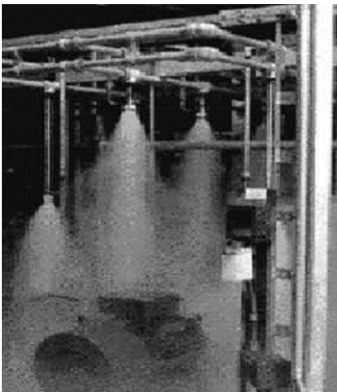


# 미분무수 소화설비(Water Mist)

미분무수의 소화진압 및 제어 특성, 분류방법, 소화효과 및 기존의 스프링클러 설비와의 비교를 통하여 미분무수의 소화 메카니즘상의 장점과 미분무수 소화설비의 적용에 따른 문제점에 대해 소개한다.

## 1. 개요



미세한 물방울을 분사하여 화재를 진압하는 방법이 1930년대부터 알려지기는 했으나 실용화되지는 않았으며, 1987년 몬트리얼 협약에

의거 세계 대부분의 나라들에서 CFC를 사용하는 화학물질의 제조가 1994년부터 규제되어, 지금까지 엔진시설, 터빈시설, 항공기, 해상유전시설, 인화성액체의 보관시설 등에 사용된 할론 소화설비의 대체설비로 환경친화적인 미분무수에 대한 연구가 다시 활기를 띠게 되었고, 특히 IMO(국제해사기구)에서는 2005년까지 모든 선박에 스프링클러 또는 그 대체설비를 설치하도록 규제하고 있어, 기존의 스프링클러 설비에 비해 수원량이 극히 적게 적용되어 물에 의한 피해와 손실이 적고, 방사후 처리도 간단하며, 배관 등 시스템 구성에 장점이 있는 미분무수 소화설비 개발에 대한 선진각국의 기술투자 및 연구개발에 대한 관심이 고조되고 있으며, 현재 적정시스템의 개발, 화재인증시

험 및 인증기준 등이 정립되어 가는 상태이다.

본 고에서는 미분무수 소화시스템에 적용되는 미분무수의 소화진압 및 제어 특성, 미분무수의 분류방법, 소화효과 및 기존의 스프링클러 설비와의 비교를 통하여 미분무수의 소화 메카니즘상의 장점과 미분무수 소화설비의 적용에 따른 문제점에 대해서 알아보기로 한다.

## 2. 미분무수의 분류 및 분류별 소화능력

미분무수는 미분무수 노즐의 최소 설계작동 압력에서  $Dv0.99$ 가  $1000\mu\text{m}$ 보다 작은 분무수(Spray)로 NFPA에서 정의하고 있으며,  $Dv0.99$ 는 미분무수 액적의 직경별 누적분포에서 부피기준으로 99%가 되는 액적의 직경을 의미한다.

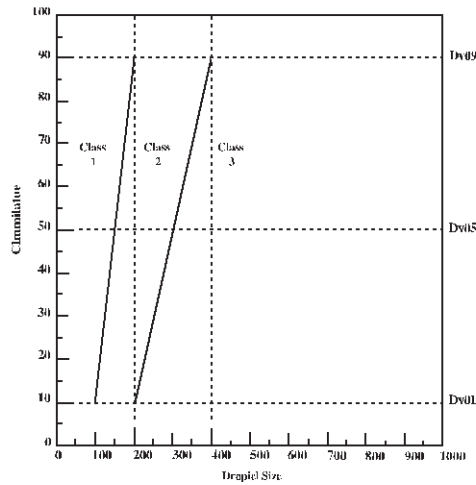
### 가. 미분무수의 분류

물방울의 크기 분포에 따라 Class 1 Water mist, Class 2 Water mist 및 Class 3 Water mist로 구분하고 있다.

▶ Class 1 Water mist : 누적 백분율 체적 분포곡선 전체가  $Dv0.1=100$ 미크론과  $Dv0.9=200$ 미크론으로 연결되는 선의 좌측에 위치하며 가장 미세한 물방울 상태이다.

▶ Class 2 Water mist : 누적 백분율 체적 분포곡선의 일부가 1급 미분무수의 한계점을

미분무수 소화설비(Water Mist)



【그림 1】 물방울 크기 분포에 따른 미분무수의 등급 분류

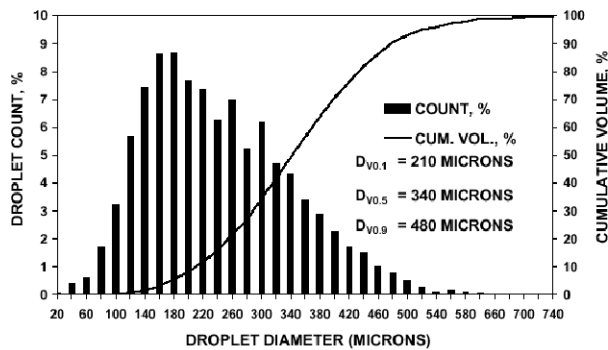
벗어났으나 전체가  $Dv0.1=200$ 미크론과  $Dv0.9=400$ 미크론을 연결하는 선의 좌측에 위치하며 이같은 미분무수는 압력제트노즐, 2중 유체노즐 및 많은 충돌형 노즐을 사용하여 발생시킬 수 있다. (B급화재의 경우 2급 미분무수 이하가 바람직함)

▶ Class 3 Water mist :  $Dv0.9$ 값이 400미크론 보다 크거나 또는 곡선에서 2급 미분무수의 분리선의 우측으로 연장되는 부분에 있는 경우에 속한다. ( $Dv0.9=1000$ 미크론 이하) (A급 가연물화재에 적합하며, 상황에 따라서 B급 화재의 제어 또는 소화에도 사용될 수 있다.)

나. 미분무수 분류별 소화능력

(1) 미분무수의 물방울 크기 분포와 소화능력의 관계는 복잡하다. 일반적으로 1급과 2급 미분무수는 액체연료와 pool fire의 소화에 효과적이며, 액체 풀 표면은 요동시키지 않고 화재를 소화할 수 있다. (단, 특정 조건하에서 3급 미분무수도 pool fire를 소화한 기록도 있음)

(2) 일반적으로 1급 미분무수는 A급 가연물 소화에 비효과적이며, 그 이유는 연료의 탄화층이 충분히 적셔지지 못하기 때문이다 그러나 속도가 높거나 표면연소 상태이거나 또는 밀폐효과에 의해서 산소량 감소가 촉진되는 특별한 조건하에서는 1급 미분무수도 A급화재를 소화시킬 수도 있다 (이것은 분사된 물방울의 크기 분



【그림 2】 impingement nozzle의 물방울 크기 분포 예

포만이 미분무수의 소화능력을 결정하는 요소가 될 수 없다는 점을 확인시켜주는 결과가 된다.>

☞ 화재진압을 위한 물방울의 적당한 크기는 연소물량, 화재실 내의 장애물 및 화재의 규모와 같은 여러 가지 요소에 크게 의존한다. 하나의 화재를 소화하는데 가장 효과적인 물방울 크기가 다른 화재에 대해서도 반드시 최고는 아닐 것이다. 모든 화재에 적당한 하나의 크기는 없다. 거칠고 고르게 잘 혼합된 분배를 가지는 미분무수의 기능은 일정한 물방울 크기의 분배를 가지는 미분무수 보다 좋다.

물방울 크기에 따른 분배만으로는 주어진 화재를 소화하는 분사의 능력을 결정할 수 없으며, 소화의 결정요소에는 연료의 성질, 밀폐효과, 스프레이 플럭스 밀도 및 스프레이 속도(운동량)가 포함된다.

☞ NFPA 750에서 권장하는 미분무수 물방울 크기 측정방법

- ① 광영상(Optical imaging) : 작은체적의 미스트속의 물방울을 사진 촬영하거나, 또는 전자영상을 만드는 방법
- ② 회절 : 평행광원을 미분무수 속으로 통과시키는 방법

③ 도플러 굴절 : 서로 교차되는 한쌍의 레이저 광선에 의해서 형성되는 샘플 체적속으로 미분무수를 통과시키는 방법

### 3. 물입자 크기에 따른 낙하속도

물입자의 크기에 따라 자연계의 비가 안개가 되어 다양한 현상을 만들고 있는 것은 이미 알고 있지만 그때 각각의 입자가 어느 정도의 속도로 낙하하는지에 대해서 의외로 관심이 높지 않다. 표와 같이 같은 물방울일지라도 크기에 따라 낙하속도는 크게 다르다. 예를 들면 3mm를 낙하하는데 안개와 같은 비는 강한 비의 10~40배이상의 시간이 걸린다. 즉 water mist는 공기중에서 머무는 시간이 길다고 할 수 있다.

### 4. 미분무수의 소화메카니즘

가. 물분사 입자의 일반적인 특성

물은 화재진압용으로 바람직한 물리적 특성을 가지고 있다. 이것의 높은 열용량(4.2J/g.K) 및 증기의 높은 잠재열(244J/g)은 화염이나 연료(산화물)로부터 상당한 양의 열을 흡수할 수 있다. 또한 물은 연료 주위의 산소 및 연료의 증기를 차단하여 감소시킴으로써

입자크기범위(μm)	입자크기에 상당하는 것	3m 낙하하는데 걸리는 시간(초)
5000~2000	폭 우	0.85~0.9
2000~1000	강한 비(스프링클러)	0.9~1.1
1000~500	보통 비	1.1~1.6
500~100	약한 비	1.6~11
100~50	안개 비(micro fog)	11~40
50~10	습한 안개	40~1,020
10~2.0	건조한 안개	1020~25400
1~0.1	연기안개	공기 중 부유
0.01~0.001	연 기	공기 중 부유

## 미분무수 소화설비(Water Mist)

수증기의 양을 1700배 이상 높일 수 있다. 적절한 물방울의 형성은 화재진압에 있어서 소화 효과를 증가시키고, 적절한 물방울 분사는 물방울의 크기가 적당히 작을수록 표면적이 커지므로 소화효과를 극대화할 수 있다. 물입자의 일반적인 소화작용의 특성은 아래와 같다.

- ▶ 물방울은 화염에 도달하기 전에 증발한다.
- ▶ 물방울은 화염을 관통하거나 타고 있는 표면에 도달한다.
- ▶ 냉각으로 열분해를 막고 증기로 산소를 감소시킨다.
- ▶ 물방울은 벽, 마루 및 천정에 분사되어 냉각 효과를 주며
- ▶ 이들이 뜨거우면 물방울은 없어진다.
- ▶ 물방울은 불길을 떠도는 동안 증발되거나
- ▶ 불꽃, 열기체, 표면을 냉각하기 위해 분배된다.
- ▶ 물방울은 화재의 확산을 방지하기 위해 인접한 가연물을 적신다.

### 나. 미분무수의 소화메카니즘

#### (1) 열방출(Heat extraction)

화재진압에 있어서 미분무수에 의한 냉각메카니즘은 크게 화염냉각과 가연물(연료)냉각으로 구분될 수 있다. 화염을 소화하기 위해서는 화염온도가 연료와 공기혼합 연소반응을 억제할 수 있는 낮은 온도까지 내려가야 하고, 많은 양의 작은 물방울이 화염 속으로 들어갈 때 물이 수증기로 변화하면서 화염의 온도를 냉각시킨다. <즉 고온의 가스나 화염, 연소중인 연료 주위의 물체 대한 물의 기화열에 따른 냉각>

#### (2) 산소치환(Oxygen displacement)

화재실에 미분무수를 주입하여 이것이 화재로부터 열을 흡수할 때 미분무수의 확산과 빠른 증발에 의한 수증기의 발생 및 급격한 체적 팽창으로 인한 산소와 연료를 차단 효과

#### (3) 복사열 감소(Radiation heat reduction)

미분무수가 연료의 표면에 도달하거나 덮었을 때 물은 연소되지 않는 표면에서 뿐만 아니라 연소하고 있는 연료표면의 복사로 인한 열을 막는 역할은 할 수 있다.

복사열의 감소는 물방울의 직경 및 질량밀도에 좌우되며, 같은 밀도의 물방울을 가지는 100미크론 이상의 물방울 크기에 대해 복사열 감소는 10%이지만 90미크론 이하의 물방울 크기에 대해서는 50% 이상일 수 있다.

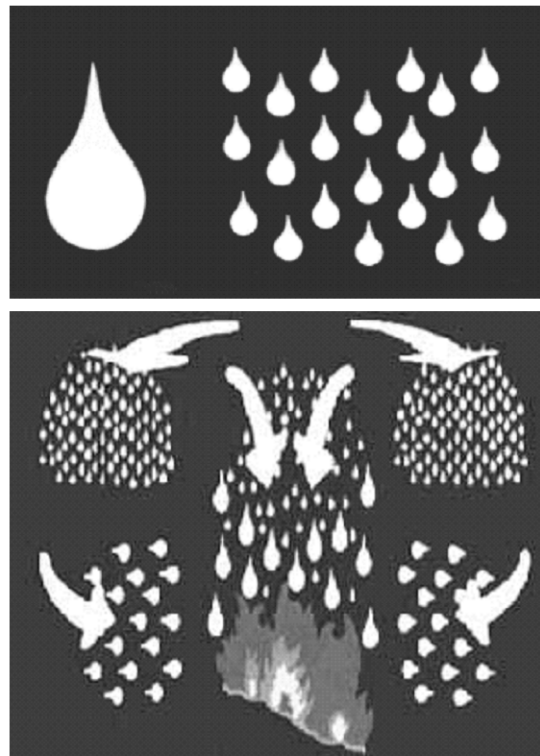
#### (4) 증기 및 공기의 희석작용

##### (Vapor/Air dilution)

물방사를 좋게 함으로써 상당한 물방울의 운동에너지가 주위공기를 화염 속으로 운반하는데 사용된다. 미분무수에 의해 운반된 공기는 연료를 인화점 이하로 희석시킬 수 있다.

#### (5) 운동에너지의 영향(Kinetic effects)

최근의 시험결과 물의 사용으로 CO 및 soot



[그림 3] 물방울 표면적 증대 및 소화작용

발생율은 감소되고, 반면에 화염온도, CO<sub>2</sub> 발생율 및 O<sub>2</sub> 발생율의 증가를 보였으며 이 효과는 수증기로 인해 화염 내에서 활발한 화학반응으로 인한 것이다. 이같이 수증기 발생에 따른 화염에서의 강한 화학적 반응에 의한 영향을 받을 수 있다.

### 5. 미분무수 시스템과 스프링클러 시스템의 비교

오랜 역사와 소화능력의 신뢰성을 받아온 스프링클러와 이것에서 파생한 water mist를 비교하면 스프링클러가 다량의 물을 살수하여 필요 이상의 물이 가연물이나 그 주위에 침투하여 급속히 냉각시켜 소화하는데 반해 water mist는 화재공간 전체를 다량의 안개로 덮으며 또한 화재원에 둘러싸인 공기를 타고 화염에 접근하여 열을 받아 증발하기 쉬운 상태가 되어 증발잠열과 증발에 의해 발생된 수증기에 의해 산소농도의 희석과 질식효과를 병행하여

소화효과를 증대시키는 것으로 그 소화메카니즘에는 차이가 있다.

한편 미분무수 소화설비는 스프링클러설비에 비해 방사수압을 2~10배로 해야하는 약점이 있다. 그러나 선박에 사용되는 미분무수의 예를 들면 배관의 직경은 스프링클러의 1/4, 방수량은 1/10이하이다.

즉 소화설비 전체증량을 고려하면 1/20 ~ 1/50정도를 경감할 수 있는 이점이 있다.

### 6. 결론

미분무수는 입자크기가 작을수록 소화능력이 크고 다른 소화약제와 비교해 충분한 효과를 기대할 수 있으며, 입자가 미세하여 가벼우며 방사하면 실내 일면이 빠르게 충전하여 공기 및 가연물에 습기를 만듦과 동시에 화염에 흡입되는 기류를 타고 화원에 도달한다.

미분무수는 단위 중량 당 물방울 입자의 표면적이 크기 때문에 순간적으로 증발하며, 증

**【스프링클러설비와 미분무수 소화설비의 비교】**

구 분	미분무수 소화설비	스프링클러설비
물방울크기	50-200 $\mu$ m	1000-2000 $\mu$ m
압 력	20-100kgf/cm <sup>2</sup>	10kgf/cm <sup>2</sup>
수 량	0.2-0.6L/min.m <sup>3</sup>	8.0-20L/min.m <sup>3</sup>
소화 원리	냉 각 수증기에 의한 산소치환 복사열 감소	냉 각
소화시스템	전역 방출방식 국소 방출방식	국소 방출방식
기 타	- 물의 전달 없이 소화가능 - 실내온도 강하가 빠름 - 물의 양이 적고 소화후 물 손실이 적다 - 수원, 배관이 간결	- 물이 전달되는 부분만 소화 - 실내온도강하가 느림 - 기름화재에는 부적합 - 소화 후의 물 손실이 큼

※ 일본 아마토 프로텍크(주)연구자료 참조함.

## 미분무수 소화설비(Water Mist)

발잠열에 의해 화염의 온도를 낮춤과 동시에 팽창한 수증기의 1700배정도 체적을 늘려 폭발적으로 화염면을 덮어 산소의 진입을 저지하여 연소분위기의 산소농도를 희석한다.

수증기는 화학적으로 아르곤, 질소, 이산화탄소와 같이 연소에 대해 불활성가스로서 화재분위기의 산소분압을 저하시키고, 화원에 공급되는 공기중의 산소농도의 희석이 충분히 이루어지면 화원은 스스로 질식상태가 되어 축소하다 이 현상을 반복하면서 소화에 이른다.

또한 미분무수는 미립자이므로 공기 중에서의 부유시간이 길다. 이 때문에 물방울이 바닥에 낙하하는 종래의 스프링클러 물방울보다 단위공간에 부유하는 mist입자의 표면적이 크기 때문에 적외선 차단이 쉽고 공기중의 열기를 냉각하기 쉬워 열원으로부터 방출되는 복사열을 차단하여 화재구간이외의 지역으로 화재가 확산하는 것을 방지하는데 우수하다.

복사열의 흡수, 차단효과는 물이 적외선을 흡수하기 때문이다. 건물공간 중에서 가연물이 일제히 연소를 시작하는 현상을 저지시키는 것은 연소방지의 기본이며, 이 역할을 미분무수가 크게 담당하고 있다. 또한 피난을 필요로 하는 사람이 화원근처에 있을 경우에는 인체에 열의 영향을 완화하여 쉽게 피난할 수 있도록 한다. 또한 연기입자를 냉각하여 물방울과 함께 낙하하도록 함으로써 연기제거 효과를 기대할 수 있다.

그러나 이러한 소화특성에도 불구하고 미분무수를 화재진압설비로 적용하는데는 많은 풀어야 할 난제들이 있다.

- ▶ 아직까지 소화성능 변수를 설계할 객관적이고 일반적인 이론이 없다.
- ▶ 화재종류에 따라 시스템의 작동조건 및 방식이 변화해야 하나 정확한 근거가 없다.
- ▶ 화재종류 뿐만 아니라 주변조건, 즉 공간의 밀폐성, 환기유무, 공간대비 화재크기,

노즐의 특성 등에 따라 같은 크기의 수적으로 이루어진 미분무수라도 화재진압 성능이 달라진다.

상기와 같은 기술적인 어려움이 있으므로 단순히 어떤 형태의 일반적인 화재의 모든 영역에 적용될 수는 없으며, 특수한 용도의 실(구역)에 적용하는 경우에도 실 규모 화재시험방법을 통해 성능이 입증된 경우에만 적용 가능하다.

선진 외국의 경우 미분무수 소화설비에 대한 꾸준한 연구와 인증기준의 정립 등 미분무수 소화시스템의 적용을 위한 기술적, 제도적 개선을 위한 노력과 성과가 계속되고 있으나, 국내의 경우는 일부 연구기관의 연구수준에 머물러 있는 실정이므로, 미분무수를 이용한 소화시스템의 장점 및 지구의 온난화 및 오존층 파괴라는 환경 파괴적 요인으로 인해 가스계 소화설비의 적용에는 다소 한계가 있으므로, 가스계 소화설비의 대체설비로서의 미분무수가 적극 활용될 수 있도록 적극적인 기술 투자 및 시스템을 평가하고 인증할 수 있는 기준 등의 제정에 많은 노력이 필요하다.

### 【참고문헌】

1. NFPA 750 Standard for the Installation of Water Mist Fire Protection Systems
2. Water Mist Fire Protection-When Less is Better:Tyco Flow Control December 1997
3. Water Mist 소화설비의 연구 개발: 소방검정 1998. 8.
4. 미분무수 소화설비의 기술동향: 한국소방화재소방학회지(김명배)
5. 물분무 화재방호시스템: 한국화재소방학회지 (김상욱) 등 ㉞

— 정리: 위험조사부 차장대우 신병철