연기 감지 장치의 작동 원리와 구조

이 복 영
〈방재시험연구소 연구원〉

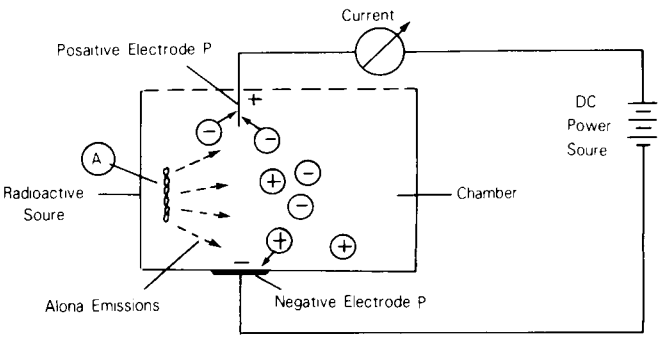
열감지기는 오랜 기간 사용되어 왔고, 아직도 화재 감지 방식에 많이 적용되고 있으며 신빙성, 정확성이 우수하고 유지 관리에 그다지 어려움이 없는 장점을 갖추고 있다. 그러나 열감지기는 작동을 위해서는 많은 열량을 필요로 한다. 그 열은 통상 화재가 진전되기까지는 발생되지 않기 때문에 초기 화재 감지 지연이 문제점으로 대두되어 초기 성장 단계의 화재를 감지하기 위한 필요에서 연기 감지기가 개발되었다. 연기 감지기는 연소의 가시 가능한 입자나 불가시 입자를 검출하는 장치로서 열 감지기보다 우수한 화재 반응도를 가지고 있다. 연기는 연소중 방출되는 고체. 액체 입자를 말하는 것으로서 훈소연소(smoldering Combustion)중 발생된 연기는 탄소 성분으로 인해 훈소 연소시 발생되는 연기보다 대개 어두운 색으로 나타나며 이것은 훈소 연소시의 연기 입자 크기는 불꽃 연소에 의한 연기 입자보다 더 크다는 것을 의미한다. 연기 감지기의 개발은 연기 각각의 형상에 따라 특수하게 개발이 되어져 특정 공간에서 예상되는 연기 형태는 연기 감지기의 감지 방식 선정을 적절하게 나타내 줄 수 있다.

전통적인 연기 감지에 대한 방식은 Ionization, Photoelectric 연기 감지 방식에 의하며, 이들 연기 감지기는 열 감지기보다 유지 관리에 보다 세심한 주의가 요구되고 가격이 비싼 반면에 열 감지기보다 동작에 있어서 상당히 빠른 감지 이점을 가지고 있다. 이런 연기 감지기의 예민성 등으로 인한 비화재보 발생률은 열 감지기보다 더 높게 나타나 최적의 성능 유지를 위해 적정한 설치 등 유지 관리에 대한 관심이 중요하다.

1. 이온화식 연기 감지기

이온화식 연기 감지기는 스포트 타입이 대부분으로 이 감지기는 불꽃 화재에 의해 생성되는 아주 작은 입자($1\mu m$ 이하의 입자)에 대해 상당히 민감한 반응을 나타낸다. 이는 불꽃 화재는 고에너지 화재로 작은 연기 입자가 다량 생성되기 때문이다.

아주 간단한 이온화식 감지기는 ⊕, ⊖ 두개의 전극을 가진 감지실로 구성이 되고 두전극 사이는 아주 작은 Alpha, Beta 방사선원이 내장되어 있다. α선원으로는 Americium−241, β선원으로는 Radium−226이 사용되고 있으며, 방사선원은 Chamber내에서 ⊕, ⊖ 이온을 생성하여 반대 극성의 전극으로 흡인시키는 공기를 전기적인 도전성화 또는 이온화시키게 된다. 이것은 두 전극 사이에 미세한 이온 전류를 생성하게 되며 연기 입자의 크기 $0.01\sim1\mu m$의 연기 입자가 Chamber로 들어오게 되면 이온 전류는 연기 입자에 의한 이온 생성화에 방해를 받게되어 회로상의 전류 강하를 일으키게 된다. 이것은 불꽃 화재로부터 전기적으로는 도전성을 가진 탄소 입자를 갖고 조금은 검은 연기가 이온화식 감지기에 의해 어떻게 쉽게 감지가 되는가를 설명한다. 이온화식 감지기는 α선원의 배치에 따라 두 종류로 나뉘



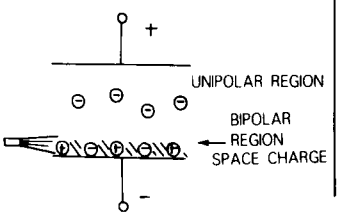
Ionization chamber의 원리

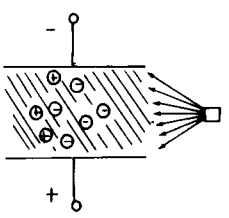
며 이온화 선원의 배치로 Unipolar·Bipolar Chamber를 만들 수가 있다.

Unipolar Chamber에서 조준된 α선원은 Chamber의 작은 부분에 이온화 영향을 제한하는 ⊖전극에 인접하여 설치를 한다. 대부분 이온화 현상은 ⊖전극 근처에서 발생되고, 양이온의 대부분은 쉽게 음극으로 흡인이 되어 음이온은 Chamber의 나머지 부분에서 우위를 점하게 되어 재결합을 방해하게 된다.

Bipolar Chamber 감지기는 전체 Chamber 공간이 이온화 영향을 받도록 이온화원이 Chamber 중앙에 위치하게 된다.

Unipolar Chamber 감지기의 성능은 연소 속도가 느린 훈소화재에 의해 생성된 연기의 감지에서 Bipolar Chamber 감지기보다 거의 3배에 가까운 감지 성능을 가지고 있다. Bipolar Chamber 감지기가 감도가 떨어지는 것은 아마 Bipolar Chamber 내에서 발생하는 반대 극성 이온의 중성화, 재결합 등에 기인하는 것 같다.





Chamber의 수에 따라 이온화식 감지기는 두가지로 나뉜다. 하나의 Ionization Chamber가 있는 감지기의 경우 방해 전류 측정과 이것을 기준 회로와 비교하는 기능을 가지고 있으며, 두개의 Chamber를 가지고 있는 감지기의 경우 이온화 현상은 두 Chamber에서 발생이 되고, Chamber 중 하나는 대기중에 노출된 상태로 다른 Chamber는 연기 입자가 들어오지 못하도록 기밀실로 되어 있어 대기중 노출된 Chamber에서 측정된 전류 강하에 대해 기준 회로로서 작용을 한다. 두 개의 Chamber를 이용한 이온화식 감지기가 한개의 Chamber를 갖는 감지기에 대해 유리한 점은 온도·압력·습도 변화에 대해 예민성이 적다는 것이다.

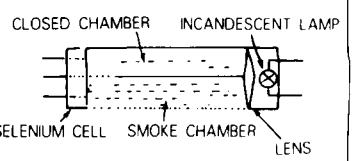
Ionization 감지기의 결점은 감지기가 경보 상태에 이르게 할 수 있는 방해 전류를 야기시키는 오물, 분진, 높은 습도, 낮은 압력 등에 대해 민감성이 있다는 것이다.

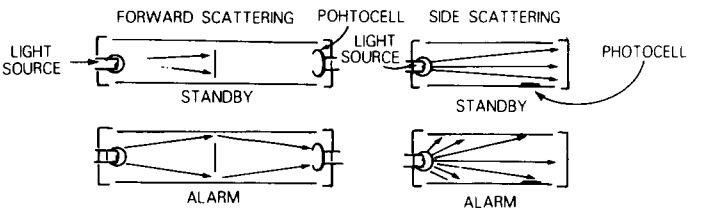
2. 광전식 연기 감지기

스포트 타입의 광전식 감지기는 Photo Cell에 대한 Beam 경로의 어두워짐이나 Photo Cell로의 빛의 산란 등에 의한 광학 원리에 의해 작동하는 두가지로 분류된다.

Beam type 광전식 감지기는 넓은 공간을 경계하기 위한 지역 경계 장치(Area devices)로서도 이용할 수가 있다. 감광 원리(Light obscuration principle)를 가진 연기 감지기는 광선 조준 설비·광전지·광저항 소자·광원을 이용하여 광선의 감쇠를 조사하여 연기 입자가 Light Chamber내로 들어왔을 때 광선 경로가 간섭을 받고 빛의 감소는 출력 전압을 변화시키고, 이 변화가 경보 발생 감지기 회로에 의해 감지된다. 연기의 색은 감광식 감지기에 대해 별다른 차이가 없다. Photo Cell에서 빛의 산란은 다른 말로 흔히 광기전력(Photoelectric)감지 방식이라 한다. 이 설비에서 광전지, 광저항 소자는 감지 Chamber내에 있으나 이것은 광선의 직선 경로상에 있지는 않다.

〈그림 5〉는 두가지 형태의 산란광 Chamber의 배치를 보여주며, 연기가 Chamber로 들어왔을 때 빛은 Photo Cell로 산란이 되게 되어 경보 상태에 이르게 한다. 이런 형태의 감지기는 그 원리상 아주 간단함을 보여주나 제작시 Pa-





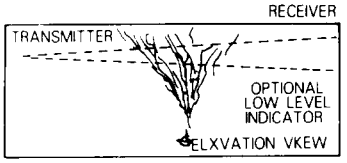
rameter는 매우 복합·다양하다.

산란광식 연기 감지기는 훈소 화재시 생성되는 크기 1μm 이상의 눈에 보이는 입자에 대해 훨씬 민감함을 가지고 있다. 이런 연기를 통상 회색연기라 하며 엷은 색과 입자 크기가 큰 것은 이런 형태의 연기 감지기에 효용성을 주는 빛의 산란을 쉽게 한다. 즉, Smoldering Fire는 저Energy 화재이기 때문에 불꽃 화재에 의한 연기 입자보다 큰 입자를 생성하게 된다.

이온화식 감지기와 Spot-type 광전식 감지기는 가정에서 사용하는 감지기와 유사한 전원 내장 장치나 원격 전원 공급 설비, 경보·경계 구역 표시 장치를 갖는 통합 설비의 부품이 될 수 있는 단독형으로서 사용할 수 있다.

또한 Beam 발사를 이용한 분리형(Area-type) 광전식 감지기도 있다. 이런 형태의 감지기는 대공간의 화재 감시에 사용되며, 공간의 한쪽 끝에 광원을 설치하고 반대쪽 끝에는 광수신 장치를 설치한다. 이 감지 장치의 개념은 경기장, 대회의실, Atrium, 창고 같은 대공간(High bay)의 적용에 이상적이다.

Beam 발사형 연기 감지기의 한 형태는 보호 공간을 가로 지르는 적외선 Energy의 Invisible Beam을 발사하는 것이다. 내장되



operation of a projected beam Smoke detector

PROJECTED BEAM USING MIRRORS		
Number of Mirrors	Maximum Allowable Beam Length	
0	listed Length L	L
1	2/3L = a+b	a, b
2	4/9L = c+d+e	c, d, e
	EXAMPLE – Maximum allowable length of beam listed for 300 feet (L) using two mirrors is 4/9×300 or 133 feet.	
For SI Units: 1ft = 0.305m.		

는 Micro Processor는 연기에 의해 야기된 Energy 감소를 분석하게 되며, 분리형 광전식 감지기는 연기의 색에 의한 영향을 거의 받지 않게 된다.

이러한 형태의 감지 장치의 결점은 Beam 경로상에 장해물이 없어야 한다는 것으로 Beam이 상대적으로 좁기 때문에 Beam 경로를 통과하여 이동할 때까지 연기는 감지되지 못한다는 것이다. 이러한 문제는 보호 공간을 지나는 Beam을 이리저리 반사시키는 거울 등을 사용하여 다수의 Beam을 형성 해결할 수가 있다. 거울을 사용하는 경우 장치의 광선 거리가 다음과 같이 감소하게 된다는 단점을 가지고 있다. 이온화식 감지기와 유사하게 광전식 감지기는 열감지기보다 유지 관리에 더 많은 주의가 필요하나 민감성으로 인해 열감지기보다 훨씬 빠른 경보 체제를 갖출 수가 있다.

3. 선정 기준－이온화식 대 광전식

연기 감지기 설치를 위한 결정은 적용 장소에 대한 최선의 감지기를 선정하는 것을 필요로 한다. 이온화식 감지기는 0.01~3μm 범위의 연소 입자를 생성하는 불꽃 화재의 조기 감지에 대해 광전식 감지기보다 우수한 것으로 평가되며 검고, 어두운 연기에 훨씬 더 민감한 반응을 가지고 있다. 이와는 달리 광전식 감지기는 0.3~10μm 범위의 보다 큰 입자로 특징되는 훈소 화재에 훨씬 더 민감하며 엷은 회색 연기에 대해 우수한 반응성을 가지고 있다. 대개의 경우 설치 장소에서 발생 가능한 연기와 화재의 형태를 예견하는 것은 어려운 것이지만 어떤 일반적이고 보편적인 원칙을 가정할 수는 있을 것이다.

이온화식 감지기는 육안으로 식별하기 곤란한 연소 생성물을 감지하는 능력으로 인해 Computer 실처럼 복잡하고, 고가의 장비를 보호하는데는 광전식 감지기보다 우수하다. 이온화식 감지기는 또한 연소시 검은 연기를 내는 Polyurethane, Polystyrene 등과 같은 Plastic 제품이나 Gasoline, 연료유 같이 가연성 액체를 가진 보호 공간에 설치가 권장된다.

광전식 감지기는 용접 작업이 행해지는 공간, Forklift와 Truck 처럼 내부 연소 장치를 가진 공간

에 대해 이들 작동시 연소 입자보다 훨씬 적은 크기의 입자를 내기 때문에 적응성이 우수하다. 광전식 감지기는 또한 주방 부근, 느린 훈소 화재가 예상되는 보호 공간에 사용이 바람직하다. 화재 형태나 가연물 형태가 복합적인 것이나 미지인 보호 공간에서는 이온화식과 광전식 연기 감지기의 혼용(Cross Zoned이나 Paired방식)으로 선정의 어려움을 해결할 수가 있다.

4. 초미립자 검출 감지기 (Submicrometer Particle Counting Detectors)

이온화식·광전식 연기 감지기는 훈소 화재나 화재 성장 단계의 열분해 초기에 화재를 검출하는 기능을 가지고 있으나 아직도 감지기 작동을 야기시키기 위한 연기의 충분한 양에 대해 시간을 요하고 있다. 연기가 희석될 수 있는 공기 유속이 높은 지역에서 Spot-type의 이온화식, 광전식 연기 감지기는 응답 지연 현상을 가져오게 된다. 또한 신호 전송후 어떤 초기 응답을 나타내는 동안에도 시간 지연이 있게 된다. 청정실(Clean Room), 무향실(Anechoic Chamber), 교환실, 중요한 기능을 수행하거나 고가인 Computer 시설같은 적용 장소에서는 보다 빠른 조기 감시 체제가 요망된다.

예로서, 청정실과 Computer실은 보통 청정 상태와 전자 시설에 의한 열을 일정 온도를 유지하기 위해 상당량의 공기 유동이 있게 된다. 이런 형태의 시설에서 작은 화재는 공기 유동에 의해 시설 전체로 확산될 수 있는 연기와 유해 부식성 증기를 발생할 수가 있다.

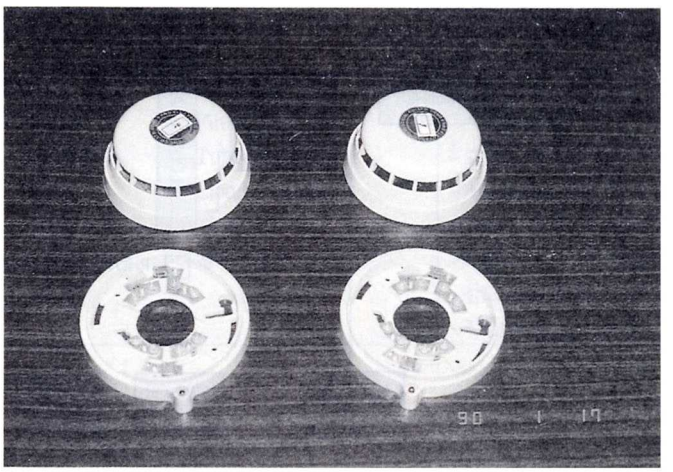
화재가 초기 단계에 감지되고 공기 순환 설비가 차단, 진압 활동이 개시된다면 예상되는 많은 손해를 경감시킬수 있을 것이다. 이런 이유로 인해 초미립자 표본 추출형 감지기(Sampling-type Submicrometer Particle Counting Detector)가 개발되었다.

가연물이 열을 받는 화재 성장의 초기 단계중(열분해 또는 예연소) 초미립자는 방대한 양으로 생성이 되며, 전형적으로 가연성 물질의 가열로 인해 초당 10^9입자 정도의 입자를 생성할 수 있고 이 입자의 크기는 0.005~0.02μm 정도가 된다.

초기 화재는 이 입자의 농도를 증가시키고 화재 신호로서 사용되는 원인 정도를 충분히 초과한다.

조기 감지기의 한가지 형태는 응축 핵으로서 초미립자를 사용하는 것으로 입자가 가습 장치를 통하여 유입되었을 때 입자는 수증기를 가지고 있어 광전식 방법에 의해서 감지 가능한 입자 크기에 이르게 되면 화재를 감지하는 방식이다. 또 다른 조기 감지형 감지기의 형태는 초기 입자의 빛 감광의 광전식 원리를 사용하는 것으로 입자는 Cloud Chamber 감지기에 의해 감지되는 입자보다 약간 크게 되어야 한다. 이것이 공기 표본 추출형 감지기(Airsamplingtype Detectors)로 이 감지기는 높은 유속, 분진, 습기, 진동, 온도의 넓은 범위 등에 대해 영향을 거의 받지 않는다. 공기 표본 추출 회로를 구성하는 Tube는 RF 방사 시험이 행해지는 지역에서 사용하기 위해 투명 Plastic 재질로 만들 수 있고, 감지 장치가 보호 지역에서 멀리 떨어져 위치할 수 있기 때문에 감지 장치는 방사에 의한 영향을 받지 않는다.

RF 방사에 의한 작동은 Spot-type의 이온화식, 광전식 감지기로서는 문제점을 가지고 있다. 초미립자 검출 감지 system은 그것



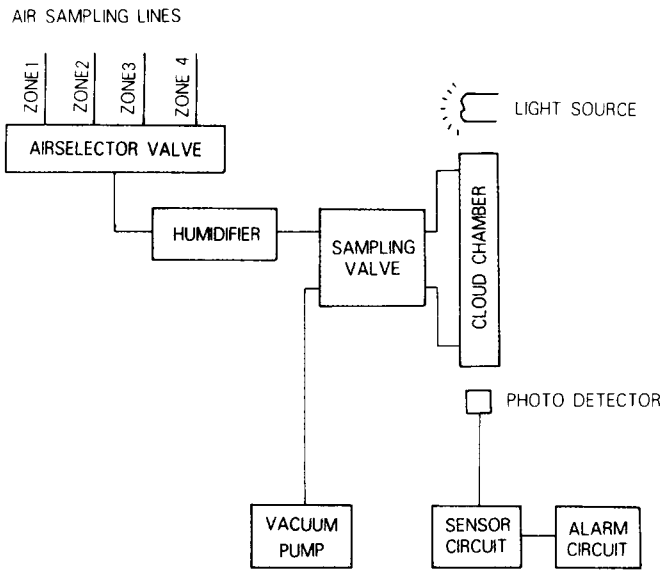
설비보다 고가로 되나 재산 보호 가치나 초기 감지가 절대적인 경우는 비용이 그다지 문제는 아닐 것이다. 부가적으로 초미립자 검출 감지기는 비용의 평등화를 가져오는 다수의 Spot-type 감지기를 대체하고 대규모 지역을 보호 구역으로 할 수 있다.

가. Cloud Chamber 연기 감지기

Cloud Chamber 연기 감지기는 Cloud Chamber 입자 감지 기술을 채택한 공기 표본 추출장치이다. 이 감지기의 형태는 재료의 열분해나 연소로부터 발생되는 아주 작은 입자(0.002μm 이하)에 대해 매우 민감한 반응을 가지고 있다. 이들 매우 작은 입자는 가연물이 분해되기 시작하는 초기 화재 단계에서 발생이 된다.

연소 초기 단계의 초미립자 생성물은 응축 핵으로 간주되어 이것이 적당한 조건하에서 높은 습도에 노출되었을 때 입자는 수증기를 만나 약 15μm 정도로 크기가 증가된다. 15μm 정도의 입자는 육안으로도 식별이 되어 광전식 감지 방법에 의해 간단하게 감지할 수가 있다. 공기 표본은 분진, 기타 큰 입자를 제거하기 위해 Filter를 거쳐 감지기내 높은 습도 Chamber로 유입이 된다. 공기 표본이 습도 Chamber(약 100% 습도 상태)를 통해 흡인이 되면 진공 펌프에 의해 압력을 약간 감소시키는 팽창실(Expansion Chamber)을 지나게 되어 초미립자 연기 입자가 존재시 Chamber 내에 수증기는 연기 미립자를 연무형태로 응축시키게 된다. 연무의 밀도는 광전자 원리에 의해 측정이 된다.

현재 이용되고 있는 Cloud Chamber-type 연기 감지기는 관로로부터 공기 표본을 모으는 4경계 구역 조절 장치로 구성이 되고 표본 회로는 36,000ft^{2}의 전체 경계 구역에 대해 4개까지 경계 구역으로 분리하여 표본을 채취할 수가 있다. 1개의 Zone은 10개의 Sampling Head를 가질 수 있으며 각 Zone은 1~15초 사이에 1번씩 Sampling되고, 네개의 Zone은 매분 Sampling이 가능하다.



Cloud chamber smoke detector

나. 광전식 초기 화재 감지기

산란광 원리에 의해 작동하는 공기 표본 추출 광전식 연기 감지기는 육안으로 식별 가능한 연기 발생 이전 초기 화재에 의해 발생되는 초미립자에 대해 매우 민감한 반응을 나타낸다. 이 높은 감도를 실현하기 위해 이것은 일종의 대형 산란 Chamber로 강력한 광원과 아주 민감한 광수신 장치를 이용하고 있다.

공기 표본은 분진과 큰 입자를 제거하기 위해 8μm Filter를 통해 유입이 된다. 공기 표본은 최대 20,000ft^{2}까지 Sample이 가능하고 감지 장치로부터 250ft까지 가능한 관 Net-Work로부터 표본 조사가 가능하다. 공기 표본은 Filter를 통해 입자가 강력한 크세논 광원에 매 3초마다 조사되는 감지 Chamber내로 유입이 되고, 초고감도 광수신 장치는 입자에 의한 산란광을 모으게 된다.

이 감지기는 감광 정도에 따라 3종류의 감도 등급으로 나뉘어져 사용이 되고, 감도 등급은 0.003~0.03%/ft, 0.006~0.06%/ft, 0.015~0.15%/ft로 나누게 된다. Cloud Chamber 감지기와 같이 이 감지기는 회색과 검은 빛을 띄는 열분해 입자에 대해 유사한 감도 특성을 가지고 있다. 신호는

작동 신호를 발생하는 3종류로 프로그램된 경보 level로부터 10등급의 Bar 그래프 배치로 작동하는 Analog 연기 감도 판독을 하도록 처리된다. 이 3종류의 경보 level은 교정 기능과 소화설비 작동을 위한 지구 경보 작동이 서로 다르게 프로그램이 가능하며, 오동작 방지와 응답의 작동지연에 사용 가능한 각 경보 level에서 0~60초의 지연 시간 조정이 가능하고, 연기 감도가 지연 시간중 떨어지게 되면 경보 상태가 취소되게 할 수 있다.

연기 감지형 감지기의 특성

감지기 / 구 분	광전식 Spot-type 연기 감지기	이온화식 Spot-type 연기 감지기	초미립자 검출 감지기(공기표본 추출형)	
			Cloud Chamber 연기감지기	초기감지형 광전식 감지기
화재 형상	연소 속도가 느린 훈소 화재(Smoldering fire)	연소 속도가 빠른 불꽃 화재(Flaming fire)	화재 초기의 열분해 생성물에 대해 반응	화재 초기의 열분해 생성물에 대해 반응
입자 크기	0.3~10μm	0.01~3μm	0.005~0.02μm	0.005~0.02μm
연기의 색	회색(엷은색) 연기	탄소 입자를 가져 검은색 연기	회색, 검은색을 띄는 열분해 입자	회색, 검은색을 띄는 열분해 입자
설치(최적) 장소	-내연 기관등에 의해 연소 입자를 내는 경우 이온화식의 작동이 우려되는 것	-육안으로 연소 생성물을 식별하기 곤란한 Computer실 등	-공기 순환에 의해 연기가 희석될 수 있는 청정실, 무향실, 교환실, Computer실 등 -높은 유속, 분진, 습기, 진동, 온도 변화가 심한 장소 -전자파등으로 오보 우려가 있는 장소	-공기 순환에 의해 연기가 희석될 수 있는 청정실, 무향실, 교환실, Computer실 등 -높은 유속, 분진, 습기, 진동, 온도 변화가 심한 장소 -전자 파동으로 오보 우려가 있는 장소
가연물종류	-느린 훈소 화재가 예상되는 공간	-Polyurethane, Polystyrene 등 Plastic 제품 -Gasoline, 연료유 등 가연성 액체	-	-
작동원리	산란광, 감광에 의한 광전지나 광저항 소자의 변화 이용	연기에 의한 이온 전류 변화 이용	광전식 원리(Cloud Chamber 입자 감지기술)	산란광 원리
주요 구성 요소	-광원(Lamp) -광수신부 (광전지, 광저항 소자) -출력전압변화 검지부	-방사선원(α, β선) -Ion Chamber -이온 전류 검출부	-Air pump -Filter -Tube -Cloud Chamber -광 원 -광수신장치	-대형 산란 Chamber -크세논 광원 -고감도 광수신 장치 -Air pump -Tube -Filter -감도 조정 장치 -작동 시간 조정 장치