

B-12

스프링클러헤드 감열부 Wood's Metal에 관한 연구

김열래, 이동명
경민대학 소방과학과

A Study on the Wood's Metal of Sprinkler Head Heat Sensor

Kim Y. R., Lee D. M
Kyungmin College

I. 서론

스프링클러 헤드는 소방대상물의 천정 또는 측벽에 설치되어 작동하는 노즐로서 노즐입구를 막고 있는 감열체(폐쇄형)가 화재 등의 열기류에 의해 작동, 분해되어 방수구에서 나오는 물을 화점에 고루 살수시켜 소화한다.

종류로는 감열방식, 살수분포 등에 따라 다양하게 분류할 수 있으며, 소방대상물의 화재하중, 환경조건에 따라 적합한 헤드를 설치 사용해야 한다.

방수구가 닫혀있는 폐쇄형은 부착나사, 방수구, 후레임, 디프렉타, 감열체 등으로 구성되어 감열체가 일정온도에서 자동적으로 파괴, 용해, 이탈됨으로써 방수구가 열리는 구조로 국내 제조업체에서는 레바타입의 퓨지블링크 형태의 것과 알콜 또는 글리세린이 들어간 유리벌브 타입의 것이 많이 사용되고 있다.

기존에 사용되고 있는 헤드에서 퓨지블링크의 강도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (표시온도가 75°C 이상인 것은 최고 주위온도보다 20°C 낮은 온도)의 공기중에서 그 설계하중의 13배인 하중을 10일간 가하여도 파손되지 아니하여야 한다.

유리벌브의 강도는 표시온도보다 20°C 낮은 온도로부터 매분 1°C 이내의 비율로 유리벌브내의 기포가 없어질 때까지 또는 표시온도보다 5°C 낮은 온도까지 가열한 다음 대기중에 놓아두어 유리벌브내에 다시 기포가 생길 때까지 냉각하는 시험을 6회 반복하여도 이상이 생기지 아니하여야 한다. 유리벌브는 표시온도보다 20°C 낮은 온도로부터 매분 1°C 이내의 비율로 표시온도보다 10°C 낮은 온도까지 가열하고, 이 온도를 5분간 유지한 후 10°C 의 물속의 넣어도 균열 또는 파손이 생기지 아니하여야 한다. 유리벌브는 그 설계하중의 4배인 하중을 헤드의 축심방향으로 가하여도 균열 또는 파손이 생기지 아니하여야 한다.

방수구가 항상 열려있는 구조의 개방형은 감열체가 없고 폐쇄형과 동일한 디프렉타가 설치되어 살수되는 구조로서 한냉지에 많이 쓰이고 있다.

그리고, 설치방향에 따른 분류로는 상향형, 하향형, 상하양용형, 측벽형이 있으며 방수량은 방수압력 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $80\text{ l}/\text{min}$ 의 것이 일반적으로 사용되고 있다.

2. 국내 스프링클러헤드 검정

산업현장 및 건축물에 화재의 진압을 위하여 스프링클러 헤드의 사용이 늘어나고 있으며, 이에 대해 국내실정에 맞는 스프링클러 헤드 개발이 사실상 정체되어 있어 첨단화되는 건축물에 대한 화재의 예방이 어렵다. 국가 차원에서 방재의 선진화와 국민생활의 안전을 감안, 화재에 대한 완벽한 예방이 이루어질 수 있는 스프링클러 헤드를 연구 개발하여 이를 산업과 국민의 안전에 적용함으로써 스프링클러 헤드로 인한 손실을 최소화하고 국내의 소방산업을 선진화할 수 있도록 한다. <표 1>에서 보는 바와 같이 국내 스프링클러 헤드의 검정에서(자료 : 한국소방검정공사) 검정 불합격이 다수 나타나고 있어 우려를 낳고 있다.

스프링클러설비는 물을 사용하기 때문에 오동작시 불량품의 스프링클러 헤드는 완벽한 화재 진압이 어려우며, 물로 인한 피해가 또한 대단히 크므로 이에 대처할 뿐만 아니라, 현재 스프링클러 헤드 감열부(Glass Bulb Type)는 100% 수입에 의존하는 바 수입대체 및 품질안정을 위해 스프링클러 헤드의 핵심부인 감열부에 관한 연구가 필요하리라 본다.

표 1. 스프링클러 헤드 검정

	검사개수	검정 합격	검정 불합격
2001년	3,587,686	3,515,469	72,217
2000년	3,181,569	3,070,544	111,025

3. 스프링클러 헤드 감열부 구비조건

기류의 온도·속도 및 작동시간에 대하여 스프링클러헤드의 반응을 예상한 지수인 반응시간지수(RTI)는 아래 식에 의하여 계산하고 $(m \cdot s)^{0.5}$ 을 단위로 한다.

$$RTI = r\sqrt{u} \quad r : \text{감열체의 시간상수(초)} \quad u : \text{기류속도 (m/s)}$$

스프링클러 헤드는 표시온도 구분에 따라 반응지수시간(RTI)값은 다음과 같다.

- 1) 표준반응의 RTI값은 81초과~350 이하
- 2) 특수반응의 RTI값은 51초과~80 이하
- 3) 조기반응의 RTI값은 50 이하

표 2. 반응지수시간(RTI)

표시온도 구분(℃)	표준반응		특수반응		조기반응	
	기류온도(℃)	기류속도(m/s)	기류온도(℃)	기류속도(m/s)	기류온도(℃)	기류속도(m/s)
57~77	191~203	2.4~2.6	129~141	2.4~2.6	129~141	1.65~1.85
79~107	282~300	2.4~2.6	191~203	2.4~2.6	191~203	1.65~1.85

스프링클러 헤드의 작동은 헤드를 액조 내에 넣어 그 헤드의 표시온도보다 섭씨 10℃ 낮은 온도로부터 매분 섭씨 1℃ 이내의 비율로 온도를 상승시키는 경우 헤드가 작동하는

온도의 실제 측정값은 그 표시온도의 97%에서 103%까지(유리벌브를 사용한 헤드는 95%에서 115%까지)의 범위 안이어야 한다.

유리벌브를 사용하고 있는 스프링클러 헤드는 유리벌브내의 기포 소멸온도가 신청치의 97%에서 103%까지의 범위 안이어야 한다. 다만, 기포의 소멸과 동시에 작동되는 것은 그러하지 않다.

4. 감열부 Wood's Metal

폐쇄형 스프링클러 헤드는 (그림 1)과 같은 형상이며, 작동원리는 열전도율이 서로 다른 두 금속 사이에 용융점이 낮은 합금(Wood's Metal)을 결합시킨 형태이다. 만약 화재가 발생하여 열기류가 형성되면 스프링클러 헤드에 대류에 의하여 열이 전달되고, 또한 전도에 의하여 전달된 열은 Wood's Metal을 녹이게 된다. 그러면 상단에서 가해지는 압력에 의하여 스프링클러 헤드 상단의 금속이 아래로 이동하게 되고 이에 지지점이 없어진 스프링클러 헤드는 이탈하여 스프링클러로부터 분사되는 물이 화재를 진압하게 된다.

여기에서 사용된 저용융합금인 Wood's Metal은 Bi(Bismuth), Pb(Lead), Sn(Tin), Cd(Cadmium)의 합금이다. 또한 스프링클러 헤드 하단의 금속인 황동(Brass)은 열전도율이 우수한 금속을 사용해야 빠른 시간 내에 Wood's Metal에 열을 전달할 수 있으며 또한 열에 의한 변형 즉, 열팽창의 효과가 있어서 상단의 금속이 더 용이하게 내려올 수 있다. 반면에 스프링클러 헤드 상단의 금속(Stainless Steel)은 열전도율이 낮은 금속을 사용하여 열에 의한 변형이 생기지 않게 된다. 그리고 스프링클러 헤드 상단의 금속이 아래로 내려올 때 Wood's Metal이 이동할 수 있는 공간(S)을 스프링클러 헤드 상단에 마련하였다.

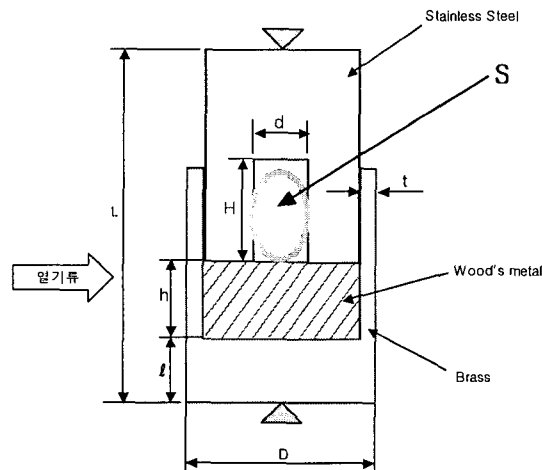


그림 1. 감열부의 형상

5. 해석

1) 전도 열전달 (Conduction Heat Transfer)

물체내에 온도구배가 존재하면 고온부에서 저온부로 에너지가 이동하게 된다. 이때 에너지가 전도에 의해서 이동하였다면 단위 면적당 열 이동량은 그곳에서의 온도구배에 비례한다고 할 수 있다.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{dT}{dx}$$

물질 내부에 미소거리 dx 사이에 온도차 dT 가 발생하여 면적 A 로 이동되는 열량 q 를 나타내는 Fourier법칙은 다음과 같이 정의된다.

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

여기에서 비례상수 k 는 물질의 열전도율(Thermal conductivity)이라고 하며 물질의 종류에 따른 고유한 값이다. 스프링클러 헤드의 경우 원관 형태이므로 원관의 열전도를 살펴보면,

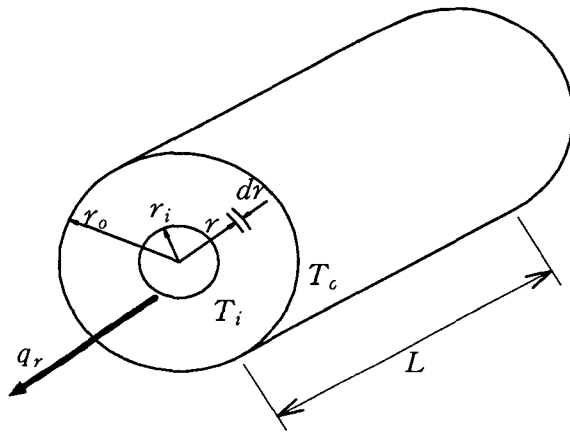


그림 2. 원관을 통과하는 열전도

Fourier 법칙은

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$

이며, 원관의 길이를 L 이라 하면 원관내에서 열이 이동하는 면적은 $A_r = 2\pi rL$ 이므로, 다시 쓰면 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$q_r = -2\pi krL \frac{dT}{dr} \text{가 된다.}$$

2) 대류 열전달

(그림 3)과 같이 벽면의 온도를 T_w 라하고 벽면을 지나는 유체의 온도를 T_∞ 라 하면 벽면으로부터 전달되는 열전달량은 다음과 같이 쓸 수 있다.

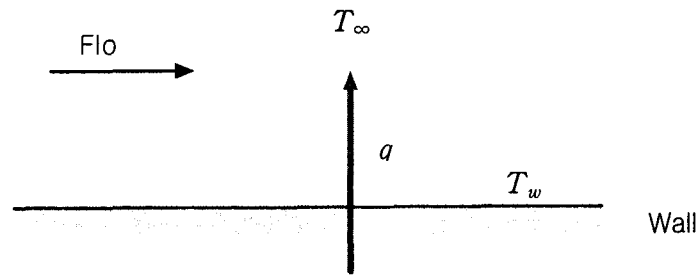


그림 3. 평판에서의 대류 열전달

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

다시 말하면, 대류에 의한 열의 이동속도는 벽면과 유체와의 전체 온도차와 전열면적에 각각 비례하는데, 그 비례상수 h 를 대류 열전달계수라고 한다. 대류 열전달계수는 유체 속도의 함수이며 공기일 경우 대략 공기속도의 0.5~0.8승에 비례한다.

두 물질 사이에서 전달되는 열전달은 열전도와 대류 열전달이 동시에 발생하므로 유동의 흐름이 없을 경우 열전도가 지배적인 열전달의 형태이다. 이때 열전도와 열대류의 열량비를 고려하면 다음과 같은 무차원수를 생각할 수 있다.

$$Nu = \frac{hd}{k}$$

이를 Nusselt number(Nu)라 하며, 순수 전도에 의한 열전달이 발생되면 Nu 는 1이 된다.

원관을 지나는 공기의 열전달 계수는 Churchill & Bernstein의 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$Nu_d = 0.3 + \frac{0.62Re_d^{1/2}Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{3/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_d}{282,000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

$10^2 < Re_d < 10^7$; $Pe_d > 0.2$ 인 경우

여기서, 공기의 Pr (Prandtl number)는 0.7 이다. 또한 Re_d (Reynolds number)와 Pe_d (Peclet number)는 다음과 같다.

$$Re_d = \frac{\rho U d}{\mu}, \quad Pe_d = Re_d \cdot Pr$$

여기에서, d 는 관의 직경, U 는 공기속도, μ 는 점성계수, ρ 는 공기밀도를 의미한다.
Nakai & Okazaki는 $Pe_d \leq 0.2$ 이하에서는 다음 식이 적용된다고 하였다.

$$N_d = [0.8237 - \ln(Pe_d^{1/2})]^{-1}$$

6. Model 해석

화재시 스프링클러 설비가 작동하기 위해서는 스프링클러 헤드는 용융점이 70°C인 Wood's Metal을 사용하였을 경우, 191°C ~ 230°C의 열기류가 측면에서 2.4 ~ 2.6m/s로 통과하는 환경에서 35초 이내에 작동해야 한다.

따라서 스프링클러 설비가 작동하기 위한 조건을 찾기 위하여 Brass의 외경을 변화시키면서 Brass의 두께(t)와 Wood's Metal의 높이(h)에 따른 열전달 시간 즉, Wood's Metal이 완전히 용해되는데 걸리는 시간을 계산할 필요가 있다.

이때 열기류로부터 스프링클러 헤드로의 대류 열전달은 측면으로만 전달되며 하단으로부터의 대류 열전달은 없다고 가정하였다. 이는 실제로 스프링클러 헤드 상·하단이 모두 지지되어 있으므로 단열조건이 성립한다고 볼 수 있기 때문이다. 또한 스테인레스스틸은 열전도율이 낮은 금속이므로 열전달량이 미비하기 때문에 Brass 측면으로부터의 대류열전달, Brass 내부의 전도열전달, Wood's Metal 내부의 전도열전달이 열전달의 경로가 된다. 따라서 이러한 Mechanism을 통해 이루어진 열전달에 의하여 Wood's Metal 전부가 용융점 70°C까지 도달하는데 걸리는 시간을 계산하면 스프링클러 헤드가 작동하는 시간이 된다.

계산에 사용된 Brass의 조성은 Cu 70% + Zn 30%이다.

● 해석 조건

- 열기류 온도 : 200 °C
- 열기류 유속 : 2.5 m/s
- 스프링클러 헤드의 초기온도 : 20°C
- 스프링클러 헤드의 양단 조건 : 단열
- Brass의 두께 : 7mm
- Wood's Metal의 높이 : 2mm ~ 30mm

7. 결과

1) Wood's Metal의 용융점까지 도달하는데 걸리는 시간

(Brass의 직경(D) = 7mm인 경우)

(단위 : sec)

H(mm) D(mm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0.1	5.7	4.8	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
0.2	9.3	7.6	7.1	6.8	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2
0.3	12.6	10.3	9.5	9.1	8.9	8.7	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3
0.4	15.7	12.8	11.8	11.3	11.0	10.8	10.7	10.6	10.5	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.2
0.5	18.5	15.1	14.0	13.4	13.1	12.8	12.7	12.6	12.5	12.4	12.3	12.3	12.2	12.2	12.2
0.6	21.1	17.3	16.0	15.4	15.0	14.8	14.6	14.5	14.3	14.3	14.2	14.1	14.1	14.0	14.0
0.7	23.5	19.4	18.0	17.3	16.9	16.6	16.4	16.3	16.1	16.1	16.0	15.9	15.9	15.8	15.8
0.8	25.7	21.3	19.8	19.1	18.7	18.4	18.2	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.6	17.5	17.5
0.9	27.7	23.1	21.6	20.8	20.3	20.0	19.8	19.7	19.5	19.4	19.3	19.3	19.2	19.2	19.1
1.0	29.5	24.8	23.2	22.4	21.9	21.6	21.4	21.2	21.1	21.0	20.9	20.8	20.8	20.7	20.7
1.1	31.1	26.3	24.7	23.9	23.5	23.1	22.9	22.7	22.6	22.5	22.4	22.3	22.3	22.2	22.2
1.2	32.6	27.8	26.2	25.4	24.9	24.6	24.3	24.2	24.0	23.9	23.8	23.8	23.7	23.6	23.6
1.3	33.9	29.1	27.5	26.7	26.2	25.9	25.7	25.5	25.4	25.3	25.2	25.1	25.1	25.0	25.0
1.4	35.0	30.3	28.8	28.0	27.5	27.2	27.0	26.8	26.7	26.6	26.5	26.4	26.4	26.3	26.3
1.5	36.0	31.4	29.9	29.1	28.7	28.4	28.2	28.0	27.9	27.8	27.7	27.6	27.6	27.5	27.5
1.6	36.8	32.4	31.0	30.2	29.8	29.5	29.3	29.2	29.0	28.9	28.9	28.8	28.7	28.7	28.6
1.7	37.5	33.4	32.0	31.3	30.9	30.6	30.4	30.2	30.1	30.0	29.9	29.9	29.8	29.8	29.7
1.8	38.1	34.2	32.9	32.2	31.8	31.6	31.4	31.2	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.8	30.8
1.9	38.6	34.9	33.7	33.1	32.7	32.5	32.3	32.2	32.1	32.0	31.9	31.9	31.8	31.8	31.7
2.0	-	35.6	34.5	33.9	33.5	33.3	33.2	33.0	32.9	32.9	32.8	32.8	32.7	32.7	32.6

용융점까지 도달하는데 걸리는 시간(D=7mm)

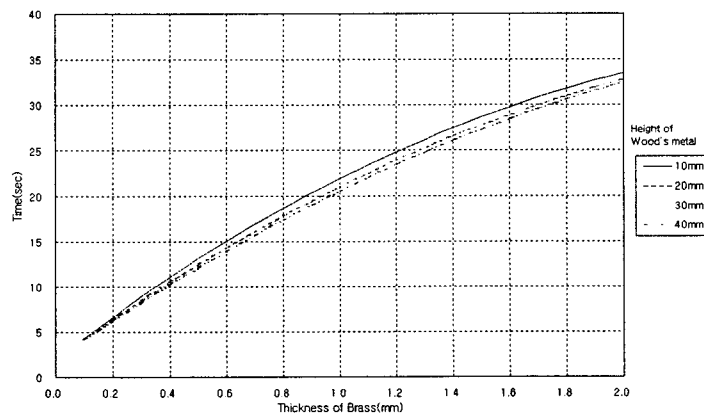


그림 4. Wood's Metal 용융점까지 도달 시간(D=7mm)

2) Wood's Metal이 녹는데 걸리는 시간

(Brass의 직경(D) = 7mm인 경우)

(단위 : sec)

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0.1	7.69	7.89	7.96	7.99	8.01	8.03	8.04	8.04	8.05	8.05	8.06	8.06	8.06	8.06	8.07
0.2	6.86	7.24	7.37	7.43	7.47	7.50	7.51	7.53	7.54	7.55	7.55	7.56	7.57	7.57	7.57
0.3	6.09	6.63	6.81	6.90	6.95	6.99	7.02	7.03	7.05	7.06	7.07	7.08	7.09	7.09	7.10
0.4	5.38	6.06	6.28	6.39	6.46	6.50	6.54	6.56	6.58	6.59	6.61	6.62	6.62	6.63	6.64
0.5	4.73	5.51	5.78	5.91	5.99	6.04	6.08	6.10	6.13	6.14	6.16	6.17	6.18	6.19	6.20
0.6	4.12	5.00	5.30	5.45	5.53	5.59	5.64	5.67	5.69	5.71	5.73	5.74	5.75	5.76	5.77
0.7	3.57	4.53	4.85	5.01	5.10	5.17	5.21	5.25	5.28	5.30	5.31	5.33	5.34	5.35	5.36
0.8	3.06	4.08	4.42	4.59	4.70	4.76	4.81	4.85	4.88	4.90	4.92	4.93	4.95	4.96	4.97
0.9	2.60	3.67	4.02	4.20	4.31	4.38	4.43	4.47	4.50	4.52	4.54	4.56	4.57	4.58	4.59
1.0	2.19	3.28	3.65	3.83	3.94	4.01	4.06	4.10	4.13	4.16	4.18	4.19	4.21	4.22	4.23
1.1	1.81	2.92	3.29	3.48	3.59	3.66	3.72	3.76	3.79	3.81	3.83	3.85	3.86	3.87	3.88
1.2	1.48	2.59	2.96	3.15	3.26	3.33	3.39	3.43	3.46	3.48	3.50	3.52	3.53	3.54	3.56
1.3	1.19	2.29	2.65	2.84	2.95	3.02	3.07	3.11	3.14	3.17	3.19	3.21	3.22	3.23	3.24
1.4	0.93	2.01	2.37	2.55	2.66	2.73	2.78	2.82	2.85	2.87	2.89	2.91	2.92	2.93	2.94
1.5	0.70	1.75	2.10	2.28	2.38	2.45	2.50	2.54	2.57	2.59	2.61	2.63	2.64	2.65	2.66
1.6	0.51	1.52	1.85	2.02	2.12	2.19	2.24	2.27	2.30	2.33	2.34	2.36	2.37	2.38	2.39
1.7	0.34	1.30	1.63	1.79	1.88	1.95	1.99	2.03	2.05	2.08	2.09	2.11	2.12	2.13	2.14
1.8	0.20	1.11	1.42	1.57	1.66	1.72	1.76	1.80	1.82	1.84	1.86	1.87	1.88	1.89	1.90
1.9	0.09	0.94	1.23	1.37	1.45	1.51	1.55	1.58	1.60	1.62	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68
2.0	0.00	0.79	1.05	1.18	1.26	1.31	1.35	1.38	1.40	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47

Wood's Metal이 녹는데 걸리는 시간(D=7mm)

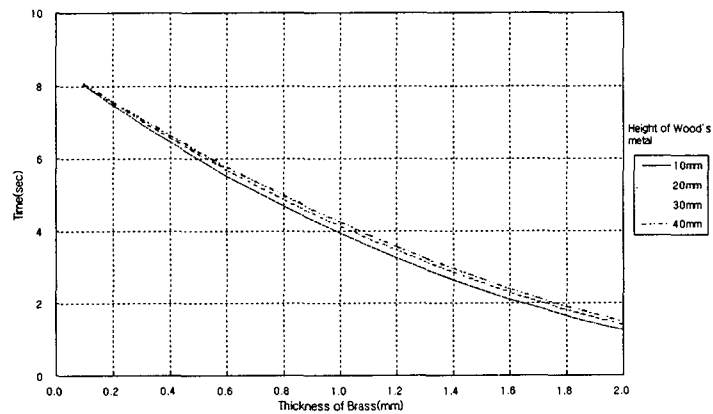


그림 5. Wood's Metal 용융점까지 도달 시간(D=7mm)

3) 스프링클러 헤드 작동하는 데 걸리는 시간

(Brass의 직경(D) = 7mm인 경우)

(단위 : sec)

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0.1	13.4	12.7	12.5	12.4	12.3	12.3	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.1	12.1	12.1	12.1
0.2	16.1	14.9	14.4	14.2	14.1	14.0	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
0.3	18.7	16.9	16.3	16.0	15.8	15.7	15.6	15.6	15.5	15.5	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
0.4	21.1	18.8	18.1	17.7	17.5	17.3	17.2	17.1	17.1	17.0	17.0	17.0	16.9	16.9	16.9
0.5	23.3	20.6	19.8	19.3	19.1	18.9	18.8	18.7	18.6	18.5	18.5	18.4	18.4	18.4	18.4
0.6	25.3	22.3	21.3	20.9	20.6	20.4	20.2	20.1	20.0	20.0	19.9	19.9	19.8	19.8	19.8
0.7	27.1	23.9	22.8	22.3	22.0	21.8	21.6	21.5	21.4	21.4	21.3	21.2	21.2	21.2	21.1
0.8	28.8	25.4	24.3	23.7	23.4	23.1	23.0	22.8	22.8	22.7	22.6	22.6	22.5	22.5	22.4
0.9	30.3	26.8	25.6	25.0	24.7	24.4	24.2	24.1	24.0	23.9	23.9	23.8	23.8	23.7	23.7
1.0	31.7	28.1	26.9	26.2	25.9	25.6	25.5	25.3	25.2	25.2	25.1	25.0	25.0	24.9	24.9
1.1	33.0	29.3	28.0	27.4	27.0	26.8	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.2	26.1	26.1	26.1
1.2	34.1	30.4	29.1	28.5	28.1	27.9	27.7	27.6	27.5	27.4	27.3	27.3	27.2	27.2	27.2
1.3	35.1	31.4	30.2	29.5	29.2	28.9	28.8	28.6	28.5	28.4	28.4	28.3	28.3	28.2	28.2
1.4	35.9	32.3	31.1	30.5	30.2	29.9	29.7	29.6	29.5	29.4	29.4	29.3	29.3	29.2	29.2
1.5	36.7	33.2	32.0	31.4	31.1	30.8	30.7	30.5	30.5	30.4	30.3	30.3	30.2	30.2	30.1
1.6	37.3	34.0	32.8	32.3	31.9	31.7	31.5	31.4	31.3	31.3	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0
1.7	37.9	34.7	33.6	33.1	32.7	32.5	32.4	32.3	32.2	32.1	32.0	32.0	31.9	31.9	31.9
1.8	38.3	35.3	34.3	33.8	33.5	33.3	33.1	33.0	32.9	32.9	32.8	32.8	32.7	32.7	32.7
1.9	38.7	35.9	34.9	34.5	34.2	34.0	33.8	33.7	33.7	33.6	33.6	33.5	33.5	33.4	33.4
2.0	-	36.4	35.5	35.1	34.8	34.6	34.5	34.4	34.3	34.3	34.2	34.2	34.2	34.1	34.1

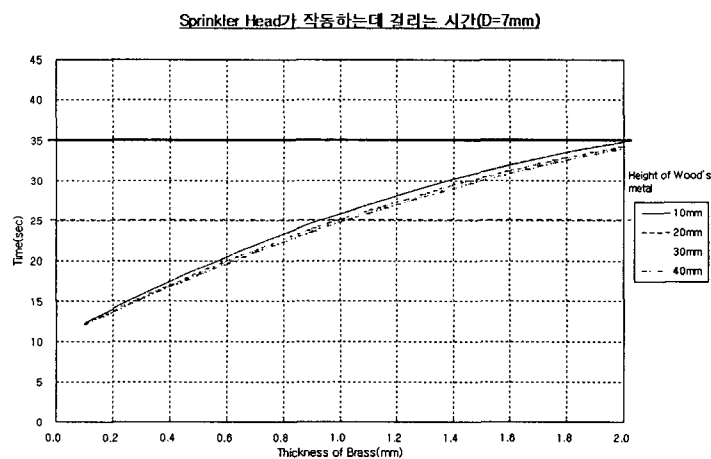


그림 6. 스프링클러 헤드 작동 시간(D=7mm)

8. 결론

황동의 외경이 7mm인 경우, 열기류에 의한 대류열전달과 황동 내부의 전도에 의한 열전달에 의하여 Wood's Metal 표면의 온도가 Wood's Metal의 용융점 (70℃)까지 도달 시간, Wood's Metal이 녹는 시간, 스프링클러 헤드가 작동 시간을 살펴보면 다음과 같다.

1) Wood's Metal의 용융점까지 도달 시간

(그림 4)에서 알 수 있듯이 황동의 두께가 커짐에 따라 용융점까지 도달하는데 걸리는 시간이 길어지는데 이는 두께가 커질수록 열이 전도되는데 걸리는 시간이 길어지기 때문이며, 황동의 두께가 같을 경우 Wood's Metal의 높이가 커질수록 용융점까지 도달하는데 걸리는 시간은 짧아지는데 이는 길이 방향으로 전열면적이 커지기 때문에 대류에 의해서 전달받는 열이 상대적으로 많기 때문이다. 그러나 그림에서 보듯이 그 차이가 작기 때문에 Wood's Metal의 높이에 따른 변화는 크게 관계가 없음을 알 수 있다.

2) Wood's Metal이 녹는 시간

(그림 5)에서 알 수 있듯이 황동의 두께가 커짐에 따라 Wood's Metal이 녹는데 걸리는 시간이 짧아지게 된다. 황동의 두께가 두꺼워지면 비례적으로 그 안에 들어 있는 Wood's Metal의 양은 작아지기 때문에 Wood's Metal이 모두 녹이는데 걸리는 시간은 짧아지게 되는 것이다.

황동의 두께가 같은 경우 Wood's Metal의 높이가 커질수록 용융점까지 도달하는데 걸리는 시간은 길어진다. Wood's Metal의 높이가 커진다는 의미는 Wood's Metal의 양이 늘어난다는 의미이므로 모두 녹이는데 걸리는 시간은 길어지게 되는 것이다. 그러나 그림에서 보듯이 그 차이가 작기 때문에 Wood's Metal의 높이에 따른 변화는 크게 관계가 없음을 알 수 있다.

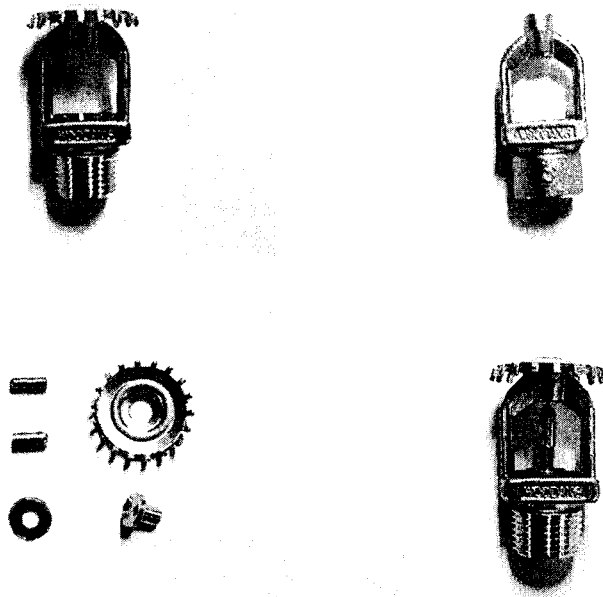
3) Sprinkler Head가 작동 시간

(그림 6)은 황동의 외경이 7mm인 경우, 스프링클러 헤드가 작동하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 이는 대류에 의하여 전달된 열에 의하여 내부의 Wood's Metal이 모두 녹는데 걸리는 시간을 의미한다. 즉 대류에 의하여 전달된 열에 의하여 Wood's Metal 표면이 용융점까지 도달해서 그것이 모두 녹을 때까지의 시간이므로 1), 2)항에 계산된 값의 합이라 할 수 있다. 또한 용융점이 70℃인 Wood's Metal을 사용하였을 경우 스프링클러 헤드는 35초 이내에 작동해야 한다. 본 해석에서 사용된 오차범위 $\pm 25\%$ 를 고려하여 25초~35초 영역은 조건에 따라 변화될 수 있는 영역이며, 25초 이내의 영역은 스프링클러 헤드가 충분히 작동할 수 있는 영역이라 말할 수 있다.

황동의 직경이 7mm이므로 황동의 두께가 대략 0.3mm 이상의 경우에는 Wood's Metal

의 용융점까지 도달하는데 걸리는 시간이 지배적인 영향을 주고 있다. 또한 황동의 두께가 1.7mm 이상에서는 Wood's Metal이 녹는데 걸리는 시간은 약 2초 이내이므로 거의 무시할 수 있다. Fig. 16에서 알 수 있듯이 황동두께 1.0mm 이내에서는 스프링클러 헤드가 약 25초 이내에 작동하며, Wood's Metal의 높이가 10mm 이상일 경우에는 35초 이내에 스프링클러 헤드가 작동할 것으로 판단된다.

<스프링클러 헤드 감열부 형상>



후기

본 연구는 경기도 중소기업청 산·학·연 컨소시엄 연구개발 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Churchill, S. W., and M. Bernstein, A Correlating Equation for Forced Convection from Gases and Liquids to a Circular Cylinder in Crossflow, J. Heat Transfer, vol. 99, pp. 300-306, 1977.
2. Nukai, S., and T. Okazaki, Heat Transfer from a Horizontal Circular Wire at Small Reynolds and Grashof Numbers - 1 Pure Convection, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 18, p.387, 1977

3. J. P. Holman, Heat Transfer 6th ed, McGraw Hill, 1963
4. Anthony F. Mills, Heat Transfer, Richard D. Irwin, 1992
5. Adrian Bejan, Convection Heat Transfer 2nd ed, John Wiley & Sons, 1995
6. Y. Bayazitoglu and M. Necati Ozisik, Elements of Heat Transfer, McGraw Hill, 1988