

# 미분무수 소화시스템의 도로터널 적용을 위한 실물 화재 실험

한용식\* · 최병일\* · 김명배\* · 이유환\* · 소수현\*\*

\* 한국기계연구원, \*\* 한국소방산업기술원

## Full-scale Fire Suppression Test for Application of Water Mist System in Road Tunnel

Han, Yong Shik\* · Choi, Byung Il\* · Kim, Myung Bae\* · Lee, Yu Whan\* · So, Soo Hyun\*\*

\* KIMM, \*\* KFI

### 요 약

도로터널에서의 미분무수 소화시스템의 적용 가능성을 검토하기 위해 실물 화재 실험을 수행하였다. 적용된 화원은 실물 승용차 화재와 유류화재를 모사한 화원면적 1.4m<sup>2</sup>의 heptane pool 화재이며, 기존 도로터널에 설치된 저압 물분무 시스템과 고압 미분무수 소화시스템과의 냉각효과 비교실험을 수행하였다. 도로터널 내의 환기조건을 구현하기 위해 실물모형 터널의 한 편에 터널 유속(0.9 ~ 3.8 m/sec 범위) 발생장치를 설치하였으며, 화원에서 하류 방향으로 터널 내 온도분포를 측정하였다. 실험 결과 1/5의 유량을 사용하는 고압 미분무수 소화시스템은 저압 물분무 시스템과 동등한 수준의 냉각효과를 보였다.

### 1. 서 론

국내·외적으로 빠른 경제성장과 산업 사회의 발달로 인한 교통량과 물류 수송이 급격히 증가하고 있다. 이러한 교통량 및 물류 수송량의 증가는 교통비 및 물류수송비의 증가를 가져왔으며, 그 대응책의 하나로 국토의 70%가 산악으로 이루어진 우리나라에서는 철도 터널 및 도로 터널의 건설이 필수불가결하게 되었으며, 이러한 터널의 건설은 현재에도 꾸준하게 증가해 가고 있다.

일반적으로 터널은 구조상 개방된 공간이 아닌 반밀폐 공간으로, 화재의 발생 시 인명, 터널 시설물 및 터널 구조물의 보호를 위해 터널 내 소화시스템의 설치가 요구된다. 우리나라를 포함하여 일부 나라에서는 화재를 신속히 자동으로 소화 또는 화재성장의 억제를 수행하는 자동식화재진압장치를 도로터널 내에 설치하고 있으며 그 대표적인 시스템이 물분무 시스템이다. 국내의 경우 건교부의 설치 지침[1]에 따라 터널의 위험도에 따라 설치를 권고하고 있다.

터널 내 소화시스템은 화재의 진압을 1차적인 요건으로 가져야 하겠지만, 터널 환기조건, 구조적 문제 및 차량의 차체 구조 부분의 특성 상 화재의 완전 진압을 달성하기 힘든 환경에서는 소화시스템의 특성에 따라 적절한 화재의 억제(suppression) 및 제어(control)를 목적으로 할 수도 있다.[2]

일반적으로 도로터널에 사용되는 물분무 시스템은 저압 시스템이다. 저압 시스템의 경우 상대적으

로 물입자의 직경이 커서 물입자의 직경이 보다 작은 경우에 비해 화원으로의 침투력은 높은 반면 물입자의 증발에 의한 공간냉각 효과는 떨어지게 된다. 본 연구에서는 터널 내 소화시스템으로 설치되어 있는 수계 소화시스템의 적용 가능성을 확인하기 위해 화재 실험을 수행하였다. 터널 내 상황을 고려하여 작은 소화용수로 A급 화재 및 B급 화재에 적용할 수 있는 미분무수 소화시스템의 화재 제어 성능을 확인하기 위한 실물화재 실험을 실시하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

그림 1은 실물 화재 실험에 사용된 한국건설기술연구원에 설치되어 있는 실물크기 도로터널로, 죽령터널을 모사한 폭 11.6m, 높이 7.5m, 길이 40m의 사양을 가지고 있다. 콘크리트로 이루어진 터널의 길이는 40m이지만 화재연기의 배연을 위하여 배연설비가 설치된 건물까지 터널 단면적을 유지하면서 배풍로를 약 30m 설치하였으므로 실제 터널 길이는 약 70m 정도가 된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 터널입구에는 터널 내 유속을 재현하기 위하여 1대의 제트 팬과 40대의 송풍기로 이루어진 터널유속발생장치가 설치되었다.[3-4]



그림 1 실험이 진행된 터널의 외형

그림 2 터널 내부 송풍기 및 시스템 현황

본 연구에서는 터널 내 유속(0.9 ~ 3.8 m/sec 범위)이 있는 상황에서 화재 시 터널 내 온도분포(화원에서 하류방향 5m 와 하류방향 15m 위치)를 계측하였다.

화원은 연료를 제거한 2000CC 승용차와 1.4m<sup>2</sup>의 단면적을 갖는 heptane pool fire를 사용하였다. 화원 면적에 따른 heptane 연료 화재의 화재크기는 연소효율을 100%로 가정하는 경우 대략 4.8 MW[5], 유속이 없는 경우의 화재 불꽃의 높이는 대략 5.7 m 정도이다.[5]

실험에 사용된 물분무 노즐은 국내 터널에 설치되어 있는 1 종류의 저압 노즐(작동압력 3.5bar 이하, 한쪽 측벽 5m 간격 5개)과 고압노즐 (작동압력 60bar, 양쪽 측벽 5m 간격 총 10개)에서 실험을 진행하였다. 그림 3의 상부에 설치된 노즐이 저압노즐이고 하부에 설치된 노즐이 고압노즐이다. 소화용수의 공급은 노즐 방식에 따라 달리 하였는데, 저압용은 옥내 소화전을 고압노즐에는 그림 4에서 보이는 고압 펌프가 사용되었다. 터널 내 온도분포를 측정하기 위하여 K-type의 열전대를 설치하였으며, 화재 시 터널 내 유속 분포를 확인하기 위하여 화원 10m 전방에 hot film 형식의 속도센서를 설치하였다.

## 3. 실험결과

그림 5는 실물 자동차 화재의 화원 하류 5m 높이의 천장부 온도를 나타내고 있다. 터널 단면적이

크고, 터널 천장부에 강한 유속이 존재하기 때문에 천장부 온도가 높지 않다. 그러나 저압 시스템을 가동한 경우와 가동하지 않은 경우 온도를 살펴보면, 저압 시스템이 가동되면서 온도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나 물분무 시스템이 없는 경우와 비교하였을 경우 보다는 온도가 급격하게 하강하였지만 상대적으로 고압시스템의 경우 온도 하강 효과가 뚜렷하지 않다. 이는 기본적으로 매 실험에서 동일한 화원과 동일한 유속발생장치를 사용하기는 하였으나, 화원 조건과 유속조건이 동일하지는 않기 때문으로 보인다. 하지만 화재가 자동차 내부에서 발생하고 화원의 특성이 심부화재인 A급 화재의 특성을 가지고 있어 상대적으로 물분무 입자의 직경이 작아 화원침투력이 약한 고압시스템의 경우 화원자체의 강도를 약화시키는데 한계가 있기 때문으로 보인다. 이러한 경향은 그림 6의 화원하류 15m 위치 단면의 평균온도 분포에서도 동일하게 나타난다.



그림 3 설치된 실험대상 노즐들



그림 4 고압 미분무수 급수 공급시스템

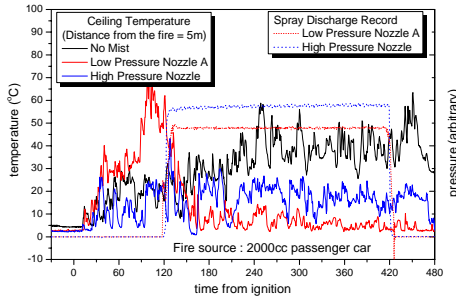


그림 5 화원하류 5m의 천장온도 (승용차화재)

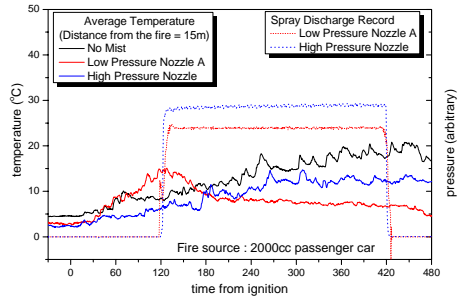


그림 6 화원하류 15m의 천장온도 (승용차화재)

그림 7과 그림 8에서 알 수 있듯이 저압 시스템과 고압시스템의 온도변화 차이는 화원이 표준화된 헵탄 풀 화재의 결과에서 보다 명확히 관찰할 수 있다. 자동차 화재의 경우 동일한 두 대의 차량을 실험에 사용하였으나, 물분무 시스템의 가동 유무에 따른 두 번의 실험에서 서로 다른 성장곡선을 보인다. 따라서 화원을 표준화하기 위해서 heptane 풀 화재를 이용하여 화재진압실험을 수행하였다. 그림 7과 8은 1.4m<sup>2</sup>의 heptane pool 화재에 대한 저압과 고압시스템의 실험 결과를 보여준다. 그림 7에서 관찰할 수 있듯이 화원 하류 5m 지점의 천장부위의 온도는 화재가 성장하면서 약 80°C까지 상승한다. 저압 시스템이 가동되면 온도가 급격히 떨어져 대략 40 - 60°C의 온도강하 효과가 나타난다. 이러한 온도 강하 효과는 하류 하류 15m 지점의 평균온도에서도 마찬가지로 나타난다. 특히 소화시스템의 가동이 멈추면 온도가 급격히 상승하는 것으로부터 물분무의 온도강하 효과를 입증할 수 있다. 자동차 화재와 비교하면 고압시스템의 경우 상대적으로 유류화재에서 저압시스템과 동일한 성능

을 보임을 알 수 있다. 여기서 중요한 점은 고압시스템의 경우 저압시스템에 비해 방수되는 총 수량이 약 1/6에 불과하다는 것이다. 즉 미분무수 입자가 작은 고압시스템의 경우 저압시스템에 비해 1/6정도의 수량만으로도 B급 화재에서의 공간온도 냉각 효과는 동일한 것으로 나타났다.

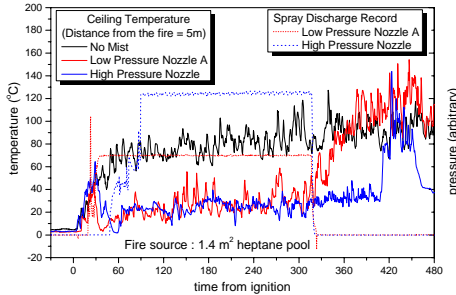


그림 7 화원하류 5m의 천장온도 (폴화재)

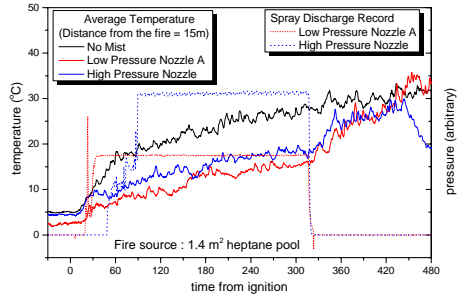


그림 8 화원하류 15m의 천장온도 (폴화재)

#### 4. 결 론

터널 내 유속이 존재하는 실물 도로터널에서의 미분무수 소화시스템의 적용 가능성을 검토하기 위해 실물 화재 실험을 수행하였다. 적용된 화원은 실물 승용차 화재와 유류화재를 모사한 화원면적 1.4m<sup>2</sup>의 heptane pool 화재이며, 기존 도로터널에 설치된 저압식 물분무 시스템과 고압 미분무수 소화시스템과의 냉각효과 비교실험을 수행하였다. 도로터널 내의 환기조건을 구현하기 위해 실물모형 터널의 한 편에 터널 유속(0.9 ~ 3.8 m/sec 범위) 발생장치를 설치하였으며, 화원에서 하류 방향으로 터널 내 온도분포를 측정하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 저압/고압 시스템 모두 60°C 이상의 온도 하강 효과를 보였다.
- 고압 시스템의 경우 약 1/6의 유량으로 비슷한 수준의 화재제어 효과를 보인다.
- 저압 시스템은 상대적으로 차량화재(A급 화재 특성)에 고압 시스템은 유류화재에 우월한 특성을 보인다. 이는 저압(입자크기 큼), 고압(입자크기 작음)의 분무 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 소방방재청의 인적재난 안전기술개발사업과 한국기계연구원의 주요사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 도로터널 방재시설 설치지침, 건설교통부, 2004. 12
- [2] 도로터널 방재시스템 개선방안 연구, 한국터널공학회, 2008.3
- [3] 도로터널 화재안전성 평가 및 가상현실기반 소방훈련시스템 개발, 한국기계연구원, 2008
- [4] 최병일, 한용식, 김명배, 소수현, “도로터널 저압물분무 설비 화재진압 실험”, 한국화재소방학회 2008년 춘계학술논문발표회 논문집, 218-221, 2008
- [5] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition. Section 3, Chapter 1, NFPA, 2002