

**B-18**

**초고층 건축물에서 급기가압제연이 연돌효과에 미치는 영향**  
**The Influence on the Stack effect that Pressure differential system to smoke control in High-rise buildings**

**임채현\* · 박용환\*\***  
**Lim, Chae-Hyun · Park, Yong-Hwan**

**Abstract**

High-rise buildings with stack effect caused by the foreclosure, which significantly delayed the spread of a fire in effects of these stack effect driving force said. In this research on the stack effect of the lobby if the pressurization of the stairwell analysis of the pressure distribution of the CONTAMW. Overall, the pressurization of the lobby makes it stairwell amount of pressure(+) to the zone in pressure designed to prevent the spread of smoke control performance and found that, the way a normal state and sub-pressurization in the stairwell with stack effect of the turbulence Such as the formation of the upper flow, but, in the upper atmosphere with pressurization was formed by the underlying trend.

**key words** : Stack effect, High-rise building, smoke control, Pressure differential system

**1. 서론**

최근 우리나라를 비롯한 전 세계적으로 초고층 건축물에 대한 관심이 늘어 가고 있다. 특히, 인구밀도가 높으며 수도권 위주에 집중화된 생활권을 가지고 있는 우리나라의 경우, 초고층 건축물의 필요성이 절실하며, 서울, 부산 등 대도시를 위주로 건립이 활발하게 진행되고 있다.

이러한 초고층 건축물은 보다 나은 인간의 생활환경과 도시기능의 첨단화를 가져오는 반면, 화재 및 피난안전적인 측면에서는 많은 위험성을 가지고 있음을 각종 화재사례 및 선행연구를 통해 알 수 있다.<sup>1,2,3)</sup>

미국 WTC 및 MGM 그랜드호텔화재, 브라질 안드라스빌딩 화재, 한국의 대연각 호텔화재 등의 화재사례에 서와 같이 인명피해의 가장 큰 원인은 연기임을 알 수 있다.

특히, 초고층 건축물은 일반건축물에 비해 높이가 높아, 연돌효과에 의한 차압이 크게 발생하게 되고, 이러한 연돌효과와 차압은 부(-)압측의 기류를 유입하여 양(+)-압측으로 이동하는 연기 확산의 구동력이 된다.

연돌효과는 건축물 내·외부의 온도차로 발생된 밀도차가 부력을 발생하여 공기가 건축물 수직방향으로 이동하는 현상을 말하며, 연돌효과와 차압은 식(1)과 같이 건축물 내·외부간의 온도차 및 높이에 따라 영향을 받는다.<sup>4)</sup>

$$\Delta P_{SO} = K_S \left( \frac{1}{T_O} - \frac{1}{T_S} \right) h \dots \dots \dots (1)$$

단,  $\Delta P_{SO}$  : 연돌효과에 의한 차압(Pa)

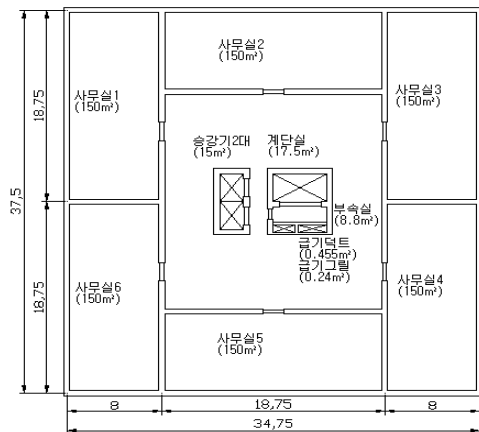
$K_S$  : 계수(3,460)

$T_O$  : 외부공기의 절대온도(K)

$T_S$  : 내부공기(샤프트)의 절대온도(K)

$h$  : 중성대로부터 높이(m)

화재실에서 계단실로의 연기유입 방지 및 연돌효과에 의한 상부층 연기확산 방지를 위해 급기가압제연을 적용하데, 설정 제연구역으로는 계단실과 부속실의 동시제연, 부속실 단독제연, 계단실 단독제연, 비상용 승강기 승강장의 단독제연으로 구역을 구분할 수 있



**Figure 1.** Configuration of the building space.

\* 호서대학교 대학원 소방학과 박사과정  
 \*\* 호서대학교 소방방재학과 교수·공학박사

다. 본 연구에서는 국내에서 일반적으로 사용되는 부속실 단독제연을 적용하였으며, 부속실 단독제연에 대한 국내 화재안전기준은 다음과 같다.<sup>5)</sup>

- (1) 제연구역과 옥내와의 최소차압은 40Pa(옥내에 스프링클러가 설치된 경우 12.5Pa)이상으로 하여야 한다.
- (2) 제연설비가 가동되었을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘은 110N 이하로 하여야 한다.
- (3) 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 개방되지 아니하는 제연구역과 옥내와의 차압은 기준차압의 70% 미만이 되어서는 아니 된다.
- (4) 부속실(또는 승강장)의 수가 20 이하는 1개층 이상, 20을 초과하는 경우에는 2개층 이상의 보충량을 계산 한다.
- (5) 방연풍속은 부속실과 승강장이 면하는 옥내가 거실인 경우 0.7m/s이상, 부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 복도로서 그 구조가 방화구조인 경우 0.5m/s이상으로 한다.

## 2. 모델링 해석

### 2.1 분석도구

분석도구는 네트워크 알고리즘을 기본으로 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발하여 연기유동 및 연돌효과에 관한 많은 연구에 적용되어 신뢰성을 인정받은 CONTAMW 프로그램을 사용하였으며, 본 프로그램 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼을 따랐다.<sup>6)</sup>

### 2.2 분석대상

분석대상 건축물은 중앙코어방식의 업무시설로 중앙에 두 대의 승강기와 계단실 및 부속실이 있고, 복도를 거쳐 측면으로 사무실 6개가 둘러싼 구조로서 전층에 스프링클러설비가 설치된 층고가 4.2m, 지상 50층 규모의 초고층 건축물로 계획하였다. 구조는 연돌효과의 평가를 위해 관련 인자를 중심으로 Figure 1과 같이 단순화하였으며, 문의 누설틈새는 Table 1, 외벽의 누설틈새비는 Table 2의 Tight를 적용하였다.<sup>7)</sup>

**Table 1.** Air leakage data for door

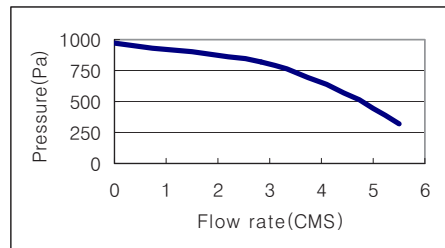
Type of door	size (m)	Leakage area(m <sup>2</sup> )
Single-leaf opening in to a pressurized space	0.9×2.1	0.01
Single-leaf opening outwards from a pressurized space	0.9×2.1	0.02
Lift landing door	2.0×2.0	0.06

**Table 2.** Air leakage ratio for walls

Construction element	Wall tightness	Leakage area ratio(A <sub>AW</sub> /A <sub>wall</sub> )
Exterior building walls	Tight	0.7×10 <sup>-4</sup>
	Average	0.21×10 <sup>-3</sup>
	Loose	0.42×10 <sup>-3</sup>
	Very loose	0.13×10 <sup>-2</sup>

### 2.3 분석조건

부속실 급기가압과 계단실 연돌효과와의 상관관계 분석을 목적으로 외부바람의 영향은 무시하였다. 실내외 온도는 연돌효과가 가장 크게 발생하는 겨울철을 대상으로 서울지역 TAC 2.5%를 적용, 외기온도 -11.3℃, 사무실온도 22℃, 복도 15℃, 부속실, 계단실은 10℃로 설정하였다. 부속실 급기가압용 송풍기는 AIRFOIL #4DS Fan으로 풍량 270CMM, 정압 55mmAq로 성능곡선은 Figure 2와 같다. 분석은 부속실에 대한 급기가압이 없는 정상상태와 상부급기가압방식 및 하부급기가압방식으로 나누어 연돌효과를 분석하였다.



**Figure 2.** Supply fan performance curve

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 정상상태에서의 연돌효과

부속실 급기가압이 없는 정상상태에서의 복도, 부속실 및 계단실의 압력분포는 Figure 3과 같다.

복도, 부속실, 계단실간의 압력차이는 4Pa 이내로 거의 차압이 발생되지 않았으며, 중성대(Neutral plan)는 31층에 형성되어 중성대 하부의 외기를 유입하여 상부로 상승하는 정상연돌효과를 보이고 있다.

연돌효과에 의한 차압을 살펴보면, 1층에서의 압력은 -123.5Pa, 50층에서의 압력은 81.1Pa로 연돌효과에 의한 전체차압은 204.6Pa로 식(1)에서의 계산된 208Pa과 거의 유사하게 나타남을 확인 할 수 있었다.

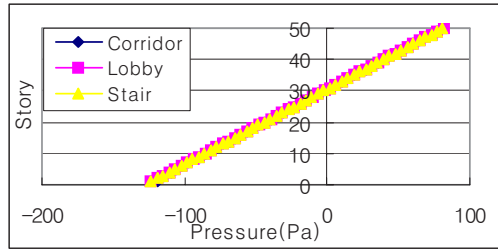


Figure 3. Stack effect at stair on normal condition

#### 3.2 급기가압에서의 압력분포

화재 시 수직피난 동선인 계단실을 연기로부터 보호하기 위해 부속실을 급기 가압하는데, 방법으로 상부급기방식과 하부급기방식으로 나눌 수 있다.

Figure 4, 5에서는 상부급기방식 및 하부급기방식에서의 복도, 부속실, 계단실의 압력분포를 나타내고 있다. 여기서, 상부급기방식에서는 상부 6개층, 하부급기방식에서는 하부 7개층에서 과압영역이 발생하는데, 이는, 급기밸브가 자동차압과압조절 등의 압력 조정기능 없이 단순 밸브크기에 상당하는 개구부를 지정하여 순수 압력분포를 분석하였기 때문이다.

Figure 4, 5에서의 압력분포를 살펴보면 부속실의 급기가압에 따라 복도, 부속실, 계단실 순으로 높은 압력이 형성되었다. 가압이 되는 부속실 보다 계단실의 압력이 높은 이유는 큰 정압을 가진 AIRFOIL Fan의 토출풍량이 계단실 누설틈새로 유입·계단실 내의 기류에 포함되어 높은 압력이 형성되는 것으로 보인다.

또한, 부속실의 급기가압은 정상상태에서의 연돌효과에서 보이던 저층부의 부(-)압 영역이 상승하여 전체적으로 양(+압) 영역으로 이동됨을 확인 할 수 있으며, 이러한 압력분포는 건축물 전체가 외기 유입영역이 없어지고 실내기류가 배출되는 영역으로 이동되어 화재실에서 다른층으로의 연기확산 방지를 위한 방연능력이 확보 되는 것으로 판단된다.

Figure 6은 상부 및 하부급기방식에서 로비-복도, 로비-계단사이의 차압을 나타낸 것으로 특정 과압영역을 제외하고는 로비-복도의 차압은 31Pa~78Pa정도의 적정 차압범위가 형성되었고, 로비-계단의 차압은 일반적으로 -8Pa정도로 계단실압력이 높게 나타났다.

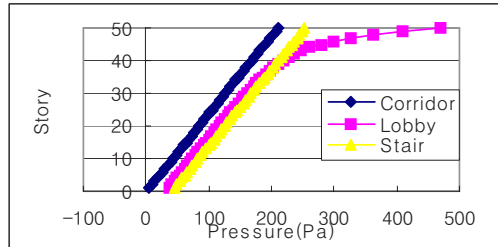


Figure 4. Stack effect at stair on top supply

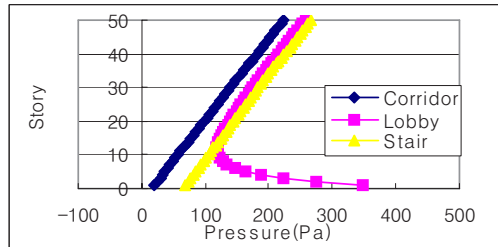


Figure 5. Stack effect at stair on bottom supply

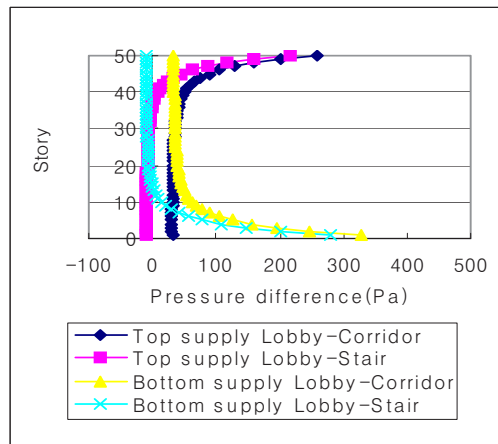


Figure 6. Pressure difference between each compartment

### 3.3 급기가압에 의한 계단실 연돌효과 분석

부속실 급기가압에 따른 계단실의 연돌효과를 분석하면 Figure 7과 같은 기류속도를 나타낸다.

정상상태에서의 계단실은 연돌효과에 의해 하부에서 상부로의 상승기류가 형성되어 최상층인 50층에서 0.29m/s의 최고속도를 나타냈으며, 하부급기방식에서는 급기기류가 연돌효과가 함께 작용하여 상승기류를 가속시켜 15층에서 2.68m/s의 최고풍속을 보이고 상승할수록 감소되었다.

그러나, 상부급기방식에서는 연돌효과의 상승기류방향과 반대방향에서 급기가 이루어지므로 최고풍속이 37층에서 하부급기보다 적은 1.99m/s로 나타났으며, 연돌효과에 의한 상승기류보다 강력한 하부급기 기류에 의해 정상상태에서나 하부급기방식에서와 같은 상승기류가 아닌 하강기류가 형성됨을 알 수 있었다.

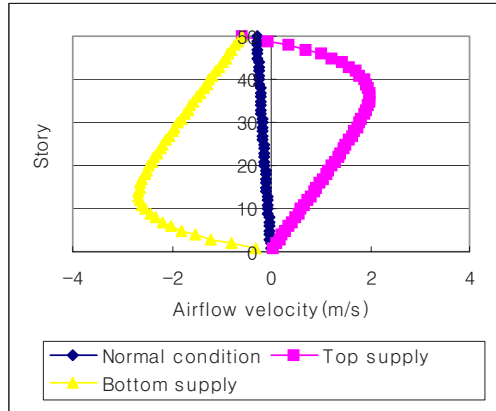


Figure 7. Velocity of airflow on stair

## 4 결론

(1) 겨울철 정상상태에서의 연돌효과는 건축물 수직방향에 중성대가 형성되어 중성대 하부에서는 외기를 유입하고 중성대 상부에서는 실내공기를 배출하는 정상연돌효과가 나타났다.

(2) 부속실 급기가압에 따른 압력분포는 복도, 부속실, 계단실 순으로 높은 압력이 형성되었으며, 정상상태에서의 연돌효과에서 보이던 저층부의 부(-)압 영역이 상승하여 전체적으로 양(+)압 영역으로 이동되어 화재실에서 다른 층으로의 연기확산 방지를 위한 방연성능이 확보되는 것으로 나타났다.

(3) 상부 및 하부급기방식에서 차압은 특정 과압영역을 제외하고 로비-복도의 차압은 31Pa~78Pa정도의 적정 차압범위가 형성되었고, 로비-계단의 차압은 일반적으로 -8Pa정도로 계단실압력이 높게 나타났다.

(4) 부속실 급기가압에 따른 계단실에서의 연돌효과를 분석하면 정상상태에서는 정상연돌효과에 의해 상승기류가 형성되고, 하부급기방식에서는 급기기류와 연돌효과가 함께 작용하여 상승기류를 가속시켰다.

그러나, 상부급기방식에서는 연돌효과에 의한 상승기류보다 강력한 하부급기 기류에 의해 하강기류가 형성되었다.

## 참고문헌

1. 김진수, “초고층 건축물에 나타나는 연돌효과”, 한국화재소방학회지, 제3권 1호, pp14~20(2007).
2. 백민호, “초고층 건축물의 성능위주 소방 설계방안에 관한 연구”, 한국소방학회지 2007년도 추계학술논문발표회 논문집, pp101~106(2007).
3. 윤우진, “초고층 건물의 화재발생시 연돌효과의 영향 평가에 관한 연구”, 연세대학교 공학대학원(2007).
4. G. T. Tamura, “Smoke Movement & Control In High-rise building”, NFPA(1994).
5. NFSC 501A, 특별피난계단의 계단실 및 부속실제연설비의 화재안전기준(2007).
6. Walton, G. N, CONTAMW 2.4b User Guide and Program Documentation, NISTIR 7251, NIST(2006).
7. EN 12101-6, Smoke and Heat Control Systems(2005).