

# 미세물분무의 분사특성에 따른 n-Heptane 화염의 소화

이경덕 · 김영수\* · 신창섭

충북대학교 안전공학과 · \*신성대학 소방안전관리과

## 1. 서론

화재에 대한 소화방법으로서는 점화원의 냉각, 산화제 농도의 감소에 의한 화염의 질식 및 제거소화와 부촉매를 이용한 소화법이 있다. 이중 냉각소화방법은 주로 물을 사용하여 화재를 진압하고 있으나, 유류화재와 전기화재 등에서는 물보다 할론소화약제가 효과적으로 사용되어 왔다. 그러나 할론 등 CFC 계통의 소화약제는 환경오염물질을 내포하며, 지구온난화지수와 오존파괴지수 등이 높아 전세계적으로 그 사용이 중단되고 있다. 이에 대한 대체 기술의 하나로 최근에 관심이 고조되기 시작한 소화기술은 분무노즐을 이용한 미세물분무(water mist) 소화설비이다.

미세물분무 설비는 물을 소화약제의 주성분으로 사용한다는 점에서는 종래의 스프링클러설비와 비슷하나 스프링클러는 유류화재에는 부적합하고 소화 후 물에 의한 2차적 재해를 가중시킬 수 있는 단점이 있는 반면 미세물분무 설비는 물을 미립화하기 위해 수압이 높아야 하는 단점은 있지만 유류화재에 적용이 가능하고, 화재를 진압하는데 필요한 방수량은 스프링클러와 비교하여 아주 낮으므로 소화후 물에 의한 2차적인 재해를 감소시킬 수 있으며 방수후의 처리도 간단하다는 장점이 있다. 따라서 화재의 진압에 사용되고 있는 할론소화약제의 환경적 단점을 보완한 무독성 · 환경친화적인 소화약제의 개발과 스프링클러 소화설비의 단점인 낮은 소화능력을 보완한 대체 소화약제인 미세물분무 설비를 이용한 소화설비의 개발이 절실히 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 미세물분무에 의한 소화시스템을 개발하기 위한 기초 단계로 노즐의 종류와 압력에 따른 미세물분무의 입자크기와 유량밀도를 측정하고, 미세물분무 노즐을 이용한 n-heptane 화재의 소화실험을 행하여 화재의 진압현상과 소화시간을 규명하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

미세물분무의 분사특성에 가장 중요한 인자는 미립자의 크기, 분포, 방사각도, 분무형

태, 방사압, 유량 등이다. 이러한 분사특성에 대한 n-heptane의 소화특성을 실험하기 위하여 Fig. 1과 같은 단면적이 85cm×85cm이고, 높이가 130cm인 폐쇄공간의 중앙에 소화모형을 위치시켰다. 이때 사용한 소화모형은 연료용기의 형상에 따라 화염의 형태가 변할 것으로 판단되어 크기가  $\phi 12.5\text{cm}$ 인 원형과 11cm×11cm인 사각형 스텐레스로 하고, 연료는 80ml의 n-heptane을 사용하였다.

실험에 사용된 노즐은 작은 오리피스를 통과시켜 압력에너지를 운동에너지로 변환시킨 노즐인 압력형 분무노즐인 풀콘형(full cone type)과 중공원형(hollow cone type) 노즐을 사용하였다. 또 일정한 분무량을 얻을 수 있도록 하기 위해 고압질소통과 압력 조절기를 이용하여 10kg/cm<sup>2</sup>까지 수조를 가압하여 분무하였으며, 이때 노즐과 화염과의 수직거리는 1m로 하여 미세물분무를 방사하였다.

평균입자크기(SMD)는 Malvern 2600모델의 입자분석계를 사용하여 분사압력에 따라 미세물분무의 평균입경과 입경분포를 측정하였으며, 방사밀도분포를 측정하기 위해 동일한 크기의 채수통을 노즐을 중심으로 1m 떨어진 위치에 설치하여 3kg/cm<sup>2</sup>의 방사압력으로 1분간 방사후 각 채수통의 평균방사량을 측정하였다.

또한, 소화·억제효과를 확인하기 위해 열전대를 소화모형의 중앙 수직방향에 3개, 연기 배출구 부근에 1개를 설치하였으며, 소화는 미세물분무를 방사 후 20초 이내 화염이 소멸되는 것을 소화로 간주하였다.

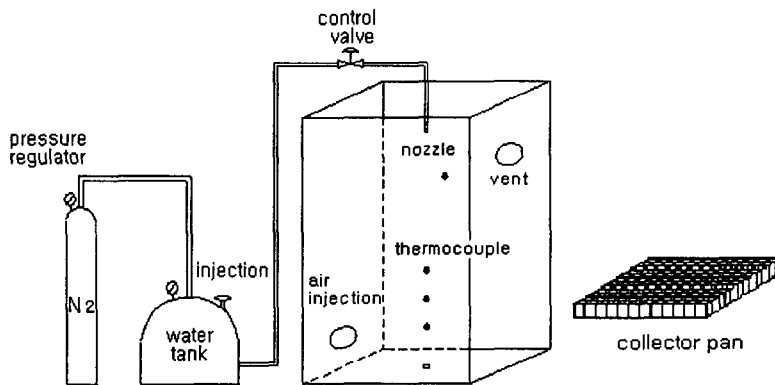


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

### 3. 결과 및 고찰

미세물분무 노즐에 의한 소화특성을 나타내기 위해 먼저 노즐의 분사특성을 결정짓는 방사압력과 분무유량 및 입자크기에 대한 측정을 하여 Fig. 2에 각 노즐로부터 분사되는 입자의 크기를 방사압력에 따라 측정한 결과를 제시하였다. 실험에 사용된 노즐의 평균 물입자 크기(SMD) 범위는  $75\mu\text{m}$ 에서  $151.4\mu\text{m}$ 사이 에 있으며, 방사압력이  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  인 경우 노즐 6의 SMD는  $97.2\mu\text{m}$ 로 가장 작은 입경을 나타내며, 노즐 5가  $151.5\mu\text{m}$ 로 가장 크게 측정되었으며, 방사압력이 증가할수록 물입자의 크기는 감소하였다. Fig. 3은 방사압력이  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  으로 방사된 경우 각 노즐의 방사유량밀도를 측정한 것으로 노즐 1과 2는 노즐 중심으로부터 반경방향에 균일한 방사량을 나타내며, 노즐 3과 4는 채수통 중심부의 방사밀도가 반경방향에 비해 상대적으로 적은 중공원형의 방사밀도 분포를 보이고 있다.

각 노즐에서  $3\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $6\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $8\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  의 압력으로 물을 방사시킨 경우 소화시간을 Fig. 4에 나타내었다. 이때 노즐 1과 2의 소화시간은 7sec와 5sec로 가장 짧은 것을 알 수 있는데 이는 노즐 1이  $129.9\mu\text{m}$ 이고 노즐 2는  $127.03\mu\text{m}$ 로 n-heptane 화재의 소화를 위해 hot gas와 화염으로부터 열흡수율을 증가시키고 물입자의 증발을 최적화시킬 수 있는 입자크기라는 것을 알 수 있으며, 또한 Fig. 3에 측정한 노즐의 분사형태가 노즐 중심으로부터 반경방향으로 일정하게 분포하므로 미세물분무가 증발됨으로 주위 방사열을 차단하고 산소농도를 감소시킴으로 소화시간이 가장 짧은 것으로 판단된다. 반면, 노즐 5와 6은  $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 물을 방사시킨 경우 소화시간은 30sec와 42sec로 길고 소화에 실패한 경우이다. 이는 노즐 5의 경우 입자크기가  $151.43\mu\text{m}$ 로 큰 경우 물의 체적팽창이 최대가 되지 못하고, 노즐 6은  $97.2\mu\text{m}$ 로 입자크기가 작은 경우 미세물분무가 화염에 침투하지 못하고, 화염의 기류와 함께 상승하여 날아가므로 주위 화염의 온도를 냉각시키지 못하므로 초기 소화시간이 가장 길게 나타났다.

Fig. 5는  $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 방사압력으로 분무시켜 각 노즐의 분무전과 후의 온도분포를 나타냈다. 이때 노즐 1과 2는 입자크기가  $129.9\mu\text{m}$ 와  $127.03\mu\text{m}$ 이며, 분무형태가 노즐 중심으로부터 반경방향에 일정한 방사량을 나타내는 노즐로 분무 후 온도가 급격히 저하되는 것을 알 수 있으나, 노즐 3과 4는 분무형태가 중공원 형태이며 입자크기는  $139.33\mu\text{m}$ 와  $107.98\mu\text{m}$ 로 소화시간은 분무 후 온도가 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 입자크기가 가장 큰 경우와 가장 작은 노즐 5와 6은 소화시간이 가장 길다는 것을 알 수 있다.

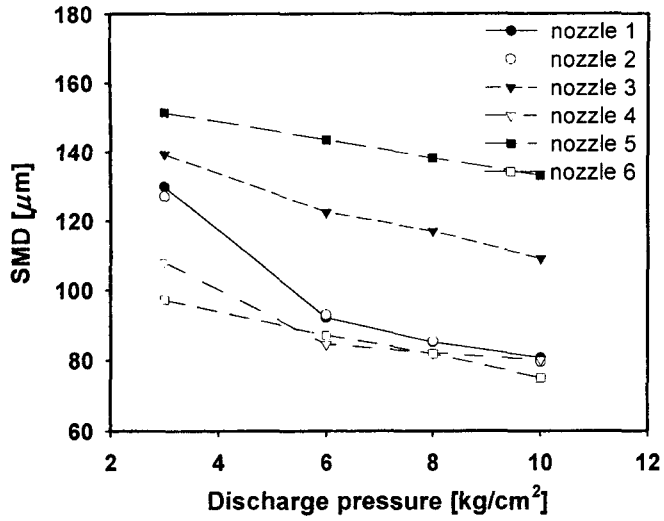


Fig. 2 Water mist droplet size by the change of pressure

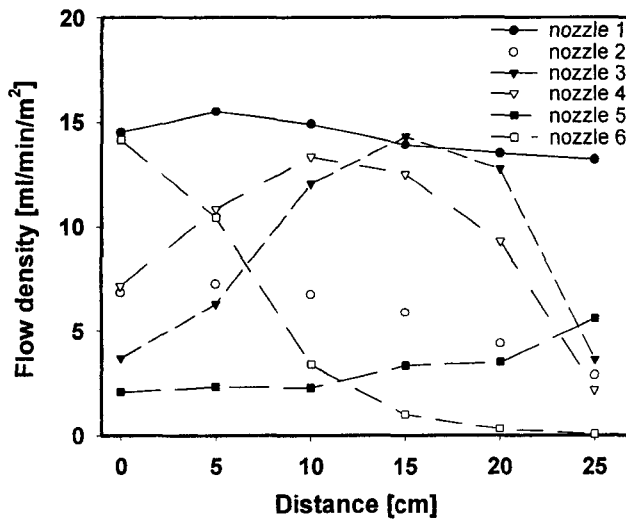


Fig. 3 Flow density of nozzle by the discharge pressure

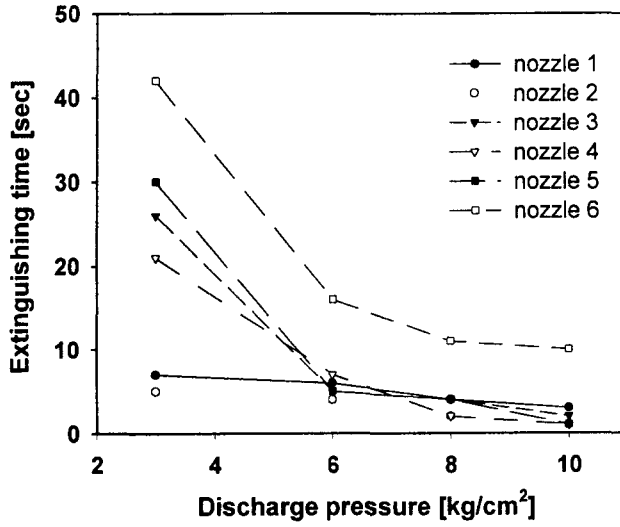


Fig. 4 Extinguishing time of flame after start of water mist application

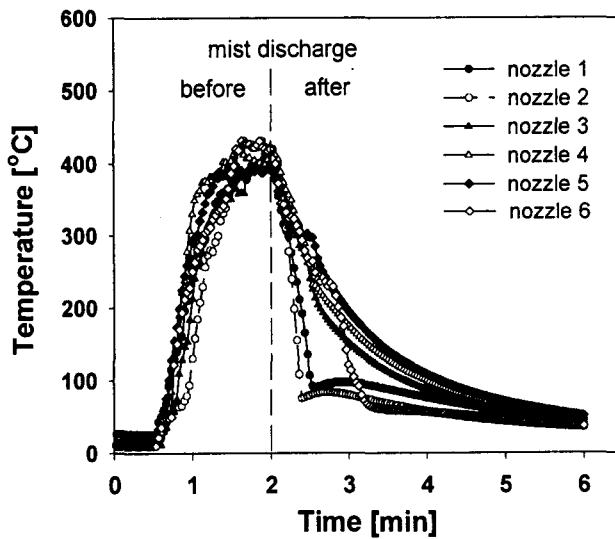


Fig. 5 Flame temperature distribution before and after water mist application

#### 4. 결론

할론 대체 소화설비의 하나인 미세물분무의 분사특성에 n-heptane 화재의 소화실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)  $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 방사압력으로 물을 방사한 경우 n-heptane 화재의 신속한 소화를 위해 최적의 미세물분무 입자크기는  $127.03\mu\text{m}$ 과  $129.8\mu\text{m}$ 이다.
- (2) 미세물분무의 입자크기가  $97.2\mu\text{m}$ 이하인 경우 화염구역내에서 증발되거나 그 경로가 바뀌어 연료표면에 도달되기 어렵고, 주위 화염의 온도를 냉각시키지 못하여 초기 소화시간이 가장 길게 나타났다.
- (3) 분무형태가 노즐 중심으로부터 반경방향으로 일정한 방사량을 나타내는 풀콘 형태의 노즐은 중공원형의 분무형태보다 소화시간이 짧다.
- (4) n-Heptane 화재시 방사압력이  $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 경우 노즐 1과 2를 제외한 나머지 노즐은 소화에 실패하였으나, 방사압력이  $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상 증가한 경우 실험에 사용된 모든 노즐은 소화시간이 20sec 이하로 성공적인 소화를 나타냈다.

#### 참고문헌

- (1) Liu, Z.G., Kim, A.K. "A Review of the research and application of water mist fire suppression systems - fundamental studies," *J. of Fire Protection Eng.*, 10, (3), pp. 32-50, 01, 2000.