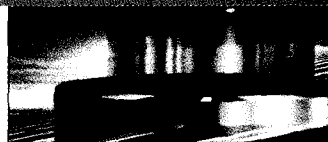


최신 소방방재기술 현황



글 · 이 수 경 / 서울산업대학교 안전공학과, 교수
e-mail · lsk@snut.ac.kr

이 글에서는 선진국의 화재안전 기준, 화재시물레이션, 소방설계, 미분무수 소화설비, 미분무수 입력분사 노즐 등 소방 방재기술의 현황에 대해 소개한다.

선진 화재안전기준

21세기에 들어서면서 IT기술의 비약적인 발전으로 모든 분야에서 글로벌화가 신속히 추진되고 있다. 더욱이 WTO/TBT협정(무역의 기술적 장벽에 관한 협정)은 '자국의 국가표준을 제정할 때 국제표준이 있는 경우에는 원칙적으로 국제표준의 채택을 의무화' 하여 '선진국은 2005년까지 개발도상국은 2010년까지 국제표준을 국가표준으로 채택' 하게끔 하고 있으며 또한 'APEC/CTI 산하의 표준 및 적합성평가소위원회(SCSC : Sub Committee on Standard and Conformance)에서도 회원들의 자국 국가표준을 국제표준과 일치화 할 것을 합의' 하여 선진국은 2010년까지 개발도상국은 2020년까지 자국의 표준을 국제표준과 일치화를 완료토록 하였다. 이처럼 나라마다 상이한 표준들(standards)의 단일화가 가속화됨에 따라 화재안전기준도 미국의 NFC(National Fire Codes)와 ISO/IEC(International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission)에서 제정하는 양대(兩大) 화재안전 관련 기준으로 통합되어 나아갈 것으로 예상된다.

선진국, 즉 북미대륙의 미국, 캐나다, 유럽의 영국, 독일, 프랑스 등의 화재안전기준은 국가가 직접 법으로 제정하여 시행하는 우리나라 제도와는 달리 모두 국가 표준기구에서

관장하고 있다. 미국의 경우의 예를 들자면 민간 화재안전기관인 미국방화협회(NFPA : Fire Protection Association)에서 화재안전기준을 제정하여 미국의 표준협회인 ANSI(American National Standard Institute)에 제출하여 승인을 얻으면 화재에 관한 미국의 국가표준이 되며 필요에 따라 연방 및 주정부에서 채택(adoption)하면 소방법규로서 효력을 갖게 되는 것이다.

영국, 프랑스, 독일 등 유럽 선진국 역시 소방법규가 있기는 하지만 행정적인 사항들이 주축을 이루고 있고 기술적인 부분은 이들 국가의 표준기구인 BSI(British Standards Institution), AFNOR(Association of FranCaise de Normalisation), DIN(Deutsche Industrie Normen)등에서 관장하고 있다. 또한 ISO에서는 화재안전 분야를 국제표준분류(ICS : International Classification for Standards) 13.220 화재예방(Protection against Fire)으로 분류하여 TC92(Fire Safety : 화재안전), TC21(Equipment for Fire Protection and Fire Fighting : 소방용기계기구) 등을 주축으로 화재안전 관련 분야의 기준을 제정하고 있다. 그러나 선진국 중 일본만은 유일하게 우리나라와 같이 화재안전기준을 소방법령으로 정하고 있다.

한편 우리나라에서도 역동적인 산업표준 환경에 능동적으로 대응하기 위하여 '산업표준

화 기본계획'을 수립, 공포한 바 있으며(산업자원부 고시 제2002-15, 2002. 12. 31.) 소방업무와 관련해서는 'KSBSO 8421-7(소방용어-제7부 폭발탐지 및 진압수단)' 등 모두 6개국의 국제규격이 처음으로 제정, 고시되었다(기술표준원 고시 제2002-1782호 2002. 12. 30.). 또한 현행 소방법이 '소방기본법', '소방시설공사 및 기술관리법', '위험물안전관리법' 및 '소방시설유지 및 안전관리에 관한 법률' 등 4개의 법으로 분법되며 현행 소방기술 기준은 '국가화재안전코드'로 고시될 예정이다. 이 역시 앞으로 소방법령의 국제화를 위한 준비 단계로 보아야 할 것이다.

화재 시뮬레이션

화재현상을 재현하여 각종의 데이터를 상세하게 측정하고 그 결과를 여러 각도로 해석하는 등 수 많은 실험이 필요하다. 그러나 실험 규모(full scale) 화재실험을 실시하기 위해선 막대한 비용과 시간이 소요되고, 동일 화재현상의 재현 곤란 등의 문제에 봉착함에 따라 화재진행과정을 컴퓨터상에서 구현할 수 있는 방법을 모색하게 되었는데, 자연과학의 기본 법칙과 원리를 토대로 통계자료 및 실험을 통하여 실제 화재시의 여러 특성을 예측하는 화재모델(fire model)에 관한 연구가 컴퓨터를 이용하여 시도되게 된 것이다.

오늘날 세계 각국은 화재와 관련된 기술기준을 보강하는 한편, 건물의 특성에 맞는 실제적인 방재활동이 가능하도록 건축물의 설계 시점부터 화재성상을 예측하는 기법을 활용하여 방재계획 수립 등에 보다 효과적으로 대처할 수 있도록 하는 성능위주의 설계(performance based design)로 관련법을

개정하는 추세이다.

화재모델은 크게 구역모델(zone model)과 Field Model 두 가지로 대별할 수 있는데, 이외에도 피난모델(egress model), 감지기작동모델(detector response model) 등으로 구분할 수 있다. 구역모델은 하나의 실을 물리, 화학적으로 동일한 성격을 가진 연기층과 공기층(hot upper smoke layer, lower layer of cooler air)으로 크게 구분하고 이들 구역 간 보존방정식(질량, 에너지 및 운동량)을 적용하여 화재현상을 해석한다. 가장 대표적인 소프트웨어는 미국 NIST에서 개발·보급하고 있는 FAST가 있다. 대체로 폐쇄공간(enclosed volume) 내에서의 화재 성상에 따른 영향을 예측하는 데 활용된다. 대부분의 프로그램에서 문, 창문과 벨트 등을 계산에 포함시키므로 공간이 완전히 폐쇄되는 것을 의미하는 것은 아니다.

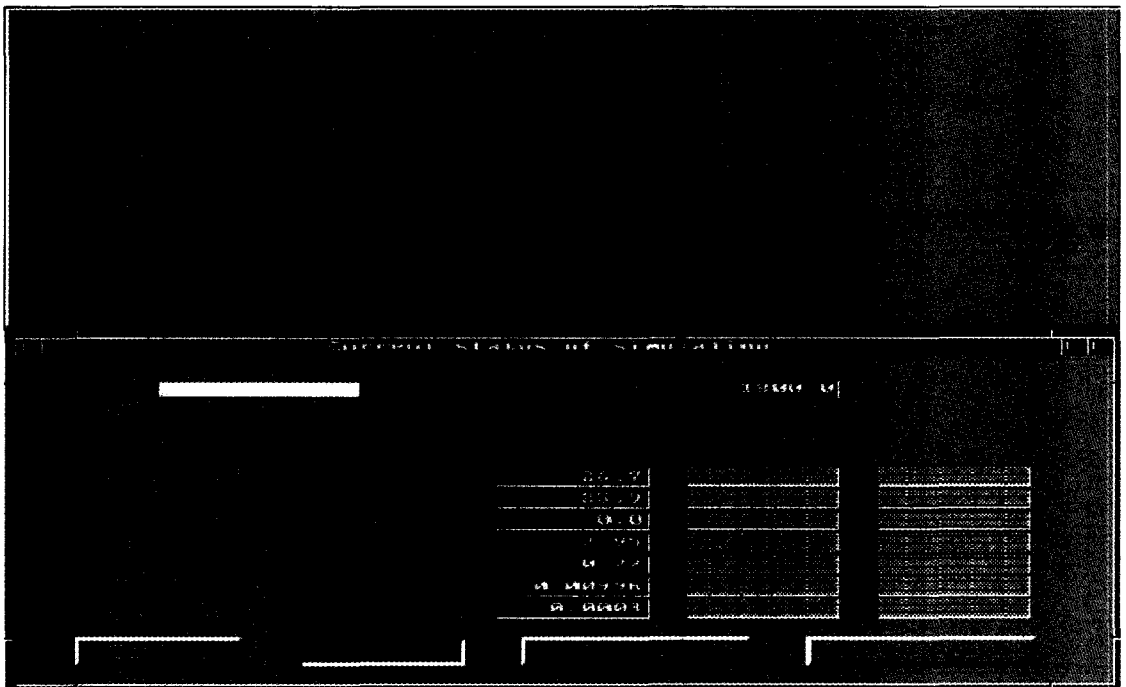
Field model은 공간을 수많은 제어체적(control volume, cube)으로 나누고 각 제어체적 내에서 보존방정식을 적용하고 CFD(Computational Fluid Dynamics) 기술을 이용하여 화재현상을 해석한다. Field model은 구역모델에 비해 더욱 상세한 해를 구할 수 있으며, 구역모델이 화재현상을 정확하게 묘사하지 못하는 더욱 복잡한 형상에도 적용할 수 있다. Field model은 옥외 대형 연료탱크 화재와 같은 외부 시설물에 대해서도 사용할 수 있다. Field model의 대표적인 소프트웨어는 NIST에서 개발된 FDS(Fire Dynamics System)와 영국에서 보급하는 JASMINE, SMARTFIRE 등이 있다.

피난모델은 건축물 내 사람들이 대피하는데 소요되는 시간을 예측하는 데 사용되는 모델이다. 수많은 피난 모델이 구역모델과 연계

되어 건물 내 견딜 수 없는 조건이 되는 시간을 결정하도록 하고 있으나, 피난만 고려하는 것도 있다. 피난 모델은 설계기준의 변경과 피난시 혼잡한 지역이 될 수 있는 곳을 결정하는 등 성능기준 설계 분석시에 흔히 사용되며, 이들 많은 모델은 화재시 연기독성과 가시도 감소로 인하여 재실자에게 미치는 정신적 영향을 포함하는 관심 있는 특성치뿐만 아니라 독특한 계산방법을 제공하는 등 매우 복잡한 편이다. 이들 모델 중에는 시뮬레이션 동안 건물 안의 사람이 이동하는 것을 보여주는 유용한 그래픽 특성을 포함하고 있는 것도 있다. 대표적인 소프트웨어는 EXODUS, SIMULEX 등이 있다.

화재모델을 이용하면, 건축물에서 화재가 발생하는 경우 건물에 설치된 감지시스템 및

자동식 소화설비 등의 작동 여부에 따라 건물 내부의 온도변화, 산소 및 일산화탄소 농도 변화, 연기유동 현상 등 화재 안전에 관련된 요소를 확인, 분석이 가능하기 때문에 - 건물의 화재 안전성을 검증하는데 활용할 수 있고, - 방재시스템 설계 조건을 변경하여 반복 시뮬레이션을 실시함으로써 보다 효율성이 높은 방재시스템을 설계 및 채택할 수 있다. - 또한 화재 시뮬레이션 결과를 감안하여 유사시 효과적으로 대응할 수 있도록 방재계획을 수립할 수 있고, - 건축물의 구조, 내장재 및 수용품에 대한 설계·배치 등에 사용할 수 있으며, - 화재사고조사 및 원인 규명에도 활용할 수 있는 등 화재 시뮬레이션의 활용분야는 광범위하다.



FASTLife(Fire Growth and Smoke Transport) 화재현상에 관한 공학적인 계산을 할 수 있는 프로그램

성능 위주의 소방 설계

성능 위주의 소방설계(performance based fire safety design)는 건물주 및 이해 당사자들의 보호 우선 순위를 이해함으로써 설계목적을 정한 후, 화재 및 폭발 현상을 공학적으로 분석하여 가장 합리적이고 경제적인 소방 설계를 수행하는 것을 말한다. 성능위주의 소방 설계와 반대되는 개념은 기존의 법규위주의 소방 설계이다. 성능 위주의 소방 설계는 방화공학의 발달로 가능하게 되었으며, 현재 선진 각국에서 이를 법제도화하고 있다.

방화공학(fire protection engineering)은 최근 괄목할 만한 발전을 이루어왔다. 미국을 비롯한 유럽 국가 및 영연방 국가들은 지난 수십 년 동안 집중적인 국가적 지원에 힘입어 괄목할 만한 연구 성과를 달성하였고, 이를 토대로 방화설계 및 화재안전관리 부문에 새로운 장을 열어가고 있다. 방화공학은 화재모델링, 화재역학, 화재위험성평가, 연소공학 및 화재시물레이션 등의 발전에 의해서 급격한 발전을 이룩하였다.

성능 위주의 소방 설계는 설계안을 선택하는 방법에 따라 결정적 방법(deterministic analysis)과 위험분석방법(risk based analysis)으로 나뉜다. 전자는 안전의 확보를 공학적 계산에 의존하고 후자의 경우 성능 위주의 설계를 위험위주의 설계(risk based design)로 불리기도 한다. 검사나 유지/보수 활동도 위험위주로 변해가고 있음을 주지해야 한다(예 : Risk Based Inspection, Reliability Centered Maintenance).

성능 위주의 소방 설계는 건축비용을 절감하면서 높은 안전도를 확보할 수 있게 하여준다. 또한 성능위주의 소방 설계는 설계자에게

유연성을 제공하여 준다. 그동안 성능 위주의 소방설계를 적용해 온 결과를 종합, 분석하면 법규위주의 설계보다 더욱 안전을 확보하면서도 20% ~ 30%의 전체 건축비를 절감할 수 있었다고 한다.

성능기준설계에서 정의된 개념에 의하면, 성능위주 화재안전설계는 화재안전 문제의 해결을 위해, 명확한 성능수준에 도달하기 위한 공학적 해결방법이다. 최근 이러한 개념은 화재안전평가와 설계에 대한 적정한 수단으로 인식되기 시작했다.

이를 실현하기 위한 성능 위주 화재안전설계의 의도는 공학적인 방법을 이용하여 화재안전 목적을 성취하기 위한 문제의 해결방법을 제공하는 것이다. 화재안전의 목적은 화재와 관계되어 달성되는 안전의 전반적인 성과이며 법규나 규정에 의하여 성립되고 명백하게 정의되어야 한다. 이것은 일반적이며 정량적인 근거로 평가될 수 있는 것이다. 이를 실행하기 위해서는 공학적 절차에 의한 성능위주 화재안전설계라는 측면에서 다음과 같은 7가지 기본적인 단계로 구분할 수 있다.

- ① 대상 혹은 설계 조건 규정
- ② 화재안전의 목적과 목표를 규정
- ③ 성능기준의 선택과 전개
- ④ 화재설계와 화재시나리오의 구성 및 화재 시나리오 결정
- ⑤ 가능한 방화 설계안 선택
- ⑥ 선택된 설계안의 평가와 최종 설계 방안 선택
- ⑦ 최종 설계안 선정 및 문서 작성

이러한 성능위주 화재안전설계를 완성하기 위하여, 1에서 5단계까지는 법규나 규정(regulation, code, standard), 그리고 공학적인 지침이나 실습 매뉴얼 등에 의해서 명확하게 서술되어 있어야 한다. 이전 단계의

완성에 의하여 6에서 7단계는 명확한 문제의 해결방법을 제시해야한다. 이러한 평가를 위해서는 화재에 대한 전문가가 필요하며, 이에 대한 연구는 계속적으로 진행되고 있다. 7단계는 최종 선택 안을 선정하고 이를 문서로 작성하는 부분이다.

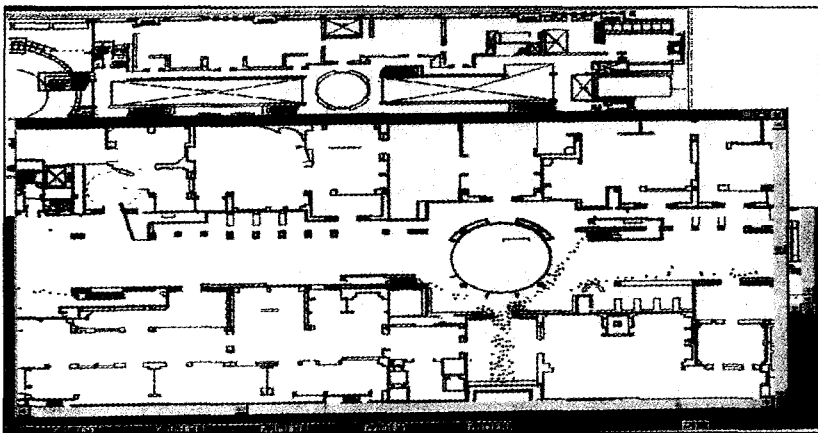
미분무수 소화설비

미분무수 소화설비(water mist extinguishing system)는 물 입자의 크기를 1mm(1,000 μ m) 이하로 미세화 하여 방호구역(방호대상물)에 방출함으로써 물이 가지고 있는 열용량과 물이 증발될 때의 부피변화 등에 의해 화재를 제어, 진압하는 설비로서 오존층파괴에 따른 하론계열의 가스계 소화설비의 사용이 금지되면서 최근에 소방선진국을 중심으로 크게 부각되고 있는 소화설비이다. 이 설비는 환경에 문제가 없으며, 가스계 및 수계 소화설비의 단점을 보완할 수 있는 소화설비로 최근 소방선진국에서는 이 설비에 대한 다양한 분야의 연구 및 설비의 응용에 대한 연구가 진행되고 있다.

미분무수에 의한 액체 및 고체연료 화재진압의 기본원리에 대한 묘사 및 연구는 1950년대 중반으로 거슬러 올라간다. 이때는 화재진압에 있어서 초기의 물입자 크기에 대한 매개변수 및 미분무수의 소화작용에 대한 연구가 집중되었다. 원활한 방사를 가지는 미분무수는 액체 및 고체연료의 화재를 진압하는 데 매우 효과적이라는 것을 보였다.

그러나 Halon 1301 등 할로겐화물 소화약제의 우수한 소화성능을 활용한 할로겐화물 소화설비 등의 가스계 소화설비의 출현으로 인하여 미분무수 소화설비에 대한 응용연구는 일시적으로 중단되었다. 그 후 1987년 몬트리얼 의정서 발표 이후에 환경보호차원에서 할로겐화물 소화약제의 사용억제 및 제한된 공간(선박, 비행기 등)에서의 물의 저장이용이하고, 스프링클러 설비에 비해 월등히 작은 구경의 배관(최대 지름 약 40mm)을 사용함으로써 설비의 무게를 줄일 수 있는 점과 설비의 방수잠재력(미세화된 물 입자가 증발되면서 흡수되는 열용량)이 양호하고 또한 주거시설, 인화성액체 저장시설 및 전기장치시설에 대한 응용과 효과성에 대하여 진행되어

온 연구결과가 고무적으로 나타나고 있어 화재안전설비로서 새롭게 평가되고 있기 때문에 다시 활성화되기 시작했다. 가스계 소화설비 및 전형적인 스프링클러 소화설비와 비교해서 미분무수의 사용은 다음과 같은 장점으로



Simulex를 이용한 건물 내의 거주자의 대피 형태(그림 내의 점은 사람을 의미함)

인해 주의를 끌기 시작했다.

- 유독성문제가 없다.
- 환경문제에 영향을 주지 않는다.
- 가연성 액체화재 및 분사화재(3차원 화재 : spray fire)에 적용 가능하다.
- 물 입자 등급에 따라 C급(전기)화재도 적용 가능하다.
- 폭발억제 설비로도 사용 가능하다.
- 물의 양을 최소화(스프링클러의 약 1/10)
- 시스템의 중량이 현저하게 감소된다.
- 비용이 적게 든다.
- 손실이나 위험성이 적거나 없다.
- 화재진압에 있어서 효과가 크다.

미분무수 소화설비가 위와 같은 장점이 있는 반면 방호대상물의 특성, 공간대비 화재의 크기, 방호구역의 환경조건 등의 영향에 따라 매우 어려운 기술적인 문제점으로 인하여 방호하고자 하는 대상물에 대한 정형화된 설계 기술이 정립되어 있지 않은 관계로 설계안에 따른 실규모 화재실험을 통하여 확정되어진 사양(pre-engineered system)의 시스템을 그대로 적용하도록 하고 있으며, 지금도 지속적인 실 규모 화재실험을 통하여 방호 대상물을 하나 하나 늘여가고 있는 실정이다.

국내 선박에서는 해상인명안전국제협약(SOLAS : Safety Of Life At See) 제Ⅱ-2장 규칙 10의 5에 의거 2002년 7월 1일 이후에 건조되는 총톤수 500톤 이상의 여객선 및 총톤수 2,000톤 이상 화물선의 기관구역의 소화장치로 화재가 기관구역 전체에 확대되는 경우를 대비하여 전역방출방식의 미분무수 소화설비, 포소화설비 및 이산화탄소 소화설비 중 하나를 선택하여 설치하고, 주엔진, 보조엔진, 연료탱크 등의 국부지역에 부분적으로 발생하는 화재에 대비하여 추가로

국소방출방식의 미분무수 소화설비의 설치가 의무화되면서(기존 선박은 2005년까지) 국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)의 국소방출방식 미분무수 소화설비(IMO MSC/Circ.913) 시험기준을 만족하는 국소방출방식의 미분무수 소화설비가 개발되어 선박의 소화설비로 일부 설치가 되고 있으며, 성능향상을 위한 실험을 계속 진행하고 있다.

자동화재탐지설비

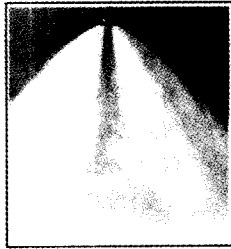
다년간 화재감지방식은 배선, 제어반, 경보장치 등을 전체 SYSTEM으로 건물의 소방안전기능을 수행하면서 발전을 해왔으며, 조작방법은 수동 조작에서 전기기계조작으로 고체감지소자의 사용에서 전자식제어방식으로 발전을 해왔으며 1980년대 후반부터는 우리나라에서도 Miro-Processor에 의한 Computer를 이용한 화재경보설비가 개발되어 사용되고 있다.

1985년 Analogue/Address감지기가 개발되면서 화재감지방식의 미래는 시작되었다고 할 수 있으며 이 감지기는 이온화식, 광전식, 열 또는 불꽃 감지기 등 어떤 감지기에도 적용할 수 있는 기술로 Micro-Processor를 이용한 수신장치(computer based control panel)와 연결되어 무한한 가능성을 가진 정보System을 제공해준다. 이러한 감지방식은 개발된 감지기의 판단능력(인간의 설정치)을 제어반으로 이동하여 제공된 Digital정보를 분석하고 그에 따라 미리 Program된 조치를 취할 수 있도록 한 화재경보설비이다.

현재 개발 중인 감지기는 화재 시 발생하는 냄새, 소리, 가스 등을 감지하는 감지기가 개



[원쇄형]



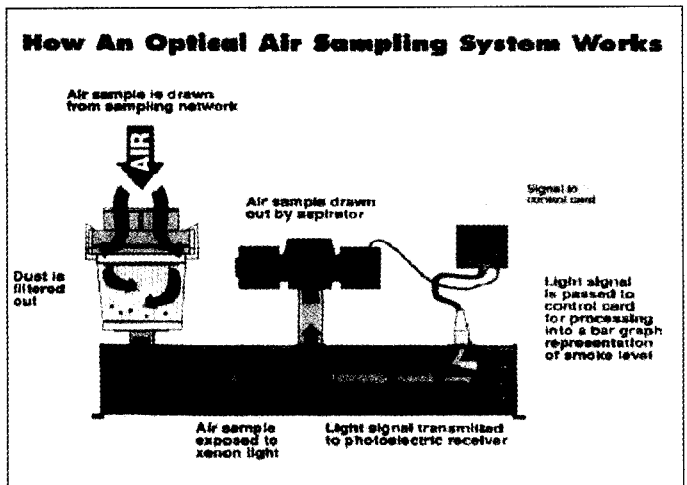
[방사 형태]

미분무수 압력분사 노즐

발 중에 있으며, 화재감지장치는 인간의 오감을 모방한 전기, 기계적인 장치라 할 수 있다. 1970년대 말 호주에서는 무인중계소가 설치된 산악지대, 평원지대 등에서 발생한 화재로부터 무인중계시설을 보호하기 위한 조기화재경보설비로 공기흡입형 연기감지기를 설치하여 산불화재로부터 발생된 연기입자를 감지하여 중계소 부근에 설치된 스프링클러를 작동시켜 화재로부터 중계소를 호보하는 시스템을 사용하게 되었다. 이후 공기흡입형 연기감지기의 조기감지성능, 주위공기 흐름에 영향을 받지 않는 특성 등으로 반도체생산 공정, 전산실 등에 설치하게 되었으며, 전 세계적으로 화재감지기로써 조기화재감지기는 공기흡입형 광전식감지기를 통칭하고 있으며, 공기흡입형 연기감지기의 조기감지성능, 주위공기흐름에 영향을 받지 않는 특성 등으로 반도체생산 공정, 전산실 등에 설치하게 되었다. 연소 초기단계의 열분해 시 생성된 초미립자를 감지구역 내에 설치된 흡입배관(air sampling pipe)을 통하여 흡입기에 의해 감지

Head로 흡입시켜 미립자를 분석하여 화재신호를 발생하는 장치로 재래식 연기감지기(광전식, 이온화식)보다 빠른 응답특성을 가지고 있어 조기 화재감지기로 분류된다.

우리나라에서는 인천공항에 방재시스템을 구축하는 단계에서부터 데이터통신 시스템이 방재시스템에 도입되기 시작했다. 데이터통신 시스템은 컴퓨터와 원거리에 있는 터미널 또는 컴퓨터 상호간을 통신회선으로 결합하여 정보처리를 수행하는 시스템이다. 따라서 데이터통신 시스템의 구성은 컴퓨터를 중심으로 하는 정보처리시스템과 입출력을 수행하는 데이터 터미널장치 그리고 그 양자를 연결하는 통신회선으로 구성된다. 데이터 통신 시스템은 단순한 데이터의 전송기능뿐만 아니라 데이터의 가공, 보관, 처리 등을 수행하는 기능 등을 포함하게 된다. 따라서 방재시스템에 데이터 통신 시스템의 활용은 화재 감지, 경보, 소화설비의 작동 등의 방재기술에 새로운 전환점을 주고 있다.



공기흡입형 광전식 연기감지장치의 산란장치