

B-09

초고층 건축물에서 배연창 개방이 연돌효과에 미치는 영향

The Influence on the Stack Effect with the Opening of Smoke Ventilators in High-rise Buildings

임채현 · 김범규 · 여용주* · 박용환**

Lim, Chae-Hyun · Kim, Bum-Gyue · Yeo, Yong-Ju · Park, Yong-Hwan

Abstract

The effects on the performance of natural smoke exhaust ventilators installed in high-rise buildings were analyzed depending on the wind velocities and smoke temperatures using CONTAMW tool. The results showed that the smoke exhaust ventilators can maintain given performances in such conditions as low smoke temperatures and low wind velocities. However, high smoke temperatures and high wind velocities can prevent the smoke ventilators to exhaust smokes from the fire room. Significant changes in stack effects in high-rise buildings can also occur with the opening of smoke ventilators in the fire floor.

key words : Stack effects, Wind velocity, High-rise building, Natural smoke ventilators, smoke temperatures

1. 서 론

최근 우리나라는 인구의 증가 및 생활수준의 향상과 아울러 한정된 대지를 최대한 활용하고자 주거 또는 상업용도로서 건축물의 복합화, 대형화 및 초고층화가 급격히 진행되고 있다. 또한 초고층건축물의 건립은 국가나 도시의 랜드마크 및 건축기술력의 척도로서 국가나 기업들이 경쟁적으로 건립에 경주하고 있다. 그러나 초고층건축물은 재난발생 시 피난안전에 치명적인 문제점을 가지고 있으므로 피난안전을 도모할 수 있는 능동적인 대책 및 수동적인 대책 마련이 시급하다. 초고층 건축물은 용도의 복합화, 규모의 대형화 및 불특정 다수인의 체류 등에 의해 상시 화재에 노출되어 있으므로 화재 발생 시 연기로부터 안전한 피난을 위한 배연이 필수적이다. 여기서, 건축법에서 규정하고 있는 자연배기 방식인 배연창이 초고층 건축물에 설치될 경우 고층화에 의한 연돌효과와 바람에 의한 영향 등이 배연창의 배연능력을 좌우하게 될 것이다. 이에 본 연구에서는 건축법에서 규정한 화재 시 연기배출을 통해 재실자의 안전 및 피난시간을 연장하기 위해 설치하는 배연창의 성능이 화재 발생층, 화재시의 연기온도, 외기풍속에 의한 영향 등을 여러 제연관련 논문에서 신뢰성 및 효용성을 검증받은 미국NIST사의 CONTAMW를 통해 분석하고자 하였다.

2. 이론적 배경

건축물 화재 시 연기유동은 식(1)과 같이 건축물 내·외부 온도차에 의한 연돌효과(Stack effect) 및 외부 바람에 의한 영향과 공기조화설비의 운전에 따라 건축물 내·외부 간의 압력 차이를 가져온다.

$$\Delta P = \Delta P_W + \Delta P_S + \Delta P_P \dots \dots \dots (1)$$

여기서, ΔP 는 건축물 내·외부 간의 차압(Pa), ΔP_W 는 바람에 의한 차압(Pa), ΔP_S 는 연돌효과에 의한 차압(Pa), ΔP_P 는 공기조화설비에 의한 차압(Pa)이다.

바람은 건물의 높이, 형상 및 지형 등에 따라 변화를 가진다. 바람은 여러 환경에 따라 풍속의 변화가 매우

* 호서대학교 대학원 소방학과

** 호서대학교 소방방재학과

심하나, 순간 피크 풍속이 건물의 구조에 미치는 영향은 크지만 연기이동에 대한 분석에는 미미하여 평균풍속을 사용한다. 바람이 건물에 미치는 압력은 식(2)와 같다.

$$\Delta P_w = \frac{1}{2} C_w \rho_0 U_H^2 \dots \dots \dots (2)$$

여기서, ΔP_w 는 풍속에 의한 차압(Pa), C_w 는 풍압계수(-0.8~+0.8), ρ_0 는 외기밀도(Kg/m³), U_H 는 높이 H에서의 풍속(m/s)이다. Sherman과 Modera(1986)에 의해 개발된 LBL(Lawrence Berkeley Laboratory) 모델에 의하면 높이에 따른 풍속 U의 변화는 $U=U_0A(H/H_0)^B$ 로 표시될 수 있다. 여기서, H는 그 층에서의 높이(m), H₀: 관측소에서 풍속을 측정된 지점의 높이(m), A와 B는 지형계수이다.

연돌효과는 건축물 내·외부 간의 기밀도, 건물 상하 간의 개구부 조건, 건축물 내·외부 간의 온도차에 영향을 받는다. 연돌효과로 인해 발생하는 차압은 일반적으로 식(3)와 같이 나타난다.

$$\Delta P_s = K_s \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) H \dots \dots \dots (3)$$

여기서, ΔP_s 는 연돌효과에 의한 차압(Pa), K_s 는 계수(3,460)이고 T_0 는 외부공기의 절대온도(K)이다.

3. 수치해석

3.1 분석 틀

분석도구는 미국의 NIST에서 개발되어 연기유동 및 연돌 효과에 관한 많은 연구(Joetal., 2007 ; Khoukhal., 2006 ; Jacques, 1996 ; Lovatt and Wilson, 1994)에 사용되고 검증된 CONTAMW 네트워크 모델을 사용하였다.

3.2 분석대상

분석대상 건축물은 중앙코어방식의 업무시설로 중앙에 두대의 승강기와 특별피난계단 및 부속실이 있고, 복도를 거쳐 측면으로 사무실 6개가 둘러싼 구조로서 층고가 4.2m, 지상 50층 규모의 초고층 건축물로 선정하였으며 Fig. 1의 도면과 같이 모델링 하였다. 또한, 배연창의 유효면적은 관련 규정에 따라 바닥면적의 100분의 1 이상을 적용하여 1.5 m²(1.5m×1m)로 설정하였다. 2방위로 배치된 사무실은 1.0 m² (1.5×0.67m, 최소 규정)씩 2개로 분리하여 배치하였으며, 설치높이는 규정에 따라 연기의 원활한 배출을 위해 바닥으로부터 3m의 위치에 배치하였다. 누설틈새 면적은 EN 12101-6에 따라 배연창의 경우 0.0001 m², 출입문의 경우 가압공간으로 열리는 단문 0.01 m², 가압공간에서 외부로 열리는 단문 0.02 m², 승강기문 0.06 m²를 적용하였으며, 콘크리트 외벽의 누설틈새 비에 적용된 데이터는 Table. 1과 같다.

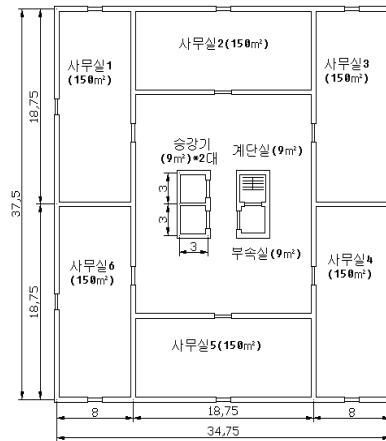


Fig. 1 Structure of the building

3.3 경계조건 및 시나리오

날씨조건은 정상상태를, 온도는 연돌효과가 가장 크게 발생하는 겨울철을 가정하고 건설교통부 고시 제2008-5호에 따라 서울지역 TAC 2.5의 외기온도 -11.3℃, 사무실 온도 22℃를 적용하였으며, 복도 10℃, 승강로 및 계단실, 부속실은 5℃를 적용하였다. 외부풍속은 겨울철 서울지역 난방설계용 외기조건 평균풍속 2.8m/s와 강한 바람이 부는 조건 7m/s를 적용하였으며, 지형계수는 Table 2의 등급IV

Table. 1. Air Leakage Data for Walls

Construction element	Wall tightness	Leakage area ratio(A _{AW} /A _{wall})
Exterior building walls	Tight	0.7×10 ⁻⁴
	Average	0.21×10 ⁻³
	Loose	0.42×10 ⁻³
	Very loose	0.13×10 ⁻²

(Heavy)를 적용하였다. 건축물 외벽의 풍압계수는 Table 3 과 같이 Macdonald 에 의해 연구된 계수를 적용하였다. 비화재시(평상시)와 화재시 외벽누설률, 외기풍속, 개구부 위치가 연돌효과에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 비화재시에는 배연창을 수동 개방하는 것으로 화재 시에는 배연창이 자동 개방되는 것으로 가정하였으며, 배연창 개방 위치는 중성대를 기준으로 저층부(3층)와 고층부(47층)의 두 가지 경우로 가정하였다.

화재시의 경우는 해당층 배연창 개방과 함께 피난을 위해 해당층의 출입문, 부속실, 계단실문과 1층 부속실, 계단실문이 동시에 개방되는 조건으로 하였다. 또한, 화재조건은 바람의 영향을 가장 크게 받는 북측 사무실2의 연기온도를 200℃와 400℃, 외기풍속은 2.8m/s와 7m/s로 각각 설정하였다.

Table 2. Terrain Coefficient and Exponent

Class	I (None)	II (Light)	III (Moderate)	IV (Heavy)	V (Very Heavy)
A	1.30	1.00	0.85	0.67	0.47
B	0.10	0.15	0.20	0.25	0.35

Table 3. Wind Pressure Coefficient

Plane	Wind Angle	A	B	C	D
Wind ⇒ A $\begin{matrix} C \\ \square \\ D \end{matrix}$ B	0°	+0.8	-0.25	-0.8	-0.8

4. 분석 결과

4.1 평상시(비화재시)의 연돌효과

4.1.1 외벽 누설률 및 풍속의 영향

비화재시 외벽의 누설정도에 따른 계단실과 외기와의 차압의 크기는 바람의 영향을 고려하지 않을 경우 Fig. 2와 같이 큰 차이를 보이지 않았으나, 바람의 영향을 고려할 경우 Fig. 3과 같이 Tight 조건에서도 풍속이 클수록 중성대(Neutral Plane)가 상부로 이동하는 것으로 나타났다. 바람이 없을 경우 27층, 풍속 2.8m/s에서는 28층, 풍속 7m/s에서는 32층에서 중성대가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 고층부에서의 최대 차압은 점점 작아지고 저층부에서의 최대차압은 커지는 것으로 나타났다.

4.1.2 개구부 위치에 따른 연돌효과

바람이 없는 비 화재조건에서의 배연창 수동개방은 배연창 개방층의 중성대의 위치에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Fig. 4에서와 같이 3층 배연창 개방 시에는 개구부 면적이 증가함에 따라 차가운 외기 유입이 이루어지고 점차 실내의 온도차가 작아져 압력차가 줄어들게 되므로 연돌효과는 감소하게 된다. 이에 따라 저층부에서는 배연창이 개방되더라도 실내 공기가 배연창을 통해 외부로 빠져 나가기가 어렵게 된다. 그러나 47층 고층부 개방의 경우는 중성대가 상부로 이동함에 따라 저층부의 압력차가 더욱 커지는 반면 고층부의 압력차는 작아지게

되는데, 저층부의 압력차 증가는 출입문이나 승강기문의 개방을 어렵게 하는 등의 원인이 될 수 있다. Fig. 5는 풍속 7m/s일 때의 차압 분포를 나타낸 그래프로서, 바람이 없을 때보다 배연창 미개방시에는 약 5개층, 3

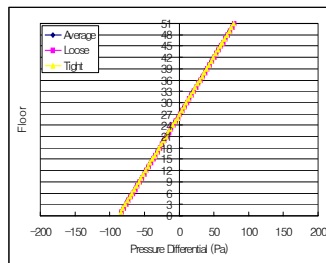


Fig. 2 Effect of various wall tightness(windless & ventilator closed)

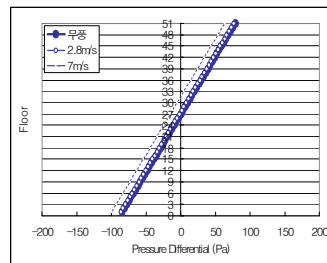


Fig. 3 Effect of various wind velocities(tight & ventilator closed)

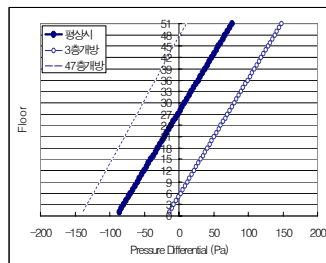


Fig. 4 Pressure differentials in the stairwell depending on the opening of smoke exhaust ventilators with no wind

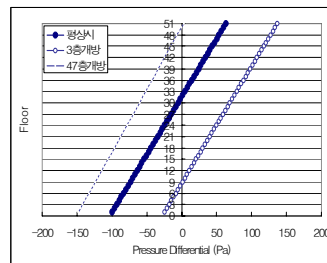


Fig. 5 Pressure differentials in the stairwell depending on the opening of smoke exhaust ventilators with wind velocity of 7m/s

층 배연창 개방 시의 경우는 약 6개층 정도, 47층 개방의 경우는 약 3개층 정도 중성대가 상부로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 저층부에서 외기의 유입이 더욱 용이해지는 반면 고층부에서는 실내공기 유출이 더욱 어려워지는 것으로 해석된다.

4.2 화재시의 배연효과

4.2.1 연기온도, 외기풍속 및 배연창 개방위치에 따른 배연풍속

Fig. 6과 Fig. 7은 화재 시 배연창 개방에 따른 연기 배출풍속을 나타낸 그래프로서 연기온도 및 외기풍속에 큰 영향을 받는 것을 나타내고 있다. 여기서, 양(+)값은 화재실 배연창을 통해 들어오는 풍속을 나타내고 음(-)값은 나가는 풍속을 나타낸다. 22℃ 무풍 시에는 연돌효과에 의해 저층부(3층)에서는 외기유입이, 고층부(47층)에서는 연기 배출이 이루어지나, 화재로 연기온도가 200℃ 이상으로 상승하게 되면 저층부에서도 배연창을 통해 연기가 배출되는 것으로 나타났다. 이는 화재실 온도 상승에 따른 압력 증가 때문으로 추정된다. 하지만 연기온도가 200℃ 일 때라도 외기풍속이 2.8m/s, 또는 7m/s 일 경우에는 3층 배연창 개방 시 외기가 오히려 유입되고 연기는 배출되지 못하는 것으로 나타났다. 47층 배연창 개방 시에는 외기풍속 2.8m/s까지는 연기 배출이 이루어 졌으나 외기풍속 7m/s의 강한 풍속에서는 연기배출이 일어나지 못하고 외기가 유입되는 것으로 나타났다. 연기온도가 400℃로 가정하였을 경우에는 외기풍속 2.8m/s에서도 3층 및 47층 모두 배연창에서 배연이 일어났으며 외기풍속 7m/s에서는 3층 및 47층 모두 연기배출이 일어나지 않고 외기유입이 일어나는 것으로 예측되었다.

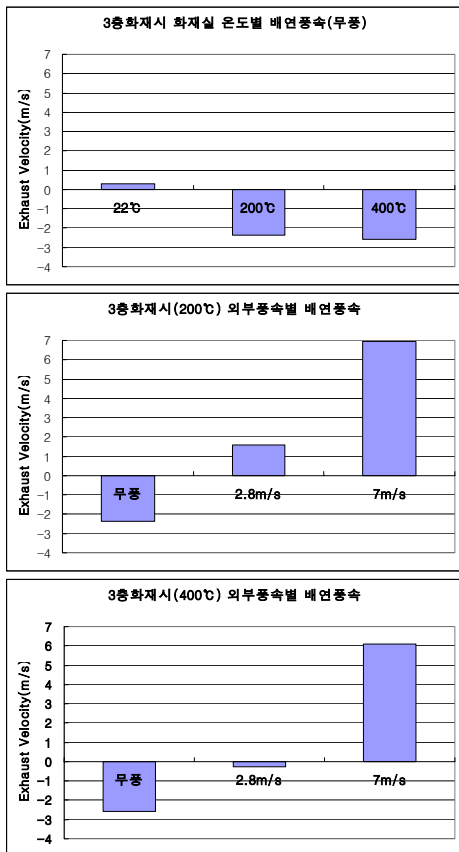


Fig. 6 Exhaust velocities with various smoke temperatures and wind velocities (3rd floor ventilators open)

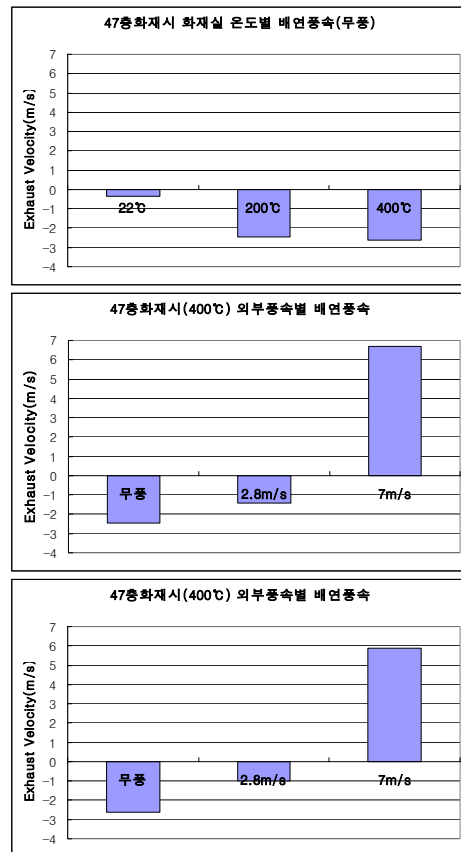


Fig. 7 Exhaust velocities with various smoke temperatures and wind velocities (47th floor ventilators open)

5. 결 론

본 연구에서는 초고층건축물에 설치되는 배연창의 성능에 영향을 미치는 연기온도, 건축물의 기밀성, 연돌효과 및 외기풍속에 대한 영향을 네트워크모델인 CONTAMW를 통해 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 배연창 미개방 시 외벽 누설률에 따른 연돌효과는 별 차이가 없었으며 외기풍속이 커질 경우에도 중성대의 위치만 약간 상승할 뿐 연돌효과에 큰 변화는 발생하지 않았다. 둘째, 무풍 비 화재 조건에서의 3층 배연창 개방은 저층부 차압은 감소시키고 고층부 차압은 증대시키는 것으로 나타났으며, 47층 배연창 개방은 반대로 저층부 차압은 증대시키고 고층부 차압은 감소시키는 것으로 나타났다. 셋째, 화재 시 해당층 배연창 개방에 따른 배연 성능은 연기온도 및 외기풍속에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 연기온도가 200℃의 경우 외기풍속이 2.8m/s 이상에서는 3층 배연창 개방 시 외기가 오히려 유입되고 연기는 배출되지 못하는 것으로 나타났으며, 47층 배연창 개방 시에는 외기풍속 2.8m/s까지는 연기 배출이 이루어 졌으나 외기풍속 7m/s의 강한 풍속에서는 연기배출이 일어나지 못하고 외기가 유입되는 것으로 나타났다. 연기온도가 400℃로 가정하였을 경우에는 외기풍속 2.8m/s에서도 3층 및 47층 모두 배연창에서 배연이 일어났으나 외기풍속 7m/s에서는 3층 및 47층 모두 연기배출이 일어나지 않고 외기유입이 일어나는 것으로 예측되었다.

참고문헌

1. Walton, G. N.(2006), CONTAMW 2.4b User Guide and Program Documentation, NISTIR 7251, National Institute of Standards and Technology
2. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers(2001), ASHRAE Handbook Fundamentals Ch. 25 Ventilation and Infiltration
3. 건설교통부(2008), 건축법 시행령 제87조
4. EN 12101-6, Smoke and Heat Control Systems(2005).
5. Macdonald, A. J.(1975), Wind Loading on Buildings, Newyork, Wiley
6. Klote, J. H. & J. A. Mike(2002), Principles of Smoke Management, ASHRAE, Atlanta GA.
7. ASHRAE(2001), ASHREA Handbook-Airflow Around Buildings, Atlanta GA.