 31.85 | 2.84 |

Hausman 검정통계량은 3.18과 2.84로 $\chi^2(1)$ 분포를 따르는 통계량 90%의 임계치 2.71보다 크므로 귀무가설을 기각하게 된다. 따라서 본 모형의 시간효과와 설명변수 간에는 독립성이 보장되지 않으므로, 편의가 발생할 가능성이 존재하는 확률효과모형보다는 고정효과모형을 사용해야 한다는 것을 지지하고 있다.

3) Two-way Error Component Model

앞서 추정된 모형에서는 지역특성효과가 존재하지 않는다는 가정하에 시간효과만을 추정하였다. 하지만 지역특성효과가 존재할 경우 시간효과도 영향을 받기 때문에 좀 더 정확한 시간효과를 추정하기 위하여 Two-way Error Component Model을 추정을 검토하였다. 하지만 본 연구의 자료는 대상지역이 서울지역 522개의 행정동으로, 추정해야 할 지역특성효과가 522개로 매우 많아서 자유도 확보가 어렵기 때문에 통계적으로 유의한 계수를 추정하는데 어려움이 있다. 또한 각 존은 교통특성이 동질해야 하지만, 현재 배포되는 OD의 기본 존 구성은 행정동으로 되어 있어 유의한 지역특성효과를 찾기 어려웠다.

모형을 추정된 결과, 설명변수에 대한 계수와 상수항, 시간효과에 대해서는 모두 통계적으로 유의한 결과가 나타났으며 모형의 전반적인 설명력도 높게 나타났다. 하지만 지역특성효과에 대한 추정결과는 전체 522개의 지역특성효과 중 유의수준 5%에서 유의하지 않은 값이 80% 이상으로, 대부분 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다¹⁾.

유의한 지역특성효과 분석을 위하여 분석단위를 확장하여 '구'별 모형을 추가적으로 구축하였다. 분석 결과 모형의 자유도 확보는 용이하였으나 너무 넓은 분석지역으로 인하여 지역별 통행특성효과가 분산되어 유의한 지역특성효과를 찾기 어려웠다.

따라서 본 연구에서 분석하고자 하는 시간효과를 반영한 통행발생모형에는 Two-way Error Component Model보다는 지역특성효과를 고려하지 않는 One-way Error Component Model이 더 적합한 것으로 판단된다. 그 중에서도 학원목적통행에 대해서는 학령인구를 변수로 사용한 고정효과모형이 적합한 것으로 분석되었으며, 쇼핑목적통행에 대해서는 15세 이상 인구를 변수로 사용한 고정효과모형이 적합한 것으로 판단된다.

1) Two-way Error Component Model의 추정 결과는 지면 관계상 생략하였음

3. 장래 시간효과 예측

학원목적통행과 쇼핑목적통행의 장래 통행수요를 예측하기 위해서는 먼저 장래의 시간효과를 추정할 필요가 있다. 하지만 아직까지 장래의 시간효과를 추정하는 방법론에 대해서는 자세히 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 기 추정된 시간효과와 추세를 이용하여 장래 시간효과를 추정하고, 각 방법론별로 결과를 비교하였다.

고정효과모형의 추정결과로 산출된 3개 연도의 시간효과 λ_{1996} , λ_{2002} , λ_{2006} 를 통해 Spline Model과 Log Model, Logistic Model을 이용하여 장래의 시간효과를 추정하였다.

1) Spline Model

Spline model은 데이터 점들의 부분집합에 저차의 다항식을 소구간별로 적용하여 연결되는 다항식을 말한다. 스플라인은 함수가 일반적으로 완만하지만 관심있는 구역에서 급격하게 변하는 경우, 고차 다항식보다 좋은 근사값을 보여준다.

Spline Model의 추정결과는 식(8), 식(9)과 같다.

$$\lambda_{t, \text{학원}} = -117,568 + 58.64t + 35.275(t - 2,000)d_t \quad (8)$$

$$\lambda_{t, \text{쇼핑}} = 34,401.15 - 16.73t - 10.65(t - 2,000)d_t \quad (9)$$

여기서,

d_t : 더미변수 (2,000년 이후인 경우 1, 이전에는 0)임.

통행발생의 급격한 변화가 일어났을 것이라 가정한다면 더미변수는 대중교통 통합요금제, 고속철도 개통 등 교통인프라가 크게 변한 시기를 고려하여 2,000년 전후로 설정하였다.

2) Log Model

Log Model은 logarithmic term을 가진 비선형 추세모형이다. 앞선 Spline Model의 경우, 선형 추세모형이기 때문에 분석 초기의 추세가 장래까지 그대로 이어지는 문제점을 개선하기 위해 logarithmic term을 통해 시간이 지날수록 성장률이 변화될 수 있도록 하였다.

Logit model의 추정결과는 식(10), 식(11)과 같다.

$$\lambda_{t, \text{학원}} = 425,334 - 248.84t + 18,500 \ln(t - 1950) \quad (10)$$

$$\lambda_{t, \text{쇼핑}} = -129,600 + 76.15t - 5,588.6 \ln(t - 1950) \quad (11)$$

3) Logistic Model

Logistic Model은 주로 인구예측에 쓰이는 사회경제 모형으로, 인구에 영향을 끼치는 주요인인 출생·사망·인구이동 요소를 분리해서 고려하지 않고 장래의 인구를 예측하는 비요소적 방법(Non-component method)에 의한 모형이다. Logit Model은 다른 설명변수들과의 인과관계를 고려하지 않고, 추세의 단순한 연장에 의한 직접적인 예측모형이다. 따라서 시간효과에 영향을 미치는 요인을 정확히 알기 어려운 본 연구의 모형에 적용하기 적절한 것으로 판단된다.

Logit Model은 증가의 상한선(K)을 미리 정해 놓고 이 상한선에 가까워질수록 성장률이 둔화될 것으로 예측하는 모형으로 추정식은 식(12)와 같다.

$$\lambda_{t+n} = \frac{K}{1 + e^{-\beta_0 + \beta_1 n}} \quad (12)$$

여기서,

β : Logit Model의 parameter

K : 시간효과의 상한선

n : 시간의 증가분

Logit Model은 최대값 K에 의해 영향을 많이 받기 때문에 K의 설정이 중요하다. 일반적으로 쓰이는 인구예측모형에서는 정부의 정책에 의한 인구성장 상한선이나 도시의 물리적 한계를 통해 K를 설정할 수 있지만, 시간효과에 대해선 특별한 기준이 없으므로 다양한 K 값을 설정하여 변화를 살펴보았다.

4) 시간효과 예측 결과

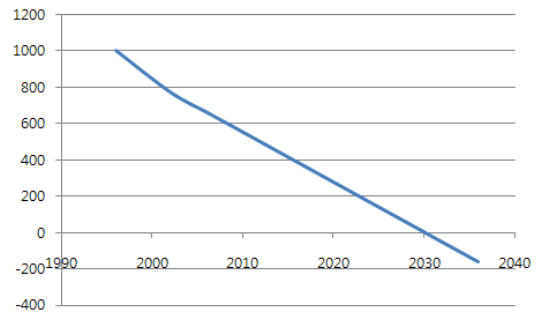
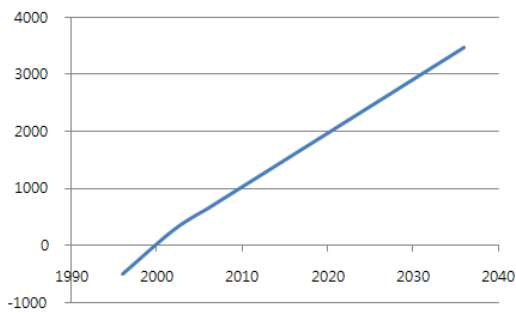
장래 시간효과의 예측 결과는 <Table 6>과 <Figure 1, 2, 3>에 제시하였다.

전반적으로 학원목적 통행의 시간효과는 시간이 지날수록 증가하는 추세를 보이며 증가율은 점점 둔화되었다. 학원목적 통행의 발생량이 증가하는 이유는 통행행태가 크게 변하지 않는 등교통행과 달리 사교육 및 과외활동의 증가에 따른 것으로 판단된다.

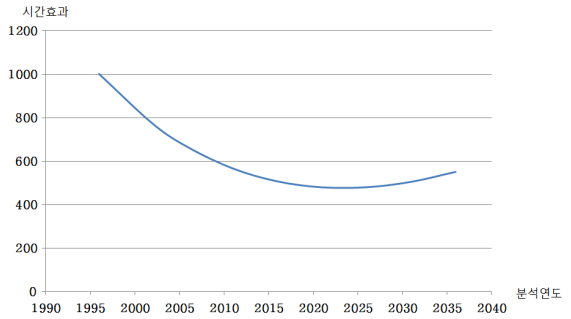
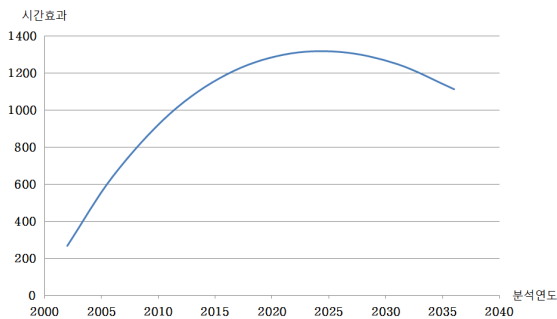
쇼핑목적 통행의 시간효과는 시간이 지날수록 감소하는 추세를 보이며 감소율은 점점 둔화되었다. 쇼핑목적 통행의 발생량이 감소하는 이유는 온라인 쇼핑의 발달, 복합용도 개발, 대규모 쇼핑센터의 증가로 인한 것으로 판단된다.

〈Table 6〉 Time effect with Spline Model

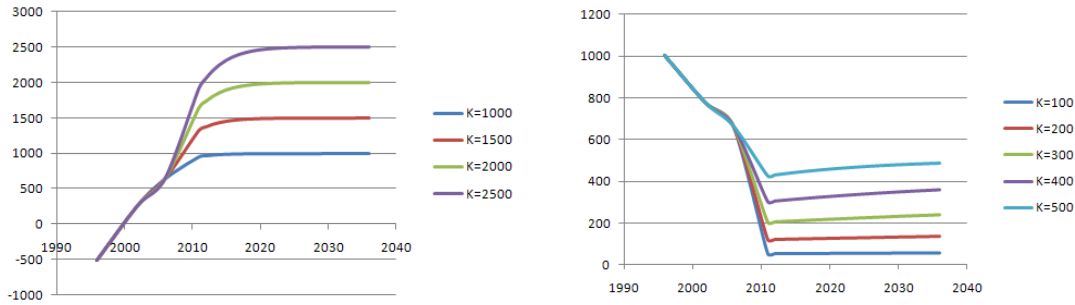
| Model | Year | λ_t | | | | | |
|----------|------|-------------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | | Spline | Log | Logistic | | | |
| | | | | K=1,000 | K=1,500 | K=2,000 | K=2,500 |
| Academic | 1996 | -509.173 | -509.17 | -509.17 | -509.17 | -509.17 | -509.17 |
| | 2002 | 266.009 | 266.01 | 266.01 | 266.01 | 266.01 | 266.01 |
| | 2006 | 641.697 | 641.70 | 641.7 | 641.7 | 641.7 | 641.7 |
| | 2011 | 1111.306 | 979.71 | 954 | 1326.53 | 1644.02 | 1918.24 |
| | 2016 | 1580.915 | 1193.02 | 994 | 1468.48 | 1923.85 | 2361.1 |
| | 2021 | 2050.524 | 1299.84 | 999.23 | 1494.6 | 1985.16 | 2470.75 |
| | 2026 | 2520.133 | 1314.68 | 999.9 | 1499.08 | 1997.17 | 2494.02 |
| | 2031 | 2989.742 | 1249.27 | 999.99 | 1499.84 | 1999.46 | 2498.78 |
| | 2036 | 3459.351 | 1113.24 | 1000 | 1499.97 | 1999.9 | 2499.75 |
| Shopping | 1996 | 1000.886 | 1000.88 | 1000.89 | 1000.89 | 1000.89 | 1000.89 |
| | 2002 | 772.611 | 772.61 | 772.61 | 772.61 | 772.61 | 772.61 |
| | 2006 | 663.052 | 663.05 | 663.05 | 663.05 | 663.05 | 663.05 |
| | 2011 | 526.104 | 565.86 | 54.78 | 120.92 | 201.76 | 301.45 |
| | 2016 | 389.156 | 506.33 | 55.5 | 124.14 | 209.65 | 315.89 |
| | 2021 | 252.207 | 478.98 | 56.21 | 127.3 | 217.18 | 328.71 |
| | 2026 | 115.259 | 479.41 | 56.93 | 130.4 | 224.3 | 339.95 |
| | 2031 | -21.690 | 504.08 | 57.64 | 133.44 | 231 | 349.69 |
| | 2036 | -158.638 | 550.09 | 58.34 | 136.42 | 237.28 | 358.04 |



〈Figure 1〉 Time effect with Spline Model (Academic, Shopping)



〈Figure 2〉 Time effect with Log Model (Academic, Shopping)



(Figure 3) Time effect with Logistic Model (Academic, Shopping)

V. 결론 및 향후 연구과제

시간이 흐름에 따라 사람들의 통행행태는 변화한다. 통행행태의 변화는 고령화 사회로의 진입, 대중교통 통합요금제 시행, 도로시설 인프라 구축, ITS의 발달, 무선통신망 확충 등 다양한 요인으로 인해 이루어진다. 하지만 현재 장래 수요예측에 사용되고 있는 국내의 통행발생모형은 장래 수요예측 시 기준연도에 추정된 파라미터 값이 장래에도 동일하기 때문에 시간과 통행행태의 변화를 반영할 수 없는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 복합요인으로 인한 통행행태의 시간적 변화를 시간효과(Time-effect)라고 명명하고, 기존 모형의 문제점을 개선하기 위하여 가구통행실태조사 자료를 이용하여 패널분석을 통해 시간변화를 반영할 수 있는 통행발생모형을 개발하고, 시간효과를 추정하는 방법론을 제시하였다.

1996년부터 2006년까지 3번 시행되어 배포된 가구통행실태조사자료를 패널자료로 활용하여 통행발생모형을 추정한 결과, 학원목적 통행과 쇼핑목적 통행 모두 유의한 시간효과를 갖고 있는 것으로 나타났다.

특히 학원목적 통행과 쇼핑목적 통행이 갖는 시간효과와 페턴이 확연히 다른 양상을 보였다. 이는 사람들의 행태변화가 목적통행에 영향을 미치고 있음을 보여주며, 통행발생모형에 시간효과를 고려해야 한다는 것을 지지한다.

하지만 본 연구에서는 자료의 분석연도가 3개 연도로 제한되어 장래 추세분석의 신뢰도가 떨어지는 문제점을 안고 있다. 현재 진행되고 있는 2010년 가구통행실태조사 자료가 배포되어 시계열적 측면이 보완된다면 좀 더 나은 분석결과가 나올 것으로 예상되며, 장래 예측결과 자체보다는 시간효과를 반영하는 방법론을 제시하였다는

데 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

현재 수요분석 관련연구의 추세는 대부분 비집계적 단위, 즉 가구나 개인 단위의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 가구통행실태조사자료도 가구단위의 여러 정보를 제공하여 주고 있지만, 패널자료로써 활용하기 위해서는 각 시계열별로 동일한 가구의 자료를 수집하여야 한다. 하지만 현재 진행되는 조사에서는 행정동내에서 무작위 추출법을 사용하기 때문에 가구단위 패널모형을 연구하는데에 어려움이 있다. 따라서 향후 연구를 위해서라도 앞으로 진행되는 가구통행실태조사에서는 가구별 ID 부여방식 등을 통하여 패널자료로 활용할 수 있는 자료의 수집방안을 검토할 필요할 것이다.

반대로 더 큰 단위로 집계한 모형의 연구도 필요하다고 판단된다. 본 연구의 경우 과다한 자유도의 소모와 교통특성이 동일하지 않은 존 설정으로 인해 지역개별특성을 추정하지 못하였다. 구 단위로 집계한 모형을 추정한다면 자유도도 확보할 수 있고 좀 더 교통특성이 동질한 존을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 좀 더 정확한 장래 시간효과와 추정을 위해서 장래에 추가적으로 배포되는 가구통행실태조사자료를 통해서 시계열적 측면을 보완하여 본 연구결과를 발전시켜야 할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부의 U-City 석·박사과정 지원사업으로 지원되었습니다.

REFERENCES

1. S. Goldberger(1962), "Best Linear Unbiased

- Prediction in the Generalized Linear Regression Model”, Journal of the American Statistical Association, Vol.57, No.298, pp.369~375.
2. Badi H. Baltagi(1994), “Prediction from the Regression Model with One-way Error Components”, Econometrics and Economic.
 3. Badi H. Baltagi(2006), “Forecasting with panel data”, Discussion Paper Series 1: Economic Studies, No.25.
 4. Richard Schmalensee(1998), “World Carbon Dioxide Emissions : 1950`2050”, The review of economics and statistics.
 5. C. Hsiao,(2003), “Analysis of Panel Data”, Cambridge University Press.
 6. Steven C. Chapra(2008), “Applied Numerical Methods”, McGraw-Hill.
 7. Seoul Development Institute(1998), “Travel Demand Forecasting Models in the Seoul Metropolitan Area”.
 8. Seoul Development Institute(2004), “A Study on Traffic Demands Estimation and Countermeasure in Seoul”.
 9. Metropolitan Transportation Authority(2009), “A Study on Traffic Demands Estimation and Countermeasure in Seoul”.
 10. Choi Choong-Ik(2008), “Panel Model: both Time-series analysis and Cross-section analysis”, Korea Research Institute For Human Settlements, KRIHS, No.320, pp.120 ~127.
 11. Tae-Ho Kim(2008), Study on the Leisure Trip Patterns of the Freeway Users after Five-day Workweek Enforcement, Seoul Studies, No.9-1 pp.31~42.
 12. Yun Dae-Sic(2004), “Urban Models in Planning”, Hongmoonsa.
 13. Kim Chae-Man(2009), A Development of Household Trip Generation Model related to Household Income, Gyeonggi Research Institute, 2009-11.

✉ 주 작성 자 : 김상록
 ✉ 교 신 저 자 : 김상록
 ✉ 논문투고일 : 2011. 4. 26
 ✉ 논문심사일 : 2011. 6. 15 (1차)
 2011. 12. 8 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2011. 12. 8
 ✉ 반론접수기한 : 2012. 6. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필