

■ 論 文 ■

SP 순위 자료별 오차를 고려하는 순위로짓 모형 추정에 관한 연구

Development of Scaled Explosion Logit Model Considering Reliability of Ranking Data

김 강 수

(교통개발연구원 연구위원)

조 혜 진

(한국건설기술연구원 선임연구원)

목 차

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| I. 서론 | 2. 순위자료의 확장유형별 분석 |
| II. 기존문헌고찰 | VI. 규모화 순위로짓모형의 추정 |
| III. SP 순위자료 | 1. 이론적 고찰 |
| IV. 순위로짓(Exploded Logit) 모형의 정립 및 추정 | 2. 규모화 추정방법론 |
| V. 순위자료의 신뢰성 분석 | 3. 규모화 순위모형의 추정결과 |
| 1. 순위자료별 분석 | VII. 결론 |
| | 참고문헌 |

Key Words : SP, 순위데이터(Ranking Data), 순위로짓(Exploded Logit), 신뢰성(Reliability), 규모화(Scaling)

요 약

SP 순위자료는 모든 선택 가능한 대안을 일괄적으로 제시하고 응답자에게 대안을 선호 순서대로 평가하게 하는 방법으로, 표현되는 순위는 선택대안 효용의 크기 순서를 의미한다. 그러나 순위자료는 선택대안이 많은 경우 응답자가 제시하는 순위가 낮을수록, 혹은 하위 순위부터 응답자가 적는 경우를 고려하는 경우 순위가 높을수록 순위자료의 신뢰성은 떨어진다.

본 논문의 목적은 SP 순위자료를 이용하여 SP 순위모형을 추정하는 방법론에 대해서 살펴보고 각 순위별 자료가 갖고 있는 신뢰성을 분석하고 이를 극복하는 방법론을 제시하는데 있다. 이를 위해 화물운송수단 SP 순위자료를 활용하여 기존 순위확장(exploded logit) 모형이 내재하는 가정, 즉 각 순위별 자료의 오차는 동일하고 독립적인 선택자료로 변환할 수 있다는 가정을 검증하고 순위가 내려갈수록, 혹은 올라갈수록 각 순위자료가 갖는 오차의 정도를 반영하여 이를 극복할 수 있는 방법론을 제시한다. 또한, 순위자료를 단순 선택자료로 확장시키는 경우 몇 순위까지 확장시키는 것이 타당한가를 실증적으로 제시한다.

분석결과, SP 순위자료에서는 순위가 낮아지면서 상이한 오차 및 의사결정 행태가 존재해 순위자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하여 순위로짓모형으로 단순 추정하면 편의가 발생할 수 있음을 보여주었다. 또한 본 연구의 사례 분석 결과 2순위까지만 단순 독립적인 선택 자료로 확장이 가능하며, 2순위를 초과하면서 선호자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하는 것은 순위자료를 추정하는 데 있어 편의를 발생시키는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 특정 사례에 대해서 분석된 결과이지만 적용된 방법론은 일반적인 방법론으로써 SP 순위자료의 신뢰성을 제고시키는 분석 방법론에 대한 일조할 것으로 기대한다.

I. 서론

SP 순위자료는 모든 선택 가능한 대안을 일괄적으로 제시하고 응답자에게 대안을 선호 순서대로 평가하게 하는 방법으로, 표현되는 순위는 선택대안 효용의 크기 순서를 의미한다. SP 순위자료는 최소한 3가지 이상의 대안이 존재할 때 사용되는 선호표현방법으로, 평가자료와 마찬가지로 심리학(Krantz and Tversky, 1971)에서 시작된 선호표현 방법이다. 모든 선택 가능한 대안을 일괄적으로 제시하고 응답자에게 선호 순서대로 가상적인 대안을 평가하게끔 하는 방법으로, 표현되어지는 순위는 선택대안 효용의 크기 순서를 의미한다.

순위자료는 선택자료와는 달리 선호를 표현할 때 모든 선택대안이 동시에 고려할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 9개의 선택대안이 존재하는 경우 응답자는 이 9개의 대안을 동시에 고려하여 선호를 표시한다. 그러나 순위자료의 한계는 선호표현방법인 순위가 선택대안에 대한 "판단"만을 의미하며 현실에서 나타나는 선호와는 직접 연결되지 않다는 점이다. 예를 들어, 대안 중 순위 3과 4로 평가된 대안은 현실에서는 선택되지 않은 대안임에도 불구하고 순위자료 분석 시 순위 3의 대안이 순위 3과 4 대안 중에서 선택하는 대안으로써 분석을 실시한다. 그러나 이러한 가정은 선택대안의 수가 많은 경우 응답자가 제시하는 순위가 낮을수록, 혹은 하위 순위부터 응답자가 적는 경우를 고려하는 경우 순위가 높을수록 순위자료의 신뢰성은 떨어진다.

본 논문의 목적은 SP 순위자료를 이용하여 SP 순위모형을 추정하는데 있어서 순위자료의 단순확장으로 인한 모형의 신뢰성 문제를 분석하고 이를 극복하는 방법론을 제시하는 데 있다. 이를 위해 화물운송수단 SP 순위자료를 활용하여 기존 순위확장(exploded logit) 모형이 내재하는 가정, 즉 각 순위별 자료의 오차는 동일하고 따라서 독립적인 선택자료로 변환할 수 있다는 가정을 검증하고 순위가 내려갈수록, 혹은 올라갈수록 각 순위자료가 갖는 오차의 정도를 반영하여 이를 극복할 수 있는 방법론을 제시한다. 또한, 순위자료를 단순 선택자료로 확장시키는 경우 몇 순위까지 확장시키는 것이 타당한가를 실증적으로 제시한다.

다음 장에서는 SP 순위자료를 사용한 국내외의 연구사례를 살펴보고 이중 순위자료의 신뢰성 분석 및 이에 대한 극복방안관련 연구를 살펴본다. III장에서는 본 연구

의 자료수집을 위한 SP 조사내용 및 순위자료의 내용을 설명하고 IV절에서는 순위자료를 이용한 모형 추정결과를 제시한다. V절에서는 추정된 순위로짓모형을 통해 순위자료의 신뢰성에 대한 분석을 실시하며 VI절에서는 각 순위자료가 갖고 있는 오차를 반영하는 규모화된 순위로짓모형을 추정한다. 마지막으로 결론 부분에서는 연구의 요약 및 종합, 정책적 제언을 담는다.

II. 기존문헌고찰

Beggs et al(1981)이 전기자동차의 잠재선호평가에 순위자료를 이용한 로짓모형을 도입한 것이 최초 순위자료관련 연구이다. 그 이후 1980년대 초반에는 선택자료보다는 순위자료가 많이 사용되었다.

그러나 기존 순위자료를 이용한 많은 연구가 단순히 순위자료를 선택자료로 변환하여 모형을 구축하는데 그치고 순위자료 자체에 대한 신뢰성 분석이나 이를 개선하는 모형 개발은 이루어지지 못하였다. 특히, 국내의 대부분의 연구는 SP기법을 단순히 적용하는 데 그쳐 순위자료에 대한 신뢰성 분석은 전무한 형편이다.

진교남(1997)은 SP 순위자료를 이용하여 교통수단 선택모형을 구축하고 그 결과를 제시하였는데 다항선택 SP 모형의 적중률은 1위인 선택에 대해서는 70%내외 이나 2위인 경우에는 적중률이 급격히 떨어져 50%정도의 적중률을 보인다고 주장하고 2순위 이하의 자료를 모형정산에 사용하는 경우 유의해야 한다고 주장하였다. 그러나 보다 면밀한 순위자료의 신뢰성 분석과 이를 극복하는 방안은 제시하지 못 하였다. 강혜영(2000)은 서울시를 대상으로 노상, 노외, 불법주차에 대한 SP 순위 조사를 실시한 후 주차선택모형을 구축하였다. 순위자료를 선택자료로 단순 확장한 순위로짓 모형의 추정결과 주차관련 변수인 탐색시간과 주차후도보시간이 "양(+)"의 부호값을 나타내어, 적절치 못한 것으로 판단하여 "1순위" 자료만을 선택자료로 가정하고 후 주차선택모형을 추정하였다. 즉, 강혜영(2000)도 순위자료를 단순 확장하는 경우 편이가 발생할 수 있음을 보여 주었으나 이에 대한 원인과 극복방안에 대한 논의는 이루어지지 못하였다.

국외의 경우 국내와는 달리 보다 구체적 접근이 이루어 졌다. Chapman and Staelin(1982)은 응답자의 순위선호는 가상적인 상황이므로 순위자료인 경우 다소간의 오차가 포함될 수밖에 없음을 지적하고 특히

순위가 낮아질수록 이러한 오차는 증가 할 수 있다고 주장하였다. 따라서 응답자의 순위는 각 응답에 의해 선호 순서로 구축 되어져야만이 신뢰성 있는 모형이 구축될 수 있다고 주장하였다. 그리고 다항로짓모형의 가정을 요구하지 않는 새로운 접근방법을 제시하였으나 계산과정이 매우 복잡해 실제 적용상에 있어서 비현실적으로 판명되었으며 이 연구 또한 각 순위자료별 오차를 반영하는 모형은 개발하지 못 하였다.

III. SP 순위자료

본 연구에서 사용되는 SP 순위자료는 영국의 영불터널(Channel Tunnel) SP 자료이다. 영국과 프랑스를 연결하는 해저터널인 영불터널을 대상으로 화물운송수단선택에 SP 조사가 실시되었다. 특히, 영국과 유럽 대륙으로 수송되는 일관수송화물(unitised freight)을 대상으로 화물운송업자, 제조업자, 화물중개업자에 대해서 SP 화물운송수단 선택 조사를 실시하였다¹⁾. 이 SP 조사에서는 화물운송수단으로 Le Shuttle²⁾ 화물열차, 또한 기존의 선박(Ferry)보다는 훨씬 서비스가 개선된 새로운 선박(New Ferry), Le Shuttle 화물열차를 이용하지 않고 내륙화물기지에서 기존의 화차를 이용하여 운송하는 수단인 철도(Through Rail) 수단을 선택대안에 포함시켰다. 이러한 4가지 선택대안(Ferry, New Ferry, Le Shuttle, Through Rail)은 수송비용(Cost)과 도착시간(Arrival Time), 그리고 정시도착성(Reliability)³⁾의 변수로 설명되었으며 화물운송업자, 제조업자, 화물중개업자에 대해서 각 수단에 대한 SP 순위 선호가 조사되었다. <표 1>은 해당 자료 수집시 응답자에게 보여준 SP 질문의 예를 보여 주고 있다.

<표 1> SP 순위자료의 예

	수송비용	도착시간	정시도착성	순위
Ferry	100	2	98	4
New Ferry	50	5	98	2
Le Shuttle	50	2	98	1
Through Rail	50	2	98	3

IV. 순위로짓(Exploded Logit) 모형의 정립 및 추정

순위자료를 이용하여 추정하는 모형은 순위로짓(exploded logit)모형이다. 순위로짓모형은 순위선호와 선택선호와의 관계를 통해 전개되는 로짓모형으로 J 순위선호를 독립적인 선택선호로 전환하는데, J 순위의 선호자료 중 첫 번째 순위의 선택대안은 모든 선택대안 중에서 선택되고 두 번째 순위 선택대안은 그 첫 번째 순위의 선택대안을 제한 나머지 선택대안 중에서 선택되나, 앞의 선호와 독립적이며, 이하 J-1 순위 수단은 위의 선택대안을 제외하고 J-1 선택대안 중에서 선택되는 선호라고 가정한다.

즉, J가지 선택대안에 대한 순위선호를 이용한 확률(Pr(1,2,...J))은 식(1)과 같은 독립적인 J-1 선택선호를 이용한 선택확률로 확장 표현되며 이러한 선택확률은 식(2)처럼 로짓모형으로 표현이 가능하다.

$$Pr(1,2,\dots,J) = Pr(1\{1,2,3,\dots,J\}) \times Pr(2\{2,3,\dots,J\}) \times Pr(3\{3,4,5,\dots,J\}) \times \dots \times Pr(J-1\{J-1,J\}) = \prod_{j=1}^{J-1} Pr(j\{j,\dots,J\}) \quad (1)$$

여기서 Pr(1{1,2,3,...J})은 첫 번째 순위의 선택대안이 J 가지 선택대안 중에서 선택될 확률이다.

$$Pr_j(1,2,3,\dots,J | \beta) = \frac{\exp(V_j(X_j | \beta))}{\sum_{j=1}^{J-1} \exp(V_j(X_j | \beta))} \quad (2)$$

한편, 각 응답자 (p, p=1,2,3,...P)의 순위자료를 이용하여 위의 식 로짓모형의 파라메타 (β)를 추정하기 위한 로그우도함수는 식(3)과 같고, 파라메타를 추정하는 방법은 일반적인 로짓모형의 파라메타 추정방법인 최우추정법을 이용한다.

$$L(\beta) = \ln \sum_{p=1}^P [Pr_j(1,2,3,\dots,J | \beta)] \quad (3)$$

1) 자세한 사항은 Kim(1998)을 참조하기 바람.

2) Le Shuttle은 해저터널을 운행하는 화물철도 수단이다. Le Shuttle 화물열차는 화물을 실어 나르는 화차(Rail Wagon)가 연결되지 않고 화물자동차와 화물자동차 운전수를 동시에 운송한다.

3) 정시성은 정시도착성을 의미하는 것으로 정해진 도착시간보다 늦지 않는 비율을 말한다. 예를 들어 정시성 90%는 전체 수송에 정해진 도착시간보다 늦지 않은 경우가 90%임을 의미한다.

〈표 2〉 순위로짓모형 추정결과

설명변수	파라메타 추정값 (t 값)
수송비용	-0.0036(-2.4)
도착시간	-0.0220(-1.3*)
정시도착성	0.1069(3.7)
ASC(SH)	-0.1320(-1.5*)
ASC(RAIL)	-0.2836(-2.9)
L(B)	-1041.0876
p2	0.0145
관측수	996

주: *는 95% 신뢰도에서 설명변수가 유의하지 않음을 나타낸다.

ASC(SH) : Le Shuttle 수단특정상수

ASC(RAIL) : Through Rail 수단특정상수

위의 식들을 적용하는 경우, 본 연구처럼 4(n)개의 대안으로 이루어진 1개의 순위자료는 3(n-1)개의 독립적인 선택자료로 변환시킬 수 있다. 즉, 〈표1〉의 순위자료인 경우 1순위인 Le Shuttle은 이 수단을 포함한 4가지 선택대안에서 선택되었다고 가정할 수 있고, New Ferry는 Le Shuttle 대안을 제외한 3가지 선택대안 즉, Ferry, New Ferry, Through Rail에서 선택된 대안으로 가정할 수 있다. 마지막으로 Through Rail 대안은 위의 세 가지 대안 중 New Ferry를 제외한 Ferry와 Through Rail 중에서 선택된다고 볼 수 있다. 총 332명을 대상으로 조사된 순위자료의 모형을 추정한 결과는 〈표 2〉와 같다. 어떤 수단 대안의 효용은 수송비용, 도착시간, 정시도착성을 일반 설명변수로 구성되며 Ferry와, New Ferry는 비교적 비슷한 수단임을 고려하여 Shuttle과 Through Rail 수단에 대해서만 수단특정상수(ASC: Alternative Specific Constants)를 도입하였다.

추정결과 수송비용과 도착시간의 변수가 음의 기호, 정시도착성의 변수가 양의 기호를 나타내서 수단 선택시 이들 변수의 증가 또는 감소가 수단선택의 효용을 각각 감소 또는 증가시킨다는 점을 설명하고 있다. 한편, 수단특정 상수는 모두 음의 부호를 나타내고 있어 모든 조건이 같을 때 Le Shuttle과 Through Rail을 선호하지 않는 것으로 분석되었다.

V. 순위자료의 신뢰성 분석

순위자료는 응답자가 각 대안에 대한 선호 또는 효용을 순위로 표현하는 자료이다. 따라서 선택에 대한

정보뿐만 아니라 각 대안에 대한 순위 정보를 포함한다. 그러나 이러한 순위자료는 질문수, 또는 대안수가 많은 경우 순위가 낮아질수록 (혹은, 하위 순위부터 응답자가 선호를 표현하는 경우 높아질수록) 순위자료의 신뢰성은 감소할 수 있다. 왜냐하면 응답자들이 가장 선호하는 대안을 뽑는 것은 비교적 용이하지만 순위가 낮아질수록 점차 선호하는 대안에 대한 판단이 어렵기 때문이다(Bradley and Daly, 1994). 이 점은 가장 선호하지 않은 대안에 대해 먼저 순위를 정하고 나서 점차 선호하는 대안으로 순위를 정하게 되는 경우에도 동일하다.

응답자는 이러한 순위에 대한 판단의 어려움 외에도 각 순위로 선호를 표현할 때 상이한 의사결정 행태를 보이기도 한다. 예를 들어 신교통수단이 포함된 대안이 있는 경우 1순위는 각 교통수단의 시간과 비용의 상쇄관계를 고려하지 않고 신교통수단의 도입을 장려하기 위해 의도적으로 새로운 수단에 대해서 1순위를 부여하고, 2순위부터 선호부터는 각 교통수단의 시간과 비용의 상쇄관계를 활용하여 순위를 정하기도 한다.

본 장에서는 순위자료확장에 따른 문제점 및 이를 극복하는 방법을 제시한다. 즉, 순위자료 신뢰성의 개념을 순위의 증가 또는 감소시 오차의 증감으로 정의하고 각 순위자료인 Set 1, Set 2, Set 3 자료⁴⁾의 오차정도를 비교 분석한다. 만약 순위가 낮아지거나 증가하면서 순위자료의 신뢰성이 변함이 없다면 Set 1, Set 2, Set 3로 추정한 결과는 서로 비슷해야 한다.

1. 순위자료별 분석

〈표 3〉은 순위자료별로 추정한 모형 결과이다. 먼저 1순위, 2순위된 대안을 제외하고 Set 3의 자료로 모형(Set 3 모형)을 추정한 결과 수송비용, 도착시간의 부호가 모두 양의 부호를 나타내서 효용극대화 이론과 부합하지 않는 경우를 보여 주고 있어 Set 3 자료가 오차가 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. 그러나 수송비용에 대한 파라메타 추정치의 t값이 통계학적으로 유의하게 제시되어 있으므로 Set 1 또는 Set 2 자료와는 다른 의사결정 행태 (예를 들어 통행시간이 긴 수단을 선택하는 경우)가 개입되었을 가능성도 있음을 알 수 있다.

4) Set 1 선택자료는 1순위 대안이 선택되는 자료를 말하며, Set 2 선택자료는 1순위 대안을 제외한 나머지 대안 중에서 2순위 자료가 선택되는 자료를 말하고 Set 3 선택자료는 1순위, 2순위 대안을 제외한 나머지 대안 중에서 3순위 자료가 선택되는 자료이다.

〈표 3〉 순위자료별 모형 추정결과

설명변수	Set 1 모형	Set 2 모형	Set 3 모형
수송비용	-0.0116(-4.7)	-0.0038(-1.5*)	0.0078(2.7)
도착시간	-0.0792(-2.6)	-0.0149(-0.5*)	0.0247(0.7*)
정시도착성	0.1237(2.7)	0.0800(1.6*)	0.1370(2.4)
ASC(SH)	0.0072(0.1*)	-0.4029(-2.6)	0.0065(0.0*)
ASC(RAIL)	-0.1111(-0.7*)	-0.5618(-3.2)	-0.1682(-0.9*)
p2	0.0307	0.0274	0.0615
No. of Obs	332	332	332

주: *는 95% 신뢰도에서 설명변수가 유의하지 않음을 나타낸다.

〈표 4〉 순위자료 모형별 파라메타 비교

설명변수	Set1 vs. Set2	Set2 vs. Set3	Set1 vs. Set3
수송비용	-2.20*	-3.02*	-5.09*
도착시간	-1.51	-0.86	-2.23*
정시도착성	0.64	-0.75	-0.18
ASC(SH)	2.40*	-2.65*	0.00
ASC(RAIL)	1.90	-1.54	0.23

주: *는 95% 신뢰도 수준에서 통계적으로 유의적인 차이가 있음을 나타낸다.

특히, ASC(SH)의 부호는 순위 Set 자료별로 상이한 결과를 보여주고 있다. 예를 들어 Set 1 자료의 모형은 Le Shuttle을 선호하는 것으로 나타나고 있으나, Set 2 자료의 모형은 Le Shuttle을 선호하지 않는 것으로 나타난다. Set 3 자료의 모형은 Set 1과 비슷한 결과를 보여 주고 있다. 이는 Set 1 자료인 경우 신고 통수단인 Le Shuttle의 도입을 지원하기 위한 응답자의 의도적인 편향이 있음을 보여주고 있다.

각 모형의 세부적인 비교를 위해 각 모형별 파라메타의 동일성 검정을 실시하였다⁵⁾. 95% 신뢰 수준에서 검정치가 ±1.96 이상이면 각 모형별 파라메타는 동일하지 않다. 〈표 4〉는 순위자료별로 추정된 모형의 파라메타를 비교한 검정치를 보여 주고 있다. 분석결과 Set 1과 Set 2 자료간의 수송비용 및 ASC(SH)의 파라메타 추정치가 통계적으로 유의하게 차이가 있음을 보여주고 있다. 즉 순위자료별로 상이한 의사결정 행태가 존재할 수 있음을 보여주고 있다.

2. 순위자료의 확장유형별 분석

앞서 언급한 바와 같이 순위자료는 순위가 낮아지면 서 오차가 증가할 수 있기 때문에 순위자료를 선택자료로 단순 확장하여 추정하면 신뢰성 없는 결과가 산출된다. 따라서 본 절에서는 순위자료를 어느 순위까지 확

〈표 5〉 자료확장 유형별 모형 추정결과

설명변수	Set 1 + Set 2	Set 2 + Set 3	Set 1 + Set 2 + Set 3
수송비용	-0.0079(-4.5)	0.0060(3.4)	-0.0036(-2.4)
도착시간	-0.0467(-2.2)	0.0446(2.0)	-0.0220(-1.3*)
정시도착성	0.1014(3.0)	0.0212(0.6*)	0.1069(3.7)
ASC(SH)	-0.1799(-1.8*)	-0.1703(-1.7*)	-0.1320(-1.5*)
ASC(RAIL)	-0.3222(-2.7)	-0.2393(-2.0)	-0.2836(-2.9)
L(β)	-810.0741	-807.6044	-1037.7714
p2	0.0184	0.0211	0.0145
No. of Obs	664	664	996

주: *는 95% 신뢰도 수준에서 설명변수가 유의하지 않음을 나타낸다.

장시키는 것이 모형의 적합도 측면에서 가장 우수한 결과를 산출할 수 있는지를 분석한다. 이를 위해 자료를 Set 1 + Set 2, Set 2 + Set 3, Set 1 + Set 2 + Set 3⁶⁾으로 조합하여 추정한 후 비교·분석한다. 만약 순위가 낮아지면서 오차의 변화가 없다면 위의 자료 군들로 추정된 결과는 동일해야 한다. 〈표 5〉은 Set 1 + Set 2, Set 2 + Set 3, Set 1 + Set 2 + Set 3 조합 모형의 추정결과이다.

〈표 5〉은 자료확장 유형별로 모형을 추정된 결과로 자료를 확장시 기존처럼 단순확장하는 데는 문제가 있음을 보여준다. 예를 들어 Set 2 + Set 3의 결과, 시간과 비용의 부호가 양의 부호를 나타내 기존의 추정결과와는 완전히 다른 결과를 보여준다. 또한, Set 1 + Set 2 + Set 3의 추정결과는 Set 1 + Set 2의 모형보다 적합도가 낮게 나오는데 이는 Set 3의 자료가 포함되었기 때문이다. 따라서 순위로짓모형 추정에서 Set 3 자료의 추가는 오히려 전체 순위자료 결과의 신뢰성을 떨어뜨린다. 오차만을 고려할 때 순위 확장시 2순위까지만 독립적인 선택자료로 확장하는 것이 바람직하다.

Set 1 + Set 2과 Set 2 + Set 3, Set 1 + Set 2 + Set 3의 추정결과가 통계적으로 동일함을 검증하기 위해 각 순위자료의 개별적인 변수의 파라메타를 비교하는 대신에 모형의 전체 결과를 비교하기 위해 log-likelihood 검정을 실시하였다. 예를 들어 Set 1 과 Set 2를 개별적으로 추정한 모형과 이를 조합한 Set 1 + Set 2의 모형결과가 동일한 지를 검증하기 위해 식(4)와 같은 log-likelihood 검정통계값을 사용한다.

5) 귀무가설은 "Set 1과 Set 2 모형의 두 파라메타의 차이가 근사적으로 정규 분포하며 동일하다"이다.

6) Set 1 + Set 2 + Set 3 조합모형은 단순 순위 확장모형이며 〈표 2〉의 결과와 동일하다.

〈표 6〉 자료확장 유형별 모형 비교 검정결과

비교	검정 통계값	자유도	χ^2	귀무가설 채택여부
Set1+Set2 대 Set1, Set2	17.90	5	15.1	기각
Set2+Set3 대 Set2, Set3	47.10	5	15.1	기각
Set 1 + Set2 + Set3 대 Set1, Set2, Set3	43.08	10	23.2	기각

$$-2(L_R - L_U) \tag{4}$$

여기서 L_R 즉, Set1 + Set 2 (restricted) 모형의 log-likelihood값은 -810.0741 이고 L_U 즉, Set 1(unrestricted) 모형의 log-likelihood 값과 Set 2 (unrestricted) 모형의 log-likelihood 값의 합은 -801.1265 이다. 위의 경우에서 log-likelihood 검정 통계값은 $-2(L_R - L_U) = 17.90$ 이며 자유도 5)와 99% 신뢰도 수준에서 χ^2 검정통계값은 15.1이므로 귀무가설(8)은 기각되어 Set 1과 Set 2를 개별적으로 추정한 모형과 이를 조합한 Set 1+Set 2의 모형결과는 동일하지 않다. 〈표 6〉은 각 자료군들의 모형결과를 검정한 결과이다. Set 2와 Set 1의 모형결과와 Set 1 + Set 2의 모형결과, Set 2와 Set 3의 모형결과와 Set 2 + Set 3의 모형결과, Set 1, Set 2, Set 3의 모형결과와 Set 1 + Set 2의 모형결과가 상이함을 보여준다. 따라서 순위확장로짓모형에서 자료군별로 상이한 오차 및 의사결정 행태가 존재해 순위자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하여 순위로짓모형으로 추정하면 편의가 발생할 수 있음을 보여준다.

V. 규모화 순위로짓모형의 추정

지금까지는 순위자료가 오차를 포함하고 있는지, 포함하고 있다면 어느 정도의 순위까지 분석에 포함해야 하는지를 살펴보았다. 본 장에서는 이렇게 순위가 낮아지거나 높아지면서 오차가 변하는 경우에 이를 극복하는 방법론을 살펴보고 이를 적용하여 유의한 자료확장 단계를 제시하고자 한다.

한편, 순위자료별 오차를 고려하는 방법은 다양할 수가 있다. 한 순위자료의 오차를 기준으로 다른 순위자료의 오차를 규모화하는 방법이 있는 반면, 개별적으

로 각 순위자료 오차의 절대적인 크기를 분석하여 각각의 자료별로 규모화 하는 방법이 있을 수 있다.

본 연구에서는 순위로짓모형을 이용하나 로짓모형인 경우 각 자료의 오차의 절대적인 크기와 분산을 구할 수가 없고 단지 대안간의 상대적인 값으로만 표현되므로 상대적인 오차의 크기를 고려한 규모화 하는 방법을 적용한다.

1. 이론적 고찰

위에서 설명한 바와 같이 Set 1, Set 2, Set 3는 각각 다른 오차를 갖고 있기 때문에 이를 단순하게 혼합하여 추정하는 것은 모형추정에 편의를 발생시킨다. 따라서 이렇게 오차가 다른 자료들을 혼합하는 통계학적인 방법 중 오차가 많은 자료를 “규모(scale)”화하는 방법론을 본 절에서 살펴 보고 이를 적용하고자 한다.

규모화방법은 오차가 다른 두 종류의 자료를 혼합하기 위해서 각 자료의 오차의 분산이 동일하게 되도록 어느 한 자료를 다른 자료와 상대적인 규모인자(scale factor)를 곱하여 추정하는 방법이다. 설명의 편의상 오차가 다른 Set1과 Set2의 자료들을 혼합하는 방법론을 제시하며 이는 모든 경우에 확장 가능하다

Set 1 자료로 이루어진 대안 i 의 효용을 U_i^{Set1} , Set 2 자료로 이루어진 대안 i 의 효용을 U_i^{Set2} 라고 하면 각 대안의 효용은 관측효용 V_i^{Set1} , V_i^{Set2} 과 비관측효용(오차) ϵ_i^{Set1} , ϵ_i^{Set2} 으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 U_i^{Set1} &= \Omega_{Set1} V_i^{Set1} + \epsilon_i^{Set1} \\
 U_i^{Set2} &= \Omega_{Set2} V_i^{Set2} + \epsilon_i^{Set2}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서 ϵ_i^{Set1} 와 ϵ_i^{Set2} 의 확률분포가 IID Gumbel 분포를 한다고 가정하는 경우 어떤 대안 i 를 선택할 확률은 각각 식(6)과 같은 로짓모형으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 P_i^{Set1} &= \frac{\exp(\Omega_{Set1} V_i^{Set1})}{\sum_j \exp(\Omega_{Set1} V_j^{Set1})} \\
 P_i^{Set2} &= \frac{\exp(\Omega_{Set2} V_i^{Set2})}{\sum_j \exp(\Omega_{Set2} V_j^{Set2})}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

7) (Set 1 모형의 파라메타수 + Set 2 모형의 파라메타수) - (Set 1+Set 2 (restricted) 모형의 파라메타수)
 8) 귀무가설은 “Set 1과 Set 2를 개별적으로 추정한 모형의 결과와 이를 조합한 Set 1 + Set 2의 모형 결과는 동일하다”이다. 귀무가설은 기각한다는 것은 응답자가 1순위, 2순위 선호를 나타내면서 오차가 증감하거나 상이한 의사결정 방법을 적용한다는 의미로 해석할 수 있다.

여기서, Ω_{Set1} 와 Ω_{Set2} 는 로짓모형의 분산규모모수로서 변수의 파라메타와 분리하여 추정하기가 불가능하기 때문에 일반적으로 "1"로 가정하나 각각 식(7)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\Omega_{Set1} = \frac{\pi^2}{6 \delta^2_{Set1}}, \quad \Omega_{Set2} = \frac{\pi^2}{6 \delta^2_{Set2}} \quad (7)$$

여기서, δ^2 는 효용오차의 분산을 가리킨다.

이제 Set 1 자료와 Set 2 자료의 오차 차이를 고려하자. 만약 Set 1 자료가 Set 2 자료보다 분산이 작다고 판단되는 경우 오차는 각 자료의 분산계수에 반영되며 $\delta^2_{Set2} \geq \delta^2_{Set1}$ 로써 표현할 수 있다. 즉 Set 1 자료의 분산은 Set 2 자료의 분산에 일정한 수(scale)를 곱함으로써 식(8)과 같이 표현된다.

$$\delta^2_{Set1} = \mu^2 \delta^2_{Set2} \quad (8)$$

따라서 Set 2 자료의 분산규모모수는 다음과 같이 표현된다.

$$\Omega^2_{Set2} = \frac{\pi^2}{6} \times \frac{\mu^2}{\delta^2_{Set1}} = \Omega^2_{Set1} \cdot \mu^2 \quad (9)$$

$$\therefore \Omega_{Set2} = \Omega_{Set1} \cdot \mu \quad (10)$$

이렇게 표현된 Set 2의 분산규모모수를 식(5)에 대입하고, 분산규모모수 Ω 는 설명변수 파라메타와 구별하여 추정될 수 없으므로 $\Omega_{Set1} = 1$ 로 하면 Set 1 과 Set 2의 효용은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$U_i^{Set1} = V_i^{Set1} + \epsilon_i^{Set1},$$

$$U_i^{Set2} = \mu V_i^{Set2} + \epsilon_i^{Set2} \quad (11)$$

여기서, 파라메타 μ 는 Set 2 자료와 Set 1 자료의 분산 차이를 설명하는 규모인자가 된다. 즉 Set 2 자료의 관측효용 변수에 규모인자 μ 를 곱해줌으로써 Set 1 자료와 동일한 분산이 되므로 자료 혼합이 가능해진다.

2. 규모화 추정방법론

본 절에서는 규모인자 μ 와 변수의 파라메타를 추정

하는 방법론에 대해서 살펴보고 이 중 본 연구에 적용할 방법을 선택하도록 한다. 모형추정은 ALOGIT 소프트웨어(Daly(1992))를 사용한다. 규모인자를 추정하는 방법에 따라 순차적 방법과 동시적 방법이 있다.

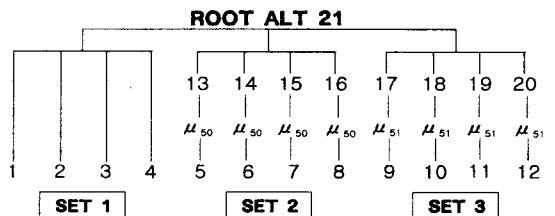
1) 순차적 방법

순차적 방법의 추정 방법과 순서는 다음과 같다.

- STEP 1 : Set 1 자료와 Set 2 자료를 각각 개별적으로 이용하여 로짓모형을 구축한 후 자료별로 파라메타를 추정한다.
- STEP 2 : Set 2 자료를 이용해 추정된 각 독립변수의 파라메타 값(P01, P02, P03, P91, P92, P93)을 Set 1 자료의 각 독립변수에 곱하고, 이 곱한 값을 더하여 대안별로 새로운 관측효용값(U')을 구한다. 즉 U' = P01×수송비용(Set 1) + P02×도착시간(Set 1) + P03×정시도착성(Set 1) + P92×ASC(SH)(Set 1) + P93×ASC(RAIL)(Set 1)을 계산한다.
- STEP 3 : 마지막으로 Set 1 선택자료를 이용하여 로짓모형을 추정하는 데 설명변수는 위의 구축된 관측효용값이며 이때 추정되는 파라메타가 바로 규모인자이다. 이때 규모인자의 값은 $\mu = \frac{\delta_{Set2}}{\delta_{Set1}}$ 이다. 즉, $\delta_{Set1} = \frac{\delta_{Set2}}{\mu}$ 이다.
- STEP 4 : 추정된 규모인자를 이용하여 Set 2 설명변수에 $\frac{1}{\mu}$ 을 곱하여 새로운 설명변수값을 생성하고 이를 Set 1 자료와 단순 혼합하여 추정한다.

2) 동시적 방법

동시적 방법은 네스티드(nested 혹은 tree) 로짓모형을 이용하는 것으로 Set 1, Set 2 모형의 각 변수를 구분하여 실제로 존재하는 것의 2배가 되는 변수를 갖



(그림 1) 순위자료를 분석하기 위한 가상적인 TREE 구조

는 인위적 구조를 구성한 후 규모인자 μ 와 각 설명변수별 파라메타들을 동시에 산출하는 방법이다. <그림 1>과 같이 4가지 대안으로 각각 구성된 Set 1, Set 2, Set 3 자료가 있는 경우를 가정하고 TREE 구조를 구성한다.

이때 Set 2 자료의 최대평균효용(Expected Maximum Utility: EMU)은 식(12)와 같다(Ben-Akiva and Lerman, 1985).

$$\mu EMU = \mu \ln \sum_i \exp(V_i^{Set2}) \quad (12)$$

이때 각 Set 2 하위계층에는 Set 1 자료에 대해서 한가지 하위계층으로 TREE 구조가 되었으므로 $\mu EMU = \mu V_i^{Set2}$ 가 되며, EMU의 파라메타 μ 가 바로 Set 1 자료에 대한 Set 2 자료의 규모인자가 된다. 이때 μ 는 일반적인 TREE 모형이 갖는 제한, 즉 1보다 작은 값이 아닌 Set 1 자료와 Set 2 자료의 효용 오차비율에 따라 1보다 큰 값이 추정될 수 있다. 만약 μ 가 1보다 크다면 Set 2 자료가 Set 1자료보다 오차가 적다는 것을 의미한다.

위에서 제시된 두 가지 방법중 순차적 방법은 파라메타 추정에 있어 동시적 방법보다는 비효율적이며 두 방법의 추정결과는 기본적으로 동일하기 때문에 본 연구에서는 동시적 방법을 이용하여 모형을 추정하였다(김강수·조혜진(2003)).

3. 규모화 순위모형의 추정결과

동시적 방법을 이용하여 각 순위자료별 오차를 반영하는 다양한 모형을 추정하였다. 먼저, <표 7>의 Base

모형인 경우, <표 2>에서 제시된 순위자료를 단순 확장한 순위로짓모형이며, Scaled 1 모형인 경우 Set 1을 기준으로 하여 Set 2와 Set 3 자료의 규모인자 및 설명변수의 파라메타를 추정한 결과이다. 즉 Scaled 1 모형에서는 Set1, Set2, Set3 자료가 각각 상이한 오차를 갖고 있는 것으로 가정했으며 Set1 자료의 오차 정도와 상대적으로 Set2, Set3 자료를 규모화하여 추정한 결과이다. Scaled 2인 경우 Set 1과 Set 2을 기준으로 하여 Set 3 자료의 규모인자와 설명변수의 파라메타를 추정한 결과이다. 여기에서는 Set1과 Set2 자료인 경우 동일한 오차를 갖고 있지만, Set3 자료인 경우 Set1과 Set2 자료와는 상이한 오차를 갖고 있음을 가정하여 Set3 자료를 Set1과 Set2 자료의 오차 정도 차이만큼 규모화하여 추정된 모형이다. 마지막으로 Scaled 3인 경우 Set 3 자료를 제외하고 Set 1 자료를 기준으로 하여 Set 2 자료의 규모인자와 설명변수의 파라메타를 추정한 결과이다. 즉, 앞서 언급한 대로 Set3 자료인 경우 신뢰성에 문제가 있다고 여겨지므로 이를 제외하여 Set2 자료를 Set1 자료를 기준으로 규모화 하여 추정한 모형이다. 따라서 추정된 모든 규모인자의 파라메타 값이 "1"이면 기준 자료와는 동일한 오차를 갖고 있는 것으로 해석된다. <표 7>은 동시적 방법을 이용하여 추정한 규모화된 순위로짓모형 결과이다.

추정결과 Scaled 1 모형에서 추정된 규모인자의 값이 1보다 모두 크나 통계적으로 1과 유의적인 차이가 있음을 보이지 않는다. 즉, 분석결과 순위가 낮아지면 오차의 증가가 통계적으로 유의하지 않다는 것을 보여준다. 그러나 Set 1과 Set 2을 기준으로 하는 Set 3의 규모인자인 경우 통계적으로 유의적인 차이가 보

<표 7> 동시적 방법 추정결과

		Base	Scaled 1	Scaled 2	Scaled 3
설명변수	수송비용	-0.0036(-2.4)	-0.0000(0.0*)	-0.0040(-0.8*)	-0.0106(-3.7)
	도착시간	-0.0220(-1.3*)	-0.0008(-0.1*)	-0.0253(-0.7*)	-0.0681(-2.2)
	정시도착성	0.1069(3.7)	0.0353(-1.5*)	0.1120(2.9)	0.1272(2.8)
	ASC(SH)	-0.1320(-1.5*)	-0.0606(-1.3*)	-0.1487(-1.3*)	-0.1502(-1.1*)
	ASC(RAIL)	-0.2836(-2.9)	-0.1050(-1.5*)	-0.2958(-1.9*)	-0.3064(-2.0)
Statistics	L(β)	-1041.0876	-1039.4277	-1041.0827	-808.4160
	No. of Obs	996	996	996	664
규모인자 (μ) (t-stat w.r.t.1)	Set 1	-	1.000(base)	1.000(base)	1.000(base)
	Set 2	-	2.997(1.1)	1.000(base)	0.5439(1.3)
	Set 3	-	3.839(1.2)	0.8741(0.1)	-

주 : *는 95% 신뢰도 수준에서 설명변수가 유의하지 않음을 나타낸다.

주 : 규모인자의 t 값은 통계적으로 0이 아니라 1과 얼마나 다른지를 나타내며 만약 통계적으로 1 보다 작게 추정된다면 기준자료보다 더 많은 오차를 포함하고 있는 것을 의미한다.

이지 않으나 1보다는 작은 0.8741을 나타내 Set 3 자료에 오차가 많음을 나타내고 있다. 또한 이러한 Set 3 자료를 제외하고 Set 1 자료를 기준으로하여 Set 2 자료를 규모화하여 추정한 결과를 볼 때 규모인자가 1보다 작으므로 Set 3 자료는 오차가 많은 자료로 판단된다. 결론적으로 2순위를 초과하는 선호자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하는 것은 순위자료를 추정하는 데 있어 편의를 발생시키는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 순위자료의 경우 2순위까지만 확장하는 것이 바람직 할 것으로 판명되었다.

Ⅶ. 결론

SP 순위자료는 모든 선택 가능한 대안을 일괄적으로 제시하고 응답자에게 대안을 선호 순서대로 평가하게 하는 방법으로, 표현되는 순위는 선택대안 효용의 크기 순서를 의미한다. 최소한 3가지 이상의 대안이 존재할 때 사용되는 선호표현방법으로, SP 선택자료와는 달리 선호를 표현할 때 모든 선택대안이 동시에 고려된다는 장점이 있다. 그러나, 선택대안이 많은 경우 순위가 낮을수록 (혹은 높을수록, 하위 순위부터 응답자가 적는 경우도 고려하는 경우) 순위자료의 신뢰성에 대해 의문이 제기될 수 있다. 본 연구에서는 SP 순위자료가 갖고 있는 신뢰성에 대한 문제점과 이를 극복하는 방법을 제시하였다.

분석결과, SP 순위자료에서는 순위가 낮아지면서 상이한 오차 및 의사결정 행태가 존재해 순위자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하여 순위로짓모형으로 단순 추정하면 편의가 발생할 수 있음을 보여주었다. 또한 본 연구의 사례 분석 결과 2순위까지만 단순 독립적인 선택 자료로 확장이 가능하고, 2순위를 초과하면서 순위가 증가하면서 초과 선호자료를 독립적인 선택자료로 단순 확장하는 것은 순위자료를 추정하는 데 있어 편의를 발생시키는 것으로 나타났다. 따라서 만약 1개의 질문에서 9 순위까지 선호를 매기는 SP 질문인 경우 무한정 8개의 독립적인 자료로 확장하기 보다는 순위자료의 신뢰성 문제로 2순위까지만 확장시켜 분석함이 타당한 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 특정 사례에 대해서 분석된 결과이지만, 적용된 방법론은 일반적인 방법론으로써 SP 순위자료의 신뢰성을 제고시키는 분석 방법론에 대해 일조할 것으로 기대한다.

본 연구의 결과는 순차적인 자료의 오차의 구조를 고려하고 신뢰성 있는 모형을 추정하는 데는 유용하나 복잡한 자료간의 오차의 상대정도를 분석하고 이를 고려하는 모형을 추정하는 데는 한계가 있을 수 있으며 이에 대한 추후 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 강혜영(2000), "선호의식자료를 이용한 주차선택 행태모형개발에 관한 연구", 한양대학교 환경대학원 석사학위 논문.
2. 김강수(2001), "Stated Preference 조사설계 및 분석방법론에 대한 연구(2단계)", 최종보고서, 교통개발연구원.
3. 김강수·조혜진(2003), "Error Component 방법을 이용한 RP-SP 결합모형 개발", 대한교통학회지, 제21권 제2호, 대한교통학회, pp.119~130.
4. 진교남(1997), "교통수단선택모형의 추정에 이용되는 선호의식 자료의 유효성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사논문.
5. Barbera, S. and P.K. Pattanaik(1986), "Falmagne and the Rationalizability of Stochastic Choice in Terms of Random Orderings", *Econometrica*, Vol.54, No.3, pp.707~715.
6. Beggs, S.S. Cardell, and J. Hausman (1981), "Assessing the Potential Demand for Electric Cars", *Journal of Econometrics*, Vol.16, pp.1~19.
7. Ben-Akiva, M. and Lerman, D.(1985) "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand", MIT Press, Cambridge.
8. Bradley, M. A. and Daly, A. J.(1994) "Uses of the Logit Scaling Approach in Stated Preference Analysis", *Transportation* Vol.21, pp.167~184.
9. Chapman R. G. and Staelin, R. G. (1982) "Exploring rank ordered choice set data within the stochastic utility model", *Journal of Marketing Research* Vol.19, pp. 288-301.
10. Daly, A. J. (1992) "ALOGIT 3.2 User's Guide, Hague Consulting Group", The

- Hague.
11. Kim, K. S. (1998) "A Behavioural Approach to Freight Transport Model Choice", Institute for Transport Studies, University of Leeds. Ph.D Thesis.
 12. Krantz, D.H. and Tversky(1971), "A Conjoint Measurement Analysis of composition rules in psychology", Psychological Review, (78) pp.151~169.
 13. Luce, R.D. and Suppes, P.(1965) "Preference, Utility, and Subjective Probability", Handbook of Mathematical Psychology 3, R.D. Luce(ed), John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.294~410.

✉ 주 작 성 자 : 김강수

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 4

논문심사일 : 2004. 11. 23 (1차)

2004. 12. 10 (2차)

심사판정일 : 2004. 12. 10

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30