

■ 論 文 ■

# 다수준 모형을 이용한 활동참여와 통행행태 분석

Multi-Level Models for Activity Participation and Travel Behaviors

**최연숙**

(중앙대학교 도시공학과 석사과정)

**정진혁**

(중앙대학교 도시공학과 부교수)

**김성호**

(한양대학교 교통시스템공학과 부교수)

## 목 차

I. 서론

- 1. 연구배경 및 목적
- 2. 다수준 모형(Multi-Level Model)의 필요성

II. 자료설명

III. 분석모형

- 1. 다수준모형
- 2. 모형 분석

IV. 결론

참고문헌

Key Words : 다수준 모형, 활동참여, 통행행태, PSTP, 활동기반모형

## 요 약

각 개인이 발생하는 통행 행태와 이들 가구 구성원간의 연관관계 및 영향에 대한 이해는 활동기반모형의 궁극적 목표라 할 수 있는 미래의 활동패턴 예측의 가장 기본이 되는 연구사항이라 할 수 있다. 일반적인 회귀 모형의 경우 개인의 활동/통행 패턴을 알아내기 위하여 모집단으로부터 수집되는 개인자료는 가구라는 부분모집단으로 세분화되어 계층적 구조(Hierarchical structure)의 성향을 고려하지 못하고 있어, 그 결과는 편이된 추정치를 낳는다. 따라서, 본 연구에서는 계층적 구조를 갖고 있는 자료를 이용하여 다수준 모형(Multi-Level Model)을 사용하여 개인의 활동/통행 패턴 영향을 규명해내고 활동/통행 패턴의 변화를 가구수준의 변동과 개인수준의 변동으로 나누어 분석하였다. 사용된 자료는 미국 Puget Sound 지역의 Transportation Panel 자료(PSTP)를 이용하였다. 분석 결과 개인의 통행사슬 발생모형에서 가구수준의 변동이 전체 변동의 1/4를 차지하고 생계활동 지속시간 모형에서는 전체 변동의 1/8을 차지하는 등의 매우 큰 값을 나타내어 개인의 활동/통행 패턴 분석시 다수준 모형을 통한 분석의 필요성이 대두되었다.

## 1. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

활동기반모형(Activity-Based Model)은 통행수요 예측모형의 하나로 1980년대 이후 전통적인 4단계 수요 추정방법(Trip-Based Model)을 대신하여 사용되고 있다. 활동기반모형은 '통행은 그 자체가 목적이 아니고 인간의 욕구와 활동을 충족시키기 위해 발생하는 파생수요(Derived Demand)이다.'라는 통행 발생의 기본 개념을 도입하여 통행발생 의사결정 주체인 사람의 행태 특성을 올바르게 이해할 수 있고 신뢰도 높은 교통수요 예측을 가능하게 하였다. 이러한 활동기반모형의 우수성에도 불구하고 자료의 제약성, 계산 및 모형의 복잡성, 그리고 분석이론과 방법론 등의 제한성 등으로 인하여 실제로의 적용은 매우 제한적이었다. 그러나 최근 컴퓨터의 급속한 발전과 분석 및 방법론 등의 이론적 성장은 활동기반모형의 실제 분석에의 적용이 가능할 수 있는 수준으로 발전하였으며, 활발한 연구가 진행되고 있다(Jones et al. 1983; Pas, 1996).

활동과 통행을 발생하는 기본단위는 개인으로 개인의 활동과 통행패턴에 미치는 요소는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 개인은 24시간이라는 시간적 제약 하에 활동/통행 패턴을 발생시키며, 둘째, 개인의 활동/통행패턴은 가구 구성원간 영향을 받아 발생되며, 셋째, 개인의 활동/통행 패턴은 과거로부터의 영향을 받는다. 이러한 관점에서 1990년대 후반부터 구미를 중심으로 가구구성원간의 상호 연관관계를 명확하게 이해하기 위한 노력이 있어 왔으며, 그 연구는 다음과 같다. Golob과 McNally(1997)는 1994년 포틀랜드 활동통행 조사자료를 이용하여 가구주(Household Heads)간의 활동참여와 통행의 상호작용을 구조방정식을 이용하여 모형화하여 가구 구성원간의 상호작용은 개인 통행패턴을 이해하는데 매우 중요한 요소라는 점을 밝혀냈다. Meka와 Pendyala(2002)의 연구에서는 1999년에 Florida에서 수행된 가구 통행조사자료를 이용하여 가구내 성인들 사이의 활동과 통행패턴 상호작용을 구조방정식을 이용하였다. 우리나라에서는 배영석(1996), 윤대식(1997, 1999), 최연숙·정진혁(2001), 이동규(2002) 등의 연구에서와 같이 활동기반모형에 대한 관심은 커지고

있으나 아직도 국외 연구수준에 비하여 매우 뒤떨어진 상태이다. 또한 가구 구성원간 상호작용에 관한 연구는 이루어지지 않고 있으며 많은 관심과 노력이 필요하다고 할 수 있다.

### 2. 다수준모형(Multi-Level Model)의 필요성

개인의 활동/통행패턴을 이해하기 위해서 모집단으로부터 수집되는 개인자료는 가구라는 부분 모집단을 이룬다. 이처럼 어떠한 사회 현상을 알아내기 위해 표본추출과정은 실제적으로 모집단의 조사비용과 조사인원의 문제로 인하여 이루어지고 있으며, 이러한 표본추출과정을 통하여 얻은 각각의 표본(Micro-Level Units)은 어떠한 지형 또는 집단(Macro-Level Units)에 속하여 계층적 구조(Hierarchical Structure)를 가지게 된다. 예를 들면, 전체 모집단에서 학생은 학급, 회사원은 회사, 가구구성원은 가구라는 부분모집단(Group)에 속하게 되며, 하나의 가구에 속한 가구 구성원들은 구성원간의 상호작용을 통하여 다른 가구의 가구 구성원들과 다른 활동/통행 특성을 보인다. 이러한 자료의 계층적 구조를 무시하고 일반적인 부분모집단의 회귀모형(Aggregation Model) 혹은 각 개인들의 회귀모형(Disaggregation Model)을 구축한다면 계층성 및 상호작용을 고려하지 못하게 되며 편이된 추정치를 낳고, 이로부터 잘못된 결과 및 분석을 도출할 수 있다. 따라서, 부분모집단간(Between-Group)의 차이를 고려할 수 있고, 부분모집단 내(Within-Group)의 상호영향을 동시에 구축할 수 있는 다수준 모형을 사용하여 계층화된 자료를 분석해야 한다.

다수준 모형(Multi-Level Model)은 1980년대 중반에 다양한 가구 구성에 의해 발생하는 자료구조의 변동에 대한 분석을 가능하게 하기 위하여 개발된 통계분석기법이다. 다수준 모형분석을 통하여 같은 가구에서 다른 가구구성원사이에서의 활동/통행 시간 변화에 따른 영향과 개인의 활동 유형 사이에서의 시간 변화에 따른 영향을 파악할 수 있으며, 시간 변화에 따른 활동/통행 분석을 위한 패널 분석에서도 적용할 수 있다(Goldstein, 1999; Goulias, 2002).

다수준 모형(Multi-Level Model)은 사회·과학 분야에서 Random Coefficient Model, Mixed Model, Hierarchical Linear Model 등의 다른 이름으로 사용되고 있다. 이 모형들은 다음과 같은 공통점을

가지고 있다. 첫째, 분석에 필요한 자료의 구조가 계층적 혹은 다수준 모형에서 사용되며, 둘째, 같은 회귀모형이 3부분의 그룹으로 구성된다는 것이다. 첫 번째 그룹은 분석단위사이에서 설명변수의 민감도는 설명변수가 종속변수에 미치는 영향의 평균값(mean)을 나타내며, 두 번째 그룹은 이 평균값 주위의 확률 변동(random deviation), 세 번째 그룹은 회귀모형에서의 확률 오차항(random error term)이다(Goulias, 2002).

따라서, 본 연구에서는 다수준 모형을 사용하여 개인의 활동/통행 패턴을 분석하고, 활동/통행 패턴의 변화를 가구수준 변화와 개인수준 변화로 나누어 살펴보고자 한다.

## II. 자료설명

본 연구에서는 미국의 도시가구 Panel 조사인 PSTP (Puget Sound Transportation Panel)자료(Murakami and Watterson, 1990; Goulias and Jun 1996; Chung and Goulias, 1995)를 이용하였다. PSTP는 1989년 미국 Seattle 지역의 Puget Sound 지역에서 처음 수행되었다. PSTP의 매년 조사에서는 가구 자료, 개인자료, 개인의 2일간의 통행행태 자료가 조사되었으며, 1989년부터 현재까지 9개 연도에 걸쳐 수행되고 있다(다른 시간시점에서 수행되는 한번의 반복된 조사를 'Wave'라 일컫는다). 통행행태 조사에서는 개인이 2일간에 걸쳐 발생시킨 모든 통행을 기록하게 하였으며, 각각의 통행정보에는 9개 유형의 통행목적, 수단, 출발/도착 시간, 통행시간, 출발/도착 지점, 통행거리 등의 자료가 포함된다. 최근 조사에서는 ITS 정보활용, Telecommunication 등과 같은 새로운 조사내용도 포함되었다.

본 연구에서는 모형추정을 위하여 가구자료와 개인자료, 9개 유형의 통행목적에서 업무, 대학, 통학 등의 활동을 포함하는 생계활동(Subsistence Activity)과 1일의 통행 사슬(Trip Chaining)의 수를 사용하였다. 또한, 현재 PSTP 중 일반인이 직접 사용할 수 있는 wave는 제한되어 있으며, 이들 중 다른 관련 논문에서 가장 많이 사용하고 있는 wave 3을 선택하였다. 본 연구에서는 첫 날의 활동참여와 통행행동 자료를 SPSS program을 사용하여 정리하였고, Wave 3의 활동참여와 통행행동 항목에 결측자료가 없는 928가구,

〈표 1〉 사회·경제 변수의 빈도 분포

사회, 경제적 변수	빈도(%)
성별	
남	748(46.1)
여	873(53.9)
나이	
20세 미만	15(0.9)
20~29세	63(3.9)
30~39세	336(20.7)
40~49세	426(26.3)
50~59세	330(20.4)
60~69세	270(16.7)
70~79세	158(9.7)
80세 이상	23(1.4)
고용여부	
고용	1,128(69.4)
미고용	493(30.4)
총	1,621(100.0)
가구내 설문 응답자수	
1명	252(27.2)
2명	633(68.2)
3명	29(3.1)
4명 이상	14(1.5)
가구내 차량수	
0대	21(2.3)
1대	200(21.6)
2대	387(41.7)
3대	197(21.2)
4대 이상	109(11.8)
결측	14(1.4)
총	928 가구

1,621명의 관측치를 사용하여 분석하였다. 〈표 1〉에는 본 연구에서 사용된 가구와 개인의 성별 및 나이 등의 사회·경제지표들의 빈도분포를 나타내었다. 모형 구축을 위한 자료에서 남성이 46%를 차지하였으며, 30~60세가 전체의 67%를 차지하였다. 한 가구에서 조사에 참여한 가구원수는 2명이 약 70%를 차지하였다.

Wave 3의 생계활동 참여수는 912명으로 평균 471.1분의 지속시간을 가지고 활동에 참여를 한다. 통행사슬 수의 분포는 〈표 2〉와 같이 하루 동안에 약 88%의 사람들이 2개 이하의 통행사슬을 발생시키는 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 통행사슬 참여 분포

	0개	1개	2개	3개	4개	5개 +	총
명	140	820	464	142	43	12	1,621
비율	8.6	50.6	28.6	8.8	2.7	0.8	100.0

### III. 분석모형

#### 1. 다수준 모형(Multi-Level Models)

다수준 모형(Multi-Level Models)의 개념은 가구와 각 가구의 구성원(개인)의 2수준 모형(Two Level Model)을 통해 간단히 설명할 수 있다. 자료 전체 가구 수를  $N$ 이라 하면, 각 가구 속한 개인의 수( $n_j$ )는 다양하다. 각 수준에서는 하나의 설명변수가 있다고 가정하자.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + \beta_2 z_j + R_{ij} \quad (1)$$

여기서,

$j$  :  $j$ 번째 가구( $j=1, \dots, N$ )

$i$  : 가구내  $i$ 번째 개인( $i=1, \dots, n_j$ )

$Y_{ij}$  :  $j$ 번째 가구  $i$ 번째 개인에 의해 설명되는 종속변수

$x_{ij}$  : 개인수준의 설명변수

(ex. 성별, 연령, 고용여부 등)

$z_j$  : 가구수준의 설명변수

(ex. 가구원수, 가구소득, 주거위치 등)

$R_{ij}$  : 개인수준에서의 확률 오차항

이 때, 식(1)과 각 수준에서 하나 이상의 설명변수를 포함하는 식(1)의 확장형은 다수준 구조의 자료를 갖는 연구에서 많이 사용되고 있다.  $j$ 번째 가구의 가구원수( $n_j$ )가 모두 1이라면 식(1)은 일반 다중회귀 모형과 같다. 그러나 가구원수가 1보다 더 크면 회귀계수(Regression Coefficients :  $\beta_0, \beta_1$ )는 가구( $j$ )마다 다른 값을 가지게 되며, 식(1)은 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + \beta_2 z_j + R_{ij} \quad (2)$$

식(2)에서 개인수준 변수  $x$ 에 대한 회귀식을 살펴보면, 가구 절편( $\beta_{0j}$ )의 값은 평균 절편( $\beta_0$ )과 가구 변동( $U_{0j}$ )으로 나눌 수 있으며, 식(2)은 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + \beta_2 z_j + U_{0j} + R_{ij} \quad (3)$$

여기서,  $U_{0j}$ 는 가구에서 변수  $x$ 에 미치는 영향으로 설명되지 않은 부분이며 가구 잔차(Group Residual)라고 하며, 식(3)의 총 5개의 항에서 왼편의 3개의 항은 고정항(Fixed Part)이며, 뒤의 두 개의 항은 확률항(Random Part)이다. 위와 같이,  $U_{0j}$ 를 확률변수로 설정하는 모형을 확률절편모형(Random Intercept Model)이라고 하며, 변수  $x$ 가  $Y_{ij}$ 에 미치는 영향도인 계수  $\beta_1, \beta_2$ 를 확률변수로 설정하는 모형을 확률경사 모형(Random Slope Model)이라 한다. 특히, 개인수준과 가구수준의 설명변수를 모형에 포함시키지 않은 모형을 기본모형(Null Model)이라고 하며, 이 모형은 가구간 변동( $U_{0j}$  : Between-Group Variation)과 가구내 변동( $R_{ij}$  : Within-Group Variation)만을 분석하기 위한 모형으로 다음과 같다.

$$Y_{ij} = \beta_0 + U_{0j} + R_{ij} \quad (4)$$

여기서,  $R_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ ,  $U_{0j} \sim N(0, \tau_0^2)$  이다. 식(4)에서  $Y$ 의 총 변동은 가구간 변동과 가구내 변동으로 나뉜다.

$$\text{var}(Y_{ij}) = \text{var}(U_{0j}) + \text{var}(R_{ij}) = \tau_0^2 + \sigma^2$$

같은 가구에 거주하는 개인 사이의 공분산은 각 개인들에 의해 공유되는  $U_{0j}$ 의 분산( $\tau_0^2$ )과 같으며, 상관관계는 다음과 같다(Tom A. B. and Roel J. Bosker, 2000).

$$\rho(Y_{ij}, Y_{ij}) = \frac{\tau_0^2}{\tau_0^2 + \sigma^2}$$

본 연구에서는 확률절편모형(Random Intercept Model)을 사용하여 개인과 가구의 특성이 개인의 활동/통행 특성에 영향을 미치는 영향( $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ )을 파악하고, 모형구축에서 설명되어지지 않은 부분을 가구변동( $U_{0j}$ )과 개인변동( $R_{ij}$ )으로 나누어 설명하고자 한다.

#### 2. 모형 분석

본 연구에서는 통행변수인 개인의 통행사슬모형과 활동참여변수인 개인의 생계활동 지속시간 모형을 구

측하기 위하여 가구원수, 1~5 가구원수의 가구 특성 자료와 성별, 연령, 고용여부, 운전면허 보유여부 등의 개인정보를 설명변수로 사용하였다. 또한, 고정항과 변동항의 추정치는 최우추정법을 사용하여 추정하였다. 전체 모형은 Lisrel 8.51 program을 사용하여 구축하였다.

1) 통행사슬 모형(Chain Model)

통행사슬 모형추정 결과 가구수준의 변동은 전체 변동의 약 1/4로 나타났으며 모형의 Log Likelihood 값은 4,226으로 매우 높게 나타나 전체 모형의 적합도는 매우 좋은 것으로 평가할 수 있다(〈표 4〉). 또한, 같은 가구내에서 가구 구성원들의 통행사슬발생의 유사성을 나타내는 지표인  $\hat{\rho}$ 값은 0.2에서 0.5의 값을 가질 때 매우 높은 것으로 판단한다(Tom A. B. and Roel J. Bosker, 2000). 본 모형의  $\hat{\rho}$ 값은 0.25 (=0.20/0.81)로 매우 높게 나타나 같은 가구내의 구성원들 간의 통행발생 유사성이 매우 높은 것으로 나타났다.

가구와 개인의 사회·경제자료가 통행사슬에 미치는 영향은 〈표 5〉와 같다. 각 개인은 평균 0.58개의 통행사슬을 발생시키며, 운전면허를 보유한 사람은 0.53개의 통행사슬을 추가 발생시키는 것으로 나타났다. 또한, 여성은 남성보다 0.05개의 통행사슬을 더 적게 발생시키며, 가구원수가 많을수록 0.14개의 통행사슬을 추가로 발생시킨다.

〈표 4〉 통행사슬모형의 변동항

변동항	통행사슬	비율(%)
가구간 변동	0.20	24.7%
개인간 변동	0.61	75.3%
총 변동	0.81	100.0%
-2*Log L	4,226	

〈표 5〉 통행사슬 모형

고정항		통행사슬	
		추정치	S.E
절편		0.58	0.109(***)
가구 변수	가구원수	0.14	0.024(***)
	1~5세 아동수	-0.08	0.058(-)
개인 변수	성별	-0.05	0.040(-)
	고용	0.11	0.050(***)
	운전면허 보유	0.53	0.098(***)

\*\*\* : p<0.01, \*\* : p<0.05, \* : p<0.1, - : 유의성 없음.

2) 생계활동과 통행사슬의 통합모형

또한, 본 연구에서는 생계활동과 통행사슬의 통합모형을 구축하였다. 생계활동과 통행사슬의 통합모형 추정 결과 통행사슬의 변동은 통행사슬 단독 모형 구축에서와 같이 가구수준의 변동은 개인수준의 변동의 약 1/4로 나타났으며, 생계활동 지속시간의 변동은 가구수준의 변동이 개인수준의 변동의 약 1/8로 나타나 가구간 변동이 상당히 큰 것으로 나타났다(〈표 6〉). 또한,  $\hat{\rho}$  값은 통행사슬발생은 0.26으로 나타나 같은 가구내 가구 구성원들간의 유사성이 상당히 높은 것으로 나타났으며, 생계활동은 0.13으로 나타나 가구 구성원들간의 유사성이 다소 낮은 것으로 나타났다.

통합모형 구축시 가구 및 개인 변수들의 영향도를 살펴보면, 통행사슬 발생의 경우 통행사슬발생 모형을 단독으로 구축하였을 때와 비슷한 추정치들을 얻을 수 있었다. 또한, 생계활동 지속시간을 살펴보면 각 개인은 평균 232분의 생계활동을 하는 것으로 나타났다고, 고용된 사람의 평균 생계활동 지속시간은 약 511분(8.5시간)으로 추정되었다. 또한, 남성이 여성

〈표 6〉 통합모형의 변동항

변동항	통행사슬		생계활동 지속시간	
	비율(%)	비율(%)	비율(%)	비율(%)
가구간 변동	0.21	25.9	5239.79	12.7
개인간 변동	0.61	74.1	36112.08	87.3
총 변동	0.82	100.0	41351.87	100.0
-2*Log L	25,966			

〈표 7〉 생계활동과 통행사슬의 통합모형

고정항		추정치 S.E.(t-value)	
		통행사슬	생계활동 지속시간
절편		0.65 0.184(***)	232.44 41,522(***)
가구 변수	가구원수	0.14 0.026(***)	-5.12 5,530(-)
	1~5세 아동수	-0.09 0.059(-)	-30.54 12,493(**)
개인 변수	성별	-0.06 0.041(-)	73.45 9,918(***)
	연령	-0.00 0.002(-)	-3.38 0,470(***)
	고용	0.10 0.056(*)	279.09 12,843(***)
	운전면허 보유	0.52 0.099(***)	-4.91 22,204(-)

\*\*\* : p<0.01, \*\* : p<0.05, \* : p<0.1, - : 유의성 없음.

보다 73분 더 생계활동을 발생시키며, 가구내 1~5세 아동수가 많을수록 약 30분이 감소하는 것으로 나타났다(<표 7>). <표 7>의 내용을 살펴보면 t-값이 낮은 변수임에도 불구하고 모형구축에 사용된 것을 볼 수 있는데, 이는 두 가지 이상의 모형을 동시에 구축할 경우 두 모형에 항상 같은 변수를 설정해 주어야 하는 program 상의 문제로 볼 수 있다.

## N. 결론

가구와 개인이라는 계층적 구조를 갖는 자료(Hierarchical Data)는 기존의 분석방법을 사용할 경우, 편이된 추정치를 예측하고, 잘못된 결과도출 및 분석의 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 계층적 구조의 자료의 특성을 분석할 수 있는 다수준 모형(Multi-Level Model)을 사용하여 개인과 가구의 사회·경제적 변수가 개인의 활동참여와 통행행태에 미치는 영향을 살펴보고, 가구에 의한 변동과 개인에 의한 변동으로 나누어 살펴보았다. 모형을 구축하기 위해 미국 PSTP 자료를 사용하여 928가구, 1,621명의 개인 통행일지자료를 사용하였다. 연구 결과 통행사슬 발생모형에서 가구에 의한 변동이 전체 변동의 1/4로 나타났으며, 생계활동 지속시간의 모형에서는 전체 변동의 1/8로 나타나 개인의 활동참여와 통행발생에 있어 개인에 의한 변동뿐만 아니라 가구에 의한 변동이 상당히 중요한 것으로 나타났다. 따라서 다수준 모형이 활동참여와 통행발생의 교통현상을 설명하는 강력한 분석 모형이라는 것이 입증되었다. 나가구와 개인으로 계층화된 자료(Hierarchical Data)를 분석할 경우 다수준 모형(Multi-Level Model)의 필요성이 입증되었다.

본 연구방법을 사용하여 우리나라의 활동참여와 통행행태를 분석하는 연구가 진행되어야 할 것이고, 활동/통행 행태를 가구변동과 개인변동뿐만 아니라 시간에 의한 변동으로 나누어 분석하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 배영석(1996), "개별행태모형을 이용한 통근인구의 교통행동분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제14권 제4호, 대한교통학회, pp.31~47.
2. 윤대식(1997), "통근통행자의 통행패턴 선택행태의 분석", 대한교통학회지, 제15권 제4호, 대한교통학회, pp.35~51.
3. 윤대식(1999), "통근통행 이전의 비통근통행 발생여부와 교통수단 선택행태 분석", 대한교통학회지, 제17권 제5호, 대한교통학회, pp.57~65.
4. 이동규(2002), "우리나라 직장인들의 통근수단선택과 업무 후 비업무 방문행태에 관한 연구", 중앙대학교 제96회 석사학위논문.
5. 최연숙·정진혁(2001), "시간대를 고려한 교통발생 행태 분석. 환경과학연구", 제12권, 제1호, 중앙대학교 건설환경연구소, pp.135~147.
6. Chung, J. H., Goulias, K. G.(1995), Sample Selection Bias with Multiple Selection Rules: Application with Residential Relocation, Attrition, and Activity Participation in Puget Sound Transportation Panel, Transportation Research Record 1493, pp.128~135.
7. Goulias, K. G., Ma, J.(1996), Analysis of Longitudinal Data from the Puget Sound Transportation Panel Task. B: Integration of PSTP databases and PSTP Codebook. Final Report. #9619. The Pennsylvania.
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. Harvey Goldstein, Jon Rasbash, William Browne, Michel Poulain(1999), Multilevel models in the study of dynamic household structures.
10. Meka, S., Pendyala, R. M.(2002), A structural equations analysis of within-household activity and time allocation between two adults. 02-2566 TRB CD-ROM. Paper presented at the 81th Annual Transportation Research Board Meeting, January 13-17, Washington DC.
11. Murakami, E., Ulberg, C.(1990), Developing a Household Travel Panel Survey for the Puget Sound Region. Transportation Research

Record 1285, pp.40~46.

12. Pas, E. I.(1996), Recent Advances in Activity-Based Travel Demand Modeling, Travel Model Improvement Program, TMIP Activity-Based Travel Forecasting Conference, Summary, Recommendation and Compendium or Papers.

13. Thomas F. Golob, M. G. McNally(1997), A Model of Activity Participation and Travel Interactions Between Household Heads, Transportation Research Part B, Vol.31, No.3, pp.177~194.  
14. Tom A. B. Snijders, Roel J. Bosker(2000), Multilevel Analysis, SAGE Publications.

♣ 주 작 성 자 : 최연숙

♣ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사판정일 : 2003. 1. 3

♣ 반론접수기한 : 2003. 4. 30