

■ 論 文 ■

잠재변수를 이용한 RP/SP 결합모형에 관한 연구

Combined RP/SP Model with Latent Variables

김 진 희

(연세대학교 도시공학과 박사과정)

정 진 혁

(연세대학교 도시공학과 교수)

손 기 민

(중앙대학교 도시공학과 교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구의 배경 및 목적 2. 연구의 범위 및 방법 <p>II. 이론적 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 잠재변수를 이용한 수단선택모형 2. RP/SP 결합모형 <p>III. 기초자료 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 개인속성자료 분석 2. RP와 SP자료의 수단선택비율 분석 | <p>IV. 분석모형의 정립</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 잠재변수의 선정 2. 개인특성 및 수단특성 변수 선정 3. 분석모형 시나리오 구축 <p>V. 분석모형 추정결과 및 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 잠재변수에 따른 추정결과 분석 2. RP/SP 결합모형 및 수단선택행태 분석 <p>VI. 결론
참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words: 잠재변수, RP/SP결합모형, 잠재행태, 요인분석, 수단선택모형
 Latent Variable, Combined RP/SP Model, Latent Behaviour, Factor Analysis, Mode Choice Model

요 약

통행자의 통행수단선택행태는 개인의 사회경제적 속성과 수단의 속성뿐만 아니라 통행자 개인의 잠재된 통행행태 즉, 통행행태적 선호도 역시 큰 영향을 미친다. 통행수단선택행태에 특정한 영향을 미치는 잠재통행행태를 수단선택모형에 반영한다면 비관측요인에서 기인하는 오차를 크게 줄일 수 있고, 통행행태에 대한 다양하고 보다 합리적인 해석이 가능하다. 본 연구에서는 한강 수상대중교통 도입에 따른 수단선택행태조사 자료를 활용하여 잠재변수를 정의하고 새로운 수단에 대한 분석이 가능한 RP/SP 결합모형을 구축하였다. 잠재변수는 행태설문조사자료를 기반으로 요인분석을 통해 계량화하였다. 모형구축결과 통행자들의 잠재된 통행행태는 수단선택행태에 유의한 영향을 미치고, 잠재변수를 반영한 경우 모형의 적합도가 향상되었다. 또한 잠재행태 관점에서도 RP/SP 결합모형이 SP모형에 비해 합리적인 것으로 분석되었다.

Mode choice behavior is associated with travelers' latent behavior that is an unobservable preference to travel behavior or mode characteristics. This paper specifically addresses the problem of unobservable factors, that is latent behavior, in mode choice models. Consideration of latent behavior in mode choice models reduces the errors that come from unobservable factors. In this study, the authors defined the latent variables that mean a quantitative latent behavior factors, and developed the combined RP/SP model with latent variables using the mode choice behavior survey data. The data has traveler's revealed preference of existent modes along the Han River and stated preference of new water transit on the Han River. Also, The data has travelers' latent behavior. Latent variables were defined by factor analysis using the latent behaviour data. In conclusion, it is significant that the relationship between traveler's latent behavior and mode choice behavior. In addition, the goodness-of-fit of the mode choice models with latent variables are better than the model without latent variables.

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

통행자의 통행수단선택행태를 분석하는 이산선택모형(Discrete Choice Model)에서는 개인의 사회경제적 속성과 수단의 속성에 의한 효용에 따라 선택확률을 도출한다. 그러나 통행수단의 선택행태는 개인의 사회경제적 속성과 수단의 속성뿐만 아니라 통행자 개인의 잠재된 통행행태 즉, 통행행태적 선호도 역시 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 환경주의적 성향의 사람은 대중교통에 비해 승용차의 통행시간이 빠르고 비용이 저렴한 경우에도 환경보호를 위하여 대중교통을 선택할 확률이 높은 것을 말한다.

기존의 많은 연구들에서는 잠재된 통행행태가 관측 및 측정이 어려워 효용함수에 직접적으로 반영되지 못하고 있다. 잠재된 통행행태가 통행수단선택행태에 특정한 영향을 미침에도 불구하고 이를 반영하지 않을 경우 모형의 신뢰성이 저하되고 왜곡된 분석을 수행할 위험이 있다. 따라서 통행자의 잠재된 통행행태를 반영한다면 비관측요인에서 기인하는 오차를 크게 줄일 수 있고, 통행행태에 대한 다양하고 보다 합리적인 해석이 가능하다(Johansson et al., 2006; Ben-Akiva et al., 1999).

본 연구에서는 통행자의 잠재 통행행태를 조사하고 이를 계량화하여 잠재변수를 정의하는 방법론을 제시하였고 이를 고려한 통행수단선택모형을 구축하였다. 통행수단선택모형 구축 시 새로운 수단 도입에 따른 통행수단선택행태 분석이 가능한 RP/SP 결합모형을 이용하여 구축하였다. 이와 같은 모형을 기반으로 잠재변수를 반영한 모형과 미반영된 모형을 비교분석하였다. 모형구축 및 분석에 사용된 자료는 한강변 통행자들에 대한 통행선택자료를 활용하였으며, 이들을 대상으로 잠재통행행태를 조사한 자료와 한강 수상대중교통 도입에 따른 수단선택행태를 조사한 자료를 활용하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 사용된 자료는 서울시에서 친환경 녹색교통을 위해 도입이 검토되고 있는 한강 수상대중교통에 대한 통행행태 설문조사 자료이다. 한강 수상대중교통은 한강에 위치한 선착장을 정류장으로 하여 계획된 배차간격에 따라 승객을 수송하는 대중교통을 의미한다. 한강 수상대중교통 도입에 따라 통행행태에 가장 큰 변화가 있을 것



<그림 1> 조사대상자 통행지역

으로 예상되는 한강주변지역 통행자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

한강주변지역 통행자는 한강변에 위치한 56개동을 기준으로 하는 통행자로 정의하였으며, 56개 동의 위치는 <그림 1>과 같다. 조사 대상자는 서울시정개발연구원에서 실시한 『2006 수도권 가구통행실태조사 연구』 조사자료에서 앞서 정의한 한강변 통행자들 중 1,000명을 표본 추출하여 선정하였고 이들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 즉, 조사대상자인 1,000명은 한강변에 위치한 56개동에 거주하는 통행자뿐만 아니라 통행경로 상 한강변을 이동하는 통행자도 포함되었다.

수단선택모형 구축을 위하여 통행자의 사회경제적 특성, 현재 한강변 통행 시 선택한 수단 및 비선택 수단에 대한 특성, 그리고 통행자의 잠재통행 행태를 조사하였다. 또한 수상대중교통 도입 시 수단선택행태를 분석하기 위하여 SP조사를 실시하였다. 요금 및 통행시간 관련 변수들을 각 3수준으로 하는 직교행렬표를 구성하고, 난수표에 따라 응답자 1인당 무작위로 5개의 SP 설문에 응답하도록 하였다. 설문조사 항목 및 조사내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 설문조사 항목 및 조사내용

조사항목	조사내용
개인 및 가구특성	나이, 성별, 직업, 학력, 결혼유무, 자녀유무, 자가용보유대수, 가구소득 등
잠재이용행태	잠재적 행태에 대한 총 34개 문항을 5개의 수준에서 선택 (예: “환경에 도움이 된다면 물건 값을 더 낼 용의가 있다.”, “나는 통행할 때 대개 서두른다.” 등)
RP 수단선택 특성	실제 통행의 선택수단과 소요시간 및 소요비용, 비선택수단에 대한 예상 소요시간 및 소요비용
SP 수단선택 특성	수상 대중교통, 일반 대중교통, 승용차로 구분하여 요금 수준 및 통행시간에 따라 선호수단 선택 (1인당 5개 질문)

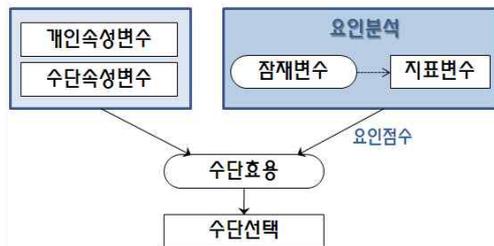
위의 조사 자료를 기반으로 RP, SP 및 RP/SP 결합 수단선택모형을 구축하여 비교분석하였다. 수단선택모형 구축 시 잠재통행태 조사 자료를 요인분석(Factor analysis)하여 잠재변수(Latent variables)를 정의하였다. 잠재변수 유무와 선호도조사 자료의 유형에 따라 총 6개의 모형을 구축하고 비교분석함으로써 수상대중교통 도입에 따른 수단선택행태를 분석하였다.

II. 이론적 고찰

1. 잠재변수를 이용한 수단선택모형

선택행태에 영향을 미치는 비관측적인 잠재요인에 대한 연구들은 2000년대부터 비교적 많은 연구가 진행되고 있다(Ben-Akiva et al., 1999; Johansson et al., 2006; Sohn and Yun, 2009). 이러한 연구들은 선택행태가 선택자의 잠재된 행태적 선호에 기인한다는 것을 가정한다. 잠재된 행태적 선호는 개인의 행태적 특성(예; 조급성, 안전지향성, 환경주의적 등) 또는 수단에 대한 잠재적 인식(예; 대중교통 선호, 승용차 선호 등) 등을 의미한다. 따라서 이러한 잠재된 행태적 선호는 개인속성과 수단속성이 설명하지 못한 선택행태 즉, 선택자의 내재된 선호도에 의한 선택행태를 설명가능하게 한다.

잠재된 행태적 선호를 수단선택모형의 변수로 적용하기 위해서는 개인행태와 관련된 다양한 설문문항을 분석하여 잠재변수로 정의하여야 한다. Sohn and Yun(2009)은 <그림 2>와 같이 설문문항을 지표변수(indicator variables)로 하는 요인 분석을 통해 잠재변수를 정의하였다. 요인 분석은 정의된 잠재변수에 대한 각 지표변수들의 요인 적재량(factor loadings)를 추정하고, 이를 이용하여 각 잠재변수의 계량적 크기인 요인점수(fitted factor scores)를 산출한다. 산출된 요인점수와 개인 및 수단속성을 이용하여 수단선택모형을 구축하였다.



<그림 2> 잠재변수를 이용한 수단선택모형

요인분석에서 각 지표변수들의 요인 적재량을 추정하는 방법은 주성분분석(Principle Component Analysis)과 공통요인분석(Common Factor Analysis)으로 나눌 수 있다. 본 연구와 같이 서로 관계가 알려져 있지 않은 변수들과 잠재변수 간의 관계를 규명하기 위한 탐색적 요인분석(Exploratory Factor Analysis)에서는 주로 주성분 분석을 활용한다. 주성분 분석은 지표변수들의 선형조합에 의해 주성분이 정립된다는 개념이다. 즉, 서로 연관있는 지표변수들의 선형조합으로 서로 독립적인 잠재변수들을 추출한다(노형진, 2007).

잠재변수를 도입하는 것은 통행자마다 다른 행태적 취향(taste variation)을 반영한 것으로 볼 수 있다. 이와 같은 관점에서 각 통행자의 비관측 요인을 확률변수로 도입하여 통행자마다 다른 parameter를 추정하는 Random Coefficient Models과 비교할 수 있다. Random Coefficient Models은 통행자마다 다른 parameter를 추정함으로써 모형의 설명력을 높이는 장점이 있지만, 잠재변수를 이용한 모형과 같이 비관측적요인에 대한 명확한 설명이 어려운 단점이 있다. 또한 모형의 적용 및 추정이 어려워 활용도 측면에서 잠재변수를 도입한 모형이 효과적이다.

잠재변수의 활용은 개인속성과 수단속성만으로는 충분히 설명할 수 없었던 비관측 요인에 기인하는 오차를 줄여 주기 때문에 모형의 설명력을 향상시킨다(Johansson et al., 2006). 또한 선택자의 잠재된 행태적 선호에 따른 선택행태를 분석할 수 있어 선택행태에 대한 더욱 합리적인 해석이 가능하다. 그러므로 정책적 목표를 달성하기 위해 보다 구체적이고 정확한 정책대안 제시가 가능하다.

2. RP/SP 결합모형

RP/SP 결합모형에 관한 연구는 1990년 이후 활발히 진행되어 왔다. 모형의 정립과 추정방법론, 새로운 수단 도입에 대한 실증적 적용방법 등에 대해 다수의 연구가 진행되어 왔다(Ben-Akiva et al., 1990, 1994; Hensher et al., 1993, 1999; Morikawa et al., 1993; 김강수 외, 2006; Espino et al., 2007; 정병두 외, 2009).

RP자료는 실제 현실에서 연구자로부터 관측되지 않는 개인적인 다양한 요인이 고려되어 선택된 결과이고 SP자료는 연구자가 설계한 대안의 속성 값 범위 내에서 이들을 비교하여 선택한 결과이므로 두 자료의 분산은 차이가 발생할 수 있다. 두 자료의 분산이 다를 때, 각각의 자료에서

추정한 로짓모형은 직접비교할 수 없으며, 두 자료를 통합하여 분석할 경우 편이된 결과를 나타내게 된다(Train, 2003).

RP와 SP자료의 분산의 차이를 보정하기 위하여 Morikawa(1989)는 RP와 SP의 분산의 비율 즉, 규모계수(scaling parameter)를 정의하고 이를 고려한 효용함수를 식(1)과 같이 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 V_{RP} &= \alpha + \beta X_{RP} + \psi Y + \varepsilon_{RP} \\
 V_{SP} &= \delta + \beta X_{SP} + \gamma Z + \varepsilon_{SP} \\
 \theta^2 &= \text{var}(\varepsilon_{RP}) / \text{var}(\varepsilon_{SP})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서,

- X_{RP}, X_{SP} : RP와 SP 공통의 관측변수
- Y, Z : RP 또는 SP 하나의 자료에만 포함되는 관측변수
- $\beta, \alpha, \delta, \psi, \gamma$: 각 변수의 계수
- $\varepsilon_{RP}, \varepsilon_{SP}$: RP와 SP 각각의 비관측적 영향
- θ : 규모계수(scaling parameter)

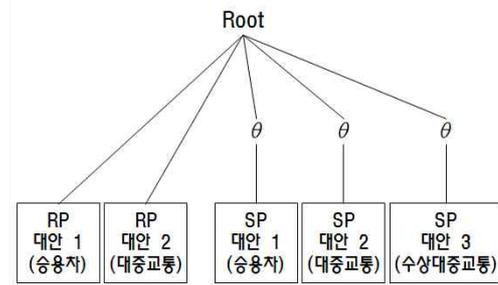
규모계수를 VSP에 곱하면 RP와 SP의 분산이 동일하게 되므로 분산의 차이에서 오는 문제를 해결할 수 있다. 또한 규모계수로 인하여 두 자료의 결합추정이 가능해진다.

RP/SP 결합모형은 <그림 3>과 같은 artificial tree 구조를 이용하여 네스트드 로짓모형 추정방법으로 추정이 가능하다(Bradley and Daly, 1991). Artificial tree 구조에 따르면 각 네스트는 하나의 SP대안을 포함함으로 각 네스트의 전반적인 효용을 나타내는 포함값(inclusive value)이 식(2)와 같은 형태가 된다.

$$V^{comp} = \theta \log \sum_{j=1}^{J_{SP}} e^{V_{j,SP}} = \theta V_{j,SP}
 \tag{2}$$

따라서 각 네스트의 규모계수를 동일하게 정의한다면 RP/SP 결합모형의 추정이 가능하다. 추정방법론은 각 네스트의 계수를 동시추정법으로 추정한다. 동시추정법은 완전정보최우추정법(Full Information Maximum Likelihood)을 이용하여 추정한다(Hensher and Bradley, 1993). 완전정보최우추정법을 이용하기 위한 목적함수인 로그우도함수는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 L(\beta, \psi, \theta, \gamma) &= \sum_{n=1}^{N_{RP}} d_n^{RP} \log [F(\beta X_n^{RP} + \psi Y_n^{RP})] \\
 &+ \sum_{n=1}^{N_{SP}} d_n^{SP} \log [F(\theta(\beta X_n^{SP} + \gamma Y_n^{SP}))]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$



<그림 3> RP/SP 결합모형의 Artificial Tree 구조

여기서, d_n^{RP} 과 d_n^{SP} 는 개인 n이 RP자료와 SP자료에서 선택을 나타내는 지표이다. 또한 NRP와 NSP는 RP와 SP의 자료의 수이고, F는 비관측적 영향 즉, 확률항의 누적 밀도함수이다.

III. 기초자료 분석

1. 개인속성자료 분석

본 연구에 사용된 조사자료 중 개인속성에 대한 분석결과는 <표 2>와 같다. 응답자는 총 1,000명이며, 41~60세의 응답자가 47.3%로 가장 많았다. 전체응답자 중, 여성이 63.7%, 직업이 있는 응답자는 72.5%이며, 대출이상의 학력인 응답자가 61.2%로 조사되었다. 응답자의 가

<표 2> 개인속성 조사자료 분석결과

나이		성별		직업유무	
≤20세	3.1%	남자	36.3%	있음	72.5%
21~40세	44.6%	여자	63.7%	없음	27.5%
41~60세	47.3%				
≥61세	50.0%				
자녀유무		가구원수		미취학 아동수	
있음	69.5%	3인 이상	60.1%	있음	11.9%
없음	30.5%	3인 미만	39.9%	없음	88.1%
학생여부		교육수준		결혼여부	
예	7.9%	고졸이하	38.8%	예	73.3%
아니오	92.1%	대졸이상	61.2%	아니오	26.7%
승용차 보유대수		주거형태		연평균 소득	
있음	80.6%	아파트	57.1%	≤2천만원	13.4%
없음	19.4%	기타	42.8%	2~4천만원	30.6%
				4~6천만원	41.1%
				≥6천만원	14.9%

주) 총 응답자의 수는 1,000명 임

<표 3> RP와 SP자료의 수단선택비율

수단	RP자료		SP자료	
	수	비율	수	비율
승용차	408	(40.8%)	544	(10.9%)
대중교통	592	(59.2%)	2,282	(45.6%)
수상대중교통	-		2,174	(43.5%)
총계	1,000	(100.0%)	5,000	(100.0%)

구특성 조사결과, 자녀가 있는 경우가 69.5%, 가구원 수가 3인 이상인 경우가 60.1%로 나타났으며, 가구에 승용차를 보유한 응답자가 전체의 80.6%로 대부분의 응답자가 승용차를 보유한 것으로 나타났다.

2. RP와 SP자료의 수단선택비율 분석

본 연구에서는 조사일 기준으로 가장 최근 한강주변지역을 통행할 때 선택하는 통행수단선택행태(RP)와 한강수상대중교통 도입에 따른 통행수단선택행태(SP) 조사 자료를 사용하였다. 각각 자료에 대한 수단선택비율은 <표 3>과 같다.

RP자료의 경우 총 1,000명의 응답자 중 대중교통 이용자가 59.2%로 승용차보다 다소 많은 것으로 나타났다. SP자료의 경우 서론에서 언급한대로 1인당 5개의 수단선택질문을 응답하도록 하였기 때문에 총 표본수가 5,000개이며, 그 중 대중교통 선택자가 45.6%로 가장 많은 것으로 나타났다. 그 다음 수상대중교통 선택자가 43.5%, 승용차 선택자가 10.9% 순으로 나타났다.

SP자료의 경우 새로운 수단인 수상대중교통이 추가되어 RP자료와 직접적인 비교는 다소 무리가 있으나, RP 자료에 비해 승용차의 선택비율이 크게 낮은 것을 볼 수 있다. 이것은 응답자가 SP설문이라는 가상적인 상황에서의 표현과 실제 행동의 차이가 발생하는 편의현상의 결과로 볼 수 있다. 따라서 SP자료만을 이용하여 모형을 구축할 경우 왜곡된 결과를 가져올 수 있기 때문에, 현실의 행태를 반영한 RP/SP 결합모형을 구축할 필요가 있다.

IV. 분석모형의 정립

1. 잠재변수의 선정

잠재변수는 잠재통행행태와 관련된 설문문항을 지표변수(indicator variables)로 하고 해당 문항에 대한 응답 결과를 이용하여 요인분석을 통해 선정하였다. 요인분석은 조사된 지표변수 값을 이용하여 공통된 잠재적 요인을

추출하고, 추출된 잠재적 요인에 대해 각 지표변수들이 기여하는 정도인 요인 적재량을 산출한다. 추출된 잠재적 요인과 관련된 지표변수(즉, 본 연구에서는 설문문항) 및 요인적재량을 고려하여 잠재변수를 정의하였다.

설문문항은 통행자들의 통행행태와 관련된 잠재적 성향을 파악하기 위한 내용으로 구성하였다. 새로 도입되는 교통수단인 수상대중교통의 선호도에 관한 문항과 환경에 대한 인식, 교통수단에 대한 인식 등에 관한 내용이다. 이와 같은 잠재적 성향을 문항으로 조사하는 방법은 그 성향과 관련된 사항을 직접적인 문항으로 구성하여 조사하는 방법이 있다. 예를 들어 환경에 대한 인식을 조사하기 위하여 “환경에 도움이 된다면 다른 교통수단으로 바꿀 의향이 있다.”와 같이 직접적인 의미로 물어보는 것이다. 그러나 Johansson et al.(2006)은 직접적인 질문만으로 구성할 경우, 응답자들의 결과는 한쪽으로 치우친 성향을 나타낼 수 있다는 점을 제기했다. 이에 따라 추가적으로 간접적인 문항을 포함하였다. 예를 들어 앞의 예에서와 유사한 성향을 파악하기 위한 간접적인 질문으로 “환경에 도움이 된다면 물건 값을 더 낼 용의가 있다.”와 같은 문항을 포함하는 것이다. 이와 같이 직접적인 문항과 간접적인 문항을 혼합하여 총 20개의 잠재행태 설문문항을 구성하였다. 각 문항의 상세한 내용은 <표 4>와 같다. 각 문항마다 해당 문항의 내용과 평소의 성향이 일치하는 정도에 따라 최소 1부터 최대 5까지의 Likert 척도를 사용하였다.

잠재통행행태 조사자료를 이용하여 요인분석을 실시한 결과는 <표 4>와 같다. 20개의 설문문항을 지표변수로 하고 응답자가 선택한 Likert척도의 값을 이용하여 요인분석을 실시하였다. 그 결과 잠재통행행태를 설명할 수 있는 요인은 총 6개로 나타났다. 각각의 요인들은 잠재변수가 되며 잠재변수의 이름은 지표변수의 공통적인 성향을 대표할 수 있는 용어를 선택하였다. 이에 따라, 요인 1은 “수상교통 우호적 성향”, 요인 2은 “환경주의적 성향”, 요인 3은 “편안함 선호성향”, 요인 4은 “승용차 운전선호 성향”, 요인 5은 “승용차 운전 비선호 성향”, 요인 6은 “조급성 성향”으로 명명하였다.

잠재변수를 수단선택모형에 적용하기 위해서는 잠재변수의 크기를 계량화하여야 한다. 본 연구에서는 요인분석을 통해 각 개별 통행자별로 산출되는 각 요인별 요인점수(fitted factor score)를 잠재변수의 계량적 크기로 정의하였다.

2. 개인특성 및 수단특성 변수 선정

조사된 자료의 기초분석결과를 기반으로 개인특성 및

<표 4> 잠재변수의 정의 및 관련 설문문항

요인	설문문항(지표변수)	요인 적재량	잠재변수
요인 1	한강변에 좋은 편의시설이 있다면 수상대중교통을 이용하겠다.	0.862157	수상교통 우호적 성향
	한강변에 좋은 상업시설이 있다면 수상대중교통을 이용하겠다.	0.839054	
	집에서 선착장까지 바로 연계된다면 수상대중교통을 이용하겠다.	0.838818	
	유람선과 대중교통 요금이 동일 할 때 평상시에도 유람선을 이용하겠다.	0.820913	
	통행조건이 같을 때, 일반대중교통 보다 수상대중교통이 더 좋다.	0.764221	
	선착장에 주차가 가능하다면 수상대중교통을 이용하겠다.	0.573114	
	한강 유람선을 타는 것은 유쾌한 경험이다.	0.521003	
요인 2	환경에 도움이 된다면 다른 교통수단으로 바꿀 의향이 있다.	0.791642	환경주의적 성향
	환경에 도움이 된다면 물건 값을 더 낼 용의가 있다.	0.72656	
	대중교통 이용이 환경개선에 도움을 준다고 믿는다.	0.65948	
요인 3	편안하다면 통행시간은 문제되지 않는다.	0.726713	편안함 선호 성향
	비용에 상관없이 가장 편한 대안을 선택한다.	0.669051	
	빨리 도착하는 것 보다 스트레스가 없는 게 더 중요하다.	0.572722	
	혼자 있는 게 좋으므로 개인통행수단을 선호한다.	0.445573	
요인 4	언제든지 이용가능한 자가용 승용차가 있다.	0.817744	승용차 운전 선호 성향
	다른 사람보다는 내가 운전하는 것이 좋다.	0.791437	
요인 5	운전 중에는 마음이 편안하지 않다.	0.818288	승용차 운전 비선호 성향
	운전해서 한강다리를 건널 때 스트레스를 받는다.	0.787247	
요인 6	통행할 때 대개 서두른다.	0.722578	조급성 성향
	보다 싼 교통대안이 있음에도 항상 가장 빠른 경로를 택한다.	0.693962	

<표 5> 개인특성 및 수단특성 변수

	변수구분	변수값 및 단위
	개인 특성 변수	나이
성별		남=1, 여=0
직업유무		있음=1, 없음=0
학생여부		예=1, 아니오=0
교육수준		대졸이상=1, 고졸이하=0
결혼여부		예=1, 아니오=0
자녀유무		예=1, 아니오=0
가구원수		3인 이하=1, 3인 이상=0
미취학 아동수		있음=1, 없음=0
승용차 보유대수		있음=1, 없음=0
주거형태		아파트=1, 그 외=0
	연평균 소득	1,000만원
수단 특성 변수	차내통행시간	분
	접근통행시간	분
	통행요금	100원

수단특성 변수를 선정하였다. 선정된 변수 및 변수 값과 관련된 내용은 <표 5>와 같다. 개인특성변수 중 나이와 연평균 소득의 경우는 연속적인 값으로 모형에 적용하였고, 나머지 변수에 대해서는 1 또는 0 으로 적용하였다. 수단특성변수 중 통행시간과 관련된 변수의 값은 분단위의 연속적인 값을 적용하였고, 통행요금은 100원 단위로 연속적인 값으로 적용하였다.

3. 분석모형 시나리오 구축

잠재변수를 이용한 수단선택모형을 분석하기 위하여 잠재변수 유무에 따른 RP모형, SP모형, RP/SP 결합모형을 정립하였다. RP모형은 승용차와 일반대중교통의 2 가지 선택대안에 대한 이항로짓모형으로 구축하였으며, SP모형은 승용차, 일반대중교통, 수상교통의 3가지 선택대안에 대한 다항로짓모형으로 구축하였다. RP/SP 결합모형은 이론적 고찰에서 언급한 artificial tree구조를 이용한 네스티드 로짓모형으로 구축하였다. 잠재변수에 따른 모형의 추정결과를 비교분석하기 위하여 효용함수에 잠재변수를 포함한 경우와 그렇지 않은 경우로 모형을 구축하였다. 따라서 분석을 위해 잠재변수의 유무 및 자료의 형태에 따라 <표 6>과 같이 총 6개의 모형을 정립하였다.

RP/SP 결합모형인 Model 5와 6에서 동일한 선택대안(승용차와 대중교통)을 RP와 SP로 구분한 이유는 <그림 3>과 같이 artificial tree구조에 따라 모형을 추정하기 위해서이다. 그러나 실제로는 5개의 선택대안이 아닌 3개의 선택대안만이 분석에 대상되는데 이것은 RP와 SP에 모두 포함되는 승용차와 대중교통의 효용함수의 변수를 모두 generic variable로 적용함으로써 해결이 가능하다.

<표 6> 분석모형 및 시나리오

구분	자료	잠재변수 반영여부	선택대안
Model 1	RP	X	승용차, 대중교통
Model 2		O	
Model 3	SP	X	승용차, 대중교통, 수상대중교통
Model 4		O	
Model 5	RP+SP	X	RP승용차, RP대중교통, SP승용차, SP대중교통, SP수상대중교통
Model 6		O	

기초자료 분석의 <표 3>에서와 같이 RP자료의 표본 수는 1,000개이고 SP자료의 표본 수는 5,000개이다. RP/SP 결합모형의 경우, 단순히 RP자료에 SP자료를 추가하여 모형을 추정하게 되면 SP자료의 표본 수가 5배 많기 때문에 SP자료의 영향을 크게 받게 되어 왜곡된 결과가 도출될 위험이 있다. 따라서 조사된 RP자료의 수를 SP자료의 수와 같도록 하기 위해 RP자료 1,000개를 5배수로 증가시킨 후 SP자료와 결합하여 모형을 추정하였다. 이에 따라 RP/SP 결합모형의 표본 수는 총 10,000개이다.

V. 분석모형 추정결과 및 분석

1. 잠재변수에 따른 추정결과 분석

모형의 추정 결과는 <표 7>와 같다. 추정 결과 RP모형의 수상교통 우호적 성향, 환경주의적 성향을 제외한 모든 잠재변수는 모든 모형에서 수단선택에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 RP모형과 SP모형, RP/SP 결합모형 모두에서 잠재변수 존재 시 모형의 적합도(ρ^2)가 더욱 큰 것으로 나타났다. 그러나 ρ^2 값은 변수가 많아지면 일반적으로 증가하기 때문에 잠재변수로 인한 모형의 적합도가 높아졌다는 객관적인 지표가 되기 어렵다. 따라서 변수의 개수에 따라 적합도가 증가되는 현상을 보정하기 위하여 수정된 $\rho^2(\bar{\rho}^2)$ 를 산출하였다. 수정된 ρ^2 역시 잠재변수 존재 시 모형의 적합도가 더욱 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 잠재변수의 추가는 모형의 적합도를 향상시키는 역할을 한다. 이것은 개인속성과 수단속성으로 충분히 설명하지 못한 수단선택행태를 잠재변수를 통해 추가적인 설명이 가능함을 의미한다.

RP모형의 경우 편안함 선호 성향과 승용차 운전 선호 성향은 대중교통 선택을 감소시키고 승용차 운전 비선호 성향은 대중교통 선택확률을 증가시키는 것으로 나타났

다. 이와 같은 결과는 SP모형과 RP/SP 결합모형에서 유사하게 나타났으며, 수상대중교통에 대해서도 비슷한 선택행태를 보이고 있다. SP모형과 RP/SP 결합모형의 경우 다른 3가지 잠재변수도 유의한 것으로 나타났다. 수상교통 우호적 성향과 환경주의적 성향은 대중교통과 수상대중교통의 선택확률을 증가시키는 것으로 나타났고, 조급성 성향은 감소시키는 것으로 나타났다.

이와 같은 잠재변수의 계수 값에 대한 해석은 직관적인 관점에서의 해석과 유사하다. 이는 본 연구에서의 잠재변수가 합리적으로 정의되었음을 의미한다. 또한 잠재변수를 적용한 모형이 그렇지 않은 모형에 비해 모형의 적합도가 더욱 큰 것을 미루어 보았을 때, 본 연구에서 제시한 방법론으로 잠재변수를 정의하는 것이 합리적이며 잠재변수를 수단선택모형에 적용하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

2. RP/SP결합모형 및 수단선택행태 분석

RP와 SP모형의 추정된 계수는 각 모형의 분산이 다르므로 크기에 대해 직접적으로 비교하는 것은 의미가 없다. 그러나 변수들의 유의성 변화는 직접적인 비교가 가능하다. RP모형에서는 Model 2의 적합도가 높으며, SP모형에서는 Model 4의 적합도가 더 높음으로 RP모형과 SP모형의 비교는 Model 2와 Model 4를 비교하는 것으로 하겠다(모두 잠재변수를 포함하는 경우의 모형임). RP와 SP모형의 개인속성에 따른 대중교통선택 행태를 비교해 보면, 학생과 자녀유무는 RP모형에서는 대중교통선택에 유의한 영향이 있으나 SP모형에서는 유의하지 않다. 반대로 가구원 수나 소득은 RP모형에서 크게 유의하지 않지만 SP모형에서는 크게 유의한 변수로 작용하고 있다. 수단속성변수와 잠재변수에서도 유의한 변수가 서로 다를 수 있다. 이처럼 통행자의 선택행태는 실제 통행에서 수단을 선택할 때와 가상의 상황(즉, SP조사 상황)에서 수단을 선택할 때 선택행태의 차이가 있다. 따라서 한강 수상대중교통과 같은 새로운 수단 도입에 대한 분석을 SP자료만을 이용할 경우 실제와 크게 차이나는 결과를 가져오게 된다. RP/SP 결합모형은 실제 통행행태와 새로운 수단 도입에 대한 가상적인 통행행태를 상호 보완하여 분석하였으므로 더 합리적인 모형인 것으로 판단된다. 본 연구의 결과, 다른 모형의 비해 RP/SP 결합모형의 적합도가 가장 크게 나타난 것도 이와 같은 논리를 뒷받침해 준다. 따라서 RP/SP 결합모형이면서 잠재변수를 적용한 Model 6이 본 연구에서 가장 합리적인 모형이다.

<표 7> 모형추정 결과

모형구분		RP모형				SP모형				RP/SP 결합모형				
		Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5		Model 6		
변수	수단	추정치	t-값	추정치	t-값	추정치	t-값	추정치	t-값	추정치	t-값	추정치	t-값	
대안특유상수	RP T	4.461	7.51***	3.738	5.93***					4.588	18.71***	4.024	15.80***	
	SP T					4.169	10.86***	4.126	10.02***	4.741	19.72***	4.161	19.64***	
	SP W					4.276	11.06***	4.318	10.29***	5.918	15.74***	5.593	16.05***	
나이	T	-0.002	-0.19	-0.005	-0.41	0.002	0.31	0.000	-0.04	-0.002	-0.44	-0.005	-1.06*	
	W					0.000	0.02	0.001	0.08	-0.002	-0.48	-0.002	-0.29	
성별	T	-1.556	-8.54***	-1.246	-6.29***	-0.514	-4.46***	-0.268	-2.20***	-1.329	-17.01***	-1.046	-12.89***	
	W					-0.489	-4.20***	-0.210	-1.68**	-0.908	-10.54***	-0.590	-6.84***	
직업유무	T	0.085	0.42	0.073	0.33	0.199	1.43*	0.075	0.52	0.122	1.52**	0.068	0.77	
	W					0.221	1.58**	0.026	0.17	0.147	1.51**	0.014	0.14	
학생	T	1.674	3.24***	1.346	2.41***	0.629	2.19***	0.261	0.87	1.304	6.72***	0.964	4.56***	
	W					0.490	1.68**	0.028	0.09	0.872	4.23***	0.440	2.11***	
교육수준	T	-0.187	-1.07*	0.046	0.24	-0.243	-2.06***	-0.201	-1.60**	-0.198	-2.88***	-0.007	-0.10	
	W					-0.257	-2.15***	-0.234	-1.82**	-0.158	-1.96***	-0.047	-0.57	
개인 속성 변수	결혼유무	T	-0.155	-0.33	-0.022	-0.04	0.100	0.34	0.225	0.72	-0.087	-0.47	0.078	0.38
	W					-0.101	-0.33	0.043	0.14	-0.208	-1.00	-0.060	-0.28	
자녀유무	T	-0.851	-1.87**	-0.795	-1.59**	-0.282	-0.97	-0.308	-1.02	-0.761	-4.18***	-0.778	-3.88***	
	W					0.103	0.35	-0.059	-0.19	-0.185	-0.90	-0.298	-1.42*	
가구원수	T	-0.408	-2.42***	-0.238	-1.30*	-0.310	-2.81***	-0.247	-2.12***	-0.384	-5.80***	-0.248	-3.41***	
	W					-0.114	-1.03	-0.076	-0.64	-0.122	-1.55**	-0.036	-0.44	
미취학 아동수	T	0.260	1.05*	0.234	0.86	-0.084	-0.52	-0.144	-0.86	0.141	1.45**	0.111	1.03	
	W					-0.357	-2.14***	-0.406	-2.32***	-0.176	-1.45**	-0.189	-1.53**	
자가용 보유대수	T	-2.259	-7.26***	-1.738	-5.24***	-1.418	-6.81***	-1.130	-5.15***	-2.195	-17.19***	-1.735	-12.88***	
	W					-1.307	-6.26***	-1.040	-4.68***	-1.599	-12.67***	-1.145	-8.95***	
주거형태	T	-0.321	-1.87**	-0.338	-1.83**	0.235	2.09***	0.246	2.07***	-0.176	-2.59***	-0.201	-2.72***	
	W					0.057	0.50	0.037	0.30	-0.253	-3.14***	-0.295	-3.61***	
소득	T	-0.080	-2.23***	-0.044	-1.09*	-0.060	-2.72***	-0.051	-2.15***	-0.066	-4.79***	-0.036	-2.34***	
	W					-0.052	-2.31***	-0.050	-2.06***	-0.047	-2.85***	-0.030	-1.76**	
대안 속성 변수	차내시간 All	-0.021	-3.30***	-0.023	-3.27***	-0.030	-12.07***	-0.030	-11.84***	-0.030	-13.44***	-0.033	-13.36***	
	접근시간 T&W	0.014	1.20*	0.003	0.21	-0.046	-13.61***	-0.048	-13.84***	-0.032	-9.57***	-0.040	-10.61***	
	A	-0.001	-1.83**	-0.001	-1.79**	-0.011	-10.50***	-0.013	-11.02***	-0.001	-4.95***	-0.001	-4.70***	
	요금 T	-0.011	-2.92***	-0.008	-2.15***	-0.103	-14.97***	-0.106	-15.22***	-0.018	-9.63***	-0.015	-8.11***	
W					-0.121	-17.26***	-0.126	-17.35***	-0.115	-11.34***	-0.119	-12.33***		
잠재 변수	수상교통 우호적			0.066	0.78			0.291	5.75***			0.139	4.22***	
	W							0.726	13.45***			0.524	11.59***	
	환경 주의적			0.057	0.69			0.273	5.47***			0.123	3.78***	
	W							0.397	7.59***			0.241	6.35***	
	편안함 선호			-0.343	-4.07***			-0.378	-6.92***			-0.384	-11.32***	
	W							-0.366	-6.54***			-0.258	-7.02***	
	승용차 운전선호			-0.962	-9.04***			-0.479	-7.55***			-0.911	-20.28***	
	W							-0.505	-7.74***			-0.628	-13.58***	
	승용차 비선호			0.152	1.75**			0.090	1.67**			0.150	4.41***	
	W							0.185	3.36***			0.194	5.12***	
조급성			-0.097	-1.12*			-0.156	-2.86***			-0.115	-3.36***		
W							-0.245	-4.35***			-0.165	-4.32***		
규모계수(θ)	SP									0.766	14.46***	0.687	16.95***	
적합도	관측치수		1,000		1,000		5,000		5,000		10,000		10,000	
	LL(0)		-676.1		-676.1		-4807.4		-4807.4		-17329		-17329	
	LL(b)		-517.9		-457.1		-4230.5		-3993.5		-7079.1		-6565.8	
	ρ^2		0.234		0.324		0.120		0.169		0.591		0.621	
	$\overline{\rho^2}$		0.209		0.290		0.114		0.160		0.590		0.619	

주1) 수단구분은 A=승용차, T=일반대중교통, W=수상대중교통 임
 주2) *** : P-value<=0.05, ** : P-value<=0.15, * : P-value<=0.30
 주3) RP/SP 결합모형의 음영부분은 SP에만 포함된 변수에 대한 값으로, 동일한 scale로 비교를 하기 위해 추정된 계수에 규모계수 θ를 곱한 값임 (Hensher and Bradley, 1993)

잠재변수를 이용한 RP/SP 결합모형인 Model 6의 parameter 추정결과를 기반으로 한강 수상대중교통 도입에 따른 한강변 통행자들의 수단선택행태를 분석하면 다음과 같다. 대안특유상수 추정결과에서 볼 수 있듯이 한강변 통행자들은 승용차에 비해 대중교통과 수상 대중교통을 일반적으로 선호한다. 특히 여성, 학생, 미취학 아동이 없는 가구, 자가용을 보유하지 않은 가구와 소득이 낮은 가구일수록 승용차에 비해 친환경적 수단인 대중교통과 수상 대중교통을 선호한다. 한강변 통행자들은 친환경 수단을 선택하는데 있어 차내시간에 비해 접근시간에 더 민감하며 수상 대중교통의 경우 다른 수단에 비해 요금에 크게 민감함을 알 수 있다.

또한 잠재적으로 수상교통에 우호적인 성향의 사람, 환경주의적 성향의 사람, 승용차 운전을 비선호하는 사람의 경우 수상대중교통을 선호하는 것으로 분석되었다.

VI. 결론

통행자들의 잠재된 통행행태는 수단선택행태에 유의한 영향을 미친다. 즉, 개인의 사회경제적 속성과 수단의 속성으로 충분히 설명하지 못하는 수단선택행태를 잠재변수를 통해 추가적인 설명이 가능함을 의미한다. 본 연구에서 수행한 방법인 잠재통행행태를 설문조사하고 이를 요인분석하여 잠재변수를 정의하는 것은 통행자들의 잠재된 통행행태를 계량화하는데 효과적이다. 또한 연구결과, 잠재변수를 반영할 경우 수단선택모형에 대한 적합도가 향상되므로 수단선택행태에 대해 더욱 정확하고 합리적인 분석이 가능함을 확인하였다.

RP모형과 SP모형의 유의한 변수가 서로 차이가 있었으며 이러한 차이는 개인속성변수와 수단속성변수 뿐만 아니라 잠재변수 즉, 잠재된 통행행태에서도 차이가 존재하였다. 따라서 새로운 수단에 대한 선택행태를 분석할 경우 다양한 행태적 관점에서 SP자료의 단점을 보완할 수 있는 RP/SP 결합모형이 적합함을 알 수 있다.

본 연구에서 추정된 모형을 서울시의 대중교통 활성화 정책에 활용한다면 다음과 같은 시스템 설계 혹은 정책에 대한 방향을 제시할 수 있다. 먼저 수상대중교통 우호적 성향, 환경주의적 성향, 승용차 운전 비선호 성향이 대중교통(수상대중교통 포함) 이용에 긍정적인 영향을 미치므로 시민들이 이와 관련된 성향을 포함하도록 홍보 및 교육정책을 실시하여야 한다. 이와 더불어 대중교통에 대한 접근 통행시간에 민감하다는 점을 미루어 볼 때, 차내시간 향상

정책보다는 headway의 간격을 줄이거나 배차간격의 정시성 확보 등 대기시간 감소 정책이 더욱 필요하다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 한계는 잠재변수를 이용한 모형이 집계적인 관점의 예측이나 장래예측 시 적용이 불가능하다는 점이다. 따라서 잠재변수를 집계적인 관점에서 반영하는 방법론, 장래예측 시 적용 방법론에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서 깊이 있게 다루지 않은 잠재행태를 이용한 다양한 정책분석 역시 향후연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김강수·조혜진(2006), "SP 조사설계 및 분석방법론", 보성각, pp.153~174.
2. 노형진(2007), "다변량분석 이론과 실제", 형설출판사, pp.84~147.
3. 정병두·김 현·황영기(2009), "급행철도 도입에 따른 전환수요 분석", 대한교통학회지, 제27권 제3호, 대한교통학회, pp.131~140.
4. Ben-Akiva M. and Morikawa T.(1990), "Estimation of Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions", Transportation Research Part A, Vol. 24A, pp.485~495.
5. Ben-Akiva M. et al.(1994), "Combining Revealed and Stated Preference Data", Marketing Letters 5:4, pp.335~350.
6. Ben-Akiva M. et al.(1999), "Extended Framework for Modeling Choice Behavior", Marketing Letters 10:3, pp.187~203.
7. Bradley M. A. and Daly A. J.(1991), "Estimation of Logit Choice Models Using Mixed Stated Preference and Revealed Preference Information", Paper presented to the 6th International Conference on Travel Behavior, Quebec, May 22~24.
8. Espino R., Ortuzar J. D. and Roman C.(2007), "Understanding Suburban Travel Demand: Flexible Modelling with Revealed and Stated Choice Data", Transportation Research Part A, Vol. 41, pp.899~912.
9. Hensher D. A. and Bradley M.(1993), "Using

- Stated Response Choice Data to Enrich Revealed Preference Discrete Choice Models”, Marketing Letters 4:2, pp.139~151.
10. Hensher D. A., Louciere J. and Swait J. (1999), “Combining Sources of Preference Data”, Journal of Econometrics 89, pp.197~221.
 11. Johansson M. V., Heldt T. and Johansson P. (2006), “The Effects of Attitudes and Personality Traits on Mode Choice”, Transportation Research Part A, Vol. 40, pp.507~525.
 12. Morikawa T. (1989), “Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis”, PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, M.I.T.
 13. Morikawa T. (1994), “Correcting State Dependence and Serial Correlation in The RP/SP Combined Estimation Method”, Transportation, Vol. 21, pp.153~165.
 14. Sohn K. and Yun J. (2009), “Separation of Car-dependent Commuters from Normal-choice Riders in Mode-choice Analysis”, Transportation, Vol. 36, pp.423~436.
 15. Train K. E. (2003), “Discrete Choice Methods with Simulation”, Cambridge University Press, pp.156~160.

✉ 주 작성자 : 김진희

✉ 교신저자 : 정진혁

✉ 논문투고일 : 2010. 3. 4

✉ 논문심사일 : 2010. 3. 31 (1차)

2010. 5. 3 (2차)

2010. 6. 29 (3차)

✉ 심사판정일 : 2010. 6. 29

✉ 반론접수기한 : 2010. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필