

화재열차의 역사 접근 시 PSD가 설치된 역사 제연을 위한 환기장치 운전 비정상상태 해석

신규호* · 허남건** · 원찬식***

A transient CFD simulation of ventilation system operation for smoke control in a subway station equipped with a Platform Screen Door(PSD) when a train under fire is approaching the station

Kyuhoo Shin*, Nahmkeon Hur** and Chan-Shik Won***

Keywords : Fire Simulation(화재해석), Ventilation System(환기장치), Smoke Concentration(연기농도),
Moving Mesh(이동격자), Trackway Exhaust System (선로배기장치)

Abstract

The heat and smoke which generated by subway under fire is one of the most harmful factor in air tighten underground station. To prevent this, Trackway Exhaust System(TES) can be used. The heat released from the train running in the tunnel raises the temperature at the platform and the trackway, and thus proper ventilation system is required for comfortable underground environment. When the fire is occurred, TES is operated as smoke exhaust mode from normal ventilation mode. In the present study, the subway station which is one of the line number 9 in Seoul subway is modeled, and fired situation is simulated with several ventilation mode of ventilation system in trackway. For this simulation whole station is modeled. Non steady state 3D simulation which considered train under fire is entering to the station is performed. Temperature and smoke distribution in platform and trackway are compared. To represent heat by fire, heat flux was given to the fired carriage, also to describe smoke by fire, concentration of CO is represented. As the result of present study, temperature and smoke distribution is different as the method of ventilation in trackway and platform is changed. In over side of trackway, the fan must be operated as exhaust mode for efficient elimination of heat and smoke, and supply mode of fan operation in under side shows better distribution of heat and smoke. The ventilation system which is changed from ventilation mode to exhaust mode can be applied to control heat and smoke under fire.

1. 서 론

열차가 지하에서 운행될 때 많은 양의 열이 열차의 모터, 브레이크, 에어컨에서 발생한다. 터널 내에서 달리는 열차에서 발생한 열은 선로와 플랫폼의 온도를 상승시키므로 하절기 지하철의 쾌적한 환경을 위해서는 적절한 공조시스템이 필요하다. 이를 위하여 지하철 역사 내 선로의 상부와 하부에는 플랫폼의 공조를 위한 환기팬이 있어서 플랫폼의 온도를 낮추고 공기의 질을 높인다. 아울러 지하철 화재 시 발생하는 열과 연기는 밀폐된 지하공간의 특성상 승객의 안전을 위협하는 가장 큰 요인이 되므로 화재상황에서 열과 연기의 발달을 억제하는 것은 매우 중요하다. 이러한 열과 연기의 발달을 억제하기 위한 여러 가지 방법이 있는데 그중 하나로 위에서 언급한 평시의 환기시스템을 이용하여 제연에 적용하는 경우를 고려해 볼 수 있다. 지하철 역사와 같은 밀폐된 공간에서의 화재는 초기 단계에서의 진화와 환기시스템의 제연 효율성이 피해를 최소로 줄일 수 있는 관건이다. 따라서 평시의 환기시스템의 급·배기 장치의 가동방식을

제연에 효율적이도록 전환하여 운전함으로 지하철 화재 시 발생하는 열과 연기에 의한 피해를 최소화한다. 따라서 본 연구는 환기시스템의 수치적 모델링과 그 해석을 통하여 효율적인 제연이 이루어 질 수 있는 운전 방식을 제시하고자 한다.

지하철 화재의 수치해석 관련 여러 가지 선행연구가 있었다. 그중 Miclea 와 McKinney[1]는 PSD가 설치된 역사에서 열차에 화재가 발생하는 CFD 시뮬레이션을 수행하였고, 비상상황의 급기/배기팬의 효과를 보여주었다. Lunity et al.[2] 홍콩의 지하철을 예로 화재에 관한 연구를 하였다. 이 연구는 연기배출장치의 위치 배열이 승객들의 피난하는데 걸리는 시간을 확보하는데 중요하다는 점을 설명하였다. Mendoca[3] 런던 지하철의 CFD 모델을 만들어 열차의 화재 발생 시 기계적 배기의 효과를 시뮬레이션 하였다. 또한 TES가 설치된 지하철 역사의 화재발생시의 수치해석에 관한 선행 연구[4,5]가 있었다. 이 연구에서는 비정상상태의 해석이 수행되었으나 열차의 움직임이 제외되었기 때문에 열차의 움직임으로 인해 발생하는 피스톤 효과에 의한 유동은 고려되지 않았다는 것을 의미한다. 이 선행연구의 결과에 따르면 상부급기/하부배기 방법이 평시 환기에 더 효과적이고, 상부배기/하부급기가 화재 제연에 효과적임을 알 수 있다. 본 연구에서는 선행연구의 결과가 열차의 이동을 고려한 상황에서도 합당함을 증명한다.

* 서강대학교 기계공학과 대학원, bmn77@sogang.ac.kr

** 서강대학교 기계공학과, nhur@sogang.ac.kr

*** 서강대학교 산업기술연구소, ace@sogang.ac.kr

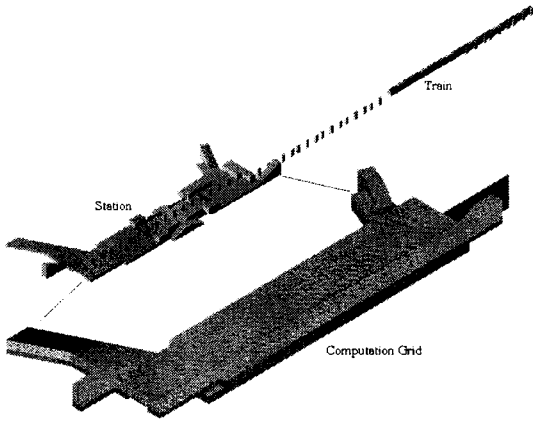
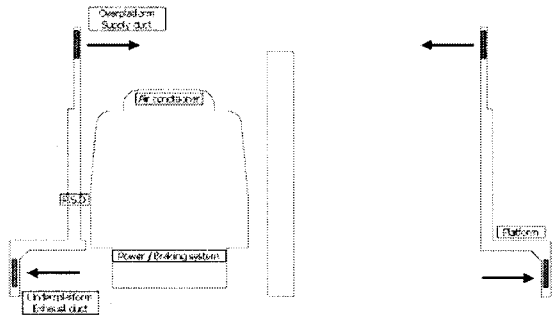
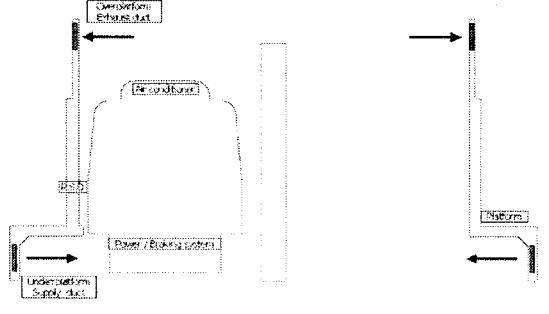


Fig.1 Computational domain of the station with the train



(a) Overplatform Exhaust/Underplatform Supply (OEUS)



(b) Overplatform Supply/Underplatform Exhaust (OSUE)

Fig.2 Schematic diagrams of the two types of the exhaust/supply system

2. 수치해석방법

Fig.1은 서울 지하철 9호선 중 한 역사의 수치해석을 위한 모델이다. 계산에 사용된 모델은 역사 전체를 고려한 것으로, 지하 1층에는 지상부 출입구와 개찰구 등을, 지하2층에는 플랫폼과 선로부를 묘사하였다. 지하1층과 2층은 4개의 계단으로 연결되어 있으며 1층은 중간부분의 기둥, 지상부로 통하는 3개의 출입구와 1개의 외부출입구로 구성되어있고 2층은 선로부의 6개의 객차, 두 선로사이의 기둥, PSD, 환기부로 구성되어있다. 두 선로중 한쪽에만 열차가 들어오는 상황이 고려되었으므로 반대쪽 선로부분의 PSD 는 닫혀있는 것으로 가정하였다.

Fig.2는 환기시스템의 급기/배기 방법을 표현한 개략적인 도식이다. 본 연구에서는 TES의 두 가지 급기/배기 방법이 연구되었다. 그림에 보여 지는 것처럼 하나는 상부급기/하부배기(이후 OSUE Over platform Supply / Under platform Exhaust)방법이고 다른 하나는 상부배기/하부급기(이후 OEUS Over platform Exhaust / Under platform Supply)이다.

환기시스템의 급기관과 배기관에 직접 유속을 부여하였고, 각각 48개의 급기관과 배기관이 선로부의 양쪽에 열차의 길이

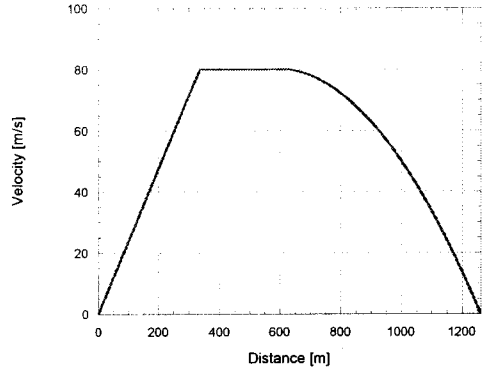


Fig.3 Train operation velocity with respect to distance

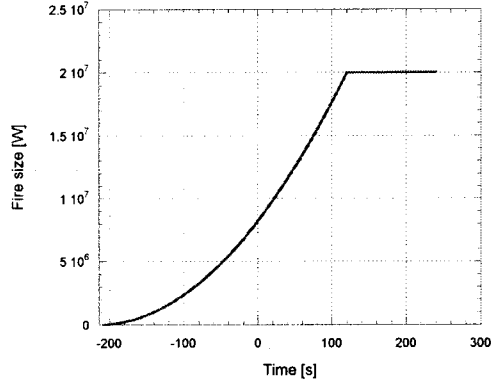


Fig.4 Fire size development with respect to time

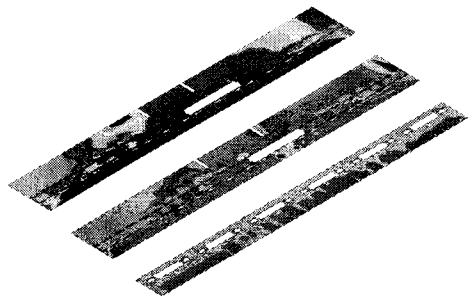
방향으로 배열 되어있다. 급기와 배기의 팬 용량은 각각 1900CMM 으로 같게 설정하였다.

열차가 도착할 때 피스톤 효과에 의해 발생하는 열차 진행 방향으로의 유동을 고려하기위해 이동격자를 포함하는 비정상상태의 시뮬레이션을 수행 하였다. 화재는 4번째 객차에서 발생하고 화재가 발생한 열차는 Fig.3의 운행곡선에 나타난 속도에 따라 이동하며 플랫폼에 진입한다. 본 연구에서는 계산에 걸리는 시간을 줄이기 위하여 열차의 이동은 정지 전 25초 동안만 고려하였다. 화재가 발생한 객차는 완전히 전소되고, 화재의 크기는 Fig.4에 나타난 화재 발달 곡선을 따라 열차 정지 후 120초 동안 20MW 까지 발달한다. 화재가 발생한 객차는 높은 온도로 인하여 창문이 깨지기 때문에 모든 창문은 열려진 상태를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 열차가 정지할 때 환기모드(OSUE)로 운전되던 팬은 그 속도를 점차 줄이기 시작하고 완전 정지까지는 40초가 걸린다. 완전히 정지한 팬은 반대 방향으로 운전되기 시작하며 그 속도가 최대로 발달할 때 까지는 10초가 소요된다.

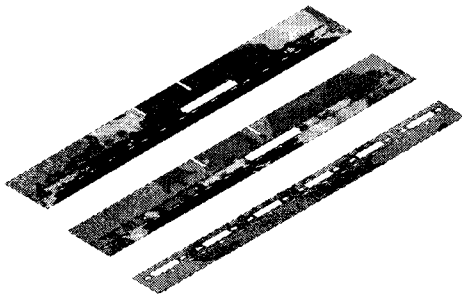
3. 선행 연구

본 연구에 앞서 먼저 TES가 설비된 지하철 역사의 화재에 관한 수치 해석적 연구가[5,6] 있었다. 이전 연구에서는 계산 도메인에 지하1층이 포함되지 않았다. 또한 열차의 이동이 고려되지 않았기 때문에 열차 이동시 발생하는 피스톤 효과에 의한 열차 이동방향으로의 공기의 유동은 고려되지 않았다. 환기방법은 OEUS 와 OSUE 방법을 사용하였고 PSD와 화재가 발생한 객차의 모든 창문은 열려진 상태를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig.5는 화재가 발생한지 35초가 지난 후에 각각 플랫폼 바닥으로부터 0.3m, 1.0m, 2.0m 높이의 온도분포를 나타내었다. 그림에서 보여 지듯 화염의 전파가 OEUS보다 OSUE에서 더욱 크게 나타났다. Fig.6은 화재발생 후 60초가 지난 후에 PSD로부터



(a) OSUE ventilation scheme



(b) OEUS ventilation scheme

Fig.5 Contour plots of the temperature distribution in case of carriage fire

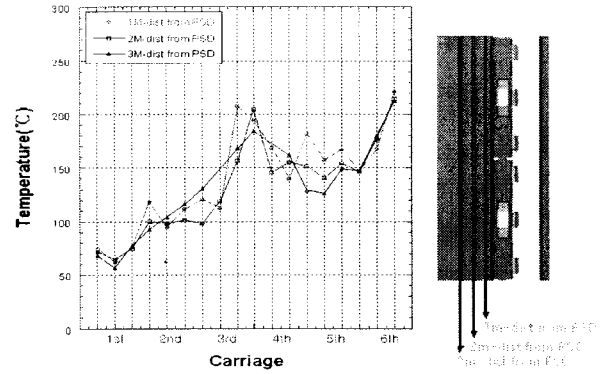
각각 1m, 2m, 3m 떨어진 위치에서의 온도 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 이 결과들로부터 OEUS 환기방법이 열차 화재 시 제연효과가 더 효과적인 것으로 나타났다.

4. 해석 결과

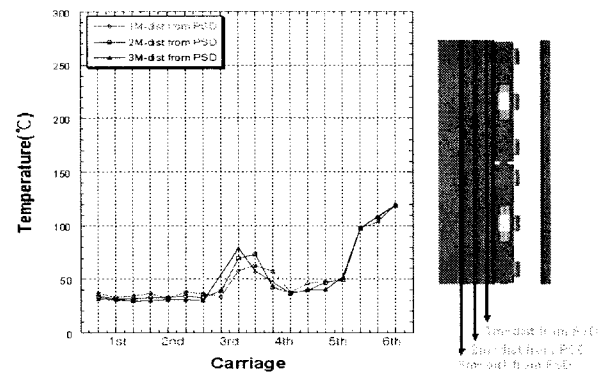
4.1 온도 분포 결과

본 연구는 열차가 역사에 진입할 때 피스톤 효과에 의해 발생하는 열차 이동방향의 유동을 함께 고려하기 위하여 열차를 묘사한 계산격자를 열차의 운행조건을 따라 이동시켜 이전 연구보다 더 실제상황에 가까운 시뮬레이션을 수행하였다. 두 가지 경우에 대하여 해석이 수행되었는데 그중 하나는 최초 환기 모드인 OSUE 방법으로 팬이 운전되다가 열차가 역사 내에 정차한 후 팬의 속도를 감속하기 시작하여 40초 만에 완전 정지하고 팬 정지 후 반대방향으로 속도를 증가하기 시작하여 10초 만에 최대속도에 이르러 제연 모드인 OEUS 방법으로 운전된다. 또 다른 경우는 위의 것과의 비교를 위하여 팬의 운전방향을 반대로 하여, 즉 OEUS 모드에서 OSUE 모드로 운전되는 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig.7은 플랫폼에서의 시간에 따른 온도 분포를 나타내며 t=0일 때 열차는 정지한다. Fig.7 (a)는 OSUE에서 OEUS로 전환되는 경우이며, Fig.7 (b)는 OEUS에서 OSUE로 전환되는 경우를 나타낸다. 이동격자가 포함된 비 정상상태를 고려하였으므로 이동하는 열차의 자취를 따라 비교적 높은 온도분포가 나타나고 있다. OSUE→OEUS는 열차가 이동하는 동안 팬이 환기모드인 OSUE 방법으로 운전되고 있기 때문에 열이 효과적으로 제거되지 못하고 있다. t=7s부터 t=0s 사이에서 OSUE 모드로 운전되고 있는 Fig.7 (a)는 같은 시간대에 OEUS 모드로 운전되고 있는 Fig.7 (b)에 비하여 높은 온도가 넓게 분포하고 있음을 관찰할 수 있다. 열차가 정지하면 팬의 방향이 완전히 전환되는데 50초의 시간이 소요된다. t=60s부터 t=180s 일 때 OEUS 모드로 운전되고 있는 Fig.7 (a)는 OSUE 모드로 운전되고 있는 Fig.7 (b)보다 화재객차 주변 높은 온도의 분포넓이가 좁다. 또한 역사 상층부로 올라가는 계단 주변에 높은 온도가 분포되어 있음이 관찰된다. 이 계단은 화재 발생 시 비상 탈출구가 되므로 승객의



(a) OSUE ventilation scheme



(b) OEUS ventilation scheme

Fig.6 Graphs of the temperature distribution with respect to distance from carriage

피난을 위해 열과 연기가 최대한 억제되어야 하는데 Fig.7을 보면 OEUS 모드로 운전되는 상황에서 계단 주변의 높은 온도의 분포가 현저히 낮게 나타난다. 이것은 화재 발생시 OEUS 방법이 OSUE 방법보다 열 제거에 효과적이라는 것을 의미한다.

4.2 CO농도 분포의 결과

Fig.8은 시간에 따른 CO 농도의 분포를 나타낸다. 화재 객차의 높은 온도로 인해 창문을 통해 연기가 플랫폼으로 전파되며 온도 분포와 비슷한 경향을 보인다. t=7s부터 t=0s일 때 OSUE 모드로 운전되는 Fig.8 (a)는 OEUS 모드로 운전되는 Fig.8 (b)보다 넓은 영역으로 CO가 전파되는 것을 관찰할 수 있다. 반면 t=60s부터 t=180s일 때 OEUS 모드로 운전되는 Fig.8 (a)는 같은 시간에 OSUE로 운전되는 Fig.8 (b)보다 좁은 영역에 CO가 분포하고 있다. 계단부 주변의 CO농도분포 역시 OEUS 모드에서 잘 억제되는 현상을 보임으로 앞서 알아본 온도분포와 같은 경향을 보인다. 이것으로 OEUS 모드는 열의 확산뿐만 아니라 연기의 확산을 억제하는 면에서도 보다 효과적임을 알 수 있다.

3.4 두 환기방법의 비교 (OSUE→OEUS, OEUS→OSUE)

Fig.9와 Fig.10은 OSUE에서 OEUS로 변환 되는 환기방법과 OEUS에서 OSUE로 변환되는 환기방법을 온도분포와 CO농도분포도와 시간에 따른 그래프를 통하여 비교한다. Fig.9와 Fig.10은 각각 시간에 따른 플랫폼에서의 온도변화와 CO농도변화를 나타낸다. 열차 정지 시부터 환기팬의 운전방향이 완전히 역전되기 전까지인 t=0s~t=50s 구간에서는 OSUE에서 OEUS로 환기방법이 변환되는 방식이 OEUS에서 OSUE로 변환되는 방식에 비하여 보다 높은 온도와 CO농도를 보여주고 있다. 즉, 이때의 OSUE→

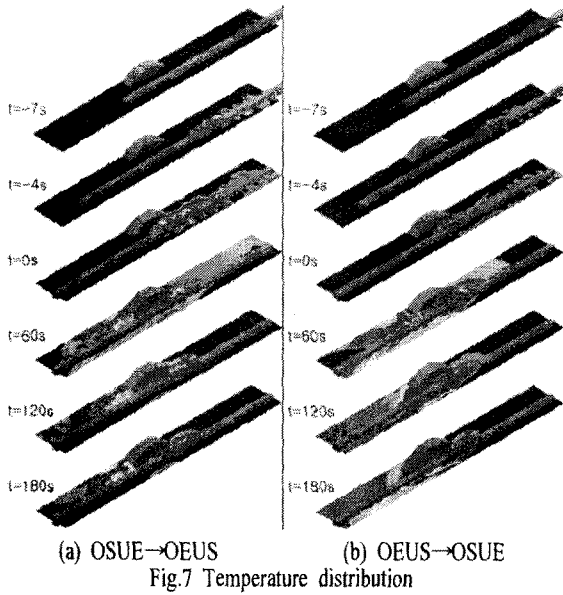


Fig.7 Temperature distribution

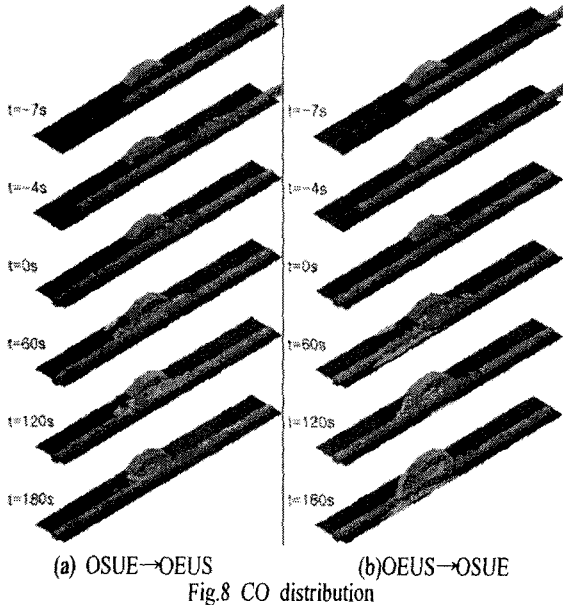


Fig.8 CO distribution

OEUS[Fig.9 (a)]는 아직 평시 환기모드인 OSUE방법으로 운전되고 있다. 이것이 이 시간에서 환기 및 제연에 더 좋은 효과를 기대했던 OSUE→OEUS방법이 OEUS→OSUE 방법보다 온도 및 농도가 더 높게 나오는 이유이다. 열차가 정차하고 50초가 지난 이후에는 팬의 운전모드가 완전히 바뀌고 유동이 최대 발달하는 시간인데 이 이후의 온도 및 CO농도의 경향이 변하기 시작하여 OSUE→OEUS 방법에 따른 환기에서의 화염과 연기의 크기가 OEUS→OSUE 방법에서의 것 보다 작아진다. 이것은 유동이 최대 발달한 이후에는 OSUE→OEUS방법이 OEUS→OSUE방법보다 제연에 더욱 효과적임을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 STAR_CD를 이용한 서울 지하철 9호선의 선로 환기시스템의 특성이 시뮬레이션 되었다. 본 연구의 결론에 의하면 평시 환기에는 상부급기/하부배기 방식이 상부배기/하부급기방식에 비해 보다 효율적인 환기가 이루어지지만, 화재 발생시에는 상부배기/하부급기 방식이 상부급기/하부배기 방법보다

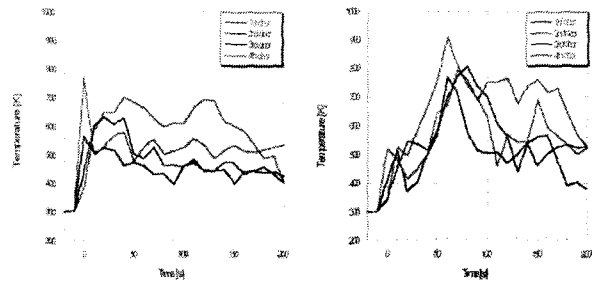


Fig.9 Temperature distribution with respect to time

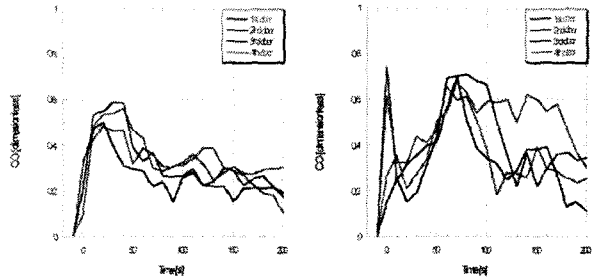


Fig.10 CO distribution with respect to time

화염전파 억제 및 제연에 더욱 효과적임이 입증되었다. 그러므로 지하철 선로의 환기시스템은 평시에는 상부급기/하부배기로 이루어지다가 화재 발생 시 그 운전 방향을 반대로 전환하여 상부배기/하부급기로 운영되는 것이 가장 좋은 방법이라 할 수 있겠다. 그러나 대용량 환기 시스템의 특성상 지하철 환기팬의 운전방향의 전환에는 약50초의 시간이 소요되므로 가장 효율적인 제연효과를 얻기 위해서는 화재 발생 시 열차가 플랫폼에 진입하기 전에 가능한 빨리 운전 방향을 제연모드로 전환하는 것이 중요하다.

참고문헌

- [1] Miclea, P.C. and McKinney, D.M., 2000, "CFD simulation of vehicle fire in a station equipped with platform screen doors," 10th International symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, pp.305~322.
- [2] Lunity, A., Yau, R. and Tang, D., 2000, "CFD simulation of underground station fires a Hong Kong Example," Tunnel and Underground Station Fires, pp.45~54.
- [3] Mendonça, F.G., 1995, *Investigation into the interaction of a carriage fire and station ventilation system in a bored tunnel station*, Computational Dynamics Ltd.
- [4] Hur, N., Won, C.-S., Jegal, K. and Cha, C., 2003, "A numerical simulation of the Trackway Exhaust System (TES) for underground station of Seoul 9th line: Ventilation operation and smoke exhaust operation in case of a carriage fire," 11th International symposium on aerodynamic and ventilation of vehicle Tunnels, pp.231~242.
- [5] Park, J.-T., Hur, N. and Won, C.-S., 2004, "A numerical study on the fire emergency in the underground station with trackway exhaust system(TES)," Proceedings of the 3th national congress on fluids engineering.