

초고층 건물의 제연영향요소에 따른 수직피난공간 압력분포 시뮬레이션

최 승 혁[†], 이 동 윤^{**}, 전 현 도^{**}, 박 진 철^{***}

(주)한일엠이씨 부설 기술연구소[†], 중앙대학교 대학원^{**}, 중앙대학교 건축학부^{***}

A Study on the Pressure Difference of Smoke Control Influence Factor in the Super High-rise Building

Seung Hyuck Choi[†], Dong Yun Lee^{**}, Hyun Do Jun^{**}, Dong Yun Lee^{***}

R&D Institute, Hanil M.E.C, 15-1, Yangpyung-dong 3-ga, Yeongdeongpo-gu, Seoul 150-103, Korea

Department of Architecture, Graduate Student, Chung-Ang University, Seoul, Korea

Department of Architecture, Chung-Ang University, Seoul, Korea

ABSTRACT: These days, the super high-rise buildings construction plans are increased in Korea. But the stack effect in the super high-rise building interrupts the smoke control system's operation because of pressure difference, so it is more dangerous than the general building when firing. Therefore it needs to study about the pressure difference in the super high-rise buildings. We research the smoke control influence factor in the super high-rise building. Reflecting the influence factor, the simulation is practiced the case by case.

Key words: Smoke Control Influence factor(제연 영향요소), Pressure Difference (압력분포), High-rise building (초고층 건물), ContamW

1. 서 론

한정된 공간에서 최대한의 공간효율을 가질 수 있고, 랜드마크적 관점에서 최근 국내에서는 초고층 건물이 급속도로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 초고층 건물의 경우 수직 높이의 증가로 인하여 피난시간이 일반건물에 비해 2~3배 지연되기 때문에 화재 발생 시 안전성에 문제가 발생될 여지가 있다. 또한 수직적 공간에서 발생하는 연돌효과로 인하여 제연 구역의 제연성능이 저해되고 있어 초고층 건물의 수직피난공간에 대한 압력분포에 관한 연구가 필요한 상황이다.

초고층 건물의 제연성능 발휘를 위한 압력분포를 분석하기 위해서 기존 연구문헌고찰을 통해 초고층 건물의 제연 영향요소를 도출하고, 그에 따른 압력분포 시뮬레이션을 통하여 문제점을 알아보고자 한다.

국내외의 법규를 최대한 고려하였고, 초고층 건물의 높이에 따른 압력분포를 위주로 분석하기 위해서 지하층의 영향은 최소한으로 설정하였다. 현재 엘리베이터는 피난도구로 인정되지 않고 있으며, 국내에서는 엘리베이터 샤프트와 엘리베이터 전실에 대한 제연설비를 설치하고 있지 않으므로, 수직적 공간의 압력분포 시뮬레이션은 계단실을 중심으로 분석할 예정이다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-6340-3083; fax: +82-2-6340-3039

E-mail address: seunghyuck.choi@himec.co.kr

2. 초고층 건물에서의 제연 특성

2.1 초고층 건물의 소방적 특성

초고층 건물은 그 높이와 규모로 인하여 일반적인 건물보다 더 많은 피해를 받는 문제점을 지니고 있다. 강풍과 지진, 태풍이나 진동 등의 환경적인 재해뿐만 아니라 화재, 테러 등의 사회적 재해에 대해서 더 많은 고려를 기반으로 초고층 건물을 설계하여야 한다. 사회적 재해 중에서도 화재에 관련된 초고층 건물의 소방적 특성에 대해서 요약하면 다음과 같다

(1) 연돌효과로 인한 화재의 빠른 확산

초고층 건물의 경우, 일반적인 건물들보다 훨씬 긴 수직적 통로가 생기기 때문에 연돌효과는 더욱더 심화된다. 연돌효과가 생기는 엘리베이터 실과 계단실, 설비 샤프트 등의 공간으로 화재로 인한 연기가 유입되게 되면 수직적 통로는 하나의 굴뚝이 되어서 건물 전체로 연기를 전달하는 통로가 될 수도 있다.

(2) 피난거리 연장으로 인한 피난시간 증가

초고층 건물은 높이와 규모가 상당히 많고 많은 사회적 공간으로 인해서 인구가 많이 존재한다. 화재 시에는 원칙적으로 엘리베이터의 사용을 금지하고 있어, 계단실을 통해서 모든 사람이 대피하여야 하고, 피난거리도 일반건물의 2-3배에 달하는 초고층 건물의 경우 피난시간이 많이 증가할 수밖에 없다.

(3) 인구 집중으로 인한 인적 위험성 증가

초고층 건물은 숙박시설, 위락시설, 집회시설, 공연시설 등의 공간이 필요에 따라 분할하고 구획을 하게 되는데, 관람시설이나 공연시설 등은 많은 사람들이 좁은 공간 내에서 존재하게 되므로 갑작스러운 화재경보로 인하여 패닉 현상이 일어나 제대로 된 피난이 이루어지지 않을 수 있다.

(4) 외부 소방력 지원의 한계

최근에 건설되는 초고층 건물들은 외부 커튼월을 유리구조로 쓰는 경우가 많이 있다. 초고층 건물의 경우, 초고층에서의 강한 풍압과 연돌효과 저감을 위해서 창을 열 수 없게 설계하거나 열리더라도 작은 범위내로 개폐 가능하도록 설계한다. 이러한 유리구조물은 화재에 취약하여 화재 시 높은 열로 인하여 파손되면 산소의 공급통로가 되고, 연돌효과를 심화시킬 수 있다. 또한 창이 개폐가 한정적이기 때문에 소방 사다리차가 접근하여도 소방관이 마땅히 건물 내부로 침투할 수 있는 곳이 있지 않다.

2.2 제연설비의 영향요소

(1) 연돌효과

연돌효과(Stack effect)는 건물 내·외부의 온도차로 인하여 공기의 밀도 차가 생겨 압력의 차로 인해서 발생한다. 겨울철에는 건물의 내부는 따뜻하고 외부는 차기 때문에 지표면 상에서는 건물의 외부의 압력이 더 높다. 압력차로 인하여 지표면에서는 건물의 외부에서 내부로 공기가 이동하고 건물 내부로 들어온 공기는 따뜻한 온도로 인하여 상승한다. 이러한 건물 내부의 수직적 공간에서 발생하는 공기의 흐름을 연돌효과라고 정의한다.

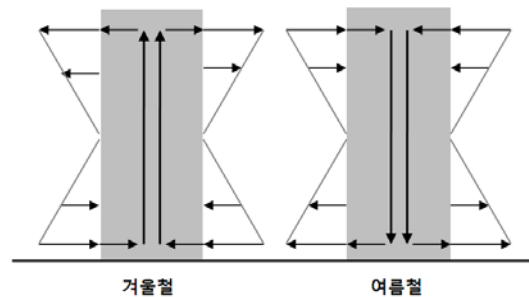


Fig 1 Stack effect

건물 내부와 외부의 온도차로 인하여 공기의 밀도차가 생기고, 이로 인해 건물 외벽에 생기는 밀도차는 건물의 높이가 높아짐에 따라서 커지게 된다. 따라서 초고층 건물의 높이가 높을수록 연돌효과 문제가 심화된다는 것을 알 수 있다.

(2) 제연구역의 차압유지

제연구역을 보호하기 위해 일정한 압력 유지를 통해 차압효과를 확보하여야 한다. 차압효과를 저해하는 초고층 건물 내의 연돌효과에 대해서도 충분한 고려를 통해서 제연설비를 설치하여야 한다. 따라서 제연구역의 틈새로 연기가 침입하지 못하는 최소한의 압력을 설정하여 제연구역의 차압효과를 유지하여야 한다.

(3) 방연풍속

제연구역은 화재 시에 연기가 침입하는 것을 방지 하면서도 피난인원의 안전한 진입을 유도하여야 한다. 따라서 피난문은 수시로 열리고 닫히게 되어 일정하게 유지되어야할 압력이 수시로 변화하게 되는데, 피난문이 열렸을 때 급격하게 압력이 낮아지게 된다. 피난문이 열렸을 때를 대비하여 제연구역 내의 제연용량을 늘리기 보다는 일시적으로 차압효과를 낼 수 있는 방연풍속을 통해서 압력을 유지한다.

(4) 신선외기의 공급

차압제연 설비는 제연구역 내로 공기를 공급하여 다른 공간보다 높은 압력을 유지하여 차압(Pressure Differential)을 형성하는 것이다. 제연구역 내로 일정한 압력으로 지속시키기 위해서는 공기의 누설량만큼 공기를 공급하고, 방연풍속을 유지시키기 위한 보충량을 공급해야하기 때문에 가압공간의 신선외기 공급량은 누설량과 보충량과의 합과 같아야 한다.

(5) 방화문

가압제연설비를 이용하여 제연구역의 압력을 조절할 때 가장 중요한 것 중에 하나는 개구부의 밀폐 상황으로 방화문이 닫히지 않는다면 제연 성능을 발휘하지 못한다. 또한 제연구역에서 발생할 수 있는 과압 때문에 문의 개폐에 문제가 되는 110N 이상의 힘이 가해지지 않도록 압력을 조절하고 있다. 방화문이 닫히는 힘은 열리는 힘과 관련이 많을 수밖에 없는데 방화문의 열리는 힘을 110N 정도로 설정하였을 때, 닫히는 힘은 최대 70N 정도가 된다 따라서 일반적으로 쓰이는 방화문에서 닫히는 경우에 작용하는 최대압력은 37Pa 정도가 된다.

3. 초고층 건물의 제연 영향요소에 따른 수직피난공간 압력분포 시뮬레이션

3.1 초고층 건물의 제연 영향요소

고층 건물의 연돌효과를 분석한 논문들을 분석해본 결과 건물 내부의 압력분포에 영향을 미치는 요소는 건물의 높이와 기밀도에 의하여 변화하는 것을 알 수 있었다. 또한 많은 제연 기준들이 방화문에서의 차압을 기준으로 삼고 있어 방화문의 상태변화에 대한 고려가 필요한 것을 알 수 있었다. 제연설비에서 압력분포에 영향을 미치는 요소로는 제연구역의 분류에 따른 제연설비, 배연방식으로 나누어 볼 수 있다.

Table 1 Smoke control influence factor in the super high-rise building

	분류	비고
건축적 요소	건물의 코어계획	-초고층 건물의 계단실 코어계획
	건물의 높이	-초고층 건물의 높이별 압력분포
	내·외부 기밀도	-기밀도의 정도별 압력분포
제연설비적 요소	제연구역의 분류	-계단실·부속실 동시가압 -부속실 단독가압
	배연 방식	-배연창, 기계배연, 스톱코타워

3.2 초고층 건물의 압력분포 시뮬레이션

(1) 시뮬레이션 프로그램

National Institute of Standard and Technology에 의해 개발된 CONTAMW를 사용하였다. CONTAMW는 많은 층과 많은 공간 구획을 가진 초고층 건물을 분석하는데 용이하고, 틈새 면적의 고려로 인하여 이에 대한 기류량 분석이 가능한 네트워크 시뮬레이션이다. CONTAMW는 건물 내에서 생기는 압력과 기류의 결과를 통해 연돌효과 분석과 실내 오염도 분포, 제연 공간의 압력 분포 등을 분석할 수 있다.

(2) 시뮬레이션 입력변수

1) 외기조건

대상건물에서 적용된 시뮬레이션 외기조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Simulation input weather data

입력 기상데이터	조건	비고
온도	외기 온도	-0.9 ℃ 겨울철 서울지역 평년값(1971-2000) 평균 자료
	실내 온도	22.0 ℃ Ministry of Construction and Transportation, Design standards of Energy Conservation in Building, 2001.5. [Appendix Table 7]
압력	대기압	101.3 kPa 표준대기압
바람	겨울철 풍향	WNW 기상연보 2007
	평균풍속	2.5 m/s 겨울철 서울지역 평년값(1971-2000) 평균 자료

2) 제연기준

제연구역 압력기준은 최소차압의 경우 스프링클러가 설치되어 있다는 가정 하에 12.5Pa, 최대차압은 50Pa로 설정하여 분석하였다.

3) 피난상황

피난층 즉 지상층에서 지상으로 통하는 출입구들은 모두 피난 방향으로 열려 있다고 설정하고, 지상층 위로 2개 층을 열려 있다고 설정하여 실제 빈번히 일어나는 문의 개폐상황을 표현하려고 하였다. 문의 열린 상황에서는 0.75 m/s 이상의 방연풍속이 나오도록 설정하여 제연구역의 안전을 도모하였다.

4) 소방설비조건

대상 건물은 바닥 면적이 1200 m² 이고, 스프링클러가 설치되어 있으며, 벽 및 반자의 실내에 접하는 부분의 마감을 불연 재료로 시공했다고 가정하여 방화구획을 하지 않았다.¹⁾ 또한 저층화

1) 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 제14조 (방화구획의 설치기준)

재와 고층화재로 분류하여 영향요소별로 분석하여 시뮬레이션 하였다. 화재층의 경우, 계단실과 이어지는 피난로가 개방되어 있다고 가정하여, 충분한 제연이 이루어지도록 설정하였다.

5) 기준평면

시뮬레이션 기준평면을 다음 그림 1과 같이 나타냈고, 이에 대한 시뮬레이션 설정조건을 표 3과 같이 정리하였다.



Fig 2

Table 3 시뮬레이션 설정 조건

구분	시뮬레이션 설정조건
기준평면	1200 m ² = 40m(가로) × 30m(세로)
구성	코어 1 - 계단실, 부속실 코어 2 - 계단실, 비상용 E.V, 비상용 E.V. 전실
건물 층고	1~3 층 : 6m 4층 이상 : 4m

(3) 영향요소 시뮬레이션

Table 4 시뮬레이션 분석조건 개요

구분	비교조건	기본조건
시뮬레이션1	피난문의 상태 모든 피난문 닫힘	지상층+(10층, 20층) : Open 나머지 층 : Close
시뮬레이션2	기밀도 Curtain wall (1.14 cm ² /m ²) Precast Concrete panel (3.01 cm ² /m ²) Glass and metal Curtain wall (5.07 cm ² /m ²)	Curtain wall
시뮬레이션3	배연방법 배연창 기계배연 스모크타워 화재위치 저층화재 고층화재	기계배연 -
시뮬레이션4	건물의 높이 100 m 200 m 300 m 500 m	100 m
시뮬레이션5	가압방식 부속실 단독가압방식 계단실 및 부속실 동시가압방식	부속실 단독가압방식

초고층 건물의 영향요소에 관한 시뮬레이션 분석 조건에 관하여 정리한 표는 다음 표 4와 같다. 영향요소 시뮬레이션에서 비교조건 이외의 조건들은 기본조건을 따른다.

(4) 영향요소 시뮬레이션 결과

1) 시뮬레이션 1 결과 : 큰 개구부가 없이 건물 내부를 기밀하게 만든 상태에서 제연구역을 가압하였기 때문에 매우 적은 급기량으로도 충분한 차압성능을 발휘하였다. 계단실과 부속실 겸 전실로 구성된 코어2의 경우 비상용 엘리베이터 샤프트의 영향을 받아 더 많은 급기량이 필요한 것으로 나타나, 부속실 단독가압방식을 적용할 경우에는 계단실과 부속실로 구성된 코어1이 더 효과적인 것으로 나타났다. (Fig 3)

2) 시뮬레이션 2 결과 : 건물 외부벽의 기밀도를 3가지로 나누어 분석하여 Fig 4같이 높이별 압력분포를 나타내었다.. 기밀도가 높아짐에 따라서 건물 내부의 압력이 상승하였고, 그 때문에 제연구역의 압력 유지에 더 많은 제연용량이 필요한 것으로 나타났다. 다만 기밀도의 상승으로 공기조화설비의 효율은 더 높아질 것이라고 생각하므로 전체적인 제연용량에서는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각한다.

3) 시뮬레이션 3 결과 : 배연창, 기계배연 그리고 스모크타워를 비교해본 결과, Fig 5와 6과 같이 배연창, 배연기기, 스모크타워순으로 압력분포가 이루어지는 것을 알 수 있었다. 배연창은 국내 기준의 영향으로 10 m²이상 설치하여야 했기 때문에 너무 많은 공기가 배연창으로 유입되거나 유출되었기 때문에 건물 전체의 압력 분포에도 악영향을 미쳐 제연용량이 급격히 증가하였다. 스모크타워의 경우는 실의 전용면적이 줄어들고 실내의 압력에 따라서 스모크타워 댐퍼의 면적을 조절할 수 있는 시스템을 구축하여야 한다. 또한 스모크타워는 내화성과 내열성에 대해서 일정 이상의 성능을 유지할 수 있어야 하며, 화재층 이외의 층에서는 댐퍼가 열리지 않아야 제대로 된 성능을 낼 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 스모크타워를 설치하였어도 다른 층의 차압유지와 방연풍속을 위해서 기계배연을 층마다 하여야 하는 단점 때문에 초고층 건물에서는 기계배연이 조금 더 효과적인 배연방법이다.

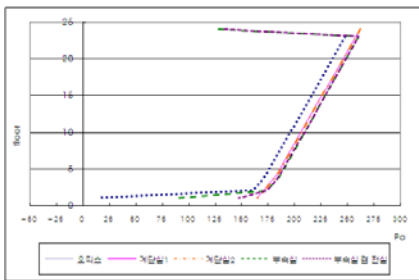


Fig 3 Simulation 1 Pressure difference by each room

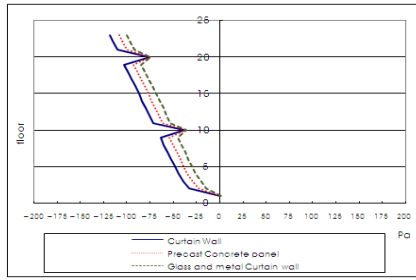


Fig 4 Simulation 2 Pressure difference in wall by each component



Fig 5 Simulation 3 Pressure difference in attached room

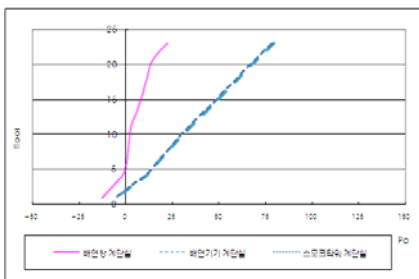


Fig 6 Simulation 3 Pressure difference in stairwell

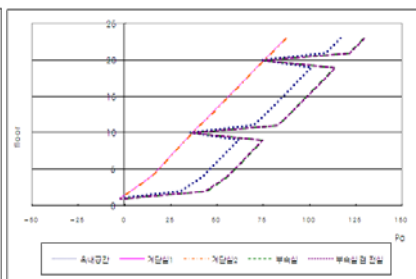


Fig 7 Simulation 4-1 Pressure difference in each room (100m)

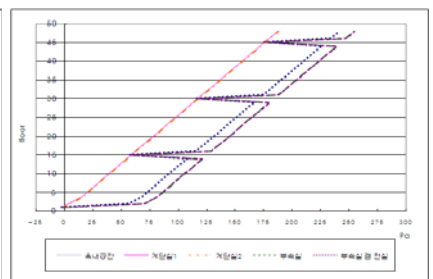


Fig 8 Simulation 4-2 Pressure difference in each room (200m)

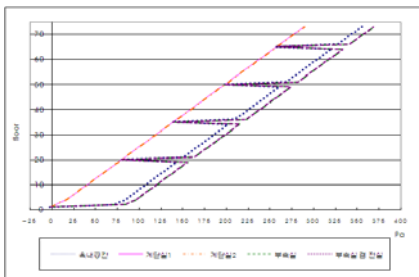


Fig 9 Simulation 4-3 Pressure difference in each room (300m)

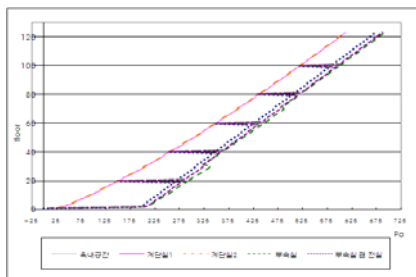


Fig 10 Simulation 4-4 Pressure difference in each room (500m)

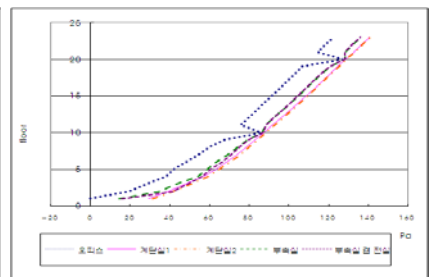


Fig 11 Simulation 5 Pressure difference in case

4) 시뮬레이션 4 결과 : 건물의 높이에 따라서 4가지 케이스로 분류하여 건물 내부의 압력분포를 Fig8-10까지 나타내었다. 건물 내의 재실자들이 피난을 위해서는 피난문을 열고 닫는 과정이 반복되는데 이 과정에서의 압력분포와 공기의 흐름을 연구하였다. 피난문이 개방되어 방연풍속을 위한 제연설비가 작동하였을 때, 계단실의 피난문에서 높은 압력으로 인한 폐쇄 불가능 현상이 일어났다. 그리고 부속실의 피난문이 닫히고, 계단실의 피난문이 열릴 경우, 일정하게 유지되어야 할 차압이 무력화되어 피난문의 틈새로 소량이나마 연기가 침투하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 건물의 높이가 높아지면 높아질수록 더욱 크게 작용하는 것으로 나타났다..

적용하여 건물 내 압력분포를 Fig11과 같이 나타내었다. 계단실의 피난문에서 과대한 압력이 작용하여, 피난문이 닫히지 않는 문제점을 개선하기 위해서 계단실 및 부속실 동시가압방식을 적용해보았다. 피난 시의 상황을 가정하기 위해서 지상층이 개방되어 있다고 하였는데, 이로 인해 계단실로 가압된 공기들이 대부분 지상층으로 빠져나가고 있었다. 따라서 계단실 가압의 효과를 제대로 발휘하지 못하였고, 부속실을 다시 가압하며 옥내공간에서는 배연을 통해 차압을 유지하여야 했다. 계단실 및 부속실의 동시가압방식은 지상층의 피난문이 열린 상황에서는 성능 발휘를 위한 제연용량이 너무 크기 때문에 부속실 단독가압방식이 더 효과적이다.

5) 시뮬레이션 5 결과 : 부속실 단독가압방식을

5. 결론

초고층 건물은 그 높이와 규모로 인하여 일반적인 건물보다 화재에 대해서 취약한 특성을 가지고 있다. 먼저 초고층 건물 내부에서 필연적으로 존재하는 수직적 공간에서 발생하는 연돌효과로 인하여 화재의 빠른 확산이 일어날 수 있다. 초고층 건물에서 화재가 발생되면, 연돌효과로 인하여 화재 속도도 빠르고, 피난거리도 상당히 때문에 피난시간도 길어질 수밖에 없다. 초기에 화재를 진압하지 못한 경우, 재실자들의 안전한 피난이 이루어져야 하는데 이 때 중요한 것은 제연구역의 안전한 보호이다. 초고층 건물에서는 제연구역의 보호를 위해서 제연구역 내의 압력을 높여 연기의 침입을 방지하는 방법을 주로 사용하고 있다.

초고층 건물에서 제연구역 내의 압력을 일정하게 유지시키기 위해서는 건물 내의 제연 영향요소에 따른 압력의 변화 현상에 대해서 연구하여야 한다. 따라서 제연 영향요소를 도출한 결과, 건물의 높이, 외피 기밀도, 제연구역의 분류, 제연방식 등에 따라서 분류하였다. 이를 반영하여 시뮬레이션을 통해서 초고층 건물에 적용하여 분석하였다.

1) 초고층 건물의 코어 구성 계획을 분석한 결과, 계단실과 부속실 겸 전실로 구성된 코어2의 경우 비상용 엘리베이터 샤프트의 영향을 받아 더 많은 급기량이 필요한 것으로 나타나, 계단실과 부속실로 구성된 코어1이 더 효과적인 것으로 나타났다.

2) 건물 외부벽의 기밀도를 3가지로 나누어 분석한 결과, 기밀도가 높아짐에 따라서 건물 내부의 압력이 상승하였고, 그 때문에 제연구역의 압력 유지에 더 많은 제연용량이 필요한 것으로 나타났다.

3) 건물 내 압력분포를 배연방법을 다르게 하여 분석해본 비교 분석한 결과, 배연창은 배연에 필요한 창 크기가 크기 때문에 제연공간 압력 유지에 악영향을 끼치고, 스모크타워 배연보다 기계배연이 보다 효과적이고 경제적인 것으로 나타났다.

4) 건물 높이별로 건물 내 압력분포를 분석해본 결과, 건물의 높이가 높아질수록 건물 내부의 압력은 점차로 증가하여 제연용량이 증가하였다. 건물의 높이가 100m 이상이 되었을 때, 계단실의 피난문에서 작용하는 차압으로 인하여 피난문이 감당할 수 있는 폐쇄력 이상의 압력이 작용하여, 피난문이 닫히지 않는 문제가 발생하였다. 또한

옥상층의 피난문에서도 역시 연돌효과로 인한 과압으로 인하여 같은 문제점이 발생하였다.

5) 가압방식별 제연용량을 분석한 결과, 계단실 및 부속실의 동시가압방식은 지상층의 피난문이 열린 상황에서는 성능 발휘를 위한 제연용량이 너무 크기 때문에 부속실 단독가압방식이 더 효과적이다.

후 기

본 연구는 소방방재청이 주관하고 시행하는 2009년도 ‘초고층 건축물 제연시스템 개발’ 과제로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 조재훈, 고층 주거건물에서 연돌효과로 인한 압력분포 예측 및 평가, 서울대학교 대학원 박사학위연구, 2005
2. 이광호, 초고층 주상복합 건물의 기밀 성능 및 연돌효과 특성에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위연구, 2005
3. 이중훈, 백인희, 건물특성을 고려한 종합적 연돌효과 대책방안 구축 및 적용, 한국설비기술협회 설비/공조·냉동·위생 2008년 2월호 pp96~107
4. 구성훈, 고층 건물에서의 연돌효과로 인한 압력차 저감 방안에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사논문, 2005
5. 이광호, 초고층 주상복합 건물의 기밀 성능 및 연돌효과 특성에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사논문, 200
6. 여용주, 초고층 건물의 성공적인 연기제어를 위한 연돌효과 대책, 한국설비기술협회 설비/공조·냉동·위생, 2008년 2월호 pp70~8
7. NFPA, National Fire Protection Association 92A
8. George N. Walton, W. Stuart Dols, CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation, NISTIR7251
9. John H. Klote, SMOKE CONTROL, SPPE Handbook of fire protection Engineering, 2nd Edition, Chapter 12, Section 4, pp230-245