

## 공기흡입형 연기감지장치에 관한 연구 The Study of Air Sampling Smoke Detector

이복영<sup>†</sup> · 이병곤\*

Bok-Young Lee<sup>†</sup> · Byung-Kon Lee\*

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, \*충북대학교 안전공학과  
(2003. 9. 16. 접수/2003. 12. 8. 채택)

### 요 약

공기조화설비가 설치된 감시공간에서의 화재 시 열·연기기류의 유동형상은 정상 유동해석과 다른 기류 유동형상을 나타내어 화재감지기의 응답특성지연 해결 및 연기감지농도를 향상, 화재초기에 경보를 발생하여 인명피해 및 재산피해를 최소화하기 위한 성능위주의 화재감지장치 개발을 위한 필요성에 의해 연구를 수행하였다. 본 연구는 높은 연기응답특성을 가지며 공기순환에 의한 응답특성지연에 영향을 받지 않는 능동형태의 연기감지장치로서 감시공간의 공기를 공기흡입관을 통하여 연기농도 분석장치로 흡입하여 연기를 감지하는 공기흡입형 광전식 연기감지장치 개발에 필요한 연기농도 분석기술 및 공기흡입관을 통한 균등 공기흡입기술에 대하여 수행하였다. 연구결과, 공기흡입배관에 설치된 흡입구를 통한 공기흡입이 균등하게 이루어져 균일한 감도특성을 나타내어 공기순환에 의한 연기감지의 지연에 영향을 받지 않으며 연기감지성능은 수동형태의 연기감지기보다 우수한 응답특성을 나타내었다.

### ABSTRACT

Since the air stream in the room controlled by HVAC system affects on the expected response of conventional detectors which are designed in accordance with normal characteristics of air stream in the fire incident, unexpected operation time delay may occur in fire. In order to solve this problem and to improve sensitivity so that to initiate fire in its early stages for minimizing damage and protecting people, we studied and developed Air Sampling Smoke Detector. The Air Sampling Smoke Detector is a kind of active-type fire detection system. It draws air continuously from the protected area through an air sampling pipe network to the smoke density analyzer. This study presents smoke density analysing technique and air intake balancing technique through an air sampling pipe network. As a result of evaluating, Air Sampling Smoke Detector was much more sensitive than conventional smoke detectors that passively wait for smoke to reach them and was not affected by ambient airflow in the room by means of balanced air intake through the sampling holes.

**Keywords :** Air stream, Delay time, Responsiveness, Air sampling smoke detector

### 1. 서 론

화재예방설비로서 감지기 설치목적은 화재 초기에 발생된 연소생성물을 감지하여 인명 및 재산피해의 최소화를 구현하기 위한 것이며, 조기화재감지장치 개발을 위한 연구는 연소공학, 전기·전자공학기술의 활용이 다양하게 이루어져야 한다. 이 연구는 공조설비 등

에 의해 감시공간의 열·연기기류형상이 정상적인 상승기류가 형성되지 않아 천정에 부착된 감지기가 화재를 조기에 감지하지 못하는 문제를 해결하기 위하여 감시공간의 공기를 흡입배관을 통하여 연기농도 분석장치로 흡입, 연기입자에 의한 Scattering현상에 의해 연기의 존재유무를 분석하여 화재신호를 발생하는 공기흡입형 광전식 연기감지장치개발 필요성에 의해 연구를 수행하였다.<sup>1)</sup>

일반 가연물의 연소과정은 열분해 단계, 연기발생 단

<sup>†</sup>E-mail: bogylee@kfpa.or.kr

계, 불꽃발생 단계, 열발생 단계로 진행이 되며 화재에 방 관점에서 화재감지기는 감시공간의 예상화재 성상을 고려하여 설치되어야 피해의 최소화를 구현하는 예방시스템이 될 것이다. 보통 감지기는 화재 성장단계 중 화재가 진행된 상태에서 연기 및 열이 발생하여 감지기가 설치된 부분으로 열, 연기기류가 확산되어야 작동하는 설치방식이다. 특히, 열감지기는 화재가 최고로 성장한 단계에서 대류, 복사열 전달에 의해 화재를 감지하는 장치로써 공조설비가 설치된 감시공간에서는 응답특성지연이 발생되어 감지기 동작에 의한 인명피해 및 재산피해의 최소화 구현에 적극적인 설비라 할 수 없다.<sup>2)</sup>

공기흡입형 광전식 연기감지기는 감시공간의 기류이동에 영향을 받지 않고 화재를 감지할 수 있는 능동형 화재감지장치로 기존의 연기감지기보다 예민한 응답특성을 가지고 있다. 소방설비기술기준에서는 정하는 장소에 따른 감지기의 설치기준 중 반도체 생산공정, 전산실, 제어실 등 화재 시 공조설비에 의해 상승기류가 편향되어 감지시간의 지연 또는 부작동 현상이 우려되는 장소에 설치토록 하고 있다. 이 감지장치는 기류에 영향을 받지 않고 화재초기에 생성된 연소생성물을 감지하여 인명 및 재산피해를 최소화시키기 위한 조기화재 감지 System으로 개발을 위한 핵심기술은 미세한 연기로 인한 Fore-ward Scattering을 이용한 연기농도 분석기술과 감시공간에 설치된 공기흡입배관을 통한 균등한 공기흡입기술이 핵심기술로 본 고에서는 이에 대하여 기술하였다.

## 2. 연구결과

### 2.1 연기농도 분석장치 설계를 위한 연기입자의 성상

연기성상(색상, 입자크기 등)은 가연물의 종류 및 연소조건에 따라 다르다. 공기흡입형 연기감지장치는 0.005 μm~15 μm의 연기입자가 연기농도 분석장치내로 흡입되게 하기 위하여 Filter를 내장하였다. 연기색상과 산란광의 Power는 흰색 연기의 경우 산란광의 Power가 강하고 검은색 연기는 산란광의 Power가 흰색보다 약하게 나타나며 연기입자의 농도에 따라 산란광의 세기가 다르게 나타난다.

연기를 감지하기 위해 적용되는 기술로 산란현상을 활용하는 경우 광원은 연기입자크기와 관련된 실험을 실시하여 적절한 LASER광원의 파장을 정립하기 위하여 연기감지기의 응답특성평가시 표준연기 발생원으로 사용되는 순면의 훈소시 발생되는 입자와 담배연기 입자 두 시료에 대한 연기입자 크기에 관한 실험연구를

수행하였다. 두 시료는 연기성상 중 색상은 흰색에 가깝고, 입자크기는 현미경을 이용하여 1,600배로 확대 측정할 결과, 각 연기입자 30개의 평균크기는 순면의 훈소시 발생된 입자의 평균크기는 약 2.9 μm이고, 담배연기입자는 4.9 μm로 나타나 연기의 색상과 입자크기를 고려하여 LASER의 파장 및 Photo Diode의 파장을 연기입자의 산란이 최대로 일어나게 하기 위하여 발광소자는 PerkinElmer Opto electronics에서 제조 (Model No. VTE1291-2)한 IR Emitting Diodes를 사용하였다.

LASER광이 연기입자에 조사되어 산란된 광신호는 수광소자로 PerkinElmer Opto electronics에서 제조 (Model No.:VTD34)한 Spectral Application Range가 400~1100 nm인 Photo Diode를 사용하였다.

### 2.2 산란에 의한 연기감지 기술

산란현상은 재료분석 및 평가, 의료연구, 대기현상, 행정관찰, 계측기 등의 산업분야 등에서 널리 이용되고 있으며, 산란현상은 연기입자의 존재를 감지하는 장치의 신뢰성과 효율성을 제고하기 위한 적합한 기술로 가시성 연기감지에 예민한 응답특성을 갖는 광전식 연기감지기에 적용되고 있다.

광전식 연기감지기는 하나의 감지기 Unit내에 광원과 산란광에 응답하는 수광부를 내장하고 있으며 광원은 형광Lamp, Xenon Lamp 및 Light Emitting Diode(LED)가 사용되고 있으며, 발광부와 수광부 사이 빛의 감소에 의해 연기를 감지하는 감광식과 발광부의 빛이 연기 입자에 부딪혀 산란현상에 의해 연기를 감지하는 광전식으로 분류가 된다.

광원은 감지가능한 연기농도범위를 적게 하고 장치의 소형화를 위해 형광Lamp, Xenon Lamp 및 LED가 LASER로 대체되어 소형, 고감도 연기감지장치 개발에 활용되고 있다.

공기흡입형 광전식 연기감지기의 연기감지 Mechanism은 Fig. 1과 같이 광원으로써 파장이 880 nm, 연속소비전력이 200 mW인 IR 발광 Diode를 사용하였으며 집광용 Lens에 의한 광은 Aperture를 사용하여 불필요한 광Noise를 제거한 후 연기입자에 의한 산란광이 Photo Diode에 의해 산란광이 검출되도록 구조화하였다.

감시공간의 연기입자는 Fan(Aspirator)에 의해 공기흡입배관을 통하여 연기농도 분석장치로 흡입되며 Photo Diode전단부에서 연기입자에 의한 산란이 되도록 연기입자의 흡입구와 배출구의 구조를 형상화 시켰다.

감지장치내에서 Photo Diode의 위치는 Signal/Noise비를 좋게 하기 위해 LASER로 부터 나온 광이 직접

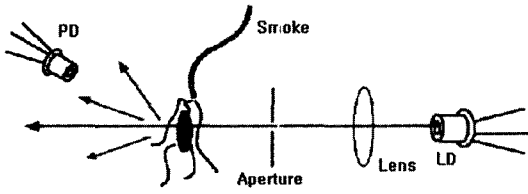


Fig. 1. Schematic Diagram of Detection tool used to Scattering.

Photo Diode에 입사되지 않도록 광축에서 어긋나게 하여 산란광만 입사되도록 설계하였다.

연기감지원리는 연기입자가 감지부내로 흡입되지 않으면 Photo Diode에는 산란광이 입사되지 않으므로 광수신부의 출력신호가 없지만 연기입자가 감지부내로 흡입되면 입자에 의한 산란광이 Photo Diode에 의해 감지되어 출력신호를 발생시킨다. 출력신호와 비례되는 산란광의 세기는 입사광의 강도와 산란면적에 비례한다.<sup>3,4)</sup>

2.3 Photo Diode회로의 증폭

Photo Diode증폭회로는 OP07 OP Amp를 사용하였

으며 작은 신호흐름에 대한 잡음을 감소를 위해 Capacitor와 Gain조정을 위해 가변저항을 추가하였다. OP Amp에 의해 증폭된 신호를 A/D Converter에 입력하기 위하여 LM 358에 의한 Buffering을 하였으며, 회로에 사용되는 전원공급방식은 Switching Mode Power Supply는 잡음이 발생하여 선형 전원공급방식을 사용하였으며 산란광에 의한 미세한 전기신호의 계측·제어를 용이하게 하기 위하여 Fig. 2와 같이 증폭 회로를 설계·시작하였다.<sup>5,7)</sup>

2.4 공기흡입배관 설계

2.4.1 공기흡입배관

공기흡입배관의 최대 설치길이는 1회로의 흡입배관을 사용할 경우 최대 연장길이가 100 m이고 4회로의 흡입배관을 사용할 경우 4회로의 흡입배관 총 길이는 최대 200 m(4×50 m)를 넘지 않도록 하였다. 또한 각 흡입배관에 설치되는 흡입구의 숫자는 배관 당 25개를 기준으로 4회로를 사용하는 경우 100개의 흡입구를 설치할 수 있도록 공기흡입배관을 설계하였다.

공기흡입배관 설계시 고려사항은 흡입된 공기가 흡입구로부터 연기농도분석장치까지 이송되는 시간으로

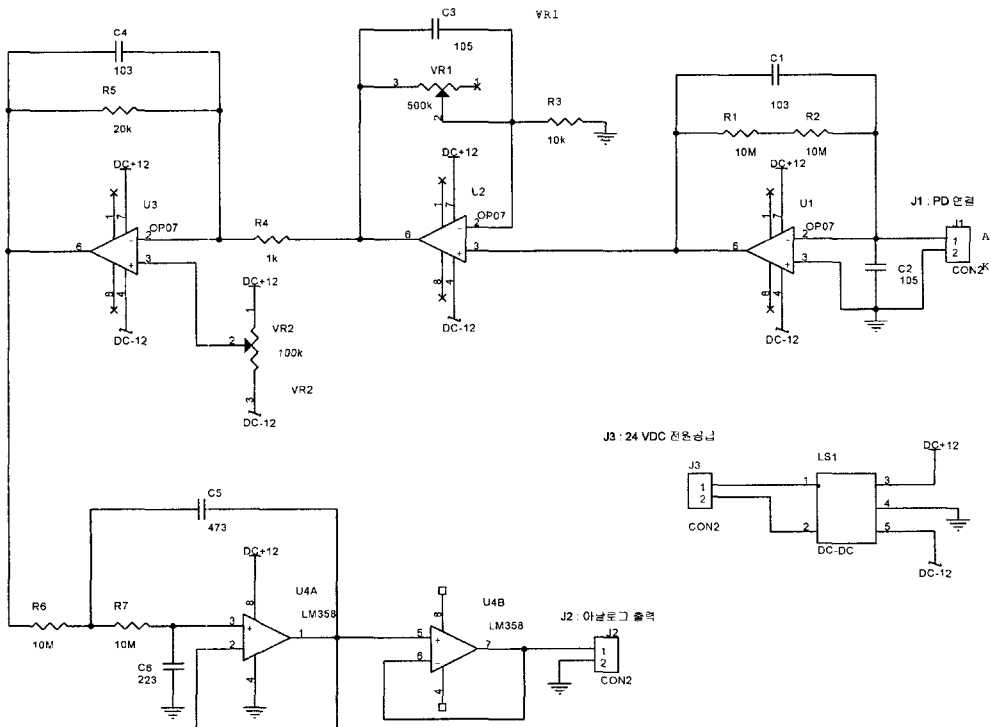


Fig. 2. Schematic Diagram of PD Amplification Circuit.

화재시 인명 및 재산피해의 최소화를 위해서는 연소생성물을 조기에 감지하는 것이 피난시간 확보차원에서 중요한 변수로 감시공간에서 설정된 연기농도의 연기를 2분 이내에 이송하여 경보가 발생되도록 감지부에서 가장 먼 흡입배관까지의 공기흡입에 대한 배관설계 기준을 정립하였다.<sup>8,9)</sup>

2.4.2 공기흡입배관과 흡입구 설계

공기흡입배관과 흡입구의 가공은 이송시간을 고려하여 배관의 구경을 25 mm로 적용 하였으며 복수의 공기흡입배관을 설치할 경우 각 흡입배관은 균등 공기흐름조건이 되어야 하므로 흡입되는 공기 양을 100%로 가정하고 4개의 공기흡입배관을 설치할 경우 각 공기흡입배관 당 유입되는 공기의 양은 25%로 균등하게 흡입될 수 있도록 설계하였다.

흡입구의 가공은 Balance와 Share를 고려하여 흡입구의 직경을 2~5 mm로 가공하였다. 여기서 Balance는 동일 공기흡입배관의 첫 번째 흡입구의 공기흡입량과 마지막 흡입구의 공기흡입량의 비율을 의미한다. Balance 비율이 1:1이라 것은 처음 흡입구의 공기흡입량과 마지막 공기흡입구의 흡입량이 동일하다는 것을 의미하며 이를 100%라 하고 100%가 되게 유지되어야 하나 설계·시공 및 유지관리상태를 감안 최소한 60% 이상을 유지토록 설계하여야 한다. Share는 흡입구 전체의 공기흡입량과 말단 흡입구의 공기흡입량의 비율로 전체 흡입구를 통하여 흡입되는 공기의 양이 전체 흡입량의 70% 이상을 유지토록 설계하였다.

말단 흡입구는 공기흡입배관의 말단에 위치한 흡입구로 공기흡입배관내에 유입된 공기를 감지부내로 이동시키는 과정에서 기본 유동장(Guide Stream)으로써 작용하며 공기유속에 큰 영향을 미친다.

공기흡입배관 설계 시 말단 흡입구가 없거나 너무 작을 경우 흡입되는 공기의 각 흡입구에 대한 Balance에 큰 영향을 미치며 공기의 이동속도에 시간지연을 초래한다. 반면에 말단 흡입구의 직경이 큰 경우 흡입구로의 공기흡입률이 떨어지거나 흡입되지 못하는 경우가 발생한다. 말단 흡입구 설정을 위한 설계에 사용되는 식은 경험식으로 식 (1)을 사용하였다.<sup>10,11)</sup>

$$ECHD = (X \cdot N)^{1/2} \tag{1}$$

여기서 ECHD : 말단 흡입구의 직경

X : 흡입구 직경(지름 또는 평균치)

N : 공기흡입배관에 제작될 흡입구 수

2.4.3 공기흡입배관 설계이론

공기흡입배관의 이론적 계산에 의한 설계시 공기흡입은 Fan에 의하여 이루어지며 동일한 Fan의 압력에

대하여 흡입되는 공기량은 감지부, Filter 및 배관의 압력손실 특성에 따라 달라지고 이 압력 손실량이 주어지면 층류배관의 압력손실 관계식과 베르누이방정식을 이용하여 배관과 흡입구에 의하여 실제 흡입되는 공기량을 계산하는 과정을 절차화하기 위하여 설계 Program을 정하였다.

연기농도 분석장치내의 Filter는 제품의 밀도에 따라 달라지므로 Fan의 압력을 경계조건으로 주며 이러한 Fan의 압력에 의한 기준압력이 정해지면 배관의 특성(배관의 길이, 곡관의 종류, 흡입구의 직경 및 개수)에 의하여 들어오는 공기량이 정해진다.

공기흡입식 연기감지기의 응답특성에 영향을 주는 요인은 흡입구의 직경, 흡입구의 총 개수, 각 흡입구 사이의 간격, 관의 전체길이 및 관의 내경으로 배관설계시 식 (2)~(4) 및 식 (5)를 사용하였다.

- 흡입구의 유동 관계식

$$Q = CA \sqrt{2g \left( \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \right)} \tag{2}$$

여기서 오리피스 계수 C는

$$C = \frac{C_v C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \left( \frac{A}{A_1} \right)^2}}$$

C<sub>v</sub>는 실제 계측시 실험적으로 구해진 계수

C<sub>c</sub>는 오리피스 단면의 수축계수

- 유체역학적인 에너지보존의 법칙(베르누이의 방정식)

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = H = \text{일정} \tag{3}$$

- 유체흐름이 1차원 정상유동 시 압력손실 방정식 (Darcy - Weisbach Equation))

$$h_1 = f \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g} \tag{4}$$

- 속도수두에 비례하는 부차적 손실

$$h_1 = k \frac{v^2}{2g} \tag{5}$$

수렴조건은 Fig. 3과 같은 절차에 의해 설정된 총 유량을 총 흡입구 수로 나누면 각 흡입구의 유량을 알 수 있다. 그 다음 첫 번째 흡입구까지의 압력손실을 계산하여 첫 번째 흡입구의 압력을 구한다.

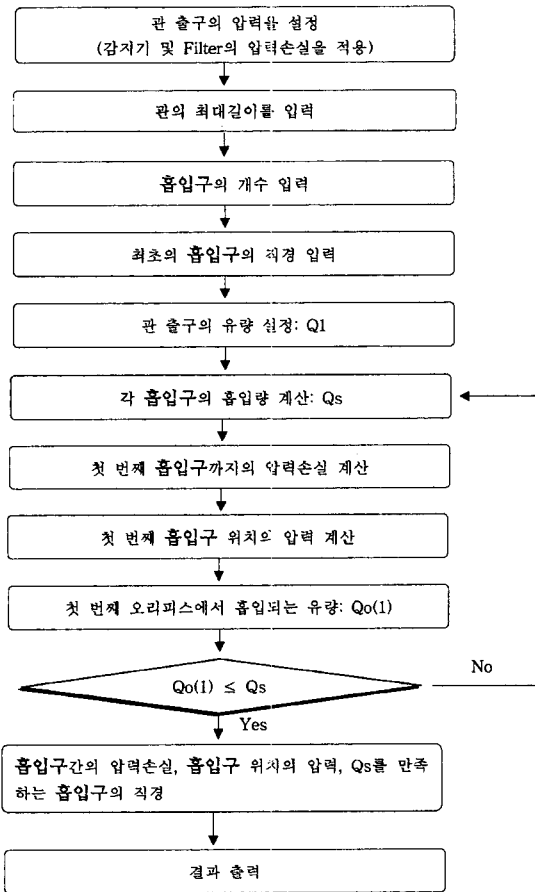


Fig. 3. Flow Chart for Flow Balancing through to the Orifices.

이 압력과 배관 밖의 압력을 이용하여 흡입구의 흡입량에 해당하는 흡입구의 직경을 계산한다. 계산된 흡입구의 직경이 초기조건에서 주어진 직경보다 작을 때까지 총 유량을 줄여 나간다.

2.4.4 배관설계에 대한 검증

정립된 배관설계기술에 의해 배관설치 후 말단 흡입구의 직경을 4 mm, 공기흡입배관에 설치된 흡입구의 직경을 2 mm로 설계하여 각 흡입구에서의 Balance를 검증하기 위하여 각 흡입구의 진공압력분포를 측정한 결과 Fig. 4와 같이 나타났다.

또한, 배관길이의 증가에 따른 균등 공기흐름을 위한 오리피스 직경의 변화에 대한 연구결과 Fig. 5와 같이 나타났으며, 결과는 연기농도 분석장치로 부터 공기흡입배관의 말단에 이르는 흡입구의 크기를 비례적으로 변화시키면 각 흡입구에서의 공기흡입이 균등 공기 흐름이 되는 것으로 나타났다.

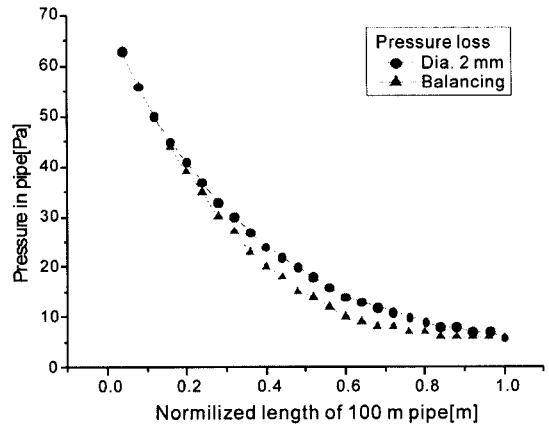


Fig. 4. Vacuum Pressure of Air Sampling Pipe.

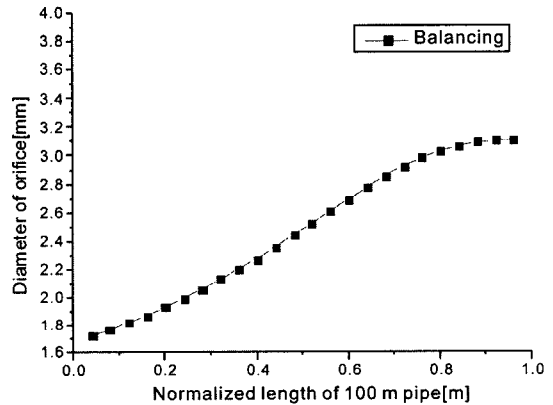


Fig. 5. Determination to Diameter of Hole for Flow Balancing.

3. 결 론

반도체 생산공정, 전산실, 박물관 등 공기조화설비에 의한 열·연기기류의 편향현상으로 수동형 화재감지기의 응답특성지연을 해결 및 감지 가능한 연기농도를 향상하여 조기 화재경보로 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있는 능동형 화재감지기인 공기흡입형 광전식 연기감지기 개발을 위한 연구를 수행, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기류유동에 의한 화재감지기의 응답특성에 영향을 받지 않는 능동형태의 광전식 연기감지기 개발에 필요한 연기농도 분석 및 공기흡입배관을 통한 균등 공기흡입 기술을 정립하여 공기흡입형 광전식 연기감지기 개발에 필요한 기반을 확보하였다.
2. 흡입배관 설계기술에 의한 시작품의 Sampling

Hole에서의 압력분포를 측정할 결과, 균등공기 흡입을 위한 배관설계 기반기술이 적절한 것으로 나타났으며, Flow Balancing을 위한 Sampling Hole 설계기술에 의한 시작품을 성능검증한 결과, 감지부로부터 공기흡입 배관의 말단에 이르는 Sampling Hole의 Flow Balancing을 위한 기술을 정립하였다.

3. 시작품에 대한 배관설계기술과 공기흡입배관설치 및 PD 증폭회로에 의한 신호처리를 위한 제어반을 설계하여 연기감지 응답특성을 실험한 결과, 3.5%/m의 연기농도에서 4 Zone의 공기흡입배관에 설치된 Sampling Hole에서의 응답특성이 120초 이내로 공기흡입형 광전식 연기감지기로서 실용화가 가능한 연구 결과를 얻었다.

4. 조기 화재감지장치 개발을 위한 연구를 수행, 감지성능이 보다 우수한 능동형 화재감지기 개발을 위한 선도연구를 통하여 화재예방 기술발전의 기반을 확보하였다.

## 참고문헌

1. Ray Schmid, "Telecommunications and e-Commerce", Fire Protection Engineering(2001).
2. Peter F. Johnson, "Very Early Smoke Detection for Computer and Telecommunications Industries", Fire Safety Journal, Vol. 14(1988).
3. 김영해, 센서침단기술, 기전연구사(1998).
4. 노병욱, 센서공학, 동일출판사(1996).
5. 출판부, 마이컴계측제어활용법, 세운(1998).
6. W. Bolton, Mechatronics, Addison Wesley Longman Limited(1999).
7. Paul A. Lynn, Introductory Digital Signal Processing, John Willey & Sons Inc., (1998).
8. National Fire Alarm Code, NFPA 72(1993).
9. 행정자치부 고시 제 2001-19호, 감지기의 형식승인 및 검정기술기준(2001. 10. 16).
10. 신정철, 양우정, 유체역학, 구민사(2002).
11. 손봉세, 소화시스템공학, 일진사(2002).