

# 미세물분무의 영향에 따른 PPV의 화염억제 특성

김성원 · 이경덕\* · 신창섭

충북대학교 안전공학과 · \*(주)화이어텍

## 1. 서 론

PPV(Positive Pressure Ventilation)란 화재진압시 송풍기를 이용하여 화염이 발생한 구조물 내부로 신선한 공기를 유입시켜 내부압력을 상승시키는 방식으로, 구조물 내부의 전체 영역에 균일하게 열·연기 및 연소 생성물 등의 급속 배기 및 구조물 내부 온도를 급속히 감소시킬 수 있는 것이 특징이다.<sup>[1,2]</sup>

본 연구에서는 PPV 방식을 이용한 소화활동의 효율증대를 위해 미세물분무 시스템과 mobile fan을 결합한 소화·억제 실험을 실시하였으며, 미세물분무는 fan의 가동과 동시에 방사하였다. 또한, fan 사용시 경사각(tilt angle)의 변화는 fan에서 발생하는 유동과 화재 양상의 변화를 의미하므로, 이에 따른 화재의 특성을 파악하였으며, fan 경사각에 따른 연기밀도를 측정하여 효율적인 급속배기 효과를 연구하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 mobile fan은 조절부, 지지부 및 엔진으로 구성되어 있으며, fan은 한 개의 날이 0.51m로 2개가 장착된 형태이다. fan은 최대 9.2m/sec 까지 유량을 발생시키는 것이 가능하며, 엔진은 가솔린을 주연료로 하는 6마력 turbo 타입을 사용하였다. 또한, fan 전·후면에서 경사각을 조절할 수 있으며, 수직 높이도 조절이 가능하다.

미세물분무 노즐은 7개의 오리피스로 구성된 7N3 노즐 2개를 이용하여, fan의 유동 방향에 따라 이동하게 하였다. 방사분포는 10kg/cm<sup>2</sup>에서 원형 분포를 나타내고, 이 때의 입자크기는 SMD 134.96 $\mu$ m였다.

화재를 발생시키기 위한 연료로 n-heptane과 pine wood stick을 사용하였다. n-heptane은 물보다 낮은 비점을 갖고 있어(98℃) 물 입자가 화염으로 낙하할 때 화염 표면에서의 splashing effect를 방지할 수 있고, alkane의 대표적 물질로서 개질 가솔린과 고품질 디젤류 성분의 alkane을 각각 70%와 95% 포함하고 있어, 가솔린과 함께 IMO와 NFPA에서 미세물분무의 소화성능을 실험하기 위하여 적합한 물질로 알려져

있다. 또한, pine wood stick은 70℃에서 48hr이상 건조한 것을 사용하였으며, Fig. 2처럼 수동식 소화기 검정기술기준의 목재모형 기준에 의거하여 체적비 약 1:10 scale로 축소하여 실험하였다. 유면에서 목재로의 착화를 위해 철재 앵글연소대를 제작하여 유면과 최하단 목재와의 거리를 30cm 이격시킨 후, gasoline 1ℓ를 점화시켜 목재에 착화시켰다.

## 2.2 실험방법

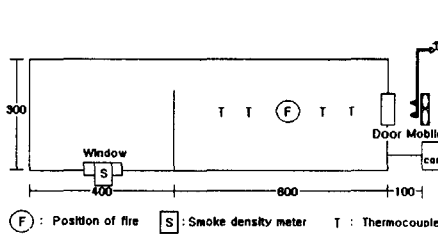


Fig. 1. Experimental set-up in test room

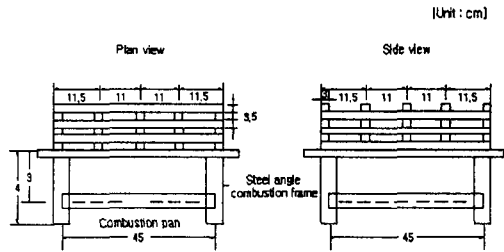


Fig. 2. Schematic of the experimental apparatus for wood fire.

Fig. 1은 실험장치도를 나타낸 것으로 화재실, 가압수조, mobile fan 및 연기밀도 측정기로 구성된다. 연소 후 화염이 정상상태가 되는 시점인 점화 2분 후에 fan만을 가동한 경우, fan과 동시에 미세물분무를 방사한 경우로 분류하여 소화 및 억제특성을 파악하였고, fan의 경사각에 변화를 주어 미세물분무의 화염억제 특성을 분석하였다. 또한, 경사각은 지면에서 상향으로 변화시켰으며, fan의 full sealing과 거리에 따른 fan과 미세물분무의 손실량을 고려하여 fan과 화재실과의 거리는 1m로 하였으며, 유입부와 유출부의 면적비를 2:1로 고정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 연소 팬 후면 50cm 거리에서 화염온도를 측정한 것이다. mobile fan만을 가동한 경우, 화염이동으로 인해 연소 팬 후면의 온도가 급격히 증가하였으며 fan 가동 45초만에 최고온도인 428℃까지 도달하였다. 반면에, mobile fan과 동시에 미세물분무를 방사한 경우에는 화염온도의 증가폭이 상당히 줄어들어 최고화염온도는 286℃를 나타냈다. 이러한 결과는, 연소 팬 후면으로 집중되었던 화염위치까지 미세물분무가 도달하여 화염면에서 냉각효과에 의한 온도상승을 대폭 감소시킨 것으로 판단된다. 또한, 전체적인 연소시간은 자유연소시에 417초, fan만을 사용한 경우가 347초, fan과 동시에 미세물분무를 방사한 경우는 332초가 소요되었다. 즉, fan 가동시 연료의 질량손실을 증가로 전체 연소시간은 감소하였다.

Fig. 4에는 팬에서 발생된 유량이 2.7m<sup>3</sup>/sec 일 때, 화염 직상부 40cm 높이에서의 목재화재의 경우에 온도 변화를 나타내었다. 경사각 0°의 경우 자유연소보다 약간 낮은 온도 분포를 나타내었으며, 경사각의 변화가 있는 경우에 경사각 0°의 경우보다 더욱

온도가 더욱 급감하였다. 또한, *n*-heptane fire에 비해 온도 감소 기울기가 완만하게 나타난 것은 wood crib 구조에 의한 crib 내부로의 fan의 영향이 급격히 나타나지 않음을 의미한다. *n*-heptane fire와 동일하게 목재화재에서도 fan에 의해 연소팬 직상부에서 화염이동 및 fan에 의한 냉각효과로 온도가 감소하였다.

구조물 내부에서 화재가 발생시 급속배기 시스템인 mobile fan을 사용할 경우 화재로 인해 발생된 연소가스를 단시간내 배출시킴으로서 사상자에 대한 생존가능성을 높이고, 화재진압 활동에 참여하는 소방관 등의 진화작업의 개선 및 가시거리를 높임으로서 효율적인 소화효과를 얻을 수 있다.

Fig. 5에는 5.9m<sup>3</sup>/sec에서 mobile fan과 동시에 미세물분무를 사용한 경우의 연기밀도를 나타내었다. 경사각이 없는 0°에서 30% 이상은 167초였으며 경사각 20°, 30°에서 연기밀도 30% 이상 체류시간은 fan만을 사용한 경우에 비해 각각 30초, 65초 감소한 211초, 227초가 소요되었다. 즉, 경사각 0°에서 가장 낮은 연기밀도를 나타내었으며, 경사각 20°의 경우는 fan만을 사용한 경우에 비해 미세물분무를 동시에 방사한 경우가 더욱 낮은 연기밀도를 나타냈다. 이는 mobile fan의 급속배기 효과와 동시에 미세물분무 입자에 연기입자가 결합하여 지면으로 낙하함으로써 연기밀도가 감소된 것으로 판단된다. 따라서, 경사각이 없는 경우가 경사각이 있는 경우 보다 더 빨리 배기되었으며, fan 만을 사용한 경우보다는 미세물분무를 동시에 사용한 경우가 더욱 짧은 체류시간을 나타냈다.

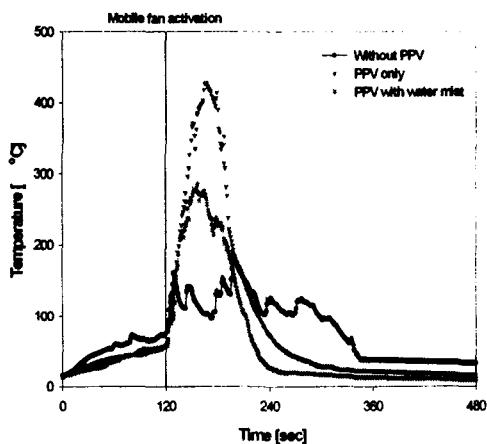


Fig. 3. Flame temperature of *n*-heptane fire using PPV systems. [50cm behind the combustion pan, Fan produced : 2.7 m<sup>3</sup>/sec]

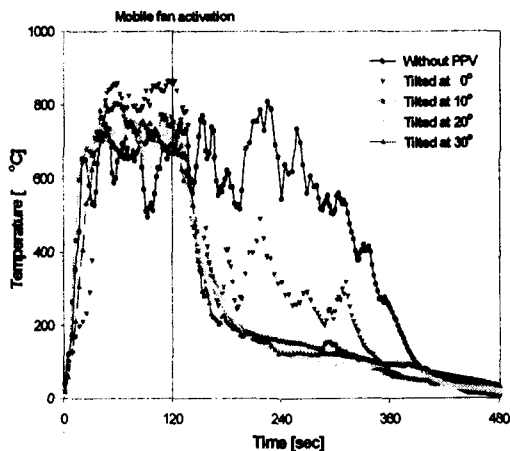


Fig. 4. Flame temperature of wood fire by PPV tilted. [40cm above the combustion pan, 2.7m<sup>3</sup>/sec, without water mist]

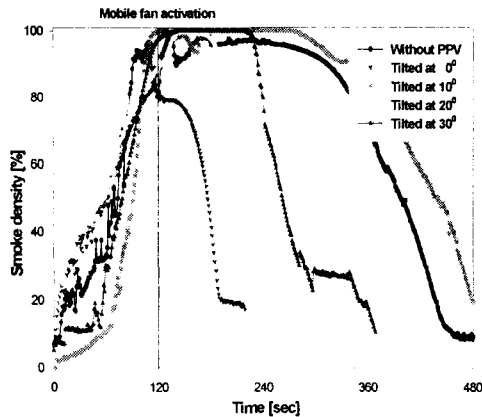


Fig. 5. Smoke density of *n*-heptane fire by PPV tilted.  
[Fan produced : 5.9 m<sup>3</sup>/sec, with water mist]

#### 4. 결론

화재진압 활동시 열·연기 및 연소생성물의 급속배기에 사용되는 PPV 방식에 미세물분무 시스템을 결합하여 mobile fan 가동과 동시에 *n*-heptane과 pine wood stick에 방사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

2.7m<sup>3</sup>/sec의 유량으로 mobile fan과 동시에 미세물분무 시스템을 가동시켰을 때, *n*-heptane fire의 연소팬 후면에서의 온도는 fan만을 가동한 경우보다 감소하였으며 목재화재의 경우, fan의 경사각이 10°, 20° 일 때 화염 직상부와 화염 후면의 온도가 가장 낮게 나타났다. 이는 경사각에 의한 유입부에서 sealing 효과의 차에 의한 구조물 내부로의 미세물분무 유입량 변화로 후면에서 증발 및 냉각효과가 나타난 것으로 판단된다.

5.9m<sup>3</sup>/sec의 유량으로 mobile fan과 동시에 미세물분무를 방사한 경우가 fan만을 가동한 경우보다 낮은 연기밀도를 나타냈다. 이는 급속배기 효과와 동시에 연기입자가 물에 흡착됨으로서, 구조물 내부의 연기밀도가 저하된 것으로 판단된다. 또한, 경사각의 변화가 없는 경우에, 경사각의 변화가 있을 때보다 더 낮은 연기밀도가 측정되었다.

#### 참고 문헌

1. J. Mittendorf, "Positive Pressure Training Manual of Tempest", Tempest Tech. Co., 1992
2. J. Rimen, "The Use of Positive Pressure Ventilation in Firefighting Operations", Fire Engineers, 60(206), pp.7-13, 2000