

■ 論 文 ■

구조방정식모형을 이용한 통신이 통행에 미치는 영향 분석

Analyzing Impacts of Telecommunications on Travel Using Structural Equation Modeling

추 상 호

(한국교통연구원 책임연구원)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존연구의 문헌검토</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 통신과 통행의 연관성에 관한 실증적 연구</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 시계열 자료의 교통수요 추정모형</p> <p>III. 통신과 통행의 개념적 모형의 개발</p> <p>IV. 구조방정식 모형의 기법</p> | <p>V. 시계열 자료</p> <p>VI. 구조방정식 모형의 추정</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 모형의 구축</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 모형의 결과</p> <p>VII. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 통신과 통행, 구조방정식, 시계열 자료, 개념적 모형, 대체 및 보완관계

요 약

본 연구는 총체적 관점에서 통신이 통행에 미치는 영향을 수요, 공급, 비용, 토지이용 등의 인과관계를 고려한 종합적인 체계속에서 분석하는 것이다. 이를 위해 통행, 통신, 토지이용, 경제활동, 사회인구지표를 고려한 개념적 모형을 개발하였다. 그리고 이 개념적 모형을 토대로 미국의 1950~2000년의 시계열 자료를 이용하여 통신(시내 전화통화수, 장거리 전화통화수, 이동전화가입자수)과 통행(vehicle-miles traveled와 대중교통이용자수)간의 구조방정식 모형을 개발하였다. 연구결과 통신의 이용이 승용차 및 대중교통의 통행을 증가시키는 것으로 분석되었다. 이밖에 교통시설공급 확대와 토지이용(도시교외화)도 통행에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

The purpose of this study is to analyze telecommunications impacts on travel in a comprehensive system, considering demand, supply, costs, and land use. This study first presents a conceptual model, considering causal relationships among travel, telecommunications, land use, economic activity, and socio-demographics. Then, based on the conceptual model, the aggregate causal relationships between telecommunications (local telephone calls, toll calls, and mobile phone subscribers) and travel (vehicle-miles traveled and number of transit passengers) are explored in a comprehensive framework, using structural equation modeling of national time series data spanning 1950-2000 in the U.S. The model results suggest that as telecommunications demand increases, travel demand increases, and vice versa. Additionally, transportation infrastructure and land use significantly affect travel demand.

I. 서론

오늘날 우리는 정보통신의 무한한 이용을 가능하게 하는 유비쿼터스(ubiquitous) 사회의 건설을 추구하고 있다. 실제로 지난 30년간 정보통신의 기술 발달은 사회, 경제, 문화, 도시형태, 교통 등 모든 분야에 걸쳐 큰 영향을 미치고 있다(예, Castells, 1989; Graham and Marvin, 1996). 특히 정보통신을 응용한 재택근무, 온라인 쇼핑, 화상회의 등은 기존의 통행행태에 많은 변화를 가져다 주고 있다(Mokhtarian, 2000).

정보통신의 이용현황을 보면 2000년에는 세계인구중 약 3억명 이상이 인터넷을 이용하고 있으며, 이중 50% 정도가 미국과 캐나다 사람인 것으로 조사되었다(US DOC, 2000). 그리고 2000년의 경우 1억명 이상의 미국인이 이동전화에 가입하였다(CTIA, 2002). 우리나라의 경우도 2000년에 19백만명이 인터넷을 이용하고 있으며, 이동전화 가입자수도 같은 해에 29백만인 것으로 집계되었다. 이 같은 정보통신기술의 발달과 통신이용의 증대는 교통에 직·간접적으로 영향을 미칠 것으로 기대하고 있다.

본 연구에서는 총체적(aggregate) 관점에서 통신(telecommunications)이 통행(travel)에 미치는 영향을 수요, 공급, 비용, 토지이용 등의 인과관계를 고려한 종합적인 체계속에서 분석하는 것이다. 이를 위해 통행, 통신, 토지이용, 경제활동, 사회인구 변수 등을 고려한 개념적 모형(conceptual model)을 개발하였다. 그리고 이 개념적 모형을 토대로 미국의 1950~2000년 전국단위의 시계열(time-series) 자료를 이용하여 통행(vehicle-miles traveled(VMT)와 대중교통이용자수)과 통신(시내 전화통화수, 장거리 전화통화수, 이동전화가입자수)의 구조방정식 모형(structural equation model)을 추정하였으며, 이를 통해 통신이 통행에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 기존연구의 문헌검토

기존연구의 문헌검토는 총체적 측면의 통신과 통행의 상호연관성에 관한 실증적(empirical) 연구와 시계열자료를 이용한 교통수요 추정모형의 방법론에 대해 수행하였다.

1. 통신과 통행의 연관성에 관한 실증적 연구

기존의 많은 연구들이 교통과 통신의 일반적인 상호관

계에 대해서 논하였지만 총체적 관점에서의 실증적 연구사례는 극소수에 불과하다. 이 중 몇가지 연구사례(Plaut, 1997, 1999; 추상호·Mokhtarian, 2005; Selvanathan and Selvanathan, 1994)를 소개하고자 한다. 이 연구들은 산업체, 소비자, 물리적 이용량 측면에서 교통과 통신의 상호관계를 분석하였다.

먼저 Selvanathan and Selvanathan(1994)은 1960~1986년 영국과 호주의 시계열자료를 이용하여 네가지 재화(개인교통, 대중교통, 통신, 기타)에 관한 소비자 지출자료를 이용하여 Rotterdam 수요모형을 추정하였다. 이 모형결과 세가지(기타 제외) 재화의 소비지출의 교차 가격탄력성이 양의 값으로 나타나 개인교통과 통신, 대중교통과 통신간에는 대체(substitution)효과가 있는 것으로 규명되었다. 이는 통신의 지출이 증가하면 개인교통 또는 대중교통에 대한 소비지출도 증가한다는 것이다.

반면에 추상호·Mokhtarian(2005)은 미국의 1984~2002년 소비자 지출자료를 이용하여 교통과 통신간의 상호연관성을 분석하였다. 이 연구에서 소비자 지출 전체 항목 중 교통 및 통신 관련 항목을 5개의 대 항목(대중교통, 차량구입, 차량운영, 전자통신매체, 인쇄통신매체)으로 구분한 후 Linear Approximate Almost Ideal Demand System(LA/AIDS) 기법을 이용하여 소비자 수요모형을 개발하였다. 이 모형의 추정결과 교통과 통신은 항목별로 대체(예, 대중교통이용과 전자통신미디어 이용) 및 보완(예, 개인차량구입과 전자통신미디어 이용)관계가 있는 것으로 규명되었다.

Plaut(1997)는 전체 교통과 통신관련 서비스 중 3분의 2정도가 산업체간에 이용되고 있는 점을 강조하여 산업체 측면에서의 교통과 통신의 관계를 분석하였다. 이 연구는 1980년의 9개 유럽공동체국가의 투입산출(input-output)자료를 이용하였으며 모든 산업분야(44~592개 항목)에 대한 교통과 통신산업의 투입계수간의 스피어만(Spearman) 상관계수를 분석하였다. 대부분의 상관계수가 양의 값을 가지고 있어 교통과 통신이 상호 보완(complementarity)관계에 있음을 밝혔다. 이는 어떤 산업에 대한 통신(교통)산업의 투입이 증가할수록 그 산업에 대한 교통(통신)산업의 투입도 증가한다는 것이다. 다시 말하면, 통신산업이 교통산업의 수요를 유발시킨다는 것이기도 하다. 이외에 Plaut(1999)는 3개 비유럽공동체 국가, 미국, 캐나다 등의 투입산출자료도 동일한 방법으로 교통과 통신의 상관관

계를 분석하였으며 이 연구결과도 교통과 통신이 서로 보완관계에 있음을 입증하였다. 위의 연구들은 횡단면(cross-sectional) 자료를 이용하고 있어 시계열적인 관계를 규명하는데는 한계가 있는 것으로 나타났다.

추가적으로 교통과 통신의 포괄적인 관계는 아니지만 총체적 연구로서 Choo, et al.(2005)은 통신의 응용사례인 재택근무가 통행수요에 미치는 영향을 분석하였다. 이 연구에서는 미국의 1966~1999년의 시계열 자료를 이용하였으며 2단계 다변수 모형을 개발하였다. 이 모형의 주요변수는 교통(VMT), 재택근무(재택근무자수, 1988~1998년 자료를 이용), 통행비용, 인구 및 사회경제지표 등이다. 모형결과 재택근무는 94%의 신뢰도 수준에서 약 0.34% 정도의 VMT를 감소시키는 것으로 나타났다.

위에서 열거한 교통과 통신에 대한 총체적 연구들은 교통과 통신이 대체관계 또는 보완관계가 있음을 보여 주고 있다. 이 같은 차이는 연구대상(소비자, 산업체, 물리적 이용량)과 데이터의 특성(횡단면 또는 시계열 자료, 지역적 차이)에 기인한 것으로 판단된다.

2. 시계열 자료의 교통수요 추정모형

시계열자료를 이용한 총체적 교통수요 모형은 주로 휘발유 수요(예, 차량이용거리, 연료소비량)와 유발통행수요(induced demand, 도로용량개선이 통행에 미치는 영향) 분야에서 개발되었다. 특히 시계열자료의 취득상의 제약으로 인해 주로 VMT가 통행수요의 종속 변수로 사용되었으며, 수요추정에는 주로 회귀분석과 같은 단일방정식기법(single equation approach)을 이용하였다.

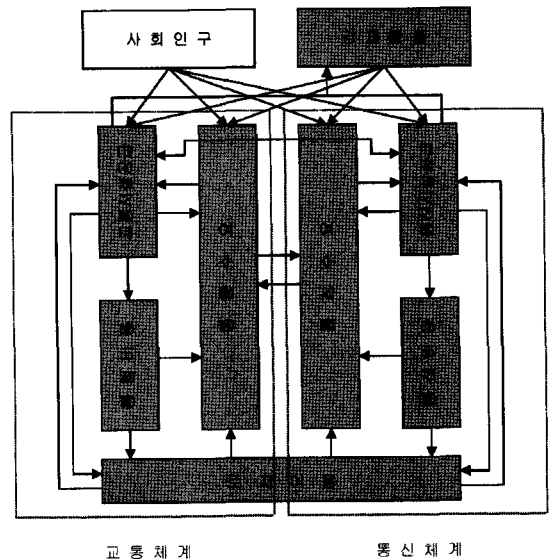
휘발유(gasoline) 수요의 경우 많은 연구(예, Dahl, 1986; Springer and Resek, 1981; Schimek, 1996)들이 전국단위의 시계열자료를 이용하여 모형을 추정하였으며, 주로 소득(GNP 또는 GDP), 휘발유 가격, 연료효율성, 운전면허소지자수 등의 변수를 이용하여 선형(linear) 또는 로그선형(log-linear) 형태의 VMT함수를 최소자승법으로 추정하였다. 이와 유사하게, 유발수요의 경우도 VMT함수를 인구, 소득, 고속도로 차선거리(lane miles) 등의 변수를 이용하여 추정하였다.

그러나 위에서 언급한 시계열자료를 이용한 단일방정식기법은 일부 독립변수(예, 차선거리 변수)의 경우 오차

항과 상관관계가 있어 내생적 편의(endogeneity bias)를 야기시켜 추정변수의 값을 편의시킬 수 있다(Cevero and Hansen, 2002). 따라서 연립방정식(simultaneous equation) 형태인 구조방정식(structural equation)과 같은 모형을 이용하면 복잡한 체계의 모형구축이 가능하고, 내생적 편의로 인한 문제점을 해결하고, 다양한 변수들간의 상호인과관계를 규명할 수 있다¹⁾.

III. 통신과 통행의 개념적 모형의 개발

기존의 여러 연구(예, Giuliano and Gillespie, 1997)들이 통신, 통행, 토지이용, 경제활동, 사회인구(socio-demographic) 요소 등 각 요소들 간의 복잡한 관계들을 제시하였다. 또한, Mokhtarian(1990)도 통신과 통행의 수요와 공급간의 다양한 관계를 기술하였다. 본 연구에서는 위의 다양한 요소들에 대한 기존 연구의 결과와 본 연구에서 가정한 인과관계 등을 종합하여 하나의 종합적인 개념적 모형(conceptual model)을 개발하였다. <그림 1>에 나타난 것과 같이, 개념적 모형은 8개의 내생적 항목(통행수요, 교통시설공급, 통행비용, 통신수요, 통신시설공급, 통신비용, 토지이용, 경제활동)과 한 개의 외생적 항목(사회인구지표)으로 이루어져 있다. 각각의 항목은 여러 개의 개별변수들로 구성되어 있으며, 화살표는 가정(hypothesized)된 인



<그림 1> 통행과 통신의 개념적 모형(Conceptual Model)¹⁾

1) 사회인구 항목은 외생변수이고, 음영부분인 나머지 8개 항목은 모두 내생변수들임.

과관계의 방향을 나타낸다. 개념적 모형에서 가정한 각 항목들 간의 주요관계를 보면 다음과 같다.

- $\text{통행수요} \Leftrightarrow \text{통신수요}$: 통신수요와 통행수요는 양 방향의 인과관계를 가지고 있으며 양 또는 음의 부호를 갖는 것으로 가정하였다. 이는 통신(통행) 수요가 증가하면 통행(통신)수요도 증가 또는 감소한다는 것을 의미한다. 실제로 재택근무는 통근 통행을 줄일 수 있으며, 새로운 여행장소에 대한 정보는 여가통행을 증가시킬 수 있다. 다시 말하면, 통신과 통행은 대체 또는 보완관계를 지닐 수 있다(Salomon, 1986; Mokhtarian, 1990).
- $\text{통행(통신)수요} \Leftrightarrow \text{교통(통신)시설공급} \Rightarrow \text{통행(통신)비용}$: 경제학의 수요, 공급, 비용의 이론처럼, 통행(통신)수요와 교통(통신)시설공급은 서로 영향을 주는 것으로 가정하였다. 통행 또는 통신수요의 증가는 각종 해당시설물의 증가를 요구할 것이다. 또한, 유발(induced)수요에 관한 여러 연구(예, Hansen and Huang, 1997; Noland, 2001) 결과와 같이, 교통시설의 증가도 통행을 증가시키는 것으로 가정하였다. 유사하게 통신회선의 증가는 전화회화수를 증가시킬 것이다. 그리고 다량의 공급이 가격을 내리는 것처럼, 교통(통신)시설의 공급도 통행(통신)비용을 줄이는 것으로 가정하였다.
- $\text{교통시설공급} \Leftrightarrow \text{통신시설공급}$: 교통시설과 통신시설의 공급은 상호간에 영향을 미치는 것으로 가정하였다. 예를 들면, 과거 통신시설(예, 광학케이블 네트워크)은 주로 교통시설물(예, 도로, 철도, 지하철)을 이용하여 설치하였다(Mokhtarian, 1990). 또한 실시간 정보제공 등의 첨단교통체계에 응용된 통신시설도 도로의 용량을 증가시키는 것으로 나타났다(Costantino, 1992).
- $\text{교통(통신)시설공급} \Leftrightarrow \text{토지이용} \Rightarrow \text{통행(통신)수요}$: 교통(통신)시설의 공급과 토지이용은 상호간에 영향을 미치는 것으로 가정하였다. 예를 들면, 교통시설(고속도로)의 투자는 도심으로의 접근성을 향상시켜 도시의 교외화(suburbanization) 현상을 가중시키고 있으며(Cevero and Landis, 1997), 통신시설의 확장도 집적의 이익을 높여 도시형태에 많은 변화를 주고 있다(Gordon and Richardson, 1997). 한편 도시교외화 현상은 도심으로의 접근성을 보다 향상시키기 위해 추가적인 교통시설과 통신시설의 확장을 필요로 한다. 기존

의 많은 연구(예, Pickrell, 1999)에서 규명한 것과 같이 토지이용은 통행(통신)에 영향을 미치고 있다. 예를 들면, 도시교외화는 통근거리를 증가시키는 등 통행행태에 많은 변화를 가져왔다. 또한 토지이용의 변화는 장거리 통행자의 재택근무나 가족의 분리거주 등을 증대시켜 이로 인한 통신이용도 증가하고 있는 것으로 나타났다.

- $\text{통행(통신)비용} \Rightarrow \text{토지이용}$: 통행이나 통신비용이 토지이용에 영향을 주는 것으로 가정하였다. 통행비용의 절감은 원거리 거주를 가능하게 하며, 통신비용의 절감도 거리의 한계를 극복하게 하기 때문이다(Cairncross, 1995).
- $\text{교통(통신)시설공급} \Leftrightarrow \text{경제활동}$: 고속도로시설의 투자는 인구나 물자의 이동성을 증가시킴으로써 생산성과 고용을 향상시켜 경제에 크게 기여하였다(Keane, 1996). 또한, 경제(GDP)가 성장할수록 정부의 고속도로에 대한 투자도 늘고 있다. 따라서, 교통시설공급과 경제활동은 서로 영향을 미치는 것으로 가정하였다. 유사하게, 통신시설의 확충은 정보수집비용 등을 절감시켜 산업이나 기업의 효율성을 증대시켜 경제에 기여하고 있다(Saunders, et al., 1994). 따라서 통신시설과 경제활동도 상호 연관되는 것으로 가정하였다.
- $\text{경제활동(사회인구변수)} \Rightarrow \text{통행(통신)수요와 교통(통신)시설공급}$: 경제활동이나 사회인구지표들이 통행(통신)수요나 교통(통신)시설공급에 영향을 주는 것으로 가정하였다. 앞 절에서 언급한 것과 같이, 기존의 통행수요 연구(예, Schimek, 1996; Schafer, 1998) 결과, 경제활동변수(예, GDP, GNP)가 통행수요(VMT)에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 유사하게, 많은 사회인구지표(예, 인구수, 가구 구성원수, 운전자수 등)들도 통행수요에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 통신수요도 경제활동이나 사회인구변수들에 의해 영향을 받고 있다(Saunders, et al., 1994).

N. 구조방정식 모형의 기법

앞의 절에서 통신과 통행의 개념적 모형에 관해 논의하였으며, 각 항목간의 인과관계는 양방향 또는 일방향으로 가정하였다. 따라서 본 연구에서는 개념적 모형을 추정하기 위해 내생(endogenous)변수간 또는 내생

변수와 외생(exogenous)변수간의 인과관계를 분석하는 구조방정식 모형을 이용하고자 한다. 일반적으로 구조방정식 모형기법은 (1) 양방향 인과관계의 계수추정에 있어서 최소자승법에서 발생하는 편의(bias)를 제거할 수 있으며, (2) 각 변수들 간의 직접효과(direct effect, 예, $X \rightarrow Y_1$), 간접효과(indirect effect, 예, $X \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_2$), 총효과(total effect, 직접효과와 간접효과의 합)들을 추정할 수 있으며, (3) 선형, 비선형, 잠재(latent) 등의 다양한 형태의 변수들을 다룰 수 있다.

Mueller(1996)의 행렬모형식의 형태를 따르면, 구조방정식의 일반 모형은 다음과 같다.

$$Y = BY + \Gamma X + \zeta$$

여기서 Y는 내생변수의 벡터(vector), X는 외생변수의 벡터, B는 내생변수간의 직접효과를 나타내는 계수의 행렬, Γ는 외생변수의 내생변수에 대한 직접효과를 나타내는 행렬, ζ는 오차항의 벡터이다. 그리고, 외생변수의 분산(variance-covariance)행렬은 Φ, 오차항의 분산행렬은 $\Psi \sim (0, \Psi)$ 이다. 구조방정식 모형에서 모집단의 관측변수인 X와 Y에 대한 분산을 Σ라 하면 Σ는 미지의 모수 θ의 함수로 표시할 수 있다. 본 연구에서는 잠재변수가 없기 때문에 Σ(θ)를 B, Γ, Φ, Ψ를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Sigma(\theta) = \begin{bmatrix} \Sigma_{YY}(\theta) & \Sigma_{YX}(\theta) \\ \Sigma_{XY}(\theta) & \Sigma_{XX}(\theta) \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} (I-B)^{-1}(\Gamma\Phi\Gamma' + \Psi)(I-B)^{-1}' & (I-B)^{-1}\Gamma\Phi \\ \Phi\Gamma'(I-B)^{-1}' & \Phi \end{bmatrix}$$

여기서 $E[X] = E[Y] = 0$ 이고, 외생변수와 오차항은 상호독립관계($E[X'\zeta'] = 0$)에 있다. 또한 모집단의 분산을 알지 못하므로 편의하지 않는(unbiased) 표본의 분산 S

로 추정한다. 미지의 모수(parameter) B, Γ, Φ, Ψ는 표본(sample)의 분산과 추정된 모형(model-implied)의 분산간의 차이를 최소화시킴으로써 추정한다.

구조방정식 모형의 추정기법에는 최우추정법(maximum likelihood), 일반화최소자승법(generalized least squares), ADF(asymptotic distribution free) 등이 있으며, 본 연구에서는 오차항과 관측변수들이 다변량 정규분포를 갖는 것으로 가정하여 최우추정법을 이용하였으며, 두 분산의 차이에 관한 목적함수 $F(S, \Sigma(\theta))$ 를 최소화시켜 모수들을 추정하였다. 최우추정법에 이용되는 목적함수는 다음과 같다.

$$F_{ML}[S, \Sigma(\theta)] = \ln|\Sigma(\theta)| - \ln|S| - \text{tr}\{S\Sigma(\theta)^{-1}\} - (N_X + N_Y)$$

여기서 N_X 와 N_Y 는 각각 외생변수와 내생변수의 개수를 의미한다.

구조방정식을 추정하는 소프트웨어 패키지는 LISREL, EQS, AMOS 등 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 그래픽 인터페이스 기능과 이용자 편의적인 AMOS 4.0 (Arbuckle and Wothke, 1999)을 이용하여 구조방정식을 추정하였다.

V. 시계열 자료

본 연구에서는 구조방정식을 추정하기 위해 통행과 통신 부문의 미국 전국단위의 1950~2000년 시계열자료를 이용하였다. 이 자료들은 정부기관이나 공공기관에서 발행하는 보고서들이나 해당 인터넷 홈페이지 등을 통해 수집되었다. 개념적 모형에서 제시한 각 항목들을 대표하는 변수들은 기존의 문헌검토상의 통행 및 통신관련 모형들에서 주로 사용된 변수들 및 시계열 자료로 취득 가능한 변수들을 고려하여 선정하였으며, 선정된 변수들은 <표 1>에 나타나 있다. 이중 일부 변수들은 자료수집기준의 변화 및 일부년도의 자료결여로 인해 보간법 등을 통해 보정하였다(Choo, 2004 참조).

<표 1> 개념적 모형의 항목별 주요변수

항목	주요변수	자료출처
통행수요	여객 VMT 대중교통 이용자수	Federal Highway Administration (Highway Statistics) American Public Transit Association (Transit Fact Book)
교통시설 공급	도시 및 농촌지역의 차선연장 (lane miles = 차선수 × 해당도로연장) 대중교통운행거리(vehicle-miles)	Federal Highway Administration (Highway Statistics) American Public Transit Association (Transit Fact Book)
통행비용	명목(인플레이션 조정값) 휘발유 가격* 개인교통과 대중교통의 소비자물가지수(CPI)*	Energy Information Administration (Annual Energy Review), Bureau of Labor Statistics (Monthly Labor Review)

〈표 1〉 개념적 모형의 항목별 주요변수(계속)

항목	주요변수	자료출처
통신수요	시내 전화통화건수(local calls) 장거리 전화통화건수(toll calls) 이동전화가입자수	Federal Communications Commission (Statistics of Communications Common Carriers, Trends in Telephone Service) Cellular Telecommunications & Internet Association (Semiannual Wireless Survey)
통신시설 공급	전화회선(line)수(주거용, 영업용) 전화선(wire) 길이 기지국(cell site) 수	Federal Communications Commission (Statistics of Communications Common Carriers) Cellular Telecommunications & Internet Association (Semiannual Wireless Survey)
통신비용	시내 전화이용 및 장거리 전화이용 소비자물가지수* 월평균이동전화 사용료(명목지수)*	Federal Communications Commission (Trends in Telephone Service) Cellular Telecommunications & Internet Association (Semiannual Wireless Survey)
토지이용	광역권역(metropolitan area)에 대한 교외(suburban)지역 인구비	U.S. Census Bureau (Statistical Abstract of the United States)
경제활동	명목 국내총생산(GDP)** 연방은행(FRB) 이자율 실업률 노동가능인구중 여성구성비	U.S. Government Printing Office (Economic Report of the President), Bureau of Labor Statistics (Monthly Labor Review),
사회인구	인구 가구수 가구구성원수 운전면허소지자수 여성운전면허소지자비율	U.S. Census Bureau (Statistical Abstract of the United States), Federal Highway Administration (Highway Statistics)

주: *소비자물가지수는 도시소비자(all urban consumers) 기준으로 1996 = 100.

** Chained 1996 dollars. 괄호안은 해당기관의 보고서명임.

VI. 구조방정식 모형의 추정

1. 모형의 구축

구조방정식 모형에 이용되는 데이터는 시계열 자료이므로 각각의 변수는 정상성(stationarity)을 가지고 있어야 한다. 본 연구에 쓰이는 모든 자료들이 비정상성(non-stationary)이므로 이를 위해 자연로그로 변형(natural log-transformation)한 뒤 1차 차분성(first-order differencing)을 통해 오차항의 자기상관성(autocorrelation)을 줄이고 정상성도 달성하였다. 또한, 내생변수와 외생변수의 시차(lagged)변수를 현재(contemporaneous)변수와 함께 고려하여 모형을 추정하였다. 일반적으로 시차변수는 종속변수가 아닌 선결(pre-determined)변수에 해당한다. 그리고 각 변수들도 정규(normal)분포를 가지고 있는 것으로 나타났다.

모형의 추정에 사용되는 데이터의 수는 1차의 시차변수를 이용할 경우 49개이다. 그러나 개념적 모형은 8개의 내생변수(8개의 방정식)와 1개의 외생변수로 이루어져 있으며, 피드백(feedback) 루프(loop)도 지니고 있

어 모형추정(특히 모형의 identification)에 한계가 있다. 따라서, 필요시 피드백 루프를 일부 제한하거나 일부 경로(path) 등을 0으로 제한하여 모형을 추정하였다.

2. 모형의 결과

본 연구에서는 최종적으로 두가지 통행수단(VMT와 대중교통이용자수)과 세가지 통신수단(시내 및 장거리 전화통화수와 이동전화가입자수)을 조합하여 5개(VMT와 장거리 전화통화수 모형은 추정불능으로 제외됨)의 구조방정식 모형을 추정하였다. 모든 모형들의 각각의 상세한 계수값을 기술하고 해석하기보다는 통행수요측면에서 주요 변수들(통신수요, 교통시설, 토지이용)의 특성에 관해 5가지 모형의 결과를 종합하여 비교 분석하였다.

1) 통행수요와 통신수요의 관계

〈표 2〉는 수단별로 통행수요와 통신수요간의 영향을 나타내는 모형의 총효과(total effect)의 계수값을 정리한 것이다. 모든 계수값은 표준화되어 있어 상대비교가 가능하며, 계수값이 양의 부호이면 통신과 통행이

〈표 2〉 수단간 통행수요와 통신수요간의 총효과(total effect) 분석

모형	통신 ⇒ 통행	통행 ⇒ 통신
VMT와 시내전화통화수	0.329 (0.306)	0.246 (0.229)
VMT와 장거리전화통화수	0.804 (0.804)	-
VMT와 이동전화가입자수	-	0.046 (0.046)
대중교통이용자수와 시내통화수	0.738 (0.589)	0.426 (0.341)
대중교통이용자수와 이동전화가입자수	-	-0.036 (-0.036)

주: 모든 계수값은 표준화(standardized)된 값임. 괄호안은 직접효과(direct effect)를 나타냄. 빈칸은 통계적으로 유의하지 않아 계수가 0임을 나타내며 인과관계가 없음을 의미함.

보완(substitution)관계이며, 음의 부호이면 대체(complementarity)관계이다. 전체계수의 절반이상(10개중 6개의 계수)이 통신과 통행이 보완관계인 것으로 나타났다. 이는 통신(통행)의 이용이 증가하면 통행(통신)도 증가하는 것을 의미한다. 총효과와 크기를 살펴보면, 통신이 통행에 미치는 영향이 통행이 통신에 미치는 영향보다 전반적으로 큰 것으로 나타났다.

다른 한편으로, 대중교통이용자수와 이동전화가입자수의 관계는 대체관계인 것으로 나타났다. 이는 대중교통이용이 증가하면 이동전화가입자수가 감소한다는 것이다. 이 같은 현상은 미국내에서 일반적으로 대중교통이용자의 소득이 낮기 때문에 이동전화에 가입하기가 상대적으로 낮다는 것을 의미한다. 실제로 미국의 이동전화의 이용요금은 1990년 중반까지 매우 높았다. 이와는 반대로 승용차 이용의 증가는 이동전화의 이용을 증가시키는 것으로 분석되었다.

일부 통행과 통신수단간(VMT가 장거리전화와 이동전화에 미치는 영향, 이동전화가 대중교통에 미치는 영향)에는 통계적으로 유의한 인과관계가 없는 것으로 나타났다.

2) 교통시설 및 토지이용과 통행수요의 관계

〈표 3〉은 교통시설공급과 토지이용이 통행수요에 미치는 영향을 수단별로 종합한 것이다. VMT와 관련된 세가지 모형에서 도로차선연장의 증가가 VMT를 증가시키는 것으로 나타났다. 이 결과는 기존의 유발수요 연구결과와도 일치하며, 도로차선연장이 10% 증가할 때 VMT가 약 4~6%정도 증가하는 것을 의미한다.

〈표 3〉 교통시설 및 토지이용의 통행수요에 관한 총효과(total effect) 분석

모형	통신 ⇒ 통행	통행 ⇒ 통신
VMT와 시내전화통화수	0.377 (0.293)	0.177 (0.165)
VMT와 장거리전화통화수	0.528 (0.467)	0.163 (0.163)
VMT와 이동전화가입자수	0.647 (0.584)	0.327 (0.327)
대중교통이용자수와 시내통화수	1.009 (0.806)	-0.699 (-0.559)
대중교통이용자수와 이동전화가입자수	0.344 (0.344)	-0.461 (-0.461)

주: 모든 계수값은 표준화(standardized)된 값임. 괄호안은 직접효과(direct effect)를 나타냄. VMT관련 모형의 교통시설은 도시 지역의 도로차선연장이고 대중교통관련 모형은 운행거리임.

유사하게 토지이용변수인 도시교외화율의 증가도 VMT를 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 통근거리의 증가로 인해 총통행량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

대중교통과 관련된 모형들의 경우, 대중교통운행거리가 증가할수록 대중교통이용자수도 크게 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 도시교외화율의 증가는 대중교통이용자수를 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 도시교외화현상의 증가가 승용차 이용의 증가를 가져오기 때문에 역으로 대중교통의 이용이 감소되는 것이다.

이밖에 개념적 모형에서 가정한 것과 같이 사회인구변수(가구구성원수, 가구수, 인구)나 경제활동변수(GDP, 노동가능인구중 여성구성비)도 통행수요에 직·간접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Ⅶ. 결론

본 연구에서는 통신이 통행에 미치는 총체적 영향을 분석하기 위해 통행, 통신, 토지이용, 경제활동, 사회인구지표들 간의 인과관계를 고려한 종합적인 개념적 모형을 개발하였다. 이 개념적 모형을 바탕으로 미국의 전국단위의 1950~2000년의 시계열자료를 이용하여 통행수단(VMT와 대중교통이용자수)과 통신수단(시내전화통화수, 장거리 전화통화수, 이동전화가입자)별로 각각 조합된 5개(대중교통이용자수와 장거리 전화통화수 제외)의 구조방정식을 추정하였다. 모형추정결과, 각 수단간의 통신과 통행의 관계가 일정하지는 않지만, 대부분의 모형이 통신과 통행은 보완관계에 있음을 나타냈다.

결론적으로, 총체적(또는 순효과, net effect) 측면에서 구조방정식 모형을 통한 통행수요와 통신수요의 상호관계를 규명하는 실증적 결과는 통신(통행)이용의 증가가 통행(통신)수요를 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 최근 미국의 통신과 교통의 소비자 지출자료를 이용한 추상호·Mokhtarian(2005)의 연구결과와도 유사하다. 따라서 향후 교통수요모형 개발에 있어 통신이 용관련 변수들을 중요한 변수로 고려해야 할 것이다. 또한, 도로시설의 공급도 승용차 및 대중교통의 통행수요를 증가시키는 것으로 나타났으며, 도시교외화 현상은 승용차 통행을 증가시키나 대중교통의 통행은 감소시키는 것으로 분석되었다.

끝으로 본 연구는 미국의 경우를 사례연구로 제시한 것으로 미국의 통신환경과 교통여건이 우리나라와 상이한 점을 감안하면, 본 연구의 결과를 우리나라 정책에 직접적으로 반영할 수는 없을 것이다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구에서 제시한 개념적 모형과 구조방정식 등의 방법론을 우리나라의 사례에 적용하여 통신이 통행에 미치는 영향을 분석해야 할 것이다.

참고문헌

- 추상호·Mokhtarian(2005), 소비자 지출 행태를 통한 교통과 통신의 상호연관성 연구, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.67~75.
- Arbuckle, J. L. and W. Wothke (1999), Amos 4.0 User's Guide, Chicago, IL: SmallWaters Corporation.
- Cairncross, Frances(1995), The death of distance, The Economist 336(7934), pp. SS 5~6.
- Castells, M.(1989), The Informational City: Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban-regional Process, Cambridge, MA: Basil Blackwell Inc.
- Cellular Telecommunications Industry Association (2002) Semi-annual Wireless Industry Survey, Washington, D.C.
- Cervero, R. and J. Landis(1996), Why the transportation-land use connection is still important, TR News 187, pp.9~13.
- Cervero, R. and M. Hansen(2002), Road supply-demand relationships: Sorting out causal linkages, Journal of Transport Economics and Policy 36(3), pp.469~490.
- Choo, S.(2004), Aggregate relationships between telecommunications and travel: Structural equation modeling of time series data, Ph.D. dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.
- Choo, S., P. L. Mokhtarian, and I. Salomon (2005), Does telecommuting reduce vehicle-miles traveled? An aggregate time series analysis for the U.S. Transportation 32(1), pp.37~64.
- Costantino, J.(1992), The IVHS strategic plan for the United States, Transportation Quarterly 46(4), pp.481~490.
- Dahl, C. A.(1986), Gasoline demand survey, The Energy Journal 7(1), pp.67~82.
- Giuliano, G. and A. Gillespie(1997), Research issues regarding societal change and transport, Journal of Transport Geography 5(3), pp.165~176.
- Gordon, P. and H. W. Richardson(1997), Are compact cities a desirable planning goal? Journal of the American Planning Association 63(1), pp.95~106.
- Graham, S. and S. Marvin(1996), Telecommunications and the City: Electronic Spaces, Urban Spaces, London: Routledge.
- Hansen, M. and Y. Huang(1997), Road supply and traffic in California urban areas, Transportation Research A 31(3), pp.205~218.
- Keane, T. F.(1996), The economic importance of the national highway system, Public Roads Online, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Mokhtarian, P. L.(1990), A typology of relationships between telecommunications and transportation, Transportation Research A 24(3), pp.231~242.

18. Mokhtarian, P. L.(2000), Telecommunications and travel. In: Transportation in the New Millennium, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy of Science, Washington, D.C.
19. Mueller, R. O.(1996), Basic Principles of Structural Equation Modeling: An Introduction to LISREL and EQS, New York: Springer.
20. Noland, R. B.(2001), Relationships between highway capacity and induced vehicle travel, Transportation Research A 35(1), pp.47~72.
21. Pickrell, D.(1999), Transportation and land use. In José Gómez-Ibáñez, William B. Tye and Clifford Winston, eds., Essays in Transportation Economics and Policy: A Handbook in Honor of John R. Meyer (pp.403~435), Brookings Institution Press, Washington, D.C.
22. Plaut, P. O.(1997), Transportation-communication relationships in industry, Transportation Research A 31(6), pp.419~429.
23. Plaut, P. O.(1999), Do telecommunications reduce industrial uses of transportation? An international comparison of Israel, Canada, U.S.A. & Europe, World Transport Policy & Practice 5/4, pp.42~49.
24. Salomon, I.(1986), Telecommunications and travel relationships: A review, Transportation Research A 20(3), pp.223~238.
25. Saunders, R. J., J. J. Warford and B. Wellenius (1994), Telecommunications & Economic Development, 2nd ed. Published for The World Bank, Baltimore, MD: The John Hopkins University Press.
26. Schafer, A.(1998), The global demand for motorized mobility, Transportation Research A 32(6), pp.455~477.
27. Schimek, P.(1996), Gasoline and travel demand models using time series and cross-section data from United States, Transportation Research Record 1558, pp.83~89.
28. Selvanathan, E. A. and S. Selvanathan (1994), The demand for transport and communication in the United Kingdom and Australia, Transportation Research B 28(1), pp.1~9.
29. Springer, R. K. and R. W. Resek(1981), An econometric model of gasoline consumption, vehicle miles traveled, and new car purchases, Energy Systems and Policy 5(1), pp.73~87.
30. United States Department of Commerce (2000), Digital Economy 2000, Economics and Statistics Administration, Office of Policy Development.

✉ 주 작 성 자 : 추상호

✉ 교 신 저 자 : 추상호

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2006. 4. 24 (2차)

2006. 4. 25 (3차)

✉ 심사판정일 : 2006. 4. 25

✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30