

스프링클러의 열응답성에 관한 실험적 연구  
An Experimental Study of Thermal Response of Sprinklers

한용식, 김명배

대전광역시 유성구 장동 171번지 한국기계연구원 산업설비연구

Abstract

The thermal response of sprinkler is characterized by the response time index (RTI). The RTI represents the product of the thermal time constant for the heat responsive element of a sprinkler and the square root of the hot air velocity at plunge test. A plunge test is adapted for measuring RTI, wherein a sprinkler is suddenly immersed in the steady flow in the test section of a hot air tunnel. The method of measurements of the response parameters is presented.

1. 서론

스프링클러는 가장 확실하고 효과적인 화재 진화용의 수단으로 광범위하게 이용되고 있다. 화염 주위에 많은 수의 스프링클러를 개방시켜 적정량의 물을 분사함으로써 주위의 가연물을 미리 젖게하여 화재 강도가 일정 수준을 넘지 않도록 조절함으로써 건물의 붕괴를 방지하는데 목적이 있었다. 이렇게 스프링클러의 주목적을 조절기능에 뒀으므로 해서 화재 발생시 수반되는 열에 의한 손실과 연기 및 방화수에 의한 피해가 증가되고 있다. 또한 급속한 산업화와 인구 밀도의 증가에 따라 화재 발생에 따른 대규모 재산손실과 인명피해가 날로 증가하고 있는 실정이다. 특별히 거주구역용 스프링클러의 가장 큰 목적은 화재시 거주자들이 안전하게 대피할 수 있도록 대피시간을 연장하는데 있다. 이런 목적을 만족시키기 위해서 화재가 발생하는 즉시 감지하여 화염이 성장하지 못한 초기에 진화해야 할 필요가 생겼으며, 화재시에 빠른 응답성을 가지는 스프링클러의 개발이 필요하게 되었다.

스프링클러의 화재 감지 특성은 스프링클러

헤드와 감열부에서의 열적 특성에 의해 결정되는데, 현재 스프링클러의 화재감지 특성을 나타내는 척도로 반응시간 지수(Response Time Index; RTI)가 사용되고 있다. 반응시간지수는 열감지부의 열시정수와 공기속도의 제곱근의 곱으로 나타내어진다. 이 지수는 주어진 스프링클러와 방향에 따라 일정한 값을 가지며, 스프링클러 근처의 공기 온도와 공기속도에 대한 스프링클러의 응답을 예측하는데 충분한 것으로 알려져 있었다. 그러나 최근들어 화재가 느리게 성장하거나 화원으로부터 먼 거리에 있는 화재에서는 반응시간지수의 사용이 의문시 되고 있다. 또한 기존 스프링클러와 급속응답 스프링클러에서 공기속도가 느려짐에 따라 반응시간지수가 급격하게 크지며, 화재실험에서 응답시간이 일정 반응시간지수를 가정하고 예측된 것보다 거리에 따라 급속하게 증가된다고 알려져 있다.<sup>1</sup> 이러한 단점들을 보완하기 위한 노력들이 계속 되고 있는 실정에 있다.<sup>2,3</sup>

본 연구에서는 국내에서 생산된 두가지 형태의 스프링클러를 Plunge Test를 통하여 반응시간을 측정하였다. 이 실험을 통하여 반응시간지수를 계산하였으며, 여기에서 얻어진 결과로부터 반응시간지수의 문제점을 도출하였으며, 국내 스프링클러에 대해 적용하고자 한다. 또한 실제 화재시에 스프링클러의 작동시간을 예측하기 위해 필요한 자료를 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 이론적 배경

이상적인 스프링클러는 화재가 발생하자마자 작동하는 것이다. 스프링클러의 개방온도는 주위조건이 허용하는 가장 낮은 값에 이미 고정되어 있으므로 주위 분위기에 따라 얼마나 신속하게 반응하는가가 매우 중요한 사항이다. 스프링

클러의 열응답성은 스프링클러에서의 열역학적 특성과 열전달 특성에 의해 지배된다. 스프링클러 열감지부의 열적 평형(heat balance)의 관점에서 볼 때, 주변 가스로부터 받은 열량과 감지부에서 스프링클러의 다른부분으로 전달된 열량의 차는 열감지부의 온도상승으로 나타나게 된다. 주변가스로부터 열감지부로 전달되는 열은 고온가스가 유동할 때 전달되는 대류 열전달(convective heat transfer)이 대부분이고 화염으로부터 전달되는 복사열량은 화재시에 발생하는 연기(smoke)에 대부분 흡수되는 것으로 알려져 있으며, 열감지부에서 스프링클러의 다른 부분으로 전도(conduction)되는 열량은 대류에 비해 매우 작은 값을 가진다. 스프링클러에서의 열평형을 고려하여 반응시간지수는 다음과 같은 식으로 간략하게 표시할 수 있다.<sup>2</sup>

$$RTI = \frac{-tr\sqrt{U}}{\ln(1 - \Delta T_{ea}/\Delta T_g)}$$

여기서  $tr$ 은 스프링클러의 응답시간(response time),  $U$ 는 풍동 내의 공기 유속,  $\Delta T_{ea}$ 는 스프링클러 작동시의 주위공기 온도에 대한 열감지부 온도차,  $\Delta T_g$ 는 주위공기온도에 대한 풍동 내의 공기 온도차를 나타낸다. 이로부터 스프링클러의 RTI는 일정한 속도와 온도분포를 가지는 풍동 내에서의 Plunge Test로부터 스프링클러의 개방시간을 측정하면 구할 수 있다.

## 2.2 실험장치 및 실험방법

Fig.1은 스프링클러의 화재 감지 특성을 나타내는 반응시간지수를 측정하는 방법인 Plunge Test를 수행하기 위해 제작된 실험장치이다. 실험장치는 균일유동을 재현하기 위한 유로계와 공기온도를 조종하기 위한 Heater 가열부로 구성되어 있다. 실험 온도는 Heater와 연결된 온도 조절장치에 의해 조절되며, 실험영역 내의 온도가 온도조절장치로 Feedback 되어 실험온도를 유지하며, 온도변동은  $\pm 1^\circ\text{C}$  이내를 유지한다. 유로계에 사용된 송풍기는 가변속도형으로 실험영역(test section)에서 최고 7m/sec까지의 속도를 얻을 수 있다. 실험영역의 크기가  $200 \times 200$ 인 풍동은 실험영역에서 균일 유동장 및 온도장을 형성한다. 유로계의 모든 덕트는 열손실을 줄이기 위해 단열재로 감싸 주었다. 실험영역은 투명 아크릴로 제작되었으며, 스프링클러를 수직으로 설치하였다. 사용된 스프링클러가 Wet형이었기 때문에 스프링클러의 작동

유체로 압축공기를 사용하였으며, 공기압력은  $5\text{kgf/cm}^2$ 으로 하였다. 실험시 초기조건의 유지가 실험 결과에 매우 민감한 영향을 주기 때문에 시험할 스프링클러를  $20^\circ\text{C}$ 로 유지되는 항온 인큐베이터에 저장하였으며, 스프링클러의 장착시 주위온도의 간섭을 줄이기 위해 실내온도를  $20^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

실험은 개방온도가  $72^\circ\text{C}$ 인 상용 스프링클러들 중 두가지에 대해 수행되었다. A형의 열감지부는 스프링클러의 하단부에 위치하고 있으며 직경이 26mm이고 10g의 질량을 가진다. B형은 열감지부가 스프링클러의 측면에 부착된 형태로 직경이 7.5mm, 길이가 7.0mm인 실린더 형태이며, 질량이 2g이다.

온도변화에 따른 스프링클러의 작동상태를 관찰하기 위해  $80^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $130^\circ\text{C}$ ,  $146^\circ\text{C}$ 의 공기온도 조건에서 실험을 수행하였으며, 동일한 온도 조건에서 풍동내의 공기유속을 1.54m/sec, 3.4m/sec, 5.0m/sec 및 6.4m/sec로 변경하였다. 동일조건에서 3개의 시편을 측정하였으며, 계산된 값들은 평균값을 나타낸다. 시간측정을 위해서는 1/100의 정도를 가지는 Stop Watch를 사용하였다.

## 3. 실험결과 해석

Fig. 1은 A형 스프링클러의 열감지부에 직경이 0.06mm인 열전대를 설치한 뒤 측정된 온도상승 곡선을 나타낸다. 공기온도  $T_g$ 가  $130^\circ\text{C}$ 이고, 공기속도가 3.4m/sec의 실험조건에서 Plunge Test를 수행한 결과이다. 열감지부의 온

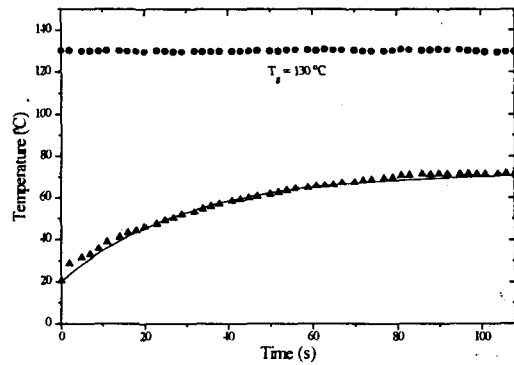


Fig. 1 Temperature rise of heat element

도는 시간에 따라 대수 함수적으로 증가하고 있

음을 알 수 있으며, 작동온도에서 정확하게 작동하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3은 B형 스프링클러에 대한 Plunge test결과를 나타낸다. Fig. 2는 고온의 공기 속도에 따른 반응시간지수에 대한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 온도 80°C의 경우에 약간의 변동은 있지만 공기 속도에 따라 반응시간지수 값들이 150~160의 범위에 걸쳐 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 이 실험조건에서 Heskestad<sup>2</sup> 주장한 반응시간지수가 속도에 따라 일정한 값을 가진다는 결과와 일치함을 볼 수 있다. Fig. 3은 열감지부의 시정수와 밀접한 관계를 가지는 스프링클러의 반응시간에 따른 반응시간지수 관계를 보여준다. Fig. 2의 결과와 마찬가지로 반응시간에 따라 반응시간지수들이 거의 일정한 값들을 보여주고 있다. 따라서 B형 스프링클러에 기존의 반응시간지수 방법을 적용하여 화재 감지특성을 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

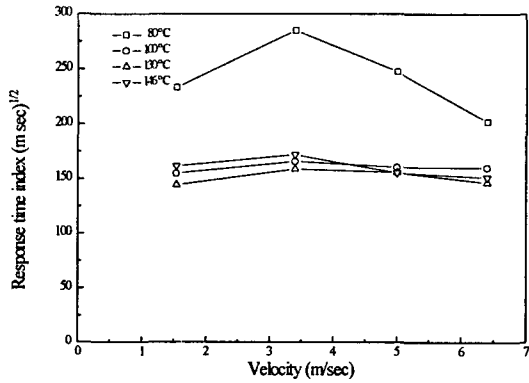


Fig. 2 Respose time index with air velocity

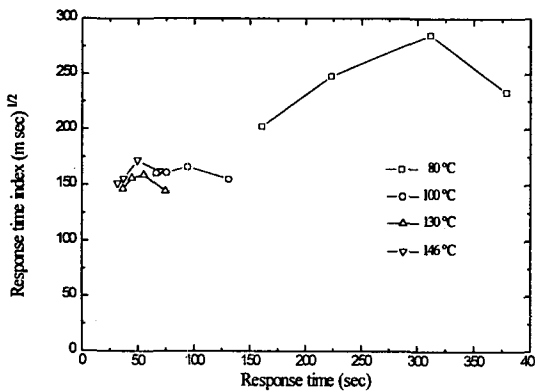


Fig.3 Response time index with response time of sprinklers

Fig. 4와 Fig. 5는 A형 스프링클러에 대한 Plunge Test결과를 나타낸다.

Fig. 4는 고온의 공기 속도에 따른 반응시간지수에 대한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 고온의 공기온도와 빠른 공기 속도에서는 일정한 값을 가지는 경향을 보여 주지만 반응시간지수들이 매우 폭넓게 분포하고 있다. 공기온도 80°C의 실험조건을 제외하고는 Heskestad<sup>2</sup>가 주장한 반응시간지수가 속도에 따라 일정한 값을 가지는 영역이나, 실험결과에서는 반응시간지수는 속도가 증가함에 따라 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이 결과는 앞서 반응시간지수의 도입에서 사용된 가정 중 반응시간지수는 공기 속도와 무관하다는 사실을 만족하지 못하고 있음을 알 수 있다. Fig. 5는 열감지부의 시정수와 밀접한 관계를 가지는 스프링클러의 반응시간에 따른 반응시간지수 관계를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 반응시간에 따라 반응시간지수들이 광범위한 영역에 분포되고 있다. 따라서 A형 스프링클러에 기존의 반응시간지수 방법을 적용하여 화재 감지특성을 나타낼 수 없음을 알 수 있다. A형의 경우, 국내에서는 거주구역용으로 사용되는 스프링클러인데, 결과에서 알 수 있듯이 반응시간지수가 200이상의 값이다. 이는 ISO의 반응시간지수에 따른 스프링클러의 분류에서 가정용으로 사용하기에는 반응시간지수 값들이 큰 값을 가진다. 미국의 경우, 30정도의 반응시간지수 값을 가지는 스프링클러를 거주구역용으로 사용하는 것과는 대치되는 면을 볼 수 있다.

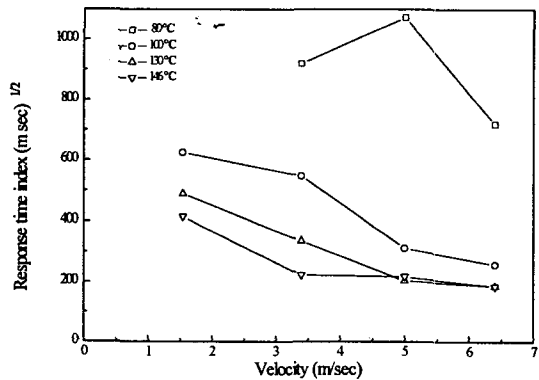


Fig. 4 Respose time index with air velocity

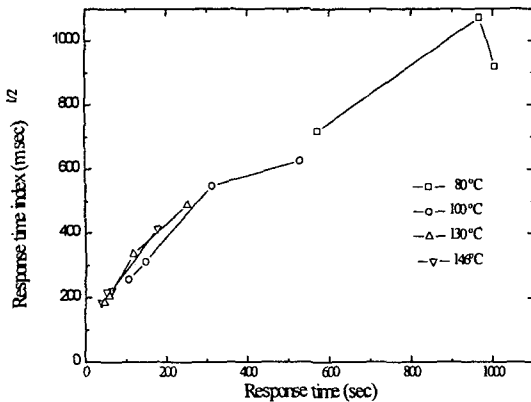


Fig.5 Response time index with response time of sprinklers

#### 4. 결론

국내에서 사용되는 wet형 스프링클러에 대한 열적 응답성을 고찰하기 위한 연구를 수행하였다. 일반적으로 스프링클러는 RTI계수에 의해 분류되는데, 이 계수를 측정하기 위하여 plunge test를 수행하였다. 고온의 균일한 공기 유속 분포를 가진 풍동 내에 스프링클러를 설치하고, 스프링클러가 작동하는 작동시간을 측정하였으며, 풍동 내의 공기유속과 작동시간을 사용하여 RTI(response time Index)를 계산하였다. 이로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. RTI만으로는 스프링클러의 완전한 개방특성을 나타내지 못한다. 특히 열관성이 큰 경우 예의 적용에 대한 연구는 계속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.
2. 국내의 경우, 거주구역에는 열관성이 작은 즉 작은 RTI 값을 가지는 스프링클러를 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. J. S. Pepi, Design Characteristics of Quick Response Sprinklers, Grinnel Fire protection Systems Company, Providence, Rhode Island, May, 1986.
2. G. Heskestad and R. G. Bill, JR., "Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including

Conduction Effects", Fire Safety J., 14(1988) 113-125.

3. P. F. Thorne, C. R. Theobald and S. J. Melinek, " The Thermal Performance of Sprinkler Heads", Fire Safety J., 14(1988) 89-99.

4. Standard for the Installation of Sprinkler Systems, NAPA 13-1994, National Fire Codes Vol. 2, National Fire Protection Association, Quincy, MA.

5. 남순일, "미국에서의 소화용 스프링클러의 발달과정 및 최근동향", 방재시험연구소, 1996

#### 감사의 글

본연구는 과학기술처방재사업의 일부인 "공공 건물 소화설비의 성능평가 기술개발" 연구사업 결과의 일부로 관계자 여러분께 감사드립니다.