

■ 論 文 ■

# 교통수요관리정책의 효과분석을 위한 다항로짓모형의 적용

- 서울시 사례 -

Parameter Estimation and Validation of a Multinomial Logit Model for the Prediction of Mode Shift as a Result of TDM Schemes in Seoul

황 기 연

김 익 기

이 우 철

(서울시정개발연구원 연구위원)(한양대학교 교통공학과 부교수)(서울시정개발연구원 초빙연구원)

## 목 차

- I. 서론
- II. 연구방법론
- III. 최적모형의 설정 및 계수추정
  - 1. 이용자료
  - 2. 대안모형의 설정
  - 3. 계수의 추정 및 최적모형선정
- IV. 선정된 모형의 검증
  - 1. 시간가치
  - 2. 탄력성 검증
  - 3. 남산혼잡통행료효과와 비교검증
- V. 결론
- 참고문헌

## 요 약

본 연구의 목적은 '96년말 서울시에서 실시한 가구통행조사를 이용하여 서울시 수단선택모형을 구축하고 그 예측결과를 남산 혼잡통행료 전후조사자료와 비교하여 보다 구체적으로 그 정확성을 검증한 뒤 향후 서울시 교통수요관리 방안의 시행에 따른 수단선택변화 예측의 기본 모형으로 활용하는데 있다. 5가지의 대안모형의 분석 결과 통행비용변수(승용차의 경우 주차요금포함)와 총통행시간변수(OVTT와 IVTT의 합), 승용차, 지하철, 택시 상수로 구성된 모형이 최적모형으로 분석되었다. 이모형에 의한 시간가치는 9,395원, 승용차의 비용탄력성은 -0.6767로서 기존 연구결과의 범위 내에 속한 것으로 나타났다. 최적모형을 이용하여 승용차통행비용이 증가한 경우를 모사분석결과 남산1,3호 터널 혼잡통행료 징수효과와 유사하게 승용차 분담율이 13% 가까이 감소한 것으로 나타나서 모형의 현실적합성도 비교적 높은 것으로 판명되었다. 향후 본 연구에서 선정된 최적수단선택모형을 통행배정모형과 결합하여 다양한 교통수요관리 방안에 따른 효과를 예측하는데 활용하면 서울과 같은 대도시의 단기적 교통관리의 수준을 한 단계 높이는 데 기여할 것으로 판단된다.

## I. 서론

대도시의 심각한 교통혼잡문제와 대기오염문제에 효과적으로 대처하기 위해 1980년대 이후 승용차의 이용을 효과적으로 억제하는 교통수요관리(Transportation Demand Management: TDM) 정책이 세계적으로 많이 적용되고 있다. 초기 교통정책의 초점이 시설물의 건설과 효율적 관리에 있었다면 교통수요관리는 교통활동의 실제적 구매자에 해당되는 통행인의 행태변화에 초점을 두고 있다. 특히 교통수요관리 정책에서 주로 사용되고 있는 정책변수의 변화, 즉 교통비용과 시간의 변화에 의한 통행자의 교통수단 선택행태 변화를 정확하게 예측하는 작업은 정책의 성패에 중요한 영향을 끼친다.

방법론적으로 교통수요관리에 따른 수단선택 행태의 변화를 예측하기 위해 집계모형을 사용할 경우 적절치 못한 것으로 나타나왔다. 집계모형(aggregate model)은 통행자집단 또는 통행존별 평균값에 의존하므로 통계학의 중심극한이론(central limit theorem)에 따라 개별자료의 분산정도를 정확히 반영하지 못하기 때문에 통행비용 및 시간과 같은 정책변수의 변화에 민감하게 반응하지 못하게 된다.(Rodier and Johnston, 1997, Ortuzar and Willumsen, 1990, Ben-Akiva and Lerman, 1987). 따라서 교통수단선택 행태의 변화를 정확히 추정하기 위해서 McFadden(1976)에 의해 정립된 비집계확률선택모형(disaggregate stochastic choice model)을 통용하여왔다. 이 모형은 개별의사결정주체는 선택 가능한 모든 대안 중에서 가장 바람직하고 매력적인 대안을 선택한다는 가정에 기초하고 있다(윤대식, 윤성순, 1995). 개별자료에 의한 로짓모형은 통행자의 특성을 존의 집계치에 의하여 정리하지 않고 개별통행자의 행태와 선호에 입각하여 선택대상의 효용성을 확률적인 관점에서 분석하기 때문에 통행자의 선택행위를 훨씬 더 미시적으로 파악할 수 있다. 비집계로짓모형은 단기적인 정책효과를 사전에 예측하는데 우수한 결과를 도출하고, 비용이 적게 들며, 다른 지역에 전용(轉用)할 수 있는 장점도 지니고 있다. 그러나 비집계모형의 튼튼한 이론적 기초에도 불구하고 이제까지 이 모형을 통한 예측이 현실적으로 얼마나 정확한가에 대한 검증자료가 부족하다.

특히 혼잡통행료나 주행세와 같은 대표적 교통수요관리 방안이 실시되었을 경우 특정 도시의 교통수단분담율 변화를 예측하는데는 아직까지 신뢰할 만한 연구결과가 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 1996년에 서울시에서 실시한 가구통행조사를 이용하여 서울시 정책분석을 위한 현실적인 수단선택모형을 구축하는데 있다. 또한 구축된 모형을 이용한 예측결과를 남산혼잡통행료 정책의 실시 전후조사자료를 이용하여 현실에서 관측된 현상과 모형의 예측치를 비교하여 모형의 정확성 및 신뢰성을 보다 구체적으로 검증하는 것도 중요한 연구 목적이다. 이와 같이 정확성이 검증된 모형을 이용하여 향후 서울시 교통수요관리 방안의 시행에 따른 수단선택 변화 예측의 기본 모형으로 활용하고자 하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 선택행태를 가장 잘 설명해줄 수 있는 비집계모형의 방법론을 활용하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 연구분석방법론으로서 비집계모형의 이론과 유형, 통계검증방법, 정확성 측정방법 등에 대해 설명하였고, 다음으로 본 연구의 분석 방법론을 제시하였다. 제3장에서는 최적모형을 설정하고 계수를 추정하였으며, 제4장에서는 선정된 모형의 정확도에 대한 검증분석을 하였으며, 마지막 장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

## II. 연구방법론

본 연구의 방법론은 <그림 1>에서 요약된 것과 같이 ①교통수요관리의 정책효과 분석을 위한 비집계로짓모형의 변수를 선정하는 과정, ②비집계로짓모형 분석을 위한 조사자료의 정리(data clearing)와 자료입력 과정, ③다양한 모형들의 정산작업을 통해 통계적으로 최적 모형의 선정과정, ④모형의 검증작업을 통한 모형의 적합성 및 현실 적용성의 시험과정으로 구성되어 있다. 각 단계별로 구체적 방법론은 아래와 같다.

본 연구의 목적이 교통수요관리 대안의 시행에 따른 통행행태의 변화를 추정할 수 있는 모형을 구축하는 것이기 때문에 이를 위해 본 연구에서는 기본적인

모형으로 비집계 로짓모형을 적용하였다. 집계적인 모형이 통행자집단 또는 집단위에 기초를 두고 있는 반면, 비집계모형은 개인의 선택행위에 근거하기 때문에 집합화에 의한 오차(aggregation error)를 줄일 수 있어 좀 더 현실적인 모형구조를 가질 수 있다. 특히 로짓모형과 같이 비선형함수의 경우 집합화 자료를 입력자료로 활용할 경우 Jensen's inequality에 의한 집합화 오차가 발생하게 된다(Ben-Akiva & Lerman, 1987). 일반적으로 비집계 확률적 선택모형은 효용함수의 극대화 형태로 표시되는데 이러한 개별 통행태도모형은 「주어진 여건에 대한 개인의 선택 확률은 그들의 사회경제적인 특성과 주어진 선택대안의 상대적인 매력의 차이로 나타나는 함수」라고 설명이 된다(Ben-Akiva & Lerman, 1987).

교통수요관리 정책을 모형에 반영시키는 방법으로 는 로짓모형의 효용함수(utility function)의 독립변수 값을 조정하는 것이 일반적이다. 효용함수는 일반적으로 선택자의 사회경제적인 특성과 선택대안의 특성(속성)으로 정의되며, 이러한 대안의 효용은 결정적 효용(관측 가능한 효용)과 확률적 효용(관측 불가능한 효용)으로 구성되어 있음을 가정하게 된다. 확률적 효용에 대한 가정을 위해 가장 많이 쓰이는 확률 분포는 와이불(Weibull)분포이다. 확률적 효용에 대한 가정을 위해 Weibull분포가 많이 쓰이는 이유는 Weibull분포가 이론적으로 가장 설득력이 있는 확률 분포인 정규분포와 비슷한 모양의 확률밀도함수(probability density function)를 가지면서, 동시에 선택모형을 유도하였을 때 선택모형의 계산이 편리하게 된다는 장점을 가지기 때문이다. 로짓모형(logit model)은 바로 확률적 효용이 독립적이며 동일한 (Identically Independently Distributed: IID) Weibull분포 (혹은 Gumbel Distribution)를 갖는다고 가정한 확률 선택모형이다(Ben-Akiva and Lerman 1987).

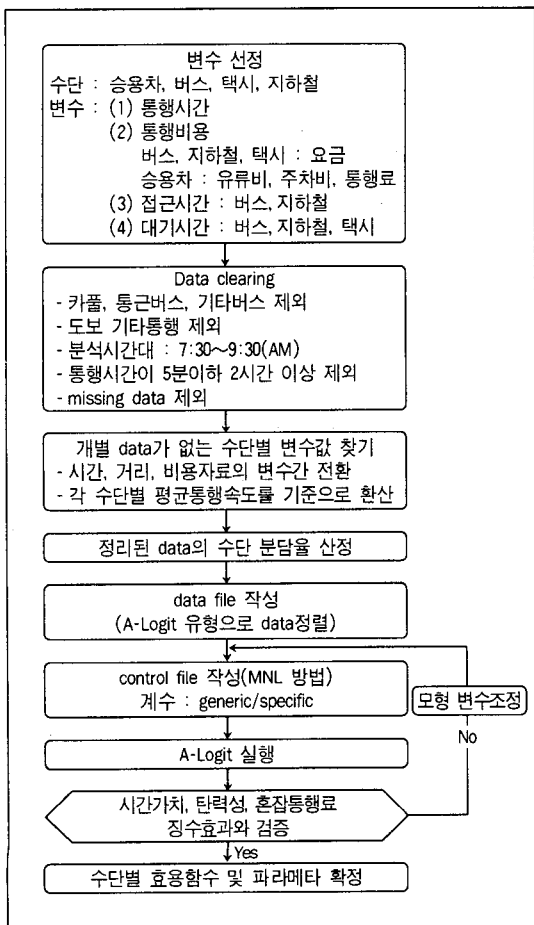
교통수단 분담율을 분석하기 위한 분석기법으로 전환곡선(Diversion curve)이 또한 가능하다. 하지만 이 분석기법은 분석방법이 지나치게 집합적이고 두 개의 교통수단 분담비율을 분석하는데 제약되어 있어 최근에는 잘 이용하지 않고 있다. 또한 확률적 선택 모형의 하나인 프로빗모형(Probit model)은 교통수단 간의 상호 유사성을 모형에서 반영함으로써 로짓모형이 갖고 있는 비관련대안의 독립성(I.I.A property)의 단점을 극복할 수 있어 이론적으로는 로짓모형보다 우수하나 선택모형의 함수식을 계산하기가 매우 어렵기 때문에 현실적으로 분석에 적용하는데에는 한계성을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 식(1)의 로짓모형을 교통수단선택 모형으로써 활용하는 경우를 전제로 설명하였다.

$$P_i = \frac{\text{Exp}[V_i]}{\sum_j \text{Exp}[V_j]} \quad (1)$$

여기서  $P_i$  : 교통수단  $i$ 를 선택할 확률

$V_i$  : 교통수단  $i$ 의 효용함수

로짓모형은 효용함수에 포함되는 독립변수가 단위



〈그림 1〉 수단분담율 결정단계

에 제약받지 않고 사용될 수 있으며, 또한 통행자의 속성, 교통수단이 제공하는 서비스의 속성 및 통행목적 등 통행 자체의 속성 등을 자유롭게 효용함수에 포함시킴으로써 통행자의 현실적 선택행태를 설명할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 따라서 교통수요관리 정책을 분석함에 있어서 정책결정에 따라 다른 값을 갖게 되는 다양한 정책변수가 효용함수 안에 구체적으로 포함될 수 있는 장점을 갖고 있다. 그 예로는 통행료, 주차요금, 대중교통 요금, 휘발유 값, 통행자에게 선택이 가능한 교통수단의 집합(Available mode choice set) 등을 아래의 식(2)와 같은 형태로 쉽게 반영시킬 수가 있다.

$$V_i = \beta_1 IVTT_i + \beta_2 OVTT_i + \beta_3 Cost_i + \beta_4 Park_{auto} + \dots \quad (2)$$

여기서  $IVTT_i$  : 교통수단  $i$ 의 차내 통행시간  
(in-vehicle travel time)

$OVTT_i$  : 교통수단  $i$ 의 차외 통행시간  
(out-of-vehicle travel time)

$Cost_i$  : 교통수단  $i$ 에 의한 금전적 통행비용

$Park_{auto}$  : 승용차의 경우 금전적 주차비용

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  : 효용함수 독립변수의 계수

위의 모형을 정산하기 위해서 실측 조사자료를 필요로 한다. IVTT 변수의 경우 개별 조사자료의 통행자가 선택 이용한 교통수단의 경우는 조사된 값을 사용하면 되므로 문제가 없으나 그 통행자가 선택하지 않은 대안교통수단의 차내시간에 대해서는 정확한 정보를 조사자료에서 얻기가 어렵다. 이럴 경우 다른 사람의 개별자료 가운데 해당되는 출발지와 목적지가 같으면서 해당되는 교통수단을 선택한 통행자의 개별 자료를 활용하여 선택되지 않은 대안 교통수단의 IVTT를 추정하여 사용할 수도 있을 것이다. 혹은 승용차나 대중교통의 노선배정 분석의 결과를 이용하여 최단경로 차내 통행시간을 입력할 수도 있을 것이다. 환승에 의해 O-D 간 통행에 여러 교통수단이 이용되었을 경우, 교통수단이 동일하면 각 수단통행(unlinked trip)의 차내 통행시간을 합하여 총 IVTT로 입력하면서 별도로 환승의 수를 변수로 설정하여 모형에 포함시키며, 환승전의 교통수단과 환승후의

교통수단이 다른 경우 주교통수단(Line-haul mode)의 차내시간을 입력하는 것이 바람직할 것이다. OVTT 변수는 대중교통의 경우 정류장까지의 도보시간, 정류장에서 대기시간, 환승을 위한 도보 및 대기시간, 정류장에서 목적지까지의 도보시간 등의 합으로 표현될 수 있다. 승용차의 경우 출발지점에서 주차장까지의 도보시간, 도착지점에서의 주차장 찾는데 소요되는 시간, 주차장에서 최종 도착지까지의 도보시간 등의 합으로 표현될 수 있다. 하지만 주차장까지의 거리가 가까운 경우 교통수단선택에 주는 영향이 미비하므로 무시될 수 있을 것이다.

Cost 변수는 대중교통의 경우 대중교통 요금이 해당될 것이며, 승용차의 경우는 휘발유 값, 주차비용 및 유지관리비용이 포함될 수 있다. 그러나 승용차의 경우 유지관리비용은 해당된 통행과 직접적 관련이 없어 교통수단 선택에 직접적인 영향을 주지 않으므로 제외시키거나 다른 변수로 설정할 수도 있을 것이다. 또한 승용차의 경우 선택하는 노선경로에 따라 통행료 정책에 의한 통행요금도 Cost 변수에서 적합하게 반영시켜야 할 것이다. Park 변수는 승용차에 국한된 변수로 금전적인 주차장 비용을 의미하며 교통수요관리 정책 중 주차장 요금정책의 정책변수로 활용되게 되는 중요한 변수이다. 주차요금은 통행목적에 따라 주차기간에 대한 정의가 이루어져야만 정확하게 산출될 수 있으므로 통행목적별 평균 주차기간을 조사자료에 따라 정확히 반영하는 것이 중요할 것이다.

이와 같은 변수를 모형 안에 포함시키기 위해서는 조사단계에서부터 철저히 고려하여 조사내용에 포함시키는 것이 바람직할 것이다. 또한 모형의 모수 값 추정과정에서는 정책변수에 대한 계수의 부호와 값이 통계적으로 의미가 있고 부호가 논리적이어야 할 것이다. 그러나 정책변수의 계수의 부호가 올바르게 나왔으나 그 계수값이 t-test에 의해 통계적 의미가 적게 분석되었을 경우라 할지라도 효용함수에 포함시키는 것이 바람직하다(Ortuzar & Willumsen, 1995). 이것은 통행자의 선택행태를 파악할 수 있는 유일한 근거가 되는 조사자료를 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation Method)에 의해 조사 통행자의 선택행태를 가장 잘 설명할 수 있도록 계수 값이 추정된 것이

기 때문에 더 좋은 효용함수의 형태를 찾아서 바꾸지 않는 한에는 정책변수가 포함된 모형으로 교통수단 선택행태를 예측하여 분석하는 것이 바람직하다. 한편, 최우추정법에 의한 정산결과 모형의 적합도를 나타내는  $\rho^2$ 는 일반적으로 0.2~0.4 사이의 값을 가지면 아주 좋은 적합도를 갖는 것으로 평가할 수 있다고 알려져 있다.(McFadden, 1976). 하지만  $\rho^2$  값을 일률적으로 평가하는 것은 문제가 있을 수 있다. 즉 조사 자료의 대안간의 분담율에 따라 조사자료에 대한 설명력과는 상관없이 그 값이 달라질 수 있기 때문이다 (Otuzar and Williamsen, 1995).

모형의 정산을 위해 ALOGIT 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램은 개별행태모형을 분석하기에 용이하며 많은 양의 자료를 처리할 수 있는 장점이 있다. 정산결과 모형의 적합도가 높고 개별변수 계수의 부호와 t 통계값이 유의하다 할지라도 모형의 적합성 및 현실 적용성에 대한 최종적 판정은 몇 가지 추가적인 시험을 거친 후에 이루어져야 할 것이다 (Ben-Akiva & Lerman, 1987). 우선 선형 효용함수의 경우 시간계수를 비용계수로 나눈 시간가치가 사회적으로 통용되는 수준이어야 한다. 또한 비용의 탄력성이 현실을 설명할 수 있는 범위 이내여야 한다. 마지막으로 가장 중요한 것은 정산된 모형을 통한 모사분석결과가 최근 서울시에서 시행된 혼잡통행료와 같은 교통수요관리 정책의 시행결과에 의한 실측치와 유사한 결과를 가져오는지도 검증되어야 한다는 것이다.

### III. 최적모형의 설정 및 계수추정

#### 1. 이용자료

분석을 위해 사용한 데이터는 1996년말 서울시에서 실시한 일기식 가구통행 실태조사중 수요일 자료를 사용하여 통행의 대표성을 추구하고 있다. 수단분담 모형구축 작업에 적합한 데이터를 만들기 위하여 아래와 같이 자료정리작업을 한 결과 유효 표본수는 2,158개로 나타났다. 개별자료는 통행목적, 출발시간, 도착시간, 통행수단, 차외시간, 응답자의 사회경제적

특성 등으로 구성된다.

#### 1) 기초자료의 정리

자료정리 작업내용은 다음과 같다. ①통행시간대 자료 분류에 있어서 본 분석에서 분석시간대를 오전 첨두(7:30~9:30)를 기준으로 하고 통행목적에 구분 없이 해당되는 모든 통행을 포함하였으며, 이외의 시간에 조사된 통행자료는 제외하였다. ②조사된 총 12개의 수단 중 본 분석에 사용한 수단은 승용차, 버스( 시내·외/좌석버스+마을버스), 지하철, 택시 등으로 단순화하여 분석하였다. 조사된 자료에서 제외된 수단은 도보, 카풀, 통근버스, 기타버스(학원, 백화점), 오토바이, 자전거, 기타 등이다. ③통행시간(도착시간-출발시간)이 2시간이상이거나 5분 미만인 자료는 비합리적인 예외적 경우이거나 전체자료에서 차지하는 비중이 매우 작다고 가정하여 분석에서 제외하였다. ④버스, 지하철 등의 접근시간(ATT)은 조사된 자료에 근거하였고, 대기시간(WTT)의 경우는 버스, 택시는 설문 조사된 자료에 근거하고, 지하철은 자료가 없는 관계로 배차간격의 반인 1.5분(headway/2)이 합리적이라고 보고 가정하였다. ⑤차내시간(IVTT)의 경우 승용차는(도착시간-출발시간)의 값으로 하였고, 버스, 지하철, 택시는 총통행시간에서 차외시간(OVTT)을 뺀 시간으로 가정하였다. ⑥차외시간(OVTT)은  $\{(2 * \text{접근시간}) + \text{대기시간}\}$  값으로 하였고, 승용차의 경우에는 차외시간이 없다고 가정하였다. 접근시간을 2배한 이유는 출발지 및 도착지에서 교통수단까지의 거리를 평균적으로 고려하기 위함이다. ⑦조사자료에서 목적이 같아타기이고 수단이 버스( 시내·외/좌석버스, 마을버스)나 지하철인 경우 다음과 같이 보정하였다. 前 통행의 수단이 지하철이고 지하철로 갈아타는 경우 前 통행의 목적을 갈아타기로 보고 통행시간을 後 통행의 통행시간에 합하고, 後 통행의 대기시간에 평균대기시간(1.5분)을 더하였다. 전후의 통행수단이 다른 경우 後통행수단을 해당 목적통행의 대표교통수단으로 하고 後 통행의 출발시간과 前 통행의 도착시간의 차이를 後 통행수단의 접근시간으로 하고 後 통행의 출발시간을 前 통행의 도착시간과 같게 조정하였다.

2) 각 수단별 통행시간 산정

개별형태모형으로 분석을 하기 위해서는 선택된 통행수단 뿐만 아니라 대안수단의 개별자료가 있어야 한다. 그러나 본 연구에서 사용된 자료는 대안수단에 대한 정보가 없기 때문에 아래의 과정을 통하여 분석변수들에 대한 자료를 구하였다.

조사자료에서 선택한 교통수단이 승용차인 경우 버스, 지하철, 택시의 차내시간(IVTT)을 추정하기 위해 식(4)를 적용하였고 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하여 추정하였다. 조사자료에서 선택한 교통수단이 버스인 경우 승용차, 지하철, 택시 등에 대해서 차내시간(IVTT)은 식(4)를 적용하고, 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하여 구하였다. 조사자료에서 선택한 교통수단이 지하철인 경우 지하철의 차내시간(IVTT) = (도착시간-출발시간)-차외시간(OVTT), 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하였다. 승용차, 버스, 택시 등의 추정을 위해 차내시간(IVTT)은 식(4)를 적용하고 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하여 구하였다. 조사자료에서 선택한 교통수단이 택시인 경우 택시의 차내시간(IVTT) = (도착시간-출발시간)-차외시간(OVTT), 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하였다. 승용차, 버스, 지하철 등의 추정을 위해 차내시간(IVTT)은 식(4)를 적용하고 차외시간(OVTT)은 식(5)를 적용하여 구하였다. 식(5)의 차외시간은 설문지에서 차외시간에 대한 항목을 수단별로 추출하여 평균치를 산정하여 적용하였다.

$$\text{총통행시간} = [\text{차내시간} + \text{차외시간}] (\text{분}) \quad (3)$$

$$\text{차내시간(IVTT)} = \frac{(\text{총거리} - \text{수단차외거리}) \times 60}{\text{수단속도}} (\text{분}) \quad (4)$$

$$\text{차외시간(OVTT)} = [(2 \times \text{수단접근시간}) + \text{수단대기시간}] (\text{분}) \quad (5)$$

$$\text{총거리} = [\text{차내거리} + \text{차외거리}] (\text{Km}) \quad (6)$$

$$\text{차내거리} = \frac{\text{IVTT} \times \text{수단속도}}{60} (\text{Km}) \quad (7)$$

$$\text{차외거리} = \frac{2 \times \text{수단접근시간} \times \text{보행속도}}{60} (\text{Km}) \quad (8)$$

위 식에서 사용된 각수단별 평균속도는 아래와 같다.

구분	승용차 <sup>1)</sup>	버스 <sup>2)</sup>	지하철 <sup>3)</sup>	택시 <sup>4)</sup>	보행 <sup>5)</sup>
속도	208	194	335	208	432

- 1) 「1996 정기속도조사자료」(서울특별시 교통관리실, 1996)의 오전 평균속도
- 2) 「1996 정기속도조사자료」(서울특별시 교통관리실, 1996)의 오전 평균속도
- 3) 「'97 지하철 수송계획」(서울특별시 지하철공사, 1997)의 1호선-8호선 까지의 평균값
- 4) 승용차의 속도와 같다고 가정.
- 5) 「알기쉬운 도시교통」 세진사, 1992.

3) 각 수단별 통행비용 산정

각수단별 통행비용을 산정하기 위해 다음과 같이 가정하였다. 우선 승용차의 경우 실제 통행수단을 결정하는데 있어서 직접적인 영향을 주는 비용은 통행별 직접지불비용(out-of-pocket cost)이기 때문에 이에 속하는 유류비와 주차비만을 비용으로 고려하였다. 승용차의 유류비용은 아래의 식에 의해 결정되며 단위 유류비용은 '98년 3월 가격을 적용하였다:

- 유류비 = 차내거리 × 단위거리당유류량 × 단위유류비
- 단위거리당 유류량 : (1/11.8 리터<sup>1)</sup>)
- 단위 유류비 : 1047원/리터

한편, 주차료의 경우 선택수단에 관계없이 모든 통행에 대하여 서울시민들의 일일평균주차비 부담액인 2000원으로 가정하였다. 나머지 교통수단 중 버스와 지하철의 요금은 '98년 요금수준인 500원, 450원으로 하였으며, 택시요금은 다음과 같이 가정하였다.

$$\text{택시요금} = \text{기본요금}(1300\text{원}) + \frac{(\text{차내거리} - 2) \times 100\text{원}}{0.247}$$

2. 대안모형의 설정

본 모형에서 교통수단 선택대안집합은 조사된 『승용차, 버스, 지하철, 택시, 오토바이, 자전거, 도보, 기타 등』 8개의 수단 중에서 분석의 현실성을 고려한 단순화를 위해 『승용차, 버스, 지하철, 택시』의 네 가지 선택대

1) 휘발유 1리터당 주행거리=11.8km/l(주행세 도입의 바람직한 방향, SDI, 1996, p.34.

안 집합으로 결정하였다. 설명변수는 크게 통행비용에 관한 변수, 통행시간에 관한 변수, 더미변수 그리고 개인속성변수로 구분되어 지며 사용되는 변수의 속성에 따라 세분된다. 위의 변수들을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 교통수단선택요인과 관계한 개별통행태도형의 설명변수

구 분	선택대안	설명변수	비 고
수단고유의 상수 (수단더미)	승용차, 지하철, 택시	더미변수	버스를 기준 카테고리변수
공통변수	승용차, 버스, 지하철, 택시	차내시간, 통행비용	연속변수
수단고유의 변수	승용차	주차료	연속변수
	버스, 지하철	접근시간, 대기시간	연속변수
	택시	대기시간	
수단고유의 사회·경제적 변수	승용차	개인소득	연속변수

수단고유상수(mode specific constant)는 모형의 효용함수에는 포함되어 있지 않았으나 통행자의 선택행태에 영향을 주고 있는 요소들의 영향을 기준 교통수단과 비교하여 상대적인 효용규모의 차이로써 나타내는 값이라고 해석할 수 있을 것이다. 선택행태 분석에서는 절대적 값으로써의 효용 값이 아니고 상대적 값으로써의 효용 값이 중요하므로 효용가치의 차이를 분석에서 사용하게 된다. 본 연구에서는 기준 교통수단으로써 버스를 정하고 나머지 수단에 대해서 수단고유상수를 포함시켜 효용의 차이를 분석하고자 하였다. 즉, 수단고유상수로써 승용차 더미변수, 지하철 더미변수, 택시 더미변수가 모형에 포함되었다.

본 연구에서는 통계적 검증을 통해서 네 가지 수단에 공통으로 동일한 계수 값을 갖는 공통변수(Generic variable)로 가정한 변수는 차내시간(IVTT), 통행비용(COST)이다. 수단고유변수(mode specific variable)로는 접근시간(ATT), 대기시간(WTT), 주차료(PARK)의 변수에 적용하였으며 접근시간과 대기시간은 대중교통의 효용함수에만 포함시키고, 주차료는 승용차의 효용함수에만 적용하였다. 또한 사회·경제적 변수들을 수단고유변수로 효용함수에 포함시켰다. 본 연구에서는 통행에 영향을 주는 여러 가지 요인 중에서 변수간의 상관관계가 높은 변수들은 제

외시켰다. 개인소득(INCOME)의 입력 자료값으로는 설문조사된 자료의 각 범주별 평균값을 사용하여 승용차의 수단고유변수로 적용하였다.

앞에서 제시한 여러 가지 설명변수를 조합하여 현실을 가장 잘 설명하는 모형을 찾아내기 위하여 여러 가지 모형에 대한 통계적 분석을 한 결과 상대적으로 우수한 5개 형태의 효용함수를 본 연구에서 선정하여 더욱 상세하게 분석하고자 한다. 각각 5개의 효용함수에 적용된 변수형태는 아래와 같다.

모형① :  $\text{편도비용}^2 * 2^3$ , 편도시간 \* 2

모형② : 모형①에서 비용, 시간을 2배 하지 않은 경우

모형③ : 모형①에서 시간을 IVTT, OVTT로 세분화하여 분류한 경우

모형④ : 모형①의 비용을 개인의 일소득으로 나눈 경우

모형⑤ : 모형④의 비용에서 주차비를 따로 분리한 경우

위의 5개의 모형 중에서 예로서 모형①의 효용함수식을 나타내어 보면 아래와 같다. 이와 같은 식을 기반으로 하여서 A-logit Package를 실행하여 각각의 계수 값과 T-value,  $\rho^2$  등 여러 가지 통계치를 추정하여 모형의 타당성 검토하였다.

$$V_i = \text{상수}_i + \beta_1 TTime_i + \beta_2 TCost_i$$

여기서  $V_i$  : i 수단<sup>4)</sup>의 효용함수

상수<sub>i</sub> : i 수단의 Constant(버스는 제외)

$TTime_i$  : i 수단의 총 통행시간(분)

$TCost_i$  : i 수단의 총 통행비용(원)

$\beta_1, \beta_2$  : 설명변수의 계수

### 3. 대안모형별 계수의 추정 및 최적모형의 선정

앞에서 제시한 5가지 모형들 모두가 대체로 설명력

2) 승용차(유류비+주차비), 대중교통(요금)  
3) 승용차의 비용중 주차비는 2배하지 않음  
4) 승용차, 버스, 지하철, 택시

이 높고, 개별 설명변수의 계수값도 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(〈표 2〉 참조). 각 모형 내에서 시간변수들에 대한 계수 값이 가장 크고 IVTT, Parking, Cost의 순으로 나타났다. 개별변수들의 통계적 유의성을 살펴보면 대체로 좋은 유의성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 단순히  $R^2$ 값으로만 본다면 모형 ③-⑤-④-①, ②의 순으로 모형③이 가장 설명력이 우수한 것으로 나타났다. 위의 5가지 외에도 비용이나 시간을 공통변수(Generic variable)로 하지 않고 수단고유변수(Mode Specific variable)로 해 보았지만 계수값의 부호가 안 맞거나 T-Value값의 신뢰성이 떨어져서 〈표 2〉에 나타내지 않았다.

〈표 2〉 각 모형대안의 계수값과 T-value 비교

모형	설명변수	Cost	Total Time		Parking	승용차 상수	지하철 상수	택시 상수	$R^2$	$\bar{R}^2$
			IVTT	OVTT						
①	계수값	-0.0002156	-0.03376		-0.8212	-0.8263	-1.939	0.2429	0.1071	
	T-value	-7.8	-21.9		-7.6	-14.3	-8.8			
②	계수값	-0.0004313	-0.06753		-0.9000	-0.8263	-1.939	0.2429	0.1071	
	T-value	-7.8	-21.9		-2.5	-14.3	-8.8			
③	계수값	-0.0001316	-0.06646	-0.02740		-0.8333	-2.082	-1.02	0.2664	0.1349
	T-value	-4.8	-21.8	-17.4		-8.1	-18.2	-10.2		
④	계수값	-0.0008260	-0.03557			-1.353	-0.8059	-3.465	0.2558	0.1224
	T-value	-8.8	-22.9			-20.1	-14.1	-27.8		
⑤	계수값	-0.0002082	-0.03564	-0.001476		-1.331	-0.7948	-3.505	0.2597	0.1270
	T-value	-2.8	-22.9	-8.1		-19.8	-14.0	-27.7		

A-logit에 Input Data에서의 수단분담율은 승용차:버스:지하철:택시는 25.6%:39.1%:32.7%:2.6%이며 Data를 이용해서 각 모형들의 계수 값을 구해서 수단분담율을 구한 결과는 〈표 3〉에 제시하였다. 각 모형들의 수단분담율이 대체적으로 조사입력자료의 분담율과 유사한데 특히 모형 ① ② ③은 거의 일치하고 있다. 수단분담율만 본다면 모형 ①, ②, ③이 가장 현실을 잘 설명하는 모형이라고 말할 수 있으나 여기서 시간가치(VOT: Value Of Time)를 따져 볼 필요가 있다. 현재의 서울시민들의 소득수준을 감안할 때 모형③의 시간가치는 지나치게 큰 것으로 판단된다.

〈표 3〉 모형 대안별 수단분담율 비교

모형	수단	승용차	버스	지하철	택시	VOT(원)	비고
조사입력자료		25.6	39.1	32.7	2.6		
①		26.7	41.7	29.9	1.6	9,395	
②		26.7	41.7	29.9	1.6	9,394	
③		27.9	41.1	28.8	2.2	30,301 (124,924)	( )는 OVTT의 VOT
④		30.7	38.1	28.0	3.2	2,584	
⑤		59.1	14.4	21.6	4.8	24,680	

전반적으로 탄력성을 살펴보면 Cost에 대해서는 탄력성이 1.0미만으로 비탄력적인 반면에 Time에 대한 탄력성은 1.0이상으로 탄력적임을 알 수 있다. 수단별로 보면 택시가 타 수단에 비해 Cost의 탄력도가 상대적으로 높게 나타나있다. 앞에서 선택한 모형①과 모형②을 비교해 본다면 모형①이 좀더 현실을 잘 설명하고 있다고 할 수 있다. 이상의 여러 가지 추정치를 통하여 모형①이 가장 우수한 모형이라고 본 연구는 판단하였다. 따라서 이 모형이 가장 현실을 잘 설명하고 있음을 증명해야 할 필요가 있어 다음의 장에서 모형의 신뢰성을 검증하였다.

〈표 4〉 모형 대안별 직접탄력성 비교

모형	수단	승용차	버스	지하철	택시	비고	
						Cost	Time
①	Cost	-0.6767	-0.1256	-0.1359	-2.4148		
	Time	-1.8320	-2.0848	-2.1758	-2.5899		
②	Cost	-0.9932	-0.1256	-0.1359	-2.415		
	Time	-1.8323	-2.0851	-2.1761	-2.5903		
③	Cost	-0.4060	-0.0775	-0.0843	-1.4663		
	IVTT	-3.5454	-2.8944	-1.8931	-4.8120		
④	Cost	-6.02E-5	-1.26E-5	-1.32E-5	-0.0002		
	Time	-1.8237	-2.3348	-2.3566	-2.6850		
⑤	Cost	-4.77E-6	-4.38E-6	-3.61E-6	-5.55E-5		
	Time	-2.5896	-5.4218	-2.6842	-6.0347		

## IV. 선정된 모형의 검증

### 1. 시간가치검증

통행시간은 다른 경제적 재화의 경우와 마찬가지로 화폐적 가치를 가지며 통행시간 가치란 통행인 단위시간을 단축하기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 지불용이 화폐가치(Willingness to Pay)를 의미한다. 일반적으로 여객통행시간가치의 산정에는 통행인의 노동생산성 개념인 한계임금율을 이용하는 방법과 수단선택모형을 이용하는 방법이 있으나 본 연구에서는 후자를 이용하여 산출하였다. 예를 들어 선행의 효용함수가 있다고 가정했을 때, 시간가치의 계산은 시간변수의 계수값을 비용변수의 계수값으로 나누어서 얻어질 수 있다. 이때 시간변수 값이 분 단위일 경우 60을 곱하여 시간으로 환산해주어야 한다. 본 분석의 모형①의 시간가치를 보면 9,395원으로 나타나 기존



의 연구 결과(원제무, 1984, 교통개발연구원, 1997)와 비교하여도 크게 차이가 나지 않으므로 타당한 것으로 판단된다(〈표 5〉 참조).

〈표 5〉 수도권 여객통행행태의 시간가치 (단위 : 원/시간)

구 분	도보시간	대기시간	차내시간
통근+통학	8,633	27,624	10,111
통근통행	9,971	33,422	11,404
통학통행	6,628	18,130	7,145

자료 : 수도권 여객 통행행태의 조사  
(개별통행행태모형의 정립을 중심으로, KOTI, 1997)

## 2. 탄력성 검증

교통수요모형에 있어 탄력성은 통행시간, 비용 등의 변화에 통행자의 선택확률이 변화될 척도를 보여주는 지표가 되므로 교통정책의 단기적 영향을 분석하는데 유용한 자료이다. 로짓모형에서의 각 수단별 직접탄력성이란 교통수단  $i$ 의 특성변수인 통행비용, 통행시간 등이 1% 증가 또는 감소할 때 교통수단  $i$ 의 분담율이 몇 % 증가 또는 감소하는가를 나타내는 측정치가 된다. 직접탄력성<sup>5)</sup>은 각 교통수단의 분담율을 높이기 위해 어떤 변수 값에 변화를 줄 때 가장 효과적일 수 있는가를 알아내는데 도움이 된다. 본 연구에서 선정한 최적모형의 직접탄력성은 〈표 6〉에 요약 정리되어 있다.

〈표 6〉 수단별 직접탄력성

계수	승용차	버스	지하철	택시
비용	-0.6797	-0.1256	-0.1359	-2.4148
시간	-1.8320	-2.0848	-2.1758	-2.5899

모든 수단에 있어 시간의 탄력성이 비용의 탄력성보다 높고, 택시를 제외한 모든 수단이 비용에 대해서는 비탄력적이다. 시간에 대해서는 모든 수단이 탄력적이고, 특히 택시의 경우는 매우 탄력적이다. 특히 승용차의 비용에 대한 탄력성의 경우 기존연구결과의 범위인 0.1~0.8내에 속하므로 현실적인 결과라고 판단된다(Goodwin, 1992, Oum et.al, 1992)

## 3. 남산혼잡통행료 효과와의 비교검증

시행한지 1년만이 지난 남산 1, 3호터널 혼잡통행료 징수효과는 다음표와 같다(황기연, 1998).

〈표 7〉 서울시 혼잡통행료 징수효과

구 분	징수전 (96/11)	징수 한달후 (96/12)	7개월후 (97/6)	1년 후 (97/11)	유가 4차인상 (98/1/18)	유가 1차인하 (98/2/15)	유가 2차인하 (98/3/1)
남산 1, 3호터널	징수시간대 통행량 <sup>6)</sup> 90,404 (-24.2%)	68,571 (-24.2%)	77,377 (-14.4%)	78,078 (-13.6%)	73,365 (-18.8%)	77,872 (-13.9%)	76,010 (-15.9%)
첨두시 <sup>6)</sup> 승용차교통량	18,628 (-36.3%)	11,874 (-36.3%)	13,170 (-29.3%)	13,109 (-29.6%)	-	-	-
첨두시 <sup>6)</sup> 유료 승용차	17,571 (-46.4%)	9,082 (-46.4%)	10,745 (-38.8%)	10,511 (-40.2%)	7,191 (-59.1%)	7,459 (-57.5%)	7,464 (-57.5%)
통행속도 (km/h)	21.6 (+73.8%)	37.5 (+73.8%)	35.5 (+64.8%)	29.8 (+38.0%)	-	-	-
우회도로	평균통행량 (대/시) 13,069 (+65%)	13,912 (+65%)	15,215 (+165%)	13,798 (+57%)	-	-	-
속도 (km/h)	24.5 (+11.8%)	27.4 (+11.8%)	28.5 (+15.6%)	28.3 (+15.5%)	-	-	-

- 1) 07시~21시의 모든 차종 교통량
- 2) 07시~09시, 17시~19시의 승용차 교통량

남산 1, 3호 터널로 진출입하는 교통량은 1년 후 13.6% 감소하고 통행속도는 38.0% 빨라졌으며 첨두시의 승용차 교통량은 36.3% 감소하였고 2인이하 탑승의 유료승용차는 40.2% 감소한 것으로 나타났다. 최근 유가의 급속한 증가로 교통량이 다소 감소하였으나 유가 인하 후, 다시 지난 해 11월 수준으로 복귀된 것으로 나타났다. 그러나 유가변동과 경제상황의 변동에도 불구하고 일일총교통량은 '97년6월 수준인 77천통행에서 균형을 이루고 있는 것으로 보인다. 한편 IMF체제이후 유료승용차의 수는 '97년 11월에 비해 '98년 상반기중 29%가 줄어들어서 전체 교통량 중 면제통행이 최근 들어 급속하게 증가하고 있는 것으로 나타났다.

남산 1·3호 터널에 혼잡통행료 시행 1년 후의 관측된 교통량의 변화를 보면 시행전보다 13.6%<sup>6)</sup>가 감소한 것으로 나타났는데 본 연구의 모형에서 이를 Simulation을 하기 위해 승용차 비용에 혼잡세 2000원(왕복통행:4000원)을 추가하고, 해당 구간에서 관측된 차내시간 감소분 2분(왕복:4분)을 고려한 결과 분담율의 변화는 아래의 〈표 8〉과 같다.

5) 직접탄력성 :  $Edk(P_i) = Ak \times Xk \times (i-P_i)$   
 $Ak$  : k번째 수단,  $Xk$  : k번째 특성변수,  $P_i$  : i수단의 선택확률  
 6) 혼잡통행료 시행 1년 평가 및 효과분석. 서울시, 1997. 11.

〈표 8〉 시간·비용 변동후의 수단분담율 변화

구 분	최적모형 분담율	비용,시간변화시 분담율	변화율
승용차	26.7%	13.9%	-12.7%
버 스	41.7%	51.7%	9.9%
지하철	29.9%	32.4%	2.4%
택 시	1.6%	2.0%	0.4%

위의 〈표 8〉에서 승용차의 분담율이 12.7% 감소한 것으로 나타났고 승용차이용 감소율이 47.9%로 남산 1,3호 터널의 감소율 36.3%과 크게 차이가 나지않아 본 연구의 최적모형이 현실을 비교적 잘 설명하고 있다고 고려되어 진다(서울시, 1997).

## V. 결론

본 연구의 목적은 '96년말 서울시에서 실시한 가구 통행조사를 이용하여 서울시 수단선택모형을 구축하고 그 예측결과를 남산 혼잡통행료 전후조사자료와 비교하여 보다 구체적으로 그 정확성을 검증한 뒤 향후 서울시 교통수요관리 방안의 시행에 따른 수단선택변화 예측의 기본 모형으로 활용하는데 있다. 수단선택모형의 구축은 ①교통수요관리 정책효과분석을 위한 비집계 로짓모형의 변수를 선정하고, ②조사자료를 비집계 로짓모형 분석을 위해 정리한 뒤, ③다양한 모형들의 정산작업을 통해 통계적으로 최적 모형을 선정하고, ④모형의 적합성 및 현실 적용성에 대한 검증작업을 통해 이루어졌다.

5가지 대안모형의 분석결과 통행비용변수(승용차의 경우 주차요금포함)와 총통행시간변수(OVTT와 IVTT의 합), 승용차, 지하철, 택시 상수로 구성된 모형이 최적모형으로 분석되었다. 이모형에 의한 시간가치는 9,395원, 승용차의 비용탄력성은 -0.6767로서 기존 연구결과의 범위 내에 속한 것으로 나타났다. 마지막으로 최적모형을 이용하여 승용차통행비용이 증가한 경우를 모사분석결과 남산1,3호 터널 혼잡통행료 징수효과와 크게 차이나지 않게 승용차 이용감소를 나타내서 모형의 현실적합성도 비교적 높은 것으로 판명되었다.

향후 본 연구에서 선정된 최적수단선택모형을 통행배정모형과 결합하여 다양한 교통수요관리 방안

따른 효과를 예측하는데 활용하면 서울과 같은 대도시의 단기적 교통관리의 수준을 한 단계 높이는 데 기여할 것으로 판단된다. 다만 추정된 모형계수를 사용하는 데 있어서는 다음의 사항을 참고할 필요가 있다.

첫째, 본 연구에서 이용한 자료는 시간적으로는 오전 첨두시를 대상으로 하였고 공간적으로는 서울시만으로 한정하였으며 통행수단에 대한 분석의 경우 모든 수단을 고려하지 않고 4개의 수단만을 이용하여 분석하였다. 둘째, 최종적으로 선정된 변수가 일반화(generic)한 변수인 총통행시간과 통행비용변수이기 때문에 이로 인해 보다 구체적인 정책효과 분석에의 적용에 있어 한계가 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 교통개발연구원, 수도권 여객통행행태조사: 개별통행태모형의 정립을 중심으로, 1997.
2. 서울시, 혼잡통행료 시행 1년 평가 및 효과분석, 1997. 11.
3. 서울시, 1996정기속도조사자료, 1996.
4. 서울시 지하철공사, '97지하철 수송계획, 1997.
5. 윤성순·윤태식 공저, 「도시모형론」, 홍문사, 1995.
6. 원제무(1984), "An Application of Multinomial Logit Model to Jongro Corridor Travellers", 대한교통학회지.
7. 황기연(1998), 서울시 교통정책 및 제도의 발전방안 모색, 녹색소비자연대 세미나, 1998. 7.
8. Ben-Akiva, and M.Lerman, S., Discrete Choice Analysis, The MIT Press, 1987.
9. Rodier, C. & Robert A. Johnston(1997), "Incentives for Local Governments to Implement Travel Demand Management Measures". Transportation Research Part A, July. 1997.
10. Goodwin, P.B. (1992), "A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes", Journal of Transport Electric & Policy May.
11. McFadden, D. (1976) "The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Various

- Modes of Urban Transportation," UC Berkeley, Working Paper No. 7623.
12. Ortuzar, J. and Willumsen, L., Modelling Transport 2nd Ed., Wiley, 1995.
  13. Oum, T. H., W.G. Waters II & Jong-Say Yong (1992), "Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and Recent Empirical Estimates", Journal of Transport Economics and Policy, May.