

스프링클러 헤드의 應答時間指數 測定

A Study on Response Time Index for Sprinkler Head

태 순 호* 이 병 곤**
Tae Soon Ho Lee Byeong Gon

ABSTRACT

This study describes the engineering approach adopted to investigate sprinkler head during the early stage of a fire when they are subjected to convective heating and low gas velocities. Comparisons are made between the parameters derived using basic methods, ie. ramp test, for evaluating sprinkler parameters (time constant, response time index) is illustrated. Evidence is presented that the proportion of heat loss by conduction from a sprinkler element may very typically employed in the rate of rise test. This fact alone may justify the precautionary need to perform a limited number of rate of rise tests to confirm a sprinklers capacity to function correctly in reasonably unfavourable yet realistic conditions. The work is aimed primarily at meeting the needs of sprinkler industry.

1. 序論

韓國消防安全協會의 80년대 火災分析에 의하면¹⁾, 우리나라의 지난 10년간 火災發生件數는 꾸준히 增加하여 89년도에는 人命被害가 1,520名, 財産被害가 222億원에 달하고 있다. 이러한 증가 傾向은 防災연구에 엄청난 投資를 하고 있는 미국, 일본등 先進國의 경우도 마찬가지로서 경제발전예 따라 화재 危險은 증가하며, 특히 우리나라와 같이 방재 연구가 脆弱하고 發展도중에 있는 나라로서는 경

계발전예 따라 방재에도 각별한 관심을 갖지 않으면 공들여 쌓은 발전이 하루아침에 燒失되는 愚를 犯할 수 있다.

消防設備와 消火藥劑는 여러가지가 있으나 값싸고 손쉽게 이용하는 것이 물론부 설비이며 그 중 대표적인 것이 스프링클러 설비이다. 스프링클러 설비에서 가장 중요한 것중에 하나가 스프링클러 헤드의 應答時間으로서 應答이 너무 이르거나 늦으면 火災鎮壓에 실패를 가져오며 이에따라 인명 피해 및 재산피해의 손실이 따른다. 따라서 이러한 손실을 防止하기 위하여 선진국(미국, 영국등)에서는 기존 스프링클러 보다도 反應이 빠른 스프링클러 (速動型) 開發에 많은 투자를 하고 있으며, 이와

*正會員 : 충북대학교 대학원
**正會員 : 충북대학교

함께 스프링클러 특성을 나타내는 指數를 測定, 數式化 및 豫測에 많은 연구를 하고 있다.

본 연구에서는 F.R.S.²⁾, F.M.R.C.³⁾에서 製作, 實驗하는 風洞과 同一한 形態의 풍동을 만들어서 國産의 스프링클러 헤드의 응답시간을 측정하여 스프링클러 헤드의 敏感度를 나타내는 應答時間指數 RTI(Response time Index)를 求하였다.

2. 應答時間指數(Response Time Index : RTI)

스프링클러 헤드의 感熱體 形態는 製造業體에 따라 여러 種類가 있으나 感熱體는 크게 두가지로 分類된다. 하나는 低熔融金屬 또는 化學物質의 翹즈형과 다른 하나는 液體가 封入된 유리관형 이다. 이러한 感熱體의 응답시간은 感熱體가 純粹하게 強制 對流 熱傳達에 의한 것으로 생각하여 集中 熱容量法을 적용하면⁴⁾

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

(1) 식에서 mc/hA 를 時間常數 τ 로 表示하고 온도를 室 周圍의 온도(T_0)와의 差異로 表示하면

$$\frac{d(\Delta T_e)}{dt} = \frac{1}{\tau} (\Delta T_g - \Delta T_e) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 $\Delta T_e = T_e - T_0$
 $\Delta T_g = T_g - T_0$

$$\tau = \frac{mc}{hA} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 시간상수 τ 는 h 에만 의존하며, $th = mc/A$ 로서 일정한 값을 갖는다. HESKESTAD & SMITH⁵⁾, G.BILL, JR⁶⁾ 등의 연구에서 Nusselt 수와 Reynolds 수는

$$Nu = f(Re) \dots\dots\dots(4)$$

$$Nu = hL/k \dots\dots\dots(5)$$

$$Re = UL/v \dots\dots\dots(6)$$

$$Nu = B(Re)^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

(5) 식과 (6)식에서

$$h = B(k/v^{1/2})U^{1/2}L^{-1/2} \dots\dots\dots(8)$$

로서 k 와 v 는 물리적 성질이고 L 은 정해지므로 따라서 식 (8)은

$$h \propto U^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

로 표시할 수 있다.

결과적으로 (3) 식은

$$\tau U^{1/2} = \text{상수} \dots\dots\dots(10)$$

가 되어 한형태의 헤드에 대해서는 일정한 값이 되고 이 값을 응답시간지수 RTI(Response Time Index)라 한다.

(10) 식을 (11) 식에 대입하면

$$\frac{d(\Delta T_e)}{dt} = \frac{U^{1/2}}{RTI} (\Delta T_g - \Delta T_e) \dots\dots\dots(11)$$

식 (11)을 풀면

$$RTI = \frac{-tr U^{1/2}}{\ln \left(1 - \frac{\Delta T_{ea}}{\Delta T_g} \right)} \dots\dots\dots(12)$$

여기서 $\Delta T_{ea} = T_{ea} - T_0$ (T_{ea} 는 헤드응답온도)

tr : 실제응답시간

3. RTI값의 測定

3.1 風洞

RTI값의 실험은 스프링클러 헤드를 일정한 溫度 上昇率의 기류에 넣어서 하는 上昇率實驗과 스프링클러 헤드를 일정한 고온의 기류에 갑자기 넣어서 하는 Plunge Test가 있다. 본 연구에서는 상승율實驗에 의해 값을 측정 하였다. 그림1은 RTI값을 측정하기 위한 풍동으로서 F.R.S., F.M.R.C.에서 제작해서 실험하고 있는 풍동과 같은 특성을 가지며 密閉된 循環型으로 Heater에서 가열된 기류가 Fan에 의해 강제순환이 된다. 기류는 확대관를 통과하며 확대관 끝에는 스테인레스 강선 Honeycomb이 있어 기류는 일정한 온도, 속도의 분포를 가지고 Test Section을 통과 한다. Test Section은

냉각을 쉽게하기 위해서 피복을 하지 않았으며 낮은 복사율로 스프링클러 헤드에 열전달은 거의 對流에 의한다. 헤드는 Test Section에 기류의 垂直方向 또는 水平方向으로 향하게 하여 실험하며 기류의 속도조절은 DC Motor로 하고, 온도는 Controller에 의해 조절하고 Thermister로 측정하였으며 유속은 피토관에 의한 Micro Manometer로 측정하였다.

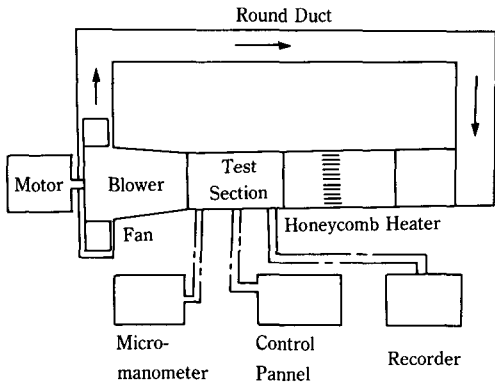


Fig. 1 Wind tunnel

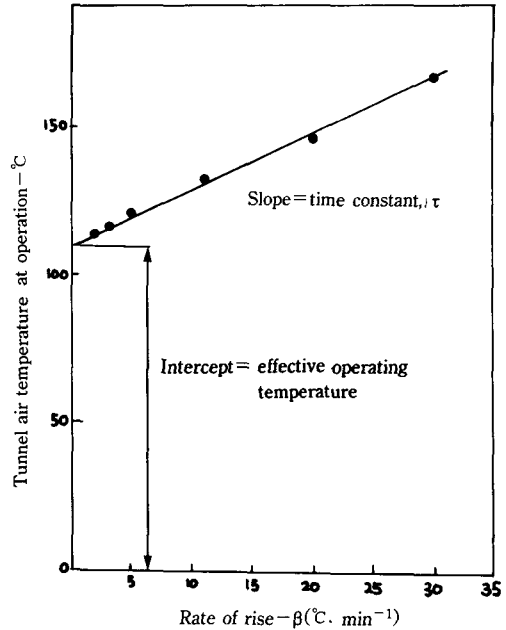


Fig. 2 Rate of rise β - $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$

3.2 上昇率 實驗(Rate of rise test)

이 실험은⁶⁾ 스프링클러 헤드가 화재시에 응답하는데 필요한 최소공기온도인 有效作動溫度와 시간 상수를 결정하기 위한 것으로 여기서 구한 값에 유속의 평방근을 곱하면 RTI값을 얻을 수 있다. 온도 상승을 $\beta^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 작동시 기류온도(T_g)는 그림2에서

$$T_g = T_{\text{eff}} + \beta\tau \dots\dots\dots(13)$$

응답시 기류 온도가 측정되면 β 에 대한 그래프 T_g 는 기울기 τ 인 1차식이 되고 $\beta=0$ 때의 절편이 그 스프링클러 헤드에 대한 유효 작동온도 T_{eff} 와 같아진다. 스프링클러 헤드의 응답에 필요한 시간 (τ)은 그림3에서

$$\tau \frac{\Delta T}{\beta} + \tau \dots\dots\dots(14)$$

1/ β 에 대한 그래프 τ , 절편 $\tau(1/b=0$ 일때)인 그래

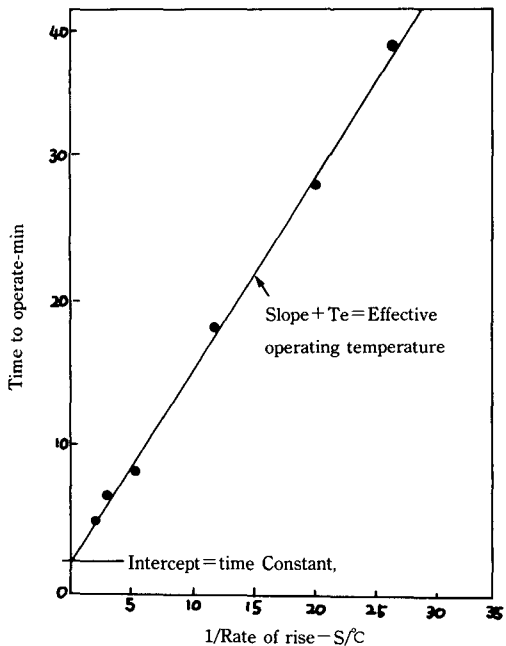


Fig. 3 1/Rate of rise - $S/^{\circ}\text{C}$

프가 된다.(그림3)

$$T_{eff} = \Delta T + T_s(\text{시작온도}) \dots\dots\dots(15)$$

상승을 시험은 시작온도(T_s)의 조건에서 정상상태를 만들기 위하여 5분간 지난후에 한다. 상승율은 2°C 와 30°C 사이에서 한다.

그림 4와 5는 Dry Type에서 스프링클러 헤드의

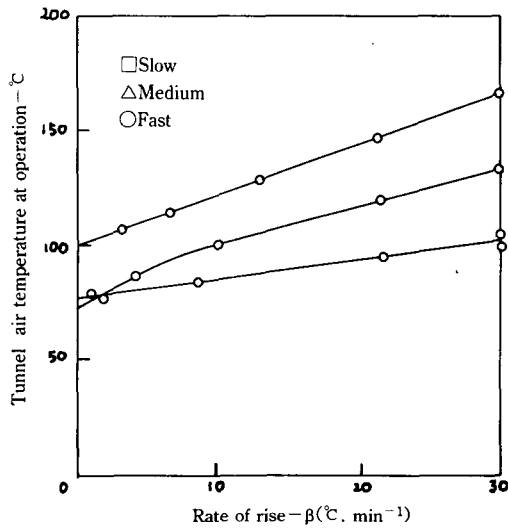


Fig. 4 Rate of rise test results for slow, medium and fast response sprinklers.

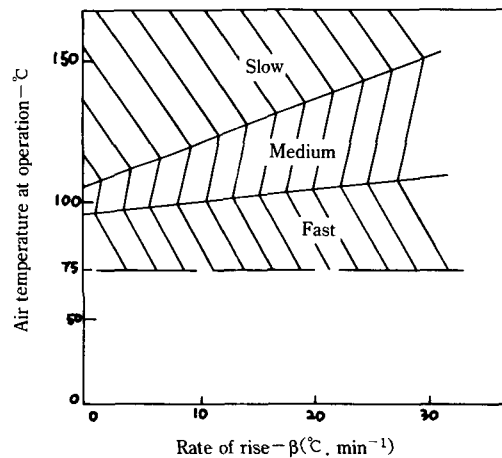


Fig. 5 Suggested Categories of sprinkler response.

응답시간에 따라 3가지로 分類한 것이며⁷⁾, 실험에 의하면⁸⁾ 빠른 응답의 RTI값은 약 $22\text{sec}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}$ 에서 늦은 것은 $375\text{sec}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}$ 의 값을 갖는데 그림6, 7은 國內製造의 스프링클러 헤드의 실험 결과를 나타내고 있으며 그 값은 $73\text{sec}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로서 外國의 速動型스프링클러(20-30)와 比較된다.

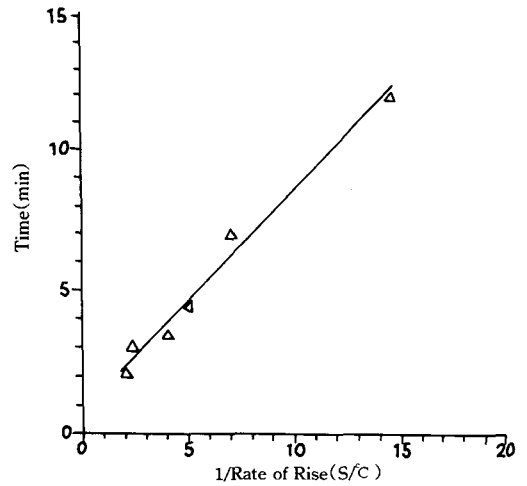


Fig. 6 Rate of rise test.

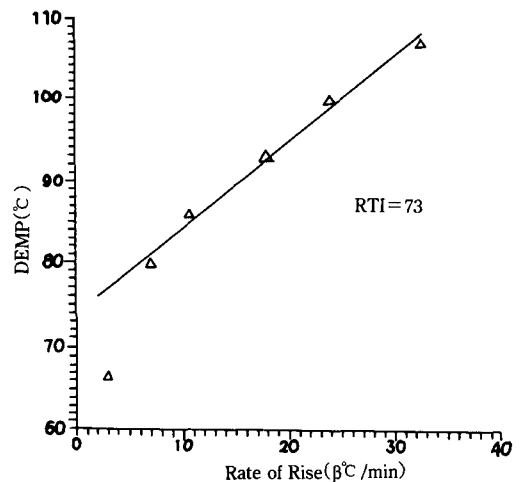


Fig. 7 Rate of rise test.

4. 追後 課題

이 실험에서는 RTI값을 상승을 실험만으로 구했으나 추후에는 일정한 온도(예 135°C)에서 갑자기 스프링클러 헤드를 고온의 기류에 넣어서 하는 Plunge Test로 유속 변화(0.8-1.5m/s)를 주어서 변화에 따른 값들을 구하며 Wet Type 형태와 전도, 복사를 고려한 실험을 할 필요가 있다.

5. 結 論

스프링클러 헤드의 基本檢定 項目외에 국제적으로 認識되고 있는 응답시간지수(RTI)를 측정하기 위해서 Dry Type의 풍동을 제작하여 특성을 비교하였으며 국내에서 제조되는 스프링클러 헤드를 유속 1m/s, 상승을 2-30°C/min에서 실험한 결과 $73\text{sec}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}$ 의 값을 얻었다. 따라서 국내에서 제조 시판되는 헤드는 "Medium" 형태로서 속동형의 스프링클러 헤드를 개발할 필요가 있으며 응답시간 지수로서 헤드의 응답성능을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 消防安全, 韓國消防安全協會, 10卷 2戶 P15, 1990
- 2) F.R.S.: Fire Research Station, Borehamwood, Herts. WD6 2BL(U.K)
- 3) F.M.R.C.: Factory Mutual Research Corporation. 1151 Boston-Providence. Turnpike Norwood, Massachusetts 02062, U.S.A.
- 4) Heskestad, G. & Smith, H. F., "Investigation of New Sprinkler Sensitivity Approval Test; The Plunge Test", FMRC J. I 22485, Factory Mutual Reserch Coporation. Norwood, Massachusetts, 1976.
- 5) Heskestad, G. & Smith. H. F., "Plunge Test for Determination of Sprinkler Sensitivity", FMRC J. I. 3AIEZ. RR. FMRC. 1980.
- 6) Gunnar, Heskestad & Robert, G, Bill, JR.,

- "Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects", Fire Safety Journal. 14.(1988). PP113-125.
- 7) Theobald, C.R., Westly, S.A. and Whitbread, S., "Thermal response of sprinklers. part 2. characteristics and test methods", Fire Safety Journal, 13(2/3), 1988, pp99-144.
 - 8) Evans, D. D., "Thermal Actuation of Extinguishing Systems", Combustion Science & Technology, Vol. 40, PP79, 1984.

List of Symbols

- m : mass of element
- c : specipic heat, usually kJ/kg °C
- A : area of element
- T : temperature
- t : time
- Nu : Nusselt number
- Re : Reynold number
- f : function
- h : heay-transfer coefficient, usually W/m² °C
- L : length
- k : thermal conductivity, usually W/m °C
- U : gas velocity
- v : kinematic viscosity
- B : constant characteristic of the element geometry
- ΔT : temperature increase above the initial value
- Teff : effective operation temperature of the sprinkler

Subscript

- e : element
- g : gas
- o : initial

後記) 본 연구는 1990년 한국학술진흥재단의 지방대학육성연구비로 수행된 것이며 한국학술진흥재단의 후원에 깊은 감사를 드립니다.