

# 성능위주의 방화설계를 위한 스프링클러 헤드의 특성

## The Characteristics of Sprinkler Heads for the Performance Based Design

권 오 승

Oh-Seung Kwon

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원

### 1. 서 론

인류는 거주공간과 산업형태의 변화와 더불어 각종 화재위험에 대처하기 위한 다양한 기술을 개발하여 생활에 활용하여 왔으며, 특히 물을 사용하는 스프링클러설비의 경우에는 화재를 자동으로 감지하는 대표적인 소화설비로서 다양한 형태로 개발되어 전 세계에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다.

소규모의 불꽃으로 시작되는 대부분의 화재는 소화가 곤란할 정도의 많은 열과 화염 그리고 연기 등이 발생하면서 대형화재로 발전하게 되며, 화재시 발생되는 열기류에 의하여 스프링클러 헤드의 감열부(Heat responsive elements)가 작동하면 스프링클러 헤드가 개방되고 가압상태의 물이 반사판(Deflectors)에 충돌한 후방호구역내로 방사되어 소화작업을 시작하게 된다.

이러한 화재특성에 대하여 스프링클러 헤드가 적합한 소화성능을 갖추기 위해서는 소화작업이 시작되는 시간과 관계되는 감도특성과 방호대상물의 화재강도에 따라 화재를 제어하고 진압하는 방사특성의 해석을 필요로 한다.

본 고에서는 스프링클러 헤드와 화재초기에 나타나는 제트기류와의 상관관계, 감열부의 응답성, 방사되는 물방울 입자와 화재와의 상호작용 등의 고찰을 통해 스프링클러 헤드의 소화성능을 결정하는 요인들을 도출하고자 하였다.

### 2. 스프링클러 헤드의 감도성능

#### 2.1 천장제트와 열감지

화재시 화재플룸(Fire plume)에서 발생한 고온의 가

스는 위로 상승하여 직상부의 천장에 충돌한 후 천장면을 타고 화원과 인접한 다른 지역으로 이동하게 된다. 천장제트(Ceiling jet)는 이와 같이 고온의 연소부 산물이 부유하여 천장면을 타고 흐르는 비교적 빠른 가스의 흐름으로 정의된다. 천장제트흐름의 두께는 개략적으로 화원으로부터 천장까지의 높이의 5~12%이고, 최대온도 및 속도는 천장으로부터 화원까지의 거리의 1%내에 속한다.

자주 스프링클러 헤드가 천장에서 떨어져 설치되므로 높은 천장에서는 제트기류내에 있을 수 있으나 낮은 천장에서는 이 12%밖에 존재하므로써 응답시간이 급격히 증가할 수도 있다. 따라서 천장의 높이와 스프링클러 헤드의 열응답성에 따른 작동시간 등을 고려하여 적절히 스프링클러 헤드가 방호공간에 설치하기 위해서는 천장제트의 온도와 유속에 대한 스프링클러 헤드의 응답특성을 이해할 필요가 있다. Alpert는 정상화재(Steady fire)에서 생성되는 천장제트의 위치에 따른 최대온도와 최대유속에 대한 관계식을 사용하기 쉬운 형태로 다음과 같이 제시하였다.

$$T - T_{\infty} = \frac{16.9Q^{2/3}}{H^{5/3}} \text{ for } r/H \leq 0.18 \quad (1)$$

$$T - T_{\infty} = \frac{5.38Q^{2/3}}{H^{5/3}} \text{ for } r/H \leq 0.18 \quad (2)$$

$$U = 0.96 \left( \frac{Q}{H} \right)^{1/3} \text{ for } r/H \leq 0.15 \quad (3)$$

$$U = 0.195 \frac{Q^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \text{ for } r/H > 0.15 \quad (4)$$

여기서 Q는 화재의 열방출률[kw]이고, H는 천장높이 [m], r은 화원상부로부터 반경방향의 수평거리(m)이며, 주위온도 T[°C], 제트기류 가스온도 T[°C], 속도 U는 m/s의 단위를 갖는다.

† E-mail: ohskwon@unitel.co.kr

이 관계식은 스프링클러 헤드와 같은 감열장치의 반응과 관련된 시뮬레이션 프로그램 작성과 화재위험성 평가 업무에 활용되며, 주요 관련요소는 열방출률과 천장높이 그리고 화원으로부터의 거리이다. 건물의 천장에 설치되어 화재초기에 작동하여야 하는 스프링클러 헤드가 이 고온기류 영역에 놓이도록 하고 그 반응을 해석하는 것은 스프링클러 설비에 의한 건물화재방호의 이해에 토대를 제공한다.

**2.2 기류의 온도와 속도에 따른 스프링클러 헤드의 응답성**

화재발생시 스프링클러 헤드가 얼마나 빠르게 작동할 수 있는지를 결정하는 요소는 화재발생 초기에 스프링클러 헤드의 감열부가 화재에 의해 발생한 열기류에 얼마나 빠르게 반응하는지에 달려 있다. 이러한 열기류의 온도와 속도에 대한 스프링클러 헤드의 응답성을 정량적으로 해석하는 방법은 미국의 FMRC(Factory Mutual Research Corporation)와 영국의 FRS(Fire Research Station)의 연구결과 정립되었으며, 1980년대부터 열기류의 온도와 속도가 고려된 열감지장치의 응답성을 정량화한 값인 반응시간지수(Response Time Index ; RTI)란 용어가 사용되기 시작하였다.

반응시간지수는 시간상수( $\tau : hA/mc$ )와 기류속도의 평방근의 곱으로 표현되며 그 이론적 배경은 다음과 같다.

스프링클러 헤드의 감열부는 크기가 작고 주위 기체와의 대류 열전달 계수가 그다지 크지 않아 고체내부의 위치에 따른 온도변화를 무시하고 고체내의 온도를 시간만의 함수로 나타낼 수 있으며 이에 대한 에너지 평형식을 세워 RTI의 정의식을 도입하여 정리하면 (5)식과 같이 표현된다.

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI}(T_g - T_c) \tag{5}$$

감열부의 시간에 따른 온도변화는 실험에 의해 구할 수 있는 2가지 경우를 고려한다.

첫 번째는 기류속도(u)가 일정한 상태에서 시험온도( $T_p$ )로 유지되는 고온기류에 열감지부를 갑자기 노출시키는 경우로서  $T_g = T_p$ 를 (5)식에 대입하여 적분하면 감열부의 온도상승에 관한 식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(T_c - T_i) = (T_p - T_i) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-u^{1/2}}{RTI}t\right) \right] \tag{6}$$

(6)식을 양변에 자연대수를 취하여 작동시간에 관한

식으로 정리하면

$$t = \frac{RTI}{\sqrt{u}} \ln \frac{T_g - T_i}{T_g - T_{nom}} \tag{7}$$

과 같다. 여기서  $T_i$ ,  $T_{nom}$ 는 각각 초기주위온도와 감열부의 공칭작동온도를 나타낸다.

두 번째는  $T_g(t) = T_i + \beta t$ 로 기류온도가 시간에 따라 선형적으로 상승하는 경우로서 이 식을 (5)에 대입하여 Laplace 변환에 의하여 풀면 열감지부의 온도 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$T_c - T_i = T_g - T_i - \beta\tau \left[ 1 - \exp\left(\frac{-u^{1/2}}{RTI}t\right) \right] \tag{8}$$

(8)식에서  $t \gg \tau$ 인 경우 지수항을 무시할 수 있으며 유효작동온도( $T_{eff}$ ) 및 RTI 정의식을 대입하여 작동시간의 관계식으로 정리하면 아래와 같다.

$$t = \frac{T_{eff} - T_i}{\beta} + \frac{RTI}{\sqrt{u}} \tag{9}$$

전도계수(C)는 감열체가 주위로부터 흡수한 열량을 얼마만큼 배관등으로 열량을 빼앗기는지를 나타내는 특성치로서 연장노출시험에 의해 실험적으로 구할 수 있다. 이 C값은 전도열손실이 감열부와 스프링클러 헤드 부착부의 온도차에 대략적으로 비례한다는 가정하에 에너지 방정식을 세우고 적분하면 C값과 전도열손실이 고려된 RTI식을 구할 수 있으며 (10)식과 (11)식으로 표현된다.

$$C = \{(T_g - T_i/T_{nom} - T_i) - 1\}u^{0.5} \tag{10}$$

$$RTI = \left[ \frac{-t \cdot u^{0.5}}{\ln \left[ 1 - \{(T_{nom} - T_i)(1 + C/u^{0.5}) / (T_g - T_i)\} \right]} \right] \cdot [1 + C/u^{0.5}] \tag{11}$$

ISO 6182-1에서는 RTI 값과 C값에 의하여 스프링클러 헤드의 감도를 조기반응(Fast response), 특수반응(Special response), 표준반응(Standard response)의 3가지 영역으로 구분하고 있다.

**2.3 스프링클러 헤드의 감도성능평가**

현재 ISO 6182-1에서는 투입시험(Plunge test)에 의해 구한 RTI와 연장투입시험(Prolonged plunge test) 또는 연장노출상승률시험(Prolonged exposure ramp test)으로 C값을 구하여 스프링클러 헤드의 감도를 평가한다.

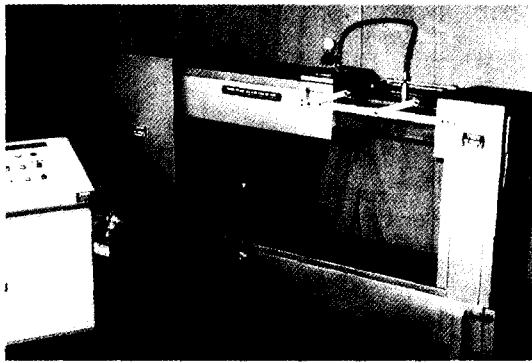


Fig. 1. Sprinkler head sensitivity oven.

세 시험방법 모두 기류발생부, 풍도, 시험구역, 측정 제어부를 갖는 가열식 풍동형태의 열기류 감도시험장치를 사용한다. Fig. 1은 ISO 6182-1에서 정한 투입 시험과 상승률시험을 수행하는 열기류 감도시험장치이다. 이 장치에 의해 국내의 퓨지 블링크형 스프링클러 헤드의 감도특성을 평가한 결과 RTI는 약 150~250으로 표준반응의 감도특성을 보였다.

급속한 화재성장속에서의 스프링클러 헤드 응답성을 추적하는데 편리한 투입시험은 스프링클러 헤드를 일정한 온도와 속도로 유지되는 시험구역내의 열기류에 투입한 후 스프링클러 헤드가 작동하는 시간을 측정하여 RTI를 계산하고, C 값은 15분간 선택된 일정 기류 온도에서 스프링클러 헤드가 작동하는 기류속도와 부작동하는 기류속도를 연장투입시험에 의해 측정하여 두 기류속도의 평균을 구해 C 값을 구하는 식에 대입하여 산정한다.

상승률 시험(Ramp test)은 일정한 기류속도에서 2~30°C/min의 각 온도상승률로 가열할 수 있는 시험구역에 스프링클러 헤드를 투입한 후 각 온도상승률에서 스프링클러 헤드가 작동하는 시간을 측정하여 RTI를

계산하고, 이 때의 C 값은 1 m/s의 일정 기류속도에서 기류온도를 1°C/min의 비율로 상승시키면서 스프링클러 헤드가 작동할 때의 온도를 측정하는 연장노출상승률시험에 의해 구한 작동온도를 C값을 구하는 식에 대입하여 산정한다.

#### 2.4 반응시간지수를 이용한 스프링클러 헤드의 작동시간예측

근래까지 소방설비의 설계는 사양중심의 설계(Prescriptive design)방식으로서 법규에서 정한 지침이나 기술고시 등에 의한 설계가 이루어져 왔다.

그러나 최근에는 새로운 공간의 출현과 함께 컴퓨터를 이용한 화재의 물리, 화학적 현상들에 대한 해석기술이 발전함에 따라 사양위주의 설계보다는 모델링(Modeling)과 시뮬레이션(Simulation)등에 의한 공학적 기법들을 이용하는 성능 위주의 방화설계(Performance based fire safety design)기법이 활용되기 시작하였다.

실내화재를 모델링하는 방법중 2차원 단면을 통해 화재성상을 예측하는 존 모델링(Zone modeling)은 주변 경계조건중 무시할 수 있는 요소들을 제거 또는 단순화시켜 성능예측업무에 많이 활용되고 있다.

존 모델링방법 중 FPETOOL, LAVENT, FASTLite 등은 RTI값을 이용한 스프링클러 헤드의 작동시간을 예측하는 대표적인 시뮬레이션 방법들이다.

이러한 시뮬레이션에서 스프링클러헤드의 작동시간을 예측하는데 적용되는 기본공식인 Alpert식과 작동시간을 RTI로 표현한 식을 이용하여 건축물 화재에서 많이 나타날 수 있는 1MW와 3MW 그리고 5MW의 열방출율을 갖는 정상상태의 가상화재에 대해 RTI의 값의 변화에 따른 스프링클러 헤드의 설치높이와 작동시간과의 관계를 구하면 Fig. 2~4와 같다.

Fig. 2~4에서 알 수 있듯이 화원 직상부에서 반경 약 1m까지는 반경방향의 거리에 따른 작동시간의 변

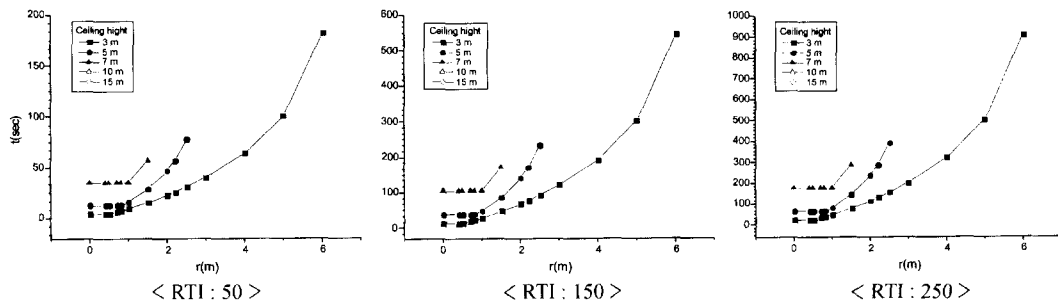


Fig. 2. The variation of response time as the ceiling height is increased (at heat release rate Q = 1 MW).

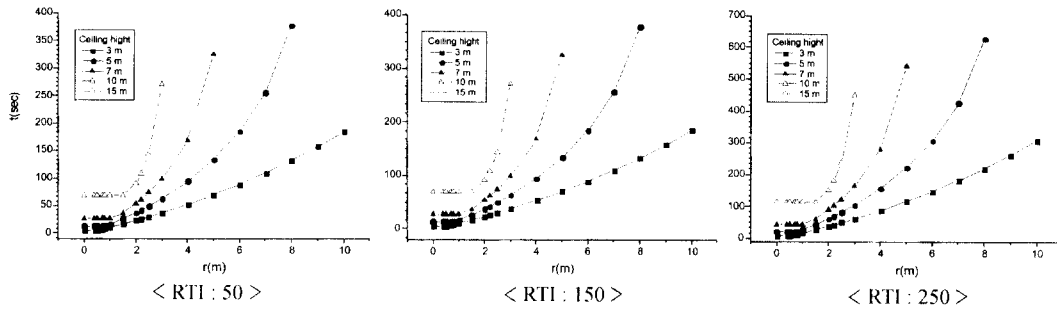


Fig. 3. The variation of response time as the ceiling height is increased (at heat release rate  $Q = 3$  MW).

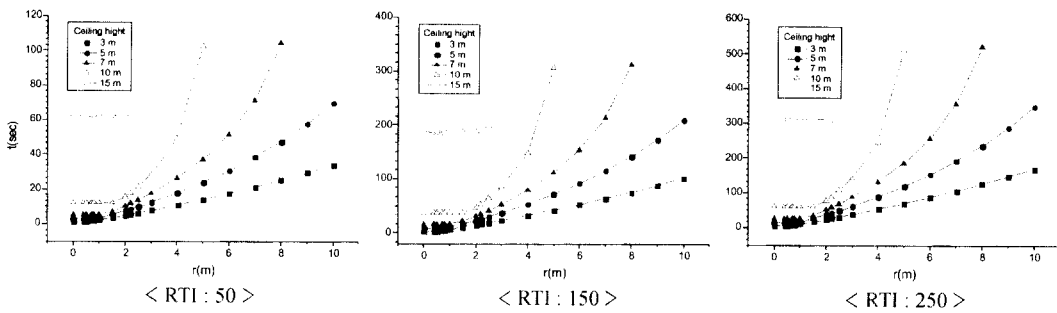


Fig. 4. The variation of response time as the ceiling height is increased (at heat release rate  $Q = 5$  MW).

화가 거의 없었으며, RTI값이 클수록 반경거리에 따른 작동시간의 변화가 작다. 또한 화재의 열방출률이 작을수록 소화효과를 가져올 수 있는 시간내에 스프링클러 헤드가 작동하는 한계높이가 낮아지며 RTI값이 클수록 작동시간이 늦어진다. 따라서 화재의 열방출률에 따라 작동시간이 급격히 증가하여 장시간이 되어도 스프링클러 헤드가 작동하지 않을 수 있으므로 천장높이가 높은 대형공간 등의 특수한 장소에서는 설치현장에 대한 예상 열방출률과 스프링클러 헤드의 작동시간을 평가하여 선정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

### 3. 스프링클러 헤드의 방사성능

#### 3.1 스프링클러 설비의 소화원리

##### 3.1.1 냉각소화

20°C의 물 1kg이 열에 의해 기화가 일어난다면 그 과정에서 약 620 Kcal의 열량을 흡수한다. 만일 이러한 물의 열흡수에 의해 가연물의 표면이 연소의 유지에 필요한 증기를 발생시킬 수 있는 온도이하로 냉각된다면 대부분의 경우 화재는 소화될 것이다. 화재를 소화하는데 필요한 물의 양은 화재시의 실내온도, 물을 방사하기까지 걸리는 시간, 물 적용율, 적용되는 물

의 형태에 달려 있다. 물은 기화할때 가장 많은 열을 흡수하며 봉상의 주수보다는 물방울 형태로 방사될 때 더 쉽게 기화할 수 있다.

가연물을 적시는 것은 타지 않은 재료의 점화를 막는 방법으로 이용된다. 만일 가연물이 물을 흡수한다면 가연물이 타기에 충분히 고온이 되기 전에 물이 증발되어야 하기 때문에 점화되기에는 더 긴 시간을 필요로 한다.

냉각작용시 최적의 상태는 물방울의 직경은 약 0.3 ~ 1.0 mm이고, 물방울 입자들이 일정한 크기로 방사될 때 이루어진다. 물방울입자의 크기는 공기저항, 부력, 기류를 이기고 연소점에 도달할 수 있도록 충분한 에너지를 가질만큼 커야 한다.

##### 3.1.2 질식소화

물의 기화는 1,600배 이상의 부피 팽창비율로 수증기를 발생시킨다. 실내화재에서 미세한 물분사는 화재주위의 가열지역에서 물방울이 기화하여 발생하는 증기가 산소를 크게 희석시키거나 산소가 화원에 접근하는 것을 차단하는 질식효과를 갖는다. 어떤 화재는 이 질식작용에 의해 소화될 수 있으며 발생된 증기가 가연물이 있는 구역에 제한된다면 소화의 속도는 더 빠르다. 그러나 일반 가연물의 화재에서는 보통 질식효

과보다는 냉각효과에 의해 소화된다.

### 3.2 스프링클러 설비의 소화과정

스프링클러 설비가 소화의 목적을 달성하기 위해서는 기본적으로 다음의 기능을 갖추어야 한다.

- 연소표면을 소화하기 위하여 물방울 입자는 상승 열기류속으로 침투하여야 한다.
- 화염과 주위온도를 낮추어 너무 많은 스프링클러 헤드를 개방시키지 않고 대류열에 의한 건축 구조체의 손상을 방지하여야 한다.
- 화재에 노출된 가연물 주위를 신속히 적셔 냉각시켜야 한다.

이렇게 스프링클러 설비가 기본적인 기능을 갖추었을 때 스프링클러 헤드로부터 방사된 물이 수행하는 소화 메카니즘(Mechanism)은 다음의 구조로 이루어진다

- 연소재료와 직접 접촉하여 연료를 냉각시켜 더 이상의 가연성 증기의 발생을 막는다.
- 연소재료를 미리 적셔 더 이상의 화재확산을 막는다.
- 기화된 물방울이 화염을 냉각시켜 연소물질의 가열을 감소시킨다.
- 물의 기화로부터 생긴 수증기가 화염으로부터 가연물로의 복사열을 막는다.
- 기화로 인한 높은 비체적은 이에 상응하는 공기체적과 교체하여 질식효과를 가져온다.

따라서 스프링클러 헤드로부터 방사되는 물의 방사압력, 방사량, 방사지속시간, 물방울의 크기 및 운동량 등이 적절히 조화되어 스프링클러 헤드가 제 기능을 다한다면 위의 소화 메카니즘에 의해 화재는 제어되거나 진압된다.

### 3.3 화재의 제어와 진압

스프링클러 소화설비의 소화방법은 화재에 의한 가연물질의 열방출률(Heat release rate)을 감소시킬 수 있도록 물을 방사하여 주위의 가연물질을 미리 물로 적시므로써 화재의 규모를 제한하고 건축물에 피해가 없도록 천장부의 기류 온도를 일정온도로 제어하는 화재제어(Fire control)방법과 스프링클러 헤드로부터 방사되는 물방울의 침투력을 증가시켜 방사된 물이 화재 플룸을 지나 연소하는 연료표면까지 충분히 도달하게 하므로써 열방출비율을 급격히 저하시키고 화재의 재성장을 방지하는 화재진압(Fire suppression)방법으로 나눌 수 있다.

한국화재·소방학회, 제1권 제2호, 2000년

이처럼 화재에 대한 스프링클러의 화재제어 및 진압 성능을 결정하는 주요요소는 스프링클러 헤드의 방사량(K-factors) 및 방사압력, 스프링클러 헤드 개방시의 화재강도, 스프링클러 헤드와 가연물 상단까지의 거리, 개방된 스프링클러 헤드의 개수, 스프링클러 헤드 사이의 간격, 스프링클러 헤드의 살수분포형태 및 물방울 크기 등이다. 이중 몇가지 요소는 서로 상호 의존적이지만 서로 독립적일 수도 있다.

### 3.4 물방울 입자와 열기류

일반적으로 스프링클러 헤드로부터 방사된 물방울들이 화염을 침투하는 방법은 두 가지로 대별할 수 있다.

첫째는 중력에 의한 침투로서 물방울이 지닌 중력이 화염으로부터의 상승기류가 지닌 부력보다 우세한 경우 침투가 일어나며 이 경우 물방울이 클수록 유리하다.

둘째는 물방울의 모멘텀(Momentum)으로 스프링클러 헤드의 방사압력이 클수록 공기유동까지 유도하여 침투에 더욱 유리한 작용을 한다. 모멘텀의 증가를 위해 압력을 증가시키면 물방울이 작아지므로 중력식 침투에는 불리하지만 주로 모멘텀에 의해 좌우되는 경우에는 물방울 입자의 크기는 그 중요성이 상대적으로 줄어든다.

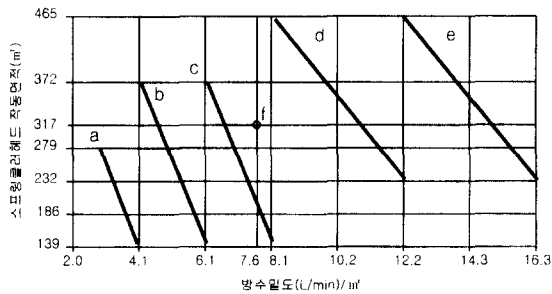
감도를 평가하는 기술의 개발과 함께 스프링클러 헤드의 화재제어보다는 화재 진압성능이 강조됨에 따라 방사특성을 결정하는 요인을 규명하는 많은 연구가 이루어졌다. 그 결과 FMRC에서 방사성능을 정량화하는 새로운 용어와 시험 방법이 개발되었는데 그것은 화재의 열방출률을 고려한 필요진화밀도(RDD ; Required Delivered Density)와 실제침투밀도(ADD ; Actual Delivered Density)의 개념이다. 필요진화밀도는 가연물에 화재가 발생하였을 때 일정크기의 화재를 진압하는데 필요한 최소한의 물의 양을 가연물 상단의 표면적으로 나눈 값이다. 실제침투밀도는 스프링클러 헤드로부터 방사된 물 중에서 화염을 통과하여 연소중인 가연물의 상단에까지 도달한 양을 가연물 상단의 면적으로 나눈 값으로 침투된 물의 분포밀도를 나타내며 스프링클러 헤드의 성능을 가늠하는 중요한 요소가 된다.

### 3.5 방사밀도와 방사지속시간

화재시 스프링클러 헤드로부터 방사되는 물의 방사밀도와 방사시간은 스프링클러 설비의 설계에 중요 요소가 된다. 현재 NFPA 13에서는 Table 1과 같이 스프링클러 설비의 적용대상을 화재위험등급에 따라 용도분류를 정하고 그 적용 대상별로 스프링클러 설비의 방사밀도와 방사지속시간을 설계하도록 규정하고 있다.

Table 1. Classification of occupancies

용도		특성
경급위험용도 (Light Hazard Occupancies)		<ul style="list-style-type: none"> <li>가연물의 양과(또는) 가연성이 작음</li> <li>비교적 열방출률이 작은 화재예상</li> </ul>
보통위험용도 (Ordinary Hazard)	그룹 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>가연물의 양이 중간 가연성이 작음</li> <li>가연물의 저장더미 높이가 8 ft (2.4 m)이하</li> <li>열방출률이 보통인 화재예상</li> </ul>
	그룹 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>가연물의 양과 가연성이 중간정도</li> <li>가연물의 저장더미 높이가 12 ft (3.7 m)이하</li> <li>열방출률이 보통이상인 화재예상</li> </ul>
특수위험용도 (Extra Hazard)	그룹 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>가연물의 양과 가연성이 매우 큼</li> <li>인화성 및 가연성 액체 분진 등이 존재</li> <li>열방출률이 매우 급격한 화재예상</li> <li>인화성 및 가연성액체가 거의 없음</li> </ul>
	그룹 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>가연물의 양과 가연성이 매우 큼</li> <li>인화성 및 가연성 액체 분진 등이 존재</li> <li>열방출률이 매우 급격한 화재예상</li> <li>인화성 및 가연성액체가 상당량 저장</li> </ul>



- a : 경급위험용도                      b : 보통위험용도/그룹1
- c : 보통위험용도/그룹2            d : 특수위험용도/그룹1
- e : 특수위험용도/그룹2            f : 국내(2.3 m, 30개 기준)

Fig. 5. Area/Density curves for sprinkler heads.

위험등급별로 방사밀도와 방사지속시간을 구하는 방법은 파이프스케줄 방식과 수리계산 방식이 있다. 파이프스케줄 방식은 헤드의 요구 동압과 입상관 하부의 허용유량 그리고 방사지속시간을 화재위험등급별로 구분하여 정하고 있으며 설계시 스프링클러 헤드의 설치갯수에 따라 해당 관경을 표에서 구한다. 수리계산 방식은 화재위험등급별 최소유량과 방사지속시간을 규정하고 스프링클러 작동면적에 대한 방사밀도를 그래프(Graph)에서 구해 스프링클러 설비를 설계한다.

Fig. 5는 NFPA13에 규정된 스프링클러 헤드의 작동면적 대방사밀도를 나타내는 그림이다. 국내의 경우 소방시설 대상물별로 정한 기준개수의 스프링클러 헤드

는 1 kgf/cm<sup>2</sup>의 방사압력에서 각 헤드는 80 l/min 이상의 방사성능을 갖도록 규정하고 있다. 이 값을 기준으로 살수반경 2.3 m를 갖는 정방향 배치의 스프링클러 헤드 1개의 방호면적을 계산하면 10.56 m<sup>2</sup>가 되므로 이때의 단위 면적당 최소 방사량은 약 7.6 l/min/m<sup>2</sup>의 방사밀도를 갖게 된다. 따라서 30개의 스프링클러 헤드 기준개수는 316.8 m<sup>2</sup>의 면적을 방호하므로 NFPA 13에 규정된 스프링클러 헤드의 작동면적 대 방사밀도의 그래프에서는 Fig. 5의 f 지점으로 표시되어야 함을 알 수 있다.

### 3.6 스프링클러 헤드의 방사성능 평가

근래에까지 스프링클러 헤드에 관한 방사성능을 평가하는 방법은 살수분포시험과 화재시험이었다. 살수분포시험은 천장에 설치된 스프링클러 헤드에서 물을 방사시키고 바닥에 설치된 채수통에 채수되는 물의 분포량을 측정하여 물이 적정한 반경내에 균일하게 분포되는 정도를 평가하는 시험이며, 화재시험은 물방울의 직경과 방사속도와 관련된 시험평가 방법으로서 n-헬탄으로 목재크립을 연소시킨 상태에서 천장에 설치된 스프링클러 헤드에서 물을 방사시켜 천장의 온도와 목재크립의 중량감소율을 측정하여 화재를 제어할 수 있는지 여부를 30분에 걸쳐 평가하는 일종의 종합시험이다. 화재시험시 스프링클러 헤드로부터 방사되는 물방울의 직경이 작고 방사속도가 낮다면 목재크립에 의하

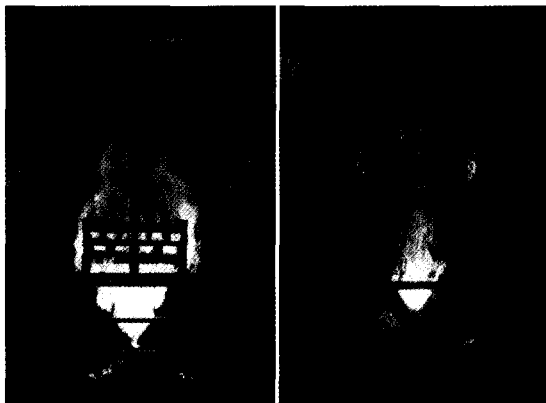


Fig. 6. Crib fire test for standard sprinkler heads.

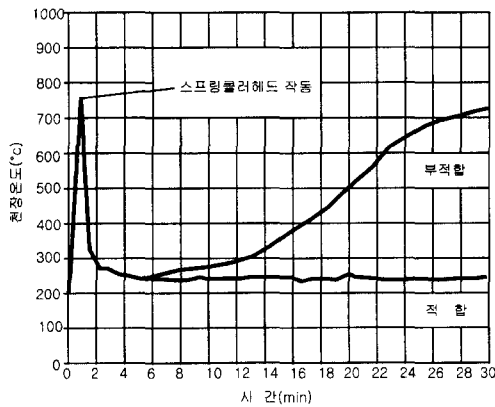


Fig. 7. Ceiling temperature for crib fire test (example).

여 형성된 풀룸을 따라서 물방울이 부유하게 되어 화재를 제어 또는 진압할 수 없게 된다. ISO6182-1에서는 시험전후의 목재크립의 중량차는 20%를 넘지 않아야 하며 천장부의 평균온도는 점화 6분 후부터 시험종료시까지 24분 동안 주위온도+275°C를 넘지 않도록 규정하고 있다. Fig. 6은 국내 스프링클러 헤드를 이용한 화재시험장면이며 Fig. 7은 시험중 천장중앙에서 측정된 온도곡선의 예로서 시험에 사용된 스프링클러 헤드가 화재제어 성능기준에 적합한지 여부를 알 수 있다.

FMRC에서 제시된 ESMR스프링클러 헤드의 방사성능을 나타내는 새로운 개념인 필요진화밀도의 측정은 특정한 가연물을 큰 열량계 아래에 쌓아올린 후 가연물을 점화시켜 일정한 시간이 경과한 후에 진압을 위해 방출된 물의 양과 가연물의 열량을 측정하여 구한다. 이는 열방출률로 표현된 화재강도에 대해 스프링클러헤드로부터 방사되는 물의 요구방사밀도를 측정하

는 것이다. 그리고 또 하나의 개념인 실제전달밀도를 구하는 시험장치는 4개의 가상가연물과 헵탄분사화원으로 구성된다. 각 가상가연물은 4개의 물수집팬이 있으며 물수집팬 아래에는 물의 무게를 자동으로 측정하는 장치가 있다. 이 장치는 스프링클러 헤드와 시험장치와의 거리를 조절할 수 있도록 대형 가동 천장 아래에 놓이며 스프링클러 헤드로부터 방사된 물이 화염을 뚫고 20개의 물수집팬에 도달한 양을 측정하여 그 평균값으로 실제전달밀도를 구한다.

이와 같이 화재초기에 조기진압을 달성하기 위해서는 진압에 필요한 최소량의 물을 화원에 침투시켜야 하며, 실제침투밀도가 가연물의 필요진화밀도보다 커야만 스프링클러 헤드가 소화성능을 다할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

스프링클러 헤드의 소화성능은 화재를 감지하기 위해 설치되는 감열부의 온도에 대한 감도성능과 물을 입자화하여 분포시키기 위해 설치되는 노즐과 반사판의 화재제어 또는 진압능력인 방사성능에 의존하며 그 성능을 결정하는 요인들은 다음과 같다.

1. 스프링클러 헤드의 감도성능을 결정하는 주요인자는 주로 화재발생의 초기에 형성되는 기류의 온도 및 속도에 대한 감열부의 응답성이며 대류 및 전도에 의한 열전달 기구에 의해 해석된다. 감도성능을 정량화한 값은 시간응답지수와 전도계수로 이 두 값에 의해 스프링클러 헤드의 작동시간을 예측할 수 있다.

2. 스프링클러 헤드의 방사성능을 결정하는 주요인자는 스프링클러 헤드의 방사량 및 방사압력, 스프링클러 헤드가 개방될 때의 화재강도, 스프링클러 헤드와 가연물 상단까지의 거리, 개방된 스프링클러 헤드의 개수, 스프링클러 헤드 사이의 간격, 스프링클러 헤드의 살수분포형태 및 물방울 크기 등으로 적절히 조화되어야 한다.

3. 스프링클러 헤드의 소화성능을 향상시키기 위해서는 감열부의 시간응답지수와 전도계수를 작게 하여야 하며 대형건물 등의 특수한 공간의 경우에는 시뮬레이션 등을 통해 가연물의 열방출률, 개구부 조건, 천장의 형상 및 설치높이 등방화조건에 따른 작동시간을 평가하여 적합한 감도성능의 스프링클러 헤드를 선정하고, 화재시험 등의 시험평가를 통한 방사성능을 확인한 후 설치간격 등의 설계가 이루어져야 한다.

이와 같이 스프링클러 헤드의 소화성능을 결정하는 인자들에 대한 이론적 바탕위에 스프링클러 헤드가 개

발되어 그 성능이 평가되고, 적절한 조합에 의하여 설계 및 시공이 이루어진다면 인명과 재산 보호의 목적으로 설치하는 스프링클러 설비를 최적화시킬 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. John L. Bryan, Automatic Sprinkler and Standpipe System, Second Edition, (1990)
2. NFPA13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 1996 Edition
3. ISO 6182-1, "Requirements and Methods of Test for Sprinklers", First Edition
4. P. F. Beever, "Estimating the Response of Thermal Detector", Journal of Fire Protection Engineering, pp. 11-24(1990)
5. C. R. Theobald and S. A. Westley, "Factors Affecting the Sensitivity of Sprinklers", Fire Surveyor, pp5-11(1988)
6. NFPA, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Second Edition(1995), Section2/Chapter4
7. Cheng Yao, "The Development of the ESFR Sprinkler System", Fire Safety Journal, 14, pp65-73(1988)
8. 김병효 編著, 소방설비편람, 기문당, (1996)