

지하철 승강장안전문 설치에 따른 열차 화재시 승객 위험성평가와 방재방안 연구

A study for risk analysis and disaster prevention of the passengers when traincar fire on PSD Installed subway

황철승*, 김동성, 이상곤, 조원철**, 이태식***

Hwang cheol seung, Kim dong sung, Lee sang gon, Cho won cheol, Lee tae shik

Abstract

This paper focused on the ways of disaster prevention and risk analysis of the passengers setting up the hypothesis when urban rapid transit broke out fire in subway tunnel which is PSD(Platform Screen Door) installed environment. compared the fluid dynamic changes and evacuation specifications whether PSD being installed or not, tried to search the effective ways for sustaining passengers safety.

key words : Traincar Fire, Subway, Disaster prevention, Risk analysis

1. 서론

우리나라는 지하철의 역사는 1974년 서울지하철 1호선의 개통과 함께한다. 현재 전국적으로 10여개의 지하철 노선이 운행 또는 건설중에 있다. 지하철이 건설초기에는 편리한 교통수단으로만 역할을 하였지만 최근에는 쇼핑공간, 복합문화공간등으로 그 용도가 다양하게 변화하고 있다. 생활수준의 향상과 함께 쾌적성과 안전성을 중시하면서 지하철 이용승객의 편의도모와 안전확보의 일환으로 지하철 승강장안전문(스크린도어)이 많은 곳에 설치되고 있고 2005년 이후 개통되는 신규노선에는 설치가 의무화 되었다.

본 연구는 승강장 대기승객의 안전과 열차 안전운행을 위해 설치되고 있는 승강장안전문이 터널내 열차화재시 지하철 이용승객에 미치는 위험성을 분석하고 재난을 예방, 경감할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

지하철 화재발생의 특성분석과 지하철 불연내장재 교체성과를 확인하고 승강장안전문의 설치목적과 효과를 문헌을 통해 고찰하였다. 이를 바탕으로 승강장안전문이 설치된 지하철의 터널, 열차, 승강장 위험성을 열차 탑승객 입장에서 분석하여 1)열차화재 영향평가 및 피난 안전성 평가 2)평가를 통한 분야별 방재방안 도출을 연구의 목적으로 하였다.

3. 지하철(철도) 화재 특성

대도시의 가장 중요한 교통수단으로 자리매김한 지하철은 일반인들이 쉽게 접근할 수 없는 공간적 특성으로 사고발생시 일반 승객들이 지각하고 대응하는데 어려운 점이 많다. 지하철 대부분의 운행구간이 지하터널로 구성되어 있어 화재발생시 밀폐감과 암흑속에서 느끼게 되는 위치와 방향 상실, 자제력 상실, 패닉현상등

* 연세대학교 공학대학원 방재안전관리전공 석사과정

** 정희원, 방재학회 부회장, 연세대학교 교수, 방재안전관리전공 지도교수

*** 연세대학교 교수, 방재안전관리전공 지도교수

이 동시에 나타나게 된다.

지하공간이 갖는 불연소 조건으로 개활지보다 다량의 연기, 분진등이 발생하고 열차 움직임으로 인한 피스톤 효과와 산란효과로 고온기류 유동이 급격히 발생되어 화재가 확산될 수 있는 조건이 되는 등 예측불가능한 다양한 변수를 가지고 있다. 또, 연기 유동동선과 피난동선이 일치해 굴뚝효과로 인한 피해가 크게 발생할 수 있다는 것과 지하공간의 진입 곤란, 소화활동 곤란으로 화재발생 후의 대처보다는 예방과 대비측면에서 사전대책과 보완이 중요하다.

4. 지하철 차량 불연내장재

4.1 불연내장재

2003년 2월 대구지하철 화재사고를 계기로 철도·지하철기관에서 운영중인 차량의 내장재를 모두 불연재로 교체하는 사업을 진행하였다. 내장재는 내장판·의자·바닥재·단열재·통로연결막 등으로 구성되어 있으며 국제수준의 화재 규격에 적합한 제품으로 교체되었다.

4.2 불연내장재 교체 성과

불연내장재 교체성과를 쉽게 확인키 위해 기존차량과 불연내장재 교체 표준차량 내장재를 종류별로 콘칼로리미터 실험을 통해 정량화한 발열량을 비교하면 아래 표1과 같고 기존차량에 비해 70%이상 발열량 감소 효과가 있어 승객 안전확보에 탁월한 것으로 연구되었다.

표1. 기존차량과 교체차량의 총 발열량 비교

구 분	설비면적(m ²)	설비무게(kg)	기존차량(MJ)	교체차량(MJ)	발열량 감소율	비 고
내장판	106	300	5,190	943	82%	도시철도 표준차량의 량당 비교값
시트커버	52	34	507	443	13%	
시트쿠션	52	69	1,309	806	38%	
통로연결막	12	56	705	122	83%	
바닥재	48	205	2,181	1,955	10%	
단열재	93	110	4,652	62	99%	
계			14,544	4,331	70%	

하지만, 대구지하철 화재사고와 같이 화원이 휘발류인 경우 휘발류의 발열량이 2403kW/m²이고 2L의 휘발류가 100초간 연소할 경우 최대 발열량은 961.2MJ이나 된다. 차량차체가 타거나 화염전파를 하지 않고 내장재가 스스로 불이 번지지 않는 조건으로 1m² 바닥에 휘발유를 붓고 연소시키면 기존차의 단위면적당 발열량은 2,899kw/m², 교체차량은 2,758kw/m²로 발열량 감소효과가 5%정도에 그친다.

5. 승강장안전문[PSD:Plaform Safety(Screen) Door]

5.1 승강장안전문 개요

승강장스크린도어라고 불리는 승강장안전문은 승강장에 대기승객의 안전확보와 쾌적한 환경조성을 목적으로 검토되었으며 차단한다는 의미인 스크린(Screen)보다는 승강장쪽 안전(Safety) 확보라는 측면에서 의미로 본 논문에서는 승강장안전문으로 표기하였다.

5.2 승강장안전문 도입효과

승강장 대기 손님의 안전확보와 실족을 방지하고 사회적 문제를 야기할 수 있는 지하철 자살 예방에 탁월

한 효과를 발휘하며 승강장측 공기질 향상과 열차 주행소음 감소, 에너지 절감등에 매우 효과적이다..

표2. 승강장 계단부의 열차풍 속도 비교

열차위치	승강장안전문 미설치	밀폐식 설치시	반밀폐식 설치시	비고
열차진입시	3.9	0	1.8	단위:m/s

6. 위험성 평가와 방재대책

6.1 화재 위험성 및 피난안전성 평가

6.1.1 화재 시뮬레이션

위험성평가를 위해서 실험보다는 시뮬레이션을 활용하였다. 화재 시뮬레이션 프로그램은 대표적인 필드모델 시뮬레이터인 FDS4.0 2006년 3월 배포판을 사용하여 연기 유동특성과 피난특성을 비교하였다.

6.1.2 화재 시나리오 설정

용적을 지하철 역과 역사이 터널로하여 1000m*11m*8m로 설정하였고 셀 크기는 30cm*30cm*30cm로 하였다. FDS 특성상 정치차량 1대의 화재상황을 설정하였다. 화재는 휘발류 4리터를 내장재 개조차량 바닥에 뿌려 발화되며 화원은 1m², 연소시간은 200초로 설정하였다. 대구지하철 화재사고 경험으로 화재시 승객들이 연기를 피해 출입문을 열고 터널내로 탈출할 것을 가정하여 통로문과 출입문은 모두 개방상태로 하였다. 터널내 공기흐름은 자연환기만을 고려하여 지하철 기류속도 실측 최저치 -1.0m/s를 적용하였다. 터널내 연기유동은 다른열차의 움직임, 환기요소에 따라 크게 변화하므로 실제 화재시에는 연기유동이 훨씬 빠를 수 있다.

표3. 열차 진입시 승강장 기류속도 실측치

구분	실측장소1	실측장소2	실측장소3	비고
실측결과1	5.44	3.01	0.97	단위 : m/s
실측결과2	5.08	2.02	0.56	
실측결과3	3.76	1.90	0.92	
평균치	4.76	2.31	0.95	

본 연구에서는 피난평가를 위해 시뮬렉스등 별도 피난시뮬레이션 과정을 수행하지 않고 화재 시뮬레이션 결과와 기존에 연구된 표4 데이터 값을 기초로 피난특성을 분석해 보았다.

표4. 평균보행속도

보행 유형	속도(m/s)	보행 유형	속도(m/s)
늦는 사람	1.0	어둡속 (현장속지)	0.7
빠른 사람	2.0	어둡속 (현장미지)	0.3
표준 보속	1.3	군중보속	1.0
발과 손으로 감	0.5	속보	3.0

6.1.3 평가 결과

발화 후 100초 경과시까지의 화재 초기 화염확산과 뜨거운 기류영향으로 빠른 움직임을 보이던 연기유동은 터널의 상부를 채우는 형태로 움직여 터널하부에 3~4m 높이의 무연대를 형성하여 시야확보가 가능하게 하고 피난가능시간도 확보할 수 있다.

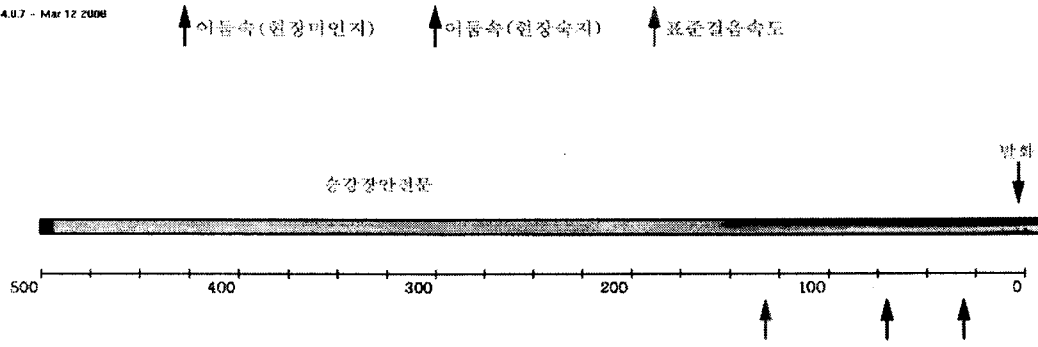


그림1. 터널내 화재시 피난속도 비교(100초 경과)

발화 후 200초 경과시는 표준걸음속도로 피난시 연기유동과 거의 같은속도로 피난이 가능하나 어둠속 피난시는 연기유동보다 피난이동속도가 느려 유독성 연기로 인한 피해를 입을 수 있다.

발화 후 400초 경과시는 그림2와 같이 승강장 끝까지 연기가 확산하게 되고, 이때 표준걸음속도로 피난자는 승강장안전문을 통해 피난이 가능하나 어둠속 보행자의 경우에는 연기하강으로 인한 시야방해와 유독가스로 안전한 피난이 불가할 것으로 판단된다. 표준걸음속도 피난자 경우에도 선로 위 지장물과 유독성 가스로 피난이 용이하지 않으며 승강장안전문에 도착했다고 해도 승강장안전문 비상문이 승강장안전문 양끝단에 하나씩 위치해있고 선로측에서 승강장으로 올라가는 계단 또한 협소하여 다수의 피난승객이 안전공간인 역과 승강장 내부로 진입하기가 곤란하게 된다.

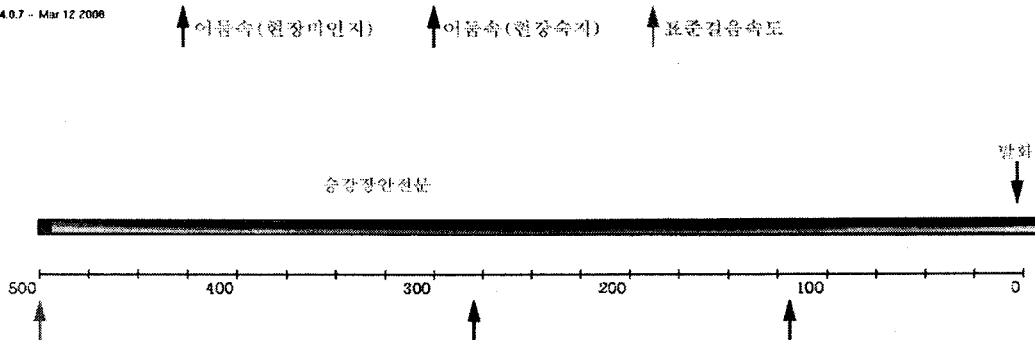


그림2. 터널내 화재시 피난속도 비교(400초 경과)

승강장안전문은 안전을 위해 열차와의 간격을 최소화하고 있다보니 양쪽끝 비상문을 제외하고는 터널측에서 승강장에 올라갈 수 없고 열차가 정확히 서지 않았을 때 차량내에서 밀고 승강장으로 진입할 수 있는 비상핸들도 일부 역에는 아예 설치되지 않았고, 설치가 돼있어도 선로바닥에서는 닿을 수 없는 위치인 2.2m~2.4m 높이에 설치되어 사실상 선로측에서 이용이 불가능 할 것으로 판단된다.

6.3 방재대책

6.3.1 차량분야

가장 좋은 방법은 화재시 차량내에 설치된 소화기를 이용해 초기에 진화하는 것이다. 하지만 유류나 가연물을 사용한 인위적 화재는 초기대응이 쉽지 않으므로 이런 경우 자동 화재감지를 통한 자동소화설비를 설치한다면 유용하게 작용할 것이다. 하지만 미분수계나 화학약제를 사용하는 이러한 소화설비는 막대한 예산을 수반하는 바 적용이 쉽지 않을 것으로 보인다.

차량내 발생하는 연기확산을 최소화 하는것도 피해를 줄이고 피난가능시간을 늘릴 수 있는 좋은 방법으로 현재 수도권 차량에 설치된 차량과 차량사이 인통문을 고정하게 하는 스톱퍼(인통문 고정장치)를 제거하여 평상시 자동으로 문이 닫혀있도록 하는 것도 연기확산을 막을 수 있는 방법이다. 특히 대전지하철과 같이 인통문이 없는 구조의 차량은 화재시 연기확산이 쉬워 큰 피해가 발생할 수 있으므로 그에 따른 별도의 대책이 필요하다 하겠다.

또, 대구지하철 화재사고 이후 승객들의 교육과 홍보효과로 비상시 수동으로 출입문을 열고 터널로 대피하는 경우를 가끔 보게 된다. 피난을 위해서 사용하는 것은 좋지만 차량내 화재시에는 터널내로 유독성의 연기가 유입되게 되므로 출입문 수동개방은 일정시간 경과 후 자동으로 원위치로 폐문되도록 개선하는 것이 승객 안전확보와 열차운행을 위해 유익한 조치라 생각된다. 예를 들어 60초 후 자동 폐문된다면 승객들이 어둠속으로 대피하더라도 추가 연기확산을 막아 충분한 피난가능시간을 확보해 줄 수 있을 것이다.

6.3.2 터널

우리나라 지하철 터널은 법적으로 건축물로 규정되지 않아 각종 소방설비가 설치되어있지 않다. 감지기, 소화기, 스프링클러, 유도등 미설치가 그것이다. 현재 일부 지하철터널 내부에 관창을 연결해 쓸 수 있는 소화전 설비를 설치하고는 있으나 그 사용에 의문점이 많다. 전부는 아니더라도 피난에 가장 유용한 유도등의 설치하는 지하철 터널내 설치가 반드시 필요하며 지하철 선로의 콘트리트 궤도 중앙부 빈 공간에 매설한다면 대피로 확보와 함께 유도표지로서 매우 유용할 것으로 판단된다.

특히, 시뮬레이션에서 확인한대로 폐쇄공간인 터널내 연기는 기류에 지배적인 형상으로 유동하므로 대피 초기에 바람 방향을 쉽게 판단할 수 있도록 풍향계, 풍향표지등을 터널내 설치하여 승객들의 대피를 돕는것이 필요하다

터널은 고압의 전기가 흐르고 터널 전체가 하나로 연결된 관계로 연기유동이 쉬운 요소를 제공하게 되는데 일반 건축물의 제연막과 같은 절연차단막을 터널내 구간에 설치한다면 위에서부터 차오는 연기의 특성상 승객들이 대피하는데 소요되는 대피가능시간을 크게 확보해 줄 것이다.

터널내 별도의 피난공간이 없는것도 문제이다. 우리나라 지하철은 역간거리가 보통 1km 남짓한 정도이다. 역 중간부분에 역 기능실 정도 크기의 셸터를 조성하여 터널내 안내표지로 안내를 하고 셸터에는 일정규모의 공기 가압설비를 설치하여 유사시 가압을 해준다면 충분히 피난처로 역할을 수행하게 된다.

또, 최근에 설치된 지하철 터널의 경우 강제환기설비가 설치되어 화재시 연기확산 제어가 일부 가능한 것은 다행이지만 내부순환로 홍지문터널 화재사고와 같이 강제환기설비의 조작자 오취급은 오히려 화재확산의 원인이 될 수 있는 바 철저한 교육과 평상시 훈련이 필요하며 많은 지하철 터널이 강제환기보다는 자연환기에 의존하고 있어 피난상황 발생시 호흡 확보에 활용할 수 있도록 1회용 방독면, 1회용 호흡비닐등의 개발과 비치에 역사 설치기준과 동일하게 적용되어야 한다.

6.3.3 승강장안전문

승강장안전문은 엘리베이터와 마찬가지로 승객 안전확보를 위해 중요한 설비가 될 것이다. 현재 우리나라 승강장안전문은 각기 다른 검사기준을 가지고 관리되고 있고 법적인 규제를 받고 있지 않다. 승강기나 에스컬레이터 처럼 법적 관리기준을 마련하고 법정 정기검사를 실시하도록 제도화하는 관리대책이 필요하다.

승강장안전문은 지하철 승객입장에서 피난에 매우 취약한 여건을 제공한다. 화재시 터널을 이용해 승강장 안전문까지 수 백명의 승객이 도달한다 해도 승강장안전문의 비상문은 많은 사람들이 신속히 탈출할 수 없는 구조이기 때문에 이 부분에서 많은 인명피해를 가져올 수 있다. 현재 승강장안전문 양쪽끝에 설치되어 있는 비상문에 대해서는 구조상 개선이 어려운 만큼 승강장안전문 각각의 출입문 옆에 설치된 비상문 비상핸들을 승강장 바닥부분에도 스위치 형태로 추가 설치하여 터널내부에 있는 승객들이 피난상황 발생시 안전한 승강장 안쪽으로 이동할 수 있도록 개선하는 것이 바람직하다.

7. 결론 및 제언

본 연구는 지하철 이용승객의 안전을 위해 설치되는 승강장안전문을 지하철을 이용하는 승객의 입장에서 승강장안전문 설치시 화재 및 피난 영향성등을 검토하였고 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 지하철 차량 불연내장재 교체로 화재안전성은 많이 높아졌지만 유류등을 사용한 인위화재의 경우에는 기존 차량화재에 비해 규모는 적지만 지하화재특성, 터널환경특성, 승강장안전문 설치등과 연관되어 다양한 피해원인을 제공할 수 있다.

둘째, 승강장안전문 설치로 승강장 쪽 공기흐름이 0m/s라는 점을 감안하면 승강장안전문 미설치시에 비해 터널내 연기유동이 상대적으로 빨라져 터널내 화재발생시 연기유동과 확산이 클 것으로 판단된다.

셋째, 화재로 인한 터널내 피난시 표준보행속도 이상으로 이동속도를 유지해야만 연기유동보다 먼저 승강장안전문까지 도달이 가능하며 기타보행속도의 경우는 큰 피해를 줄 수 있는 것으로 밝혀졌다. 표준보행속도의 경우에도 승강장안전문 비상문의 구조적 취약성으로 대피에 많은 어려움이 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서 방재대책으로 제시한 방법을 차량, 터널, 승강장안전문에 모두 시행하는 것이 안전성 확보에 유용하겠으나 현실적 시행 어려움과 사안의 중요성을 고려하여야 단계적으로 적용되어야 할 것이다.

승강장안전문 설치가 많은 유용한 점을 가지고 있기는 하나 실제 지하철을 이용하는 주체가 되는 열차이용객의 입장과 편의를 제공해주고 유사시 생명과 안전을 보호할 수 있도록 터널내 기류변화 연구와 효과적인 대피방법, 안전 확보방법이 구체적으로 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도시철도시스템의 안전 및 방재능력 향상방안 연구, 2003
2. 김우석, 건물화재에 적용되는 CFD 프로그램들의 비교연구, 서울산업대학교, 2003
3. 박수진, 지하철 승강장에 스크린 도어시스템을 도입한 경우 적정 급배기방식에 관한 연구, 중앙대학교, 2001
4. 홍원화,전규엽, 대구지하철 화재시 피난자 행동유형 분석을 통한 지하공간 안전피난대책에 관한 연구, 대한건축학회, 2005
5. 김종원, 지하철역사의 스크린도어 유무에 따른 배연성능 평가 연구, 인천대학교, 2001
6. 서울대학교 안전 및 방재연구센터, 성능위주의 소방설계, 2006
7. Kevin McGrattan, Glenn Fomey "FDS Ver.4 User's Guide" NIST Special Publication 1019