

반응시간지수(Response Time Index)를 이용한 국내 화재감지기 등급분류에 관한 연구

홍성호[†] · 김동석 · 최기옥

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원
(2017. 3. 6. 접수 / 2017. 3. 16. 수정 / 2017. 4. 12. 채택)

A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index

Sung Ho Hong[†] · Dong Suck Kim · Ki Ok Choi

Fire Insurers Laboratories of Korea
(Received March 6, 2017 / Revised March 16, 2017 / Accepted April 12, 2017)

Abstract : This paper presents classification of domestic fire detector using response time index. Response time is measured using fire detector distributed in Korea, and the response time index is estimated. Plunge test prescribed by FM is conducted to measure response time of fire detector. The detector used to test is fixed temperature type(thermistor and bimetal type) and rate of rise temperature type(thermistor and pneumatic type). The nominal operation temperature of fixed temperature type detector is 70°C and rate of rise temperature is 15°C/min. The fixed temperature type is measured 7 products, and the rate of rise temperature type is measured 5 products. The results show that in case of fixed temperature type(thermistor) is classified “Quick” or “Standard” and fixed temperature type(bimetal) is not classified. The rate of rise temperature type(thermistor) is classified “Fast” or “Ultra Fast” and the rate of rise temperature type(pneumatic) is classified “Very Fast” or “Ultra Fast”. The pneumatic type shows more fast response than thermistor type. Also these results indicate the fixed temperature type(bimetal) is not suitable for early stage fire detection.

Key Words : detector, RTI, response

1. 서론

화재감지기는 화재로부터 발생하는 화재징후인 열, 연기 및 불꽃 등을 감지하여 화재발생을 조기에 관계자에게 경보하고 건물 내의 불특정 다수에게 경보하여 피난을 유도함과 동시에 소화설비와 연동하여 화재의 조기 진압이 가능하도록 하기 위한 기기이다. 이 화재감지기는 감지하는 화재로부터 발생하는 화재징후를 감지하는 것에 열감지기, 연기감지기 및 불꽃감지기 등으로 구분한다.

이 중에서 열감지기는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 화재감지기이다. 열감지기는 실내의 온도상승율, 즉, 온도상승속도가 일정값 이상을 초과했을 때 동작 되도록 만들어진 차동식(Rate of rise temperature type)과 감지기의 주위온도가 일정한 온도 이상이 되면, 즉,

공칭작동온도에 도달하면 작동하도록 만들어진 정온식(Fixed temperature type)으로 구분된다^{1,2)}.

감지기의 열적 민감도를 나타내는 반응시간지수(Response time index, RTI)는 감열부 근처의 비선형적인 전도 열손실로 인하여 기류온도 및 유속에 따라 넓은 범위의 값을 갖는 한계를 갖고 있지만 열적 민감도를 정량적으로 표현할 수 있는 가장 유효한 변수로 인식되고 있다^{3,4)}.

화재현상을 그대로 재연하여 실험하는 것은 많은 비용과 장소의 제약이 있기 때문에 화재시뮬레이션을 통하여 화재현상을 분석하고 있다. 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 화재시뮬레이션 Tool은 미국 NIST에서 개발한 FDS(Fire dynamics simulator)이다. 이 FDS는 세계적으로 가장 많이 사용되고 있지만 미국에서 개발된 Tool이기 때문에 해외 감지기의 물성값을 기본으로

[†] Corresponding Author : Sung Ho Hong, Tel : +82-31-887-6672, E-mail : hsho@kfpa.or.kr
Fire Insurers Laboratories of Korea, 1030 Gyeongchung-daero, Ganam-eup, Yeosu-si, Gyeonggi-do, Korea, 12661

하고 있다. 이러한 기본 입력 물성값 등의 차이는 화재 감지기를 비롯한 국내 소방용품의 특성을 그대로 반영하지 못한 시뮬레이션 결과의 차이를 보일 수 있다. 국내에서 발생하는 화재위험성을 정확하게 분석하기 위해서는 국내 실정에 부합하는 기초 물성 데이터가 필요하지만 이에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 유통되고 있는 정온식과 차동식 열감지기를 이용하여 반응시간을 측정하고 반응시간지수를 계산하였고, 이를 통하여 민감도에 따른 국내 열감지기의 등급분류와 함께 감도특성을 비교분석하였다.

2. RTI 계산 이론 및 등급분류 기준

2.1 RTI 계산이론⁵⁻⁸⁾

감지기 반응시간지수는 시간상수 τ 로 표현된다. Heskestad와 Smith는 특정 감지기 소자로 이동하는 대류 열전달을 설명하기 위해 감지기의 질량, 면적 및 비열의 함수인 시간상수를 사용할 것을 제안하였다.

$$\tau = \frac{mc}{hA} \quad [s] \quad (1)$$

여기에서

- m : 감지기 소자 질량 [g]
- c : 감지기 소자의 비열 [kJ/kg · °C]
- h : 대류열전달계수
- A : 가열대상면적 [m²]

감지소자의 질량이 증가하면 τ 도 함께 증가하고, τ 가 커지면 해당 소자의 가열속도가 느려진다. 대류열전달계수 h 는 감지기 소자를 통과해 흐르는 기체의 속도 및 감지기 소자의 형태에 대한 함수이다. 주어진 감지기에 대해 기체 속도가 일정하다면 h 도 일정하다. 주어진 감지기에 대해 h 및 τ 는 감지기를 통과하는 기체속도의 제곱근에 근사적으로 비례한다. 특정 감지기에 대해 시간상수 τ 와 기류속도 v 를 이용하여 반응시간지수(RTI)를 표현할 수 있다.

$$RTI = \sqrt{\tau v} \quad (2)$$

Heskestad와 Smith는 FMRC에서 시험장치를 개발해 스프링클러헤드의 RTI를 구했다. 플런지 시험(Plunge test)이라 불리는 이 시험은 플런지 터널(Plunge tunnel)이라는 장치를 이용하여 고온가스의 유동 속도로 스프링클러 헤드를 갑자기 집어 넣는다. 해당 기체의 온도

및 속도는 알고 있으며 시험 중 일정하다. 이 때 감지기 온도변화에 대한 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{T_g - T_d}{\tau} \quad (3)$$

여기에서

- T_g : 감지기 가열 기류 온도 [°C]
- T_d : 시간 t 에서의 감지기 온도 [°C]

시험을 수행하는 동안 기류 온도는 일정하므로 식 (3)은 식 (4)와 같이 유도된다.

$$T_d - T_0 = (T_g - T_0)[1 - \exp(\frac{-t}{\tau})] \quad (4)$$

여기에서

- T_0 : $t=0$ 일 때 감지기의 주위온도 또는 초기 온도 [°C]
- 식 (4)를 정리하면 식 (5)와 같다.

$$\tau = \frac{t}{\ln[(T_g - T_0)/(T_g - T_d)]} \quad (5)$$

플런지 시험에서 해당 감지기의 반응시간 t_s 를 측정함으로써 시험속도 v 에서 τ_0 를 계산할 수 있다. 이 계산은 T_d 및 t 를 감지기 반응온도[°C] 및 반응시간[s]으로 치환하여 수행할 수 있다.

감지기의 감도는 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$\tau_0(at v_0) = \frac{t_s}{\ln[(T_g - T_0)/(T_g - T_s)]} \quad (6)$$

이 방정식을 반응시간지수로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$RTI = \frac{t_s \sqrt{v}}{\ln[(T_g - T_0)/(T_g - T_s)]} \quad (7)$$

정온식 열감지기의 RTI는 플런지 시험을 통해 감지기의 반응시간을 측정하고, 식 (7)을 이용하여 계산할 수 있다.

FM 3210에는 차동식 열감지기의 RTI를 계산하는 수 정된 RTI 계산식이 규정되어 있다. 차동식 열감지기의 RTI 계산은 식 (8)과 같다.

$$RTI = t \sqrt{v} \quad (8)$$

$$t = \frac{-t_s}{\ln(1 - \frac{R_d}{R_p})} \quad (9)$$

여기에서

t_s : 감지기 반응시간 (s)

v : Plunge tunnel 공기속도 (m/s)

R_d : 감지기 온도상승률 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)

R_p : 플런지 터널(Plunge tunnel) 온도상승률 설정값 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)

2.2 감지기 등급분류 기준

본 연구에서는 국내 화재감지기에 대하여 플런지 시험을 통해 반응시간을 측정하고, RTI를 계산한 다음 등급분류를 하였다. 등급분류 기준은 FM 3210⁹⁾에서 규정하고 있는 등급분류 기준을 인용하였다. Table 1은 FM 3210에서 규정하고 있는 RTI에 따른 화재감지기 등급분류를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 정온식 열감지기의 경우 공칭작동온도가 70 $^{\circ}\text{C}$ 이므로 FM에서 규정하고 있는 71 $^{\circ}\text{C}$ 의 등급분류 기준을 인용하여 국내 화재감지기의 등급을 분류하였다.

Table 1. Classification of detector by FM Global

Detector	RTI [(m · s) ^{1/2}]	Classification
Fixed temperature type(71 $^{\circ}\text{C}$)	< 66	Standard
	< 22	Quick
	< 2	Fast
Rate of rise temperature type(71 $^{\circ}\text{C}$)	< 520	Quick
	< 220	Fast
	< 145	Very Fast
	< 120	Ultra Fast

3. 실험장치 및 방법

실험은 FM Global에서 규정하고 있는 플런지 터널(Plunge tunnel)이라는 장치를 이용하여 수행되었다. Fig. 1은 플런지 터널 장치 모습을 나타낸 것으로 실험



Fig. 1. Plunge tunnel(FM Global).

조건을 인가한 다음 플런지 터널 상부에 감지기를 넣은 다음 감지기 반응시간을 측정하였다.

정온식 열감지기의 반응시간을 측정하기 위한 플런지 터널 실험조건은 다음과 같다.

- 플런지 터널 공기 속도 : 1.6 m/s
- 플런지 터널 기류 온도 : 201 $^{\circ}\text{C}$
- 초기온도 : 21 $^{\circ}\text{C}$
- 감지기 공칭작동온도 : 70 $^{\circ}\text{C}$

차동식 열감지기 반응시간을 측정하기 위한 플런지 터널 실험조건은 다음과 같다.

- 플런지 터널 공기 속도 : 1.5 m/s
- 플런지 터널 온도상승률 : 25 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
- 감지기 온도상승률 : 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

실험에 사용된 화재감지기는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 감지기를 선정하였다. 국내에서는 정온식 열감지기의 경우 특종 및 1종, 공칭작동온도 70 $^{\circ}\text{C}$ 의 화재감지기가 주로 사용되고 있고, 차동식 열감지기의 경우 2종, 온도상승률 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 화재감지기 주로 사용되고 있다. 열을 감지하는 방식에 따라 정온식 열감지기는 써미스터(Thermistor)를 이용한 반도체식과 바이메탈(Bimetal)을 이용한 방식이 주로 사용되고 있다. 그리고, 차동식 열감지기는 마찬가지로 써미스터(Thermistor)를 이용한 반도체식과 공기식 또는 다이어프램(diaphragm)식이라는 방식의 화재감지기가 주로 사용되고 있다. Table 2는 실험에 사용된 감지기의 사양에 대한 요약을 나타낸 것이다.

Table 2. Description of Experiment detector

Fixed temperature type	Temperature rating	70 $^{\circ}\text{C}$
	Detection type	Thermistor Bimetal
Rate of rise temperature type	Rate of rise temperature	15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
	Detection type	Thermistor Pneumatic

실험에 사용된 감지기 제조업체는 가장 많이 사용되는 제조업체의 생산품을 선정하였다. 정온식 열감지기의 경우 총 7개업체의 제품으로써 반도체식 4개업체(특종 2개업체, 1종 2개업체), 바이메탈식 3개업체이고, 차동식 열감지기의 경우 총 5개업체 제품으로써 반도체식 3개업체, 공기식(다이어프램) 2개업체이다. 이들 업체의 제품을 편의상 정온식 열감지기는 A, B, C, D, E, F, G로, 차동식 열감지기는 A', B', C', D', E'로

Table 3. Specification of detector

Fixed temperature type		Rate of rise temperature type	
Manufacturer (Fixed type)	Specification	Manufacturer (Rate of rise type)	Specification
A	Thermistor, Special class	A'	Thermistor, 2 class
B	Thermistor, Special class	B'	Thermistor, 2 class
C	Thermistor, 1 class	C'	Thermistor, 2 class
D	Thermistor, 1 class	D'	Diaphragm, 2 class
E	Bimetal, 1 class	E'	Diaphragm, 2 class
F	Bimetal, 1 class	-	-
G	Bimetal, 1 class	-	-

명명하였다. Table 3은 각 제조업체 제품별 감지방식과 종별을 나타낸 것이다. 이와 같은 제조업체의 제품 각 5개씩의 실험체를 가지고 플런지 터널 장치를 이용하여 반응시간을 측정하고 반응시간지수를 계산하였다.

4. 결과 및 분석

Table 4는 정온식 열감지기 실험체 5개에 대한 RTI값을 나타낸 것이다. 정온식 열감지기 RTI의 경우 반도체식 특종인 감지기가 반응시간이 빠르고 RTI값도 낮게 나타났다. 바이메탈식의 경우 반응시간이 매우 느려서 RTI값도 높게 나타났다. 따라서 정온식 열감지기는 조기 화재감지 측면만을 고려한다면, 반도체식 감지기가 보다 적절할 것으로 사료된다.

Table 4. RTI(Fixed temperature type)

Sample no.	A	B	C	D	E	F	G
1	12	8	16	28	701	147	263
2	12	8	20	24	454	171	215
3	12	8	20	24	613	167	199
4	12	8	16	24	490	155	231
5	12	8	16	24	573	179	227

Table 5는 차동식 열감지기 실험체 5개에 대한 RTI값을 나타낸 것이다. 차동식 열감지기 RTI의 경우 반도체식보다 기계식인 공기식(다이어프램식) 감지기의 RTI가 더 낮게 나타난 것을 볼 수 있다.

정온식 및 차동식 열감지기 실험체 5개에 대한 평균값을 이용하여 RTI값을 비교하면 Fig. 2 ~ Fig. 5와 같

Table 5. RTI(Rate of rise temperature type)

Sample no.	A'	B'	C'	D'	E'
1	258	194	86	126	90
2	213	176	72	126	150
3	206	194	90	178	104
4	178	203	74	122	119
5	170	192	78	103	100

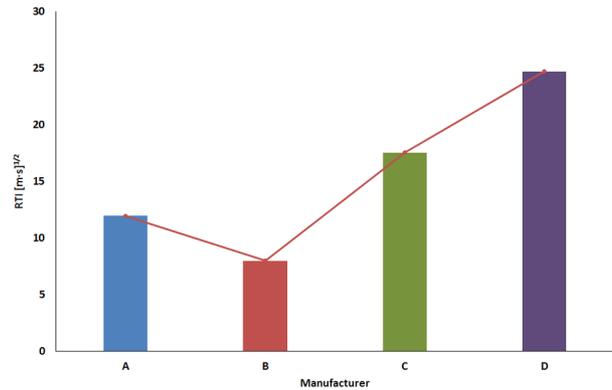


Fig. 2. Comparison of RTI for Fixed type detector (Thermistor).

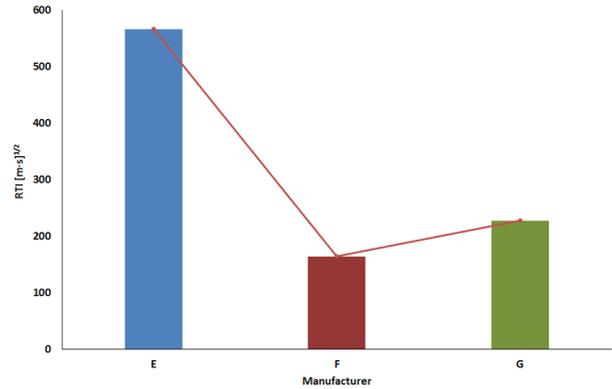


Fig. 3. Comparison of RTI for Fixed type detector (Bimetal).

이 나타난다. Fig. 2는 정온식 열감지기 중 반도체식에 대한 RTI를 나타낸 것으로 1종보다 특종의 RTI값이 더 낮은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 정온식 열감지기 중 바이메탈식의 RTI값을 나타낸 것으로 같은 바이메탈식이라 하더라도 RTI값이 매우 다르게 나타난 것을 확인할 수 있다. 정온식 열감지기의 바이메탈식이 이와 같이 높은 RTI값을 나타낸 것은 플런지 시험은 수평기류에 따라 반응시간이 결정되는 것이기 때문에 감지기에 수평으로 바이메탈이 설치되는 바이메탈식의 특성상 수평기류를 빠르게 감지하지 못한 이유인 것으로 분석된다.

Fig. 4는 차동식 열감지기 반도체식의 RTI값을 나타낸 것으로 같은 반도체식이라도 제조사별로 RTI값이

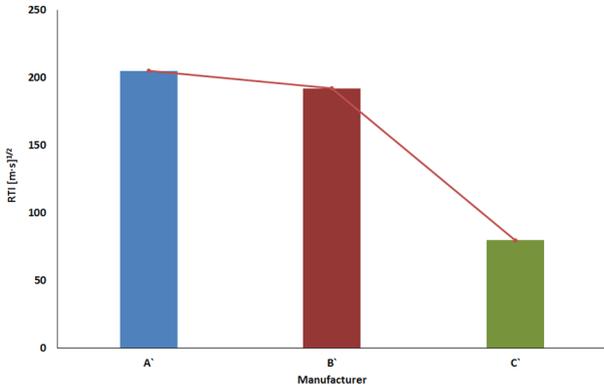


Fig. 4. Comparison of RTI for rate of rise type detector (Thermistor).

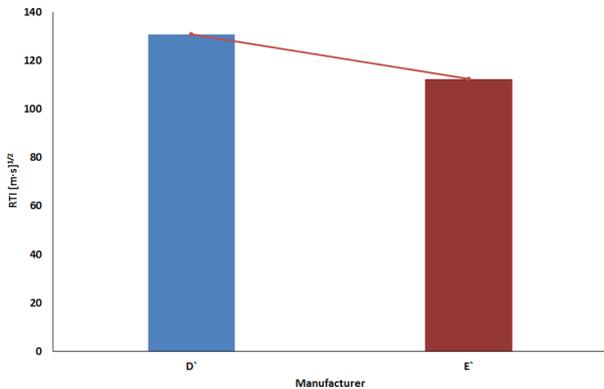


Fig. 5. Comparison of RTI for rate of rise type detector (Pneumatic).

다소 상이한 것을 볼 수 있다. Fig. 5는 차동식 열감지기 공기식(다이아프램식)의 RTI를 나타낸 것으로 유사하게 값이 나타난 것을 볼 수 있다.

이러한 RTI값을 이용하여 국내 화재감지기의 등급을 분류하면 Table 6과 같이 나타난다. Table 6에서 보듯이 정온식 열감지기 바이메탈식의 경우 RTI값이 너무 높아 등급이 분류되지 않는 것을 알 수 있다. 이는 정온식 열감지기 바이메탈식의 경우 조기 감지가 필요한 장소에는 설치하는 것이 바람직하지 않는 것을 보여준다. 통상 정온식은 주위온도 상승으로 인한 비화재보 우려가 있는 보일러실 등과 같은 장소에 설치가 권장된다. 본 연구의 실험결과에 따라서도 정온식 열감지기 바이메탈식은 주위 열에 의한 비화재보 우려가 있는 장소에 설치하는 것을 정량적으로 확인할 수 있다. 차동식 열감지기의 경우 등급이 매우 빠른 등급인 것을 볼 수 있다. 차동식의 경우 반도체식보다 일종의 기계방식인 공기식이 더 빠른 등급을 나타냈다. 특히, C'와 E' 제조업체 생산품의 경우 Ultra Fast의 등급으로 나타나 매우 빠른 등급을 보이고 있다. 따라서 이러한 감지기들은 열감지를 보다 빠르게 하여 화재를 초기에 감지하기 위한 장소에 적절할 것으로 사료된다.

Table 6. Classification of detector

Manufacturer (Fixed type)	Classification	Manufacturer (Rate of rise type)	Classification
A	Quick	A'	Quick
B	Quick	B'	Fast
C	Quick	C'	Ultra Fast
D	Standard	D'	Very Fast
E	N-class	E'	Ultra Fast
F	N-class	-	-
G	N-class	-	-

5. 결론 및 고찰

본 논문은 국내 여러 제조업체에서 생산된 화재감지기를 가지고 RTI를 분석한 연구이다. RTI값을 계산하기 위하여 플런지 시험을 이용하여 각 화재감지기의 반응시간을 측정하였고, 이를 이용하여 RTI값을 계산하였다. 그 결과 본 연구의 실험조건하에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 정온식 열감지기의 경우 반도체식 특종의 RTI값은 15 이하, 반도체식 1종은 30이하이었고, 등급은 Quick 또는 Standard로 나타났다. 바이메탈식은 반응시간이 느려 등급이 분류되지 않는 것으로 나타났다.

나. 차동식 열감지기의 경우 반도체식의 등급은 Fast 또는 Ultra Fast로 나타났고, 공기식의 등급은 Very Fast 또는 Ultra Fast로 나타나 매우 빠른 응답특성을 보였다.

다. 화재감지기 RTI값과 등급분류를 통하여 빠른 화재감지를 요하는 장소에는 정온식 열감지기 바이메탈식은 사용할 수 없고, 차동식 열감지기를 적용해야 하는 것으로 나타났다.

향후, 화재감지기 설치 및 설계나 화재 시뮬레이션 등에 본 연구의 정량적인 데이터가 크게 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글: 본 연구는 국민안전처 소방안전 및 119 구조구급기술연구개발사업(MPSS-소방안전-2015-67)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Richard W. Bukowski and Robert J. OLughlin, Fire Alarm Signaling Systems Handbook, NFPA, pp.2-4, 1993.
- D. H. Baek, Fire Fighting Electrical Facility Theory, Dongilbook Pub. 2011.
- C. H. Hwang etc., "Measurement of the Device Properties

- of Fixed Temperature Heat Detectors for the Fire Modeling”, Fire Sci. Eng., Vol. 28, No.1, pp. 37-43, 2014.
- 4) D. T. Gottuk and A. T. Pomeroy, “Heat Detector RTI -New Developments”, Fire Suppression and Detection Research and Applications - A Technical Working Conference, Orlando, Florida, 2011.
 - 5) NFPA, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition, pp. 4-5, 2008.
 - 6) G. Heskestad and H. Smith, FMRC Serial Number 22485, Factory Mutual Research Corp., Norwood, MA, 1976.
 - 7) J. P. Hollman, Heat Transfer, Mcgraw-Hill, Newyork, 1976.
 - 8) W. Bissel, “An Investigation into the Use of the Factory Mutual Plunge Tunnel and the Resultin RTI for Fixed Temperature Fire Detectors”, Master’s Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 1988.
 - 9) FM 3210, Approval Standard for Heat Detectors for Automatic Fire Alarm Signaling, 2007.