

차동식 열감지기의 작동온도와 작동시간

Operating Temperature and Time of Rate of Rise Heat Detector

류 호 철* · 이 병 곤**
Ho-Cheol Ryu · Byung-Kon Lee

ABSTRACT

Rate of rise heat detectors that respond to the heat generated in fire plume and alarm when the temperature reaches a specified point, give a great influences to the loss of life and property according to their reaction sensitivity.

In this study, simple equations were derived which can be predicted the response time and temperature of the rate of rise heat detector with the results of hot wind tunnel tests and compartment fire experiments.

기 호 설 명

c : 감열부의 비열(kJ/kg·℃)
m : 감열부의 질량(kg)
A : 감열부의 표면적
t : 시간(min)
T : 온도(℃)
T₍₀₎ : 초기주위온도(℃)
U : 기류속도(m/s)

β : 기류의 온도상승율(℃/min)

하 첨 자

e : 감열체
g : 기류
op : 작동시의 값

* 충북대학교 대학원 산업안전공학과

** 충북대학교 산업안전공학과

1. 서 론

차동식 열감지기는 화재시 발생하는 열이 정해진 온도상승률 이상이 되면 화재를 감지하여 경보를 발하는 것으로 건축물, 아파트, 공장 등에 가장 많이 사용되는 소방설비이다. 현재까지 사용된 차동식 열감지기의 대표적인 형식은 Fig. 1(a)와 같은 다이어프램형으로서, 화재시 감열실내의 공기가 팽창하여 다이어프램을 압박하면 접점이 닿아 수신기에 화재신호를 보낸다. 난방등에 의한 실내온도의 완만한 온도상승은 리크공의 작용으로 접점이 닿지 않게 되어 있다. 최근 시판되고 있는 Fig. 1(b)와 같은 반도체형은 중심부의 반도체센서(thermistor)가 열을 받으면 전류를 발생시켜 고감도 릴레이의 접점이 붙어 화재신호를 보낸다. 난방등에 의한 완만한 온도상승은 감지센서와 보상센서가 균형을 유지하여 신호를 발생하지 않는다.

열감지기는 실제 화재시 반응민감도에 따라 인명과 재산손실을 크게 줄일 수도 있고 반응이 늦은 경우 큰 손실을 가져온다.

열감지기에 대한 검정시험은 한국소방검정공사 등에서 검정규격에 의한 작동 및 부작동시험만을 시행하고 있으나, 미국, 영국 등에서는 열손실을 고려한 열평형식의 이론과 풍동실험을 통하여 반응민감도를 나타내는 응답시간지수를 도입하여 인증, 품질관리, 비교기준 및 빠른 응답의 속도형 개발에 응용하고 있다.¹⁾²⁾

국산 제품에서도 응답시간지수의 도입이 필수적으로 본 연구에서는 국산 다이어프램형 및 반도체형식의 차동식 스포트형 열감지기에 대하여 풍동실험 및 실제 화재실험을 통하여 응답시간지수, 작동시간, 작동온도 등에 대하여 연구하였다.

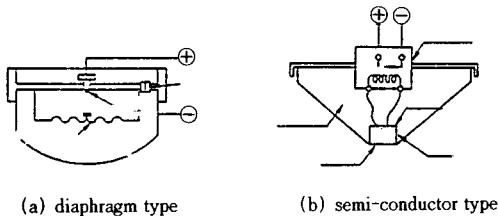


Fig. 1 Schematic view of rate of rise spot type heat detector

2. 이 론

2.1 열손실을 무시할 때의 열전달

열손실을 무시할 때의 스포트형 열감지기의 시간에 따른 온도상승은 감열부가 얇은 금속판으로 비정상 전도열전달의 집중열용량법으로 해석한다.^{2)~4)}

$$d(\Delta T_e)/dt = 1/\tau (\Delta T_g - \Delta T_e) \dots\dots (2.1)$$

$$\Delta T_e = T_e - T_{(0)}$$

$$\Delta T_g = T_g - T_{(0)}$$

$$\tau = mc/hA$$

τ 는 시간상수로 기류온도에 대한 감열체의 시간지연을 의미하며, 대류열전달계수(h)만의 함수이다. $\tau h = mc/A$ 로서 일정한 값을 갖는데, 강제대류에서 Nusselt수는 Reynold수와 Prandtl수의 함수로서, 일정한 값들을 제거하면

$$h \propto U^{1/2} \dots\dots\dots (2.2)$$

로서 $\tau U^{1/2}$ 은 일정한 값이 되며, 이를 응답시간지수(Response Time Index : RTI)라고 하며³⁾, RTI 값이 작을수록 응답이 빠르다.

2.2 열손실을 고려한 열전달

Theobald 등¹⁾²⁾은 감열부에서 본체(frame)로의 열손실이 작동시간에 상당한 영향을 주는 것을 확인하고 이를 고려한 열평형식과 일반해를 제시하였다.

$$mc \frac{d\Delta T_e}{dt} = hA(\Delta T_g - \Delta T_e) - h_f A_f (\Delta T_e - \Delta T_f) \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서, $h_f A_f$ 는 열전도 저항으로 대류열전달과 유사하게 표시한 것이다.

일정한 온도상승율에 대해 식(2.3)을 풀면, 작동시간은,

$$t_{op} = \frac{T_{EFF} - T_{g(0)}}{\beta} + \tau \dots\dots\dots (2.4)$$

T_{EFF} 는 최소작동기류온도로서 열감지기가 작동하는 최소의 기류온도로서 실험을 하여 구한다. 작동시 기류온도는,

$$T_{op} = T_{EFF} + \beta \tau \dots\dots\dots (2.5)$$

가 된다. 윗식에서 작동온도(T_{op})는 온도상승율(β)의 선형직선으로 표시되며, 그 기울기가 시간상수(τ), y축과의 교점이 최소작동기류온도(T_{EFF})가 된다.

식(2.4)에서 시간상수(τ)를 RTI로 바꾸어 표시하면,

$$t_{op} = \frac{T_{EFF} - T_{g(0)}}{\beta} + \frac{RTI}{U^{1/2}} \dots\dots\dots (2.6)$$

가 된다. 윗식에서 최소작동기류온도(T_{EFF})와 시간상수(τ)는 한 종류의 감지기에서, 한 형태의 실험조건에서는 일정한 값으로, 실험에서 τ , T_{EFF} 를 구하고 온도상승율(β)을 알면, 작동시간(t_{op})을 예측할 수 있다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 풍동실험

풍동실험은 Fig. 2와 같은 강판제의 heater (3kw)가 부착된 순환식 풍동에서 행하며 온도 상승율은 progr ammable temperature controller를 사용하여 자동으로 제어한다. heater에서 가열된 고온기류는 D. C. motor로 작동되는 송풍기에 의해 밀폐된 duct내에서 유동하고 감지기가 위치하는 시험부를 통과한 후, 상부의 duct를 통하여 순환된다. honeycomb은 시험부에서 균일한 유속을 얻기 위해 사용한다.

실험은 유속을 1m/s로 하고, 온도상승은 초기 주위온도에서 30°C까지는 5°C/min로 상승시키며 30°C에서 5분간 유지시킨 후, 정온식 감지기는 온도상승율을 2°C/min에서 25°C/min까지 변화시키고, 차동식감지기는 온도상승율을 10°C/min에서 30°C/min까지 변화시켜서 실험한다. 기류에 대한 열감지기의 방향은 화재가 열감지기의 바로 밑에서 발생하는 수직기류(flue type)의 경우와, 열감지기에서 비교적 멀리 떨어져서 화재가 발생하여 수평

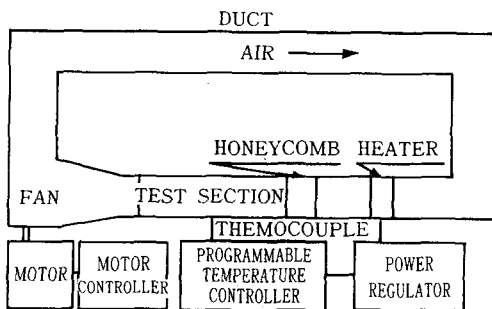


Fig. 2 Schematic view of heated wind tunnel

방향(layer type)으로 열기류가 유동하는 경우가 있어 수평방향과 수직방향으로 나누어 실험하였다.

3.2 화재실험

Fig. 3은 폭 3.2m, 길이 4.5m, 높이 2.6m의 내화벽돌 및 철판구조물의 실제규모의 화재실험실의 개략도이다. 화재실험실의 천정에 열감지기를 설치하고, 열전대를 감지기 주위에 설치한다.

실험은 2.7cm×2.7cm×30cm인 목재를 1층에 6개씩 4~8층으로 쌓은 wood crib형태로 연소시켜, 시간에 따른 온도변화율과 감지기의 작동온도를 측정하며, 작동시간은 소량의 알콜로 점화할때부터의 시간을 측정한다.

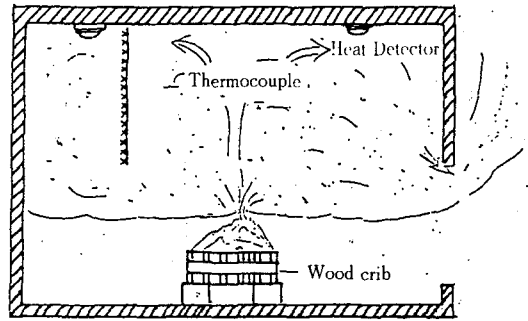


Fig. 3 Schematic diagram of compartment

4. 결과 및 고찰

4.1 차동식 열감지기의 검정기준

차동식 2종 열감지기의 검정기준은, 3°C/min이하의 상승율시험에서 15분 이내에 작동하지 않아야 하고, 15°C/min 이상의 상승율시험에서 4.5분 이내에 작동하여야 한다. 본 연구에서 사용한 차동식 2종 열감지기에 대한 15°C/min이상의 상승율시험에서 다이아프램형은 평균 0.54분, 반도체형은 0.5분에 작동하였고, 3°C/min 이하의 상승율시험에서는 다이아프램형 및 반도체형 모두 작동하지 않아서 검정기준에 적합하였다.

4.2 다이아프램형 차동식 열감지기

4.2.1 풍동실험

Fig. 4의 실선은 수평기류 풍동실험에서의 온도

상승율에 대한 작동온도로써 최소작동기류온도는 51.3°C, 시간상수는 0.35분임을 알 수 있고, RTI 값은 유속이 1m/s이므로 21이다. 점선은 수직기류 풍동실험결과로서, 최소작동기류온도 47.5°C, 시간상수 0.32분, RTI는 19이다.

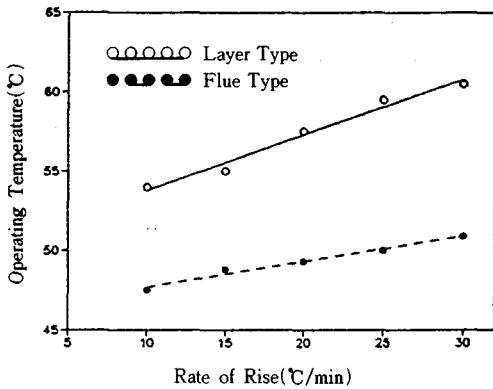


Fig. 4 Determination of effective operating temperature and time constant of the layer and flue type for the rate of rise type heat detector (diaphragm type) in wind tunnel test

따라서, 수평기류와 수직기류를 산술평균한 최소 작동기류온도(T_{EFF})는 49°C, 시간상수(τ)는 0.34분이며, RTI는 20이다. 식(2.5), (2.6)에 의하여 작동온도(T_{op})와 작동시간(t_{op})은 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$T_{op} = 0.25\beta + 49(°C) \dots\dots\dots (4.1)$$

$$t_{op} = \frac{18}{\beta} + \frac{0.25}{U/I} (\text{min}) \dots\dots\dots (4.2)$$

식(4.1), (4.2)에서 온도상승율(β)과 유속(U)을 알면, 화재시 다이아프램형 열감지기의 작동시간과 작동온도를 예측할 수 있다.

Fig. 5는 풍동실험에서의 수평기류와 수직기류의 작동시간을 비교한 것이다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 정온식 감지기의 경우와는 달리⁵⁾ 수직기류가 수평기류보다 작동온도도 낮고, 작동시간도 짧으며, 민감도를 나타내는 RTI값도 작아서 응답이 빠르다. 그 이유는 정온식감지기의 감열부가 중심부에만 위치하는데 반하여, 다이아프램형 차동식 열감지기의 감열부는 직경이 크고 높이가 작은 원통형으로 원통에 수직한 수직기류가 측면으로 전달되는 수평기류보다 열전달 표면적이 커서 대류열전달이 증가하는 때문이다.

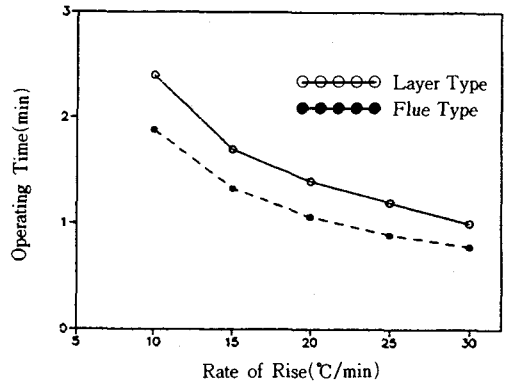


Fig. 5 Comparison of operating time of layer and flue type for the rate of rise type heat detector (diaphragm type) in wind tunnel test

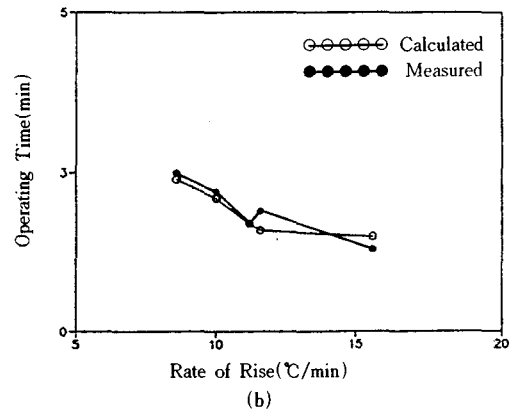
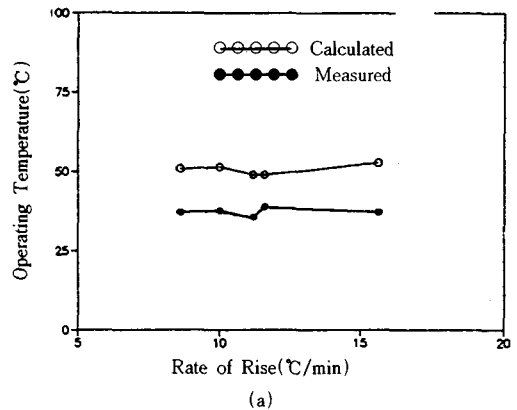


Fig. 6 Comparison of calculated and measured operating temperature and time in compartment fire experiment

4.2.2. 화재실험

3.2절의 화재실험에서 열감지기의 실제 작동시간 및 작동온도를 측정하여 제안식의 적합성을 검토하였다. Fig. 6은 식(4.1)(4.2)의 제안식으로 계산한 작동시간 및 작동온도와 실제 화재실험에서 측정한 값을 비교한 것이다.

실제 화재에서의 온도상승율을 점화할 때부터 감지기가 작동할 때까지 2~20°C/min으로 일정하지 않아 제안식의 계산시 온도상승율은 매 실험에서의 평균값을 사용하였으며, 유속은 실험에서의 평균값 0.6m/s를 사용하였다.

Fig. 6(a)에서, 제안식의 작동온도는 측정값보다 10°C 정도 크게 예측되었는데, 그것은 온도상승율이 일정하지 않아 평균값을 사용한 것과 목재의 수분함유율에 따른 온도상승의 차이등 실험시의 오차등에 기인한다.

Fig. 6(b)에서 제안식의 작동시간은 측정값과 유사하게 예측되어, 제안식은 실제 화재에서도 이러한 오차범위내에서 작동온도와 작동시간을 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

4.3 반도체형 차동식 열감지기

4.2.1 풍동실험

Fig. 7의 실선을 수평기류 풍동실험결과로서 최소작동기류온도는 43°C, 시간상수는 0.29분, RTI 값은 17이다. 점선은 수직기류 풍동실험결과로서

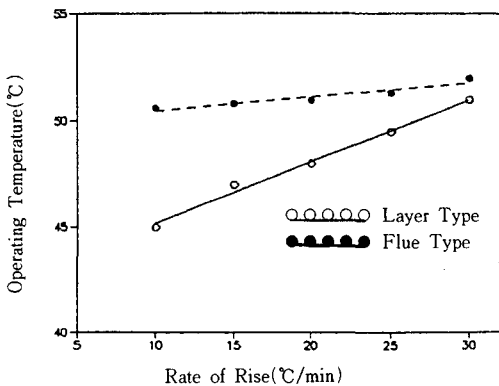


Fig. 7 Determination of effective operating temperature and time constant of the layer and flue type for the rate of rise type heat detector (semi-conductor type) in wind tunnel test

최소작동기류온도는 50°C, 시간상수는 0.32분, RTI는 19이다.

수평기류와 수직기류를 산술평균한 최소작동기류온도는 47°C, 시간상수는 0.3분이며, RTI는 18이다. 작동온도와 작동시간은 다음 식으로 표시된다.

$$T_{op} = 0.3\beta + 47(°C) \dots\dots\dots (4.3)$$

$$t_{op} = \frac{16}{\beta} + \frac{0.3}{U^{1/2}} (\text{min}) \dots\dots\dots (4.4)$$

Fig. 8은 풍동실험에서의 수평기류와 수직기류의 작동시간을 비교한 것이다.

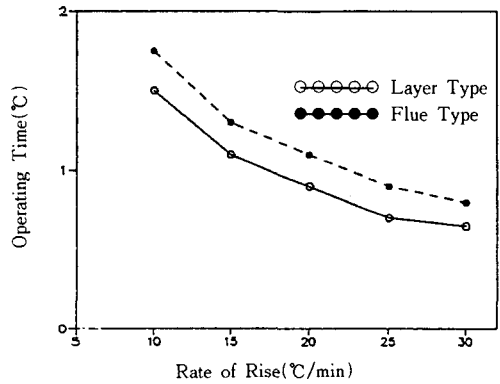


Fig. 8 Comparison of operating time of layer and flue type for the rate of rise type heat detector (semi-conductor type) in wind tunnel test

Fig. 7과 Fig. 8에서 수직기류가 수평기류보다 작동온도도 높고, 작동시간도 길다. 이것은 4.1절의 다이어프램형과는 반대이며, 정온식 열감지기의 경우와 같다⁵⁾.

그 이유는, 반도체형의 감열부는 정온식 열감지기의 경우와 같이 중심부에만 위치하여, 수직기류에서는 기류가 감지기에 부딪혀서 감지기 바깥쪽으로 유동하여 중심부에서는 유동이 정체되어 속도가 작아지며 따라서 대류열전달이 감소하기 때문이다.

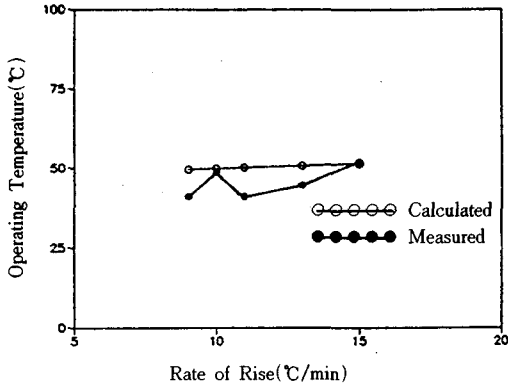
4.2.2 화재실험

Fig. 9는 평균 온도상승율과 평균유속을 사용하여 식 (4.3)(4.4)의 제안식으로 계산한 반도체형의 작동시간 및 작동온도를 실제의 화재실험결과와 비교한 것이다.

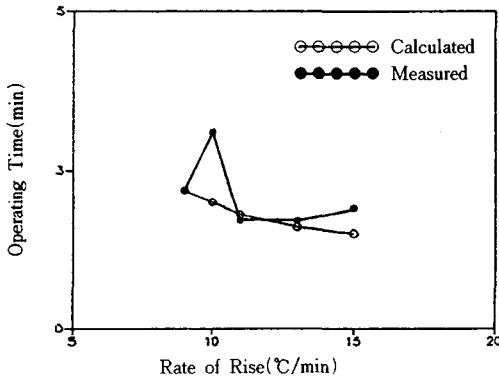
Fig. 9(a)에서, 제안식의 작동온도는 측정값과

같거나 다소 크게 예측된다.

Fig. 9(b)에서, 제안식의 작동시간은 편차가 있으나 측정값과 유사하게 예측되어 실제 화재에서도 실용적으로 사용할 수 있다.



(a)



(b)

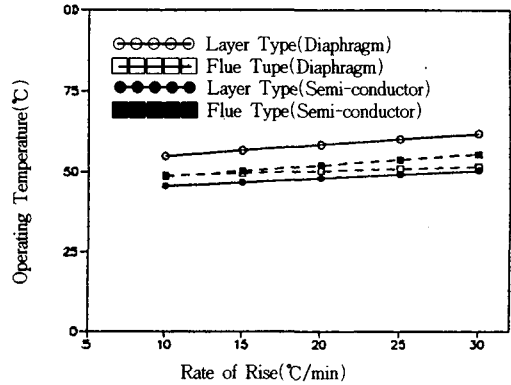
Fig. 9 Comparison of calculated and measured values of operating temperature and time in compartment fire experiment

4.4 다이아프램형과 반도체형의 비교

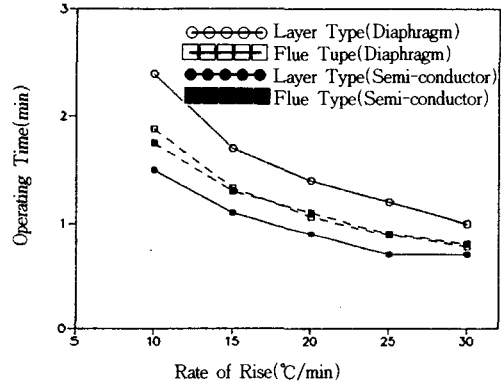
Fig. 10은 풍동실험의 수평기류와 수직기류에 대한 다이아프램형과 반도체형의 작동시간과 작동온도를 비교한 것으로, 수직기류에서는 작동온도와 작동시간이 비슷하나 수평기류에서는 반도체형이 다이아프램형보다 작동온도가 낮고 작동시간도 짧다.

Table 1은 다이아프램형과 반도체형의 응답시간 지수(RTI)를 비교한 것으로, 수직기류에서는 같으

나 수평기류에서는 반도체형이 다이아프램형보다 작아서 평균적으로 반도체형이 다이아프램형보다 응답이 빠르며 더 민감하다.



(a)



(b)

Fig. 10 Comparison of diaphragm and semi-conductor type operating temperature and time in wind tunnel test

Table 1 Comparison of RTI of diaphragm and semi-conductor type

	Layer Type	Flue Type	Mean
Diaphragm Type	21	19	20
Semi-Conductor	17	19	18

5. 결 론

국산 다이아프램형과 반도체형 차동식 열감지기에 대한 풍동실험과 화재실험을 통하여 본 실험조

건하에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 사용한 다이아프램형과 반도체형 차동식 열감지기의 작동시간과 작동온도를 예측할 수 있는 식을 제안하였다.
- 2) 반도체형이 다이아프램형보다 응답이 빠르며 더 민감하다.
- 3) 다이아프램형에서는 수평기류보다 수직기류에서, 반도체형에서는 수직기류보다 수평기류에서 작동온도가 낮고 작동시간도 짧아 응답이 빠르다.

본 연구는 한국과학재단의 1993년 핵심전문연구비(No. 931-1000-031-1) 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) C. R. Theobald, S. A. Westley and S. Whitbread, Thermal Response of Sprinklers Part I. Characteristics and Test Methods, Fire Safety Journal, Vol.13, No. pp. 99~114, May.1988.
- 2) P. F. Thorne, C. R. Theobald and S. J. Melinek, The Thermal Performance of Sprinkler Heads, Fire Safety Journal, Vol.14, No. pp. 89~99, May.1988.
- 3) 이병곤, 태순호, 용융형 스프링클러 헤드의 응답 시간지수 및 작동시간에 관한 연구, 산업안전학회지, Vol. 6, No. 4, pp. 34~44, May.1991.
- 4) G. Heskestad, H. F. Smith, Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test : The Plunge Test, FMRC 22485, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, 1976.
- 5) 류호철, 태순호, 이병곤, 정온식 열감지기의 응답 시간지수 및 작동시간, 한국소방학회지, Vol. 7, No.1, pp. 11~16, May.1993.