

# 지하철 승강장 형식에 따른 정량적 화재 위험성 평가

이동호<sup>†</sup> · 김하영

인천대학교 안전공학과

(2006. 8. 3. 접수 / 2006. 10. 12. 채택)

## Quantitative Fire Risk Assessment for the Subway Platform Types

Dongho Rie<sup>†</sup> · Ha Young Kim

Department of Safety Engineering, University of Incheon

(Received August 3, 2006 / Accepted October 12, 2006)

**Abstract** : Subway platform is divided into Side-platform type and Center-platform type. In this study does quantitative fire risk assesment of subway platform types in numerical analysis by using CFD model. From the result of this study, 1) All exhaust mode was low-end result it seems most fire risk at Side-platform station. 2) All exhaust mode was low-end result it seems most fire risk at Center-Platform station. 3) When comparing same type exhaust mode of Side-platform and Center-platform that last thing was visible 9.1~72.34% low-end fire risk. Center-platform is more operative than Side-platform that reduce fire risk when that was same dimension and external environment. Designer look upon a fire characteristic of subway platform types when he make smoke control air volume and platform area design.

**Key Words** : subway, station, CFD, FDS, FIN, fire risk assesment, screen door

### 1. 서 론

최근 도시의 구조는 과밀화와 규모화로 인해 생활 공간의 편의성을 추구하여 새로운 공간에 대한 활용이 요구되고 있는 추세이다. 이러한 추세에 따라 도시공간의 효율적인 이용을 위해 지하공간의 활용 또한 증가함에 따라 이에 따른 공간적 화재 안전성에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.

지하철 역사에서의 화재 발생 시 밀폐된 공간적 특성으로 인해 화재 초기의 진화작업에 많은 어려움이 있다. 또한, 공간내의 충분한 방재시설이나 통풍 등의 제연시스템의 설치가 미비한 경우 지하공간의 특성으로 인해 공간 내 대피자의 피난경로가 굴뚝효과로 인한 연기의 확산경로가 될 가능성이 매우 높다. 따라서 지하공간에서의 화재발생시의 안전대책은 지상공간과는 다른 방식으로 설정되어야 하며 지하공간에 알맞은 제연방식을 적용하여야 한다.

본 연구에서는 CFD모형을 이용한 수치해석을 통해 지하철 승강장 내에서의 화재 시 승강장의 형

식에 따른 화재의 위험성을 평가함으로써 대피자의 안전 확보에 그 목표를 두고 있다.

### 2. 수치해석 조건

#### 2.1. 지하철 승강장 모델링

지하철 역사는 환승역 및 유동인원이 많은 대형 역사를 제외한 대부분의 승강장의 형식이 열차가 승강장 중앙부를 통해 운행되는 상대식 승강장과 열차가 승강장 양측으로 운행되는 섬식 승강장으로 구분된다.

본 연구에 적용된 승강장 역사 모델은 인천지하철 1호선의 송도 연장선 제 3역사 설계 자료<sup>1)</sup>를 기준으로 하였다. Fig. 1은 설계 자료와 동일한 형상인 길이 205m, 최대폭 28.5m, 높이 6.1m인 상대식 승강장의 개략도이다. 또한 Fig. 2는 Fig. 1의 상대식 승강장과 지하공간 면적을 동일하게 책정하여 대칭 적용, 동일한 제원으로 섬식 승강장을 모델링한 개략도이다.

각각의 승강장은 스크린도어가 설치된 것으로 설정하였다. 또한 스크린도어는 화재열차 정차 방향의 경우 열차내 승객의 대피를 위해 스크린이 열려있는

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
riedh@incheon.ac.kr

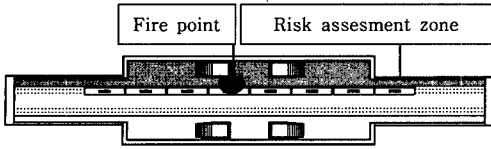


Fig. 1. Side-platform station modeling.

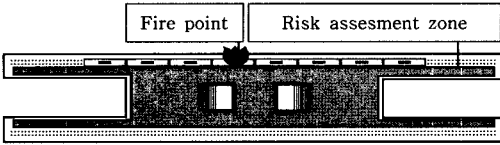


Fig. 2. Center-platform station modeling.

상태로 하였으며, 반대 방향의 스크린도어의 경우 스크린이 닫혀있는 상태로 설정하였다.

### 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 690,000(64 × 600 × 18)개<sup>3,4)</sup>이며 격자 형태는 Uniform 방식으로 설정하였다. 화재의 성장은 NFPA 92B<sup>5)</sup>의 t-Squared Fires식에서의 화재성장속도 Ultra Fast를 적용하여 최대열량 20MW에 도달되는 시간을 354초로 설정하였다. 스크린도어 및 열차의 유리는 250℃<sup>6)</sup>에 열적파괴가 일어나도록 설정하였으며, 승강장 내부의 초기온도는 30℃로 설정하였다. 또한 NFPA130<sup>7)</sup>에서 제시하는 한계 가지거리와 이에 따른 소광계수를 적용하기 위해 SFPE<sup>8,9)</sup>에서의 소광계수에 따른 가지 거리에 관한 관계식으로 Visibility Factor를 2.67로 적용하였다.

본 연구에서는 본선 터널부 환기팬을 이용한 제연방식으로 설정하였으며, 승강장 내부에서의 배연은 스크린 도어 설치로 인한 터널부의 배연량에 따른 객관적인 비교를 위하여 본 수치해석에서는 고려되지 않았다.

계단 상부와 열차가 운행되는 터널 양측으로 Vent를 설정하였으며 계단 상부는 Open vent 상태, 터널 양측은 무배연 상태의 경우 Open vent로 설정하였으며 배연 상태의 경우 3.81 m/s로 배연 속도를 설정하였다.

Table 1. Simulation cases

Cases	Platform type	Exhaust mode	Smoke control air volume(fire tunnel)
Case1	side-platform	× ×	0m <sup>3</sup> /min
Case2		↓ ↑	6275m <sup>3</sup> /min
Case3		↑ ↓	6275m <sup>3</sup> /min
Case4	center-platform	× ×	0m <sup>3</sup> /min
Case5		↓ ↑	3137m <sup>3</sup> /min
Case6		↑ ↓	3137m <sup>3</sup> /min

× ×	non exhaust	↓ ↑	push-pull	↑ ↓	all exhaust
-----	-------------	-----	-----------	-----	-------------

Table 1은 본 연구에 적용된 승강장 내부로의 터널부 배연조건에 따른 경계조건을 나타낸다. 상대식 승강장의 경우 화재지점의 승강장부가 섬식 승강장에 비해 공간이 1/2로 감소하는 공간적 특성을 나타낸다. 또한 터널부 환기팬에서의 제연시 공급유량이 동일할 경우 섬식 승강장은 터널부의 공간이 양측으로 분리됨에 따라 화재근접지점 터널부에서의 Vent는 공급 속도가 동일한 반면 공급유량이 1/2로 감소하는 특성을 갖는다.

### 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.

#### 온도

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 y위치에서의 폭방향 각 격자의 온도를 나타내며  $G_n(y)$ 는 y위치에서의 총 격자수를 나타낸다.

#### 연기농도

승강장 위치에 따른 연기농도변화를 해석하기 위한 위치별 평균연기농도  $S_{m(y)}$ 는 다음의 식 (2)로 나타낸다.

$$S_{m(y)} = \frac{\sum S_{i(y)}}{G_{n(y)}} \quad (2)$$

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

**$F_{IN}$ (Fractional Incapacitating Dose)<sup>9,10)</sup>**

$F_{IN}$ 은 독성가스의 호흡에 따른 시간별 위험성 평가방법으로 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$F_{IN} = \sum_{i=1}^n [(F_{ICO,i} + F_{ICN,i}) V_{CO_2,i} + F_{IO,i}] \Delta t_i \quad (3)$$

$F_{IN}$ 은 CO, HCN, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>의 호흡을 시간에 따른 누적으로 나타내며 1.0을 초과하게 되면 의식불명이나 사망하게 되는 것으로 판단한다.

승강장 위치에 따른  $F_{IN}$ 변화를 해석하기 위한 위치별  $F_{IN}$ 인  $F_{m(y)}$ 는 다음의 식 (4)로 나타낸다.

$$F_{m(y)} = \frac{\sum F_{i(y)}}{G_{n(y)}} \quad (4)$$

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

**3. 수치해석 결과**

**3.1. 상대식 승강장(Side-platform station)**

Fig. 3~5는 배연조건에 따른 상대식 승강장의 화재 발생 후 500sec가 경과한 위치별 온도, 연기농도,  $F_{IN}$  그래프를 나타낸다.

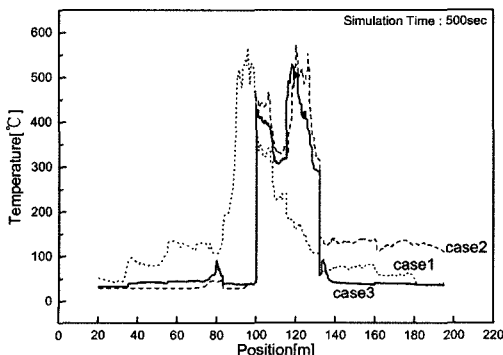


Fig. 3. Mean temperature at platform positions(side-platform).

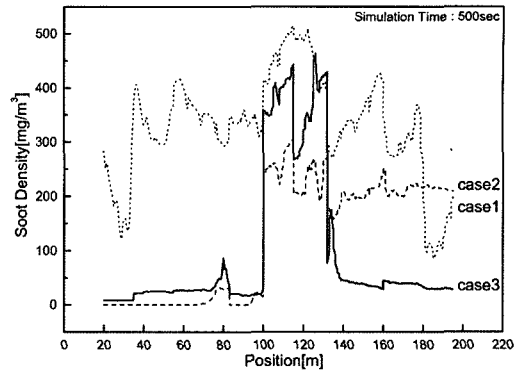


Fig. 4. Mean soot density at platform positions(side-platform).

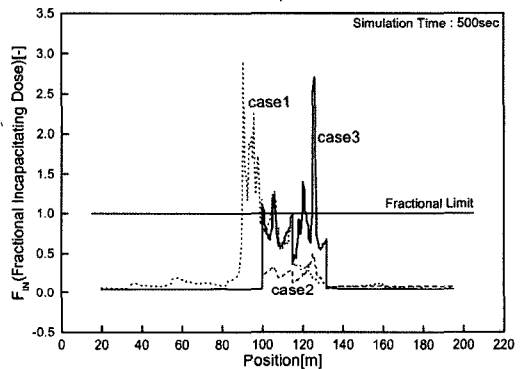


Fig. 5. Mean FIN at platform positions(side-platform).

Fig. 3~5에서 나타난 바와 같이 터널부 환기팬에 의한 강제 배연이 연기농도와 온도 하락에 효과적으로 나타났으며, Case3인 All exhaust mode가 가장 낮은 양상을 보였다. 또한 Push-pull mode의 경우 압인되는 기류의 난류화로 인하여 화재지점 이후의 연기층 하락을 촉진시키는 것으로 나타났다. 그러나 외기의 지속적인 유입으로 인하여 완전연소를 돕게 됨에 따라 독성가스 발생의 감소로 화재근접지점에서의  $F_{IN}$ 의 수치는 Push-pull이 낮은 경향을 보였다.

**3.2. 섬식 승강장(Center-platform station)**

Fig. 6~8은 배연조건에 따른 섬식 승강장의 화재 발생 후 500sec가 경과한 위치별 온도, 연기농도,  $F_{IN}$  그래프를 나타낸다.

Fig. 6~8에서 나타난 바와 같이 Case6인 All exhaust mode가 다른 조건보다 낮은 경향을 보였으며, 상대식 승강장과 마찬가지로 터널부 환기팬에 의한 강제 배연이 연기농도와 온도 하락에 효과적이지만 Push-pull mode의 경우 압인하는 기류의 난류화로 화재지점 이후의 연기층 하락을 촉진시키는 것으로 나

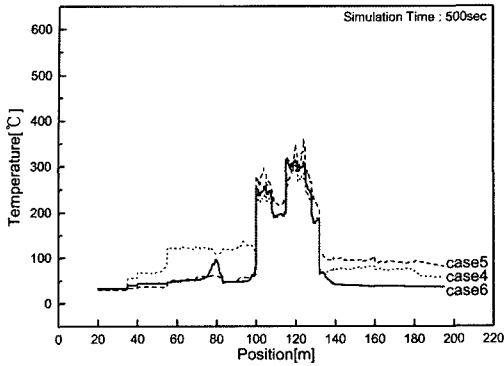


Fig. 6. Mean temperature at platform positions(center-platform).

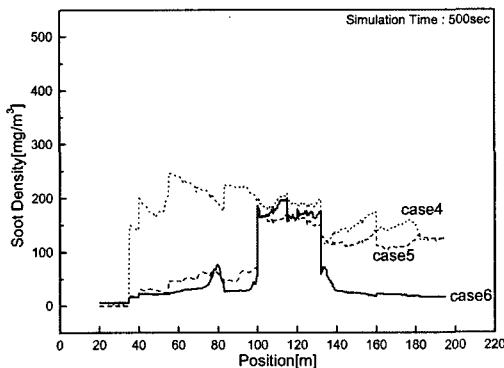


Fig. 7. Mean soot density at platform positions(center-platform).

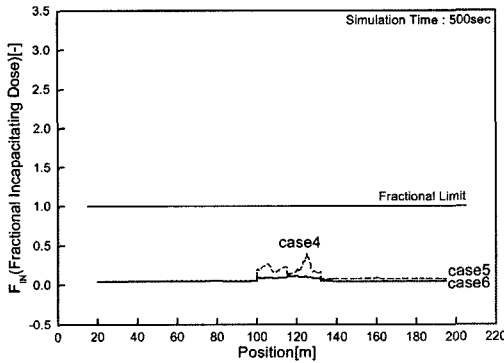


Fig. 8. Mean  $F_{IN}$  at platform positions(center-platform).

타났다. 또한  $F_{IN}$ 의 수치는 전체적으로 위험값보다 매우 낮게 나타났다. 이는 대피공간이 넓어짐에 따른 산소량의 증가로 상대식에 비해 낮은 양상을 보이는 것으로 분석된다.

### 3.3. 승강장 형식에 따른 위험성 평가

다음의 Fig. 9~11은 시간에 따른 흡식 및 상대식 승강장에서의 배연조건별 평균 온도, 연기농도,  $F_{IN}$  그래프이다.

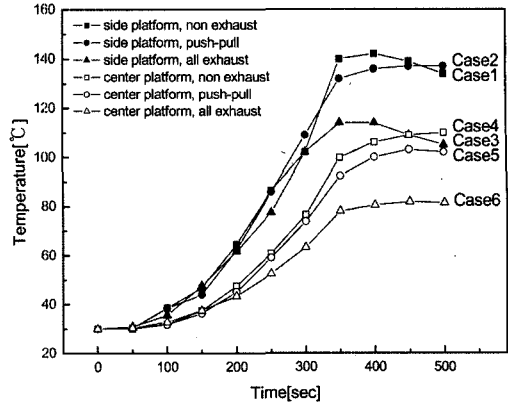


Fig. 9. Mean temperature by the difference of platform types and exhaust conditions.

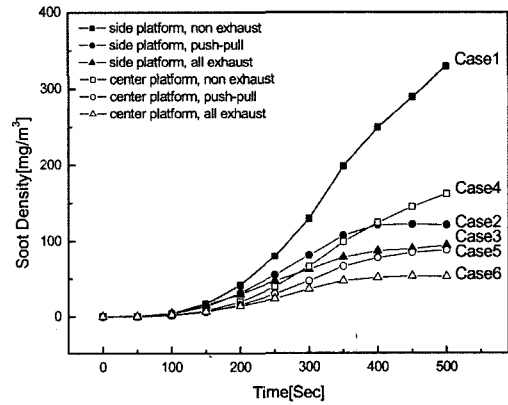


Fig. 10. Mean soot density by the difference of platform types and exhaust conditions.

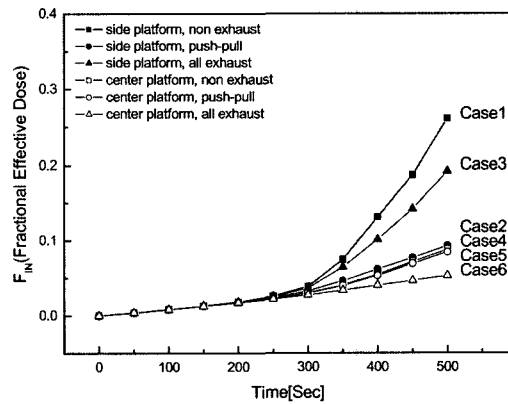


Fig. 11. Mean  $F_{IN}$  by the difference of platform types and exhaust conditions.

Non exhaust의 경우 Case1인 상대식 승강장에 비해 Case4인 섬식 승강장의 경우가 온도 23.08%, 연기농도 50.76%,  $F_{IN}$  66.36% 낮은 값을 나타냈다.

이러한 자연배기에 의한 배연은 화재와 먼 지점의 스크린도어가 닫혀 있는 상태에서 섬식 승강장이 상대식 승강장에 비해 대피공간이 크기 때문에 상대적으로 화재에 대한 위험성이 줄어드는 것으로 나타났다.

Push-pull exhaust mode의 경우 Case2인 상대식 승강장에 비해 Case5인 섬식 승강장의 경우가 온도 32.71%, 연기농도 27.19%,  $F_{IN}$  9.14% 낮은 값으로 나타났다. 또한 All exhaust mode의 경우 Case3인 상대식 승강장에 비해 Case6인 섬식 승강장의 경우가 온도 31.47%, 연기농도 44.27%,  $F_{IN}$  72.34% 낮은 값을 나타냈다.

강제배기에 의한 제연은 동일한 제원의 동일한 배연 설정의 경우 섬식 승강장이 상대식 승강장에 비해 화재에 의한 위험을 억제 하는데 효과적인 것으로 나타났다. 즉, 스크린도어의 설치로 인한 화재와 먼 지점의 스크린 도어가 닫혀 있는 상태에서 나타나는 상대식 승강장의 상대적 배연량의 증가 및 대피공간의 감소보다 섬식 승강장의 대피공간의 증가 및 배연량의 감소가 화재 위험을 억제 하는 데에 더욱 실효적인 것으로 나타났다.

따라서 실제 산업현장에서 지하철역사 내의 배연 용량 및 승강장 공간 설정 시 승강장 형식에 따른 화재 특성을 고려한 설계가 필요하다.

#### 4. 결 론

수치해석을 통한 승강장 형식에 따른 정량적 화재 위험성 평가를 통해 다음의 결론을 얻었다.

1) 상대식 승강장과 섬식 승강장은 강제 배연이 연기농도와 온도 하락에 효과적으로 나타났으며, All exhaust mode가 가장 낮은 양상을 보였다. 또한 Push-pull mode의 경우 압인하는 기류의 난류화로 화재지점 이후의 연기층 하락을 촉진키는 것으로 나타났다.

2) 자연배기에 의한 배연은 화재와 먼 지점의 스크린도어가 닫혀 있는 상태에서 섬식 승강장이 상대식 승강장에 비해 온도 23.08%, 연기농도 50.76%,  $F_{IN}$  66.36% 낮은 값을 나타냈다. 이는 상대적인 대피공간의 증가로 화재에 대한 위험성이 줄어드는 것으로 분석된다.

3) 강제배기에 의한 제연은 섬식 승강장이 상대식 승강장보다 Push-pull은 온도 32.71%, 연기농도 27.19%,

$F_{IN}$  9.14% 낮은 값을 나타냈으며, All exhaust mode은 온도 31.47%, 연기농도 44.27%,  $F_{IN}$  72.34% 낮은 값을 나타냈다. 이는 스크린도어의 설치로 인한 화재와 먼 지점의 스크린 도어가 닫혀 있는 상태에서 나타나는 상대식 승강장의 상대적 배연량의 증가 및 대피공간의 감소보다 섬식 승강장의 대피공간의 증가 및 배연량의 감소가 화재 위험을 억제 하는 데에 더욱 실효적으로 분석된다.

4) 배연용량 및 승강장 공간 설정시 승강장 형식에 따른 화재 특성을 고려한 설계가 필요하다.

감사의 글 : 본 연구는 2004년도 인천대학교 학술연구기 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 인천광역시 도시철도건설본부, “인천도시철도 1호선 송도 연장건설사업 기본설계보고서(토목/궤도)”, 2004.
- 2) Kevin McGrattan, Glenn Forney, “Fire Dynamics Simulator(Version 4) User's Guide”, NIST, 2005.
- 3) T. G. Ma, J. G. Quintiere, “Numerical simulation of axisymmetric fire plumes: accuracy and limitations”, Fire Safety Journal 38, pp. 467~492, 2003.
- 4) Baum, H. R., 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, 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, 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) Dong-ho Rie, Myung-Whan Hwang, Seong-Jung Kim, Sung-Wook Yoon, Jae-Woong Ko, Ha-Young 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.