

초고층 주거용 건물에서의 연돌효과 영향 분석

Analysis of the Impacts of Stack Effect in High-rise Residential Buildings

양인호* 조재훈** 김광우 여명석***
Yang, In-Ho Jo, Jae-Hun Kim, Kwang-Woo Yeo, Myoung-Souk

Abstract

The objectives of this study are to clarify the impacts of stack effect in high-rise residential buildings and to present technical methods to reduce stack effect. For the evaluation of stack effect, architectural design guidelines were used and computer program simulations based on network model were performed. The evaluation shows that problems due to stack effect may be reduced by appropriate architectural designs, such as increase in air-tightness of building envelop, and provision of vestibules around entrance and elevator hall doors.

Keywords : Airflow Analysis, High-rise Residential Buildings, Pressure Difference, Stack Effect

I. 서 론

최근 국내에서 증가하고 있는 고층건물의 경우, 건물 내에서의 강한 공기의 수직 유동흐름 즉, 연돌효과(stack effect)로 인한 문제가 많이 발생되고 있다. 이러한 연돌효과는 특히 실내의 온도차가 커지는 겨울철, 고층건물에서 심각한 문제를 일으키는데, 공기의 유출입에 따른 에너지 손실, 엘리베이터 문의 오동작, 코어 부근에 있는 실에서 출입문 개폐의 어려움, 침기 및 누기에 따른 소음, 강한 외기 유입에 의한 불쾌감 유발 등의 문제를 야기하고 있다. 특히 초고층 주거용 건물의 경우에는 이러한 문제점들 이외에도 저층부 주차장의 차량매기 및 냄새의 상층부로의 급속한 확산, 상층부에서의 결로발생 가능성 증대, 현관출입문 개폐의 어려움 등과 같은 문제들도 발생하게 된다.

따라서 이에 대한 대책 마련이 요구되고 있으며, 여기서 연돌효과에 대한 대책으로는 기존의 연구에 의하면 설비적 방안보다는 건축계획적 방안이 더 효율적이고 바람직한 것으로 밝히고 있다. 따라서 연돌효과로 인한 문제점을 효과적으로 해결하기 위해서는 설계초기단계에서 적용할 수 있는 건축계획 방안의 개발이 필요하다.

*정회원, 서울대 공학연구소, 공학박사
**정회원, 서울대 대학원 박사과정
***정회원, 서울대 건축학과, 건축학박사
****정회원, 성균관대 건축공학과 조교수, 공학박사

이 논문은 서울대 공학연구소, 2002년도 두뇌한국21사업의 지원으로 진행되었음

이를 위하여 본 연구에서는 기존 연구¹⁾에서 개발한 연돌효과에 대비한 계획지침을 실제 주거용 건물에 적용하여 연돌효과로 인한 문제발생 가능성을 검토하고 연돌효과 저감방안에 대한 대안을 마련한 후, 시뮬레이션을 통해 분석한 결과와 비교한다. 이를 통해 건물에서 발생할 수 있는 연돌효과로 인한 문제점을 해결하기 위하여 요구되는 건축계획 대안을 제시하여, 연돌효과로 인한 제반 문제점들을 미연에 방지할 수 있도록 하고자 한다.

II. 연돌효과에 대한 이론적 고찰

1. 연돌효과의 원리

연돌효과는 건물 내외부 공기기둥의 무게차이에 의한 압력차로 인해 발생한다. 이러한 공기의 압력차이 때문에, 건물 내부가 따뜻하고 건물 외부가 차가운 겨울철 지표면상의 외부 기압보다 건물 내부 기압이 낮게 된다. 이 압력차 때문에 지표면 상에서 건물로 들어온 공기는 다시 공기의 밀도차로 인해 수직적으로 발생하는 압력차에 의해 건물 내부의 상부로 이동하며, 이는 건물 높이와 건물 상하층부 침기와 누기의 정도에 따라 달라지게 된다.

연돌효과로 인한 이론적인 압력차는 다음 식(1)에 의

1) 한국FM학회, 고층건물의 연돌효과에 대비한 건축계획 지침 개발, 2001.7

해서 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= g\Delta\rho(N-h) \\ &= g\rho_o(\Delta T/T_i)(N-h) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, ΔP_s : 연돌효과로 인한 압력차 [Pa]

T : 실내온도 [K]

g : 중력가속도 9.81[m/s²]

r : 공기밀도 [kg/m³]

h : 측정점 높이 [m]

N : 중성대의 높이 [m]

(하첨자 i는 실내, o는 외부)

2. 해석 프로그램

연돌효과 영향을 평가하기 위해서는 건물내에서의 공기유동량에 대한 체계적인 분석이 필요하다. 본 연구에서 연돌효과의 정량적 분석을 위해 네트워크모델 알고리즘을 기본으로 미국 NIST에서 개발하여 지금까지 다수의 연구에 적용되어 우수한 신뢰성을 인정받은 CONTAMW²⁾ 프로그램을 사용하였다.

III. 연돌효과 영향 분석

1. 분석 대상 건물 개요

초고층 주거용건물에서의 연돌효과 영향분석을 위한 대상 건물은 서울 강남구에 위치한 지하 6층, 지상 55층의 주거용이 대부분을 차지하는 주상복합 건물로서 건물의 최고 높이는 184 m, 건축면적은 약 8,100 m²(약 2,500평), 연면적은 약 30만 m²(약 9만평)에 이르는 초고층 건물이며, 건물 개요는 표 1과 같다. 건물의 엘리베이터는 그림 2와 같이 오피스텔용 4대(지하 1층~10층), 주거용 저층부 4대(지하 5층~2층, 11층~30층), 주

표 1. 대상 건물 개요

구분	내용
위치	서울시 강남구
층수	지하 6층, 지상 55층
최고 높이	184 m
연면적	296,641.29 m ²
건물 용도	공동주택(809세대), 업무시설(148실), 판매시설
외장 마감	두께 3 mm 알루미늄시트 마감, 두께 24 mm 복층유리

2) Walton, G. N., 2000, CONTAMW-User Manual, NISTIR 6476, National Institute of Standards and Technology.

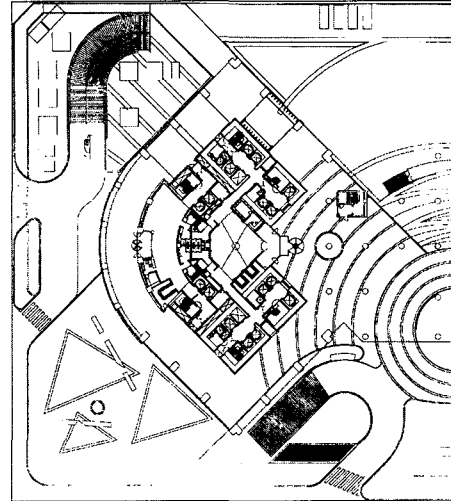
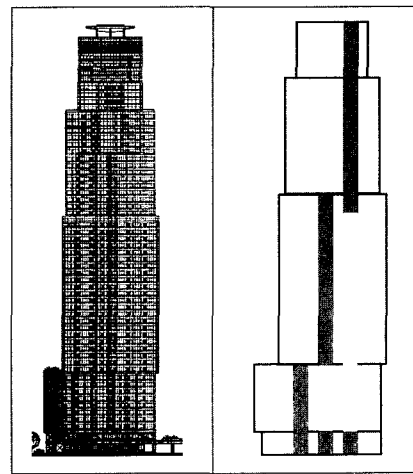


그림 1. 대상 건물의 배치 및 1층 평면



(a) 입면도 (b) 엘리베이터 조닝

그림 2. 대상 건물의 입면도 및 엘리베이터 조닝

거용 고층부 4대(지하 5층~2층, 30층~55층)와 비상용 엘리베이터 1대(지하 5층~55층), 셔틀용 엘리베이터 2대(지하 6층~1층)로 구성되어 있다.

2. 연돌효과에 대비한 계획지침을 통한 분석

건물의 계획도면과 건물높이 등 초기계획안을 바탕으로 대상 건물을 기존에 개발된 연돌효과에 대비한 계획지침에 따라 분석하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

1) 외피의 기밀도에 대한 검토

본 건물은 외피의 기밀도에 대한 실측 데이터가 없으

므로 기존문헌 자료³⁾와 국내 건물의 실측, 현장 답사를 통하여 외피의 기밀도를 판단하였다.

부분적으로는 현장 실측이나 실험을 통하여 외피의 재료 자체에 대한 측정이 가능하나, 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 전체 건물에 대한 외피의 기밀도를 측정하여 얻어지는 기밀도 데이터가 필요하다. 그러나, 이는 계획건물의 경우 사전 적용이 불가능하다는 문제점과 건물의 규모면에서 전체의 기밀도 측정에는 많은 인력과 비용이 소요되는 단점이 있다.

대상 건물의 외피의 기밀도를 감소시키는 요소들을 분석해 보면, 하층부의 주거형 오피스텔을 포함하여 모든 개별 세대마다 개방할 수 있는 창문이 있어 이를 통해 공기유출입이 예상되므로 개방용 창문이 없는 건물 보다는 외피의 기밀도가 떨어진다. 그리고, 각 세대마다 냉방용 실외기실을 두고 있으며 이 부분이 직접적으로 외기에 면하고 있으므로 실외기실을 통하는 문으로의 공기 유출입이 예상된다.

이외에도 세대마다 있는 주방 후드를 위한 배기용 팬과 실내환기를 위한 환기장치가 있으므로 이를 통한 공기 유출입이 외피의 기밀도를 낮추는 요인이 된다. 여기에 국내의 시공정도와 마감정도를 고려하면, 외피의 기밀도가 실제 계획값보다 많이 떨어질 것으로 예상된다.

따라서, 대상 건물의 외피 기밀도는 건물의 완공후 건물이 사용됨에 따라 기밀도가 떨어진다는 점을 반영하여 중간 정도의 외피 기밀도로 선정하였다.

2) 외피와 건물 높이에 따른 영향 분석

대상 건물의 지하층과 지상 1, 2층의 출입구 부분의 경우, 건물의 주 출입문에 방풍실이 설치되어 있고, 문을 회전문으로 계획하여 출입문 기밀화 방안이 적용되어 있으므로, 연돌효과에 대비한 계획지침에서 제시한

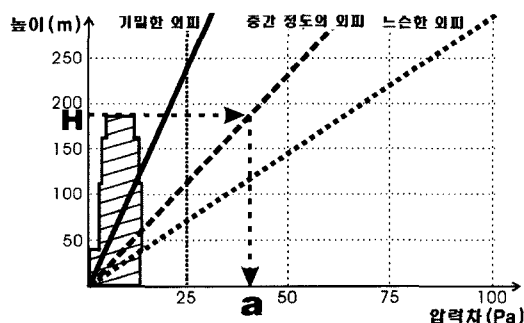


그림 3. 건물높이에 따른 연돌효과 영향

기법⁴⁾을 이용하여 그림 3과 같이 분석하였다.

그림 3에 나타난 것처럼, 대상 건물은 높이가 184 m로 엘리베이터문의 문제를 일으킬 수 있는 평가 기준인 25 Pa⁵⁾을 초과하므로, 연돌효과로 인한 압력차의 문제가 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 출입구 기밀화만으로는 연돌효과의 문제를 해결할 수 없으므로, 다음 단계의 적용을 통한 분석과 건축적 대책 마련이 요구된다.

3) 압력차 문제해결을 위한 평면구획의 수에 따른 영향 분석

대상 건물에서의 연돌효과로 인한 압력차 문제를 해결하기 위하여 건물높이에 따른 "압력차 문제해결을 위한 평면구획의 수 검토"의 방법⁶⁾을 적용하여 그림 4와 같이 분석하였다.

대상건물의 중성대의 최대높이(h)는 건물높이/2 = 92 m 이므로 그림에서 최고층 높이에서 수평선을 그으면, 로비층에서 위로 8개층(1~8층)과 최상층에서 아래로 8개층 정도(48~55층)에는 2개 이상의 평면구획이 필요하고, 다음으로 각각 4개층 정도(9~12층, 44~47층)는 1개 이상의 평면구획이 필요하며, 나머지 층에서는 평면구획이 필요없는 것으로 나타났으며, 그 결과를 정리하면 표 2와 같다.

4) 수직조닝에 따른 영향 분석

본 대상 건물은 스카이로비 방식의 엘리베이터로 수직적 조닝이 되어있지 않으므로 수직적 구획을 통한 연돌효과의 영향 방지 대책은 되어있지 않다. 엘리베이터 샤프트 높이(hs)와 평면 구획이 필요 없는 높이(ho)를 비교한 결과, 주거용 고층부 엘리베이터의 경우는 엘리베이터 샤프트의 높이가 건물높이와 일치하므로 엘리베이터 샤프트 높이가 더 높다(hs>ho). 따라서 평면구획

표 2. 평면구획의 수에 따른 영향 검토 결과

구분	내용	
건물높이 (H)	184 m	
중성대의 높이(h)	92 m	
구획이 필요없는 높이(ho)	105 m	
평면 구획의 수(b)	2	

4) 한국FM학회, op.cit., p.165.

5) Tamblin, R. T., "Coping with Air Pressure Problems in Tall Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 1, 1991, p.826.

6) 한국FM학회, op.cit., p.167.

3) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA, 1997, p.25.19.

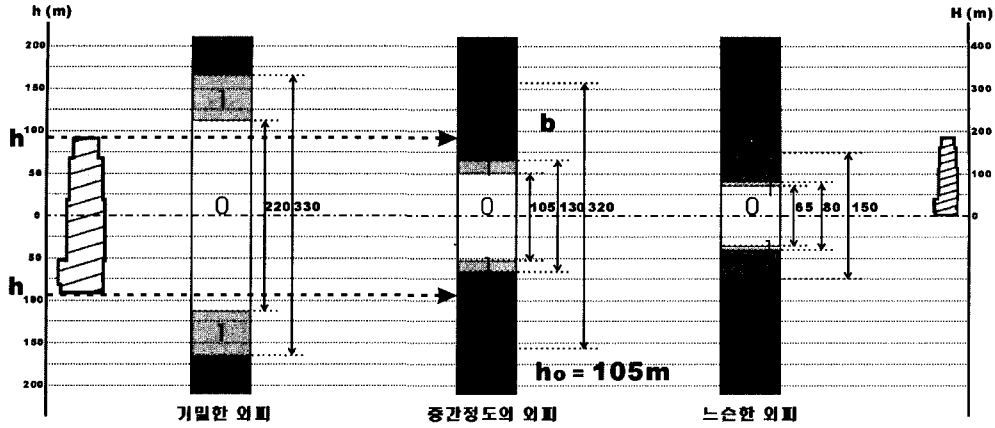


그림 4. 평면구획의 수에 따른 영향 검토

을 통하여 압력차 문제를 해결해야 한다⁷⁾. 주거용 저층부 엘리베이터의 경우는 평면구획이 필요없는 높이에 해당하므로 문제는 발생하지 않는다.

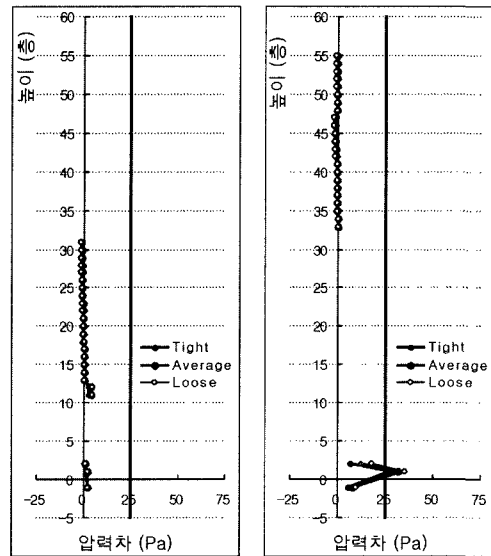
오피스텔층(3층~10층)을 운행하는 엘리베이터의 경우, 저층부 엘리베이터의 경우와 마찬가지로 그 높이가 h_0 보다 작으므로 해당하는 오피스텔층에서는 연돌효과 방지를 위한 평면구획이 필요없다. 그러나 1층과 2층은 상층부용 엘리베이터가 연결되어 있으므로 연돌효과 영향을 줄이기 위해서는 그림 4를 이용해서 구한 2개 이상의 평면구획이 필요하다.

3. 시뮬레이션을 통한 분석

연돌효과에 대비한 계획 지침의 적용을 통하여 건물 높이에 따른 연돌효과에 대비한 건축적 방안을 마련하였으며, 보다 구체적이고 정량적인 영향을 분석하기 위하여 CONTAMW 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 연돌효과 영향을 분석하였다. 이를 위해서 계획 도면을 바탕으로 시뮬레이션을 실시하였고, 연돌효과로 인한 압력차의 영향을 분석하여 연돌효과에 대비한 계획 지침을 적용한 결과와 비교 검토하였다. 여기서 대상 건물의 외피의 기밀도를 중간 정도의 기밀도로 가정하였지만 외피의 기밀도가 변화됨에 따라서 어떠한 영향이 있는지를 판단하기 위해서, 외피가 기밀한 경우(Tight)와 외피의 기밀도가 중간 정도(Average), 그리고 기밀도가 느슨한 경우(Loose)로 나누어 시뮬레이션을 실시하였다.

1) 외피의 기밀도에 따른 분석

외피의 기밀도에 따른 시뮬레이션 결과, 그림 5에 나

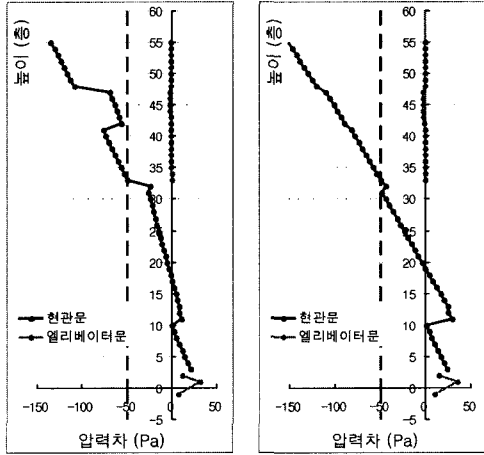


(a) 주거용 저층부 (b) 주거용 고층부

그림 5. 외피의 기밀도에 따른 엘리베이터문의 압력차변화 비교

타난 바와 같이 외피의 기밀도의 변화에 따른 엘리베이터문의 압력차는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 외피가 느슨해질수록 엘리베이터문의 압력차가 점점 증가하는 경향은 있으나, 연돌효과에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 그 압력차의 크기도 엘리베이터 오동작의 기준 25 Pa보다 훨씬 작으므로 엘리베이터에서의 연돌효과로 인한 압력차 문제는 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 일반적으로 엘리베이터 문에 걸리는 압력차가 다른 건축적 요소에 분산되어 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

7) 한국FM학회, op.cit., p.168.



(a) 베란다가 있는 경우 (b) 베란다를 제거한 경우

그림 6. 각종 세대 현관문의 입력차변화 비교

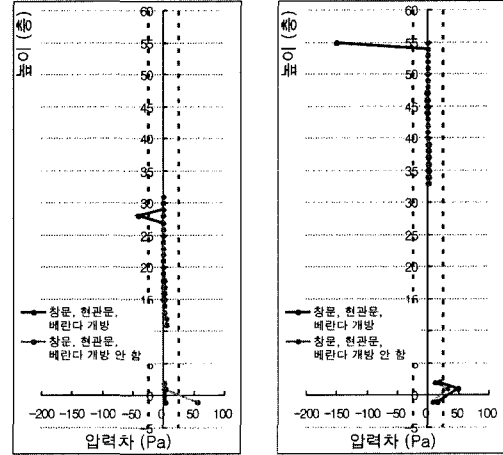
2) 베란다 유무에 따른 분석

그림 6(a)는 베란다가 설치되어 있는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내며, 그림에서 각 세대 현관문의 압력차(세대 실내외복도 사이의 압력차)를 살펴보면, 건물의 상층부에서 과도하게 압력차가 걸리는 것으로 나타났다. 압력차 분포를 살펴보면 주거용 고층부 엘리베이터를 이용하는 세대의 현관문압력차가 일반문의 기준 압력차인 50 Pa⁸⁾보다 크게 나타나므로 이러한 압력차로 인하여 여러가지 문제점이 발생할 수 있다. 특히 48층 이상의 세대에서는 100 Pa 이상의 압력차가 작용하므로 이에 대하여 적절한 건축적 조치가 필요하다고 판단된다.

그림 6(b)는 건물의 준공후 아파트에서 베란다를 제거하고 실내 공간을 넓혀서 이용할 때를 가정하여 시뮬레이션을 실시한 결과이며, 베란다가 있는 경우보다 더욱 더 과도한 압력차가 현관문에 작용하여 더 큰 문제를 야기할 수 있는 것으로 판단된다. 외피에 작용하는 압력차도 다소 크게 나타났는데, 이는 창문의 개폐시에 압력차로 인한 기류를 발생시켜 불쾌한 소음을 유발할 수 있으므로 이에 대한 대책이 마련되어야 한다.

3) 한 세대의 개구부를 열었을 때의 영향 분석

고층건물에서 엘리베이터 코어와 외부사이의 공기유동 경로가 직접적으로 형성되는 경우(엘리베이터 로비로부터 외부까지의 모든 문들을 열어둔 경우)에는 그 해당 높이에서의 연돌효과로 인한 압력차가 바로 엘리베이터문에 걸리게 되는데, 이는 엘리베이터의 오동작



(a) 주거용 저층부 28층 한 세대에서의 개방 (b) 주거용 고층부 55층 한 세대에서의 개방

그림 7. 28층, 55층의 각 한 세대에서 개구부를 개방한 경우의 엘리베이터문의 압력차 변화

의 원인이 되고 다른 부분의 압력차에 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 영향을 알아보기 위하여 최상층인 55층, 중간층인 28층, 그리고 하부층 3층에 있는 각각 한 세대에서 외부로의 공기유동 경로가 될 수 있는 현관문과 베란다, 그리고 외부창을 개방하여 연돌효과와 영향을 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 하층부(3층)에서 외부로 통하는 공기유동 경로가 생긴 경우에는 별다른 압력차의 변화가 없는 것으로 나타났는데, 이는 본 대상 건물이 10층까지는 오피스텔로 계획되어 건물 전체와 구획이 되어 있고 엘리베이터도 오피스텔용을 따로 사용하도록 구획하고 있어서 연돌효과와 압력차에 대한 영향이 적게 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 중간층(28층)의 경우에는 엘리베이터문의 압력차가 25 Pa를 초과하여 문제발생 가능성을 보이고 있으나 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(그림 7(a) 참조). 그러나, 최상층(55층)의 경우에는 엘리베이터문의 압력차가 과도하게 걸리는 것으로 나타났으며(그림 7(b) 참조), 이로 인하여 강한 기류의 흐름이 형성되어 엘리베이터문의 오동작, 소음의 발생 등의 원인이 될 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다. 그리고, 주거용 고층부 엘리베이터의 아래쪽에서 압력차가 증가한 것으로 나타난 결과를 볼 때, 고층부에서 개구부가 형성되면 공기유동량이 증가하므로 이로 인하여 건물의 출입층(1층과 2층)에 있는 엘리베이터에서 문제가 발생할 수 있으므로 추가적인 기밀화 방안이 요구된다.

8) Tambllyn, R. T., loc.cit.

4. 분석 결과 비교

분석 대상건물에 대해 기존 연구에서 개발된 연돌효과에 대비한 계획 지침을 적용하여 연돌효과 영향을 분석하고, 아울러 컴퓨터 시뮬레이션 분석을 통하여 보다 구체적으로 연돌효과의 영향과 이에 따른 문제점들을 파악하였다. 그 결과를 보면, 시뮬레이션 결과에서 나타난 48층 이상의 세대에 있는 현관문에 걸리는 과도한 압력차를 막기 위해서는 엘리베이터 로비로부터 현관문에 이르는 경로 사이에 전실이나 복도문의 설치를 통한 구획이 필요하고, 100 Pa 이상 걸리는 압력차를 분산하기 위해서는 이론적으로 2개 이상의 구획이 계획되어야 바람직하므로 연돌효과에 대비한 계획 지침의 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고, 연돌효과에 대비한 계획 지침을 적용하여 수직 조닝에 따른 영향분석을 통해 나타난 결과로서 건물 출입층을 제외한 하부층에서는 평면구획이 필요없다는 점은 시뮬레이션에서 출입층을 제외한 하층부에 있는 엘리베이터문과 현관문의 압력차가 작게 나타나는 결과와 일치한다.

IV. 결 론

본 연구는 최근 증가하고 있는 초고층 주거용 건물에서 발생할 수 있는 연돌효과로 인한 문제점을 해결하기 위하여 요구되는 건축계획 대안을 제시하여, 연돌효과로 인한 제반 문제점들을 미연에 방지할 수 있도록 하고자 하는 것으로, 이를 위해 기존 연구에서 개발한 연돌효과에 대비한 계획지침을 실제 주거용 건물에 적용하고, 아울러 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 연돌효과 영향을 정량적으로 분석하였다.

이러한 결과를 통해 연돌효과 저감방안을 제시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 외피가 기밀할수록 엘리베이터문의 압력차는 현저히 감소하는 것으로 나타났으며, 외피의 기밀화 방안은 연돌효과로 인한 많은 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 베란다를 제거할 경우 베란다가 있는 경우보다 더욱더 과도한 압력차가 현관문 및 외피에 작용하게 되므로 이에 대한 대책이 필요하다.

(3) 지하층 및 1층 출입구는 연돌효과의 주요 원인이 되는 공기유입구이므로 방풍설 및 회전문 설치, 고층부 엘리베이터 홀의 문설치 등을 통한 현관 출입문과의 구획같은 건축적 기법을 적용하여 샤프트로의 공기유동경로의 차단이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 조재훈 외, "고층건물에서의 연돌효과에 관한 연구", 대한건축학회학술발표대회논문집 제20권 제2호, 2000.10
2. 조재훈 외, "고층건물에서의 연돌효과 실측 및 시뮬레이션", 대한건축학회학술발표대회논문집 제21권 제2호, 2001.10
3. 한국FM학회, 수원화성 관망탑의 연돌효과에 의한 영향분석최종보고서, (주)현대건설, 2000.7
4. 한국FM학회, 고층건물의 연돌효과에 대비한 건축계획 지침 개발, 2001.7
5. ASHRAE, ASHRAE Handbook : Fundamentals, ASHRAE, 1997
6. Lovatt, John E., "Stack Effect in Tall Buildings". ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part 2. 1994
7. Tamblyn, R. T., "Coping with Air Pressure Problems in Tall Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 1, 1991
8. Tamura, G. T., Smoke Movement and Control in High-Rise Buildings, National Fire Protection Association, 1994
9. Walton, G. N., 2000, CONTAMW-User Manual, NISTIR 6476, National Institute of Standards and Technology.