

# 초전형 삼파장 적외선식 불꽃감지기 신호회로 개발

(A Study on Signal Circuit of the Triple Pyroelectric Infrared Flame Detector)

송현선\* · 이의용

(Hyun-Seon Song · Yeu-Yong Lee)

## Abstract

This thesis studies development of a triple pyroelectric Infrared flame detector to have appropriate reaction characteristics with proper operational features in various and radiant energy characteristics of fire sources, and to contribute to minimize the losses of human lives and properties by detecting fire in very early stage to restrict the spread of fire.

Key Words : Triple Pyroelectric Infrared, Flame Detector, Radiant Energy, Fire Source

## 1. 서 론

현대사회가 급속히 고도의 산업과 정보화 사회로 성장 진입함에 따라 대단히 다양하고 복잡다단한 재해의 양상이 나타나고 있다. 그중에서도 가장 사회적 문제가 되는 것은 바로 화재이다. 이러한 산업성장과 수반하여 전기, 유류, 가스, 화공약품 등 각종 위험물질이 급증하고 있는데, 대부분이 연소성이 강한 가연성 물질로서 급속하게 화염으로 전이될 수 있는 강한 특성을 가지고 있다[1-2].

따라서 각종 건축물, 플랜트, 문화재, 터널, 물류창고, 산림 등에서 무차별적이면서 더욱더 위험한 형태의 화재 양상이 나타나고 있고, 많은 인명의 피해와 재산상의 손실을 초래하고 있다.

\* 주저자 : 세명대학교 전기공학과 교수  
Tel : 043-649-1303, Fax : 043-648-0868  
E-mail : hssong@semyung.ac.kr  
접수일자 : 2010년 10월 27일  
1차심사 : 2010년 11월 2일  
2차심사 : 2010년 11월 16일  
심사완료 : 2010년 11월 26일

특히 최근에는 첨단장비인 반도체장비, LCD장비, LED장비, 태양광장비 등 내부에 폭발성(Combustible) 및 독성(Toxic) 가스를 사용하는 장비가 증가하고 있으므로 새로운 폭발성 화재에 대비하여 세밀한 대책이 필요하다.

한편 첨단기술의 발달과 산업화로 인하여 화재 등의 재해발생에 있어서 더욱 대형화와 복잡화를 초래하고 있는데, 특히 고층 건축물이나 터널, 지하 시설물 등의 화재 시에는 그 피해가 상상을 초월하게 된다.

이에 대하여 해외 선진국에서는 1990년대에, 국내에서는 2000년대에 들어서면서 기존의 열 감지 및 연기 감지기만의 방식보다는 연소성상에 따른 감지효과를 극대화하고 불꽃에서 방사되는 복사에너지를 감지할 수 있는 복사에너지 감시 장치를 개발하여 사용하게 되었는데, 이는 바로 불꽃감지기(Flame Detector)이다[3-6].

불꽃감지기는 개발 및 제조가 쉽지 않아 해외 선진국에서도 개발 제조하는 업체가 많지 않으며, 국내에서도 최근에 이르러서야 극소수 제조사만이 개발 생

산하고 있다. 특히 삼파장 적외선식 불꽃감지기(IR3)는 감지거리가 기존 다른 화재감지기보다 훨씬 길고, 산란광이나 용접기 아크 등에 의한 비화재보에 대한 면역능력과 신뢰성이 뛰어난 장점을 가지고 있는 첨단 차세대형 불꽃감지기로서, 가격이 비싼 단점에도 불구하고 향후 초조기 화재감지기로서 가장 부각될 것으로 판단되고 있다.

본 연구에서는 복사에너지를 가장 뛰어나게 검출할 수 있는 삼파장 적외선식 불꽃감지기(IR3)의 신호처리 과정을 제시하고, 이 자료를 기반으로 삼파장 적외선식 불꽃감지기의 신호처리 회로를 개발하는 데 그 연구목적을 두었다[6-8].

## 2. 복사에너지 및 분광분포의 특성

### 2.1 복사에너지의 특성

이 세상에 존재하는 모든 물체는 전자장 복사물질을 내뿜는다. 이 복사선의 특징은 물체의 온도와 물체의 표면적으로 이뤄지는 물질적 요인을 갖고 있다. 이것은 스테판 볼츠만 법칙(Stefan-Boltzmann law)의 세 가지 요인(H, A, T)으로 표현할 수 있다[9-10].

$$H = Ae\sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

H : 복사에너지(시간당)

A : 표면적

e : 복사체의 복사율(0~1사이의 방사인자의 특성)

$\sigma$  :  $5.6699 \times 10^{-8} \text{W} \times \text{m}^{-2} \times \text{K}^{-4}$  (스테판 볼츠만의 자연계 상수)

T : 복사체의 온도

위의 식에서 알 수 있듯이 복사에너지는 복사하는 물체의 온도 값 상승에 따라 증가하게 되는 것을 알 수 있다.

### 2.2 신호검출을 위한 분광분포특성

적외선 삼파장식 불꽃감지기에서 검출하는 불꽃에

는 다음과 같은 특징이 있다. 불길로부터 방사되는 적외선에는 현저한 특징이 있는데, 그 중 하나가 “CO<sub>2</sub>공명방사”라는 현상이다. 물질이 연소할 경우에는 다량의 CO<sub>2</sub>가 발생하게 된다.

이 CO<sub>2</sub>는 근적외선역의 특유한 파장대에 두 개의 방사 스펙트럼 피크를 나타나게 되는데, 그 하나는 “회색방사”로 불리는 것으로서 일반적으로 1.8[ $\mu\text{m}$ ]를 피크로 완만한 산의 형태를 나타낸다. 이것은 그을음이나 탄소입자로부터 나오는 적외선 방사의 연속스펙트럼이다. 또 다른 하나는 “CO<sub>2</sub>공명방사”로 불리고 있는 것으로, 4.3~4.4[ $\mu\text{m}$ ]의 파장에서 스파이크 상태로 일어나는 피크치가 있다. 일반적으로 회색방사보다 CO<sub>2</sub>공명방사를 검출해 불꽃감지에 응용한다.

CO<sub>2</sub>는 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 돌아오려고 한다. 이 때 방출되는 에너지는 빛이나 적외선으로 방사된다.

공명방사란 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 일으키는 현상을 말한다. ‘그림 1’에서의 막대그래프는 화재 시 초기와 2.5~2.7[ $\mu\text{m}$ ] 4.3~4.4[ $\mu\text{m}$ ] 파장대역의 방사에너지의 상대강도를 나타내며, 이때 방사하는 적외선 중 4.3~4.4[ $\mu\text{m}$ ] 가장 강한 고유 파장을 가지고 있음을 나타낸다. 이 현상은 그림 1에 나타나듯이 태양빛이나 고온물체 혹은 저온물체로부터 방사된 적외선의 상대강도의 스펙트럼 분포와는 크게 다르다[8,11].

이 특성을 활용하여 열원(熱源)별 “가짜화재”, 즉 용접기 등의 산업광, 산란되는 햇빛 등에 의한 자연광, 적외선 히터나 고온을 방사하는 할로겐 램프등과 같은 인공광 등의 비화재보(False Alarm Signal) 요인의 신호를 분석하고 하드웨어 및 소프트웨어적 기술로 처리하여 비화재보 신호를 최소화할 수 있으며, 열원(熱源)별·물질(物質)별·거리(距離)별 비화재보 면적대역(False Alarm Signal Immunity Area)을 설정할 수 있다.

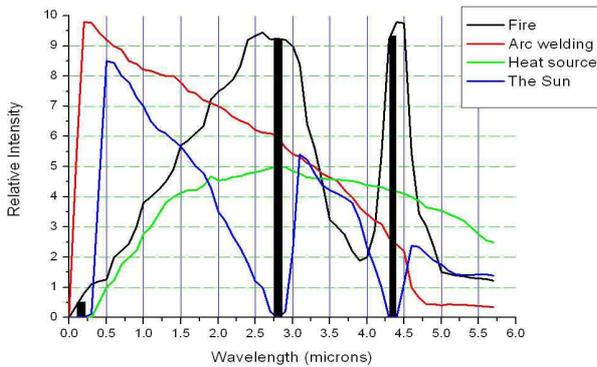


그림 1. 열원(熱源)별 스펙트럼 분포비교  
Fig. 1. Comparison of various spectrum distribution

또 다른 불꽃의 현저한 특징은 “Flickering(명멸)” 현상으로 이 현상도 불꽃의 검출에 잘 이용되고 있다. 물질이 연소하기 위한 조건의 하나는 산소의 공급으로, 공급 상태에 따라 “혼합연소”와 “확산연소”라고 하는 두 개의 연소상태로 분류할 수 있다.

혼합연소란 가연성 기체가 먼저 산소와 먼저 섞인 상태로 연소하는 것으로 가스버너 등의 연소가 이에 해당한다. 확산연소는 확산에 따라서 주위의 공기로부터 산소의 공급을 받아 연소하는 것으로 일반적인 화재가 여기에 해당한다. 따라서 확산연소 상태에 있는 불길은 주위의 공기를 빨아들이는 특성이 있으며 이것에 의해 불길이 조금씩 날리면서 요동하는 현상이 생긴다. 동시에 방사되는 적외선의 양도 항상 변동하며 변동주파수는 1~15[Hz]의 범위에서 집중적으로 나타난다.

그림 2는 연소물질이나 온도에 따른 분광분포특성을 나타낸 것으로, (a)와 (b)는 오렌지색의 불꽃을 내는 촛불과 가솔린의 연소 시의 분광분포 특성이다. 2.0[ $\mu\text{m}$ ], 4.4[ $\mu\text{m}$ ] 부근의 두 개소에서 최대값을 나타내고 있다. (c)는 청백색 불꽃의 완전연소에 가까운 도시가스의 분광분포로 2.0[ $\mu\text{m}$ ], 3.0[ $\mu\text{m}$ ], 4.35[ $\mu\text{m}$ ] 부근에서 최대값을 나타내고 있다.

이들 불꽃 모두 4.3[ $\mu\text{m}$ ] 부근에서 최대분광에너지를 방사하고 있으나, 이것은 연소에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>에 의한 공명방사 에너지로 다른 고온물체에서는 볼 수 없는 특징이다. (d)는 6,000[°K]의 태양광이고 (e)

는 2,850[°K]의 백열전구, (f)는 2[ $\mu\text{m}$ ] 부근에서의 최대값을 갖는 1,400[°K]의 고온물체들의 분광분포 특성으로 플랑크 법칙에 의해 구한다.

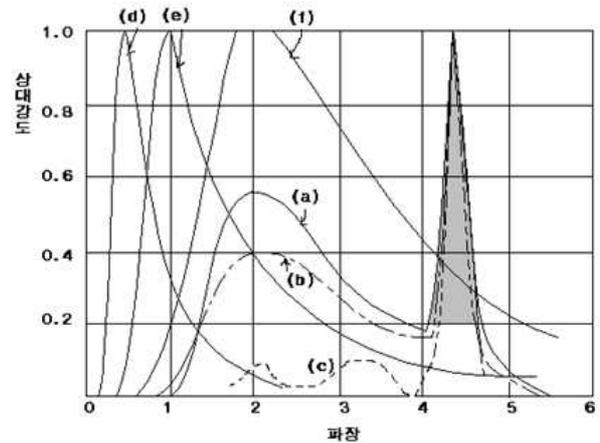


그림 2. 분광분포 특성  
Fig. 2. The characteristics of spectrum distribution

불꽃은 넓은 스펙트럼대로 에너지를 방사시키고 가시광선 외에 불꽃을 육안으로 볼 수 없는 파장대에서 자외선과 적외선을 방사시킨다. 적외선 불꽃감지기는 4.35~4.4[ $\mu\text{m}$ ]  $\pm$  0.2[ $\mu\text{m}$ ]의 파장을 갖는 에너지 방사에 반응하는 감지기로서 이 파장대는 연소 시 발생하는 탄화가스 분자의 파장을 검출하는 것이다.

적외선 불꽃감지기는 연기와 액체의 부유물에 대해 긴 파장대를 이용하는 특성에 의해 거의 영향을 받지 않는 우수성이 있다. 적외선 센서는 센서 앞에 있는 광 필터를 통해 일정대의 파장이 들어오면 센서에 흐르는 전류가 변하게 되어 전류의 양에 따라 검출된 파장의 상대 강도를 측정하게 된다. 이 상대 강도를 이용하여 불꽃에 반응하거나 또는 반응하지 않도록 시스템을 구성하게 된다.

### 3. 불꽃감지기의 신호회로 설계 및 시제품 제작평가

#### 3.1 감지기의 회로 개발 개념

삼파장 적외선식 불꽃감지기 회로설계의 블록도는

아래의 그림 3과 같다. 이 불꽃감지기는 CO<sub>2</sub>공명 방사 대역의 세 개 파장대(4.0[μm], 4.3[μm], 5.0[μm])만을 검출하도록 설계되어 있고, 광학필터를 시창(Window)으로 한 세 개의 적외선 센서를 내장하고 있다. 여기에는 사파이어유리를 사용하며, 검출 창으로부터 받아들인 적외선 가운데 세 개 파장대의 적외선만이 적외선센서에 의하여 전기신호로 전환된다. 이 전기신호는 전기적 Bandpass Filter를 갖는 신호 증폭회로에서 흔들리는 다양한 주파수 성분 중에서 1~10[Hz]의 주파수만 선택하여 증폭한다. 화재판단회로에는 세 개의 증폭신호를 받아 각각 신호치의 크기나 신호치 간의 비율 등을 계산하는 독자적인 알고리즘이 있는데, 이에 의해 불꽃으로부터 방사된 CO<sub>2</sub>공명 방사의 스펙트럼 피크패턴을 검출했을 경우에만 화재라고 판단하여 경보신호 출력부에 화재신호를 송출한다. 따라서 불꽃에 대한 선택성능이 매우 높아 산업광, 산란광, 히터 등의 열방사체, 백열등이나 형광등, 나트륨등, 수은 등 등의 인공조명에는 반응하지 않는다.

### 3.2 시제품 회로의 설계 및 시작품

초전센서 신호증폭회로는 해당 파장이 들어오면 초전 효과에 의하여 빛에너지를 전기적 에너지로 변환하는 연산 증폭방식으로서, 적외선 초전센서에서 나오는 미세신호를 증폭시키는 신호증폭회로를 구성하게 된다.

이 회로는 초전체의 분극작용에 의한 미소전압을 FET 회로에 의해 신호발생을 위한 ON/OFF Switching 회로를 구동시킴으로서 주변장치와 호환이 되도록 그림 4와 같이 설계하였다.

또한 그림 5 및 그림 6과 같이 시작품에 대한 전기적 특성, 응답특성, 내구성, 내환경성 등을 고려한 부품 선정과 패턴설계를 통하여 시작품을 제작함으로써 회로의 신뢰성과 안정성을 확보하고 제조과정에 있어서의 품질의 적합화를 추구하였다[2,12].

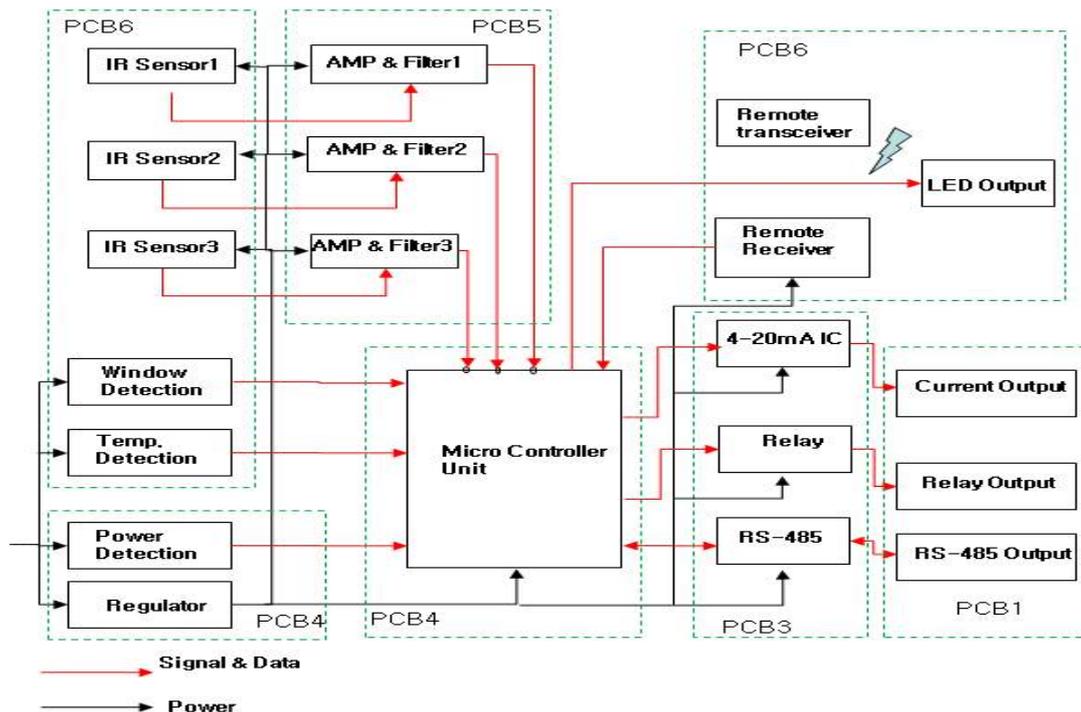


그림 3. 회로의 블록도  
Fig. 3. Circuit Block Diagram

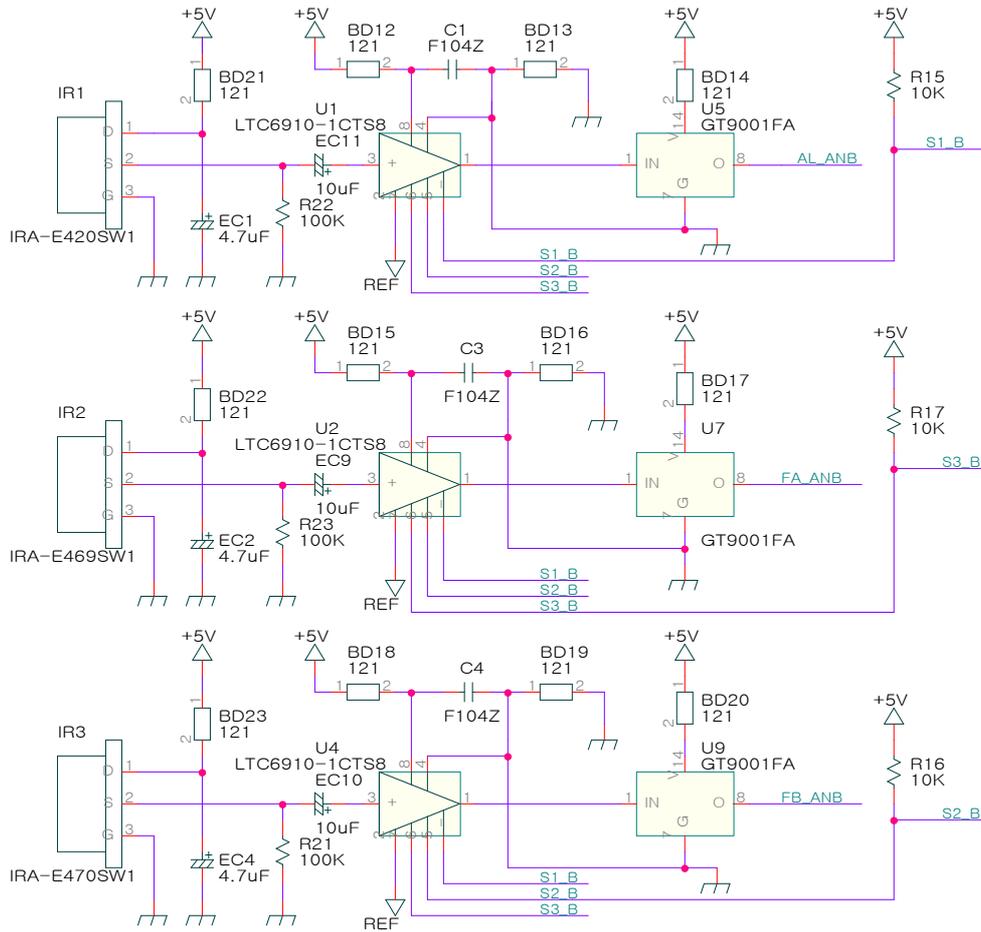


그림 4. 삼파장 초전센서 회로도  
Fig. 4. Circuit Diagram Of Triple Infrared Detector



그림 5. IR3 시제품(출력부)  
Fig. 5. Diagram of IR3 PCB(Output P/T)

### 3.3 시험 결과

#### 3.3.1 감도특성

Visual C++ Window 운용 프로그램으로 삼파장 적외선 불꽃감지기에 정해진 거리에서 화원(火源)을 방사하여 적외선 파장별로 파형분석을 하였다. 아래의 그림 7과 같이 왼쪽부터 IR1(4.3[ $\mu$ m])의 감도특성을, 그리고 IR2(4.5[ $\mu$ m])와 IR3(4.0[ $\mu$ m])센서의 감도특성을 보여주고 있다. 여기에서 IR2와 IR3의 높은 대역과 낮은 대역의 파장은 햇빛 등의 산란광과 용접기 등의 인공광 등의 비화재성 파장으로서 입력되어 들어오는 신호레벨을 소프트웨어로 판별 커팅(Cutting)하게 되는데, 단지 IR1의 신호를 화재로 판별하게 됨으로서

비화재에 대한 오보를 최소화하였다.

시험조건 : 60[m] 전망 (1 feet × 1 feet N-Heptane Fire Pan)

CH1 : 4.3[ $\mu$ m] Pyroelectric sensor

CH2 : 4.5[ $\mu$ m] Pyroelectric sensor

CH3 : 4.0[ $\mu$ m] Pyroelectric sensor



그림 6. IR3 시제품(검출부)  
Fig. 6. Diagram of IR3 PCB(Detecting P/T)



그림 7. 적외선 파장별 감도특성  
Fig. 7. The characteristics of triple infrared signal level

### 3.3.2 비화재보시험

위 3.3.1과 같은 조건으로 태양광, 전기용접기, 할로겐램프, 전기히터 등에 대한 비화재보(False Alarm Test) 시험을 한 결과, 다음의 표 1과 같이 면제대역(Immunity Area)의 거리를 벗어난 모든 시험은 비화

재성 오보를 경보하지 않는 양호한 결과를 얻었다. 시험기준은 미국 NFPA규정에 의한 것으로 하였다.

표 1. 비화재보 응답시험 결과  
Table 1. The result of false alarm response test

비화재보 소스	조건	거리	응답 결과
태 양 광	30[min]	-	No Alarm
전기용접기	10[A]	4.6[m]	No Alarm
할로겐램프	500[W]	3[m]	No Alarm
전기히터	1,500[W]	0.9[m]	No Alarm

## 4. 결 론

화재 시에 발생하는 연소생성물은 연소성상에 따라 방사특성을 나타낸다. 이러한 특성에 따른 적절한 응답특성과 작동원리를 갖는 감지기를 개발해야만 인명과 재산상의 피해를 최소화할 수 있다. 때문에 기존의 열, 연기 중심의 감지방법보다는 초초기에 화재신호를 검출할 수 있는 불꽃감지기의 개발이 절실하였고, 그 중에서도 가장 성능과 신뢰성이 뛰어난 초진형 삼파장 적외선식 불꽃감지기(IR3)의 신호회로를 개발함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 가연물 연소 시 불꽃의 복사에너지에 대한 초진형 감지소자의 감도값에 대한 특성분석을 통하여 복사에너지를 감지할 수 있는 기반기술을 정립하였다.
2. 삼파장 적외선식 불꽃감지기(IR3)를 개발하기 위하여 안정적인 응답특성을 갖는 신호전달회로, 출력회로, 전송회로, 증폭회로, 정전압회로, 보호회로 등에 대한 회로의 하드웨어 기술을 확립하였다.
3. 화재 시 근적외선 대역에서 방사하는 4.3[ $\mu$ m]~4.4[ $\mu$ m] 대역의 강력한 Spike Spectrum 적외선의 빛에너지를 전기적 에너지로 변환하고, 그 미세신호를 효과적으로 증폭함으로써 장거리에서 발생할 수 있는 화재나 열원(Heat Source)을 감지 및 감시할 수 있는 기술을 확보하였다.
4. 산란광, 인공광, 불꽃 등에서 방사되는 복사에너지의 식별특성을 분석함으로써 비화재보(False

Alarm Signal)를 최소화 할 수 있는 기반기술을 확립하였다.

### References

- [1] 김한근, 박선국, 센서공학, 기전연구사, 2004.
- [2] 백동현, 화재정보처리를 위한 신호처리이론과 네트워크, 한국화재·소방학회, 제2권 제3호, 2001.
- [3] 임병현, 화재 감지용 자외선 적외선 불꽃감지기의 특성 개선에 관한 연구, 박사학위논문, 조선대학교 대학원: 제어계측공학과, 2006. 8.
- [4] (주)창성에이스산업, 자기진단형 불꽃감지기 특허(100920067호), 특허청, 2009. 9.
- [5] 한국소방방재청 고시 제 2009-31호, 감지기의 형식승인 및 검정기술기준, 2009.
- [6] Jeff Penny, The Role of Flame Detection in AFD, Fire Surveyor, Vol.15, No.2, pp.25-26, 1986.
- [7] Yamato Shokaki Co., Ltd., IR Flame Detector Technical Data, 1992.
- [8] 平尾洋佐, 蕉電形 赤外線 センサとその應用, 照明學會誌, 第37卷, 第1號, pp.11-16, 1989.
- [9] 이복영, 정장기, 권오승, 박상태, 조성수, 적외선 불꽃감지기 개발연구(The Research & Development of Infra-Red Flame Detector), 화재·소방, Vol.14 No.2, 2000.
- [10] 양태선, 김은중, 이의용, 지하철 역사 내 화재 시 복사열에 의한 화재증폭에 관한 연구, 한국구조물진단학회 학술발표논문집, Vol.9, No.2, 2005.
- [11] 山香英三, 焦電形 赤外センサの最近の進歩, 麿用物理, 第50卷, pp.1181-1187, 1981.
- [12] 福山降晃, 安定化電源回路集, pp.72-80, 기전연구사, 1992.

### ◆ 저자소개 ◆



#### 송현선(宋賢善)

1953년 3월 25일생. 1979년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1982년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 세명대학교 전기공학과 교수.



#### 이의용(李毅鏞)

1954년 4월 30일생. 1979년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 2007년 2월 고려대학교 경영정보대학원. 2010년 현재 세명대학교 전기공학과 박사과정.