

지하철 승강장 스크린도어 설치에 따른 경제성 분석에 관한 연구

- 서울시 지하철 2호선을 대상으로 -

이 수 일* · 박 정 수** · 하 오 근*** · 이 수 범**** · 원 제 무*****

An Analysis of the Economic Efficiency of the Screen Door Installation in Subway Stations

- Focusing on Subway Line No. 2 in Seoul -

Soo-Il Lee* · Jung-Soo Park** · Oh-Keun Ha*** · Soo-Bum Lee**** · Jae-Mu Won*****

요약 : 본 연구에서는 스크린도어 설치에 따른 경제성분석을 목적으로 하였다. 스크린도어 설치에 따른 승강장의 쾌적성, 안정성, 소음, 대기오염에 대한 문헌연구를 토대로 정성적 편익항목에 대한 정량화 방안을 모색하였는데 우선 지하철 이용자에 대한 설문조사를 통하여 이용자의 추가지불의사금액을 산출하였다. 기관사의 스트레스에 대한 정도를 코티솔분비량에 착안하여 기관사 임금에 적용함으로써 스크린도어 설치를 통하여 지하철 기관사가 느끼는 심적 안정감을 정량화 하였으며 이를 토대로 스크린도어 설치에 따른 경제성분석을 위한 비용 및 편익항목을 정립하고 지하철 역사특성을 고려하여 3가지 시나리오를 설정하여 경제성분석을 실시하였다. 분석결과 2호선 전체 역사에 대하여 밀폐형 스크린도어로 설치한 시나리오 1이 경제성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 타 시나리오에 비하여 소음, 대기오염의 편익이 크게 나타난 결과로 판단할 수 있다.

주제어 : 스크린도어, 경제성분석, 정성적 편익항목, 기관사 스트레스, 조건부가치측정법

ABSTRACT : This study aims at developing economic analysis items with regard to the screen door installation. Based on the literature studies regarding platform's comfortableness, safety, noise and air pollution reduction resulted from the screen door installation, this study groped for plans to improve qualitative benefit items, and calculated amount of users' willingness to pay additionally through survey on subway users and engineers, along with the extent of engineers' stress, qualitatively, in view of cortisol secretion. Based on the outcome, this study set up expenses and benefit items for economic analysis of the screen door installation, and analyzed its economic efficiency by setting up three scenarios, in consideration of the characteristics of subway station building. As the result of analysis, Scenario 1 that proposed close-type screen door installation for the whole stations of Line 2, showed the highest economic efficiency, which is deemed to have bigger benefit as to noise and air pollution, than other scenarios.

Key Words : screen door, economic efficiency analysis, qualitative benefit item, engineer's stress, contingent valuation method

* 서울시립대학교 교통공학과 연구교수(Professor of Research, Department of Traffic Engineering, University of Seoul), 논문 주저자임(sooil99@hanmail.net).
** 한양대학교 도시대학원 박사수료(Doctor Course Student, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University), 교신저자임(pajs65@empal.com).
*** 한양대학교 도시대학원 박사과정(Doctor Course Student, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University)
**** 서울시립대학교 교통공학과 부교수(Associate Professor, Department of Traffic Engineering, University of Seoul)
***** 한양대학교 도시대학원 교수(Professor, Graduate School of Urban Studies, Hanyang University)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지하철은 1863년 런던에서 최초로 개통되었고, 이용의 편리성과 이동시간의 단축 등 단위시간당 수송능력이 승용차의 7.3배에 달하는 대표적인 대중교통수단이다. 우리나라에서는 1974년 서울 지하철 1호선이 개통되었고, 그동안 1기지하철(1~4호선)뿐만 아니라 2기지하철(5~8호선)로 8개 노선이 운행되고 있다.

운행초기의 지하철은 단지 수송수단으로서의 역할만이 요구되었으나 현재의 지하철은 이용 빈도가 많아지고, 지하철 승강장에 체류하는 시간이 길어짐에 따라 단순한 수송수단이 아닌 하나의 활동공간으로서의 역할도 만족시켜야 하는 상황에 이르렀다.

또한 전반적인 생활수준이 향상됨에 따라 지하철내의 환경에 대한 이용자들의 쾌적함과 안전성에 대한 인식이 높아지고 있으며, 따라서 상대적으로 승객들의 체류시간이 대합실과 비교해서 상대적으로 긴 지하철 승강장의 환경개선에 대한 문제가 계속 제기되어 왔다.

지하철 역사와 승강장은 많은 시민이 이용하는 대중적인 이동과 공중의 공간임을 생각할 때 보다 쾌적하고 안전한 지하철 승강장의 환경조성은 한 차원 높은 지하철의 품격과 양질의 고객 서비스를 지향하는 차원에서 요구된다고 할 수 있다.

이렇게 우리나라에 정착되어 시민의 발로서 이용되어지는 지하철은 현재 역사의 승강장내의 여러 문제점을 보완해야 할 단계에 이르러 있다. 대표적인 것이 지하철 승강장 내 추락, 전동차사이

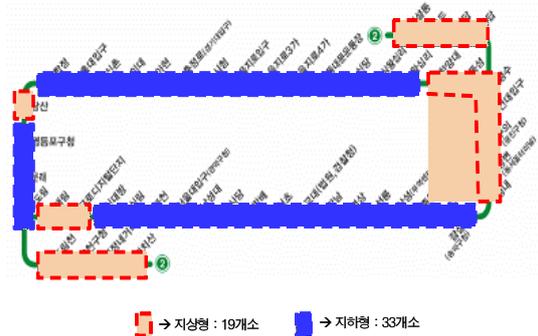
에 끼임 등의 안전사고이며, 장애인, 노약자 등의 탑승편의에 관한 문제, 승강장내의 쾌적한 환경문제, 여름철과 겨울철에 막대한 에너지 소모에 관한 문제 등이 대표적인 보완할 사항으로 꼽히고 있다. 따라서 지하철 승강장 지하공간에 대한 시설 개선 및 투자가 필요하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 지하철 승강장의 여러 문제점을 보완할 수 있는 스크린도어(PSD)¹⁾설치에 따른 승강장의 안전성 향상, 환경개선, 그리고 지하철 기관사의 심적 스트레스의 저감 등에 따른 경제적인 편익을 연구하여 경제적 가치를 구하고자 하며, 시나리오 설정에 따른 경제성분석의 사례연구를 실시하도록 한다.

2. 연구의 내용 및 과정

1) 연구의 내용

본 연구는 지하철 승강장 스크린도어 설치에 따른 경제성분석 항목개발을 위하여 공간적 범위로는 지하철 2호선(52개소)을 대상으로 하였으며, 시간적 범위로는 2007년 현재를 기준으로 하고 자료는 2006년까지의 자료를 이용하고 경제성분석의 범위는 30년을 기준으로 하였다.



<그림 1> 공간적 범위

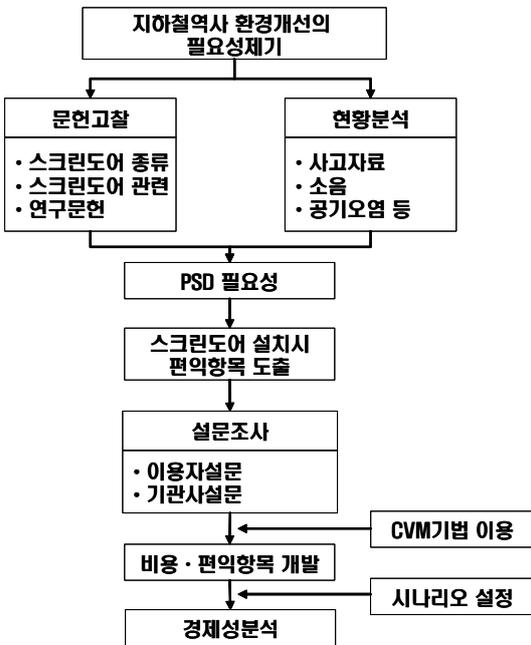
1) PSD(Platform Screen Door)

2) 연구의 방법

연구의 방법에 있어서 우선 기존연구를 통하여 스크린도어 종류, 설치비용, 승강장 사고 및 소음, 공기오염, 이용자 편의성의 현황분석을 실시하였다.

또한 지하철 이용자와 기관사에 대한 설문조사를 통하여 스크린도어 설치에 따른 이용자의 만족도, 지하철 이용자의 편의성(안전성, 쾌적성 등)에 대한 편익을 추정하기 위하여 조건부가치추정법을 이용하여 지불의사금액에 대한 함수를 추정하였다. 기관사에 대한 설문에서는 스크린도어 설치가 지하철 운행시 기관사의 심적 스트레스에 어느 정도 영향을 미치는지 파악하고 이러한 기관사 스트레스를 스크린도어 설치에 따른 경제성 분석시 편익항목으로 설정하기 위한 방안을 모색하였다.

이를 토대로 스크린도어 설치에 따른 경제성 분석시 비용과 편익항목을 구분하여 사례분석을 통하여 각 시나리오에 따른 경제성분석을 실시하였다.



<그림 2> 연구의 흐름도

II. 문헌 연구

본 장에서는 분석대상인 지하철 2호선의 안전 사고, 소음, 공기오염과 같은 현황분석과 지하철 이용상의 문제점, 스크린도어 종류 및 특징을 검토한다.

또한 스크린도어 설치에 따른 효과에 대한 연구를 검토하고 이를 통하여 스크린도어 설치에 따른 평가항목개발에 대한 비용 및 편익항목을 정립하고 최종적으로 스크린도어 설치의 필요성을 제기하도록 하며 우선 스크린도어의 종류 및 특징은 다음과 같다.

스크린도어의 형식에 따른 종류는 완전 밀폐형, 반밀폐형, 난간형 3가지 형식으로 구분된다. 완전 밀폐형은 역사의 승강장과 선로를 완전 밀폐시켜 분리하는 형식으로 지하정거장과 같이 위, 아래 모두 구조물이 만들어져 있을 때 설치가 가능하다.

반밀폐형은 상부에 개구부가 있는 형태로서 완전밀폐가 되어있지 않아 지하보다는 지상이나 고가에 많이 쓰는 형식으로 자연환기가 가능하고 난간형은 주로 지상에 많이 사용하는 형태로서 승객의 안전이 우선되는 곳에 사용하는 것이 목적이다.

1. 현황분석

1) 사고현황

지하철 2호선을 운행하는 서울메트로(1~4호선)의 2000~2005년 안전사고 현황을 살펴보면 총 사고건수는 29건에서 39건으로 6.1%증가한 것으로 나타났고 부상, 사망사고를 살펴보면 부상사고는 -1.25%감소한 반면에 사망사고는 12건에서 23건으로 13.89%의 높은 증가율을 보이고 있어 사망사고에 대한 대책이 필요한 실정이다.

<표 1> 서울메트로(1~4호선) 안전사고 현황

연도	부상(명)	사망(명)	총 건수
2000년	17	12	29
2001년	9	19	28
2002년	7	17	24
2003년	19	29	48
2004년	12	21	33
2005년	16	23	39
계	80명	121명	201건

자료: 서울메트로 안전관리실, 2006, 내부자료.

2) 공기오염

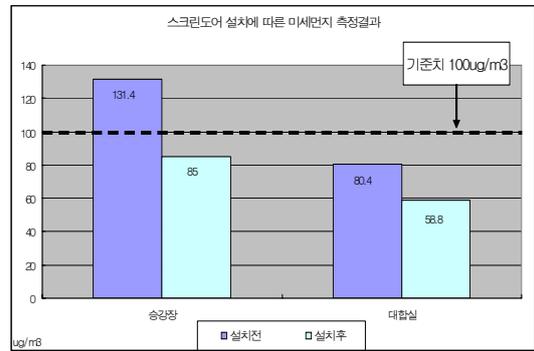
지하철 2호선 사당역의 승강장 및 대합실에 대하여 스크린도어 설치 전·후의 공기질 측정결과 는 다음과 같으며, 스크린도어 설치에 따라 승강장 및 대합실의 공기질의 향상을 가져오는 것으로 나타났다.

<표 2> 사당역(2호선) 스크린도어 설치 전·후 미세먼지 (PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) 농도

구분	승강장	대합실
설치 전	131.4	80.4
설치 후	85.0	58.8

자료: 서울메트로 환경설비처, 2006, 내부자료.

환경부에서 다중이용시설의 미세먼지 (PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) 농도를 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제한하고 있는 실정에서 스크린도어 설치 전·후의 미세먼지 (PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)) 농도를 살펴보면 승강장의 경우 $131.4 \rightarrow 85.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 35.3%의 개선효과가 있는 것으로 나타났고, 대합실의 경우 $80.4 \rightarrow 58.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 26.9%의 미세먼지개선효과가 있는 것으로 나타나 스크린도어 설치를 통한 공기오염의 감소효과 는 있는 것으로 판단된다.



<그림 3> 스크린도어 설치에 따른 미세먼지 측정결과 비교

3) 소음현황

지하철 2호선 사당역의 승강장 및 대합실에 대하여 스크린도어 설치 전·후의 공기질 측정결과 는 다음과 같으며, 스크린도어 설치에 따라 승강장 및 대합실의 공기질의 향상을 가져오는 결과가 나타났다.

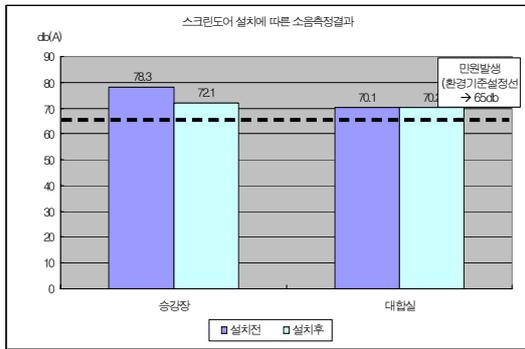
<표 3> 사당역(2호선) 스크린도어 설치 전·후 소음 (db(A))

구분	승강장	대합실
설치 전	78.3	70.1
설치 후	72.1	70.2

자료: 서울메트로 환경설비처, 2006, 내부자료.

소음측정은 설치 전 2회, 설치 후 8회 측정결과 승강장의 경우 7.9%의 개선효과가 있으며, 대합실의 경우 스크린도어 설치 후 거의 변동이 없는 것으로 나타나 승강장의 소음감소효과가 큰 것으로 나타났다.

하지만 민원발생(환경기준)기준인 65db보다는 큰 것으로 나타났으며 이는 스크린도어 설치승강장에 대한 추가조사를 통한 소음측정이 필요하다고 판단된다.



〈그림 4〉 지하철(2호선) 소음 측정결과

2. 관련연구

스크린도어 설치에 따른 영향을 분석한 연구는 현재 활발히 진행되고 있으며, 공기오염감소, 기관사스트레스, 소음감소, 적정급배기방식 등이 있고 이에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

김권중(2006)의 연구에서는 지하철 승강장에 스크린도어(PSD)를 설치에 따른 공기질의 변화에 대해 연구한 결과 승강장 기준으로 미세먼지는 34.6%(104 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 68.5\mu\text{g}/\text{m}^3$) 감소했으며, 정거장 기준으로는 32.8%(90.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 60.7\mu\text{g}/\text{m}^3$) 저감되는 결과를 제시하였다. 또한 이산화탄소(CO₂)의 경우 스크린도어(PSD) 설치 여부와 이산화탄소의 농도와는 관계가 없는 것으로 나타나 이산화탄소는 승객의 호흡과정에서 기인된 것이며, 이는 스크린도어(PSD) 설치를 통하여 승강장에서 발생하는 미세먼지의 농도를 감소하는 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

아세트알데히드(HCHO)는 스크린도어(PSD)를 설치하면 승강장 기준으로 8.3% (51.3PPM \rightarrow 47.1PPM) 감소하며, 정거장 기준으로 3.1%(46.4PPM \rightarrow 45PPM)가 저감되는 것으로 분석되었고 일산화탄소(CO)의 경우 스크린도어(PSD)를 설치하면 승강장 기준으로 18.6%(0.98PPM \rightarrow 0.8PPM)

저감되고, 19.5%(0.96PPM \rightarrow 0.77PPM) 저감되는 것으로 분석되어 스크린도어(PSD) 설치에 따라 승강장 및 정거장의 대기질이 향상되는 것으로 분석되었다.

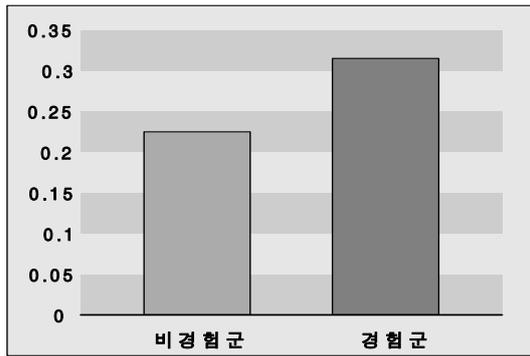
우종민(2005)의 연구에서는 지하철에서 자살, 자해, 선로추락 등으로 사망하거나 다치는 사람이 해마다 급증하고 있으며 이러한 현상을 지하철 기관사의 관점에서 보면 지하철 사고 발생시 심리적 정신적으로 큰 영향을 받게 되는데 본 연구에 의하면 사고의 경험이 있는 기관사는 심적 스트레스로 인해 우울증과 공황장애와 같은 정신적 이상증세가 나타났다고 한다.

기관사에 대한 스트레스 정도를 측정하기 위해 외상후 스트레스 장애 척도(Clinician-Administered PTSD Scale : 이하 CAPS)를 적용하였으며 이는 외상후 스트레스 장애를 평가하기 위해 Blake et al.(1990)에 의해 개발된 방법이다.

연구결과를 살펴보면 연구에 참가한 지하철 기관사의 2명 중 1명은 운행 중 사고를 경험하고 있는 것으로 나타났는데, 운행 중 사고경험이 있는 기관사의 6.1%가 공황 장애 유소견자였고, 일본 공황 증상을 나타낸 기관사도 10.7%로 나타났다. 이는 일반인구의 공황장애 발병률 3.5%에 비해 상당히 높은 수준인 것으로 판단하였으며, 운행 중 사고경험은 정신적인 건강을 위협할 뿐 아니라 업무 효율성을 떨어뜨리게 되어, 승객의 안전까지 위협할 수 있으므로 기관사의 정신건강에 대한 관리가 중요하다는 결과를 제시하였다.

부산지하철 노동조합에서는 지하철 사고경험이 있는 기관사와 사고경험이 없는 기관사의 사상사고와 스트레스의 관계에 대하여 스테로이드 호르몬의 일종인 코티솔의 분비량을 살펴본 결과²⁾ 비경험자에 비하여 경험자가 코티솔 수치가 1.4배 높은 것으로 나타났고 이는 사고경험이 있는 기관

사가 업무시 보다 많은 스트레스를 받는다는 것을 나타내는 것으로 스크린도어(PSD)를 설치하게 되면 지하철 기관사는 안전사고에 대한 스트레스에서 벗어날 수 있으며, 이는 업무효율의 향상을 유도할 수 있다.



〈그림 5〉 사상사고와 스트레스의 관계

김상운 외(2004)의 연구에서는 교통시설설비 중 현재의 지하철 플랫폼에 대한 문제점을 분석하고 그 대안으로 스크린도어의 도입에 따른 장·단점을 분석하였다. 지하철 승강장의 문제점으로는 승객의 안전성에서는 지하철 안전사고에 대한 심각성을 언급하고 쾌적성에서는 스크린도어 설치에 의해 25~31%의 소음감소효과가 있다 제시하였다. 이는 스크린도어(PSD)가 안전사고를 예방하고 승강장의 쾌적성을 향상시키는데 중요한 역할을 할 수 있는 시설임을 나타내는 결과이다.

III. 설문조사분석

설문조사분석은 이용자와 기관사를 대상으로 하였으며, 이용자 설문은 스크린도어 설치 후 이용자들이 느끼는 편의성과 안전성 등에 대하여 어

〈표 4〉 연구결과의 종합

연구자	연구내용
김권중 (2006)	지하철 승강장에 스크린도어 설치에 따른 공기질의 변화를 연구하였으며, 스크린도어 설치에 의해 미세먼지, 이산화탄소, 아세트알데히드, 일산화탄소가 저감하는 것으로 분석됨.
우종민 외 (2005)	지하철 기관사의 운행중 사고경험에 따른 정신건강에 대한 연구에서는 지하철 운행중 사고경험자는 정신적 스트레스 장애를 얻는 것으로 나타나 기관사에 대한 정신건강에 대한 관리가 중요하다는 내용임.
부산지하철 노동조합 (2006)	지하철 사고경험자와 무경험자의 스트레스 관계를 규명하였으며, 그 결과 스테로이드 호르몬의 일종인 코티솔 분비량이 1.4배 높게 나타나는 결과가 나타남.
김상운 외 (2004)	지하철 스크린도어 도입에 따른 장·단점을 설문을 통하여 조사하였으며, 그 결과 88%의 높은 수치로 스크린도어 및 안전발판설치에 대해 안전하다는 결론을 제시함.

는 정도의 인식을 가지고 있는지 조사하였으며, 기관사 설문에서는 지하철 사고로 인한 기관사의 심적 스트레스의 정도에 대하여 살펴보고, 스크린도어 설치필요성에 대하여 살펴보았다. 본 장에서는 설문시 9점 척도를 적용하여 설문을 실시하였으나 설문결과를 간결하게 제시하기 위하여 3점 척도로 재분석하여 설문결과를 제시하였다.

1. 설문조사의 개요

설문조사의 개요는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 설문조사 개요

구분	이용자	기관사
시기	07년 4월 9일~13	07년 4월 9일~13
방식	면접조사	면접조사
부수	30부	12부

2) 부산지하철 노동조합(2006) 참조.

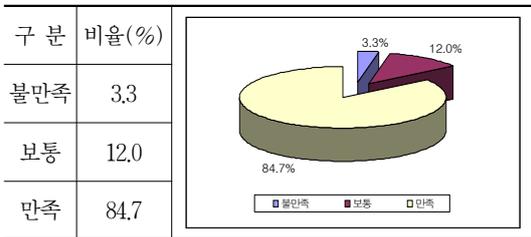
2. 이용자 설문

이용자 설문은 지하철 승강장에 스크린도어가 설치됨에 따른 이용자의 만족도를 안전성, 쾌적성, 공기의 청결도, 소음의 감소로 구분하여 조사하였으며, 이를 통하여 스크린도어의 설치 필요성과 타당성에 대한 근거자료로 활용할 것이다. 또한 스크린도어 설치에 따른 이용자의 추가지불의사 금액에 대한 항목은 스크린도어 설치에 따른 경제성 분석시 조건부가치추정법(CVM)을 적용한 편익항목으로 적용된다.

설문의 주요항목에 대한 결과는 다음과 같으며, 스크린도어 설치에 따른 이용자 들이 느끼는 만족도(안전성, 쾌적성, 소음, 대기질)는 높은 것으로 나타났다.

스크린도어에 대한 만족도는 승강장의 안전성, 쾌적성, 공기청결도, 소음감소를 종합한 전체 만족도로서 분석 결과를 살펴보면 '만족'이 84.7%로 분석되었고 응답자의 대부분이 스크린도어 설치에 대해 전반적으로 만족함을 느끼고 있으며, 이는 지하철 승강장의 스크린도어 설치에 대한 설치 타당성과 필요성에 대해 직접적으로 나타낼 수 있는 결과로 판단된다.

〈표 6〉 스크린도어 설치에 따른 전체 만족도

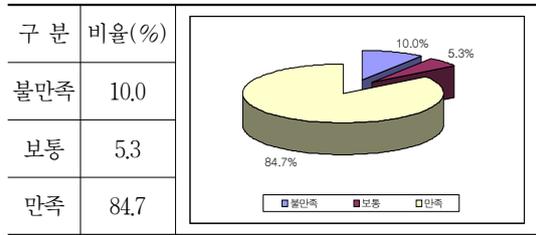


스크린도어가 설치됨에 따라 승강장에서 지하철을 기다리는 이용자들은 사고위험 및 심적 불안감이 어느 정도 감소했을 것으로 판단하여, 안전

성에 대한 만족도를 조사하였다. 스크린도어의 안전성에 84.7%가 안전성측면에서 만족하는 것으로 나타났다.

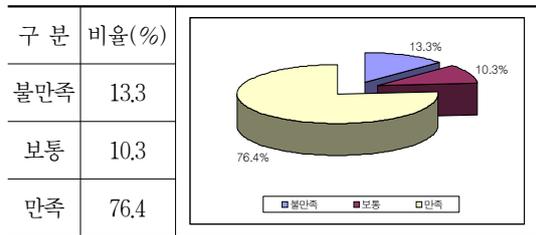
따라서 응답자의 대부분이 스크린도어를 설치함에 따라 안전성이 향상되었다고 느끼고 있는 것으로 나타났다. 그러나 스크린도어가 화재시에는 더 위험할 수 있다는 우려의 목소리도 적지 않기 때문에 비상시 대비할 수 있는 시스템 개발에도 보다 힘써야 할 것으로 보인다.

〈표 7〉 스크린도어 설치에 따른 안전성 만족도



쾌적성 만족도는 스크린도어가 설치됨에 따른 승강장의 승객이 느끼는 심적 안정성, 열차풍 차단등과 같은 모든 항목을 측정할 수 있는 항목으로 조사결과 '만족'이 76.4%로 가장 많은 비중을 차지해 전반적으로 승강장이 쾌적하다고 느끼고 있는 것으로 나타났다.

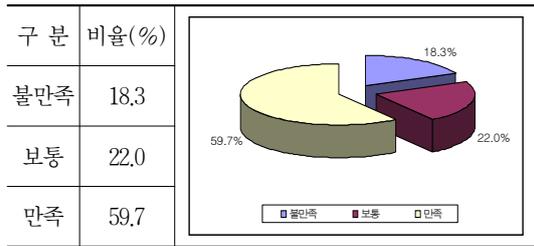
〈표 8〉 스크린도어 설치에 따른 쾌적성 만족도



대기질의 만족에 대한 응답결과는 59.7%가 '만족'으로 응답하였는데 이것은 대기의 질의 경우 생활속에서 관심을 갖더라도 큰 차이가 있지 않을 경

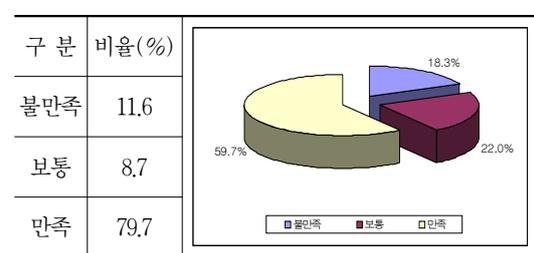
우 사람들이 잘 느끼는 못하는 영향요소이기 때문 이라고 판단된다.³⁾ 그러나 반대로 터널안의 대기의 질이 스크린도어 설치 후 '불만족' 의견이 18.3%로 나타나 이에 대하여 간과 할 수는 없다고 판단된다.

〈표 9〉 스크린도어 설치에 따른 대기질 만족도



스크린도어는 철로에서 지하철운행으로 인해 발생하는 소음을 감소시키는 역할을 하고 있으며 실질적으로 이용자들이 어떻게 느끼는지에 대해 조사한 결과 스크린도어 설치에 따른 소음감소에 대한 만족도 분석 결과 79.7%가 '만족'으로 응답 하였는데 이것은 소음에 대한 만족도에 대해 전반 적으로 만족하고 있다는 결과이다. 서울메트로 측 에서는 스크린도어 설치 시 승강장에서 8%의 지 하철 소음차단 효과가 있다고 밝히고 있고, 설문 결과도 이용자들의 대부분이 만족하는 것으로 나 타나 이를 뒷받침하는 결과로 판단된다.

〈표 10〉 스크린도어 설치에 따른 소음 만족도



3. 기관사 설문

기관사 설문은 지하철 승강장에 스크린도어가 설치됨에 따라 기관사들이 지하철을 운행함에 있 어 심적 안정이 어느 정도 되며, 사고경험에 대한 조사를 통하여 기관사가 느끼는 스트레스(우울증, 공황장애)증상이 어느 정도 되는지를 파악하는 것이 목적으로 하며 지하철 기관사를 대상으로 12 명의 설문을 실시하였다.

기관사 설문의 주요항목을 정리해보면, 지하철 운행시 기관사들이 느끼는 심적 스트레스로 인한 이상증세와 스크린도어 설치의 필요성에 대한 설 문결과를 정리하면 다음과 같다.

지하철 기관사는 사고 및 사고의 불안감으로 인하여 우울증이나 공황장애를 일으킨다는 문헌 검토를 통하여 실제로 기관사들이 받는 심적 스트 레스의 정도에 대하여 설문조사를 실시하였다. 지 하철 기관사 중 심적 스트레스로 인한 우울증이나 공황장애와 같은 이상증세에 대한 질문에는 '보통' 에 응답한 사람이 41.7%로 가장 많았고, 보통 이 상에 응답한 사람도 40% 정도의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

지하철 운행 중 지하철 선로에 투신해서 자살 하는 사람을 본 운전자들은 사고 후에도 잔상이 계속 남아서 심한 공황장애와 불안감을 일으키고 있으며, 승강장에 진입할 때 사람이 뛰어내릴지도 모른다는 불안감과 누군가 뛰어내리는 환상이 보 이는 등 그 후유증이 심각해 직업병으로까지 발전 할 가능성이 있어 스크린 도어의 설치가 필요한 실정이다.

3) 실제로 사당역에서는 스크린도어 설치 후 승강장의 미세먼지가 35.3% 줄어든 효과를 나타냈다고 한다.

<표 11> 심적 스트레스로 인한 이상증세에 대한 결과

구 분	비율(%)	
약함	16.7	
보통	41.7	
심함	41.6	

실질적으로 스크린도어의 필요성을 가장 많이 느끼고 있을 것으로 판단되는 기관사에 대하여 스크린도어의 설치 필요성을 묻는 질문에 대한 응답결과 100%인 12명 모두 필요함을 나타냈다. 이 중에서도 5명인 41.7%는 매우 필요하다고 응답하여 스크린도어 설치에 대한 중요성을 표현했다.

12명의 기관사를 상대로 스크린도어의 설치 필요성을 묻은 결과는 위와 같이 나타났는데 이것은 당연한 결과라고 생각된다. 100%인 12명 모두 '필요하다'에서 '매우 필요하다'고 응답하였는데 이 같은 결과는 전철 기관사의 경우 언제 발생할지 모르는 사고에 대해서 항상 긴장을 하지만 스크린도어의 설치를 할 경우 그 역의 경우에는 그런 돌발 상황에 긴장을 하지 않아도 되기 때문이다.

<표 12> 스크린도어 설치필요성에 대한 결과

구 분	비율(%)	
불필요	0.0	
보통	0.0	
필요	100.0	

4. 교차분석결과

교차분석을 통하여 기관사의 사고경험과 운행경력에 따라 사고로 인한 심적 스트레스 증상이

어떻게 차이가 있는지 분석하였다.

사고경험에 따른 기관사 심적 스트레스정도의 카이스퀘어 검정을 살펴보면 우선 가설을 설정하였다.

H_0 : 사고경험에 따라 기관사의 심적 스트레스 정도에는 차이가 없다.

H_1 : 사고경험에 따라 기관사의 심적 스트레스에는 차이가 있다.

<표 13> 사고경험에 따른 기관사 심적 스트레스 차이검증

	Value	df	Sig.
Pearson Chi-Square	4.133a	4	.338
Likelihood Ratio	5.040	4	.283
Linear-by-Linear Association	1.553	1	.213
N of Valid Cases	12		

카이스퀘어 검정의 결과 자유도(df)가 4이고 카이스퀘어(Chi-square)값은 1.133으로 신뢰수준 95%내에서 유의하지 않게 나타나 사고경험에 따라 기관사의 심적 스트레스 차이가 없다는 결과가 나타났지만 이는 설문지 표본수가 부족하여 나타난 결과로 미루어 볼 수 있으며, 추가적인 조사가 필요함을 내포하고 있다.

사고경험에 따른 스크린도어 설치필요성의 카이스퀘어 검정을 살펴보면 우선 가설을 설정하였다.

H_0 : 기관사의 사고경험에 따라 스크린도어 설치 필요성의 정도에는 차이가 없다.

H_1 : 기관사의 사고경험에 따라 스크린도어 설치 필요성의 정도에는 차이가 있다.

카이스퀘어 검정의 결과 자유도(df)가 2이고 카이스퀘어(Chi-square)값은 3.467로 신뢰수준 95%내에서 유의하지 않게 나타나 기관사 사고경험에 따라 스크린도어 설치 필요성의 정도에는 차이가 없다는 결과가 나타났지만 이 또한 설문지

표본수가 부족하여 나타난 결과로 미루어 볼 수 있으며, 추가적인 조사가 필요함을 내포하고 있다.

〈표 14〉 사고경험에 따른 스크린도어 설치 필요성 차이검증

	Value	df	Sig.
Pearson Chi-Square	3.467a	2	.177
Likelihood Ratio	3.993	2	.136
Linear-by-Linear Association	2.099	1	.147
N of Valid Cases	12		

IV. 비용 및 편익항목 개발

본 장에서는 경제성분석을 위한 개념정립 및 스크린 도어에 관련된 비용항목과 편익항목을 개발하였다. 비용항목은 현재 스크린도어를 시행 중에 있는 서울메트로의 평균비용과 운영비용을 기초로 하였고 편익항목은 기존의 연구논문과 환경적 측면에 관한 부분을 고려하여 새로이 개발하였다. 특히 CVM(조건부 가치추정법)을 이용하여 이용자에 대한 만족도를 계량화하였다.

1. 비용·편익항목 및 시나리오 설정

스크린도어 설치에 따른 경제성분석을 위하여 사업시행으로 발생하는 비용과 편익항목에 대하여 설정하였다. 편익항목에 있어 우선 이용자, 운영자측면으로 카테고리를 구분하였고 각 항목에 대한 계량화방안과 화폐가치 대체대안으로 구분하였으며, 세부내용은 〈표 15〉와 같다.

시나리오는 총 3가지로 구분하였으며, 역사의 형태가 지상형, 지하형에 따라 구분하여 스크린도어를 설치하는 것으로 구성하였다.

- 시나리오 1 : 52개역사 밀폐형
- 시나리오 2 : 33개역사 밀폐형 + 19개역사 난간형
- 시나리오 3 : 52개역사 난간형

2. 비용산정

지하철 스크린도어 설치에 따른 비용항목은 스크린도어 설비비용과 유지관리비용으로 구분된다. 역사 한 곳에 스크린 도어를 설치하는 데 드는 비용은 평균 20억 원⁴⁾ 정도로 지하철 2호선 52개역에 스크린도어를 설치할 경우 소요되는 비용은 1,040억 원이 소요될 것이며, 여기서 설치비에 대한 원단위로 밀폐형은 20억 원/역, 난간형은 15억 원/역을 적용하였다. 또한 유지관리비용은 아파트 승강기의 유지비용과 비슷하므로 역사별 스크린도어의 set수에 set별 유지관리비용 11만원/년을 적용하여 산정한 비용은 457.6 백만 원으로 산정되었다.

3. 편익산정

공기오염 감소편익에 대한 산정을 위하여 철도 투자분석 평가편람의 오염물질별 원단위를 적용하였으며, 스크린도어 설치에 따른 승강장내 공기의 질 개선효과는 기설치 된 역사에서 조사되어진 자료에 의하면 공기오염 감소효과가 35%로 나타나 스크린도어 설치에 따른 공기오염의 개선효과는 35%를 적용하였다.

공기오염 감소편익 중 PM(미세먼지)는 승강장의 부피(m³)당 발생하는 것으로 승강장의 부피를 계산하면 4,800m³이며, ppm/h, µg/m³의 단위를 g/h, g/m³로 환산하기 위하여 10⁻³을 곱하여

4) 서울지하철공사 환경설비팀, 2006, 내부자료.

<표 15> 비용·편익항목 설정

구분	평가항목	계량화 방안	화폐가치 대체대안
비용	- 스크린도어 설치비용	- 설치비용(원)	- 공사비용(원)
	- 유지관리비용	- 인건비 및 유지관리비용(원)	- 인건비 및 유지관리비(원)
편익	이용자 측면	- 공기오염감소편익 - 소음감소편익 - 사고감소편익 - 이용자의 편의성	- 공기오염물질 감소에 따른 편익원단위(원) - db 감소에 따른 편익 원단위(원) - 사고비용 및 보상비(원) - 이용자별 추가지불요금(원)
	운영자 측면	- 냉·난방비 감소편익 - 광고수익편익 - 기관사의 스트레스 감소편익	- 냉·난방에 소요되는 전기료(원) - 광고면당 대여비용(원) - 스트레스 감소비용을 월임금(원)에 적용 - 전기사용료(원) - 광고판 대여비용(원) - 스테레스 감소비용(원)

편익을 산정하였다.

- 승강장 부피(m ³) = 승강장 길이(200m) × 2Line × 승강장 폭(4m) × 승강장 높이(3m) = 4,800m ³
- 적용단위(g/h) = 20시간 × 365일 × 측정값(ppm/h) × 10 ⁻³ (단위환산) × 감소효과(35%)
- 적용단위(g/m ³) = 365일 × 4,800m ³ × 측정값(μg/m ³) × 10 ⁻³ (단위환산) × 감소효과(35%)

스크린도어 설치에 따른 소음감소효과는 기존에 스크린도어가 설치되어진 역사의 소음감소효과를 살펴본 결과 7.9%의 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 소음감소분에 대한 원단위는 한국개발연구원(2004)의 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)」의 평균소음 원단위 1,705원(db/m/년)을 적용하여 소음감소분에 대한 편익을 산정하였다.

- 시나리오 1(밀폐형) = 52개역 × 200m × 2면 × (78db × 7.9%) × 1,705 = 218,529,168원
- 시나리오 2(밀폐형+난간형) = 33개역 × 200m × 2면 × (78db × 7.9%) × 1,705 = 138,681,972원
- 시나리오 3(난간형) = 0원

사고감소편익을 산정하기 위해 대상구간인 2호

선에서 발생한 사고 자료를 수집함에 있어 서울 Metro의 사고자료 협조가 여유치 않아 서울지하철의 총 연장에서 지하철 2호선의 연장비율을 적용하여 사망 12건, 부상 14건이라는 결과를 적용하여 편익을 산정하였다. 여기서 스크린도어를 설치함으로 인하여 승강장내에서 발생하는 안전사고는 없는 것으로 가정하였으며, 사고비용의 편익 원단위는 「도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정, 보완연구(제4판)」의 자료를 활용하였으며 사망일 경우 36,374만원, 부상일 경우 3,057만원을 적용하였다.

교통사고저감편익 = {12건(사망) × 36,374만원} + {14건(부상) × 3,057만원} = 4,792,860,000

스크린도어 설치에 따른 냉·난방비 감소효과는 기존에 스크린도어가 설치되어진 역사의 냉·난방비 절감효과를 살펴본 결과 36%⁵⁾의 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 지하철역사에서 사용되는 전력의 30%가 냉·난방비에 소비되는 것으로 가정하였으며, 지하철 2호선의 일일전력사용액의 평균치는 81,466,853원/일⁶⁾으로 이를 기준

5) 서울지하철공사 운영관리실, 2006, 내부자료.

6) 상계서

으로 냉·난방비 감소편익을 산정하였다.

- 시나리오 1(밀폐형) = 81,466,853원 × 30%(냉·난방비 용 비율) × 36%(냉·난방비 절감비율) × 365일 = 3,211,423,345원
- 시나리오 2(밀폐형+난간형) = 3,211,423,345원 × 65%(밀폐형 비율) = 2,087,425,174원
- 시나리오 3(난간형) = 0원

스크린도어 설치 후 지하철의 문과 문 사이와 차량간의 공간에 허용할 수 있는 광고면수는 총 39면으로 이러한 광고료는 1면당 52,000이다. 이를 이용하여 52개 역사에 대한 광고수익을 계산하면 2,530,940,000원이 산정되었다.

광고수익의 편익 = 1면 광고료(5,2만원/월) × 39면 × 2Lane × 52개역 × 12개월 = 2,530,940,000원

스크린도어 설치에 따른 이용자의 편의성(안전성, 쾌적성 등)에 대한 편익을 추정하기 위하여 조건부가치추정법을 이용하였다. 설문에서 앞서 현재 지하철 기본요금인 800원을 기준으로 “만약 스크린도어 설치후 이에 대한 비용을 요금에 추가하여 부과하게 된다면 얼마를 더 부과할 의향이 있는 지”에 대하여 설문과 스크린도어 설치에 따른 이용자의 만족도에 대해 조사하였다.

설문결과 응답자의 56.7%가 스크린도어 설치에 대해 만족하는 것으로 나타났으며, 세부적인 안전성, 쾌적성, 공기의 청결, 소음감소에 대해 조사결과는 별첨에 첨부하였다. 마지막으로 조건부가치에 대한 조사결과 스크린도어 설치에 따른 추가비용에 대한 분석결과 9.3원을 더 부과할 의향이 있는 것으로 나타났다. 여기서 특이한 점은 스크린도어 설치에 따른 추가요금부과에 대해 63.3%가 반대하는 것으로 분석되었다. 따라서 이용자 편의성에 대한 편익산출은 1인당 추가요금인 9.3원을 지하철 2호선 일평균인원인 1,944,378

인/일을 적용하여 산출하고, 지불의사금액에 대한 함수를 추정하였다.

〈표 16〉 회귀모형결과 요약

구 분	Coefficients	t-value	Sig.
Constant	-39,223	-4.949	.000
안전성 만족도	4.920	2.858	.006
쾌적성 만족도	5.839	2.940	.005
이용횟수	3.276	2.344	.023

스크린도어 설치에 따른 지불의사금액에 영향을 미치는 변수로는 지하철 승강장의 안전성에 대한 만족도, 쾌적성에 대한 만족도, 지하철 이용횟수에 대한 변수가 유의한 변수로 설정되었으며, $R^2 = 0.512$ 로 지불의사금액에 대하여 51.2%의 설명력을 가진 모델이 도출되었다.

이용자 편의성에 대한 편익 = 9.3원 × 1,944,378인/일 × 365일 = 6,654,440,000원
--

지하철 운전사가 스크린도어 설치를 통한 지하철역 진입시의 안정감을 정량화 하기위하여 우선 운전사들의 스트레스를 유발하는 코티솔 호르몬의 분비량에 대한 비율을 적용하였다. 임상실험결과 사고 무경험자에 비해 사고경험자의 코티솔 분비량이 1.4배 높은 것으로 나타났으며, 이를 기관사의 연봉에 적용하여 스크린도어 설치에 따른 기관사의 안정감에 대한 편익을 산출하였다. 이는 지하철 운전사의 스트레스를 정량화하기 위한 것으로 업무의 강도는 월임금에 비례한다는 가정 하에 코티솔 분비량의 차이를 적용하여 스크린도어 설치에 따른 기관사의 전철 운행시 안정감에 대한 편익을 산출하였다.

지하철 2호선의 기관사중 사고경험이 있는 사람은 총 23명이며, 기관사 초임연봉은 24,545,000원/

년으로 이에 대한 편익산출결과는 다음과 같다.

$\begin{aligned} \text{운전사에 대한 편익} &= 24,545,000 \times 0.4 \times 23\text{명} \\ &= 225,814,000\text{원} \end{aligned}$
--

V. 비용·편익 분석

스크린도어 설치에 따른 비용과 편익비용을 토대로 비용·편익분석을 실시하였으며, 분석시 할인율은 6.5%⁷⁾를 적용하였다. 분석지표는 B/C(편익/비용)와 NB(순편익)을 기준으로 최적시나리오를 설정하였으며, 분석결과는 다음과 같다.

<표 17> 시나리오별 경제성분석 결과

구 분	B/C	NB(백만원)
시나리오 1(밀폐형)	2.33	140,124
시나리오 2(밀폐형+난간형)	2.32	127,664
시나리오 3(난간형)	2.28	103,776

경제성분석결과 B/C와 NB를 기준으로 사업의 타당성을 평가하면 시나리오 1, 시나리오 2, 시나리오 3 순으로 사업의 타당성이 높은 것으로 나타났으며, 최적대안에 대한 결과는 다음과 같다.

시나리오 1 > 시나리오 2 > 시나리오 3

VI. 결론

본 연구에서는 지하철 스크린도어 설치에 따른 승강장의 쾌적성, 안전성, 소음, 대기오염에 대한 문헌연구를 토대로 정성적 편익항목에 대한 계량화 방안을 모색하였으며, 지하철 이용자와 기관사에 대한 설문조사를 통하여 지하철 이용자의 편익

성 향상에 대한 추가지불의사금액을 산출하였으며, 기관사의 스트레스에 대한 정도를 코티솔 분비량에 착안하여 정량화 방안을 제시하였다.

스크린도어 설치에 따른 경제성분석을 위하여 비용 및 편익항목을 정립하였는데, 비용항목은 스크린도어 설치비, 유지관리비로 구분하였고, 편익항목은 공기오염 감소, 소음 감소, 사고 감소, 이용자 편의성, 기관사 스트레스, 광고 수익에 대한 편익으로 구분하였다.

여기서, 이용자 편의성, 기관사 스트레스에 대한 편익산정은 정성적인 항목으로 이를 계량화 할 수 있는 방안을 모색한 결과 이용자 편의성은 설문문을 통한 조건부가치측정법을 이용하여 산정하였으며, 기관사의 사고경험에 따른 심리적 우울증 및 공황장애는 스트레스를 유발하는 코티솔 호르몬의 분비량에 대한 수치의 변화에 착안하여 기관사 스트레스에 대한 편익을 계량화 하였다.

시나리오 설정은 지하철 역사특성(지상형, 지하형)을 고려하여 3가지 시나리오를 설정하여 경제성분석을 실시한 결과 시나리오 1~3의 모든 대안이 사업타당성이 있는 것으로 나타났고, B/C는 2.2~2.3 NB는 103,776원~140,124원으로 분석되었으며, 3가지 시나리오 중 최적대안은 시나리오 1로 지하철 2호선 52개 역사를 밀폐형 스크린도어로 설치할 경우 사업타당성이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 밀폐형 스크린도어의 경우 소음과 대기오염을 차단함으로써 타 시나리오에 비하여 소음, 대기오염의 편익이 크게 나타난 결과로 판단할 수 있다.

본 연구의 한계점 및 향후연구과제로는 이용자 편의성 및 지하철 기관사에 대한 설문 표본수에 있어 정확한 분석을 위해 적정 표본수에 대한 설

7) 한국개발연구원(2004).의 「도로·철도부문의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구[4판]」에 제시된 할인율을 적용함.

계가 필요하며, 이에 대한 계량화 방법론에 대하여 보다 세밀화된 편익의 산정이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌 _____

김권중, 2006, "지하철 승강장스크린도어가 정거장내 공기 질에 미치는 영향 분석", 전남대학교 석사학위논문.

김상운·성기창·강병근, 2004, "지하철 역사 승강장의 스크린도어 도입에 관한 연구", 『한국의료복지시설 학회지』, 10권 2호.

부산지하철 노동조합, 2006, "기관사들은 왜 불안해하나", 열린게시판

서울지하철공사, 2006, 「2005년도 경영실적보고서」.

우종민·강태영·이정은, 2005, "지하철 기관사의 운행 중 사고경험에 따른 정신건강의 차이", 『대한상업의학회지』, 제17권.

이동호·고재웅·김하영, 2005, "승강장 스크린도어 설치에 따른 배연설비운영에 대한 연구", 『KOSOS』, No. 1.

이상휘, 2003, "지하철 승강장 스크린도어 도입에 관한 연구", 서울산업대학교 철도전문대학원 석사학위논문.

한국개발연구원, 2004, 「도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구[4판]」.

원 고 접 수 일 : 2007년 5월 7일
 1차심사완료일 : 2007년 5월 28일
 최종원고채택일 : 2007년 6월 4일