

B-17

## 개방공간에서 미세물분무를 적용한 PPV의 화재적용 효과

김성원, 이경덕, 신창섭  
충북대학교 안전공학과

### Effect of Fire Application by Water Mist in Opened Space

Sungwon Kim, Kyoungduck Lee, Changsub Shin  
Dept. of Safety Eng., Chungbuk National University

#### 1. 서론

화재 진압시 송풍기를 이용하여 화염이 발생한 구조물 내부로 신선한 공기를 유입시켜 내부압력을 상승시켜 소방관의 화재진압 활동을 돕는 방식을 PPV(Positive Pressure Ventilation)라고 하며, 구조물 내부 전체 영역의 열·연기 및 연소 생성물 등을 급속 배기시키고 내부 온도를 급속히 감소시킬 수 있는 것이 특징이다.<sup>1,2)</sup>

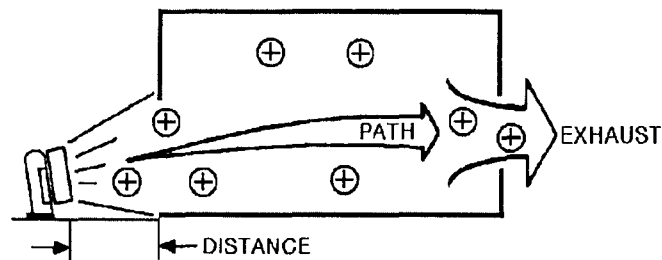


Fig. 1. Positive pressure ventilation mechanism[1].

최근 10년 간 미국에서의 연구는 본격적인 소화활동전에 이러한 PPV 방식을 사용할 경우 67% 이상의 소방관들이 화재구조물내에서 보다 편하고 안전한 작업조건을 만든 것으로 보고되고 있다.<sup>3)</sup> 즉, PPV 방식의 mobile fan은 급속배기를 통해 연소생성물과 독성 가스를 단시간 내에 줄일 수 있으며, 인명적 측면에서 소방관의 시야확보 및 인명보호 등 소화활동에서도 그 효과를 발휘할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 mobile fan의 화재적용 효과를 적용시키기 위하여 미세물분무 시스템과 PPV 방식을 결합한 소화·억제 실험을 실시하였으며, 미세물분무는 mobile fan의 가동과 동시에 방사하였다. 또한, fan 사용시 경사각(tilt angle)의 변화는 mobile fan에서

발생되는 유동과 화재 양상의 변화를 의미하므로, 이에 따른 화재의 특성을 파악하였으며, 경사각에 따른 연기밀도를 측정하여 효율적인 급속배기 효과를 연구하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 fan은 최대  $9.2\text{m}^3/\text{s}$ 의 유량을 발생시키는 것이 가능하며, fan의 엔진은 가솔린을 주연료로 하는 6마력 turbo 타입을 사용하였다. 또한, 전·후면에서 경사각 및 수직 높이 조정이 가능한 것이 특징이다.

미세물분무 노즐은 7개의 오리피스로 구성된 7N3 노즐 2개를 이용하여, PPV에서 발생된 유동에 따라 실려가게 하였다. 방사분포는 원형 분포를 나타내며, 이 때의 입자크기는  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서  $134.96\mu\text{m}$ 였다.

또한, 화재를 발생시키기 위한 연료로 *n*-heptane을 사용하였다.

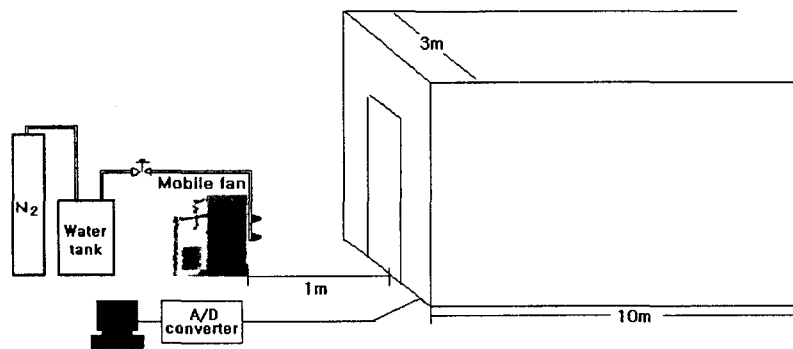


Fig. 2. Schematic of fire suppression experiment.

Fig. 2는 실험장치를 나타낸 것으로 화재실은  $10\text{m}(\text{L}) \times 3\text{m}(\text{D}) \times 2.5\text{m}(\text{H})$ 을 이용하였으며 미세물분무 노즐의 방사시 일정압력을 얻기 위해 고압질소를 이용하여 수조를  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가압하여 분무하였다. 또한, mobile fan의 사용에 따른 연기의 급속배기 효과를 측정하기 위하여 유출부인 창문( $1.1\text{m} \times 0.9\text{m}$ )에 연기밀도 측정기를 설치하여 자유연소시와 fan 사용시의 연기 배출 특성을 측정하였다.

Mobile fan과 화재실 입구와의 거리는 1m로 하였으며, 미세물분무 노즐을 fan 전면의 각각 다른 위치에 2개를 설치하여 방사하였다.

연소용기는  $0.4\text{m}(\text{L}) \times 0.4\text{m}(\text{D}) \times 0.1\text{m}(\text{H})$ 를 사용하였고, 점화에 사용된 연료의 양은 *n*-heptane 2ℓ를 물 3ℓ 위에 부유시켜 연소 팬에 의한 열 손실을 방지하였다.

Fan에 의한 온도분포와 소화·억제효과를 확인하기 위해 K type 열전대를 연소 팬 직상부에 0.4m, 0.8m, 1.2m 높이로 3개를 설치하였다. 또한, 거리별 온도분포를 측정하기 위해서 화염전면과 후면으로부터 각각 0.5m, 1m 거리의 높이 0.4m 위치에 열전대 4개를 설

치하였고, 이를 A/D convertor를 이용하여 화염온도를 1초 단위로 측정하였다.

연소 후 화염이 정상상태가 되는 시점인 점화 2분 후에 PPV만을 가동한 경우, PPV와 동시에 미세물분무를 방사한 경우로 분류하여 소화 및 억제특성을 파악하였고, PPV 경사각에 따른 소화·억제성능에 주는 영향을 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 화염에 대한 미세물분무의 영향

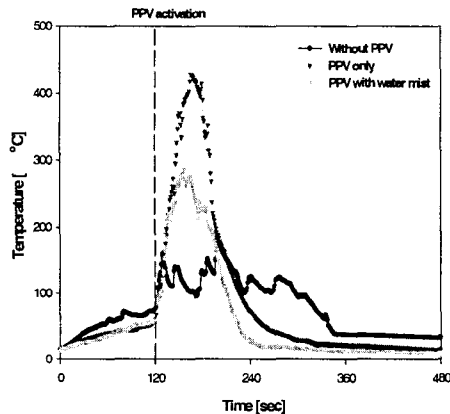


Fig. 3. Flame temperature of *n*-heptane fire using PPV systems [0.5m behind the combustion pan, flow rate : 2.7 m<sup>3</sup>/s].

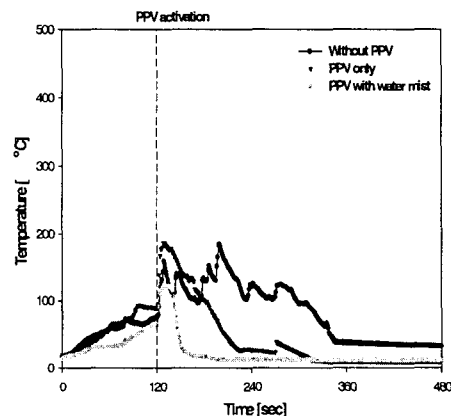


Fig. 4. Flame temperature of *n*-heptane fire using PPV systems [0.5m behind the combustion pan, flow rate : 5.9 m<sup>3</sup>/s].

Fig. 3에 2.7m<sup>3</sup>/s로 유량을 발생시켰을 때 연소팬 후면 0.5m에서의 화염온도 변화를 나타낸 것으로 PPV 방식만을 사용한 경우, 화염이동으로 인해 온도가 급격히 증가하였으며 fan 가동 45초 만에 최고온도인 428°C까지 도달하였다. 반면에, PPV 방식과 동시에 미세물분무를 방사한 경우에는 화염온도의 증가폭이 상당히 줄어들어 최고 화염온도는 286°C를 나타냈다. 이러한 결과는, 연소팬 후면으로 화염이 이동하였던 위치까지 미세물분무가 도달하여 화염면에서 냉각효과에 의해 온도상승을 대폭 감소시킨 것으로 판단된다. 또한, 전체적인 연소시간은 자유연소시에 417초, PPV 방식만을 사용한 경우가 347초, PPV 방식과 동시에 미세물분무를 방사한 경우는 332초가 소요된 것으로 나타나 PPV 방식과 미세물분무 시스템을 결합시 전체 연소시간도 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 4에서는 5.9m<sup>3</sup>/s로 유량을 발생시켰을 때 연소팬 후면의 온도 변화를 나타낸 것으로, 증가한 유량에 따른 온도감소가 Fig. 3 보다 더 현저하게 나타났다. 또한, fan 가동 30초 후에 자유연소시가 137°C, PPV 방식만을 사용한 경우가 145°C인 반면에 PPV 방식과 동시에 미세물분무를 동시에 사용한 경우는 34°C로 자유연소시의 화염온도보다 더 낮게 측정되었다.

### 3.2 연기밀도의 변화

Fan을 사용하였을 때의 연기밀도를 Fig. 5에 나타내었다. 경사각 0°, 20°인 경우 연기밀도가 2배 이상 감소한 결과를 얻을 수 있었으며, 경사각 0°의 경우가 가장 낮은 연기밀도를 나타내어 fan만을 가동하였을 때 경사각의 효과가 크지 않음을 알 수 있었다. 또한, 경사각의 변화가 있는 경우에는 구조물 내부로 유입되는 유량 차이에 의해 상층부에 부유하게 되는 연기를 20°의 경사각에서 가장 효과적으로 배기시킨 것으로 나타났다.

Fig. 6에는 fan과 미세물분무를 동시에 방사하였을 때의 연기밀도를 나타낸 것으로 경사각 0°에서 가장 낮은 연기밀도를 나타내었으며, 경사각 20°의 경우는 fan만을 사용한 경우에 비해 미세물분무를 동시에 방사한 경우가 더욱 낮은 연기밀도를 나타내었다. 이는 PPV 방식과 동시에 방사된 미세물분무 입자에 연기입자가 흡수되어 낙하함으로써 연기밀도가 감소된 것으로 판단된다.

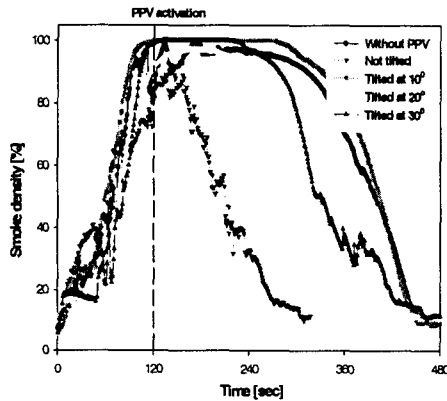


Fig. 5. Smoke density of *n*-heptane fire by tilted mobile fan [flow rate : 2.7 m<sup>3</sup>/s, without water mist].

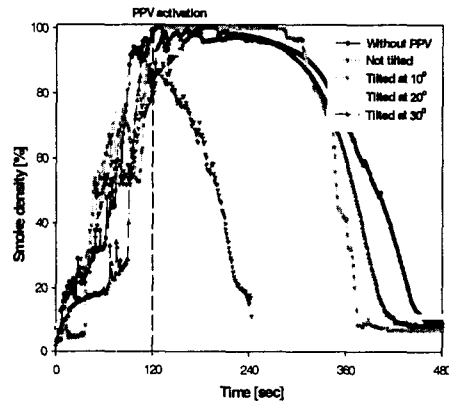


Fig. 6. Smoke density of *n*-heptane fire by tilted mobile fan [flow rate : 2.7 m<sup>3</sup>/s, with water mist].

## 4. 결론

화재진압 활동시 열·연기 및 연소생성물의 급속 배기에 사용되는 PPV 방식에 미세물분무 시스템을 결합하여 fan의 가동과 동시에 *n*-heptane 화재에 방사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PPV 방식과 동시에 미세물분무를 방사하였을 때, 화염면에 도달한 미세물분무의 영향으로 냉각효과가 증대되어 연소팬 직상부와 후면에서의 온도는 PPV 방식만을 적용한 경우보다 감소하였다.

(2) Fan에서 발생된 유량이 2.7m<sup>3</sup>/s일 때, fan의 경사각 변화에 따라 화염온도의 변화가 발생되었으며, 유량이 5.9m<sup>3</sup>/s인 경우에 2.7m<sup>3</sup>/s인 경우보다 온도감소 효과가 증가하여 화염온도는 경사각 변화보다 유량의 변화에 더 영향을 받는 것으로 나타났다.

(3) PPV 방식과 동시에 미세물분무를 방사한 경우가 PPV 방식만을 가동한 경우보다

낮은 연기밀도를 나타내었고, 경사각의 변화가 없을 경우가 변화가 있을 때보다 더 낮은 연기밀도가 측정되었다. 즉, 화재실내 연기밀도는 미세물분무의 영향보다 경사각의 영향이 더욱 큼을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. J. Mittendorf, "Positive Pressure Training Manual of Tempest", Tempest Tech. Co., 1992.
2. 신창섭 외 2인, "미세물분무의 화염억제와 PPV 경사각의 영향", 한국화재소방학회, 춘계학술발표회, 2003.
3. [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com).