

고층건축물의 피난, 연기제어 대책

이 글은 “火災”紙 vol 42에 게재된 내용으로서 일본의 田中晴義 씨가 중국에서 실시된 세미나에서 “高層建築物의 避難, 煙制御設計와 問題點”이라는 제목으로 발표한 내용중에서 발췌, 요약한 것이다.

1. 머리말

고층건축물은 화재에 대한 잠재위험이 크기 때문에 각국의 건축, 소방관련기준에는 중저층의 건축물에 비하여 엄격한 안전대책을 강구하도록 규정하고 있어, 고층건축물은 일반 건축물보다 훨씬 안전할 것이라는 인상을 갖는 사람도 적지 않다.

그러나 고층건축물의 수는 급격하게 증가하고 있으나 전체 건물수에 비해 상대적으로 수가 적고, 화재사례도 적기 때문에 그런 인식을 갖는 것은 적절하다고는 할 수 없다.

고층건물의 화재로서 주목되는 경우는 미국 L. A에서 발생한 first inter state은행의 화재로서, 62층 사무실빌딩의 12층에서 발화하여 창을 통한 분출염으로 15층까지 연소하였다.

다행히 구조체에는 중대한 지장이 초래되지 않았으나 닥트 샤프트, 엘리베이터 샤프트 및 계단실을 통하여 연기가 상층으로 확산, 1명이 사망하고 40여명이 부상하였으며 많은 사람을 소방대의 헬리콥터로 구조하지 않으면 안되었다.

또한, 일본 東京내의 28층 건물인 ○○아파트에서 발생한 화재는 24층의 발화실만을 소손하고, 부상자도 6명밖에 발생치 않았으나 화재시 피난이나 소방활동의 거점이어야 할 부속실이 계단실 및 샤프트로 인하여 연기에 오염, 입주자의 피난에 지장을 초래하였다.

위의 두 예와 같이 피난계단, 부속실 등 안전을 위하여 의도적으로 설치한 것이 화재시 그 기능을 다하지 못하였다는 것은 심각하게 받아 들여야 할 것이다.

그러므로 본고에서는 고층건축물의 화재시 피난대책 및 설계상 유의해야 할 사항을 기술하고 안전대책이 유효하게 기능을 다하지 못한 점에 대하여 언급하고자 한다.

2. 고층건축물의 피난상 문제점

가. 피난의 원칙

화재발생 방지는 가장 신중하게 다루어야 할 문제이지만, 사람은 불이나 에너지를 사용하지 않고 생활할 수 없으므로 화재발생을 완전히 없애는 것은 지극히 곤란한 것이며, 따라서 피난수단에 의한 안전 확보가 필요하게 된다.

안전을 확보하는 피난상의 원칙은 “화재에 의한 위험이 닥치기 전에 안전한 장소로 피난한다”는 것이며, 그것을 수식으로 표현하면,

$$t_e < t_n \dots\dots\dots (1)$$

이 된다. 여기서 t_e 는 피난에 필요한 시간, t_n 는 피난자에게 위험이 닥드는 시간이며, 공통적으로 出火시점을 기점으로 하고 있다.

화재의 확대는 폭발을 제외하면, 극단적으로 빠른 현상이 아니며 확대범위도 대개 1동의 건물에 한정되므로 건물 밖으로 원활한 피난이 가능하도록 수단을 강구하여 인명안전을 도모하고 있다.

그러나, 일반건축물에 비해 월등히 높은 고층건축물에도 전통적인 피난상의 원칙이 유효한가의 여부에 대해서는 면밀한 검토가 필요하다.

상기 식(1)중의 피난소요시간 t_e 는 다음과 같이 생각해도 좋을 것이다.

$$t_e < t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 t_1 : 피난자가 화재를 감지하여 피난을 개시하기까지의 시간

t_2 : 피난행동을 개시하여 안전한 장소에 이르기까지의 시간

일반적으로 t_1 는 건축물의 재실자가 起床狀態인가, 就寢狀態인가, 또는 건강한 사람만인가, 신체장애자도 포함하는가 등 주로 건물용도에 따르는 요인, 자동경보장치, 상주하는 방화관리자의 유무 등 관리시스템에 따라 다르고, 전체의 피난시간중에서 큰 부분을 차지하며 피난행동을 위한 시간 t_2 자체보다 큰 것도 많다.

그러나, t_1 를 현재보다 적게하는 것은 화재감지기가 있어도 상당히 어려운 문제이다.

대규모, 고층화됨에 따라 자신이 거주하는 건물에서 화재발생을 신속하게 인지하지 못하는 재실자의 수가 증가하는 것은 앞의 두 화재 예에서도 볼 수 있다.

또한, 규모가 클수록 피난시 혼란의 증가도 예측되므

로, 방화관리 담당자도 경보신호만으로 즉시 피난지시를 내리는 판단이 어렵고, 화재상황의 확실한 판단에도 꽤 많은 시간을 필요로 한다.

나. 고층건축물의 피난시간

피난을 개시하여 전원이 안전한 장소로 피난하는 시간 t_n 는 최대 보행거리 및 피난경로의 용량에 따르며, 각국의 건축방화법규에는 이들에 대한 기준을 정하고 있다.

(1) 최대 보행거리

건물화재에서 최종적으로 안전이 확보되는 피난 장소는 건물 밖의 지상공간이다.

그러나, 고층화됨에 따라 불가피하게 피난시간이 증대하므로 각국의 건축방화기준에는 보행거리 측정의 종점을 옥외와 계단실 입구로 하고 있으며, 시작점은 거실내의 最遠距離點이나 거실 출구로 하고 있다.

최대 보행거리는 30~40m가 표준이지만, 나라에 따라, 조건에 따라, 측정방법에 따라 15~106m로 되어 있으며, 최대 보행거리의 완화조건은 각국의 피난안전에 관한 고려방법에 따라 차이가 있다. 이들을 요약하면,

- 한국, 일본: 건축물이 내화 또는 불연구조일 때
- 미국: 스프링클러가 설치되어 있을 때
- 프랑스: 계단이 보호계단인 때
- 영국, 호주: 2방향으로 피난경로가 있을 때

보행거리가 길어도 좋은 것으로 되어 있다.

상기 식(1)의 원칙에서 피난안전은 피난시간을 짧게 하는 것과 화재에 의한 위험을 지연시켜 얻을 수도 있으므로 일본과 미국은 이 방식을 채용하고 있다.

일본에서는 위험을 지연시키는 방법으로 건물의 耐火化, 不燃化를 중요시하고 있으며, 이와 같은 기준은 영국의 옛 법규에도 볼 수 있다.

이 방식은 피난안전의 조건식 (1)을 고려할 때, 개념적으로는 어느 것이나 타당하지만 각국의 기준은 이들을 부분적으로 밖에 채용하지 않았으며, 최대 보행거리는 대개 경험적인 것이어서 근거가 부족하다.

아무튼 계단까지의 보행거리를 일정 이하로 제한하였다 해도 지상까지의 거리는 높이의 증가에 비례하여 길어 지므로 보행거리에서 정해지는 피난시간 t_{EL} 은,

$$t_{EL} = L/v \quad \dots\dots\dots (3)$$

이 된다. 여기서 L , v 는 각각 보행거리 및 속도이다.

계단내의 보행속도 값을 넣으면, 1층당 피난시간 t_b (sec)는 대략

$$t_b = n \times 4h \quad \dots\dots\dots (4')$$

로 된다. 여기서 h 는 층고(m)이다. 따라서 n 층에서의 피난시간 t_{nb} 는 대략

$$t_{nb} = n \times 4h \quad \dots\dots\dots (4) \text{가 된다.}$$

(2) 피난경로의 용량

일본에서는 피난경로의 용량(폭)을 건축기준법에서는

관매장에 대해, 각 도시의 조례에서는 유흥장의 바닥면적에 따른 규정이 있는 반면, 다른 용도에서는 최저폭만이 규정되어 있다.

그러나 선진국 대부분은 다음과 같은 순서에 의해 수평통로, 계단폭 등 피난경로의 폭을 규정하고 있다. 즉,

- (a) 건물의 용도별 재실자 밀도 p (人/m²)(또는, 이 역수: 재실자因子)를 설정한다.
- (b) 재실자 밀도 p 에 바닥면적 A 를 곱하여 피난자수 pA 를 산정한다.
- (c) 피난자수에 비례하는 피난경로폭 B 를 정한다.

피난시간은 최대보행거리 또는 문턱 등 피난경로의 목이 부분의 통과용량으로 정해지지만, 후자의 시간 t_{ED} 는 $t_{ED} = pA/NB$ $\dots\dots\dots (5)$

여기서 N 은 경로의 유동계수(人/m. s)이다.

위에서 기술한 방식에 따라 각국의 피난경로 폭은 $B \sim pA$ $\dots\dots\dots (6)$

로 되어 있으므로 결국 용도나 면적에 관계없이

$$t_{ED} = \text{Const} \quad \dots\dots\dots (7)$$

즉, 피난시간을 일정하게 하는 기준임을 알 수 있다.

(3) 계단내의 피난시간

각층 거실의 출입구나 복도는 평상시에도 일정한 폭이 필요하므로 이들에 대한 기준을 만족하는 데에는 큰 어려움이 없다.

문제는 계단폭의 확보이다. 고층건축물에서 충분한 계단폭의 확보에 어려운 점은 주로 다음 2가지로 들 수 있다.

- (a) 층수 증가에 비례하여 피난시 계단 使用人數가 증가한다.
- (b) 고층이 되면 평상시 이동경로는 엘리베이터 등이 되고, 계단은 비상시 전용으로 밖에 사용되지 않는다.

각층이 같은 고층건축물에서 동시에 피난이 개시되면, 보통은 (그림 1)과 같이 상층의 피난자가 계단 한층분의 보행시간이 지난 뒤 하층의 피난자와 합류한다.

層 居室 階段

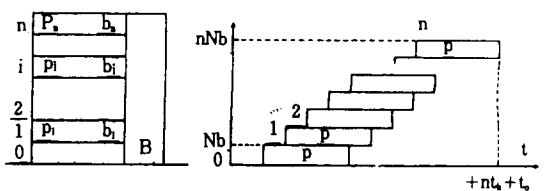


그림 1 全館 一齊 피난의 개념

이와 같은 경우 피난시간은 보다 면밀한 해석이 가능하나, 여기서는 간단히 피난시간을 근사적으로 계단실의 피

난층 출구에서의 통과시간이라 간주하면,

$$t_{ED} = np A/NB \dots\dots\dots (8)$$

여기서 n은 건물 층수이며, 피난시간은 층수에 비례하는 것을 알 수 있다.

계단실의 출구폭을 증가시키면 시간은 단축되지만, 식(4)에서와 같이 층수가 증가됨에 따라 계단내의 보행시간도 증가하므로, 출구에서의 체류가 없어도 피난시간은 단축되지 않는다. 그러므로 계단실 출구에서의 통과시간이 보행시간과 같게 되는 피난시간을 단축하는 이상적인 경우를 생각하면 식(4)와 식(8)을 이용하여

$$n \times 4h = np A/NB \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{즉, } B = pA/N \times 4h = pA/6h \dots\dots (10)$$

의 출구폭을 확보할 필요가 있다.

층고 h를 3m로 하면, 각종 재실자 1인당 1/18(m) \approx 5~6cm의 폭이 된다.

만약 계단폭을 1~1.5m라 하면 이것은 계단 하나당 각종 20~30인의 재실자를 수용할 수 있어 이와 같은 조건이 무리없이 만족되는 용도의 건축물은 공동주택 등 재실자가 비교적 적은 건물에만 국한되는 것이다.

한편, 판매장과 같이 재실자의 밀도가 높은 용도나 사무실 용도 등에서도 이와 같이 큰 계단폭을 확보하는 것은 곤란한 경우가 많으며, 각국의 기준에서 요구하는 계단폭은 각종 재실자 1인당 고작 1cm 전후이다.

따라서 (8)식은

$$t_{ED} = (5\sim 6) n \times 4h = (5\sim 6) n t_n \dots\dots\dots (11)$$

즉, 全館 피난시간은 층수에 비례하고, 보행시간의 5~6배를 요구하는 것이 사실이다.

층고 h를 3m라 하면, $t_n = 12$ 이므로

$$t_{ED} = (60\sim 72) n \text{ 초} \approx n \text{ (분)} \dots\dots\dots (12)$$

결국 각국의 법규에 따라 고층건축물의 피난시간은 대략 1층에 대하여 1분, 따라서 60층이라면 60분=1시간

정도로 생각하면 된다.

다만, 일본의 경우는 일부 용도 외에는 계단폭이 다른 나라와 달리 사람수에 의해 정해지지 않으므로 각종 바닥면적이 큰 경우에 위의 값보다 크지는 경우가 있다.

피난시설의 용량규정은 경제적인 요구와 모순되는 경우도 많지만, 용도의 차이에 의한 통일이 이루어지도록 일관된 원칙의 도입이 요망된다.

3. 연기로부터 계단실 보호

고층 건축물에서는 (a)피난시간은 층수에 비례하여 길게 되는 것이 불가피하며, (b) Shaft는 연돌효과로 인한 연기의 전파가 빠르게 된다는 것이 피난안전상 가장 주의해야 할 사항이다.

그런 취지에서 현재까지 발명된 수단은 외부계단, Smokeproof enclosure(미국), 특별피난계단(일본, 한국) 등이 있다.

이들은 계단실을 건물내부 화재의 영향에서 벗어나 안전도가 높은 공간인 그곳에 들어가면 시간은 걸리지만 안전하게 지상까지 피난할 수 있다는 것을 의도한 것이다.

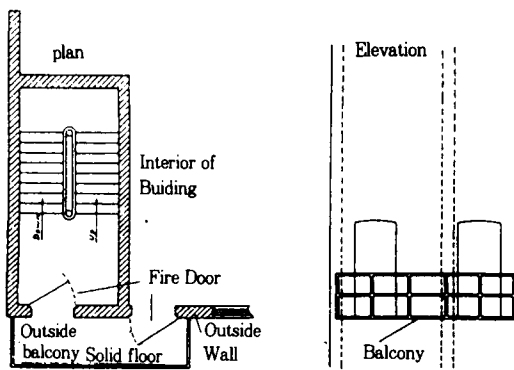
이것은 발상으로는 탁월하나 현실적으로는 경제적, 일상적인 이용상의 다양한 요청 등에 의해 타협이 불가피하여 안전성이 저하하고 있다.

이하에 이 점에 대하여 살펴보고자 한다.

가. 특별피난계단 구조의 기본형태

특별피난계단의 발상이 언제, 어디서 나왔는지는 정확하게 알 수 없지만 19세기 말에 이미 나타나 있으며, 19-15년 개정판인 미국 손해보험업계의 권장 Building Code(National Building Code의 전신)에는 (그림 2)와 같이 외기에 개방된 발코니 및 부속실을 갖는 Smokeproof tower가 나와 있다.

Smokeproof Tower with Outside Balcony Entrance



Smokeproof Tower with Vestibule Entrance

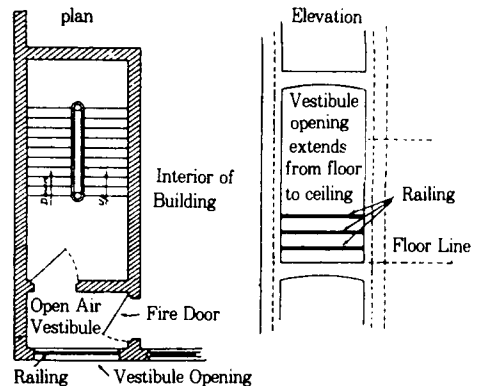


그림 2 권장 Building Code 1915에 나오는 Smokeproof tower

일본에서는 1930년 초 백화점, Apart, 고층건축물의 법규 제정시에 이것을 모방한 듯한 (그림 3)이 건축잡지의 서두에 게재되어 있다.

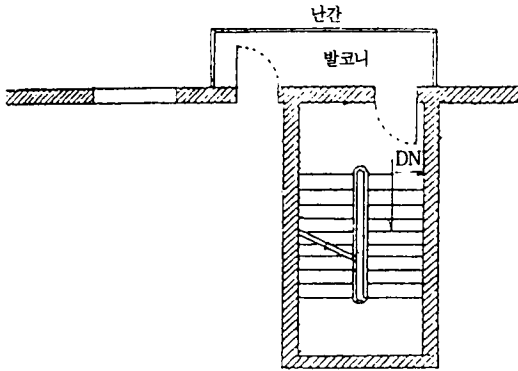


그림 3 1933년 건축잡지에 나오는 특별피난계단

이와 같이 건물내부와 내화벽으로 구획되고, 외기에 개방된 Balcony 또는 부속실을 갖는 당초의 계단은 안전상 理想的인 것이라 할 수 있다.

나. 현재의 특별피난계단 부속실

특별피난계단의 기본형태인 위의 계단은 防煙上 理想에 접근한 것이나, 외기에 개방되어 있어 風雨寒暑를 피하려는 일상의 사용상 편리함이나 유지관리에는 부적합하다. 그리하여 부속실 개구부는 적어지고, 평상시는 폐쇄되어 비상시만 개방되는 창 또는 기계적인 배연으로 바뀌어 부속실은 내부공간화하게 되었다.

현재 일본 법규에는 (그림 4)와 같이 3가지의 부속실 타입이 인정되고 있다.

부속실의 자연배연을 위한 창면적, 기계배연을 위한 배연량 등 서로 방법은 다르나 기본적으로는 미국에서도 같다.

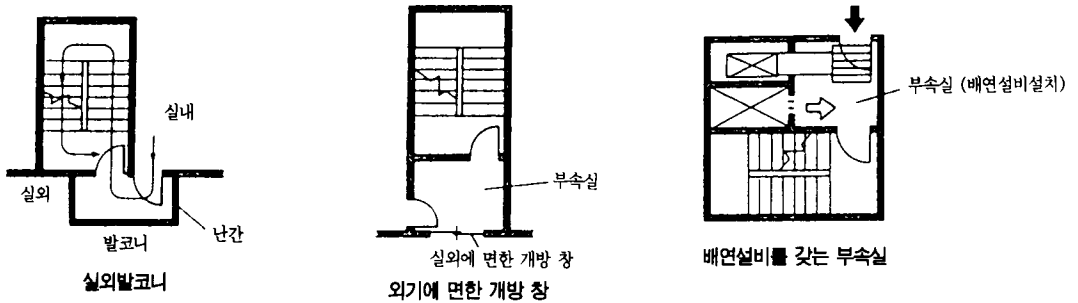


그림 4 일본에서 인정되는 부속실의 유형

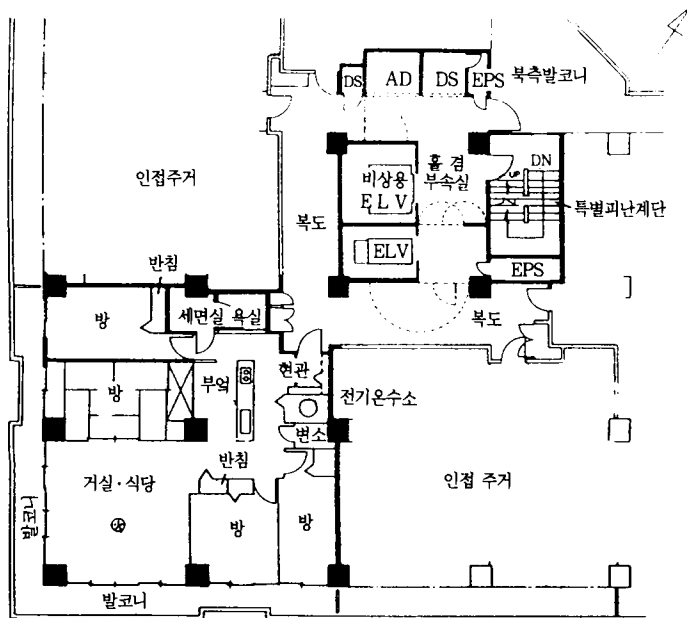


그림 5 ○○아파트의 부속실

이와 같이 내부공간화된 부속실은 일상의 편의를 위해 부속실 문을 평상시는 개방하였다가 비상시에 연기감지기 연동 방화문으로 폐쇄되게 하는 것이 법규에도 허용되고 있으나 비상시 폐쇄의 신뢰성이 높지 않으므로 실질적으로는 안전성의 저하를 의미하는 것이다.

자본주의 사회의 건축경제 논리는 직접 이윤이 나지 않는 건축물내의 공용부분은 최소화하고, 판매 또는 임대면적을 가능한 크게 하는 것이 요구되므로써 비상시 계단 보호를 위한 부속실이어야 할 공간도 평상시는 공용통로로 사용하는 등 공간 절약을 꾀하고 있다.

그것은 (그림 5)의 ○○아파트 부속실에서도 그러했으며, 결코 예외적인 것이 아닌, 일반건물에서도 흔히 볼 수 있는 것이다.

또한, (그림 6)은 어느 공동주택의 계획이지만, 부속실에는 여러 주거용 문이 면하고 있어 보통의 복도와 구별하기 어렵다.

이들은 법규에는 적합한 것이지만 당초 부속실의 기본 형태와는 전혀 다른 것이며, 현재는 당초처럼 외기에 개방된 부속실은 공동주택의 개방복도를 제외하고는 별로 이용되지 않는 실정이다.

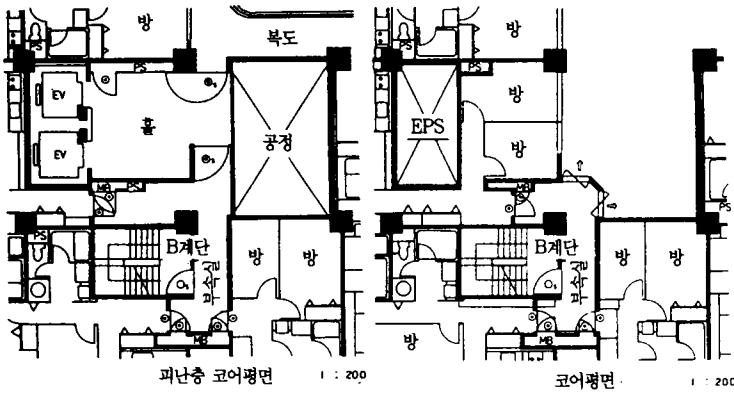


그림 6 어느 공동주택에서의 부속실

다. 특별피난계단과 가압

가압에 의한 연기제어는 2가지 측면이 있다.

방재상 적극적인 측면은 외부에서 신선한 공기를 공급받는 가압은 잘 계획하면 피난자에게 외부계단과 같은 환경을 제공할 수 있으며, 프랑스 규정의 해법으로 나타나

있는 2개의 방식(그림 7, 8)은 순수하게 이런 의도에서 나온 것이라고 생각된다.

기술적, 경제적으로 타당한가의 여부는 잘 알 수 없지만 계단측에서 가압하여 거실측으로 감압하고, 계단, 부속실, 통로의 순으로 압력차를 갖는 것이므로 계단, 부속실

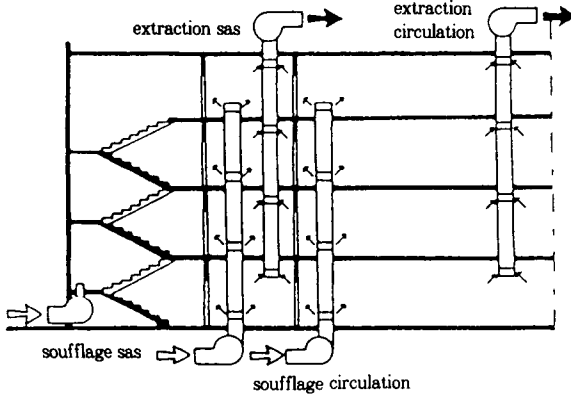


그림 7 프랑스의 고층건축물 연제어방식 A

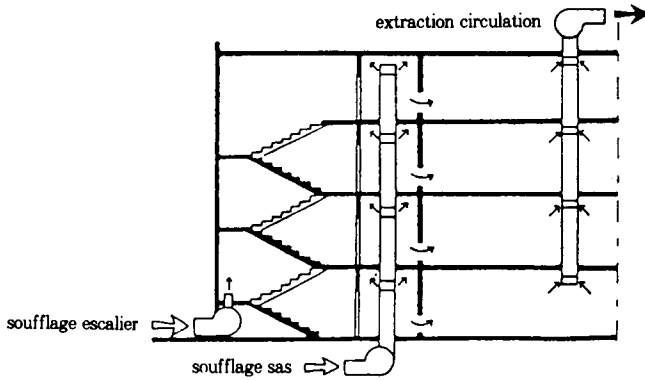


그림 8 프랑스의 고층건축물 연제어방식 B

의 보호에 이론적으로 적합한 방법이라 할 수 있다.

가압방식의 다른 측면은 동기가 약간 불순한 것으로, 방연 가압방식을 채용하여 건축공간을 절약하자는 것이다.

미국, 캐나다에서는 계단 가압의 채용이 많은데, 그것은 계단가압 방식을 취하면 부속실이 불필요하기 때문이다. 그러나 부속실을 갖지 않는 계단가압으로 충분한 안전이 확보되는지의 여부는 피난에 의한 防火門의 개방시나리오에 대한 검토가 아직 과제로 남아 있다.

일본에서는 배연방식으로만 규정되어 있으며, 부속실에서 자연배연구가 없으면 기계배연을 하도록 되어 있다. 그러나 최근 건축기준법의 特認시스템을 통하여 부속실 가압 방법의 채용이 많아졌다.

대표적인 부속실 가압시스템의 구성을 (그림 9)에 표시한다.

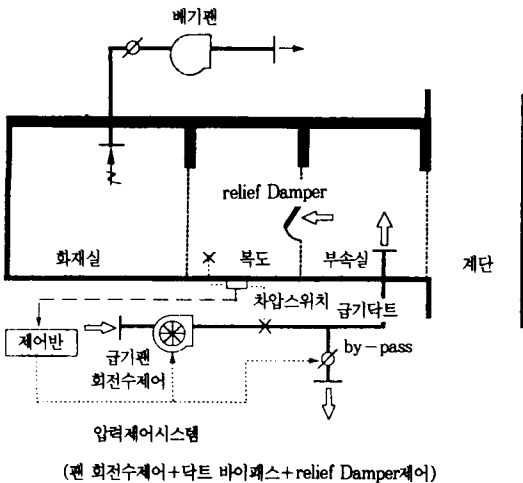


그림 9 대표적인 부속실 가압시스템의 구성

부속실의 급기가압은 화재실에서의 배연을 전제로 하고 있다.

부속실로의 급기를 reilef damper를 통하여 복도로 유도하므로써 복도도 가압되고, 화재실 - 복도사이에서 차연이 이루어지며, 화재가 급격할 때에는 화재실 - 복도사이의 차연은 어렵게 되지만, 그 경우에도 최소한 복도 - 부속실 사이의 차연은 확보된다.

이 방법에서는 부속실을 없앨 수 없지만 기계배연의 경우 있어야 할 급기샤프트가 불필요하게 되는 등 공간절약상, 평면계획의 원활함은 큰 메리트가 될 것이다.

또한, 계단실 가압방식은 다수층에 걸쳐 있는 계단실 방화문의 개폐시나리오에 의해 가압효과가 영향을 받는데 비해, 부속실 가압은 당해 층의 부속실 주위 방화문의 개폐 시나리오만 고려하면 되므로 대책을 세우기 쉬운 것도 利點중의 하나이다.

배연방식으로는 복도로의 연기침입을 완전히 막는 것이 곤란하나, 가압방식에서는 복도와 화재실 사이의 개구부에서 (그림 10)과 같이 차연조건이 달성되는 풍량을 확보하므로써 부속실과 계단실만이 아니라 화재층의 복도도 연기로부터 안전하게 지킬 수 있는 것이다.

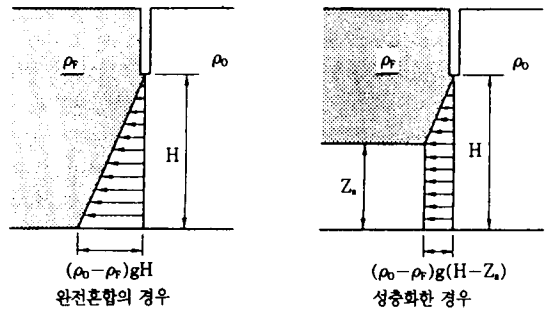


그림 10 차연조건

다만, (그림 10)과 같이 차연조건은 가압뿐만 아니라, 반드시 화재실 쪽으로 압력을 개방하기 위한 조건이 존재하지 않으면 성립되지 않는다.

화열로 화재실의 창이 깨어지면 자연히 압력의 解放口로서 작용하지만, 화재의 성장과정은 다양하고, 또한 고층 건축물에서는 내풍상 창유리의 강도가 높은 것도 있으므로 파손되지 않는 경우도 생각할 수 있다.

(그림 9)와 같이 거실에 기계배연이 설치된 경우는 문제가 없으나 이것이 없는 경우에는 별도의 대책이 필요할 것이다.

또한, 가압차는 차연조건을 만족하되, 피난자가 문을 열 수 있는 압력 이하가 되어야 하며, 가압급기가 지나치게 크면 화재성상을 부채질할 염려도 생긴다.

다만, 전자에 대해서는 panic bar를 누르면 감압되도록 문의 hard ware를 고안함으로써 대응이 가능하다.

(그림 11)은 여러가지 부속실 가압시스템을 나타낸 것이다.

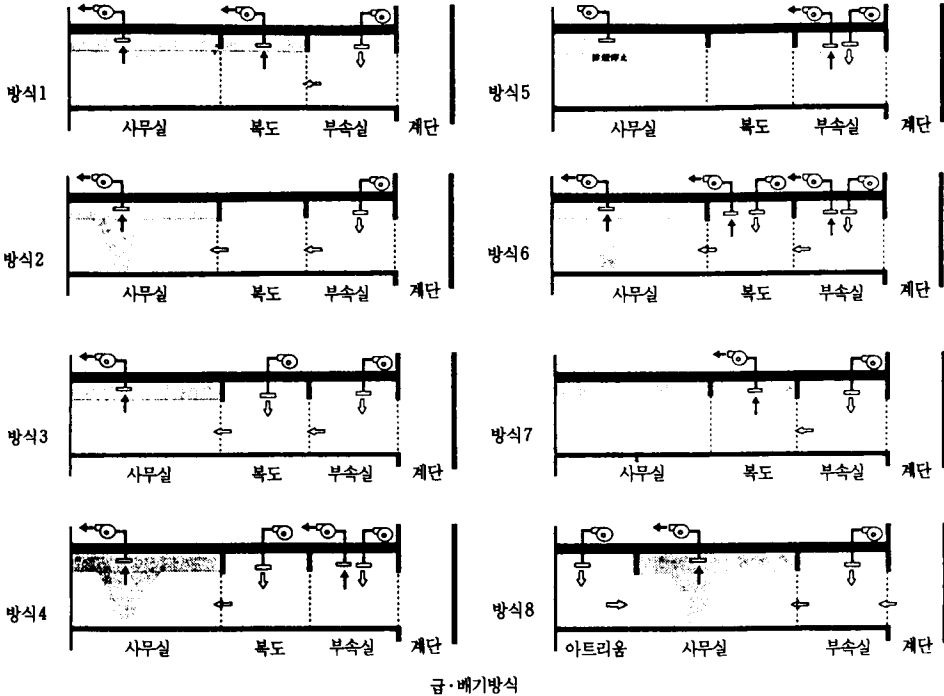


그림 11 일본에서 特認된 부속실 가압시스템

이들 시스템은 사무실 빌딩에 채용된 경우가 많다. 그것은 사무실 부분에 배연이 요구되는 경우가 많고, 부속실 가압과의 조합으로 (그림 10)과 같이 遮煙이 이루어지기 쉽기 때문이다.

차연에 실패한 복도나 부속실에 연기가 침입한 경우를 대비하여 배연시스템을 설치하기도 하지만, 큰 이점으로는 설비 부담이 경감되는 그림 11의 「방식 2」로서, 앞으로 이 방식의 채용이 증가될 것으로 생각된다.

한편 「방식 7」은 호텔에 채용된 유일한 예로서 이 경우에는 거실의 배연이 부적합하며, 화재실과 복도 사이의 차연이 이루어지지 않아 사무소의 경우와 비교하면 불리하다.

4. 맺는말

고층건축물에서는 높이에 비례하여 피난소요시간이 길어지므로 피난계단은 높이에 따라 안전성이 높아야 한다.

이러한 안전성의 확보를 위하여 설치된 부속실을 갖는 특별피난계단은 우수한 방법이지만, 건축물의 경제성, 편리성에 비추어 부속실이 발상초기의 형태에서 변화되는 것은 어떤 의미에서는 어쩔 수 없는 것인지도 모른다.

특별한 것을 제외하면, 외기에 충분히 개방된 부속실을 가질 수 없는 것이 현대 건축물의 실상인 이상 가압방식을 포함한 연기제어 방법의 성능과 신뢰성 향상이 진지하게 검토되어야 할 것이다.