

대심도 신금호역사의 화재 유동에 대한 고찰

Investigation for Fire Flow of the Deeply Underground Shin-Gum-Ho Subway Station

장용준* 박일순† 김진호**** 정우성***** 김학범** 이창현***
Yong-Jun Jang Il-Soon Park Jin-Ho Kim Woo-Sung Jung Hag-Beom Kim Chang-Hyun Lee

ABSTRACT

Recently the deeply underground tunnels have been increased along the subway railroads of urban area compared to the past subway railroads. The Shin-Gum-Ho subway station (the Fifth lines, the depth : 46m) which is the third among the deep subway stations in the Korea was chosen as the model of deeply underground stations, and attempted to do simulation of fire. This station consists of three entrance, the basement first floor (B1), the basement second floor (B2), the basement eighth floor or platform (B8) and escalators and stairs from B2 to B8. The total number of grid was about 9,000,000 to make simulation of fire and smoke from the platform to entrance in this research, and the grid system was divided into 19 blocks to increase the efficiency of this simulation.

The FDS (Fire Dynamics Simulation) was chosen to make the simulation of fire, and the model of turbulent flow was LES (Large Eddy Simulation). Each block is processed in a CPU using parallel processing of MPI (Message Passing Interface). The resource of CPU for this simulation is a ten of Intel 3.0 GHz Dual CPU (20 CPU).

국문요약

최근 도심지의 지하철 노선들은 과거에 지어진 지하철 노선들에 비하여 대심도 터널이 증대하고 있다. 신금호역사(5호선, 깊이 : 46m)는 수도권에 있는 지하철 역사 중에서 3번째로 깊은 역사로서 대심도 역사의 모델로 선정되었으며, 신금호 전체 역사에 대한 화재시물레이션을 시도하였다. 신금호역사는 3개의 출입구, 지하 1층 대합실, 지하 2층 대합실, 지하 2층에서 8층으로의 연결통로, 지하 8층 승강장으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 지하 8층 승강장에서 지상 출입구 까지 전체 역사를 대상으로 연기거동을 해석하기 위하여 9,000,000개의 격자를 생성하였으며, 계산 효율을 증대시키기 위하여 19개의 블록으로 나누어서 처리하였다.

화재해석은 화재에 특화된 CFD 코드인 FDS를 사용하였으며 난류해석 기법은 LES가 사용되었다. MPI의 병렬처리방법을 이용하여 19개의 블록을 각각의 CPU에서 분산처리 하였다. 본 전산수치해석에 사용된 CPU 자원은 Intel 3.0 GHz Dual CPU 10개 (Core 20개)이다.

† 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실 연수연구원
E-mail : ispark@krti.re.kr
TEL : (031)460-5857 FAX : (031)460-5279

* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실 책임연구원

** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실 수석연구원

*** 정회원, 한국철도기술연구원, 도시철도표준화연구단 책임연구원

1. 서론

대구지하철 화재참사 이후 “철도시설안전기준에 관한 규칙(건설교통부령 제476호, 2005년 10월 27일)” [1]이 제정 고시되었고 이에 대한 세부기준이 2006년 9월 22일에 ‘철도시설 안전 세부기준(건설교통부고시 제 2006년-395호)’로 고시되었다. 그러나 더 많은 사람들이 집중되어 있는 도시철도에 대한 화재안전 기준이 아직 제정되지 않아 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

도표1. 서울시의 지하철 노선별 최대심도의 역사

호선	역사	깊이(m)
1	서울역	11.9
2	이대역	27.3
3	충무로역	25.5
4	남태령역	36.1
5	신금호역	43.6
6	버티고개역	49.3
7	송실대역	43.1
8	산성역	55.4

1974년 지하철 1호선의 개통이후 36년이 지난 지금 수도권 도심에는 10여개의 지하철 노선이 운행되고 있다. 과거의 지하철 노선이 비교적 얕은 깊이로 건설되어진 반면 최근에 건설된 지하철노선의 역사는 더 깊이 만들어졌고 그 중에 몇몇의 역사는 대심도(The Great Depth) 역사이다.

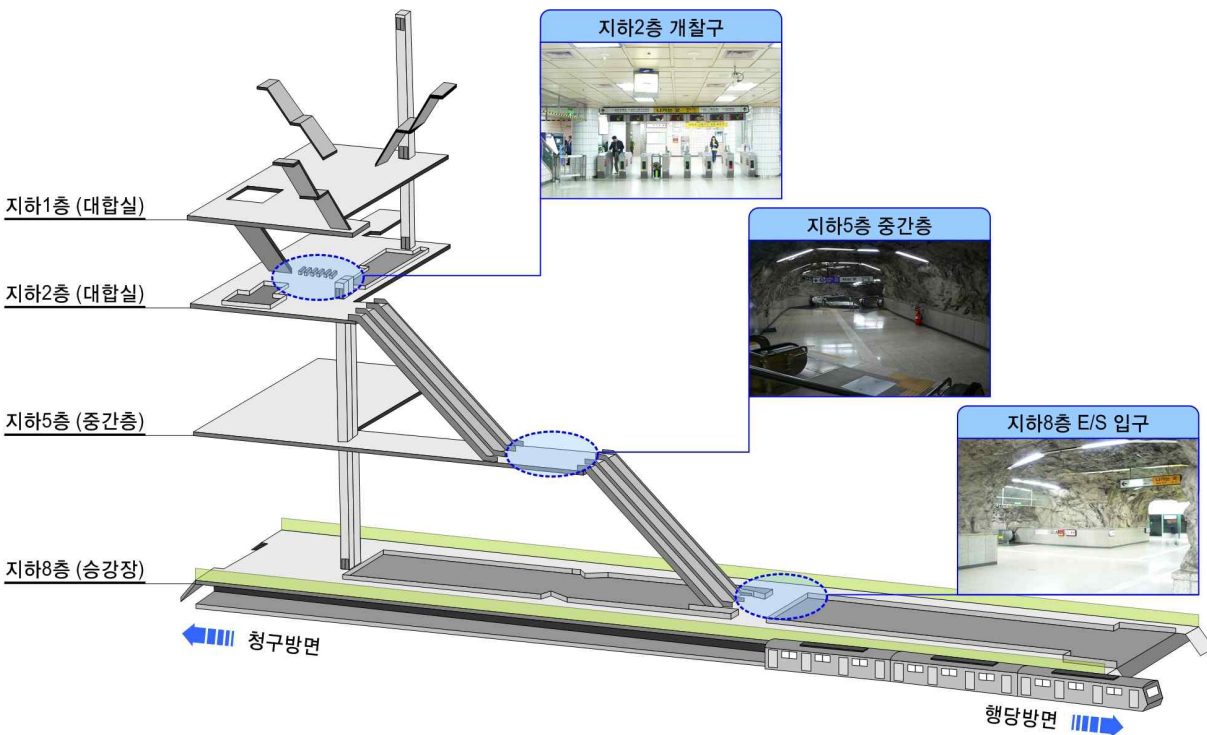


그림 1. 신금호역 개요

본 연구에서는 5호선의 최대 심도 역사인 신금호역을 모델링한 후 도시철도 열차의 한 량에서 10MW의 화재가 발생했을 때 그 연기와 유독사스의 유동과 온도를 분석하여 이 역사의 화재 시뮬레이션을 실시하고자 한다.

2. 본론

2.1 모델링

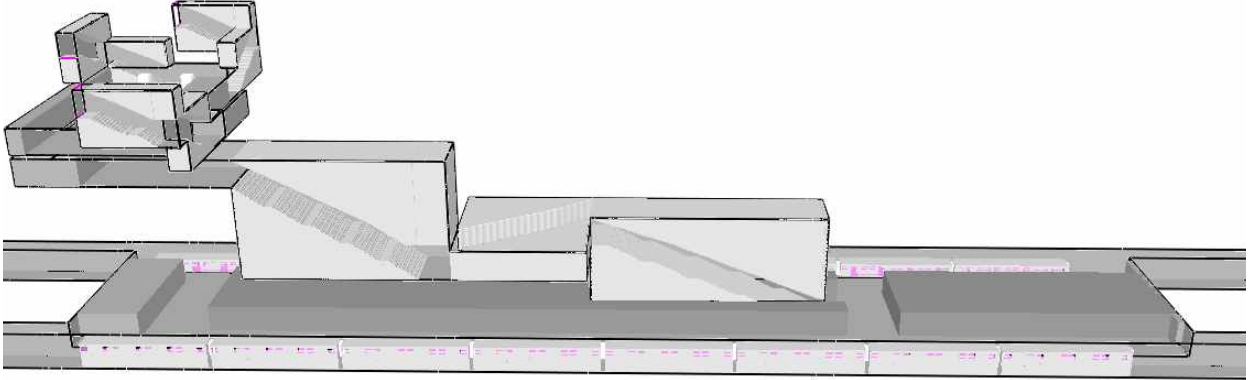


그림 2. 신금호역사의 FDS 격자모델링

시뮬레이션은 신금호역사를 모델로 했는데 신금호역사는 3개의 출입구, 지하 1층 대합실, 지하 2층 대합실, 지하 2층에서 지하 8층 승강장까지의 연결통로, 지하 8층 승강장과 전철 16량으로 구성되어 있다. 역사에는 지하 3층부터 지하 7층까지 존재하지만 승객과 연기, 유동이 이루어지지 않는 영역으로 본 시뮬레이션에서는 제외되었다. 외부와의 공기유동은 3개의 출입구와 지하 8층의 승강장 양끝에서만 이루어진다. 전동차는 8량으로 각각 상, 하행선에 위치하여 있다. 전동차의 출입문과 연결통로는 모두 열려있는 것으로 설정했으며 지하 2층에서 지하 8층으로의 연결통로의 escalator는 모든 계단으로 바꾸어서 단순화시켰다.

전산유체역학(CFD) 소프트웨어는 NIST에서 개발한 화재전용인 FDS(Fire Dynamic Simulator)를 사용하였다. FDS는 LES(Large Eddy Simulation)로 난류를 해석하므로 지하철 역사처럼 상당히 많은 격자를 가지는 시뮬레이션을 비교적 빨리 수행할 수 있는 장점이 있으며 화재 연기같은 난류에도 강점을 가지고 있어서 선정되었다. 컴퓨터 자원(Computing Resource)으로 Intel 3.0 GHz Dual CPU 10개(Core 20개)를 사용하여 수행하였는데 약 구백만개의 격자를 19개의 block으로 나누어 병렬로 처리하였다.

McGrattan et. al.[2]에 따르면 고유 화원직경은

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

이고 격자의 민감성에 대한 연구에 따르면

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

여기서 δx 는 mesh의 대략적인 크기이다.

$\rho_\infty = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1007 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $T_\infty = 283 \text{ K}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 를 고유화원직경에 적용하면 $D = 2.4 \text{ m}$ 로 구했으면 위 식으로부터 적정한 격자의 크기 (δx)는 약 0.2m 이하라고 분석되었다. 위 분석에 기초하여 본 시뮬레이션에서는 한 변의 길이가 0.2m인 정육면체의 격자 9,000,000개로 전 역사를

모델링하였다. 화재의 위치는 그림 1에서 볼 때 지하 8층 승강장에서 앞쪽 전철 중 왼쪽에서 3번째 차량의 가운데이다. 화재 규모는 차량 1개가 전소되는 양이 10MW로 설정하였다.

2.2 난류 모델

철도터널 화재 유동에 FDS를 사용하는 문제에 대해 장용준, 박원희[3]의 연구에서 분석되었다. 본 연구에서는 FDS의 난류모델로 LES(Large Eddy Simulation)를 사용하는데 난류의 지배방정식을 필터링(filtering)하여 구하며 다음과 같다.

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

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \quad (4)$$

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

$$\tau_{ij} = \frac{1}{3} \delta_{ij} \tau_{kk} - 2\nu_t \bar{S}_{ij} \quad (5)$$

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

여기서 ν_t 는 모델링이 되어야 하며 FDS에서는 다음과 같은 일반적인 Smagorinsky model을 사용하고 있다.

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

여기서,

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

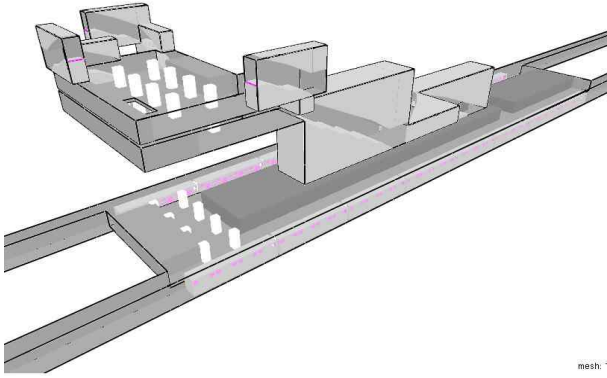
$$\bar{\Delta} = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3} \quad (9)$$

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

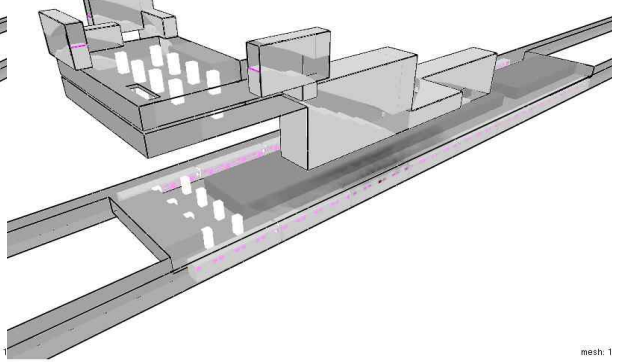
3. 결론

지하 8층의 앞쪽 전철차량 중 왼쪽에서 3번째 차량에 10MW의 화재가 발생했을 때 FDS에 의한 연기 거동 시뮬레이션이 그림 3에 나타나 있다. 가장 중요한 특징은 지하 8층의 승강장과 양쪽 터널로 연기가 확산되어서 지상 1층의 출입구까지 연기가 확산되는 시간이 예측보다 더 많이 걸리는 것으로 나타났다. 지하 8층에서 출입구까지 연기가 확산되는 시간은 약 900초 또는 15분으로 판단된다. (본 시뮬레이션에서는 배연장치나 PSD(Passenger Screen Door)는 제외되었다.) 연기거동을 더 분석해보면 약 300초(6분)에 지하 8층이 연기로 가득찼다. 약 500초(8.3분)에서는 지하8층에서 지하 2층으로의 연결통로도 연기로 채워지고 지하 2층은 약 700초(11.6분), 지하 1층은 약 800초(13.3분)에 연기로 포화되었다. 최종적으로 3개의 출입구는 약 900초(15분)에 연기로 가득하게 되어지는 것으로 분석되었다.

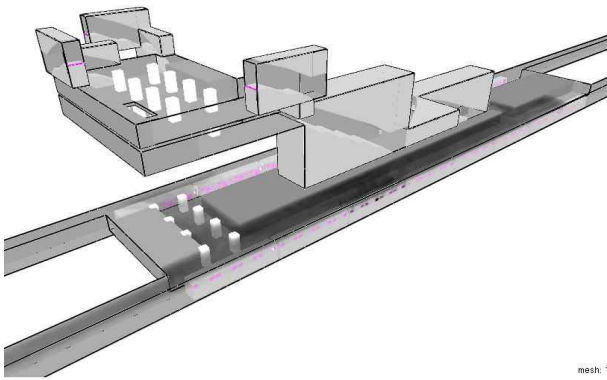
신금호역의 화재시 피난 계획은 지하 8층 승강장의 승객들이 양측 통로를 통해 청구역이나 행당역으로의 대피가 주 대피로이고 연결통로는 보조적인 대피로인데 본 시뮬레이션에 의하면 연기가 지하 8층 승강장과 양쪽 터널의 채우는 시간은 약 300~400(6분~6.7분)초이므로 배연팬이 작동하지 않는다면 양측 터널로 대피하는 승객은 대단히 위험해질 수 있는 것으로 분석된다.



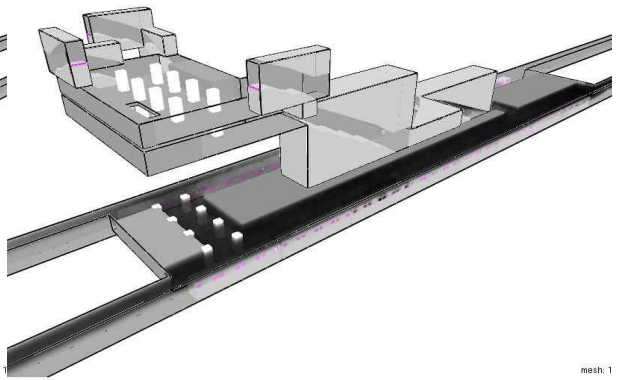
(3-1) 화재발생 직전



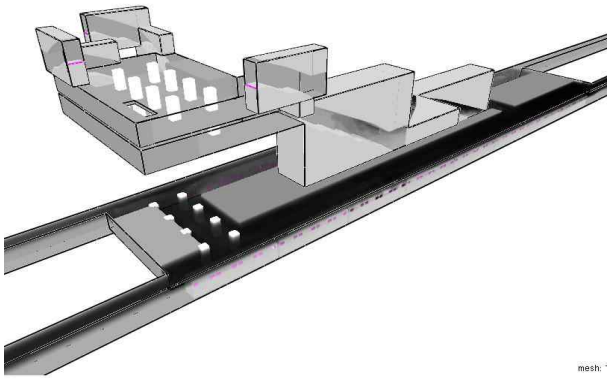
(3-2) 화재발생 후 100초



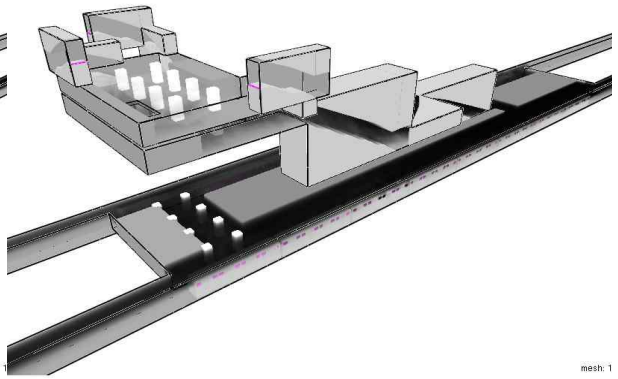
(3-3) 화재발생 후 200초



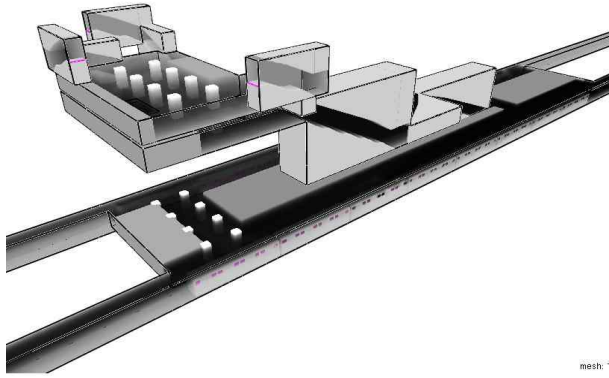
(3-4) 화재발생 후 300초



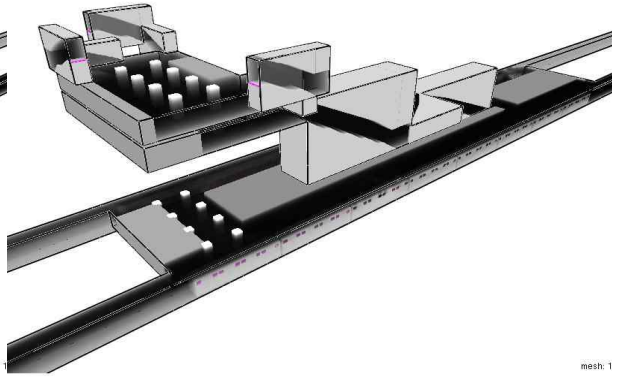
(3-5) 화재발생 후 400초



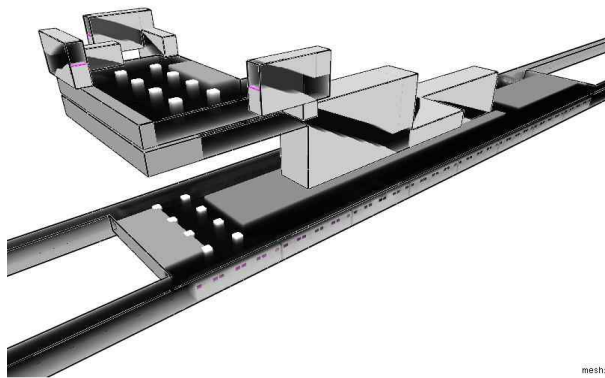
(3-6) 화재발생 후 500초



(3-7) 화재발생 후 700초



(3-8) 화재발생 후 800초



(3-9) 화재발생 후 900초

그림 3. 신금호역사의 화재상황에서 시간에 따라 전개되는 연기 거동

참고문헌

1. “철도시설 안전기준에 관한 규칙” 건설교통부령 제476호 2005년 10월 27일
2. Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd (2007), "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide", NIST Special Publication 1019-5, p31
3. T. W. Choi and S. C. Yoo, "Electrical ceramics," SID'95 digest paper, pp.10-15, 1995.(외국학술대회의 경우)