

철도터널화재용 접이식 대피통로 개발을 위한 양압 조건 도출

김지태¹, 노경철^{2*}

¹중앙대학교 기계공학부, ²동양대학교 철도기계시스템학과

Derivations of Positive Pressure Condition for Development of Foldable Safe Pathway in Railway Tunnel Fires

JiTae Kim¹, Kyoungchul Ro^{2*}

¹Mechanical Engineering, Chung-Ang University

²Railroad Mechanical Engineering, Dongyang University

요 약 접이식 대피통로는 철도터널 및 대공간 화재시 임시 피난로를 확보하기 위한 피난지원 시스템으로 화재시 구조물 상부에 거치되어 있던 차연 스크린이 펼쳐지며 피난로를 확보하는 시스템이다. 차연 스크린은 적절한 내화성능을 갖추어야 될 뿐 아니라 밀폐성을 확보하여 외부의 연기를 최대한 막을 수 있는 시스템이 요구된다. 이를 위해 접이식 대피통로 시스템에는 피난로 내부에 양압 조건을 유지해 주기 위한 제연설비가 필요하며, 제연 설비의 설계 및 용량 산정을 위해서는 화원에서 거리별 온도 분포 및 압력 해석이 필요하다. 본 연구에서는 신형전동차의 화재 현상을 모사하여 터널 길이방향별 온도 및 압력 분포를 해석하였다. 차연 스크린 설치 위치에서는 길이방향으로 20미터 이상일 경우에는 차연 스크린 내열온도인 200도를 넘지 않는 것으로 해석되었으며, 압력 또한 거리 증가에 따라 감소하며, 최대 14 Pa, 평균 6 Pa 정도를 보이는 것으로 해석되었다. 또한 상부 보단 하부에서의 압력이 낮기 때문에 실제 양압조건은 이보다 낮을 것으로 보인다. 따라서 접이식 대피통로 설치를 위해서는 차연 스크린내 양압조건을 6 Pa 내외로 유지할 수 있는 제연설비가 필요할 것으로 예측된다.

Abstract The Korea Foldable safe pathway system is an evacuation support system to get temporary evacuation route in railway tunnel and large space fires. A prevention smoke screen is unfolded in fires and it is needed to prevent heat and smoke from fire source. Therefore, ventilation system for positive pressure condition is equipped with foldable safe pathway system. Numerical analyses of temperature and pressure distribution with distance from fire source were performed considering fire scenario of new train vehicle. The smoke temperatures did not exceed 200 °C that distance from the fire source was more than 20 m and smoke pressure was reduced with distance from fire source. Maximum smoke pressure was 14 Pa and average pressure was 6 Pa in position of prevention smoke screen. As results, to install foldable safe pathway system, ventilation system is need to maintain 6 Pa positive pressure condition.

Keywords : Foldable Safe Pathway System, Numerical Analysis, Positive Pressure, Ventilation System, Smoke Temperature

1. 서 론

최근 도시 집중화 및 지하시설 공간 효율 증대 요구에

따라 지하철 및 상가, 영화관 등이 겹집되어 있는 복합문
화공간이 각광 받고 있으며, 이러한 대공간 지하시설은
바닥면적 합계가 5,000m² 이상의 광대한 규모로써 이용

본 논문은 2016년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 융합연구단 사업(no. CRC-16-02-KICT)의 지원을 받아 수행된 연구임

*Corresponding Author : Kyoungchul Ro(Dongyang Univ.)

Tel: +82-54-630-1384 email: kcro@dyu.ac.kr

Received October 8, 2018

Revised November 8, 2018

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019



Fig. 1. The mockup of foldable safe pathway system[4]

인구 또한 증가하고 있는 추세이다[1]. 이로 인해 대공간 복합 지하공간은 유동인구가 많고 상가가 밀집되어 실화 및 전기 화재에 대한 위험성이 높으며, 화재 발생시 제연 시설의 노후화 및 용량 부족, 피난경로의 혼잡함 및 동선의 겹침으로 인한 인적, 물적 피해가 크게 발생할 수 있다[2].

또한 대표적인 대중이용 시설인 지하철 및 철도 화재는 대구 지하철 화재사고로 인해 승강장 및 역사 시설의 제연 및 방재 설비가 비교적 잘 갖추어져 있으나, 터널 내부에서의 화재 시에는 화원과의 거리가 가깝고 유독가스가 신속히 배출되지 못하기 때문에 인명피해가 더욱 증가할 수 있어, 연기를 막을 수 있는 장치가 필요한 실정이다[3].

이와 같이 지하 대공간 및 철도 터널과 같이 특수한 공간에서는 연기에 의한 인명사고를 방지하기 위해 부가적인 피난로 확보 시스템이 필요하며, 피난로 확보를 위해서는 제연성능 확보를 위한 선행연구가 필요하다[4].

기존에 사용된 제연 팬 방식이나 에어커튼 방식은 피난방향성 문제 및 제연시스템으로 인해 화재가 확대되는 문제도 발생 할 수 있기 때문에 본 연구에서 개발하고자 하는 접이식 피난 장치는 이러한 단점을 극복하여 안전한 피난로를 확보하고자 하는데 목적이 있다. 이를 위해 접이식 피난 장치는 설치가 간단하며 화재 복사열을 차단하면서 연기침투를 방지 할 수 있는 시스템이 요구되며, 이를 개발하기 위해서는 지하 대공간 및 터널 내 화재 시 연기 거동 및 양압 조건을 도출하기 위한 화재 해석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 철도터널 화재를 고려하여 화재 해석을 수행하였으며, 이를 통해서 화원의 크기 및 거리에 따른 연기의 온도 및 압력 분포를 계산함으로써 접이식 대피 통로 개발에 필요한 기본 조건을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 접이식 대피통로 성능 요구 조건

Fig. 1은 접이식 대피통로의 시제품을 보여주고 있으며, 평상시에는 스크린 및 중단부 프레임이 상부로 접히는 형태로, 최대한 미관에 영향을 주지 않고 단순한 구조로 설계되어 작동 시 신뢰성을 확보할 수 있도록 제작되었다. 사용된 차연 스크린은 200℃에서 30분 이상 견딜 수 있는 알루미늄과 유리섬유의 복합재질로 구성되어 있으며, 내부에 연기유입을 방지하기 위한 제연 시스템을 설치할 예정이다.

따라서 접이식 대피통로의 내열성 및 제연성능 확보를 위해서는 설치위치에서의 화재에 의한 온도 및 압력 해석이 선행되어야 스크린의 안정성 및 제연조건을 도출할 수 있기 때문에 본 연구에서는 기존 대공간화재시의 온도 및 압력분포 해석의 후속 연구[6]로 철도터널 화재 시 접이식 대피통로 설치 위치에서의 온도 및 압력 전파 해석을 수행하였다.

2.2 터널 화재 시나리오 및 화원 설정

열차의 화재 규모는 해당 터널을 운행하는 철도차량 1량 이상의 화재 규모를 산정하여 반영해야 되며, 철도차량별 표준 설계 화재선도는 신형전동차의 내장재 구성 및 총발열량을 기초로 실험을 통해서 산출된 정보를 활용 Fig. 2와 같이 구성하였다. 해석의 편리성을 위해서 초기 1 MW까지 발전하는 HRR은 생략하였으며 785초부터 20MW 까지 Ultra fast 급으로 발전하는 구간을 HRR 입력 조건으로 주어서 해석을 수행하였다.

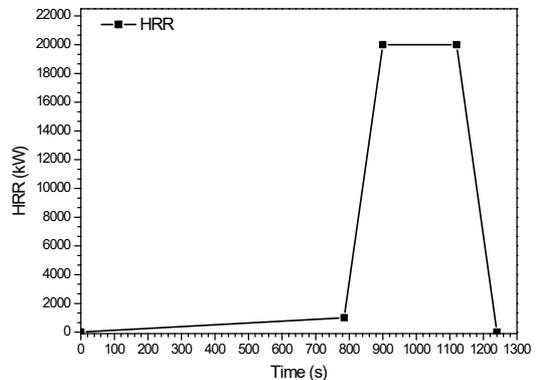


Fig. 2. Heat release rate of new railway vehicle for fire source of tunnel fire[5]

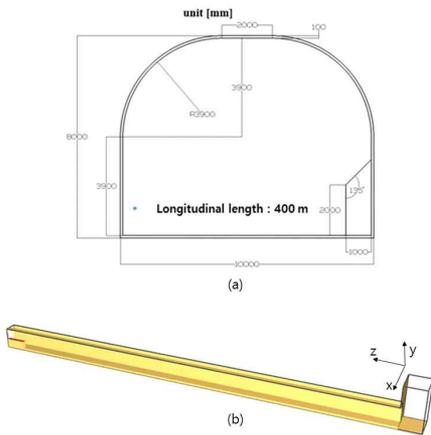


Fig. 3. Dimension and modelling of railway tunnel for FDS (a) Cross-section of tunnel, (b) 3D modelling

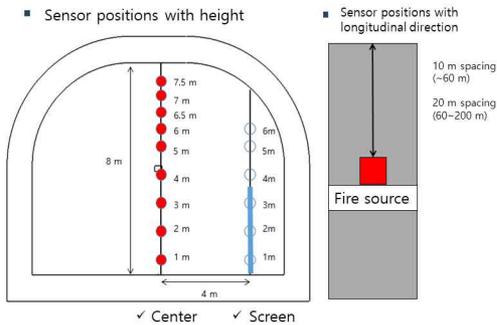


Fig. 4. Positions of temperature and pressure sensors

2.3 해석 조건

Fig. 3은 터널화재 분석을 위한 터널 단면과 FDS에서 구현한 모습으로 터널의 종방향 길이는 400 m, 터널의 높이는 8m 이며 넓이는 10m 이다. Fig. 4는 터널 단면 및 길이방향의 온도와 압력 해석을 위한 측정 위치를 나타낸 것으로 화원 중심부 및 접이식 대피 통로 부근으로도 종방향으로 설치하였으며, 터널 길이에 따라서는 화원과 인접한 60m 거리까지는 10m 간격, 60m 에서 200m까지는 20m 미터 간격으로 측정 위치를 선정하였다.

해석은 미국 NIST에서 개발한 FDS(Fire Dynamics Simulator) V6.0으로 해석하였으며, 개당 격자크기는 0.25 m, 총격자수는 31만개로 설정하였다. 해석 시간은 발열량 곡선과 동일하게 417초(발열량 곡선의 785초부터 1200초) 까지 수행하였으며, 총 해석 시간은 인텔 Xeon 8-core에서 약170 시간이 소요되었다.

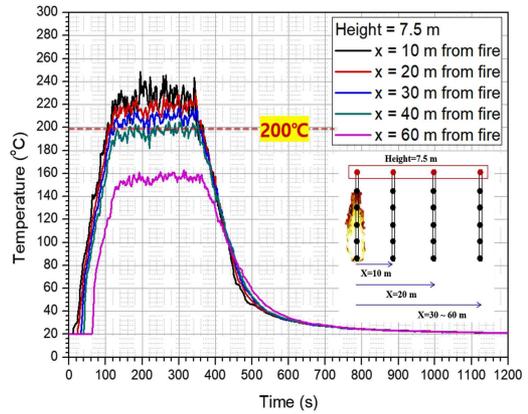


Fig. 5. Temperature distributions at center positions of railway tunnel with time variations (H=7.5 m)

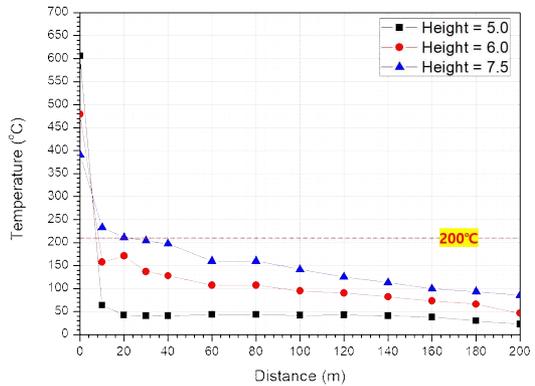


Fig. 6. Temperature distributions at center positions of railway tunnel with longitudinal distance variations

3. 해석 결과

3.1 터널 중심부 온도 및 압력 해석

Fig. 5는 터널화재의 시간에 따른 터널 천정 높이인 7.5 m에서의 온도를 터널길이 60m 까지 표시한 그림이다. 화염 및 고온의 연기로 인해서 화원에 인접할수록 발열량 변화에 비례하여 온도가 상승하는 것을 볼 수 있으며, 길이 방향으로 60m 이상 시에는 차연 스크린의 내열 온도인 200°C이내를 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 터널 중심부 위치에서 터널 길이에 따른 높이별 온도분포를 나타낸 그림으로, 화원 근처에서는 화원 온도에 따른 높은 부력 상층부에서 온도가 높게 나오고 있으며, 화원에서 멀리 떨어질수록 높이 차이에 따른 온도 편차는 다소 줄어드는 것으로 해석되었다. 화원과

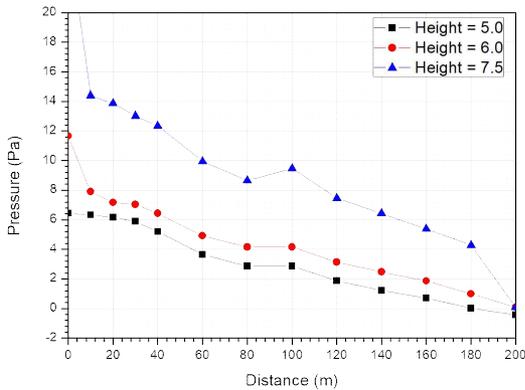


Fig. 7. Pressure distributions at center positions of railway tunnel with longitudinal distance variations

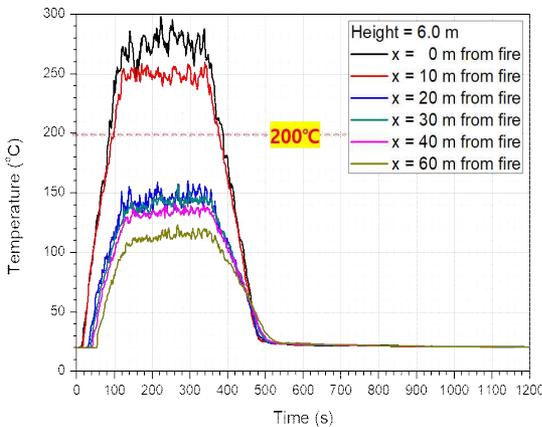


Fig. 8. Temperature distributions at smoke protection screen of railway tunnel with time variations (H=6.0 m)

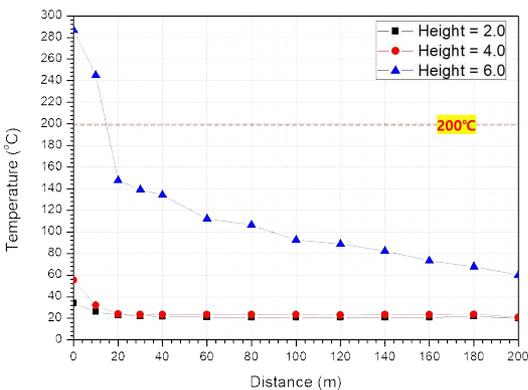


Fig. 9. Temperature distributions at smoke protection screen of railway tunnel with longitudinal distance variations

터널길이 방향으로 10m 이상만 멀어져도 5m 및 6m 높이에서는 차연 스크린 내열온도를 넘지 않으며, 고온의 천정 제트가(Ceiling jet)가 형성되는 천정에서 약간의 높이만 이격되어도 온도가 급격히 감소되는 것을 확인하였다.

Fig 7은 터널 중심부의 높이 및 터널길이에 따른 연기에 의한 압력 분포를 나타낸 것으로 화원 인접 부위에서는 높은 열부력으로 인해 압력이 높게 나타나나, 화원 거리에 비례하여 압력이 감소하는 것을 확인하였다. 차연 스크린 설계 온도를 만족하는 부근에서의 압력은 최대 14 Pa, 최소 6 Pa를 나타내고 있으며, 이는 실제 차연 스크린이 설치되는 위치가 아니기 때문에 터널 제연 설계 시에는 유용하지만, 접이식 대피통로 설계 시에는 실제 차연 스크린 위치에서의 온도 및 압력 값을 이용하여 내부 양압 조건을 도출하는 것이 제연 설비의 과다 설계를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 차연 스크린 부근 온도 및 압력 해석

Fig. 8은 차연 스크린이 설치될 위치에서의 6 m 높이에서의 시간에 따른 온도 분포이다. 화원의 최대 발열량이 발생되는 100초 이후에 최대 온도를 나타내고 있으며, 화원으로부터 거리가 0m, 10m인 경우에는 Fig. 5에서 보인 화원 중심보다 온도가 높게 나타났으나, 이는 실제 화염높이가 약 5m 정도이기 때문에 복사열의 영향으로 천정의 연기온도보다 높게 나타났으나, 화원에서 멀어질수록 순수 연기온도만을 보여주기 때문에 터널 중심부 온도에 비해서는 약 30°C 이상 낮은 것으로 해석되었다.

Fig. 9는 Fig. 6과 동일하게 길이방향의 온도분포를 차연 스크린 부분에서 계산한 결과이며, 천정 제트에 의한 고온의 연기는 상층부에만 존재하고 실제 차연 스크린이 설치될 위치에서는 화원부를 포함하여 전 영역에서 내열온도인 200°C를 넘지 않는 것으로 해석되었다. 화원의 크기가 더 커질 경우에는 접이식 대피통로 부근에서도 온도 문제가 발생할 수 있지만, 전동차 화재 시 초기 발열량 상승 시간 등을 고려할 때, 대피통로의 온도 및 스크린의 내열문제는 발생하지 않을 것으로 예상되며, 접이식 대피통로는 화재 초기에 작동하여 피난 시간 확보가 목적이기 때문에 터널내부에 설치에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

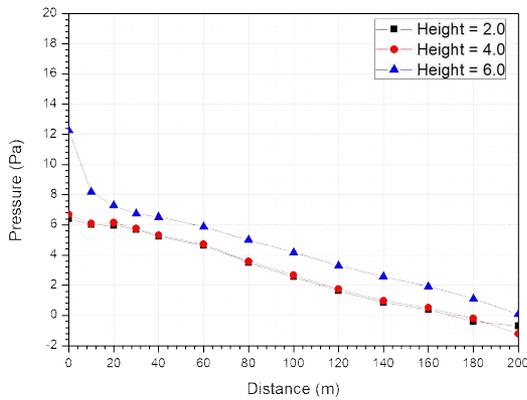


Fig. 10. Pressure distributions at smoke protection screen of railway tunnel with longitudinal distance variations

Fig. 10은 차연 스크린 부근에서 거리에 따른 평균 압력 분포를 보여주고 있으며, 발열량이 가장 높은 200초에서 300초 사이의 압력을 평균값으로 계산하였다. 연기에 의한 압력은 상층부 연기거동과 동일하게 상층부에서 최대 압력을 보이고 있으며, 화원부분의 6m 높이에서 12 Pa, 차연 스크린이 설치될 위치인 4m 아래에서는 최대 6 Pa의 압력을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 차연 스크린 내부의 압력을 6 Pa 정도로 유지하는 것이 좋으나, 대피통로 내부의 기밀도 및 제연 설비 설치 조건에 따라 양압 조건을 선정하는 것이 필요할 것으로 보인다. 추후 연구에서는 실제 차연 스크린을 설치하여 누설면적에 따른 연기 침투 가능성에 대해 후속 연구를 수행할 예정이다.

4. 결론

본 논문에서는 점이식 대피통로의 철도터널에서의 적용성 및 대피 통로 내 양압 조건 도출을 위해, 신행 전동차 1량의 화재를 모사하여 온도 및 열부력에 의한 압력 분포를 해석하였으며, 다음 과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 터널 중심부 온도 해석에서는 화원으로부터 약 40m 이내에서는 차연 스크린 내열온도인 200℃를 넘는 것으로 해석 되었으며, 60m 이상에서는 복사열 및 열부력의 감소로 인해 내열온도 이하를 유지하였다.
- (2) 차연 스크린 부근에서는 터널 중심부 보다 온도가

낮게 유지되어 화원으로부터 30m 이상에서는 내열온도를 만족하였으며, 화원부근에서도 높이가 4m 이하 일 경우에는 내열온도를 만족하였다.

- (3) 대피통로의 양압 조건 도출을 위한 압력 분포 해석에서는 터널 중심부에서는 높이 5m 기준으로 최대 7 Pa 압력을 나타냈으며, 차연 스크린 부근에서는 높이 4m 이하 일때는 최대 6 Pa로 계산되어 대피 통로 제연 설비 설치 시에는 6 Pa 내외로 양압 조건을 유지하는 것이 필요하다.

References

- [1] Dong Gyun Park, "The failure of Emergency Management System and It's Implication of the Multi-Utilization Facilities Fire Model - with the Case of Seomun Market Fire", *Journal of the Korean Urban Management Association*, vol. 19, no. 1, pp. 201-217, 2006.
- [2] Sungyong Bae, Kyoung-Chul Ro, Hong Sun Ryou, "Numerical Study on the Effect of Fire Growth on the Evacuating Characteristics in the Carriage Fire", In: *Proceedings of 2009 Autumn Annual Conference, The Korean Society for Railway*, pp. 881-886, 2009.
- [3] Yong Jun Jang, Won-Hee Park, Woo-Sung Jung and Chang Hyun Lee, "The Comparative Analysis of Passenger Evacuation Results Using CFAST and FLUENT", *Proceedings of 2007 Autumn Annual Conference, The Korean Society for Railway*, pp.1348-1355, 2007.
- [4] Duckhee Lee, Won-Hee Park, Chang-Min Lee, Hwiyoung Lim, Hyein Lee, "Study on the application effects of foldable safe pathway", *Proceedings of 2018 Autumn Annual Conference, The Korean Society for Railway*, pp.255-256, 2018.
- [5] Duckhee Lee, Wootae Jung, Soonbak Kwon, Won-Hee Park, Dongyup Lee, "Development of Foldable Safe Pathway Technical Factors for Performance", Korea Railway Research Center, 2014.
- [6] JiTae Kim, Kun Hyuk Sung, Park Won Hee, Lee Duck Hee, Woo Jun You, Kyoung-Chul Ro, "Influence of the Fire on Emergency Evacuation Support System", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 5 pp. 626-631, 2018.

김 지 태(Ji Tae Kim)

[준회원]



- 2015년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

전산유체, 화재, 혈류역학

노 경 철(Kyoungchul Ro)

[정회원]



- 2001년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2003년 3월 ~ 2006년 2월 : (주) 효성 중공업PG 연구소 (선임)
- 2009년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2011년 8월 : 중앙대학교 기계공학부 연구교수
- 2011년 9월 ~ 현재 : 동양대학교 철도기계시스템학과 부교수

<관심분야>

전산유체, 열전달, 화재, 혈류해석