▣ 論 文 ▣

다수준 다변량 구조방정식을 이용한 활동참여와 통행행태 분석에 관한 연구

Multilevel and Multivariate Structural Equation Models for Activity Participation and Travel Behavior

최 연 숙
(중앙대학교 도시공학과 석사과정)

정 진 혁
(중앙대학교 도시공학과 부교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경
2. 연구의 목적
Ⅱ. 기존 문헌 고찰
1. 구조방정식의 연구 동향
2. 다수준 모형의 연구 동향
3. 우리나라의 연구 동향
Ⅲ. 자료 설명
Ⅳ. 모형설정 및 분석
1. 다수준 다변량 구조방정식
2. 모형 구조
3. 분석 결과
Ⅴ. 결론
참고문헌

Key Words : 활동기반모형, 활동참여, 통행행동, 다수준 다변량 구조방정식, PSTP

요 약

본 연구에서는 활동기반모형의 방법론중, 최근 많이 이루어지고 있는 구조방정식(SEM:Structural Equation Model)과 다수준 모형(Multi-Level Model)을 동시에 구축하여 개인의 활동참여와 통행행태의 가구 구성원간 영향력을 설명하였다. 모형의 실효성을 검증하기 위하여 미국 Puget Sound 지역에서 1989년부터 수행된 928가구의 1,621명의 교통통행조사자료를 분석에 사용하였다. 분석 결과, 개인의 활동참여와 통행행태의 가구간 유사성이 0.13에서 0.33의 값으로 예측되어 가구 구성원간에 강한 상호작용을 하는 것으로 나타났다. 또한, 유사성의 범위는 0에서 1의 범위를 가지나 0.05와 0.20의 값을 가져도 다수준 모형을 이용한 분석이 타당하다고 판단하기 때문에 본 연구에서 제시한 다수준 다변량 구조방정식을 이용한 개인의 활동참여와 통행행태 설명이 타당한 것으로 분석되었다.

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-D00473).

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경

신뢰도 높은 교통수요 예측은 통행발생의 의사결정 주체인 사람의 행태 특성을 올바르게 이해하는 것으로부터 시작된다. 이러한 관점에서 30여년 전부터 논의되기 시작된 활동기반모형(Activity-Based Model)은 '통행은 그 자체가 목적이 아니고 인간의 욕구와 활동을 충족시키기 위해 발생되는 파생수요'라는 교통수요의 기본 전제를 적절히 수용할 수 있는 새로운 패러다임으로 인식되어 왔다.

활동기반모형은 다양한 개념, 이론, 그리고 방법론을 포함하고 있어 주요 연구 주제를 명확히 구분하기 어려우나 크게 다섯 가지로 정의할 수 있다(Pas, 1996). 첫째, 활동참여에 대한 수요 분석, 둘째, 시간적 및 공간적 활동 스케줄 분석, 셋째, 시간적, 공간적 그리고 사람 상호간의 제약에 대한 분석, 넷째, 일정시간 동안의 활동과 통행선택에 대한 상호 연관성 분석, 다섯째, 가구 구성원사이의 역할 분담으로 인한 활동의 인과관계 분석이다.

위 연구방향의 기본 전제는 '시간의 제약, 공간의 제약, 업무 일정 및 위치의 제약, 제도적 제약, 교통수단의 제약 등은 개인의 활동/통행패턴에 영향을 미치게 되며, 가구 구성원간의 상호작용 역시 개인의 활동/통행패턴에 영향을 주는 중요 요소'라는 것이다. 이러한 관점에서 1970년대에 들어와 각 통행들 사이의 시간사용을 활동과 통행으로 나누어 분석하기 시작하였다. 이를 통해 교통수요 분석가들은 개인과 가구에 의한 시간사용의 연구를 수행하기 시작하였고(Szalai. S., 1972), 활동참여를 위한 수요를 파생수요로 취급하여 통행을 모형화하는 연구를 본격적으로 수행하기 시작하였으며(Kostynuk and Kitamura, 1982; Pas, 1984), 동시에 통행에서의 시간사용은 활동과 통행시간의 결합으로 구성되어 있다는 것이 증명되었다(Zahavi and McLynn, 1983). 또한, 1990년대 후반부터 가구 구성원간의 상호 연관관계를 명확하게 이해하기 위한 노력이 있어 왔고 이를 위한 다양한 방법론과 이론이 개발되어 왔다(Golob and McNally, 1997; Goulias, 2002).

이와 같은 통행행동에 미치는 활동참여의 영향에 대한 이해와 가구 구성원간의 인과관계에 대한 이해는 활동기반모형의 궁극적 목표라 할 수 있는 미래의 활동패턴 예측의 가장 기본이 되는 연구사항이라 할 수 있으며, 교통계획과 교통정책분석에서 더 나은 도구로 사용될 것으로 판단된다.

그러나 그 중요성에 비하여 성취된 연구 결과는 상대적으로 미비하며, 특히, 우리나라에서는 활동기반모형에 대한 관심은 커지고 있으나 아직 국외 수준에 비하여 매우 뒤떨어진 상태이다. 또한 가구 구성원간 상호작용에 관한 연구는 아직 이루어지지 않고 있으며 많은 관심과 노력이 필요하다고 할 수 있다.

2. 연구의 목적

개인의 활동과 통행패턴을 이해하고 가구 구성원간 인과관계를 파악하기 위해서 모집단(Population)으로부터 수집되는 개인자료는 가구라는 부분모집단(Sub-Population)으로 구성된다. 이처럼 사회의 현상을 알아내기 위하여 수행되는 자료수집과정은 실제적으로 조사비용과 조사인원의 문제로 인하여 표본을 추출하여 수행되고 있으며, 이러한 방법을 통하여 얻은 각각의 표본은 특정 지역 혹은 집단에 속하여 계층적 구조(Hierarchical Structure)를 가지기 된다. 즉, 하나의 가구에 속한 가구 구성원들은 다른 가구의 가구 구성원들과 서로 다른 활동참여와 통행패턴을 나타낸다고 할 수 있다.

그러나 이러한 자료의 계층적 구조를 무시하고 일반적인 부분모집단의 회귀모형 혹은 각 개인들의 회귀모형을 구축하게 되면, 편이된 추정치를 낳게 되고 이로인해 잘못된 결과 및 분석이 도출될 수 있다. 다수준 모형(Multi-Level Models)은 이러한 계층적 성향을 가진 자료를 분석하기 위하여 개발된 모형으로 계층을 구성하는 각 계층(수준)과 각 계층을 구성하는 관측치들의 강하고 복잡한 상관성을 분석할 수 있는 모형이다.

본 연구에서는 개인과 가구의 사회·경제적 요인과 활동참여, 통행행태 사이의 연관성을 다수준 다변량 구조방정식(Multilevel and Multivariate Structural Equation Model)을 이용하여 외생변수(Exogenous Variables)와 내생변수(Endogenous Variables)를 확률변수로 설정하고, 각 변수에 대한 오차를 고려하고자 한다. 또한, 복잡한 연립방정식으로 설정한 모형의 모든 모수를 동시에 추정할 수 있도록 하여 많은

내외생변수들간의 인과관계를 보다 정확하게 규명하고자 한다.

Ⅱ. 기존 문헌 고찰

1. 구조방정식의 연구 동향

구조방정식(SEM:Structural Equation Model)은 1970년대에 나타난 비교적 새로운 방법으로 심리학, 사회학, 생물학, 교육학, 정책학, 마케팅 분야에서 주로 사용되어왔으며, 통행행태연구에의 적용은 1980년부터 시작되었다. 이 방법론은 변수들간의 상당히 많은 상호연관성을 모형화할 수 있다는 이점에도 불구하고 통행수요모형에서 매우 적게 적용되고 있지만, 프로그램의 용이성과 빠른 보급으로 연구의 적용범위를 넓히고 있다.

Kitamura et al.(1992)은 활동지속시간 동안의 수요와 통행의 결합모형을 구조방정식으로 처음 규명해내었다. 캘리포니아 조사자료를 사용하여 ML(Maximum Likelihood, 최우추정법)기법으로 추정한 결과 통근시간은 비업무 활동시간에 부정적인 영향을 미치고, 통근거리가 긴 개인은 짧은 개인보다 더 적은 활동지속시간을 갖는 것으로 분석되었다. Golob and McNally (1997)는 남성과 여성 가구주가 수행하는 활동사이의 관계, 활동참여와 파생수요, 통행유형사이의 관계, 통행과 활동참여사이의 시간사용 및 피드백효과를 WLS (Weighted Least Square)기법을 사용하여 구조방정식을 구축하였으며, 1994년 미국 Oregon Portland 지역의 자료를 사용하였다.

Lu and Pas(1999)는 사회·경제적 특성, 활동/통행행태의 관계와 가구내·외 활동/통행행태 사이의 관계를 구조방정식을 이용하여 설명하였고, 미국 Oregon Portland 지역의 통행일지자료를 사용하여 ML기법으로 추정하였다. 그 결과, 개인의 사회·경제적 특성, 활동/통행행태 사이에는 복잡한 상호관계가 있으며, 사회·경제적 특성만으로 통행행태를 설명하는 것보다 활동참여 변수를 포함시켰을 때 통행행태를 보다 더 잘 설명한다는 결론을 도출해내었다.

Fujii et al.(2000)은 새로운 고속도로 개통시의 잠재수요에 대하여 연구하였으며, 일본 오사카와 고베 지역의 자료를 사용하여 통근시간과 스케줄링 변수가 업무후 활동 및 통행에 미치는 영향을 구조방정식으로 규명하였다.

2. 다수준 모형의 연구 동향

다수준 모형(Multi-Level Model)이 활동기반모형에 적용된 것은 최근의 일이다. Goulias and Kim (2001)은 활동/통행패턴을 다항로짓모형(Multinominal Logit Model)과 다수준 다항로짓모형(Multilevel Multinominal Logit Model)을 사용하여 모형화하였으며, 다수준 다항로짓모형에서는 변동항을 가구간 변동과 개인간 변동으로 나누어 설명하였다. Goulias (2002)는 가구, 개인, 관측 시점의 계층적 자료에 대해 개인의 생계활동, 유지활동, 여가활동, 통행시간의 시간 할당을 다수준 분석을 사용하여 설명하였다. 4개 종속변수의 변동항을 가구간, 개인간, 시간으로 나누어 설명하였으며, 이 세 수준에서 변동항의 값은 모두 다르다는 결과를 도출하였다. Bhat and Zhao(2002)는 통행수요 모형에서 공간분석의 중요성에 대한 인식을 하고 다수준 모형을 이용하여 활동 방문발생에 대한 공간분석을 수행하였다. 다수준 모형은 ML기법을 통해 추정되었으며 미국 Boston 지역의 쇼핑활동 방문발생자료를 통하여 경험적 결과를 도출하였다.

3. 우리나라의 연구동향

국내에서 구조방정식을 이용한 활동기반모형 연구는 안용성·정진혁(2001), 이동규(2001), 최연숙·정진혁(2002)에 의해 수행되었으며, 다수준모형을 이용한 활동/통행행태 분석은 최연숙·정진혁·김성호(2002)의 연구에서 찾아볼 수 있다. 이 중, 본 연구에서 사용한 Puget Sound Transport Panel(PSTP)자료를 이용한 연구는 최연숙·정진혁(2002), 최연숙·정진혁·김성호(2002)의 연구이다. 최연숙·정진혁(2002)은 다수준모형을 사용하여 개인의 생계활동지속시간과 통행사슬의 패턴을 분석하고 또 그의 변동을 개인수준의 변동과 가구수준의 변동으로 나누어 분석하였다. 분석결과 생계활동 지속시간의 가구간 유사성은 0.13, 통행사슬의 가구간 유사성은 0.26으로 나타나 가구 구성원간 유사성이 큰 것으로 나타났다. 최연숙·정진혁·김성호(2002)는 Dynamic 구조방정식을 이용하여 개인의 활동/통행패턴이 과거로부터 받는 영향에 대하여 설명하였다.

이처럼 국내·외의 활동기반모형 관련 연구에서는 구조방정식과 다수준 모형을 각각 도입한 연구가 최

근 이루어지고 있으나, 구조방정식과 다수준 모형을 동시에 모형화하여 활동기반모형에 적용한 연구는 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다.

Ⅲ. 자료 설명

본 연구에서는 개인의 활동참여와 통행행태를 분석하기 위하여 미국의 도시가구 패널 조사인 Puget Sound Transportation Panel(PSTP) 자료를 이용하였다.

PSTP의 매년 조사에서는 가구특성, 개인의 사회·경제적 특성, 2일간의 통행행태가 조사되고 있으며, 1989년부터 현재까지 9개 연도에 걸쳐 수행되고 있다. 통행행태조사에서는 개인이 2일간에 걸쳐 발생시킨 모든 통행을 기록하게 하였으며, 각각의 통행정보에는 통행목적, 수단, 출발/도착 시간과 지점, 통행시간, 통행거리 등의 자료가 포함된다. PSTP에서 조사되는 가구는 정기적인 대중교통사용자로 구성된 가구, 승용차 합승이용으로 업무통행을 하는 가구, 대중교통 이용자나 승용차 합승이용자가 없는 가구 등의 3가지 가구로 구분되며, 각 개인의 통행 목적은 9개 유형 - 통행을 발생하지 않았을 경우, 업무, 쇼핑, 통학(초·중·고교), 통학(대학), 방문, 자유시간, 개인업무, 약속, 귀가 -로 나뉘며, 최근 조사에서는 Telecommunication과 ITS 정보활용 등의 새로운 조사내용도 포함되고 있다.

본 연구에서는 모형 추정을 위하여 9개의 통행목적을 3가지, 즉, 생계활동, 유지활동, 여가활동으로 나누어 분석을 용이하게 하였다. 생계활동(Subsistence Activity)에는 업무, 통학 등의 통행목적 활동이 포함되고, 유지활동(Maintenance Activity)에는 쇼핑, 약속, 개인업무 등이 포함되며, 여가활동(Out-of-Home Leisure Activity)에는 방문, 자유시간 등의 활동이 포함된다.

Ⅳ. 모형설정 및 분석

본 장에서는 구조방정식을 이용하여 계층적 구조의 자료를 분석할 수 있는 다수준 다변량 구조방정식 모형(Multilevel and Multivariate Structural Equation Model)에 대하여 설명하고 모형을 구축함으로써 시간제약하에서 개인과 가구의 각 활동참여와 통행행태의 관계를 설명하고자 한다. 또한, 개인과 가구의 사회·경제변수들이 가구와 개인의 활동참여와 통행행태에 미치는 영향을 동시에 살펴보고, 개인의 활동참여와 통행행태의 변동을 가구간 변동과 개인간 변동으로 나누어 분석하고자 한다.

1. 다수준 다변량 구조방정식

계층적 자료는 구조방정식을 이용하여 각 수준(계층)에서 동시에 변수간의 복잡한 상호관계를 설명할 수 있는데, 이러한 모형을 다수준 다변량 구조방정식이라고 한다.

다수준 다변량 구조방정식 모형은 최연숙·정진혁(2002)과 최연숙·정진혁·김성호(2003)의 연구에서 설명되어진 구조방정식과 다수준 모형을 종합한 유형을 갖는다. 다수준 다변량 구조방정식 모형은 크게 2가지 유형으로 나뉘어 진다(Marcoulides and Schumacker, 2001).

1) 잠재변수의 측정모형
(A Measurement Submodel for the Latent Variable)
2) 구조모형(A Structural Submodel)

이 중, 본 분석에서 구축하고자 하는 다수준 다변량 구조방정식은 관측변수의 구조모형이며, 구조모형을 식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\eta_i = \alpha_i + B\eta_i + \Gamma x_i + \zeta_i \quad (1)$$

여기서,

η_i : 개인 i에 대한 p개의 내생변수 행렬($p\times 1$)
α_i : 절편 행렬($p\times 1$)
B : 내생변수간의 영향도 행렬($p\times p$)
Γ : 외생변수가 내생변수에 미치는 영향도 행렬 ($p\times q$)
x_i : 개인 i에 대한 q개 의 외생변수 행렬($q\times 1$)
ζ_i : 오차행렬(ζ의 공분산 행렬은 ϕ로 표시)($p\times 1$)

이 때, 모든 변수들이 관측된 변수일 경우, 관측변수의 구조모형은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = \alpha_i + By_i + \Gamma x_i + \zeta_i \quad (2)$$

또한, 전체의 자료수 N이 c개의 계층으로 나뉘어 진다고 하였을 때, 각 개인이 아닌 계층의 표본추출이 임의로 이루어진다고 가정하였기 때문에 개인의 관측치 y_{ci}는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{ci} = \alpha_{ci} + y_{Bc} + y_{Wci} \quad (3)$$

여기서,
α_{ci} : y_{ci}의 기대값(Grand Mean)
y_{Bc} : 계층간 영향(가구간 모형)
y_{Wci} : 계층내 개인간 영향(개인간 모형)

Muthen and Muthen(1998)에 의하면, 2수준 모형(Two-Level Model)은 계층 c에서 개인 i에 대한 관측된 가구변수 Z_c(c=1,2, …, C)와 개인변수 등의 관측 변수 행렬로 나타낼 수 있으며, 식(4)와 같다.

$$\alpha_{ci} = \begin{pmatrix} Z_c \\ y_{ci} \\ x_{ci} \end{pmatrix} = \alpha^*_c + \alpha^*_{ci} = \begin{pmatrix} \alpha^*_{Zc} \\ \alpha^*_{yc} \\ \alpha^*_{xc} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha^*_{yci} \\ \alpha^*_{xci} \end{pmatrix} \quad (4)$$

여기서,
α^*_c, α^*_{ci} : 각각 독립
Z_c : 가구변수
y_c : 개인변수
x_c : 개인수준에서 예측된 계층 변동

이 때, 계층간 모형에는 절편이 포함되며, 개인간 모형에서는 계층변수인 가구변수의 값이 0이다. 따라서, 가구간 모형(y_{B_c})과 개인간 모형($y_{w_{ci}}$)은 식(5), 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{B_c} = \alpha_{B_c} + B_B y_c + \Gamma_B x_c + \zeta_{B_c} \quad (5)$$

$$y_{w_{ci}} = B_w y_{ci} + \Gamma_w x_{ci} + \zeta_{w_{ci}} \quad (6)$$

구조모형에서 2수준 자료의 평균과 공분산은 다음과 같이 표현된다.

$$\mu = \alpha_{B_c} + \Lambda_B (I - B_B)^{-1} \alpha_B$$
$$\sum(B) = \Lambda_B (I - B_B)^{-1} \Psi_B (I - B_B)'^{-1} \Lambda'_B + \Phi_B$$
$$\sum(W) = \Lambda_w (I - B_w)^{-1} \Psi_w (I - B_w)'^{-1} \Lambda'_w + \Phi_w$$

개인의 변동은 개인간 변동과 가구간 변동으로 나뉘어지며, 하나의 계층(가구)에서 계층(가구)을 구성하는 개인들의 유사성은 다음과 같다.

$$\rho = \frac{\sigma^2_B}{\sigma^2_B + \sigma^2_W}$$

여기서,
σ^2_B : 가구간 변동
σ^2_W : 개인간 변동

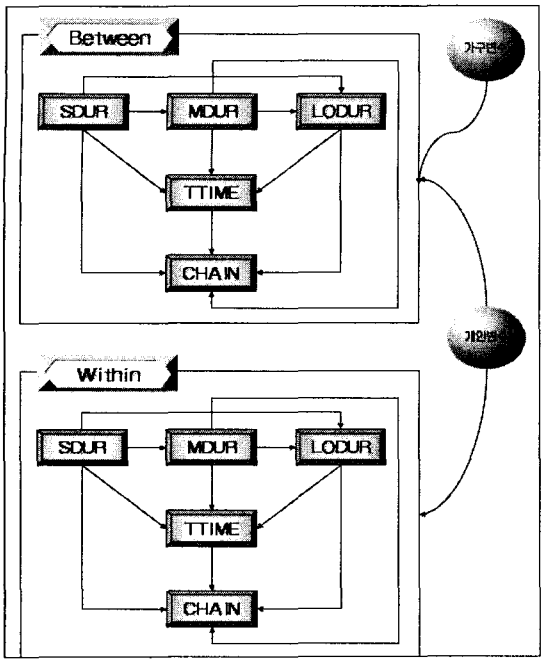
이 때, 가구간 유사성을 나타내는 ρ의 값은 0에서 1의 범위를 가지며, 가구내 개인의 종속변수가 독립일 때 0의 값을 갖는다. 또한, 범위가 0.05~0.20의 값을 가져도 다수준 다변량 모형을 이용한 분석이 타당하다고 판단한다(Tom and Roel, 1999).

2. 모형 구조

본 분석에서는 가구와 개인의 계층적 자료를 이용하여 활동참여와 통행행태를 다수준 다변량 구조방정식 모형으로 모형화하였다. 따라서, 모형은 가구간 모형(Between Model)과 가구를 구성하는 가구내 개인간 모형(Within Model)으로 나뉘어 진다. 본 분석에서는 가구와 개인의 사회·경제 변수들이 활동참여와 통행행태에 미치는 영향을 설명하기 위하여 변수를 가구변수와 개인변수로 나누었으며, 가구변수는 가구간 모형에 영향을 미치며, 개인변수는 가구와 개인에 영향을 미치는 모형으로 설정하였다. 본 연구에서 사용한 변수는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 다수준 다변량 구조방정식 모형의 설명변수

	변수명	설명
활동참여 및 통행행태 변수	SDUR	생계활동 지속시간
	MDUR	유지활동 지속시간
	LODUR	여가활동 지속시간
	TTIME	총 통행시간
	CHAIN	통행사슬 수
가구변수	HHSIZE	가구원수
	TOT1_5	가구내 1~5세 아동수
	NUMVEH	가구내 차량보유대수
개인변수	SEX	성별
	AGE	연령
	LICENSE	운전면허 보유여부
	EMPLOY	고용여부



〈그림 1〉 다수준 다변량 구조방정식 모형 구조

활동은 시간제약에서 생계, 유지, 여가활동의 위계를 가지고 발생하고, 각각의 활동참여는 통행을 유발시켜 통행시간이 발생되며, 통행시간이 모여 통행사슬이 구축된다고 가정하였다. 본 연구에서 설정한 모형은 〈그림 1〉과 같다.

3. 분석 결과

본 분석에서는 다수준 다변량 구조방정식을 통하여 개인의 활동참여와 통행행태의 변동을 가구간 변동과 가구내 개인간 변동으로 나누어 분석하였고, 가구와 가구내 개인의 활동참여와 통행행태의 인과관계와 개인과 가구의 사회·경제적 변수들이 활동참여와 통행행태에 미치는 영향을 살펴보았다.

본 분석에서 개인의 활동참여와 통행행태의 변동을 가구간 변동과 개인간 변동으로 나누어 분석한 결과는 〈표 2〉와 같다. 같은 가구내에서 가구 구성원들의 여가활동 지속시간의 유사성을 나타내는 지표인 ρ값은 0.33으로 매우 높게 나타나 가구내 구성원들간의 여가활동 지속시간의 유사성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 통행시간의 유사성 또한 0.26으로 매우 높은 것으로 분석되어 다수준 다변량 구조방정식을 사용한 모형 정립이 타당한 것으로 나타났다.

그러나, 생계활동 지속시간의 가구내 구성원간 유사성은 0.13으로 나타나 다른 활동참여와 통행행태 변수들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 같은 가구내 가구 구성원간 생계활동 지속시간의 유사성이 낮게 나타난 이유는 분석에 사용된 자료의 특성때문인 것으로 분석되었다. 분석 자료에서 조사에 참여한 평균 가구원수는 가구당 1.7인으로 나타났으며, 생계활동에 참여하는 가구원수는 가구당 1.5인으로 나타나 생계활동의 개인적 성향이 강한 변수라고 할 수 있다. 이는 여가활동은 주로 가구 구성원들과 함께 발생되지만, 생계활동은 개별적으로 나타나 개인적 성향이 강하기 때문이라고 분석된다.

또한, 2일 동안 발생한 각 활동 지속시간의 가구평균(절편)을 살펴보면, 생계활동 지속시간은 522분

〈표 2〉 가구간, 개인간 모형의 변동

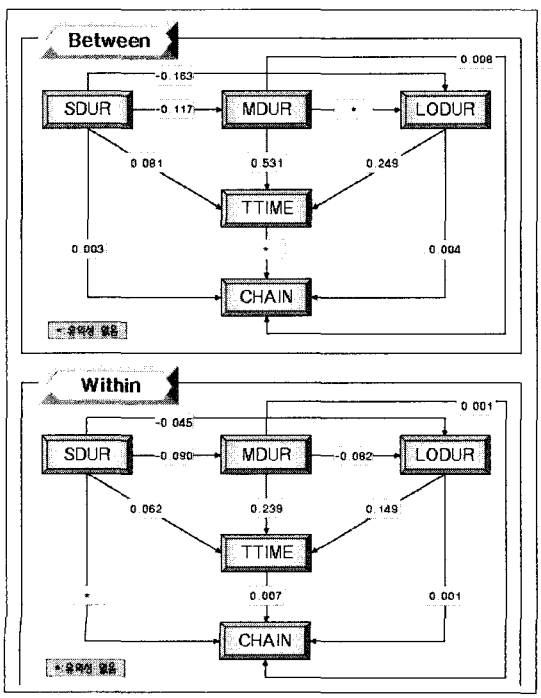
	절편	변동					
		총 변동		가구간 변동		개인간 변동	
			(%)		(%)		(%)
생계활동 지속시간	522.2 (***)	130818.7	100.0	16897.1 (***)	12.9	113921.6 (***)	87.1
유지활동 지속시간	136.2 (***)	13778.5	100.0	1959.7 (***)	14.2	11818.8 (***)	85.8
여가활동 지속시간	92.3 (*)	16505.1	100.0	5481.2 (***)	33.2	11023.9 (***)	66.8
통행시간	-1.6 (-)	7843.1	100.0	2048.6 (***)	26.1	5794.5 (***)	73.9
통행사슬 수	-1.1 (*)	1.6	100.0	0.3 (***)	18.8	1.3 (***)	81.2
χ^2=1,089(Baseline Model=2,103)							

*** : p〈0.01, ** : p〈0.05, * : p〈0.1, - : 유의성 없음.

(8.7시간), 유지활동 지속시간은 136분(2.3시간), 여가활동 지속시간은 92분(1.5시간)으로 나타나 가구의 생계활동 지속시간이 가장 길게 나타났다.

본 분석에서 모형화한 가구간, 개인간 활동참여와 통행행태의 영향도는 〈그림 2〉와 〈표 3〉에 나타났으며 이를 통해, 24시간의 시간제약에서의 시간 사용을 볼 수 있다.

개인간 모형(Within Model)을 살펴보면, 개인의 활동참여는 생계활동, 유지활동, 여가활동의 위계를 가지고 발생하며, 활동참여는 통행을 발생하여 통행시간을 유발하고, 통행이 모여 통행사슬의 수가 발생하는 것으로 분석되었으며, 이는 모두 유의수준 10%에서 유의한 것으로 나타났다. 따라서, 개인의 생계활동 지속시간이 1시간(60분) 감소할 경우, 유지활동 지속시간은 5분 증가하고, 여가활동 지속시간은 3분 증가하는 것으로 나타났으며, 유지활동 지속시간이 1시간(60분) 감소하였을 경우, 여가활동은 5분 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 생계활동, 유지활동, 여가활동의 지속시간이 1시간(60분) 증가할 경우, 각각 4분, 14분, 9분의 통행시간이 증가하는 것으로 나타났다.



〈그림 2〉 가구간, 개인간 활동참여와 통행행태 영향관계 (다수준 다변량 구조방정식 분석)

〈표 3〉 활동/통행행태 변수간 영향도
(가구간, 개인간 다수준 다변량 구조방정식 모형)

가구간 모형		원인변수			
		생계활동 지속시간	유지활동 지속시간	여가활동 지속시간	통행시간
결과변수	생계활동 지속시간				
	유지활동 지속시간	-0.117 (***)			
	여가활동 지속시간	-0.163 (***)	0.151 (-)		
	통행시간	0.081 (***)	0.531 (***)	0.249 (***)	
	통행사슬 수	0.003 (***)	0.008 (**)	0.004 (***)	0.000 (-)
개인간 모형		원인변수			
		생계활동 지속시간	유지활동 지속시간	여가활동 지속시간	통행시간
결과변수	생계활동 지속시간				
	유지활동 지속시간	-0.090 (***)			
	여가활동 지속시간	-0.045 (***)	-0.082 (*)		
	통행시간	0.063 (***)	0.239 (***)	0.149 (***)	
	통행사슬 수	0.000 (-)	0.001 (***)	0.001 (***)	0.007 (***)

*** : p〈0.01, ** : p〈0.05, * : p〈0.1, -: 유의성 없음.

가구간 모형(Between Model)을 살펴보면, 생계활동 지속시간이 유지활동과 여가활동 지속시간에 부정적인 영향을 미치며 이는 유의수준 1%에서 유의한 것으로 나타났다. 각 활동 지속시간이 증가할수록 통행시간은 증가하며 통행사슬의 수 또한 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 가구 모형에서 유지활동 지속시간이 여가활동 지속시간에 미치는 영향과 통행시간이 통행사슬의 수에 미치는 영향, 개인모형에서 생계활동 지속시간이 통행사슬 수에 미치는 영향은 유의성이 없는 것으로 나타났다.

가구와 개인의 사회·경제적 특성 변수가 가구와 개인의 활동참여와 통행행태에 직·간접적으로 미치는 영향은 〈표 4〉에 나타나 있다.

개인간 모형을 살펴보면, 남성은 여성에 비해 2일 동안 3시간의 생계활동을 더 발생시키며, 0.14개의 통행사슬의 수를 더 적게 발생시킨다. 또한, 연령이

〈표 4〉 개인변수와 가구변수가 활동/통행행태에 미치는 영향(가구간, 개인간 다수준 다변량 구조방정식 모형)

개인간 모형		원인변수						
		개인변수						
		성별	연령	고용 여부	운전면허 보유여부			
결과변수	생계활동 지속시간	182.975 (***)	-6.031 (***)	557349 (***)				
	유지활동 지속시간	-13.006 (***)		30.620 (***)	32.878 (*)			
	여가활동 지속시간		-1.307 (**)					
	통행시간	20.915 (***)		17.645 (*)				
	통행사슬 수	-0.143 (**)	-0.011 (*)		0.767 (***)			
가구간 모형		원인변수						
		개인변수				가구변수		
		성별	연령	고용 여부	운전면허 보유여부	가구원수	1~5세 아동수	가구내 차량수
결과변수	생계활동 지속시간	223.455 (***)	-8.336 (***)	491.592 (***)			-87.045 (***)	
	유지활동 지속시간					5.704 (***)		2.863 (*)
	여가활동 지속시간	29.626 (**)	-1.199 (***)		131.684 (*)	-4.104 (*)	-20.369 (***)	
	통행시간	31.140 (***)		30.663 (**)				3.941 (**)
	통행사슬 수	-0.417 (***)	0.019 (***)			0.238 (***)		

*** : p〈0.01, ** : p〈0.05, * : p〈0.1, - : 유의성 없음.

높을수록 생계활동 지속시간은 감소하고, 고용된 사람은 비고용인에 비해 9시간의 생계활동을 발생시키고, 18분의 통행시간을 더 발생시킨다. 또한, 운전면허를 보유한 사람은 보유하지 않은 사람에 비해 33분의 유지활동을 발생시키며 0.8개의 통행사슬을 더 발생시키며, 이는 모두 유의수준 10%에서 유의한 것으로 나타났다.

가구간 모형을 살펴보면, 가구원수가 많을수록 유지활동의 지속시간은 증가하며 여가활동 지속시간은 감소한다. 가구내 1~5세 아동수가 많을수록 생계활동 지속시간은 감소하며, 여가활동 지속시간도 감소하고, 가구내 차량수가 많을수록 유지활동 지속시간과 통행시간은 증가하는 것으로 나타났다.

가구의 구성원의 평균연령이 높을수록 가구 전체의 생계활동 지속시간과 여가활동 지속시간은 감소하며, 통행사슬의 수가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 가구내 운전면허 보유자수가 많을수록 여가활동 지속시간이 증가하고, 고용된 사람이 많을수록 생계활동과 통행시간이 증가하는 것으로 나타났으며 이는 모두 유의수준 10%에서 유의한 것으로 나타났다.

Ⅵ. 결론

개인의 활동참여와 통행행태는 일반적으로 다음의 세 가지 요인에 의하여 영향을 받는다고 할 수 있다. 1) 개인은 하루 24시간이라는 시간제약에 의해 시간을 할당하여 활동참여와 통행행동을 발생시킨다. 2) 개인의 활동참여와 통행행태는 개인이 속한 가구에 의하여 영향을 받으며, 가구 구성원간 상호작용을 한다. 3) 개인의 활동참여와 통행행태는 과거의 영향을

받는다.

위의 세 가지 요인 중, 24시간이라는 시간제약과 가구 구성원에 의해 영향을 받는 개인의 활동참여와 통행행태를 설명하기 위하여 본 연구에서는 미국 Puget Sound 지역에서 1989년부터 수행된 928가구 1,621명의 교통통행조사자료를 사용하였다. 분석을 위하여 2일간 조사된 자료를 통합하여, 활동 목적을 생계활동, 유지활동, 여가활동으로 나누어 분석에 적용하였다.

본 연구에서는 계층적 성향을 가진 자료에 대해 편이된 추정치 및 잘못된 결과를 도출하지 않도록 다수준 다변량 구조방정식을 사용하였다. 또한, 개인의 활동참여와 통행행태의 변동은 가구의 변동과 개인의 변동으로 나누어 살펴보고, 활동참여와 통행행태를 가구간 모형과 개인간 모형으로 동시에 구축하였다. 또한, 가구와 개인의 사회·경제특성이 활동참여와 통행행태에 미치는 영향을 가구간 모형과 개인간 모형에 각각 적용하였다.

분석 결과, 같은 가구내에서 가구 구성원들의 여가활동 지속시간의 유사성을 나타내는 지표인 ρ값은 0.33로 매우 높게 나타나 가구내 구성원들간의 여가활동 지속시간의 유사성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 통행시간의 유사성 또한 0.26으로 매우 높은 것으로 분석되어 다수준 다변량 구조방정식을 사용한 모형 정립이 타당한 것으로 나타났다. 그러나, 생계활동 지속시간의 가구내 구성원간 유사성은 0.13으로 나타나 다른 활동참여와 통행행태 변수들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 가구내 구성원들의 유사성이 낮은 이유는 분석 자료에서 조사에 참여한 평균 가구원수는 가구당 1.7인으로 나타났으며, 생계활동에 참여하는 가구원수는 가구당 1.5인으로 나타나 생계활동의 개인적 성향이 강한 변수라고 할 수 있으며, 여가활동은 주로 가구 구성원들과 함께 발생되지만, 생계활동은 개별적으로 나타나 개인적 성향이 강하기 때문이라고 분석된다.

또한, 개인간 모형에서 시간제약에 의한 개인의 활동참여는 생계활동, 유지활동, 여가활동의 위계를 가지고 발생하며, 남성은 2일 동안 여성보다 3시간의 생계활동을 더 발생시키며, 0.14개의 통행사슬을 더 적게 발생시킨다. 연령이 높을수록 생계활동 지속시간은 감소하고, 고용된 사람은 비고용인에 비해 9시간의 생계활동을 발생시키고, 18분의 통행시간을 더 발생시킨다.

가구간 모형에서는 생계활동 지속시간이 유지활동이나 여가활동보다 우선적으로 이루어지는 것으로 나타났으며, 가구원수가 많을수록 유지활동 지속시간은 증가하며, 여가활동 지속시간은 감소한다. 가구 구성원의 평균연령이 높을수록 가구 전체의 생계활동 지속시간과 여가활동 지속시간이 감소하며, 통행사슬의 수가 증가하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 가구 구성원간 상호작용의 관점에서 개인의 활동과 통행패턴을 고려할 수 있는 다수준 다변량 구조방정식 모형을 제시하였다. 본 연구를 통하여 교통정책에 따른 수요변화를 보다 정확하고 세밀하게 설명할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 활동기반모형 연구가 활성화된 미국과 일본에서는 교통정책, 도로신설 등의 사업효과를 활동기반모형으로 예측하고 있으며, 미래 지향적인 접근방법이라 할 수 있다.

그러나 과거시점에서 개인의 활동참여와 통행행태에 영향을 미치는 영향도를 분석할 수 있는 패널분석과 다수준 다변량 구조방정식 모형을 동시에 고려하여 개인의 활동참여와 통행패턴의 시간적 변이를 설명하지 못하였다. 또한, 국내의 분석자료 부재로 인하여 미국의 Puget Sound 지역의 자료를 이용하였기 때문에, 국내에 직접적인 적용이 어렵다고 할 수 있다. 따라서, 국내의 통행행태 조사자료를 장기적으로 구축하여야 할 필요성이 있으며 본 연구에서 제시한 분석 방법을 적용하여 우리나라의 활동참여와 통행행태 모형을 구축하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 안용성·정진혁(2001), 개인성향, 활동참여, 통행패턴을 고려한 통합모형 구축에 관한 연구, 대한교통학회 학술발표회 발표논문집 1, pp.23~28.
2. 이동규(2001), 우리나라 직장인들의 통근시 수단선택과 업무 후 비업무 방문행태에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 도시공학과 석사학위 논문.
3. 최연숙·정진혁(2002), Puget Sound Transportation Panel을 이용한 활동참여와 통행행동의 Dynamic SEM, 대한교통학회지, 제20권 제6호, 대한교통학회, pp.129~140.
4. 최연숙·정진혁·김성호(2002), 다수준 모형을

이용한 활동참여와 통행행태 분석, 대한교통학회지, 제20권 제8호, 대한교통학회, pp.79~85.

5. Bhat, C. R. and Zhao, H.(2002), The spatial analysis of activity stop generation, Transportation Research Part B, Vol. 36. pp.557~575.
6. Fujii, S., Kitamura, R., and Kishizawa, K.(2000), An analysis of individuals' joint activity engagement using a model system of activity-travel behavior and time use, Transportation Research Record 1676, pp. 11~19.
7. Golob, T. G. and McNally, M. G.(1997), A model of activity participation and travel interactions between household heads, Transportation Research Part B, Vol. 31, pp. 177~194.
8. Goulias, K. G.(2002), Multilevel analysis of daily time use and time allocation to activity types accounting for complex covariances structures using correlated random effects, Transportation 29, pp.31~48.
9. Goulias, K. G. and Kim, T. G.(2001), Multilevel analysis of activity and travel patterns, Transportation Research Record 1752, p. 23-31.
10. Tom, A. B. and Roel, J. B.(1999), Multilevel Analysis, Sage Publications, London.
11. Kitamura, R., Robinson, J. P., Golob, T. F., Bradley, M. A., Leonard, J., and van der Hoorn, T.(1992), A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California, Proceedings of the 20th PTRC Summer Annual Meeting: Transportation Planning Methods, pp.127~138.
12. Kostyniuk, L. P. and Kitamura, R.(1982), Life cycle and household time-space paths: Transportation Research Record 879, pp. 28~37.
13. Lu, X. and Pas, E. I.(1999), Socio-demographics, activity participation and travel behavior, Transportation Research Part A, Vol.33, pp.1~18.
14. Marcoulides, G. A. and Schumacker, R. E.(2001), New developments and techniques in Structural Equation Modeling, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey, London, pp.89~127.
15. Muthen, B. O. and Muthen, L.(1998), Mplus user guide, Los Angeles, CA.
16. Pas, E. I.(1984), The effects of selected socio-demographic characteristics on daily travel-behavior, Environment and Planning Part A, Vol.16, pp.571~581.
17. Pas, E. I.(1996), Recent advances in activity-based modeling, TMIP, Activity-Based Travel Forecasting Conference, pp.79~102.
18. Szalai, S.(1972), The use of time: Daily activities of urban and suburban populations in twelve countries, Mouton, The Hague.
19. Zahabi, Y. and McLynn, J. M.(1983), Travel choices under changing constraints as predicted by the UMOT model, The Tenth Transportation Planning Research Colloquium, pp.14~16.

♧ 주 작 성 자 : 최연숙
♧ 논문투고일 : 2003. 5. 29
논문심사일 : 2003. 7. 11 (1차)
2003. 8. 14 (2차)
심사판정일 : 2003. 8. 14
♧ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

the proposed models, only data on a limited area were used. In order to represent whole area of the country with the developed models, the models should be re-analyzed with vast data.

Multilevel and Multivariate Structural Equation Models for Activity Participation and Travel Behavior

CHOI, Yun Sook · CHUNG, Jin-Hyuk

Multilevel and Multivariate Structural Equation Mpdel is applied to handle the hierarchical nature of the data and explain complex relationship among socioeconomic factors of individuals and household, activity participation, and travel behavior using Puset Sound Transportation Panel data. From analysis, variations of individual activity participation and travel behavior can be divided into two categories: Within-household variation and Between-households variation. Empirical results show that the interdependency index(ρ) of variables for household members within a household is between 0.13 and 0.33 indicating high interdependency. These results suggest that Multilevel and Multivariate SEM approach is an appropriate modeling methodology and gives additional information for activity participation and travel behavior. Also most of personal and household characteristics influence on activity participation and travel behavior within a household as well as between households.