

고층 건축물 연돌효과 저감 방법에 대한 연구

김진수

벽산엔지니어링(주)

A Study on Reducing Method for Stack effect in High-rise Building

Kim, Jin Soo

요 약

고층 건물에서 혹한기에 심하게 발생하는 연돌효과는 건물 외벽 및 창문에 구조적 영향을 미치고, 제연기능을 기능을 저해하고, 승강기 문 개폐 장애와 소음 및 공조기능 장애 등 설비 기능에 부정적 영향을 미치며, 화재시 승강기 승강로 등 수직 샤프트를 통해 연기를 전파시킨다. 계단실의 상하부를 화재 시 자동으로 개방함으로써 계단실의 기류 유동 마찰을 이용하여 연돌효과를 대폭 줄일 수 있고, 승강기 승강로 또한 상하부를 개방함으로써 승강로와 거실 사이의 차압을 줄여서 연기의 전파를 막을 수 있다. 샤프트 복합효과를 이용하여 차압을 상당부분 제어할 수 있으며, 일반용 샤프트만으로 샤프트 복합효과를 일으키기에 부족한 경우에는 연돌효과 제어 전용 보조 샤프트를 검토할 필요가 있다.

1. 서 론

중위도 이북의 건물에서 고층건물의 혹한기 연돌효과는 건물의 여러 가지 기능에 큰 영향을 미치며, 특히 제연기능에 미치는 효과는 거의 절대적이다. 또한 승강기 승강로는 화재시 차압 때문에 연기의 주된 전파통로가 된다. 보통 외피의 밀폐성능을 높임으로써 평시 사용기능에 미치는 영향을 줄이는 것이 보편적이지만, 이러한 외피의 밀폐기능은 비상시 피난을 위해 피난경로를 개방하는 순간 일시에 무력화되므로, 제연성능을 보장하기 위한 대책으로 공론화 된 것은 아직까지 사실상 없다. 계단실이나 승강로 벽이 거실에 면하는 부분에 충분한 크기의 개구를 두면 차압을 해소할 수 있으나 계단실과 승강기의 특성과 목적상 적용하기 어렵다.

고층건물에 발생하는 혹한기 연돌효과와 영향을 정리하자면 다음과 같다.

- 건물 외벽 및 창문에 미치는 구조적 영향
- 제연 시스템의 기능 저해
- 승강기 문 개폐 장애와 소음 등 설비 기능의 부정적 영향
- 공조기능 장애
- 화재시 승강기 승강로 등 수직 샤프트를 통한 연기 전파

2. 연돌효과 저감 방법

2.1 연돌효과의 발생 경로

연돌효과에 의한 차압은 수직 샤프트로부터 외기까지의 횡적 공기유동경로 중 공기 유동을 저해하는 부분에서 나타난다. 횡적 공기유동 경로를 대별하면 1) 계단실로부터 외벽 및 창문에 이르는 경로, 2) 승강기 승강로에서 외벽 및 창문에 이르는 경로로 나눌 수 있다. 그 경로 중간에 있는 문과 승강기 도어에는 사용상의 불편을 야기하고, 제연설비 등 미세기류 제어 시스템에는 기능적 문제를 야기하며, 외벽과 창문에는 구조적 문제를 야기한다.

2.2 계단실 연돌효과 저감 방법

계단실에 발생하는 연돌효과는 계단실에 상승기류를 발생시킨다. 이 상승기류가 건물 꼭대기로 자유롭게 빠져나가도록 하면 벽면에 대해 차압이 발생하지 않는다. 내부에 장애물이 별로 없는 일반적인 구조의 샤프트는 높이가 높아질수록 상승기류 속도가 빨라지고 유량이 많아져서 차압을 제어하기가 어렵지만, 계단실은 구조가 복잡하여 기류의 마찰손실이 커서 상승기류 속도가 그리 빠르지 않으므로 제어하기가 쉽다. 여러 측정 결과 계단실에서 발생하는 연돌효과는 약 0.4m/s 내외의 상승기류로써 해소할 수 있는 것으로 조사되고 있다.¹⁾ 이 정도의 기류가 계단실을 자유로이 유동하도록 계단실 최상부와 최하부에 개구부를 만들어주면 차압을 극복할 수 있다.

계단실 자유유동 마찰 손실이 연돌효과에 의한 차압을 극복하여 평형을 이룰 때의 유속은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \left(\frac{2\Delta p_f D_h}{f h \rho} \right)^{1/2} = \left\{ \frac{2 \times 3460 \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) D_h}{f \rho} \right\}^{1/2}$$

이 식에서 Δp_f , D_h , f , ρ 는 각각 극복해야할 차압, 계단실의 수력지름, 계단실 기류마찰계수, 기류의 밀도이며, 단위는 SI계 MKS단위이다.

위 식의 유속이 한계유속이 되는데, 이 한계유속에서는 샤프트 벽에 작용하는 차압이 완전히 없어진다. 또한 상승기류가 한계유속에 미달할 때, 계단실 상승 유속을 알면 그 유속에서 마찰손실과 계단실 상하 개구부에서 나타나는 차압을 다음 식으로 판단할 수 있다.

$$\Delta p_{so} = \left(f \frac{h}{D_h} \frac{\rho}{2} + \frac{A_s^2}{c^2 A_t^2} + \frac{A_s^2}{c^2 A_b^2} \right) v^2$$

위 식에서 A_s 은 계단실의 수평 단면적이며, 우변의 괄호 안에서 첫 번째 항은 유동마찰 손실이고, 두 번째와 세 번째 항이 계단실 하부와 상부의 개구부에 나타나는 차압이다. 즉

$$\text{바닥층 개구부의 차압} \quad \Delta p_{st} = \left(\frac{v A_s}{c A_t} \right)^2$$

$$\text{꼭대기층 개구부의 차압 } \Delta p_{sb} = \left(\frac{vA_s}{cA_b} \right)^2$$

이러한 차압과 상승기류는 계단실 상하부를 개방하면 자연스럽게 평형을 이루게 되므로 별도의 제어가 필요 없게 된다. 또한 화재감지기와 연동하여 상하부 외벽의 개구부를 열어두게 되면 피난상황에 따라 문이 여단힘으로써 발생하는 압력상태의 변화를 고려할 필요가 없게 된다. 제연시스템에서 제어할 수 있는 적정 목표 차압을 정한 후, 위 식을 이용하여 개구부의 적절한 크기를 계산할 수 있다.

2.3 승강기 승강로의 연돌효과

화재시 연기의 주된 전파통로로서, 특히 피난수단으로서의 가능성을 모색해야하는 현실에서 거실과 승강로 사이의 차압제어는 중요하다. 승강로 역시 계단실과 같이 수직 샤프트이므로 연돌효과에 의한 정지차압은 계단실의 경우와 같다. 그러나 승강로는 내부 구조가 단순하여 계단실처럼 소규모 내부 기류유동에 의한 마찰손실 방법을 사용하기 어렵다. 그러나 승강로의 상하부에 대규모 개구를 두면 두 가지 효과를 기대할 수 있다.

- 대규모의 외기가 도입되어 상승 유동 후 배출되므로 승강로 내부 온도 저하로 연돌 효과가 저감된다.
- 승강로로 유입된 연기는 대규모의 외기에 희석되어 농도가 낮아지고 대부분 외부로 배출된다.

그러므로 화재감지기와 연동하여 화재 시에만 개방되는 대규모 개구를 설치하는 방법을 검토할 필요가 있다.

2.4 샤프트 복합효과를 이용하는 방법

연돌효과에 의한 차압은 거실과 샤프트 사이의 개구에서 발생하는 압력 불평형 현상이므로, 그 개구가 충분히 크면 양쪽 공간이 균압화되어 연돌효과가 크게 줄어든다. 그러므로 거실 평면적에 비해 승강기나 계단이 아주 많고 누설틈새 등 개구의 면적 합계가 크면 샤프트들이 서로 복합효과를 이루어 연돌효과에 의한 차압이 줄어든다. 그러나 샤프트 개구의 면적 합계가 연돌효과를 상쇄하기에 충분치 않을 때에는 연돌효과 제어용 샤프트를 하나 더 보조적으로 설치함으로써, 보조샤프트에 의해 발생하는 차압으로 거실을 가압 혹은 감압하여 문제가 되는 차압을 어느 정도 상쇄할 수 있다.

이 보조 샤프트는 다른 샤프트와 마찬가지로 층간 방화구획이 없으므로 화재 시에는 해당 층의 개구를 닫아서 화재나 연기의 전파를 막아야 한다. 또한 이 샤프트는 건물 전체적으로 각 층의 공간을 연결하는 것이므로 냄새나 공기의 상호 전파가 문제될 수 있는 곳에는 사용할 수 없다.

3. 시뮬레이션 분석

3.1 모델 설계와 해석도구

여러 가지의 상황에서 연돌효과에 의한 차압분포를 해석하고 급기가압시스템의 성능을 파악하기 위해 아래와 같이 모델을 만들고, NIST에서 보급하는 Network analysis tool인 CONTAMW3.0을 이용하여 simulation을 하였다. 모델의 구조와 simulation 조건은 아래와 같다. (그림 1. 참조)

높이 400m의 100층 건물, 외기온도 -15°C , 실내 온도 20°C

외벽 및 바닥 누설면적 : NFPA 92A Table A4.6.1 Tight 구조 적용

계단실 2개소 단면적 각 15m^2 , 문 누설면적 0.005m^2 , 개방면적 1.5m^2

승강기 승강로 2개소, 도어 4개소 누설면적 0.096m^2 ($4\text{mm} \times 6\text{m} \times 4$ 개소)

급기 샤프트 : 단면적 2m^2 , 2개소

배출 샤프트 : 단면적 2m^2 , 1개소

보조 샤프트 : 단면적 5m^2 , 1개소

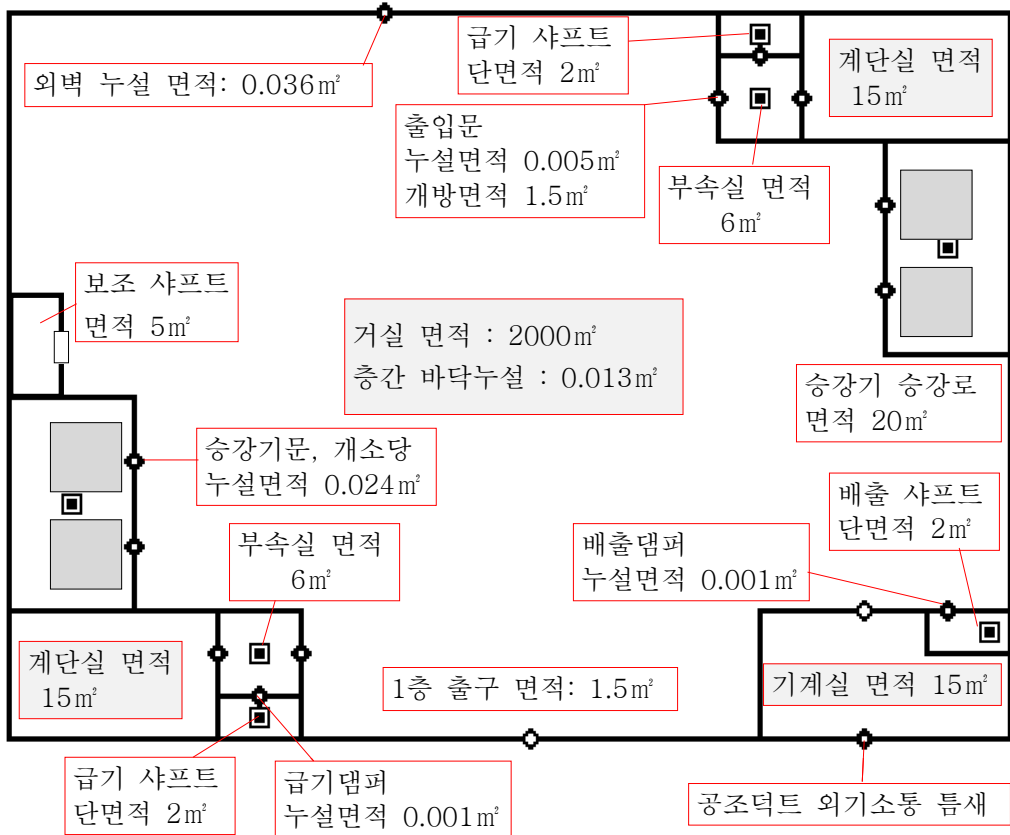


그림 1. 모델링 평면도

3.2 시뮬레이션 결과

3.2.1 계단실 1층의 출입문을 개방한 상태(출입문 개방 면적 1.5m²)

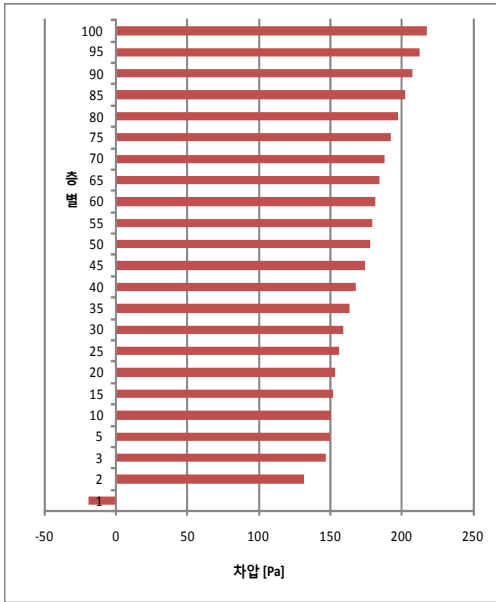


그림 2. 계단실-거실 간 차압

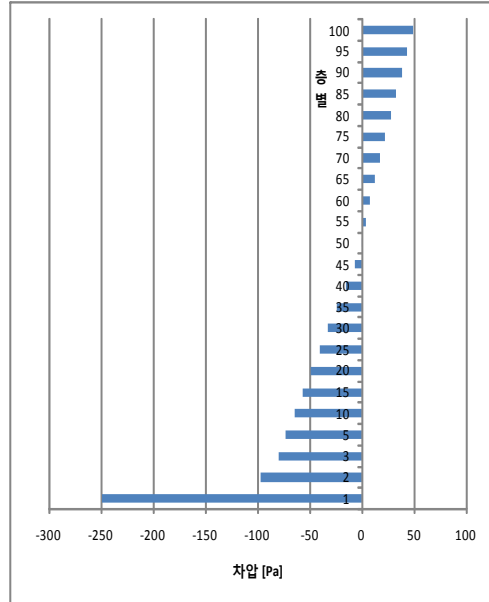


그림 3. 승강로-거실 간 차압

3.2.2 계단실 1층의 출입문과 옥상의 벤트를 개방한 상태, 실내 보조 샤프트 있음 (출입문 개방면적 1.5m², 옥상벤트 개구면적 0.3m², 보조샤프트 개구면적 1m²)

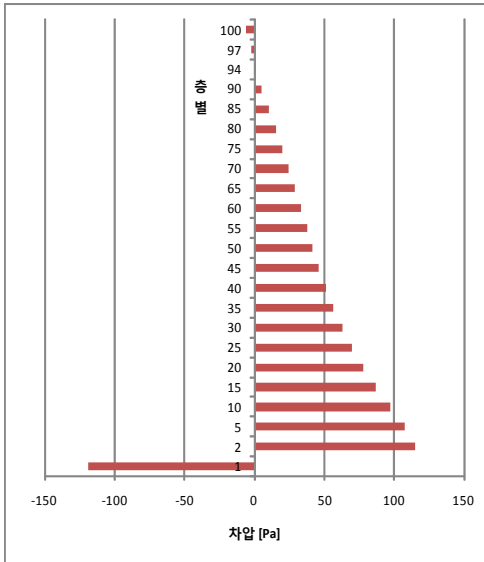


그림 4. 계단실-거실 간 차압

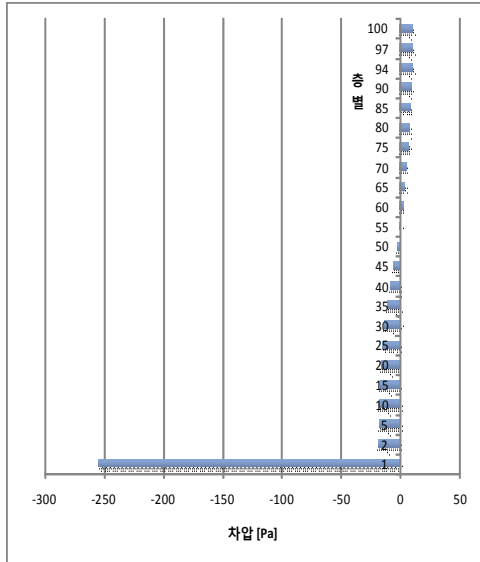


그림 5. 승강로-거실 간 차압

3.2.3. 계단실 1층 출입문과 옥상 벤트 개방, 보조 샤프트 있음, 승강로 상하부 개방
(출입문 개방면적 1.5m², 옥상 벤트 개구면적 0.3m², 보조샤프트 개구면적 0.05m², 승강로 개구면적 10m², 승강로 내부기온 0℃)

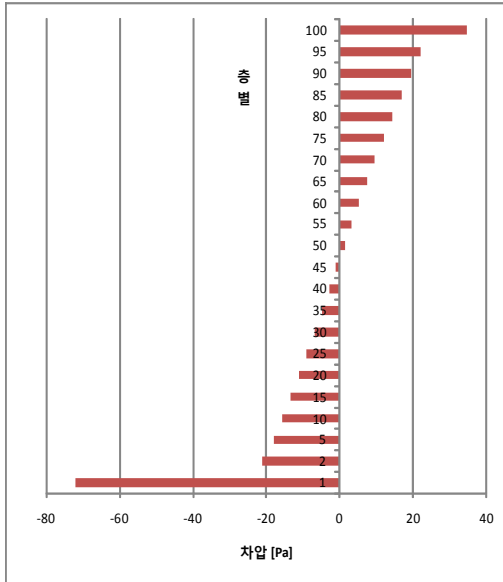


그림 6. 계단실-거실 간 차압

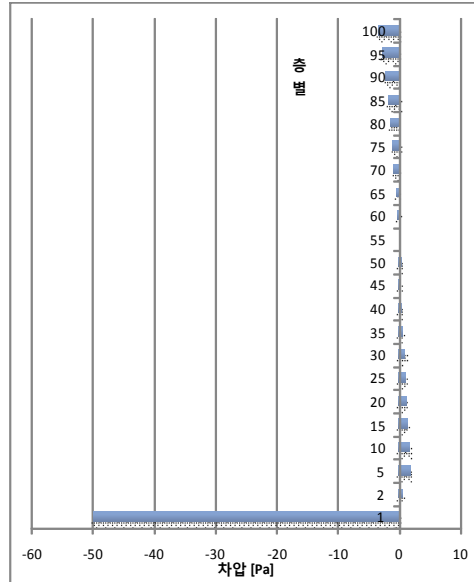


그림 7. 승강로-거실 간 차압

3.2.4 시뮬레이션 결과 분석

- 1) 기존 구조의 건물에서는 피난을 위해 1층 계단실 출입문을 열 때 계단실 전체적으로 과압이 걸리며, 과압이 최상층에서 217Pa에 달하므로 피난에 중대한 장애가 될 수 있다. 또한 승강로의 저층부에서 흡입하는 연기가 고층부로 전파될 위험이 크다.
- 2) 계단실의 옥상 벤트를 1층 출입문과 함께 열면 최대차압이 114Pa까지 떨어지며, 보조 샤프트의 효과로 승강로의 최대 차압도 -17.7Pa까지 떨어져 연기 전파 가능성 대폭 감소.
- 3) 옥상에 설치된 계단실 벤트 크기를 늘리고 1층 출입문과 함께 열면 최대차압이 34Pa까지 떨어져 충분히 제어 가능한 정도가 되며, 승강로의 상하부에서 개방한 대형 개구와 보조 샤프트의 복합 효과로 승강로 차압은 무시할만할 수준까지 떨어진다.

4. 맺음말

다중 샤프트에 의한 복합효과는 컴퓨터를 이용한 Network 해석이 필요하다. 건물 누설요소와 샤프트를 모두 파악하여 Network 해석을 수행하면 연돌효과를 저감할 수 있다.

참고문헌

- 1) G.Y. Achakji & G.T. Tamura, Pressure Drop Characteristics of Typical Stairshafts in High-Rise Buildings, ASHRAE Transactions 1988, V94, pp 1223-1237