

도시철도역사의 환승저항 모형 구축 연구

Modelling of Transfer Impedance of Urban Rail Station

김황배* · 최진희**

Kim, Hwang Bae · Choi, Jin Hee

Abstract

It is necessary to improve transfer impedance of Urban Rail Station station users in order to increase the usage of public transportation. This study constructed a model for calculating transfer impedance based on bodily sensational transfer time in Urban Rail Station stations and calculated transfer impedance on major Urban Rail Station stations in Korea. The study results show that the addition of 100 meter exterior walking distance increases 2 minute travel time, 100 meter interior walking distance increases 3 minute travel time, 100 stairways increase 4 minute travel time, and escalators decreases 1 minute travel time. The calculated transfer impedance based on bodily sensational transfer time in this study can be utilized as objective criteria to compare transfer conditions of different Urban Rail Station stations and to prioritize them for facility improvement. The calculated transfer impedance also can be used as facility guidelines for designing a new transit center.

Keywords : transfer impedance, urban rail station, transfer path, logit model, connectivity & transfer

요 지

본 연구는 도시철도 이용자가 환승센터에서 경험하는 불편함을 개선함으로써 대중교통 체계의 경쟁력을 높이고 효율성을 개선하기 위하여 전국의 주요 도시철도 역사를 대상으로 시설여건 물리적 요소들에 대한 보행자 편의성을 계량하여 환승저항을 산정하는 모형을 구축하고 이를 바탕으로 주요 도시철도 역사에 대한 환승저항을 산출하여 비교하였다. 그 결과 환승센터 외부보행거리 100m의 증가(감소)는 통행시간 2분의 증가(감소)와 같으며, 환승센터 내부보행거리 100m의 증가(감소)는 3분, 계단 100개의 증가는 약 4분의 통행시간 증가, 에스컬레이터 1대 설치는 약 1분의 통행시간 감소와 같음을 알 수 있었다. 체감시간으로 산출된 환승저항은 환승센터의 환승 여건을 비교하고 시설개선의 우선순위를 판단하는 데에 객관적 지표로 활용될 수 있으며, 신규 환승센터 설계 시 시설 가이드라인을 만드는 데에도 활용이 가능하다

핵심용어 : 환승저항, 도시철도역, 환승패스, 로짓모형, 연계환승

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 대중교통 활성화를 위해 도입된 많은 정책들 중에 환승요금 할인체계가 도입된 후 대중교통 이용자에게 경제적인 이익과 더불어 환승을 통해 목적지까지 가는 총 통행시간 절감과 대중교통 노선중대 효과를 주고 있다. 하지만 소프트웨어 측면에서의 발전에 비해 하드웨어 측면 즉, 물리적인 환승체계의 비효율성으로 인해 대중교통 이용자에게 여전히 대표적인 불편요소로 작용하고 있다.

현재 대중교통수단은 이용객이 출발지에서 목적지까지의 통행 중 환승과정에서 다수의 계단 및 긴 환승보행거리는 대중교통이 승용차에 비해 우위를 점하기가 매우 어려운 요인 가운데 하나로 작용하고 있다.

이러한 제약요소를 극복하기 위해 대중교통 이용자의 환승

불편을 최소화하여 주 교통수단과 연계교통수단간의 환승을 용이하게 할 수 있도록 환승체계를 효과적으로 개선한 환승센터의 필요성이 부각되고 있다.

환승 편의성 증대를 위해서는 대중교통 이용객의 환승센터 불편사항을 정확하게 파악해야하며, 따라서 환승센터의 환승패스에 존재하는 물리적 요소들에 대한 보행자 편의성을 계량화할 수 있는 객관적인 평가기준 마련이 필요하다.

이에 본 연구에서는 수도권 및 광역시에 위치한 도시철도 역사를 중심으로 이용수요가 많고, 시내버스, 택시, 승용차 등과 같은 연계교통수단 뿐 만 아니라 철도, 고속버스터미널 등이 연계수단으로 구축된 시설에 대하여, 이용자가 잠정적으로 인지하고 있는 물리적인 환승체계에 대한 마찰효과를 계량화함으로써 환승 여건을 비교하고, 시설개선의 우선순위 판단 및 신규 환승센터 설계 지침 제시에 활용할 수 있는 환승저항모형을 구축하고자 한다.

*정회원 · 남서울대학교 지리정보공학과 부교수 (E-mail: hbkim@nsu.ac.kr)

**남서울대학교 공간정보특성화대학원 지리정보공학 석사과정 (E-mail: jhchoi86@paran.com)

1.2 연구의 범위 및 방법론

대중교통 환승저항 및 수단선택에 대한 기존연구는 다음과 같다.

양창화·손의영(2000)은 환승횟수, 환승시간, 에스컬레이터 유무를 변수로 설정하여 각각의 변수에 대한 가치를 경로선택모형을 이용하여 차내시간 단위로 환산하여 제시하였으며, 차동득(2008) 등은 선릉역 이용자에 대하여 만족도 조사를 실시하였으며, 내부보행거리, 외부보행거리, 계단에 대한 만족도를 조사하여 환승저항을 추정하였다.

김혜란(2009)은 KTX 및 일반철도의 환승수단과 환승패스를 동시에 선택하는 의사결정모형을 개발하여 이를 바탕으로 환승을 구성하는 물리적 요소들로 인한 환승저항을 산정하였다.

조남건(1999)은 교통수단선택 의사를 조사하는 SP(선호의식)조사 기법을 이용하여 접근 및 대기시간, 요금, 혼잡통행료, 환승횟수에 대한 자료를 수집하고 로짓모형으로 교통수단의 분담률을 시장분할로 분석하였다.

이경재(2004)는 지하철 환승 역사를 구성하는 물리적 시설에 초점을 두고 수평이동거리, 계단의 수, 에스컬레이터 존재 여부 등에 의한 환승패널티를 추정하는 모형을 구축하였으며, 이를 이용하여 환승역의 이용편의정도를 평가할 수 있는 체감환승시간을 제시하였다.

Guo(2009)는 경로선택 접근법이 공간적 변수, 이동방향에 따른 요소들에 의한 효과를 분석하는 데에 수단선택이나 여타 접근방법에 비하여 유용하다고 하였다.

본 연구는 연구방법론 중 김혜란(2009)의 방법론을 적용하여 연계수단과 환승패스의 속성을 바탕으로 도시철도역 통행자의 의사결정과정 모형을 구축한다. 이를 통하여 유효한 환승저항요소들을 규명하고, 환승저항요소들에 대하여 체감환승시간으로 환산된 환승저항 산출 방법론을 이용하여, 국내 주요 도시철도 역사에 적용하였다.

2. 모형 정립

2.1 환승수단 및 패스선택 모형

환승 통행자들의 수단선택 메커니즘을 설명하기 위해 환승수단 및 패스 선택모형을 정립하였다.

환승수단 및 환승패스의 효용을 나타내는 V_{jim} 은 해당 수단으로 목적지까지의 차내 시간을 주요 요소로 하는 수단속성요소(MA_{jim})와 해당 수단으로의 환승에 이용하는 환승패스속성(PA_{jim}) 요소로 구성된다.

$$V_{jim} = MA_{jim} + PA_{jim} \quad (1)$$

MA_{jim} : 수단 j 의 속성에 의한 효용함수 부분

PA_{jim} : 수단 j 의 환승패스 속성에 의한 효용함수 부분

두 효용함수 부분은 각각 변수와 모수의 조합으로 이루어진다.

$$MA_{jim} = \alpha_1 MA_{1jim} + \alpha_2 MA_{2jim} + \dots + \alpha_k MA_{kij} \quad (2)$$

$$PA_{jim} = \beta_1 PA_{1jim} + \beta_2 PA_{2jim} + \dots + \beta_l PA_{lij} \quad (3)$$

α_k : MA의 k 번째 변수의 모수

β_l : PA의 l 번째 변수의 모수

PA_{jim} 은 환승패스 항목들 중에서 공선성의 우려가 있는 변수들은 제외한 변수의 조합이며, MA_{jim} 은 수단선택에 있어 주요 결정요인인 차내 시간(IVT)을 변수로 설정한다.

로짓모형의 모수추정은 최우도법(maximum likelihood method)을 사용하는 LIMDEP 패키지를 이용한다.

예를 들어 모형추정 결과 환승패스 항목 중 외부보행총거리(EXL), 계단수(ST), 실내보행총거리(INL) 에스컬레이터대수(ES)가 통계적으로 유의하게 추정되었다고 하면 위의 효용함수 식은 다음과 같다.

$$V_{jim} = \alpha IVT_{jim} + \beta_1 EXL_{jim} + \beta_2 INL_{jim} + \beta_3 ST_{jim} + \beta_4 ES_{jim} \quad (4)$$

IVT_{jim} : 환승수단 j 의 차내 시간

EXL_{jim} : 환승패스 j 의 외부보행거리(m)

INL_{jim} : 환승패스 j 의 실내보행거리(m)

ST_{jim} : 환승패스 j 의 계단수

ES_{jim} : 환승패스 j 의 에스컬레이터수

2.2 환승저항 모형

환승패스의 환승저항은 통행자가 인지하는 체감환승시간으로 산출하며, 이는 앞서 환승수단·환승패스 선택 모형에서 추정된 PA_{jim} 변수들의 IVT_{jim} 에 대한 한계대체율(marginal rate of substitution)을 이용한다.

여기서 한계대체율은 PA변수 한 단위의 상실을 보상할 수 있는 차내 시간의 양을 말하며 이는 체감시간의 의미를 가진다.

$$\omega_l = \beta_l / \alpha \quad (5)$$

ω_l : PA_l 변수의 IVT 에 대한 한계대체율

즉, 의사결정자에게 EXL 한 단위의 감소는 β_1/α (분)의 차내 시간이 감소되는 것과 동일한 효과를 가진다.

한계대체율을 이용하여 환승패스의 물리적 구성 요소들을 토대로 각 환승패스가 환승이용객들에게 어느 정도의 환승저항, 즉 체감시간을 가지는지를 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$TI_j = \sum_l \omega_l PA_{lj} = \omega_1 EXL_j + \omega_2 INL_j + \omega_3 ST_j + \omega_4 ES_j \quad (6)$$

TI_j : 환승패스 j 의 환승저항(분)

3. 도시철도역사의 환승저항 분석

3.1 대상지 선정 및 자료수집

2007년 기준 통계연보에 따르면 수도권과 광역시의 도시철도역사의 주요 여객 결절 점을 전국 약 548개소로 파악하고 있다. 이 중 국가기간 교통망의 환승센터로서 국가기간 교통계획 또는 지자체 계획이 확정되거나 예산이 확보된 시설을 기준으로 선정하였다. 선정된 조사대상지는 다음과 같다.

표 1. 조사대상 도시철도역

도시철도역 명	
사당역 도봉산역 금정역	북정역 인천터미널역

선정된 도시철도역사에 대하여 환승수단선택 현시선호(revealed preference:RP)조사 및 환승패스에 대한 물리적 요소에 대한 실측조사를 실시하였다. 환승수단선택 RP조사는 응답자의 선호의식이 실제 행동으로 나타난 선호양상을 의미하며 선호선호(stated preference:SP)조사는 조사자가 설계한 가상 상황에서 응답자가 보인 선호양상을 의미한다. 환승패스의 속성을 고려한 환승수단 선택에 있어 응답자는 독립변수인 에스컬레이터 수, 계단수 등의 물리적 요소를 일상생활에서 의식적으로 인지하여 의사결정에 반영하지 않으므로 SP방법보다는 RP방법을 채택하였다.

이는 도시철도역사 이용객에게 일대일 면접조사를 통하여

표 2. 도시철도 이용행태 조사결과 (단위:분)

구분	주 교통수단		환승 시간	연계교통수단	
	이용 시간	대기 시간		이용 시간	대기 시간
평균	27	7	4	19	3

표 3. 도시철도 환승패스 및 이용객수 현황

도시철도 역명	도시철도 이용객수	환승 패스 개수	연계교통수단별 환승거리(m)		
			1수단	2수단	3수단
인천 터미널역	18,513	7	고속버스	버스	택시
			278.0	243.0	153.0
사당역 (2호선)	90,072	6	4호선	버스	승용차
			185.0	295.0	242.0
도봉산역 (7호선)	32,250	14	1호선	버스	승용차
			132.0	262.0	409.0
북정역 (8호선)	13,007	9	분당선	버스	자전거
			52.0	329.0	217.0
구파발역	17,498	7	버스	승용차	택시
			305.0	328.0	135.0
금정역 (1호선)	47,899	13	4호선	버스	택시
			103.0	114.0	136.0
남광주역	3,531	6	버스C	버스D	버스A
			313.0	271.0	182.0
대구역	22,565	7	일반철도	버스	택시
			438.0	356.0	360.0
노포동역	35,073	9	시외버스	고속버스	버스
			221.0	173.0	189.0
해운대역	18,551	11	버스	택시	일반철도
			162.0	162.0	217.0
사상역	28,415	15	시외버스	버스	택시
			179.0	191.0	101.0
평균	29,761	9	버스	택시	도시철도
			247	175	118

해당 통행의 환승통행수단 및 대안 환승통행수단, 각각의 차내 시간 및 대기시간, 환승시간 등을 조사한 결과 평균 주 교통수단의 이용시간은 27분, 환승시간 4분, 연계교통수단 이용시간은 19분으로 조사되었다.

또한, 환승센터의 환승패스 조사를 통하여 연계교통 수단과 도시철도역사간의 환승 보행동선에 포함된 실내보행구간, 실외보행구간, 계단의 물리적 속성들에 대하여 자료를 수집한 결과 최소6개, 최대 15개의 환승패스를 갖으며 도시철도 이용객이 많이 이용하는 연계교통수단의 평균 환승거리는 버스 247m, 택시 175m, 도시철도 118m 등으로 나타났다.

3.2 환승수단 및 패스선택 모형 정산

조사자료 중 사당역, 도봉산역, 북정역, 인천터미널역 4개소의 조사결과를 토대로 모형을 정산한 결과는 표 5와 같다.

표 4. 변수 설명

변수	변수설명
IVT	환승 수단 이용의 차내 시간
EXL	환승패스의 외부보행 거리
INL	환승패스의 내부보행 거리
ST	환승 패스의 계단 수
ES	환승 패스의 에스컬레이터 수
TAXI	택시 환승 수단의 더미변수

표 5. 모수추정 결과

변수	계수	t-value
IVT	-0.10774928	-4.474
EXL	-0.00242151	-1.655
INL	-0.00276847	-1.188
ST	-0.00392652	-1.021
ES	0.13840864	1.039
TAXI	-1.02268612	-3.81
ρ^2	0.1445127	

3.3 환승저항 모형 정산

도시철도 이용객들의 현시선호조사 결과를 바탕으로 각 변수의 한계대체율을 이용하여 환승저항을 계산하여 수식으로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$C = 0.022EXL + 0.26INL + 0.036ST - 1.280ES \quad (7)$$

EXL : 환승패스의 외부보행거리(m)

INL : 환승패스의 내부보행거리(m)

ST : 환승패스의 계단 수ES

ES : 환승패스의 에스컬레이터 수

이를 해석하면 외부보행거리 100m의 증가(감소)는 통행시간 약 2.2분의 증가(감소), 내부보행거리 100m의 증가(감소)는 통행시간 약 2.6분의 증가(감소), 계단 100개 증가(감소)는 약 3.6분의 증가(감소), 에스컬레이터 1대 설치하는 약 1.3분의 통행시간 감소와 같음을 의미한다.

3.4 환승 저항값 산정

앞에서 추정된 환승수단 및 환승패스 선택 모형과 환승저항 모형을 바탕으로 환승패스를 구성하는 물리적 요소들로 인한 환승저항을 식 (8)과 같이 산정한다.

$$TI = \frac{\sum_j TI_j P_j}{\sum_j P_j} \quad (8)$$

TI : 환승센터의 환승저항 (분)

P_j : 환승패스 j의 환승 이용량 (인)

앞에 정산된 도시철도역사의 환승저항 모형 식 및 이용객 수를 이용하여 12개 주요 도시철도역사의 환승저항 값을 산정한 결과는 표 7과 같다.

표 6. 도시철도역사의 환승저항(환승체감시간) 산출예시

ID	EXL(m)	INL(m)	ST(개)	ES(대)	TI _j (분)	TI(분)
51	155	86	37	1	5.76	13,523
52	120	86	37	1	4.97	12,708
53	30	86	37	1	2.95	9,371
54	189	86	37	1	6.52	14,107
55	28	63	37	0	3.60	10,662
56	15	63	37	0	3.30	10,109
57	175	86	37	1	6.21	13,889
합계					4.76	84,369

표 7. 도시철도역사의 환승저항(환승체감시간) 산출 결과
(단위: 분인, 분)

도시철도역명	환승저항(분)/인	총 환승저항(분)
사당역	7.05	635,145
금정역	5.81	278,383
대구역	9.62	217,073
사상역	6.05	171,957
도봉산역	5.10	164,355
해운대역	7.11	131,861
구파발역	6.88	120,408
인천터미널역	4.56	84,369
노포동역	4.98	68,169
북정역	4.57	59,388
남광주역	8.20	28,945
지제역	4.81	6,774
평균	6.23	163,902

12개 주요 도시철도역의 환승저항을 보면, 사당역 635,145분, 금정역 278,383분, 대구역 217,073분순으로 총 환승저항이 큰 것으로 나타났다. 이들 역시는 타 도시철도역사에 비해 수요가 많고 도시철도간 환승과 도시철도와 버스간 환승패스의 환승거리(계단길이포함)가 가장 긴 반면, 에스컬레이터가 없는 것으로 조사되었다.

3.5 도시철도역사의 환승손실비용 산정

환승손실비용이란 환승거리의 과다로 불필요하게 낭비되는

환승저항을 비용으로 환산한 값을 의미한다.

환승손실비용 산정은 환승저항 모형을 이용하여 환승센터별 환승 저항값을 모범적인 환승센터의 환승 저항값과 비교하고 이를 환승시간가치로 환산하여 산정하며 식 (9)와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} & \text{환승손실비용} \\ & = \Sigma (\text{통행목적 별 시간가치}) \times (\text{환승저항}) \times (\text{연이용수요}) \end{aligned} \quad (9)$$

평균 시간가치는 국토해양부 교통시설 투자평가지침(2007)의 통행목적 별 시간가치를 적용하였다. 12개 주요 도시철도역사의 환승손실비용을 산정한 결과는 표 9와 같다.

표 8. 조사대상 환승센터

구분	일반철도	
	업무	비업무
시간가치(시/원)	13,009	2,524
목적별 이용비율(%)	16.8	83.2

표 9. 도시철도역사의 환승손실비용 산출 결과

도시철도역명	1인당 환승손실비용 (원/명)	총 환승손실비용 (억원/년)
사당역	283	123.7
금정역	240	53.3
대구역	373	27.7
노포동역	36	22.3
사상역	248	22.0
도봉산역	215	21.0
해운대역	285	16.8
구파발역	277	15.4
인천터미널역	196	10.6
북정역	196	7.6
남광주역	323	3.7
지제역	205	0.9
평균	239.75	27.08

12개 주요 도시철도역의 환승손실비용을 산출한 결과 1인당 평균 손실비용은 239.8원, 총 연간 평균 손실 비용은 27억 원으로 산정되었다.

4. 결론 및 향후과제

4.1 결론

통행자들이 인지하고 있는 환승으로 인한 마찰효과를 계량화하기 위하여 환승센터 이용자들의 수단선택 메커니즘을 이용하여 체감시간으로 환산되는 통행저항 모형을 구축하였다.

국내 도시철도 환승센터에 대한 시설조사 및 이용자 설문조사(RP)를 바탕으로 통행자가 환승수단 및 환승패스를 선택하는 로짓모형을 구축하였으며, 한계대체율을 이용하여 환승패스의 물리적 속성요소를 체감시간으로 환산하였다. 그 결과 외부보행거리 100m의 증가(감소)는 통행시간 약 2.2분

의 증가(감소), 내부보행거리 100m의 증가(감소)는 통행시간 약 2.6분의 증가(감소), 계단 100개 증가(감소)는 약 3.6분의 증가(감소), 에스컬레이터 1대 설치는 약 1.3분의 통행시간 감소와 같음을 알 수 있었다.

체감시간으로 산출된 환승저항은 환승센터의 환승 여건을 비교하고 시설개선의 우선순위를 판단하는 데에 객관적 지표로 활용될 수 있으며, 신규 환승센터 설계 시 시설 가이드라인을 만드는 데에도 활용이 가능하다. 또한 추정된 환승 저항은 환승으로 인한 경제적 손실 비용의 산정에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

4.2 향후과제

본 연구는 일반인을 주요 대상으로 보편적인 환승 저항을 제시하고자 한 것으로, 설문조사를 시행한 표본에서 교통약자에 대한 별도로 계층화된 표본추출 하지 않았다. 그러나 향후 교통약자의 이동편의성에 대한 연구를 통해 교통약자에 대한 저항 모형도 연구하는 방안을 검토해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 「국가교통핵심기술개발사업」(과제번호06교통핵심A02-02)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 국토해양부(2007) **교통시설 투자평가지침**.
 김혜란, 김황배, 오재학, 최진희(2009) KTX역사 및 일반철도역사의 환승저항 산정, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제27권 제5호.
 양창화, 손의영(2000) 서울시 지하철 이용객의 환승 관련 변수의 가치 추정(선호의식 및 현시선호 분석을 이용), **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제18권 제4호.
 이경재(2004) **환승역사의 동선체계를 고려한 환승패널티 추정 : 서울시 지하철 사례**, 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
 조남건(1999) **승용차 보유자의 출근통행에서 혼잡통행료 부과가 교통수단선택에 미치는 영향에 관한 연구 -SP 조사기법의 적용을 중심으로-**, 박사학위논문, 서울대학교.
 차동득, 박완용, 박선복(2008) 환승센터의 두 수단간 환승거리의 적정성 평가, **제59회 대한교통학회 학술발표회**, 대한교통학회.
 Guo (2009) Transfer behavior and transfer planning in public transport systems: A case of the London Underground, *11th International Conference on Advanced Systems for Public Transport*, Hong Kong.

(접수일: 2009.5.18/심사일: 2009.7.23/심사완료일: 2009.7.23)