

高層建物에서의 煙氣流動 및 制御방안에 관한 고찰

성시창/방내화시험실

1. 머리말

연기 (smoke)는 가스매개체에 부유하고 있는 입자들로 구성되어 있으며, 화재시 발생하는 유독성분들을 포함하고 있어 인명손실의 주요원인이 되고 있으며, 고층건물의 경우 특히 이로 인한 피해가 심각하게 나타나고 있다.

한 예로, 건물의 높이에 비례하여 피난시간이 훨씬 길어짐에 따라 화재구역주변에서 사람들이 지탱하기 어려운 상태의 연기속에 오래도록 머무르게 된다. 따라서 건물화재시 재실자들을 이러한 위험으로 부터 보호하기 위한 안전조치들이 소홀히 다루어질 경우 인명손실도 그 만큼 증가하게 될것이다.

본고에서는 먼저 인명손실의 주요원인이 되고 있는 연기를 중심으로, 인명손실을 예측하는데 이용되는 인자들을 살펴보고, 다음으로 건물에서의 연기의 성상 (性狀)과 이의 통제방법등을 고찰해 보고자 한다.

2. 인명손실 예측 (Life loss expectation)

인명손실 예측은 화재로 부터 건물의 안정성을 평가하는 기준의 하나로, 건물의 계획수명동안 연기로 인해 발생할 수 있는 가능한 인명손실로 정의된다.

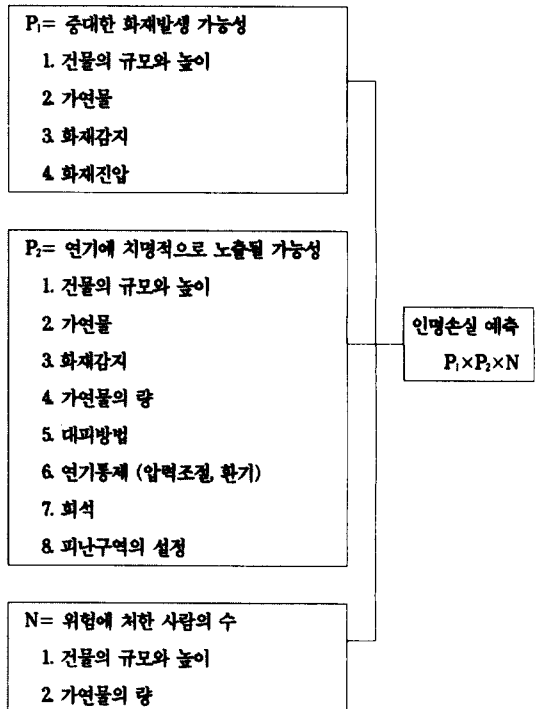
인명손실 예측을 규정하는 3가지 요소들을 표 1에 소개하고 있는데, P_1 = 중대한 화재발생 가능성, P_2 = 화재시 연기에 치명적으로 노출될 가능성, N = 위험에 처한 사람의 수로 표시한다.

인명손실 예측 $E\ell$ 을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$E\ell = P_1 \times P_2 \times N$$

이 3가지 요소들은 기타의 요소들, 예를 들면 건물 규모와 높이, 연소성, 화재성장에 대한 가연물의 기

<표 1> 인명손실 예측에 영향을 주는 인자들



여, 가연물의 연기발생량, 화재감지와 진압등에 의해 결정될 수 있다.

표1은 초기감지와 건물에 사용한 재료들이 P_1 과 P_2 에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 화재감지와 사용 재료 모두 화재진압과 피난시간에 영향을 준다. 가연물의 연기발생 특성, 즉 연기발생량, 발생연기 밀도, 건물내 가연물의 표면적등은 계단, 복도, 피난지역등에서 사람이 연기로부터 견딜 수 있는 시간의 길이에 영향을 준다.

건물의 규모와 높이는 P_1 , P_2 , N 모두에 영향을 준다. 만일 어떤 건물이 연기유동에 대해 아무런 장애를 갖지 않는다면, P_1 , P_2 , N 은 건물의 높이에 따라 증가하게 되고 따라서 인명손실 예측 ($E\ell$)은 건물높이의 2~3배 규모로 증가하게 된다.

건물에서의 연기유동 특성 및 연기로 인한 피해를 감소시키는 것과 관련한 몇가지 방안을 소개하면 다음과 같다.

가. 연기유동 특성

고층건물에서의 화재실험을 실시한 결과, 일반적인 특성으로는 연기 및 화재가 '굴뚝효과 (stack effect)'와 기계식 공조시스템으로 인해 계단샤프트와 기타 개구부를 통해 수직으로 확산된다는 것이다. 이론적으로, 굴뚝작용 (stack action)은 연기가 화재층에서 상부층으로 확산되도록 하는 중요한 Mechanism의 하나로서, 난방을 하는 계절에 가장 일반적이며, 건물 내부의 가열된 공기와 외부의 찬 공기간의 밀도차에 의해 일어나는 것이다.

벽을 통한 공기의 유입과 유출은 벽에 걸쳐 압력차 (ΔP)가 있을 때만 발생한다. 이러한 압력차가 굴뚝효과이며 수식으로는 $\Delta P = h \cdot g (P_0 - P_1)$ 으로 표시한다 (그림1참조).

- h : 중성대 (N·P)로 부터의 높이
- g : 중력가속도
- P_0 : 실외공기밀도
- P_1 : 실내공기밀도

보통 난방된 건물에서 내부 압력은 건물의 바닥에서 외부압력보다 낮고, 건물상부에서는 외부압력보다 높다. 건물 상부와 바닥사이의 일정지역에서의 벽

면에 걸친 압력차가 0인 지역이 존재하는데, 이 지역을 중성대 (Neutral Plane)라 한다 (그림2참조).

건물에서 중성대의 위치는 다음 식으로 부터 구할 수 있다.

$$H_T / H_B = (T_1 / T_0)^{1/3}$$

H_T : 중성대 위로 부터 샤프트 최상부까지의 높이

H_B : 샤프트바닥으로 부터 중성대까지의 높이

T_0 : 실외절대온도

T_1 : 실내절대온도

여기서 $H_T + H_B =$ 샤프트의 높이이므로 중성대의 위치가 계산될 수 있다.

중성대아래에는 실(實)에서 샤프트로의 공기흐름이 있고 중성대위로는 반대로 샤프트로 부터 실로의 공기흐름이 있다. 굴뚝작용의 결과로 인한 샤프트로의 공기유동식은 다음과 같이 나타낸다.

$$F = \alpha \beta (89 P \theta / 9PT_0)^{1/2} H_N^{3/2}$$

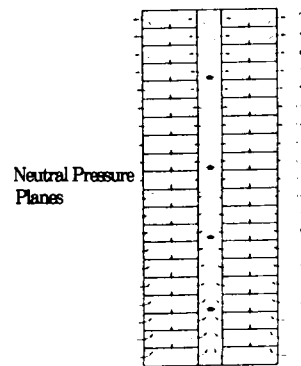
α : 단위높이당 개구부 면적

β : 오리피스 유동패턴에 따른 오리피스 계수 (≈ 0.6)

θ : 실내와 실외의 절대온도차

H_N : 샤프트바닥으로 부터 중성대까지의 높이

<그림 1> 굴뚝작용에 의한 공기유동 패턴



나. 압력조절 (Pressurization)

샤프트의 압력을 조절함으로써 연기가 샤프트와 상층으로 확산하는 것을 막을 수 있다. 공기를 수직 샤프트로 유입하는 최대압력차는 20층건물에서 약 0.05 inch H_2O 이다. 만일 샤프트의 압력을 화재로 인

한 국부적인 굴뚝작용에 대응하도록 하기 위해 0.05 inch 이상의 공기유입으로 0.1 inch 까지 증가시키면, 압력은 모든 레벨에서 바닥의 압력과 같아지거나 이를 초과하게 된다. 이렇게 함으로써 화재구역에서의 연기가 샤프트로 유입하는 것을 막을 수 있다.

다. 희석 (Dilution)

희석이란 화재구역으로 부터 비화재구역으로 과다한 농도의 연기가 유입하는 것을 막는 것이다. 연기의 농도가 과다한가를 알아보는 기준으로서는 시계 (Visibility)와 대기오염상태등이 이용된다. 실험 및 이론적 연구에 의하면, 화재구역에서 1%의 연기농도는 대기중에서 사람이 견딜 수 있는 인내의 한계로 밝혀지고 있다. 그러한 농도에서는 사람들이 패닉 (Panic)의 위기나 고통스런 시각상의 자극이 없이 많은 연기에 무한히 노출되어도 견딜 수 있는 것으로 되어 있다. 또한 이 농도에서의 시계는 10~20m의 범위를 가지며 이는 사람들이 자기의 길을 찾는 데 충분한 여유를 주는 것이다.

그러나 그러한 정도로 연기를 희석하는 데는 많은 량의 공기가 요구되며, 특히 굴뚝효과가 가장 심한 겨울에는 더욱 그렇다.

공기공급의 필요성 이외에, 건물에서 사용되는 가연물을 통제하는 것이 필요하다. 가연물이 건물내에 상당량으로 존재할 경우 연기를 희석하는데 훨씬더 많은 공기가 필요하게 될 것이다.

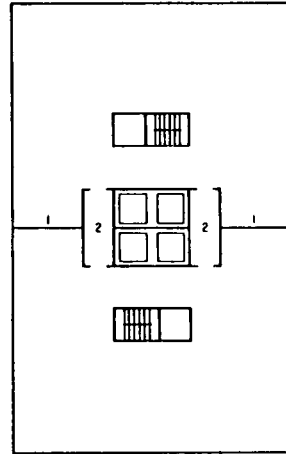
라. 피난구역의 설정

피난구역은 사람들이 연기에 노출될 가능성을 줄이는데 효과적이며, 특히 피난에 요구되는 시간이 매우 길 경우에 그렇다. 많은 연구에 의하면 피난시간은 건물의 높이와 가연물의 량에 비례하며 그 범위는 수분에서 몇시간에 이르기까지 다양하게 나타나고 있다.

대규모의 유효한 피난구역을 마련하는방법의 하나로 방화구획으로써 건물을 분할하는 것이다. 한쪽에서 화재가 발생할 경우 다른쪽은 피난구역이 된다.

창문의 파손으로 인해 화재구역의 압력이 외부압력과 같아질 수 있다. 만일 화재층이 중성대아래에 위치할 경우, 화재구역에서의 압력은 피난구역에서의 압력보다 더 높을 것이다. 그림2의 경우 화재구역으로

<그림 2> 건물에서의 피난구역 설정



- (1) 방화구획
- (2) 통로
- (3) 외부환기

로 부터 구획벽을 따라 연기가 유입하는 것을 막기 위해 통로에서 압력조절을 해야 하며 피난구역은 연기에 환기되도록 한다.

3. 결론

최근 꾸준히 지속되어온 경제성장은 도시의 면모를 크게 변모시켜 왔다. 대도시의 경우 신축되는 건물의 대부분은 고층일변도로 건축되고 있으며 이에 따라 더 많은 사람들이 건물에 상주하게 됨으로써 화재시의 인명보호문제가 더욱 크게 부각되고 있다.

본고는 건물화재시 인명손실의 주요 원인이 되고 있는 연기의 유동성상 및 제어방안에 관한 고찰로서, 이에 대한 계속적인 연구와 화재시의 효율적인 제어방안을 모색함으로써 인명손실을 극소화하는 것이 절실히 요구된다.