

고압미분무수설비에 대한 기술적 고찰

High Pressure Water Mist : How the Technology works

미분무수 소화설비는 물입자의 크기를 1 mm(1,000 μm)이하로 미세화하여 방호구역(방호대상물)에 방출함으로써 물이 가지고 있는 열용량과 물이 증발될 때의 부피변화 등에 의해 화재를 제어, 진압하는 설비로서 오존층파괴에 따른 하론계열의 가스계 소화설비의 사용이 금지되면서 최근에 소방선진국을 중심으로 크게 부각되고 있는 소화설비이다. 본 자료에서는 이와 관련하여 해외 방재간행물에서 소개하는 미분무수 소화설비에 대한 개념 등 기술적 사항을 정리하였다.

화재는 가연성 연료와 공기 중의 산소간의 화학반응과 관련된 하나의 과정이다. 연소가 지속되기 위한 필요조건은 다음과 같다.

- 가연물 : 고체(Class A), 액체(Class B), 기체
- 산소
- 점화열
- 연쇄적인 화학반응

화재의 강도는 열방출율로 나타내며 단위는 Watt (W)로 측정한다. 불꽃 없이 연소하는 작은 혼소 화재는 100 kW 정도의 강도이며, 수동식 소화기로 소화할 수 있는 화재강도는 1 MW 이하이며 5 MW 이상이면 강도가 높은 화재이다. 대략적으로 불꽃의 크기가 1m³ 정도이면 1 MW 화재강도에 해당한다.

화재를 소화하기 위해서는 적어도 화재의 필요조건 4요소 중 하나 이상을 제거해야 한다. 가연물 자체가 제거되는 경우에는 극히 드물지만 기타 3가지 요소는 소화약제의 종류에 따라 영향을 받는다.

- 산소농도는 불활성 (비반응성) 가스를 주입하면 낮출 수 있다.
- 열은 가연물의 표면을 적심으로써 제거될 수 있다.
- 연쇄반응은 불안정한 연소생성물과 반응하는 화학물질을 투입하여 막을 수 있다.

화재는 고정식 또는 수동식 소화설비로 소화할 수 있다. 고정식 소화설비는 적어도 화재를 제어할 수 있어야 하며, 대개 사람이 수동으로 개입해야 재발화를 방지하고 완전히 소화시킬 수 있다. 소방과 관련된 용어로 사용되는 소화(extinguishment), 진압(suppression) 및 제어(control)는 각각 의미하는 바가 다르며 사용하는데 주의해야 한다. 그렇지 않으면, 설비의 성능이 의도한 바와는 달리 과소 또는 과대 평가되어 사용자가 잘못된 성능을 기대하게 된다. 이들 세 가지 용어는 다음과 같이 정의할 수 있다.

소화 (Fire extinguishment)	불꽃 또는 훈소를 완전히 제거 (재발화 방지)
화재 진압 (Fire suppression)	열방출율을 급격히 감소시키고 화재의 성장을 방지
화재 제어 (Fire control)	화재성장을 제한하고 구조적 손상을 방지

화재 진압 또는 제어 시스템에서는 항상 사람이 개입해야 완전한 소화가 가능하다.

고정식 소화설비에는 방호 공간 전체를 소화약제로 채워서 방호하는 전역방출방식 또는 방호대상물을 국소적으로 방호하는 국소방출방식이 있다.

□ 소화약제로서의 미분무수

물은 가장 오래되고 널리 사용되며 광범위하게 사용할 수 있는 소화약제이다. 물은 독성이 없고 환경 친화적이다. 게다가 뛰어난 소화성능이 있어 다른 소화약제에 비해 광범위하게 적용할 수 있다.

물의 두 가지 주요 소화 메커니즘은 다음과 같으며, 모두 물의 기화와 관련이 있다.

- 냉각
물은 기화될 때 다른 어떤 소화약제보다도 많은 열을 흡수한다.
- 불활성화(질식)
물은 기화될 때 부피가 약 1,700배 팽창하여 산소를 대체한다.

물의 기화속도는 자유 표면적에 비례한다. 같은 양의 물이라도 양동이의 물은 바닥에 넓게 퍼진 물보다 기화속도가 훨씬 느리다. 자유 표면적은 물이 많은 물방울이 될 때 증가된다. 물방울 입자가 작으면 작을수록 자유 표면적이 증가되고 더욱 빨리 기화되어 냉각이나 불활성화 성능이 더욱 증가된다.

미분무수는 다른 소화약제와 달리 다음과 같은 추가적인 소화 메커니즘도 가지고 있다.

- 복사열의 차단
살수밀도가 높은 작은 물방울의 입자는 복사열을 효과적으로 흡수하고 분산시킨다.

물방울 입자의 크기는 표면적에 커다란 영향을 미친다. 1ℓ의 물로 미분무수를 생성했을 때, 입자의 크기와 표면적간의 상관관계는 다음 표와 같다.

입자 크기 (mm)	입자의 수	표면적 (m ²)
10	1.9×10^3	0.6
1	1.9×10^6	6
0.1	1.9×10^9	60
0.01	1.9×10^{12}	600
0.1 ×	1,000 ×	10 ×

상기 표에서 보는 바와 같이 입자의 크기가 1/10로 작아지면 표면적 (기화속도)은 10배로 증가하고, 입자 수는 1,000배 증가한다. 그러므로 소량의 물로도 기존의 수계소화설비와 동일한 냉각 및 불활성화 성능을 발휘할 수 있다. 또한 부가적으로 복사열을 차단하여 주위를 방호한다.

그러나 물의 입자가 무조건 작다고 해서 뛰어난 소화성능이 보장되는 것은 아니다. 물방울 입자는 또한 화염에 도달해야 소화성능을 발휘할 수 있다. 즉, 화재로 인해 발생하는 외부의 기류를 뚫고 가연물의 표면에 침투되어야만 한다.

그러므로 미분무수설비의 소화성능은 다음에 의해 영향을 받는다.

- (1) 입자의 크기 분포
- (2) 입자의 수
- (3) 침투력

이러한 요소들은 전적으로 소화설비의 특정상황에 맞게 적절히 조화되어야 한다.

□ 전역방식과 국소방식

전역방식은 밀폐된 공간에서만 적용 가능하다. 일반적으로 화재는 개방된 공간에서보다 밀폐된 공간에서 소화하기가 용이하다. 또한 밀폐된 공간에서는 큰 화재가 작은 화재보다 소화가 용이하며, 미분무수소화설비에서는 더더욱 그러하다. 또한 밀폐된 공간에서는 다음과 같은 이유로 개방된 공간보다 적은 소화약제량으로 소화가 가능하다.

- 밀폐된 공간에서의 소화약제는 화염주위의 내부공간에 잔류한다. 소화약제는 누설될 곳이 없으므로 주위로의 손실을 보정할 필요가 없다.
- 밀폐된 공간에서는 화재 시 산소가 소비되므로 소화약제가 덜 소요된다.
- 밀폐된 공간에서는 화재 시 방호공간이 가열된다. 대형 화재는 더 많은 열이 생성된다. 주위의 온도가 올라갈수록 공기 중에 수증기의 양이 (포화상태까지) 증가한다. 60 ℃ 정도에서도 공기 중에 충분한 수증기가 생성되어 대기를 불활성화(질식)시키고 소화 작용을 한다.

국소방출방식은 방호공간이 크거나 개방된 공간에서 동시에 전체 영역을 방호하기 어려울 때 적용한다. 국소방출방식에서는 앞에서 언급한 밀폐공간의 효과를 고려해서는 아니 된다. 넓은 장소 또는 개방된 공간에서는 소규모 화재가 대형 화재보다 소화하기가 용이하다. 개방된 공간에서는 다음과 같은 이유 때문에 밀폐된 공간보다 소화약제가 더 많이 소요된다.

- 개방된 공간에서는 소화약제가 주위로 계속 소실되므로 소실되는 만큼의 소화약제 방사량을 증가시켜야 한다.
- 개방된 공간에서는 산소가 제한 없이 공급되므로 화재가 산소농도에 영향을 받지 않는다.
- 개방된 공간에서는 주위의 온도가 화재에 영향을 받지 않는다. 가까운 거리에서는 자연적으로 온도가 높아 수증기가 형성되지만 지속적으로 주위로 소실되어 증기로 인한 질식작용이 불가능하다.
- 개방된 공간에서는 화원으로부터 강한 화염기류가 형성된다. 화재가 클수록 화염기류가 강하여 화염을 침투하기 위해서는 더 높은 살수농도가 요구된다.

□ 설비의 특징

모든 미분무수소화설비는 고유의 특성이 있으므로 성능을 일반적으로 규정하기가 곤란하다. 심지어 성능 특성에 따라 여러 종류의 설비가 있고, 설비별로 다른 설치기준을 적용한다.

고압미분무수설비는 일정 압력의 전동기나 디젤펌프 (140 bar [137.3 kgf/cm²]) 또는 압력 가스 실린더 (압력 200 bar [196.2 kgf/cm²] 이하)로 구동한다. 일반적으로 미분무수는 200 μm 이하의 크기이다. (아래의 참고사항 참조) 침투 거리는 수평으로는 7~8 m이고 수직으로는 더 멀리까지 도달한다. 침투성능이 좋으면 방호 공간 전역에 미분무수의 입자가 심지어는 장애물을 지나서 잘 확산된다. 고압 미분무수는 거의 기체와 같은 거동을 나타내므로 뛰어난 소화성능을 발휘한다. 그러므로 기존의 수계소화설비 뿐만 아니라 가스계 소화설비도 대체할 수 있다.

고압미분무수설비는 냉각, 질식 및 복사열 차단 성능이 뛰어나다. 방사 후 수 초 내에 화염 주위 온도를 급속도로 떨어뜨리며 짧은 시간 내에 밀도가 높은 미분무수의 입자가 화염 주위에 충만하게 된다. 복사열 차단 성능도 우수하여 화염으로부터 몇 미터 거리에도 열기가 전달되지 않는다. 그러므로 화재가 진행 중 일지라도 인접 구조물은 잘 방호된다.

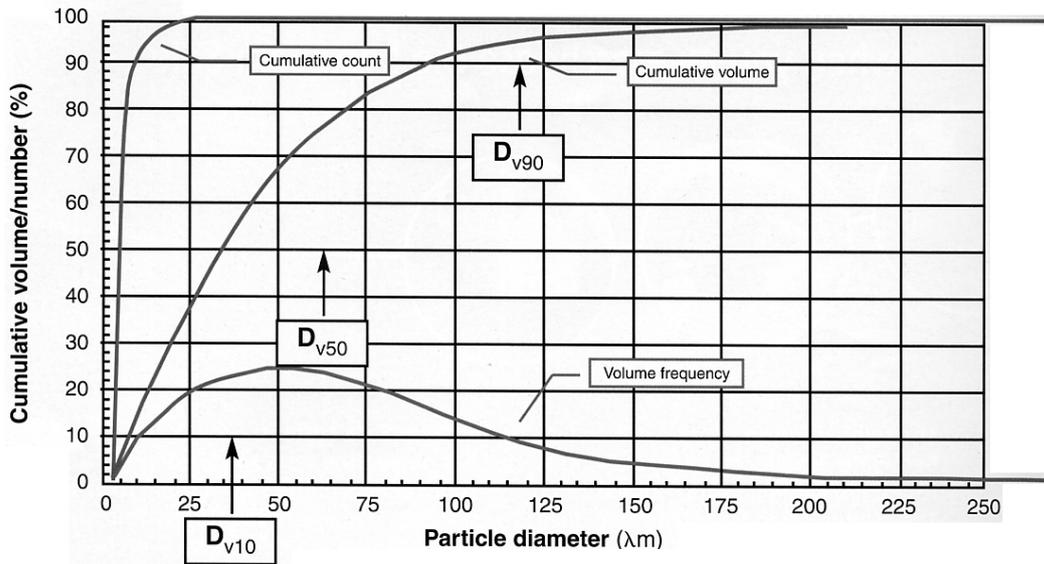
적용상에 있어서 미분무수소화설비를 설계할 때는 화재를 소화 (특히 인화성 액체)할 것인지 아니면 진압 또는 제어 (고체 가연물)할 것인가를 고려해야 한다.

고압미분무수설비는 수계 방호설비분야에서 주요한 개발 분야이다. 적용 장소, 시험규정, 성능기준 및 형식승인이 점증되고 있으며, 사용자들의 추천으로 인한

시장규모가 점점 증가하고 있다.

□ 참고사항 : 미분무수 입자 분포

분무수의 입자 크기 분포는 범위가 넓어 하나의 숫자로 표현할 수 없다. 미분무수는 항상 입자 크기가 다양하여 입자분포를 표현하는 여러 가지 방법이 있다. 예로서 미분무수의 경우에는 아래와 같이 표현할 수 있다.



보는 바와 같이 동일한 입자 분포를 세 가지 다른 곡선으로 표현할 수 있다. 가장 널리 사용되는 곡선은 누적체적곡선 (cumulative volume curve)으로서 세 가지 숫자 D_{v90} ($90 \mu\text{m}$), D_{v50} ($33 \mu\text{m}$) 및 D_{v10} ($8 \mu\text{m}$)으로 나타낸다. 즉 입자로 분무된 물 체적의 90, 50 또는 10%를 지정된 입자 크기 이하가 되도록 제한하는 것이다. 체적도수곡선 (volume frequency curve)은 예를 들면, 가장 많은 부피를 차지하는 물입자의 크기가 $50 \mu\text{m}$ 라는 것을 나타낸다. 반면에 누적입자수곡선 (cumulative number curve)은 총 입자 수의 90%가 $10 \mu\text{m}$ 이하라는 것을 나타낸다. 위의 예에서 동일한 미분무에 대하여 이미 다섯 가지의 다른 숫자로 표현하였으며, 다른 여러 방법으로 나타낼 수 있다. 그러므로 입자크기를 비교할 때는 세심한 고려가 필요하다.

참고자료 : International Fire Protection (Issue 26 - May 2006)

번역 및 편집 : 총무부 과장 사공람