

표준형 및 속동형 스프링클러헤드의 반응시간지수와 소화성능

Response Time Index and Suppression Capability of Standard and Quick Response Sprinkler Head

정길순\* · 이병곤\*\*

Kil-Soon Jung · Byung-Kon Lee

(1998년 7월 7일 접수, 1998년 10월 8일 채택)

ABSTRACT

In this study, response time index(RTI) of standard and quick response type sprinkler head are measured and compared through ramp and plunge test in heated wind tunnel. Also discharge rate and water distribution, actual delivered density(ADD), fire test with wood cribs are performed to compare the fire suppression capability and the operation time and temperature between standard and quick response type sprinkler head.

1. 서론

스프링클러 소화설비는 화재가 발생했을 때 자동적으로 감열, 작동하여 초기화재 진압을 목적으로 하는 소화설비로서 영국의 FRS<sup>1,2)</sup>와 미국의 FMRC<sup>3,4)</sup>에서는 스프링클러 헤드의 열에 대한 반응의 민감도를 나타내는 반응시간지수(Response Time Index: RTI)의 이론과 시험방법을 제시하였다. 반응시간지수 값이 적을수록 헤드가 조기에 작동하며, ISO기준에서는 RTI값이 표준형 80~350, 속동형 50이하로 규정하고

있다<sup>5)</sup>. 국내의 경우 한국소방검정공사의 스프링클러 헤드의 성능시험기준<sup>6)</sup>에는 화재초기진압에 대하여 반응시간지수에 대한 시험 및 시험장치에 대하여 규정되어 반응시간지수에 대한 시험, 연구는 필수적이 되었다.

본 연구에서는 표준형으로 국산 용융형(폐쇄 하향형, 72°C, 1/2") 스프링클러헤드 두 종류와 속동형으로 미국산 주거용(폐쇄 하향형, 1/2") 스프링클러 헤드 두 종류에 대하여 FRS와 FMRC에서 제안한 온도상승률시험과 플런지시험을 행하여 반응시간지수를 측정, 비교하고, 방수량 및

\* 충북대학교 대학원  
\*\* 충북대학교 안전공학과

살수분포시험, 침투밀도시험, 실제화재소화실험에서의 작동시간 및 작동온도 등, 소화성능을 비교·분석하였다. 표준형 국산 용융형 헤드의 감열체는 작은 원통형 용기안에 납이 들어 있으며, 속동형은 박판 사이에 납을 얇게 부착한 형태로 전열면적이 넓고, 기류에 경사지게 되어 있어 열전달이 잘되어 작동시간이 빠른 구조로 되어 있다.

## 2. 반응시간지수 이론식

화재시 스프링클러 헤드는 고온기류로부터 대류열전달을 받는 동시에 프레임으로 전도로 인한 열손실이 생긴다. 이러한 감열체에 대하여 Heskestad<sup>3)</sup>는 프레임으로의 전도열손실을 고려하지 않고 고온기류의 열이 강제대류에 의해서 모두 감열체에 저장된다고 가정하여 화염으로부터의 상승열기류와 스프링클러헤드 감열부 사이의 열평형식을 제안하였다.

$$d(\Delta T_e)/dt = (\Delta T_g - \Delta T_e) / \tau \dots\dots (1)$$

여기서,  $\Delta T_e$ ,  $\Delta T_g$ 는 감열체 및 기류와 초기 주위온도와의 차이이고,  $\tau = mc/hA$ 는 시간상수로 기류온도에 대한 감열체의 시간지연을 의미한다 ( $m$ ,  $c$ ,  $A$ 는 감열체의 질량, 비열, 면적이고,  $h$ 는 대류열전달계수). 따라서  $\tau h = mc/A$ 이고, 강제대류에서  $h \propto \sqrt{U}$ 로서  $\tau \propto 1/\sqrt{U}$ 은 한 형태의 헤드에서는 일정한 값이 되며 이들 반응시간지수(RTI)<sup>1,7)</sup>라고 하며 RTI값이 작을수록 반응시간이 빠르다. 최근 Theobald등은<sup>1,2,8,9)</sup> 프레임으로의 열손실이 작동시간에 상당한 영향을 준다는 것을 확인하고 이를 고려한 열평형식과 일반해를 제시하였다.

$$mc \, d(\Delta T_e)/dt = hA(\Delta T_g - \Delta T_e) - h_f A_f (\Delta T_e - \Delta T_f) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $f$ 는 프레임(frame)에 대한 값이다. 온도상승률( $\beta$ )에 대하여 식(2)을 풀면 작동온도( $T_{op}$ )는,

$$T_{op} = \beta \tau' + T_{EFF} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $\tau'$ 는 전도열손실을 고려한 시간상수,  $T_{EFF}$ 는 헤드가 작동하는 최소기류온도이다.

## 3. 반응시간지수 시험장치 및 시험방법

Fig. 1은 헤드의 반응시간지수를 측정하기 위한 풍동으로, 히터에서 가열된 고온기류는 시험부를 통과한 후 온도 유지를 위해 상부의 덕트를 통하여 순환된다<sup>7)</sup>. 유속은 digital micromanometer, 온도는 열전대로 측정하고, programmable temperature controller로 일정온도 또는 일정한 온도상승을 제어한다.

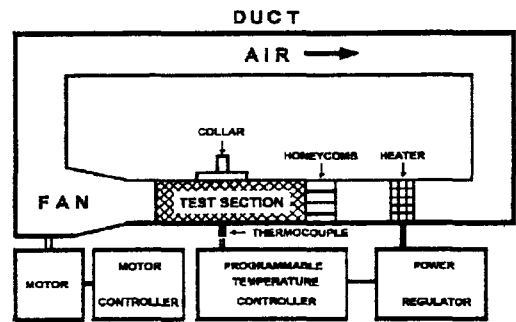


Fig. 1 Schematic view of wind tunnel

### 3.2 시험방법

#### 3.2.1 상승률 실험(ramp test)

유속은 기준온도 25℃일 때의 1m/s로 하고, 온도상승률을 5, 10, 15, 20, 30℃/min에 대하여 시험하였다. 헤드는 헤드와 기류가 수직이고 기류와 헤드의 프레임이 직교한 형태인 수직직교 형태(layer best)와 헤드와 기류가 수직이고 기류와 프레임이 평행한 형태인 수직평행형태(layer worst), 헤드와 기류가 평행이고 반사판과 직교한 형태인 수평형태(flue)인 경우에 대하여 시험을 실시하였다<sup>7)</sup>.

#### 3.2.2 플런지 실험(plunge test)

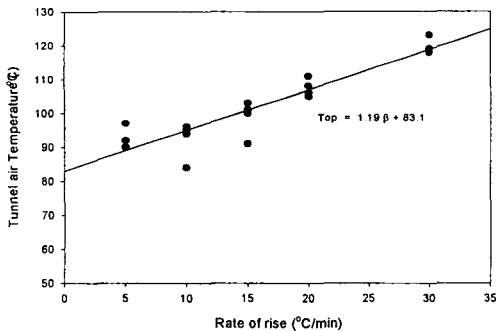
기류온도를 135℃로 일정하게 유지하고, 유속 1.5m/s에서 시험하였다.

## 4. 반응시간지수 시험결과 및 고찰

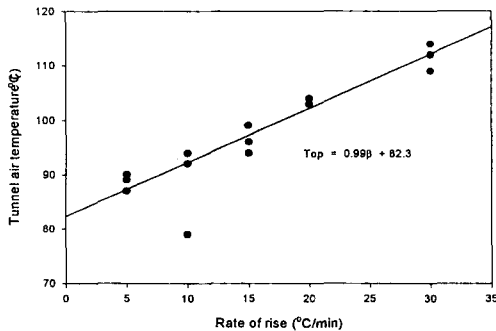
### 4.1 상승률 실험의 반응시간지수

Fig. 2은 국산 표준형 A, B 두 종류와 외국산

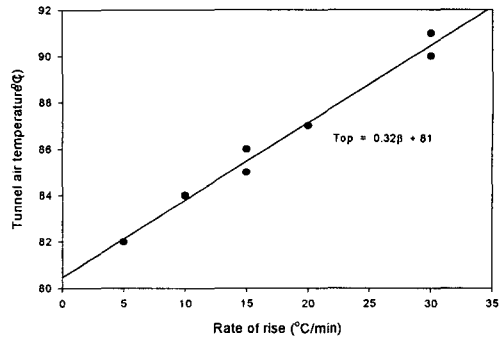
속동형 C, D 두 종류의 스프링클러헤드의 수직 직교형태에 대한 상승률 실험결과로 각각의 온도상승률에 대한 작동온도를 표시한 그림이다. 작동온도는 식(3)과 같이 온도상승률의 증가에 따라 직선적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 중의 실선은 선형 최적기법에 의한 회귀직선으로, 이 직선의 y축 절편이 최소작동기류온도( $T_{EFF}$ ), 직선의 기울기가 시간상수( $\tau'$ )를 나타낸다. Fig. 2(a), (b)에서 표준형 A, B의 최소작동기류온도는 각각 83°C, 82°C, 시간상수는 각각 72초, 59초로 A의 경우가 더 큰 시간지연을 보이는데, 이것은 감열체의 형상 및 납의 중량 차이(A: 1.123g, B: 0.683g) 등 열용량과 부착형태, 프레임으로의 전도열손실 차이 등에 기인한다. Fig. 2(c), (d)에서 속동형 C, D의 최소작동기류온도는 각각 81°C, 80°C로 표준형과 거의 같으나, 시간상수는 19초, 21초로 표준형보다 매우 작은 것을 볼 수 있다.



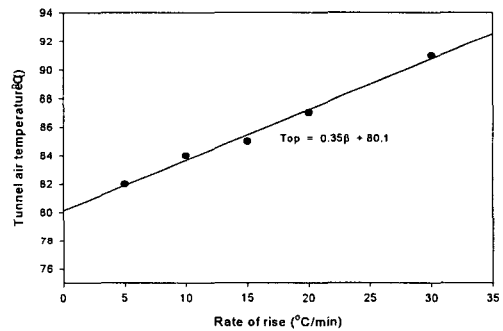
(a) standard A



(b) standard B



(c) quick C



(d) quick D

Fig. 2 Determination of  $T_{EFF}$  and  $\tau'$  from rate-of-rise test for layer best type

Fig. 3(a), (b)는 표준형의 수직평형형태에 대한 것으로 최소작동기류온도는 A=90°C, B=88°C로 수직직교형태의 경우보다 커지며, 시간상수도 A=105초, B=79초로 더 큰 시간지연을 보인다. 이는 감열체 전방에 있는 프레임으로 인한 프레임의 후류역과 열유동장애 때문이다. Fig. (c), (d)는 속동형 C와 D의 수직평형형태에 대한 것으로 최소작동기류온도는 C=91°C, D=84°C, 시간상수는 C=53초, D=66초로 표준형보다 작다.

Fig. 4(a), (b)는 표준형 A와 B의 수평형태에 대한 것으로 최소작동기류온도는 A=103°C, B=103°C로 수직직교형태의 경우보다 매우 커지며, 시간상수도 A=195초, B=201초로 매우 큰 시간지연을 보인다. 이는 큰 직경의 반사판으로 인하여 감열체가 기류와 직접 닿지 않고 반사판

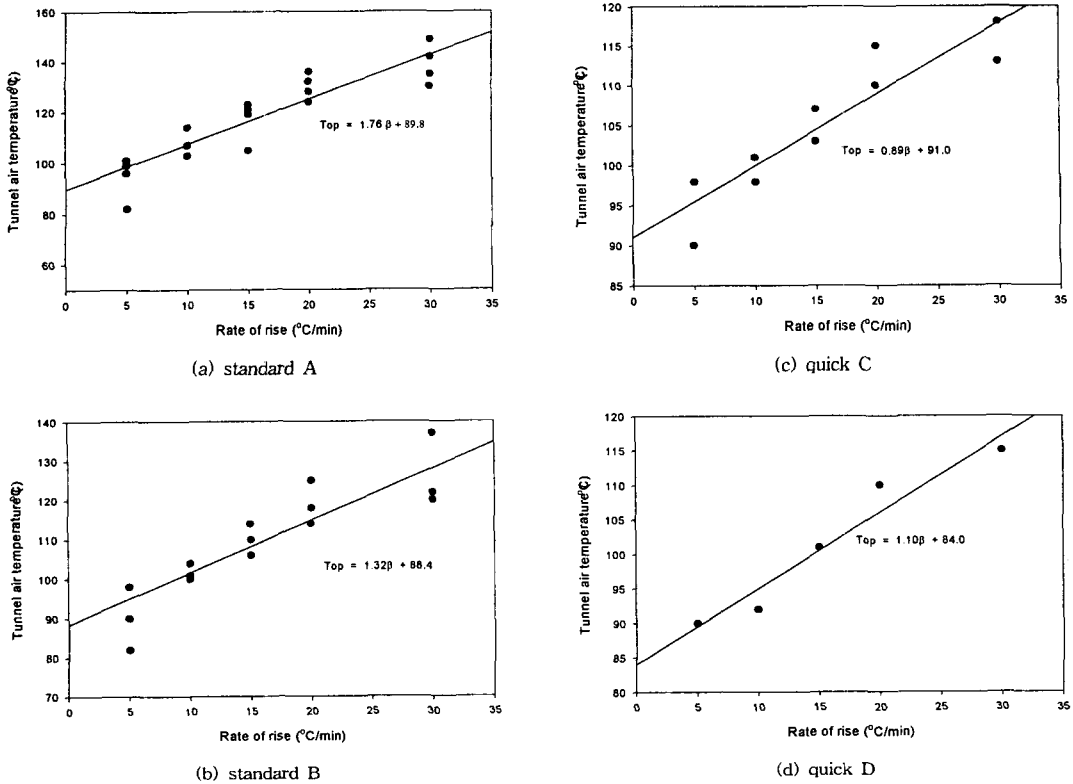


Fig. 3 Determination of  $T_{EFF}$  and  $\tau'$  from rate-of-rise test for layer worst type

Table 1 Values of parameter of rate of rise test

type	Rate of rise															
	$\tau'$				$T_{EFF}$				RTIr				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

의 후류역에 위치하여 대류열전달이 감소하기 때문이다. Fig. 4(c), (d)는 속동형 C와 D의 수평 형태에 대한 것으로 최소작동기류온도는 C=97°C, D=87°C, 시간상수는 C=59초, D=83초이다.

Table 1은 상승률실험 결과를 종합한 것으로, 상승률실험의 반응시간지수 (RTIr)는 시간상수 ( $\tau'$ )에 유속(U)의 제곱근을 곱한 값으로, 유속은 기준온도 25°C에서 유속 1m/s를 각각 최소작동기류온도에 대하여 환산한 속도도 계산한 결과이다. 수직직교형태(layer best)에 대한 반응시간

지수는 각각 A=79, B=65, C=21, D=23으로 A와 B는 ISO기준의 표준형, C와 D는 ISO기준의 속동형에 부합됨을 확인할 수 있다. 표 중의 K는 표시온도( $T_{nom}$ )와 최소기류작동온도( $T_{EFF}$ )의 비이며<sup>7)</sup>, 열손실이 있는 때는 1보다 작아지며 열손실이 없을 때는 1이 된다. 표에서 표준형 및 속동형 모두 1보다 작아 열손실이 있음을 알 수 있고, 수직직교형태보다 수직평형형태, 수평형태가 열손실이 커짐을 알 수 있다.

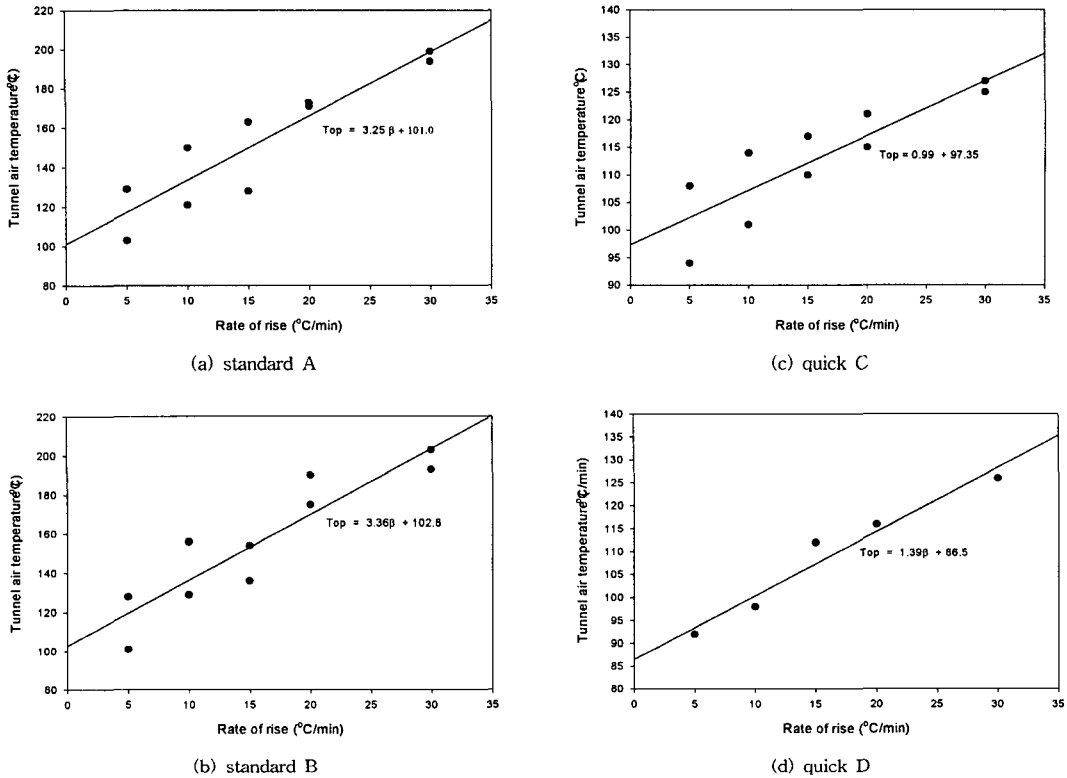


Fig. 4 Determination of  $T_{EFF}$  and  $\tau'$  from rate-of-rise test for flue type

4.2 상승률실험의 형태별 작동시간

스프링클러헤드의 작동시간에 대한 식은 다음 식으로 표시할 수 있다<sup>7)</sup>.

$$t_{op} = \frac{60 \Delta T_{EFF}}{\beta} + \frac{RTI}{U^{1/2}} \text{ (sec)} \dots\dots (4)$$

여기서, 온도상승률( $\beta$ )의 단위는( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ), 기류속도( $U$ )의 단위는 ( $\text{m}/\text{sec}$ )이다.

수직직교형태의 경우 작동시간은 Table 1의 값들과 주위온도를  $20^{\circ}\text{C}$ 로 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표준형 헤드 A :

$$t_{op} = \frac{3780}{\beta} + \frac{79}{U^{1/2}} \text{ (sec)} \dots\dots (4a)$$

표준형 헤드 B :

$$t_{op} = \frac{3720}{\beta} + \frac{65}{U^{1/2}} \text{ (sec)} \dots\dots (4b)$$

속동형 헤드 C :

$$t_{op} = \frac{3660}{\beta} + \frac{21}{U^{1/2}} \text{ (sec)} \dots\dots (4c)$$

속동형 헤드 D :

$$t_{op} = \frac{3600}{\beta} + \frac{23}{U^{1/2}} \text{ (sec)} \dots\dots (4d)$$

위 식에 적합한 온도상승률( $\beta, ^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )과 기류속도( $U, \text{m}/\text{sec}$ )를 대입하면 스프링클러 헤드의 작동시간( $t_{op}$ )을 예측할 수 있다.

4.3 플런지 실험의 반응시간지수

Table 2는 기류온도를 일정하게 유지한 플런지 실험의 각 형태별 작동시간, 플런지 실험에서 전도를 고려한 시간상수( $\tau''$ ), 반응시간지수를 나타낸 것이다. 플런지실험의 반응시간지수( $RTI_p$ )는 시간상수( $\tau''$ )에 유속( $1.5\text{m}/\text{sec}$ )의 제곱근을 곱한 값으로, 표준형에서는 상승률 실험의 반응시간지수( $RTI_r$ )보다 다소 커지며, 속동형은 다소

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

type	plunge																			
	top (sec)				r''				RTI <sub>p</sub> (T <sub>EFF</sub> )				RTI <sub>pn</sub> (T <sub>nom</sub> )				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	91	32	53	449	303	63	76	0.81	0.83	0.35	0.21

Table 3 Values of parameter of plunge test(U=2.56m/sec)

type	plunge															
	top (sec)				r''				RTI <sub>p</sub> (T <sub>EFF</sub> )				RTI <sub>pn</sub> (T <sub>nom</sub> )			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
layer best	41	40	8	8	52	51	11	11	83	81	18	18	109	106	21	21
layer worst	51	52	9	17	57	58	9	21	91	93	9	34	136	138	24	45
flue	92	87	17	29	75	68	15	34	120	109	24	54	245	232	45	46

작아진다. 표에서 반응시간지수(RTI<sub>pn</sub>)는 시간상수 계산시 최소기류작동온도(T<sub>EFF</sub>) 대신 헤드의 공칭온도 (T<sub>nom</sub>)로 계산한 값으로 RTI<sub>p</sub> 보다 상당히 커진다.

또한, 표 중의 C값은 전도열손실을 나타내며<sup>7)</sup>, C=0이면 전도열손실이 없는 경우를 나타낸다. 이 C값에 의하면, 표준형은 전도열손실이 크며, 속도형은 전도열손실이 작은 것을 알 수 있다. 또한, 수직직교형태보다 수직평행형태, 수평형태에서 전도열손실이 커지는 것을 알 수 있다.

헤드의 실제부착시 감열체에서 프레임으로의 전도열손실과 프레임에서 파이프로의 전도열손실을 고려하면, 반응시간지수 계산시 공칭온도(T<sub>nom</sub>) 대신 최소기류작동온도(T<sub>EFF</sub>)로 계산한 반응시간지수 RTI<sub>p</sub>를 기준으로 하여야 보다 정확할 것으로 생각된다. 그러나 최소기류작동온도는 전술한 바와 같이 실험에 의하여 구해야 하므로 이 값을 모르는 경우에는 공칭온도를 기준으로 할 수밖에 없을 것으로 생각된다.

한국소방검정공사<sup>6,10)</sup>에서는 내무부고시 제 19 96-73호(1996.4.23) 스프링클러헤드의 검정기술 기준에 화재조기진압형에 대한 검정기준을 고시하였는데, 제 16조에 감도시험 기준에 표시온도 68~74℃인 헤드의 기류온도는 135℃, 기류속도는 2.56m/s로 고시하였다. FMRC에 당초 제시한 기준과 기류온도는 같으나, 기류속도가 달라

한국소방검정공사에서 고시한 기류속도 2.56m/s로 다시 실험하여 Table 3에 나타내었다. 표에서 유속이 빨라짐으로서 작동시간이 빨라지는 것을 볼 수 있고, 특히 속도형에서는 매우 빨라진다. 반응시간지수의 정의에서는 기류속도에는 무관하여야 하나, 시간상수(r'')에 유속의 제곱근을 곱한 값으로 표준형에서는 다소 증가하며 속도형에서는 약간 작아지는 경향을 보인다. 헤드의 공칭온도로 계산한 RTI<sub>pn</sub>은 RTI<sub>p</sub> 보다 커지며, 유속 1.5m/sec일 때의 RTI<sub>p</sub> 값과 유사한 값을 보인다.

4.4 플러지 실험의 형태별작동시간

작동시간은 Table 2의 반응시간지수와 Table 1의 최소작동기류온도를 사용하여 다음 식에서 얻을 수 있다<sup>7)</sup>. 수직직교형태에 대하여 각각의 작동시간을 구하면 다음과 같다.

$$t_{op} = - \frac{RTI_p}{U^{1/2}} \ln \left( 1 - \frac{T_{EFF} - T_{e(0)}}{\Delta T_g} \right) \dots (5)$$

표준형 헤드 A :

$$t_{op} = - \frac{110}{U^{1/2}} \ln \left( 1 - \frac{63}{\Delta T_g} \right) \dots (5a)$$

표준형 헤드 B :

$$t_{op} = - \frac{113}{U^{1/2}} \ln \left( 1 - \frac{62}{\Delta T_g} \right) \dots (5b)$$

속동형 헤드 C:

$$t_{op} = -\frac{31}{U^{1/2}} \ln\left(1 - \frac{61}{\Delta T_g}\right) \dots\dots\dots (5c)$$

속동형 헤드 D:

$$t_{op} = -\frac{20}{U^{1/2}} \ln\left(1 - \frac{60}{\Delta T_g}\right) \dots\dots\dots (5d)$$

위 식에서 기류속도(U)와 기류온도와 주위온도와 차  $\Delta T_g$ 를 대입하면 작동시간을 구할 수 있다.

### 5. 방수량 및 살수분포 시험

스프링클러헤드의 방수량은  $Q=K\sqrt{p}$  식과 같이 방수압력의 제곱근에 비례한다. 여기서, Q는 방수량(l/min), K는 방출계수, P는 방수압력(kg/cm<sup>2</sup>)이다. 방출계수는 스프링클러의 방수특성<sup>5)</sup>을 나타내는 중요한 인자로서, 시험은 표준형의 경우 방수압력 1.0kg/cm<sup>2</sup>에서 1분간 방수량으로 계측하며, 방출계수(K)의 값은 관 구경에 따라 정해진 허용범위 내에 들어야 하며, 예로 관구경 1/2" (15mm)에서는 80(1±5/100), 즉 76~84 내에 들어야 한다. 본 연구에서는 표준형 및 속도형 헤드의 방출계수를 비교하기 위하여 방출압력을 변화시켜 전체 방수량을 측정하여 방출계수를 구하여 Table 4에 그 결과를 나타내었다.

Table 4 Water discharge rate

discharge pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5	1.0	1.5	2.0
standard A	76	77	78	78
standard B	78	77	77	80
quick C	79	78	80	76

시험결과 방출계수는 방출압력 변화에도 거의 일정하며 방출압력 1kg/cm<sup>2</sup>일 때 표준형 및 속도형 헤드 전부가 검정기준 내에 드는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 살수분포에 대한 한국소방검정공사<sup>6)</sup> 검정기준은 매우 복잡하나, 본 연구에서는 대략적인 하방향의 살수분포를 비교·시험하기 위하여 15홉통을 길이방향으로 배치, 채수량을 측정하

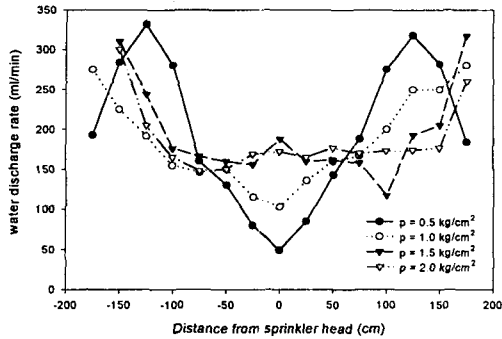
여 살수분포를 측정된 결과를 Fig. 5에 표시하였다.

Fig. 5(a), (b)는 표준형의 살수분포로서 방출압력이 작은 경우에는 헤드중심의 방수량은 매우 작고, 반사판에 의하여 멀리 퍼지는 것을 볼 수 있으며 방출압력이 증가할수록 헤드 바로 밑의 방수량이 커져서 전체적으로 균일하게 분포하는 것을 알 수 있다. Fig. 5(c)는 속도형 헤드 C의 살수분포로서 헤드중심부근에서의 방수량이 크고 거의 전부를 차지하며 멀리 퍼지지 않는 분포를 갖는다. 그 이유는 속도형 헤드 C의 반사판이 평면이고, 직경이 24mm로서 표준형 36mm에 비하여 작은데 기인하는 것으로 생각된다. Fig. 5(d)는 속도형 헤드 D의 살수분포로서 헤드중심부근에서의 방수량은 속도형 헤드 C에 비하여 표준형과 유사한 분포를 보인다. 그 이유는 속도형 헤드 D의 반사판의 직경이 26mm 원추형으로 반사판의 형태에 기인하는 것으로 생각된다.

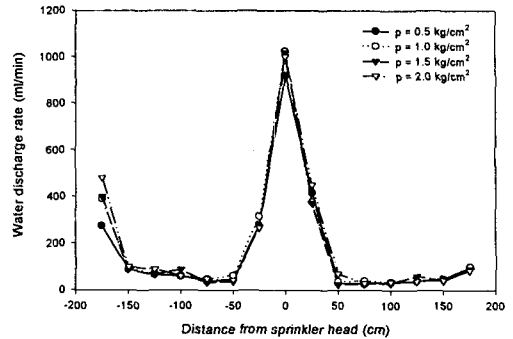
### 6. 침투밀도(Actual Delivered Density) 시험

침투밀도(ADD)란 스프링클러로부터 분사된 물 중에서 화염을 통과하여 연소중인 가연물 상단에 도달한 양을 가연물 상단 표면적으로 나눈 값으로, 스프링클러의 소화성능을 나타내는 중요한 요소이다. 필요진화밀도(Required Delivered Density: RDD)는 화재를 진화하는데 필요한 최소 물의 양을 가연물 상단의 표면적으로 나눈 값이다<sup>5,11)</sup>. 화재초기에 조기진화를 위해서는 진화에 필요한 물의 양보다 더 많은 양의 물을 화염에 침투시켜야 한다. 이를 위해서는 스프링클러의 침투밀도가 가연물의 필요진화밀도보다 커야 한다.

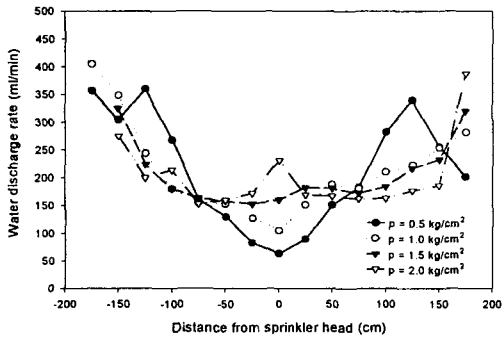
Fig. 6은 FMRC에서 제안한 실험장치와 유사하게 채수통을 제작하고 heptane의 발열량과 연소특성이 유사한 LPG를 사용한 침투밀도를 측정하는 실험장치<sup>11)</sup>로서 25cm×25cm의 채수통 25개와 4개의 화염분사장치를 결합시킨 것으로, 분사압력을 변화시켜 화염의 방출열유속을 변화시켜 각각의 방출열유속에 대하여 스프링클러로부



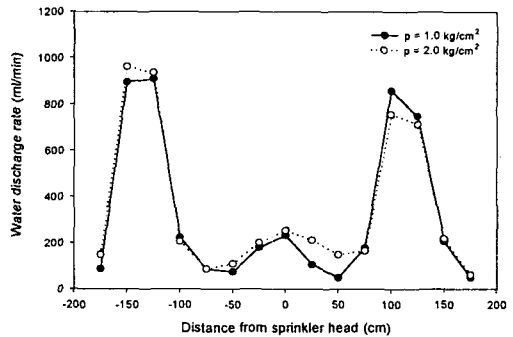
(a) standard A



(c) quick C



(b) standard B



(d) quick D

Fig. 5 Distribution water discharge rate

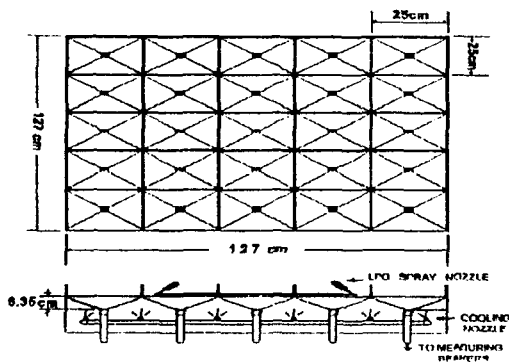


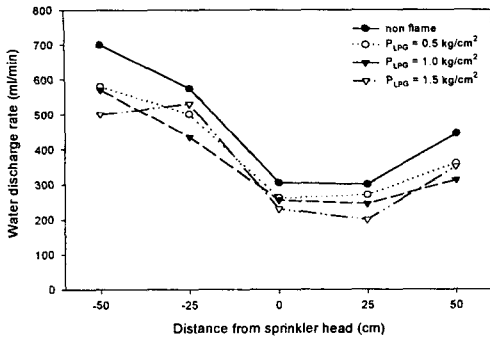
Fig. 6 Schematic view of the ADD apparatus

터 분사된 물방울이 화염을 침투하여 채수통에 얼마만큼 채집되는지를 측정한다.

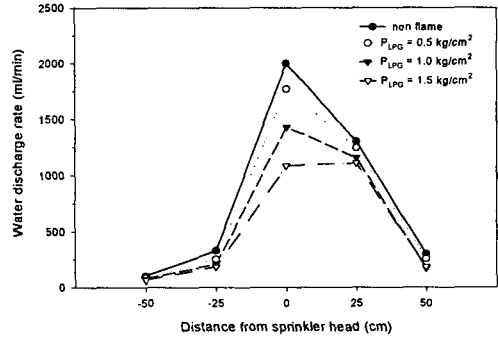
Fig. 7은 채수통을 중심에서 x축을 따라 화염이 없는 경우와 가스방출압력을 변화시켜 화염을

발생시킨 경우의 방수량을 측정된 것이다. Fig. 7(a)에서 화염이 없는 경우보다 화염이 있는 경우에 방수량이 적어지는 것을 볼 수 있으며 LPG압력이 작은 경우 화염이 중심부까지 도달하지 않아 중심에서의 방수량이 크나, LPG압력이 증가할수록 헤드 중심부까지 화염이 접근하여 중심부의 방수량이 작아지는 것을 알 수 있다. 그럼에서 Fig. 5의 살수분포와 달라지는 것은 헤드중심이 채수통과 헤드와의 직하거리의 높이차이(약 20cm)와 헤드의 설치방향에 따라 반사판의 위치 변화에 기인하는 것으로 생각된다. Fig. 7(b)는 표준형 헤드 B의 방수량으로 표준형 헤드 A와 달리 중심부에서 방수량이 적고 중심부에서 방수량이 증가하는 분포를 보인다. 속도형 헤드 C는 방수량이 중심부에 집중되고, 속도형 헤드 D는 표준형 A와 유사한 경향을 보인다.

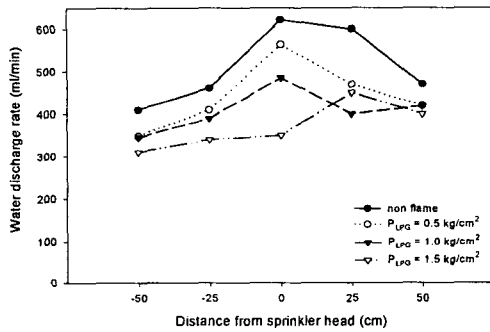




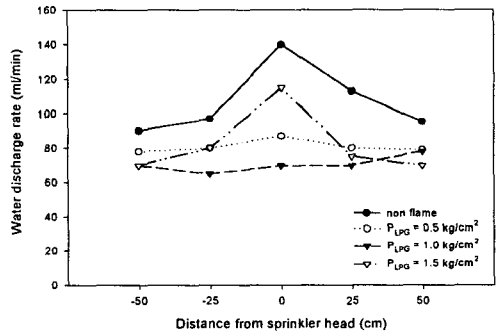
(a) standard A



(c) quick C



(b) standard B



(d) quick D

Fig. 7 Water discharge rate along x-axis at water discharge pressure=2.0kg/cm<sup>2</sup>

Fig. 8은 방출열량별 침투밀도 시험결과로서 방출열량은 다음의 중·고압 가스배관의 유량산출 공식으로 계산하여 추정하였다. 이때 LPG의 발열량은 24,000Kcal/m<sup>3</sup>로 계산하였다.

$$Q = K \sqrt{\left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{SL} \right)} \dots\dots\dots (6)$$

여기서, Q는 발열량, K는 상수, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>는 압력, S는 가스의 비중, L은 관 길이 이다. 그림에서 발열량이 증가할수록 침투밀도가 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 표준형 헤드 B는 표준형 헤드A 보다 침투밀도가 현저히 작고 5mm/min 이하로 일반적인 화재에서 요구하는 필요 진화밀도가 5mm/min 이하로 소화성능이 작다. 실제로 7절의 실제화재소화시험에서 소화가 안 되는 경우도 있었다.

속동형 헤드 C는 주거용이나 침투밀도가 매우 커서 표준형과 유사한데 반하여 속도형 헤드

D는 침투밀도가 값이 매우 낮아 소화성능이 양호하지 못함을 알 수 있다.

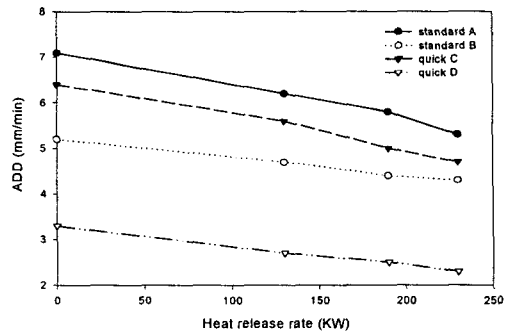


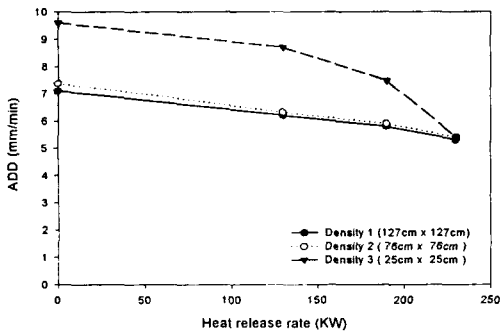
Fig. 8 ADD vs heat release rate

Fig. 9(a), (b), (c), (d)는 각각의 헤드에 대하여 채수통의 밀도를 달리하여 평균한 값으로 Density 1은 채수통 25개를 전부 평균한 침투밀

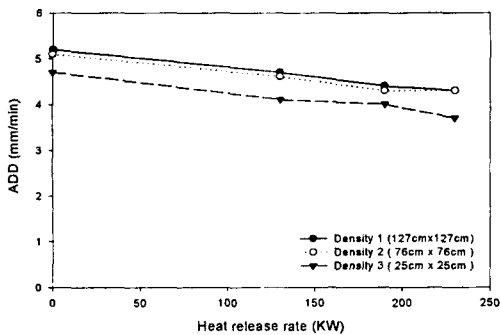
도이고, Density 2는 중심부의 채수통 9개를 평균한 값이고, Density 3은 채수통 중심부 1개의 값이다. (a)는 Density 3인 경우 중심부에서 침투밀도가 매우 크고, Density 1과 Density 2는 별 차이가 없음을 알 수 있다. (b)는 표준형 A와 달리 중심부의 침투밀도가 더 낮게 측정되었다. (c)는 표준형 A와 유사하게 중심부에서 침투밀도가 높은 것을 알 수 있고, (d)는 중심부의 침투밀도가 낮음을 알 수 있다.

### 7. 실제 화재소화실험

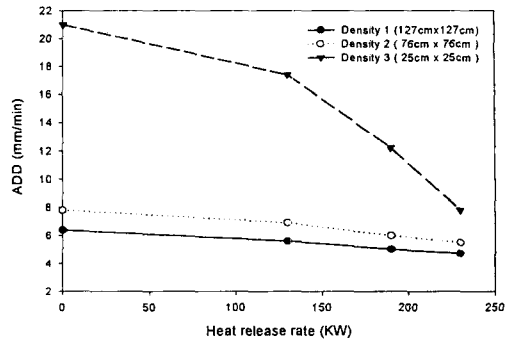
실제 화재소화실험을 하기 위하여 길이 4.5m, 폭 3.2m, 높이 2.6m의 내화벽돌 및 철판구조물의 화재실험실에서 헤드를 설치하고 목재(wood cribs)를 연료로 사용하여 화재실내 연기층의 온도변화와 헤드의 작동온도 및 작동시간을 측정하였다. 화재방출열량은 화재시 목재의 질량감소율에 목재의 발열량을 4500kcal/kg으로 하여



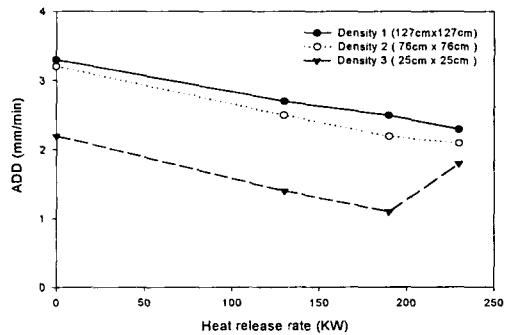
(a) standard A



(b) standard B



(c) quick C



(d) quick D

Fig. 9 ADD vs heat release rate for the density

계산하였다. 표준형 A헤드에서는 층별 개수와 층수를 변화시켰다. 작동시간은 점화 후 목재의 하단 전반에 걸쳐 화염이 전파되었을 때 점화에 사용된 메틸알콜을 제거시켰을 때부터 헤드가 작동할 때까지의 시간이고, 소화시간은 헤드가 작동한 후부터 화염이 완전히 소멸할 때까지의 시간이다. 실내 연기층의 온도변화는 천장으로 부터 일정거리(15cm 간격)로 열전대를 이용하여 측정하였다.

Table 5은 표준형 A와 속동형 C의 실제 화재실험에서의 작동온도와 작동시간 및 소화시간 측정 결과이다. 표에서 5×5는 한 층에 5개씩 5층을 의미하고, 목재의 양이 같아도, 표준형 A와 속동형 C의 방출열량이 다른 것은 전술한 작동시간까지의 질량감소율이 다르기 때문이다.

표에서 속동형이 표준형보다 훨씬 빨리 작동하는 것을 볼 수 있고, 방출열량이 커질수록 표

Table 5 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

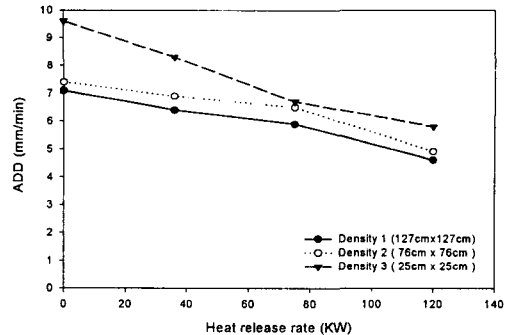
준형 및 속동형 모두 작동시간이 짧아진다. 작동온도는 속동형이 표준형보다 훨씬 낮은 온도에서 작동하며 표준형은 방출열량이 커질수록 작동온도가 증가하나 속동형은 거의 비슷한 온도에서 작동한다. 소화시간의 경우 속동형은 주거용으로 표준형보다 소화성능이 낮아 소화시간이 긴 것을 볼 수 있다. 방출열량이 커질수록 모두 소화시간이 증가하며 특히 표준형 A는 현저히 증가한다.

Fig. 10은 실제화재실험에서의 방출열량별 침투밀도로서, 그림중의 Density 1은 채수통 전체(5×5=25개), Density 2는 중심부 채수통(3×3=9개), Density 3은 중앙의 채수통 한 개에 대한 값이다. 6절의 침투밀도시험과 달리 화재가 헤드의 중심부에 위치하여 표준형 A와 속동형 C 모두 중심부(Density 3)의 침투밀도는 Fig. 9의 값보다 감소하는 것을 볼 수 있으며, 평균침투밀도(Density 1 및 Density 2)는 거의 같다. 또한 표준형 A와 속동형 C 모두 중심부의 침투밀도가 커서 소화가 잘 되었다.

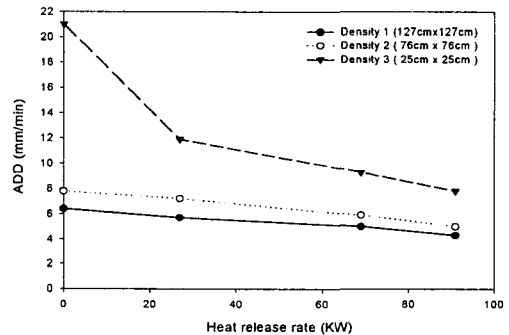
### 8. 결 과

본 연구에서는 국산 표준형 2종류와 외국산 속동형 2종류에 대하여 상승률시험과 플린지시험을 병행하여 반응시간지수(RTI)를 측정, 비교하고, 방수량 및 살수분포 시험, 침투밀도시험, 실제 화재실험에서의 작동시간 및 작동온도, 소화성능을 비교·분석한 결과 본 연구의 실험조건 하에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 전도열손실이 있는 헤드에 대한 최소작동기류온도, 상승률·플린지 및 공칭온도를 기준으로 한 반응시간지수를 구하였다.
- 2) 고온기류의 유동방향에 대한 프레임의 위치에



(a) standard A



(b) quick C

Fig. 10 ADD at wood cribs fire experiment

따라 작동시간, 반응시간지수, 최소작동기류온도가 다르며, 수직직교형태가 열전달이 커서 작동시간이 가장 짧고, 수평형태는 프레임의 열유동장해로 작동시간이 가장 길다.

- 3) 화재시 고온기류의 온도상승률과 유속으로 스프링클러헤드의 작동시간을 예측할 수 있는 간단한 계산식을 제시하였다.
- 4) 방출계수는 방출압력 변화에 무관하게 거의 일정하며, 표준형 및 속동형 전부 검정기준 내에 드는 것을 확인하였다. 살수분포는 표준형은 방출압력이 증가할수록 전체적으로 균일하게 분포하며 속동형은 중심부근에서 방수량이 큰 형태를 갖는다.
- 5) 소화성능을 나타내는 침투밀도를 측정하였으며, 침투밀도는 방출량이 증가할수록 선형적으로 감소하고, 표준형 A는 표준형 B보다, 속동형 C는 속동형 D보다 침투밀도가 커서

소화성능이 크다. 침투밀도 의 분포는 표준형 A와 속동형 C는 중심부에서 크고, 표준형 B와 속동형 D는 이와 달리 중심부에서 작다.

6) 실제 화재소화실험 결과 속동형은 표준형보다 헤드의 작동온도는 낮고, 작동시간은 빠르다. 소화시간은 방출열량이 커질수록 현저히 증가한다.

이 논문은 1997년도 한국소방안전협회의 연구비(과제번호 : S96U01)에 의하여 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 1) C.R. Theobald, "Thermal Response of Sprinklers Part I. FRS Heated Wind Tunnel", Fire Safety Journal, Vol.12, pp. 51~63, 1987.
- 2) 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.
- 3) Gunner Heskestad and Robert Bill, JR., "Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects", Fire Safety Journal, Vol.14, pp.113~125, 1988.
- 4) Heskestad, G. and, Smith, H.F., "Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test: The Plunge Test", FMRC 22485, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, December, 1976.
- 5) 권오승, "최신 스프링클러의 특성 및 적용", 소화용 스프링클러의 신기술 및 적용, 방재시험연구소, March, 1996.
- 6) 한국소방검정공사, 스프링클러 헤드의 검정 기술기준, 소방용기계기구등의 검정기술기준 KOFESO 501, pp.1~12, December, 1989.
- 7) 이병곤, 태순호, "용융형 스프링클러 헤드의 응답 시간지수 및 작동시간에 관한 연구", 산업안전학회지, Vol. 6, No. 4, pp. 34~44, May, 1991.
- 8) P.F. Thorne, C.R. Theobald and S.J. Melinek, "The Thermal Performance of Sprinkler Heads", Fire Safety Journal, 14, pp. 89~99, 1988.
- 9) C.R. Theobald and Sarah A. Westley, "Factors Affecting the Sensitivity of Sprinkler", Fire Surveyor, pp.5~11, June, 1988.
- 10) 스프링클러 헤드의 성능시험기준, 한국소방검정공사, 1996.
- 11) Bill, R.G., Kung, H-C., Brown, W.R., Vincent, B.G., and Hill, E.E., "Predicting the Suppression Capability of Quick Response Sprinklers in a Light Hazard Scenario Part 2: Actual Delivered Density (ADD) Measurements and Full-Scale Tests", J. of Fire Prot. Engr., 3(3), pp.95~107, 1991.
- 12) William F. Albern, "Sprinklers in Multi-Family Residences", Heating, Piping, Air Conditioning, pp. 57~62, May, 1995.
- 13) C.R. Theobald, "FRS Ramp Test for The Thermal Sensitivity of Sprinkler", Journal of Fire Protection Engineer, 1(1), pp.89~99, 1989.