

초고층건축물에서 연돌효과에 의한 압력분포 특성연구

임채현 · 박용환
호서대학교 소방학과

Analysis on the Pressure Distribution Characteristics due to the Stack effect in High-rise buildings

Lim, Chae-Hyun · Park, Yong-Hwan
Dept. of Fire protection engineering, Hoseo University

1. 서론

초고층건축물에서 발생하는 건축물의 압력분포는 수직적인 압력분포와 수평적인 압력분포로 구분할 수 있다. 수직적인 압력분포는 실내·외 온도차 및 높이에 의한 연돌효과의 차압과 건축물의 개구조건, 외부 바람의 영향 등에 의해 결정되는 중성대의 높이가 중요한 인자가 되며, 수평적인 압력분포는 건축물 기밀도, 각 구획별 온도차, 누설틈새 및 연돌효과 등이 중요한 인자가 된다.

이러한 수직적, 수평적 압력분포는 건축물 내에서 공기유동을 형성하여 화재 발생 시 연기확산의 가장 큰 요인이 되며, 평상 시 부속실이나 특별피난계단 출입문에 압력으로 작용하여 출입문 개방 또는 폐쇄장해를 일으키는 등 초고층건축물에서 제연 및 피난안전 측면에서 필히 검토되어야 할 주요한 사안이 될 것이다.

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

고층건축물에서의 연기확산은 미국 WTC 및 MGM 그랜드호텔, 브라질 안드라스빌딩, 한국의 대연각 호텔 등의 화재사례에서와 같이 인명피해의 가장 큰 원인임을 알 수 있다. 연돌효과는 그림 1과 같이 건축물 내·외부의 온도차로 발생된 밀도차가 부력을 발생하여 공기가 건축물 수직방향으로 유동하는 현상을 말하며, 연돌효과의 차압은 식(1)과 같이 건축물 내·외부간의 온도차 및 높이에 따라 영향을 받는다.

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

단, ΔP_{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)

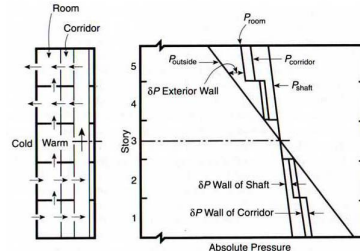


그림 1. 연돌효과에 의한 차압분포

2. 현장측정

측정 대상 건축물은 최근 건립이 급증하고 있는 초고층주상복합건축물 중 배연창이 시설된 서울소재 건축물로서, 지하6층, 지상40층, 높이168m 규모로 지하6층~지하2층은 주차장, 지하1층~5층은 판매시설, 6층~39층 오피스텔, 40층은 판매시설로 운영되고 있는 복합건축물로서 2개의 코어를 중심으로 복도 및 주거공간이 구성되어 있는 중앙코어방식의 초고층건축물이다. 외벽의 창호는 커튼월로 되어 있으며 오피스텔 층인 6층부터 39층까지는 건축법에 따른 배연창이 시설되어 있다. 이 배연창은 화재 발생 시 화재층 및 직상층의 배연창을 개방하는 방식으로 회로가 구성되어 있으며, 부속실에는 소방법에 따른 급기가압제연설비가 설치되어 있었다. 그림 2에서는 측정대상 건축물의 입면 및 평면을 나타내고 있다.

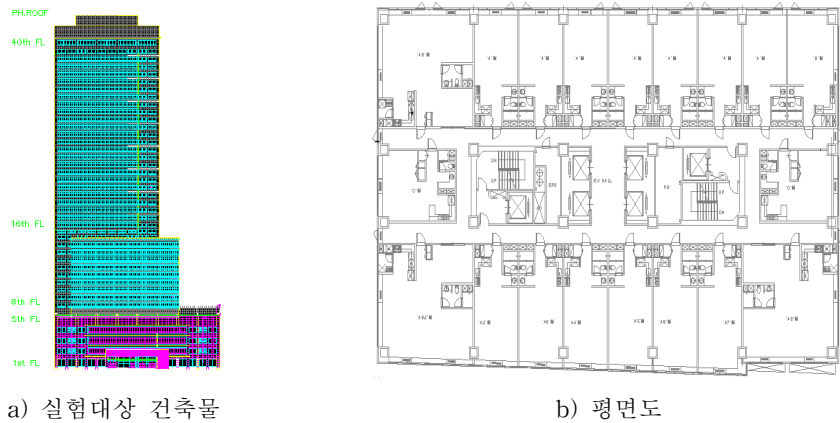


Fig 2. 실험대상 건축물의 구조 및 평면도

측정은 연돌효과가 크게 발생하는 겨울철에 실시하였으며 온도변화에 따른 정상상태에서의 연돌효과와 배연창 개방에 따른 연돌효과를 분석하기 위해 복도, 부속실, 계단실에서의 절대압력을 측정하였다.

측정장비는 표 1과 같이 절대압계, 차압계, 폐쇄력측정계, 풍속계 등을 사용하였다.

표 1. 실험측정 장비 구성

Instrument	Model	Range	Resolution	Accuracy
Pressure gauge	RUSKA(USA) series 6200	0~130kPa	1Pa	±1.0Pa
Digital manometer	DWYER(USA) series 477	0~5kPa	1Pa	±0.5%
Digital push pull gauge	SHIMPO(Japan) FGN-50B	±50Kgf	10g	±0.5%
Velocity gauge	TSI(Japan) 8386	5~60℃	0.1℃	±0.3℃
		0~50m/s	0.01m/s	±1.5%

측정은 이용객이 가장 적은 당일 00시부터 실시하여 청소원이 출근하는 05시까지 실시하였으며, 측정원의 구성은 각 층별 온도 및 압력측정 4명, 중앙감시실에서 배연창 상태 및 엘리베이터 운행여부 감시 1명, 비상용엘리베이터에 탑승하여 이용객 승하차시 부속실, 계단실 문 닫힘 확인 1명 등 총6명으로 구성하여 측정을 실시하였다

측정방법으로 정상상태에서는 계단실, 부속실 및 엘리베이터 등 모든 출입문과 외부창호가 폐쇄된 상태에서 전 층에 걸친 복도, 부속실, 계단실의 압력을 측정하였으며, 배연창 개방조건에서는 상부층(38층·39층개방), 중간층(19층·20층개방), 하부층(1층개방)의 배연창을 개방하여 조건별로 39층, 29층, 19층, 9층, 1층의 복도, 부속실, 계단실의 압력을 측정하였다.

배연창 개방조건은 심야시간대 오피스텔이라는 특성상 세대 내의 배연창은 개방하지 못하고 화재층 및 직상층의 복도 양 끝에 설치된 4개의 배연창 및 부속실, 계단실문을 개방하여 화재 발생 시 피난상황에 근접하도록 설정하였으며, 1층은 배연창이 없으므로 개방된 배연창 유효면적에 상당하는 출입문을 개방하고 부속실 및 계단실문을 함께 개방하였다. 표 2에서는 배연창 사양에 대해 설명하고 있다.

표3은 Case별 기후조건을 나타낸 것으로 측정결과 총 5회분 중 외기풍속이 상대적으로 낮은 유효한 데이터를 사용하였다. 분석에는 외기바람이 없는 조건으로 5℃, -1℃, -5℃를 사용하였으며 실내온도는 표 4와 같다.

Table 2. 배연창의 사양

Open Story	Size(m)	Valid area(m ²)	Open quantity	Total valid area(m ²)
38,39 F	1×1.3	0.65	8EA	8.32m ²
	0.3×1.3	0.39	8EA	
19,20 F	1×1.3	0.65	8EA	8.32m ²
	0.3×1.3	0.39	8EA	
1F	0.9×2.1	1.89	5EA	9.45m ²

Table 3. 실외 기상조건

Case	Temperature	Wind velocity	Weather
1	4.8℃ ~ 5.8℃	0.3m/s ~ 1.1m/s	Sunny
2	-0.8℃ ~ -1.4℃	0.4m/s ~ 0.7m/s	Sunny
3	-4.3℃ ~ -5.4℃	0.7m/s ~ 1.4m/s	Sunny

Table 4. 실내 온도

	Room	Corridor	Lobby	Stair
Temperature	22℃	21℃	20℃	19℃

3. 결과 및 고찰

3.1 정상상태

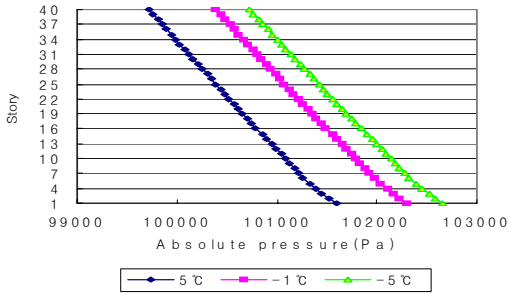
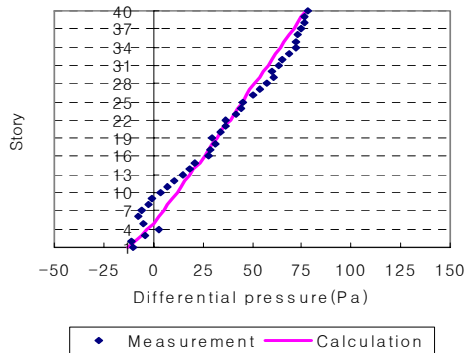


그림 3. 외기온도에 따른 절대압력분포

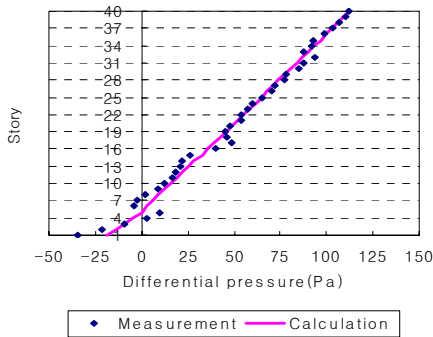
그림 3은 외기온도별 대기압을 절대압력으로 나타낸 그래프이다. 외기온도가 낮아질수록 대기압은 높아지고 고도가 높아질수록 대기압은 낮아지는 것을 볼 수 있다. 온도변화에 따라 1층에서 40층까지의 압력 차이는 5°C에서는 1872Pa, -1°C에서 1914Pa, -5°C에서는 1942Pa로 외기온도 변화에 따라 절대압력 및 기울기가 변화하는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 외기온도별 계단실과 대기와의

차압을 측정 및 계산에 의해 나타낸 그래프로써 고도가 높아질수록 선형적으로 증가하는 연돌효과를 확인할 수 있다. 연돌효과에 의한 차압은 측정결과 5°C 88Pa, -1°C 146Pa, -5°C 163Pa이고 이론에 의해 계산결과는 5°C 90Pa, -1°C 131Pa, -5°C 159Pa로서 측정결과 및 계산결과가 전반적으로 유사하게 나타났다. 연돌효과에 의한 중성대는 건축물의 기밀도 및 개구율 등에 따라 결정되는데, 본 건축물에서는 1층 로비 3면에 분산된 출입구와 지하주차장 램프를 통한 외기 유입 등으로 개구율이 상대적으로 큰 저층부에 형성되었으며, 모든 온도조건에서 건축물 높이의 18% 전후인 5층 정도에 중성대가 형성되었다.

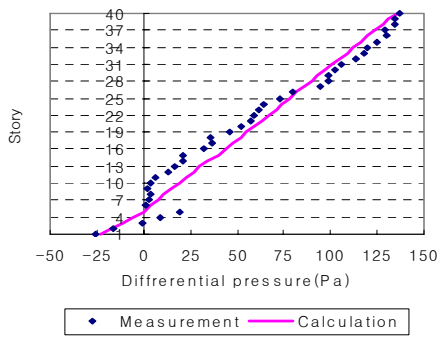
이렇게 낮게 형성되는 중성대는 최근 건립이 급증되고 있는 주상복합건축물의 공통된 문제점으로 저층부에는 화재의 위험성이 상대적으로 높은 판매시설이나 위락시설이, 중·상층부에는 주거시설이 배치되어 있어 판매시설이나 위락시설에서의 화재발생 시 중·상층부인 주거시설 전체가 연기로 오염될 수 있으며 상층부에서는 연돌효과에 의한 과압으로 피난문 개방/폐쇄 장애로 인한 재실자의 안전한 피난과 연기 및 화재의 확산방지에도 어려움을 가져 올 수 있다.



a) 외기온도 5°C



b) 외기온도 -1°C



c) 외기온도 -5°C

그림 4. 외기온도 조건에 따른 차압분포

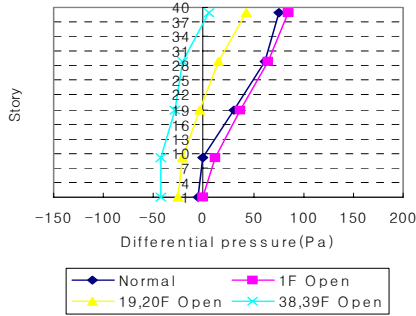
3.2 배연창개방

그림 5는 외기온도별 배연창 개방에 따른 계단실과 대기와의 차압을 나타낸 그래프로써 외기온도 변화에 따라 연돌효과에 의한 차압은 증가하고 중성대는 배연창 개방층 쪽으로 이동하는 특성을 볼 수 있다.

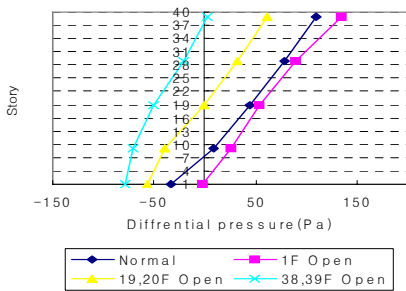
이러한 중성대의 이동은 상층부인 38,39층의 배연창이 개방되는 경우에는 이하 전 층의 계단실은 부압이 형성되고 저층부인 1층이 개방되는 경우 이상 전 층의 계단실은 양압이 형성되는 압력분포 특성을 나타내고 있는데 이러한 압력분포는 화재발생 시 연기거동과 밀접한 관계가 있어 저층부에서 배연창을 개방할 경우 연기의 부력이나 팽창력보다 연돌 효과에 의한 유입기류가 강하거나, 외기바람의 영향에 의해 연기가 배출되지 못할 경우 수직 샤프트로 유입된 연기는 연돌효과에 의해 더욱 큰 차압으로 상층부를 오염시킬 수 있으며 상층부에서는 연돌효과에 의한 차압으로 계단실의 피난문 개방장애를 가져올 수 있다.

차압이 가장 크게 발생하는 외기온도 -5°C 의 경우 38,39층 배연창 개방조건에서는 1층에서 -126Pa 의 최대차압이 발생하였으며 1층 개방조건에서는 39층에서 159Pa 의 최대차압이 발생하였다.

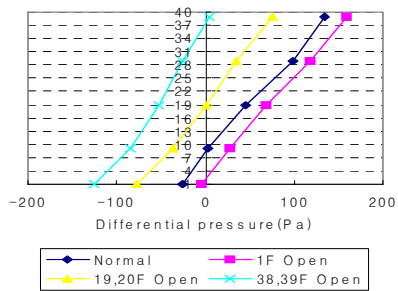
38,39층 배연창 개방조건에서의 1층 부속실문 개방력은 130N 정도가 나왔으며, 1층 개방조건에서의 39층 부속실문 개방력은 140N 정도로 국가화재안전기준(NFSC)에서의 110N 이하를 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 피난을 위해 부속실과 계단실문이 동시에 개방할 경우 연돌효과에 의한 기류흐름으로 계단실문이 완전히 닫히지 않아 연기 및 화재확산이 이루어 질 수 있음을 확인하였다.



a) 외기온도 5°C



b) 외기온도 -1°C



c) 외기온도 -5°C

그림 5. 배연창 개방 시 차압분포

4 결론

(1) 외기온도별 계단실과 대기와의 차압은 측정결과는 5°C 88Pa, -1°C 146Pa, -5°C 163Pa 이고 이론에 의해 계산결과는 5°C 90Pa, -1°C 131Pa, -5°C 159Pa로서 측정결과 및 계산결과가 전반적으로 유사하게 나타났다. 연돌효과에 의한 중성대는 주상복합건축물의 특성상 하부층의 개구율이 커서 건축물 높이의 18% 전후인 5층 정도에 형성되었다. 이렇게 낮게 형성되는 중성대는 저층부에는 화재의 위험성이 상대적으로 높은 판매시설이나 위락시설이, 중·상층부에는 주거시설이 배치되어 있어 판매시설이나 위락시설에서의 화재발생 시 중·상층부인 주거시설 전체가 연기로 오염될 수 있음을 확인했다.

(2) 배연창 개방에 따른 연돌효과의 변화는 외기의 유입으로 차압은 증가하고 중성대는 배연창 개방층 쪽으로 이동하는 특성을 확인 할 수 있었다. 차압이 가장 크게 발생하는 외기온도 -5°C의 경우 38,39층 배연창 개방조건에서는 1층에서 -126Pa의 최대차압이 발생하였으며 1층 개방조건에서는 40층에서 159Pa의 최대차압이 발생하였다. 또한, 38,39층 배연창 개방조건에서의 1층 부속실문 개방력은 130N, 1층 개방조건에서의 40층 부속실문 개방력은 140N 정도로 국가화재안전기준(NFSC)에서의 110N이하를 초과하여 노약자나 어린이의 피난장애를

예상할 수 있었다.

참고문헌

1. 임채현,김범규,여용주,박용환, “배연창 및 외기풍속이 초고층 건축물의 연돌효과에 미치는 영향”, 한국화재소방학회논문지, v22, no4, pp20~26(2008)
2. 임채현,김범규,여용주,박용환, “초고층 건축물에서 배연창 개방이 연돌효과에 미치는 영향”, 한국화재소방학회지, 2008년도 춘계 학술논문발표회, pp209~213(2008)
3. EN 12101-6, Smoke and Heat Control Systems(2005).
4. G. T. Tamura, Smoke Movement & Control In High-rise Building, NFPA(1994).
5. John H. Klotz & James. A. Mike, Principles of Smoke Management, ASHRAE(2002).
6. ASHREA, ASHRAE Handbook Fundamentals Ch.25 Ventilation and Infiltration(2001).
7. NFSC 501A, 특별피난계단의 계단실 및 부속실제연설비의 화재안전기준(2007).
8. 건설교통부, 건축법 시행령 제87조(2008).