

B-14

터널내 수분무 시설 설치시 연기유동 특성 연구
A Study on Smoke Movement Characteristics for Water spray system
Installation in Tunnel

임경범* · 김하영** · 유지오*** · 이동호#
Lim, Kyung Bum* · Kim, Ha Young** · Yoo, Ji Oh*** · Rie, Dong Ho#

Abstract

In this study, we conducted an FDS simulation for the purpose of carrying out a basic assessment of the usefulness of the water spray for fire extinguishing. We analyzed the effect of securing the stability in temperature and smoke density in case of fire according to fire intensities and changes in wind speed. When there was no wind speed in tunnels, it was effective in securing the safety of people because the cooling effect of the water spray system had an excellent effect on reducing temperatures and smoke densities there.

key words : FDS, water spray system.

본 연구는 수분무 소화설비의 효용성에 대한 기초평가를 수행할 목적으로 FDS 수치시뮬레이션을 수행하였다. 화재강도 및 풍속의 변화에 따른 화재시 온도 및 연기농도에 대한 안전성 확보 효과를 분석하였다. 터널내 풍속이 없는 경우 수분무는 냉각효과에 의한 온도 및 연기농도 감소효과가 아주 우수하여 대피자의 안전성 확보에 효과적이었다.

1. 서 론

도로터널은 일반건물 구조물과는 달리 반밀폐 공간으로 화재 발생에 따른 연기 제배연 및 대피의 용이성이 매우 낮은 구조적 특성을 갖는다. 터널의 이러한 구조적 특성의 심각성으로 우리나라에서도 2006년도부터 지하터널의 방재기능 강화와 화재시 지하역사의 신속한 화재진압 및 대피를 위해 제연시스템과 자동제어설비 등 소방설비를 연차적으로 보강해 나가고 있다. 이러한 터널화재 소화설비의 경우, 스프링클러 설비나 수분무 설비를 채용하고 있다. 대표적인 수계화재제어 장치인 스프링클러는 화염 및 화염의 냉각효과에 주로 의존하는 반면, 수분무는 마이크로 이하의 입자크기로 분사되어 액체 표면적의 증가로 인한 냉각효과의 증가 및 수증기로 기화될 때 부피팽창으로 인한 질식효과 등의 증가를 가져올 수 있다. 그러나 스프링클러의 사용은 연기의 성층화를 교란하여 공기와 혼합되므로 화재구간 내에 있는 대피자의 충분한 대피가 확보되지 않은 상황에서 작동함으로써 원활한 대피가 이루어지지 못하는 단점이 있다. 따라서, 터널의 특성상 화재발생을 자동감지하여 소화하는 스프링클러 설비보다 수분무설비가 도입되고 있는 실정이다. 수분무설비는 화재구간에 국한하여 수동으로 살수하는 설비로서 기존의 스프링클러의 헤드를 사용할 수 있다. 또한, 터널내 살수범위 내의 대피자가 대피를 완료하는 시점으로 운전시간을 적용할 수 있는 운전상의 장점이 있으므로 대피안전 측면에서 스프링클러를 보강한 시스템으로 활용할 수 있다.

본 연구는 터널 화재시 화재구간의 수분무설비 작동에 따른 수치시뮬레이션을 통해 터널내 풍속의 유무(0m/s, 2.5m/s)에 따른 화재시 온도 및 연기농도에 대한 특성 분석을 수행하여 수분무설비의 효용성에 대한 기초적인 평가를 제공하는 데 있다.

* 정회원·한국소방안전협회·공학박사·E-mail: kbllim@kfsa.or.kr
** 정회원·인천대학교 안전공학과·대학원
*** 정회원·신흥대학 건축설비디자인과·교수
정회원·인천대학교 안전공학과·교수

2. 실험

화재에 미치는 수분무 기초해석은 화재강도 20MW에서 수분무 작동에 따른 터널내 기류 변화를 분석하였다. 따라서, 수분무에 의한 연기 및 온도전파특성을 풍속 유무 및 수분무설비의 작동 유무하에서 수분무설비의 효율성을 분석하였다. 본 연구의 해석은 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 화재 전용 수치해석 프로그램으로서 화재에 의해 유도되는 연기와 온도의 유동예측에 사용되고 있는 FDS Ver.4.0을 사용하여 평가하였다.

수치해석조건은 종류환기방식으로 화재강도 20MW에서 터널풍속(0m/s, 2.5m/s)에 따른 분석을 수행하였으며, 수분무설비는 5m 간격으로 100m 구간에 헤드를 설치하였으며 250 lpm 방수량으로 3.43 bar(3.5 kgf/cm²)의 방수압력하에서 화재발생 180초 후에 작동하도록 설계하였다.

3. 시뮬레이션 분석 결과

터널내 화재발생시 수분무 소화설비의 안전성 평가를 위해 화재강도 20MW에서 수분무 소화설비를 가동하는 경우와 가동하지 않는 경우에 있어 온도 및 연기농도를 분석하여 화재발생시 수분무 소화설비에 대한 효율성 평가를 위해 수행하였다.

3.1 터널내 풍속 0m/s인 경우 분석결과

그림 3.1은 터널내 풍속 0.0m/s일때 온도 및 연기농도를 나타낸 것이다. 그림에서 ①은 호흡면에서의 터널내 위치별 평균값을 120초 부터 540초까지 나타낸 그래프이며 ②는 호흡면(터널 상부 1.5 m 지점)에서의 분포를 나타낸 것이며, ③은 터널중심 수직단면에서의 분포도를 나타낸 것이다.

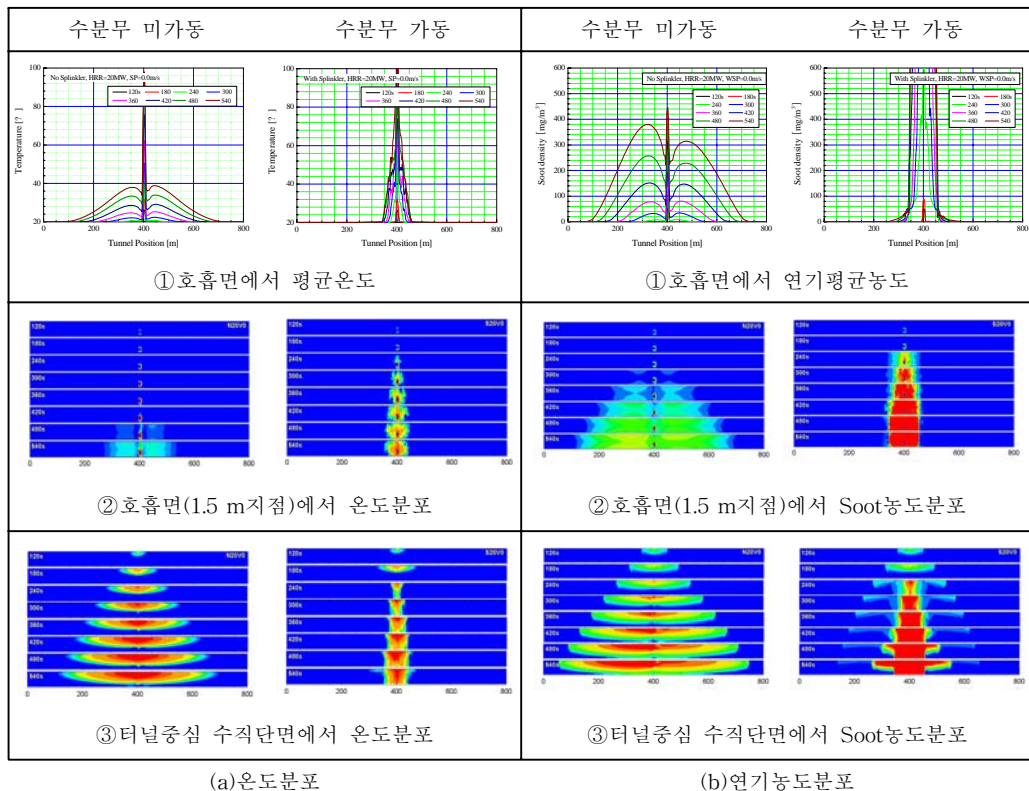


그림 3.1. 온도 및 연기농도분포(풍속 0.0m/s)

그림 3.1에 나타난 바와 같이 수분무를 가동하지 않더라도 호흡면에서 평균온도는 수분무 가동에 관계없이 화재지점에 아주 근접한 지점을 제외하고는 40℃이하로 나타나고 있다. 따라서 터널내 화재시 온도가 대피안전에 피치는 영향은 아주 작을 것으로 평가된다. 그러나 수분무를 가동하는 경우에는 화재지점에서 온도가 40℃를 초과하여 화재근접지점에서는 60℃를 초과하나 화재를 벗어난 지점(150~200m)에서는 온도상승이 전혀 없는 것으로 평가된다. 수분무를 가동하는 경우에 온도가 낮은 것으로 평가된다. 특히 수직단면에서의 온도분포는 수분무를 가동하는 경우에 현저하게 낮은 것으로 나타나고 있다. 또한 연기농도분포는 화재지역(수분무분사지역)에 만 존재하는 것으로 나타나고 있어 수분무를 가동으로 인해서 연기의 전파는 완전히 제어되는 것으로 나타나고 있다. 그러나 수분무가 가동되는 지역의 연기농도는 수분무를 가동하지 않는 경우보다 현저하게 높게 나타나고 있다.

따라서 터널내 풍속 0.0m/s일때 수분무를 가동하는 경우에는 수분무지역의 온도 및 연기농도가 수분무를 가동하지 않는 경우보다 현저하게 높게 나타나고 있으나 분무지역을 제외한 지역에서는 수분무를 가동하지 않는 경우보다 현저하게 낮은 결과를 보여 수분무의 설치가 온도 및 연기이동 억제에 효과적인 것으로 분석되었다.

3.2 터널내 풍속 2.5m/s인 경우 분석결과

그림 3.2는 터널내 풍속 2.5m/s 일 경우의 온도 및 연기농도를 나타낸다. 그림에서 ①은 호흡면에서의 터널내 위치별 평균값을 120초 부터 540초까지 나타낸 그래프이며 ②는 호흡면(터널 상부 1.5 m 지점)에서의 분포를 ③은 터널중심 수직단면에서의 분포도를 나타낸 것이다.

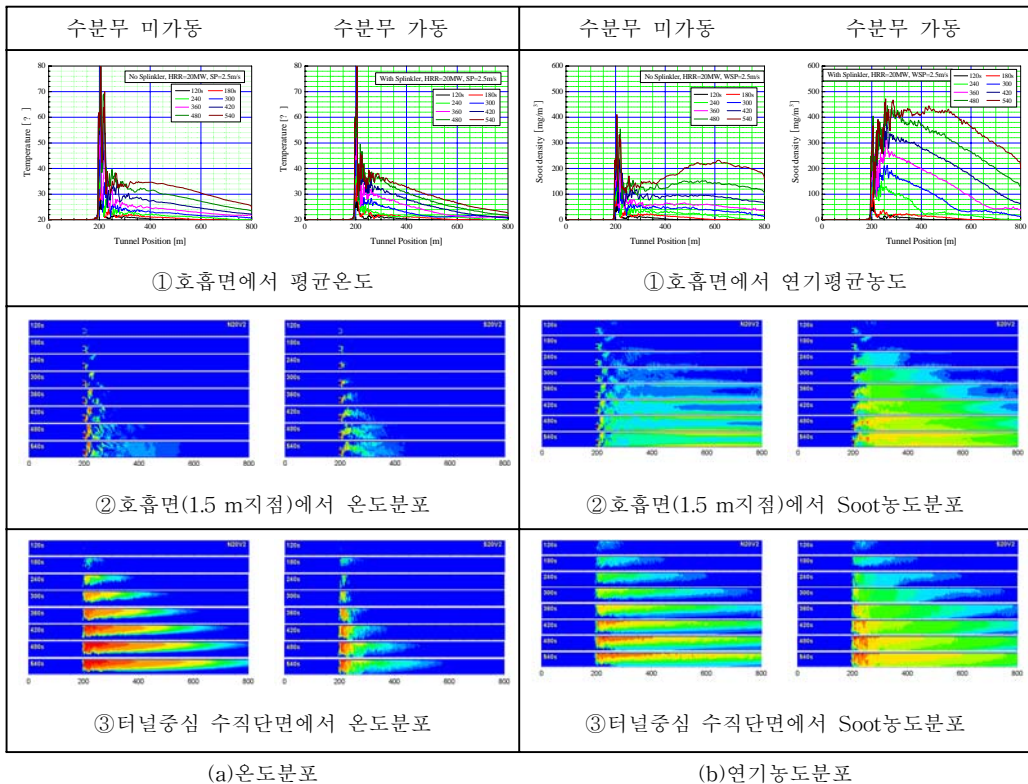


그림 3.2. 온도 및 연기농도분포(풍속 2.5m/s)

그림 3.2에 나타난 바와 같이 호흡면에서 평균온도는 수분무를 가동하는 경우가 조금 저하하는 것으로 나타나고 있으나, 수분무가동에 관계없이 화재지점에 아주 근접한 지점을 제외하고는 40℃이하로 나타나고 있다. 따라서, 터널내 화재시 온도가 대피안전에 미치는 영향은 아주 작을 것으로 평가된다. 또한 화재지점에서의 온도는 수분무가 가동할 경우가 높으나 없으나 분무영역(150~200 m)을 벗어난 지점에서는 수분무를 가동하는 경우에 온도가 낮은 것으로 평가된다. 특히 수직단면에서의 온도분포는 수분무를 가동하는 경우에 현저하게 낮은 것으로 나타나고 있으며, 화재 근접한 지점에서 부력에 의한 영향이 나타나지 않음을 알 수 있다. 또한 호흡면에서 연기농도분포는 그림②에서 알 수 있는 바와 같이 수분무를 가동 하지 않는 경우보다 현저하게 높게 나타나고 있으며, 연기농도는 수분무를 가동하는 경우가 부력의 영향의 감소로 인해서 540초 경과 후에 약 1.9배 정도 높게 나타나고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 수분무 소화설비가 터널내 화재특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수치시뮬레이션에 의하여 기류에 따르는 수분무 소화설비의 효용성에 대해 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- ① 수분무 소화설비는 냉각효과가 우수한 것으로 나타나고 있으나 호흡선을 기준으로 하는 평균온도는 수분무를 가동하지 않는 경우에도 대피환경에 영향을 미치지 못하는 것으로 평가된다. 따라서 수분무에 의한 온도에 대한 안전 확보 효과는 크지 않은 것으로 평가된다.
- ② 수분무 소화설비의 가동에 따른 호흡선에서의 연기농도는 증가는 화재초기에 약 3배 이상으로 대피환경을 현저하게 악화시킬 우려가 있는 것으로 판단되며, 수분무의 가동은 대피자가 대피한 후에 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2004.12), 도로터널 방재시설 설치지침.
2. Kevin McGrattan, Glenn Forney (2005), "Fire Dynamics Simulator(Version 4) User's Guide".
3. T.g.Ma, J.G.Quintiere (2003), "Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations", Fire Safety Journal 38, pp. 467-492.
4. Baum H.R., B.J.MaCaffery (1989), "Fire Insuced Flow Field-Theory and Experiment", Fire Safety Science Proceedings of the Second International Symposium, pp. 129-148.
5. Kim S. C., Ryou H. S. (2003), "An experimental and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure", Building and Environment, Vol. 38, pp. 1309-1316.
6. O. Vauquelin and D. Telle (2000), "Smoke control in tunnel fires - should we talk about critical velocity or critical mass flow rate ?", 10th Int. Sym. on the Aero. & Vent. of Veh. Tunnels, pp.97-103.
7. Hua J., Kumar J., Khoo B. C and Xue H. (2002), "A numerical study of the interaction of water spray with a fire plume", Fire Safety Journal, Vol. 37, pp. 631-657.