

B-11

도로터널 저압 물분무설비 화재진압 실험

Fire Suppression Experiment for Road Tunnel Low Pressure Water Spray Systems

최병일* · 한용식** · 김명배**, 소수현***

Choi, Byung-il · Han, Yong Shik · Kim, Myung Bae · So, Soo Hyun

Abstract

The real scale fire suppression test inside a road tunnel were carried out for water spray systems. The dimension of the tunnel is 7.5m in height and 11.6m in width. 3 different water spray nozzle systems with low operating pressure less than 3.5 bar were used in the experiment. Two types of fires were tested. One is a 1.4m² heptane pool fire and the other is a 2000CC passenger car fire. From the experiment, the spray densities of tested systems were about 6.0 l/min/m² which is currunt domestic guideline. Although all the systems cannot extinguish the tested fires, it was found that they can reduce the tunnel temperature and have a capability to control and suppress the tested fire.

key words : Road Tunnel Fire, Water Spray, Fire Suppression

1. 서 론

도로터널 특히 길이가 긴 장대 도로 터널은 공간 특성상 외부와 차단, 고립되어 있는 것과 같으며, 다수의 사람들이 이용하는 공간으로 화재발생시 화재의 급속한 성장, 배연의 어려움, 피난로 확보의 어려움 등으로 인해 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다. 따라서 일부 나라에서는 화재를 신속히 경보하고 자동으로 소화 또는 화재성장의 억제를 수행하는 자동식화재진압장치를 도로터널 내에 설치하고 있으며 그 대표적인 시스템이 물분무 시스템이다. 도로터널 내 물분무 소화시스템은 일본에서 가장 먼저 설치되기 시작하였으며, 위험도가 높은 터널에 이의 설치를 의무화하고 있다. 물분무 헤드 간격은 4-5 m, 방수압 0.29 MPa 이상, 도로면 1 m²에 6 l/min이상 방수, 방수구간은 50 m 이상, 구간 경계의 화재시 2구간 동시 방수를 규정하고 있다. 이에 비해 미국이나 유럽의 경우는 터널 내에 설치된 예가 적다. 그러나 최근에 대형 터널 화재 사고를 겪으면서 물분무 설비의 설치에 관한 연구가 진행되었다.[1] 국내의 경우 건교부의 설치 지침[2]에 따라 터널의 위험도에 따라 설치를 권고하고 있다. 설치 기준은 물분무 헤드간격 4-5m, 방수구역 50m 이내, 한 개의 노즐에 대한 방수량은 도로면에 6 l/min-m² 이상으로 되어 있다.

본 연구에서는 터널 내 물분무 소화시스템의 소화성능을 확인하고, 정성적 및 정량적 자료를 얻기 위하여 실제 터널에서 화재 실험을 실시하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

본 화재실험은 죽령터널을 모사한 폭 11.6m, 높이 7.5m, 길이 40m의 한국건설기술연구원 터널 실험화재 실험장에서 이루어졌다.(Fig. 1) 콘크리트로 이루어진 터널의 길이는 40m이지만 화재연기의 배연을 위하여 배연설비가 설치된 건물까지 터널 단면적을 유지하면서 배풍로를 약 30m 설치하였으므로 실제 터널 길이는

* 정회원 · 한국기계연구원 에너지계연구본부 · 선임연구원 · E-mail: obisey@kimm.re.kr
** 정회원 · 한국기계연구원 에너지계연구본부 · 책임연구원
*** 정회원 · 한국소방검정공사 기술연구소 · 선임연구원

약 70m 이다. 터널입구에는 터널 내 유속을 재현하기 위하여 1대의 제트팬과 40대의 송풍기로 이루어진 터널유속발생장치를 설치하였다.(Fig. 2)



Fig. 1 실험이 진행된 터널의 외형

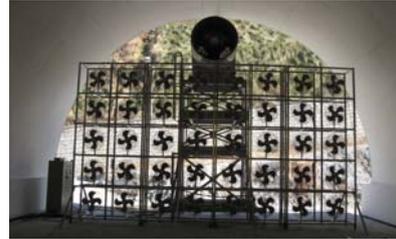


Fig. 2 터널 유속 발생 장치

본 연구에서는 터널 내 유속이 있는 상황에서 물분무의 분사밀도와 화재시 터널 내 온도분포의 계측을 수행하였다. 터널 유속 발생장치에 의한 터널 내 유속 분포를 계측하기 위하여 높이 1m 간격으로 화원으로 부터 10m 전방, 화원 위치, 화원으로 부터 후방 15m에서 유속분포를 계측하여 실험 유속 조건을 결정하였다. 화원은 2000CC 승용차와 1.4m²의 단면적을 갖는 heptane 풀화재를 사용하였다. 화원 면적에 따른 heptane 화재의 화재크기는 연소효율을 100%로 가정하는 경우 대략 4.8 MW[3], 유속이 없는 경우의 화재 불꽃의 높이는 대략 5.7 m 정도이다.[4]

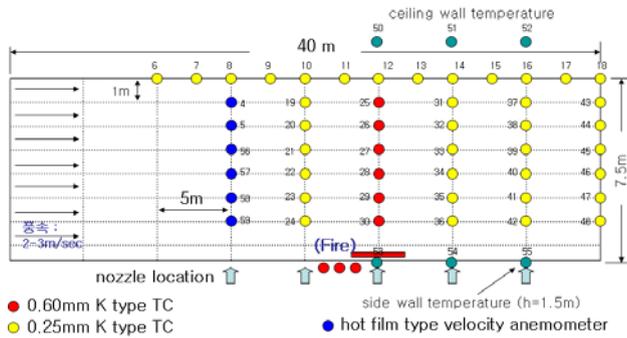


Fig. 3 화원 위치와 계측장치 개략도

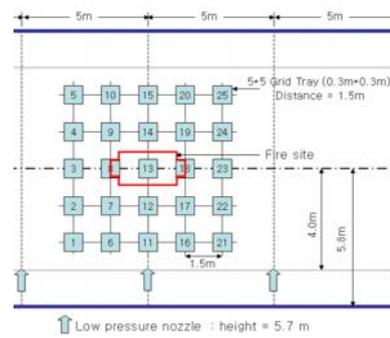


Fig. 4 분사 밀도 측정 위치

실험에 사용된 물분무 노즐은 국내에서 개발된 3종류(A,B,C)의 저압 노즐로 작동압력 3.5bar 이하에서 실험을 진행하였다.(Fig. 3) 터널 내 온도분포를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 K-type의 열전대를 설치하였으며, 화재 시 터널내 유속 분포를 확인하기 위하여 화원 10m 전방에 hot film 형식의 속도센서를 설치하였다. 또한 물분무 헤드의 분사 밀도를 측정하기 위하여 화원이 없는 상태에서 Fig. 4와 같이 터널 바닥면에 25개의 집수통(단면 0.3x0.3m)을 설치하여 분사밀도를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 터널 유속 분포 및 분사밀도

Fig. 5에 Fig. 2의 유속발생장치에 의한 화원위치에서의 터널내 유속 분포를 도시하였다. 천장부에 강력한 제트팬을 설치하여 천장부의 속도가 높으며, 터널 바닥면으로 갈수록 유속이 감소한다. 평균 유속은 높이에 따라 0.9 - 3.8 m/sec 사이이다.

Fig. 6은 실험에 사용된 물분무 헤드의 분사압력 및 터널 바닥면에서의 분사밀도를 보여준다. 각 측정 위치는 Fig. 4에 도시되어 있다. 실험시 수량의 부족으로 압력을 충분히 올리지 못해 낮은 압력에서 실험이 실시되었음에도 국내 설치기준인 6 l/min-m²에 근접하고 있다. 그러나 균일한 분포를 보이지는 않는다.

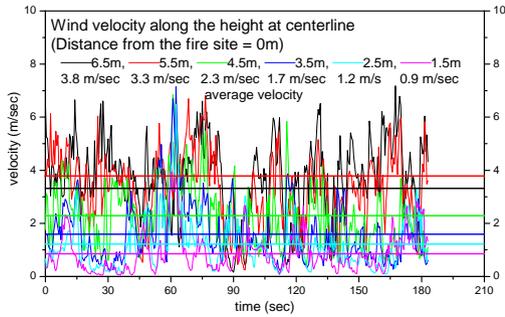


그림 5 터널내 유속 분포 (화원 위치)

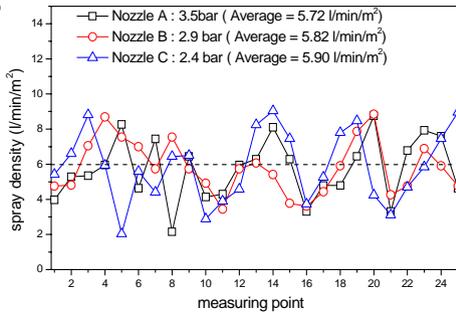


그림 6 물분무 헤드의 분사밀도

3.2 화재 진압 실험 결과

Fig. 7과 8에 자동차 화재와 heptane 풀 화재 실험 장면을 나타내었다. 자동차 화재의 경우 heptane을 적신 40cm*40cm의 화장지를 차량 앞 뒤좌석에 설치한 후 조수석에 점화하였다. 차량화재는 점화 후 2분, 풀화재는 점화 후 15초 후에 물분무 시스템을 가동하였다.



Fig. 7 자동차 화재 실험



Fig. 8 Heptane 풀 화재 실험

터널에 종방향 유속이 존재하기 때문에 화원에서 발생한 열기류는 천장 직상부보다는 화원 후류 천장으로 휘어져 상승한다. 따라서 화원 하류 5m 높이의 천장부 온도를 Fig. 9에 나타내었다.

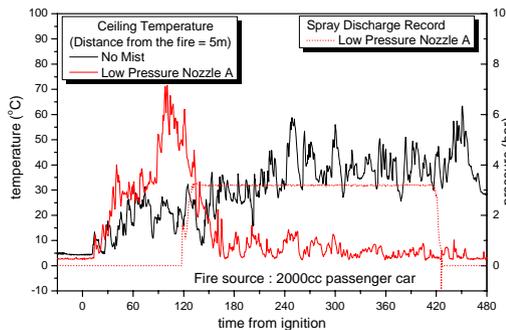


Fig. 9 화원하류 5m의 천장온도 (승용차화재)

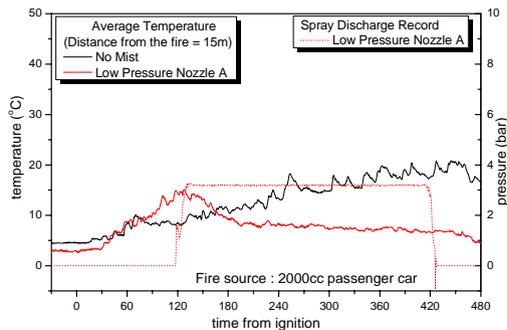


Fig. 10 화원하류 15m의 평균온도 (승용차화재)

터널 단면적이 크고, 터널 천장부에 강한 유속이 존재하기 때문에 천장부 온도가 높지 않다. 그러나 물분무 시스템을 가동한 경우와 가동하지 않은 경우 온도를 살펴보면, 물분무 시스템이 가동되면서 온도가 급격

히 감소함을 알 수 있다. 이러한 경향은 화원하류 15m 위치 단면의 평균온도 분포(Fig. 10)에서도 동일하게 나타난다.

자동차 화재의 경우 동일한 두 대의 차량을 실험에 사용하였으나, 물분부의 가동 유무에 따른 두 번의 실험에서 서로 다른 성장곡선을 보인다. 따라서 화원을 표준화하기 위해서 heptane 풀화재를 이용하여 화재진압실험을 수행하였다. Fig. 10과 11은 실험에 사용된 세 종류의 노즐에 대한 실험 결과를 보여준다. 화원 하류 5m 지점의 천장부위의 온도(Fig. 10)는 화재가 성장하면서 약 80°C까지 상승한다. 물분부가 가동되면 온도가 급격히 떨어져 대략 40 - 60°C의 온도강하 효과가 나타난다. 이러한 온도 강하 효과는 하류 하류 15m 지점의 평균온도에서도 마찬가지로 뚜렷하게 나타난다. 특히 물분부 소화시스템의 가동이 멈추면 온도가 급격히 상승하는 것으로부터 물분부의 온도강하 효과를 확증할 수 있다.

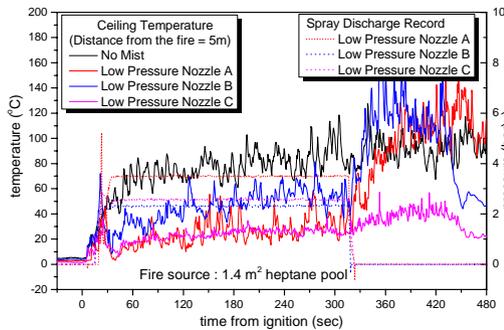


Fig. 11 화원하류 5m의 천장온도 (풀화재)

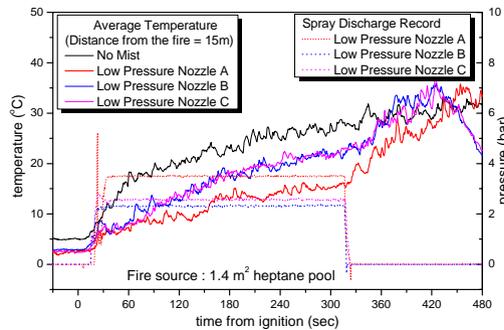


Fig. 12 화원하류 15m의 평균온도 (풀화재)

실험 결과 밀폐되지 않는 공간에서 물분부의 분사로 화재의 완전 소화를 이루기는 매우 힘들지만 터널 대부분 공간에서 물분부 시스템에 의한 온도 강화 효과는 뚜렷하다. 이는 물분부 입자의 증발로 인한 잠열의 효과에 기인하는 것으로 판단된다.

3. 결론

도로터널에서 터널내 유속이 존재하는 상황에서 풀화재 및 자동차 화재를 대상으로 물분부 시스템의 화재진압능력을 실험적으로 살폈다. 그 결과 국내에서 개발된 저압물분부시스템의 경우 현재의 설치기준인 6 l/min-m²에 근접한 분사밀도를 보였으며, 이러한 분사조건하에서 비록 화재를 완전히 소화시키지는 못하였지만, 화재의 크기를 약화시키고, 터널 내부 온도를 감소시키는 화재진압효과를 발휘하고 있음을 알았다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발사업 및 건설교통부 미래철도안전기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting Systems for the Protection of Tunnels and Subsurface Facilities, Work Package 2 of the Research Project UPTUN of the European Commission. (Revision 08), R251, August 2007
2. 도로터널 방재시설 설치지침, 건설교통부, 2004. 12
3. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition. Section 2, Chapter 1, NFPA, 2002
4. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition. Section 3, Chapter 1, NFPA, 2002