

## 초기화재 감지를 위한 정밀한 연기 입자 감지 장치 개발

Development of a Precision Smoke Particle Detector to Sense a fire in early state.

김희식\* , °김영재 \*\*, 이호재 \*\*

\* 서울시립대학교 제어계측공학과(Tel: 210-2428; FAX: 213-8317 )

\*\* 서울시립대학교 대학원 (Tel:210-2569; FAX: 213-8317 )

**Abstract** : The conventional fire detection devices are operated after a processed fire phase, which are sensing only a high density of smoke level or high temperature heat. They are not so precision to detect a fire in the early phase to protect the facility from the fire. We need to develop a new high precision smoke detection system to keep expensive industrial facilities most reliably from fire. A new optical precision smoke detection system was developed. It monitors very low level density of smoke particles in the air. It is operated continuously through many years without a stop or any malfunction. The developed precision smoke detection system will be installed in important industrial facilities, such as power plants, underground common tunnel, main control rooms, computer rooms etc.

**Keyword** : Fire Detection , Smoke, Optical Sensor, Xenon Lamp, Chamber

### 1. 서론

화재 경보 기기는 사무실, 공장, 상가, 아파트 등의 대부분의 건물에 설치 되어 갑작스런 화재에 대비 하는 목적으로 설치 되어 있다. 현재 여러 분야의 산업이 발전함에 따라 사무실, 공장 등의 생산 작업 방법과 환경이 다양화 되고 있다. 이는 화재 발생 원인의 종류가 많아 지고, 화재 발생 환경이 다양해 진다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 화재 경보기의 화재 감지 방법의 다양화를 가지고 왔다. 그 중에서도 전기 사용이 증가로 인한 전기 누전에 의한 사고가 많이 발생되고 있다. 특히, 전기를 많이 사용하는 장비가 대부분 고가이고 이를 화재로부터 보호 하는 것이 인명 보호와 함께 화재 경보기의 중요한 역할이다. 전기 누전으로 인한 화재의 경우 실제 열과 빛을 발생하는 화재 이전에 전선에서 발생하는 열에 의해 피복이 녹고 눈에 보이지 않는 연기가 발생 한다. 이러한 현상을 감지 한다면 실제 화재 발생 수분전에 감지가 가능하고, 조기 진화 및 화재 방지가 가능하다.

본 논문에서는 초기 화재 발생시 발생하는 눈에 보이지 않는 미세한 연기를 광학식 센서와 Xenon 램프를 이용하여 감지하는 방식을 채택하여 기존의 열 감지식 및 연기 감지식 화재 감지기 보다 감도가 우수하고, 오동작이 적은 감지기를 연구하고 개발 한바 이에 대해 설명하고자 한다.

### 2. 광학식 감지기의 기원

'Nephelometer'라는 용어에 대해 보면, 'nepheos' 라는 그리스 어로 'cloud'라는 의미를 가진 말로부터 나왔다. 즉, Nephelometer는 연기와 먼지의 밀도를 측정한다는 의미이다.

이 광학적 기구는 대기 중에 떠 다니는 연기나 먼지와 같은 작은 입자에 비추기 위해 밝은 빛을 사용한다. 초기에는 예전의 망원경과 현미경처럼 사람의 눈을 감지기로 사용하여 작은 입자로부터 산란되어 오는 작은 빛의 양을 측정하였다. 입자로부터 산란되는 빛의 양은 입자의 크기와 조명의 파장에 따라 다르다. 태양광은 적외선부터 자외선까지의 다양한 파장을 가지고 있다. 이러한 태양 빛은 측정 가능한 입자 크기의 범위를 넓혀 줄 수

있다. 하지만 24 시간 태양광이 없어도 측정할수 있게 하기 위해, 태양광의 대체 광으로 Xenon 램프가 사용된다. Xenon 램프는 사진기에서 사용되듯이 정확성, 편리성, 효율성 등에서 태양광을 대체 하기에 적합하다.

이번 연구에서는 이 Nephelometer 의 원리를 이용하여 초저밀도의 연기농도를 감지 하므로써 화재를 광학식으로 조기 감지 할수 있는 장치를 개발하였다.

### 3. 감지기의 원리 및 구조

#### 3.1 감지기의 광학부

그림 1과 같은 챔버 형태의 구조를 가지고 있다. 외부의 공기가 공기 흡입구를 통해 챔버 내부로 들어오고 공기 중에 포함된 먼지 나 연기는 광학센서에 의해 감지되고 공기 배출구를 통해 밖으로 나간다. 챔버 내부에서는 Xenon 램프가 2초 또는 5초 간격으로 켜지고, 챔버 내부에 먼지 나 연기와 같은 작은 입자가 있을 경우 그림 2와 같이 램프의 빛은 입자에 반사되어 챔버 끝에 설치된 광학 센서에 감지된다. 작은 입자가 없을 경우에도 챔버 내부의 벽면에 의해 반사되는 빛이 있는데 이 빛을 최소화 하기 위해 챔버 내부에 iris를 설치하고, 검은 색 무광택의 도료를 칠하였다. 자세한 챔버 구조와 센서 관련 회로와 램프 관련 회로, Timing 회로로 구성되어 있는 광학부의 회로 4절에서 자세히 설명하기로 한다.

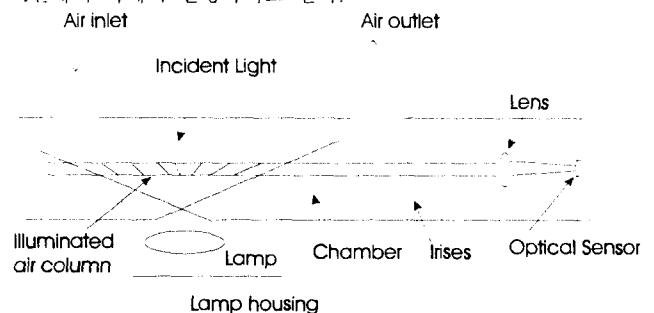


그림 1. 감지기의 광학부 구조

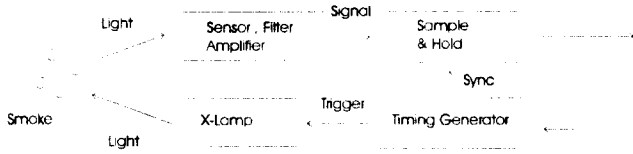


그림 2. 광학부 블록 다이어그램

### 3.2 메인 보드

그림 3과 같이 메인 보드는 화재 감지기 광학부로부터 나오는 화재 신호를 연속적으로 측정하여 그 상태를 LCD 화면에 표시하고 풍압 펌프와 같은 화재 감지기 주요 부분의 상태를 검사하여 그 상태를 표시하거나 조절한다.

연속 검사를 통해 화재 신호가 아닌 장기간의 공기 오염으로 인한 오동작 등을 방지하고 설치 환경에 따른 화재 감지 감도를 조절한다. 단순 화재경보 뿐만 아니라 현재 화재 상태를 통신장치를 통해 관리자와 소방서에 알린다.

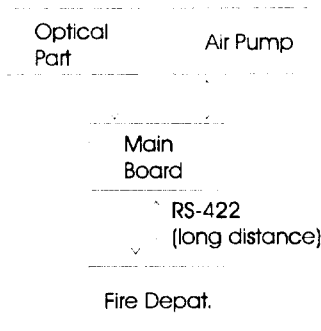


그림3. 화재 감지기 전체 블록 다이어그램

### 3.3 공기 순환장치

풍압 펌프를 이용하여 화재 감지 대상 지역의 공기가 덕트를 통해 화재 감지기 안으로 들어오도록 한다. 공기압은 조절장치에 의해 화재 감지 대상 지역의 넓이 맞게 조절한다.

## 4. 감지기의 광학부 시스템 구성

### 4.1 광학 챔버

그림 4와 같이 광학챔버는 여러개의 iris로 구성되어 램프로부터 직접 들어오는 빛을 차단하고 연기 입자에 반사 되어 들어오는 빛이 광학센서에 감지되도록 되어있다. 각각의 iris는 그림 5와 같은 구조로 되어있다.

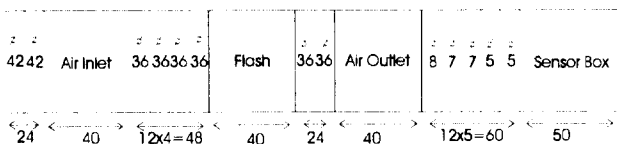


그림 4. 챔버 구조

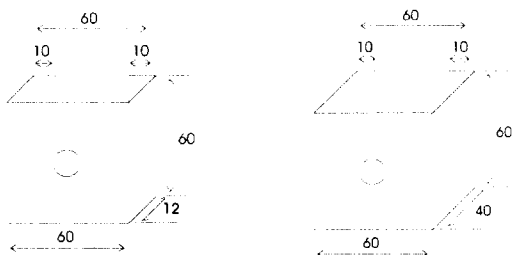


그림 5. Iris 구조

우선, 연기 입자를 포함한 공기는 광학챔버의 공기 입구로 들어가고 Xenon 램프 빛이 들어오는 Flash 부분에서 연기 입자가 감지 되고 공기 출구로 공기는 빠져 나가게 된다. 따라서 공기가 들어와서 나가는 구간은 공기의 흐름에 대한 iris의 방해를 최소화 하기 위해 홀의 크기를 36mm로 하였다. 그외에 공기 출구부터 센서박스가 있는 구간은 공기 흐름이 없기 때문에 챔버 내부의 벽면 반사로 인한 노이즈 즉, 연기입자에 반사된 빛 이외의 빛을 효과적으로 차단하기 위하여 8mm, 7mm, 7mm, 5mm, 5mm 순서로 iris를 설치 하였다. 그러므로 연기입자에 의해 반사되는 빛만이 센서에 감지 되도록 하였다. 챔버 내부의 모든 구조물은 무광색 도료로 칠해져 있고, 공기 입구, 공기 출구를 제외한 모든 부분은 밀폐하여 감지 대상 지역의 공기와 다른 공기가 섞이는 것을 방지하였다.

### 4.2 광학 센서와 렌즈

그림 6과 같이 광학센서는 챔버와 분리되어 철로 된 사각형의 상자 안에 설치되어있고 상자는 검은색 무광택 도료를 칠했다. 사용된 렌즈는 직경 20 mm의 F:25mm 의 것을 사용하였다. 센서는 렌즈와 25 mm 간격을 두고 설치하여 초점을 맞추었다. iris는 10mm 로 하였다.

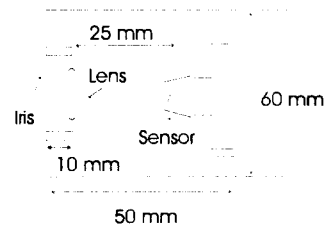


그림 6. 렌즈 및 센서 구조

### 4.3 필터회로 및 증폭회로

그림 7은 필터회로와 증폭회로로 필터 회로는 저항과 캐패시터로 구성되어 DC 성분의 광학 노이즈를 제거하였다. 이때 사용된 저항과 캐패시터 값은 100 K 와 0.01uF로 (식 1)에 의해 약 160 Hz의 C.O.F를 갖는다. 증폭 회로는 LM 358을 이용하여 반전 증폭을 하였고 증폭 비는 1단에서 100 배, 2단에서 100 배 전체적으로 10,000배를 증폭하였다. 그리고 전체 전압은 15V 이고 기준전압은 10 K 저항 두개를 이용하여 7.5 V로 하였다.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{식 1})$$



그림 7. 필터 및 증폭부 블록 다이어그램

### 4.4 Sample & Hold

그림 8 부분으로 화재 감지기 광학부에서 나온 화재 감지 신호를 메인보드의 A/D 컨버터가 읽을 수 있도록 충분히 유지시켜 주어야 한다. 그러기 위해서 약 5초 정도 신호를 유지시켜 주는 Sample & Hold 회로가 필요하다. Sample & Hold는 2 단으로 되어 있어 신호를 샘플링 하는 동안에 신호가 왜곡 되는 현상을 최소화 하였다.

1단에서는 센서 신호 증폭부로부터 나온 신호를 약 20 uS동안 샘플링 한다. 여기서 센서 신호의 최고값은 센서의 지연과 증폭회로의 지연에 의해 을 하여 약 20uS에서 나타난다.

2단에서는 1단에서 20uS동안 샘플링 하는 동안 생기는 신호 왜곡 현상을 막기위해 1단 샘플링 후 약 60 uS후에 80 uS 동안

샘플링 하여 약 5초간 유지한다. 그러면 그림 9에서 B 신호의 출력최대 값이 그림 9의 A 신호와 같이 5초간 유지 된다.

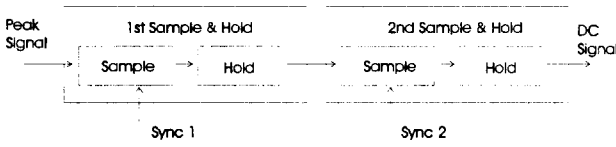


그림 8. Sample & Hold 블록 다이어그램

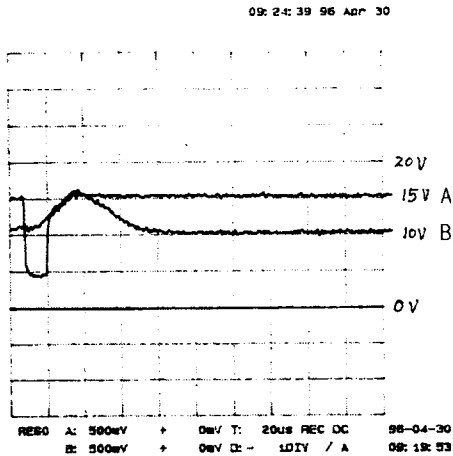


그림 9. 센서 출력과 Sample & Hold 출력

#### 4.5 Timing 회로

램프회로에 사용되는 트리거 신호와 Sample & Hold의 동기 신호를 만들어 회로이다. 그림 10와 같이 약 500 $\mu$ S 정도의 램프 트리거 신호를 기준으로 하여 트리거 신호와 동시에 약 20 $\mu$ S 정도의 1단 Sample & Hold 동기 신호를 발생시킨다. 그리고 60 $\mu$ S 후에 약 80 $\mu$ S의 2단 Sample & Hold 동기 신호를 발생 시킨다. 그리고, 그림 11 과 같이 어느 정도의 연기신호 가 감지 되었을 때는 연기 감지 측정 시간 간격을 5초에서 2초로 줄인다. 그렇게 하여 연기가 없는 정상시에는 램프 구동과 회로 사용으로 인한 전력 사용을 줄이고, 연기 감지가 예상되는 시기에는 램프 구동과 회로로 사용 주기를 빠르게 하여 보다 빠르고 정확하게 연기를 감지 할수 있도록 한다.

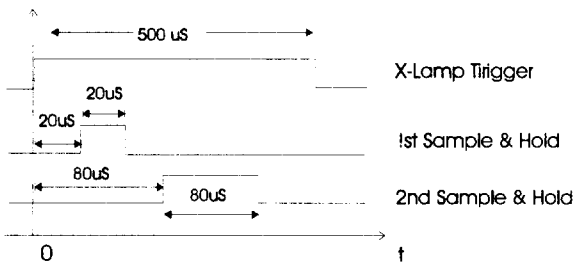


그림 10. Sample & Hold Timing

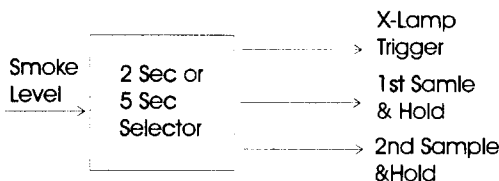


그림 11. 연기 신호에 따른 시간 선택

#### 4.6 Xenon 램프 회로

그림 12 부분으로 화재 감지기의 원리가 Xenon 램프의 빛이 연기에 반사량을 측정하여 화재 유무를 판단하는 방법이므로 매번 측정할 때 마다 일정한 양의 빛이 Xenon 램프에서 나오도록 회로를 구성하여야 한다. 그러기 위해서 방전용 콘덴서를 사용하였고, 콘덴서에 약 400V, 6 $\mu$ F이 충전되도록 하였다. 그외에 DC24를 400V로 승압하기 위해 DC inverter 회로가 구성되어 있고 트리거 코일을 통해 -5KV의 전압이 Xenon 램프 게이트에 걸리도록 하였다.

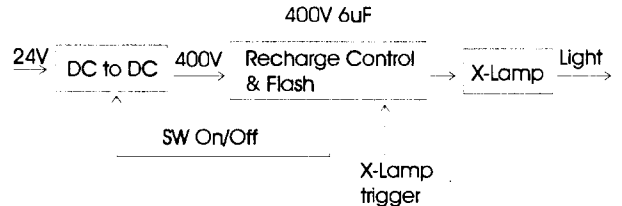


그림 12 . DC-DC conveter 와 램프

### 5. 실험 방법

연기 실험은 화재경보기 제조업체인 동방전자의 화재감지기 성능 검사장에서 실시 하였고, 현재 국내에 1% 미만의 연기농도를 측정할수 있는 장치가 없는 관계로 IEI사의 VESDA를 기준으로 실험하였다. 실험시 측정 범위는 0.0 %부터 약 1%까지 측정하였고 단위는 0.05% 이다. 화재 연기는 동방전자 연구소에 있는 연기 발생 장치를 사용하였다.

신호 측정은 램프의 트리거 신호를 기준으로 하여 광 센서로부터 나온 신호를 10,000 배 증폭한 증폭부 출력과 그 신호를 Sample & Hold한 최종 연기 신호를 측정하였다.

### 6. 실험 결과

그림 13, 그림 14 는 Sample & Hold 하기 이전의 증폭부의 신호 값으로 센서로부터 입력된 신호를 약 10,000 배 한후의 신호이다. 그림 13은 연기가 거의 없는 상태에서 측정한 값으로 약 100 mv 의 신호가 출력되었다. 여기서, 연기가 없음에도 약간의 신호가 출력되는 이유는 챔버 내부가 무광택도료로 칠해져 있지 만 약간의 빛은 반사된다. 그 값은 일정하다. 따라서 100 mv를 기준으로 하여 그 이상의 신호는 연기 신호이며, 그 이하 신호는 램프나 센서회로에 이상이 생긴 경우로 인정할 수 있다. 그림 14 는 약 연기농도 0.6% 인 경우로 약 3,100 mv 의 peak 전압이 측정되었다. 각 각 두 경우 모두 peak 전압은 차이가 많이 나지만 peak 전압 까지의 지연시간은 약 20 us 으로 서로 같다. 따라서 약 20 us 후에 Sample & Hold를 하므로써 peak 전압을 5초 이상 유지 시킬수 있다. 그림 15는 각각의 연기농도에 대한 샘플 & 홀드 신호값을 측정하여 그래프로 작성한 것이다. 신호값이 0% ~ 1% 까지 선형적으로 증가 됨을 알수 있다. 여기서 각 신호값은 0.01 % 의 오차를 가진다.

### 7. 결론

기존의 연기 감지식화재 감지기는 연기 농도 1% Obs/m 의 정밀도에 약 10~15% Obs/m에서 작동된다. 이번에 개발한 연기 감지 장치는 크세논 램프 섬광을 이용하여 연기입자에서 산란되는 미약한 광량을 Photo diode를 이용하여 매우 정밀하게 초저밀도의 연기 농도를 감지한다. 연구 결과 0.05% Obs/m 의 연기 농도를 감지하여 기존의 감지기와 비교하면 약 20 배의 정밀도

가 향상되었다.

이 장치는 앞으로 주요 산업시설 즉, 원자력발전소, 지하공동구, 플랜트 중앙제어실, 중앙컴퓨터실 등의 고가시설이 배치된 공장의 화재예방에 필수적으로 적용될수 있을 것이다.

00: 39: 35 97 Mar 18

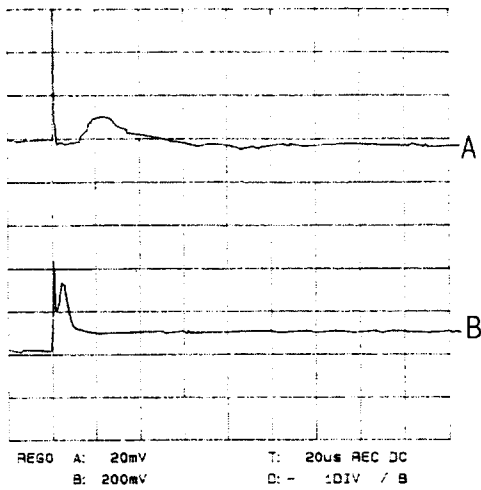


그림 13 . 0 %obs/m 일 때 증폭부 출력  
A: 10:1 probe , peak 100 mv  
B: trigger 신호( 기준신호 )

00: 43: 13 97 Mar 18

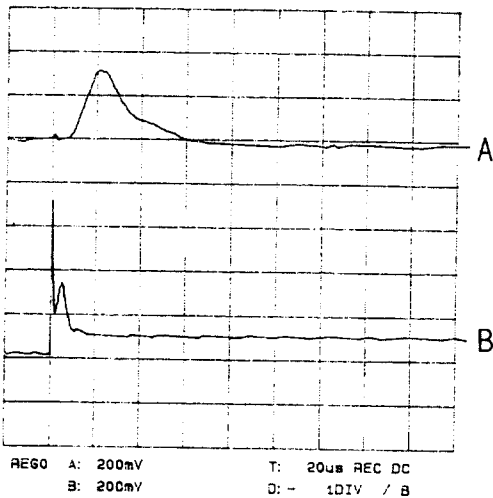


그림 14 . 0.6 % obs/m 일 때 증폭부 출력  
A: 10:1 probe , peak 3,100 mv  
B: trigger 신호( 기준신호 )

### 8. 참고 문헌

[1] E. Wagner, R. Dandliker, K. Spenner, "Optical Sensors", Sensors : A Comprehensive Survey, Vol 6, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1992  
[2] Alan S.Morris, "Principles of Measurement and Instrumentation", Prentice Hall, 1988 . pp 60-75  
[3] Partha P. Banerjee, Ting-Chung Poon , "Principles of

Applied Optics", Richard D. Irwin,Inc and Aksen Associates,Inc ,1991, pp 17-24

[4] Paul R.Yoder, Jr. "Opto-Mechanical Systems Design : Second edition, revised and expanded", Marcel Dekker,Inc .1992, pp 155-175

[5] Ljubisa Ristic , "Sensor technology and devices", Artech House Inc, 1994, pp 317-333

[6] Robert F.Coughlin, Frederick F.Driscoll , "Operational Amplifiers and Linear Integrated circuits fourth editon", Prentice Hall , 1991

[7] William H. HAYT, Jr.Jack E. Kemmerly. "Enginnering Circuit Anaysis fifth edition", McGRAW HILL , 1993, pp 212-215

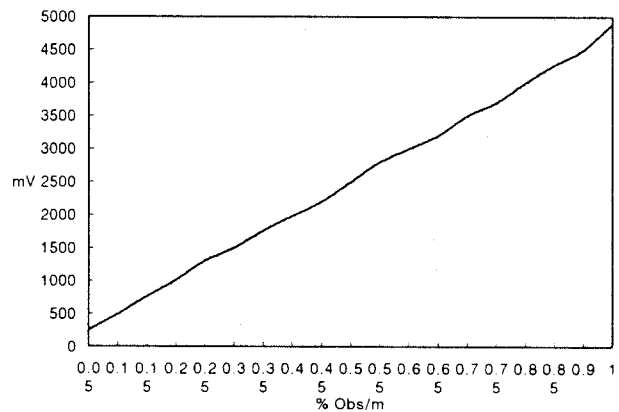


그림 15. 출력전압과 % Obs/m