

## 스프링클러헤드 응답성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Responsiveness of Sprinkler Heads

金 東 錫\*  
 Kim, Dong Suk  
 朴 鏞 逸\*\*  
 Park, Yong Il  
 朴 喜 鎔\*\*\*  
 Park, Hi Yong

.....

Abstract

The closed type sprinkler head is a component of sprinkler system for fire protection. The purpose of this study is to investigate the influence factors of the responsiveness of the head by heated wind tunnel experiment.

As the result of this study, it was found that response time index and conduction parameter showed the same characteristic quantitative changes to head types and test methods.

**Key Words :** Fire Protection, Wind Tunnel Experiment, Conduction Parameter

.....

기 호 설 명

c : 비 열 (kcal/kg · °C)  
 C : 전도계수 ( $m^{1/2} s^{-1/2}$ )  
 C' : 전도열 손실상수  
 h : 대류열 전달계수 ( $w/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 k : 열전도계수 ( $w/m \cdot ^\circ C$ ) 또는  
 스프링클러 헤드 특성치  
 m : 질 량 (kg)  
 q : 열유동율 (W)  
 RTI : 응답시간 지수 ( $m^{1/2} \cdot s^{1/2}$ )  
 RTI<sub>m</sub> : 수정 응답시간 지수 ( $m^{1/2} \cdot s^{1/2}$ )

t : 시 간 (sec)  
 t<sub>op</sub> : 작동시간 (sec)  
 T<sub>nom</sub> : 공칭작동온도 (°C)  
 T<sub>eff</sub> : 유효작동온도 (°C)  
 T<sub>e</sub> : 감열체의 온도 (°C)  
 T<sub>f</sub> : 부착부의 온도 (°C)  
 T<sub>g</sub> : 공기의 온도 (°C)  
 T<sub>gop</sub> : 헤드가 작동될때 기류온도 (°C)  
 T<sub>i</sub> : 주위온도 또는 초기온도 (°C)  
 T<sub>op</sub> : 스프링클러 헤드의 작동온도 (°C)  
 T<sub>p</sub> : 투입시험에서의 공기온도 (°C)  
 T<sub>s</sub> : 시작온도 (°C)  
 u : 속 도 ( $ms^{-1}$ )  
 u<sub>c</sub> : 임계속도 ( $ms^{-1}$ )  
 u<sub>max</sub> : 최대 부작동속도 (m/s)

1993년 8월 7일 原稿 接受, 11월 11일 受理

\* 한국화재보험협회 부설 방재시험연구소

\*\* 대림전문대학 기계과

\*\*\* 한양대학교 기계공학과

- $u_{min}$  : 최소 작동속도 (m/s)
- $\beta$  : 공기온도의 상승률 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )
- $\tau$  : 시간상수 (sec)
- $\tau'$  : 수정 시간상수 (sec)

## 1. 서 론

폐쇄형 스프링클러 헤드는 소방용 스프링클러 설비의 구성품으로 현재 가장 많이 사용하고 있으며 건물의 천정이나 벽에 설치되어 정상 상태에서 방수구를 막고 있는 감열체가 화재 발생시 일정온도에 도달하면 용융 또는 파괴되어 방수구가 개방됨으로써 스프링클러 설비가 물을 방사하여 화재를 진압한다.

약 100년 동안 재산 및 인명보호용 설비로 사용되어 온 이 설비는 산업이 발전함에 따라 건물의 대형화, 고층화됨으로써 화재하중이 커져서 화염이 형성되기 전에 작동하여 화재를 진압할 필요성이 대두되었다.

1970년대중반에 미국의 Heskestad<sup>(1)</sup> 등은 폐쇄형 풍동을 이용 화재감지기에 대한 연구중 스프링클러 헤드에도 적용할 수 있는 응답시간 지수의 개념을 처음 소개하였다.

1980년도에 FMRC(Factory Mutual Research Coporation)에 의해 채택된 이 변수는 시간상수와 속도평방근의 곱으로 시험장치를 통한 강제대류 시험에 의하여 열손실이 없는 가정하에 구한 값이고 하나의 스프링클러 헤드에 대하여 일정한 값을 가지며 이 값을 알면 헤드의 응답성을 예측할 수 있다고 하였다<sup>(2)</sup>.

Pepi<sup>(3)</sup>는 낮은 기류 온도 및 속도에서는 응답시간 지수값이 증가함을 발견하고 이는 감열체와 그 부착부로의 전도열손실에 의하여 전혀 작동하지 않을 수 있다고 발표하였다.

1987년 미국의 FMRC는 이러한 전도열손실 효과를 무시한 단지 대류열전달에 의한 열평형식에 전도계수를 넣은 열전달 모델에 의하여 연장 노출 시험을 실시 전도계수를 구하여 수정응답시간지수값을 계산하고 실제 실내 화재 시험에 의한 결과와 비교하여 그 타당성을 입증하였다<sup>(4)</sup>.

그러나 이 전도계수의 값은 시험장치나 스프링클러 헤드의 부착조건에 따라 달라질 수 있으며 이에 대한 연구가 계속 중이다.

영국은 Theobald<sup>(5)</sup>를 중심으로 개방형풍동을 이용하여 초기온도로부터 선형온도 상승률을 주어 시간상수와 유효작동 온도를 구하는 시험방법에 의해 헤드의 분류기준을 제시하였으며, 현재 FRS(Fire Research Station)에서는 헤드 설치조건에 따른 시험 및 설치장소에 대한 적용범위 등에 대한 연구가 계속중이다.

그러나 현재 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 거의 없는 형편이며 소방법<sup>(6)</sup>에 의한 스프링클러 헤드의 감도측정은 기류의 속도를 고려하지 않은 시간-온도곡선에 따라 가열되는 로에 헤드를 투입하여 표시온도별 작동시간에 의하여 헤드의 감도를 측정하고 있으나 이러한 경우에는 헤드의 감도에 영향을 미치는 것은 감열체로의 복사열에 의한 열전달이 대부분이다.

그러나 대류열전달이 대부분인 초기 화재에 작동하여야 하는 속도형 헤드의 개발을 위해서는 기류의 온도 및 속도를 고려한 대류열전달에 의한 감도의 해석을 필요로 하고 있다.

따라서 이 연구에서는 초기화재 조건에서의 스프링클러헤드의 응답성해석을 위해 가열식 폐쇄형 풍동으로 된 실험장치를 이용하여 기류의 속도가 일정할때 기류의 온도를 선형적으로 증가시킨 경우와 높은 온도로 일정하게 유지한 기류에 헤드를 노출시켰을때 나타나는 열특성치에 대하여 연구하고자 한다.

헤드의 부착부로의 전도 열손실을 고려하기 위하여 상수값인 전도계수 C를 도입하여 감열체의 열전달 모델을 세웠고 실험을 통하여 입증 가능한 열특성치들을 구하였다.

가열풍동 실험의 이론적 배경은 강제대류 조건에서 헤드 감열체의 과도적인 온도응답의 해석방법인 집중열 용량법이다.

## 2. 이론적 배경

초기온도가 일정한 작은 원통형 저용량 합금으

로 된 감열체를 더 높은 온도의 기류속에 노출하면 시간이 흐름에 따라 감열체의 온도는 상승하고 결국은 기류온도에 도달하게 된다.

이때 감열체의 온도변화는 집중열 용량법을 사용하여 구할 수 있다.

감열체 표면에서 대류에 의하여 들어오는 열량은 물체의 내부에너지의 증가와 같기 때문에 다음과 같이 에너지 평형식을 쓸 수 있다.

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

화재 발생시 폐쇄형 스프링클러 헤드에 영향을 미치는 열전달에는 대류, 전도 및 복사열전달이 있다. 그러나 화재 발생의 초기에는 복사열전달은 대류열전달의 대략 1/10 이하<sup>(7)</sup> 이기때문에 이 연구에서는 무시하였다.

따라서 낮은 기류온도 및 속도에서 헤드의 응답성에 큰 영향을 주는 부착부의 전도에 의한 열손실<sup>(3)</sup>을 대류열전달과 함께 고려하였다.

전도열손실은 감열체와 부착부의 온도차에 대략적으로 비례한다고 가정하며 비례상수를 전도열손실상수 C'라 하였다.

전도열손실을 에너지 평형식에 고려하면 식(1)은 아래와 같이 된다.

$$mc \frac{dT_e}{dt} = hA(T_g - T_e) - C'(T_e - T_f) \quad (2)$$

$T_f$ 는 부착부의 온도이고 일정하다고 가정한다.

식(2)를 시간상수를 사용해서 정리하면 아래와 같이 된다.

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{1}{\tau}(T_g - T_e) - \frac{C'}{mc}(T_e - T_f) \quad (3)$$

식(3)에 응답시간지수  $RTI = \tau u^{1/2(1)}$ 의 개념을 도입하면 식(4)와 같이 된다.

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{u^{1/2}RTI}{\tau}(T_g - T_e) - \frac{C}{RTI}(T_e - T_f) \quad (4)$$

식(4)에서 C를 전도계수라 하고  $C = C' \cdot RTI/mc$ 이며, 이 연구에서 상수로 가정한다.

식(4)의 해를 구하기 위하여 이 연구에서는 기

류속도가 시간에 따라 일정한 상태에서 가열식 풍동으로 실험이 가능한 다음의 두 가지 경우로 한정한다.

첫번째로는 기류온도를 일정하게 유지하는 경우로서 헤드를 초기온도에서 공칭작동온도 이상의 일정기류온도에 투입했을 경우이며, 본 연구에서 투입시험에 해당되는 경우이다.

초기온도  $T_i = T_f$ 라 하면 감열체의 온도에 관한 식은  $T_g(t) = T_p$ 를 식(4)에 대입하여 적분을 하여 구할 수 있으며, 다음과 같이 표현된다.

$$T_e - T_i = k(T_p - T_i) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-u^{1/2}t}{kRTI}\right) \right] \quad (5)$$

식(5)에서  $k = (1 + \frac{C}{u^{1/2}})^{-1}$ 이며 헤드의 특성치이다.

여기서 감열체 온도가 공칭작동온도가 될 때 감열체는 용융되거나 파괴됨으로서 그때 까지 걸리는 작동시간을  $t_{op}$ 라 하면 식(5)는 다음과 같이 된다.

$$T_{nom} - T_i = k(T_p - T_i) \left[ 1 - \exp\left(\frac{-u^{1/2}t_{op}}{kRTI}\right) \right] \quad (6)$$

식(6)의 양변에 자연대수를 취하여  $kRTI$ 값을 구할 수 있다.

$$kRTI = \left( \frac{-u^{1/2}t_{op}}{\ln \left[ 1 - \frac{T_{nom} - T_i}{k(T_p - T_i)} \right]} \right) \quad (7)$$

식(7)에서  $kRTI$ 를 수정 응답시간 지수라 하고  $RTI_m$ 으로 표시한다.

만일 긴 시간이 경과하면 식(6)의 지수항은 무시할 수 있고, 기류온도가 감열체가 녹거나 파괴되는 최소 기류온도라면 감열체온도는 최소 기류온도보다 낮은 정상 상태값을 갖는다.

이 때  $T_e = T_{nom}$ 이 되면 감열체는 용융되거나 파괴되고 이 때의 기류온도  $T_p$ 를 기류의 유효작동온도( $T_{eff}$ )라 하며 식(6)은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{nom} - T_i = k(T_{eff} - T_i) \quad (8)$$

유효작동온도는 C=0의 한계까지 공칭작동온도에 가까워진다.

스프링클러 헤드의 작동에 필요한 최소 기류온도는 기류속도에 의존하고, 기류속도를 작게하여 감열체가 도달하는 정상상태의 온도를 낮게함으로써 감열체를 전혀 작동하지 않게 할 수 있다.

이 때의 기류속도(u)는 최대 부작동속도와 최소작동속도 사이에서 임계속도(u<sub>c</sub>)가 되고 식(6)은 아래와 같이 표현된다.

$$T_{nom} - T_i = k(T_p - T_i) = \frac{T_p - T_i}{1 + \frac{C}{u_c^{1/2}}} \quad (9)$$

식(9)는 실험에 의하여 입증가능한 식으로 연장 노출시험에 의하여 임계속도(u<sub>c</sub>)를 구해 C값을 계산할 수 있다.

두번째 경우는 T<sub>g</sub>(t) = T<sub>s</sub> + βt 인 기류온도가 선형적으로 상승하는 경우로서 본 논문에서 상승률 시험에 해당한다.

여기서 T<sub>s</sub>는 시작온도, β는 온도상승률(°C/min)을 의미한다.

T<sub>g</sub>(t) = T<sub>s</sub> + βt를 초기온도를 T<sub>i</sub> = T<sub>i</sub>라 하고 식(4)에 대입하여 Laplace변환에 의하여 풀면 다음과 같이 된다.

$$T_e - T_i = \left\{ k(T_g - T_i) - k\beta\tau \right\} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-u^{1/2}t}{kRTI} \right) \right] \quad (10)$$

식(10)에서 t >> τ 인 경우 지수항을 무시할 수 있고 아래와 같이 표현된다.

$$T_e - T_i = k(T_g - T_i - k\beta\tau) \quad (11)$$

식(11)은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{T_e - T_i}{k} = T_g - T_i - \beta\tau' \quad (12)$$

식(12)에서 τ' = kτ 를 전도효과가 포함된 수정 시간상수라 한다.

헤드가 작동할 때 감열체온도는 T<sub>nom</sub>이 되고 그

때의 기류온도를 T<sub>gop</sub>라 하면 식(12)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{T_{nom} - T_i}{k} = T_{gop} - T_i - \beta\tau' \quad (13)$$

식(8)과 식(13)으로 부터 식(14)가 된다.

$$T_{gop} = T_{eff} + \beta\tau' \quad (14)$$

여기서 작동시간(top)을 구하는 식(11)에 T<sub>g</sub> = T<sub>s</sub> + β top를 대입하고 정리하여 다음과 같이 표현된다.

$$T_{nom} - T_i = k(T_s + \beta T_{op} - T_i - \beta\tau') \quad (15)$$

T<sub>a</sub> = T<sub>i</sub>라 하고, 식(15)를 정리하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{op} = \frac{T_{nom} - T_i}{\beta k} + \tau' \quad (16)$$

식(8)과 식(16)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있고, 작동시간은 실험에 의하여 입증가능한 식이다.

$$t_{op} = \frac{T_{eff} - T_i}{\beta} + \tau' \quad (17)$$

식(14)와 (17)에 의하여 감열체의 주위 온도를 선형적으로 상승시킬 때의 작동시간과 그 때의 기류

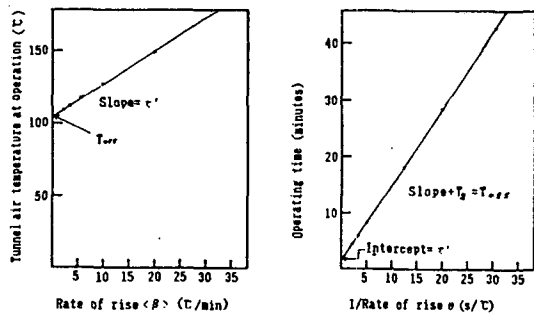


Fig.1 Determination of T<sub>eff</sub> and τ' from rate of rise test

온도를 구하여 Fig.1과 같은 선형 회귀 그래프를 그려 수정 시간상수( $\tau'$ )와 유효작동온도( $T_{eff}$ )를 구할 수 있다.

이때 식(13), (14) 및 RTI정의식으로 부터 수정 응답시간지수, 스프링클러헤드특성치 및 전도계수를 구할 수 있다.

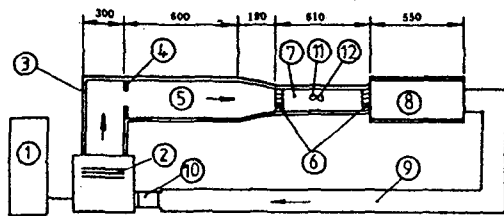
### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

스프링클러 헤드의 응답성 해석을 하기 위하여 실험에 사용한 가열식 폐쇄회로 풍동의 개략도는 Fig.2와 같다.

실험에 사용된 유체는 전기히터에 의해 가열된 공기이고, 균일한 온도 및 속도를 갖기 위하여 시험구역 입구에 설치된  $\phi$  150mm의 오리피스를 통과하여 팽창실로 들어간다.

팽창실에서 혼합된 기류는 시험구역내에서 2차원 유동으로 될 수 있도록 시험구역 입구에 설치된 면간거리가 5mm이고 밀도가 51b/ft<sup>3</sup>이며 두께가 30mm인 고온에서 건디는 허니콤을 통과하여 시험구역으로 흐르게 되고 단위 시간당 일정량의 공기가 흐르도록 시험구역 출구에도 같은 규격의 허니콤을 설치하였다.



- (1) control panel (2) heater coil (3) insulation (4) orifice
- (5) expansion chamber (6) honey-comb screen
- (7) test section (8) outlet duct (9) round-duct
- (10) centrifugal blower (11) velocity measurement hole
- (12) measurement of control thermocouple hole

Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

#### 3.1.1 스프링클러 헤드

폐쇄형 헤드의 연결배관은 옥내 및 옥외 등 설치장소에 따라 가압된 물 또는 공기로 채워진다.

감열체는 비스무트와 납이 주성분인 저용융합

금형과 유리구안에 팽창성 액체가 들어있는 유리구형이 있다.

표준형 스프링클러 헤드의 각부 명칭에 대하여 Fig.3에 나타내고 있다.

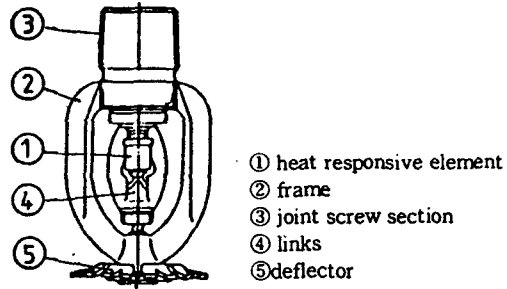


Fig.3 Standard type sprinkler head

이 연구의 대상은 국내에서 가장 많이 사용하는 최고주위온도 39℃ 이하의 장소에 설치하는 폐쇄형 스프링클러 헤드이고 형태별로 3종을 선정하였다.

Fig.4는 이 연구에서 사용된 스프링클러 헤드의 종류이고, 이들의 일반사양은 Table 1과 같다.

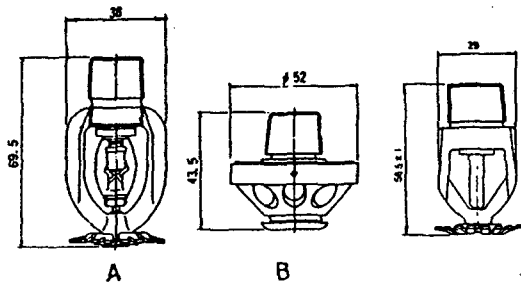


Fig.4 Test samples

Table 1. Specification of test samples

Sample	type	joint screw size	operating temperature(℃)	nominal operating temperature(℃)	type of heat responsive element
A	pendent	PT 15A	72	72.9	fusible alloys
B	round	PT 15A	72	72.6	fusible alloys
C	glass bulb	PT 15A	68	69.4	glass bulb

3.1.2 기류 발생부

기류 발생부는 순환되는 공기에 실험에 필요한 온도 및 속도를 주어 시험구역으로 흐르는 기류를 발생시키는 장치이다.

순환되는 공기는 전기히터(AC 220V, 10kW)에 의하여 가열되며 기류의 온도를 시간에 따라 선형으로 증가시키거나 일정온도로 유지가 가능토록 하게 하기 위하여 시험 구역에  $\phi 0.7\text{mm}$ 의 k type의 열전대를 설치해서 열전대에서 나오는 출력으로 히터에 공급되는 전류를 시험조건에 맞도록 자동제어 할 수 있게 하였다.

공기를 순환시키기 위해서 무단변속이 가능한 원심송풍기를 사용하였으며 송풍기의 용량은 시험구역의 유속을 최대 1.7m/sec까지 높일 수 있도록 설계되었다.

3.1.3 풍도

풍도는 짧은 시간에 프로그램된 온도변화에 반응하도록 낮은 열용량과 짧은 시간상수를 갖는 1.2mm 두께의 알루미늄판으로 제작하였고 주요치수는 FMRC 및 FRS 의 시험연구기관의 풍동용 기준으로 하였다.

열손실을 줄이기 위하여 풍도는 두께 8mm의 내화 석고보드를 이용하여 단열하였다.

매 실험후 빠른 시간내에 시험구역내의 기류온도가 낮아질 수 있도록 하기 위하여 실험이 끝난 후 시험 구역내의 내화 석고보드는 제거하였다가 기류온도가 낮아진 것을 확인한 후에 다시 부착하였다.

3.1.4 시험구역

시험구역은 시험중에 벽으로 부터 헤드로의 복사열전달을 줄이기 위하여 100℃에서 9%정도의 낮은 방사율을 갖는 알루미늄판으로 제작하였다.

건물의 천정에 설치된 헤드의 조건을 모형화할 수 있도록 하기 위하여 시험구역의 폭과 높이가 각각 203mm인 사각단면을 갖는다.

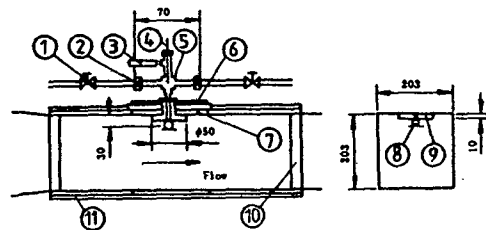
온도 측정용 열전대를 설치할 수 있는 구멍을 감열체와 같은 높이가 되도록 시험구역 측면에 설치하고, 풍속 측정용 구멍을 시험구역의 측면 중앙에 설치했다.

시험구역의 상단에 폭과 길이가 각각 150mm, 170mm인 덮개판에 헤드를 부착하였고, 헤드에서 방출되는 유체를 시험방법에 따라 물 또는 공기의 상태로 시험할 수 있도록 연결배관 상단에 크로스티어를 이용하여 수압 및 공기압원을 연결하였다.

크로스티어 좌우에 AC 110V로 작동되는 PT1/4의 솔레노이드 밸브를 설치하여 시험중 개폐를 빠르게 하므로써 시험구역으로 방출되는 물의 양을 최소로 하였고, 시험구역 하단에 청소구를 설치하였다.

시험구역내의 주요 배관연결부 재질은 상승를 시험에서는 황동으로 하였으나, 가압된 물을 채운 상태에서는 배관주위로부터 배관으로의 전도열전달을 줄이기 위하여 열전도계수가 0.2kcal/m.hr. ℃인 폴리 테트라 플루오르 에틸렌 테프론봉으로 배관자재를 사용하였다.

시험구역의 구조는 Fig 5.와 Fig 6.에 나타 내었다.



- (1) ball valve (8A) (2) solenoid valve (PT 1/4)
- (3) pressure gauge (bourdon tube type, 2kgf/cm<sup>2</sup>, class 1.5)
- (4) thermocouple (013 J Type) (5) cross-tee (10A)
- (6) insulation(asbestos, t : 2m/m) (7) cover plate.
- (8) head (15A) (9) tepron fitting (10) honey-comb
- (11) insulation(plaster plate, t : 8mm)

Fig.5 Schematic diagram of test section used in plunge and prolonged exposure test

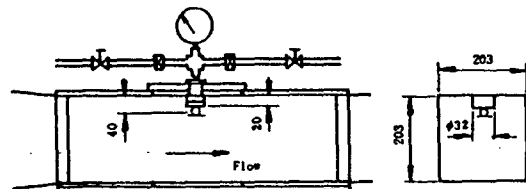


Fig.6 Schematic diagram of test section used in rate of rise test

### 3.1.5 측정 제어부

시험구역의 온도측정은  $\phi$  0.3mm인 J-type의 열전대를 헤드 감열체와 같은 높이로 헤드 감열체가 가까이 설치하여 일본 CHINO제품인 EB시리즈 온도기록계에 의하여 측정하였다.

가열히터는 프로그램된 온도를 시험구역에 주 기 위하여  $\phi$  0.7mm의 k-type의 제어용 열전대를 헤드의 감열체와 같은 높이의 헤드감열체가 가까이 설치하여, 이 열전대의 출력에 따라 히터에 공급되는 전류를 자동제어 하도록 하였고, 일본 千野제작소 제품인 JP시리즈 디지털 프로그램 온도 설정기를 사용하였다.

온도설정기는 프로그램 형태를 설정하여 3종류의 PID(비례대, 적분시간, 미분시간)를 각 단계마다 선택할 수 있는 마이크로 프로세서를 사용한 콘트롤러이다.

풍속은 일본 KANOMA제품인 ANEMOMASTER(Model 6161)로 측정하였다.

시간의 측정은 최소단위가 1/100초인 스톱시계를 사용하였다.

## 3.2 실험방법

이 연구에서의 실험은 모두 세가지로 구분된다. 첫째는 투입시험에 적용할 수 있는 전도계수 값을 구하기 위한 연장 노출시험이고, 둘째는 초기 화재시 급격한 온도상승에 대하여 헤드 응답성을 해석할 수 있는 투입시험이며, 셋째는 초기 화재시 낮은 온도상승에 대해 응답성을 해석할 수 있는 상승률시험이다.

헤드의 설치방향은 작동하기 가장 유리한 조건인 기류방향에 감열체가 직각 방향으로 놓이도록 설치하였다.

이때 실험실의 온도는  $19\pm 1^\circ\text{C}$ 였고, 사용된 물의 온도는  $19.5\pm 0.5^\circ\text{C}$ 였다.

스프링클러 헤드가 작동되는 시간은 압력계의 압력이 감소하는 순간을 기준으로 측정하였다.

### 3.2.1 연장 노출시험

이 시험은 투입시험에 적용할 수 있는 전도계수 값을 구하기 위하여 헤드의 종류에 따라 온도와

속도를 변화시켜 임계속도를 구하는 시험이다.

$19\pm 1^\circ\text{C}$ 의 실험실 온도에서 24시간 유지한 헤드를 덮개판의 연결배관에 부착시키고 배관의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 솔레노이드 밸브를 개방하여 배관내의 물이 계속해서 순환되도록 하였다.

보울밸브를 이용하여 Fig.5에서 2개의 보울밸브사이의 관로내 수압을  $0.28\pm 0.05\text{kg/cm}^2$ 의 압력을 유지하도록 하였다.

이때 크로스 티어 중앙 관로내에 설치된  $\phi$ 0.3mm의 J-type 열전대를 이용하여 물의 온도변화를 관찰하였다.

유효작동온도를  $120^\circ\text{C}$ 로 가정하여 시험구역의 온도를  $120^\circ\text{C}$ , 기류속도를  $1.0\text{m/sec}$ 로 유지한 상태에서 시험구역 내로 헤드를 투입하여 10분동안 기류에 노출시켜 작동여부를 확인하였다.

임계속도를 구하기 위하여 기류속도를  $0.1\text{m/sec}$ 의 비율로 낮춰가면서 기준시험시간 10분간 헤드가 부작동되는 기류속도를 구했다.

임계속도는 최소 작동 및 최대 부작동의 속도를 구해 평균값으로 계산하였고, 이 때 낮은 속도에서의 자연대류현상의 영향을 배제하기 위하여 최저속도를  $0.3\text{m/sec}$ 로 하였다.

부작동의 속도가  $0.3\text{m/sec}$ 이하인 경우에는 온도를  $10^\circ\text{C}$ 비율로 낮춰가면서 실시하여 부작동속도를 구하였다.

### 3.2.2 투입시험

배관에 물을 채운 상태에서 헤드를 고온기류에 노출시켜 수정 응답시간 지수를 구하기 위한 시험이다.

$19\pm 1^\circ\text{C}$ 의 실험온도에서 24시간 이상 유지한 헤드를 덮개판에 부착시키고, 배관에  $0.28\pm 0.05\text{kg/cm}^2$ 의 수압을 가하여 감열체와 배관의 온도를 같게 하기 위하여 3분간 유지한 후 기류온도 및 속도가 각각  $135\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $1.5\pm 0.1\text{m/sec}$ 인 시험 구역으로 헤드를 재빨리 투입하여 그때부터 헤드가 작동할 때 까지의 시간을 측정하였다.

측정된 시간은 식(7)  $t_{op}$ 에 대입하여 전도계수 C를 구하는데 사용된다.

3.2.3 상승률시험

이 시험은 배관에 가압된 공기로 채운 상태에서, 일정 기류속도에서 선형적 온도상승률을 줄 수 있는 시험구역에 헤드를 노출시켜, 헤드의 유효작동온도와 수정 시간상수를 구하기 위한 실험이다.

0.28±0.05kg/cm<sup>2</sup>의 공기압을 연결배관에 가한 상태에서 솔레노이드 밸브를 잠그고, 초기온도가 25±1℃의 시험구역에 헤드를 설치하고 시험구역의 기류속도를 1.0±0.1m/sec로 유지한다.

시험구역내의 온도를 1분내에 30℃로 상승시켜 5분간 유지한 후 매분당 온도상승률을 2℃, 4℃, 7℃, 12℃ 및 17℃의 5개의 경우로 하여 헤드종류별로 5개의 온도상승률에 노출시켜 헤드가 작동될 때의 기류온도와 작동까지 걸리는 시간을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

투입시험에 적용할 전도계수 C값을 구하기 위하여 가정된 유효작동온도에서 수행한 연장 노출 시험 결과는 Table 2와 같다.

샘플별로 유효작동온도가 90℃, 120℃ 및 100℃에서 헤드가 작동하지 않는 부작동속도  $u_{max}$ 가 0.3m/sec이상이었으며, 작동에 필요한 유효시간을 10분으로 가정하여 구한 임계속도는 각 샘플별로 유효작동온도에 따라 차이를 보였다.

식(9)에 임계속도를 대입하여 구한 전도계수값은 샘플의 종류에 따라 유효작동온도가 클수록 전도계수값도 증가하는 결과를 나타냈다.

샘플 A의 경우 0.26m<sup>1/2</sup>s<sup>-1/2</sup>의 가장 작은 전도계수값을 보였는데 이는 다른 샘플에 비해 감열체와 부착부사이의 전도경로가 길기 때문인 것으로 생각된다.

Table 2. Results of prolonged exposure test

Sample	T <sub>eff</sub>	u <sub>max</sub>	u <sub>min</sub>	u <sub>c</sub>	C
A	90	0.6	0.7	0.65	0.26
B	120	0.9	1.0	0.95	0.87
C	100	0.5	0.6	0.55	0.45

투입시험은 샘플의 종류에 따라 작동시간이 63sec, 104sec 및 29sec로서 큰 차이를 보였다.

연장 노출시험에서 구한 전도계수값을 하나의 헤드 특성치인 상수로 가정하여, 투입시험 결과에 적용하여 식(7)에 의하여 계산한 수정 응답시간 지수 값을 Table 3에 나타내었다.

헤드 특성치 k값은 식(6)에 전도계수를 사용해서 구했으며 응답시간지수 RTI의 값은 k가 1인 경우의 값이다.

수정 응답시간 지수 값은 전도계수 및 기류속도를 대입하여 구한 헤드 특성치 k값의 영향으로 C=0의 값을 식(9)에 대입하여 구한 원래의 전도열손실이 무시된 응답시간 지수값 보다 작은 값을 보였으며, 감소비율은 전도계수값이 클수록 증가했다.

샘플 B의 경우 응답시간 지수와 수정 응답시간 지수와의 차가 126m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>만큼 감소함에 따라, 감열체의 온도응답은 전도에 의한 영향을 크게 받을 수 있다.

Table 3. Result of plunge test

Sample	T <sub>op</sub>	k	RTI	RTI <sub>m</sub>
A	63	0.82	124	93
B	104	0.58	207	81
C	29	0.73	63	40

상승률시험은 배관에 공기압으로 채운상태에서 헤드를 실험에 사용한 5개의 온도상승률에 노출시켜 헤드가 작동할 때의 기류온도 및 작동시간을 측정하고, 이 결과를 도표화하여 절편 및 기울기에 의하여 유효작동온도와 수정시간 상수를 구했다.

Fig.7은 상승률시험에 의해서 얻어진 결과를 나타낸 것이다.

샘플 A의 경우에는 다른 샘플에 비하여 온도 상승률의 증가에 따라 헤드가 작동할 때의 기류온도가 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 낮은 유효작동온도와 큰 수정시간 상수값을 갖는 결과를 나타내었다.

샘플 B의 시험결과는 높은 유효작동온도에서



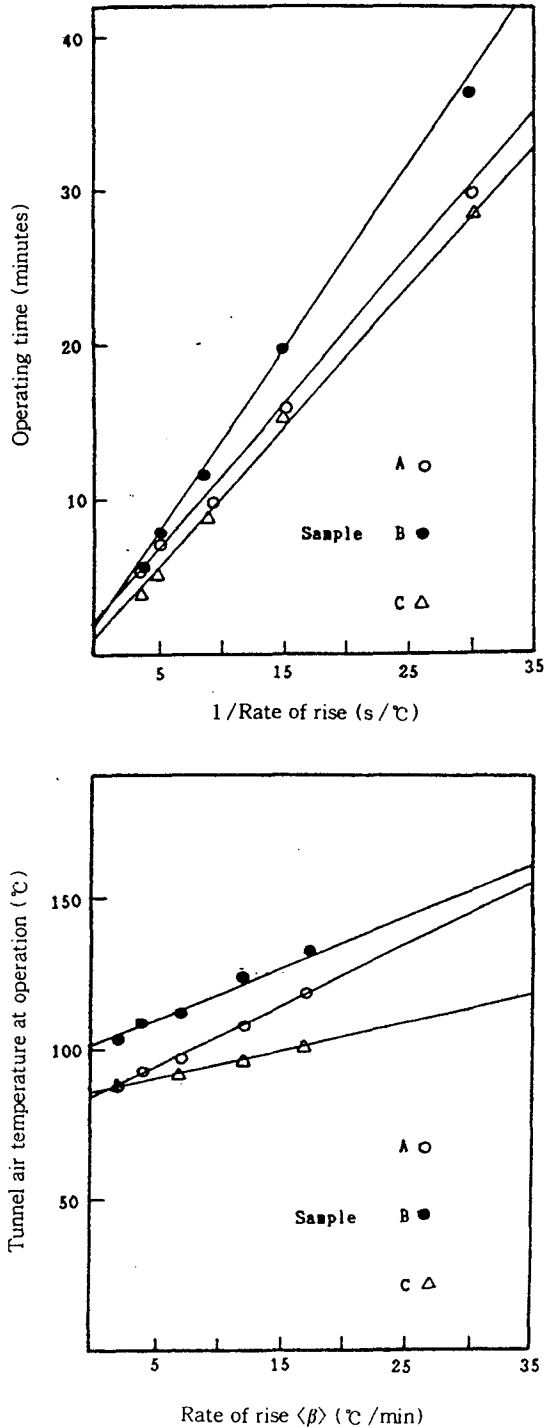


Fig.7 Determination of effective operating temperature ( $T_{eff}$ ) and modification time constant ( $\tau'$ ) from rate of rise test for sample

낮은 기울기를 가짐으로서 수정시간 상수값이 중간 특성을 보였다.

샘플 C의 경우에는 낮은 유효작동온도 및 작은 수정시간 상수값을 가짐으로서 가장 빠른 응답 특성을 보였다.

Fig.7에서 절편 및 기울기에 의하여 구한 각 샘플의 유효작동온도 및 수정시간 상수값의 결과를 Table 4에 나타내었다.

투입시험 결과와 비교 할 수 있는 스프링클러 헤드 특성치, 응답시간 지수 및 전도계수값은 위의 결과를 식(13), (14) 및 응답시간 지수에 대입하여 구하고 Table 4에 함께 나타내었다.

상승률 시험결과의 분석방법은 헤드 작동시 기류온도 및 작동시간의 두가지 측정치에 의해 열특성치를 도표로 구함으로서 결과를 검증할 수 있는 유용한 방법이었다.

그리고 시험결과는 투입시험의 결과와 같이 샘플의 종류에 따라 유효작동 온도값이 큰 헤드가 전도계수값도 커지는 결과를 보였다.

스프링클러 헤드의 특성치  $k$ 값은 Table 3과 Table 4에서 보듯이 부차배관, 기류속도 및 온도 조건에 관계없이 헤드종류별로 거의 같은 값을 보임으로서  $k$ 값은 전도계수와 속도평방근에 의존한다는 이론식을 입증하는 결과를 얻었다.

이러한 점은 이연구의 시험 데이터가 타당함을 입증하는 것이었다.

수정 응답시간 지수값은 조건을 달리한 두 시험 모두  $k$ 값에 따라 원래의 응답시간 지수값보다 작아졌으며, 전도계수값이 클수록 작아지는 비율이 커지는 경향을 보였다.

Table 4. Results of rate of rise test

Sample	$T_{eff}$	$\tau'$	$k$	RTI	RTI <sub>m</sub>	C
A	84	120	0.79	152	120	0.27
B	102	96	0.59	163	96	0.69
C	85	48	0.72	67	48	0.39

## 5. 결 론

이 논문에서는 가열식 폐회로 풍동을 이용하여 일정 기류속도에서 선형적인 온도상승 및 일정 온

김동석, 박용일, 박희용

도의 고온기류에 헤드를 노출시켜 열특성치를 구하고 분석하여 감열체의 온도 응답성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 규명하였다.

실제 설치상태를 모형화 하기 위하여 부착배관의 조건을 물 또는 공기를 채운 상태에서 실험을 수행하였다.

실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 유효작동 온도는 스프링클러 헤드의 상수 특성값이 아니고 기류속도 및 부착부의 조건에 따른 전도계수에 의존하였다.
2. 헤드특성치인  $k$  값은 배관의 조건 및 시험방법에 관계없이 헤드 종류별로 일정한 값을 보임으로서 결과적으로 전도계수  $C$  값은 온도에 관계없이 기류속도의 평방근에 비례한다는 이론식은 타당하였다.
3. 응답시간지수와 전도계수는 헤드의 종류별로 시험방법에 따라 같은 특성의 양적 차이를 보임으로서 이 변수들은 대류와 전도 열전달에 의한 헤드의 응답성을 정량화 할 수 있는 유용한 변수임을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. G. Heskestad and H. F. Smith, "Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test :

The Plunge Test", FMRC 22485, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, December, 1976.

2. G. Heskestad and H. F. Smith, "Plunge Test for Determination of Sprinkler Sensitivity", FMRC 3A1E2.RR, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, December, 1980.
3. J. S. Pepi, "Design Characteristics of Quick Response Sprinklers", Grinnel Fire Protection Systems Company, Providence, Rhode Island, May, 1986.
4. G. Heskestad and R.G. Bill, JR., "Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinkler Including Conduction Effects", Fire Safety Journal, 14(1988), pp.113-125.
5. C.R. Theobald, "FRS Ramp Test for the Thermal Sensitivity of Sprinklers", Journal of Fire Protection Engineering, 1988, pp.23-34.
6. 소방용 기계 기구 등의 점정기술기준, 소방법 제 38조 제3항, 1989.
7. P.F. Thorne, C.R. Theobald and S.J. Melinek, "The Thermal Performance of Sprinkler Heads", Fire Safety Journal, 14(1988), pp.89-99.