

[Research Paper]

수치해석을 통한 노후 지하철 역사 내 열차 화재 시 제연모드 개선에 관한 연구

김효규[†] · 백두산 · 유용호^{*}

(주)주성지엔비, *한국건설기술연구원 화재안전연구소

Numerical Study on the Improvement Heat and Smoke Control System in Old Subway Station on Train Fire

Hyo-Gyu Kim[†] · Doo-San Baek · Yong-Ho Yoo^{*}

Jusung G&B Inc., *Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received June 5, 2017; Revised June 19, 2017; Accepted June 28, 2017)

요 약

지하철은 정해진 노선에서 한 번에 많은 인원들을 수송시킬 수 있으며 철로와 역사가 지하에 있기 때문에 지상의 공간을 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 2003년 2월 18일 발생한 대구지하철 화재참사처럼 불특정 다수가 이용하는 지하철에서 화재가 발생할 경우 많은 사상자가 발생할 수 있다. 선행연구에서 측정실험을 실시한 결과, 지하철 역사에 설치된 제연설비의 성능이 현저하게 저하된 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 선행연구의 실험 결과를 바탕으로 3차원 수치해석을 통해 화재 발생 시 제연모드에 따른 열기류 및 CO의 유동을 확인하였다. 그 결과 노후화된 제연설비로는 승강장 피난 시간기준인 4분 동안 기준치 이하의 열기류의 온도를 유지하지 못하였으며, 승강장 상부에 대배기구를 추가하여 배연성능을 강화시킨 경우 4분 동안 기준치 이하의 CO농도와 열기류의 온도를 유지시킬 수 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

The subway can transport a lot of people at a certain route at once, and the railway and the platform are underground, so it is advantageous to use the ground space efficiently. But If a fire occurs in a subway that is used by an unspecified number of people, such as the Daegu Subway Fire Disaster, many casualties can occur. As a result of the previous research, it was confirmed that the performance of the ventilation system of the old subway platform was remarkably degraded. Therefore, in this study, based on the experimental results of the previous research, we confirmed the flow of the hot and CO flows according to the ventilation mode in the case of fire by three - dimensional numerical analysis. As a result, it was found that the old ventilation system could not maintain the hot air temperature below the reference value for 4 minutes based on the evacuation time of the platform, and when the ventilation performance was enhanced by adding Oversized Exhaust Ports at the upper part of the platform, And the temperature of the heat flow can be maintained.

Keywords : Subway Platform, Performance Based Design, Smoke Control System

1. 서 론

과학기술과 교통수단의 발전으로 철도를 지하화 하여 운행하고 있다. 국내에서는 1974년 8월 15일 개통한 서울 지하철 1호선을 시작으로 2016년 7월 30일 개통한 인천 도시철도 2호선까지 32개의 지하철 및 전철 노선이 운행중이며, 대표적 교통수단으로 자리 잡았다. 이러한 지하철은 정해진 노선에서 한 번에 많은 인원들을 수송시킬 수 있으며,

철로와 역사가 지하에 있기 때문에 지상의 공간을 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 2003년 2월 18일 발생한 대구지하철 화재참사처럼 불특정 다수가 이용하는 지하철에서 화재가 발생할 경우 많은 사상자가 발생할 수 있다.

지하철에서 화재가 발생했을 경우 화재의 성장이나 연기유동 등을 예측, 분석하는 방법으로는 공학적 판단 방법, 실험을 통한 방법 그리고 컴퓨터를 이용한 수치해석 방법

[†] Corresponding Author, E-Mail: hgkim@gnbeng.com, TEL: +82-31-8018-2788, FAX: +82-31-8018-2799

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

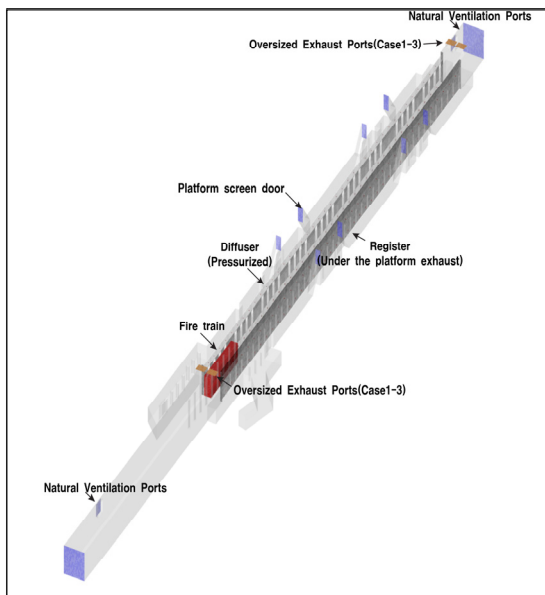


Figure 1. 3D modeling of C subway platform.

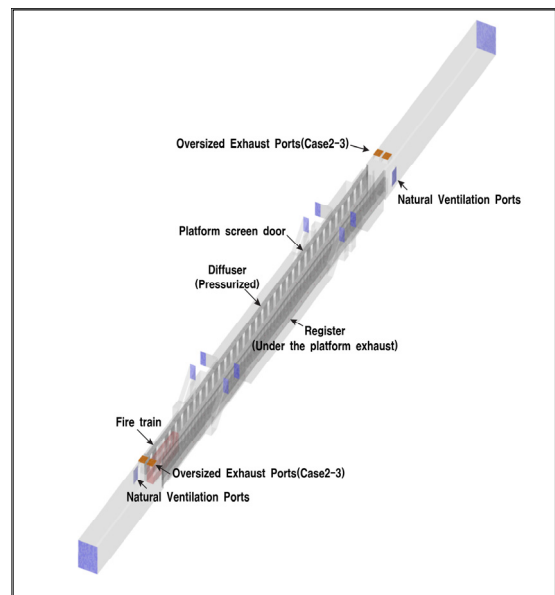


Figure 2. 3D modeling of B subway platform.

등이 있다. 공학적 판단 방법은 화재사례와 같은 축적된 자료를 활용하여 빠른 분석이 가능하지만 자료가 부족한 경우 분석이 어려운 단점이 있다. 실험을 통한 방법은 직접적이고 확실한 방법이지만 환경적, 경제적, 시간적 비용이 크고, 재현성을 확보하기 위해 반복해야 한다는 단점이 있다. 하지만 컴퓨터를 이용한 수치해석 방법은 공학적 판단과 평가자의 주관에 따라 결과가 달라질 수 있는 단점이 있지만, 비용과 인력 시간 등을 단축시킬 수 있으며, 다양한 조건 등을 입력하여 여러 케이스를 연구할 수 있는 장점이 있다.

따라서 지하철에서 화재가 발생할 경우 피해를 최소화하기 위해 컴퓨터를 이용한 수치해석 연구가 많이 진행되고 있다. 이동호⁽¹⁾ 등은 지하철 화재 시 본선터널 환기시스템에 따른 열 및 연기배출 특성을 확인하기 위해 지하철환경해석 프로그램인 Subway Environmental Simulation(SES)와 화재해석 프로그램인 Fire Dynamics Simulator(FDS)를 사용하여 가시도 및 승강장의 온도를 구하고 제연모드의 특성에 대해 연구하였으며, 최중락⁽²⁾ 등은 대구지하철 화재 참사가 발생한 대구 중앙로역을 대상으로 Fluent를 이용하여 화재 시 환기 유무에 따라 화재거동 예측과 화재 대피 계획을 수립하였다. 그리고 김학범⁽³⁾ 등은 지하철 승강장 매점 화재실험 결과를 바탕으로 FDS를 이용하여 승강장 매점 화재에 대한 연구를 진행하였고, 노삼규⁽⁴⁾ 등은 지하철 터널 화재 시 환기시설의 용량에 따른 제연효과를 FDS를 이용하여 연구를 하였다.

이처럼 지하철 화재에 대한 많은 수치해석 연구가 진행되고 있지만, 대부분 화재로 인해 발생하는 연기를 제연하는 제연시스템의 제연풍량은 최초 설계 시 적용하는 제연용량을 적용시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 운영중인

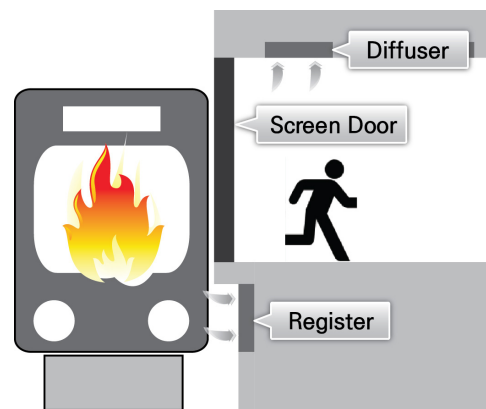


Figure 3. Default heat and smoke control system of C and B subway platform.

지하철 역사 내에서 열차화재가 발생했을 경우 제연모드에 따른 연기 유동 등을 확인하기 위해 박병직 등⁽⁵⁾이 수행한 선행연구의 서울지하철 C역과 B역의 제연풍량 측정 실험 결과를 바탕으로 3차원 수치해석을 하였고 노후 지하철 역사의 제연에 대한 개선안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 해석대상 및 종류

본 연구의 해석대상은 서울지하철 C역과 B역의 승강장이다. Figure 1과 2에 나타낸바와 같이 C역과 B역의 승강장은 상대식 승강장의 형태이며 스크린도어가 설치되어 있고, 정거장의 양쪽 끝에 자연환기구가 있다. C역과 B역 승강장의 열차화재 시 환기모드는 Figure 2에 나타낸 바와 같이 승강장 하부에 설치된 레지스터(Register)와 상부에 설치

Table 1. Design Flow Rate and Measurement Flow Rate of C Subway Platform and B Subway Platform⁽⁵⁾

	Design flow rate (CMH)		Measurement flow rate (CMH)		Decreasing rate (%)	
	C Station	B Station	C Station	B Station	C Station	B Station
Platform exhaust (southbound lane)	62,000	39,723	49,737	27,663	80	70
Under the platform exhaust (southbound lane)	63,000	N/F	25,706	15,691	41	N/F
Platform exhaust (northbound lane)	62,000	88,911	50,774	65,069	82	73
Under the platform exhaust (northbound lane)	63,000	N/F	44,487	61,236	171	N/F

Table 2. Number of Diffuser and Register on C Subway Platform⁽⁵⁾

	C Subway Platform		B Subway Platform	
	Diffuser	Register	Diffuser	Register
northbound lane (EA)	38	40	43	34
southbound lane (EA)	40	40	50	33
Area (m2)	0.09	0.12	0.09	0.18

Table 3. Simulation Case

		Smoke control operation mode
C Subway Platform	Case 1-1	Platform exhaust + Under the platform exhaust
	Case 1-2	Platform pressurized + Under the platform exhaust
	Case 1-3	Platform pressurized + Under the platform exhaust + Oversized Exhaust Ports(108,000CMH)
B Subway Platform	Case 2-1	Platform exhaust + Under the platform exhaust
	Case 2-2	Platform pressurized + Under the platform exhaust
	Case 2-3	Platform pressurized + Under the platform exhaust + Oversized Exhaust Ports(108,000CMH)

된 디퓨저(Diffuser)가 배연을 한다. 제연시스템의 제원은 박병직⁽⁶⁾ 등이 실험을 통해 측정된 결과를 역에 따라 Table 1에 나타내었다. C역 승강장은 하행선 승강장 상부배기의 경우 설계풍량은 62,000 CMH이지만 실제 측정된 풍량은 49,737 CMH이며, 하부배기는 설계풍량 63,000 CMH이지만 측정풍량 25,706 CMH로 측정됐다. 반대방향인 상행선 승강장 상부배기와 하부배기는 하행선과 설계풍량이 같고 측정풍량은 50,774 CMH, 44,487 CMH로 하행선의 경우와 마찬가지로 측정풍량이 설계풍량보다 작게 측정됐다. B역 승강장은 하행선 승강장 상부배기의 경우 설계풍량은 39,723 CMH이지만 실제 측정된 풍량은 27,663 CMH이며, 하부배기는 설계풍량 자료를 확보할 수 없었으며, 측정풍량은 25,706 CMH로 측정됐다. 반대방향인 상행선 승강장 상부배기는 설계풍량 88,911 CMH이고, 측정풍량은 65,069 CMH이며, 승강장 하부배기는 하행선과 마찬가지로 설계풍량 자료를 확보할 수 없었으며, 측정풍량은 61,236 CMH

로 측정됐다.

디퓨저와 레지스터 개수는 Table 2에 나타낸바와 같이 C역 승강장의 디퓨저는 상행선 38개, 하행선 40개, 레지스터는 상행선과 하행선 모두 40개가 있으며, 디퓨저의 면적은 상·하행선 모두 0.09 m²이고 레지스터의 면적은 상·하행선 모두 1.2 m²이다. B역 승강장의 디퓨저는 상행선 43개 하행선 50개, 레지스터는 상행선과 34개 하행선 33개가 있으며, 디퓨저의 면적은 상·하행선 모두 0.09 m²이고 레지스터의 면적은 상·하행선 모두 0.18 m²이다.

화원의 위치는 2개 역사 모두 열차 첫 번째 칸에서 발생하는 것으로 설정하였다. 화원의 체적은 274.95 m³ (3 m×3.9 m×23.5 m)이고 로 하였다. 해석모델의 격자는 정렬격자를 사용하였고, 지하철 역사 및 구조물의 경계부에 보다 세밀하게 Mesh를 생성하여 C역 약 103만개, B역 218만개의 육면체격자(Hexahedral)를 사용하였다.

해석종류는 Table 3에 나타낸 바와 같이 각각의 역사에

Table 4. Boundary Conditions & Calculation Method

Items	Input / Apply
Method	3D Finite Volume Method
State	Unsteady State
Air Condition	Incompressible Ideal Gas
Turbulent Model	Standard k-ε
Fire Model	Volume Metric Heat Source
Wall and Floor	No-Slip Condition
Air Temperature	25°C
Fire Source Terms	Energy : 20 MW CO : 0.1025 kg/s

대해서 기존에 설계된 제연모드인 ‘승강장상부(배기) + 승강장하부(배기)’에 실험을 통해 측정된 풍량을 적용시킨 기존 안(Case 1-1, Case 2-1)과 마찬가지로 실험을 통해 측정된 풍량을 적용시킨 상태에서 제연모드를 ‘승강장상부(급기)+승강장하부(배기)’로 적용한 개선안 1(Case 1-2, Case 2-2) 그리고 개선안1에 풍량 108,000 CMH의 대배기구(24 m²)를 승강장 선로부 입·출구에 각각 추가하는 개선안2(Case 1-3, Case 2-3)로 총 2개 역사에 대해 6가지의 해석을 수행하였다.

2.2 수치해석 방법 및 경계조건

본 연구에 사용된 지배방정식은 연속 방정식, 운동량 방정식, 성분 방정식, 에너지 방정식, 난류운동에너지 방정식, 난류운동에너지소산율 방정식으로써 이러한 지배방정식의 수학적 표현은 식 (1)~식 (6)과 같다.

연속 방정식(Continuity Equation)

$$: \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i) = 0 \tag{1}$$

운동량 방정식(Momentum Equation)

$$: \frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho u_i u_j \right] + g_i \rho \tag{2}$$

성분 방정식(Species Equation)

$$: \frac{\partial(\rho c_s)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho c_s U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial c_s}{\partial x_j} \right\} + S_{sm} \tag{3}$$

에너지 방정식(Energy Equation)

$$: \frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho T U_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} + \frac{\mu}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right] + S_{source} - S_{loss} \tag{4}$$

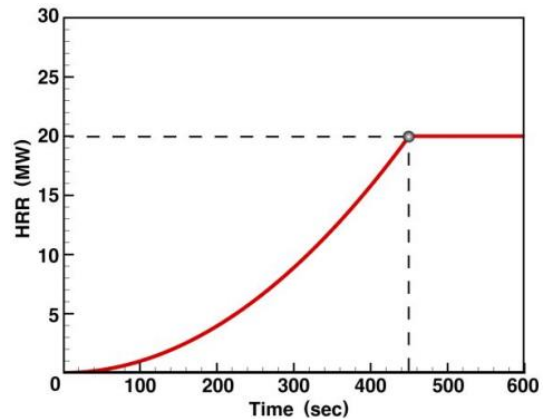


Figure 4. Fire growth (HRR) curve.

난류운동에너지 방정식(Turbulent Kinetic Energy Equation)

$$: \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + G - \rho \epsilon \tag{5}$$

난류운동에너지소산율 방정식(Dissipation Rate Equation of Turbulent Kinetic Energy)

$$: \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + G) - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \tag{6}$$

여기서, $\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon}$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$, $\sigma_t=1.0$,

$C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $G = \frac{\mu_t}{\sigma_t} g_i \beta \frac{\partial T}{\partial x_i}$ 이다.

초기조건은 공기온도 25 °C, CO의 농도를 0으로 하였으며, 경계조건으로는 Table 6에 나타난 바와 같이 승강장 계단, 환기구, 선로 입·출구부에는 압력조건을 적용하였다. 그리고 디퓨저는 C역 승강장의 경우 상행선 4.12 m/s, 하행선 3.84 m/s의 속도조건을 적용하였으며, B역 승강장은 상행선 4.67 m/s, 하행선 1.70 m/s의 속도조건을 적용하였고, 레지스터는 C역 승강장 상행선 2.57 m/s, 하행선 1.49 m/s B역 승강장 상행선 2.78 m/s, 하행선 0.73 m/s로 속도조건을 적용하였다. 대배기구는 압력조건을 적용하였다. 화재 입력조건은 철도시설연구원의 철도시설 화재안전성 평가 매뉴얼⁽⁶⁾에 따라 Figure 4과 같이 신형 전동차의 표준화원인 화재장도 20 MW를 적용시켰으며, CO 발생량은 0.1025 kg/s를 적용하였다. 이때 화재성장률(α)은 0.001 W/s²로 적용하였고, 화재성장이 정점에 도달하는 시간은 450초, 이후 최대 화재 강도 유지시간은 600초까지만 적용하였다.

수치해석방법으로는 역사내 유동은 3차원 비압축성 이상기체(Incompressible Ideal Gas), 비정상상태(Unsteady-State Condition)로 수행하였고, 난류모델은 격자의 수와 계산시

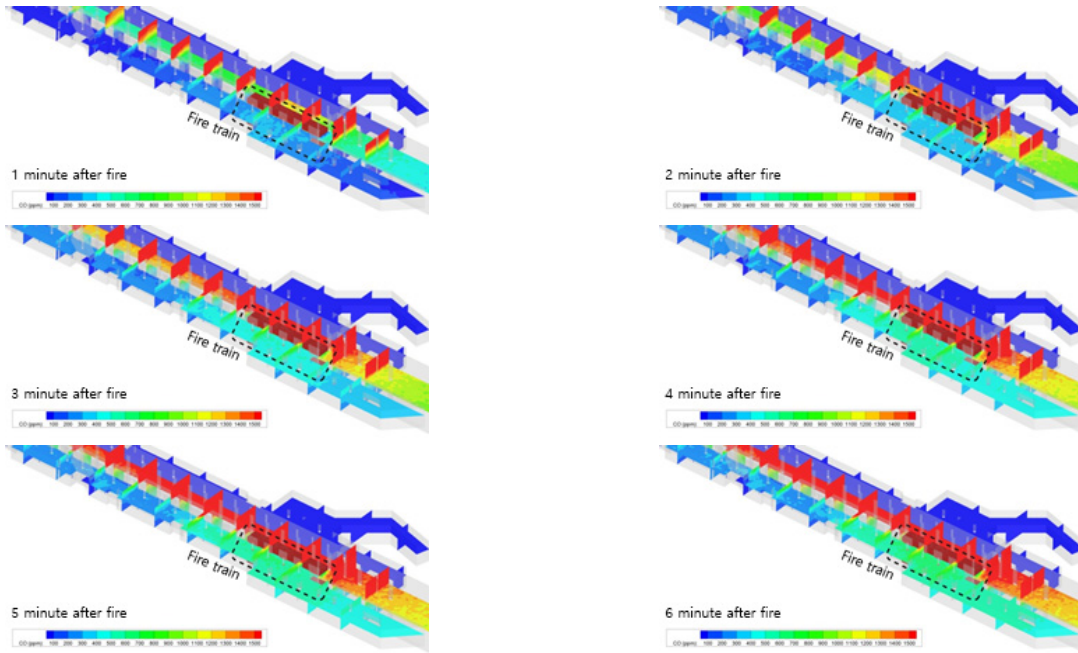


Figure 5. CO distribution ($y=1.8$ m) of Case 1-1.

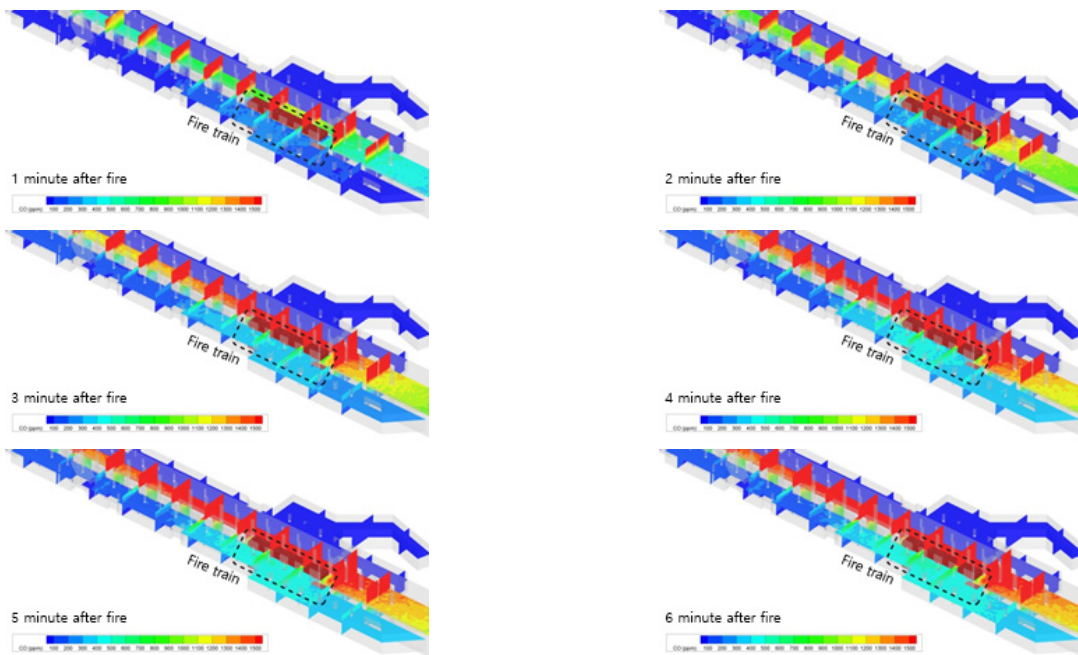


Figure 6. CO distribution ($y=1.8$ m) of Case 1-2.

간을 고려하여 공학적으로 응용범위가 넓고 수렴성이 좋은 Standard $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.⁽⁷⁾

화재모델은 별도의 화학반응을 고려하지 않고 화염을 가상의 체적으로 Heat Release Rate를 Source Term 처리하여 화염을 모사하는 Volumetric Heat Source(VHS) 모델을 적용했다. 상용 CFD 코드인 ANSYS Fluent를 이용하여 수치해석을 수행하였다.⁽⁸⁾ 기타 경계조건 및 수치해석에 대한 정보는 Table 4에 정리하여 나타내었다.

2.3 수치해석 결과

C역의 Case 1-1부터 Case 1-3까지의 시간에 따른 CO농도 분포를 Figure 4에서 6가지 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 경우에서 화재가 진행됨에 따라 화재열차로부터 확산되는 CO가 선로부 및 승강장으로 점차 확산되는 것을 볼 수 있다.

시간에 따른 호흡선 높이($y=1.8$ m)에서의 CO농도를 확인해본 결과 Case 1-1은 화재발생 1분후 267 ppm, 2분후

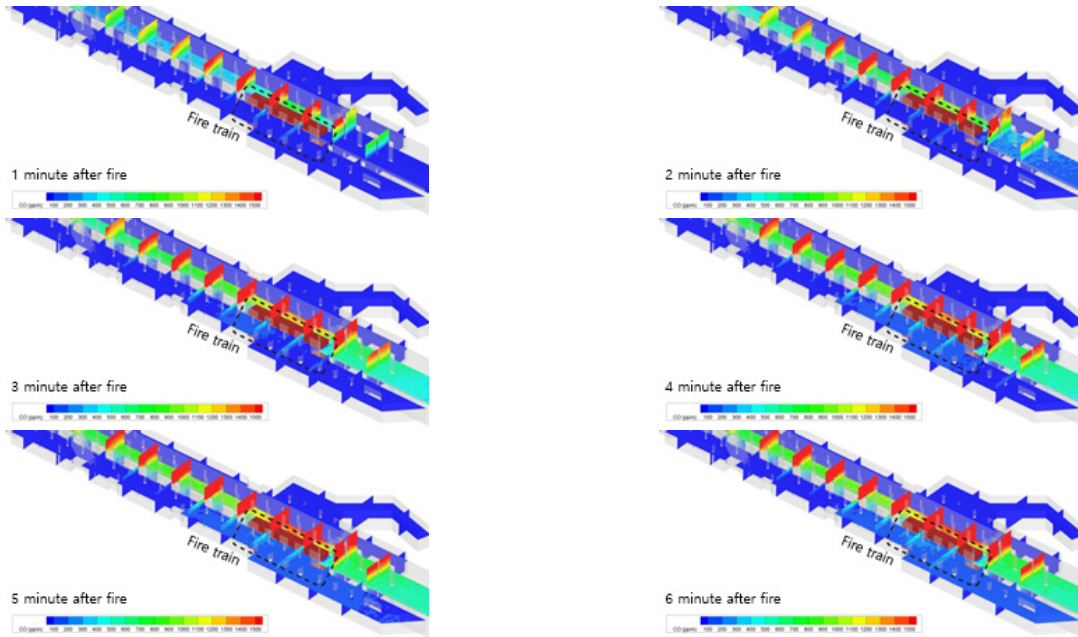


Figure 7. CO distribution (y=1.8 m) of Case 1-3.

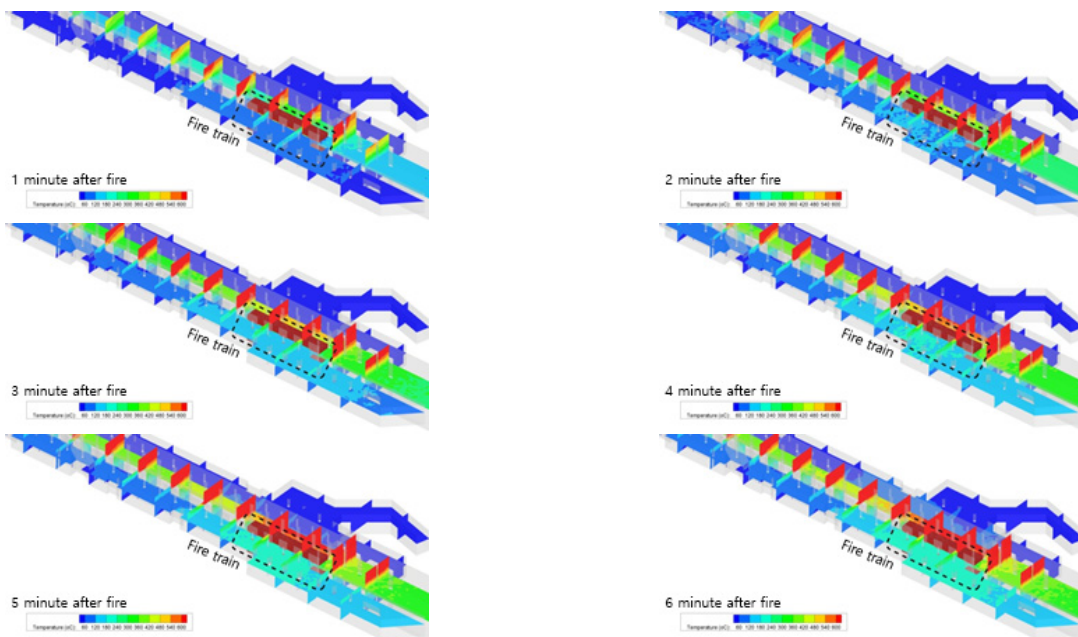


Figure 8. Temperature distribution (y=1.8 m) of Case 1-1.

343 ppm, 3분 후 439 ppm, 4분 후 494 ppm, 5분 후 545 ppm, 6분 후 579 ppm으로 나타났고, Case 1-2는 화재발생 1분 후 190 ppm, 2분 후 262 ppm, 3분 후 343 ppm, 4분 후 388 ppm, 5분 후 427 ppm, 6분 후 453 ppm으로 나타났으며, Case 1-3은 화재발생 1분 후 8ppm, 2분 후 25 ppm, 3분 후 85 ppm, 4분 후 125 ppm, 5분 후 149 ppm, 6분 후 167 ppm으로 나타났다.

소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 고시 개정안에 따르면 호흡선 높이에서의 CO의 최대 허용농도는 1400 ppm으로 규정하고 있다.⁽⁹⁾ Case 1-1과 Case 1-2는 1400 ppm

을 초과하지는 않지만 제연구역과 관계없이 CO의 유입이 계속되는 것으로 나타난다. 이러한 이유는 Case 1-1의 경우 승강장 상부에 설치된 디퓨저가 배기가 됨에 따라 화재열차에서 발생한 CO가 승강장으로의 유입이 가속화 되어 세 가지 해석 케이스 중 가장 높은 CO 농도를 나타낸 것으로 판단된다. Case 1-2의 경우 승강장 상부에 설치된 디퓨저에서 급기가압이 되지만 실측 실험결과 설계안 대비 80%의 급기량으로 인하여 급기 가압이 충분히 이루어지지 않았고 따라서 원안에 비해 CO농도의 감소효과가 크지 않은 것으

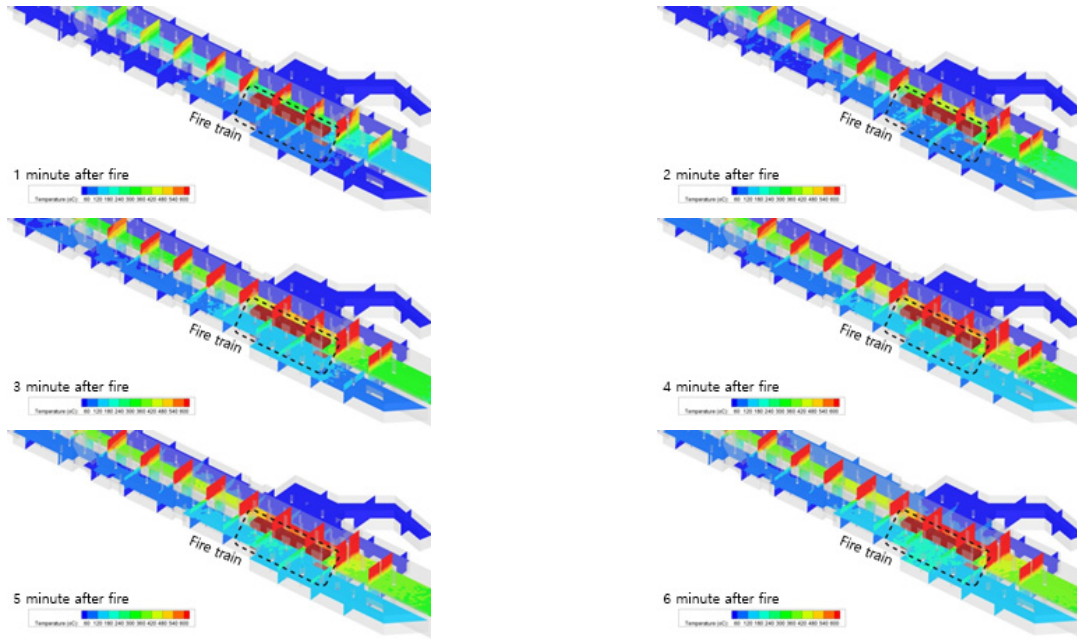


Figure 9. Temperature distribution (y=1.8 m) of Case 1-2.

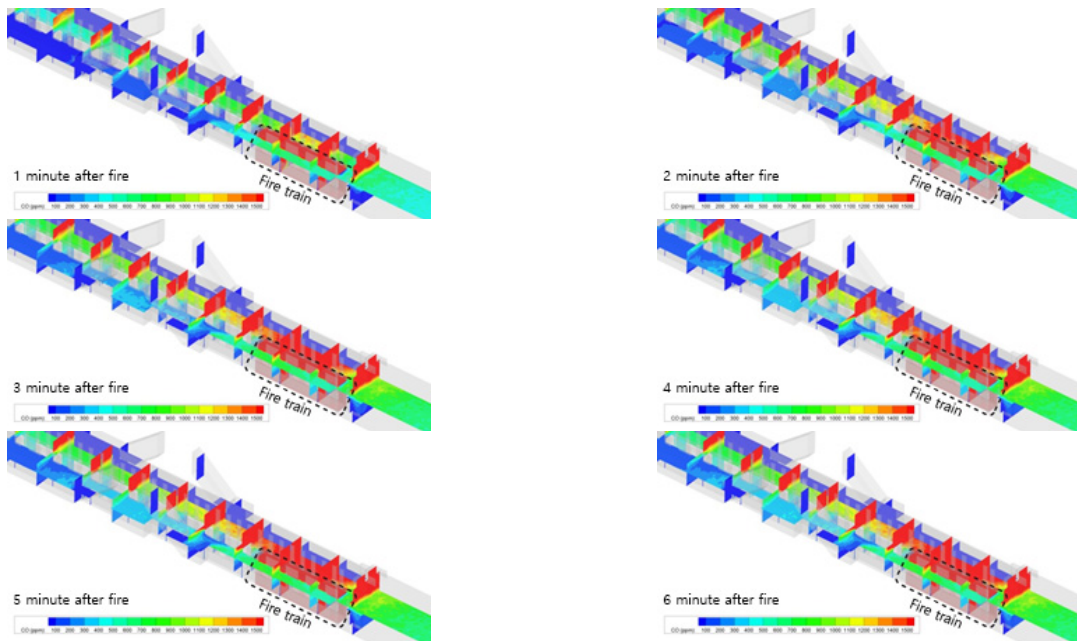


Figure 10. Temperature distribution (y=1.8 m) of Case 1-3.

로 판단된다. Case 1-3의 경우 선로부에 대배기구를 설치하여 화재열차에서 발생하는 CO를 직접적으로 우선 배기하기 때문에 Case 1-1 및 Case 1-2에 비해 승강장에서의 CO 농도가 크게 감소하는 것으로 판단된다.

Case 1-1부터 Case 1-3까지의 시간에 따른 온도 분포를 Figure 7에서 9가지 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 경우에서 화재가 진행됨에 따라 고온의 열기류가 선로부 및 승강장으로 점차 확산되는 것을 볼 수 있다.

시간에 따른 호흡선 높이(y=1.8 m)에서의 온도를 확인해

본 결과 Case 1-1은 화재발생 1분후 83 °C, 2분후 111 °C, 3분후 146 °C, 4분후 166 °C, 5분후 183 °C, 6분후 194 °C로 나타났고, Case 1-2는 화재발생 1분후 78 °C, 2분후 107 °C, 3분후 136 °C, 4분후 151 °C, 5분후 164 °C, 6분후 172 °C으로 나타났으며, Case 1-3은 화재발생 1분후 16 °C, 2분후 20 °C, 3분후 31 °C, 4분후 46 °C, 5분후 55 °C, 6분후 61 °C로 나타났다.

CO와 마찬가지로 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 고시 개정안⁹⁾에 따르면 호흡선 높이에서의 온도는 60 °C 이하가 되도록 하고 있다. Case 1-1과 Case1-2는 열차

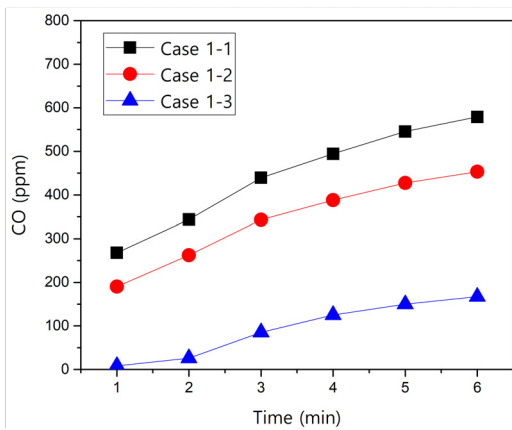


Figure 11. CO concentration over time in C subway platform.

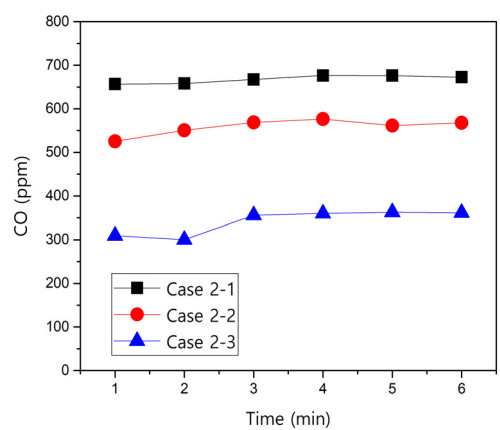


Figure 13. CO concentration over time in B subway platform.

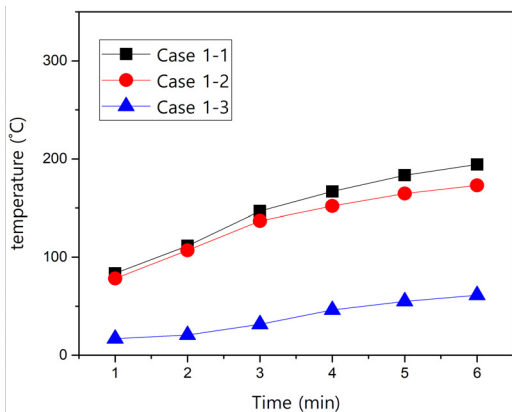


Figure 12. Temperature over time in C Subway platform.

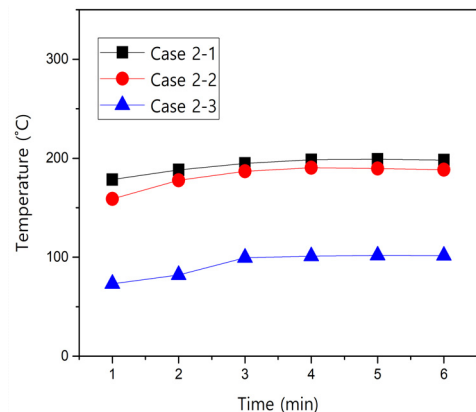


Figure 14. Temperature over time in B Subway platform.

화재 시 승강장층 피난 허용시간인 4분 이전에 이미 기준치인 60 °C를 초과하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 CO의 경우와 같다고 판단된다.

B역의 Case 2-1부터 Case 2-3 또한 C역과 마찬가지로 모든 경우에서 화재가 진행됨에 따라 화재열차로부터 확산되는 CO가 선로부 및 승강장으로 점차 확산되었다.

시간에 따른 호흡선 높이(y=1.8 m)에서의 CO농도를 확인해본 결과 Case 2-1은 화재발생 1분후 656 ppm, 2분후 658 ppm, 3분후 667 ppm, 4분후 676 ppm, 5분후 676 ppm, 6분후 672 ppm으로 나타났고, Case 2-2는 화재발생 1분후 525 ppm, 2분후 550 ppm, 3분후 568 ppm, 4분후 576 ppm, 5분후 471 ppm, 6분후 568 ppm으로 나타났으며, Case 2-3은 화재발생 1분후 309 ppm, 2분후 300 ppm, 3분후 355 ppm, 4분후 360 ppm, 5분후 362 ppm, 6분후 361 ppm으로 나타났다.

소방방재청 성능위주설계 방법 및 기준 고시 개정안⁹⁾에 따르면 호흡선 높이에서의 CO의 최대 허용농도는 1400 ppm으로 규정하고 있다. Case 2-1과 Case 2-2는 1400 ppm을 초과하지는 않는 것으로 나타났다. 하지만 CO가 다른 제연구역 쪽으로 유입이 되는 것으로 나타났다. 이러한 이

유는 B역 또한 C역처럼 노후화된 시설로 인하여 설계풍량보다 실제 풍량이 적게나와 제연이 제대로 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

온도 또한 C역과 마찬가지로 모든 경우에서 화재가 진행됨에 따라 고온의 열기류가 선로부 및 승강장으로 점차 확산되는 것을 볼 수 있었다.

시간에 따른 호흡선 높이(y=1.8 m)에서의 온도를 확인해본 결과 Case 2-1은 화재발생 1분후 159 °C, 2분후 177 °C, 3분후 186 °C, 4분후 190 °C, 5분후 190 °C, 6분후 188 °C로 나타났고, Case 2-2는 화재발생 1분후 78 °C, 2분후 107 °C, 3분후 136 °C, 4분후 151 °C, 5분후 164 °C, 6분후 172 °C으로 나타났으며, Case 2-3은 화재발생 1분후 73 °C, 2분후 82 °C, 3분후 99 °C, 4분후 100 °C, 5분후 101 °C, 6분후 102 °C로 나타났다.

소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 고시 개정안⁹⁾에 따르면 호흡선 높이에서의 온도는 60 °C 이하가 되도록 하고 있다. B역의 모든 Case서 열차화재 시 승강장층 피난 허용시간인 4분 이전에 이미 기준치인 60 °C를 초과하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 CO의 경우와 같다고 판단된다.

Figure 11과 12에 C역사 승강장에서 각각의 제연모드를

적용시켰을 때 호흡선 높이에서의 시간에 따른 CO농도와 공기 온도를 나타냈었다. 그림에서 볼 수 있듯이 노후화된 제연설비로 인하여 설계풍량 보다 미달되기 때문에 원안과 개선안 1로는 화재발생 후 4분 동안 열기류를 허용온도 이하로 낮출 수 없었다. 개선안 2의 경우에는 대배기구를 추가하여 배연성능을 강화시켜 화재발생 4분 동안 승강장에서 기준치 이상의 열기류가 확산되는 것을 억제 할 수 있었다.

B역사 또한 C역사와 마찬가지로 Figure 13과 14에 나타낸 바와 같이 제연시설의 노후화로 인하여 급기 및 배기 풍량이 설계풍량 보다 미달되기 때문에 원안과 기존안으로는 화재발생 후 4분 동안 열기류의 온도를 기준치 이하로 유지시킬 수 없었으며, 대배기구를 추가하여 배연성능을 추가한 개선안2의 경우에만 기준치 이하로 유지시킬 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 실험을 통해 제연성능을 측정된 지하철 C역과 B역을 대상으로 3차원 수치해석을 하여 승강장 열차 화재가 발생했을 때 승강장 내부에서의 시간에 따른 온도와 CO의 분포를 확인하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 현재 계획된 제연모드에 따르면 승강장 상부에 설치된 디퓨저가 배기됨에 따라 화재열차에서 발생한 CO가 승강장으로의 유입이 가속화 되는 것으로 판단된다.
- (2) 개선안 1을 통해 상부에 설치된 디퓨저에서 급기가 압을 하더라도 노후화된 제연설비로 인하여 실험을통해 실측한 풍량이 설계풍량보다 80% 작게 급기 되기 때문에 승강장 피난 기준시간인 4분 동안 피난안전기준 이하의 공기 온도를 유지할 수 없는 것으로 나타났다.
- (3) 선로부에 대배기구를 설치하여 노후화된 제연설비를 보강한 개선안 2의 경우 화재열차에서 확산되는 CO 및 열기류를 직접적으로 우선 배기하기 때문에 승강장으로 확산되는 CO농도 및 열기류의 온도가 원안 및 개선안 1보다 낮아 4분 동안 기준치 이내로 유지할 수 있는 것으로 나타났다.
- (4) 노후 역사에 설치된 제연시스템의 정확한 Test Adjust Balance(T.A.B) 측정이 필요한 것으로 판단되며, 설계풍량과 실제로 측정되는 풍량의 차이가 많은 경우 대배기구 등을 추가하는 제배연시스템 보강이 필요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국민안전처 소방안전 및 119구조·구급기술 연구개발사업(“NEMA-차세대-2014-47”)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. D. H. Rie and J. O. Lie, “A Study of heat & Smoke Evacuation Characteristics By the Changing of Operational Method of Tunnel Fan Shaft Ventilation System for Fire on Subway Train Vehicle”, Fire Science and Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 62-69 (2003).
2. J. R. Choi and N. G. Hur, “A Numerical Analysis of the effect of ventilation on the Behaviors of Heat and Smoke in the case of 2003 Daegu Subway Station Fire”, Proceedings of the SAREK 2013 Summer Annual Conference, Vol. 6 pp. 309-312 (2013).
3. H. B. Kim, Y. J. Jang, D. H. Lee, Y. S. Son and W. S. Jung, “The Fire Simulation for the News-stand in the Platform of Subway”, 2010 Spring Conference of the Korean society for Railway, pp. 2008-2018 (2010).
4. S. K. Roh and J. H. Hur, “A Study on the Risk Assessment of the Underground Space The Estimation of Smoke Reservoir Screen for Smoke Control in Subway Station Platform” Fire Science and Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 103-109 (2004).
5. B. J. Park, Y. H. Yoo, J. O. Park and H. S. Kim, “Experimental Study for the Performance Evaluation of the Subway Station Ventilation System in Fires”, J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng. Vol. 53, No. 3, pp. 280-286 (2016).
6. Korea Railroad Research Institute, “Manual on evaluation of fire safety in railway facilities”, pp. 902 (2011).
7. B. E. Launder and D. B. Spalding, “The Numerical Computation of Turbulent Flows”, Comput, Methods Appl, Mech. Eng., Vol.6, pp. 269-289 (1974).
8. ANSYS Co., “ANSYS Ver.15 FLUENT GUIDE” (2014).
9. Ministry of Public Safety and Security, “Standard and Method of Performance Based Design” (2016).