

**B-08**

**지하역사 제연경계벽의 제연 효용성에 관한 연구**  
**A Study on the Efficiency of Smoke Barriers in the Subway Station**

**김범규\*, 김희영\*\*, 이성미\*\*\*, 박용환\*\*\*\***

**Kim, Bum-Kyu, Kim, Hee-Young, Lee, Sung-Mi, Park, Yong-Hwan**

**Abstract**

Casualties Damage from Smoke is very serious consequence. Especially, Damage from smoke in in the Subway Station is the terrible result. Smoke from the fire in the Subway Station that evacuation route on the path and the sight of refugees caused by serious traffic problems. Accordingly, A study on Smoke barriers of smoke systems take into considerations relate to effects depending on wind velocity speed of the piston effect come into the retarding effect of smoke control in smoke barriers. As a result of modeling, According to increasing of Velocity in the platform which installed smoke barriers were been on the increase spreading quantity of smoke in the right direction of upstairs however, In contrast spreading quantity of smoke in the left direction on the upstairs were been on the decrease..

**Keyword** : smoke control, wind velocity, smoke barriers,

**1. 서 론**

지하공간에서의 화재는 연기의 이동경로와 피난자의 경로가 일치하여 피난자들의 시야 및 피난동선 확보 나 연기로 인한 심각한 문제가 발생한다. 또한, 소방대의 진입경로가 피난자와 일치하여 피난자 구출에 문제가 발생할 수 있다. 실제 지난 2003년에 발생한 대구지하철 화재참사는 지하철 및 지하역사에서의 연기로 인한 대규모 인명손실로 인한 심각성을 보여주고 있다. 전동차의 진·출입 시 지하터널에서의 피스톤효과로 인한 강한 풍속발생현상은 지하철 승강장에까지 풍속이 미치게 되는 주요한 원인이 되고 터널 내 또는 승강장 화재 시 풍속으로 인해 발생하는 연기의 이동을 가속화 시키므로 위험성을 초래하게 된다. 또한, 지하철이 이전역의 터널로 진입할 때 지하철이 당역에 종착 한다는 안내방송이 방송되기 전에 당역에 풍속이 느껴지게 되므로 지하철 터널 내에서의 화재 시에도 큰 위험을 초래할 수도 있게 된다. 이러한 문제점에도 불구하고 현재 규정되어 있는 제연경계벽에 대한 법적 기준은 설치장소 및 여건에 따른 성능적 요구사항을 세부적으로 규정하고 있지 않다. 이에 현행 법적 기준의 화재 시 지하역사 내 풍속에 따른 제연경계벽의 연기확산 지연 효용성 및 적합성을 고찰하고자 법적 기준과 실측을 통한 데이터 및 변수를 모델링에 적용하여 분석해 보고자 한다.

**2. 설치 기준**

현재 지하역사의 제연설비 설치대상은 지하가로서 연면적 1,000m<sup>2</sup> 이상인 곳에 설치하도록 규정되어 있으며 이 중 제연경계벽 설치기준은 화재안전기준 501 제4항에 다음과 같이 명시되어 있다.

\* 학생회원 · 호서대학교 대학원 소방학과 · 석사과정 · E-mail:kbc0892@hanmail.net  
\*\* 호서대학교 소방방재학과 · 학부과정  
\*\*\* 호서대학교 소방방재학과 · 학부과정  
\*\*\*\* 정희원 · 호서대학교 소방방재학과 · 교수

- 재질은 내화재료, 불연재료 또는 제연경계벽으로 인정받은 것으로서 화재 시 쉽게 변형·파괴되지 아니하고 연기가 누설되지 않는 기밀성 있는 재료로 할 것.
- 제연경계는 제연경계의 폭이 0.6m이상이고, 수직거리는 2m 이내이어야 한다. 다만, 구조상 불가피한 경우는 2m를 초과할 수 있다.
- 제연경계벽은 배연 시 기류에 따라 그 하단이 쉽게 흔들리지 아니하여야 하며 또한 가동식의 경우에는 급속히 하강하여 인명에 위해를 주지 아니하는 구조일 것.

### 3. 현장 풍속측정 실험

#### 3.1 측정 대상 및 측정 장비

제연경계벽이 설치된 수도권내의 환승 지하철역을 주 대상으로 하였으며 지하공간에서 지상으로 통하는 승강장(Platform) 주변 계단에 설치된 고정식 제연경계벽을 중심으로 전·후방 약 2.0m 지점에서 제연경계벽의 가로 길이(폭)를 균등 분할하여 지하철이 승강장에 진입할 경우와 진입하지 않는 평상시(지하철이 진입하지 않을 때)의 풍속을 각각 5번 이상 측정하여 그 중 평균풍속이 강한 역을 추출하여 제연경계벽을 통해 지하공간에서 상부로 통해 빠져나가는 평균 풍속 값을 도출하였다. 풍속 측정 장비는 풍량·풍속(TSI-8386)를 이용하여 측정하였다.



Fig.1 Velocity measurement under Smoke barriers in the platform

#### 3.2 측정 결과

Table 1은 다소 풍속이 강한 5개 역의 평균풍속 값을 나타낸 표이다. 평상시에는 스크린 도어의 설치 유무와 크게 상관없이 약 0.17~0.52m/s의 풍속 값을 나타내었으며, 열차가 진입 시에는 스크린도어가 설치된 경우에는 약 2.0~3.0m/s, 설치되지 않은 경우에는 약 4.08~4.47m/s의 범위의 값이 측정되었다. 이는 스크린도어의 설치가 터널로부터 들어오는 풍속을 약 50% 정도 줄여줄 수 있다는 것을 말해준다.

Table 1. A result of Velocity measurement of Smoke barriers in the platform

Subway Stations	Screen Door (Yes or No)	Average Velocity (m/s)	
		Normal state	Train approach
A	No	0.34 ~ 0.52	4.32 ~ 4.47
B	No	0.22 ~ 0.34	4.01 ~ 4.10
C	No	0.13 ~ 0.18	4.08 ~ 4.23
D	Yes	0.17 ~ 0.32	2.13 ~ 2.41
E	Yes	0.26 ~ 0.28	2.23 ~ 2.36

### 4. 모델링

모델링에 적용된 분석 툴은 미국 NIST 사의 FDS v5.0을 사용하였으며, 이의 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼에 따르도록 하였다.

#### 4.1 공간 구성

지하역사마다 구조 및 크기가 다르기 때문에 모델링 공간은 Fig. 2와 같이 임의의 대표 공간을 설정하여 모델링을 수행하였다. 공간은 60m\*5.0m\*3.0m로 하였고 또한, 현장과 비슷하게 묘사 하기위해 제연경계벽 수직상층부에는 창살형 난간을 설정하였다. 격자의 개수는 X(가로)=240, Y(세로)=25, Z(높이)=45로 총270,000개로 하였다. 그림에서  $X_L$ 은 제연경계벽을 기준으로 좌측방향을 나타내며  $X_R$ 은 우측방향을 나타낸다.

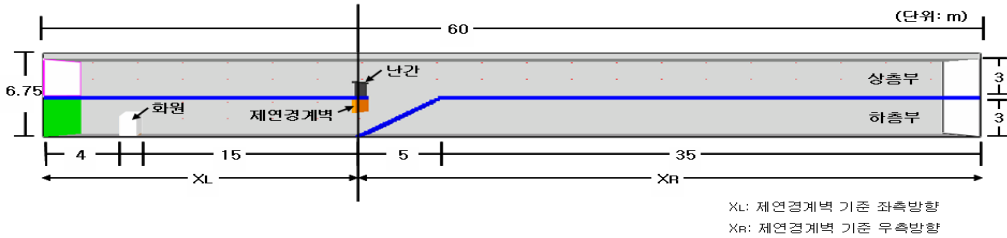


Fig. 2 Description of modeling space

#### 4.2 경계조건

급기는 하층부의 좌측에서 불어 들어오도록 설정하였고, 이 때 풍속은 Table 1의 측정풍속을 바탕으로 0.5m/s와 1.0m/s를 평상시의 풍속으로 가정하고 전철 진입 시를 각각 2.0m/s(스크린도어 설치), 4.0m/s(스크린도어 미설치)로 가정하여 모델링에 적용하였고 2층의 양쪽 개구부는 지상 층과 통하는 것으로 가정하여 자연환기상태로 두어 어떠한 외적 작용이 공간 내에 미치지 않도록 설정하였다. 벽체는 콘크리트 재질을 하였고, 내장재는 없는 것으로 하였으며, 화원의 반응물은 폴리우레탄을 사용하여 연기가 지속적으로 방출되도록 설정하였다. 재질의 물성은 NIST사의 데이터베이스에 있는 값과 핸드북의 값을 비교 분석하여 적용시켰다. 화원의 위치는 하층부 북도 좌측 4m 지점, 화원의 면적은 1.0m\*1.0m, 열방출량은 1MW/m<sup>2</sup>로 가정하였다. 또한, 화원의 높이는 바닥에서부터 1.6m위치에 지정하였다. 제연경계벽은 법적 기준에 의거하여 제연경계벽의 폭은 1.0m, 바닥에서부터 수직거리는 2.0m로 하였고, 연기감지기는 연기이동속도를 측정하기 위하여 천정부에 3.0m 간격으로 일정하게 배치하였다.

### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 제연경계벽 유무에 따른 연기이동

Fig. 3과 Fig. 4는 0.5m/sec와 1.0m/sec일 경우 제연경계벽의 유·무에 따른 연기거동을 나타내는 그림으로서 Fig. 3 경우 제연경계벽 설치 시 시간에 따라 상부층 우측방향( $X_R$ )의 연기이동이 더 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 4의 경우는 제연경계벽의 설치 시 연기확산 거리가 미 설치시와 거의 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 풍속이 0.5m/s에서 1.0m/s로 증가하게 되면 약 30초정도에는 제연경계벽이 설치되어 있어도 풍속에 의해 연기가 제연경계벽에 닿아 순간적으로 분산되어 계단을 통한 상부층 우측방향으로( $X_R$ )의 연기확산이 많아지기 때문인 것으로 추정된다. 이와는 반대로 풍속증가 시 상부층 좌측방향( $X_L$ )의 연기확산 거리는 적어지는 것을 알 수 있는데 이는 풍속이 증가해도 제연경계벽이 상부층 좌측방향( $X_L$ )으로의 연기확산을 어느 정도 막아주는 성능을 발휘하기 때문이라고 사료된다. Fig. 5와 Fig. 6은 풍속이 2.0m/sec, 4.0m/sec로 높아 질 경우 제연경계벽의 유·무에 따른 연기거동을 나타내는 그림으로 풍속이 높아짐에 따라 Fig. 3과 Fig. 4보다 연기의 이동속도가 빨라져 상부층( $X_L, X_R$ )방향으로 도달하는 시간이 약 10초 정도 짧아지는 것을 알 수 있고 Fig. 3과는 달리 오히려 제연경계벽 설치 시에 Fig. 5와 Fig. 6 모두 상부층 우측( $X_R$ )방향으로의 연기확산량이 많아지는 것을 확인 할 수 있다. 반대로 상부층 좌측( $X_L$ )방향의 연기확산거리는 풍속 증가에 따라 제연경계벽 미설치 시가 많아지는 것을 알 수 있다. 이는 약 2.0m/s이상으로 풍속이 높아지게 되면 유체역학적 특성에 의해 상부층우측( $X_R$ )방향으로 빠져나가려 하고 하는 풍량이 많아지기 때문에 우측으로의 연기이동속도를 가속화 시켜 상부층좌측( $X_L$ )으로의 연기확산량보다 상부층우측( $X_R$ )로 빠져나가는 연기의 양이 더 많아지게 되기 때문인 것으로 판단된다.

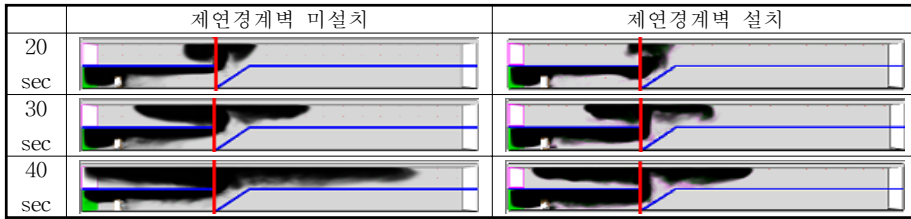


Fig. 3 Behavior of smoke movement in 0.5m/sec

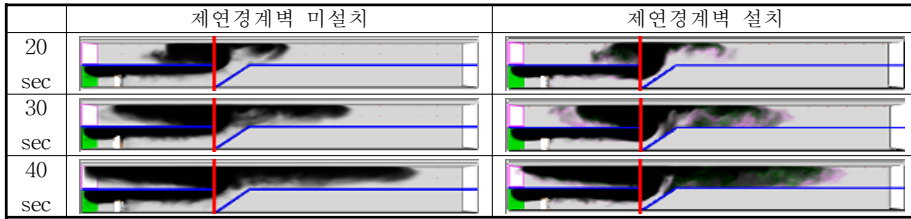


Fig. 4 Behavior of smoke movement in 1.0m/sec

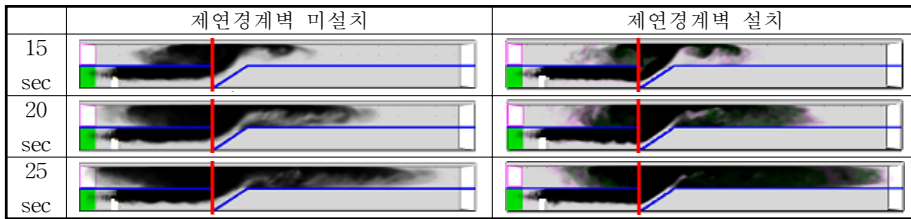


Fig. 5 Behavior of smoke movement in 2.0m/sec

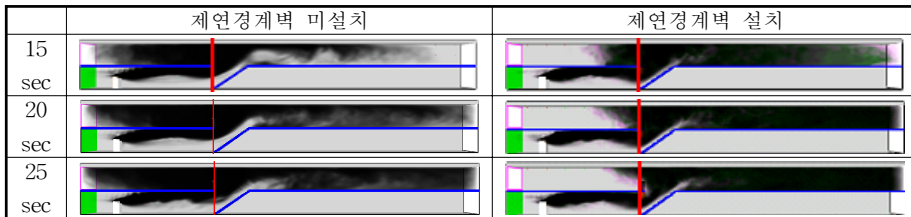


Fig. 6 Behavior of smoke movement in 4.0m/sec

## 5.2 연기확산속도

Fig. 7은 풍속 상승 시 제연경계벽 유·무에 따른 상층부우측( $X_R$ )방향으로의 연기확산거리를 나타낸 그래프로서 a)보다 b)의 연기확산거리가 현저히 크게 나타나는 것을 알 수 있다. a)와 같이 풍속이 0.5m/sec, 1.0m/sec인 경우 각각 8.0sec, 2.0sec정도의 연기의 이동시간을 지연시키는 결과가 나왔지만 b)그래프와 같이 풍속이 2.0m/sec나 4.0m/sec인 경우에는 제연경계벽이 설치된 경우가 오히려 제연경계벽이 미설치된 경우보다 연기의 이동속도가 5.0sec정도 빠르게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 위에서 분석된 것과 같이 풍속이 높아짐에 따라 상부측우측( $X_R$ )방향으로 빠져나가려고 하는 풍량이 많아져 제연경계벽 미 설치시 보다 연기 확산시간이 짧아지는 것으로 사료된다. Fig. 8은 상부측좌측( $X_L$ )방향의 연기이동속도를 나타낸 그래프로서 a)는 제연경계벽이 설치된 경우 약 4.0sec 연기의 이동시간을 지연시켰다. 그러나 b)의 경우 제연경계벽 설치 시 풍속 2.0m/s의 경우 약 12.0m 지점에서 미설치 시 보다 약 5.0sec정도 연기도달 시간이 짧아지는 것을 알 수 있고 풍속 4.0m/s의 경우 제연경계벽을 중심으로 좌측방향으로 약 8.0sec에 9.0m 거리까지 도달한 뒤 그 이상 거리에는 연기가 도달되지 않는데 이는 풍속 증가에 의해  $X_L$ 방향으로의 연기확산량보다 상층부우측

( $X_R$ )의 연기확산량이 많아지기 때문에 분석된다.

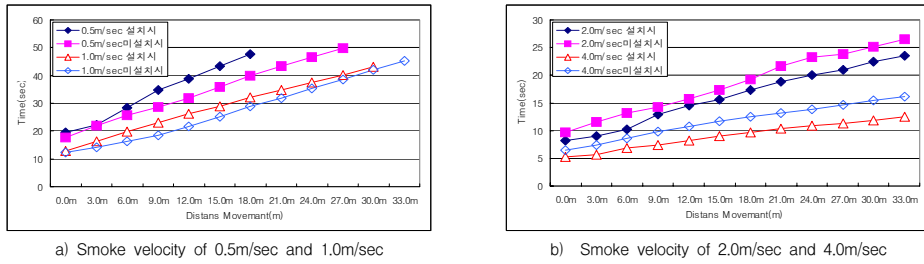


Fig. 7 Smoke movement in the direction of  $X_R$  (Right of upstairs)

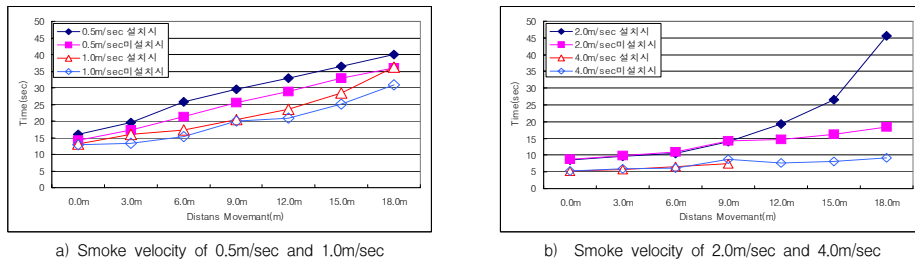


Fig. 8 Smoke movement in the direction of  $X_L$  (Left of upstairs)

## 6. 결론

풍속 측정 실험 결과 전동차 진입 시 스크린 도어가 설치되어 있지 않는 경우 승강장 주변 계단 진입부에서 약 4.0m/s이상의 풍속이 측정되었다. 이러한 결과를 바탕으로 연구한 결과, 제연경계벽 설치 시 약 2.0m/s이상 풍속을 증가하게 되면 오히려 제연경계벽 미 설치 시 보다  $X_R$ (상부층 우측)방향으로의 밀려나는 풍속증가로 인해 연기확산속도가 빨라져 연기의 양이 많아지는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 제연경계벽 설치 시 약 2.0m/s이상 풍속이 증가하게 되면  $X_L$ (상부층 좌측)방향 보다  $X_R$ (상부층 우측)방향으로 빠져나가는 풍량 및 풍압도 상승하게 되기 때문인 것으로 판단되었다. 이러한 결과로 볼 때 전동차 진·출입 시의 풍속의 영향을 고려하지 않고 제연경계벽을 설치하게 될 경우 연기로 인해 피난자 및 소방대의 피난 또는 진입 경로에 차질이 생겨 큰 인명피해가 생길 것으로 예측된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 첫째, 지하 역사 내에 발생하는 풍속이 제연경계벽에 미치는 영향을 고려한 성능 및 효율성측면에서의 세부적인 기준제시가 선행되어야 한다. 둘째, 지하철 진입 시 풍속을 제어 할 수 있는 스크린 도어 설치, 수직구획, 방연구획 및 지하 터널 내의 연기 배출 시스템 등을 통해 지하 역사 내의 풍속 감소 및 연기배출, 방연을 할 수 있는 조건을 조성해야 한다. 셋째, 지하철 진입 시 화재가 발생되었을 경우 신속한 사전 및 중도정차를 위해 효율적이고 영향력 있는 통신장비 및 감지설비를 시설을 통한 피난대책 수립이 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

1. FDS v5.0 Users & Technical Reference, NIST Special Publication
2. NFSC 501 제연설비의 화재 안전 기준 제 4 조항, 행자부고시 제2006-35호
3. E.G. Butcher, A.C. Parell, "Smoke Control in Fire Safety Design".
4. ISO/FDIS 21927-1 Smoke and Heat control System
5. KS F ISO 8421-5 화재용어 - 제연
6. John, H. Klote., James, A. Milke., "Principle of smoke management," 2002.