

미세물분무 소화설비의 현장적용을 위한 실험적 평가

김성원 · 이경덕 · 원정일* · 신창섭

충북대학교 안전공학과 · *충북과학대학 환경생명과학과

1. 서 론

환경문제를 야기하는 할론 소화설비의 사용이 금지되면서 대체소화설비로 관심을 끌며 연구되기 시작한 미세물분무 소화설비이다. 미세물분무는 고압에서 물을 방사하여 $Dv_{0.99}$ 가 $1,000\mu\text{m}$ 미만의 물입자를 만들며 작은 물입자로 인해 표면적의 증가와 증발특성이 우수하고, 산소농도를 감소시키는 질식작용과 화염의 냉각작용에 의해 소화작용을 상승시킨다. 이러한 미세물분무의 소화작용에 대한 소규모 화재실험을 기반으로 유류 화재의 진압·소화특성에 대한 실용화를 위해 실제크기 화재실험을 하였다.

실험 결과, 노즐 중심으로부터 반경방향에 이르는 방사포용면적 전체에 걸쳐 균일한 방사량을 나타내는 노즐은 연소실의 중앙에 놓인 화염에 대해 분무커텐의 형성에 의해 소화시간이 짧게 나타났다. 또한, 노즐 중심에 국부적 방사량 증가를 나타내는 노즐은 노즐 직하부에서의 소화시간이 짧게 나타났다.

2. 실험장치 및 방법

실제 소화실험을 위한 연소실을 Fig. 1과 같이 제작하였다. 연소실은 창이 달린 개구부가 존재하는 공간으로서 높이가 2.5m이고 면적은 $2.5\text{m} \times 2.9\text{m}$ 이며, 연소실 바닥에 $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 10\text{cm}$ 의 연소 pan을 설치하였고, 연료로는 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 1.5m, 2.3m에서 실험을 하였으며, 연소 pan의 위치는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 변화시켜 실험하였다. 미세물분무를 방사하기 위해 고압 질소를 이용하여 수조를 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 가압하여, 소화실험을 하였다. 이때 소규모 화재실의 체적은 0.83m^3 이며, 실제규모 화재실 체적은 18.13m^3 로 연소실이 20배 증가한 만큼 연료량도 20배 증가시켜 연소시켰다.

실험은 연소 pan 바닥에 물 3ℓ와 그 위에 n-heptane 2ℓ를 90초간 자유연소 시킨 후 미세물분무를 방사하였으며, 화염의 소멸과 억제효과를 확인하기 위해 연소 pan 위에 20cm 간격으로 8개의 K-type 열전대를 설치하였다. 소화는 방사 후 300초 이내 화염이 소멸되는 것을 소화로 간주하였다. 화염의 소멸 후 연료의 완전소모에 의한 소화인지 미세물분무의 작용에 의한 소화인지를 판단하기 위해 잔존 연료에 재점화

하여 확인하였다.

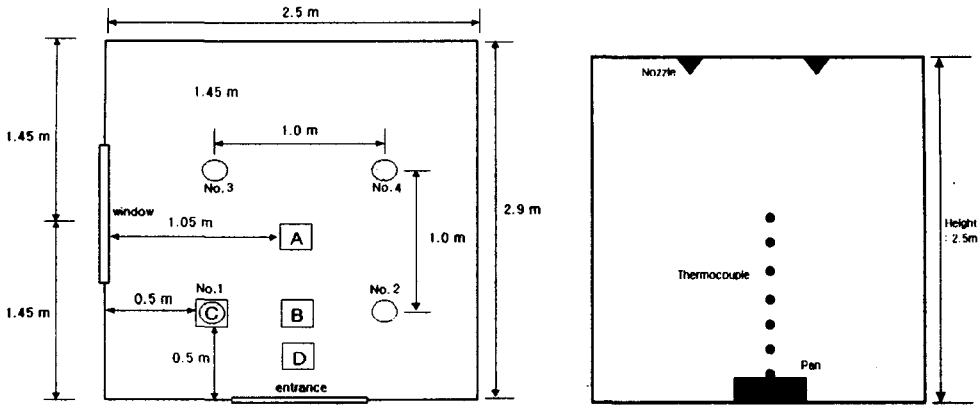


Fig. 1. Schematic of Experimental Apparatus.

Table 1. Characteristics of Nozzles. (Discharge Pressure : 3kg/cm²)

Nozzle	Orifice diameter (mm)	Flow rate (l/min)	Droplet size (μm)	Angle (°)	Theoretical coverage at 1m (mm)
TG1	0.94	0.74	176.42	57	1084
D1	0.79	0.59	178.7	40	728
7N3	-	1.4	134.96	-	1700

3. 실험 결과

노즐을 2.3m 높이에 설치한 경우 10kg/cm²에서 방사분포를 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. D1과 TG1노즐은 4개를 방사시켰으며, 7N3노즐은 출입구 쪽에 2개 방사시킨 유량을 나타낸 분포이다. 이때 D1과 TG1노즐은 직하부에서의 유량이 국부적으로 많은 full cone 형태를 나타냈으며, 7N3노즐은 노즐 중심으로부터 방사영역 전체에 걸쳐 균일한 방사량을 나타냈다. 이는 1m 높이에서 방사한 경우 바닥직경 1.1m에서 전체 유량밀도의 65%를 차지하는 7N3노즐의 특성 때문이다. 노즐 중첩부에서 D1, TG1노즐 4개의 방사량은 7N3노즐 2개 보다 1.3배 증가하였다.

7N3노즐의 설치 높이와 연소 pan의 위치 변화에 따른 소화시간을 Fig. 3에 나타내었다. 7N3노즐을 연소실 출입구쪽에 2개를 높이 1.5m와 2.3m에서 미세물분무를 방사한 경우 높이 1.5m에서 소화시간은 B위치의 연소pan의 경우 15초, C는 33초, D는 15초를 나타냈으며, 2.3m에서는 B위치가 20초, C는 52초, D는 18초였다. 이는 B와 D에 위치하는 연소 pan은 방사면적이 중첩되는 영역으로 미세물 분무에 의해 두꺼운 분무층이 형성된다. 따라서 C 위치보다 분무 커텐 층이 두꺼워 지므로 공기 유입이

어려워 질식에 의한 소화가 이루어지는 것으로 판단된다. 또한 B와 D위치에서의 높이 변화에 따른 소화시간은 그 차이가 5초이내이며, C위치에서의 소화시간은 19초의 차이가 있었다. 이는 C위치에서 노즐로부터 방사되는 미세물입자의 운동성이 화염에 대해 직하부이나 B와 D위치에서는 포물선의 형태로 나타나게 되어 노즐 설치높이에 따른 momentum이 소화시간에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

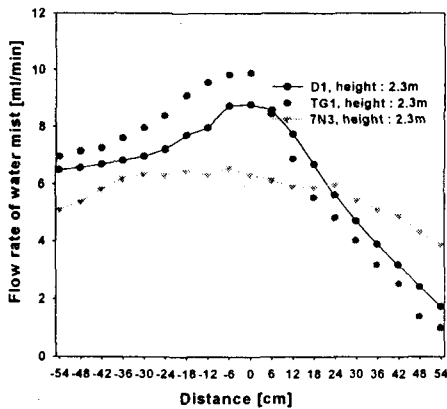


Fig. 2. Discharge distribution at 10kg/cm².

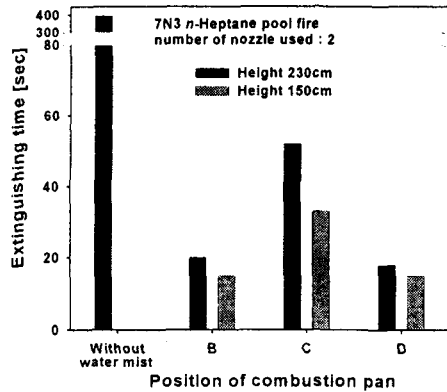


Fig. 3. Extinguishing time by the position of combustion pan at 10kg/cm².

D1노즐을 1m의 정방형으로 4개 설치한 경우와 출입구 쪽에 2개를 설치한 경우 높이 변화에 따른 소화시간을 Fig. 4에 나타냈다. A위치에 있는 화염에 대해 4개 노즐을 방사한 경우의 소화시간은 1.5m에서 32초, 2.3m에서 26초였으며, C위치에서는 81초, 41초로 나타났다. 이는 D1노즐이 A위치 연소 pan에 유입되는 방사량이 C위치 방사량보다 적으나, 4개의 노즐에서 방사되므로 화염주위에 분무커텐 형성에 의한 공기유입의 차단에 의해 소화시간이 감소한 것으로 나타났다. B위치에서의 화염은 노즐 개수가 증가함으로서 소화시간이 길게 나타났으며, 노즐의 설치높이가 낮을수록 소화시간이 길게 나타났다. D위치에서 노즐 개수가 4개인 경우 소화시간은 1.5m에서 68초, 2.3m에서 88초로 나타났다.

노즐 설치 수량이 2개이고 노즐의 설치높이가 2.3m일 때 연소 pan의 위치 변화에 따른 각 노즐의 소화시간을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. B위치에서 소화시간은 7N3노즐이 18초이며, D1노즐은 100초, TG1노즐이 46초를 나타냈다. 이때 B위치에서의 방사량은 7N3노즐이 173ml/min이며, TG1노즐이 45ml/min으로 7N3 노즐의 방사량이 4배 많았다. 즉, 방사량이 증가할수록 화염의 냉각효과가 촉진되며, 넓은 방사분포에 의해 분무커텐의 두께가 두꺼워져 소화시간이 감소된다는 사실을 알 수 있다. 또한 TG1노즐은 방사형태가 노즐의 직하부에 집중되는 형태로 C위치에서의 전체방사량은 7N3가 503ml/min로 TG1 435ml/min보다 많지만, C위치에서 소화시간이 감소한 것은 TG1노즐이 입자크기가 119 μ m이며 방사각도가 53°이므로 7N3노즐 보다

큰 momentum이 작용하여 소화시간이 짧아진 것으로 판단된다.

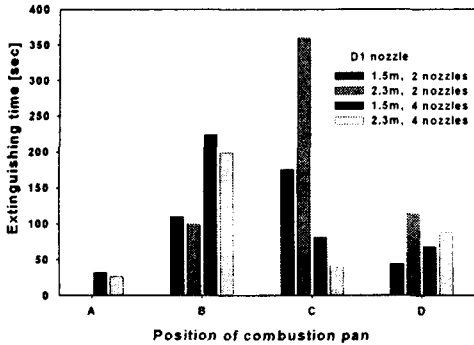


Fig. 4. Extinguishing time by installing height and number of D1 nozzle.

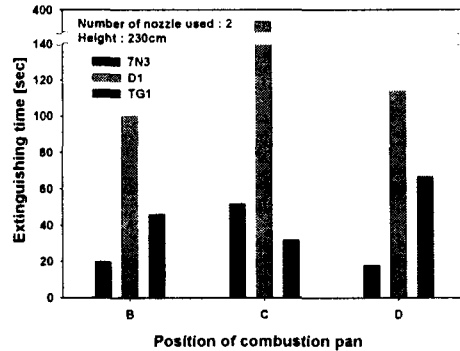


Fig. 5. Extinguishing time by the position of combustion pan and nozzle type at 2.3m.

4. 결론

실제화재에서의 적용가능성을 알아보기 위해, 미세물분무 소화설비 실험d을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 방사분포가 방사전역에 걸쳐 일정한 노즐의 소화시간이 짧게 나타났다. 이러한 결과는 화염주위에 분무커텐의 형성으로 공기유입을 차단하기 때문이다. 또한, 노즐 직하부에 방사량이 집중되는 노즐은 방사의 직접적인 영향으로 소화시간이 감소하였다.

(2) 실제규모 화재실험에서 노즐 개수가 2개 또는 4개로 늘어날 경우 노즐 직하부의 연소 pan에 방사되는 경우보다 노즐의 방사분포가 중첩되는 연소 pan에서 소화시간이 감소하였다. 이는 화염주위에 방사함으로서 미세물분무에 의한 분무커텐의 형성과 수증기 증발·팽창에 의해 공기유입이 차단되는 것에 기인한다.

(3) 실제 규모 화재 실험에서 7N3노즐 2개를 설치한 경우 노즐의 설치높이가 2.3m 일 때, 화염위치별 소화시간은 B위치, D위치, C위치 순으로 소화효과가 감소하였으며, 노즐의 직하부인 C위치에서는 52초를 나타냈다.

참고문헌

1. 신창섭, 이경덕, “방사특성 변화에 따른 미세물분무의 소화특성”, *한국화재·소방학회지*(4), pp.41-48, 2001.
2. Liu, Z.G. A.K. Kim, J.Z. Su, “Examination of Performance of Water Mist Fire Suppression Systems under Ventilation Conditions”, *J. of Fire Protection Eng.*, 11(3), pp.164-193, 2001.