

■ 論 文 ■

독립 · 환승할인요금체계하의 환승요금가치를 고려한 도시철도 수요추정 연구

Study on Forecasting Urban Rail Demand Reflecting Transfer Fare Value
in a Non-integrated Fare System

이 종 훈

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

손 의 영

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

I. 서론	1. 환승요금가치 추정의 필요성
1. 연구의 배경 및 목적	2. 환승요금가치 적용방법
2. 연구의 범위 및 내용	IV. 환승요금가치 추정
II. 대중교통요금체계 및 기존 연구 고찰	1. SP 모형의 구축 및 검증
1. 대중교통요금체계	2. 환승요금가치 추정 및 사례노선에의 적용
2. 기존 연구 고찰	V. 결론
III. 환승요금가치 추정의 필요성 및 적용방법	참고문헌

Key Words : 도시철도 환승, 환승요금가치, 독립 · 환승할인요금체계, 대중교통요금체계, 선호의식 조사
Transfer in urban rail, Transfer fare value, Non-integrated fare system, Public transportation fare system, SP survey

요 약

최근 서울시를 비롯한 많은 도시에서 경전철을 비롯한 도시철도에 대한 민간자본 유치사업이 다수 계획되고 있어, 이들 도시철도에 대한 장래 수요추정이 매우 중요시되고 있다. 민간의 도시철도와 정부의 도시철도 간에 환승이 무료인 통합요금체계는 이용자에게 매우 편리하고 요금도 저렴하여, 민간 도시철도의 수요 증대에는 매우 효과적이다. 그러나 독립 · 환승할인요금체계에 비하여 통합요금체계는 운영자에게 적지 않은 요금수입의 감소를 가져오며, 또한 민간과 정부 운영자 간 운임수입의 정산을 요구하게 된다. 따라서 일부 민간사업자는 독립 · 환승할인요금체계를 요구하기도 하며, 이 경우에는 통합요금체계에 비하여 수요 및 운영자 수입, 정부 보조금 규모 등은 커다란 영향을 받게 된다. 지금까지 도시철도 간에는 통합요금체계가 적용되어 왔으므로, 현재의 도시철도 수요 추정모형 또한 통합요금체계를 전제로 하여 모형이 구축, 정산되어 왔다. 그러므로 현재의 도시철도 수요추정 모형은 독립 · 환승할인요금체계를 적절하게 반영할 수 없다. 독립 · 환승할인요금체계 하의 도시철도 수요를 정확하게 추정하기 위해서는 무엇보다도 환승요금에 대한 가치를 추정하여야 한다. 본 연구에서는 서울시의 도시철도 이용자를 대상으로 환승요금가치에 대한 선호의식조사를 시행하여 노선선택 모형을 도출하고, 한계대체율법을 이용하여 환승요금가치를 추정하였다. 추정된 환승요금가치는 차내시간 가치의 약 52% 수준인 2,609원/시간인데, 이는 환승을 통한 시간 혹은 거리 단축을 위해 이용자는 좀 더 높은 비용을 지불하려는 용의가 있다는 것을 보여준다. 본 연구는 선호의식조사의 결과로서, 선호의식조사방법이 내재적으로 갖는 여러 한계를 갖고 있다. 장래에 도시철도 노선 간에 독립 · 환승할인요금체계가 도입된다면, 현시선호조사를 수행하여 본 연구와 비교함으로써 더 명확한 환승요금가치를 도출할 수 있을 것이다.

The recent increase of light rail construction by the private sector in Korea has caused a new issue in forecasting rail demand. Integrated fare systems between several rail operators is convenient and brings cost savings to users, and therefore is also very effective in increasing demand. However, it causes some short-term revenue loss to operators so that the private sector often suggests a non-integrated fare system. The current rail demand forecasting model is based upon an integrated fare system. Thus this model cannot be used to forecast the demand with a non-integrated fare system. Some value of transfer fare should be estimated and applied to forecast the demand in a non-integrated fare system. This study conducted a stated preference (SP) survey on urban railway passengers and estimated the value of transfer fare. The estimated value is 2,609 Won/hr, which is about 52% of in-vehicle time. This shows railway users have a tendency to pay more for transfer fares to save time or distance. This value has some limitations since it is derived from the SP survey. If some non-integrated fare system is applied in the future and a RP survey is conducted and compared with these study results, a more clear value of the transfer fare will be derived.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지금까지 우리나라 도시철도에서는 노선 간 환승이 무료인 도시철도 통합요금체계가 적용되어 왔으며, 특히 서울시에서는 2004년 7월 대중교통요금체계 개편을 통해 도시철도와 버스 간에도 환승 시 추가요금이 발생하지 않는 대중교통 통합요금체계가 운영되고 있다. 그러므로 현재 구축된 도시철도 수요추정 모형은 통합요금체계를 전제로 한 수단분담모형이다. 장래에도 통합요금체계가 계속 적용된다면, 현재의 도시철도 수요추정 모형을 별도로 수정하지 않고, 장래의 도시철도 수요를 추정하는 데에 사용할 수 있다.

하지만, 현재 서울시를 비롯한 많은 도시에서는 민간자본을 유치한 다수의 신 대중교통수단을 계획하고 있으며, 이 경우에 통합요금체계 이외에도 독립요금체계 혹은 환승할인요금체계 등 다양한 요금체계에 대한 논의가 진행되고 있다. 실제로 현재 건설 중인 의정부, 용인 경전철과 신분당선이 독립요금체제로 계획하고 있어 통합요금체계 이외에 독립·환승할인요금체계에 대한 관심은 높아지고 있는 실정이다.

민간노선과 정부노선이 공존하는 경우, 통합요금체계를 시행하게 되면 독립·환승할인요금체계에 비해 민간운영자 요금수입은 감소하게 된다. 또한 민간과 정부 운영자 간 운임수입의 정산을 요구하게 되는데 이때 가장 중요한 것이 두 노선간의 환승이용자에 대한 요금수입 분배이다. 이러한 문제점 이외에 독립·환승할인요금체계 하의 도시철도 수요를 추정하기 위해서는 무엇보다도 환승요금에 대한 가치를 산정하는 것이 필요하다. 그러나 환승요금가치에 대한 연구가 없으므로, 독립·환승할인요금체계 하의 도시철도 수요 추정에 많은 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 선호의식조사를 통해 환승요금에 대한 가치를 산정하고, 이를 도시철도 수요 추정에 적용하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 내용

대중교통요금체계는 크게 통합요금체계 및 독립·환승할인요금체제로 구분할 수 있다. 현재 서울시 및 수도권 도시철도는 통합요금체제로만 운영되고 있기 때문에 현재의 도시철도 수단선택 모형은 통합요금체계에 기초하여

정산되어 있다. 그렇기 때문에 현재의 수단선택 모형을 이용하여 독립요금체계 및 환승할인 요금체계하의 객관적인 도시철도의 장래 수요추정에는 한계가 존재한다.

민간이 건설한 도시철도 노선이 완공되어 운영될 경우 통합요금체계는 물론 독립요금체계 및 환승할인요금체제로 운영되는 노선도 존재할 것으로 판단된다. 이때, 환승 시 추가요금이 발생하는 독립·환승할인요금체계의 경우 환승요금에 대한 통행저항이 존재한다. 하지만 현재 도시철도 이용자의 환승요금 가치에 대한 명확한 기준이 존재하지 않아 장래 도시철도 수요 추정에 어려움이 존재한다. 본 연구에서는 환승요금에 대한 도시철도 이용자의 가치 산정을 위해 선호의식 조사를 실시하였다. 선호의식 조사를 수행할 때 현시선호조사를 함께 수행하는 것이 일반적이지만 현재 서울시를 비롯한 수도권 지역에서 독립·환승할인요금체제로 운영되고 있는 도시철도 노선이 존재하지 않기 때문에 선호의식조사로만 환승요금가치 추정에 대한 조사를 한정하였다.

선호의식조사를 통해 독립·환승할인요금체계의 시행 시 추가로 발생할 수 있는 환승요금수준에 따른 이용자들의 지불의사를 조사하였다. 산정된 환승요금에 대한 가치의 적용가능성 판단을 위해 통계적 검증을 실시하였고, 환승요금에 대한 시간가치를 이용하여 수도권의 3개 사례노선의 장래 도시철도 수요 추정에 적용하여 그 결과를 제시하였다.

II. 대중교통요금체계 및 기존 연구 고찰

1. 대중교통요금체계

지금까지 수도권 및 서울시의 도시철도는 모든 노선간의 환승이 자유로운 통합요금체제로 운영되었다. 그리고 현재는 2004년 7월 서울시 대중교통체계개편을 통해 버스 및 도시철도의 통합요금체계를 도입하였다. 통합요금체계란 각 수단간 연계성을 높이기 위해 시행된 대중교통요금체제로 각 수단 또는 노선간의 환승 시 별도의 추가요금을 지불하지 않는 요금체계이다. 서울시 대중교통 체계개편과 더불어 2008년 9월에는 경기도 버스까지 통합요금체제로 운영하는 수도권 대중교통체계 개편을 실시하였다. 이에 따라 수도권의 모든 대중교통수단에 대하여 추가 거리에 대한 요금은 존재하나 수단간 환승에 따른 추가요금은 발생하지 않게 되었다.

독립·환승할인요금체계는 전술한 바와 같이 통합요

금체계와는 달리 노선 간 환승 시 환승에 대한 별도의 추가 요금을 지불하는 대중교통요금체계이다. 독립요금체계 및 환승할인요금체계는 현재 서울시 및 수도권에서 시행되고 있지는 않다. 하지만 민간자본을 유치한 새로운 대중교통수단이 다수 계획 중에 있기 때문에 이러한 대중교통수단이 완공되어 운영될 경우 독립요금체계 및 환승할인요금체계의 시행 가능성이 높을 것으로 판단된다. 실제 일본의 경우 정부뿐만 아니라 다수의 민간사업자가 도시철도를 건설하여 운영하고 있기 때문에 도시철도 대부분이 독립요금체계로 운영되고 있다.

2. 기존 연구 고찰

손상훈 등(2006)은 대중교통 경로선택 모형구축 시 도보시간, 대기시간(최초 대기시간+환승 대기시간), 차내 시간, 환승 도보시간, 요금에 대해서 각 요소별로 차내시간 대비 차외시간에 대한 가중치를 한계대체를 및 한계임금율법을 적용하여 도출하였다.

연구의 결과를 살펴보면, 수도권 전체 통행의 경우 차내시간 대비 접근통행시간은 약 1.5배, 대기시간은 약 1.8배, 환승시간은 약 1.4배의 가중치를 나타내는 것으로 제시하였다. 하지만 손상훈 등(2006)이 제시한 가중치는 환승요금에 대한 가치를 고려한 것이 아니라 환승에 대한 접근시간, 대기시간 그리고 접근과 대기를 모두 고려한 환승시간에 대한 가중치이다.

양창화 등(2000)은 환승을 통행저항으로 인식하고, 환승이 경로선택에 어떠한 영향을 미치는 지를 살펴보았다. 분석을 위해 서울시 도시철도 이용자를 대상으로 선호의식(SP) 및 현시선호(RP) 자료를 수집하였고, 차내 시간, 환승시간, 환승횟수 그리고 에스컬레이터 유무를 변수로 하는 효용함수를 구축하였다. 연구 결과로서 선호의식에 대한 연령별, 통행목적별 경로선택 모형, 현시선호에 대한 통행목적별 경로선택 모형을 도출하였다. 제시한 차내 시간에 대한 환승시간의 가중치는 1.7배로 나타났고, 이는 환승 시 발생할 수 있는 요인에 대한 것으로 환승요금에 대한 가치는 고려하지 않았다.

<표 1> 도시철도의 환승시간가치 연구 결과

구분	차내시간	접근시간	대기시간	환승시간	
양창화·손의영	1.00	-	-	1.70	
손상훈·최기주 등	수도권 전체	1.00	1.53	1.83	1.37
	서울시내	1.00	1.51	1.75	1.47
	서울경기	1.00	1.76	1.91	1.26

Dimitrios et al. (2008)은 그리스 아테네 공항의 접근시간 절감에 따른 요금지불의사를 선호의식조사를 통해 효용함수를 도출 한 후, 시간가치를 추정하였다. 승용차, 택시, 버스 그리고 도시철도로 접근 수단을 구분하였고, 업무통행과 비업무통행으로 통행의 목적을 구분하여 시간가치를 산출하였다. 연구의 결과로 접근시간이 25% 감소될 때 수단별 요금지불의사는 승용차, 택시, 버스 그리고 도시철도 각각 1.5, 1.7, 1.2, 2.2(€)로 분석되어 도시철도의 시간절감에 대한 요금지불의사가 가장 큰 것으로 분석되었다. 도시철도에 대한 이용자의 요금지불의사가 크다는 것은 비용에 따른 수요의 탄력성이 타 수단에 비해 둔감하다는 것을 의미한다. 즉, 도시철도를 이용하여 공항에 접근하는 이용자는 공항 접근시간이 절감된다면 비교적 높은 비용을 지불하더라도 공항 접근시간이 절감되는 수단을 선택한다는 것이다.

III. 환승요금가치 추정의 필요성 및 적용방법

1. 환승요금가치 추정의 필요성

앞에서 살펴본 바와 같이 지금까지의 연구는 환승시간의 가치에 대한 연구만 수행되어 왔으며, 환승요금의 가치에 대한 연구는 전혀 수행되지 않았다. 그러나 장래 독립·환승할인요금체계 하의 도시철도 수요를 추정하는 것이 필요하게 되었으므로, 다른 방법으로 환승요금가치를 가정하여 적용하여 왔다.

도시철도 수요 추정에 관한 지금까지의 거의 대부분의 연구에서는 독립·환승할인요금체계의 경우에는 환승요금가치로서 철도이용자의 통행시간가치 4,976원/시간을 활용하여 환승요금에 대한 통행저항을 산정하였다. 먼저 철도이용자의 시간가치를 활용하여 환승 시 발생하는 추가요금에 대한 시간을 산정한다. 그 다음 시간을 거리로 환산하여 기본 환승 링크의 거리를 추가하는 방법으로 환승요금에 대한 통행저항을 적용한다. 그러나 철도이용자의 통행시간가치는 이용자의 차내시간에 대한 가치이기 때문에, 이 가치를 환승요금에 대한 가치로 감추는 것은 적정하지 않다.

이러한 차내시간 가치를 토대로 한 환승요금가치의 적정성을 살펴보기 위해서, 본 연구에서는 수도권 내에 계획 중인 특정 도시철도 노선에 대해 철도이용자의 차내시간가치를 활용하여 수요를 추정하였다. 이때 추정된 도시철도의 수요는 통합요금체계에서는 120, 162통행/일

<표 2> 차내시간 가치를 활용한 사례 노선의 요금체계별 수요 변화 (단위 : 통행/일, %)

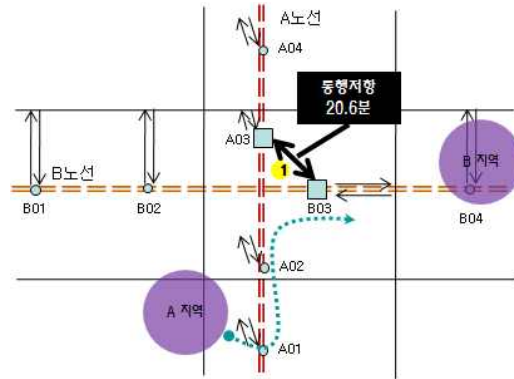
구분	순승차	환승차	계	B/A
통합요금체계(A)	77,763	42,399	120,162	-
독립요금체계(B)	22,314	7,811	30,125	25.1

이나, 독립요금체계에서는 통합요금체계의 약 25% 수준인 30,125통행/일로 경전철의 수요가 급감하는 것으로 나타났다. 이렇게 독립요금체계의 수요가 급감하는 것은 교통수요분석 모형에서 실제 이용자가 느끼는 환승요금에 대한 통행저항보다 모형에서 적용하는 차내 시간가치를 토대로 한 통행저항이 너무 크게 나타나기 때문인 것으로 해석된다.

2. 환승요금가치 적용방법

기존의 도시철도 수요추정 방법은 도로의 수요추정 방법과 마찬가지로 4단계 모형을 이용하고 있으나, 구체적으로는 크게 몇 가지 다른 점이 존재한다. 도시철도사업의 수요추정이 도로사업과 가장 큰 차이점은 수단선택 단계이다. 도로사업의 경우 타 수단으로의 전환보다는 경쟁노선으로부터의 전환이 많기 때문에 수단선택을 고려하지 않는다. 하지만, 도시철도 사업의 경우 기존의 승용차 또는 버스 이용자들이 새롭게 신설된 도시철도로의 수단전환을 예측하여야 하기 때문에 수단선택 단계가 매우 중시되어 분석하여야 한다. 각 수단별 효용을 산정하여 효용이 큰 수단을 선택하도록 제시하고 있으며, 효용함수로는 통행시간과 통행비용만이 고려된다. 도시철도 신설의 경우도 마찬가지로 환승시간, 대기시간, 접근시간, 요금, 환승요금 등과 같은 요소가 고려된다.

수단선택에 대한 유·무 문제가 도시철도사업과 도로사업의 수요추정에 있어 커다란 차이라면, 도시철도 요금 체계에 따른 경로선택에 있어 가장 큰 오류가 발생하게 되는 원인은 환승요금가치를 어떻게 모형에 반영하는 가에 대한 것이다. 환승요금가치가 적절하게 추정된다고 할지라도, 경로선택 모형에 환승요금가치가 제대로 반영되지 못하면 경로선택이 잘못되어, 결국 도시철도 수요추정의 객관성이 저하되기 때문이다. 하지만 현재 거의 모든 연구에서는 독립·환승할인요금체계의 분석 시 환승링크에만 환승요금에 대한 통행저항을 적용하고 있다. 그 결과 환승역을 거치지 않고, 하차 후 환승요금에 대한 통행저항이 없는 도시철도역으로 다시 승차하는 등의 경로선택의 중대한 오류가 발생한다.



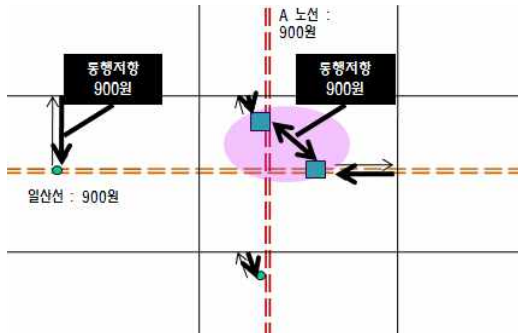
<그림 1> 환승요금 통행저항의 모형 적용 문제점

예를 들어, <그림 1>의 A지역에서 경전철을 이용하여 B지역으로 통행하는 경우, 현실적으로 A노선의 A01번역에서 승차하여 A03역에서 같은 위치에 있는 환승역인 B노선의 B03역으로 환승하여 B04로 하차하는 것이 합리적인 경로선택이다. 하지만 환승링크에만 환승요금에 대한 통행저항을 적용시키는 경우 A03역(B03역)에서 환승하지 않고, 대신에 요금에 대한 통행저항이 존재하지 않는 A02역에서 하차하여 B03역에서 다시 승차하여 B04역에서 하차하는 중대한 오류가 발생한다.

이와 같이 환승역을 우회하는 이유는 20.6분에 대한 환승요금 통행 저항보다 A02역에서 하차하여 B03역으로 도보를 이용하여 재 승차하는 것이 20.6분 보다 적은 시간이 소요되기 때문이다. 이러한 현상이 발생하는 것은 일반역의 경우 요금에 대한 통행저항이 없는 반면, 환승역의 경우 환승요금이 통행저항요소로 인식되기 때문에 일반 탑승통행에 비해 환승통행이 매우 불리한 조건을 지니기 때문이다.

이러한 문제점을 개선하기 위한 방법은 환승승차에 대해서만 환승요금 통행저항을 적용시킬 것이 아니라, 일반역의 승차에 대해서도 승차요금을 적용시키는 것이다. 구체적으로 환승역에의 환승요금 이외에 일반 승차역에의 요금에 대한 통행저항을 적용시키기 위하여, 본 연구에서는 Boarding time 속성 혹은 Network 속성을 보정하는 두 가지 방법을 검토하였다.

첫 번째로, 도시철도 통행배정을 시행할 때 적용하는 Boarding time에 대한 속성 값을 보정하는 방법이다. 탑승시간의 속성 입력 시, 환승요금에 대한 통행저항을 추가로 적용하여 도시철도 역에서 요금을 지불하는 방법을 구현하는 것이다. 그러나 독립요금체계의 시행 시 모든 노선에 대한 요금이 동일하다는 가정이 필요하며, 또한 승차와



<그림 2> 독립요금체계에서의 Network 보정방법



<그림 3> 통합요금체계에서의 환승통행 조건

하차에 따라 요금을 구분하여야 한다. 현재 가장 많이 사용하는 EMME/2 프로그램에서는 노선별로 Boarding time을 다르게 적용할 수 없기 때문에, 다양한 대중교통 요금체계에 대한 분석이 기술적으로 쉽지 않다.

두 번째로, 환승역 및 일반역의 Network 속성을 보정하는 방법이다. 통합요금체계의 경우에는 수단선택단계에서는 승차에 대한 요금을 지불하지만 통행배정단계에서는 별도의 요금을 지불하지 않는다. 따라서 통합요금체계에서는 환승역 이외에 일반역에 대해서까지 Network 보정을 할 필요가 없다. 반면에 독립·환승할인요금체계의 경우에는 환승역 뿐만 아니라 환승이 발생하지 않는 일반역의 탑승링크에도 승차요금에 대한 통행저항을 적용하도록 Network을 보정하는 것이 필요하다.

따라서 환승 링크에는 환승요금을 적용하고 일반역 탑승 링크에는 요금에 대한 통행저항을 부과하게 되어, 환승역에서 환승요금에 대한 통행저항이 일반역에 비해 너무 불리하지 않게 된다. <그림 2>는 독립요금체계에서의 이러한 Network 보정을 보여준다. 그 결과 앞에서 문제점으로 제기한 환승역에서 환승을 시행하지 않고, 환승역 이전에 하차하여 일반역으로 승차하는 오류를 방지할 수 있게 된다.

IV. 환승요금가치 추정

1. SP 모형의 구축 및 검증

본 연구에서는 객관적인 환승요금가치 추정을 위해 서울시 도시철도 이용자 200명을 대상으로 SP 조사를 실시하였다. 수도권 주변의 새로운 대중교통수단의 도입에 따른 독립요금체계의 시행 시 도시철도 이용자의 환승요금수준에 따른 요금지불의사를 조사하였다. 이때,



<그림 4> 독립요금체계에서의 환승통행 조건

선택대안으로 <그림 3>과 같이 환승 시 추가요금이 발생하지 않는 통합요금체계 하에서의 환승과 <그림 4>와 같이 환승 시 추가 요금이 발생하는 독립·환승할인요금체계 하에서의 환승 두 가지 조건으로 설정하였다.

이때, 조사의 조건은 똑같은 차내시간(20분)을 설정하여 이에 대한 요소를 배제하였고, 환승 시 발생하는 추가요금의 유·무를 설정하여 통합요금체계 및 독립·환승할인 요금체계를 구분하였다.

SP 조사의 응답자 선호표현방법은 대안에 따른 선택, 응답자가 효용을 계산하여 우선순위를 부과하는 순위평가법이 있다. 본 연구의 선호의식 조사는 두 가지 가상현실 대안에 대하여 의사를 결정하는 선택법을 이용하여 설문조사를 실시하였다. 선택법은 선호의식 조사 선호표현방법 중 가장 현실적이며 많이 사용되는 표현방법으로 면접자들이 설문하기 용이한 장점을 갖고 있다.

응답자가 가상의 상황을 잘못 인지하여 비현실적인 선택을 응답한 설문결과는 배제시켜 분석하였다. 즉 독립·환승할인요금체계의 환승 시 통행 절감시간이 상대적으로 적은 대안에 대해 더 큰 비용을 지불할 의사가 있

<표 3> 도시철도 이용자의 경로선택 효용함수 추정 결과

구분	통행시간 Parameter	통행비용 Parameter	독립요금 체계 상수	시간 가치 (원/시간)	우도비 (ρ^2)
통합 요금 체계	-0.2021 (-17.84)	-0.0046 (-19.57)	-	2,609.4	0.29
독립 요금 체계			3.287		

다고 답변한 설문지는 제외하였다. 그 결과 유효부수는 183부 이며, 이를 통해 총 2,013개의 선호의식 자료를 얻을 수 있었다.

선호의식조사를 통해 조사된 도시철도 이용자의 환승 요금에 대한 지불의사를 이용하여 효용함수를 도출하였다. 이때, 통계적 분석을 위해 통계프로그램인 Limdep을 이용하였으며, 모형의 구축은 Binary logit모형을 이용하였다. 최종적으로 구축된 통합요금체계 및 독립요금 체계에 대한 이용자의 경로선택 효용함수는 다음과 같다.

$$U_i = -0.2021 \text{Time} - 0.0046 \text{Cost} + 3.287 \quad (1)$$

모형의 논리성 검증은 산출된 계수 값의 부호조건과 통계검정(t 검정)에 의한 계수 값의 안정성을 의미한다. 추정된 모형의 계수 값을 살펴보면 통행시간의 경우 -0.2021, 통행비용의 경우 -0.0046으로 두 개의 변수 모두 음(-)의 값을 나타냈다. 이는 통행시간과 통행비용이 증가할수록 통행자의 선택효용은 낮아진다는 의미로 해석할 수 있어 현실과 부합된다고 해석된다.

모형의 설명력은 적중률, 우도비(ρ^2) 등의 지표로 나타낼 수 있다. 적중률은 개인의 이용선택 대안을 몇 % 적중시켰는가를 보여주는 것이다. 김강수(2006)는 통상적으로 이항선택의 문제에 대해 추정된 모형의 적중률은 80%에 근접한 경우 만족하는 것으로 해석한다.

본 모형의 적중률은 통합요금체계의 경우 적중률이 81.9%이고, 독립요금체계의 경우 82.8%로 분석되었다. 또한 두 가지 대안을 모두 고려한 모형전체의 적중률은 82.6%로 모형의 설명력이 상당히 높은 것으로 분석되었다. 모형의 적중률이 100%가 아닌 이유는 일부 응답자의 경우 요금이나 시간의 관계없이 도시철도 요금체계별 경로선택에 대한 응답의 오류를 발생하였기 때문이다.

우도비(ρ^2)는 추정된 모형의 적합도를 나타내는 지표이다. Domencich et al.(1975)은 시뮬레이션 결과에 근거해서 비선형 함수인 로짓모형의 ρ^2 의 범위가 0.2~0.4인 경우 일

반적인 선형 회귀함수의 R^2 값의 범위는 0.7~0.9에 해당한다고 주장하였다. 본 연구에서의 추정모형의 ρ^2 값은 0.29이기 때문에 만족스런 결과로 판단한다.

2. 환승요금가치 추정 및 사례노선예의 적용

본 연구의 최종목적은 선호의식조사를 통해 수집된 자료를 이용하여 대중교통요금체계 변화에 따른 효용함수를 추정하고, 이를 활용하여 환승요금가치를 측정하여 대중교통요금체계 변화에 따른 도시철도 수요예측 시 객관적 자료로 활용하기 위함이다.

본 연구에서는 한계대체율법의 원리를 이용하여 통행 시간 가치를 산정하였다. 한계대체율법은 통행자가 통행 시간 1시간을 절약하기 위해 현재 교통수단 또는 다른 대안을 이용할 경우 지불 가능한 추가금액을 추정하는 방법이다.

$$U(t,c) = \beta_1 \text{Time} + \beta_2 \text{Cost} + C \quad (2)$$

β_1, β_2 : 시간 및 비용에 대한 계수 값

Time : 환승시간

Cost : 환승에 대한 추가요금

C : 상수

여기서, C 는 상수이고, β_1, β_2 는 시간과 비용의 특성을 대변하는 효용함수의 계수 값이다. 한계대체율법의 산정 방법은 다음과 같다.

$$MRS = \frac{dc}{dt} = \frac{\delta U / \delta t}{\delta U / \delta c} \quad (3)$$

여기서, $\delta U / \delta t$ 는 환승시간에 대한 한계효용을 의미하고 $\delta U / \delta c$ 는 환승에 따른 추가요금에 대한 한계효용을 의미한다. 각 변수에 대한 한계효용의 비율을 이용한 시간 가치는 다음과 같다.

$$VOT = \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (4)$$

본 연구에서 추정된 수단선택모형을 이용하여 통행 시간 가치를 산출하였다. 산출된 도시철도 환승요금에 대한 이용자의 가치는 2,609.4원/시간으로 나타났다. 추

<표 4> 1개 사례노선의 대중교통요금체계에 따른 장래 도시철도 추정 수요 비교 (단위 : 통행/일, %)

구분	순 승차	환승 승차	총 승차	통합요금 체계 기준 총 승차 감소율	
통합요금체계	77,763	42,399	120,162	-	
독립요금 체계	철도 이용자 차내 시간가치 활용	22,314	7,811	30,125	▲ 74.9
	본 연구의 환승요금가치 적용	69,545	33,728	103,273	▲ 14.1

정된 가치는 도시철도 이용 시 발생하는 환승요금에 대한 가치이다. 이는 2007년 기준 철도 승객의 평균 차내 시간가치인 4,976원/시간의 약 52%에 해당되는 것으로 산정되었다. 도시철도 이용자는 환승에 의한 시간이 감소되는 경우 환승요금에 대한 민감도가 작기 때문에 철도이용자의 시간가치 보다 환승요금에 대한 가치가 작게 추정된 것으로 판단된다.

추정된 환승요금가치를 이용하여 수도권 3개 사례노선에 대하여 장래 도시철도 수요를 추정하였다. 첫 번째 사례노선의 결과를 요금대안별로 비교하면 다음의 <표 4>와 같다. 우선 통합요금체계의 경우 전술한 바와 같이 KTDB에서 제공하는 O/D 및 Network를 그대로 수용하여 적용하였다. 그 결과 A노선의 경우 총 승차가 120,162통행/일로 추정되었고, 철도 차내시간가치를 활용하여 독립요금체계에 대해서 도시철도 수요추정을 하는 경우 30,125통행/일로 통합요금체계에 비해 74.9%나 감소하는 것으로 나타나 독립요금체계의 경우 수요가 너무 크게 감소하는 것으로 분석되었다.

하지만, 본 연구에서 추정된 환승요금가치를 적용하여 사례분석노선의 독립요금체계에 대해 수요를 추정할 결과 총 승차 103,273통행/일로 통합요금체계에 비해 14.1%감소하는 것으로 나타났다.

분석된 사례노선의 통합요금체계 기준 독립요금체계의 추정 수요의 감소폭을 살펴보면, 14.1%로 크게 감소하지 않는 것으로 분석되었다. 가장 큰 이유는 위의 사례노선의 경우 주변에 대체노선이 없는 특징을 갖고 있기 때문이다. 대체노선이 존재하지 않기 때문에 이용자들의 선택의 폭이 좁아져 독립요금체계에 따른 수요의 감소폭이 크지 않은 것으로 해석된다.

이러한 수요 감소폭의 변화를 살펴보기 위해 본 연구에서는 또 다른 두 개의 경전철 노선을 추가로 분석하였

다. 하나는 앞의 사례노선과는 달리 주변의 대체노선이 1개 존재하여 이용자의 선택의 있는 노선이다. 이 노선의 경우 독립요금체계하의 장래 도시철도 수요가 본 연구의 환승요금가치 적용 시 통합요금체계보다 25%정도 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 앞의 사례노선보다 독립요금체계의 시행 시 대체노선이 존재하기 때문에 노선 간 수요의 전이가 크게 나타났다고 해석할 수 있다.

다른 하나는 서울시에 위치하는 또 다른 노선이다. 이 노선의 경우 서울시에 위치하기 때문에 대체노선이 3개 이상 존재하여 독립요금체계 시행에 따른 도시철도 수요의 감소폭이 가장 크게 분석되었다. 추정된 환승요금 가치를 적용하는 경우 독립요금체계의 시행 시 통합요금체계에 비해 장래 수요가 50% 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 동일한 환승요금가치를 적용하더라도 수요의 변화폭이 다르게 나타나는 이유는 대체노선의 존재에 따라 이용자의 선택폭이 넓기 때문인 것으로 해석된다.

V. 결론

최근 서울시를 비롯한 많은 도시에서 도시철도에 대한 민간자본 유치사업이 다수 계획되고 있어, 이들 도시철도에 대한 장래 수요추정이 매우 중요시되고 있다. 민간의 도시철도와 정부의 도시철도 간에 환승이 무료인 통합요금체계는 이용자에게 매우 편리하고 요금도 저렴하여 민간 도시철도의 수요 증대에는 매우 효과적이다. 그러나 독립·환승할인요금체계에 비하여 통합요금체계는 운영자에게 적지 않은 요금수입의 감소를 가져오며, 또한 민간과 정부 운영자 간 수입수입의 정산을 요구하게 된다. 그렇기 때문에 민간 사업자가 새로운 도시철도 사업을 계획 할 때, 요금체계에 따른 장래의 도시철도 수요추정은 매우 중요한 사항이다.

대중교통요금체계변화에 따른 도시철도 수요추정을 위해서는 보다 객관적인 환승요금가치를 적용하여야 한다. 하지만 현재는 환승요금가치가 추정된 연구가 없어서 장래 도시철도 수요추정 시 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 보다 객관적인 환승요금가치를 산정하기 위해 도시철도 이용자를 대상으로 선호의식조사를 실시하였다. 그 결과 도시철도 환승요금 가치는 철도 이용자의 차내 시간가치의 약 52%인 2,609.4원/시간으로 산정되었다.

아울러 환승요금가치를 적절히 경로선택 모형에 반영하기 위해서 환승역 링크에는 환승요금을 적용하고 일반

역 승차링크에는 요금을 적용하여 분석하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법을 이용하여 장래 도시철도의 수요를 추정하게 되면 보다 현실적이며 대중교통요금체계에 대한 변화를 객관적으로 파악 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 적용한 선호의식조사는 내재적으로 여러 한계를 갖고 있다. 무엇보다도 가장 큰 한계점은 가상적인 상황에서 표현한 선호가 과연 실제 행동으로 그대로 나타나느냐의 문제이다. 일반적으로 SP 자료 수집과 관련된 응답자의 편익은 긍정편의, 합리화편의, 정책반응편의, 제약 조건을 무시한 반응 편익이다. 이러한 SP조사의 한계점을 개선하기 위해서는 현재 건설 중인 경기도 용인, 의정부 경전철 또는 서울 지하철 9호선이 개통된 후 현시선호 자료를 이용하여 추정된 환승요금가치와 비교하는 것이 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 김강수·조혜진(2006), SP조사 설계 및 분석방법론, 보성각.
2. 김익기·한근수·방형준(2006), 신교통수단 건설사업에 있어 환승을 반영한 교통수요 예측기법, 대한교통학회지, 제24권 제3호, 대한교통학회, pp.197~205.
3. 손상훈·최기주·유정훈(2007), 대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정 연구, 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.121~132.
4. 양창화·손의영(2000), 서울시 지하철 이용객의 환승 관련 변수의 가치 추정 대한교통학회지, 제18권 제4호, 대한교통학회, pp.19~30.
5. 서울시정개발연구원(2003), 서울시 환승통행 분석.
6. 서울시정개발연구원(2004), 서울시 장래교통수요예측 및 대응방안연구.
7. 서울시정개발연구원(2006), 교통수요예측을 위한 모형 정립.
8. 한국개발연구원(2007), 예비타당성조사 제도 및 분석방법론 개요.
9. 한국개발연구원(2004), 도로·철도 부문산업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 [제4판].
10. Ben-Akiva and Leman(1987), Discrete choice

analysis : Theory and Application to Travel Demand, The Massachusetts Institute of Technology.

11. Bradley, M. A. and Kroes, E(1990), Forecasting Issues in Stated Preference Survey Research, Paper presented at the 3rd International Conference on Survey Methods in Transportation Washington D.C
12. Bradley, M. A. and Daly, A. J.(1994), Uses of the Logit Scaling Approach in Stated Preference Analysis, Transportation 21, pp.167~184.
13. Domencich and McFadden(1975), Urban Travel Demand : A Behavioural Approach, Amsterdam ; North-Holland.
14. Dimitrios A. and Tamboulas(2008), Passengers' Willingness to Pay for Airport Ground Access Time Savings, Transpn. Res-A vol. 42, pp.1,274~1,282.
15. Graham Currie The Demand Performance of Bus Rapid Transit, Journal of Public Transportation, Vol. 8, No. 1, 2005.
16. INRO(2003), EMME/2 User's Manual Release 9
17. N. Gregory Mankiw, 2007, Principles of Economics 4th Edition.
18. The Effects of Out-of-Vehicle Time on Travel Behavior : Implications for Transit Transfer (Deliverable #1), California Department of Transportation Division of Research and Innovation, 2006.
19. W. H. Greene, NLOGIT Manual Reference Guide Ver 4.0, Econometric software, Inc. 2007.

✉ 주 작성자 : 이종훈
 ✉ 교신저자 : 손의영
 ✉ 논문투고일 : 2009. 2. 21
 ✉ 논문심사일 : 2009. 4. 6 (1차)
 2009. 5. 27 (2차)
 2009. 6. 10 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 6. 10
 ✉ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필