

## 승강장 화재시 제연운전 모드에 관한 연구

이동호, 김하영\*, 김정엽\*\*

인천대학교 안전공학과

\*인천대학교 안전공학과 대학원

\*\*한국 건설기술연구원

### A Study of smoke control mode for subway station fire

Dong-Ho Rie, Ha-Young Kim\*, Jung-Yup Kim\*\*

Dept. of Safety Engineering, University of Incheon

\*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

\*\*Korea Institute of Construction Technology

#### 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.

#### 1. 서 론

지하철은 최근 들어 단순히 이동수단 뿐만 아닌 문화 및 생활공간 등의 지하철 역사 활용도가 높아짐에 따라 인구의 밀집 및 유동이 증가하여 이에 대한 지하공간내 쾌적한 환경 유지와 화재 등 유사시에 신속히 대처하기 위한 시스템 개발 및 연구가 활발히 이루어지고 있다.

지하철 역사에서의 화재 발생 시 밀폐된 공간적 특성으로 인해 화재 초기의 진화작업에 많은 어려움이 있다. 또한, 공간의 특성으로 인해 공간 내 대피자의 피난경로가 굴뚝효과로 인한 연기의 확산경로가 될 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 CFD모형을 이용 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 하였으며 일반적인 결과의 도출을 위해 공간을 단순화 하였다. 그림 1은 실제 시뮬레이션 모델인 길이 210.0m, 최대폭 30.0m, 높이 6.0m인 상대식승강장이다.

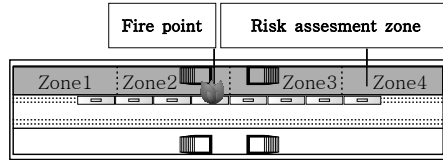


그림 1. Station modeling

### 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 20MW의 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℃로 설정하였다.

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

표 2는 본 연구에 적용된 PSD(스크린도어) 설치여부 및 배연조건에 따른 경계조건을 나타낸다.

표 1. Dimension for ventilation

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

표 2. Simulation cases

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

2.3. 위험성 평가 항목

수치해석 결과로부터의 위험성평가는 승강장 바닥으로부터 대피자의 호흡선 높이인 1.5m 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.

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

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

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.

그림 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.

무배연시인 Case1과 Case16의 결과에서 나타난 바와 같이 스크린도어를 설치한 경우가 설치하지 않은 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.

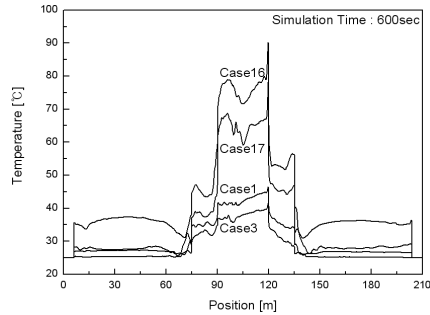


그림 3. Mean temperature at platform positions.  
(Case whether PSD was installed)

### 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.

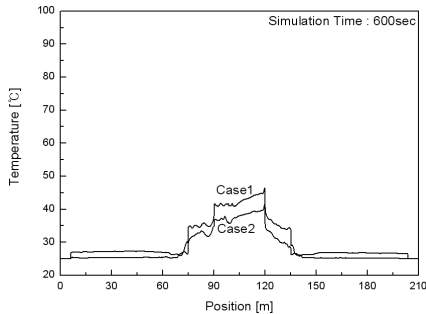


그림 4. Mean temperature at platform positions from no-vent.  
(Case whether TES was installed).

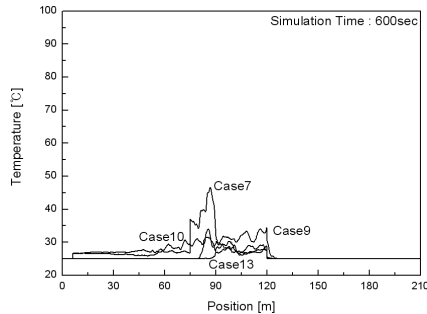


그림 5. Mean temperature at platform positions from vent.  
(Case whether TES was operated).

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

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

### 3.3. 승강장부 급배기에 따른 위험성

승강장부의 급배기 시설은 정상시의 쾌적한 환경을 유지하는 역할과 화재 발생시 제배연을 통해 대피자의 대피로 확보에 기여하게 된다. 본 절에서는 승강장 급배기 유무와 급배기 조건에 따른 위험성을 평가하였다.

그림 6~8은 승강장부 급배기 조건에 따른 터널 승강장부의 위치별 온도를 도식한 결과이다.

그림 6에 나타난 바와 같이 TES와 승강장부 제배연을 제외한 터널부 배연조건 미작동시 온도의 상승폭이 Case3의 경우 최대 54.43% 낮게 나타났으며 Case4의 경우 최대 59.79% 낮게 나타나다. 그림 7의 터널부 배연조건 조건에 따라 최대 9.96% 낮게 나타났으며, Figure 8에 나타난 바와 같이 터널부 양단 배기시 최대 37.29% 낮게 나타났다.

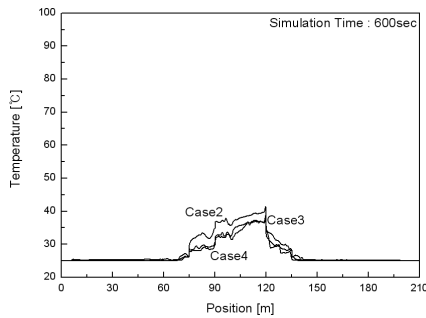


그림 6. Mean temperature at platform positions from no-vent.  
(Case whether station vent. was operated).

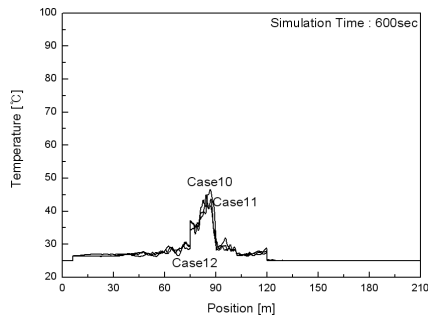


그림 7. Mean temperature at platform positions from tunnel vent.  
(Case whether station vent. was operated).

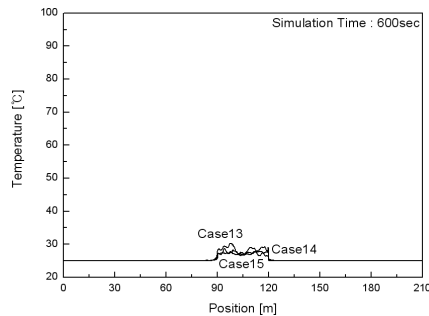


그림 8. Mean temperature at platform positions from tunnel vent.  
(Case whether station vent. was operated).

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

#### 참고문헌

1. 인천광역시 도시철도건설본부, “인천도시철도 1호선 송도 연장건설사업 기본설계보고서 (토목/궤도)”, 2004. 8.
2. Kevin McGrattan, Glenn Forney, “Fire Dynamics Simulator (Version 4) User’s Guide”, NIST, 2005. 2.
3. T.g.Ma, J.G.Quintiere, “Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations”, Fire Safety Journal 38, pp. 467-492, 2003.
4. Baum H.R., B.J.MaCaffery, “Fire Insuced Flow Field-Theory and Experiment”, Fire Safety Science Proceedings of the Second International Symposium, 1989, pp. 129-148
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, H.Dong, “Experimental stusy 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.