

## 초전형 적외선식 불꽃감지기의 감도특성 개선

(Improving Sensitivity of the Pyroelectric Infrared Flame Detector)

송현선\* · 이의용\*\*

(Hyun Seon Song · Yeu Yong Lee)

### Abstract

PZT ceramics, usually used pyroelectric materials exhibited a relatively highly Curie temperature( $T_c$ ) of 250–450°C and permittivity constant of 500–1600.

In this paper, the pyroelectric infrared detectors are applied two different types of pyroelectric materials, that is tetragonal crystal of ferroelectric  $PbTiO_3$  and rhombohedral crystal of  $Pb(Zr,Ti)O_3$ . PZT ceramics shows not only highly Curie temperature but also excellent pyro and piezoelectric properties at the Zr/Ti(=52/48) ratio. Therefore in this paper, the pyroelectric infrared detectors are applied PZT ceramics, and obtained sensitive sensing characteristics by experiment case studies.

Key Words : PZT Ceramics, Pyroelectric Infrared, Detector, Detecting Programming, Amplifying Circuit of PIR Signal, Microprocessor Control Circuit

### 1. 서 론

자연계에 존재하는 모든 물체는 그 온도에 따라서 적외선을 방출하며 온도가 높은 것은 파장이 짧은 적외선을, 온도가 낮은 것은 파장이 긴 적외선을 방출한다. 이것은 어떤 온도에서 최대의 온도복사를 하는 완전 복사체를 표시하는 플랑크 법칙으로 알 수 있으며, 반대로 적외선을 계측하면 대상의 온도를 측정할 수 있다.

적외선센서는 에너지를 흡수하면 물질의 온도가 변화하는 현상을 포착하는 열형과 광양자로서 광전효과를 이용하여 온도를 감지하는 양자형이 있다. 열형은 서로 다른 종류의 금속 접합부에서 온도차가 생기면 열에너지에 의한 활발한 전자의 운동으로 기전력이 발생하는 제벡 효과를 이용한 것이다. 이것은 비스무트(Bi)와 안티몬(Sb)처럼 서로 다른 두 가지의 금속선 또는 박막을 직렬로 접속하여 온도변화를 검출하는 열전쌍형(thermopile)이고, 다른 하나는 초전효과(pyroelectric effect)를 이용하는 초전형 센서이다. 초전효과는 강유전체의 결정에 열을 가하면 자발분극의 극성변화에 의해 결정의 양단에 기전력이 발생하는 현상을 의미하며, 이러한 특성을 나타내는 초전도체에는 삼황하글리신, 세라믹의 티탄산납( $PbTiO_3$ ), 지르콘 티탄산납( $PZT(PbZr_{1-x}Ti_xO_3)$ ), 탄탈산리튬( $LiTaO_3$ ),

\* Main author : SEMYUNG UNIVERSITY  
Department of Electrical Engineering, Professor  
\*\* Corresponding author : Chang Sung Ace Co.,Ltd,  
CEO  
Tel : 043-649-1303, Fax : 043-649-1774  
E-mail : hssong@semyung.ac.kr  
Received : 2015. 1. 12  
Accepted : 2015. 2. 10

플라스틱의 폴리플루오르화비닐(PVF2) 등이 있다[1].

압전 및 초전체로 널리 사용되고 있는 PZT계 세라믹스는 조성변화에 따라 큐리온도가 250~450°C로 서 비교적 높으며 비유전율도 500~1600 정도의 특성을 가지고 있으나 전기-기계 결합계수 값이 낮게 나타나는 단점이 있다[2]. 이러한 문제점에 대한 개선방안으로 본 연구에서는 PZT 세라믹스에 원소의 치환 및 불순물을 소량 첨가함에 따라 초전특성이 변화하는 성질을 활용하였다. 즉 정방정계(tetragonal)상을 갖는 강유전체인  $PbTiO_3$ 와 삼방정계(rhombohedral)상을 갖는 반강유전체인  $PbZrO_3$ 를 고용시킨  $Pb(Zr,Ti)O_3$  (이하 PZT) 세라믹스를 초전형 적외선 센서로 구성하였다. 이 PZT 세라믹스는 Zr/Ti의 비율을 변화시키면 압전특성도 변화하게 되며, 특정 조성비 Zr/Ti = 52/48 부근 조성에서 유전 및 압전 특성 값이 높게 나타나 감지기의 감도를 개선할 수 있다.

화재식별은 불꽃에서 나타나는  $CO_2$  공명방사와 명멸(flickering)현상을 기준 자료로 활용하였다. 화염의 불꽃은  $4.3\mu m$  부근에서 최대 분광에너지를 방사하고,  $CO_2$ 의 분자공명에 의한 플리커 주파수는 1~15Hz의 범위에서 집중적으로 나타나고 있다. 이 이산화탄소 공명방사와 명멸현상은 자연 화재만이 가지고 있는 고유 특성이다. 그러므로 본 연구의 초전형 적외선 불꽃감지기에서는 사파이어의 다층막으로 구성된 광학 필터를 통하여 입사된 파장  $4.3\mu m$ 이 감지되면 초전물체의 분극작용에 의해 전압이 발생하고, 이를 다단 증폭기로 증폭함으로써 화재감지가 용이하게 되었다. 또한 대역통과필터 회로를 통하여 불꽃의 호흡작용에 의해 흔들리는 다양한 주파수 성분 중 1~15Hz의 주파수가 감지되면 화재로 인식하도록 프로그램화함으로써 화재판별의 신뢰도를 제고하였다.

## 2. 초전형 적외선센서

### 2.1 초전효과 및 특성

초전효과는 그림1과 같이 재료의 온도가 변함에 따라 자발분극  $P_s$ 의 크기가 변하게 되고, 재료표면의 전기적 중화상태가 깨지면서 표면에 있던 전하가 밖으

로 흘러나오게 되는 현상이다. 자발분극은 큐리온도 ( $T_c$ ) 이하에서 외부 자기장의 도움 없이 재료 내에서 자발적으로 전기 쌍극자가 발생하는 현상이며, 물리적으로는 단위 쌍극자가 상호작용을 하여 쌍극자 자신을 정렬시킬 수 있는 내부 전기장을 형성하는 것을 의미한다. 전기쌍극자는 양전하와 음전하의 중심이 일치하지 않기 때문에 발생하는 것이며 이러한 쌍극자가 서로 상쇄되지 않는 구조로 배열되어 있으면 그 물질은 자발분극에 의한 전기적 극성을 갖게 된다. 모든 초전물질이 전기쌍극자를 가지고 있으나, 특히 쌍극자의 위치를 전기장으로 변화시킬 수 있는 물질을 강유전체라고 한다[3].

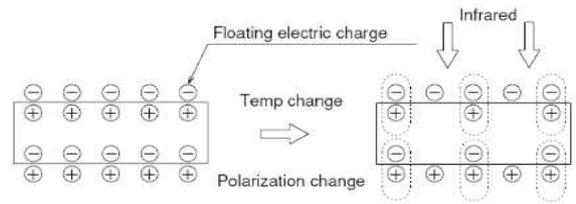


그림 1. 초전효과  
Fig. 1. Pyroelectric effect

초전체인 강유전체의 자발분극  $P_s$ 는 단위체적당 쌍극자 모멘트를 물질의 부피로 적분하면 된다. 그러므로 초전계수  $P$ 는 식 (1)과 같이 일정한 전기장에서 온도변화량( $\Delta T$ )에 따른 자발분극의 변화량( $\Delta P_s$ )으로 정의 된다.

$$P = \Delta P_s / \Delta T \tag{1}$$

초전계수는 방향성을 갖는 벡터량으로 초전체의 상, 하 표면에 전극을 형성하여 전류  $I_p$ 를 인출 할 경우에는 전극표면에 수직한 성분만 고려하면 된다. 이것은 마치 커패시터와 같은 동작 특성을 나타내므로 초전물질의 온도변화에 따라 발생하는 전하의 흐름인 전류  $I_p$ 는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$I_p = A \frac{\partial P}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2}$$

여기서  $A$  : 초전체의 전극면적,  $P$  : 초전계수,  $T$  :

초전물질의 온도이다.

이상적인 적외선 센서는 그림 2와 같이 초전물질의 상, 하면에 직교하는 전극을 갖는 커패시터(정전용량  $C_g$ 와 저항  $R_d$ )에 정전용량  $C_g$ 와 저항  $R_g$ 를 갖는 JFET 증폭기가 연결된 구조로 되어 있다[4].

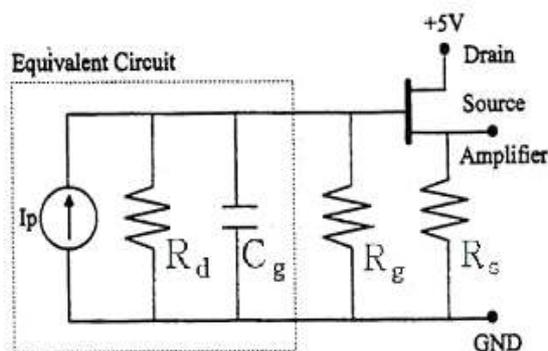


그림 2. 초전형 적외선 센서 등가회로  
Fig. 2. Equivalent electrical circuit of a pyroelectric infrared detector with an amplifier

이 센서에 주파수  $\omega$ 로 변조된 적외선, 즉 정현파의 적외선이 방사되면 초전소자에  $\Delta T(\omega, t)$ 의 온도변화가 생기고, 이것은 소자 내에 분극량의 변화  $\Delta P_s$ 에 초전효과를 발생시켜서 전극의 양단에 표면 전하  $\Delta Q$ 가 발생된다[3].

$$\Delta Q(\omega, t) = A\Delta P_s = PA\Delta T(\omega, t) \quad (3)$$

이 전하에 의해 발생하는 전압은 식 (4)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Delta V(\omega, t) &= \Delta Q(\omega, t) / C_d \\ &= \frac{P}{\epsilon_0 \epsilon_r} d \Delta T(\omega, t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서

$$C_d = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} : \text{초전물질의 정전용량이다.}$$

센서는 온도변화에 의한 자발분극의 변화로 표면 전하량의 차에 상당하는 전기신호를 감지한다. 센서의 특성을 나타내는 특성기준  $F_v$ 는 식 (5)와 같다.

$$F_v = \frac{P}{C^E \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (5)$$

$C^E$ : 열용량 (Volume specific heat)

그러나 실제 센서의 특성은 센서와 증폭기의 전기시정수에 의해 영향을 받는다. 초전체와 증폭기의 등가 저항  $R_t = (R_d + R_g) / R_d R_g$ ,  $\tau_{th} = C^E A d / G$  열시정수,  $\tau_c = R C_g$ 를 전기시정수라 하면 센서의 전압응답성  $R_v$  (Volt/Watt)는 복사광에너지의 실효값에 대한 감지기에 유기된 전압(실효값)의 비로서 식 (6)과 같이 된다[4].

$$R_v = \frac{\eta(\omega PAR_T / G)}{(1 + \omega^2 \tau_{th}^2)^{1/2} (1 + \omega^2 \tau_c^2)^{1/2}} \quad (6)$$

여기서

$\eta$ : 방사에너지의 열 변환률

$G$ : 열전도도

이상에서 초전소자를 검출회로로 구성할 때는 많은 인자들이 영향을 미치게 된다. 그러나 영향력이 미소한 비열 등의 인자들을 제외하고 초전소자에 의해서 발생하는 인자들, 즉 초전계수, 유전상수, 유전손실 등의 재료정수를 상대비교 할 수 있는 성능지수(Figures of Merit:  $FM$ )를 정의하면 식 (7)과 같다[3].

$$FM = \frac{P}{PC_g \sqrt{\epsilon_r \tan \delta}} \quad (7)$$

따라서 센서의 감도를 높이려면 열전도도, 유전률과 유전손실( $\tan \delta$ )을 최소화하고 초전계수와 커패시터 상부 금속 전극의 적외선 흡수율을 최대화 하면 된다.

이러한 재료로 각광을 받고 있으며, 현재 압전 및 초전체로 가장 대표적인 PZT계 세라믹스는 조성변화에 따라 퀴리온도가 250~450°C로서 비교적 높으며 비유전율도 500~1,600 정도로 양호하다. 뿐만 아니라 PZT 세라믹스는 원소의 치환 및 불순물을 소량 첨가함에 따라 매우 우수한 초전특성을 얻을 수 있다. 즉 상전이 온도가 높은 PZT 세라믹스에서 Zr/Ti의 비율

을 변화시키면 그림 3과 같은 특성이 나타난다. 특히 조성비 Zr/Ti = 52/48 부근의 조성에서는 유전 및 압전 특성 값이 높게 나타나고 있다. 이 조성을 상경계 조성(MPB : Morphotropic Phase Boundary)이라 하며, 이 영역에서 정방정계(tetragonal)상과 삼방정계(rhombohedral)상이 공존하면서 유전상수, 압전상수 및 전기-기계 결합계수가 매우 커지는 특성이 있으므로 본 연구에서는 정방정계상을 갖는 강유전체인

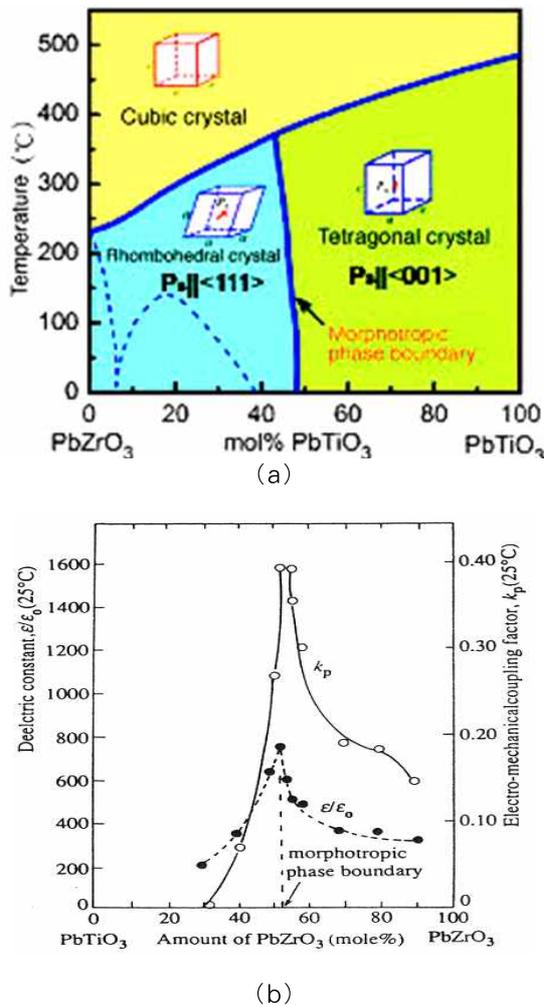


그림 3. PZT 세라믹스의 (a) MPB와 (b) 유전상수 및 커플링 인자의 조성 의존성  
 Fig. 3. (a) MPB and (b) Composition dependence of dielectric constant and coupling factor in PZT ceramics

PbTiO<sub>3</sub>와 삼방정계상을 갖는 반강유전체인 PbZrO<sub>3</sub>를 고용시킨 Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>(이하 PZT) 세라믹스를 초전형 적외선 센서로 적용하였다.

### 2.2 초전형 불꽃감지기의 검출 원리

초전형 불꽃감지기에서 검출하는 불꽃에는 고온물체에서 볼 수 없는 CO<sub>2</sub> 공명방사와 명멸현상 있다. 물질이 연소할 때 발생하는 CO<sub>2</sub>에 열 등의 에너지가 주어지면 안정된 에너지상태인 기저상태로부터 에너지가 높은 여기상태가 된다. 그러나 CO<sub>2</sub>는 항상 안정된 상태를 유지하기 위하여 에너지를 방출해 기저상태로 돌아가려고 한다. 이 과정은 여기상태의 CO<sub>2</sub>가 방출한 에너지를 기저상태에 있는 다른 CO<sub>2</sub>가 받아들여 여기상태가 되고, 또 그 여기상태의 CO<sub>2</sub>가 방출한 에너지를 다른 기저상태의 CO<sub>2</sub>가 받는 것처럼 차례차례로 CO<sub>2</sub>끼리 에너지를 주고받는 공명을 일으키게 된다. 이 때 방출되는 방사에너지는 불꽃 내부에 존재하는 이산화탄소의 발생량에 비례하며, 빛이나 적외선으로 방사된다. 그림 4는 연소물질이나 온도에 따른 분광분포 특성을 나타낸 것으로, (a), (b)는 오렌지색의 불꽃을 내는 촛불과 가솔린의 연소 시 분광분포 특성으로 2.0μm, 4.35μm 부근의 두 개소에서 최대값을 나타내고 있다. (c)는 청백색 불꽃의 완전연소에 가까운 도시가스의 분광분포로 2.0μm, 3.0μm, 4.35μm 부근에서 최대값을 나타내고 있다[5].

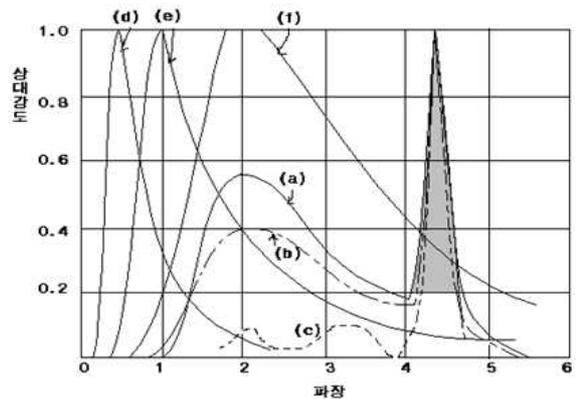


그림 4. 분광분포 특성  
 Fig. 4. Characteristics of spectrum distribution

실제 화염의 불꽃은 넓은 스펙트럼대로 에너지를 방사시키고 가시광선 외에 불꽃을 육안으로 볼 수 없는 파장대에서 자외선과 적외선을 방사시킨다. 그러나 불꽃에서는 그림 4에서와 같이 2~3 $\mu\text{m}$  부근에서 완만한 파형이 나타나거나 4.3 $\mu\text{m}$  근처에서 예리한 최대값을 갖는 특성이 있으므로 적외선 불꽃감지기는 4.35 $\mu\text{m}$   $\pm$  0.2 $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 에너지 방사에 반응하도록 설계한다.

CO<sub>2</sub> 공명방사와 함께 또 다른 불꽃의 현저한 특징은 명멸현상이다. 물질이 연소하기 위한 조건의 하나는 산소의 공급이며, 화재 시에 나타나는 확산연소는 화염의 확산에 따라서 주위의 공기로부터 산소를 공급 받아 연소된다. 따라서 확산연소 상태에 있는 불길은 주위의 공기를 빨아들이는 특성이 있으며 이것에 의해 불길이 조금씩 날리면서 요동하게 된다. 확산되는 화염의 연소특성은 가연성가스와 공기와의 혼합구조에 의한 특성으로, 불꽃의 기저부근에서 불꽃이 불규칙적으로 생성되고 소멸되는 명멸현상의 플리커 주파수는 화원의 크기인 연소면적과 반비례 관계로, 식 (8)과 같다.

$$F = AD^{-n} \tag{8}$$

A : 상수 0.85~1.83

n : 상수 0.5~0.63

D : pool-fire의 직경(m)

불꽃의 플리커 주파수는 2~20Hz의 주기로 발생되고, 동시에 방사되는 적외선의 양도 항상 변동하며 변동주파수는 1~15Hz의 범위에서 집중적으로 나타난다. 불꽃의 명멸현상은 태양광, 인공광, 기계류 섬광과 기타 산업광과 불꽃을 구별하는 방법으로 사용될 수 있으며, 불꽃감지기에서는 플리커 주파수와 이산화탄소 공명방사를 감지하여 화재여부를 판단하는 기준 자료로 활용한다.

### 2.3 초전형 적외선 감지회로

화염의 불꽃 4.3 $\mu\text{m}$  부근에서 최대 분광에너지를 방

사하고, CO<sub>2</sub>의 분자공명에 의해 약 1~15Hz의 주기로 산소 호흡작용을 하는 명멸현상은 자연 화재만이 가지고 있는 고유 특성이다. 적외선 불꽃감지기는 이것을 초전형 센서를 이용하여 검출한다.

초전형 적외선 센서는 센서 앞에 있는 사파이어의 다층막으로 형성된 광학필터를 통해 일정 파장(4.3 $\mu\text{m}$ )의 적외선만 통과시킨다. 적외선이 입사하면 초전효과에 의해 자발분극의 극성변화에 의한 미세한 크기의 기전력이 발생하고, 센서에 흐르는 전류가 변하게 된다. 초전형 불꽃감지기는 변화된 전류의 양에 따라 검출된 파장의 상대 강도를 측정하고, 동시에 불꽃의 흔들리는지의 변화여부를 검출하여 불꽃에 반응하거나 또는 반응하지 않는 시스템으로 구성 된다.

초전형 센서의 기본적인 구조는 그림 5와 같이 특정파장의 적외선을 투과시키는 창 재료와 적외선을 흡수하는 초전재료, 초전효과에 의해 발생한 전류를 전압으로 변환하는 저항, 임피던스 변환을 하는 FET(field effect transistor)로 구성되어 있다.

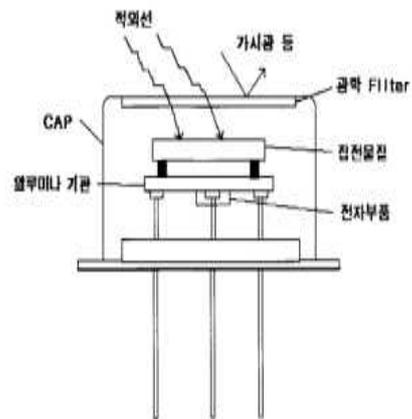


그림 5. 초전형 센서 구조도  
Fig. 5. Structure of PIR

초전형 적외선 감지기회로의 블록도는 그림 6과 같으며, 입력전원은 DC 24V와 5V로 변환하여 통신출력부와 마이크로프로세서 회로에 각각 공급한다.

신호증폭회로는 적외선 초전센서에서 나오는 미세 신호를 증폭시키는 신호증폭회로로 그 상세회로도 는 그림 7과 같다.

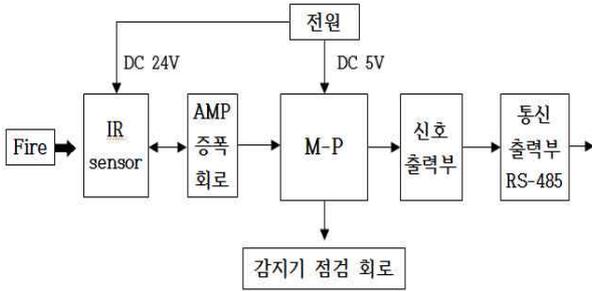


그림 6. 초전형 적외선 감지회로의 블록도  
Fig. 6. Block Diagram of the Pyroelectric Infrared Flame Detector

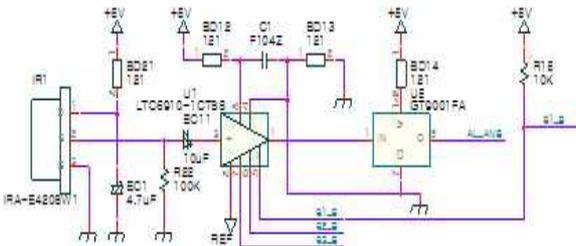


그림 7. 초전센서 신호 증폭회로  
Fig. 7. Amplifying circuit of PIR signal

신호전달부는 마이크로프로세서의 출력신호를 통신출력부로 보내며, 통신출력부에서는 RS-485로 신호를 관리자에게 통보한다. 감지기 점검회로에서는 감지기 이상 시와 화재발생 시의 출력신호를 수신반과 화재연동장치에 전송하도록 하였다. 마이크로프로세서 제어부는 증폭회로에서 입력된 신호를 정해진 데이터에 의하여 비교, 분석, 판단하고 화재발생 여부를 결정하여 각각의 출력회로로 전송하는 장치이다. 이 회로에 EEPROM을 내장하여 통신 어드레스와 화재발생 여부를 판단하기 위한 감지대기시간, 감도, 자동복구여부, 자동복구시간 등의 정보가 저장되어 있다.

### 3. 초전형 감지기의 감도 시험

초전형 감지기의 감도 시험에서는 감도실험 결과를 검정하기 위하여 Visual C++ Window 운용프로그램을 개발하였다. 화원방사에 따른 삼파장 초전형 불꽃감지기에서 출력되는 RS-485 통신신호를 PC의

RS-232신호로 컨버팅(converting)함으로써 화재 시 나타나는 각종 데이터 값을 그림 8과 같이 시각적으로 표현하였다. 운용프로그램에는 삼파장 적외선 불꽃감지기의 상태표시, 프로그램 메인메뉴, IR1의 파형, IR2의 파형, IR3의 파형, 알람리스트, 알람의 그림표시 등을 나타낸다.

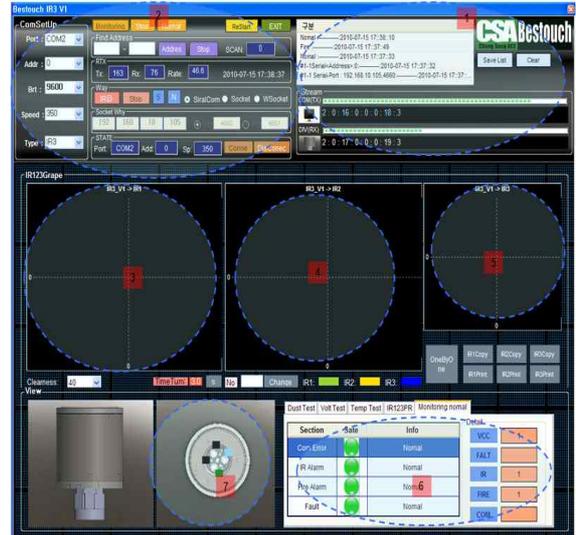


그림 8. 적외선 파장별 감도특성 구현  
Fig. 8. Characteristic sensitivity of infrared wave length

감도 시험은 반강유전체인  $PbZrO_3$ 를 고용시킨  $Pb(Zr,Ti)O_3$  세라믹스의 초전형 적외선 센서로 제작된 불꽃감지기(샘플 A)와 강유전체인  $PbTiO_3$  세라믹스의 초전형 적외선 센서로 제작된 불꽃감지기(샘플 B)[5]의 감도를 비교하였으며, 비교대상 불꽃감지기의 샘플 A와 B의 기술사양은 표 1과 같다.

시험은 대역폭 200MHz, 수직 해상도 9bits/CH, 채널 1, 2의 최대 샘플 속도 각각 100MS/s, 50MS/s의 조건하에서 전방 거리 60m, 각도 0°와 45°에서 정격 화염(33×33cm 불판 N-Heptane)을 인가하였다. 시험 결과는 그림 9의 45° 측면시험 에서는 샘플A 센서가 샘플 B 센서에 비해 약 160% 감도가 우수하게 나타났고, 그림 10의 정면시험에서는 샘플A 센서가 샘플B 센서에 비해 약 167% 감도가 우수한 것으로 나타난 것을 확인할 수 있었다.

표 1. 초전형 불꽃감지기(샘플 A)  
Table 1. Pyroelectric Infrared Flame Detector  
(Sample A)

	Values	Unit	Condition
Element size	$\phi$ 1.8	mm	
Signal sensitivity	0.25	mVpp	500K 1Hz
Noise	250	mVpp	25°C
Source voltage	0.4~1.5	V	25°C
Supply voltage	3.0~15.0	VDC	
Load register	47~470	k $\Omega$	
Operating Temp.	-25~75	°C	
Storage Temp.	-30~100	°C	
Wave length	4.0~4.3~5.0	$\lambda$	

표 2. 초전형 불꽃감지기(샘플 B)  
Table 2. Pyroelectric Infrared Flame Detector  
(Sample B)

	Values	Unit	Condition
Element size	$\phi$ 1.4	mm	
Signal sensitivity	1.15	mVpp	500K 1Hz
Noise	170	mVpp	25°C
Source voltage	0.38~1.3	V	25°C
Supply voltage	2.0~10	VDC	
Load register	10~1000	k $\Omega$	
Operating Temp.	-24~70	°C	
Storage Temp.	-40~80	°C	
Wave length	4.1~4.35~5.1	$\lambda$	

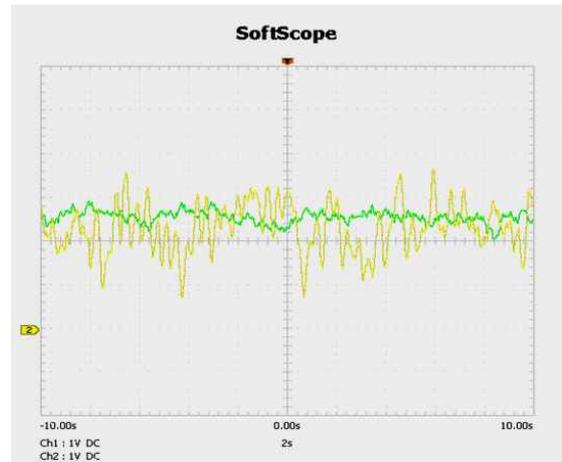


그림 9. 45°측면 60m(33×33cm 불판 N-Heptane)  
Fig. 9. 45°Side 60m  
(33×33cm fire pan, N-Heptane)  
(황색 : 샘플 A센서, 녹색 : 샘플 B센서)

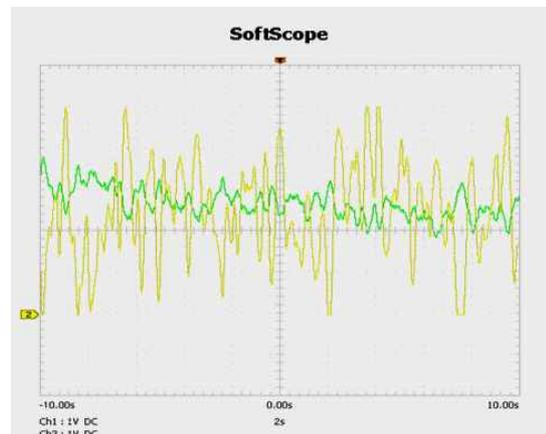


그림 10. 0°정면, 60m 전방  
(33×33cm 불판 N-Heptane)  
Fig. 10. 0°60m front  
(33×33cm fire pan, N-Heptane)  
(노랑 : 샘플 A센서, 녹색 : 샘플 B센서)

#### 4. 결 론

불꽃의 이산화탄소 공명방사와 명멸현상에 의한 플리커 주파수를 검출할 수 있는 초전형 불꽃감지기의 감지특성 개선 방안을 제시하고 실증적 실험과 국내 공인 인증기관의 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초전형 적외선 감지기의 화재식별은 불꽃에서

나타나는 CO<sub>2</sub> 공명방사와 명멸현상을 기준 자료로 적용하였다. 화염의 불꽃은 4.3μm 부근에서 최대 분광에너지를 방사하고, CO<sub>2</sub>의 분자공명에 의한 플리커 주파수는 1~15Hz의 범위에서 집중적으로 나타나고 있으므로 이들이 모두 감지되는 경우만 화재로 인식하도록 프로그램화 함으로서 비화재에 대한 오보를 최소화 하였다.

(2) PZT 세라믹스에서 Zr/Ti의 비율을 52/48로 조성한 Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 세라믹스에 의한 초전형 불꽃 감지기의 감도를 개선함으로써 거리 60m 정도 떨어진 화재에 대해서 최고 0.5초의 빠른 응답특성으로 안정적으로 감지할 수 있었다.

이 논문은 2014학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

### References

- [1] E.L.DERENIAK, "Infrared Detectors and System", Willy Interscience, pp.1-35, 1996.
- [2] Sangho Lee, Juhyun Yoo, Yeu-yong Lee, Hyun-Song Song, "Dielectric and Piezoelectric Properties of (Na,K)NbO<sub>3</sub> Ceramics as a Function of SrTiO<sub>3</sub> Substitution", J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.22, No.6, p484-488, 2009.
- [3] Jeong-Wook Kim "Sequence of Reaction Phases and Pyroelectric Properties in the System Pb(Zn Nb ) O<sub>3</sub>-Pb(Fe Nb )O<sub>3</sub>" Hanyang Univ. Ph.D thesis, 1995.
- [4] Jun Rim Choi "Pyroelectric Infrared Microsensors Made by Micromachining technology", The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 35-D, No.4, p. 93-100, 1998.
- [5] Hyun Seon Song, Yeu Yong Lee, "A Study on Signal Circuit of the Triple Pyroelectric Infrared Flame Detector", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.24, No.12, p201-207, 2010.

### ◆ 저자소개 ◆



**승현선 (宋賢善)**

1953년 3월 25일생. 1979년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1988년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2013년 현재 세명대학교 전기공학과 정교수.



**이의용 (李毅鏞)**

1954년 4월 30일생. 1979년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 2007년 고려대학교 경영정보대학원, 2011년 세명대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(박사). 1990년~현재 (주)창성에이스 대표이사.