

연기와 열의 배기에 관한 지침

(Guide for Smoke and Heat Venting)

박태안 : 해외 연구컨설팅부 컨설턴트

건축구조기술의 발달로 대형공장, 물류창고 등 공간의 기능적 활용을 위해 구축되지 않은 대규모 바닥면적을 가지는 건물이 증가함에 따라, 방재면에서는 연소확대위험 등 화재손실의 가능성이 증가하였으며, 이러한 위험의 감소를 위하여 스프링클러설비의 사용이 증가되었다. 현재 우리나라의 제연에 관한 엔지니어링은 계단실에 대한 제연, 거실층에서의 창호 및 덕트를 이용한 제연이 주종을 이루고 있어 단층의 광역화된 공간에서의 제연은 관심도가 낮으며, 이들 공간에서의 화재제어는 물론 인명안전 등에 기여하는 연기배출설비의 중요성이 증대되고 있어 NFPA 204M의 내용을 정리하여 소개한다.

1. 연기와 열의 배기에 관한 개요

무창 건물 등에서는 열·연기의 누적으로 화재진압 시 건물의 중앙부로의 진입이 곤란하여, 화재 외곽부분에서만 화재진압을 할 수밖에 없는 문제점에 대한 해결책으로는 연기와 열의 배기설비가 있으며, 이에 대한 규정으로는 NFPA 204M의 연기와 열의 배기설비의 사용과 관련된 안내지침에서 찾아볼 수 있다.

가. 화재성상에 관한 구분

이 지침에서는 화재성상을 다음과 같이 2가지로 구분하고 있다.

첫 번째는 확산-제한화재(예측 가능한 열방출율 이상으로 화재가 확산되지 않는 화재) 배기에 관한 권고사항의 이행으로, 화재 영향이 화재발생의 배연 지역 이외로 확산을 억제할 수 있다. 두 번째는 확산-지속화재(화재가 저지되지 않으면 계속 확산되는 화재)의 배기에 관한 지침으로, (a)화재의 영향이 배연구역 내로 한정되는 동안 (b)배연구역 바닥면 위에 설계높이까지 가시성이 유지되는 동안의 최소 예측 가능한 설계시간을 수립할 수 있다.

이 최소가시성 설계시간은 화재발생지역을 파악하거나, 화재의 심각성 및 심각한 정도의 평가, 건물에서 완전 퇴거 또는 화재진압 장비나 진압요원의 배치에 관한 결정을 하는데 활용될 수 있다. 최소가시성 설계시간은 최초로 배기가 시작되는 시간으로부터 측정된다.

나. 연기와 열의 배기에 관한 지침의 적용

이 지침은 스프링클러설비의 설치 유무에 따라 다

르며, 각각의 화재상황에 따라 배기수단이 다르게 적용된다.

건물구조측면에서는 모든 형태의 건물에 적용 가능하지만 다층건물의 경우 최상층 부분은 적용 가능하나, 최상층 이외의 하부층에 적용하기에는 비실용적이다. 또한 높은 천장(일반적으로 4.57m이상)을 가지고 있어 플룸(plume)화재와 연기가 확산될 수 있는 구획되지 않은 대규모 바닥면적에서 지침으로 적용될 수 있다.

다. 배기원칙에 관한 고려사항

뜨거운 가스는 부력작용에 의해 수직상승하며, 수직벽(방연커튼 등)에 도달하기 전까지는 수평 이동하여 지붕아래에 뜨거운 가스층을 형성한다. 이때 발생하는 배기가스의 양과 온도는 화재 열방출율과 불기둥에 동반되는 공기량의 함수이며, 뜨거운 가스층의 깊이와 온도는 배기설비가 작동되기 전까지 계속 상승한다. 일단 배기설비가 작동하면 상층부 가스층의 배출로 인해 가스층의 증가 비율이 감소되며 배기구를 통한 열방출율은 뜨거운 가스층의 깊이와 온도에 의해 결정되고, 낮은 지역의 공기흡입구로부터 적절한 양의 흡입공기가 요구된다.

2. 배기구

가. 배기구의 형태

일반적으로 화재지역 상부의 천창, 창문 또는 모니터 등의 설비를 통하여 열과 연기가 방출되지만 화재방화 측면에서는 적절한 배기수단으로 사용하기 곤란하다. 따라서 본 지침은 화재감지장치 연동에 의한 자동작동 배기구로서 1.53m/sec의 가스속도에서 233sec 미만의 시간상수를 가지고 37.8 ~

104.4 사이에서 작동하는 열반응장치가 구비된 각각의 배기구에 적합하게 설치된 장비이다. 다른 방식의 작동인 경우에는 열반응 장치를 가능한 빨리 작동시킬 수 있는 시스템으로, 데이터나 엔지니어링 분석 등에 의거 입증되어야 한다.

나. 배기구 설계상의 고려사항

(1) 배기구의 재료 및 설치 방법

배기구는 예상 최대온도, 풍속, 자연환경, 내부환경 및 외적 영향에 견딜 수 있어야 하며 건물구조와의 적절한 조화(전력공급, 전기화학적 상호작용, 바람, 건물의 움직임 등)를 유지할 것.

(2) 타 기능 겸용 시 방화기능의 감소 방지

배기구를 일광, 환기 등의 기능을 겸용토록 설계 시 스프링탄력의 이완, 열감지 기능의 저하 등 배기 기능이 감소되지 않도록 유지·관리할 것.

(3) 오동작방지

오동작 방지를 위해 주변 환경요소를 충분히 검토한 후 작동 요소를 선택할 것.

(4) 작동 시스템의 선택

특정한 위험에 요구되는 배기 요구 사항을 충족시킬 수 있도록 단일유니트, 일련의 복수유니트, 경계 구역을 달리하는 복수유니트 등 선택 가능.

(5) 설치위치의 선정

특정 장소에 국한되는 위험(딤탱크, 솔벤트 저장창고 등)이라면 위험장소 직상에 배기구를 설치할 것.

(6) 검사의 용이성

특정 배기 메커니즘과 구조(또는 주요 구성부)의 검사가 용이토록 배열할 것.

(7) 보조장치의 선택

원격조정장치 등 보조장치는 자동센서 작동을 대신하거나, 센서의 기능을 저하시키지 않도록 할 것.

다. 배기구의 작동방법

뜨거운 가스층이 축적되기 전이라도 자동메커니즘에 의해 개방시킬 수 있으며, 통상의 방재설비와 같이 연기감지기를 설치하여 배기구를 개방하거나 수동적인 방법으로도 개방할 수 있어야 한다. 만일 개방장치에 고장이 발생한 경우 즉시 배기구가 개방될 수 있는 구조가 바람직하다. 배기구 개방 동력원으로는 중력에 의한 방법이 가장 좋으며, 눈이나 지붕재료 파편 등 외적환경요인에 관계없이 기능이 보장될 수 있어야 하고 시스템과 연동 설치하는 서터, 댐퍼 등을 병설하는 경우 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

라. 배기구 크기와 간격

(1) 면적

하나의 배기구 또는 여러 개의 배기구 면적은 $2d^2$ 를 초과하지 말 것.

(d : 배기구의 중심라인에서 측정한 방연커튼의 깊이 또는 연기층의 예상 깊이, [그림] 참조)

(2) 배기구의 넓이

방연커튼 설치시 방연커튼의 깊이(d)를 초과하지 말아야하며 방연커튼이 없다면 연기층의 예상깊이를 초과하지 않도록 할 것.

(3) 배치

배기구 배치간격은 바닥의 어떤 지점과 가장 가까운 배기구사이의 거리를 초과해서는 안되며 방연커튼을 설치한 지역이라면 $2.8H$ (H : 천장높이)를 초과하지 말 것.

(4) 배연구역당 총 배기구 면적

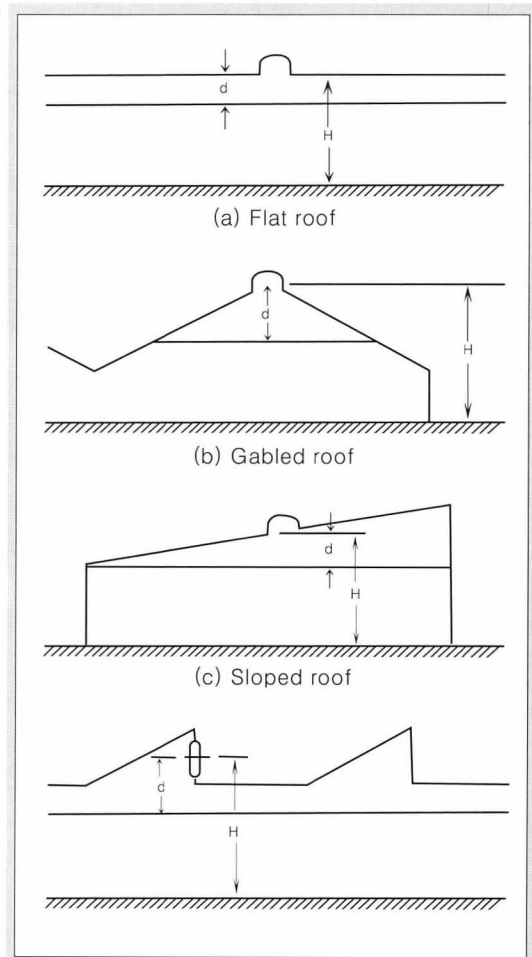
예상화재의 심각성에 따라 산출할 것.

(5) 기계적인 배기구가 고려되는 경우의 총 배연 구역 면적

총 예상배기량을 감안하여 배연구역의 면적을 설정.

3. 방연커튼

방연커튼은 불연재료로서 연기를 통과시키지 않는 구조로 되어 있으며 배기시스템이 일정시간 작동하는 동안 천장아래 축적되는 열과 연기의 확산을 제어하고 커튼 구역 내로 열을 축적할 수 있어, 배기구의 즉각적이고 능동적인 작동을 위해 필요하다.



[그림] 천장높이(H)와 방연커튼깊이(d)의 측정

가. 방연커튼의 위치와 깊이

방연커튼의 d(깊이)는 H(천장높이)의 20%를 유지할 수 있도록 충분히 아래쪽으로 내려져야 하다.

※ H(천장높이)의 측정

(1) 평면지붕의 경우 : 천장으로부터 바닥까지 측정된 값.

(2) 경사지붕의 경우 : 배기구의 중앙으로부터 바닥까지 측정된 값.

- d(방연커튼 깊이)가 H의 20%를 초과하는 경우 : $H \pm d \geq 10\text{ft}(3.05\text{m})$ 일 것.
- 특별한 위험지역인 경우 : 커튼은 바닥으로부터 10ft(3.05m) 이내로 설치할 것.

단, 동 위험지역이 바닥위 10ft(3.05m)초과 지역에 위치하는 경우로 본 지침의 기초적 기준이 준수되어진다면, 방연커튼의 깊이는 화재진압시 효율적으로 사용될 수 있도록 줄어든 수 있다.

나. 방연커튼간의 거리

커튼간 이격거리는 천장높이의 8배를 초과하지 말아야 한다. 다만 방연커튼의 설치장소가 특별한 손상의 위험이 예상되는 경우 배연구역을 축소하는 것이 바람직하다. 단, 방연커튼이 최소 천장높이의 40%깊이까지 아래로 연장되지 않는 한, 커튼간 거리는 천장높이의 2배 이상이 되도록 한다.

4. 배기구 설치 지역 또는 배기 능력

배연구역은 일정 심도이상의 화염을 충분히 배기할 수 있도록 충분히 큰 배기면적(또는 기계환기의 경우 배기능력)을 갖추어야 하며, 배기면적(또는 배기능력)은 방연커튼 또는 연기층의 설계깊이에 의해

결정된다. 이때 배기면적(또는 배기능력)은 최초 배기구가 작동하는 시간부터 측정되어지는 최소가시성 설계시간에 의존한다.

배연구역당 배기구 권장면적은 확산 - 제한화재인 경우, 확산 - 지속화재의 경우 각각 달라진다.

급기면적은 원활한 배기를 위하여 건물의 하부로부터 신선한 공기의 유입이 필요하며 유입구 면적은 배연구역당 설치된 배기구 면적 이상으로서 첫 번째 배기구가 열린 후 일부이내 공기 인입이 시작되어야 한다.

가. 확산 - 제한화재

배연구역당 권장 배기구 면적은 동 구획 내에 예상되는 최대 열방출율(Btu/sec)에 따라 결정되며, 천장높이의 20% 초과 커튼 깊이에 대하여 배기작용이 실행될 수 있는 열방출율인 $Q_{feasible}$ 은 다음과 같이 산출된다.

$$Q_{feasible}(\text{Btu/sec}) = 1130(H-d)^{5/2}$$

천장높이의 20% 초과 커튼 깊이에 대하여 배기구 면적은 다음 승수를 곱하여 산출된다. (SI 유니트 : 1ft=0.3048미터)

천장높이의 커튼 깊이가 차지하는 %	곱셈 승수
30	0.71
40	0.53
50	0.40
60	0.29
70	0.20
80	0.13

나. 확산 - 지속화재

일정시간 시작되는 확산 - 지속화재의 열방출율은 시간의 제공에 비례하여 지속적으로 확산된다. 화재의 확산 시간은 발화시간과 화재가 1000Btu/sec의 중간 에너지 방출율에 도달할 때까지의 시간 간격으로써 정의된다.

배연구역당 권장 배기구 면적은 천장의 높이(H)와 화재확산 시간에 따라 달라진다. 또한 방연커튼의 간격(S), 배기구 간격 및 배기작용을 일으키는 수단 및 최초 배기구가 작동하는 시간으로부터 설계된 최소 가시성 예상시간 등에 따라 달라진다.

천장높이의 20%를 초과하는 커튼 깊이에 대하여 $Q_{feasible}$ 과 관계있는 배기구 면적 $A_{feasible}$ 은 다음과 같이 산출될 수 있다.(여기서 H는 ft로 표시된 천장 높이이며 d는 ft으로 표시된 커튼 깊이이다)

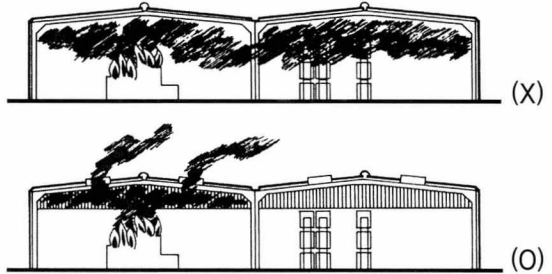
$$A_{feasible}(ft^2) = \frac{8.5(H-d)^{5/2}}{d^{1/2}}$$

5. 검사 및 유지관리

다른 방화장비와 같이 오조작, 부적절 설치 및 순간적 기능장애의 가능성이 상존하며, 화재의 미발생 등으로 수년간 사용치 않을 수 있다. 따라서 규칙적인 검사와 유지·관리가 필수적이다.

검사와 유지·관리를 위한 매뉴얼의 일정 및 절차는 강제적으로 실시하여야 하며, 시간·날짜·형식의 변화·구성부분의 손상·안전장치·주변환경 등을 기록하여야 한다. 특히 배기구의 작동을 저해하는 먼지, 파편 또는 주변환경의 장애요인(얼음 또

는 눈) 제거는 유지·관리 프로그램의 필수이다.



6. 스프링클러를 갖춘 건물에서의 배기구

위험의 제어에 있어 스프링클러와 배기구 모두를 설치하는 것에 대한 보편적인 설계기준은 아직 마련되지 않았다.

자동식 지붕배기설비가 스프링클러의 성능을 저해시킬 수 있다는 모델(Heskestad, G., Model Study of Automatic Smoke and Heat Vent Performance in Sprinklered Fires, Technical Report FMRC Serial No. 21933RC74-T-29, Factory Mutual Research Corp., Norwood, MA, September 1974.)연구에서 아래와 같이 의견이 제시되었다.

- 배기장치가 시야상실을 지연시킴.
- 배기장치는 연료소비를 증가시킴.
- 배기구와 화재의 위치에 따라 화재를 제어하기 위한 소화수량은 배기장치가 없는 조건에 비해 증가하거나 감소한다. 배기구 바로 아래의 화재에 대하여는 요구되는 물의 양은 감소하지만 배기구로부터 등거리에 있는 화재의 경우 요구되는 물의 양은 증가한다.㉞