

열감지장치의 응답시간지수와 경계구역 Installed Spacing and Reponse Time Index of Heat Detection Devices.

권 오 승 *
Kwon, Oh-Seung
이 복 영 **
Lee, Bok-Young
김 동 석 **
Kim, Dong-Suk

Abstract

The objectives of this paper investigate the effect of installed spacing on the activation of spot type heat detection devices. The flow of hot gases under a ceiling resulting from the impingement of a fire plume activates heat detectors and sprinklers. Local temperature and velocity in this ceiling jet are usually expressed with the function of a ceiling height, the distance from a fire location and the heat release rate of fire. And detectors having different RTI respond in different ways to the same temperature and velocity of ceiling jet. Thus great care should be taken to decide installed spacing of heat detection devices by considering above effects.

1. 서 론

열감지기 및 자동식 스프링클러의 감열부동 열감지장치는 화재의 자동감지를 위하여 다양한 형

태로 방호대상물에 설치되고 있으며, 방호대상물의 용도 및 구조변화에 따른 적절한 열감지장치의 설치를 위하여 선진각국에서는 열감지장치가 작동되기 전의 열방출율과 천장높이(Ceiling Height) 등을 고려한 열감지장치의 감도특성에 대한 연구를 지속적으로 실시하고 있다.

미국의 NFPA (National Fire Protection Association)에서는 화재발생장소의 화재크기(Fire Size) 및 천장높이, 열감지기의 응답특성 등에 따라 열감지기의 설치간격을 변경하는 방법을 제시하여 천장높이 9m 이내에서의 열감지기 설치·운영에 활용하고 있으며, 열감지기의 기존 배치방식에 의해 감지될 수 있는 화재의 크기를 예측하는 분야에도 이용하고 있다.⁽¹⁾

또한 스프링클러 설비의 경우에도 방호대상물의 위험등급에 따라 스프링클러의 최대방호면적을 달리 적용하고 있으며, 특수장소에 사용되는 스프링클러도 시험연구기관의 성능평가를 통하여 방호면적, 배치 및 설치간격 등을 결정하도록 하고 있다.⁽²⁾

본 연구에서는 다양화 되어가고 있는 화재발생장소의 열방출율과 천장높이에 따른 스포트형 열감지장치의 응답시간을 해석하기 위하여 경계구역 조건 및 열감지장치의 응답시간지수(Response Time Index)에 대한 물리적인 특성을 분석하여 경계구역의 조건과 열감지장치의 작동에 영향을 주는 요인을 규명하였다.

* 한국화재보험협회 부설 방재시험연구소 책임연구원

** 한국화재보험협회 부설 방재시험연구소 선임연구원

2. 천장제트와 열감지장치

화재에 의해 발생된 고온 가스는 천장에 도달하여 반경방향으로 퍼지게 되는데 이것을 천장제트(ceiling jet)라고 한다.

열감지장치는 이러한 천장제트 안에 존재하게 되며 현재 설치간격에 관한 기술자료의 확보를 위해 천장제트의 유속과 온도에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.^(3,4) 천장제트의 크기는 개략적으로 바닥에서 천장까지의 거리인 천장높이의 5 ~ 12 %의 범위에 속하고 최대온도 및 속도는 1 % 범위안에 속한다.⁽⁵⁾

열감지장치는 종종 천장제트 영역밖에 설치되어 있어 낮은온도와 유속에 존재하게 된다. 매우 높은 천장의 경우에는 열감지장치가 최대온도 및 속도의 지점에 근접할 수 있다. 매우 낮은 천장의 경우에는 열감지장치가 천장높이의 12 % 더 낮게 천장으로부터 떨어져 천장제트의 바깥 부분에 있을 수도 있다. 따라서 열감지장치를 효과적으로 설치하기 위해서는 천장제트의 특성을 이해할 필요가 있다.

3. 천장제트의 유속 및 온도

Alpert는 정상화재(steady fires)에서 생성되는 천장제트의 위치에 따른 최대온도와 최대유속에 대한 관계식을 사용하기 쉬운 형태로 제시하였다.⁽⁶⁾

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

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

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

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

여기서 Q 는 화재의 열방출율[kW]이고, H 는 천장높이[m], r 은 화원상부로 부터의 반경방향의 수평거리[m]이고, 주위온도 T_{∞} [°C], 제트유동 가스 온도 T [°C], 속도 U 는 m/s 로의 단위를 갖

는다. 이 관계식은 위험성 평가와 감지기 반응과 관련된 프로그램개발⁽⁴⁾과 관련되어 적용되며, 주 관련 인자는 열방출율과 천장높이 그리고 화원으로 부터의 거리이다. 이러한 관계식을 이용하여 천장높이 및 화원상부로 부터의 수평거리에 따른 온도변화 ($\Delta T = T - T_{\infty}$)와 기류속도변화 (U)를 Fig.1 과 Fig.2에 나타내었다. 여기서 화원의 열방출율은 1MW로 일정하게 가정하였으며 방호대상물의 특성에 따라서 이 값은 달라질 수 있다.

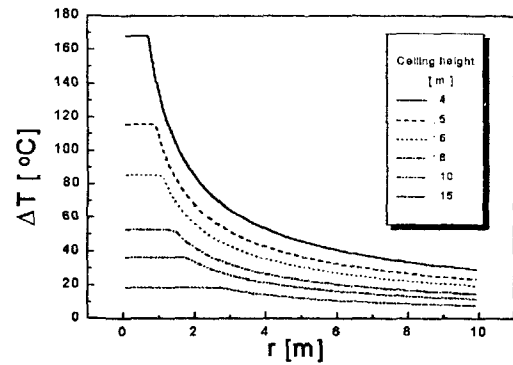


Fig.1 The variation of temperature distribution as the ceiling height is increased

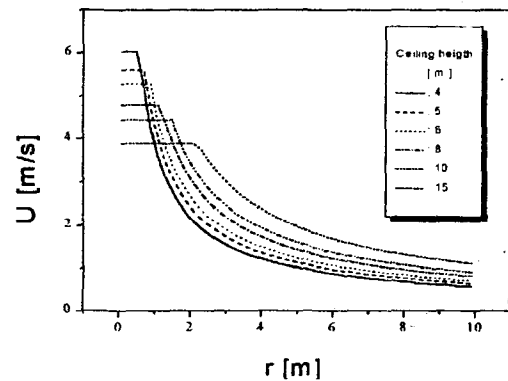


Fig.2 The variation of velocity distribution as the ceiling height is increased

Fig.1 은 천장높이를 증가시키에 따라서 나타나는 반경방향의 온도분포를 보여준다.⁽³⁾ 화원 상부

의 온도가 최고치를 가지며 화원으로부터 멀어질수록 온도는 떨어진다. 천장높이가 높아짐에 따라서 화원으로부터 나오는 열기류가 천장에 도달하기 전에 더 많은 주위 공기를 유입하게 되어 최고 온도 값은 감소하고 대신 넓은 분포의 최고온도 영역을 갖는다.

또한 같은 반경의 수평거리에서는 천정높이가 높아질수록 낮은 온도를 갖기 때문에 같은 감도를 갖는 열감지장치는 동일한 화재에 대하여 더 늦게 반응한다는 것을 예측할 수 있다.

Fig.2와 같이 화원상부 천장부근에서는 화원으로부터 멀어질수록 기류속도가 급격하게 감소하고, 화원 상부로부터 3~4 m 이상 이격된 천장에서는 기류속도가 서서히 감소되는 특성을 나타낸다.

4. 온도와 유속에 따른 응답시간지수

온도와 기류속도가 고려된 열감지장치의 열전달특성의 해석에는 열감지장치의 응답성을 정량화한 응답시간지수(RTI : Response Time Index)가 사용된다. 시간상수 ($\tau: hA/mc$)와 기류속도의 평방근의 곱으로 표현되는 RTI값을 구하는 시험방법은 미국의 투입시험 (Plunge Test) 과 영국의 상승률시험 (Ramp Test) 으로 크게 구별되며 그 이론적 배경은 다음과 같다.⁽⁶⁾

스포츠형 열감지기과 자동식 스프링클러의 감열부는 크기가 작고 주위기체와의 대류열전달 계수가 그다지 크지않아 고체내부의 위치에 따른 온도변화를 무시하고 고체내의 온도를 시간만의 함수로 나타낼 수 있으며 이에대한 에너지 평형식은 다음과 같다.

$$q = mc \frac{dT_e}{dt} = hA(T_g - T_e) \quad \text{①}$$

여기서 q 는 열전달율 [W], m 은 질량 [kg], h 는 대류열전달계수 [$W/m^2\text{C}$], A 는 단면적 [m^2], T_e 및 T_g 는 감열부와 기류의 온도 [$^{\circ}C$]이다.

그리고 이 연구에서는 복사열전달과 전도열손실은 무시된다. ①식에서 RTI의 개념을 도입하여 다시 정리하면 ②식과 같이 표현된다.

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI}(T_g - T_e) \quad \text{②}$$

감열부의 시간에 따른 온도변화는 주위기류온도 $T_g(t)$ 와 기류속도 $u(t)$ 를 대입하여 해석적으로 풀 수 있으나 이 연구에서는 실험에 의해 온도변화를 구할 수 있는 2가지 경우를 고려하였다.

첫번째는 기류속도 (u)를 일정하게 유지하는 상태에서 열감지장치의 작동온도 이상 (T_p)으로 유지되는 고온기류에 열감지장치를 감자기 노출시키는 경우로서 $T_g = T_p$ 를 ②식에 대입, 적분을 하여 감열부 온도상승에 관한 식을 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$(T_e - T_i) = (T_p - T_i)[1 - \exp(-\frac{u^{1/2}}{RTI} t)] \quad \text{③}$$

③식을 양변에 자연대수를 취하여 작동시간에 관한 식으로 정리하면

$$t = \frac{RTI}{\sqrt{u}} \ln \frac{T_g - T_i}{T_g - T_{nom}} \quad \text{④}$$

와 같다. 여기서 T_i , T_{nom} 는 각각 초기주위온도, 열감지장치 작동온도를 나타낸다. 앞 장의 천장제트 내에서의 높이와 반경방향의 수평거리에 따른 속도와 온도를 이용하여 열감지장치가 작동하는 시간을 구한 결과를 Fig.3과 같다.

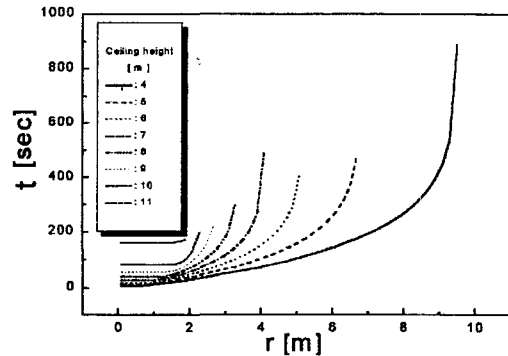


Fig.3 The variation of response time as the ceiling height is increased

이 그림은 RTI가 100이고 주위온도보다 30 $^{\circ}C$ 높은 온도가 되었을 때 열감지장치가 작동하도록 설

정한 결과이다. 천장높이가 높을수록 감지 가능한 영역이 좁고 동일한 화재에 대하여 같은 시간에 반응하기 위해서는 열감지장치의 간격이 천장높이에 반비례하는 것으로 나타나고 있으며, 천장높이가 11 m 이상인 경우에는 열감지장치의 작동이 안 되는 것을 예측할 수 있다. 두번째 경우는 $T_g(t) = T_i + \beta t$ 로 기류온도가 선형적으로 상승하는 경우로서 β 는 온도상승률[°C/min]을 의미한다. 이 식을 ②에 대입하여 Laplace 변환에 의하여 풀면 열감지장치의 온도변화는 다음과 같이 표현된다.

$$T_e - T_i = T_g - T_i - \beta \tau [1 - \exp(-\frac{u}{RTI} t)] \quad \text{--- ⑤}$$

⑤식에서 $t \gg \tau$ 인 경우 지수항을 무시할 수 있으며 유효작용온도 (T_{eff}) 및 RTI 정의식을 대입하여 작동시간의 관계식으로 정리하면 아래와 같다.

$$t = \frac{T_{eff} - T_i}{\beta} + \frac{RTI}{\sqrt{u}} \quad \text{--- ⑥}$$

Fig.4는 열기류 풍동을 이용하여 표시온도 72 °C를 갖는 퓨지블링크형 스프링클러의 작동시간과 온도를 5개의 온도상승률(2, 4, 7, 12, 17 °C/min)에 대해 상승률시험을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 초기온도는 25 ± 2 °C이고 기류속도는 1.0 ± 0.1 m/sec의 속도로 일정하게 유지하였다.

시험체의 RTI값은 84로서 온도상승률이 증가함에 따라 시험체의 작동시간은 감소하는 것으로 나타났으며, 온도상승률과 헤드작동시 기류온도는 정비례함을 보였다.

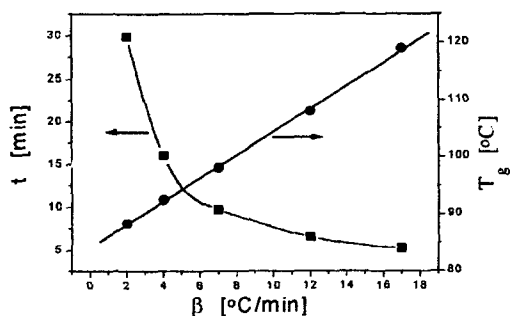


Fig.4 The variation of operating time and temperature as the rate of rise is increased.

5. 결론

본 연구에서는 경계구역 조건이 열감지장치의 작동에 영향을 주는 요인을 규명하기 위하여 화재시의 경계구역조건과 스포트형 열감지장치의 응답시간지수에 대한 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 응답시간지수가 같은 열감지장치를 설치하는 경우에는 천장높이가 높아질수록 열감지장치의 작동시간이 늦어진다.
- 2) 천장높이가 다른 경우에 열감지장치를 같은 시간에 작동시키기 위해서는 천장높이가 높아질수록 열감지장치의 간격을 좁혀야 한다.
- 3) 열방출율에 따른 천장의 온도상승율이 증가할수록 열감지장치의 작동이 빨라지며, 화원 상부 천장에서부터 멀어질수록 기류속도가 감소하여 열감지장치의 작동이 늦어진다.

참고문헌

1. NFPA 72, National Fire Alarm Code, 1993 Edition.
2. NFPA 13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 1994 Edition.
3. R.W. Pickard, D. Hird, and P. Nash, F.R. Note 247, Building Research Establishment, Borehamwood (1957).
4. L.Y. Cooper, NBSIR 87-3535, J. of Heat Trans., 104, 446 (1982).
5. R.L. Alpert, Fire Tech., 8, 181 (1972)
6. P.F. Beever, Estimating the Response of Thermal Detectors, Journal of Fire Protection Engineering, pp.11~24, 1990.