

B-08

## 미세물분무 소화건의 소화성능에 관한 비교실험 연구

이수경, 고명재, 이성규\*

서울산업대학교 안전공학과, 수원대학교 화공생명공학과\*

### A Study on Fire Extinguishing Comparative Test of Water Mist Gun

Su-Kyung Lee, Myung-Jae Koh, Sung-Kyu Lee\*

Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

Dept. of Chemical Engineering, The University of Suwon\*

#### 1. 서론

미세물분무 소화설비는 과거 50년 전부터 물을 미립화하여 화재진압에 이용함으로써 소화효과를 극대화 하는 연구가 진행되어 왔다. 하지만 초기 미세물분무 시스템의 사용은 화재 진압 시 노즐로부터 연소표면까지 물 분무 입자가 도달하지 못하는 문제와 미립화하기 위한 고압발생 및 이로 인한 마찰손실 등 경제적 문제로 인하여 사용이 제한되었다. 그러나 할론 소화약제의 사용이 제한된 현재 미세물분무 소화설비의 현장 적용이 현재 촉진되고 있다.

미세물분무의 분사 특성 및 입자특성과 화재진압 특성의 관계 규명에 대한 연구는 가연성액체, 기체 및 전기 등의 화재로 인한 손실의 방지를 위해 미세물분무 소화설비의 성공적인 개발 및 이의 실용화가 필수적이다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 미세물분무의 원리

미세물분무의 화재소화원리는 화염과 연층냉각, 연료표면 냉각과 복사열 제거, 산소 제거로 나눌 수 있다. 화염과 연층냉각은 화염과 고온의 가스로부터 열을 제거하는 원리이다. 화염냉각은 연료표면으로부터의 복사를 줄여 연료의 열분해율을 낮추는 역할을 하며, 만약 화염의 온도가 연소가 일어나는 한계온도 이하로 냉각되면 화재는 소화될 것이다. 하지만 화염냉각과 연층냉각 효과는 화원에 도달하는 물분무의 양을 측정하거나 예측하기가 쉽지 않아 화재소화의 예측이 어렵다.<sup>1)2)</sup>

연료표면냉각은 연료의 열분해율을 줄여 상온에서 가연성의 증기 혼합물을 생성하지 못하도록 하는 원리이다. 이러한 원리는 점화온도가 높은 고체연료나 디젤과 같은 액체 연료의 소화 작용에 지배적일 수 있다.

마지막으로 산소제거는 액체상태의 물이 수증기로 될 때 약 1,600배정도 부피가 증가하여 공기 중의 산소의 농도를 줄이며 산소가 화재진원지로 확산되는 것을 차단하는 원리이다. 액적의 증기화가 화염 근처에서 일어나게 되면 체적 팽창에 의해 근처의 산소를 차단한다. 이러한 산소제거는 국지적으로나 전 공간에 걸쳐 일어나게 되며 화재의 크기와 연료의 특성, 화재공간의 기하학적인 형상, 환기조건에 영향을 받게 된다. 화재의 크기가 증가하게 되면 공간의 평균온도가 상승하게 되고, 화재에 의한 산소소모와 액적에 의한 산소제거로 인해 어느 한계값 이하로 산소농도가 감소하게 되면 화재는 진압된다. 이러한 일정한 산소농도의 한계값은 실험에 사용된 연료의 특성에 따라 LOC(limiting oxygen concentration)로서 13%~18%로 정의된다.<sup>1)</sup>

## 2.2 미세물분무의 생성방법 및 분무특성

일정한 부피의 액체를 많은 수의 작은 액체 입자들로 분산시키게 되면 액체의 전체 표면적이 넓어지게 되므로 분산된 액체와 주위 기체사이의 열 및 물질전달(증발이나 응축), 그리고 화학반응이 활발하게 되는데 이러한 액체의 분산과정을 미립화라고 하고 분산되어 있는 상태의 액체를 분무라고 한다. 이와 함께 미세물분무의 생성원리는 액체 내부 또는 외부에 작용하는 힘에 의해 표면장력으로 유지되는 액체의 응집상태가 파괴되는 것이다.

물은 큰 표면장력으로 인해 미립화하기 어려운 액체로 소화설비용 분무노즐은 미세물분무의 입자크기, 유량, 방사량이 각 분류범위 내에서 고유한 특성을 가지며, 분무노즐의 분사형태에 따라 중공원형 노즐(hollow cone nozzles), 원형 노즐(full cone nozzles), 부채꼴형 노즐(flat nozzles)로 분류된다. 이와 함께 액체입자에 에너지를 공급하는 방법에 따른 노즐의 종류는 표.1과 같이 분류할 수 있다.

표 1. 액체입자에 에너지를 공급하는 방법에 따른 노즐의 종류<sup>1)</sup>

Type	Description
pressure atomizer	Plain orifice nozzle swirl spray nozzle Fan spray nozzle
Rotary atomizer	Spinning disk Rotary cup
Twin-fluid atomizer	Internal mixing External mixing

또한 NFPA는 미세물분무를 발생시키는 기술을 저·중·고압장치로 압력에 따라 분류하였다. 저압장치는 12.0bar(175psi) 이하의 압력에서 작동하고, 중압장치는 12.0bar(175psi)에서 34.0bar(500psi)사이에서 작동되며, 고압장치는 34.0bar(500psi)이상의 압력에서 작동한다고 정의하고 있다.

물을 50~300 $\mu$ m의 미립자로 분산시키게 되면 입자의 전체 표면적이 넓어져 주위 기체와의 열 및 물질전달이 활발하게 된다. 화염주위에 분무된 입자가 화재 공간 전체를 덮어 화염으로부터 증발열을 받아 발생된 수증기는 산소농도의 저하·희석 및 질식효과에 의해 소화효과를 증대시킨다.

### 2.3 미세물분무의 소화 메커니즘

미세물분무를 이용하여 화재를 억제·소화하기 위한 3가지 지배적인 방법은 냉각, 증발에 의한 산소치환 및 질식, 방사열을 저하시키는 것이다. 그림.1에 화재에 대한 미세물분무의 소화 메커니즘을 나타내었다.

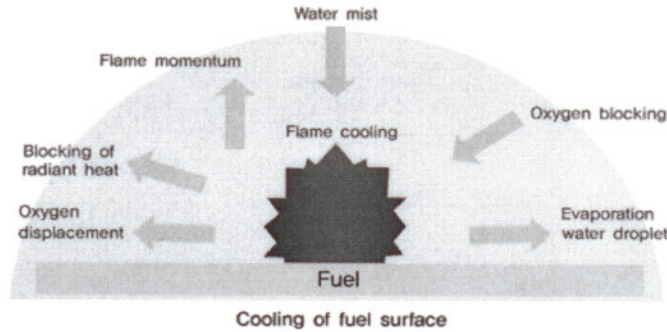


그림.1. 미세물분무의 소화 메커니즘

화재의 진압에 있어 미세물분무의 냉각 메커니즘은 화염냉각과 가연물냉각으로 구분된다. 화염냉각은 미세물분무 입자가 화염속으로 유입될 때 물이 수증기로 변화하도록 하는데 기여하며, 열을 흡수하는데 있어 물 전체가 증기로 증발할 때 소화를 위해 필요한 열 흡수가 응축된 증기 또는 부분적으로 증발된 물과 비교해서 반감될 수 있다.

## 3. 실험방법

### 3-1. 목재 화재실험

연소대에는 3L의 휘발유를 넣어서 최초의 모형으로부터 순차적으로 불을 붙인다. 소화는 최초의 모형에 불을 붙인 다음 3분 후에 시작하되, 불을 붙인 순으로 한다. 이 경우 그 모형에 잔염(불꽃을 알아볼 수 있는 상태를 말한다.)이 있다고 인정될 경우에는 다음 모형에 대한 소화를 계속 하면 안 된다. 소화는 무풍상태(풍속이 0.5m/s 이하)와 사용 상태에서 실시한다. 소화약제의 방사가 완료된 때는 잔염이 없어야 하며, 방사완료 후 2분 이내에 다시 불타지 아니한 경우 그 모형은 완전히 소화된 것으로 본다.

목재는 건조한 소나무나 오리나무로 한다. 목재의 규격은 길이 900mm 높이 35mm의 목재를 14개 사용하여 쌓아놓는다 이때 목재와 목재와의 간격은 양끝 쪽은 189mm이고 그 외의 간격은 174mm이다. 바닥으로부터의 목재의 높이는 400mm가 되게 한다.

### 3-2. 유류 화재실험

유류의 소화는 모형에 불을 붙인 다음 1분 후에 시작한다. 소화기를 조작하는 자는 방화복을 착용하지 아니하며, 소화는 무풍상태와 사용 상태에서 실시한다. 소화약제의 방사완료 후 1분 이내에 다시 불타지 아니한 경우 그 모형은 완전히 소화된 것으로 본다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 목재 화재에 대한 소화성능 실험결과

A급 신청단위 목재화재에 대해 미세물분무 소화건의 소화성능에 대한 실험결과는 다음과 같다.

표 2. A급 목재화재 실험 결과

구 분	기 준	소화여부	시 간	비 고
미세물분무 위주	A급 신청단위 (1단위)	○	35초	재 발화
직사분사 위주	A급 신청단위 (1단위)	○	30초	목재가 쓰러짐

##### 4.1.1 미세물분무 위주 방사패턴

목재에 점화를 시킨 후 미세물분무 위주 방사패턴의 미세물분무 소화건으로 소화하였다. 소화를 시작하고부터 소화하는 사람이 소화를 마쳤을 때까지의 시간은 총 35초가 걸렸다. 하지만 소화를 완료한 후 2분의 확인시간 동안 목재에서 재 발화가 일어나는 현상이 나타났다. 이렇게 재 발화가 일어나는 현상은 소화하는 사람이 완벽하게 불씨를 끄지 않은 점이 원인이라고 볼 수 있으며, 소화 시에는 확실하게 마지막 불씨까지 없애야 한다는 필요성을 일깨워주었다.



그림 2. 목재 화재에 대한 미세물분무 및 직사분사 위주의 소화성능 실험

##### 4.1.2 직사분사 위주 방사패턴

직사분사 위주 방사패턴 미세물분무 소화건의 소화실험에 대해서는 소화하는 데까지 30초의 시간이 걸려서 미세물분무 위주의 방사패턴보다 소화하는데 걸린 시간은 더 빠른 것으로 측정되었다. 하지만 소화하는 과정에서 목재가 쓰러지는 현상을 볼 수 있었고, 이것에 대해 원인을 살펴보았다.

미세물분무 소화건은 물방울을 미세하게 만들어 고압으로 분사시켜 얻는 냉각효과와 산소질식효과를 이용하여 화재를 진압하는 원리를 사용하는 소화설비인데 직사분사 위주의 방사패턴은 이러한 미세물분무보다 관창에서 나가는 직사분사에 의해 화재가 진압되었고

그 결과로 목재가 쓰러지는 현상이 나타나게 된 것이다. 즉, 직사분사를 위주로 한 방사패턴은 분무에 의해 소화가 된 것으로 판단하기 보다는 직사분사에 의해 화재를 진압했다는 판단을 할 수 있다. 결국 직사분사 위주의 방사패턴 소화는 수손의 피해를 줄일 수 있는 미세물분무 소화건의 장점을 살릴 수 없는 것으로 판단되었다.

#### 4.2 유류 화재에 대한 소화성능 실험결과

B급 유류화재에 대한 미세물분무 소화건의 소화실험 결과는 다음과 같다.

표 3. B급 유류화재 실험 결과

구 분	기 준	소화여부	시 간	비 고
미세물분무 위주	B급 신청단위 (1단위)	○	39초	-
직사분사 위주	B급 신청단위 (1단위)	×	-	소화가 안됨

유류화재의 실험에 대해 살펴보게 되면 미세물분무 소화건은 소화하는데 까지 총 39초가 걸렸다. 재 발화 또한 일어나지 않았고 이것으로 미세물분무 소화건은 질식효과에 우수한 성능을 가진 것으로 알 수 있었다.

이러한 실험결과는 목재화재에서 보았듯이 미세물분무 소화건이 물의 분무를 이용하지 않고 직사분사의 성능으로 화재를 소화하려고 하니 유류의 화재에서 소화를 하지 못하는 결과를 내었다.



그림 3. 미세물분무 위주의 유류 화재에 대한 소화 실험과정



그림 4. 직사분사 위주의 유류 화재에 대한 소화성능 실험과정

이에 대해 도출해 낼 수 있는 결과는 우선 목재화재의 실험결과로 직사분사 위주의 방사패턴은 수손의 피해가 큰 것으로 판단되었다. 또한 이번 유류실험에서는 유류의 소화가 완벽하게 이루어 지지 않은 것으로 보아 직사분사 위주 방사패턴을 사용할 때에는 미세물분무의 질식효과가 없는 것으로 판단된다. 이러한 위의 두 가지 도출할 수 있는 것을 가지고 간단히 요약해보면 미세물분무 위주의 방사패턴은 산소의 질식효과가 뛰어나고, 수손의 피해가 없다.

## 5. 결 론

미세물분무 위주의 방사패턴을 사용한 미세물분무 소화건은 목재화재와 유류화재 두 가지 실험에서 성능이 모두 우수한 것으로 판명되었다. 소화실험 결과를 이용하자면 목재화재는 35초에 소화가 완료 되었지만 소화하는 사람의 확인 미비로 인해 재 발화가 일어난 것을 제외하면 미세물분무 소화건의 성능은 화재를 진압하기에는 우수하였고 유류화재도 마찬가지로 39초에 유류화재를 완벽히 진압할 수 있는 성능을 보여주었다. 이는 유류화재와 같은 질식소화를 요구하는 화재에서 친환경적이고 저렴한 물을 아주 효과적으로 사용할 수 있다는 결론을 내렸다. 반면, 미세물분무 위주의 방사패턴과 비교해 직사분사위주의 미세물분무 소화건의 성능을 실험결과를 토대로 설명해보면 유류화재의 경우 수계소화설비를 사용해 소화하기 위해서는 산소의 질식효과가 이루어져야 하는데, 이것이 이루어 지지 않아 소화되지 않은 것으로 판단되었다.

직사분사 위주 방사패턴의 미세물분무가 정상적으로 이루어지지 않는 원인에 대해 찾아보았는데, 이는 직사분사 위주의 방사패턴 시 물이 분무되는 미세물분무 소화건 노즐의 설계도면을 보았을 때 소화건의 초점을 미세물분무 보다는 직사분사에 맞추어져 설계되었다는 것을 알 수 있다. 분사 노즐의 각도가 직사분사를 위주로 하기 때문에 더 작아진다. 따라서 화염을 감싸서 질식 시킬 수 있는 공간이 더 작다고 판단되었다.

## 참고문헌

1. 박현태, “미세물분무를 이용한 연충냉각에 관한 실험적 연구” 석사논문(2003).
2. 김봉관 외 5명, “미세물분무 소화성능에 관한 연구”, 설비공학논문집 15권 7호
3. 한국소방검정공사, 소방용기계·기구 등의 세부시험 시설기준(2001).
4. 이경덕, “저압식 미세물분무 시스템의 소화성능 최적화와 첨가제의 영향”박사논문(2003).
5. 한국소방검정공사, 물분무헤드의 성능시험기술 기준(1998).