

FDS를 이용한 지하철 객실 화재 시 승강장 제연조건의 적정성 평가

김기성 · 송동우 · 이수경[†]

서울과학기술대학교 에너지안전공학과

Evaluation of the Appropriateness of Smoke Control Conditions of Platform at the Subway Fire by using FDS

Ki-Sung Kim · Dong-Woo Song · Su-Kyung Lee[†]

Dept. of Energy Safety Engineering, Seoul National Univ. of Science & Technology

(Received July 9, 2013; Revised October 11, 2013; Accepted October 11, 2013)

요 약

지하철에서는 전 세계적으로 크고 작은 화재가 지속적으로 발생되고 있다. 대구지하철 화재에서 볼 수 있듯이 독성가스 및 연기에 의한 가시거리 감소로 많은 인명피해가 발생하였다. 본 논문에서는 부산 지하철 만덕역에서 열차 화재가 발생할 경우 승강장에서의 제연상황(열차문의 개방, 터널의 제연설비의 가동, 방화문의 작동)에 따라 연기의 전파거동을 FDS를 사용하여 분석하였다. 계산 결과 터널부의 제연설비를 가동하였을 경우보다는 가동하지 않았을 경우가 피난로 확보에 효과가 있었다. 또한, 열차문의 개방 형태는 승강장의 대피로 측의 문은 모두 개방하고 화재객차의 선로측 문만을 개방하였을 경우가 모두 개방한 경우보다 제연 효율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 승강장의 방화문이 정상적으로 가동하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In the subway, various fires continue to take place across the world. In the Daegu subway accident in 2003, many people were damaged by shortened visibility range caused by toxic gas and smoke. This paper, assuming that a subway fire happens in the Mandeok Station of the subway system in Busan, analyzed different smoke-spreading situations depending on the ventilation situation at its platform (opening of the train doors, operation of ventilation facilities in the tunnel, and working of fire door), using FDS. The calculation proved that it would be more effective to secure evacuation route when the ventilation facilities of the tunnel are not operated, than when they are on. And, it was also found that the case where the doors of the platform to the escape route and only the platform-facing doors of the subway car on fire office are open would be more effective to ventilation than the case where all the doors are open. And, it was found to be important that the fire doors of the platform are working properly.

Keywords : Subway fire, FDS(Fire Dynamic Simulator), Ventilation

1. 서 론

도시기반시설의 확충으로 지하철의 증설이 가속화되고 있다. 그와 더불어, 국내외 지하철의 화재사고 또한 지속적으로 증가하고 있다. 지하철 화재가 발생하였을 때 적절한 대비를 하지 못하면 많은 인명피해가 발생하는 등 피해가 매우 커진다. 우리나라의 2003년 대구지하철 사고뿐만 아니라, 해외에서도 독일 Deutsche Opera역 화재사고 및 2010년 미국 Chicago역 화재사고 등으로 인해 지속적으로 피해가 발생하고 있다. 화재가 발생하게 되면 화재에 의해 발생하는 연소 생성물에 의해 가시거리가 감소되어, 위치

와 방향 감각 상실, 자제력 상실 등의 패닉으로 인해 인명피해를 유발시킬 수 있다.

국내 논문을 살펴보면 이동호⁽¹⁾ 등은 승강장의 스크린도어의 설치 유무에 따라 지하철 승강장에서 화재가 발생하였을 경우를 가정하여 안전성 평가를 실시하여 스크린도어가 설치되는 승강장과 설치되지 않는 승강장의 제연효율을 비교하여 스크린도어의 설치 시 제연 특성에 대하여 제시하였다. 김하영⁽²⁾ 등은 FDS를 활용하여 지하철 승강장의 배연용량 및 스크린도어의 설치유무에 따라 화재의 위험도를 평가하여 지하철의 환기설비의 작동 유무에 따라 화재특성을 고려하여 가장 효율성 있는 급배기 조건을

[†]Corresponding Author, E-Mail: Isk@seoultech.ac.kr
TEL: +82-2-970-6374, FAX: +82-2-977-9303

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.5.8>

제시하였다. 국외 사례의 경우 PAN Li-wei⁽³⁾ 등은 워터미스트를 활용하여 연소 가스를 제어하는 방법에 대해 연구가 수행되었다. 워터미스트 설비를 통하여 연기의 흐름의 역제를 평가하고 이에 따른 안전을 강화할 수 있는 방안을 제시하였다. Ran Gao⁽⁴⁾ 등은 지하철 역사에서 FDS 시뮬레이션을 통하여 환기구의 위치와 환기구의 크기를 변경하여 그 효율을 확인하여 가장 효과적인 환기구의 위치 및 크기를 제안하였다.

본 연구는 지하철 승강장의 제연설비의 적정성을 파악하기 위해 우리나라에서 가장 깊은 지하철역인 부산 지하철 3호선 만덕역을 대상으로 지하철 승강장의 제연환경에 변화 즉, 방화벽의 작동, 지하철 문의 개방형태, 터널부의 제연설비의 작동에 따라 피난로에서의 제연효율이 어떠한 변화를 보이는지에 대해 조사하였다.

2. 연구 방법

지하철 승강장에서 화재 발생을 해석한 시뮬레이션 프로그램은 NIST에서 개발한 FDS Ver. 5.5.3a를 활용하였다. FDS코드의 경우 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 종의 방정식, 상태 방정식 등이 사용 된다. Navier-Stokes 방정식은 다음과 같은 LES 방정식으로 표현된다.

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \bar{\mathbf{u}}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{u}}) = -\nabla \bar{p} - \nabla \cdot (\bar{\boldsymbol{\tau}} + \boldsymbol{\tau}^{sgs}) + \bar{\rho} \mathbf{g} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{Y}_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \bar{Y}_i \bar{\mathbf{u}}) = -\nabla \cdot (\bar{\rho} \bar{D}_i \nabla \bar{Y}_i + \mathbf{J}^{sgs}) + \bar{m}_i^m \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{h}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \bar{h} \bar{\mathbf{u}}) = \frac{\bar{D} p_0}{\bar{D} t} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{k}} \nabla \bar{t} + \sum_i \bar{\rho} \bar{D}_i \bar{h}_i \nabla \bar{Y}_i + \rho^{sgs}) - \nabla \cdot \bar{\mathbf{q}}_r \quad (4)$$

$$\bar{\rho} = \rho_0 \bar{W} / R \bar{T} \quad (5)$$

2.1 해석 영역

부산 지하철 3호선 만덕역은 지하 73 m의 깊이로 지하 1~9층까지 있는 전국에서 가장 깊은 승강장이다. 승강장의 위치는 지하 9층이고 면적은 40 m×149 m이다. 전면형 스크린 도어가 설치되어 있고 승강장은 섬식 승강장으로 승강장의 양쪽 끝으로 열차가 다니는 방식이고 운행차량은 4량이다. Figure 1에서 볼 수 있듯이 화재가 발생할 경우 승강장에서 급기를 하고 터널의 하단에서 배기를 하여 연기가 터널부로 빠져나가도록 유도하고 있다.

Figure 2는 지하철 승강장의 단면도이다. 승강장은 X축으로 150 m, Y축으로 34 m, Z축으로 터널구간의 경우

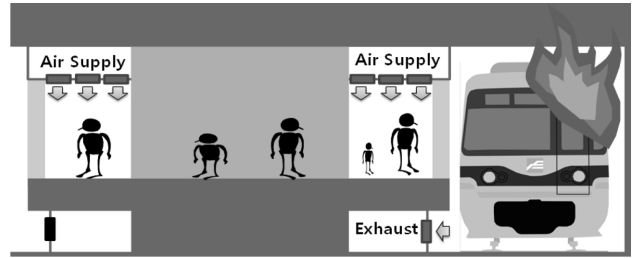


Figure 1. Ventilation system of the Mandeok station platform.

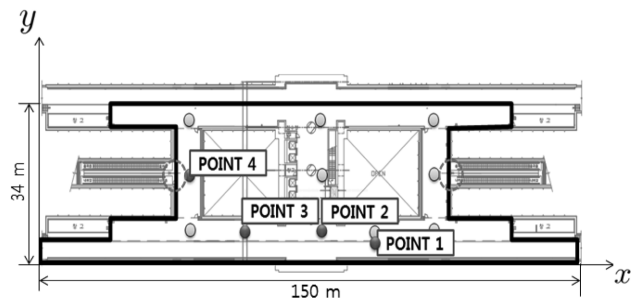


Figure 2. Setting the measurement location.

7.2 m, 승강장에서는 높이 3 m로 구성되어 있다. 해석영역은 전면형 스크린도어가 설치되어 있기 때문에 화재가 발생한 반대편의 터널부는 제외하고 굵은 선으로 표시한 영역을 대상으로 계산을 수행하였다.

2.2 화원의 산정

화원의 크기는 화재위험을 나타내는데 단일 변수로서는 열방출율이 가장 중요하다. 열방출율이란 연소반응이 일어날 때 열을 발생시키는 속도를 의미한다. 열차의 열방출율은 Table 1에서 보는 것과 같이 각국에서 다르게 적용하고 있다⁽⁵⁾.

화원의 규모는 철도시설 안전 세부기준 제 5조 2항 “철도터널 안전대책 수립을 하는 경우에는 승객 또는 승무원이 터널 외부로 안전하게 탈출할 수 있는지 화재 및 승객

Table 1. Heat Release Rate of Subway Car by Country

Nation	Railway Line	Heat Releases Rate (MW)
Singapore	Circle line (CCL)	10
Australia	New South Link	10
Hong Kong	Lantau Air Line (LAL)	5
Thailand	Chaloem Ratchamongkhon MRT Line, Bangkok	7
Greece	Athenes metro	10
United Kingdom	St Paul's City Thameslink, London	16
America	Mount Lebanon Tunnel Light Rail Transit, Pittsburgh, Pa	13.2

피난 시뮬레이션을 수행하여 분석할 것.”에 따라 화재 규모는 10 MW급의 화재로 설정하였다⁽⁵⁾. 또한, 화재성장속도는 최악의 상황을 고려하여 Ultra fast급의 화재로 설정하였다.

$$Q=at^2 \tag{6}$$

Q=열방출율(kW)

α =화재성장속도계수(kW/sec²)

FDS를 활용하여 화재를 해석할 경우 CO 및 Soot Yield의 값은 중요한 연소특성중의 하나이다. Yield 값은 시뮬레이션의 신뢰성을 말해주는 값 중에 하나로서 “SFPE Handbook of Fire Protection engineering Sec.3 Hazard Calculations”에서 제공하고 있는 Polyurethane foams GM23의 Yield 값을 사용하여 적용하였다. CO Yield 값은 0.0317 g/g을 적용하였고 Soot yield 값은 0.227 g/g을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다⁽⁶⁾.

2.3 제연설비 설치현황

부산 지하철 3호선 만덕역의 경우 Table 2과 같이 제연설비가 설치되어 있다. 열차에 화재가 발생하였을 경우 사람의 피난 방향과 반대 방향인 승강장에서 터널부로 연기가 배출될 수 있도록 제연설비를 가동하게 되어있다. 즉, 승강장에서는 급기를, 터널부에서는 배기를 하도록 설정하였다.

만덕역 승강장에는 520 m³/h의 풍량 및 넓이 0.33 m²을 가진 154개의 급기설비 및 1800 m³/h의 풍량 및 넓이

0.49 m²을 가진 급기설비 36개가 설치되어 있다. 또한 열차선로의 측면에는 625 m³/h의 풍량 및 넓이 0.32 m²을 가진 배기설비가 29개소 설치되어 있다. Figure 3은 승강장의 모습을 나타내고 있다. 천장부분에 설치된 급기설비를 확인할 수 있다.

2.4 시뮬레이션 방법

Table 3은 시뮬레이션의 기본 입력사항을 나타내었다. 초기온도는 20 로 설정하였으며, 초기압력은 대기압인 1 atm으로 설정하였다. Figure 2에 Device의 측정위치 Point 1~4로 나타냈다. 각 Point는 지하철에서 하차한 승객의 예상 피난 경로를 따라 설정하였으며, 높이는 호흡선 높이인 1.8 m의 위치로 설정하였다. Point 1은 화재실 바로 옆 열차의 출입구로 설정하였고 Point 2와 3은 피난 경로를 따라 설정하였다. Point 4의 경우 최종피난 출구로 설정한 방화문에 설치하였다. 결과값의 측정을 위하여 가시도, CO의 체적분율, CO₂의 체적분율, 압력 선택하였다.

시뮬레이션 모델의 결과는 Mesh의 격자 크기에 따라 결과값은 격자의 영향을 받을 수 있기 때문에 격자에 대한 독립성 평가가 이루어져야 한다. 격자 신뢰도 평가시 무차원특성길이(D*)를 기준으로 설정하는 방식이 널리 사용된다⁽⁷⁾.

무차원특성길이와 격자크기의 비를 기준으로 그 값이

Table 2. Ventilation System Status

Equipment	Condition	Ventilation Capacity (m ³ /h)	Setting Quantity
Ventilation equipment on platform	Supply	1,800	36
		520	154
Ventilation Equipment on Subway line	Exhaust	625	29

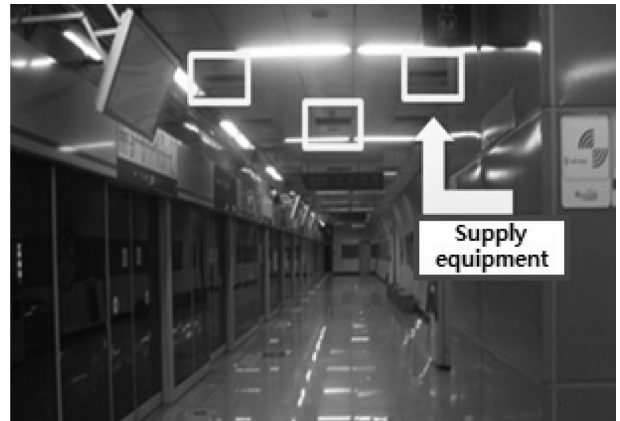


Figure 3. Ventilation equipment on platform.

Table 3. Basic Input Parameters for Computational Domain

Input Parameter	Value			
	Mesh 1 (Fire Room)	Mesh 2 (Platform)	Mesh 3 (Tunnel)	Mesh 4 (Tunnel)
Domain size (m)	150×6×7.2	150×30×3.2	100×6×7.2	100×6×7.2
Cell size (m)	0.2×0.2×0.2	0.4×0.4×0.4	0.4×0.4×0.4	0.4×0.4×0.4
Initial Temperature	20 °C			
Initial Pressure	1 atm			
Device quantity	Visibility, Temperature, CO Volume Fraction, CO ₂ Volume Fraction, Pressure			
Simulation time (s)	330 s			

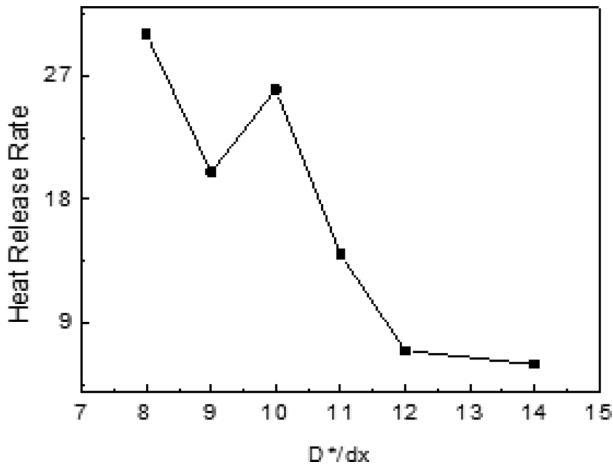


Figure 4. Comparison of heat release rate according to the grid resolution.

Table 4. Time of Evacuation in Subway Platform⁽⁵⁾

	Evacuation Time (min)
NFPA	4
Honkong Metro	4.5
Seoul, Metropolitan Infrastructure Headquarters	4
Korea, Ministry of Land, Infrastructure and Transport	4

증가할 때 CO 농도와 압력이 어떻게 변화하는지 측정하였다. Figure 4에서 볼 수 있듯이 D*/dx의 값이 8~12까지 증가 시 열방출률이 점차 감소하다가 12~14까지 큰 차이를 보이지 않아 12의 D*/dx 격자해상도를 선택하였다. CO 농도와 CO₂ 농도에서도 같은 경향을 볼 수 있었다. 또한, 다중격자를 구성하여 화재실과 비화재실 모두를 0.2×0.2×0.2의 Mesh를 구성한 것과 화재실은 0.2×0.2×0.2, 비화재실은 0.4×0.4×0.4로 한 결과에 큰 차이가 없어 0.2×0.2×0.2와 0.4×0.4×0.4의 2개의 Mesh로 구성하였다.

시뮬레이션의 구동 시간은 화재발생시 승강장에서 대피 완료 시간에 대한 규정에 대해 조사하여 적용하였다. Table 4는 여러 기관에서 규정하고 있는 승강장에서의 피난시간이다. 시뮬레이션의 시간은 열차가 화재발생 후 승강장에 도착했다고 가정한 90초와 국토교통부에서 규정하고 있는 승강장으로부터의 피난시간인 4분을 기준으로 시뮬레이션 시간은 총 330초로 설정하였다.

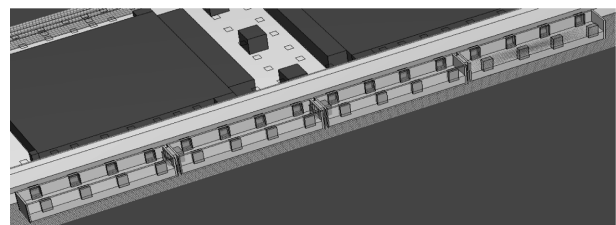
2.5 화재 시나리오

본 논문에서는 열차문의 개방형태, 터널부의 제연설비의 가동, 방화문의 작동여부에 따라 분류하여 6가지 시나리오로 하였다. 각 시나리오는 Table 5와 같다.

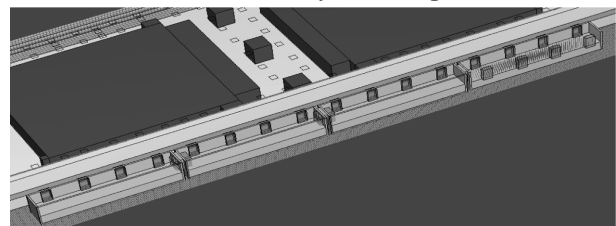
화재의 위치는 Figure 5에서 볼 수 있듯이 가장 오른쪽 열차를 선정하였으며, 제연설비 및 승강장에 설치된 방화

Table 5. Set of Fire Scenarios

Scenario	Subway Train Door	Fire Door	Tunnel Ventilation Equipment
Case 1	All Train Open	Operating	Non-Ventilated
Case 2	Fire Room Open	Operating	Non-Ventilated
Case 3	Fire Room Open	Non-Operating	Non-Ventilated
Case 4	All Train Open	Operating	Ventilation
Case 5	Fire Room Open	Operating	Ventilation
Case 6	Fire Room Open	Non-Operating	Ventilation



Door of all subway cars is opened.



Door of the fire room is opened.

Figure 5. Form of the opening of the subway door.

문의 경우 열차에 화재가 발생하였을 때 바로 작동하는 것으로 설정하였다. 화재시나리오는 3가지 다른 상황을 가정하여 설정하였다.

첫째, 열차문의 개방형태는 Figure 5에서 보는 것과 같이 설정하였다. 대피로 측인 승강장쪽의 열차문은 모두 개방되는 것으로 하였으며, 반대편은 모든 열차문을 개방한 경우(Case 1, 4)와 화재실만 개방한 경우(Case 2, 5)로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 열차의 문과 스크린도어가 열리는 시간은 화재가 발생한 이후 열차가 승강장에 도착 후 열린다고 가정하여 90초로 설정하였다. 둘째, 터널부 재연설비의 가동여부에 따라 터널부의 제연설비를 가동하였을 경우(Case 1, 2, 3)와 사고로 인해 제연설비가 작동하지 않은 경우(Case 4, 5, 6)를 수행하였다. 셋째, 부산 지하철 3호선 만덕역의 경우 승강장 좌측과 우측에 에스컬레이터가 설치되어 있으며, Figure 2에서 볼 수 있듯이 에스컬레이터 앞에 방화문이 설치되어 있다. 본 연구에서

Table 6. Life Safety Criteria

Tenability	Limit
Breathing Line	1.8 m from the floor
Convective heat	Less than 60 °C
Smoke obscuration	Multiplex Available Premises: 10 m
Toxicity	CO: 1,400 ppm
	O ₂ : 15%
	CO ₂ : 5%

는 방화문이 정상적으로 작동하였을 경우(Case 2, 5)와 사고로 인해 방화문이 정상적으로 작동하지 않고 열려있을 경우(Case 3, 6)를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.6 측정 대상

연소생성물은 가연물의 물리 화학적 성질과 연소의 상태 그리고 주변 환경에 따라 다르게 나타난다. 화재가 발생하였을 경우 인체에 치명적인 영향을 미치는 일산화탄소, 이산화탄소, 시안화수소 등 여러 종류의 가스가 복합적으로 생성된다. 또한, 대구 지하철 화재에서 볼 수 있듯이 연소생성물에 의한 가시도의 저하는 방향감각상실 및 심리적 불안을 가져올 수 있으므로 인명안전에 있어 매우 주요한 요소라고 할 수 있다^(8,9).

우리나라는 소방방재청 고시 2011-68호 「소방시설등의 성능위주 설계 방법 및 기준」 별표 1. 화재 및 피난 시뮬레이션의 시나리오 작성기준에 보면 인명안전의 기준의 경우 Table 6과 같이 적용하도록 되어 있다⁽¹⁰⁾.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 연기 확산

지하철 승강장의 제연조건을 변경하여 시뮬레이션하여 연기의 이동 및 독성가스의 농도, 온도, 가시도 등을 측정하였다. Figure 6은 Case 4의 시간대별 가시도가 변화하는 모습이다. 90초에 열차가 개방되고 330초까지 승강장의 넓은 지역으로 연기가 전파되어 가시도가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

Figure 7(A)은 Point 2에서의 시간대별 온도 및 가시도가 변화하는 추이를 나타낸 그래프이다. 시간이 지남에 따라 온도는 점차 높아지는 경향은 있으나, 330초까지 기준 값인 60도를 초과하지는 않았다. 또한, 모든 Point에서 산소의 농도, CO 및 CO₂의 농도 모두 온도와 같이 시간이 지날수록 점차 증가하지만 그 값이 기준치를 초과하지 않음을 확인하였다. Figure 7(B)에 나타나듯이 가시도도 연기의 도달로 인해 가시도가 급격히 짧아지는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 가시도가 10 m 이하로 떨어지는 시간을 화염도달시간(t_a)으로 정하였다.

Table 7에 Case 별 각 point에서의 t_a 를 나타낸다. Case

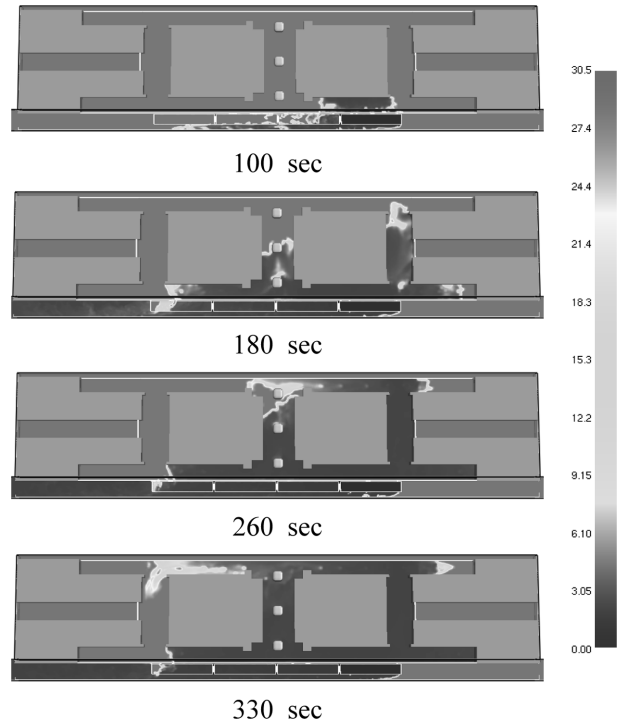


Figure 6. Change of visibility over time.

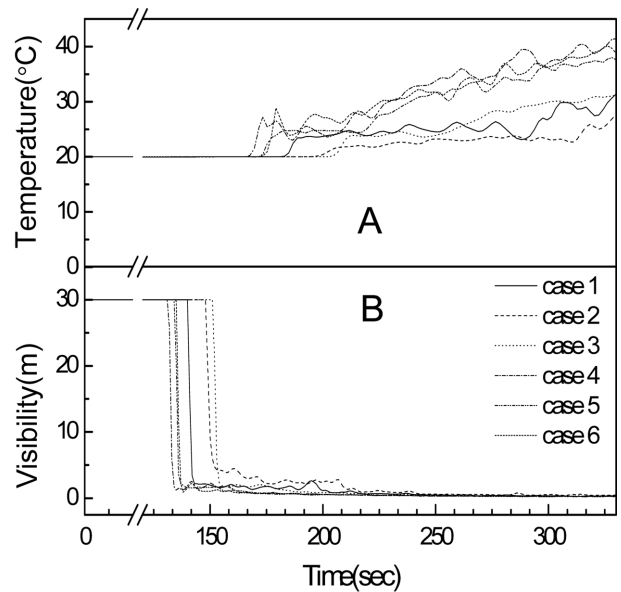


Figure 7. Changes in temperature and visibility over time.

2에서 Point 3과 Point 4에서 가시도가 10 m 이하로 낮아지지 않았고, Point 6는 모든 Point에서 가시도가 10 m 이하로 낮아졌다. 이상과 같이, Case 2의 제연 효율이 가장 좋은 것으로 나타났으며 Case 6의 제연 효율이 가장 좋지 못한 것으로 나타났다.

3.2 열차문의 개방 형태

Table 7에서 볼 수 있듯이 모든 열차문이 열리는 경우인

Table 7. The Arrival Time of Smoke (t_a) (Unit: Sec)

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Point 1	96	96	100	97	96	93
Point 2	125	133	136	116	119	120
Point 3	199	-	241	151	165	150
Point 4	-	-	-	-	-	275

Case 1과 화재실만이 개방된 경우인 Case 2를 비교하면 Point 1에서는 차이가 없었지만 Point 2에서 8초가 차이났고 최종 피난출구인 Point 4까지 화재실에서 멀어질수록 측정시간이 점차 차이를 나타내는 것을 볼 수 있다. 또한, Case 4와 Case 5를 비교하였을 때도 같은 경향이 나타났다. 시간이 지남에 따라 화재실의 양쪽문만 개방되었을 경우 제연 성능이 더 뛰어난 것을 볼 수 있다. 이것은 유체 역학에서의 베르누이의 정리와 같이 넓은 면적에서 좁은 면적으로 이동할 때 좁은 면적을 가지는 곳에서의 내부압력의 감소/공기의 이동 속도의 증가하는 것처럼, 화재실만의 열차문의 개방으로 인해, 승강장에서 화재실로의 공기의 흐름이 빨라졌기 때문이라 생각된다.

3.3 방화문의 작동 여부

본 지하철 승강장의 최종피난 출구인 에스컬레이터 앞에는 방화문이 설치되어 있다. 방화문이 작동한 경우인 Case 2와 작동하지 않은 경우인 Case 3에서 가시도가 10 m 이하로 낮아지는 연기 도달시간(t_a)을 비교하여 보았다. Point 1과 Point 2에서는 Case 3이 더 느린 시간에 측정되었다. 하지만 Point 3과 Point 4에서 Case 2는 가시도가 10 m 이하로 낮아지지 않는 반면에 Case 3의 가시도는 Point 3에서 241초에 10 m 이하로 낮아졌다. 최종피난 출구 쪽으로 갈수록 Case 2의 시간이 점차 느리게 측정되는 것을 볼 수 있다. Case 5와 Case 6에서도 비슷한 결과를 볼 수 있었다.

이는 방화문이 개방되어있을 때 더 넓은 면적으로 연기가 확산되어 상대적으로 연기층의 하강속도가 늦어지게 된다. 하지만, 화재실로부터 Point 4 쪽으로 연기의 이동이 빨라짐에 따라 방화문이 작동한 경우보다 더 많은 연기가 이동함으로써 방화문이 작동하는 경우보다 빠른 시간에 가시도가 떨어진다고 생각되어진다. 이상과 같이, 방화문이 설치되어있을 때가 더 우수한 제연성능을 갖추는 것을 알 수 있다.

3.4 터널부의 제연 여부

도시철도 건설규칙 제67조에 따라 터널에서 화재가 발생했을 경우 피난 경로의 반대방향으로 터널부의 제연을 실시해야한다. 승강장에서 화재가 발생했을 경우를 가정하여 터널부의 제연 유무를 비교하였다. 제연설비가 작동한 Case 2와 작동하지 않은 Case 5를 비교하면 Point 1에서

는 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 Point 2에서는 14초의 차이를 보였고 Point 3의 Case 2의 경우는 측정되지 않은 반면 Case 5에서는 165초에 가시도가 10 m 이하로 낮아지는 것을 볼 수 있었다. Case 1과 4, Case 3과 6을 비교한 결과 또한 터널부의 제연을 실시하지 않았을 경우에 제연 효율이 더욱 좋은 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 제연설비가 작동할 경우에 승강장쪽에서 열차쪽으로 공기가 이동하였기 때문이며, 이는 강제 제연으로 인하여 터널부의 압력이 승강장의 압력에 비해 높게 상승한 결과로 확인되었다.

4. 결 론

지하철 열차에서 화재 발생 후 제연설비가 가동될 경우 열차의 선로측의 모든 문을 개방하는 것보다 화재실의 선로측문만 개방하는 것이 제연성능이 향상되는 것을 볼 수 있었다. 승강장의 방화문이 정상적으로 작동하였을 경우 정상적으로 작동하지 않았을 경우 보다 더 제연의 효율이 좋은 것을 볼 수 있었다. 또한 터널부의 제연설비를 가동하였을 경우 가동하지 않았을 때 보다 제연의 효율이 감소하는 것을 알 수 있었다.

지하철 화재에 대비하여 비상대응 시나리오를 수립할 때 화재시나리오만 가정하는 것이 일반적이다. 하지만 여러 가지 제연상황을 가정하여 가장 적합한 제연환경을 찾고 이에 따른 비상대응 계획을 수립하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 또한 지하철의 인명안전에 대한 평가를 할 경우 제연설비에 대한 최악의 상황도 고려하여 적합한 설비를 할 수 있도록 유도해야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 서울과학기술대학교 교내연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. D. H. Rie, S. J. Kim, J. W. Ko and H. Y. Kim, "Fire Safety Assessment of the Lobby by the Installation of Platform Screen Door", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, Vol. 2005, No. 5, pp. 182-188 (2005).
2. H. Y. Kim, D. H. Rie and J. Y. Kim, "Fire Risk Assessment for Subway Station According to Supply and Exhaust Conditions", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 22, No. 5, pp. 29-34 (2008).
3. L. W. Pan, S. M. Lo, G. X. Liao and B. H. Cong, "Experimental Study of Smoke Control in Subway Station for Tunnel Area Fire by Water Mist System", Proce-

- dia Engineering, Vol. 11, pp. 335-342 (2011).
4. R. Gao, A. G. Li, X. P. Hao, W. J. Lei, Y. J. Zhao and B. S. Deng, "Fire-induced Smoke Control Via Hybrid Ventilation in a Huge Transit Terminal Subway Station", Energy and Buildings, Vol. 45, pp. 280-289 (2012).
 5. K. H. Ko, "A Study on the Evacuation Safety of Underground Tunnel Fire of the Light Rail Transits", Seoul National University of Science & Technology (2011).
 6. SFPE, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3Ed", pp. 3-112 (2002).
 7. S. C. Kim, S. W. Lee and W. J. Park, "A Sensitivity Study of the Number of Parcels to the Numerical Simulation of Sprinkler Sprays", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 23. No. 1, pp. 48-54 (2009).
 8. S. K. Lee, Y. H. Park, D. M. Ha, J. H. Koo and Y. G. Kim, "Fire Protection Fluid Dynamics" Donghwa Publishing (2012).
 9. S. K. Lee, S. C. Kim, C. H. Hwang, J. H. Kim, D. W. Song, W. S. Kim and B. C. Kim, "Case Study for Fire Evacuation", Ajin Publishing (2011).
 10. National Emergency Management Agency, "<http://www.nema.go.kr>".
 11. S. C. Kim, S. W. Lee and W. J. Park, "On the Reliability of the Computational Fire Model Based on the Yield Rate Concept of Combustion Gases", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 130-136 (2009).
 12. Y. J. Jang, H. B. Kim, W. S. Jung and W. H. Park "Effect of Platform Screen Door on Fire in the Subway Station", The Korean Society For Railway, Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1331-1339 (2007).
 13. W. H. Park, D. H. Kim, H. C. Jang and T. K. Kim, "Experimental and Numerical Studies on Heat/Smoke Behavior due to a Fire on Underground Subway Platform (I)-Experimental Approach", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 9-14 (2006).
 14. H. C. Jang, T. K. Kim, W. H. Park and D. H. Kim, "Experimental and Numerical Studies on Heat/Smoke Behavior due to a Fire on Underground Subway Platform (II)-Numerical Approach" Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 15-20 (2006).
 15. Kevin McGrattan, "FDS Ver.5.5 Technical Guide", NIST Special Publication (2010).
 16. M. Bettelini, S. Rigert and N. Seifert, "Flexible Devices for Smoke Control in Road Tunnels", 6th International Conference Tunnel Safety and Ventilation (2012).