

Thema

# | 소방 설비용 적외선 센서 및 적외선 불꽃 감지기

임병현 겸임교수

(전남도립 남도대학 컴퓨터응용전기과)

김영민 교수

(전남도립 남도대학 컴퓨터응용전기과)

## 1. 서론

적외선(Infra-red)이란 파장이 가시광선보다 길고, 마이크로파 보다 짧은 전자파의 총칭으로 1800년경 발견되었다. 적외선의 파장 범위는 0.76  $\mu\text{m}$ 에서 1 mm 정도이며, 특히 중요한 영역은 1.5  $\mu\text{m}$ 에서 14  $\mu\text{m}$ 까지 이다. 적외선 센서는 측정 대상에서 열복사 에너지를 측정하는 것으로 대상물에 직접 온도 센서를 접촉하지 않고 온도를 측정하는 비접촉식 온도계, 인체로부터 방사되는 적외선을 검출하는 방법용 침입 경보기 등 많은 산업 응용 분야에서 이용되고 있다. 적외선 센서는 표1에 나타난 것과 같이 에너지를 흡수하면 물질의 온도가 변화하는 현상을 포착하는 열형(熱型)과 광량자로서 광전 효과를 이용하여 직접 검지하는 양자형(量子型)으로 나뉜다.

표 1. 적외선 센서의 종류.

센서	원리	동작모드	명칭	특징	용도
열형 센서	적외선 흡수에 따른 소자의 온도 변화 감지	광도전형	Thermistor, Bolometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상온 동작이 가능</li> <li>• 감도의 파장 의존성이 없다</li> <li>• 저가격, 저감도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화재 감지기</li> <li>• 침입 경보기</li> <li>• 일반 기기의 온도측정 등</li> </ul>
		광기전력형	Thermopile		
		초전형	TGS, PZT, LiTaO <sub>3</sub>		
양자형 센서	반도체의 광전 효과를 이용하여 온도 측정	광도전형	PbS, PbSe, HgCdTe, PbSnTe, GeAu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 응답속도가 빠르다</li> <li>• 응답 파장에 한계</li> <li>• 냉각이 필요</li> <li>• 고감도, 고가격</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인공위성용</li> <li>• 의료 진단용</li> <li>• 추적 장치 등</li> </ul>
		광전자형	InAs, InSb, PbSnTe, HgCdTe		
		광기전력형	InSb		

열형의 종류로는 크게 서로 다른 종류의 금속 접합의 접합부에 온도 차이가 생기면 열에너지가 전자의 운동을 활발하게 하고 동시에 미세한 전압의 확산으로 기전력이 발생하는 제어백 효과(See-back Effect)를 이용한 것으로 비스무트(Bi)와 안티몬(Sb)처럼 서로 다른 2가지의 금속선 또는 박막을 직렬로 접속하여 온도 변화를 검출하는 열전쌍형(Thermopile)과 초전 효과(Pyroelectric Effect)를 이용하는 초전형 센서로 나뉘어진다. 초전

효과는 어떤 종류의 강유전체의 결정에 열을 가하면 결정의 양단에 기전력이 발생하는 것으로 이러한 성질을 이용하여 적외선 계측에 사용되고 있다. 초전 효과의 재료로는 Ceramic  $\text{LiTaO}_3$ 의 단결정, PZT,  $\text{PVF}_2$  등의 유기 재료가 사용되고 있다. 초전 재료에 따른 응답 특성을 아래 그림1에 나타내었다. 감도 특성에 파장 의존성이 없고 냉각이 필요치 않으나 응답속도가 느리고 검출감도가 양자형에 비해 떨어진다.

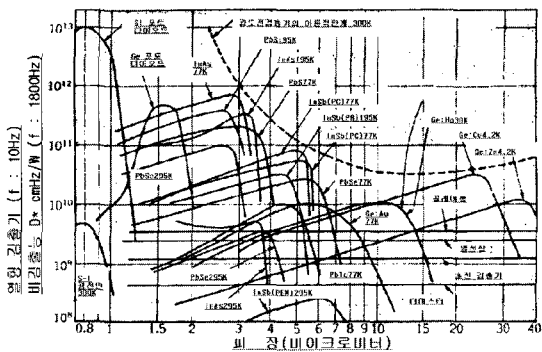


그림 1. 초전 재료에 따른 응답 특성.

양자형은 적외선 복사에너지를 광양자의 개념으로 포착하여 검출하는 광도전 효과(Photoconductive)나 PN 접합에 의한 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 것이다. 특징은 검출 능력이 높고 응답 속도가 빠른 반면 감도에 있어 파장 의존성이 있고 장파장의 검출에는 일반적으로 센서 전체를 냉각이 필요하다는 결점이 있다. 대표적으로 광도전 셀(Cell)로 어떤 종류의 반도체는 빛이 입사하면 전자가 여기 되어 자유 전자가 되고 그것이 전류를 발생시키기 때문에 전기 저항이 낮아진다. 이 성질을 이용한 것으로 황화카드뮴(CdS)을 이용한 셀 구조가 가장 일반적이며, 셀렌화카드뮴(CdSe), 적외선용인 황화납(PbS), 또는 셀렌화납(PbSe)을 쓰는 광도전 셀도 있다.

본고에서는 현재까지 상용화된 적외선 센서의 기초 이론을 설명하고, 적외선 검출에 사용되는 센서의 종류와 특성을 소개하며, 탄소를 함유한 가연물의 화재 성상에서 나타나는 불꽃(Flame)의 적외선

파장 영역을 검출하여 화재를 감지하는 자동화재 탐지설비의 적외선식 불꽃 감지기에 초전형 적외선 센서를 적용하여 이것의 특징을 살펴보고자 한다.

## 2. 적외선 센서 종류 및 특성

### 2.1 초전형 적외선 센서

초전 효과는 어떤 종류의 강유전체의 결정에 열을 가하면 자발 분극의 극성 변화에 의해 결정의 양단에 기전력이 발생하는 것을 말하고, 이러한 특성을 나타내는 물질을 초전체라 한다.

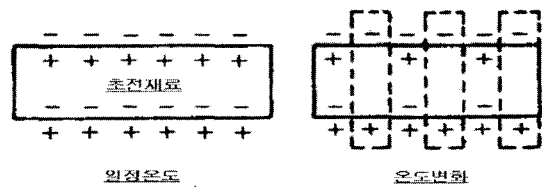


그림 2. 초전효과의 자발 분극 형태.

대표적인 초전체의 종류로는 삼황화글리신(TGS( $(\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}) \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ )), 세라믹의 티탄산납( $\text{PbTiO}_3$ ), 지르코티탄산납(PZT( $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ))), 탄탈산리튬( $\text{LiTaO}_3$ ), 플라스틱의 폴리플루오르화비닐(PVF2) 등이 있다. 온도 변화에 의해 결정에 생기는 전하(Electric Charge)는 미소하지만 측정의 결과에 의하면 양 끝에 나타나는 전하는 처음에서 마지막 온도에만 의존하고, 가열의 속도에 의하지 않는다. 발생하는 전하량은 전기 축에 수직인 단면적에 비례하고, 결정의 길이와는 상관없고 전하의 부호는 가역이다. 금속 또는 합금의 순수한 공유 결합 결정의 대부분은 높은 대칭성을 갖기 때문에 초전 효과를 나타내지 않고, 이러한 효과를 나타내는 것은 복잡한 이온결정 또는 분자성 결정으로 만들어진다. 따라서 초전 효과를 이용한 센서는 온도 변화가 있을 경우에만 응답하게 되고, 이것이 가장 큰 특징으로 나타난다. 온도 변화에 대한 자발 분극의 크기의 변화를 초전 계수라고 하며, 보통 사용되고 있는 재료

에서는  $12 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2\text{C}^{\circ}$ 으로 나타난다. 대표적인 초전체 재료의 특성치를 표2에 나타내었다.

일반적으로 센서에 사용되는 재료는 표2와 같이 탄탈산리튬의 결정과 티탄산납의 결정, 지르콘산티탄산납의 세라믹이 양호한 열적 안정성이나 내구성을 나타내는 것으로 사용되고 있다. 또한 플라스틱 초전 필름을 사용한 적외선 센서는 플라스틱 초전 필름 양면에 금속 막을 증착해서 전극을 만들어 사용되고, 가격이 싸서 인체로부터 방사되는 적외선 검출용 등에 사용된다. 이들 소재는 특정 적외선 영역에 대한 흡수가 없으므로 소재 자체에서 용도를 지정할 수는 없으며, 특정 파장의 자외선에 대한 감도는 센서 자체의 투과창 재료에 의해 특정 파장을 투과시켜 특정 목적의 적외선을 소자 전면에서 열로 변환시켜서 얻어진다.

센서의 기본적인 구조는 특정 파장의 적외선을 투과시키는 창 재료와, 적외선을 흡수하는 초전 재료, 초전 재료를 올려놓는 베이스, 초전 효과에 의해 발생한 전류를 전압으로 변환하는 저항, 임피던스 변환을 하는 FET, 센서 내부 전자 부품을 보호하는 패키지로 구성되어있다. 대표적인 응용으로는 화재 감지기, 인체 감지용인 침입 경보기 등에 사용된다.

표 2. 재료에 따른 특성치.

재료	$\epsilon$	Tc(°C)	$\pi\text{C/cm}^2\text{K}$
PbTiO <sub>3</sub>	200	470	$6.0 \times 10^{-6}$
LiTaO <sub>3</sub>	54	618	$2.3 \times 10^{-6}$
PZT	500	340	$2.0 \times 10^{-6}$
PVF <sub>2</sub>	11	120	$0.4 \times 10^{-6}$

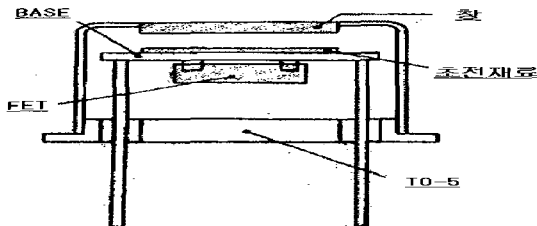


그림 3. 적외선 센서의 구조.

## 2.2 반도체 적외선 센서

광도전 센서인 PbS, PbSe와 광기전력 센서인 InAs, InSb에 대하여 소개한다. PbS, PbSe 센서는 적외선이 입사하면 저항이 떨어져서 전류가 흐르기 쉬어진다는 광도전 효과를 이용한 반도체 소자로, 화학적 용액법에 의해 유리 기판위에 생성된 미립자 구조의 다결정 박막이다. 이 때문에 단결정 센서에 비해 분산이 크고, 복잡한 특성을 나타낸다. 저항은 상온으로 100 KΩ에서 2 MΩ으로 고 저항이다. PbS 센서는 같은 파장 영역의 다른 검출 소자에 비해 검출 비율이 높고, 저렴하므로 폭넓게 이용되고 있다. 최고 감도 파장은 2 μm에서 2.6 μm이고, 냉각함으로써 특성이 향상되고, 음의 온도계수( $4 \times 10^4 \text{ eV/}^{\circ}\text{C}$ )를 가진 파장 특성에 의하여 장파장 측에 감도를 갖도록 한다. PbSe센서는 여러 가지 공해 물질의 흡수 파장을 커버한다. 주위 온도에 의해 저항, 감도, 응답 특성이 크게 변하기 때문에 온도 보상을 하며, 회로 상에서 보상할 수 없으므로 항온 유지가 필요하고, 상온보다 낮은 온도로 일정하게 유지되어서 사용하는 전자 냉각형 센서로 사용된다.

InAs, InSb 센서는 1 ~ 5 μm 영역에서 냉각함으로써 가장 높은 감도가 얻어지는 단결정 반도체 센서이다. InAs 센서는 광기전력형으로 실온에서 0.36 eV, 액체질소에서는 0.41 eV의 좁은 금제대를 갖고, 1 μm에서 3 μm의 파장 영역에서 최고 검출율을 표시하며, 노이즈는 화이트 노이즈가 주성분이다. InSb 센서는 3 μm에서 5 μm으로 고정도, 고속응답을 한다. 상온에서 0.18 eV, 액체 질소에서 0.23 eV의 금제대를 갖고 있는데, 실온에서는 열전자의 여기 때문에 센서로서의 S/N은 잡히지 않는다. 대표적인 응용으로는 적외 분광 광도계, 적외선 카메라, 가스 분석기, 방사 온도계 등 많은 분야에서 특수한 목적으로 사용된다.

## 3. 불꽃(Flame) 감지에 필요한 적외선 센서 특성

### 3.1 불꽃의 스펙트럼 분포

연소 과정에서 나타나는 불꽃은 넓은 스펙트럼

대역의 에너지를 방사시키고 가시광 외에 육안으로 볼 수 없는 파장대의 적외선과 자외선을 방사한다. 통상 가시광선은 0.4  $\mu\text{m}$ 에서 0.8  $\mu\text{m}$  정도까지의 영역이고, 0.4  $\mu\text{m}$ 보다 짧은 파장은 자외선, 0.8  $\mu\text{m}$ 보다 파장이 긴 것을 적외선이라 한다. 연소 물질이나 온도에 따른 분광 분포 특성은 약간 다르지만 촛불이나 가솔린의 연소시 분광 분포는 2.0  $\mu\text{m}$ , 4.4  $\mu\text{m}$  부근의 2개소에서 최대값이 나타나며, 청백색 불꽃의 완전 연소에 가까운 도시가스의 분광 분포는 2.0  $\mu\text{m}$ , 3.0  $\mu\text{m}$ , 4.4  $\mu\text{m}$  부근에서 최대 방사를 나타낸다. 이들 불꽃 모두는 4.4  $\mu\text{m}$  부근에서 최대 분광 에너지를 방사하고, 이것은 연소에 의해 발생하는 CO<sub>2</sub>에 의한 공명방사에너지로 다른 고온 물체에서는 볼 수 없는 특징이다. 이러한 이유로 검출계의 광학 필터는 4.4  $\mu\text{m}$  대역을 통과하는 윈도우 재료를 사용하며, 재료는 사파이어(Sapphire), 실리콘 판 등이 있고, 이것에 금속을 증착하여 광학 대역 통과 필터를 구성하는 것이 일반적인 방법이다.

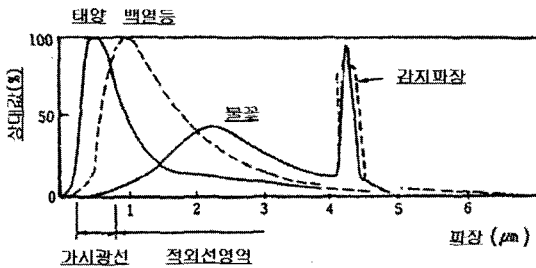


그림 4.

### 3.2 적외선식 불꽃감지기 감지 방식

적외선식 불꽃감지기는 일국소의 적외선에 의하여 수광 소자의 수광량 변화에 의해 작동하는 감지기로 화재에 의해 발생된 불꽃에 포함되는 적외선 영역내의 파장성분, 방사량을 감지하는 방법에는 일반적으로 다음 방식이 있다.

공명 방사 방식(CO<sub>2</sub> Resonance Radition Method)은 연소시 탄산가스 분자는 약 4.3  $\mu\text{m}$ 의 중간 적외선 영역에서 공명방사가 존재한다. 이것은 물체의 연소 열에 의한 탄산가스가 열을 받아서 생기는 탄산가스 특유의 분광특성으로 이 공명선만을 취하기 위해 검

출소자는 긴 파장 영역에도 검출감도를 갖는 PbSe를 사용하고 광학 필터는 3.5  $\mu\text{m}$  ~ 5  $\mu\text{m}$ 의 적외선 통과 필터가 사용된다.

2파장 검출 방식은 물체가 연소시 불꽃의 온도는 약 1100 ~ 1600 °K 정도인데 비하여 일반 조명이나 태양의 빛은 이보다 높다. 이런 분광 특성이 서로 다른 점을 이용하여 공명선의 파장과 다른 파장의 에너지 차이 또는 대비를 검출하여 판단하는 방식이다. 이 방식은 광학 필터와 검출 소자를 조합하여 파장에 대한 에너지 분포를 식별하고 있지만 검출 소자는 태양 전지를 2개 사용하는 경우나 태양 전지와 PbS외 다른 종류를 사용하며 환경적인 빛에 의한 영향에 대해 우수하며 화재 검출 감도가 매우 좋은 특징이 있다.

정방사 검출 방식은 조명광의 영향을 방지하기 위해 0.72  $\mu\text{m}$  이하의 가시광선을 차단하는 적외선 필터에 의하여 적외선 파장 영역 내에서 일정한 방사량을 실리콘 포토 다이오드(Silicon Photo Diode)나 포토트랜지스터(Photo Transistor)를 사용하고, 검출 소자의 특성상 너무 긴 파장을 차단할 수 있는 적외선 필터를 사용하기 곤란하여 밝은 장소에서는 사용하지 않으며 가솔린 화재가 예상되는 터널에서 이용된다.

플리커(Flicker)검출 방식은 불꽃에서 발생하는 깜박임을 검출하는 방식으로 CO<sub>2</sub>의 분자 공명에 의해 연소시 산소를 흡수하여 호흡 작용을 하므로 약 2 ~ 20 Hz의 주기를 갖고 가물거리게 되며 이것을 초전도 소자를 이용하여 검출한다. 백열등은 약 1  $\mu\text{m}$ 가 되며 인체에도 9  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$ 의 최대 파장을 갖는 복사가 있다. 그러나 불꽃에서는 2 ~ 3  $\mu\text{m}$  부근에서 완만한 파형이 나타나거나 4.3  $\mu\text{m}$  근처에서 예리한 최대값을 갖는다. 검출계의 광학 필터는 사파이어에 다층막을 형성시켜 4.3  $\mu\text{m}$  부근의 적외선만 유도시키고 불꽃의 흔들림의 변화를 검출한다.

## 4. 적외선 센서의 불꽃감지기 적용

### 4.1 초전형 적외선 센서

초전 재료에 적외선이 입사하면 자발분극의 미세

한 극성 변화 효과에 의해 기전력이 발생하는 초전 효과를 이용한 초전형 적외선 센서의 외형을 그림5에 나타내었다.

투과창 재료는 불꽃을 효과적으로 검지하기 위하여 4.3  $\mu\text{m}$  영역의 대역만을 투과하는 실리콘 재료가 사용되었고, 센서의 감도는 약 1.3 mV<sub>p,p</sub>(500 K, 1 Hz)정도이며, 공급전압은 3 ~ 15 Vdc 이다. 또한 주 위 온도 변화와 습도에 강하도록 TO형 패키지로 구성되었다.

4.2 적외선 센서의 불꽃감지기 적용

화재시 나타나는 불꽃의 스펙트럼 영역중 적외선 영역을 효과적으로 검출하기 위하여 초전형 적외선 센서의 미약한 신호를 2단계에 거쳐서 증폭하고 최종 단에 비교기를 거쳐서 디지털 펄스열고 변환하는 구동 회로를 아래 그림에 나타내었고, 실험 파형에 대해 몇 가지로 구분하여 나타내었다.

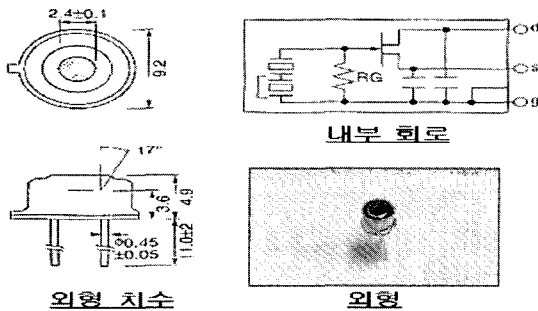


그림 5.

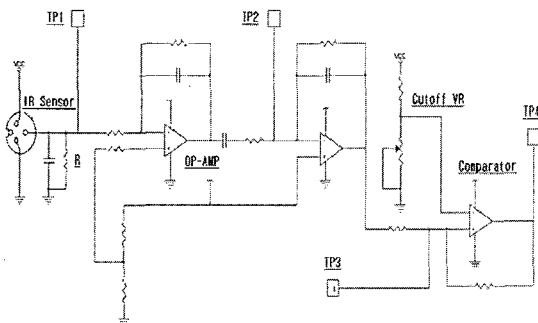


그림 6. 적외선 센서 구동 회로.

아래 그림7과 그림8은 불꽃이 없는 상태와 초기 불꽃을 인가 한 경우, 센서 단의 출력과 프리 증폭기의 출력 단의 응답 파형을 나타낸다.

그림9와 그림10은 거리에 따른 방사 강도를 달리 한 것으로 프리 증폭기의 출력단과 2차 증폭기의 출력 단의 응답 파형을 나타낸다.

그림11과 그림12는 불꽃 인가시 최종 비교기 출력을 나타내며 약 1.16 Hz와 7 Hz의 플리커 주파수를 나타내어 불꽃의 흔들거림을 검출하고 있다.

일반적으로 적외선식 불꽃감지기의 오보 원인을 최소화하기 위하여 불꽃의 흔들림의 변화를 검출한다. 금속, 암모니아, 수소, 황과 같은 화재에 대해서는 적외선 감지기가 적합하지 않을 수 있으며, 일정한 적외선 발생원이 될 수 있는 터빈, 압축기로부터

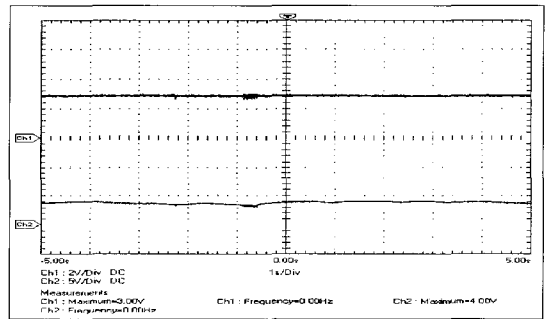


그림 7. Tp1과 Tp2의 출력 파형(불꽃제거시).

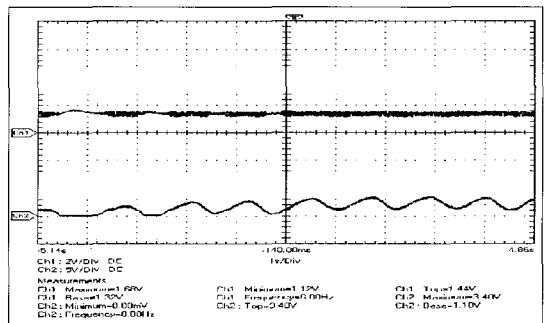


그림 8. Tp1과 Tp2의 출력 파형(불꽃인가).

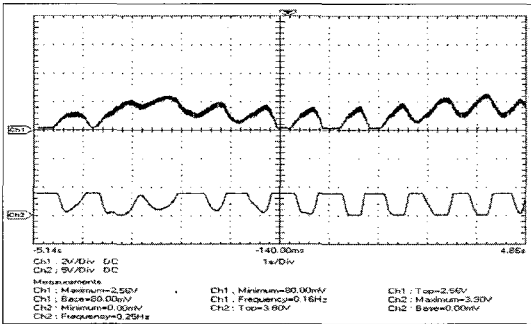


그림 9. Tp2와 Tp3의 출력 파형(단거리).

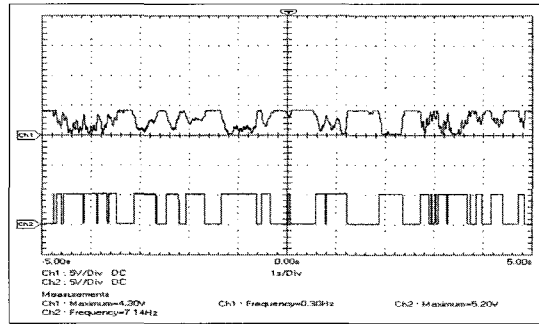


그림 12. Tp3과 Tp4의 출력 파형(불꽃인가).

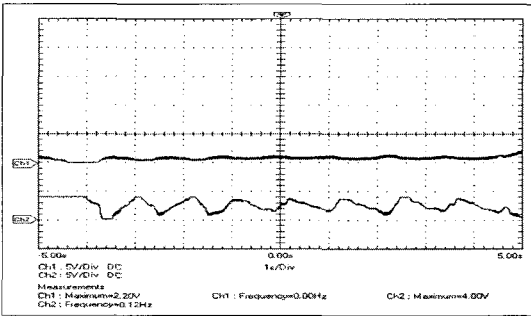


그림 10. Tp2와 Tp3의 출력 파형(장거리).

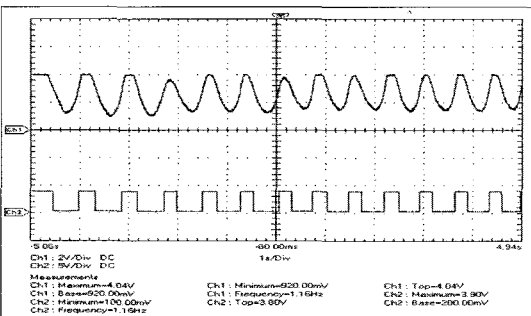


그림 11. Tp3과 Tp4의 출력 파형(불꽃인가).

주파수 변조된 흑체 복사를 받을 경우 비화재보가 일어날 수 있다. 감시창에 얼음과 물 필름이 형성되면 적외선 감지기의 감도가 떨어진다.

## 5. 결론

본고에서는 적외선 센서의 기초 이론을 설명하고, 적외선 검출에 사용되는 센서의 종류와 특성을 소개하였다.

탄소를 함유한 가연물의 화재 성상에서 나타나는 불꽃(Flame)의 적외선 파장 영역을 검출하여 화재를 감지하는 자동화재 탐지설비의 적외선식 불꽃 감지기에 초전형 적외선 센서를 적용하여 동작 특성을 나타내었다.

## 참고 문헌

- [1] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, "Infrared Detectors and System", A Wiley-Interscience Publication, 1996
- [2] S. O. Kasap, "Optoelectronics And Photonics", Prentice Hall, 2001.
- [3] Wallace B. Leigh, "Devices for Optoelectronics", Dekker, 1996.
- [4] 이승래, "광소자 응용 기술", 연학사, 1993.

[5] EN54, Part 10, Fire Detection And Fire Alarm Systems, Part 10 : Flame Detectors-Point Detectors, 1996.

[6] "UV/IR 화재장치 감지 개발", 한국 화재보험협회 부설 방재시험 연구원, 과학기술부, 1999.

저자|약력



성 명 : 임병현

◆ 학 력

- 1999년 조선대 제어계측공학과 공학사
- 2001년 조선대 대학원 제어계측공학과 공학석사
- 2004년 조선대 대학원 제어계측공학과 공학박사

◆ 경 력

- 2001년 - 2002년 이엠티(주) 기술연구소
- 2002년 - 현 재 (주)한맥테크놀로지 기술개발부
- 2003년 - 현 재 전남도립 남도대학 컴퓨터응용전기와 겸임교수



성 명 : 김영민

◆ 학 력

- 1989년 전북대 전기공학과 공학사
- 1991년 전북대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1996년 전북대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1997년 - 1998년 (주)삼원그룹건축사사무소 전기감리부 대표이사
- 1998년 - 현 재 전남도립 남도대학 컴퓨터응용전기와 교수
- 2004년 - 현 재 전남도립 남도대학 기획홍보실 실장

