

도시철도 환경개선 및 방재를 위한 스크린도어 시스템 최적설계기술 개발

지하공간 환경개선 및 방재기술 연구단의 도시철도분야 연구과제 중 스크린도어 시스템 최적설계기술 개발에 대한 연구내용을 소개하고자 한다.

김 정 엽

한국건설기술연구원 (jykim1@kict.re.kr)

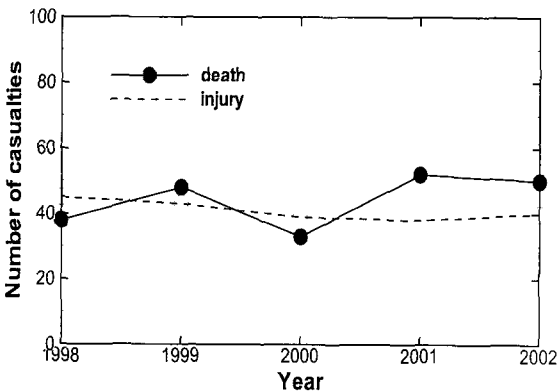
개 요

세계적으로 산업화와 도시화에 따라 교통량이 급속히 증가하면서 도시철도가 정시성과 쾌속성, 안전성 등의 우위를 바탕으로 주요 대도시의 핵심교통수단으로 정착되었으며, 국내에서도 현재 일일 이용객이 600만명에 이르고 2005년까지 노선 총연장이 600 km에 달할 것으로 예상되고 되고 있다. 따라서 도시철도는 단순한 교통수단의 개념을 넘어서 시민의 생활공간으로 거듭나고 있으며 이에 따라 승객의 안전성 확보와 쾌적한 이용환경에 대한 요구가 점차 증가되고 있다. 그러나 도시철도의 지하구간은 반밀폐적 터널공간으로 화재발생시 안전확보에 취약하

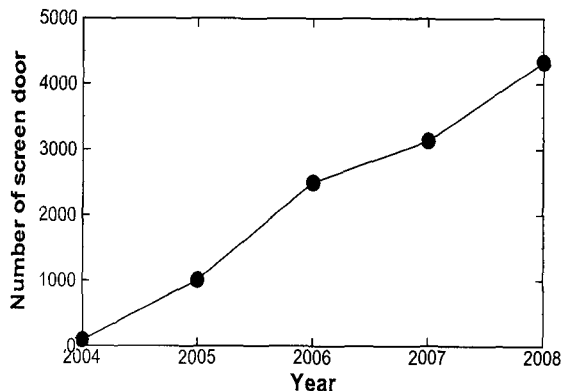
고 빈번한 열차운행으로 인한 열차풍과 분진, 고온의 기류에 의해 이용환경의 악화가 초래되고 있으며, 또한 그림 1과 같이 승강장에서의 추락사고가 지속적으로 발생하는 등, 승객의 안전과 편의 도모에 취약한 시설로 평가되고 있어, 도시철도의 환경개선을 위한 기술개발이 필요하다.

선진국의 경우 이러한 문제를 해결하기 위하여 능동적 개념의 설비시스템으로 스크린도어 시스템을 설치, 운영하고 있으며 그림 2과 같이 국내에서도 최근에 건설되는 도시철도를 중심으로 도입이 활발히 진행중에 있다.

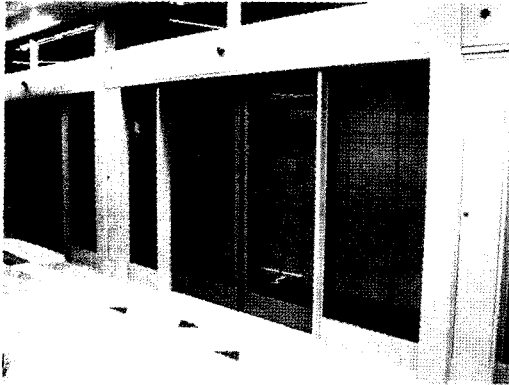
스크린도어는 승강장과 정거장선로부를 격리하는 고정벽 및 열차출입문과 연동하여 개폐되는 승객출



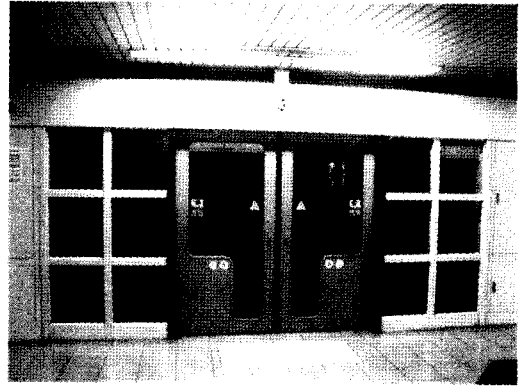
[그림 1] 국내 도시철도 승강장 여객사상자 현황



[그림 2] 국내 스크린도어시스템도입 현황

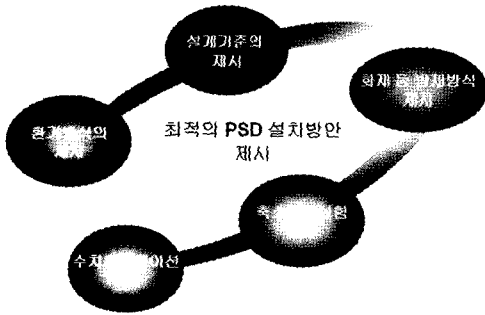


(a) 광주도시철도



(b) 교토 Tozai Line

[그림 3] 스크린도어시스템 전경



[그림 4] 연구범위

입문으로 이루어지며, 열차풍에 의한 승강장 쾌적성 저하와 열차정차시의 발생열 침투를 효과적으로 방지하고 승강장 승객의 안전과 쾌적환경을 확보할 수 있으며 또한 승강장 냉방부하 감소로 경제적인 공조 설비의 운영이 가능하다는 점에서 그 중요성이 부각되고 있다. 이러한 스크린도어의 설치는 도시철도의 제반 열유동현상과 화재와 같은 비상시 제연과 피난 등의 안전시스템 운용에 커다란 영향을 미치기 때문에 열차풍에 따른 스크린도어의 안전구조해석과 더불어 환기 및 방재시스템과 연계된 최적의 설치방안과 설치후의 운영기준의 확립이 절실히 요구된다.

그러나 현재 국내에는 스크린도어가 도입되는 도시철도의 환기 및 배연시스템에 대한 설계기준이 정립되어 있지 않아 기존의 설계방식을 그대로 적용하거나 도시철도 전체구간에 대한 종합적인 검토없이 시공시 구간별로 설계사의 개별적 의도에 따라 환기

및 배연시스템이 계획되고 있는 실정이다. 또한 화재시 배연시스템 설계를 위한 화재규모와 연기유동에 대한 지침이 부족하며 스크린도어의 폐쇄 또는 개방에 따른 배연효과분석 및 대피시나리오에 대한 검토가 이루어지지 않고 있고 유사시 대형인명피해의 가능성이 다분히 존재하므로 도시철도특성과 화재연소현상, 스크린도어 설치환경 등을 종합적으로 고려한 화재대응방안의 도출이 필요하다. 따라서 스크린도어 시스템의 설치효과를 극대화하고 도입 초기의 문제점을 최소화하기 위해서는 종합적이고 중장기적인 연구개발이 필요하다고 하겠다.

연구목적

본 연구에서는 스크린도어가 도입되는 도시철도의 환기/화재현상 분석과 이를 통한 설계 실용화기술 정립분야의 핵심요소기술 개발 및 실제적인 기술적용방안 도출등 건설기반기술혁신사업의 기본목적을 달성하고자 다음과 같이 연구목표를 설정하였다(그림 4).

- 스크린도어가 설치되는 도시지하철의 본선 및 정거장에 대한 환기 및 배연시스템 최적설계기술 개발 및 스크린도어 설치·운영기준 확립
- 스크린도어가 도입되는 도시지하철의 환기·방재분야 설치·운영기술 선진국 대비 95% 달성
- 설계엔지니어링·실증실험의 국내기관 기술기여율 90% 달성



1차년도 연구내용

국내외 기술동향 분석

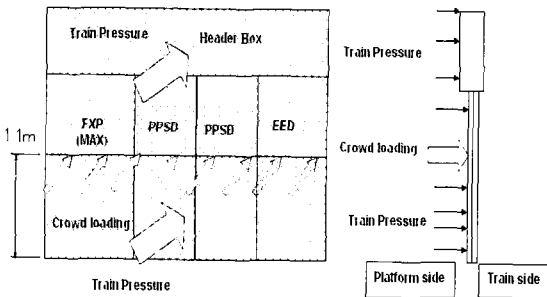
국내 도시철도의 안전성 확보와 쾌적한 환경에 대한 요구가 증가하면서 광주도시철도를 시작으로 신설예정인 도시철도와 기존운영중인 구간에 대해서 스크린도어 시스템의 도입이 활발히 진행되고 있다. 스크린도어 시스템은 그 설치형태에 따라 밀폐형, 반밀폐형 및 난간형으로 구분되며 현재 국내에서는 승강장에서의 환경조성과 공기에너지 절약측면에서 유리한 밀폐형이 주로 설치계획되고 있다.

건설교통부에서는 스크린도어 시스템을 국내에서 보급이 확산되고 있는 점을 감안하여 “승강장 스크린도어 시스템에 대한 품질시험기준” (건설교통부고시 제2004-136호, 2004년6월)을 제정하였다. 고시에서 제시하고 있는 품질시험기준은 스크린도어시스템의 설치와 안전확보를 위한 최소한의 요구사항으로서, 국내 도시철도에 스크린도어 시스템의 최적도

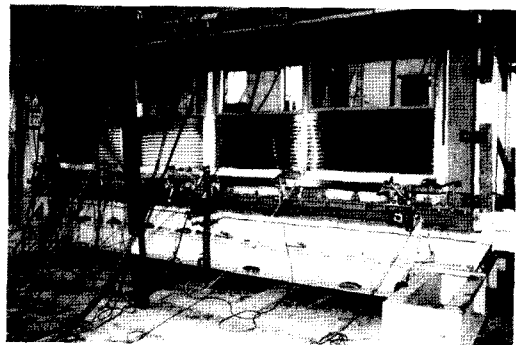
입을 위해서는 도시철도노선, 열차운행, 스크린도어 형식 및 환경·안전기준등 제조건에 따른 설계기준 및 방법의 개발이 필요하다.

일본에서는 스크린도어 시스템을 도입하기 위하여 스크린도어 자체제작을 위한 기술개발과 함께 설치할 도시철도의 특성에 따른 건축기준, 센서설치기준 및 풍압산정기준 개발등 포괄적인 연구를 수행하고 있다. 이중 스크린도어 시스템의 안전설계분야를 소개하면 다음과 같다.

스크린도어의 구조적 안전설계를 위해 스크린도어에 작용하는 하중을 분석하는 것이 필요하며, 그림 5는 일본에서 적용하고 있는 스크린도어 하중분포 모델을 보여주고 있다. 스크린도어의 하중조건은 지상역사와 지하역사를 구분하여 선정하고 있으며, 지상역사에 대해서는 태풍등에 의한 풍하중을 고려하였으며 지하역사에서는 열차에 의한 열차풍을 적용하였다. 또한 이용객에 의한 집단하중과 충격하중을 따로 분리하는 등 다양한 조건을 고려하여 안전설계의 신뢰성을 향상시킨 것으로 판단된다. 이렇게 조건별로 스크린도어에 작용하는 하중에 대한 하중분포 모델이 작성되어 스크린도어 강도설계의 기본 자료로 활용된다. 한편 하중분포 분석결과에 따른 스크린도어의 강도해석을 위하여 FEM 수치해석이 수행되며, 그림 6과 같이 제작된 스크린도어에 대하여 일정기준의 풍하중 시험이 적용되고 있다. 한편 그림 7과 같이 비상시 대피를 위한 스크린도어 비상개폐장치와 열차가 지정위치를 지나서 정차하거나 비상상황에서의 출입을 위한 비상출입장치가 설계에 포함되고 있다.



[그림 5] 스크린도어 하중분포 모델



[그림 6] 스크린도어 풍하중 시험장치

지하철 비정상 기류유동 해석기술

승강장에 스크린도어가 설치되는 지하철에서 본선과 정거장에서의 열차운행에 따른 열유동현상을 분석하기 위하여 축소모형실험과 1차원 비정상 터널 유동 수치해석 및 이동경계조건(immersed moving boundaries)를 포함하는 3차원 정밀 시뮬레이션을 수행하였다.

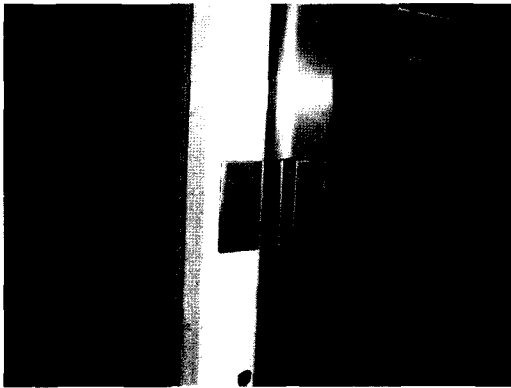
그림 8에서 보여주고 있는 축소모형실험장치는 총 연장 1,020 m의 실제 지하철 터널을 1/40 scale로 축소하여 제작하였으며, 본선구간에는 압력센서와 속도센서를 설치하여 열차운행 조건에 따른 유동변화를 측정하였다. 그림 9와 같이 축소모형실험장치의 분석결과는 1차원 및 3차원 수치해석결과와 비

교,검도를 통해 수치해석기술의 보완 및 신뢰성 확보를 위한 기초자료로 활용하였다.

수치해석으로는 지하철에서 터널내 열차의 운행에 의해 발생하는 열차풍을 해석하기 위해 Tunnel-Train의 유동해석모델을 바탕으로 1차원 비정상 비압축성 유동해석 프로그램을 작성하였고, 그림 10과 같이 본선의 환기구 주위 유동과 교행하거나 정지해 있는 열차를 포함한 유동해석등 3차원적 유동현상을 고려하기 위해 열차이동모델을 포함하는 3차원 수치해석기법을 개발하였다.

열차풍에 의한 스크린도어 압력분포 해석

1차원 비정상 Tunnel-Train 유동해석 프로그램을

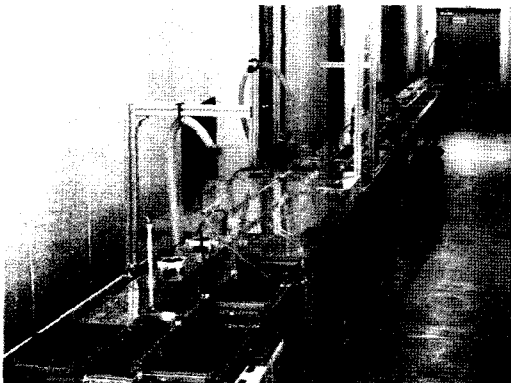


(a) 선로부에서의 비상열림 장치

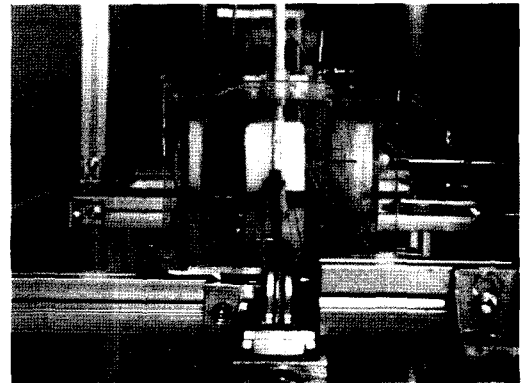


(b) 도어측면의 비상출입을 위한 설계

[그림 7] 스크린도어 비상개폐장치

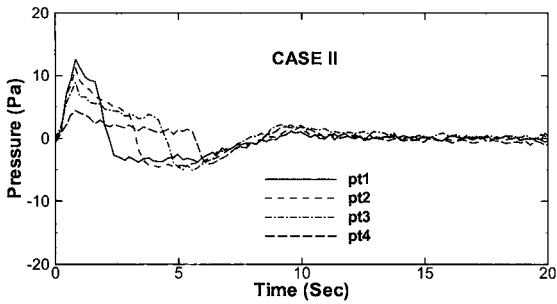


(a) 전경모습



(b) 단면모습

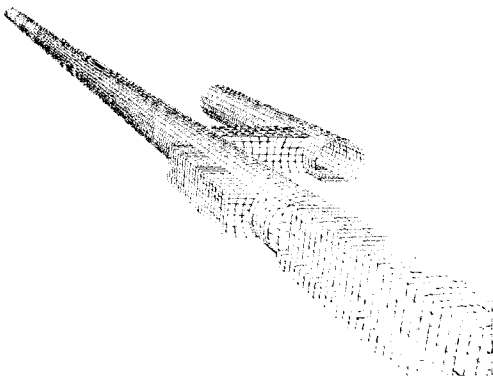
[그림 8] 축소모형실험장치



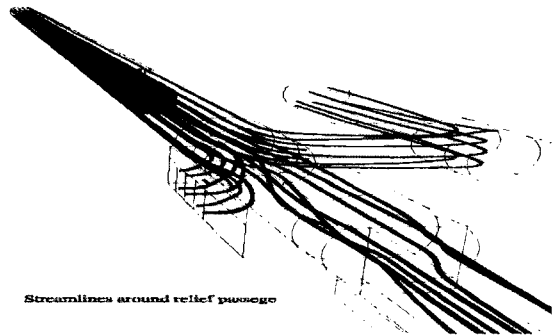
[그림 9] 축소모형실험결과 (터널내 압력변화)

<표 1> 해석프로그램 입력제원

입력제원			
온도	31.1 °C	본선 주변장	30.15 m
습도	70%[RH]	열차 주변장	14.63 m
지중 온도	15 °C	열차 면적	11.78 m ²
정거장 길이	200 m	최대 열차 속도	80 km/h
정거장 면적	55.15 m ²	감속도	3.5 km/h/s
정거장 주변장	37.61 m	가속도	3.0 km/h/s
본선 면적	63.27 m ²		

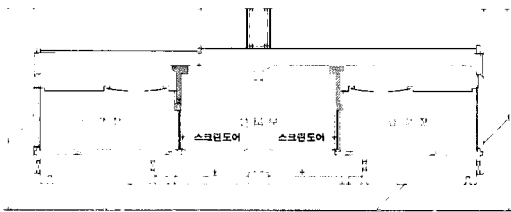


(a) 본선 및 정거장 주위 3차원 수치해석 격자계



(b) 열차풍에 의한 본선 및 정거장에서의 기류분포

[그림 10] 3차원 수치해석

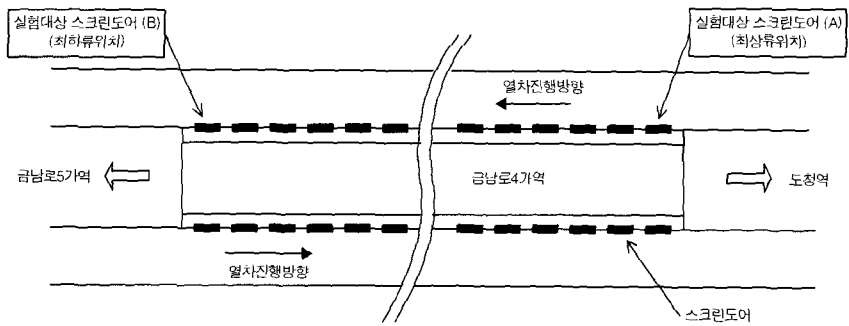


[그림 11] 스크린도어가 설치된 정거장 단면

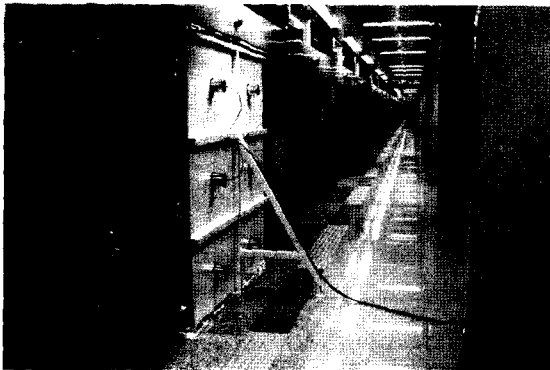
바탕으로 향후 주요정거장에 스크린도어가 설치될 예정인 서울지하철 1기와 2기노선의 실제조건에 대하여 열차풍에 의한 스크린도어 압력분포의 해석을 수행하였다. 지하철의 정거장은 그림 11과 같이 상대식 형식을 대상으로 하였으며, 본선터널과 운행열차를 포함한 입력제원을 표 1과 같다. 그리고 차량운행조건으로는 일상적인 운행과 긴급상황에 의한 정

거장 무정차 통과운행의 두가지 경우를 적용하였다. 해석결과 일상적 열차운행의 조건하에서는 열차가 정거장에 정차시 도착정거장의 Entrance 지점에서 219.2 Pa의 최고압력이 발생하며, 열차가 출발시 출발정거장의 End 지점에서 -219.7 Pa의 최저압력이 발생한다. 한편 본선터널에서는 최고압력으로 255.6 Pa, 최저압력으로 -228.7 Pa이 생성된다. 또한 긴급 열차운행의 조건하에서 통과정거장의 스크린도어에 작용하는 압력의 극한값을 산정하기 위해서 터널압력차를 고려하는 것이 타당할 것으로 판단되며, 이로부터 스크린도어에 작용하는 최고압력과 최저압력으로 ± 440 Pa을 제시하였다.

본 연구에서는 열차풍에 의해 스크린도어에 작용하는 압력에 대해 실제조건에서의 분석을 위하여 국내에서 최초로 스크린도어가 설치되어 있는 광주광역시도시철도 1호선에서 열차풍 실측실험을 수행하



[그림 12] 측정대상 스크린도어 위치



[그림 13] 실험장치 설치전경

였다. 실험대상은 그림 12와 같이 금남로 4가역사의 최상류 및 최하류 스크린도어로서, 실측실험을 위하여 스크린도어를 완전히 OPEN시킨 상태에서 그림 13과 같이 압력측정판을 스크린도어에 부착하였다. 압력측정판에는 압력측정봉이 설치되며, 압력측정봉에 가해지는 압력이 압력센서와 데이터로

거를 통해 실시간으로 측정된다. 열차가 정차할 때 최상류위치의 스크린도어에 최고압력이 형성되며 열차가 출발할 때 최하류위치의 스크린도어에 최저의 부압이 생성된다. 본 실험의 데이터는 도시철도의 스크린도어 구조설계를 위한 적정풍압기준 제시를 위한 설계자료로서 활용될 것이다.

맺음말

본 연구에서는 안전하고 쾌적한 도시철도를 만들기 위해 빠른 속도로 보급되고 있는 스크린도어 시스템의 최적도입을 위해 필요한 실제적인 설계기술과 설치·운영기준의 제시를 목표로 하고 있다. 이를 위하여 1차년도에는 축소모형실험과 수치해석기술 등 요소기술의 개발을 수행하였으며, 향후 종합적이고 중장기적인 연구를 통하여 국내 스크린도어 시스템의 최적도입이라는 연구목표를 달성해 나갈 것이다. (2)