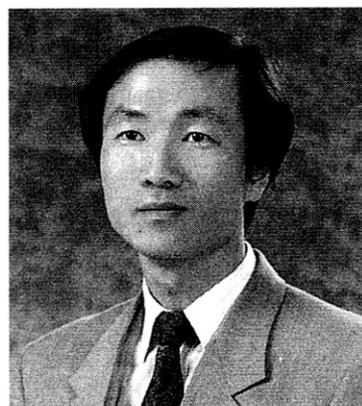


# 할론대체 미분무수 소화설비 개발 현황



신창섭 | 충북대 안전공학과교수

## 1. 머리말

유류화재에 가장 효과적인 소화약제인 할론 1301과 1211은 1960년대 말에 개발되어 화재진압에 많이 사용되어 왔다.

그러나 이들 소화약제는 오존파괴지수와 지구온난화지수가 높아 1992년 덴마크의 코펜하겐에서 합의된 몬트리올 의정서에서 CFC 계통 소화약제의 사용을 선진국의 경우 1996년부터 금지시키고, 개발도상국은 2010년까지만 한시적으로 그 사용을 허용하였다. 이에 각국은 대체소화약제로서 오존파괴지수가 낮은 제1세대 대체 할로젠화물인 HCFC 계 소화약제를 개발하고 있으나, 이 또한 완전한 환경친화 물질이 아니므로 2020~2030년까지 일시 대체물질로 허용하고 있는 상태이다.

따라서 할론 소화약제의 단계적 철수에 대비하고 전기화재, 인화성액체와 연료화재를 진화하기 위한 방법으로 환경에 악영향을 주지 않는 대체기술 개발의 일환으로 관심을 끌며 연구되기 시작한 것이 미분무수 소화설비이다.

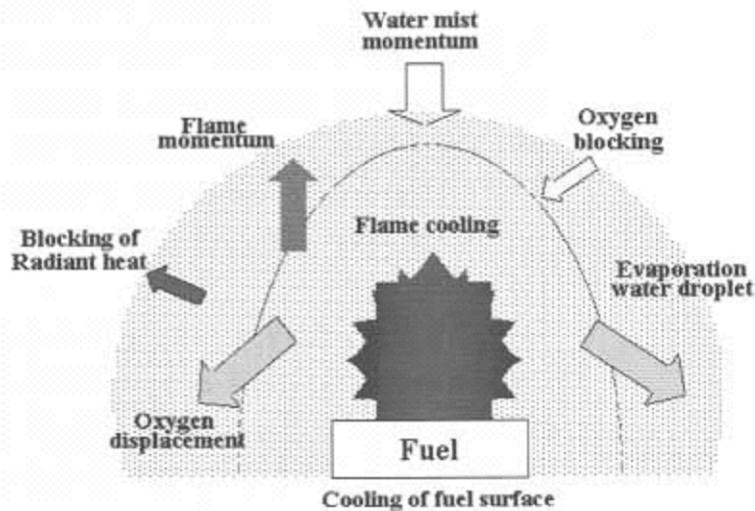
미분무수 소화설비는 소화약제로서 물을 사용한다는 점에 있어 환경에 영향을 주지 않으면서도 유독성이 없고 화재진압에 효과가 크며 소화 후 물에 의한 손실이나 위험성이 적은 특징을 갖고 있어 이

에 관한 많은 이론적인 연구와 소형 화재시험으로부터 넓은 분야로의 응용을 위한 연구가 진행되고 있다.

본 고에서는 할론대체 미분무수 소화설비의 소화메커니즘에 대한 이론적인 소개·분석과 함께 물분무를 발생시키는 방법, 장치의 응용 등을 검토하여 차세대 화재진압 기술인 미분무수 소화설비의 향후 성능향상을 위한 개발전망에 대해 검토하고자 한다.

## 2. 미분무수 소화설비의 소화메커니즘

물의 소화효과 중 가장 대표적인 것이 냉각효과인데, 물은 표면장력이 커서 화재 내부로 침투되기 어려우나 가연물 표면과 화염표면에 오래 잔존하게 되며, 높은 증발잠열로 인해 가연물과 화염표면을 냉각시킨다. 또한 미분무수 소화설비는 고압설비로서 물입자를 미립화하여 표면적을 증가시키기 때문에 열전달속도가 증가하여 화염에서 발생하는 열을 흡수·차단시켜 화재의 냉각효과를 상승시킨다. 또한 이때 미세물입자는 빠르게 수증기로 바뀌면서 주위의 수증기 함량이 늘어나 화재의 확대가 억제되고 소화가 이루어진다.



[그림 1] 미분무수 소화설비의 소화메커니즘

미분무수의 또 다른 소화효과는 질식효과이다. 고온의 화염에 미세물분부를 방사하게 되면 화제로부터 열을 흡수하여 빠른 증발작용을 일으키고 증발한 수증기가 산소의 공급을 차단하는 수증기 막을 형성함으로써 연소를 지속시키는 데 필요한 산소의 농도를 감소시키는 질식효과를 일으킨다. 일반적으로 대형화재의 경우 질식에 의한 소화효과가 더 높게 나타난다.

연소를 지속시키기 위해 필요한 산소의 최소량은 연료의 종류에 따라 변화한다. 고체연료인 목재가 연소를 유지하기 위해서는 4~5vol%의 산소가 요구되나, 탄화수소 연료는 15vol%의 산소가 요구되므로 일반가연물보다 탄화수소가 미분무수에 의한 소화효과가 더 크다.

미분무수가 연료 표면에 도달되면 미세물입자는 연소로 인해 방사되는 열을 막는 역할을 하며, 방사열의 감소는 미립자의 크기와 질량밀도에 따른다. 이때 같은 밀도의 미립자인 경우 100 $\mu$ m 이상의 미립자는 방사열의 감소가 10%이지만 90 $\mu$ m 이하의

미립자는 50% 이상일 수 있다고 보고되고 있다.

이상과 같은 미분무수 소화설비의 소화메커니즘을 [그림 1]에 나타내었다.

### 3. 미분무수의 특성

50~300 $\mu$ m의 미세물방울(water mist 또는 micro fog)을 방사하게 되면 입자의 전체 표면적이 넓어져 주위 기체와의 열 및 물질 전달이 활발하게 되어 소화효과를 증대시킨다. 이때 소화효과에 영향을 주는 중요한 요인은 액체의 물성과 함께 미립자의 크기, 미립자의 분포, 분무각도, 분무형태, 방사압 및 유량이다. 그리고 이러한 미세물방울을 만드는 미분무수 노즐의 성능에 영향을 미치는 인자는 <표 1>과 같다.

이들 변수 중 화제진압에 가장 큰 영향인자는 미세물입자의 크기와 방사분포로, 이론상으로는 물입자의 크기가 작을수록 열축출 및 증기에 대한 총 표면적이 증가하고 공기흐름에 의해 운반되어 더 오

〈표 1〉 노즐의 성능에 영향을 미치는 인자

	입력 증가	액체의 비중 증가	액체의 점도 증가	액체의 온도 증가	표면 장력 증가
유 량	증 가	감 소	증 가	노즐형태에 의존	영향 없음
분사각도	증가/감소	무시할 만한 영향	감 소	증 가	감 소
입자크기	감 소	무시할 만한 영향	증 가	감 소	증 가
속 도	증 가	감 소	감 소	증 가	무시할 만한 영향
충 돌	증 가	무시할 만한 영향	감 소	증 가	무시할 만한 영향

〈표 2〉 소화를 위한 최적의 물방울 입자크기 비교

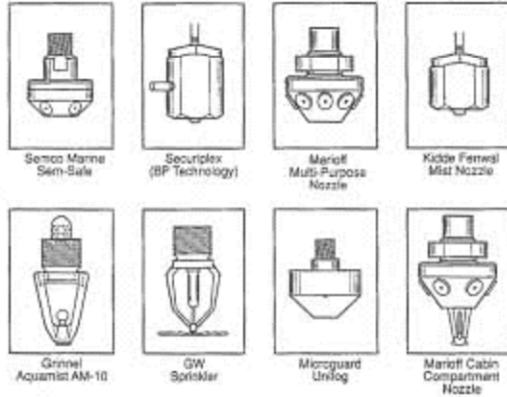
인 명	미세물방울 크기 (μm)	주요 연구 내용
Braidech & Neals	100~150	수평 분사에 적용
	150~300	낮은 인화점의 비혼합연료
	300~350	수직낙하 분사에 적용
Herterich	350	
Yao & Kalekar	350	가스층 냉각
Vincent et al.	310	가스폭발진압
Beyler	>1000	250kW이상의 화재에 관통 및
		습기주입
Pietrzak & Patterson	200~300	화염/가스층 냉각
Rasbash	400	높은 인화점의 비혼합연료
Kaletka	300~900	가스층 온도 따라 크기변화

랜 시간 화염 주위에 체류하므로 화재진압에 있어 더 효과적이다. 그러나 화재의 진압을 위한 미세물방울의 적정 크기는 연소물질의 양과 화재실 내의 장애물 및 화재의 규모 등 여러 인자의 영향을 받으므로 미분무수에 의해 화재를 진압하기 위한 최적의 미세물입자의 크기는 얼마인가라고 하는 질문에 대한 답은 아직 가지고 있지 못하다. 〈표 2〉는 지금까지 연구된 소화를 위한 적당한 미세물방울 크기를 비교한 것이다.

화재진압을 위한 적정 미세물방울의 크기는 과거 여러 연구자들에 의해 이루어졌다. 이들 연구에 의하면 액체화재의 소화에는 약 400μm 이하의 미세물입자가 적절하지만 고체연료화재의 소화에는 연

료를 적시는 효과로 인해 좀 더 큰 미세물입자가 더 효과적인 것으로 알려져 있다. NRCC(National Research Council Canada)의 Andrew에 의하면 입자크기의 분포가 넓고 잘 혼합된 미세물분무는 일정 크기의 물입자 분포를 가지는 미세물분무보다 화재진압에 더 효과적이라고 하였다.

그러나 물입자의 크기만으로 적용화재의 소화능력을 결정할 수는 없으며, 분사유량, 물입자의 밀도, 운동량, 연료량, 밀폐의 유무, 연료의 종류 등 매우 다양한 요소들을 고려해야 하고, 이 모든 것들이 미분무수 소화시스템의 성능을 결정하는 데 중요한 요소가 된다.



[그림 2] 상업적으로 이용되는 미분무수 노즐의 형태

#### 4. 미분무수 소화설비의 연구 및 응용

미분무수 소화설비는 할론이나 이산화탄소, 스프링클러 소화설비의 대체용으로 관심을 끌고 있으며 소화를 위해 물방울이 화염 속으로 침투하는

방법을 이용하여 종래의 스프링클러 소화설비보다 물의 양을 적게 사용할 수 있다.

NFPA(National Fire Protection Association)는 미분무수를 '노즐의 최저 설계사용압력에서  $Dv0.99$ 가  $1000\mu m$  미만인 물입자'로 정의하고 있다. 이러한 미분무수 노즐은 미립화 방법에 따라 충격 노즐, 고압 오리피스 노즐, 2-유체 노즐로, 분무압력은 저압(12bar 미만), 중압(12~34bar) 및 고압(34bar 이상)으로 분류한다.

상업적으로 이용되는 미분무수 노즐의 형태들 [그림 2]에, 이의 제조업체들과 미립화방법은 <표 3>에 나타내었다.

미국의 FMRC(Factory Mutual Research Corporation)는 1994년 가연성액체화재에 대한 미분무수 소화설비 적용 실험을 최초로 실시하고 이의 적용·인증 및 등특을 최초로 발표한 연구소로서 현재는 가스터빈실, 선박, 가연성액체 취급장

<표 3> 미분무수 소화시스템 공급회사

회 사 명	국 가	미립화방법	작동방법
ADA Technologies Inc.	미 국	공 기	수동
FSI/Kidde Graviner	영 국	공 기	연기, 열감지기/수동
Kidde Fenwal	영 국	공 기	연기, 열감지기/수동
Ginge Kerr	덴마크	공 기	연기, 열감지기/수동
Semco	영 국	고 압	휴지블링크 그라스벨브/수동
Merloff Hi-Fog	폴란드	고 압	휴지블링크 그라스벨브/수동
Microguard-Unifog	독 일	고 압	휴지블링크 그라스벨브/수동
Reliable Automatic Sprinkler Co.	미 국	고 압	연기, 열감지기/수동
Securipex Inc.	캐나다	공 기	연기, 열감지기/수동
Grinnel Sprinkler	미 국	충 격	휴지블링크 그라스벨브/수동
GW Sprinkler	덴마크	충 격	휴지블링크 그라스벨브/수동

소, 전화국, 컴퓨터실 등의 적용에 관한 연구를 행하고 있다.

또 Vollman(1995)은 3×3×2.4m에 대한 total flooding system에서 미분무수 소화설비의 소화성능을 평가하기 위한 실험을 했다. 그에 따르면 실내의 큰 화재는 작은 화재보다 더 쉽게 소화가 이루어지는데, 그 이유는 미세물입자가 스팀으로 변환, 팽창에 의한 산소치환 때문이다. 또한 2-유체 시스템은 단일유체 시스템보다 더 빠르게 비장애물 화재를 소화한다고 하였다.

1996년 이후 미분무수 소화설비에 대한 연구는 다양하고 활발하게 진행되고 있으며 주로 미분무수의 생성방법, 미분무수 소화설비에 첨가제 사용, 컴퓨터 모델링, 폭발진압에 관한 것이다.

현재 미분무수 소화설비를 선박과 항공기에 적용하기 위한 연구 및 시험이 많이 이루어지고 있으며, NFPA는 인화성 기체·액체, 일반가연물 및 전기설비 등의 화재에 적용할 수 있다고 기술하고 있다.

합론의 대체 소화설비로서 미분무수 소화설비의 소화성능이 우수하다는 것이 알려지면서 적용범위가 광범위해지고 있는데, 석유화학공장의 저장시설과 같은 대형산업시설, 발전소 내 변압기, 기계실, 비상발전실 등의 전기적 절연성을 요하는 곳, 선박 내 시설 및 엔진실, 전화국, 반도체 생산 청정실 등 고가 장비와 진압 후 2차적 손실을 고려해야 하는 장소, 비행기와 선박의 선실, 승무원실과 우주선 내 전자시설 및 장비 등 화재 진압용 소화설비에 미분무수 소화설비가 설치되고 있다.

이와 같이 미분무수 소화설비는 적용범위가 매우 넓으며, 화재 진압시 그 소화효과도 큰 것으로 평가되고 있다. 그러나 미분무수 소화설비를 적용하기 위해서는 적용되는 장소의 공간구조, 환기조건, 가연물 분포 등 여러 인자를 고려하고 분무특성과 진압특성에 대한 연구를 진행하여 적절히 설

치해야만 화재진압시 최적의 소화효과를 얻을 수 있을 것이다.

## 5. 맺는 말

미분무수 소화설비는 합론 소화설비와 스프링클러 소화설비의 대체용으로 고려되고 있다. 스프링클러와 비교하여 미분무수 소화설비는 유류화재에 적용할 수 있고 신속히 반응하며 소량의 물공급과 소량 방출로 소화 후 물에 의한 2차 피해를 줄일 수 있다는 이점이 있다. 또한 합론의 대체로서 미분무수 소화설비의 이점은 소화 후 환경적으로 악영향이 없으며 인체에 무해하다는 장점이 있다.

미분무수 소화설비는 미립자의 생성방법에서 높은 방사압력이 필요하며 아직 적용화재에 대한 정확한 자료를 가지고 있지 못한 실정이다. 따라서 향후 공간변수와 노출위치, 작동방법, 입자크기, 작동압력, 화재크기 등 소화성능에 영향을 미치는 여러 변수를 고려한 표준화된 설계방법의 개발이 요망된다. ㉞

## 참고문헌

1. Liu, Z.G., Kim, A. K., Su, J.Z., "Examination of the extinguishment performance of a water mist system using continuous and cycling discharges," Fire Technology, 35, (4), November pp. 336-361, 1999
2. Liu, Z.G., Kim, A.K., "A Review of the research and application of water mist fire suppression systems - fundamental studies," Journal of Fire Protection Engineering., 10, (3), pp. 32-50, 01, 2000
3. Mawhinney, J.R., "Principles of Water Mist Fire Suppression Systems," NFPA Handbook - 19th Edition, 1996
4. Jones A, Nolan FF, "Discussions on the use of fine water sprays or mists for fire suppression," Journal of Loss Prevention Process Industrial, 8, (1), pp 17-22, 1995