

본선터널 제연시스템 유무에 따른 대심도 역사 승강장 연기분포 분석

Analysis of Smoke Distribution in the Subway-Station Platform With and Without the main tunnel ventilation

장용준*[†], 류지민*, 김용기*

Yong-Jun Jang*[†], Ji-Min Ryu*, Yong-Ki Kim*

Abstract Fire safety measures in the deeply underground subway station have been the subject of interest on an ongoing basis. The distribution of smoke in the deeply underground station is analyzed with and without the main tunnel ventilation system. In the lobby, air supply is 42,126m³/h, exhaust is 23,160m³/h. Air exhaust is 276,094m³/h in the platform. The main tunnel ventilation fan is operated with capacity of 117m³/h. Ventilations of the first and second floor lobby were modeled as the 94 square shapes of 0.6m(x)X0.6m(y). Ventilation diffusers in platform were modeled as the 222 square shapes of 0.6m(x)X0.6m(y) and the 4 rectangular shapes of 1.2m(x)X0.8m(y). Comparative analysis of CO concentration in the platform with and without main tunnel ventilation fan is performed. LES(Large Eddy Simulation) of the FDS is employed and parallel processing by MPI is used.

Keywords : underground subway station, ventilation system, LES, MPI

초 록 대심도 도시철도 지하역사에서의 화재안전 대책은 지속적으로 관심의 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 본선 터널 제연시스템의 유무에 따른 대심도 역사 내에서 승강장 연기분포를 분석하였다. 화재 시 대합실에서는 급기가 42,126m³/h, 배기가 23,160m³/h이며, 승강장에서는 전체 배기 276,094m³/h 용량이 가동된다. 본선터널에는 현장과 동일하게 풍량 117m³/h인 환기 팬이 작동하는 것으로 가정하였다. 대합실 1,2층 천정의 환기구는 94개의 정사각형(0.6m x 0.6m)으로 모델 하였고, 승강장에서 환기구는 222개의 정사각형(0.6m x 0.6m) 및 4개의 직사각형(1.2m x 0.8m) 대배기구로 모델 하였다. 본선 제연 팬의 유무에 따른 승강장에서의 CO 농도 분포를 비교 분석하였다. FDS의 LES(Large Eddy Simulation) 기법을 사용하였으며, MPI 기법을 이용하여 병렬 계산이 가능하도록 하였다.

주요어 : 대심도 역사, 제연시스템, LES(large eddy simulation), MPI 병렬처리기법

1. 서 론

대심도의 지하철은 승강장에서 대합실까지 피난하는 시간이 많이 소요되기 때문에 화재발생시에 승객의 피난이 신속하게 이루어지지 못한다. 또한 연소생성물의 흐름이 피난방향과 일치하기 때문에 승객들의 피난은 신속하여야 할 뿐 아니라 유독 가스의 확산을 차단하는 기술이 필요하다. 유독가스를 고립시키고 확산을 차단하기 위하여 본선 터널의 제연 시스템을 활용하고 있다. 기존의 연구[1]에서는 본선 터널의 제연 시스템을 가동하지 않은 상황에

† 교신저자: 한국철도기술연구원 에코시스템 연구실(jangyj@krri.ke.kr)

* 한국철도 기술연구원 에코시스템 연구실

서 대합실과 승강장의 급배기 시설만을 이용하여 연기의 확산 형태를 조사한 반면 본 연구에서는 본선 터널의 제연 시스템을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

연구 대상 역사는 5호선 신금호 역사(총 지하8층)이며, 승강장에 정차된 도시철도 열차에서 10MW의 화재가 발생했을 때 본선터널 제연시스템의 유무에 따라 승강장에서 CO 농도 분포변화가 어떻게 변화하는지에 대하여 수치해석 기법을 활용하여 조사하였다.

2. 본 론

2.1 수치해석을 위한 경계조건

신금호 역사는 총 지하8층으로 구성되어 있으며, 지상으로 3개의 출입구가 연결되어있다 (Fig 1 참조). 각층은 계단, 에스컬레이터 및 엘리베이터로 연결되며, 화재상황에서 정지된다고 가정하였다. 본선터널의 제연시스템은 배기 모드인 제연 팬으로 풍량 117m³/h 로 가동된다고 가정하였다(Fig 2 참조). 제연 팬의 유무에 따라 승강장에서 CO 농도 분포를 분석하였으며, 화재의 규모는 10MW로 하였으며, 객차의 출입구와 PSD의 출입구는 피난 상황을 가정하여 모두 열려있다고 가정하였다.

Table 1 Measured data for ventilation in case of fire

구분		실측풍량(m ³ /h)	
		Supply Air mode	Return / Exhaust mode
대합실	총 가압풍량	42,126	-23,160
	디퓨저 평균 풍량	648	-788
승강장	총 배연 풍량	-	-276,094
	○디퓨저 평균풍량	-	-788
	□디퓨저 평균풍량	-	-547
	대배기구 평균풍량	-	-34,560

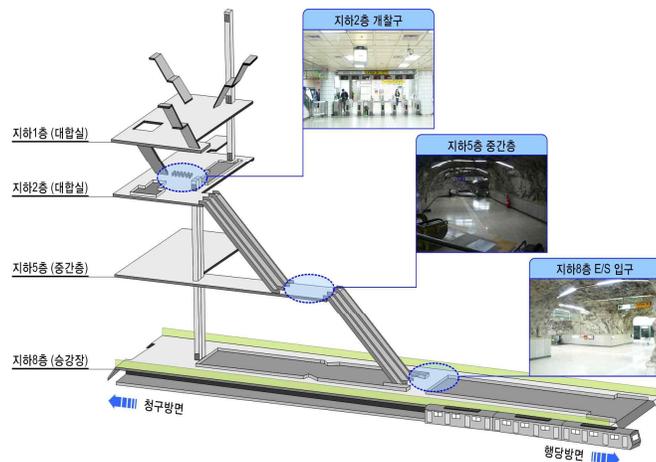


Fig. 1 Schematic diagram of Shingumho subway station

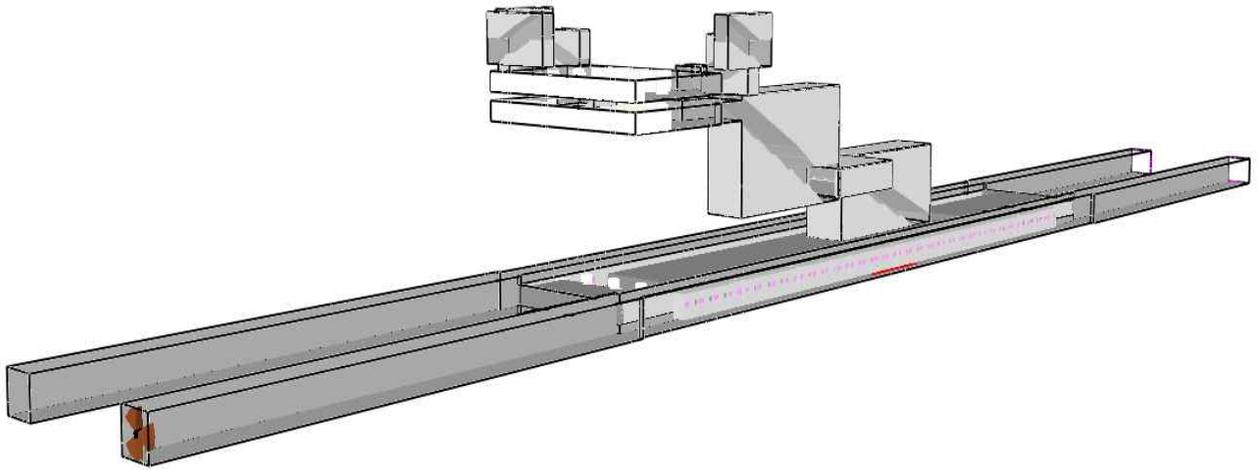


Fig. 2 The FDS modeling of Shingumho subway station with ventilation fan in the tunnel

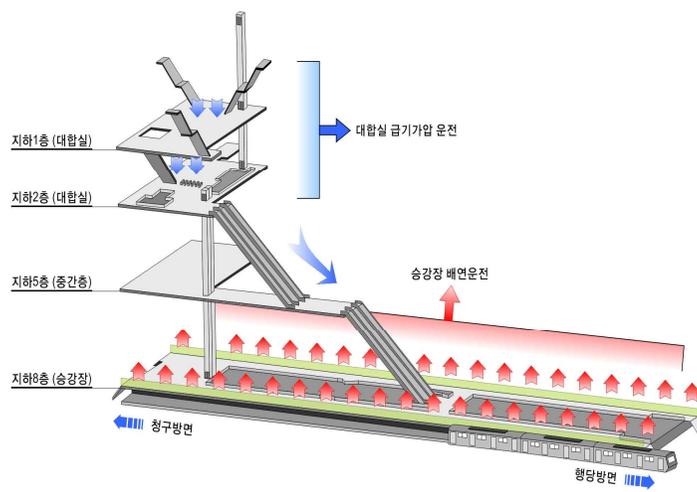


Fig.3 Smoke ventilation mode in over all station

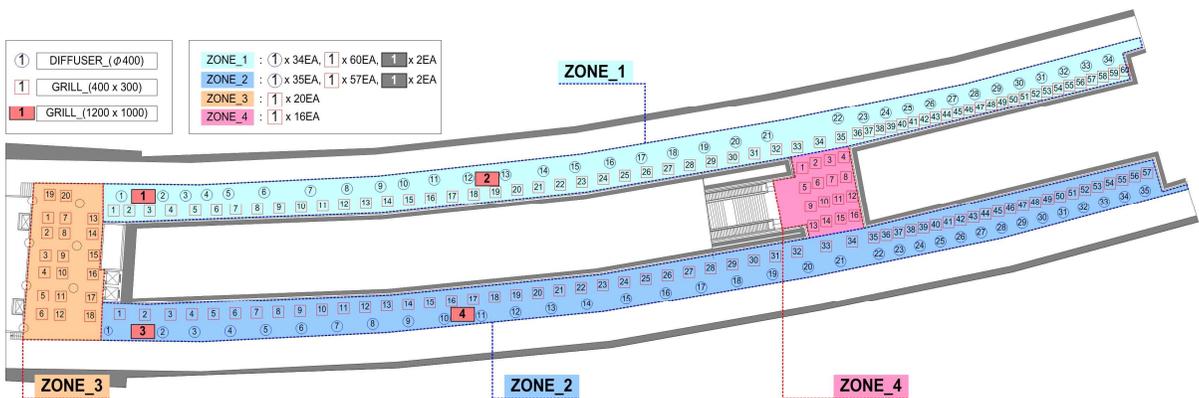


Fig.4 The diffuser layout in platform

2.2 수치해석 기법 및 방정식

본 연구에서는 수치해석을 위한 Code로 NIST에서 개발한 화재전용 프로그램인 FDS(Fire Dynamics simulator)를 사용하여 연구를 수행하였다. FDS는 LES(Large Eddy Simulation)방식으로 난류를 해석한다. 본 연구와 같이 방대한 역사를 가지는 모델에서 빠른 해석결과를 보이며, 화재유동과 같은 저속유동 해석에 강점을 보인다. 수치해석을 위한 격자의 크기는 화원의 크기를 기준으로 하여 선정되었으며, 선정 기준은 다음과 같다. McGrattan et. Al. [3, 4] 에 의하면 고유 화재 직경의 크기는

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

여기서, $\rho_\infty = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1007 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $T_\infty = 283 \text{ K}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 이다.

D^* 의 값에 따른 격자 민감도 Test는 다음과 같이 산정하였다.

$$\frac{D^*}{\delta x} \approx 10 \quad (2)$$

여기서 δx 은 적정격자의 크기이며, 본 연구에서는 $D^* = 0.2 \text{ m}$ 로 적용하였다. 격자 크기가 0.2m로 적용하였을 때, 총 격자 수는 약 750만개이다. 해석의 효율을 높이기 위해 총 22개의 해석영역으로 나누어 병렬처리방법으로 해석을 수행하였다. 해석 OS는 LINUX이며, 사용된 CPU는 Intel 3.0 GHz Dual Core CPU 9개를 사용하였다.

본 연구에서는 난류계산을 위해 다음과 같이 Navier-Stokes eq.을 필터링 하여 해석한다.

$$\frac{D\bar{u}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{D\bar{P}}{Dx_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \nu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \tau_{ij} \right\} \quad (3)$$

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \overline{u_i} \overline{u_j} \quad (4)$$

여기서 τ_{ij} 는 sub-grid scale(SGS) stress이다.

$$\tau_{ij} = \frac{1}{3} \delta_{ij} \tau_{kk} - 2\nu_t \overline{S_{ij}} \quad (5)$$

$$\overline{S_{ij}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

여기서 ν_t 는 모델링이 되어야 하며 FDS에서는 다음과 같은 일반적인 Smagorinsky model을 사

용하고 있다.

$$v_t = (C_s \bar{\Delta})^2 \bar{S} \quad (7)$$

여기서,

$$\bar{S} = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2} \quad (8)$$

$$\bar{\Delta} = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3} \quad (9)$$

그리고 FDS의 default 조건으로 $C_s = 0.2$ 를 사용하였다.

2.3 수치해석 결과 및 고찰

신금호역사의 승강장 중심부에서 화재가 났을 때 발생하는 연소생성물의 흐름을 분석하였으며, 연소생성물 중 화재발생시 가장 큰 인명피해를 일으키는 CO를 기준으로 해석을 수행하였다.

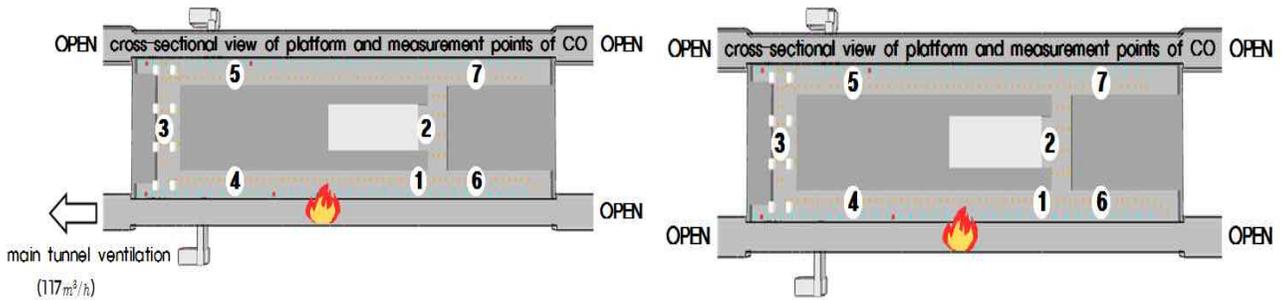


Fig.5 Platform cross section (fire strength: 10MW) (left: With Ventilation , right: Without Ventilation)

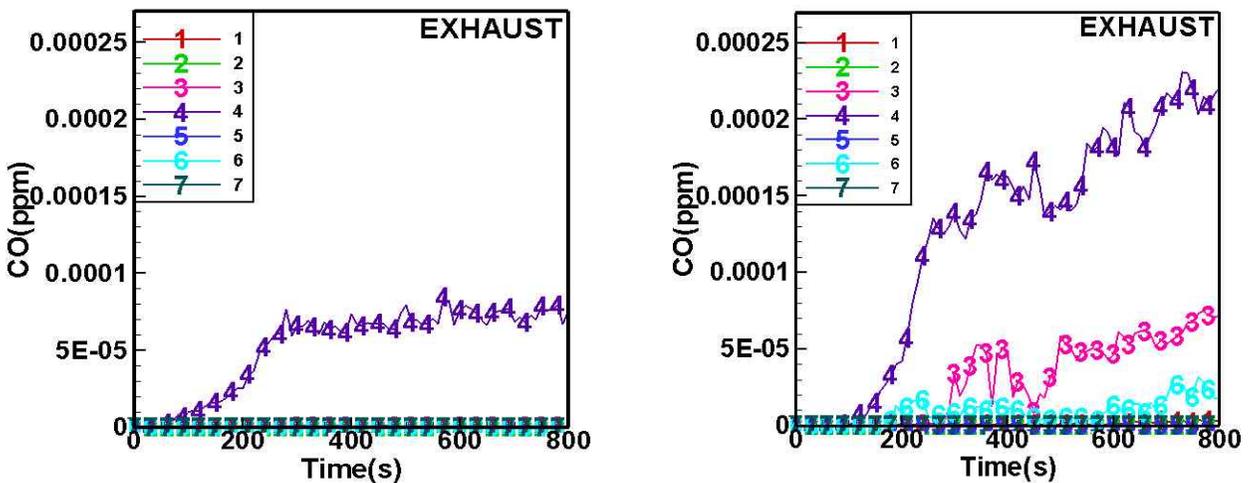


Fig.6 Calculated Carbon monoxide (CO) (fire strength: 10MW) (left: With Ventilation , right: Without Ventilation)

Fig 5는 승강장의 단면도로서 승객의 피난경로를 고려해서 CO 감지기 위치를 나타낸 것이다. CO 분포 분석결과 Fig 6을 보면 제연 팬이 가동되었을 경우가 제연 팬을 가동하지 않았을 때 보다 CO 분포가 최대 3배 낮게 나타나고 있다. CO의 농도가 현저히 감소하는 것을 볼 때 본선터널에서 적절한 제연 팬 가동은 승객들의 안전과 치명적인 관계가 있는 것으로 판단된다.

3. 결론

서울 5호선 역사 중 44m의 최대심도를 나타내는 신금호 역사를 대상으로 본선터널에서 제연 시스템의 유무에 따른 승강장의 CO 농도분포를 FDS code 를 사용하여 화재해석을 수행하였다. 본선터널에서 제연 팬을 가동하였을 경우에는 가동하지 않은 경우보다 승강장에서 CO의 농도가 최대 3배 낮게 나타나는 것으로 조사되었다. 따라서 본선터널에 제연 팬을 가동하는 경우에 승강장 화재 시 승객들에게 화재의 피해를 줄여줄 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2013년 한국산학연합회 기업부설연구소 지원 사업중 “건설분야 성능 설계를 위한 오픈소스 기반 전산유체해석 서비스 시스템 개발”의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 장용준, 류지민, “대심도 역사 승강장 화재시 승강장 환기 운전 모드에 대한 고찰” 한국철도학회 춘계학술대회 pp.1-6, 2013
- [2] 장용준, 이호석, 박덕신(2012) 대심도 지하역사승강장 및 대합실 평상시/비상시 급·배기 풍량에 대한 실험적 연구, *한국철도학회논문집* Vol.15, NO6, pp. 579~587, 2012.
- [3] 2007, Mcgrattan, K. B., Klein, B., Hostikka, S., Floyd, J., "Fire Dynamics Simulator Version 5 User's Guide", NIST Special Publication 1019-5, pp.31
- [4] 1998, Mcgrattan, K. B., Baum, H.R., Rehm, R.G., "Large eddy simulation of smoke movement" Fire Safety Journal 30 (2), pp. 161-178.