

초고층건물에서 배연창의 풍량해석 및 배연성능 Mass Flow Rates and Performance of Natural Smoke Ventilators in High-rise Buildings

임채현* · 김범규** · 박용환†

Chae-Hyun Lim · Bum-Gyu Kim · Yong-Hwan Park†

*울산광역시시설관리공단, **호서대학교 대학원, 호서대학교 소방방재학과
(2009. 9. 10. 접수/2009. 12. 11. 채택)

요 약

본 연구에서는 현장실험결과를 바탕으로 모델링 해석을 통해 초고층건물에서 배연창이 가지는 배연성능의 경향성을 분석 및 평가하였다. 분석건물은 현장실험 대상건물인 40층 건물 외에 동일한 구조의 80층 및 120층 규모의 초고층건물로서 외기온도 TAC 2.5% 조건에서 건물의 층수, 배연창 개방방식 및 외벽의 기밀도가 배연창의 배연성능에 미치는 영향을 공기유동해석 프로그램인 CONTAMW 모델링을 통해 정량화된 분석결과를 도출하였다.

ABSTRACT

The mass flow rates and performance of natural smoke ventilators in high-rise buildings with 40, 80, 120 stories were evaluated using CONTAMW tool. The results showed that only limited part of smoke ventilators can have positive exhaust flow in high-rise buildings due to stack effect and wind velocities. In the higher story buildings larger stack effect can overcome outside strong wind effect to give more ventilation performance. The air tightness of the building have strong effect on the exhaust performance of the ventilators to give lower performance with loose air tightness of the exterior walls.

Key words : Mass flow, Stack effect, Wind velocity, High-rise building, Natural smoke ventilator

1. 서 론

최근 전 세계적으로 도심지역의 토지이용률 향상과 도시 경관의 랜드마크(Land mark) 조성을 위해 대도시를 중심으로 주거, 상업 및 업무용도 등 초고층건물의 건립이 급증하고 있으므로 소방방재적인 차원에서의 연구 또한 단순 문헌연구에서 현장실험, 모델링해석 등 다양한 방법의 연구가 진행되고 있다.^{1,3)}

이에, 본 연구에서는 초고층건물에서 화재 발생 시 피난안전성에 가장 큰 영향을 미치는 연기의 거동과 관련하여, 건축설비의 설비기준 등에 관한 규칙에서 규정하고 있는 배연창이 초고층건물에서 배연성능에 미치는 영향을 모델링 해석을 통해 분석하였다.

건물에서의 공기유동 해석방법은 실험적 모델(Empirical

models), 네트워크 모델(Network models), 존 모델(Zone models), 필드 모델(Field models)로 구분되는데 연돌효과나 공기유동과 같은 다양한 존의 상호작용에 의한 기류유동은 네트워크 모델을 통한 분석이 효과적이다.

그러므로 본 연구에서는 네트워크모델 중 연돌효과 및 연기유동 등 많이 연구에 사용되고 성능이 검증된 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)사의 CONTAMW를 사용하여 분석하였다.

CONTAMW은 AIRNET에서 개발된 알고리즘을 바탕으로 하는데 질량유량($F_{j,i}$)을 식(1)과 같이 압력차의 함수로 나타낸다.

$$F_{j,i} = f(P_j - P_i) \quad (1)$$

여기서 i 존에서의 공기질량(m)은 이상기체상태방정식에 따라 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

† E-mail: yhpark@hoseo.edu

$$m_i = \rho_i V_i = \frac{P_i V_i}{RT_i} \quad (2)$$

초고층건물은 높은 건축물의 높이에 기인하여 연돌효과가 크게 발생하는데 식(3)과 같이 온도와 높이의 함수로 나타낼 수 있다. 또한 고도에 따라 증가하는 외기풍속은 건물의 높이, 형상 및 지형 등에 따라 식(4)와 같이 건물외벽에 압력으로 작용하여 건물 내의 기류흐름에 영향을 미친다. 이러한 건물 내 기류흐름은 수직샤프트에서 연돌효과와 상관하여 건물의 개구조건에 따라 식(5)와 같이 중성대의 위치를 형성한다.

$$\Delta P_{so} = K_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) h \quad (3)$$

여기서, ΔP_{so} : 연돌효과에 의한 차압(Pa)
 K_s : 계수(3,460)
 T_o : 외기의 절대온도(K)
 T_s : 샤프트 내부의 절대온도(K)
 h : 중성대로부터 높이(m)

$$\Delta P_w = \frac{1}{2} C_w \rho_o V_H^2 \quad (4)$$

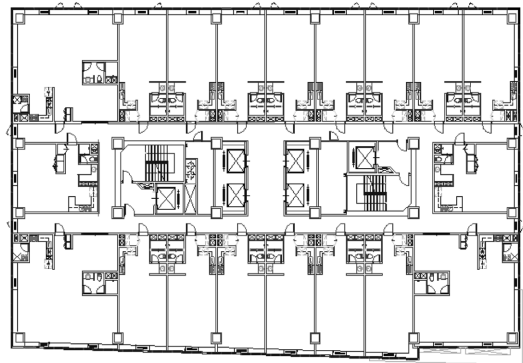
여기서, ΔP_w : 표면에 미치는 풍압(Pa)
 C_w : 압력계수
 ρ_o : 외기밀도(Kg/m³)
 V_H : 높이 H에서의 풍속(m/s)

$$H_n = \left\{ \frac{1}{1 + (T_s/T_o)(A_b/A_a)^2} \right\} \times H_s \quad (5)$$

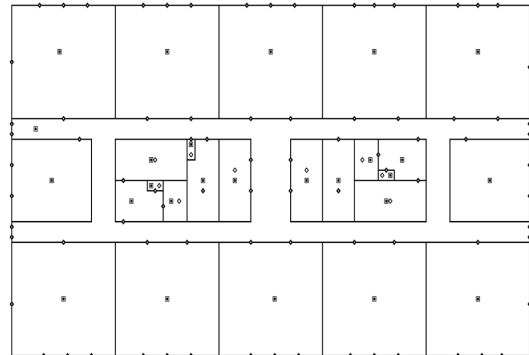
여기서, H_n : 바닥으로부터 중성대까지 거리(m)
 H_s : 샤프트의 높이(m)
 T_s : 샤프트 내부 절대온도(K)
 T_o : 외기의 절대온도(K)
 A_a : 중성대 상부 개구부면적(m²)
 A_b : 중성대 하부 개구부면적(m²)

2. 모델링

모델링 건물은 최근 건립이 급증하고 있는 초고층건물 중 건축관계법령에 따라 배연창이 설치된 서울소재 건물로서 지하 6층, 지상 40층, 높이 168m 규모로 지하 6층~지하 2층은 주차장, 지하 1층~5층은 판매시설, 6층~39층은 오피스텔, 40층은 판매시설로 운영되고 있는 주상복합 건물이다. 건물의 구조는 2개의 코어(Core)



a) configuration of the building space



b) schematic diagram of multi-zone model

Figure 1. Typical floor description of the building.

를 중심으로 복도가 있고 외부와 면하여 전용공간이 배치된 중앙코어방식의 건물로서 외벽은 커튼월(Curtain wall) 방식으로 되어 있다. 코어 내에는 피난을 위한 특별피난계단 및 비상용엘리베이터가 배치되어 지하 6층에서 40층까지 직통구조로 되어있다. 부속실에는 급기 가압제연설비가 설치되어 있고 오피스텔층인 6층에서 39층까지의 거실에는 배연창이 설치되어 있으며 화재 발생 시 화재층 및 직상층을 개방하는 방식으로 구성 되어 있다.

Figure 1에서는 모델링 건물의 평면도와 CONTAMW 2.4c에서 스케치패드에서 구현한 평면을 나타낸 것으로 ■는 구역의 속성(Zone property)을 ○는 공기유동경로의 속성(Airflow path property)을 나타낸다.

모델링 입력데이터는 도면 및 현장실측 자료를 활용하였는데 출입문의 누설틈새는 국내 연구데이터⁴⁾를 외벽의 기밀도는 ASHRAE 코드⁵⁾ 및 모델링 건물에서 측정 산출된 보정기밀도⁶⁾를 입력데이터로 사용하였으며 Table 1, 2와 같다.

외기온도는 최근 10년간(1996년~2005년)의 기상데이터를 바탕으로 작성한 표준기상데이터의 겨울철(12월~2월) 서울지역 TAC(Technical Advisory Committee) 2.5%인 -11.1°C를 적용하였으며 외기풍속은 한국기후표에 의한 서울지역 평균풍속 2.4m/s와 최대풍속 16.7m/s로 구분하여 적용하였다. 여기서, 외기풍속은 건물의 지형에 따라 Table 3과 같이 입력되는 지형계수와 바람지수가 달라지는데 본 모델링에서는 서울도시에 있는 건물로서 도심지역(Urban)을 적용하였다.

건물의 외벽에 작용하는 풍압계수는 Table 4와 같이 벽면 전체를 평균화된 압력값으로 산출한 평균풍압계수인 MacDonald 계수를 적용하였다.

Table 1. Air Leakage Area of the Doors

Type of Door	Leakage Area (m ²)	Condition
Residential Entrance Door	70cm ² /item	$\Delta P = 10\text{Pa}$, $C_D = 0.6$
Stairwell Door	120cm ² /item	$\Delta P = 10\text{Pa}$, $C_D = 0.6$
Elevator Door	323cm ² /item	$\Delta P = 10\text{Pa}$, $C_D = 0.6$

Table 2. Compensated Leakage Areas of Exterior Walls

	Area Ratio (A/A _w)	Condition
Tight	0.5×10^{-4}	$\Delta P = 75\text{Pa}$, $C_D = 0.65$
Average	0.17×10^{-3}	
Loose	0.35×10^{-3}	
Compensated	0.12×10^{-3}	

Table 3. Terrain Coefficient and Exponent

Terrain Type	Coefficient (A ₀)	Exponent (a)
Urban	0.35	0.40
Suburban	0.60	0.28
Airport	1.00	0.15

Table 4. Wind Pressure Coefficient (C_w)

Plan	A	B	C	D
	0.8	-0.25	-0.8	-0.8

3. 배연창의 배연성능평가

3.1 건물 층수에 따른 배연성능평가

건물 층수에 따른 배연성능을 평가하기 위해 모델링

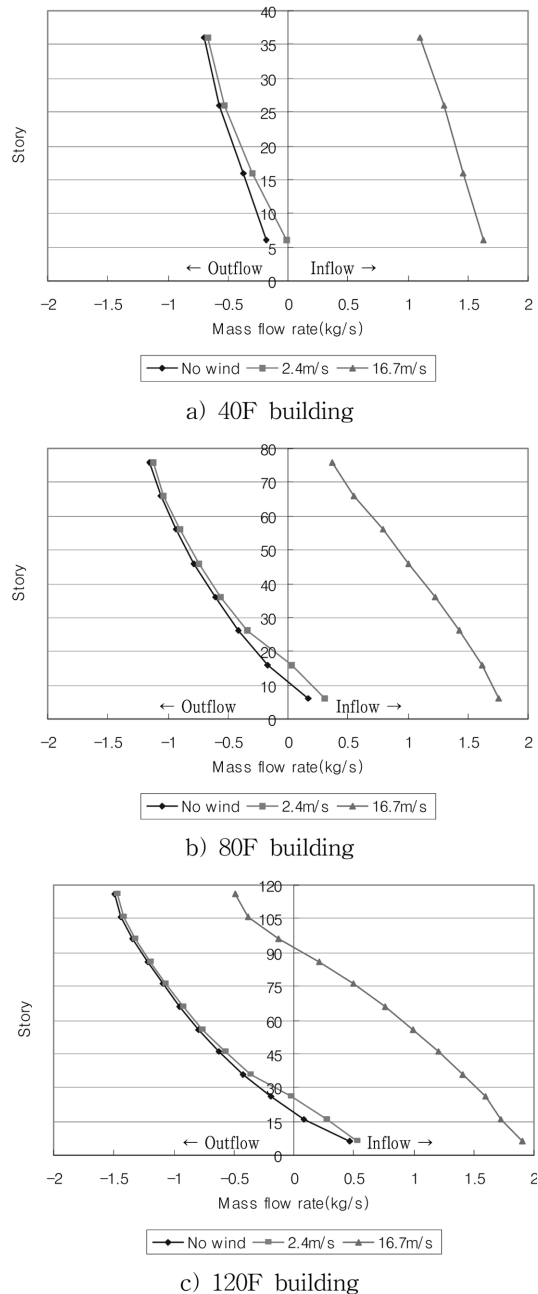


Figure 2. Mass flow rates with natural smoke ventilators open. (T = - 11.1°C)

건물과 같은 구조에서 40층, 80층 및 120층 건물로 모델링하여 배연창이 배연성능을 분석하였다.

입력조건으로 외기온도는 TAC 2.5%(-11.1°C), 외벽의 기밀도는 보정기밀도인 0.12×10^{-3} 을 적용하여 화재시나리오에 따라 개방된 화재층의 배연창으로 유동되는 질량유량의 유동으로 평가하였다. 여기서 (+)는 외기가 실내로 유입되어 배연성능을 기대할 수 없고 (-)는 실내공기가 대기로 배출되어 배연성능을 발휘할 수 있는 것으로 분석하였다.

분석 결과 Figure 2와 같이 건물의 높이가 높을수록 연돌효과에 의해 개방된 배연창으로 유동되는 질량유량이 증가하였으며 외기풍속이 강할수록 배연성능이 떨어지는 것으로 분석되었다.

Table 5는 건물 층수별 외기풍속에 따른 배연성능의 범위를 나타낸 표로서 40층, 80층 및 120층 건물 모두 무풍조건에서는 계단실의 수직샤프트 높이 21%~22% 이상층, 평균풍속조건에서는 27%~29% 이상층부터 배연창의 배연효용성을 기대할 수 있었으나, 최대풍속조건에서는 40층, 80층 빌딩 모두 전층에서 외기가 유입되어 배연성능을 기대할 수 없었으며 120층 빌딩에서는 72% 이상층에서 배연성능을 확인할 수 있었다.

Table 6~Table 8은 40층, 80층 및 120층 건물에서 외기풍속에 따라 유동되는 질량유량을 나타낸 표로서, 배연창이 배연성능을 발휘하지 못하는 영역을 분석하여 보면, 40층 건물은 무풍조건에서 3층 이하층, 평균풍속

Table 5. Performance Range of Smoke Control (Classified by Wind Velocity and Building Height)

Building Height	No Wind	V = 2.4m/s	V = 16.7m/s
40F	Over 3F (21%)	Over 6F (29%)	None
80F	Over 10F (21%)	Over 17F (29%)	None
120F	Over 20F (22%)	Over 26F (27%)	Over 93F (72%)

Table 6. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open (40F Building)

Story	No Wind	V = 2.4m/s	V = 16.7m/s
36F	-0.71	-0.68	+1.09
26F	-0.58	-0.53	+1.25
16F	-0.39	-0.33	+1.44
6F	-0.24	-0.12	+1.60

Table 7. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open (80F Building)

Story	No Wind	V = 2.4m/s	V = 16.7m/s
76F	-1.15	-1.12	+0.37
66F	-1.06	-1.04	+0.55
56F	-0.93	-0.90	+0.79
46F	-0.78	-0.74	+1.01
36F	-0.60	-0.56	+1.23
26F	-0.41	-0.34	+1.43
16F	-0.17	+0.03	+1.62
6F	+0.17	+0.31	+1.76

Table 8. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open (120F Building)

Story	No Wind	V = 2.4m/s	V = 16.7m/s
116F	-1.49	-1.47	-0.49
106F	-1.44	-1.42	-0.38
96F	-1.34	-1.32	-0.13
86F	-1.22	-1.20	+0.21
76F	-1.09	-1.07	+0.50
66F	-0.95	-0.92	+0.76
56F	-0.79	-0.76	+0.99
46F	-0.62	-0.57	+1.21
36F	-0.42	-0.36	+1.41
26F	-0.19	-0.02	+1.60
16F	+0.08	+0.27	+1.72
6F	+0.47	+0.53	+1.91

(2.4m/s)조건에서 6층 이하층에서, 최대풍속(16.7m/s)조건에서는 전층에서 외기가 유입되어 배연성능을 발휘하지 못하였으며 80층 건물의 경우 무풍조건에서는 10층 이하층, 평균풍속(2.4m/s)조건에서는 17층 이하층, 최대풍속(16.7m/s)조건에서는 전층, 120층 건물의 경우 무풍조건에서는 20층 이하층, 평균풍속(2.4m/s)조건에서는 26층 이하층, 최대풍속(16.7m/s)조건에서는 93층 이하층에서 배연창이 배연성능을 발휘하지 못했다.

3.2 배연창 개방방식에 따른 배연성능 평가

배연창의 개방방식은 일반적으로 화재층만을 단독으로 개방하는 1개층 개방방식과 자동화재탐지설비의 직상층우선경보방식과 연동하여 화재층 및 직상층을 동시에 개방하는 2개층 개방방식이 일반적으로 현장에서

Table 9. Performance Range of Smoke Control (Classified by Open Mode and Building Height)

Building Height	3 Floors Open	2 Floors Open	1 Floor Open
40F	Over 34F (86%)	Over 19F (56%)	Over 6F (29%)
80F	Over 41F (56%)	Over 26F (39%)	Over 17F (29%)
120F	Over 49F (45%)	Over 35F (34%)	Over 26F (27%)

적용되고 있다. 본 연구에서는 기존 1개층 및 2개층 배연창 개방방식 외에 화재층과 직상 2개층을 동시에 개방하는 3개층 개방방식을 포함한 3개의 사례로 40층, 80층 및 120층 초고층건물에서 배연창 개방에 따른 배연성능을 평가하였다.

Table 9는 외기온도 TAC 2.5%(-11.1°C), 평균풍속 (2.4m/s)조건에서 건물 층수별 배연창 개방방식에 따른 배연성능의 범위를 나타낸 표로서 1개층 개방방식은 계단실 수직샤프트 높이 27~29% 이상층, 2개층 개방방식은 34~56% 이상층, 3개층 개방방식은 45~86% 이상층의 범위에서 배연성능이 확보되는 것으로 분석되었다.

건물 층수에 따라 분석하면 40층 건물의 경우 1개층 개방방식은 6층 이상층에서 배연성능을 보였고 2개층 개방방식은 19층 이상층, 3개층 개방방식은 34층 이상층에서 배연성능을 보였으며, 80층 건물의 경우 1개층 개방방식은 17층 이상층, 2개층 개방방식은 26층 이상층, 3개층 개방방식은 41층 이상층에서 배연성능을 보였다. 120층 건물의 경우 1개층 개방방식은 26층 이상층에서 배연성능을 보였고 2개층 개방방식은 35층 이상층, 3개층 개방방식은 49층 이상층에서 배연성능을 보였다. 분석결과 1개층 개방방식이 2개층이나 3개층 개방방식보다 배연성능이 월등히 우수한 것으로 분석되었다.

Table 10~Table 12는 40층, 80층 및 120층 건물에서 배연창 개방방식에 따른 배연성능을 개방된 배연창으로 유동되는 질량유량으로 나타낸 표로서 배연창을 통해 실내에서 대기로 유출되는 질량유량의 유동은 1개층 개방방식이 가장 많고 2개층, 3개층 개방방식 순이며, 대기에서 실내로 유입되는 질량유량은 3개층 개방방식이 가장 많고 2개층, 1개층 개방방식 순으로 나타났다. 이는 1개층 개방방식이 화재 시 연기의 배출은 가장 많고 외기의 유입은 가장 적어 배연능력이 가장 우수한 것을 나타낸다. 그러므로 배연창은 개방층이 많아질수록 외벽의 개구율이 높아져 중성대가 개방층 가

Table 10. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open in 40F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	3 Floors Open	2 Floors Open	1 Floor Open
36F	-0.05	-0.34	-0.67
26F	+0.04	-0.22	-0.53
16F	+0.23	+0.06	-0.30
6F	+0.80	+0.50	-0.01

Table 11. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open in 80F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	3 Floors Open	2 Floors Open	1 Floor Open
76F	-0.42	-0.66	-1.12
66F	-0.37	-0.61	-1.04
56F	-0.28	-0.51	-0.90
46F	-0.15	-0.40	-0.74
36F	+0.11	-0.25	-0.56
26F	+0.23	-0.01	-0.34
16F	+0.26	+0.24	+0.03
6F	+0.85	+0.67	+0.31

Table 12. Mass Flow Rates (kg/s) with the Natural Smoke Ventilators Open in 120F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	3 Floors Open	2 Floors Open	1 Floor Open
116F	-0.62	-0.90	-1.47
106F	-0.60	-0.88	-1.42
96F	-0.54	-0.81	-1.32
86F	-0.47	-0.73	-1.20
76F	-0.39	-0.63	-1.07
66F	-0.29	-0.52	-0.92
56F	-0.17	-0.40	-0.76
46F	+0.07	-0.26	-0.57
36F	+0.23	-0.05	-0.36
26F	+0.28	+0.23	-0.02
16F	+0.31	+0.29	+0.27
6F	+0.89	+0.78	+0.53

까이로 이동되고 배출되는 질량유량이 분산되어 배연성능이 오히려 떨어지는 것으로 분석되었다.

3.3 외벽 기밀도에 따른 배연성능 평가

Table 13은 외기온도 TAC 2.5%(-11.1°C), 평균풍속 (2.4m/s)조건에서 외벽 기밀도에 따른 배연창의 배연영

Table 13. Smoke Control Area with Different air Tightness of Exterior Walls

Building Height	Tight	Average	Loose
40F	Over 5F (26%)	Over 6F (29%)	Over 7F (31%)
80F	Over 15F (26%)	Over 18F (30%)	Over 20F (32%)
120F	Over 23F (25%)	Over 28F (28%)	Over 32F (31%)

Table 14. Mass Flow Rates (kg/s) with Different Airtightness of Exterior Walls in 40F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	Tight	Average	Loose
36F	-0.71	-0.70	-0.70
26F	-0.58	-0.57	-0.56
16F	-0.38	-0.37	-0.35
6F	-0.20	-0.17	-0.13

역을 나타낸 표로서 기밀도가 높을수록 배연범위가 확장되는 것을 볼 수 있다.

분석결과 배연창의 배연성능은 건물 층수에 관계없이 외벽 기밀도에 따라 일정한 제연영역이 형성되는 것을 볼 수 있는데 기밀구조(Tight)는 25%~26%, 중간구조(Average)는 28~30%, 느슨한구조(Loose)는 31%~32% 이상층에서 배연성능이 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 이것을 배연성능이 나타나는 층으로 분석하면 40층 건물의 경우 외벽이 기밀구조(Tight)는 5층, 중간구조(Average)는 6층, 느슨한구조(Loose)는 7층 이상층에서 배연성능을 보였으며, 80층 건물의 경우 기밀구조(Tight)는 15층, 중간구조(Average)는 18층, 느슨한구조(Loose)는 20층 이상층에서 배연성능을 보였다. 120층 건물의 경우 기밀구조(Tight)는 23층, 중간구조(Average)는 28층, 느슨한구조(Loose)는 32층 이상층에서 배연성능을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 14~Table 16은 40층, 80층 및 120층 건물에서 외벽의 기밀도에 따른 배연창의 제연성능을 개방된 배연창으로 유도되는 질량유량으로 나타낸 표이다.

분석결과, 외벽의 기밀도가 느슨하고 건물의 층수가 높을수록, 저층부로 갈수록 배연성능에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

상부층에서는 40층, 80층 및 120층 건물 모두 외벽의 기밀도에 따라 질량유량이 0.01~0.02kg/s 정도 밖에 차이가 없었으나, 하부층에서는 40층 건물은 0.07kg/s,

Table 15. Mass Flow Rates (kg/s) with Different Airtightness of Exterior Walls in 80F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	Tight	Average	Loose
76F	-1.13	-1.12	-1.11
66F	-1.04	-1.03	-1.02
56F	-0.91	-0.90	-0.88
46F	-0.75	-0.73	-0.71
36F	-0.57	-0.55	-0.51
26F	-0.36	-0.33	-0.27
16F	-0.04	+0.08	+0.18
6F	+0.30	+0.32	+0.40

Table 16. Mass Flow Rates (kg/s) with Different Airtightness of Exterior Walls in 120F Building (T = -11.1°C, V = 2.4m/s)

Story	Tight	Average	Loose
116F	-1.48	-1.47	-1.46
106F	-1.43	-1.42	-1.41
96F	-1.33	-1.32	-1.30
86F	-1.21	-1.19	-1.17
76F	-1.08	-1.06	-1.02
66F	-0.94	-0.91	-0.86
56F	-0.78	-0.74	-0.68
46F	-0.61	-0.55	-0.48
36F	-0.41	-0.33	-0.21
26F	-0.13	+0.08	+0.24
16F	+0.25	+0.29	+0.36
6F	+0.45	+0.58	+0.77

80층은 0.1kg/s, 120층은 0.32kg/s로 건물 층수가 높을수록 외벽의 기밀도가 배연창의 배연성능에 영향을 미쳤다. 이는 외벽의 기밀도가 낮을수록 외기의 유입이 많아지고 중성대가 상승되어 연돌효과에 의한 배연성능이 떨어지는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 현장실험과 시뮬레이션 분석결과를 바탕으로 초고층건물에서 배연창이 가지는 배연성능의 경향성을 모델링 해석을 통해 분석 및 평가하였다. 분석 대상건물은 현장실험 대상건물인 40층 건물 외에 동일한 구조의 80층 및 120층 규모의 초고층건물로서 외기온도 TAC 2.5%(-11.1°C) 조건에서 건물의 층수,

배연창 개방방식 및 외벽의 기밀도가 배연성능에 미치는 영향을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 건물 층수에 따른 배연창의 배연성능은 40층, 80층, 120층 건물 모두 무풍조건에서는 계단실의 수직사프트 높이 21%~22% 이상층, 평균풍속조건에서는 27%~29% 이상층부터 배연창의 배연성능이 나타난 것으로 분석되었다. 최대풍속조건에서는 40층, 80층 건물 모두 전 층에서 외기가 유입되어 배연성능을 기대할 수 없었으나, 120층 건물에서는 72% 이상층에서 배연성능을 확인할 수 있었는데, 이는 건물 층수에 따라 증가한 연돌효과에 의한 차압이 외기 풍속에 의한 풍압보다 크게 작용하였기 때문으로 분석된다.

(2) 배연창 개방방식에 따른 배연성능은 화재층만을 단독으로 개방하는 1개층 배연창 개방방식의 배연성능이 가장 우수한 것으로 분석되었다. 2개층, 3개층 개방방식과 같은 복수층의 배연창 개방은 외벽의 개구율이 높아져 중성대가 개방층 가까이로 이동되고 배출되는 질량유량이 분산되어 배연성능이 오히려 떨어지는 것으로 분석되었다.

(3) 외벽 기밀도가 배연창의 배연성능에 미치는 영향은 기밀도가 높을수록 배연성능이 우수한 것으로 분석되었는데 기밀구조(Tight)는 25%~26%, 중간구조(Average)는 28~30%, 느슨한구조(Loose)는 31%~32% 이상층에서 배연성능이 나타나는 것으로 분석되었다.

이는 외벽의 기밀도가 낮을수록 외기의 유입이 많아지고 중성대가 상승되어 연돌효과에 의한 배연성능이 떨어지는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 김진수, “초고층 건물에 나타나는 연돌효과”, 한국화재소방학회지, Vol.1, No.1, pp.14-20(2007).
2. 김정엽, “연돌효과가 급기가압 제연시스템에 미치는 영향에 대한 현장실험”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.3, pp.194-200(2007).
3. 임채현, 김범규, 여용주, 박용환, “배연창 및 외기풍속이 초고층건축물의 연돌효과에 미치는 영향”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.4, pp.20-26(2008).
4. 조재훈, “고층 주거건축물에서 연돌효과로 인한 압력분포 예측 및 평가”, 서울대학교 대학원 박사학위논문(2005).
5. ASHRAE, “ASHRAE Handbook Fundamentals Ch.26 Ventilation and Infiltration”, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.(2001).
6. 임채현, 김범규, 박용환, “초고층주상복합건물에서 배연창 개방이 연돌효과에 미치는 영향에 대한 실험적 연구”, 한국방재학회논문집, Vol.9, No.3, pp.89-94(2009).