

표준형 및 속동형 스프링클러헤드의 반응시간지수와 소화성능  
 Response Time Index and Suppression Capability of Standard and Quick  
 Response Sprinkler Head

정길순\*, 이병곤\*\*

충북대학교 대학원\*, 충북대학교 안전공학과\*\*

1. 서 론

스프링클러 소화설비는 화재가 발생하였을 때 자동적으로 감열, 작동하여 초기화재 진압을 목적으로 하는 소화설비로서 소화특성은 화재발생으로부터 소화가 시작되는 화재감지특성과 화재제어 및 진압에 대한 방사특성<sup>1)</sup>으로 FRS<sup>2)</sup> 3)와 FMRC<sup>4)</sup>에서는 열응답의 민감도를 나타내는 반응시간지수(RTI)의 측정방법과 이론을 제시하였다. 반응시간지수는 스프링클러헤드의 작동에 필요한 충분한 열을 주위로부터 얼마나 빠른 시간 내에 흡수할 수 있는지를 나타내는 특성치로서 가열공기의 온도 및 속도에 의해 결정되며 값이 적을수록 헤드가 조기에 작동하게 된다.

본 논문에서는 전도열손실을 고려한 경우에 열평형식에서 반응시간지수에 관한 식을 추출하고 국산 표준형 2종류와 외국산 속동형 2종류에 대하여 온도상승율시험과 플런지시험을 행하여 반응시간지수를 측정, 비교하고, 방수량 및 살수분포 시험, 침투밀도(ADD) 시험, 실제 화재실험에서의 작동시간 및 작동온도, 소화성능을 비교·분석한다.

2. 본 론

열손실을 무시할 때 화염으로부터의 상승 열기류와 스프링클러헤드 감열부 사이의 열교환은,  $d(\Delta T_g)/dt = (\Delta T_g - \Delta T_s)/\tau$  (1)

$\tau = mc/hA$ 는 시간상수로 기류온도에 대한 감열체의 시간지연을 의미한다. 따라서  $\tau h$ 는  $mc/A$ 로서 일정한 값을 가지며, 강제대류에서  $h \propto \sqrt{U}$ 로서  $\tau \sqrt{U}$ 은 한 형태의 헤드에서는 일정한 값이 되며 이를 반응시간지수(Response Time Index, RTI)<sup>2)</sup>라 하며 RTI값이 작을수록 응답이 빠르다.

감열부에서 본체로의 열손실을 고려하면,

$$mcd(\Delta T_s)/dt = hA(\Delta T_g - \Delta T_s) - h_f A_f (\Delta T_s - \Delta T_f) \quad (2)$$

온도상승율( $\beta$ )에 대하여 (2)식을 풀면 작동온도 ( $T_{\infty}$ )는,  $T_{\infty} = \beta \tau + T_{EFF}$ .

여기서,  $T_{EFF}$ 는 헤드가 작동하는 최소기류온도로서, 실험을 하여 선형직선을 추출하면 시간상수( $\tau$ ), 최소작동기류온도를 얻어 반응시간지수(RTI)를 구할 수 있다.

스프링클러헤드의 반응시간지수를 측정하기 위한 강판제의 풍동 풍동실험장치를 제작하여 국산 표준형과 미국산 속동형을 사용하여 일정한 온도상승율로 온도를 상승시키면서 행하는 상승율 실험과 일정한 온도의 고온기류에 갑자기 헤드를 넣어서 실험하는 플런지실험을 실시한다.

침투밀도(ADD)란 스프링클러로부터 분사된 물중에서 화염을 통과하여 연소중인 가연물 상단에 도달한 양을 가연물 상단 표면적으로 나눈 값으로, 스프링클러의 소화성능을 나타내는 중요한 요소이다. 화재초기에 조기진화를 위해서는 진화에 필요한 최소 물의 양보다 더 많은 양의 물을 화염에 침투시켜야 한다. 표준형 및 속동형 스프링클러헤드에 대하여 침투밀도를 측정하고자 한다.

실제 화재실험에서의 표준형과 속동형 헤드의 작동온도와 작동시간을 측정하고, 실제 소화실험을 하기 위하여 길이 4.5 m, 폭 3.2 m, 높이 2.6 m의 내화벽돌 및 철관구조물의 실제규모의 화재실험실에서 헤드를 설치하고 wood cribs를 연료로 사용하고 화재실내 연기층의 온도변화와 헤드의 작동온도 및 작동시간을 측정하였다

### 3. 실험결과

#### 3.1 반응시간지수

표 1은 상승을 실험결과로서, 시간상수는 A가 B보다, C가 D보다 큰 시간지연을 보이며, 이는 감열체의 형상 및 납의 중량차이등 열용량과 부착형태, 프레임으로의 전도열손실 차이 때문이다. 반응시간지수는 각각의 최소작동기류온도에 대하여 환산한 속도로 계산한 것이다. ISO기준<sup>1)</sup>에서는 RTI값이 표준형 80~350, 속동형 50이하로 규정하고 있다. 상기 A와 B는 표준형, C와 D는 속동형에 부합됨을 확인할 수 있다. 수직직교형태에서 작동시간은 온도상승율과 기류속도를 대입하여 스프링클러 헤드의 작동시간을 예측할 수 있다.

Table 1. Values of parameter of rate of rise test

type	Rate of rise															
	$\tau'$				$T_{EFF}$				RTI <sub>r</sub>				K			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
layer best	72	60	19	21	83	82	81	80	79	65	21	23	0.87	0.88	0.89	0.90
layer worst	105	79	53	66	90	88	91	84	115	87	59	72	0.80	0.82	0.79	0.86
flue	195	201	59	83	101	103	97	87	218	226	66	91	0.71	0.70	0.74	0.83

표 2는 플런지 실험의 각 형태별 작동시간, 시간상수, 반응시간지수를 나타낸 것으로, RTI<sub>pn</sub>는 RTI<sub>p</sub> 보다 상당히 커진다. 헤드의 실제 부착시 감열체에서 프레임으로의 전도열손실과 프레임에서 파이프로의 전도열손실을 고려하면, 반응시간지수 계산시 공칭온도 대신 최소기류작동

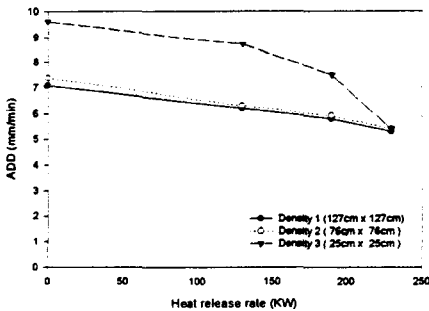
Table 2. Values of parameter of plunge test (U = 1.5m / s)

type	plunge																			
	$t_{\infty}$				$\tau''$				RTI <sub>p</sub> ( $T_{EFF}$ )				RTI <sub>pn</sub> ( $T_{nom}$ )				C			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
layer best	66	66	18	11	90	92	26	16	110	113	31	20	143	144	39	20	0.55	0.54	0.12	0.11
layer worst	90	81	21	24	104	98	24	32	128	120	29	39	196	177	37	52	0.65	0.72	0.20	0.16
flue	206	170	29	35	186	147	29	43	227	180	35	53	449	303	63	76	0.81	0.83	0.35	0.21

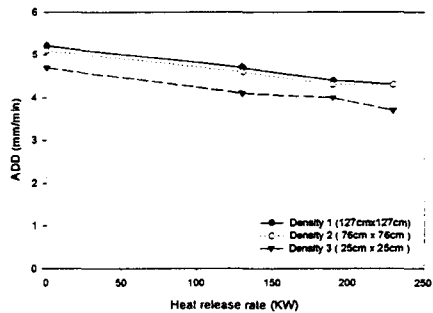
온도로 계산한 반응시간지수 RTI를 기준으로 하여야 할 것으로 생각된다. 그러나, 헤드의 반응시간지수 검정시는 최소기류작용온도를 모르며, 헤드만의 열응답으로 공칭온도를 기준으로 하여도 영향이 적을 것으로 생각된다. 수직직교형태에 대하여 각각의 작동시간은 기류속도와, 기류온도와 주위온도와의 차  $\Delta T_g$ 를 대입하면 작동시간을 구할 수 있다.

### 3.2 침투밀도시험

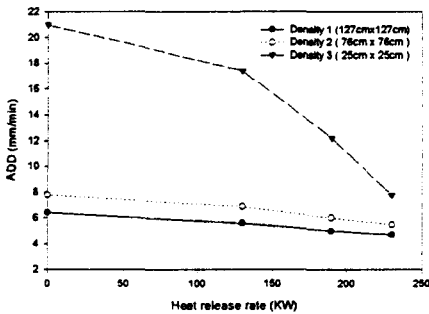
각 채수통 별 방수량은 화염이 증가함에 따라 중심부의 방수량의 감소율이 바깥부분보다 크며 이는 화염에 의한 뜨거워진 공기의 부력작용으로 인하여 침투밀도의 감소에 기인하는 것이며, 방출열량별 침투밀도는 발열량이 증가할수록 침투밀도가 선형적으로 감소한다. 표준형 B는 표준형 A 보다 침투밀도가 현저히 작고 5mm/min 이하로 일반적인 화재에서 요구하는 필요진화밀도가 5mm/min 이하로 소화성능이 작다. 속도형 C는 표준형과 유사한데 반하여 속도형 D는 침투밀도가 값이 매우 낮아 소화성능이 양호하지 못함을 알 수 있다. Fig. 3 (a), (b), (c), (d)는 각각의 헤드에 대하여 채수통의 밀도를 달리하여 평균한 값으로 표준형 A는 Density 3인 경우 중심부에서 침투밀도가 매우 크고, 표준형 B는 표준형 A와 달리 중심부의 침투밀도가 더 낮게 측정되었다. 속도형 C는 중심부에서 침투밀도가 높은 것을 알 수 있고, 속도형 D는 중심부의 침투밀도가 낮음을 알 수 있다.



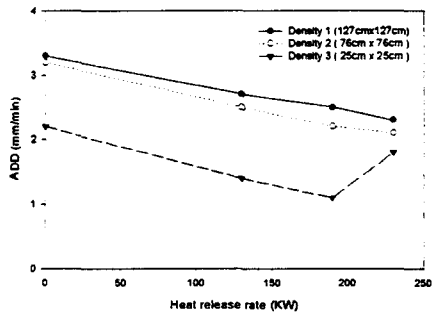
(a) standard A



(b) standard B



(c) quick C



(d) quick D

Fig. 3 ADD vs heat release rate for the Density 1, 2, 3

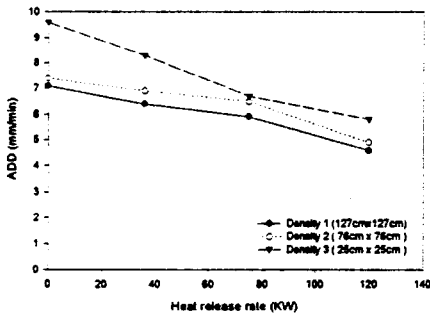
### 3.3 실제 화재 소화실험

Table 3은 방출열량에 따른 표준형 A와 속동형 C의 실제 화재실험에서의 작동온도와 작동시간 및 소화시간 측정 결과로서, 한 작동시간으로 속동형은 표준형보다 훨씬 빨리 작동하는 것을 볼 수 있고 방출열량이 커질수록 표준형 및 속동형 모두 작동시간이 짧아진다. 작동온도는 속동형이 표준형보다 훨씬 낮은 온도에서 작동하며 표준형은 방출열량이 커질수록 작동온도가 증가하나 속동형은 거의 비슷한 온도에서 작동한다. 소화시간은 속동형은 주거용으로 표준형보다 소화성능이 낮아 소화시간이 긴 것을 볼 수 있다. 방출열량이 커질수록 모두 소화시간이 증가하며 특히 표준형 A는 현저히 증가한다.

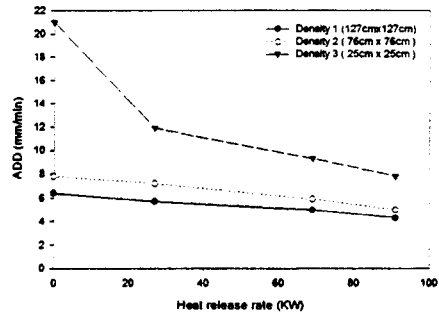
Table 3 Values of heat release rate at wood cribs

	standard A			quick C		
	5×5 (36KW)	5×7 (75KW)	5×9 (120KW)	5×5 (27KW)	5×7 (69KW)	5×9 (91KW)
작동시간	252 sec	212 sec	183 sec	162 sec	137 sec	87 sec
작동온도	117℃	165℃	181℃	75℃	102℃	99℃
소화시간	31 sec	55 sec	150 sec	86sec	102sec	122sec

Fig 4는 (a), (b)는 표준형 A와 속동형 C에 대하여 wood cribs을 이용한 실제화재실험에서의 방출열량별 침투밀도로서, LPG 연소실험과는 달리 화재가 헤드의 중심부에 위치하여 표준형 A와 속동형 C 모두 Density 3 침투밀도는 Fig 2의 값보다 감소함을 볼 수 있고, 전체 평균 침투밀도(Density 1 및 Density 2)는 거의 같다. 또한 표준형 A와 속동형 C 모두 중심부의 침투밀도가 커서 소화가 잘 되었다.



(a) standard A



(b) quick C

Fig. 4 ADD at wood cribs fire experiment

#### 4. 결론 및 고찰

- (1) 전도열손실이 있는 국산 표준형과 외산 속동형헤드에 대하여 고온기류하에서의 최소작동기류온도, 상승율 시험, 플런지 시험, 공칭온도를 기준으로한 반응시간지수를 구하여 비교·분석하였다.
- (2) 고온기류의 유동방향에 대한 프레임의 위치에 따라 작동시간, 반응시간지수, 최소작동기류온도가 다르며, 수직직교형태가 열전달이 커서 작동시간이 가장 짧고, 수평형태는 프레임의 열유동장해로 작동시간이 가장 길다.
- (3) 화재시 고온기류의 온도상승율과 유속으로 스프링클러헤드의 작동시간을 예측할 수 있는 간단한 계산식을 제시하였다.
- (4) 소화성능을 나타내는 침투밀도를 측정하였으며, 침투밀도는 발열량이 증가할수록 선형적으로 감소하고, 표준형 A는 표준형 B보다, 속동형 C는 속동형 D보다 침투밀도가 커서 소화성능이 크다. 침투밀도의 분포는 표준형 A와 속동형 C는 중심부에서 크고, 표준형 B와 속동형 D는 이와 달리 중심부에서 작다.
- (5) 표준형과 속동형 헤드에 대한 실제 화재실험을 하였으며, 그 결과 속동형은 표준형보다 헤드의 작동온도는 낮고, 작동시간은 빠르나, 소화시간은 길며 방출열량이 커질수록 소화시간이 현저히 증가한다

#### 참고문헌

1. 남순일, "최신 스프링클러의 특성 및 적용," 소화용 스프링클러의 신기술 및 적용, 방재시험 연구소, 1996. 3
2. C. R. Theobald, "Thermal Response of Sprinklers Part I. FRS Heated Wind Tunnel," Fire Safety Journal, Vol. 12, pp 51~63, 1987.
3. C. R. Theobald, S. A. Westley and S. Whitbread, "Thermal Response of Sprinklers Part II. Characteristics and Test Methods," Fire Safety Journal, Vol. 13, pp 99~114, 1988.
4. Gunner Heskestad and Robert Bill, JR., "Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects," Fire Safety Journal, Vol. 14 pp113~125, 1988
5. Heskestad, G. and, Smith, H.F., "Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test : The Plunge Test," FMRC22485, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, December, 1976.

이 논문은 '97년 한국소방안전협회 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음