

## 가용합금형 스프링클러 헤드의 열감도 특성에 관한 실험적 연구

### Experimental Study on the Characteristics of Thermal Sensitivity for Fusible Alloy Type Sprinkler Head

권 오 승\* 이 진 호\*\*  
Kwon, Oh-Seung Lee, Jin-Ho

---

#### Abstract

The sprinkler head is a component of the sprinkler system intended to discharge water for automatic detection and extinguishment of fires. On this study, thermal characteristic values affecting the sensitivity of the fusible alloy type sprinkler head were obtained and analyzed under heated air stream condition which had constant temperature and velocity.

The experiment was carried out under the forced convection condition with both the conductive heat loss considered and neglected. The thermal characteristic values of the sprinkler head were obtained in accordance with the material and shape of the heat responsive element and the conditions of the main body.

**Key Words** : Fire Protection, Sprinkler Head, Thermal Sensitivity, Response Time Index, Conduction Parameter

---

#### 기호설명

c : 비열(J /kg℃)  
h : 대류 열전달계수(W/m<sup>2</sup>℃)  
H<sub>c</sub> : 헤드의 전도계수(m<sup>1/2</sup>·s<sup>-1/2</sup>)  
k : 열전도계수(W/m℃)  
q : 열전달율(W)  
RTI : 응답시간지수  
RTI<sub>v</sub> : 수정응답시간지수

t<sub>op</sub> : 일정온도에 도달하는 시간 또는 헤드의 작동시간(sec)  
T<sub>nom</sub> : 공칭작동온도(℃)  
T<sub>c</sub> : 임계작동온도(℃)  
T<sub>e</sub> : 감열체의 온도(℃)  
T<sub>f</sub> : 부착부 또는 헤드본체의 온도(℃)  
T<sub>i</sub> : 초기 온도(℃)  
T<sub>∞</sub> : 주위 온도(℃)  
T<sub>op</sub> : 스프링클러 헤드의 작동온도(℃)  
T<sub>p</sub> : 투입시험에서의 열기류온도(℃)  
T(t) : 고체내부온도(℃)

---

1995년 3월 10일 접수

\* 韓國火災保險協會 附設 防災試驗研究所 室長, 技術士  
\*\* 延世大學校 機械工學課 教授, Ph. D.

- u : 열기류속도( $\text{ms}^{-1}$ )
- $\rho$  : 질량밀도( $\text{kgm}^{-3}$ )
- $\tau_t$  : 열적시간상수(sec) =  $\rho c V / Ah = mc / Ah$

## 1. 서 론

자동식 스프링클러 헤드(automatic sprinkler head)는 방호대상물의 화재를 자동으로 감지하여 소화작업을 실시하는 스프링클러 설비의 주요구성품으로 화재가 발생하여 감열체의 온도가 상승하면 감열체를 지지하는 링크들이 헤드로부터 탈락하게 되므로 배관의 가압수가 방사되어 소화작업을 시작한다. 처음으로 스프링클러 설비에 사용된 헤드는 1874년에 미국의 Henry S. Parmelee가 개발한 헤드로서 1878년부터 Providence Steam and Gas Pipe Company에 의해 널리 사용되면서 물을 사용하는 소화설비의 자동화는 시작되었다.<sup>(1)</sup>

Parmelee 시대 이후 약 한 세기가 지난 1980년대의 스프링클러 설비에 대한 중요한 기술개발의 하나는 스프링클러 헤드의 감도(sensitivity)를 제어하고 평가하는 방법을 얻은 것이었다. 이러한 감도에 대한 기본적인 연구는 1970년대에 미국의 FMRC<sup>(2)</sup> (Factory Mutual Research Corporation, 미국의 보험회사가 설립한 시험연구기관)를 중심으로 수행되었으며, 이 연구의 결과로 FMRC에서는 헤드의 작동시간을 측정하는 투입시험(plunge test)방법을 개발하여 헤드의 감도를 나타내는 응답시간지수(RTI : Response Time Index)에 대한 이론을 정립하였다. 그러나 Grinnel Fire Protection Systems Company(미국 스프링클러 헤드 제조업체)의 J. S. Pepi<sup>(3)</sup>는 스프링클러 헤드의 전도에 의한 열손실이 응답시간지수에 미치는 영향을 발표하였으며, 1987년 FMRC에서는 Pepi의 이론을 배경으로 연장노출시험<sup>(4)</sup>(Prolonged exposure test)방법을 개발하여 전도계수가 고려된 수정응답시간지수(RTI<sub>v</sub> : Virtual Response Time Index)에 대한 이론을 재정립하였다.

1980년대 중반부터 영국의 FRS<sup>(5)</sup>(Fire Re-

search Station ; 영국 정부산하의 화재연구소)에서도 일정한 기류속도에서 선형적으로 기류의 온도를 상승시켜 헤드의 열특성치를 구하는 상승률시험(rate of rise test)방법을 개발하여 응답시간지수를 구하였고, 미국 FMRC의 연구결과와 비교하여 그 차이를 줄이기 위한 수정안을 제시하였다. 이와같은 스프링클러 헤드의 열기류 감도분야에 대한 연구결과로 조기작동형(fast response type)헤드, 주거용 헤드, ESFR(Early Suppression Fast Response)헤드 등 특수 목적에 사용되는 헤드가 개발되어 인명 및 재산보호를 위한 고도의 화재예방 기법에 활용할 수 있도록 실용화되었으며, 스프링클러 헤드의 감도범위가 ISO 기준 ISO 6182 /1)으로 채택되어 적용하고 있다.<sup>(6)</sup>

국내에서는 1970년대 부터 표준형 감도를 갖는 스프링클러 헤드가 생산되어 방호대상물의 용도 및 규모에 따라 설치되고 있으며, 국내의 산업발전과 함께 용도의 다변화 및 방호대상물의 대형화·고층화에 따라 화재로 인한 인명피해 및 재산상의 손실을 경감시킬 수 있도록 화재를 초기에 감지하여 소화작업을 실시하는 조기작동형의 스프링클러 설비 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 가용합금형 스프링클러 헤드의 열기류 감도특성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 규명하기 위하여 실험용 스프링클러 헤드를 감열체와 헤드본체로 나누어 일정한 열기류조건하에서 실험을 수행하였다. 강체대류조건에 의한 집중용량방법의 열전달 이론을 배경으로 일정한 실험 온도 및 풍속의 열기류가 흐르는 폐회로 풍동내에 상온상태의 실험체를 투입하여 실험체의 온도상승비에 따라 열특성치를 구하는 투입시험을 실시하였으며, 투입시험에 적용되는 실험체의 공칭작동온도  $T_{nom}$ 과 전도계수  $H_c$  값을 구하기 위하여 작동온도시험 및 연장노출시험을 실시하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 감열체의 열전달 특성

일정한 형체의 고체가 높은 온도의 유체속에 투입되었을 때 고체와 유체사이에서 일어나는 대류

열전달계수(h)가 크지않고 고체의 열전도계수(k)가 매우 큰경우에는 집중용량방법(lumped capacitance method)에 의하여 고체내부의 온도분포는 임의의 순간에 균일한 것으로 가정하게 된다.<sup>(7)</sup> 이때 고체의 외부경계면을 통하여 내부로 들어오는 고체의 열전달률(q)은 고체의 내부에너지 증가율과 같으므로 다음과 같은 에너지 평형식으로 나타낼 수 있다.

$$q = Ah[T_x - T(t)] = \rho c V \frac{dT(t)}{dt} \quad (1)$$

식 (1)에 초기조건을 적용하고 적분을 수행하여 고체내부의 온도를 시간의 함수로 나타내면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{T_x - T(t)}{T_x - T_i} = \exp\left[-\left(\frac{Ah}{\rho c V}\right)t\right] \quad (2)$$

(2)식에서 대류열전달에 의한 일정시간 경과후의 고체내부온도 T(t) 및 일정온도에 도달하는데 필요한 시간 t<sub>op</sub>를 계산할 수 있으며, 고체의 재질에 따른 물리적성질의 열적 특성을 이용하여 일정온도에 이르는 시간을 변화시킬 수 있음을 나타낸다.

$$t_{op} = \frac{\rho c V}{Ah} \ln\left(\frac{T_\infty - T_i}{T_\infty - T(t)}\right) = \tau_t \cdot \ln\left(\frac{T_\infty - T_i}{T_\infty - T(t)}\right) \quad (3)$$

식 (3)의 τ<sub>t</sub>는 열적시간상수(thermal time constant)로서 고체의 형상 및 재질에 따라 그 값이 다르며, 이 연구에서는 실험체의 열특성치로 사용하였다. 반지름 방향으로 열전달이 일어나는 원주형 재료의 경우에는 외부경계면에 대한 고체의 내부체적의 비율이 재료의 직경(d)에 비례하여 고체의 직경 및 재질변화에 따라 고체내부의 온도변화를 계산할 수 있다.<sup>(8)</sup>

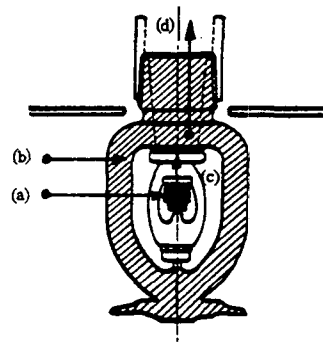
## 2.2 헤드의 열감도 특성

스프링클러 헤드의 열감도는 화재초기에 발생되는 열기류에 의한 감열체의 작동과 관련되어 있으며, 감열체의 열전달특성 및 헤드의 설치조건에 따라 그 감도 특성치가 다르게 된다. 화재발생 초

기에는 복사 열전달량이 대류 열전달량의 1/10이하로서<sup>(9)</sup> 이 연구에서는 복사 열전달량을 무시하였으며, 일정한 열기류에 의한 헤드의 작동시간과 주위온도변화에 따라 헤드의 감도특성을 나타내는 응답시간지수 RTI는 다음과 같이 정의된다.<sup>(6)</sup>

$$RTI = \frac{mc}{Ah} u^{1/2} = \tau_t u^{1/2} \quad (4)$$

응답시간지수는 헤드의 작동에 필요한 열을 주위로 부터 얼마나 빨리 흡수할 수 있는가를 나타내는 특성치로서 응답시간지수의 값이 적을수록 감열체의 온도상승비율이 커져 헤드가 조기에 작동하게 된다. 또한 주위로 부터 흡수한 열량중에서 헤드 본체 및 배관, 수로(water way) 측으로 어느 정도의 열손실이 발생하는가를 나타내는 전도계수는 헤드의 작동에 큰 영향을 미치는 주요 특성치로서 이 값이 적을수록 전도 열손실량이 적어져 헤드가 빨리 작동하게 된다. Fig. 1에 일정한 열기류에서의 스프링클러 헤드 각 부분에 대한 열전달 방향을 도시하였다.<sup>(9)</sup>



(a) from hot gas to element (c) from element to body  
(b) from hot gas to body (d) from body to pipeline

Fig. 1. Heat flows of sprinkler head

전도열손실량은 감열체와 헤드부착부의 온도차이에 비례한다고 가정하고 전도열손실량을 고려한 에너지 평형식에 응답시간지수인 RTI의 개념을 도입하여 정리하면 아래와 같다.

$$\frac{dT_e(t)}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI} [T_x - T_e(t)]$$

$$-\frac{H_c}{RTI}[T_e(t)-T_f(t)] \quad (5)$$

식 (5)에서  $H_c$ 를 전도계수(conduction parameter)라고 하며 이 연구에서는 스프링클러 헤드의 열특성치로 사용하였다. 여기서 높은 열적시간상수를 갖는 스프링클러 헤드 본체부분의 온도  $T_f(t)$ 는 초기온도  $T_i$ 와 동일하다고 가정할 수 있으므로 감열체 온도변화를 초기온도와 온도차  $\Delta T$ 로 정리하면 다음과 같다.<sup>(10)</sup>

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{u^{1/2}}{RTI} \Delta T_x - \frac{u^{1/2} \Delta T_e}{k_o RTI} \quad (6)$$

식 (6)의 상수  $k_o$ 는  $(1+H_c/u^{1/2})^{-1}$ 이며 열기류속도가 일정할 때 헤드의 전도계수에 따라 변하는 헤드의 특성치이다.<sup>(4)</sup> 이 연구에서는 감열체 주위의 열기류온도 및 속도가 일정하게 유지되는 경우로 한정하였으며, 투입시험에서 열기류온도  $T_p=T_x$ 일때 일정시간 후의 감열체 온도변화는 아래와 같이 표현된다.

$$T_e = k_o(T_p - T_i)[1 - \exp(-\frac{u^{1/2}t}{k_o RTI})] + T_i \quad (7)$$

식 (7)에서 헤드가 작동할 때의 시간이  $t=t_{op}$ 이고 그 때의 감열체 온도는 실제 감열체가 작동하는 공칭작동온도( $T_{nom}$ )로서 이 연구에서는 작동온도 시험(operating temperature test)방법에 의하여 구하였으며, 실험을 통해 수정응답시간지수를 구할 수 있는 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$T_{nom} - T_i = k_o(T_p - T_i)[1 - \exp(-\frac{u^{1/2}t_{op}}{k_o RTI})] \quad (8)$$

전도열손실에 의하여 헤드가 작동하지 않는 열기류조건에서는  $t_{op} \approx \infty$ 로 표시할 수 있으므로 전도계수를 구하기 위해 식 (8)을 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$T_{nom} - T_i = k_o(T_c - T_i) = \frac{T_c - T_i}{1 + \frac{H_c}{u^{1/2}}} \quad (9)$$

식 (9)에서 전도계수  $H_c$ 는 실험에 의해 구할 수 있으며, 이 연구에서는 연장노출시험(prolonged exposure test)<sup>(4)</sup> 방법에 의하여 일정한 열기류속도에서 헤드가 작동하지 않는 임계작동온도( $T_c$ )를 구하고 식 (10)에서 전도계수의 값을 산정하였다.

$$H_c = u^{1/2} \left[ \frac{T_c - T_i}{T_{nom} - T_i} - 1 \right] \quad (10)$$

또한 식 (7)에서  $k_o RTI$ 는 전도열손실을 고려하기 위하여 수정 보완된 수정응답시간지수(virtual response time index)로서  $RTI_v$ 로 표시된다.<sup>(10)</sup>

$$RTI_v = k_o RTI = \frac{-u^{1/2}t_{op}}{\ln \left[ 1 - \frac{T_{nom} - T_i}{k_o(T_p - T_i)} \right]} \quad (11)$$

식 (11)에 의하여 연장노출시험에서 구한  $k_o$ 와 작동온도시험에서 구한  $T_{nom}$ 을 적용하고 투입시험에 의해 측정된 헤드의 작동시간을 대입하여 스프링클러 헤드의 열특성치인 수정응답시간지수  $RTI_v$ 를 구할 수 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험체

이 연구의 대상은 국내에서 널리 사용되고 있는 감열체의 형태가 원주형인 표시온도 72℃의 가용합금형 스프링클러 헤드를 사용하였고, 스프링클러 헤드의 열기류 감도특성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 규명하기 위하여 실험체를 감열체와 본체로 나누어 실험을 수행하였다.

##### 3.1.1 감열체

강제대류에 의한 원주형 감열체의 재질 및 형상에 따른 열특성치를 비교하기 위하여 시중에서 판매되고 있는 72℃용 가용합금, 동 및 황동으로 감열체의 모형을 직경 및 높이에 따라 크기별로 제작하였으며, 실험용 감열체에 대한 일반사항은 Table 1과 같고 Fig. 2는 감열체의 개략도이다. 실험용 재료의 질량밀도는 실제질량과 체적을 측정하여 구한 값이며 비열은 300°K에서의 값<sup>(11)</sup>이다.

Table 1. Specification of experimental heat responsive elements

(a) Classification of test sample to materials

Sample No.	Material	Diameter $d_1$ (mm)	Height $h_1$ (mm)	Mass density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat $c$ (J/kg°C)
A <sub>1</sub>	fusible alloy	4, 5, 6, 7	2	9600	129
A <sub>2</sub>	fusible alloy	6	2, 4, 6, 8		
B <sub>1</sub>	brass	4, 5, 6, 7	2	8826	385
B <sub>2</sub>	brass	6	2, 4, 6, 8		
C <sub>1</sub>	copper	4, 5, 6, 7	2	8348	380
C <sub>2</sub>	copper	6	2, 4, 6, 8		

(b) Classification of test sample to shapes

Sample No.	Shape	Material		Size(mm)				
		operating element	others	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$h_1$	$h_2$
D	non-protected	fusible alloy	brass	4,5,6,7	-	-	2	4
E	type		copper	4,5,6,7	-	-	2	4
F	protected	fusible alloy	brass	4,5,6,7	$d_1+0.6d_1$	$-0.5d_1$	2	-
G	type		copper	4,5,6,7	$d_1+0.6d_1$	$-0.5d_1$	2	-

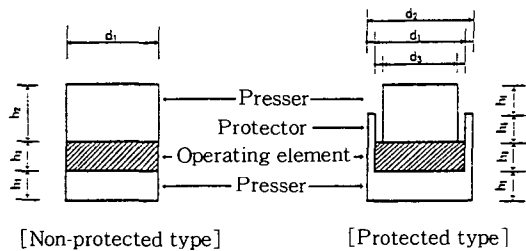


Fig. 2. Schematic diagram of experimental heat responsive elements

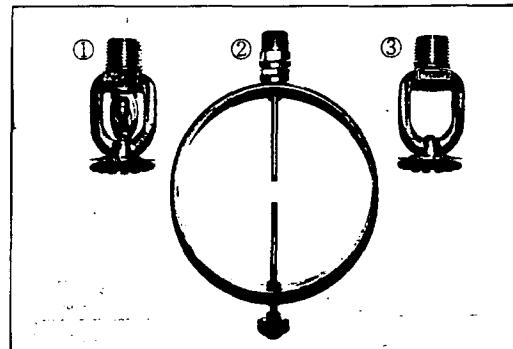
### 3.1.2 본체(Main body)

감열체로부터 본체로의 전도열손실을 고려한 상태에서 스프링클러 헤드의 열전달 특성을 비교 해석하기 위하여 본체를 2가지로 분류하였다. 첫째는 본체로의 전도열손실이 발생하는 조건에서의 열특성치를 구하기 위해 기존제품의 하향형 스프링클러 헤드(pendent sprinkler head)본체를 사용하였으며, 둘째는 본체로의 열손실이 없는 조건에서의 열특성치를 구하기 위하여 원형 지지구(support ring)를 본체로 사용하였다. 원형 지지구에 설치된 감열체의 전도열손실을 줄이기 위하여 지지구의 지지대와 감열체 사이에 순수 플루오르(fluoro)수지의 열전도계수 0.2kcal/m·hr·

°C인 폴리테트라플루오르에틸렌<sup>(1,2)</sup>(polytetrafluoroethylene) 테플론(Teflon)봉으로 단열판을 설치하였으며, 이 연구에서 사용된 본체의 일반사양은 Table 2와 같고 Fig. 3은 스프링클러 헤드와 원형 지지구의 사진이다.

Table 2. Specification of experimental main bodies

Main body type	Material	Size(mm)		Load (kg)
		height	width	
pendent sprinkler head	bronze	69±0.5	39±0.5	5~10
support ring	steel	120±0.5	30±0.5	7~8



① Pendent sprinkler head  
② Support ring  
③ Pendent sprinkler head frame

Fig. 3. Photograph of sprinkler head and support ring

### 3.2 실험장치

#### 3.2.1 작동온도시험기

투입시험에 적용되는 감열체의 공칭작동온도를 구하기 위한 작동온도시험기는 액조(liquid bath)와 제어반(control panel)으로 구성되어 있으며, 4kw의 전기히터로 액조내의 증류수를 가열하여 감열체가 작동하는 온도를 측정한다. 30×30×27cm<sup>3</sup>의 체적을 갖는 액조내의 온도는 제어반에 설치된 수치제어기(digital program controller)에 의하여 자동제어되며, 수치제어기에 입력된 온도상승비에 따라 액조내의 온도를 일정비율로 상승시킨다.

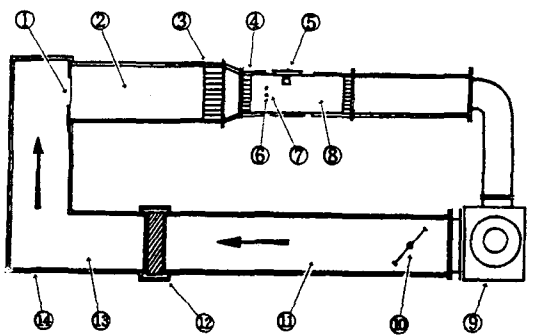
#### 3.2.2 열기류 감도시험기

투입시험과 연장노출시험에 사용되는 열기류

감도시험기는 풍동내의 열기류를 실험에 필요한 온도 및 풍속으로 유지하여 실험용 헤드가 작동하는 시간과 그 때의 온도를 측정하기 위해 실험용 풍동과 제어반으로 구성되며, 실험용 풍동은 풍동내의 온도를 빠른 시간내에 시험온도로 유지하기 위하여 FMRC, UL 등 시험연구기관과 같은 폐회로 방식으로 사용하였다.<sup>(4)(13)</sup>

(1) 실험용 풍동

Fig. 4는 실험용 풍동의 개략도이며, 풍동내의 열기류 온도 및 풍속을 실험조건으로 유지하기 위하여 AC 220V로 동작되는 10kw용의 전기히터와 1/2hp, 1/8hp의 송풍기가 설치되어 있다. 실험용 헤드로의 복사 열전달량을 줄이기 위하여 4.7%의 낮은 방사율<sup>(5)</sup>을 갖는 1.2mm 두께의 알루미늄 판으로 풍동을 제작하였으며, 풍동 외부로의 열손실을 줄이기 위하여 두께 12mm의 석고보드로 단열조치 하였다. 열기류의 풍속은 풍속조절용 댐퍼의 위치에 따라 일정하게 조절되며, 실험조건에 필요한 온도 및 풍속을 갖는 가열된 공기는 직경 150mmφ의 오리피스를 통과하여 팽창실로 들어간다.



- ① Orifice(150mmφ) ② Expansion chamber(300 300mm)
- ③ Honeycomb screen(60mm)
- ④ Honeycomb screen(30mm) ⑤ Cover plate(150 170mm)
- ⑥ Anemometer tap ⑦ Thermocouple
- ⑧ Test section chamber(203×203mm) ⑨ Blower
- ⑩ Air velocity control damper ⑪ Connection duct
- ⑫ Electric heater ⑬ Heating plenum ⑭ Insulation plate

Fig. 4. Schematic diagram of experimental air chamber

팽창실에서 혼합된 공기는 열기류의 난류성분을 감소시키기 위하여 팽창실과 실험구역풍동 사

이에 설치된 밀도 2.35kg/m<sup>3</sup>, 먼간거리가 5mm인 고온용 허니콤 스크린(honeycomb screen)을 통과하여 일정한 풍속으로 실험구역풍동으로 유입된다. 천정에 설치되는 헤드 주위의 열기류 조건을 모형화하기 위하여 실험구역풍동은 일정한 수평 열기류가 형성될 수 있도록 203×203mm 크기의 사각단면을 갖는 닥트로 제작하였으며 상부에는 150×170mm 크기의 덮개판을 설치하여 실험용 헤드를 신속하게 풍동내에 투입할 수 있도록 하였다.

(2) 제어반

실험용 풍동내에 일정한 열기류를 유지한 상태에서 실험을 실시하기 위하여 제어반에는 수치제어기(digital program controller), 온도기록계, 풍속계, 디지털 타이머를 설치하였다. 풍동내의 열기류온도는 실험용 헤드의 열기류 1차측 풍동 중앙에 설치된 직경 0.7mm의 K-type 열전대의 출력에 의하여 수치제어기의 프로그램 입력내용에 따라 자동으로 제어할 수 있도록 하였으며, 수치제어기는 각 단계별로 시험온도를 설정하여 PID(비례적분미분)방식으로 온도를 제어할 수 있도록 하였다. 실험중의 열기류 온도는 실험용 헤드 부근에 설치된 직경 0.3mm의 J-type 열전대의 출력에 따라 CHINO 제품 EB 시리즈 온도기록계에 의해 자동으로 기록된다. 열기류 풍속을 가변시키기 위하여 1/2hp 정속 송풍기와 1/8hp 가변용 송풍기를 임의로 선정하였으며, 제어반의 풍속조절기와 풍동의 풍속조절댐퍼에 의하여 0.5~2.5m/sec 범위 이내에서 실험중의 열기류 풍속을 일정하게 유지하였다.

3.3 실험방법

3.3.1 작동온도시험(Operating temperature test)

이 시험은 투입시험에 적용되는 스프링클러 헤드와 실험용 가용합금의 공칭작동온도를 구하는 시험으로 실험체를 작동온도시험기의 액조내에 넣어 헤드의 표시온도보다 10℃ 낮은 온도로부터 1℃/min 이하의 일정한 온도상승비율로 액조내의 온도를 상승시켜 헤드가 작동할 때의 액조온도

를 측정하였고, 투입시험에 적용할 실험체의 공칭 작동온도는 평균값을 적용하였다.

### 3.3.2 연장노출시험(Prolonged exposure test)

이시험은 투입시험에 적용하기 위한 실험용 스프링클러 헤드의 전도계수  $H_c$  값을 구하는 시험이다. 열기류 감도시험기의 열기류속도를  $0.5 \pm 0.05 \text{m/sec}$ 에서 최대  $1.0 \pm 0.05 \text{m/sec}$ 까지  $0.1 \text{m/sec}$ 의 비율로 증가시키면서 각각의 풍속 조건에서 실험을 실시하였고, 각각의 풍속 조건하에서 열기류의 온도를  $75^\circ\text{C}$ 부터  $5^\circ\text{C}$ 의 비율로 증가시킨 각 온도조건에 헤드를 투입하여 헤드가 작동되지 않는 최대기류온도와 헤드가 작동되는 최소기류온도를 구하였다.

실험구역 풍동내의 열기류속도 및 온도를 실험 조건으로 유지한 상태에서 풍동내에 실험용 헤드를 투입하여 15분동안 헤드의 작동상태를 확인하였고, 실험중에 헤드 부착부분으로의 전도 열손실량을 일정하게 유지하기 위하여 헤드 연결배관에  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 냉각수를 채운상태에서 실험을 실시하였으며, 헤드가 작동되지 않는 최대기류온도와 헤드가 작동되는 최소기류온도의 평균값을 헤드의 임계작동온도  $T_c$ 로 적용하였다.

### 3.3.3 투입시험(Plunge test)

응답시간지수에 의한 열감도특성을 해석하기 위하여 실험적으로 일정한 열기류 조건하에서 실험체의 온도상승비를 측정하는 시험으로 실험용 스프링클러 헤드본체 및 원형 지지구에 감열체를 설치하여 각 실험체의 온도상승비에 따른 감도특성을 비교하였다. 열기류 감도시험기의 열기류조건은 온도  $135 \pm 1^\circ\text{C}$ , 풍속  $2.5 \pm 0.1 \text{m/sec}$ 를 기준<sup>(13)</sup>으로 일정하게 유지한 상태에서 투입시험을 실시하였다. 실험용 스프링클러 헤드는 연장노출시험과 같은 방식으로 헤드 연결배관에 냉각수를 순환시키면서 실험을 실시하여 헤드가 작동하는 시간을 측정하였으며, 원형 지지구에 설치된 실험체는 내부온도가 공칭작동온도에 도달되는 시간을 측정하였다. 실험체의 내부온도는 직경  $0.3 \text{mm}$ 의 J-type 열전대를 실험체 내부에 설치하여 온도기록기로 측정하였으며, 실험용헤드의 초기온도를 균일하게 유지하기 위하여  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 실험실에서 2시간 이상 일정온도로 유지한 후 실험을 실시하

였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 작동온도시험

본 연구의 투입시험에 적용할 실험체의 작동온도는 스프링클러 헤드가  $72.9 \sim 73.4^\circ\text{C}$ , 가용합금이  $72.5 \sim 73.0^\circ\text{C}$ 로서 공칭작동온도의 평균값은 스프링클러 헤드가  $73.2^\circ\text{C}$ , 가용합금이  $72.7^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 일정한 온도상승비에 따라 측정된 각 실험체의 공칭작동온도에 대한 차이는 평균값의  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  이내이고 실험체간의 평균온도 차이는  $0.5^\circ\text{C}$ 로서 균일한 작동상태를 보였다

### 4.2 연장노출시험

투입시험에 적용되는 스프링클러 헤드의 전도계수  $H_c$  값을 구하기 위하여 낮은 풍속의 열기류 조건에서 수행한 연장노출시험 결과는 Table 3과 같다.

열기류속도가  $0.5 \text{m/sec}$ 에서  $1.0 \text{m/sec}$ 로 증가함에 따라 임계작동온도는  $97.5^\circ\text{C}$ 에서  $87.5^\circ\text{C}$ 로  $10^\circ\text{C}$  낮아 졌으며, 측정된 열기류속도와 임계작동온도에 의하여 산정된 전도계수 값은  $0.28 \sim 0.37 \text{m}^{1/2} \text{s}^{-1/2}$ 로 나타났다. 투입시험에 적용할 전도계수의 평균값  $0.335 \text{m}^{1/2} \text{s}^{-1/2}$ 와 실제 측정값과의 최대차이는  $0.055 \text{m}^{1/2} \text{s}^{-1/2}$ 로서 균일한 상태를 보였다.

Table 3. Results of prolonged exposure test

Air velocity $u(\text{m/sec})$	Maximum non-operating temperature ( $^\circ\text{C}$ )	Minimum operating temperature ( $^\circ\text{C}$ )	Critical operating temperature $T_c(^\circ\text{C})$	Conduction parameter $H_c$ ( $\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1/2}$ )
0.5	95	100	97.5	0.34
0.6	95	100	97.5	0.37
0.7	90	95	92.5	0.32
0.8	90	95	92.5	0.34
0.9	90	95	92.5	0.36
1.0	85	90	87.5	0.28
average	-	-	-	0.335

### 4.3 투입시험

#### 4.3.1 감열체 재료

감열체에 사용되는 재료에 의한 투입시험 결과

는 Table 4와 같다.

일정한 열기류 조건하에서 측정된 높이 2mm, 직경 4~7mm의 실험용 감열체 재료의 온도상승비는 가용합금이 1.67~3.47°C/sec, 황동은 1.22~2.26°C/sec, 동은 1.17~2.22°C/sec로서 가용합금이 황동이나 동보다 높은 것으로 나타났다. 감열체는 재료에 대한 열적시간상수가 커질수록 온도상승비는 낮아지는 현상을 보였으며, 직경이 작아질수록 온도상승비는 커지고 있으나 각 재료 별로 일정한 비율로 상승하는 것으로 나타났다. 직경이 6mm인 감열체 재료의 높이 변화에 따른 온도상승비는 2~8mm의 높이 변화에 관계없이 재료별로 균일한 값을 갖는 것으로 나타났으며,

Table 4. Results of plunge test on the material diameter and height of heat responsive element  
(a) Material diameter

Sample No.	Diameter $d_1$ (mm)	Rate of temperature rise (°C/sec)	Thermal time constant $\tau_t$	Virtual response time index $RTI_v$
A <sub>1</sub>	4	3.47	24.5	38.7
	5	2.56	33.3	52.7
	6	2.10	40.5	64.0
	7	1.67	50.9	80.5
B <sub>1</sub>	4	2.26	37.6	59.5
	5	1.71	49.9	78.9
	6	1.48	57.6	91.1
	7	1.22	69.5	109.9
C <sub>1</sub>	4	2.22	38.3	60.6
	5	1.66	51.4	81.3
	6	1.43	59.5	94.1
	7	1.17	72.6	114.8

(b) Material height

Sample No.	Height $h_1$ (mm)	Rate of temperature rise (°C/sec)	Thermal time constant $\tau_t$	Virtual response time index $RTI_v$
A <sub>2</sub>	2	2.10	40.5	64.0
	4	2.01	42.3	66.9
	6	2.05	41.5	65.6
	8	2.08	41.0	64.8
B <sub>2</sub>	2	1.48	57.6	91.1
	4	1.50	56.6	89.5
	6	1.49	57.3	90.6
	8	1.47	57.9	91.5
C <sub>2</sub>	2	1.43	59.5	94.1
	4	1.44	59.1	93.4
	6	1.46	58.4	92.3
	8	1.43	59.6	94.2

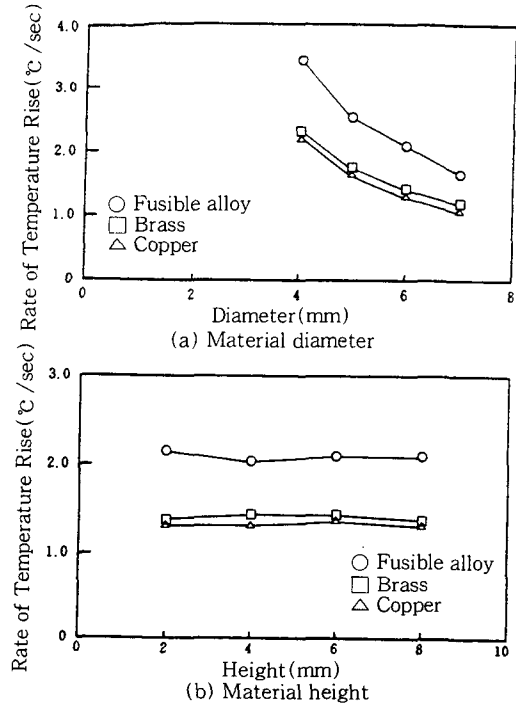


Fig. 5. Comparison of fusible alloy with brass and copper on the rate of temperature rise

평균온도상승비는 가용합금은 2.06°C/sec, 황동은 1.49°C/sec, 동은 1.44°C/sec로서 가용합금의 온도상승비가 황동의 1.38배, 동은 1.43배 높고 동보다 황동이 0.05°C/sec 높은 것으로 나타났다. 감열체 재료별 온도상승비에 대한 비교곡선은 Fig. 5에 도시하였다.

#### 4.3.2 감열체 형상

감열체의 형상에 따른 열전달특성을 비교하기 위하여 실시한 투입시험 결과는 Table 5와 같다.

실험용 감열체의 보호판 유무에 따른 가용합금의 온도상승비는 비보호형이 1.36~2.65°C/sec, 보호형이 1.28~2.39°C/sec로서, 보호판이 있는 보호형 감열체의 온도상승비는 동일한 재료 및 크기의 비보호형 보다 0.08~0.27°C/sec 낮은 것으로 나타나 두께 0.3mm의 보호판에 의한 영향은 매우 적은 현상을 보였다. 또한 보호판의 유무에 관계없이 황동을 사용한 가용합금의 온도상승비가 동을 사용한 가용합금 보다 0.06~0.13°C/sec 높아 가압판의 재질에 의한 차이는 적은 것으로



나타났다. 직경이 7mm에서 4mm까지 작아지면서 온도상승비가 D형 감열체가 85%, E형은 89%, F형은 78%, G형은 80%씩 증가 하였으며, Fig. 6과 같이 보호관 유무에 관계없이 감열체의 직경이 작아질수록 온도상승비가 크게 증가하는 현상을 보였다.

Table 5. Results of plunge test on the shape of heat responsive element

(a) Non-protected type				
Sample No.	Diameter $d_1$ (mm)	Rate of temperature rise ( $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ )	Thermal time constant $\tau_t$	Virtual response time index $\text{RTI}_v$
D	4	2.65	32.1	50.8
	5	2.13	40.0	63.2
	6	1.73	49.2	77.8
	7	1.43	59.5	94.1
E	4	2.57	33.1	52.3
	5	2.00	42.5	67.2
	6	1.69	50.4	79.7
	7	1.36	62.5	98.8

(b) Protected type				
Sample No.	Diameter $d_1$ (mm)	Rate of temperature rise ( $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ )	Thermal time constant $\tau_t$	Virtual response time index $\text{RTI}_v$
F	4	2.39	35.6	56.3
	5	1.86	45.9	72.6
	6	1.60	53.2	84.1
	7	1.34	63.5	100.4
G	4	2.30	36.9	58.3
	5	1.80	47.2	74.6
	6	1.51	56.4	89.2
	7	1.28	66.3	104.8

#### 4.3.3 실험용 스프링클러 헤드

실험용 스프링클러 헤드의 감열체를 이용하여 헤드의 전도열손실 유무에 따른 온도상승비 및 열적시간상수, 실제응답시간지수를 비교하기 위한 투입시험 결과는 Table 6과 같다.

전도열손실을 고려하기 위한 실험용 헤드의 온도상승비는 열기류속도가 1.0m/sec에서 2.5m/sec까지 증가함에 따라 0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 에서 0.93 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 까지 증가 하였으며 감열체 지지구에 설치된 감열체의 온도상승비는 0.83 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 에서 1.35 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 까지 증가하였고, 열적시간상수는 열

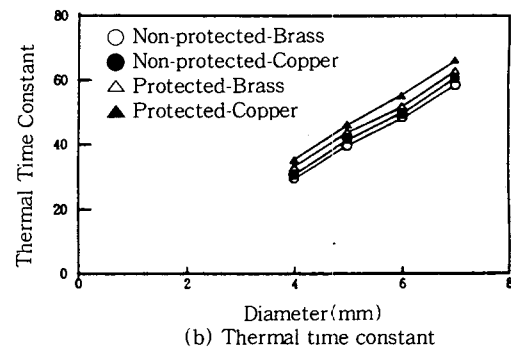
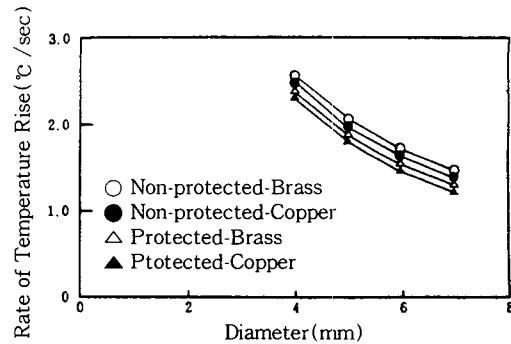


Fig. 6. Comparison of non-protected type with protected type on the rate of temperature rise(a) and on the thermal time constant(b)

기류속도가 증가함에 따라 감소하는 현상을 보였다. 공칭작동온도와 전도계수에 의하여 산정된 실제응답시간지수는 스프링클러 헤드가 109.1~111.2이며 원형 지지구에 의한 감열체가 99.0~102.2로 나타나 8.8~11.7%의 차이를 보였고, Fig. 7과 같이 열기류의 속도가 증가하여 온도상승비가 증가하여도 실험용 헤드본체의 종류에 따라 수평응답시간지수  $\text{RTI}_v$ 는 균일한 것으로 나타났다.

Table 6. Results of plunge test on the body of heat responsive element

Body type	Air velocity $u$ (m/sec)	Rate of temperature rise ( $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ )	Thermal time constant $\tau_t$	Virtual response time index $\text{RTI}_v$
Sprinkler head	1.0	0.50	148.5	111.2
	1.5	0.68	112.3	107.9
	2.0	0.80	96.6	110.4
	2.5	0.93	83.6	109.1
Support ring	1.0	0.83	102.2	102.2
	1.5	1.08	78.9	96.6
	2.0	1.20	70.6	99.8
	2.5	1.35	62.7	99.0

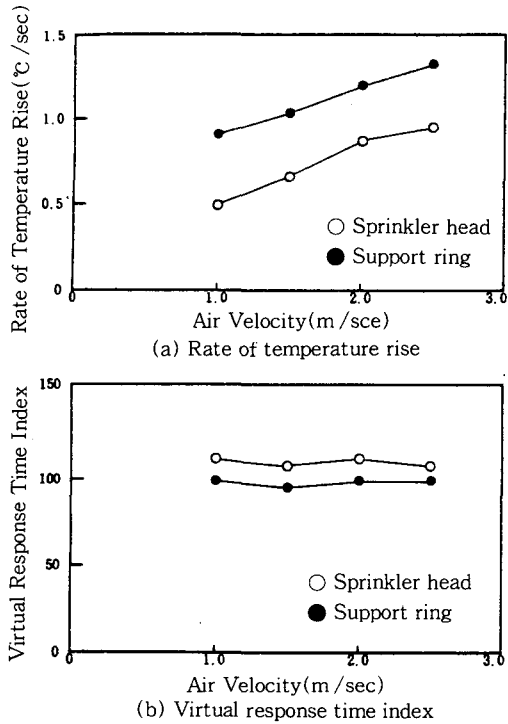


Fig. 7. Comparison of sprinkler head with support ring on the rate of temperature rise(a) and on the virtual response time index(b)

## 5. 결 론

본 논문에서는 실험적으로 일정한 열기류 조건 하에서 실험용 스프링클러 헤드와 실험용 감열체의 온도상승비를 측정하고 열특성치를 분석하여 가용합금형 스프링클러 헤드의 열감도특성에 영향을 미칠 수 있는 요인을 규명하였다. 실험은 강제대류 조건하에서 전도열손실을 고려한 경우와 열손실을 무시한 경우로 나누어 실시하였으며, 감열체의 재질, 형상 및 본체의 조건에 따른 각 실험체의 온도상승비를 측정하여 열특성치를 구하였다. 이 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 감열체의 직경이 4~7mm 범위 이내에서 열적시간상수는 감열체의 직경에 비례하며, 감열체의 직경이 작아질수록 열적시간상수가 감소하고 온도상승비는 증가하여 가용합금형 스프링클러 헤드의 응답시간이 빨라지는 것을 확인하였다.
2. 전도계수는 스프링클러 헤드의 열감도에 영향을 미치는 특성치이며, 그 값이 적으면 감열체의 온도상승비가 증가한다.

3. 스프링클러 헤드의 수정응답시간지수는 열기류속도와 전도계수의 값이 일정할 때 열적시간상수에 비례한다.

## 참 고 문 헌

1. John L. Bryan, Automatic Sprinkler and Standpipe Systems, The Automatic Sprinklers Head, pp. 57~223, 1990.
2. Russell P. Fleming, Theory of Automatic Sprinkler Performance, NFPA Handbook 17th, pp. 153~163(CH. 10), 1990.
3. G. Heskestad and R. G. Bill, Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects, Fire Safety Journal, pp. 113~125, 1988.
4. C. R. Theobald, FRS Ramp Test for the Thermal Sensitivity of Sprinklers, Journal of Fire Protection Engineering, pp. 23~34, 1989.
5. C. R. Theobald, Heated Wind Tunnel for Testing Fast Acting Sprinklers, Fire Surveyor, pp. 9~12, 1987.
6. Arthur E. Cote and Russell P. Fleming, Fast Response Sprinkler Technology, NFPA Handbook 17th, pp. 187~197(CH. 5), 1991.
7. 최인규 · 조성환 · 노승탁, 열전달, 집중용량법, pp. 103~109, 1990.
8. C. R. Theobald and S. A. Westley, Factors Affecting the Sensitivity of Sprinklers, Fire Surveyor, pp. 5~11, 1988.
9. P. F. Thorne, C. R. Theobald and S. J. Melinek, The Thermal Performance of Sprinkler Heads, Fire Safety Journal, pp. 89~99, 1988.
10. P. F. Beever, Estimating the Response of Thermal Detectors, Journal of Fire Protection Engineering, pp. 11~24, 1990.
11. 홍중휘, 비철금속재료, 납과 그합금, pp. 228~237, 1992.
12. 김전윤 역, 플로오르수지, 대광서림, pp. 116, 1984.
13. UL Standard for Safety, Automatic Sprinklers for Fire Protection Service, UL 199, pp. 11~12C, 1987.