

## 지하철 승강장 급배기 조건에 따른 화재 위험성 평가 Fire Risk Assessment for Subway Station According to Supply and Exhaust Conditions

김하영<sup>†</sup> · 이동호\* · 김정엽\*\*

Ha-Young Kim<sup>†</sup> · Dong-Ho Rie\* · Jung-Yup Kim\*\*

인천대학교 안전공학과 대학원, \*인천대학교 안전공학과, \*\*한국건설기술연구원  
(2008. 10. 21. 접수/2008. 12. 12. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 대피자의 최적 배연조건 확립을 위하여 CFD모형을 이용한 수치해석을 통해 지하철 승강장 내에서의 화재 시 다양한 배연조건에서의 화재 위험성을 검토하였다. 결과로 스크린도어를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우보다 온도의 상승폭이 최대 65.37%~74.97% 낮게 나타났다. 또한 급기나 압인 배기시 승강장에 난류가 발생함에 따라 온도 및 연기층이 교란되어 하락됨에 따라 탈출시 위험을 유발할 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서 배연용량 및 승강장 공간 설정시 배연조건에 따른 화재 특성을 고려한 설계가 필요하다.

### ABSTRACT

In this research, to establish the emission for the people who are clearing out, through the numerical analysis using the CFD model, the dangerousness has been investigated in the various emission conditions in a station platform. As a result of research, it is found out that the temperature variation falls between 65.37% and 74.97% to compare without installation of platform screen doors. In the addition, with the supply mode or push-pull mode, the warm current is generated in the platform so the temperature and the layer of smoke are stirred up and felled off. It will make the dangerousness when the people escape. Therefore, when the capacity of emission and the space of platform is set up, the design regards the properties of the fire emission.

**Keywords :** Subway station, CFD, Fire risk assesment, Screen door

## 1. 서 론

지하철은 1843년 영국의 화린던 스트리트와 비숍로드간 6.03 km 구간의 건설을 시작으로 세계의 주요 도시에서 대량인구의 집중, 활발한 도시활동, 운송수요의 증대, 자동차 폭증 등의 이유로 활발히 건설되어 왔다. 또한 최근 들어 단순히 이동수단 뿐만 아닌 문화 및 생활공간 등의 지하철 역사 활용도가 높아짐에 따라 인구의 밀집 및 유동이 증가하여 이에 대한 지하공간 내 쾌적한 환경 유지와 화재 등 유사시에 신속히 대처하기 위한 시스템 개발 및 연구가 활발히 이루어지고 있다.

지하철 역사에서의 화재 발생 시 밀폐된 공간적 특

성으로 인해 화재 초기의 진화작업에 많은 어려움이 있다. 또한, 공간내의 충분한 방재시설이나 통풍 등의 제연시스템의 설치가 미비하거나 제연운전 방식이 적절하지 않을 경우 공간 내 대피자의 피난경로가 굴뚝 효과로 인한 연기의 확산경로가 될 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 CFD모형을 이용한 수치해석을 통해 지하철 승강장 내에서의 화재 시 다양한 배연조건에서의 화재 위험성을 평가함으로써 대피자의 최적 배연조건 확립에 그 목표를 두고 있다.

## 2. 수치해석 조건

### 2.1 지하철 승강장 모델링

본 연구에 적용된 승강장 역사 모델은 인천지하철 1호선의 송도 연장선 제 3역사 설계 자료<sup>1)</sup>를 기초로

<sup>†</sup>E-mail: konmul@incheon.ac.kr

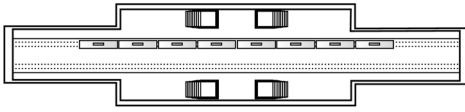


Figure 1. Station modeling (Real model).

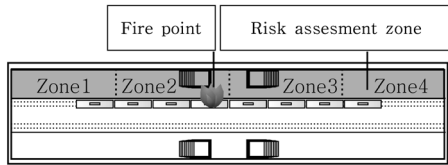


Figure 2. Station modeling (Simple model).

하였으며 일반적인 결과의 도출을 위해 공간을 단순화하였다. Figure 1은 설계 자료와 동일한 형상인 승강장의 개략도이며, Figure 2는 단순화한 모델인 길이 210.0 m, 최대폭 30.0 m, 높이 6.0 m인 상대식이다.

## 2.2 계산조건

승강장 내부의 화재 현상 및 열적 유동의 수치해석은 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 CFD프로그램인 FDS ver 4.07<sup>2)</sup>을 사용하였다. 화재의 크기는 NFPA에서 제시하는 Boston transit way의 20 MW의 발열량으로 설정하였으며 열차 정차시 4번째량 1량이 전소하는 상태로 설정하였다. 해석에 사용된 격자수는 약 1,400,000(100×700×20)개<sup>3,4)</sup>이며 격자 형태는 Uniform 방식으로 설정하였다. 시간에 따른 화재 강도 변화 및 성장 속도는 화재에 의한 제배연효과의 단순 비교를 위해 고려하지 않았으며 승강장 내부의 초기온도는 25°C로 설정하였다. 또한 NFPA130<sup>7)</sup>에서 제시하는 한계 가시거리와 이에 따른 소광계수를 적용하기 위해 SFPE<sup>8,9)</sup>에서의 소광계수에 따른 가시거리에 관한 관계식으로 Visibility

Table 1. Dimension for ventilation

TES	설치수	총 104개 (좌·우·상·하부 각 26개)
	배기량	248,000 m <sup>3</sup> /h (62,000 m <sup>3</sup> /h×4)
	배기구제원	0.3×0.6 m
	배기속도	2.7 m/s
승강장 급배기	설치수	총 48개(좌측승강장만 설치)
	급배기량	45,000 m <sup>3</sup> /h
	급배기구제원	0.6×0.6 m
터널부 급배기	급배기속도	0.72 m/s
	급배기구제원	8.4×6.0 m
	급배기속도	2.127 m/s(임계속도)

Table 2. Simulation cases

CASE	TES	Station Vent.	Tunnel Vent.	PSD
1	미가동	미가동	미가동	○
2	가동	미가동	미가동	○
3	가동	화재지점 배기	미가동	○
4	가동	화재지점 배기, 화재근접 급기	미가동	○
5	미가동	미가동	급기(임계속도)	○
6	미가동	미가동	급기 (임계속도1/2)	○
7	미가동	미가동	배기(임계속도)	○
8	미가동	미가동	압인배기 (임계속도)	○
9	미가동	미가동	양단배기 (임계속도)	○
10	가동	미가동	배기(임계속도)	○
11	가동	화재지점 배기	배기(임계속도)	○
12	가동	화재지점 배기, 화재근접 급기	배기(임계속도)	○
13	가동	미가동	양단배기 (임계속도)	○
14	가동	화재지점 배기	양단배기 (임계속도)	○
15	가동	화재지점 배기, 화재근접 급기	양단배기 (임계속도)	○
16	미가동	미가동	미가동	×
17	가동	화재지점 배기	미가동	×

Factor를 2.67로 적용하였다.

본 연구에서는 터널내부의 제배연의 다양한 효과 분석을 위해 TES(승강장 터널부 급배기시설)와 승강장부, 터널부의 제배연을 고려하였으며 이에 따른 급배기량 및 제원은 인천지하철 송도 3역사의 설계자료를 기초로 아래의 Table 1과 같이 적용하였다.

Table 2는 본 연구에 적용된 PSD(스크린도어) 설치 여부 및 배연조건에 따른 경계조건을 나타낸다.

## 2.3. 위험성 평가 항목

수치해석 결과로부터의 위험성평가는 승강장 바닥으로부터 대피자의 호흡선 높이인 1.5 m 상부의 대피공간내 평면을 기준으로 하였으며 이에 따른 평가항목은 다음과 같다.

승강장 위치에 따른 온도변화를 해석하기 위한 위치별 평균온도  $T_{m(y)}$ 는 다음의 식 (1)로 나타낸다.

$$T_{m(y)} = \frac{\sum T_{i(y)}}{G_{n(y)}} \quad (1)$$

$T_{i(y)}$ 는 길이 방향  $y$ 위치에서의 폭방향 각 격자의 온도를 나타내며  $G_{n(y)}$ 는  $y$ 위치에서의 총 격자수를 나타낸다.

또한 승강장의 급배기구간별 위험도 평가를 위해 Figure 2의 위험성평가구간을 4구간으로 나누어 평가하였다.

### 3. 수치해석 결과

#### 3.1 스크린도어 설치여부에 따른 위험성

최근 신설되는 지하철 승강장에는 스크린도어를 기본적으로 설치하고 있는 추세이며 모든 지하철 역사에 스크린도어의 설치가 추진되고 있다. 본 절에서는 이러한 스크린도어의 설치여부에 따른 위험성을 평가하였다.

Figure 3은 화재발생 후 600초가 경과한 후의 위치별 온도를 도식한 결과이다. 도식에 나타난 바와 같이 스크린 도어를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우보다 온도의 상승폭이 적은 것으로 나타났다.

Table 3은 각각 조건에 대한 구역별 평균을 나타낸다. 무배연시인 Case1과 Case16의 결과에서 나타난 바와 같이 스크린도어를 설치한 경우가 설치하지 않은

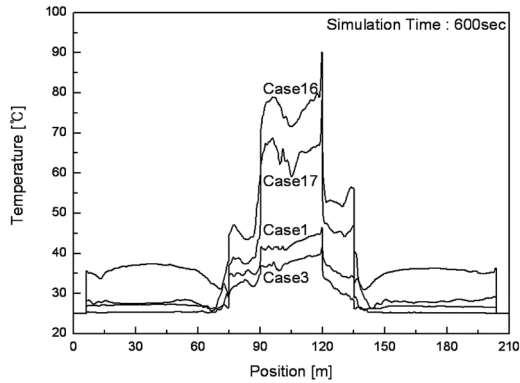


Figure 3. Mean temperature at platform positions (Case whether PSD was installed).

Table 3. Mean temperature at platform zones (Case whether PSD was installed)

Zone	Case1	Case16	Case3	Case17
1	27.105	36.326	25.026	27.762
2	34.410	51.786	29.288	43.893
3	35.351	54.892	30.465	46.834
4	26.706	35.749	25.020	28.124

경우보다 상승폭이 최대 65.37% 낮게 나타났으며, 배연시의 경우인 Case3과 Case17의 경우도 설치한 경우가 상승폭이 최대 74.97% 낮게 나타났다.

이는 스크린도어의 열리지 않은 상부가 제연 경계벽 역할을 함으로서 터널부로의 연기 및 열의 이동을 유도함에 따라 이러한 결과가 나타나는 것으로 분석된다.

#### 3.2 TES(승강장 터널부 급배기 시설) 설치여부에 따른 위험성

TES(승강장 터널부 급배기 시설)는 지하철 승강장의 터널부에 위치하여 지하철 차량풍을 막아주며 지하철의 차량 과열을 방지해주는 역할을 한다. 본 절에서는 이러한 TES를 제배연 시설로 사용할 경우 발생하는 효과에 대해 평가하였다.

Figure 4~5는 TES의 운전여부에 따른 터널 승강장부의 위치별 온도를 도식한 결과이며 Table 4는 구역별 평균치를 나타낸다.

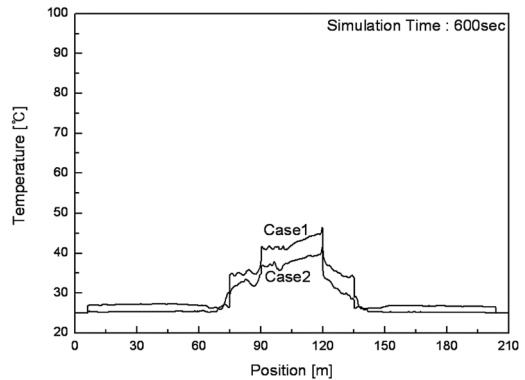


Figure 4. Mean temperature at platform positions from no-vent (Case whether TES was installed).

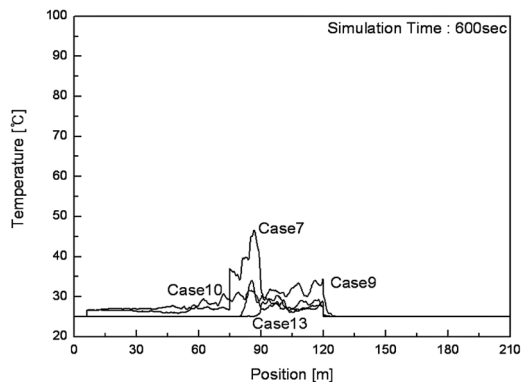


Figure 5. Mean temperature at platform positions from vent (Case whether TES was operated).

**Table 4.** Mean temperature at platform zones (Case whether TES was operated)

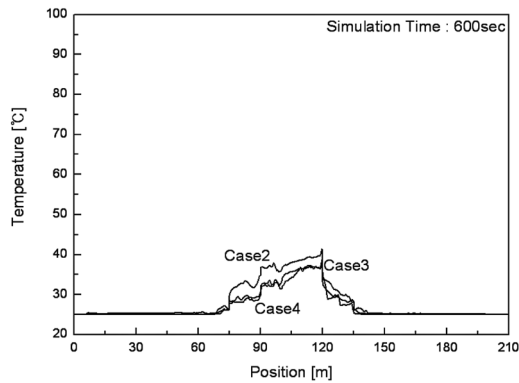
Zone	Case1	Case2	Case7	Case10	Case9	Case13
1	27.105	25.301	27.017	26.382	25.001	25.001
2	34.410	31.702	32.312	28.143	27.991	26.212
3	35.351	31.988	25.725	25.698	27.662	26.130
4	26.706	25.154	25.000	25.001	25.001	25.001

Figure 4와 Table 4에 나타난 바와 같이 TES를 제외한 모든 배연조건 미작동시 작동여부에 따른 온도의 상승폭이 최대 31.49% 낮게 나타났으며, Figure 5의 배연조건 작동시 조건에 따라 최대 59.48% 낮게 나타났다.

**3.3 승강장부 급배기에 따른 위험성**

승강장부의 급배기 시설은 평상시의 쾌적한 환경을 유지하는 역할과 화재 발생시 제배연을 통해 대피자의 대피로 확보에 기여하게 된다. 본 절에서는 승강장 급배기 유무와 급배기 조건에 따른 위험성을 평가하였다. Figure 6~8은 승강장부 급배기 조건에 따른 터널 승강장부의 위치별 온도를 도식한 결과이며 Table 5는 구역별 평균치를 나타낸다.

Figure 6과 Table 5에 나타난 바와 같이 TES와 승강장부 제배연을 제외한 터널부 배연조건 미작동시 온도



**Figure 6.** Mean temperature at platform positions from no-vent (Case whether station vent. was operated).

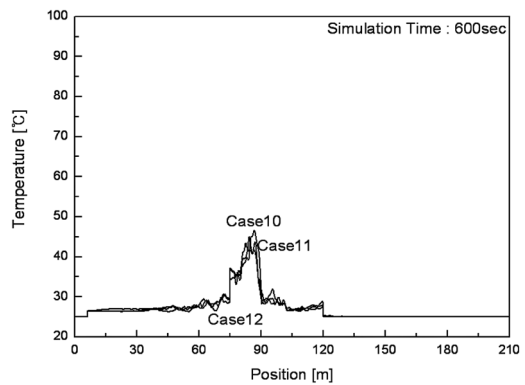
**Table 5.** Mean temperature at platform zones (Case whether station vent. was operated)

Zone	Case2	Case3	Case4	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15
1	27.105	25.026	25.043	27.017	26.603	26.659	25.001	25.001	25.001
2	34.410	29.288	28.784	32.312	31.849	31.584	26.212	25.859	25.760
3	35.351	30.465	30.148	25.725	25.760	25.692	26.130	25.844	25.659
4	26.706	25.020	25.013	25.000	25.000	25.000	25.001	25.001	25.001

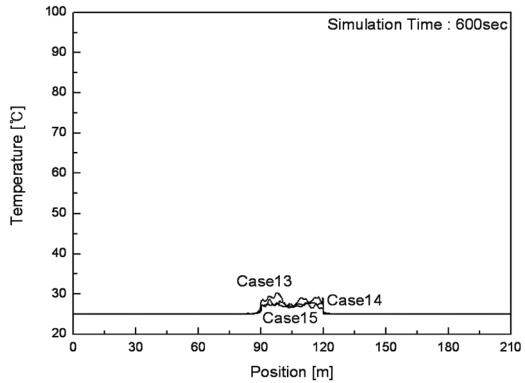
의 상승폭이 Case3의 경우 최대 54.43% 낮게 나타났으며 Case4의 경우 최대 59.79% 낮게 나타나다. Figure 7의 터널부 배연조건 조건에 따라 최대 9.96% 낮게 나타났으며, Figure 8에 나타난 바와 같이 터널부 양단 배기시 최대 37.29% 낮게 나타났다.

**3.4 터널부 급배기에 따른 위험성**

터널부의 급배기 시설은 기존의 열차풍의 제어를 위해 설치되었지만 터널부의 급배기 여부도 화재시 제배연에 영향을 미칠 수 있는 연구결과로 인해 신규역사



**Figure 7.** Mean temperature at platform positions from tunnel vent (Case whether station vent. was operated).



**Figure 8.** Mean temperature at platform positions from tunnel vent (Case whether station vent. was operated).

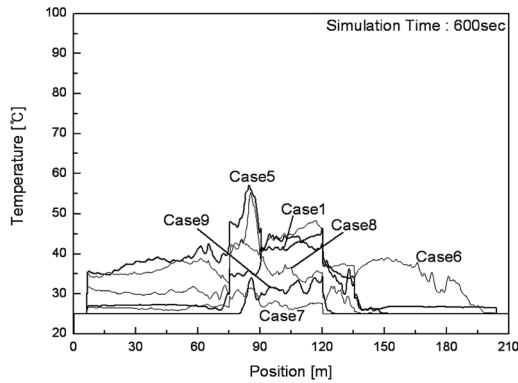


Figure 9. Mean temperature at platform positions (Case whether tunnel vent. was operated).

Table 6. Mean temperature at platform zones (Case whether Tunnel vent. was operated)

Zone	Case1	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9
1	27.105	37.437	35.896	26.382	30.521	25.001
2	34.410	44.843	40.443	28.143	37.315	27.991
3	35.351	34.490	40.440	25.698	29.717	27.662
4	26.706	25.008	32.530	25.001	25.001	25.001

건설시 중요하게 고려되고 있는 사항이다. 본 절에서는 이러한 터널부의 급배기 조건에 따른 화재 위험성을 평가하였으며 조건에 따른 단순비교를 위해 TES 및 승강장 제배연은 고려하지 않았다. Figure 9와 Table 6은 터널부 제배연 조건에 따른 수치해석 결과이다.

Figure 9와 Table 6에 나타난 바와 같이 터널의 급기나 압인배기의 경우인 Case5, 6, 8의 경우 급배기를 하지 않은 경우보다 높은 결과를 나타냈다. 이는 급기나 압인 배기시 승강장에 난류가 발생함에 따라 온도 및 연기층이 교란되어 하락됨에 따라 탈출시 위험을 유발할 수 있는 것으로 판단된다.

반면 배기(Case7)나 양단 배기시(Case9) 무배연시보다 각각 최대 66.59% 및 68.21% 낮게 나타나 급기보다는 배기의 조건이 대피시 위험성을 감소시키는데 효과적인 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

수치해석을 통한 지하철 승강장 급배기조건에 따른 화재 위험성 평가를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1) 스크린 도어의 설치여부에 따른 화재위험성 평가 결과 무배연시의 경우 스크린도어를 설치한 경우가 설

치하지 않은 경우보다 온도의 상승폭이 최대 65.37% 낮게 나타났으며, 배연시의 경우 설치한 경우가 상승폭이 최대 74.97% 낮게 나타났다.

이는 스크린도어의 열리지 않은 상부가 제연 경계벽 역할을 함으로서 터널부로의 연기 및 열의 이동을 유도함에 따라 이러한 결과가 나타나는 것으로 분석된다.

2) TES 운전여부에 따른 수치해석 결과 무배연시 온도의 상승폭이 최대 31.49% 낮게 나타났으며, 배연조건 작동시 조건에 따라 최대 59.48% 낮게 나타났다.

3) 승강장부 급배기 조건에 따른 수치해석 결과 TES와 승강장부 제배연을 제외한 터널부 배연조건 미작동시 온도의 상승폭이 최대 59.79% 낮게 나타났다. 또한 터널부 배기시 배연조건 조건에 따라 최대 9.96% 낮게 나타났으며, 터널부 양단 배기시 최대 37.29% 낮게 나타났다.

4) 터널부 급배기 조건에 따른 수치해석 결과 터널의 급기나 압인배기의 경우 급배기를 하지 않은 경우보다 높은 결과를 나타냈다. 이는 급기나 압인 배기시 승강장에 난류가 발생함에 따라 온도 및 연기층이 교란되어 하락됨에 따라 탈출시 위험을 유발할 수 있는 것으로 판단된다.

반면 배기(Case7)나 양단 배기시(Case9) 무배연시보다 각각 최대 66.59% 및 68.21% 낮게 나타나 급기보다는 배기의 조건이 대피시 위험성을 감소시키는데 효과적인 것으로 나타났다.

5) 배연용량 및 승강장 공간 설정시 배연조건에 따른 화재 특성을 고려한 설계가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 인천광역시 도시철도건설본부, “인천도시철도 1호선 승도 연장건설사업 기본설계보고서(토목/궤도)”(2004. 8).
2. Kevin McGrattan and Glenn Forney, “Fire Dynamics Simulator(Version 4) User's Guide”, NIST(2005. 2).
3. T.G. Ma and J.G. Quintiere, “Numerical Simulation of Axi-symmetric Fire Plumes: Accuracy and Limitations”, Fire Safety Journal, Vol.38, pp.467-492(2003).
4. H.R. Baum and B.J. McCaffery, “Fire Insuced Flow Field-Theory and Experiment”, Fire Safety Science Proceedings of the Second International Symposium, pp.129-148(1989).
5. James A. Milke, “NFPA 92B, Guide For Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas, 2000 Edition”, NFPA, pp.47-48(2000).
6. W.K. Chow, W.Y. Hung, Y. Gao, G. Zou and H.

- Dong, "Experimental Study on Smoke Movement Leading to Glass Damages in Double-skinned Facade", Construction and Building Materials, (2005).
7. William D. Kennedy, "NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2003 Edition", NFPA(2003).
  8. G.W. Mulholland, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter Smoke Production and Properties", Third Edition, National Fire Protection Association, pp.2-265-266(2002).
  9. John H. Klotz and James A. Milke, "Principles of Smoke Management", ASHRAE, SFPE(2002).
  10. David A. Purser, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter Toxicity Assessment of Combustion Products", Third Edition, National Fire Protection Association, pp.2-83-171(2002).
  11. D.-H. Rie, M.-W. Hwang, S.-J. Kim, S.-W. Yoon, J.-W. Ko, and H.-Y. Kim, "A Study of Optimal Vent Mode for the Smoke Control of Subway Station Fire", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.21/3-4, pp.302-303(2006).
  12. 이동호, 유지오, "지하철 화재시 본선터널 환기시스템에 따른 열 및 연기배출 특성", 한국소방학회논문지, Vol.17, No.2, pp.62-69(2003).