

# 서울시 지하철 이용객의 환승행태에 관한 연구

- 선호의식(SP) 및 현시선호(RP) 분석을 이용 -

## A Study On Transferring Behavior of Seoul Subway Riders Using Stated Preference and Revealed Preference Analyses

양 창화

(서울시립대학교 교통공학과 대학원)

손 의영

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

### 목차

I. 서론	1. 선택경로 및 대안경로 구축
1. 연구배경 및 목적	2. 모형의 추정결과
2. 연구범위 및 방법	IV. SP 및 RP 모형의 검증 및 비교·평가
II. 선호의식(SP) 분석	1. 모형의 검증
1. 조사설계 및 자료분석	2. 모형의 비교·평가
2. 모형의 추정결과	V. 결론 및 제언
III. 현시선호(RP) 분석	참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

서울시 지하철은 전체통행량의 약 30%를 담당하고 있는 주요 대중교통수단으로, 지하철을 이용한 통행의 65.3%가 1번 이상의 환승을 하고 있다. 이러한 환승은 교통 네트워크에서는 불가피하게 발생하는 교통활동의 하나이지만, O-D 간 경로선택시 통행저항(travel impedance)으로 작용을 하여 이용객들의 경로선택시 큰 변수가 되고 있다.

그러나 지금까지 경로선택시 환승의 영향에 대한 직접적인 연구가 이루어진 사례는 거의 없었으며, 수단선택모형의 경우는 통행시간을 '차내 시간(in-vehicle time)'과 '차외 시간(out of vehicle time)<sup>1)</sup>'만으로 구분하여 환승의 영향을 통행비용에 제대로 반영할 수 없었다.

따라서 환승저항에 기인하는 수요의 변화를 분석하지 못하여 수요를 과다추정하는 경우가 많

았으며, 환승편의시설의 제공이 가져오는 수요 증진효과를 판단하지 못하는 한계가 있었다.

이러한 문제로 인해 철도노선의 타당성 분석시 편익에 비해 비용이 과소추정됨으로 인해 실제 사업성이 떨어지는 대안노선이 타당한 노선으로 선택되는 오류를 범하고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 경로선택에 대한 환승의 영향을 분석하고, 이를 계량화하여 시간가치를 추정함으로써 지하철 노선계획시 반영할 수 있도록 하고자 한다. 또한 장애에 환승의 영향을 최소화하는 노선계획이 이루어질 수 있도록 유도하고자 한다.

### 2. 연구범위 및 방법

본 연구는 서울시 지하철 이용객을 대상으로 하며, SP분석을 위한 설문은 '99년 9월 조사를 실시하였으며 RP분석은 '97년 서울시 교통센서스 자료를 토대로 분석하였다.

1) 차외시간(out of vehicle time)에는 접근시간(access time), 대기시간(waiting time), 환승시간(transfer time), egress time이 포함된다. 지하철 경로 선택시, 접근시간, 대기시간, egress time은 지하철 시스템적 측면에서 정해져 있는 시간이므로 선택의 여지가 없는 할 수 없는 반면 환승시간 및 환승횟수는 선택하는 경로에 따라서 달라질 수 있다.

지하철 네트워크상에서 O-D간 최단경로를 찾기 위해서는 불가피하게 환승을 고려해야 하지만, 반대로 환승으로 인해 사람들이 반드시 최단경로를 선택하는 것은 아니다. 따라서 환승이 경로선택에 어떠한 영향을 미치는지를 서울시 지하철 네트워크를 대상으로 환승횟수(number of transfer), 환승시간(time of transfer), 그리고 에스컬레이터 유무 측면에서 분석한다.

이를 위한 방법론으로는 개별행태모형의 하나인 로짓모형을 이용하여 선호의식(SP)분석과 현시선호(RP)분석을 각각 수행하며, 구축된 모형의 계수값을 비교, 평가함으로써 환승으로 인한 영향을 계량화한다. 그리고 로짓모형을 구축하기 위해서 ALOGIT 프로그램을 사용한다. 먼저 SP분석은 SP자료를 구축하기 위해 실험 계획법의 하나인 직교배열표(Tables of orthogonal arrays)를 사용하여 설문지를 작성한다. 구축된 자료를 토대로 통행특성별로 모형을 구축한다.

다음으로 RP분석의 경우는 교통센서스 자료를 토대로 이용객이 선택한 경로의 특성을 파악한다. 그리고 대안경로는 환승 비용을 고려할 수 있는 최단경로알고리즘(Dijkstra vine)을 이용하여, 각각의 O-D에 대한 최단경로 및 차선경로로 구성한다. 구축된 자료를 토대로 통행특성별로 모형을 구축한다.

그리고 SP 및 RP 분석을 통해 구축된 모형은 적정성을 검증하기 위해서 논리성, 설명력, 적용가능성 측면에서 결과를 평가하며, 두 모형의 특성을 비교·평가한다.

## II. 선호의식(SP) 분석

### 1. 조사설계 및 자료분석

#### 1) 조사설계

로짓모형을 이용한 선호의식분석을 위해서 먼저 경로선택에 영향을 미치는 요인으로 '차내시간', '환승횟수', '환승시간', '에스컬레이터 유무'를 설정하고, 각 변수의 수준을 결정하였다. 환승횟수가 나머지 변수들에 미치는 영향이 크므로 환승횟수에 따라서 변수의 수준수를 <표 1>과 같이 고려하였다.

차내시간의 경우, 각 수준의 간격을 5분으로 설정한 것은 지하철 이용객이 통행시간을 인식하는 최소단위로 5분을 가정하였기 때문이다.

4가지 변수중 2개의 변수가 각각 2수준계와 5

수준계를 형성하고 있는 자료 형태로 환승의 수에 따라 통행시간 및 환승시간이 제약되기 때문에 총 실험가능 조합수는  $4 \times (3 \times 3 \times 2 + 5 \times 5 \times 2) = 272$ 개이다.

<표 1> 변수 및 수준 설정

변 수	수 준
환승횟수	· 1회, 2회
차내시간	· 환승1회-30분, 35분, 40분 · 환승2회-40분, 45분, 50분, 55분, 60분
환승시간	· 환승1회-5분, 8분, 10분 · 환승2회-8분, 10분, 15분, 20분
에스컬레이터 유무	· YES, NO

이와 같은 다인자요인실험법에서는 주효과 이외에 인자간의 교호작용의 상세한 정보를 얻을 수 있지만, 모든 인자의 수준조합에 대해 1회 이상의 실험을 행하기 때문에 인자의 수에 비례해서 실험횟수가 증가하게 된다. 실험횟수의 증가는 계산에 필요한 시간과 비용 문제와 함께 실험대안 선정시 각 인자와 수준의 조합을 균일하게 하기에 곤란한 문제를 내포한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 2수준계 및 5수준계를 응용한  $L_{50}(2^4 \times 5^4)$ 형 직교배열표를 이용하여 50개의 시나리오를 작성하였다. 이 중에서 대안간 효용차가 존재하지 않는 시나리오 및 논리적 결함이 있는 시나리오를 제거하고 최종적으로 20개의 시나리오를 선택하였다.

대안간 변수의 변화정도에 따라 난이도를 고려하여 20개 시나리오를 5개의 설문유형으로 분류하였다.

#### 2) 자료분석

본 연구에서 선정된 설명변수를 이용하여 경로선택에 관해 설정한 효용함수 형태는 다음과 같다.

$$U_i = \text{EXP}(V)$$

$$V = \beta_1 \times \text{INTIME} + \beta_2 \times \text{TTIME} + \beta_3 \times \text{TNUMBER} + \beta_4 \times \text{ESCAL}$$

여기서, INTIME : 차내시간

TTIME : 환승시간

TNUMBER : 환승횟수

ESCAL : 에스컬레이터 유무

이렇게 설정된 효용함수에서 지하철 이용자가

특정 경로를 선택할 확률은 이항로짓모형의 두 가지 경로선택의 효용에서 특정 경로 선택에 대한 효용을 나눈 값과 같으며, 효용함수내 독립변수의 계수 추정에는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation Method)를 사용한다. SP자료를 구축하기 위해서 초기설문으로 255명을 대상으로 조사를 하였으며, 하나의 설문유형별로 각각 4개의 유효한 자료를 생성하므로 5가지 설문유형에 대해서 모두 1020개의 자료를 구축하였다. 이 중에서 자료가 누락된 3개의 데이터를 제외한 1017개를 대상으로 ALOGIT 프로그램을 사용하여 분석하였다. 초기자료를 토대로 분석한 결과는 각 계수의 우도비( $\rho^2$ )가 0.0382로서 이는 Hague Consulting Group에서 제시하는 낮은 우도비(0.05~0.1)에 미치지 못하는 값이며, 적중률은 이항선택의 경우 80% 이상으로 설정하고 있으나 미치지 못하는 수준이다.

<표 2> 조사자료 분석결과 비교

구분	초기조사	보정후	보완조사후
intime	-0.094(-5.2)	-0.158(-4.9)	-0.184(-7.4)
tttime	-0.161(-5.3)	-0.270(-5.1)	-0.313(-7.3)
tnumber	-1.045(-5.3)	-1.631(-6.0)	-1.881(-8.8)
escal	0.226(2.0)	0.406(2.7)	0.368(2.7)
적중률(%)	59.68	68.82	71.62
L(0)	-704.931	-353.505	-461.636
L( $\beta$ )	-678.010	-315.446	-395.685
$\rho^2$	0.038	0.108	0.143
$\bar{\rho}^2$	0.037	0.105	0.139
N	1017(255명)	510(255명)	666(325명)

주 : ( )는 t-통계량

이에 대한 원인으로 2~5개의 변화치를 포함하는 4가지 변수의 조합을 한 대안으로 하는 이항선택의 문제에서, 2가지 대안에서 4변수 모두 다른 값이 주어질 경우 이에 대한 이해도가 떨어져서 명확한 선호를 제시하지 못한다고 가정한다.

이런 가정을 토대로 20개의 시나리오 중에서 두가지 대안에 대한 선호가 명확하지 않아 분산이 크게 나타나는 시나리오를 설문유형별로 각각 2개씩 소거하였으며, 나머지 10개의 시나리오를 대상으로 분석한 결과, <표>에 나타나는 바와 같이 초기조사 자료를 대상으로 한 결과에 비해 우도비( $\rho^2$ ) 및 적중률이 크게 향상되었다.

그리고 유형별로 추정된 계수값 중에서 일부 변

수의 부호조건이 맞지 않는 30대와 5·60대를 중심으로 설문을 추가적으로 실시하여, 100명의 설문응답자로부터 400개의 유효데이터를 추출하였다. 이 데이터를 기존의 보정후 자료와 합해서 재조정과정을 거쳐 최종적으로 666개의 유효데이터를 생성하였다. 이를 토대로 분석한 결과가 기존의 결과에 비해 우도비 및 적중률이 향상되었다.

## 2. 모형의 추정결과

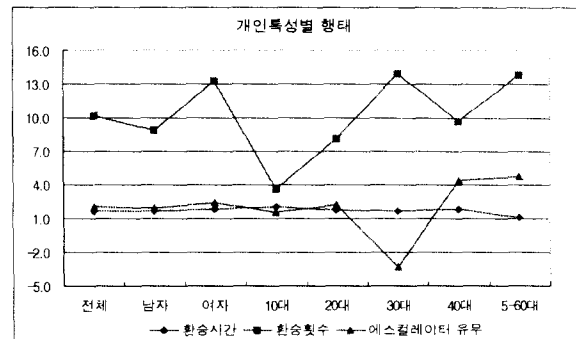
이상의 방법을 통해서 모형의 적정성을 향상시킨 결과 <표>에 제시된 바와 같이 보완조사후 분석결과가 가장 잘 추정하는 것으로 산출되어, 본 연구에서는 이 모형을 채택하였다. 666개(325명)의 SP 자료로 분석된 이항로짓모형의 유틸리티 함수는 다음과 같은 선형방정식으로 나타난다.

$$U_i = \text{EXP}(V)$$

$$V = (-0.184) \times \text{INTIME} + (-0.313) \times \text{TTIME} + (-1.881) \times \text{TNUMBER} + (0.368) \times \text{ESCAL}$$

이 함수를 토대로 유형별로 추정된 결과는 다음과 같다.

먼저 개인특성별로 나타나는 환승행태를 살펴보면, 성별에서 여자가 남자에 비해 평가의 대상인 세가지 측면에서 모두 더 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다. 또한 연령별로도 전반적으로는 나이가 증가함에 따라 수치가 커지고 있다.



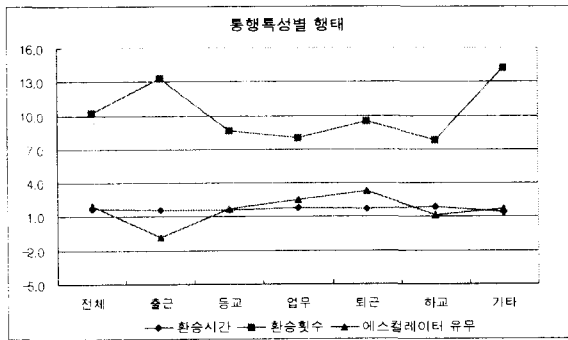
주 : X축은 차내시간 대비 계수값

<그림 1> 개인특성별 환승행태

환승시간에 대해서는 개인특성별로 크게 차이가 나타나지는 못하지만 다른 두가지 조건에

대해서는 반응특성이 명확하게 구분되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해서 여자가, 또한 나이가 증가함에 따라 환승에 대한 저항이 커짐을 알 수 있다.

통행특성별로 나타나는 행태를 살펴보면 출근 통행과 기타(여가, 친교, 오락)통행이 환승횟수에 굉장히 민감하게 반응하고 있다. 이는 연령별 행태특성과 관련이 있는 내용으로 나이가 증가함에 따라 환승에 대한 저항이 커지므로 출근통행에 있어서도 다른 통행에 비해 환승에 대한 저항이 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 에스컬레이터 유무에 대해서는 퇴근통행 및 업무통행이 민감하게 반응하고 있다.



<그림 2> 통행특성별 환승행태

### III. 현시선호(RP) 분석

#### 1. 선택경로 및 대안경로 구축

##### 1) 선택경로 구축

서울시 교통센서스 자료중 지하철 관련 통행을 추출하여 각각의 O-D에 대해서 통행시간, 환승시간, 환승횟수를 산정하였다. 센서스 자료상의 통행시간, 환승시간이 설문응답자가 직접 작성한 데이터로 실제 통행시간과는 차이가 나기 때문에 이를 무시하기로 하였다.

이에 대한 해결방안으로 현재 운행되고 있는 조건을 그대로 반영하기 위해서 지하철공사 및 도시철도공사에서 제공하는 운행시간을 직접 입력하였으며, 환승시간은 서울지하철안내 홈페이지(www.websubway.co.kr)에서 제공하는 지하철 최단경로상의 환승시간을 참조하여 적용하였다. 환승시간은 환승방향별로 다르게 나타나므로 모든 방향에 대해서 고려하였다.

에스컬레이터 유무는 환승이 2회 이상일 경우, 에스컬레이터가 설치된 역과 그렇지 못한 역으로 경로가 구성되는 경우는 이를 표현하는 방

법이 애매하며, 환승방향별로 설치유무가 다르게 나타나고 있는 현실을 네트워크상에 반영하여 최단경로 탐색시 이를 고려하도록 하는 데에는 한계가 있기 때문에 모형을 구성하는 변수에서 제외시켰다.

이들 자료를 토대로 개별 O-D의 통행시간 및 환승시간을 산정하였으며, 환승횟수는 이용자가 응답한 수를 그대로 입력하였다.

#### 2) 대안경로 구축

##### (1) network 구성

본 연구에서는 현실여건을 그대로 반영하기 위해 현재 운행중단중인 합정-당산구간의 링크를 제외시켰으며, 한 링크를 공유하고 있는 을지로4가-동대문운동장(2호선, 5호선) 구간과 회기역-성북(1호선, 국철) 구간에 대해서는 새로운 더미 노드를 구성하였다.

따라서 199개의 노드와 221개의 링크로 구성된 네트워크를 구축하였으며, 28개의 환승역에 대해서 각 방향별로 환승을 고려하여 모두 254개의 환승비용을 입력하였다.

##### (2) 최단경로 및 차선경로 구축

최단경로는 서울시 센서스 자료를 토대로 추출된 지하철 O-D에 대해서 통행시간, 즉 차내시간과 환승시간을 최소화하는 경로를 말한다. 닝쿨망 구조로 구축된 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 개개의 O-D에 대해서 네트워크상의 최단경로와 이때의 차내시간, 환승시간, 환승횟수를 탐색하였다.

차선경로는 최단경로가 통행자가 선택한 경로와 동일할 경우에 새로운 대안경로를 구축하기 위해서 만들어진다. 차선경로를 찾는 알고리즘은 개개 O-D의 최단경로상에서 환승이 이루어진 지점 및 방향을 추적하여 네트워크상에서 이 환승방향에 대한 환승비용을 무한대로 설정하여 다시 최단경로를 탐색하는 과정을 거침으로서 차선경로를 도출하였다.

이러한 과정을 통해서 구축된 최단 및 차선경로는 통행자가 실제로 선택한 경로와 비교하여 비현실적인 노선대안이 도출될 수 있으므로 선택경로와 대안경로를 비교하여 현실성이 없는 데이터, 특히 두 경로의 통행시간 차이가 환승횟수를 감안하여 비현실적인 데이터를 제외시켰다.

여기서 두 대안간 통행시간(차내시간+환승시간)의 차이를 20분으로 한정된 것은 SP 분석 결과

를 토대로 가정한 값이다.

## 2. 모형의 추정결과

이러한 자료보정 과정을 통하여 최종적으로 3,317개의 선택경로 및 대안경로 쌍을 구축하여 분석한 결과, 다음과 같은 선형함수식을 구하였다.

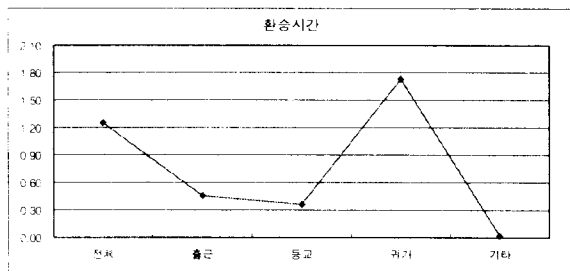
$$U_i = \text{EXP}(V)$$

$$V = (-0.470) \times \text{INTIME} + (-0.588) \times \text{TTIME} + (-5.439) \times \text{TNUMBER}$$

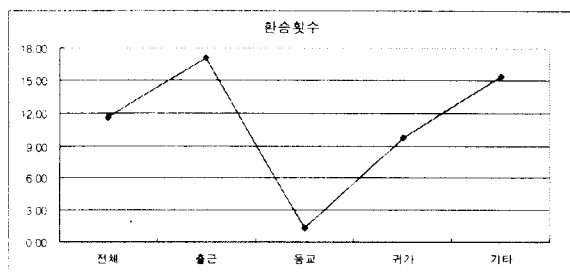
<표 3> RP 모형의 추정치

	전체	출근	등교	귀가	기타
intime	-0.470 (-21.6)	-0.506 (-12.9)	-0.449 (-6.6)	-0.441 (-12.6)	-0.457 (-4.8)
ttime	-0.588 (-7.4)	-0.233 (-1.3)	-0.163 (-0.5)	-0.761 (-7.8)	-0.011 0.000
tnumber	-5.439 (-13.3)	-8.613 (-8.2)	-0.587 (-3.1)	-4.307 (-7.9)	-6.992 (-2.7)
적중률	0.98	0.99	0.84	0.98	0.99
L(0)	-2,599.99	892.77	-230.82	-827.62	-126.85
L(β)	-296.32	-82.20	-26.60	-108.65	-14.58
ρ <sup>2</sup>	0.89	0.91	0.89	0.87	0.89
ρ̄ <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	3,317	1,288	333	1,194	183

학원, 업무, 업무를 마치고 복귀, 쇼핑, 여가·오락·친교 통행은 자료수가 부족하여 결과값이 추정되지 못했다.



<그림 3> 차내시간 대비 환승시간 계수값 비교



<그림 4> 차내시간 대비 환승횟수 계수값 비교

통행목적별로 계수값을 비교한 결과 환승시간에 대해서는 귀가통행시 환승시간을 최소화하는 경로를 선택하고 있는 것으로 나타났다. 환승횟수의 경우는 출근통행에서 특히 환승횟수에 대해서 민감한 것으로 나타났다.

## IV. SP 및 RP 모형의 검증 및 비교 평가

### 1. 모형의 검증

추정된 모형을 논리성, 설명력 및 적용가능성의 세가지 측면에서 검증을 하였다.

#### 1) 논리성

모형의 논리성은 산출된 파라메타의 보호조건과 통계검정(t 검정)에 의한 파라메타의 안정성을 의미한다. 파라메타의 부호는 변수값의 증가가 효용을 증가시키는가 감소시키는가를 나타내는 것이며, 부호가 일반상식과 역이되는 경우는 제외하게 된다.

본 모형의 경우 4개의 설명변수중 차내시간, 환승시간, 환승횟수는 음수(-)의 값을 가지며, 에스컬레이터 유무의 양수(+)의 값을 가지는 것이 타당하다.

SP 및 RP 모형의 파라메타 부호를 살펴보면 일반적인 경우와 같이 나타나고 있음을 알 수 있다.

한편 추정된 파라메타가 어느정도 안정되어 있는가를 판별하는데는 최우추정의 결과로부터 산출된 t값을 이용하여 t검정을 행한다. 일반적으로 자유도가 ∞인 경우, t값의 절대치가 1.960(2.576)보다 크면, 대응하는 변수는 통계적으로는 95%(99%)의 신뢰도로 선택확률에 영향을 주는 요인으로 볼 수 있다. 따라서 t값이 2를 넘으면 5%의 유의수준을 갖는 것으로 해석할 수 있다. 단, 설명변수로서 채택하는데는 통상 1.5정도를 넘으면 좋고, 전 모형의 실용면에서 채택여부를 판정하는 수가 많다(交通工學硏究會, 1993).

두 모형이 모두 t값의 절대치가 2를 초과하고 있으므로 95% 유의수준내에 포함되고 있음을 알 수 있다.

#### 2) 설명력

적중율은 개인의 이용선택 대안을 몇 % 적중시켰는가를 보여주는 것이지만 일반적으로 참고에 그친다. 반면 모형의 적합성을 나타내는 지

표로서는 우도비( $\rho^2$ )가 이용된다.

우도비는 선택확률의 분포를 어느정도 설명하는지를 나타내는데, 1에 가까울수록 모델의 적합도가 높다는 것을 표시하나 회귀분석의 경우와는 달리 0.2~0.4 정도라도 적합도는 충분히 높은 것으로 판단할 수 있다(飯田恭敬, 1992). SP 모형의 경우 우도비가 0.1091~0.5094으로, 대체적으로 1.5정도의 값을 가진다. 이는 Hague Consulting Group에서 제시하고 있는 낮은 값(0.05~1)보다는 높게 나타나므로 모형의 적합도는 충분히 높은 것으로 판단할 수 있다.

RP 모형은 우도비가 0.89로서 상당히 높게 나타나고 있다. 이는 현실적으로 선택경로와 대안경로의 효용이 명확하게 구분되기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

### 3) 적용가능성

모형의 적용가능성은 추정된 파라메타인 설명변수가 얼마나 현실을 잘 설명하고 있으며, 장애치가 예측가능한가 하는 점을 검토하는 것이다.

두 모형이 모두 다른 유사한 연구의 결과와 차내시간 대비 계수값을 비교해서 적절한 수치를 나타내고 있으므로 현실을 잘 반영하고 있다고 평가할 수 있다.

<표 4> 관련연구의 비교

구분	차내시간	환승시간	환승횟수	에스컬레이터 유무	비고
본 연구	-0.184	-0.303 (1.65)	-1.881 (10.22)	0.368 (2.0)	지하철
조 남건(1999)	-0.020	-0.035* (1.70)	-0.268 (13.20)	-	지하철
김 현외 2인(1999)	-0.254	-	-3.270 (12.89)	-	업 통 행
Daniel L. McFadden (1978)	-0.026	-0.054 (2.08)	-0.105 (4.05)	-	업 통 행
Central Transportation Planning Staff(1997)	-0.043	-0.099 (2.30)	-0.315 (7.33)	-	경전철
일본의 일반화비용	$\omega$ 원/분	$2\omega$ 원/분	10분/1회	-	철 도

주 : 괄호안은 계수값/차내시간

\* 전철의 접근시간 및 대기시간

## 2. 모형의 비교·평가

SP 및 RP 모형의 계수값을 비교하면 <표 5>와 같이 나타나는데, 두 모형의 데이터가 가지

는 특성으로 인해 계수값의 절대치는 큰 차이가 나지만 차내시간 대비 계수값은 비슷한 값을 나타내고 있다.

이 값을 통해서 지하철 이용객이 가상적인 상황에서뿐만 아니라 현실적으로도 경로선택시 차내시간보다 환승시간, 환승횟수를 우선적으로 고려하고 있음을 알 수 있다.

<표 5> SP 및 RP 모형의 계수값 비교

구분	차내시간	환승시간	환승횟수	에스컬레이터 유무
SP모형	-0.184	-0.313 (1.65)	-1.881 (10.22)	0.368 (2.0)
RP모형	-0.470	-0.588 (1.25)	-5.439 (11.57)	-

주 : ( )는 차내시간 대비 계수값

## V. 결론 및 제언

SP 및 RP 분석을 통해서 지하철 경로선택시 이용객들은 차내시간 보다 환승관련 변수에 대해서 더 민감하게 반응하고 있음을 밝혔다. 이를 통해서 향후 지하철노선의 타당성 분석시 환승에 대한 고려를 통해 보다 합리적인 노선대안을 선택할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

1. 박 성현, "응용실험계획법", 영지문화사, 1997
2. 조 남건, "승용차 보유자의 출근통행에서 혼잡통행료 부과가 교통수단선택에 미치는 영향에 관한 연구-SP 조사기법의 적용을 중심으로", 1992
3. 김 현, 오 세창, 최 기주, "통행목적별 수단별 통행시간가치산출 및 유의성 검증", 대한교통학회지 제17권 제1호, 1999년
4. Peter L. Watson, "The Value of Time: Behavioral Models of Modal Choice", 1974
5. K.M. Vaughin, "Experimental Analysis & Modeling of Sequential Route Choice", 1993
6. Morikawa, Ben-Akiva & Yamada, "Forecasting Intercity Rail Ridership Using Revealed Preference and Stated Preference Data", TRR, 1991
7. Central Transportation Planning Staff, "Transfer Penalties in Urban Mode Choice Modeling", 1997