

미세물분무 노즐의 설치조건에 따른 소화성능

이경덕, 김성원*, 신창섭*
(주)화이어텍, *충북대학교 안전공학과

Fire Extinguishing Performance by Installation Condition of Fine Water Mist Nozzle

Kyoungduck Lee, Sungwon Kim*, Changsub Shin*
FIRETEC. CO., LTD., *Dept. of Safety Engineering, Chungbuk National University

1. 서론

과거 50년전부터 물을 미립화하여 화재진압에 이용함으로써 소화효과를 극대화하기 위한 연구는 진행되어 왔다. 그러나 초기 미세물분무 시스템은 화재진압시 노즐로부터 연소표면까지 물분무 입자가 도달되지 못하는 문제와 미립화하기 위한 고압발생 및 이로 인한 마찰손실 등 경제적 문제로 인하여 사용이 제한되었다. 한편, 할론 소화약제가 오존층파괴와 지구온난화의 주요원인 물질로 알려지고 할론 소화약제의 생산이 중단됨으로서, 고압발생과 마찰손실로 인한 경제적인 문제의 인식전환으로 고정식 수계 미세물분무 소화설비에 대한 관심이 고조되었으며, 이에 미세물분무에 대한 연구는 이론적인 연구와 함께 소형 화재실험에 이르기까지 폭넓게 연구되고 있다.

화재 진압 성능에 있어 타 소화설비와 비교하여 소화성능이 우수하며, 환경친화적인 미세물분무 소화설비에 대한 연구는 외국의 여러 연구기관에 의해 진행되고 있으나, 화재 진압특성은 미세물분무의 특성과 방호대상물의 특성에 따라 달라지는데 이들의 관계가 아직도 명확히 규명되고 있지 못한 실정이다.

고압방식의 경우 고가의 설치비 및 유지비용이 따르는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 문제가 없는 저압방식의 방식을 채택하여 유류화재 실험에 적용하였다. 이 실험은 이전의 소규모 화재 실험결과¹⁾를 기반으로 방사압력, 노즐 설치 높이와 갯수 그리고 화염위치에 따른 소화성능을 측정하여, 미세물분무 시스템의 현장 적용성을 평가하고자 하였다.

2. 이론적 배경

미세물분무 입자의 증발과 관련한 수증기의 변화는 입자의 직경과 입자의 개수의 함수로 Heidelberg는 1ℓ의 물에 의해 발생하는 미세물분무 입자의 수와 총표면적을

제시하였으며, 입자의 총체적은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.²⁾

$$V_{\text{tot}} = i \frac{\pi D^3}{6} = 10^6 \quad (\text{mm}^3) \quad (1)$$

여기서 i 는 입자의 갯수이며, 입자직경 D 는 식(1)으로부터 식(2)와 같이 유도될 수 있으며²⁾,

$$D = \sqrt[3]{\frac{6 \times 10^6}{i\pi}} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

이로부터 입자의 표면적은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.²⁾

$$S_{\text{tot}} = i\pi D^2 \quad (\text{mm}^2) \quad (3)$$

1ℓ의 물에 의해 발생되는 미세물분무 입자의 수는 $10^3 < i < 10^{12}$ 개의 입자가 생성되며, 효과적인 미립화가 될수록 표면적이 증가한다는 것을 알 수 있다.²⁾

따라서 물을 50~300μm의 미립자로 분산시키게 되면 입자의 전체 표면적이 넓어져 주위 기체와의 열 및 물질전달이 활발하게 된다.²⁾ 또한, 화염 주위에 분무된 입자가 화재공간 전체를 덮어 화염으로부터 증발열을 받아 발생된 수증기는 산소농도의 저하·회석 및 질식효과에 의해 소화효과를 증대시킨다.

이러한 미세물분무에 의한 열의 흡수능력은 연료의 증발을 막고 연소물질을 냉각하여, 20~50%까지 대기의 열용량을 증가시켜 연소가 더 이상 지속될 수 없는 약 1,600K까지 화염온도를 낮춤으로써 화재를 진압한다.

또한 물은 표면장력이 커서 화재 내부로 침투되기 어려우나 가연물 표면과 화염면에 오랜 시간 잔존하게 되므로 물이 가지고 있는 증발잠열로 인해 냉각효과를 증가시킬 수 있으며, 고압으로 방사되는 물입자는 연소표면에서의 타격효과도 커지게 된다.

3. 실험 장치 및 방법

실제 소화실험을 위한 연소실을 Fig. 1과 같이 제작하였다. 연소실은 창이 달린 개구부가 존재하는 공간으로서 높이가 2.5m이고 면적은 2.5m×2.9m으로 화재실 전체 체적은 18.13m³이다. 연소실 바닥에 40cm×40cm×10cm의 연소 pan을 설치하였으며, 연료는 *n*-heptane을 사용하였다. 노즐 간격을 1m의 정사각형으로 하여 노즐을 2개 또는 4개를 사용하였으며, 노즐의 높이에 따른 미세물분무의 방사분포와 momentum의 변화가 화재진압에 영향인자임을 고려하여 노즐 높이를 연소 pan으로부터 각각 1.5m와 2.3m에서 실험을 실시하였다. 연소 pan의 위치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 변화시켜 실험하였다. 화재실에 미세물분무를 방사하기 위해 고압 질소를 이용하여 수조를 10kg/cm²으로 가압하여 소화실험을 실시하였다.

실험은 연소 pan 바닥에 물 3ℓ와 그 위에 *n*-heptane 2ℓ를 90sec간 자유연소 시킨

후 미세물분무를 방사하였으며, 화염의 소멸과 억제효과를 확인하기 위해 연소 pan 위에 20cm 간격으로 8개의 K-type(C-A)열전대를 설치하였다. 소화는 방사 후 300sec 이내 화염이 소멸되는 것을 소화로 간주하였다. 화염의 소멸 후 연소 pan의 잔존 연료에 재점화하여 연료의 완전소모에 의한 소화가 아니라, 미세물분무의 작용에 의한 소화인 것을 확인하였다.

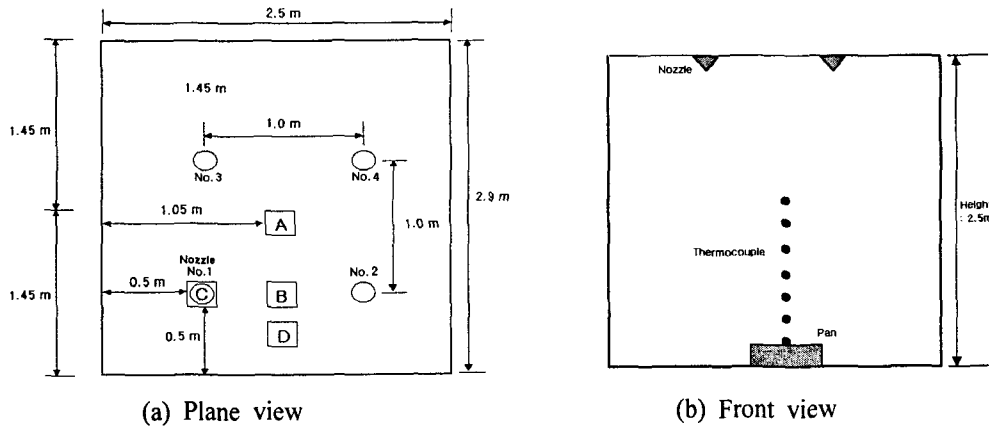


Fig. 1. Schematic of full scale experimental apparatus.

4. 결과 및 고찰

실제크기 소화실험에서는 노즐의 설치 높이와 설치 개수에 따른 포용반경의 변화 및 화염에 대한 운동량의 변화에 따른 소화성능을 측정하기 위해 D1, TG1노즐 각각 4개를 화재실의 중앙에 1m간격의 정사각형으로 설치하였으며 7N3노즐은 출입구 쪽에 2개를 설치하였다. 방사압력은 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 이고, 노즐의 설치높이는 1.5m와 2.3m에서 방사하였다. 이때 채수통은 화재실 바닥의 1/4의 면적에 설치하여 방사된 물의 양을 측정하였으며, 측정결과를 Fig. 2에 나타내었다.

$10\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 D1노즐을 1m의 간격으로 4개를 정사각형으로 설치하여 노즐 직하부에서 방사분포를 측정한 결과 높이 1.5m에서의 유량은 $9.35\text{ml}/\text{min}$ 이며, 2.3m에서는 $8.79\text{ ml}/\text{min}$ 을 나타냈다. 또한, 노즐과 노즐이 중첩되는 영역에서의 유량은 $4.8\text{ml}/\text{min}$ 과 $6.48\text{ml}/\text{min}$ 이며, 중첩되지 않은 중앙으로부터 54cm에서는 $0.88\text{ml}/\text{min}$ 과 $1.74\text{ml}/\text{min}$ 을 나타냈다. D1노즐의 방사분포는 노즐 직하부에서 유량이 극부적으로 많은 원형형상으로 노즐의 설치 높이가 높아질수록 방사면적이 넓어짐을 알 수 있었다.

또한, TG1노즐이 중첩되는 영역에서 높이 1.5m인 경우 유량은 $6.21\text{ml}/\text{min}$ 과 2.3m에서 $6.95\text{ml}/\text{min}$ 을 나타냈으며, 노즐 중심인 직하부에서의 유량은 $10.53\text{ml}/\text{min}$ 과 $9.89\text{ml}/\text{min}$ 을 나타냈으며, D1노즐의 방사분포와 비교하면 TG1노즐이 방사분포가 넓고 방사전역에 걸쳐 D1노즐보다 유량이 11% 증가하였다.

7N3노즐은 연소실 출입구 쪽에 2개를 설치하였으며, 측정결과 노즐 중심으로부터 방사 영역 전체에 균일한 방사량을 나타냈다. 이는 1m 높이에서 방사하였을 때 바닥 직경 1.1m에서 전체 유량밀도의 65%를 차지하는 7N3 노즐의 특성 때문이다. 또한 높이 1.5m와 2.3m에 설치한 경우 노즐 직하부에서 54cm떨어진 가장자리에서 2개의 방사량은 DI, TG1 노즐 4개보다 유량이 3.5배가 증가하였다.

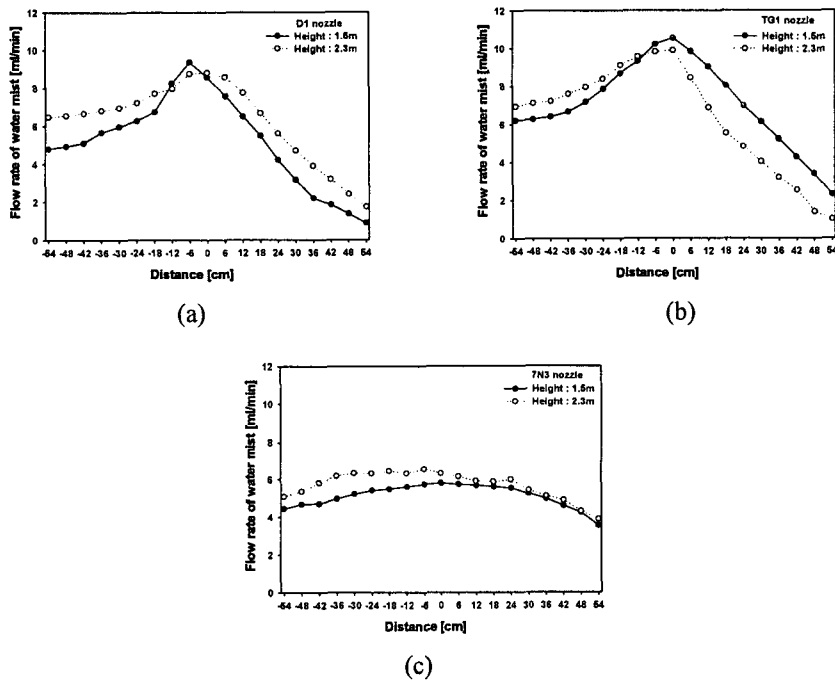


Fig. 2. Discharge distribution by the change of height of nozzle at discharge pressure of 10kg/cm².

Fig. 3은 연소 팬이 B위치인 경우 7N3노즐 2개를 설치높이 1.5m와 2.3m에서 방사하였을 때 방사압력 변화에 따른 화염온도 변화이다.

Fig. 3(a)에서 자유연소시간 90sec를 빼면 미세물분무를 방사하지 않은 화염의 소멸시간은 305sec였으며, 1.5m에서 3kg/cm², 10kg/cm²로 방사한 경우 각각 396sec, 10sec 후 화염이 소멸되었다. 또한 Fig. 3(b)에서 2.3m 높이에서는 3kg/cm²로 방사한 경우 312sec, 10kg/cm²에서 20sec 후에 화염이 소멸되었다.

이때 2.3m에서 3kg/cm²로 방사하였을 경우 화염의 온도변화는 1.5m에서 보다 심하게 변화되는 현상을 나타냈다. 이러한 결과는 방사압력이 낮고, 노즐의 설치높이가 높아질수록 화염에 대한 미세물분무 입자의 운동량은 낮아지게 된다. 따라서 입자의 낙하거리와 입자수명이 감소에 기인한 수증기 막 형성 높이의 상승으로 화염의 온도변화가 불규칙하게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 방사압력이 3kg/cm²에서 10kg/cm²로 증가함에 따라 방사유량, 입자 운동량이 증가하여 그 결과 수증기막 형성 높이가 낮아지게 된다. 그리고 화염으로부터의 열흡수량, 흡수속도, 냉각효과는 증가하고 화염

으로 유입되는 공기의 차단효과에 의해 소화시간이 짧아졌다.

Fig. 4는 7N3노즐의 설치 높이와 연소 pan의 위치 변화에 따른 화염의 온도변화를 나타낸 결과이다. B위치에서의 화염은 높이 1.5m와 2.3m에서 미세물분무를 방사 후 15sec와 18sec 후에 소화되었으나, 노즐 직하부인 C위치에서의 화염은 높이가 1.5m에서 2.3m로 증가됨에 따라 소화시간은 33sec에서 52sec로 길어졌다.

따라서 Fig. 3과 Fig. 4로부터 7N3노즐은 화염의 위치가 노즐 직하부일 경우 방사 높이가 높아질수록 화염에 대한 미세물분무의 운동량이 감소하므로 소화시간이 길게 나타났다. 또한, 방사영역이 겹치는 영역의 화염은 두꺼운 분무 커튼 층에 의한 방사 열 차단, 산소 공급의 차단으로 질식효과가 증가하여 소화시간이 감소하였다.

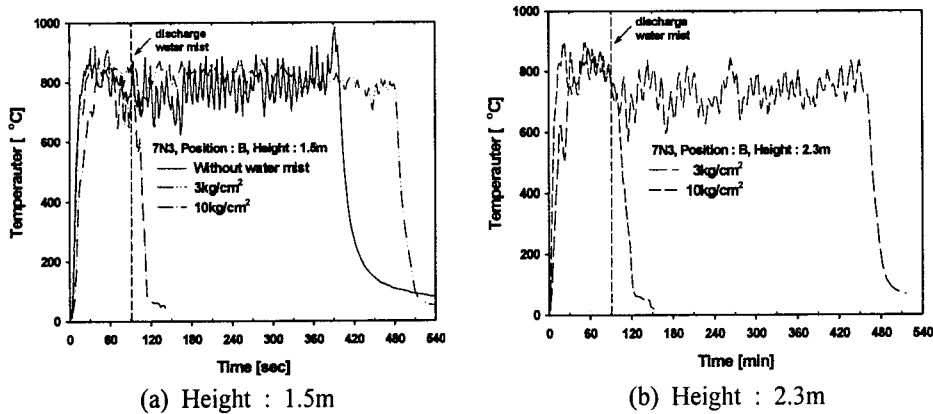


Fig. 3. Flame temperature by the change of nozzles height and discharge pressure at position B.

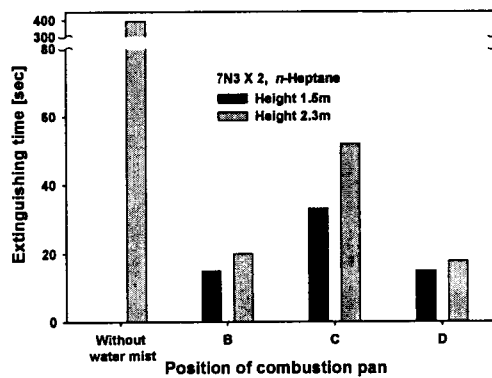


Fig. 4. Extinguishing time according to the position of combustion pan using 7N3 nozzles.

Fig. 5는 연소 팬이 B위치이고 노즐 설치 높이가 1.5m인 경우 각 노즐의 화염온도 변화를 나타낸 결과로 이때 노즐은 2개를 설치하였다. 7N3노즐의 화염온도는 방사초기 산소의 유입으로 화염의 온도변화가 발생하였으나 방사 후 15sec에 화염이 소멸되었다. TG1노즐은 D1노즐 보다 입자크기와 방사각도가 크다. 따라서 화염에 대한 미세물분무 입자의 큰 포용반경으로 인해 산소유입을 차단하는 증기막이 D1노즐 보다 넓게 형성되어

화염의 소멸시간이 짧게 나타났다. 반면 D1노즐은 좁은 방사면적으로 화염에 유입되는 산소가 효과적으로 차단되지 못하여 소화시간은 176sec로 나타났다.

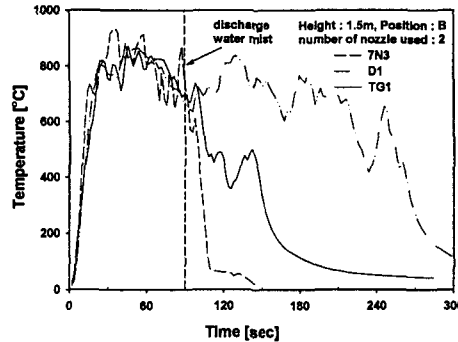


Fig. 5. Flame temperature by the type of nozzle at position B.(height : 1.5m, number of nozzles : 2)

5. 결론

본 연구에서는 소형 화재 실험을 기반으로 실제 규모 화재 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 방사분포가 노즐의 직하부에 집중되는 노즐보다 방사전역에 일정한 방사분포를 나타내는 노즐의 소화시간이 짧게 나타났다. 즉, 미세물분무 소화성능은 화재에 대한 노즐의 설치 위치 및 방사분포에 의존되며, 이와 함께 넓은 방사분포에 의한 분무 커텐의 형성으로 화재의 확산이 방지될 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 방사압력이 증가함에 따라 방사용량, 입자운동량이 증가하여 수증기막의 형성높이가 낮아지게 되므로 화염으로부터 열흡수량의 증가에 의한 냉각효과가 증가하고, 화염으로 유입되는 공기의 차단효과에 의해 소화시간이 짧아진 것으로 판단된다.

(3) 화염이 노즐 직하부에 위치한 경우 노즐의 설치 개수가 2개이고 설치높이가 낮을수록 소화시간은 길게 나타났다. 이는 화염으로부터 발생하는 연소가스가 연소실 천장으로 상승되고 연소실 상층부에 체류하고 있는 공기가 하강하여 화염으로의 산소유입 즉, 산소유입량 차이로 인해 소화시간이 길어진 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 신창섭, 이경덕, “방사특성 변화에 따른 미세물분무의 소화특성”, 한국화재·소방학회, 15(4), 2001, pp.41~48.
2. Grant, G., J. Brenton and D. Drysdale, “Fire Suppression by Water Sprays”, *Progress in Energy and Combust. Sci.*, 26, pp. 79~130, 2000.