

초고층 건물에 나타나는 연돌효과

김진수

소방기술사, 벽산엔지니어링(주)
(oksulki@daum.net)

1. 연돌효과(stack effect)

- 주로 온도 및 압력분포에 의한 부력효과로 나타난다.
- 연돌효과의 영향을 받아 기류가 발생하는 부분은 아래와 같다.
 - 계단실
 - 승강기 승강로(샤프트)
 - 배관(기계, 전기) 샤프트
 - 슈트(우편물, 쓰레기, 세탁물 등의 용도)
- 작용 방향에 따라
 - 정방향 연돌효과 : 실내가 옥외보다 온도가 높은 겨울철에 위 방향으로 작용한다. 설비 기능에 미치는 영향이 크므로 주된 관심 대상이다.
 - 역방향 연돌효과 : 여름철 냉방 효과로 아래 방향으로 작용한다. 온도차가 작아 설비기능에 대한 영향이 별로 없다.

2. 연돌효과를 유발하는 요인

- 온도 : 밀도차에 의한 부력 발생 원인
 - 운영 온도 : 냉난방 및 내부 발열에 의한 내·외부 기온 차이
 - 화재 온도 : 화재발생으로 인한 실내 온도 상승. 침투 또는 전파되는 연기의 온도에 의한 밀도 저하.

- 바람 : 압력분포에 따른 부력 발생 원인이 된다. <건물 벽에 직접 작용하는 풍압의 영향과 별개로>
 - 고층일수록 외풍이 세므로 그에 따라 부압도 크다.
 - 저층부보다 고층부의 부압이 더 크기 때문에 구동력으로 작용한다.
 - 결과적으로 실내 공기는 외풍 때문에 위로 이동하는 경향이 있다.

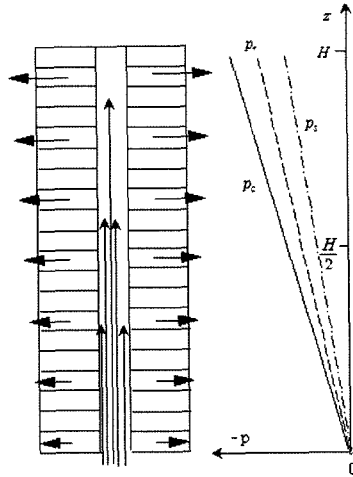
3. 연돌효과에 영향을 미치는 요인

- 건물의 구조
 - 환기 구조 : 샤프트 개방 형식이나 창호 배치가 압력분포에 영향을 준다.
 - 열드래프트 : 외벽과 샤프트의 누설면적에 따라 연돌효과에 차이가 있다.
 - 단열 구조 : 단열구조에 따라 내·외부 온도차가 달라지므로 연돌효과에 영향을 미친다.
- 공조 기능 : 공기조화 시스템의 운전 양식에 따라 건물 내 정압 분포가 달라진다.
- 배치 효과 : 환기 샤프트의 위치와 면적에 따라 연돌효과의 발생 형태가 달라진다.
- 승강기 운행 : 피스톤 효과에 의한 교란이 발생한다.

4. 샤프트 구조에 따른 연돌효과의 형태 <겨울철, 온도차만 고려한 경우>

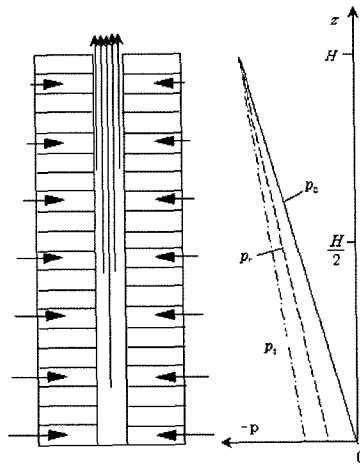
초고층 건물에 나타나는 연돌효과

• 샤프트 하부 개방



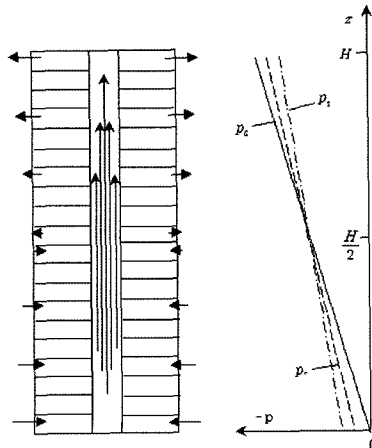
- 건물 전체로 샤프트 내 압력이 외부 대기압보다 높다.
- 화재가 어느 층에서 발생하여도 연기가 전파하지 않는다.
- 샤프트 내부 공기유동은 하단이 가장 크다.
- 급기가압 효과
 - ✓ 하부층 : 방연효과가 크다
 - ✓ 상부층 : 피난문 개방에 영향
 - ✓ 부속실 급기 효과 긍정적

• 샤프트 상부 개방



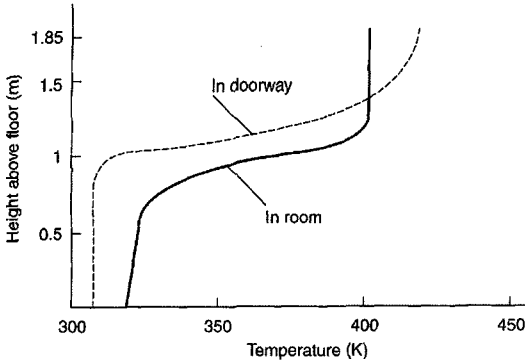
- 건물 전체로 샤프트 내 압력이 외부 대기압보다 낮다.
- 화재가 어느 층에서 발생하여도 연기가 샤프트로 전파된다.
- 샤프트 내부 공기유동은 상단이 가장 크다.
- 급기가압 효과
 - ✓ 샤프트 전체적으로 가압 필수
 - ✓ 계단실 가압이 효과적

• 밀폐된 샤프트



- 중성대를 기준으로 건물 상하 샤프트의 압력 방향이 바뀐다.
- 화재 발생 위치에 따라 연기의 샤프트 전파 여부가 달라진다.
- 샤프트 내부 공기유동은 중간 높이에서 가장 크다.
- 급기가압 효과
 - ✓ 샤프트 전체적인 가압 필요
 - ✓ 계단실 가압이 효과적이다.

• 연돌효과는 화재시 단일실에서도 나타난다.



미국표준국의 실내 정상상태 버너 연소시험으로 측정된 자료¹⁾

약 1.3-1.4 미터 높이의 중성대 아래에서는 실내온도가 도어부분의 온도보다 높고, 중성대 위에서는 도어부분의 온도가 더 높게 나타났다.

5. 계단실 차압 실측치

아래 그래프들은 어느 27층 건물의 계단실과 부속실, 옥내 사이의 압력차를 측정된 결과이다. 연돌효과에 의한 차압분포가 잘 나타나 있다.

그림 1은 '계단실 최상층-옥상'의 도어를 열고 측정된 상태, 즉 샤프트상부개방 상태이다.

건물 2층의 '계단실-옥내' 차압이 26층의 차압보

(외기온 -3.4°C , 실온 14°C , $\Delta T=17.4^{\circ}\text{C}$)

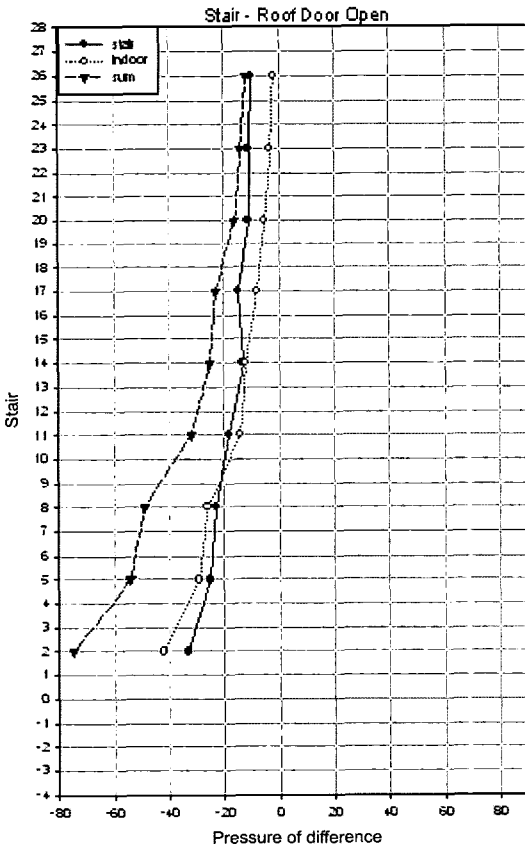


그림 1

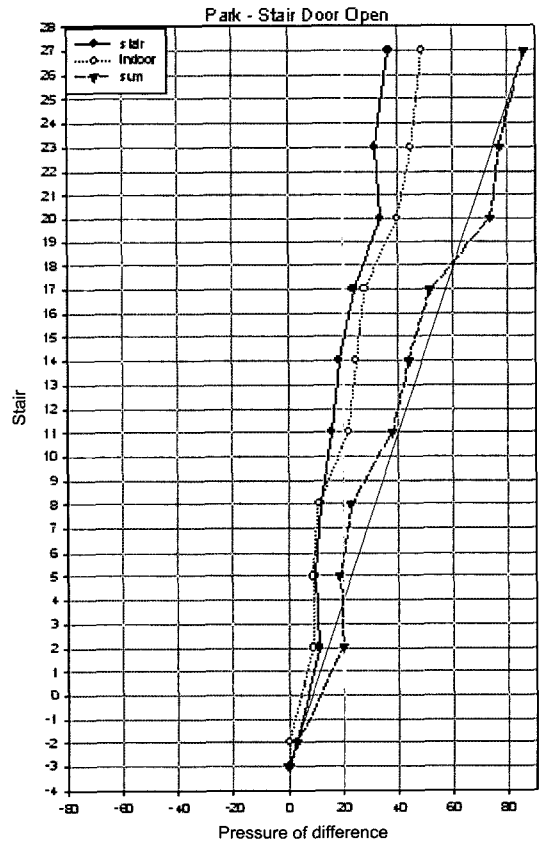


그림 2

¹⁾SFPE Handbook, the 3rd edition, 2002, Fig. 2-3.8

초고층 건물에 나타나는 연돌효과

다 약 70Pa 더 크다.

그림 2는 '계단실 최하층-지하 주차장'의 도어를 열고 측정한 상태, 즉 샤프트하부개방 상태이다.

건물 27층의 '계단실-옥내' 차압이 지하3층의 차압보다 약 85Pa 더 크다

그림 3은 계단실의 모든 출입문을 닫고 측정한 상태, 즉 밀폐된 샤프트 상태이다.

건물 26층의 '계단실-옥내' 차압이 지하1층의 차압보다 약 60Pa 더 크고, 중성대는 9층에 나타났다.

지하층에는 연돌효과가 나타나지 않는다.

그림 4는 계단실로부터 옥상과 지하 주차장으로 통하는 도어를 열고 측정한 상태, 즉 샤프트상하개방 상태이다.

건물 전체적으로 연돌효과가 크지 않다.

계단실 상승기류의 마찰손실 때문인 것으로 풀이 된다.

6. 열드래프트 계수(Thermal Draft Coefficient)

- 건물의 외피와 내부 간벽 사이 압력손실 분산의 척도
- 샤프트와 외기와의 압력차이는

$$\Delta p_{so} = \Delta p_{sb} + \Delta p_{bo}$$

$$\Delta p_{bo} = \gamma \cdot \Delta p_{so}$$

- Thermal Draft Coefficient (TDC):

$$\gamma = \Delta p_{bo} / \Delta p_{so} = \frac{1}{1 + (A_{bo} / A_{sb})^2}$$

- 위 식에서

Δp_{sb} , A_{sb} : 샤프트와 건물 옥내 간의 압력차이, 누설면적

(외기온: -8.9°C, 실온 12°C, $\Delta T=20.9^\circ\text{C}$)

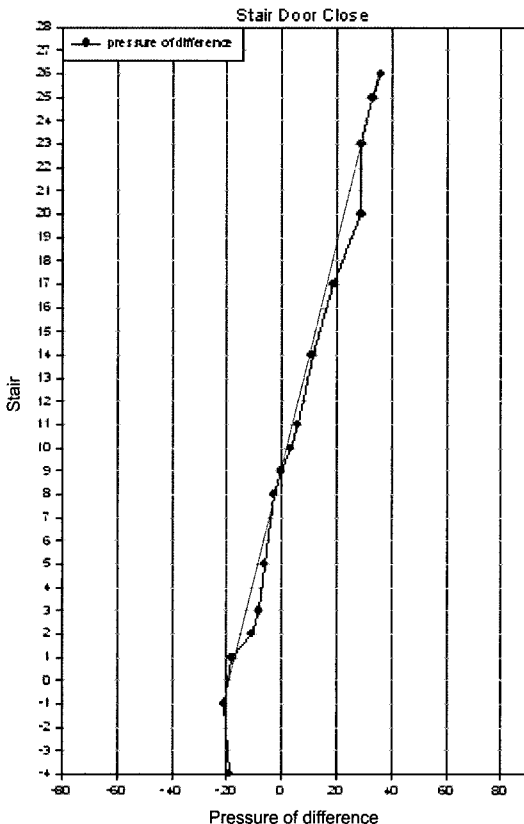


그림 3

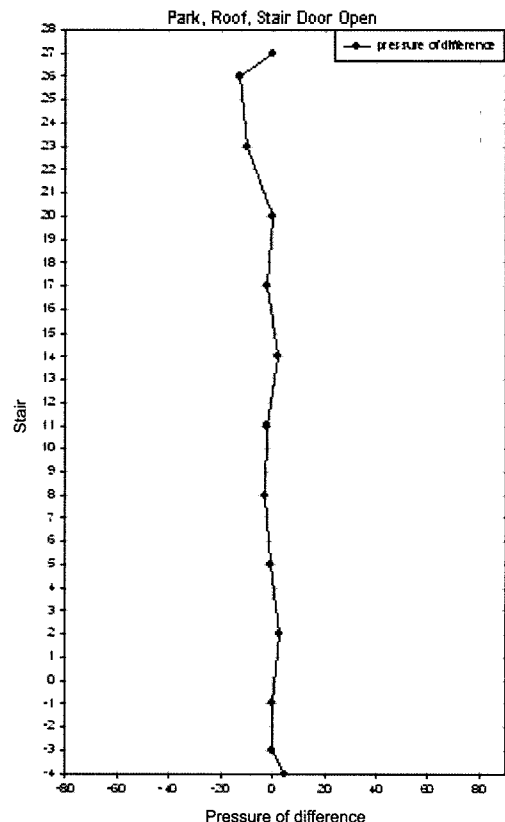


그림 4

$\Delta p_{bo}, A_{bo}$: 건물 옥내와 외기와의 압력차이, 누설면적

- γ (TDC)가 높을수록 옥내와 계단실 간의 차압이 작아진다.

따라서 옥내와 계단실 간 연기누설(draft)의 위험도 작아진다.

• 열드래프트의 저감방법

- 단열구조의 개선
샤프트와 외부와의 온도차를 줄인다.
- 환기구조 개선
제연시스템에 맞는 방식으로 연돌효과를 형성한다.
- 건물 구조 개선
외부 마감재의 누설을 줄인다(특히 창호 부분).
상하층 간 누설을 줄인다(특히 커튼월 부분).
샤프트 외벽의 통기성을 높인다.

7. 바람의 영향(높이에 따른 풍속분포)

- 지표면과의 마찰 때문에 바닥에서는 대개 느낄

수 없으나, 위로 올라갈수록 속도가 빨라지고, 특정 높이(경계층) 이상에서는 균일한 속도분포를 갖는다 (Gradient Wind).

- 도심에서의 경계층 높이는 대략 500 m이다.

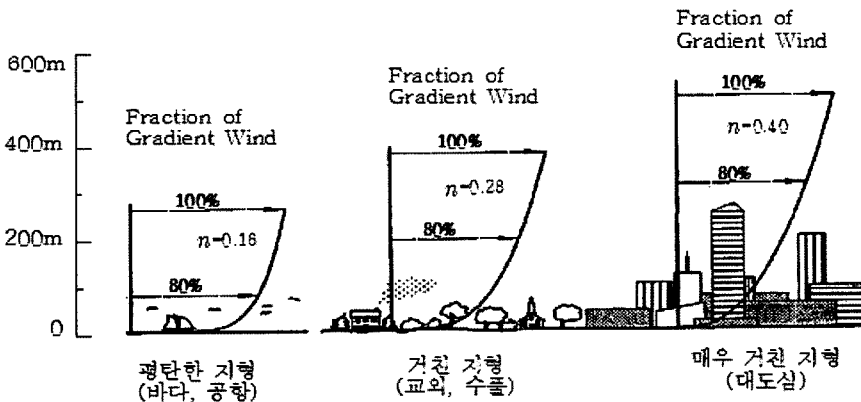
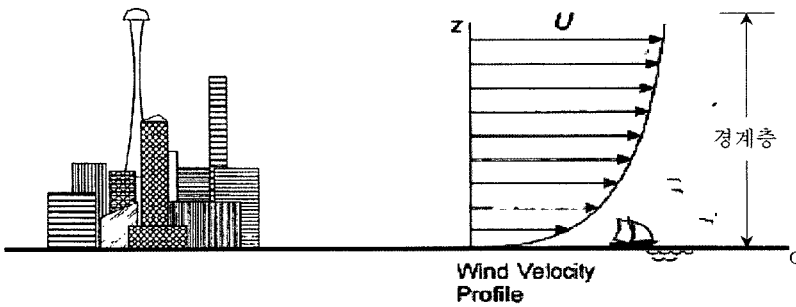
• 지수법칙 : $V = V_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^n$

- V: 풍속
- V_0 : Gradient Wind 풍속
- Z: 높이
- Z_0 : 경계층 높이

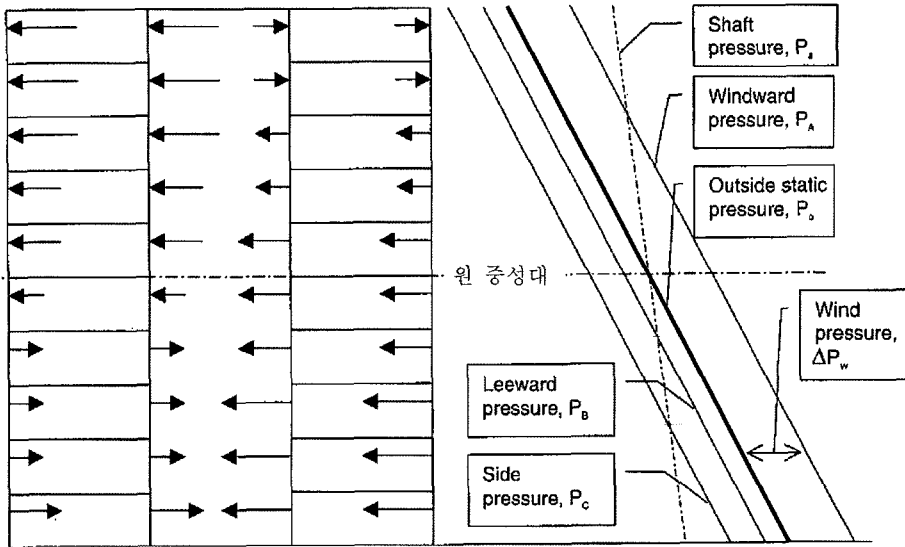
8. 바람의 영향(균일한 풍속에서)

□ 그림설명

- 건물 외부 정압과 샤프트 압력이 교차하는 곳이 '원 중성대'이다.
- 건물 우측에서 바람이 불어오므로(풍상측), 압력이 높아지면서 중성대가 올라갔다.



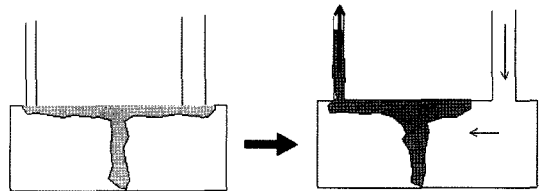
초고층 건물에 나타나는 연돌효과



- 건물 측면과 후면(좌측, 풍하측)은 오히려 압력이 낮아지면서 중성대가 내려갔다.
- 바람이 스쳐가는 건물측면의 압력이 풍하측보다 낮다.
- 이런 상황에서는 건물의 지붕도 측면과 동일한 상태가 되므로 지붕에서의 배출이 더 원활해진다. 그러므로 건물 지붕에 배출 시설을 두는 것이 좋다.
- 서로 마주보는 두 벽에 배연창을 두면 배연기능이 강화되지만, 어느 한 쪽에만 배연창을 두면 역효과가 나타날 수 있다.

• Area factor

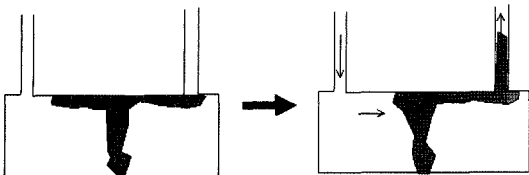
- 연기가 두 개의 수직 환기샤프트에 동시 도달하는 경우 단면적이 작은 환기샤프트 쪽으로 기류가 형성되는 현상.
- 단면적이 작은 수직통로에 위험부담이 더 클 가능성이 있다.



9. 배치 효과

• Location factor

- 고온기류가 먼저 도달한 수직 환기샤프트 쪽으로 기류 형성되는 현상
- 일단 연돌효과가 발생하면 되돌리기 어려우므로, 연기발생 초기 강력한 기계제연시스템을 가동할 필요가 있다.



10. 연돌효과의 영향

• 공기 유동 교란

- 배연 기능 : 아트리움
- 환기 교란 : 고층건물 저층부 환기 조장
고층건물 고층부 환기 장애
- 문틈, 균열틈새 공기유동
 - ✓ 소음 발생, 에너지 손실
 - ✓ 투습에 의한 결로 조장

• 연기 전파

- 피난경로 연기 오염으로 인한 피난 장애
- 피난문 개방 저항으로 인한 피난장애

11. 연돌효과에 대한 대응책

- 긍정적 영향 이용
 - 대공간 천장 배연방식에 이용
 - 수직 배출 샤프트 기능
 - √ 부력에 의한 자연 배연 기능
 - √ 화재층 내 압력 배출 기능
- 부정적 영향 저감
 - 피난경로 가압 : 피난경로 연기유입 방지
 - 건물 외피의 기밀도 향상
 - 수직 샤프트 가압 : 연돌효과 극복, 층간 연기전파 방지

- 내외부 온도차가 적다.
- 연돌효과가 작다.
- 주상복합, 초고층
 - 계단실이 코어를 구성한다.
 - 일반적인 연돌효과를 형성한다.
- 일반적 특성
 - 피난계단 부속실 구조가 허술하다
 - 층간 단절, 외부 밀폐성이 높다.

12. 아파트의 문제

- 재래식 아파트 : 계단실 외부접촉면이 넓고, 유리창이 크다.
- 통기성이 크다.



<저 자>

김진수

소방기술사, 벽산엔지니어링(주)
oksulki@daum.net