

# 자외선 센서를 이용한 화재감지기 응용 회로 설계

김영민, 김종만  
전남도립대학

## Circuit Design of Ultraviolet Flame-Sensor for Fire-Fighting Appliances

Yeong-Min Kim, Jong-Man Kim  
Jeonnam Provincial College

**Abstract :** In this paper, we proposed that when combustible burn with ultraviolet radiation, introduce fire detector with sensor of private-use detectable light energy as ultraviolet in energy of electromagnetic-wave type radiate from flame. This research using ultraviolet flame sensor is pyro-electric ultraviolet sensor based black body radiation theory. To have high sensibility and to gain proper output voltage, it has high responsive performance. This research introduced UV flame detector and proposed method of false alarm reduced to resemble fire. the result proposed the prevention and extinction of fire technique degree, certificated operation of detector.

**Key Words :** fire detector, ultraviolet flame sensor, high responsive performance

### 1. 서론

최근 화재로 인한 인명, 재산상의 피해를 줄이기 위한 소방 분야에서 자외선 센서는 열이나 연기보다 빠른 감지 특성을 보이므로 화재시 불꽃(flame)의 검출, 보일러의 점화 불꽃 검출, 최근에는 초고압 송전선로의 코로나(corona) 방전 검지에도 사용되고 있다. 이와 같은 자외선 분야의 센서 응용이 광범위함에도 그 시장 규모가 작고, 고효율의 수광 소자가 부족한 실정이다.

자외선 센서는 크게 외부 광전효과형과 내부 광전효과형으로 나뉘어진다. 외부 광전효과형은 진공 중에 놓인 금속이나 반도체에 빛이 조사되면 그 표면에서 진공 중에 전자(광전자)를 방출하는 광전효과를 이용하며, 주로 진공관 형태의 광전관이 대표적이다. 내부 광전효과형은 N형 반도체와 금속과의 접촉에 의해서 생기는 장벽층에 빛이 조사되면 전도대 내의 전자나 충만대 내의 정공의 수가 늘어서 도전율이 증가하는 현상인 광도전 효과를 이용하며, 주로 실리콘(Si) 포토다이오드나 질화물(GaN)의 쇼트키, SiC의 포토다이오드 등이 대표적이다.[1-3]

본 연구에서는 자외선 센서의 종류와 기초 원리 및 특성을 이해하고, 화재경보 설비의 불꽃 감지기를 위한 효과적인 자외선 파장대역을 검출할 수 있도록 불활성 가스를 봉입한 광전관형 센서의 원리 및 특성을 고찰하고자 한다. 또한, 실제 화재 감지기의 구동 부분을 펄스 폭 변조(pulse width modulation)의 방법을 사용하여 자외선 입사 시에만 방전이 발생되도록 설계하고, 자외선에 대한 정확한 검출을 위한 구동 회로 방법도 제시하고자 한다.

### 2. 광센서의 종류

광으로서 인간의 눈에 느껴지는 가시광(파장 400~

760nm)을 중심으로 한 자외선(100~400nm) 및 근 적외선(760~2000nm)은 생활, 산업, 과학 등의 분야에서 깊이 인간 생활과 밀착하고 있다. 이러한 빛을 검출하여 전기 신호로 변환시키는 센서는 그 필요성 때문에 재료, 형태, 동작 원리가 서로 다른 것이 목적에 대응하여 개발, 사용되어 왔다. 또 특성적으로도 파장영역, 응답속도, 출력신호 레벨, 공간 분해능 등 용도에 따라 요구를 만족시키기 위하여 수많은 연구, 개량이 행해지고 있다.

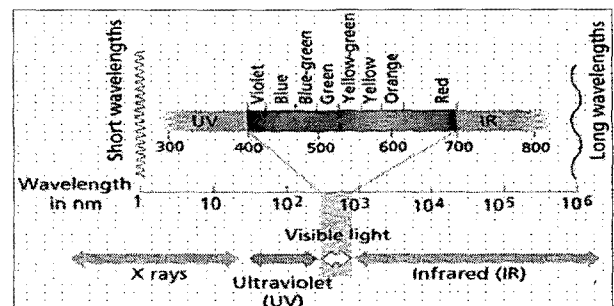


그림 1. 태양광의 스펙트럼 분포

파장  $\lambda$ (nm)을 에너지  $E$ (eV)로 나타내면,

$$E = 1240/\lambda \quad (1)$$

으로 주어진다. 이 식에서 자외선~근적외선 영역에서의 파장과 에너지의 관계를 재료적으로 본 경우, 금지대 폭  $E_g$ 가 이 범위에 들어가는 것은 절연체의 일부와 반도체이다. 표 1에 주된 재료와 금지대폭과 식(1)에서 구할 수 있는 한계 감도 파장을 보여주고 있다.

자외선~근적외선 영역에서의 광센서의 종류가 매우 풍부하며, 특성적으로 우수한 것을 싼 값으로 입수하기 쉬

은 이유는 용도가 광범위 한 데도 기인하지만 재료 적으로 가까운 주변에 있는 것을 이용 할 수 있는 점도 큰 요인이다. 이들 재료는 광센서용으로서 뿐만 아니라 발광체, 발광소자, 집적회로용 기판 등으로 사용되기 때문에 순도가 높은 것이 용이하게 입수되고 그 가공 처리 기술도 응용하기 쉬운 점을 간과해서는 안 된다. 특히 Si반도체가 그 대표이며, 단체(單體)의 센서로서 기능, 특성이 뛰어나고 가격 면에서 값싼 것이 많이 이용되고 있을 뿐 아니라, 광전 변환부의 주변에 신호 처리 회로를 집적화한 기능 소자로서도 고성능인 센서가 개발되어 새로운 광센서 응용 분야를 확대해 가고 있다.

표 1. 재료별 에너지와 파장 특성

물질명	흡수단	
	$E_g$ (eV)	$\lambda$ (nm)
NaCl	10	124
SiO <sub>2</sub>	8	155
CsI	6.9	180
GaN	3.39	366
GaP	2.24	554
GaAs	1.43	867
GaSb	0.68	1824
InP	1.35	919
InAs	0.36	3444
InSb	0.18	6889
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	1.62	765
ZnS	2.65	468
ZnTe	2.26	549
CdS	2.42	512
CdSe	1.7	729
CdTe	1.44	861
Se	2.3	539
Si	1.15	1078
Ge	0.68	1823
PbO	2.6	477
PbS	0.39	3179
PbSe	0.24	5167

광센서는 광전 변환 원리에 의하여 광전자 방출효과, 광도전효과, 광기전력효과 등의 소자로 분류된다. 또 형태에 따라 입사광의 시간적 변화를 검출하는 포인트 센서와 공간적인 확산을 갖는 입사광을 검출하는 이미지 센서의 기능적인 분류도 있다.

## 2.1 광전관

광전관은 광전면(음극)이라 불리는 광전자 방출 면과 방출된 광전자를 수집하는 양극으로 구성된 2극관이다. 광전관의 전자 방출 음극에는 광이 입사한 쪽에 광전자를 방출하는 불투명형 또는 반사형과, 입사한 면의 뒤쪽에 방출되는 반투명형이 있다. 반투명형은 양극 설계가 용이하여 낮은 양극 전압으로도 높은 감도를 얻을 수 있는 특징이 있다. 또, 광전관의 진공 용기 내를 고진공으로 한 진공형과 Ar과 같은 불활성 가스를 봉입한 가스 봉입형이 있다. 그림2는 광전관의 전압-전류 특성의 일례를 보인

다. 출력전류(양극전류)는 어느 전압 이상이 되면 포화하여 거의 일정한 값이 된다. 이 포화에 필요한 전압을 결정하는 요인은 전극 구조로서, 보통 50~90V정도 이지만 구조에 따라서는 3~15V정도의 낮은 전압으로도 사용할 수 있는 것이다. 입사 광량이 커지면 포화 전압이 상승하며 인가전압도 부하 저항의 영향으로 내려가 버리기 때문에, 인가전압은 항상 포화 영역에 들도록 설정하여 선형 범위를 넓게 잡아둘 필요가 있다.

가스 봉입형 광전관은 관내에 수십 Torr의 Ar등의 희소 가스를 봉입한 것이다. 가스가 이온화 되지 않을 정도의 낮은 전압에서는 광전류는 적어 진공 광전관과 다를 바 없으나, 방출된 광전자가 충분히 가속되면 희가스 분자와 충돌하여 이것을 이온화 시킨다. 이온화한 분자는 전기에 의해 다시 가속되어 음극(광전면)에 충돌하고, 다시 2차 전자를 방출 시킨다. 이 현상을 되풀이함으로써 광전류의 증배가 행해지고 증배율은 인가전압과 입사량에 의존하며 통상 5~50배의 증배를 기대할 수 있다.

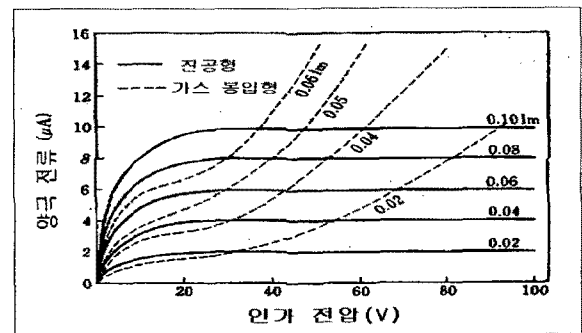


그림 2. 전압에 따른 양극 전류와의 관계

진공 광전관은 입사광량에 대한 출력의 직선성이 뛰어나며 적당한 양극전압만 주면 입사광량에 비례한 일그러짐이 없는 안전한 출력을 얻을 수 있다. 가스 봉입 광전관으로도 입사광량이 적을 경우에는 거의 비례한 출력을 얻을 수 있으나, 입사 광량이 많아짐에 따라 직선적인 변화를 벗어나다. 직선성의 하한은 암전류 레벨로서 정해지며  $10^{-12}$ A의 자리수이다. 상한은 이론적으로는 공간 전하의 제한에 의한 값이지만, 보통은 광전면의 전류 밀도가 커지면 드리프트에 의한 강도 변화가 일어나므로 0.1~1 $\mu$ A 정도가 안전한 사용 범위가 된다. 이와 같이 광전관으로부터 끌어낼 수 있는 전류는 미소하므로, 출력은 부하에 고저항을 사용하여 그 양끝의 전압 강하를 이끌어 내어 증폭하든가, FET입력의 오퍼 앰프로 전류/전압을 변환하여 사용하는 것이 일반적이다. 진공 광전관의 최대의 특징은 응답 특성이 뛰어난 점이다. 광전면에 광이 닿고 나서 광전자가 방출되기까지의 시간은 극히 짧다고 생각되며  $10^{-12}$ s 정도라고 한다. 응답 속도 특성을 정하는 것은 음극으로부터 양극까지의 전자 주행시간이다. 그러나 상술한 바와 같이 미소 전류를 끌어내어 사용할 경우에는 부하의 시정수가 커지며, 회로적인 제약에 의해 응

답 시간이 늦어진다. 고속 응답시키기 위해서는 특별한 구조와 동작 조건이 필요하며, 광전면과 양극이 평행 평판상으로 근접해 놓여지고, 고전압으로 동작시키는 파이프 런너형 광전관이 있으며, 고속 레이저 펄스의 측정 등에 사용된다.

## 2.2 UV트론

UV 트론(UV tron)은 자외선의 입사에 의하여 관내에 방전이 일어나도록 만들어진 가스 봉입 전자관이다. 용기는 자외선의 투과가 양호한 석영 유리나 자외선 투과 유리로 만들어지고, 광전면은 Ni, Mo 등 단급속이 사용된다. 방전을 발생시키기 위한 광자수는 비교적 적으므로 고감도, 고속현상의 검출이 가능하다. 한번 방전이 생기면 입사광을 차단해도 방전은 정지하지 않으며, 정지시키려면 인가전압을 저감하지 않으면 안된다. 이 때문에 입사광 유무의 검출만이 가능하며 일단 방전한 경우 그 사실을 유지하는 기능을 갖는 까닭에 자외선에 의한 불꽃의 감시 등에 유용하다. 아래 그림3은 UV 트론과 각종 스펙트럼의 비교를 나타낸다.

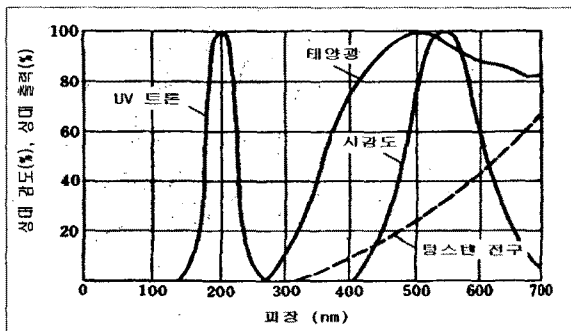
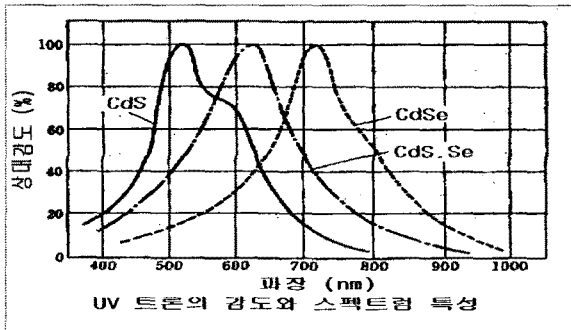


그림 3. UV tron의 스펙트럼 특성

불꽃의 스펙트럼 중에는 자외선도 포함되어 약 280nm 이하의 파장에 한해 UV트론이 감도를 갖기 때문에, 태양광이나 노벽(爐壁)의 광의 영향을 받을 수가 없고 화재탐지, 파일럿 버너의 감시 등에 응용되고 있다.

## 2.3 광전자 증배관

광전자 증배관은 관내에 2차 전자 증배기를 내장한 광전관이며, 특히 미약 광을 고 이득, 저 잡음, 고소, 넓은 다이내믹 레인지로 검출하는 것을 목적으로 한 광검

출기이다. 광전자 증배관의 분류로서는 우선 제1의 입사광의 방향에 의한 사이드 온(Side on)형과 헤드 온(Head on)형이 있다. 사이드 온형은 측정 광이 밸브 측면으로부터 입사되는 타입으로서 반사형의 광전면이 사용되며, 서큘러케이지형의 다이노드만이 사용된다. 헤드 온형에서는 입사창 내측에 투과형의 광전면이 직접 부착되어 있으며 다이노드의 형상도 용도에 따라 서큘러케이지형, 흑소형, 라인 포커스형, 베네시안 브라인드형이라 불리는 것들이 채용되고 있다.

광전자 증배관이 다른 광검출기에 비해 뛰어난 점은 ① 고이득( $\text{Gain} = 10^6$ ), ②고속(상승시간 $\approx 10 \sim 1\text{ns}$ ), ③넓은 다이내믹 레인지( $\approx 10^6$ ), ④저잡음(등가 입력 잡음 $\approx 10^{-16} \text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$ ), ⑤고감도(단일 광전자 검출 가능) 등을 들 수 있다. 더욱이 강조할 만한 것은 이들의 특성이 수광면의 크기에는 그다지 좌우되지 않는 점이며, 이것은 특히 반도체 광 검출기와 비교하여 큰 특징인 동시에 이점으로 되어있다. 현재 크기로는 9.7mm $\phi$ 의 작은 것에서부터 508mm $\phi$ 의 초대형의 것 까지 각종, 각 사이즈의 것을 얻을 수 있다. 이와 같이 광전자 증배관의 주된 용도는 분석기기, 의료용기기, 방사선 계측기, 통신정보기기, 공해측정기 등 극히 다분야에 걸쳐 있다. 미약 입사광( $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{W}$  이하)의 계측에는 포톤 카운팅법이 사용되며 광전자 증배관의 뛰어난 특성이 발휘되고 있다. 또 방사선과 같은 고에너지 입자 검출에 있어서는 신틸레이터와 조합해서 많이 사용되고 있다. 이밖에 고속 응답 광전자 증배관으로서 증배부에 마이크로 채널 플레이트를 사용한 것도 있다.

## 3. UV tron의 자외선식 불꽃 감지기 적용

### 3.1 UV tron

UV 트론은 기체를 봉입한 자외선을 투과하는 유리관 속에 광전물질을 부착한 광전면과 작은 양극을 특정 간격으로 설치, 유리관 속을 진공 또는 불활성가스를 넣은 전자관이다.

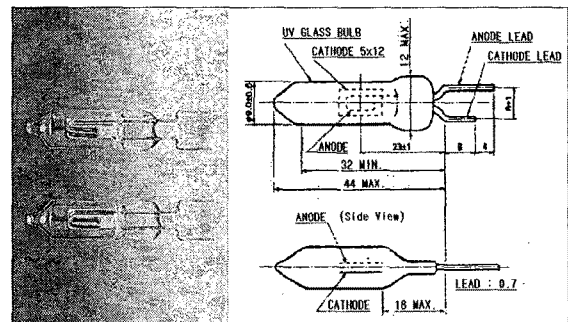


그림 4. 제품화된 광전관

외부에서 광전면에 빛이 입사하면 광전자는 입사 광자가 갖고 있는 에너지가 음극의 일함수보다 큰 경우에 음

극 면에서 광전자가 방출되며 방출된 광전자는 전계에 이끌려 봉입기체와 충돌하여 전리시키면서 양극으로 몰려 들어가게 되고, 봉입기체의 전리에 따라 생긴 +이온을 전계에 의해 음극으로 향하여 음극표면에 충돌하여 증배된 전자를 음극 면에서 방출시켜 간다.

표 2 UV tron의 특성

GENERAL		
Parameters	Rating	Units
Spectral Response	185~260	nm
Window Material	UV glass	-
Weight	Approx. 1.5	g
Characteristics (at 25°C)		
Parameters	Rating	Units
Supply Voltage Max.	400	Vdc
Peak Current Max.	30	mA
Discharge Starting Volt.	280	Vdc
Recommended Operating Volt.	325±25	Vdc
Recommended Discharge Volt.	Average 100	μA
Background	10	cpm Max
Sensitivity	5000	cpm Typ.

광전면에 부착하는 광전 물질은 세슘(CS)-은(Ag), 세슘-안티몬(Sb), 세슘-텔루르(Te), Multi알칼리 등이 사용되며 전극판에 증착한다. 회로는 양극인 Anode와 음극인 Cathode회로에 연결된 저항 R에 과전류에 의한 전압 강하( $e=I \times R$ )의 변화를 입사광의 변화를 나타내므로 이 전압의 변화를 이용한 것이다. 상용화된 UV 트론의 특성을 표에 나타내었다.

### 3.2 UV 트론을 이용한 자외선식 불꽃감지기 응용

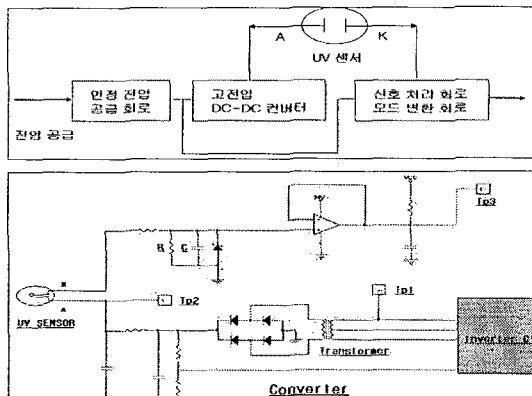


그림 5. 회로 블록도와 실험 회로

일반적으로 자외선 불꽃 감지기는 탄소를 함유한 가연물 연소시 불꽃의 스펙트럼 분포는 자외선의 경우 250nm

이하의 파장을 갖는 에너지 방사에 반응하는 감지기로써 이 파장 영역에서 Gamma, X선, 용접불꽃, 조명기구 등이 비화재보를 일으킬 수 있다. 불꽃감지기의 전원 회로는 직류 전압을 UV tron에 인가하며 사용된 전원은 24Vdc의 전압이며, 전원 회로의 평균 소비전류를 적게 하기 위해 소형 트랜스포머를 이용하여 고전압을 생성하고 이것을 정류하여 센서에 고전압을 인가하였다. 센서의 출력을 얻기 위해 위 회로와 블록을 기준으로 구성하였다.

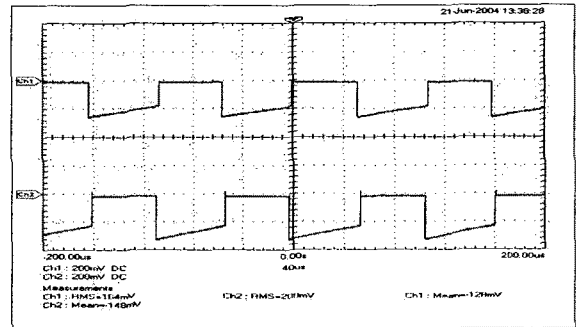


그림 6. PWM 제어 파형

전원 전압을 상승시키기 위하여 PWM 방식을 사용하여 50% 비율로 설정되었다. 또한, 회로에 나타난 Tp1에서의 전압 파형을 아래 그림에 나타내었다. 실제 트랜스의 유도성 성분으로 인하여 파형 자체가 약간의 왜곡이 생기는 것을 볼 수 있다.

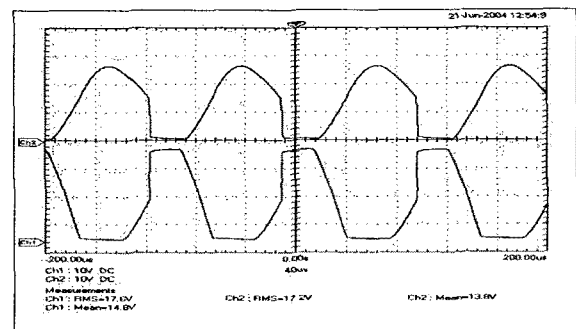


그림 7. Tp1에서의 전압파형

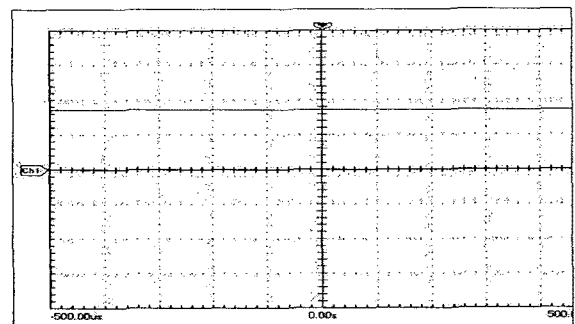


그림 8. UV tron의 입력 전압 파형

센서의 인가전압을 브릿지 정류 회로를 이용하여 직류 성분으로 변환한 Tp2에서의 전압 파형을 그림에 나타내었다.

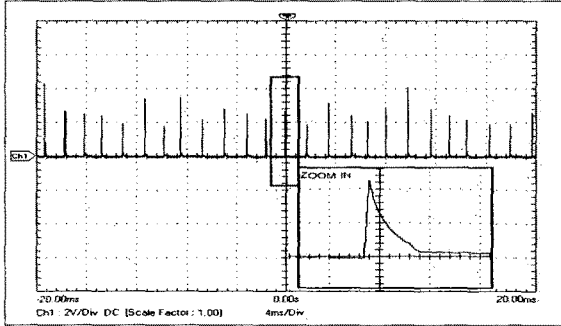


그림 9. UV tron의 출력 전압 파형

UV tron에 불꽃이 인가되었을 때 나타나는 출력 파형과 실제 적용 회로를 보이고 있다.

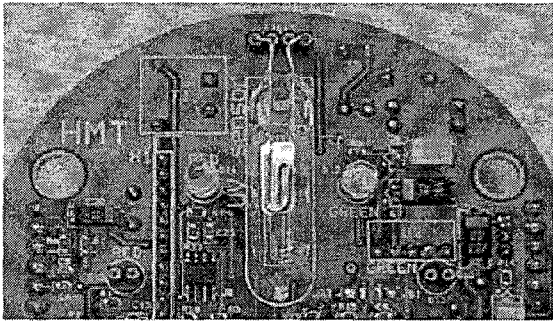


그림 10. UV센서 응용 회로설계 PCB

#### 4. 결론

자외선 센서의 종류와 기초 원리 및 특성을 고찰하고, 소방경보 설비용 불꽃 감지기를 위한 효과적인 방법으로서 불활성 가스를 봉입한 광전관형 센서의 원리 및 특성을 통해 자외선 파장대역을 효과적으로 검출할 수 있는 방법을 연구하였다. 또한, 실제 화재 감지기의 구동 부분을 펄스 폭 변조( pulse width modulation ) 방식을 이용하여 자외선 입사 시에만 방전이 발생되도록 설계하고, 자외선에 대한 정확한 검출을 위한 구동 회로 방법도 제시하였다. 본 화재감지용 자외선 불꽃 감지기의 회로를 응용할 경우 화재로 인한 인명과 재산 피해를 예방하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] S. O. Kasap, "Optoelectronics And Photonics", Prentice Hall, 2001.
- [2] Pallab Bhattacharya, "Semiconductor Opto-electronic Devices", Prentice Hall, 1997.
- [3] Wallace B. Leigh, "Devices for Optoelectronics",

- Dekker, 1996
- [4] 이승래, "광소자응용기술", 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.