금속-절연체 전이 임계온도센서를 이용한 보상식 화재 감지기 개발

정순규[†] · 김현탁

한국전자통신연구원 MIT창의연구센터

Development of Compensation-Type Fire Detector Using Metal-Insulator-Transition Critical-Temperature Sensor

Sun-Kyu Jung[†] · Hyun-Tak Kim

Creative Research Center of Metal-Insulator Transition, ETRI

(Received November 29, 2013; Revised December 27, 2013; Accepted February 14, 2014)

요 약

보상식 화재 감지기는 일정한 온도 상승률 이상으로 빠르게 상승하는 경우에 작동하는 차동식 화재 감지기의 기능과 정온점에 이르렀을 때 작동하는 정온식 화재 감지기의 기능을 모두 가진 감지기다. 이 화재 감지기는 정온점 이하에서 발생하는 화재를 감지하지 못하는 정온식 화재 감지기의 단점과 불꽃없이 천천히 타는 현상과 같이 천천히 열이 증가하는 화재를 감지하지 못하는 차동식 화재 감지기의 단점을 보완하기 위해 개발된다. 이것을 위해 우리는 이 감지기의 센서로 금속-절연체 전이 임계온도센서를 이용했는데 이 센서의 감도를 결정하는 저항온도계수가 55 °C일 때 14.15%로써, 서미스터(약 0.5%)보다 큰 값이다. 이 센서는 하나의 센서가 정온점 이하에서는 차동 기능, 정온점 이상에서는 정온 기능을 모두 가진다.

ABSTRACT

A Compensation-type fire detector (CFD) is operated with two functions of a differential-temperature detector and as a fixed-temperature detector. The differential-temperature detector observes a rate of temperature increase, and the fixed-temperature detector measures a given fixed temperature. The differential-temperature detector does not observe the outbreak of fire in slowly increasing temperature conditions, whereas the fixed-temperature detector is not able to observe the outbreak of fire in conditions under predetermined temperature level. We developed a CFD to compensate for weaknesses of both detectors. To compensate for the disadvantages, a sensor of the sensor metal-insulator-transition critical-temperature sensor was used. Temperature coefficient of resistance is the sensitivity for sensor. At 55 °C, temperature coefficient of resistance of metal-insulator-transition critical-temperature sensor was 14.15%. Temperature coefficient of resistance of thermistor was about 0.5%. This CFD was operated as two ways that fixed-temperature detector and differential-temperature detector in one sensor.

Keywords : Metal-insulator transition, Critical-temperature sensor, Compensation, Fire detector

1. 서 론

건물 안에서 화재가 발생했을 때 적절히 대처하지 못하는 이유는 주로 화재를 초기에 진압하지 못하기 때문이다. 초기에 화재를 진압하기 위한 방법으로 건물 내에 화재 감지기를 설치하고 있다⁽¹⁾.

화재를 빨리 감지하여 진압하기 위해 화재 감지기의 개발은 계속 되고 있지만 화재가 계속하여 발생하는 이유는 각종 화재 감지기에는 다음과 같은 허점이 존재하기 때문이다. 차동식 화재 감지기는 화재가 발생했을 때 주변온도

가 1종의 경우 10 °C/min 이상, 2종의 경우 15 °C/min 이상 상승하여야 감지하는데 그렇게 되면 불꽃없이 천천히 타는 현상과 같이 10 °C/min 미만으로 천천히 열이 증가하는 화재의 경우는 감지하지 못한다. 정온식 화재 감지기는 화재가 발생했을 때 주변 온도가 정온점에 도달해야 작동하게 되는데 주변온도가 정온점에 도달하게 됐을 때 이미 시간이 지연되어 큰 화재로 번져있을 가능성이 크다. 그래서 이 두 화재 감지기의 단점을 보완한 보상식 화재 감지기가 개발되고 있다.

보상식 화재 감지기는 차동식 화재 감지기의 기능과 정

[†]Corresponding Author, E-Mail: skjung@etri.re.kr
TEL: +82-42-860-6019, FAX: +82-42-860-6311

온식 화재 감지기의 기능을 모두 가진 화재 감지기다. 현재 국내에는 형식승인 받은 보상식 화재 감지기가 없는 것으로 알려져 있으며 그나마 해외에서 상용화 된 보상식 화재 감지기도 각각 차동 기능과 정온 기능을 하는 두 개의 NTC 서미스터를 센서로 이용하고 있다. 그래서 하나의 센서를 이용한 보상식 화재 감지기를 개발하게 되었다. 이 감지기에 이용된 임계온도센서는 NTC 서미스터보다 초기 저항이 크기 때문에 기존의 NTC 서미스터를 이용한 감지기들에 비해 누설전류가 적을 뿐만 아니라 저항온도계수가 크기 때문에 감도도 좋다.

본 논문에서는 금속-절연체 전이^(2,3) 임계온도센서 하나로 차동식 화재 감지기의 기능과 정온식 화재 감지기의 두 기능을 모두 가지는 보상식 화재 감지기에 대한 내용을 기술하고자 한다.

2. 임계온도센서(CTS)

2.1 CTS (Critical-Temperature Sensor)

임계온도센서(CTS)는 절연체가 열을 받으면 저항이 급격하게 감소하여 금속으로 변하는 금속-절연체 전이(MIT) 현상을 이용한다. 이 임계온도센서는 금속-절연체 전이 물질인 이산화바나듐(VO_2)으로 만들었고 주변 온도가 임계온도에 도달하면 금속으로 전이를 시작하는데 이 특성을 보상식 화재 감지기에 이용한다.

Figure 1의 (a)는 본 보상식 화재 감지기에 이용된 임계온도센서의 온도에 따른 저항 변화를 20°C 부터 85°C 까지 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 씩 증가시키며 측정한 그래프로써 센서의 감도를 알 수 있는 저항온도계수를 구하기 위해 온도에 따른 저항을 측정했다. (b)는 (주)모브릭[†]에서 제조된 임계온도센서다. 본 감지기의 경우 정온점인 58°C 이하에서는 차동식으로 작동하고 58°C 에 도달하면 정온식으로 작동한

Figure 1. (a) Temperature dependence of resistance for CTS. (b) CTS.

[†](주)모브릭: (www.mobrik.co.kr).

다. 그리고 임계온도센서는 임계온도에 도달하면 자동적으로 전이가 되며, 온도가 다시 내려간다 하더라도 자체 발열로 전이된 작동상태를 지속한다.

2.2 임계온도센서의 저항온도계수

대다수 화재 감지기에는 NTC 서미스터가 센서로 이용되고 있다. NTC 서미스터는 임계온도센서와 같이 온도가 증가하면 저항이 감소하는 특성을 가지고 있다. 임계온도센서의 경우 초기저항이 크지만 NTC 서미스터의 경우 임계온도센서에 비해 초기저항이 작다. 초기저항이 작다는 것은 그만큼 누설전류가 크다는 것을 의미한다.

Figure 2의 (a)는 본 보상식 화재 감지기에 이용된 임계온도센서의 차동식 영역을 측정한 그래프이고, (b)는 차동식 영역의 임계온도센서 저항온도계수(TCR)⁽⁴⁾ 그래프로써 저항온도계수는 저항값이 온도에 따라 변하는 비율을 뜻한다. $\text{TCR} = (1/R)(dR/dT) \times 100$ 으로 알 수 있는데 파란색 선은 저항온도계수의 값으로 이 기울기가 크면 클수록 그만큼 센서의 감도가 좋다. 이 임계온도센서는 20°C 일 때 $\text{TCR} = 4.29\%$, 55°C 일 때 $\text{TCR} = 14.15\%$ 다. (b)의 파란색 선 위에 측정된 값은 데이터의 편차 때문이다. 서미스터의 저항온도계수는 $20^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 일 때 0.5% 이하 값을 가지며 저항온도계수의 변화 폭이 거의 없다. 서미스터의 저항온도계수 그래프는 데이터의 편차가 커서 보여주지 않는다.

Figure 2. (a) Temperature dependence of resistance for CTS in differential range. (b) TCR for CTS; $\text{TCR} = (1/R)(dR/dT) \times 100$.

Figure 3. Diagram for Compensation-type fire detector.

Figure 4. PCB for Compensation-type fire detector.

Figure 5. Compensation-type fire detector using CTS.

2.3 임계온도센서가 이용된 보상식 화재 감지기

Figure 3은 임계온도센서가 이용된 보상식 화재 감지기의 간단한 구조도다. MCU의 경우 MicroChip사의 PIC16LF1823를 이용했으며 전원이 공급된 MCU가 센서와 경보장치를 제어한다. Figure 4는 임계온도센서를 이용한 보상식 화재 감지기의 PCB이며 Figure 5는 자체 제작한 완성품이다. 이 보상식 화재 감지기는 화재를 감지했을 때 경보를 울리며 LED를 발광하는 기능을 가졌다.

Figure 6. Test equipment for stair increase. (a) Test equipment external view. (b) Test equipment top view. (c) Principle for operation.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시험항목

보상식 화재 감지기의 경우 Table 1의 소방방재청고시 제2012-17호 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준⁽⁵⁾ 제 17조(보상식 스포트형 감지기의 정온점의 구분 및 감도 시험)에 적합해야 한다. 감지기의 시험은 계단상승, 직선상승, 정온점 시험으로 나뉘며 감도에 따라 1종과 2종으로 나뉜다. 본 보상식 화재 감지기로 1종과 2종 시험을 모두 진행했으며 1종과 2종 기준에 모두 합격했다(1종이 감도가 더 좋다.).

3.2 계단상승 작동시험

Figure 6의 (a)는 소방방재청고시 제2012-17호 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 적합하도록 제작된 계단상승 시험장비이며, (b)는 위에서 본 장비의 모습이다. (c)는 장비의 작동원리다. 계단상승 작동시험의 경우 감지기의 형식승인 기준에 적합하도록 Heater를 가열시키고 Fan의 풍속을 설정하여 수직기류를 만들어준다. 시험에 필

Table 1. Classification for Fixed-Temperature Point and Sensitivity Test for Compensation Spot-Type Detector

Classification	Operation test						
	Stair increase			Linear increase		Fixed-temperature point	
Grade 1	20 °C	70 cm/s	30 s	10 °C/min	4.5 min	60 °C to 150 °C	
Grade 2	30 °C	85 cm/s		15 °C/min			
Classification	Non-Operation test						
	Stair increase			Linear increase			
Grade 1	10 °C		50 cm/s		1 min	2 °C/min	10 min
Grade 2	15 °C		60 cm/s			3 °C/min	

요한 풍속과 온도는 시험장비와 연결된 Controller에 의해 제어되었으며 이 환경에 감지기를 투입하여 작동하는 시간을 확인해야한다. 계단상승 작동시험은 1종의 경우 실온보다 20 °C 높은 온도에서 풍속 70 cm/s의 수직기류에 투입하여 30초 내에 작동해야 하며, 2종의 경우에는 실온보다 30 °C 높은 온도에서 풍속 85 cm/s의 수직기류에 투입하여 30초 내에 작동하여야 한다. 본 보상식 화재 감지기는 실온 22 °C 환경에서 1종의 경우 42 °C, 풍속 70 cm/s의 수직기류에 투입한 두 차례의 시험에서 12초, 10초 후에 작동했고, 2종의 경우 52 °C, 풍속 85 cm/s의 수직기류에 투입한 두 차례의 시험에서 6.5초, 6.3초 후에 작동했다. 1종과 2종 모두 형식승인 기준인 30초 내에 작동했다.

3.3 직선상승 작동시험

Figure 7의 (a)와 (b)는 소방방재청고시 제2012-17호 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준에 적합하도록 제작된 직선상승 시험장비이며, (c)는 장비의 작동원리다. 직선상승 작동시험의 경우 감지기의 형식승인 기준에 적합하도록 Heater를 가열시켜 직선 비율로 상승하는 수평기류를 만들어준다. 시험에 필요한 풍속과 온도는 시험장비와 연결된 Controller에 의해 제어되었으며 이 환경에 감지기를 투입하여 작동하는 시간을 확인해야한다. 직선상승 작동시험은 1종은 실온으로부터 10 °C/min, 2종은 실온으로부터 15 °C/min의 직선 비율로 상승하는 수평기류에 투입하여 4분 30초 이내에 작동하여야 한다. 실온 22 °C에서 진행한 시험에서 4분 30초가 되기 전에 1종과 2종 모두 정온점인 58 °C에 도달하여 작동했다.

3.4 정온점 작동시험

정온점 작동시험의 경우 Figure 7과 같이 감지기의 형식승인 기준에 적합하도록 Heater를 가열시키고 Fan의 풍속

을 설정하여 직선 비율로 상승하는 수평기류를 만들어준다. 이 환경에 감지기를 투입하여 작동하는 온도를 확인한다. 정온점은 60 °C~150 °C의 범위 내에 존재하며, 60 °C~80 °C 범위에서는 5 °C 간격으로, 80 °C를 초과하는 범위에서는 10 °C 간격으로 정온점을 설정해야 한다. 정온점 시험은 실온에서부터 1 °C/min의 직선비율로 상승하는 수평기류에 투입할 경우 정온점보다 10 °C 낮은 온도로부터 정온점보다 10 °C 높은 온도까지의 온도 범위 내에서 작동하여야 한다. 이 보상식 감지기의 경우 정온점이 60 °C이므로 50 °C~70 °C 범위에서 작동해야 하는데 시험 결과 58 °C에서 작동했다.

3.5 계단상승 부작동시험

계단상승 부작동시험의 경우 Figure 6의 계단상승 작동시험과 같은 원리로 형식승인 기준에 적합하도록 환경을 만들어주고 이 환경에 감지기를 투입하여 일정시간동안 작동하지 않는지를 확인한다. 1종은 실온보다 10 °C 높은 온도에서 풍속 50 cm/s인 수직기류에 투입하여 1분 이내에 작동하지 않아야 하며, 2종은 실온보다 15 °C 높은 온도에서 풍속 60 cm/s의 수직기류에 투입하여 1분 이내에 작동하지 않아야 한다. 실온 22 °C 환경에서 진행한 시험에서 1종은 32 °C, 풍속 50 cm/s 인 수직기류에 투입했고, 2종은 37 °C, 풍속 60 cm/s인 수직기류에 투입했는데 각각 정해진 시간인 1분 내에 작동하지 않았으며 시험의 정확성을 위해 2분경과 후까지 작동하지 않는 것을 확인한 후 시험을 종료했다.

3.6 직선상승 부작동시험

직선상승 부작동시험의 경우 Figure 7의 직선상승 작동시험과 같은 원리로 형식승인 기준에 적합하도록 환경을 만들어주고 이 환경에 감지기를 투입하여 일정시간동안 작동하지 않는지를 확인한다. 1종은 실온으로부터 2 °C/min, 2종은 실온으로부터 3 °C/min의 직선 비율로 상승하는 수평기류에 투입할 경우 정온점보다 10 °C 낮은 온도에 도달하지 않는 범위 내에서는 10분 이내에 작동하지 않아야 한다. 실온 21 °C 환경에서 진행한 시험은 2종 기준으로 51 °C까지 3 °C/min을 상승시켰을 때 작동하지 않았기 때문에 2종의 합격조건을 충족했다. 2종은 1종보다 합격조건이 까다로워 2종의 합격조건이 충족될 경우 1종의 합격조건도 당연히 충족된다.

4. 결 론

본 금속-절연체 전이 임계온도센서를 이용한 보상식 화재 감지기는 기존의 NTC 서미스터를 센서로 이용한 화재 감지기보다 저항온도계수가 크므로 감도가 좋다. 그리고 기존의 두 개의 센서를 가지는 보상식 화재 감지기와는 달리 하나의 센서가 두 기능을 가진다. 감지기의 감도에 따

Figure 7. Test equipment for Linear increase and Fixed-temperature point. (a) Test equipment inside view. (b) Test equipment external view. (c) Principle for operation.

라 1종과 2종으로 나뉘는데 이 보상식 화재 감지기는 1종과 2종 모두 형식승인 기준 시험을 통과했다. 정온점 이하에서 발생하는 화재를 감지하지 못하던 정온식 화재 감지기의 단점과 10 °C/min 미만으로 천천히 열이 증가하여 화재가 정온점 이상의 온도가 됐을 때도 감지하지 못했던 차동식 화재 감지기의 단점을 보완한 감지기이므로 화재 발생 시 초기에 화재를 감지하여 진압하는데 크게 기여할 것이라 생각된다.

후 기

본 연구는 한국전자통신연구원 MIT 창의연구 프로젝트에 의해 지원되었습니다.

References

1. Y. S. Lee, M. S. Kim, B. P. Hwang, H. S. Kim and Y. H. Song, "A Statistics and Study of Fire Cause by Electronics", Journal of Korean Institute of Fire Investigation, Vol. 10, No. 1, pp. 47-57 (2007).
2. H. T. Kim, B. J. Kim, Y. W. Lee, B. G. Chae, S. J. Yun and K. Y. Kang, "Hole-driven MIT theory, Mott transition in VO₂, MoBRiK device", Physica C, Vol. 460, No. 2, pp. 1076-1078 (2007).
3. B. J. Kim, Y. W. Lee, B. G. Chae, S. J. Yun, S. Y. Oh and H. T. Kim, "Temperature Dependence of the First-order Metal-Insulator Transition in VO₂ and Programmable Critical Temperature Sensor", Applied Physics Letters, Vol. 90, No. 2, p. 023515 (2007).
4. S. Y. Choi, B. J. Kim, Y. W. Lee, S. J. Yun and H. T. Kim, "Synthesis of VO₂ Nanowire and Observation of Metal-Insulator Transition", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 4, pp. 3296-3298 (2008).
5. National Emergency Management Agency, "Notification No. 2012-17 of the National Emergency Management Agency" (2012).
1. Y. S. Lee, M. S. Kim, B. P. Hwang, H. S. Kim and Y. H. Song, "A Statistics and Study of Fire Cause by Elec-