

물분무 화재방호시스템

김 상 옥

한국화재·소방학회

1. 개 설

물분무를 이용하는 고정식의 화재방호시스템이 등장한 역사는 상당히 길다. 우리나라의 경우 오래전부터 소방기술기준 속에 이 시스템에 관한 내용이 들어 있고, 미국의 경우 NFPA에서 1940년에 이 시스템의 기술기준을 공식 채택한 이후 오랜 시행기간동안 수차례 수정, 보완하면서 현재에 이르고 있다.

앞의 서두에서 소화시스템(Fire Extinguishing System)이라는 말대신 화재방호시스템(Fire Protection System)이라는 표현을 사용한 것은, 물분무가 소화의 목적과 효능이라는 방호특성에만 국한하지 않고 화세 억제(Fire Control) 및 화열노출대상의 방호(Exposure Protection) 등을 비롯하여 때로는 출화예방(Fire Prevention)의 목적으로도 이용되는, 여러가지 다양한 목적과 방호특성을 갖고 있기 때문이다.

(註) 물소화시스템의 화재방호특성과 관련하여 Fire Extinguishment, Fire Suppression, Fire Control, Exposure Protection과 같은 여러가지 표현들을 소방공학의 영문서적 또는 서류들에서 자주 접하게 되는데, 이 용어들의 개념과 차이점을 한번 짚어 볼 필요가 있을 것 같다. Fire Extinguishment는 우리말로 “소화(消火)”이며, 글자의 의미 그대로 불을 완전히 끈다는 뜻이므로 누구든 쉽게 이해할 수 있다. Fire Suppression은 “소화”라는 결과를 얻기까지 진행되는 과정적 상황에 속하는 것으로서, 불타고 있는 가연물(Burning Material)로부터 발생되어 나오는 열의 방출율(단위시간당 방출열량으로서 열방출속도라고도 한다)을 급격히 감소시켜 화세를 감축시켜가는 것을 말하는데, 특히 A급 가연물의 화재에 대해 물방울들을 집합적으로 방사하는 시스템의 경우 적정밀도 이상 되는 충분한 량의 물방울들이 불기둥(Fire

Plume)속을 지나 Burning Material에 도달하여 적셔줄 때 더욱 실효성이 커진다. Burning Material 상부의 Fire Plume은 대부분 불꽃연소(Flaming Combustion)가 진행되면서 나타나고, 주위에 대한 다량의 열방출이 대부분 이에 기인하지만, 불타는 가연물의 타는 속도 즉 Burning Rate가 감소하면 사실상 Fire Plume의 세력 역시 감소되게 마련이므로, Fire Suppression은 불타는 가연물의 Burning Rate를 급격히 감소시키는 것이라고 말할 수도 있다. 그러나 좀 더 심층적으로 분석해보면, 화원으로부터 방사되는 물방울들 중에는 Fire Plume의 상승력(Draft Force)를 이겨내면서 Burning Material에 도달할 수 있는 운동량을 가진 물방울들만이 분포되어 있는 것은 아니며, 시스템 및 설치되는 방사노즐에 따라 정도의 차이가 있으나 극히 미세한 물방울에서 보다 큰 것에 이르기까지 다양한 크기의 물방울들도 섞여 있게 마련이고, 이런 것들이 Fire Plume과 접촉하거나 그속을 통과할 때 증발하여 수증기로 전환되는 과정에서 열을 흡수함으로써 Fire Plume에 대한 냉각효과가 수반될과 동시에, 크던 작던 수증기에 의한 산소농도도 감소케하는 두가지의 기능이 복합되어, 결과적으로 불꽃연소의 산화반응속도가 다소 감소케 됨으로써 불꽃의 세력이 약화되고, 그 결과 Burning Material에 가해지는 복사열도 감소되어 Burning Material의 가연성 가스발생량도 감소된다. 이와 같은 Fire Plume의 세력약화기능과, Burning Material을 적셔 Burning Rate를 직접 감소시키는 기능이 상호 동시에 작용하여 화세감축의 상승적 효과를 보여줄 수가 있는 것이다. 물론 가연물의 종류, Burning Rate, 주위의 환경적 여건(환기조건 등)과, 방사되는 물방울들의 크기와 속도, 그 분포상태 및 살수밀도 등이 상호 얼마나 적절히 부합될 수 있는냐에 따라 Suppression의 효능이 좌우된다. Fire Suppression은 ESFR 스프링클러의 연구결과가

† E-mail: firegod@netsgo.com

본격 대두되기 시작하였던 1980년대 이전까지만 하더라도 Fire Extinguishment의 의미와 별다른 구분없이 혼용되는 경우가 많았던 것이 사실이나, 오늘날에는 그 개념이 뚜렷이 구분되고 있다. Fire Control은, Burning Material에 도달한 물의 양 및 분포가 충분치 못하여 Fire Suppression의 경우처럼 Burning Rate와 열방출율을 급격히 감소시키지는 못하더라도 열방출율을 서서히 감소케 하거나 더 이상 커지지 않게 함으로써 화세를 제한함과 아울러, 실내화재인 경우 Fire Plume에 의해 천장부에 도달하여 수평확산된 대류열의 온도를 감소케 하거나 온도상승을 억제하여 천장부의 구조물도 손상되지 않게 하는 방호특성을 일컫는 말이다.

Exposure Protection은 화원으로부터 방출되는 열이 복사(Radiation), 대류(Convection) 및 전도(Conduction)의 열전달방식 중 하나 또는 그 이상의 매커니즘을 통해 주위의 미연소가연물을 연소케 하거나 주위의 구조물을 손상(변경, 붕괴, 파손 등)케 하는 것을 방지하는 것을 일컫는다.

앞의 부분에서 필자는 Fire Suppression을 우리말로 화세진압, Fire Control을 화세억제라고 표현하였다. 즉 화재라는 말대신 화세라는 표현을 사용하였는데, 이는 “화재진압”이 갖는 통상적인 의미와 혼란을 피하기 위함이다. “화재진압”이라고 하면 “소화”를 뜻하는 것으로 대개 익숙해져 있기 때문이다. 또한 물방울들을 집합적으로 방사하는 시스템들의 기능요소가 이와 같이 다양하므로, 필자가 “물분무소화시스템”이라는 표현을 사용하지 않고 “물분무 화재방호시스템”이라고 표현한 이유도 여기에 있다.

물분무시스템 역시 화재방호용의 매체로 물을 사용하기 때문에 방호특성에서 스프링클러시스템과 유사한 기능요소가 많으나 다소 다른 점도 있으며, 특히 “물분무”라고 특정지워 부르는 물방울들의 방사특성과 적용방호대상에 있어서는 차이가 크다. 미국 NFPA의 National Fire Code 속에 들어 있는 고정식 물분무방호시스템의 공식명칭은 Water Spray Fixed System for Fire Protection(NFPA Standard NO. 15)이고, 이 제목과 그 내용에 이르기까지 물분무를 Water Spray라고 표현하고 있다. 그런데 소방공학의 영문서적 등을 살펴보면 Water Spray라는 표현이 물분무시스템에서만 사용되지 않고, 스프링클러시스템을 비롯하여 NFPA에서 금년(2000년)에 공식적인 기준으로 등장시

킨 미분무수시스템(Water Mist System)과 관련한 영문서적 속에서도 빈번히 사용되고 있어, 이들 시스템으로부터 방사되는 물방울들의 방호특성을 보다 온건하게 이해하는데에 혼란을 일으키기 쉽다. 이들 시스템 각각의 화재방호특성에 대하여는 미국을 위시한 이 분야의 선진국들에서 아직도 많은 실험을 통한 연구가 계속되고 있고, 새롭게 밝혀지는 현상이나 개념이 끊임없이 발표되고 있는 실정이다. 이들 시스템 모두에 대해 영문의 전문서적들에서 공통적으로 사용하고 있는 Water Spray라는 표현은 방사하는 물방울들(Water Droplets)을 집합적으로 나타낸다는 뜻의 보통명사적 의미로 이해하면 충분하다.

이와 같이 일반적, 광의적 표현의 Water Spray는 보통명사의 뜻으로 이들 세 시스템에 공히 사용되고 있으나, 별도로 특정화하여 부르는 물분무시스템에 있어서는, 스프링클러시스템과 비교할 때 그 방호특성 및 적용방호대상의 성격이 많이 다르다는 점에서, 지나온 역사의 과정에서 스프링클러시스템과 구분하여 Water Spray System이라고 명명되어왔을 뿐이다. 이런 경우는 미분무수시스템의 경우에도 마찬가지다. NFPA에서는 미분무수시스템에 관한 기준에서 $D_{vf} = N\mu$ (μ :미크론)이라는 표기방식을 만들어내어 $D_{v0.99} = 1000\mu$ (즉 1mm)에 해당하는 물방울들의 집합적 분포를 미분무수(Water Mist)라고 정의하고 있는데, 물분무시스템의 Water Spray는 예외없이 이 범주에 들어가고, 스프링클러시스템의 Water Spray(보통명사)도 방사압력이 다소 큰 경우에는 사실상 이 범주에 들어가는 것이 보통이다. 그럼에도 불구하고 미분무수시스템도 별도로 특정화하고 있는 것은 그 나름대로 적용방호대상 및 그 대상에서의 화재에 대한 대응특성 등, 여러 면에서 특이성을 갖고 있기 때문이다. 여하튼 이들 세 시스템들의 물방사에 있어 물방울들의 크기, 진행속도, 분포상태 및 방사밀도 등이 서로 어떻게 다르던간에 작은 물방울들이 집합적으로 방사되는, 순수한 우리말로 볼보라가 방사된다는 점에서는 공통성을 갖는다. 또한 이들 시스템에서 방사되는 물보라가 화재시의 연소상황에 대해 기능하는 소화, 화세진압, 화세억제 및 화열노출대상의 방호(Exposure Protection) 등에 있어, 그 배경이 되는 기능요소들은 거의 대부분 다르지 아니하며, 시스템마다 그 기능요소들의 기여도에 따라 적용방호대상, 방호방식 및 시스템의 구성방식 등에서 차이가 있게 된다. 예컨대, 물의 냉각기능(Heat Extraction 또는 Cooling), 공기퇴출(Air Displacement) 즉 산소희석(Oxygen Dilution 또는 Oxygen Depletion) 및 복사열 차단(Blocking of Radiant Heat) 등은 세 시스템 모두

공통되지만, 연소상황에 대응하는 각 기능의 기여도가 서로 같지 않다. 그러나 이들 기능외에 시스템들 나름대로 별도의 특징적 기능요소가 있는 경우도 있다. 예컨대, 물분무 — 이 글에서는 특정화하여 부르고 있는 물분무시스템에서 방사되는 물보라만을 물분무라고 표현하기로 한다 — 의 경우 인화성(Flammable) 또는 가연성(Combustible) 액체의 표면에서 물분무의 유화작용(Emulsification)에 의한 에멀전 박막(Emulsified Thin Film)의 형성으로 가연성증기의 발생을 억제하는 기능도 다소 있으며, 미분무수의 경우 미분무수의 수증기(Water Vapor로서 Steam이 아님)가 액체표면 상부의 미세한 공간에서 가연성 증기와 공기와의 혼합과정에 개입하여 가연성증기로 하여금 연소한계(Flammability Limit)를 벗어나게 하는 부수적 기능을 약간 보여주는 경우도 있다.

(註 1) 미분무수에 관한 실험과 연구가 처음 시작된 것은 매우 오래전인 1950년대 초기무렵으로 알려져 있으나, Halon 1301을 비롯한 할로겐화물소화약제의 본격등장으로 인해 오랫동안 뒷전으로 밀려 다소 침체되어왔다가, 1987년의 몬트리얼협약(Montreal Protocol)을 계기로 할로겐화물소화약제의 종말이 예견됨에 따라, 하론시스템의 대체물로서 미분무수에 대한 긍정적인 전망성이 급격히 대두되면서 실험과 연구에 박차가 가해지는 계기가 되었다.

(註 2) $D_{vf} = N\mu$ (미크론)이라는 표기방식은 노즐로부터 방사되는 무수한 물방울들의 분포상황을 물방울들의 크기와 관련시켜 가시적으로 정량화하는 방법의 하나인데, D_{vf} 중의 D 는 Drop 또는 Droplet의 이니셜을, v 는 Volume의 이니셜을, f 는 분율(fraction)의 이니셜을 나타낸다. NFPA에서는 이와 같은 가시적 정량화를 위해 그 측정기준을 다음과 같이 설정하고 있다. 즉 노즐로부터 하향으로 물보라를 방사하였을 때 노즐로부터 1m 직하부의 평면에 도달한 물방울들의 크기(직경)를 측정하되 가장 미세한 것부터 시작하여 점차 그 이상의 것에 이르기까지의 수많은 물방울들의 체적을 단계적으로 합산하면서, 어느 단계에서의 합산체적이 기준평면(노즐로부터 1m 직하부의 평면)에 도달한 모든 물방울들의 체적을 합산한 값의 분율이 되었을 때, 그 분율까지 측정된 물방울들 중 가장 큰 직경의 것이 $N\mu$ (미크론)이었다면, 그 단계에서의 물방

울들의 집합적 상황을 $D_{vf} = N\mu$ 이라고 표기하는 것이다. 만약 보다 큰 분율까지의 물방울 분포상황을 표기하려면 그 이하의 분율까지에 대한 물방울들의 합산체적도 당연히 보태어져야 하므로, 이러한 체적분율을 누적체적분율(Cumulative Volume Fraction)이라고 부른다. 분율을 %로 나타내려면 분율에 100을 곱하면 될 것이며, 이 경우의 체적백분율을 누적체적백분율(Cumulative Volume Percentage)이라고 한다.

하나의 예로서, $D_{v,0.1} = 100\mu$ 과 $D_{v,0.1} = 500\mu$ 로 표시되는 두 물보라를 비교해보자. 만약 노즐로부터 1m 직하부의 기준평면에 도달한 모든 물방울들의 합산체적이 이 두 경우 모두 200cc 즉 200그램이었다면, $D_{v,0.1} = 100\mu$ 의 것은 200그램 중 1/10 즉 20그램이 $100\mu (= 0.1\text{mm})$ 이하의 수많은 물방울들로 물보라를 형성하여 분포하고 있음을 뜻하고, $D_{v,0.1} = 500\mu$ 은 20그램이 $500\mu (= 0.5\text{mm})$ 이하의 물방울들로 물보라를 형성하여 분포하고 있음을 의미한다. 이것은 곧 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 의 물보라 속에는 $D_{v,0.1} = 500\mu$ 의 물보라에 비해 크기가 매우 작으면서 비교되지 않을 정도로 훨씬 더 많은 수의 미세한 물방울들이 분포되어 있음을 나타낸다.

또 하나의 예로서 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 및 $D_{v,0.9} = 200\mu$ 인 물보라와 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 및 $D_{v,0.9} = 500\mu$ 인 물보라를 비교해보자. 그리고 두 경우 모두 기준평면에 도달한 모든 물방울들의 합산체적이 앞의 예에서처럼 200cc 즉 200그램이었다고 하자. 두 경우 공히 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 이므로 200그램 중 20그램의 물은 각각 공히 100μ 이하의 미세한 물방울들로 만들어져 있다. 그런데 $D_{v,0.9} = 200\mu$ 인 물보라는 전체물량 200그램 중 180그램이 $200\mu (= 0.2\text{mm})$ 이하의 물방울들로 분포되어 있으며, 180그램 중 이미 20그램은 100μ 이하의 물방울들이므로 나머지 160그램은 100μ 보다 크면서 200μ 이하인 물방울들로 형성되어 있음을 알 수 있다. 반면에 $D_{v,0.9} = 500\mu$ 의 경우 180그램이 $500\mu (= 0.5\text{mm})$ 이하의 물방울들로 형성되고, 그 중 160그램은 100μ 보다 크면서 500μ 이하인 물방울들로 구성되어 있는 것이다. 따라서 이 두 물보라 중 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 및 $D_{v,0.9} = 500\mu$ 의 것이, 극히 미세한 물방울들의 수와 분포에 있어서는 $D_{v,0.1} = 100\mu$ 및 $D_{v,0.9} = 200\mu$ 의 경우와 상당

히 유사하나, 그외의 분포에 있어서는 훨씬 더 거친 물방울들이 섞여 있음을 알 수 있는 것이다. 참고로 NFPA의 정기간행물인 "Fire Journal"의 1994년판 No.4(Vol. 88)에서, Mawhinney, J.R. 이 여러 살수기구별 물방울들의 분포크기와 Cumulative Volume %와의 상관관계를 실측하여 그래프화한 그림 1을 보면, 미분무수노즐, 물분무노즐 및 스프링클러로부터 방사되는 물보라를 이해하는데에 도움이 될 것인데, 그림속의 오른쪽에서 두번째 곡선이 물분무 노즐로부터 방사되는 물보라의 특성을 나타내며, 그 왼쪽의 세가지 곡선은 미분무수시스템에 설치하는 미분무수 노즐의 것을 보여주고 있다.

(註 3) 낱말풀이식으로는만 생각하면, 연소할 수 있는 모든 액체를 광의적으로 가연성 액체라고 말할 수 있으므로, 인화성 액체 역시 가연성 액체의 범주에 속한다고 할 수 있을 것이다. 그러나 소방분야에서는 이러한 광역적 의미를 배제하고, 인화성 액체와 가연성 액체로 특정화하여 구분하는 것이 보통인데, 그 본질적인 구분의 기준은 일상적인 실온에 근거하고 있다. 다시 말하여, 인화점이 실온보다 낮은 액체(예: 가솔린, 헨탄 등)를 인화성 액체, 그 보다 높은 액체(예: 경유, 중유 등)를 가연성 액체로 구분하는 것이다. 그것은 인화점이 실온보다 높으나 낮으나에 따라 현실적인 발화위험도에 미치는 영향성에서 차이가 크게 날 수 있기 때문이다. 그런데 이 경우 어느 온도를 실온의 기준치로 잡는 것이 적절할 것인가가 중요한 관점이 될 것이나, 거기에는 기

후조건에 따라 나라마다 다소 차이가 있을 수 있다. 더운 지역일수록 실온의 기준을 높혀 잡는 것이 보다 바람직할 것이나, 미국의 경우 NFPA에서는 100°F(약 37.8°C)를 기준온도로 설정하여, 그 이하의 인화점을 가진 액체를 인화성 액체, 그보다 높은 것을 가연성 액체로 구분하고 있다. 우리나라의 경우 소방법시행령에서 제4류의 위험물을 인화성 액체로 통칭하고, 이에 속하는 품명 및 품목의 분류(예: 제1석유류, 제2석유류 등) 속에서 인화점의 범위를 설정해 두는 방식을 취하고 있다.

물분무 화재방호시스템의 방호특성과 구성방식에 대해 보다 온전하게 접근하기 위하여는 물분무 나름의 방사특성과 성능요소에 대한 올바른 이해가 필요하다. 그러나 다른 시스템에서 방사되는 물보라의 특성에 대한 이해없이 물분무만을 단독 파악하고자 하면 다소 혼란을 주기 쉬우므로, 필요에 따라 다른 시스템의 물보라와 비교해 보는 것도 바람직하다고 여겨진다. 다만, 이 글의 주제는 어디까지나 물분무와 관련된 것이므로, 다른 시스템에 관하여 지나치게 언급하지는 않을 것이다.

2. 물분무시스템의 화재방호특성과 방호대상

2.1 물분무의 화재방호특성

소방기술인이라면 거의 모두 알고 있듯이, 스프링클러 시스템은 거의 모두 건물내의 실내화재(Fire in Compartment)를 방호하기 위한 것으로서 원칙적으로 실내의 특정 물품이나 시설물만을 대상으로 하지 아니하므로, 실내의 바닥면을 기준으로 하여 실내의 어느 지점에서 출화하더라도 국소적으로 감당하는 즉 Area Coverage 방식으로 실내의 전체를 방호코자 하는, 이른바 Total Protection용의 시스템이다. 그러나 물분무 시스템은 이와는 대조적으로 옥외 또는 옥내에 설치되어 있는 특정의 장치 또는 국소적인 산업시설물을 방호대상으로 하여, 방호대상물의 표면에 물분무형의 물방울들이 적절한 밀도로 도달할 수 있도록 강제로 투사하는 즉 Surface Coverage 방식을 취하여 방호하는 특징을 갖는다. 그러므로 당해 방호대상물의 화재시 예견되는 연소상황과, 그 방호목적에 가장 적합한 성능으로 기능할 수 있는 물보라가 당연히 필요하게 되는데, 이를 물분무라고 특정화하여 부르고 있는 것이며, 이를 방사할 수 있는 구조의 노즐 역시 특정화하여 물분무노즐이라고 일컫고 있을 뿐이다.

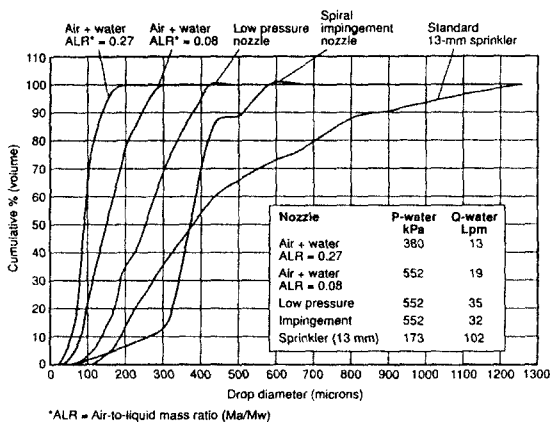


그림 1.

특정의 방호대상물에 대해 Surface Coverage 방식으로 방호하려면 물분무의 투사형태가 방호대상물의 표면을 적절히 커버(Cover)할 수 있도록 만들어진 방사구조의 노즐이 필요할 것이고, 화세를 진압하여 소화하거나 화세를 억제하거나 또는 화열노출대상의 방호(Exposure Protection)를 하는 등, 연소상황에 대처하여 목적하는 바를 달성케 하는데에 직접 기능하는 물방울들의 크기와 분포상황(밀도 포함) 및 투사속도 등이 고려되어야 할 중요한 요소가 된다.

스프링클러헤드로부터 방사되는 물보라를 미국 등에서는 일반적 표현으로 Water Spray라고 하면서도, 특정적인 물분무시스템에서의 물분무도 Water Spray라고 부른다는 것을 앞절 「개설」에서 말한 바 있다. 물론 이 두 경우의 Water Spray는 그 특성에서 다른 점이 적지 않다. 역사적으로 보면 스프링클러시스템이 물분무시스템보다 거의 130년 정도 앞서 등장하였다. 그리고 상당히 막연한 표현이지만 스프링클러시스템의 물보라가 물분무보다 대체로 거칠고 상대적으로 큰 물방울들이 더 많다. 그것은 육안으로 보아도 그렇게끔 보인다.

방사오리피스의 크기에 따라 동일한 방사압력하에서 분사되는 물의 양이 같지 않다는 것은 스프링클러헤드나 물분무노즐 모두 다를 바 없다. 미분무수 노즐 역시 그러하다. 그것은 물의 유체적 특성 때문이다. 그런데 스프링클러헤드의 오리피스로부터 분사되는 물은 디플렉터(Deflector)에 부딪혀 물의 진행방향이 매우 다른 각도로 전환되면서 우산모양(Umbrella Shape)의 물보라를 형성하는데, 이 과정에서 대부분의 물방울들은 자유낙하의 성격을 보여주게 된다. 물론 디플렉터의 구조형태로 볼 때 일부의 물방울들이 처음부터 약간의 속도를 갖고 투사되기도 한다.

그러나 물분무노즐로부터 방사되는 물방울들은 거의 모든 노즐에서 디플렉터와 같은 구조물에 의해 방해받고 난 다음 자유낙하하는 것이 아니라, 처음부터 속도를 갖도록 강제되어 투사된다. 드물지만 디플렉터를 가진 물분무노즐도 있으나, 이 때의 디플렉터는 스프링클러헤드처럼 수평형태의 구조가 아니고 투사방향쪽으로 굽어져 있어 디플렉터에 의한 물보라화가 일어남과 동시에 상당한 강제투사속도가 유지된다.

이와 같이 스프링클러헤드와 물분무노즐의 물보라에 대해 속도문제를 비교해보는데는 그만한 이유가 있다. 앞에서 이미 언급하였듯이 스프링클러시스템은 실내화재에 대한 Total Protection용으로서, 직접 상대하는 가연물은 사실상 A급 가연물이며, Area Coverage 방식의 방호성격을 갖기 때문에 헤드의 설치위치도 실내의

천장쪽 상부가 된다. 이런 상태에서 A급 가연물의 연소를 수반하는 화재시에 신속한 화세진압 및 소화효과를 얻기 위하여는 충분한 양의 물방울들이 Burning Material에 도달하여 연소가 신속히 격감될 수 있을 만큼의 밀도로 적셔주어야 한다. A급 가연물 화재에 의한 연소상황은 Burning Material의 표면에만 국한하지 않고 Fire Plume의 형성과 더불어 표면속까지 진행되어 속불도 포함되는, 이른바 심부화재(Deep-seated Fire)의 성상을 나타내므로, 스프링클러시스템의 물방울들은 그 속불에까지도 침투할 수 있어야 한다. 이런 까닭으로, 스프링클러시스템에서는 Dvf와 같은 물방울의 크기별 분포상황보다 화세진압(Fire Suppression)을 위한 물보라의 필요공급밀도(RDD 즉 Required Delivered Densited)와 실제공급밀도(ADD 즉 Actual Delivered Densited)를 비롯하여, 헤드의 감응시간지수(RTI 즉 Response Time Index) 등의 변수들이 보다 중요시 되고 있는 것이다. 물론 화원의 영향범위로부터 떨어져 위치하고 있는 헤드의 불필요한 개방으로 인한 수손(Water Damage) 및 물의 비경제적 소모도 가능한 한 줄일 수 있게 하거나, 화점과 인접한 미연소가연물의 발화도 예방할 수 있도록 동시에 다양하게 기능하는 것도 필수적이다. 스프링클러시스템의 물방울들은 앞에서 말한 바와 같이 상당량이 자유낙하하므로 Fire Plume의 상승력(Draft Force)을 극복하고 Burning Material에 도달할 수 있으려면, 이에 적합한 비교적 큰 물방울들이 상당부분 적정하게 분포될 수 있어야 한다. 스프링클러시스템의 물보라가 소화, 진압 등의 성능에 미치는 영향성에 관한 수많은 누적된 연구결과들에 의해, 지금까지 실용화되어온 스프링클러헤드들이 현실적으로 상당히 효율적인 성능을 보여주는 것으로 밝혀져왔지만, 효율성을 더욱 높여주기 위한 연구는 지금도 끊임없이 진행되고 있다.

(註) RDD란 화원의 화세진압에 필요한 물보라의 공급 밀도를 말하는 것으로서, 화원에 대한 물보라의 화세진압성능에 대한 척도로 활용되며, 단위로는 보통 Gal/min/ft², Liter/min/ft², 또는 mm/min가 사용된다.

RDD는 하나의 화원에 대한 진압효과를 얻기 위해 소요되는, 단위면적에 대한 단위시간당 주수율(注水率)을 측정하여 구하게 되는데, RDD는 화원에 방사되는 스프링클러의 물보라에서 측정하는 것이 아니라, Burning Material의 표면에 균일한 분포로 물보라를 직접 주수할 수 있도록 고안된 특정의 방사노즐을 여러개 사용하여 측정하르

로, 실제로 화원의 상부에 설치하는 스프링클러헤드로부터 방사되는 물보라와는 무관하다. 큰 화원일수록 화세도 클 것이므로, RDD는 화원의 크기에 크게 좌우된다.

ADD는 가연물의 표면 중 윗쪽 수평표면에 직접 도달하는 물방울들의 주수밀도를 말하는 것으로서, Fire Plume의 상승기류를 극복하고 통과하는 물방울들의 부과율과, 스프링클러헤드들의 평면적인 배치관계의 최적성 여부 등을 판단하는 잣대가 된다.

출화후 스프링클러헤드가 개방될 때까지의 경과시간이 길어지면 화원도 커지면서 ADD는 감소한다. 그것은 Fire Plume의 크기와 상승력도 증대됨으로 인하여 당해 스프링클러로부터 일정량으로 방사되는 물보라 중 Fire Plume의 주위로 비산되거나 증발하는 물방울들이 증가하기 때문이다. RTI는 스프링클러 감열소자(감열부는 감열소자 및 이와 함께 구성되는 부속들을 합하여 총칭하는 발임)의 주위온도변화에 대한 감응도를 정량적으로 나타내는 척도로서, 감열소자의 감응도가 클수록 그 RTI 값은 작아지는 관계성이 있다(RTI에 관한 더 이상의 설명은 생략한다).

물보라의 주수가 화원의 성장이 크지 않은 출화 초기일수록 RDD는 감소하지만 ADD는 커질 것인 바, 이는 앞의 설명과 관련할 때 자명하다. 이렇게 볼 때, 스프링클러헤드의 RTI가 작은 것일수록 그 화원의 RDD도 작아질 것이며, 반면에 ADD는 커질 것이다. 반대로, 스프링클러헤드의 RTI가 클수록 그 화원의 RDD도 커질 것이며, 반

면에 ADD는 줄어든 것이다. 따라서 ADD가 RDD보다 작아지는 상황에서는 화원에 대한 초기 진압의 효과는 기대하기 어렵게 될 것이다. 스프링클러시스템에서 RDD와 ADD의 상관성이 중요한 사항으로 인식되게 된 것은, 1980년 후반기에 착안된 ESFR(Early Suppression Fast Response) 스프링클러헤드와 그 소화성능에 대한 실험 및 연구에서 비롯되었다. 참고로, RDD와 ADD의 상관 관계를 그래프로 나타내면 그림 2와 같다.

그런데 물분무는 대체적으로 스프링클러의 물방울들보다 크기가 상당히 작은 것들이 훨씬 많이 분포되어 있어, 물방울들이 상당한 속도를 갖도록 강제투사하여 작은 물방울들로 하여금 적절한 운동량(Momentum)을 갖게 하지 아니하면 Fire Plume속을 통과하기가 용이치 아니하다. 그러나 물분무의 강제투사는 이런 한가지 이유 때문만은 아니며, 스프링클러시스템과는 달리 방호대상물의 표면전체를 물분무로 포위공격하는, 이른바 Surface Coverage 방식을 취하기 때문에, 방호대상물에 대한 물분무의 측면방사 또는 방호대상물의 하부면에 대한 직상방사에 있어, 물이 스프링클러헤드처럼 디플렉터에 부딪치는 구조와 동일한 방식의 노출로서는 방호대상물의 표면에 물방울들이 적절히 투사되기 어려운 것임은 자명하며, 특히 방호대상물이 옥외에 노출·설치되어 있는 경우 바람의 영향도 극복하기가 용이치 않을 것이다.

(註) 우리나라에서는 “디플렉터”를 “반사판”이라고 부르고 있는데, 이 말이 모든 디플렉터의 기능을 포괄하는 것으로 보기에는 많이 적절치 않은 것 같다. 영어명 Deflector는 반사(Reflection) 즉 원래의 방향으로 되돌아오게 하는 기능을 가진 구조물이라는 뜻이 아니라, 방향을 빗나가게 하는 즉 편향(偏向) 또는 굴절시키는 기능을 가진 구조물이라는 뜻이므로, “반사판” 대신 “편향판” 또는 “굴절판”이라는 표현이 보다 정확하고 적합하지 않을까 싶다.

그런데, 방사되는 물방울들이 적정 운동량을 가질 만큼의 속도를 제공하는 문제는 미분무수시스템의 경우 화재방호의 성능과 관련하여 상당히 민감한 요소가 되고 있어, 이에 대한 정량성의 평가가 필요한 일이 적지 않다. 뿐만 아니라, 미분무수시스템에 있어서는 $D_v = N \mu$ 로 나타내는 물방울들의 크기 및 분포율이 필수적으로 중요시되고 있다. 그럼에도 불구하고, 물분무

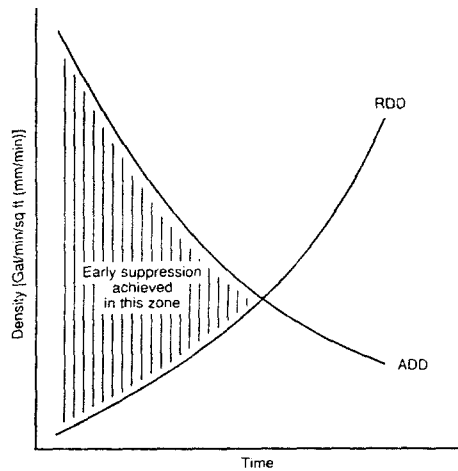


그림 2.

시스템이나 스프링클러시스템의 경우, 화재실험을 통한 학자들의 연구과정에서는 이와 같은 정량적 요소를 개입시키는 경우가 더러 있으나, 실제에 적용하기 위한 설계 등의 엔지니어링 과정과 관련한 여러 기술기준에서는 이에 대해 아무런 언급이 없다. 그것은 스프링클러시스템과 물분무시스템이 실용화되어온 역사의 과정과 관련된다. 미분무수시스템은 이들 시스템처럼 오랜 역사성을 가지면서 점차적인 개선·발전의 과정을 거쳐 오늘에 이른 것이 아니라, 방호목적은 사전에 설정해두고 그 목적달성의 최적화에 부합될 수 있는 시스템의 특성개발에 대한 필요성이 대두된 측면이 강하고 또 지금도 그러하나, 스프링클러시스템과 물분무시스템은 오래전부터 실용화되어온 과정을 통해 성능의 효율성이 점진적으로 개선되고 기준화됨으로써, 헤드나 물분무노즐을 기준에 맞게 설치하면 되는 현실이 지속되어 왔기 때문이다. 다만, 물분무시스템의 노즐설치에 있어서는 대상물의 화재방호에 필요한 살수밀도(Water Application Density)의 선정을 토대로 노즐의 방사특성에 대한 제조자의 사양에 반드시 맞도록 해야 한다는 점에서, 보다 다양하고 신축적인 측면이 있기는 하다.

스프링클러시스템, 물분무시스템 및 미분무수시스템에서 방사되는 물보라의 불에 대한 냉각(Heat Extraction), 공기퇴출(즉 산소희석) 및 복사열의 차단이라는 세가지 기능요소가 시스템에 따라 정도의 차이는 있으나 공통적으로 존재한다는 것을 앞절 「개설」에서 언급한 바 있다. 스프링클러시스템의 경우 Burning Material에 대한 냉각기능이 상당히 큰 몫을 차지한다. 산소희석 효과는 상대적으로 매우 미미한 몫을 차지할 뿐이지만, Fire Plume 속에서의 물방울들의 증발(수증기화)은 Fire Plume으로부터 상승하는 열기류의 냉각에 상당히 기여함으로써 화원과 무관한 헤드의 개방 및 천장구조물의 가열을 방지하는데에 기여한다. 디플렉터로부터 수평적으로 비교적 넓게 퍼지는 물방울들도 Fire Plume의 고온상승기류가 천장에 부딪쳐 수평확산되는, 이른바 Ceiling Jet Flow의 냉각에도 함께 기여한다.

미분수의 경우에는 위의 세가지 기능요소 중 공기퇴출 기능이 가장 큰 몫을 차지한다. 그것은 Fire Plume 속으로 투사되는 미분무수가 용이하게 다량 증발할 수 있기 때문인데, 이는 미분무수의 비표면적(Specific Surface Area, 단위질량당 표면적을 말한다)이 크데에 기인한다. 그러나 실제에 적용함에 있어서는 Compartment의 공간적 크기에 대한 출화시의 열방출율과 환기조건 및 가연물 또는 내부구조물의 배치

형태 등 여러가지 변수적 상황에 따라 산소희석의 효능이 많이 좌우되기 때문에, 일률적으로 정량성이 고정된 노즐을 설치하는 것이 최적이 아닌 경우도 적지 않고, 설령 동일사양의 노즐설치가 가능한 경우라도 예상되는 상황여건에 따라 방사압력의 최적화가 요구되기도 한다. 그것은 방사해야 할 미분무수의 D_{mf} 수치도 방사압력에 따라 변할 수 있기 때문이다. 미분무수시스템을 적용할 때에는 이와 같이 다양한 변수들을 고려해야 하므로, NFPA에서는 방호대상에 대한 모델링 실험을 통한 검증은 전제하고 있다.

그런데, 냉각 및 산소희석에 있어 물분무가 차지하는 비중은, 다소 막연한 표현이지만 대체로 스프링클러시스템과 미분무수시스템의 사이에 있는 것으로 볼 수 있다. 다시 말하여, 물분무는 냉각과 산소희석 효과에 비교적 복합적으로 효과있게 기능한다. 또한 이들 시스템의 복사열차단 기능에 대한 정량적인 비교는 별로 알려진 바가 없으나, 모두 실질적인 수준의 기여도를 갖고 있음은 분명하다.

위의 시스템들 모두가 물보라를 방사한다는 점에서는 다르지 아니하나, 그럼에도 불구하고 물분무는 「개설」에서 잠시 언급한 바와 같이, 인화성·가연성이 있는 비수용성 액체의 표면에서 유화작용을 일으켜 그 액체와 물의 혼합으로, 극히 얇지만 액체표면에서 에멀전(Emulsion) 상태를 제공하여 가연성의 증기발생도 제법 억제하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 물과 기름은 잘 섞이지 않으나, 용기속에서 세차게 교반하면 잠시동안 이들의 혼합상태가 일어나는 현상을 볼 수 있다. 그것은 교반에 의해 기름과 물의 접촉성이 증대되기 때문인데, 이와 유사한 현상이 물분무의 경우에도 일어나는 것이다. 그것은 물분무 속에, 비록 미세하지만 Fire Plume을 통과하는 속도를 가진 물방울들이 액체의 표면에 투사되어 침투함으로써 액체와 물방울들의 접촉성이 증가되어 마치 교반의 효과와 유사한 결과가 일어나기 때문인데, 스프링클러에서 나타나는 정도의 비교적 큰 물방울들은 그냥 액체표면 밑으로 점점 가라앉을 뿐 아니라 비표면적도 커서 이와 같은 현상은 일어나기 어렵다.

2.2 물분무시스템의 방호대상

「2.1 물분무의 화재방호특성」의 서두에서 언급한 바와 같이, 물분무시스템은 특정의 장치 또는 산업시설물을 대상으로, 그 대상물에 대한 물분무의 Surface Coverage 방식을 취한다. 즉 대상물의 모든 노출표면을 물분무로 감싸주는 것이며, 스프링클러처럼 실내화재에 대한 Total Protection을 목적하는 것이 아니다.

이런 점에서 볼 때, 우리나라의 소방기술기준에서는 예나 지금이나 마치 스프링클러시스템처럼 옥내주차장의 Total Protection용으로 적용할 수 있도록 하고 있는 점은 재검토해 볼 여지가 있다고 보여질 뿐 아니라, 주차장에 대해 우리의 소방기술기준에서 정하고 있는 살수밀도 등 정량적 기준의 근거도 오래전 일본법규를 인용한데에 연유한 것으로 보이나, 일본 역시 과거 어떤 근거에서 법제화하였는지 현재로서는 아무도 알지 못하는 것으로 들린다. 이것이 사실이라면 매우 황당한 일이 아닌가 싶다.

전통적으로 물분무시스템을 많이 적용해온 대상물을 몇가지 열거하면 다음과 같다.

- 변압기(Transformer)
- 석유화학공장 등에서 인화성 액체를 저장하는 Tank 류(Exposure Protection의 목적이 더 강한 경우가 많음)
- 석유화학공장 등에서 인화성 액체를 취급하는 공정시설(Process)
- 산업공장들에서 흔히 설치되고 있는 열매보일러 및 그 주위배관 등
- 산업공장의 Belt Conveyor(특히 미분형의 석탄분말 이송용 Conveyor 등)

그런데, 물분무시스템에 관한 NFPA의 기준에서는 물분무시스템이 인화성의 기체 및 액체, 일반 A급 가연물, 각종 전기시설 등에 대해 적응성이 있는 것으로 기술하고 있다.

이것만으로도 물분무시스템이 마치 대단히 광범위한 실용성의 범주를 가진 것처럼 보이는데, 이 사실만을 토대로 위험대상을 둘러싼 환경적 상황요소와 관계없이 물분무시스템이 무조건 적용가능한 것으로 판단하지 않는 것이 바람직하다. 이 기준의 취지는, 예컨대 A급 가연물에는 오직 스프링클러설비만을 택하는 것으로 묶어버리는 식이 아니라, A급 가연물일지라도 이 가연물이 수용되어 있는 장소의 공간구조, 환기조건, 가연물의 분포 및 배열상황 등 수많은 환경적 변수를 고려하여 적절히 설치하는 경우 방호의 적응성을 얻을 수 있다는 뜻일 뿐, 실제로 적용하려면 미분무수시스템처럼 모델링 실험을 통한 구체적인 정량성을 확보할 필요가 있게 된다. 다만, 앞에서 예시한 방호대상물들은 설치에 필요한 정량성이 이미 비교적 보편화되어 있는 것들일 뿐이다.

앞에서 예시한 것들은 형상화되어 있는 장치나 산업시설물들이지만, 이런 것과는 별개로 건축물의 Passive Protection 시설 중 그 기능의 효과가 불충분하거나 불가능한 부분(예: 방화구획 중 폐쇄불가능한 개구부 등)

에 대한 Active적 대책으로 물분무시스템이 활용될 수 있는데, 드렌처형의 노즐도 이에 속하는 것으로 볼 수 있다.

3. 물분무노즐의 분무화원리와 구조 및 방사특성

3.1 분무화의 원리

스프링클러헤드이든 물분무노즐이든, 또는 미분무수노즐이든간에, 이들 살수기구가 물방울들을 만들면서 방사하는 본질적인 배경원리는 하나 뿐이다. 즉, 물의 내부에 존재하는 응집력의 파괴인 것이다.

모든 액상의 물질은 응집력을 갖고 있다. 예컨대, 액상의 단일물질은 무중력상태에서 공간에 한응큼 흘러면 마치 둥근 공처럼 덩어리진 모양을 유지하면서 떠 있게 되는데, 그것은 액체를 구성하고 있는 분자들 상호간의 만유인력(크던 작던 질량체는 만유인력을 가지며, 그렇기에 "만유"라는 표현이 붙는다)이 집합적으로 작용하여 나타나는 응집력 때문이며, 한응큼 흘러진 질량체가 동질성의(Homogeneous) 단일물질이라면 물질의 내부에서 동일한 응집력이 고르게 균배작용함으로써, 결과적으로 최소의 표면적을 보여주는 기하학적 형태 즉 둥근 공과 같은 형상을 갖게 되는 것이다. 이러한 액상물질의 응집력은 어떤 종류의 액체이든 모두 갖고 있는 성질로서 무중력 유무와 상관없이 존재한다. 다만, 지상에서는 항상 중력이 작용하므로 공중에 노출된 물덩어리는 자신의 형상을 유지하지 못하고 수많은 부분으로 분할되면서 낙하한다. 그것은 물덩어리를 구성하고 있는 모든 질량체에 고르게 작용하는 중력분포 중 일부의 합력이 액체 내부의 응집력보다 큰 부분은 물덩어리로부터 분할되기 때문에 일어나는 현상이며, 물의 실제 응집력은 워낙 작기 때문에 물덩어리는 낙하과정에서 무수히 분할되는 것이다. 그런데, 이 현상은 물덩어리에 작용하는 외력이 중력인 경우이지만, 다른 성격의 외력이 작용하여도 물의 응집력 파괴는 쉽게 일어날 수 있다. 예컨대, 노출되는 순간의 물덩어리 즉 중력에 의해 미처 파괴(분할)되기 전의 물덩어리를 막대기로 치는, 즉 기계적 외력을 가하여도 물덩어리 내부로의 순간적인 외력분산으로 응집력의 분포가 파괴되어 산산조각이 날 것이다. 뿐만 아니라, 용기속의 물은 용기를 흔들 때, 우리눈에 잘 보이지는 않으나, 내부의 응집력이 파괴되는 부분이 흔들는 순간마다 무수히 발생한다. 그러므로 용기의 물을 그냥 조용히 부어낼 때에 비해 흔들면서 부어낼 때 분산되어 흩어지는 것이 더 많아진다. 그것은 용기를 흔들어

주는 외력을 전달받은 물의 직접적인 요동 탓도 있지만, 외력에 의해 요동하면서 힘이 실린 물이 용기의 내벽에 이리저리 충돌할 때 내벽에 의한 힘의 반작용으로 응집력이 파괴되는 것이다. 또, 물의 응집력파괴는 배관속의 불흐름에 있어서도 일어날 수 있으며, 그것은 유속을 크게 할수록 심해진다. 물론 유속을 좌우하는 힘의 배경은 물의 압력이다. 배관속의 유수단면적을 통과하는 물의 모든 구성분자들이 갖는 속도는 일정하지 않으며, 유속이 극히 저속이거나 관의 크기 즉 내경이 극히 작을 때는 소위 층류(Laminar Flow)라고 부르는 조용한 흐름이 일어남을 우리는 알고 있다. 그것은 극히 저속으로 움직이는 물분자들의 운동량이 너무 적어 응집력 분포의 균형을 파괴할 정도까지 되지 않기 때문에 일어난다. 그러나 유속의 증가로 물분자들의 운동량이 응집력보다 커지면 배관내부에서 순간마다 물의 분할상황이 발생하여 물끼리 서로 뒤섞이는, 이른 바 난류상태가 나타나기 시작하며, 속도가 증가할수록 분할의 분포는 더욱 왕성해져 난류상황도 점점 격심해진다.

이와 같은 현상들 외에도 응집력을 파괴하는 현상들이 적지 않다. 예컨대, 액체속에 기체를 강제로 투입함으로써 기체압력을 외력으로 활용하는 것이다. 빨대(Straw)의 한쪽 끝을 물속에 넣고, 나머지 한쪽 끝을 입으로 불 때 물이 어지럽게 요동치는 것은 누구나 경험해 본 일일 것이다. 요즈음은 찾아볼 수 없을 것 같으나, 불과 2, 30년 전까지만 하더라도 많이 사용하였던 살충제 약병(흔히 파리약이라고 불렀던 것) 속의 약을 입으로 빨대를 불듯, 입속의 공기를 불어서 뿜어내는 것은 이런 원리의 효율을 극대화한 것이라 할 수 있다.

다른 또 하나의 예로서는, 지금도 병원에서는 거의 예외없이 사용하고 있고 가정에서도 흔히 사용하는 가습기를 들 수 있는데, 그것은 초음파의 진동에너지를 외력으로 이용하여, 물을 미세하게 진동시켜 응집력을 파괴함과 동시에 방출시키는 것이다.

물의 응집력 파괴와 관련하여, 이상과 같이 다양한 힘의 이용에 대해 길게 언급한 것은, 상용의 노즐들에서 물보라를 만들어 방사하는 방식들이 위에서 설명한 원리들을 벗어나지 않기 때문이다. 다만, 초음파를 이용하는 노즐에 대한 연구가 해외에서 진행 중이래도 들리나, 아직 상용화된 것 같지는 않다. 하지만, 어떤 원리와 방식을 이용한 소방용의 물보라 방사기구이든 간에, 즉 스프링클러헤드이든 물분무 및 미분무수 노즐이든 간에, 물의 응집력이 파괴되도록 교란(攪亂)의 결과를 얻고자 하는 점에서는 다르지 않으며, 응집상

태의 파괴가 물의 내부에서 무수히 미세하게 일어날 수 있는 고도의 교란성을 제공할 수 있는 구조의 노즐일수록 더욱 미세한 물방울들을 방사할 수 있을 것임은 분명하다.

그런데, 물방울을 형성시켜주기 위한 과정에서 비록 이와 같이 미세하고 격심한 교란이 수반되어야 하지만, 같은 소량의 물이라도 가늘게 흐르도록 하거나 좁고 얇은 막처럼 흐르게 하면서 방사의 순간에 격심한 교란을 일으켜주면 효과가 더욱 증진될 수 있다. 비유적으로 말하면, 금속의 미세한 파편을 만들고자 가느다란 금속선이나 지극히 얇은 금속판을 사용하여 절단하면 더욱 효율적인 것과 마찬가지로이다. 그래서 이런 원리까지도 복합적으로 이용하고 있는 노즐들이 많다. 현재 국내외적으로 실용화되어 있거나 일단 개발된 것으로 알려진 노즐들을 살펴보면, 대체로 충돌형(Impingement Type), 고속분사형(高速噴射形, Jet Flow Type) 및 쌍유체분사형(Twin-fluid Type)의 세가지로 대별할 수 있다.

3.2 노즐의 유형 및 방사특성

3.2.1 충돌형

충돌형 노즐은 유동하는 물이 노즐의 내부 또는 외부에 결속되어 있는 구조물에 부딪힐 수 있도록 형상화한 것으로서, 그 구조물의 결속위치에 따라 외부충돌형, 내부충돌형의 두가지 유형이 있다.

3.2.1.1 외부충돌형 노즐

외부충돌형은 노즐의 분출구로부터 유출하는 물이 부딪혀 수많은 분할을 일으킬 수 있도록 형상화한 충돌판이 결속되어 있는 노즐로서, 스프링클러헤드는 그 대표적인 예인 바, 디플렉터가 바로 충돌판으로 기능한다. 물분무노즐의 경우에는 아래의 왼쪽 그림과 같은 외부충돌형도 있는 바, 디플렉터가 스프링클러와는 좀 다르게 물의 유출방향으로 상당히 굽어져 있음을 볼 수 있는데, 이런 편향적 구조에 의해 물보라를 강제투사하는, 즉 물방울들에 상당한 속도를 부여할 수

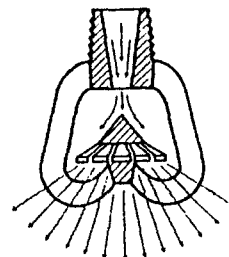


그림 3.

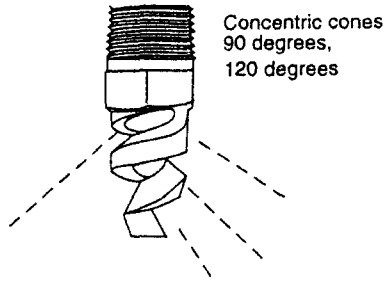


그림 4.

있게 되는 것이다. 그림 3 및 그림 4는 불분무노즐 또는 미분무수노즐로 많이 활용되고 있는 외부충돌형의 두가지 예를 보여주고 있다.

외부충돌형은 노즐의 분출구 안쪽에 물유동에 대한 저항요소가 적어 비교적 큰 방사율을 갖게 할 수 있는 반면, 물보라가 약간 거친 특징이 있다. 만약 외부충돌형 구조만으로 보다 미세한 물보라를 얻으려면, 그만큼 분출구의 크기를 작게 할 필요가 있다. 그것은 분출구가 작을 수록 물의 유출속도가 커지면서 물의 난류성이 더욱 격심해지기 때문이나, 반면에 방사율이 크게 감소된다.

또한 이와 같은 외부충돌형 노즐의 방사형태를 보면, 분출구로부터의 물유출중심선의 직각단면은 원형(Circular)을 나타내며, 유출중심선과 일치하는 단면의 모양은 디플렉터의 편향각도에 영향을 받지만 디플렉터가 유출중심선에 거의 직각인 스프링클러헤드는 우산모양을 나타내고, 위의 그림 3과 같이 디플렉터가 유출방향쪽으로 편향된 노즐에서는 그 단면이 포물면에 약간 가까운 모양의 원추형을 나타낸다.

3.2.1.2 내부충돌형

내부충돌형은 분출구 안쪽의 노즐 내부에 물이 분출구로부터 방사되기 직전 충돌하여 교란될 수 있는 기하학적 형상이 결속되어 있는 구조로서, 물이 충돌하면서 소용돌이를 일으키는 형상으로 만들어지는 경우가 많은데, 물이 소용돌이를 일으키게 되면 물의 회전 원심력으로 인해 물줄기가 다소 얇아지게 되어 물의 분할효과가 증진된다. 그림 5 및 그림 6은 내부충돌형 노즐의 두가지 예이다.

그림 6의 노즐은, 물의 교란을 더욱 촉진시키기 위해 충돌 및 소용돌이를 일으키는 두개의 물줄기가 형성되게 하면서 이들끼리도 충돌이 일어날 수 있도록 형상화한 것이다. 내부충돌형은 외부충돌형에 비해 물을 교란시키면서 좁은 분출구를 통하여 방사하기 때문에 외부충돌형에 비해 크기의 편차가 다소 작은 물방

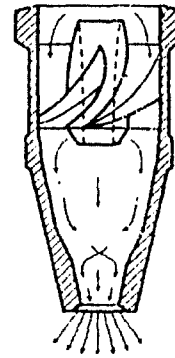


그림 5.

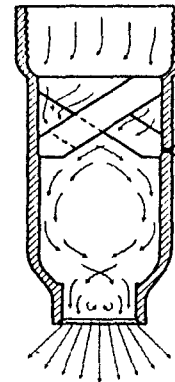


그림 6.

울들을 얻을 수 있다.

이상과 같은 외부 또는 내부충돌형 노즐들 중 스프링클러헤드를 제외한 노즐들 즉 물분무노즐 또는 미분무수노즐들은 물보라의 수직단면 패턴(Pattern)이 사실상 원추형(Conical)의 모양을 갖도록 형상화하여 제작된다. 스프링클러와 같은 우산형의 방사패턴을 가질수록 강제속도를 갖는 물방울들의 분포비율이 줄어들 수 밖에 없고, 그것은 곧 그만큼 적절한 운동량을 갖는 물방울들의 분포비율이 줄어든다는 것을 뜻하는 것이다. 특히 물방울들의 크기가 미세할수록 그 유동성이 Fire Plume의 열기류에 영향을 받기 쉬운데다가 공기저항의 영향도 무시하지 못할만큼 받을 수 있기 때문에, 적절한 운동량을 가질 수 있는 속도로 방사되어야 한다는 점이 간과할 수 없는 요소가 된다.

3.2.2 고속분사형 노즐

고속분사형 노즐은 이 절의 앞에서 언급한 바와 같이, 오리피스를 통과하는 과정의 물이 고도의 난류성을 갖도록 하여 방사하는 것으로서, 동일한 방사압력

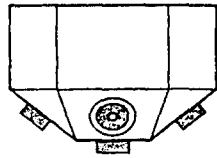


그림 7.

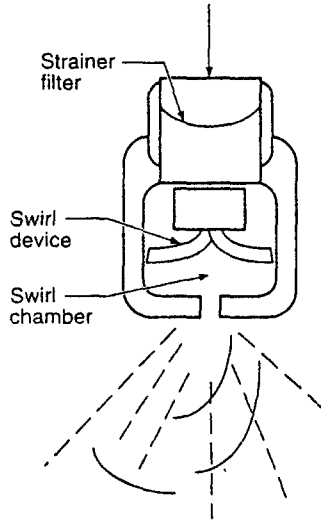


그림 8.

에서는 분출구의 직경이 작을수록 유속의 증가로 난류성이 더욱 심해져 더욱 미세한 물방울들을 방사할 수 있다. 난류성의 판단기준이 되는 레이놀즈 수(Reynolds Number)를 나타내는 $Re = Dvp/\mu$ 의 관계식에서 볼 때, 동일한 D(내경)에서 v(유속)가 클수록 Re의 값이 커지는 것을, 즉 난류성이 커지는 것을 알 수 있다.

따라서, 분출구의 구경을 줄이면서 방사압력을 오히려 증가시킬수록 물방울들은 더욱 미세해지지만, 반면에 방사율은 감소한다. 이런 점은 충돌형 노즐을 비롯한 모든 유형의 노즐이 다르지 않다. 단지 고속분사형과 충돌형의 차이점을 보면, 충돌형의 경우 가능한 한 크지 아니한 방사압력으로 필요한 크기의 물방울들을 비교적 적지 않은 방사율로 얻고자 할 때는, 분출구 구경만을 줄이는 고속분사방식만으로는 한계가 있기 때문에 충돌에 의한 물의 교란성에 보다 역점을 두는 것이고, 고속분사형의 경우에는 방사율은 비록 작더라도 보다 미세한 물보라를 얻기 위해 분출구의 구경조절에 역점을 두는 것이다. 그래서 고속분사형의 경우 그림 7과 같이 하나의 노즐속에 둘 이상의 분출구가 포함된 형태의 것이 많다. 물론 그림 8의 예처럼 내부에 충돌

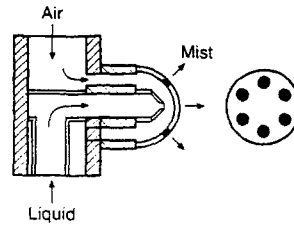


그림 9.

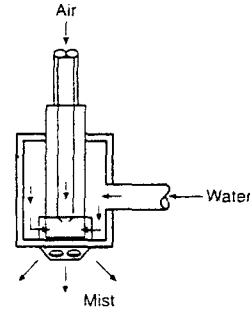


그림 10.

형 구조를 가지면서 고속분사형 방식도 함께 취하고 있는 노즐도 있다.

그런데 둘 이상의 분출구를 가진 것은 방사패턴이 단일분출구의 것과 같을 수 없어, 방호대상물을 Surface Coverage 방식으로 방호하는 물분무시스템에는 사용하지 않는다.

3.2.3 쌍유체분사형 노즐

쌍유체분사형 노즐은 이절의 서두적 설명에서 말한 바와 같이, 물이 분출구를 통과하는 과정에서 압력을 가진 기체(공기 또는 질소 등)를 물속에 투입하여 방사하는 것으로서, 기체압력에 의한 물의 응집력 파괴 뿐 아니라, 기체 고유의 물리적 성질인 큰 확산력[그것은 병진운동하는 기체분자들의 속도분포가 액체에 비해 대단히 크기 때문이며, 또 그것이 기상(Gaseous Phase)으로 존재하게 되는 원인이기도 하다] 때문에 물의 미세한 분할효과가 크게 증가하기 때문이다.

쌍유체분사형 노즐은, 형상화하는 방법에 따라 비교적 작은 방사압력으로 미세한 물보라에서부터 다소 거친 것에 이르기까지, 그리고 비교적 넓은 범위의 방사율도 얻을 수 있다는 장점이 있다.

물분무시스템의 설계자들 간에는 노즐들의 방사압력을 대체로 5 kg/cm^2 를 넘게하는 경우가 적으므로, 사용하는 배관으로는 Schedule No. 40이면 거의 충분하나, 미분무수시스템에서 매우 미세한 물보라의 방사를

요할 때는 방사압력이 매우 커져야 하는 경우가 많기 때문에 상당히 고가의 시설비가 소요될 수 있고, 펌프 또한 매우 고압인 것이 필요하게 되는 것도 현실적인 애로가 되고 있어, 근래에는 제조자들마다 쌍유체분사형의 노즐 개발에도 관심이 커지고 있으나, 이 노즐을 이용하기 위해서는 별도의 기체공급시스템이 병용설치되어야 하는 바, 그것이 시스템의 복잡화 및 투자비의 상승요인이 되고 있어, 보급상황에 대한 향후의 추이가 주목된다.

그림 9 및 그림 10은 쌍유체분사식 노즐의 개요를 보여주고 있다.

4. 물분무시스템의 구성

물분무시스템의 일반적인 구성방식은 일제방사식으로서, 일제살수식 스프링클러시스템의 구성원리와 사실상 다르지 않다. 그것은 물분무노즐들이 대부분 개방형이기 때문이다. 드물지만 감열부가 접속된 폐쇄형의 물분무노즐도 있으나(우리나라에는 아직 없다) 그 적용성이 매우 제한되기 때문에, 대부분 개방형 노즐이 사용된다. 따라서, 준비작동식 스프링클러시스템 또는 일제살수식 스프링클러시스템(Deluge Sprinkler System)의 경우처럼 반드시 방호대상물의 화재특성에 적응한 화재감지설비의 설치가 병행될 수 밖에 없다.

일제살수식 스프링클러시스템과 준비작동식시스템의 구성상의 차이점이 개방형 헤드와 폐쇄형헤드의 차이인 것과 마찬가지로, 물분무시스템과 준비작동식시스템도 폐쇄형헤드와 물분무노즐의 설치라는 차이 뿐이다. 그러므로 물분무시스템의 구성방식에 관하여는 더 이상 언급하지 않기로 한다. 다만, 물분무시스템의 특수한 활용방식으로 노즐까지의 전배관을 습식화하는 시스템 방식도 있다.

(註) 시스템배관을 습식화하는 방식은 주로 규모가 비교적 제한된 공간내에 다량 존재하는 인화성 위험물 또는 분진 등에 의해 발생한 화재가 매우 신속히 소화하지 않으면 짧은 시간내에 수습불가능할 정도로 확대되거나, 출화 자체가 폭발로 이어질 것으로 예상되는 경우에 대처할 수 있는 고속방호용의 수단으로 활용된다. 이 경우 물분무시스템의 습식화를 위해 노즐의 외부면에 캡(Cap)을 씌우거나, 분사구에 플러그(plug)를 끼워두는 것이다. 단지 평상시 노즐로부터 물이 새지 않을 정도로 끼워두는 것이지, 나사방식으로 결합하거나 용접결합하는 것이 아니다. 누수가 되지 않을 정도의 가

벼운 밀폐성을 위한 정량적 기준으로 30 psig(약 2.1 kg/cm²)의 배관내 수압을 택하는 것이 보통이다. 다시 말하여, 배관에 물흐름이 없는 상태에서 30 psig 이하의 정수압(Static Pressure)에서는 물이 새지 않도록 한다는 뜻이다. 이와 같이 노즐마다 캡(이를 Blow-off Cap이라고 부른다) 또는 플러그를 끼워 노즐에서 물이 새지 않게 한 다음 배관을 습식화하는 이유는, 방호대상장소의 화재시 노즐의 방수개시까지 걸리는 경과시간을 가능한 한 단축시키기 위함이다.

화재시 긴급대응을 요하는 이와 같은 장소는 물분무 방사까지의 경과시간을 분(Minute) 단위로 설정할 여유가 없으며, 불과 수초 이내에 정상적인 방사율로 방사될 수 있어야 한다. 폭발이라는 특수상황에서는 밀리세컨드(1 Milli-second = 1/1000 sec) 단위로 설정해야 할 정도로 초고속성이 요구되며, 이 경우의 특수물분무시스템을 초고속형(Ultra-high Speed Type)이라고 하는데, 이 글에서는 언급하지 않을 것이며, 이에 대하여는 NFPA에서도 별도의 기준으로 취급하고 있다. 그런데 폭발상황까지는 아닐지언정 그래도 수초 이내에 물방사를 요하는 상황에서는, 시스템배관을 습식화하지 않으면 화재시 개방된 Deluge Valve로부터 물이 노즐에 도달하는데에 수초가 경과될 것이고, 시스템 배관이 길어질수록 그 시간은 더욱 길어질 것이다. 그러나 Blow-off형의 Cap 또는 Plug를 끼운 다음 시스템 배관을 습식화하면, 개방된 Deluge Valve의 1차측으로부터 시스템 배관속의 물에 작용하는 비교적 큰 수압이 매우 짧은 시간내에 노즐까지 전달되어 Cap(또는 Plug)이 그 즉시 이탈되면서 물이 방사될 수 있게 된다. 물속에서는 압력파(Paessure Wave)의 형태로 수압이 전달되는데, 그 전달속도는 물속에서의 음파전달속도와 비슷한 약 1300 m/sec 정도이므로, Deluge Valve 이후의 배관길이가 실령 1300 m가 된다 하더라도 불과 1초 정도이면 Cap(또는 Plug)에 고압이 작용할 수 있게 되는 것이다. 현실에서는 그와 같이 긴 배관이 설치되는 경우는 사실상 없는 것으로 보아도 될 것이므로, 습식배관방식에서는 거의 눈깜짝할 사이에 물분무가 방사될 수 있다.

이 시스템 방식에서 유의해야 할 것은 습식화된 시스템 배관속의 물에 대해 자연압상태로 보충수를 보급할 수 있는 작은 수조(Priming Tank)의 설치가 습식화의 신뢰성을 위한 필수요소가 된다는 점이다.

고속형이 아닌 일반적인 물분무시스템의 구성, 시공 및 유지관리와 관련한 여러가지 지침적인 내용이 NFPA의 당해기술기준(Standard No. 15)에서 자세히 다루고 있고, 소방시설의 전문기술인들은 거의 모두 이 기준을 갖고 있는 것이 오늘의 현실이므로, 이 글에서는 그 내용을 일일이 열거하지는 않을 것이다. 다만, 염두에 두어야 할 필요가 있을 것으로 생각되는 몇가지 유의사항들에 대하여 언급하고자 한다.

4.1 배관

① 물분무시스템의 노즐은 물분출구가 표준형 스프링클러헤드보다 상당히 작으므로, 배관속의 이물질(Foreign Material) 또는 배관의 부식에 의해 발생되는 금속산화물 등에 의해 분출구의 일부 또는 모두가 쉽게 막힐 수 있는 여지를 현실에서 배제할 수 없으므로, 아연도 강관의 설치를 원칙으로 함이 최선이다.

② NFPA에서는 배관접속방법으로 나사접속, Groove Jointing, 용접접속을 모두 허용하고는 있으나, 용접접속은 반드시 American Welding Society의 용접공법에 관한 기준인 AWS D 10.9 "Standard for Qualifications of Welding Procedures and Welders for Piping and Tubing"에서 정하고 있는 등급분류 중 "Level AR-3" 등급의 까다로운 기준에 엄격히 부합되도록 함은 물론, 당해 기준에서 정하는 용접기능 기준에 부합되는 자격자가 용접하는 것을 전제로 허용하고 있다.

물분무시스템의 배관접속을 위하여는 가능한 한 용접방식을 배제하고, 나사접속 또는 Groove Jointing 방식을 택하는 것이 최선이라 할 수 있다. 용접시공에서는 필연적으로 고열로 용융된 금속부분이 노출될 수밖에 없고, 한번 고열처리된 부분의 화학적 내식성은 약화되기 때문이다. 배관의 플랜지접속은 배관과 용접접속된 부분의 방식처리가 어렵지 아니하여 우려할 문제성은 적으나, 일반 부속(엘보, 티 등)의 용접에서는 그렇지 아니하므로, 용접시공을 택하는 경우에는 방식처리를 전제로 플랜지 접속도 바람직하다.

③ 배관의 설치를 완료한 다음에는 압력수로 통수소제하여 배관내의 이물질을 철저히 제거한 다음, 건조한 압축공기를 주입하여 불어내면서 미세한 이물질과 금속산화물 등을 철저히 제거할 필요가 있다.

4.2 노즐의 설치

① 화세진압에 의한 소화, 화세억제(Fire Control) 또는 화열노출방호(Exposure Protection) 등의 방호목적에 적용한 살수밀도(Water Application Density)를 설

정하고 나면, 적용노즐에 대하여는 제조업체의 사양을 검토하면서 방호성능을 얻기에 충분한 최소의 수량이 설정될 수 있도록 기술적인 판단을 내리는 것이 중요하다. 그러므로 노즐에 대하여는 사실상 설계, 시공 및 시공후의 시험 등에 대한 체험이 필수적이다.

② 장치 등 시설물에 대한 직접적인 방호를 위해 노즐의 설치를 계획할 때는, 시설물의 표면형태가 일정치 아니하여 들쭉날쭉한 경우 그 대상물에 설정된 살수밀도의 물보라가 가능한 한 그 표면에 고르게 투사될 수 있도록, 노즐의 배치위치 즉 방호대상물의 표면과 노즐간의 거리, 노즐과 노즐간의 거리, 노즐의 방사각도, 노즐의 방사영역 즉 동일사양의 노즐이라도 직하, 측면 또는 직상의 방사방향에 따른 물보라의 담당범위 및 바람의 영향(옥외 설치의 경우) 등을 검토하면서, 최적의 조건을 가진 노즐을 선택하여야 한다. 따라서, 하나의 방호대상물이라도 선택되는 노즐의 규격이 다양해지는 일이 적지 않다.

③ 노즐이 직접 설치되는 배관은 가급적 Loop식(필요시 Grid 방식 포함)의 주행형태로 하는 것이 바람직한 경우가 적지 않다. 그렇게 함으로써 노즐마다 비교적 균배성이 있는 방수압력하에서 방호대상물의 표면에 대해 고른 살수밀도를 제공할 수 있고, 노즐선택의 지나친 다양화에 따른 계획상의 번거로움을 상당히 해소할 수 있으며, 급수의 신뢰성도 높힐 수 있는 효과가 있다.

4.3 스트레이너(Strainer)

① 물분무시스템의 계획에서는 이물질(Foreign Material)에 의한 노즐성능의 저하 또는 불능 문제에 대해 항상 민감히 고려하지 않으면 아니되므로, 펌프에 설치하는 스트레이너는 크기가 상당히 작은 이물질까지도 걸러낼 수 있도록 바스켓형(Basket Type)을 설치하는 것이 원칙이며, Deluge Valve 2차측의 시스템 주배관에도 설치한다.

② 만약 노즐의 오리피스 구경이 매우 작을 때는(NFPA 기준에 의하면 3.2 mm 이하) 노즐마다 스트레이너를 설치하여 이물질을 걸러주어야 한다.

4.4 배관의 수리계산

배관의 구경선정 및 마찰손실 등과 관련한 수리계산 시에는 반드시 수리역학에 근거한 공학적으로 올바른 계산절차에 따라 실시하여야 한다. 물분무시스템의 배관은 규약배관방식의 스프링클러시스템(Pipe Schedule System)처럼 노즐의 설치 갯수에 따른 누적적 환경선정의 방식은 존재하지 않는다.

4.5 시스템의 시험

① 시스템의 설치가 완결되어 내압시험 등을 거치고 나면, 반드시 방호대상에 대한 실제 방사시험을 실시하여 노즐의 방수율을 측정하는 것이 필수적이다. 옥외의 시설물에 대하여는 살수로 인해 주변에 영향을 끼치는 문제점이 거의 없으나, 옥내의 경우에는 용이치 아니한 여건이 존재할 수 있다. 해외에서 흔히 방사시험하는 방법을 얼핏보면 매우 원시적인 것으로 보일 수 있지만, 몇개의 노즐을 서로 분산된 위치에서 선택한 다음, 선택된 노즐마다 원통형의 PVC Sheet와

같은 연질의 합성수지로 노즐을 감싸주는 형태로 매어 주고, 전체노즐의 방사시 그 끝에서 흘러나오는 물을 Drum 통에 받으면서 가득찰 때까지의 경과시간을 스톱워치로 측정하여 노즐의 방수율을 파악하는 것이다.

② 시스템이 설치된 후 세월이 경과함에 따라 반드시 압축건조공기를 이용하는 배관내부의 통기소재를 정기적으로 실시하되, 통수소제도 실시할 경우에는 소재후 반드시 시스템 배관에 설치되어 있는 스트레이너들을 일일이 점검하여 이물질 제거하는 것이 바람직하다.