

실측과 시뮬레이션을 통한 초고층 주거건물에서의 연돌효과 문제의 해결

Solving the Problems Caused by Stack Effect in a High-rise Residential Building through Field Measurement and Simulation; Case Study

구성한*
Koo, Sung-Han

조재훈**
Jo, Jae-Hun

여명석***
Yeo, Myoung-Souk

김광우****
Kim, Kwang-Woo

Abstract

A high-rise residential building experienced stack effect problems during the winter such as difficulties in opening residential entrance doors and whistling noise from elevator doors generated by airflow. Field measurements were carried out on the building and the problems were verified by the analysis of the measurement results from three points of view: the total stack pressure difference, pressure distribution on each floor, and the location of the neutral pressure level. Based on the analysis of the three key parameters, possible solutions were proposed, such as zoning vertical shafts, lessening the airflow from the entrance doors on basement floors and lobby floor by installing vestibules, improving the airtightness of exterior walls, and installing separation doors where the problems occur. Simulations of proposed solutions were conducted and the effects of reducing the pressure difference were evaluated. Stack effect problems in a high-rise residential building were verified through field measurements and could be mitigated by the solutions which were drawn from the analysis of the field measurements and the simulation results.

Keywords : stack effect, high-rise residential building, field measurement, simulation

주요어 : 연돌효과, 초고층 주거건물, 실측, 시뮬레이션

1. 서론

실내의 온도차가 커지는 겨울철에는 건물 내외 공기의 밀도차로 인하여 건물 내의 수직 경로에 부력이 생기는 연돌효과가 발생한다. 부력으로 인한 공기의 상승은 건물의 저층부에서는 실내 측에 부압으로, 고층부에서는 정압으로 작용하여 건물의 외피와 건물 내부의 내벽이나 각종 출입문, 엘리베이터문, 그리고 계단실문 등에서의 압력차를 발생시킨다. 건물이 고층화되면 압력차가 증가하여 과도한 압력차로 인한 문제를 야기하며, 기존 연구¹⁾에 따르면, 개방형 평면 사무소 건물의 경우 외피의 기밀도가 평균 정도이고 건물 높이가 약 100 m 이상이면, 출입문 개방힘 과다, 엘리베이터문에서의 소음 및 오작동과 같은 연돌효과로 인한 압력차 문제가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다.

최근 국내에서는 40층 이상의 초고층 주거건물이 급속하게 증가하고 있어 이러한 연돌효과 문제에 대한 관심이 증대되고 있다. 사무소 건물과는 달리 주거건물의 경우 외기온이 더욱 더 떨어지는 야간에 사용자가 거주하고 있으며, 주거는 개인의 사유재산이기 때문에 연돌효과 문제는 더욱 심각하게 인식된다.

고층 건물에서의 연돌 현상에 대한 연구는 진행되어 있으며 특히 건물 계획단계 초기에 연돌효과를 고려하는 것이 문제 저감에 효과적이라고 밝히고 있다²⁾. 그러나 현재 완공된 대부분의 초고층 주거건물은 계획단계에 연돌효과를 고려하지 못해서 연돌효과 문제가 심각하게 발생하고 있으며, 이에 대한 대책 마련 및 해결의 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구는 완공된 기존의 고층 건물에서 발생하는 연돌효과 문제를 효과적으로 진단하고 대책을 세우기 위한 과정으로 건물에서의 압력분포 실측과 시뮬레이션 적

*정회원, 서울대 대학원 석사과정

**정회원, 서울대 대학원 박사과정

***정회원, 서울대 건축학과 조교수, 공학박사

****정회원, 서울대 건축학과 교수, 건축학박사

※이 논문은 서울대 공학연구소의 지원에 의하여 수행되었음

1) 조재훈, 여명석, 양인호, 김광우(2000), 고층건물의 연돌효과에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계), 제 20권 제 2호
2) 서울대학교(2001), 고층건물의 연돌효과에 대비한 건축계획 지침 개발, (주)삼우설계, pp.161-168

용의 효용성을 보여주는데 목적이 있다. 이를 위해서 연돌효과 문제가 심각하게 발생하고 있는 국내 초고층 주거 건물을 대상으로 실측 및 시뮬레이션을 수행하여, 사례 건물에서의 연돌효과로 인한 문제점을 해결하고자 한다.

II. 대상건물에서의 연돌효과 문제점 조사

1. 대상건물의 개요

대상건물은 2003년 12월에 완공되었고 서울에 위치한 40층 규모의 초고층 주거건물로 지하층에는 주차장과 판매시설, 지상층에는 오피스텔부와 주거부로 구성되어 있다. 주거는 9층부터 40층, 오피스텔은 2층부터 7층에 위치해 있으며, 8층에는 주거부용 커뮤니티 시설과 오피스텔용 기계실이 있다. 오피스텔부는 별도의 출입문을 통해 접근이 가능하도록 코어가 주거부와 분리되어 있다.

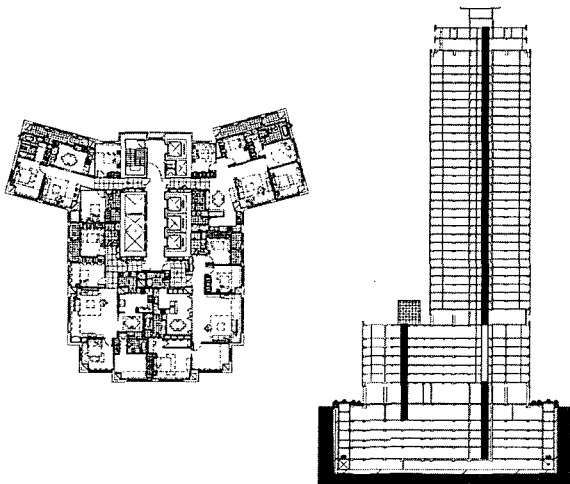
엘리베이터 샤프트는 지하층과 로비층, 그리고 9층에서 40층까지의 주거부를 운행하는 고층용 엘리베이터와 지하층과 로비층, 그리고 2층부터 8층까지의 오피스텔부를 운행하는 저층용 엘리베이터로 구성되어 있다. 대상건물의 개요 및 기준층 평면과 수직 샤프트 구성을 <표 1>과 <그림 1>에 각각 나타내었다.

2. 연돌효과로 인한 문제점

대상건물에서의 연돌효과로 인한 문제의 발생 부위와

표1. 대상건물의 개요

구분	내용
위치	서울특별시
구조	철골·철근 콘크리트조
층수	지상 40층, 지하 5층
높이	지상 145 m, 지하 24 m
건물용도	공동주택, 오피스텔, 운동/근생시설
외장 마감	알루미늄 커튼월



a) 주거부 기준층 평면 b) 엘리베이터 샤프트 구성

그림 1. 대상건물의 기준층 평면 및 엘리베이터 샤프트 구성

정도를 정량적으로 파악하기 위해서 2003년 12월에 현황조사를 실시하였다. 현황조사 시 외기온은 -6°C였으며, 바람은 거의 불지 않았다.

대상건물에서는 연돌효과에 의한 과도한 압력차에 따른 문제가 발생하고 있었다. 그 예로, 지하층에서는 엘리베이터문이 닫히지 않는 ‘엘리베이터문 오작동3)’ 문제가 발생하고 있었으며 그 압력차는 23 Pa 이상이였다. 또한, 지하층 엘리베이터문과 고층부 세대 현관문에서는 60 dB(A) 이상의 틈새 소음이 발생하고 있었다. 고층부 층에서는 세대 현관문에 걸리는 압력차가 50 Pa을 넘는 과도한 압력차가 작용하고 있었으며, 이 경우, 출입문 개방이 어려워 화재발생 같은 비상 시 심각한 문제를 초래할 수 있다.

현황조사에서 밝혀진 연돌효과로 인한 압력차 문제를 중심으로 요약하면 엘리베이터문 오작동, 엘리베이터문 및 세대 현관문에서의 소음 문제, 그리고 세대 현관문의 개방힘 과다 문제로 나눌 수 있으며 그 발생 부위와 측정값은 다음과 같다.

- ① 엘리베이터문의 오작동 문제
 - 지하 1층~지하 4층 승객용 엘리베이터문
 - 엘리베이터문에 23~35 Pa의 압력차 작용
- ② 엘리베이터문에서의 소음 문제
 - 지하 1층 승객용 엘리베이터문
 - 75~80 dB(A)의 고주파 소음 발생
- ③ 세대 현관문에서의 소음 문제
 - 37층과 40층 세대 현관문
 - 63~68 dB(A)의 소음 발생
- ④ 세대 현관문의 개방힘 과다 문제
 - 40층 이상(고층부 세대) 현관문
 - 세대 현관문에 60~65 Pa의 과도한 압력차 작용

III. 압력분포 실측을 통한 문제점 분석

1. 실측 개요

연돌효과로 인한 건물 전체의 압력분포를 파악하기 위해서 2004년 1월에 건물 내외의 주요 존에서 압력 측정이 이루어졌다. 실측은 풍압의 영향, 거주자의 엘리베이터 사용과 세대 출입으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 외기온이 -7°C로 비교적 낮고 바람이 거의 불지 않는 날 새벽에 진행하였다. 실측 시 실내 온도는 약 18~23°C였으며, 세대는 바닥복사난방, 복도 공간은 중앙공조를 통하여 난방이 이루어지고 있었다. 압력 측정에는 차압계와 절대압계를 사용하였다(<그림 2> 참조).

대상건물은 중앙의 코어를 중심으로 세대가 둘러싸고

3) 엘리베이터문 오작동(elevator sticking): 엘리베이터문이 닫히려 고 할 때, 과도한 압력차에 의해 닫히지 못하고 다시 열려 승강기가 운행하지 못하는 현상

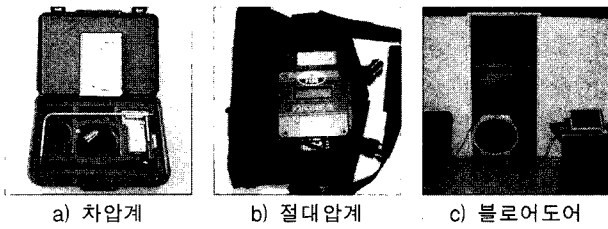


그림 2. 실측에 사용된 측정 장비

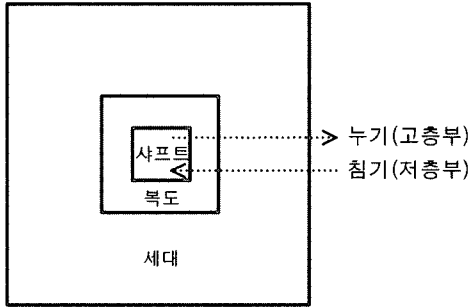


그림 3. 기준층에서의 주된 공기유동 경로 개념도

있으며 기준층 평면을 각 층별 공기유동의 관점에서 보면, <그림 3>에서와 같이 수직 샤프트 벽과 엘리베이터 문으로 이루어진 경계면, 세대와 복도 사이의 벽과 세대 현관문으로 이루어진 경계면, 그리고 외피로 이루어진 경계면의 세 가지 주요 경계로 이루어져 있다. 기존 연구⁴⁾에 의하면 주거 건물에서는 이러한 주요 경계면 간의 압력 측정들을 통하여 각 층 및 건물 전체의 압력분포를 파악할 수 있다고 밝히고 있다. 따라서 외기, 세대, 복도, 엘리베이터 홀, 그리고 각 엘리베이터 샤프트에서의 절대압을 동시에 측정하였으며, 또 다른 수직적 공기유동 경로가 되는 계단실과 비상용 엘리베이터 샤프트에서는 차압계를 이용하여 각각 문에서의 압력차를 측정하였다. 지상 2층에서 7층까지의 오피스텔부는 주거부와 완전히 구획이 되어 있고 압력차 문제도 발생하지 않았으므로 측정하지 않았다.

아울러 압력 측정과 함께 공기유동 시뮬레이션 모델링에 필요한 기밀도 데이터를 확보하기 위해서 블로어도어를 이용하여 외피, 세대 현관문, 엘리베이터문, 그리고 계단실문과 같은 출입문의 기밀도 측정이 이루어졌다.

2. 실측 결과 분석

건물 내 공기유동 경로 상의 주요한 건축요소인 엘리베이터문, 세대 현관문, 계단실문, 그리고 외피에서의 압력차 실측 결과를 각각 <그림 4-6>에 도시하였으며, 이를 통해 파악된 건물 전체의 압력분포를 <그림 7>에 승객용 엘리베이터 샤프트를 기준으로 나타내었다.

4) 조재훈, 여명석, 김광우(2005), 고층 주거건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 제 21권 제 5호

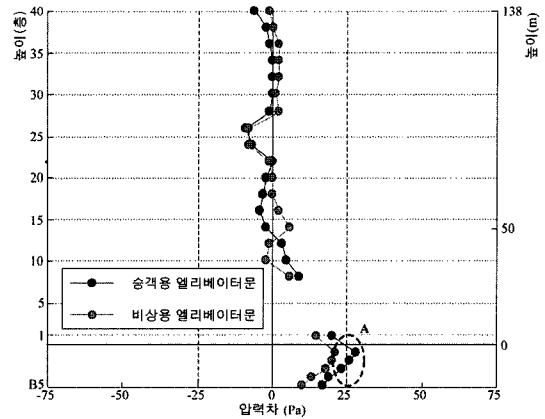


그림 4. 엘리베이터문에서의 압력차 실측 결과

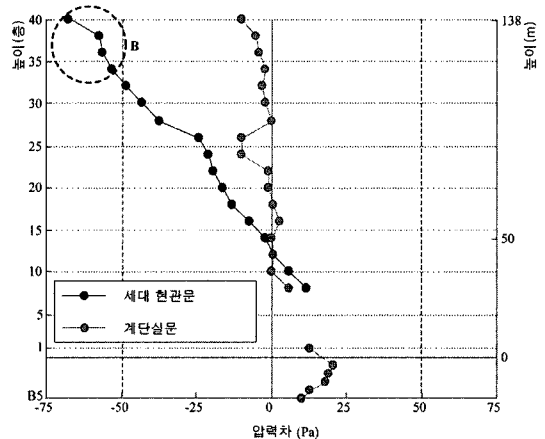


그림 5. 세대 현관문 및 계단실문에서의 압력차 실측 결과

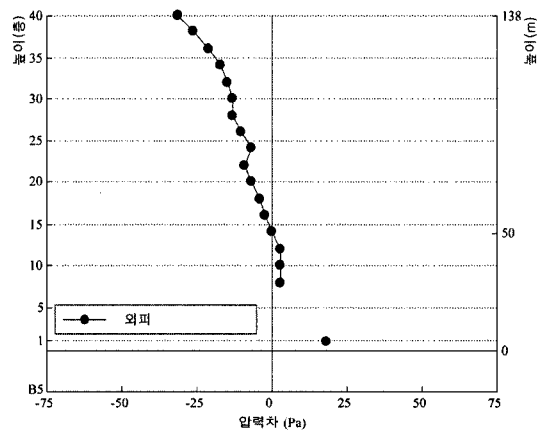


그림 6. 외피에서의 압력차 실측 결과

대상건물에서는 건물 내부에 큰 압력차가 작용하고 있는 것으로 파악되었으며, 특히 세대 현관문과 엘리베이터문에 과도한 압력차가 작용하고 있었다.

연돌효과로 인한 압력분포는 건물 전체의 관점에서 이해를 하여야 하므로, 대상건물의 수직적인 압력분포를 먼저 분석하였다. 다음으로 중성대의 위치에 따라 연돌효과로 인한 전체 압력차가 최상층과 최하층에 분배되는

정도를 파악한 후, 층 단위로 각 층의 주요 건축적 요소 (<그림 3>의 주요 경계면)에 작용하는 압력차의 분배 정도를 분석하였다.

1) 연돌효과로 인한 전체 압력차의 크기

연돌효과로 인하여 건물 내 수직 샤프트와 외기 사이에 발생하는 전체 압력차의 크기(Δp_s)는 실내의 온도와 중성대로부터의 거리에 따라 결정된다. 높이(H)에서의 연돌효과로 인한 전체 압력차의 크기는 다음의 이론식⁵⁾을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\Delta p_s = \rho_o \left(\frac{T_o - T_i}{T_i} \right) g (H_{NPL} - H)$$

여기서,

- T_o : 외기 절대온도, K
- T_i : 실내 절대온도, K
- ρ_o : 외기의 공기 밀도, kg/m³
- H_{NPL} : 중성대의 높이, m
- g : 중력가속도, 9.81 m/s²

대상건물에서 실측 시의 외기온 -7°C일 때, 압력 측정값은 최상층에 약 110 Pa, 최하층에 약 58 Pa의 압력차가 작용하는 것으로 나타났으며, 이론상의 연돌효과로 인한 전체 압력차는 174 Pa로 계산되므로 이론상의 압력차와 거의 일치한다(<그림 7>에서 a+b는 약 168 Pa).

최상층과 최하층에 높은 압력차가 작용하는 것은 대상 건물의 높이에 따른 당연한 결과이며 기존연구⁶⁾에 따르면 건물 높이에 의한 연돌효과 압력차를 저감시키기 위한 방법으로는 승객용 엘리베이터 샤프트를 100 m 이하

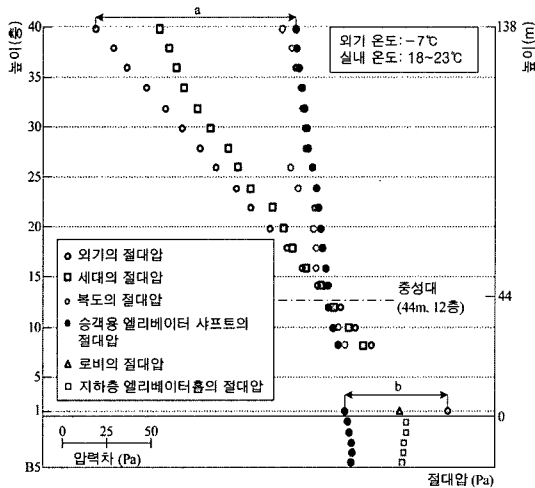


그림 7. 대상건물의 압력분포

5) ASHRAE(2001), 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., p.26.5

6) Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., Kim, K. W.(2004), Solving the Problems due to Stack Effect in Tall Buildings, In : the CIB World Building Congress 2004

로 조닝하는 것이 효과적이라고 밝히고 있다. 따라서 대상건물에 이를 적용한다면 수직 샤프트를 최소 두 번 이상 조닝하는 개선이 필요할 것으로 사료된다.

2) 중성대(Neutral Pressure Level, 이하 NPL)의 위치
중성대의 위치는 건물 상하부의 개구부 비율에 따라 결정되며, 연돌효과로 인한 전체 압력차는 중성대의 위치에 따라 건물의 상하부에 분배된다.

대상건물에서 최상층에서의 압력차가 최하층보다 약 52 Pa 크게 나타나는데 이는 중성대가 건물 높이의 약 32% 지점에 나타나 건물의 중간 높이보다 다소 낮게 위치하기 때문이며 이를 통해 상층부에 비해 하층부가 상대적으로 기밀하지 못함을 알 수 있다.

그 원인은 대상건물의 저층부에는 외부와 연결된 출입문이 많으며, 출입문을 통한 외기의 유입을 차단하기 위한 기밀화 계획을 고려하지 않았기 때문인 것으로 사료된다. <그림 8>에서 보듯이 지상 1층 주출입문에는 회전문이 설치되어 있지 않았으며, 이삿짐 출입문이 엘리베이터 홀에 직접 연결되어 있어 많은 기류의 유입이 발생하고 있었다. 또한, 주차장으로 통하는 지하층의 출입문에는 방풍실 없이 자동문만 설치되어 있어 주차장 램프를 통한 차가운 외기의 유입을 효과적으로 차단하지 못하고 있었다. 대상건물에서 중성대가 낮게 나타나는 것은 기밀하지 못한 저층부에서의 외기의 유입이 많은 것이 주된 요인이므로 중성대 높이를 중간 정도로 유지하기 위해서는 지하층 및 로비층, 그리고 8층의 출입문을 기밀화하는 개선을 통하여 외기의 유입을 최소화하여야 한다.

3) 외피에 작용하는 압력차

연돌효과로 인해 건물 내외에 발생하는 전체 압력차는 공기유동 경로 상에 있는 각 건축 요소의 기밀도에 따



그림 8. 대상건물 저층부의 출입문

라 각각 분담되며, 이 중 외피에 작용하는 압력차의 비율을 나타내는 Thermal Draft Coefficient(TDC)를 계산하여 그 정도를 분석할 수 있다⁷⁾.

측정한 압력차를 근거로 대상건물의 TDC는 0.20에서 0.34로 나타났다. 즉, 연돌효과로 인한 각 층 압력차의 20~34%가 외피에 작용하고 있으며 나머지 66~80%의 압력차가 세대 현관문과 엘리베이터문 등의 건물 내부 건축 요소에 작용하고 있음을 알 수 있다. 그 결과, 지하층의 엘리베이터문에 25 Pa 이상의 압력차가 작용하고 있었으며(<그림 4>의 A), 고층부 세대 현관문에서는 50 Pa 이상의 과도한 압력차가 작용하고 있어(<그림 5>의 B), 엘리베이터문에서는 빠른 기류로 인한 소음 및 과도한 압력차로 인한 엘리베이터문 오작동 문제, 그리고 세대 현관문의 개방힘 과다 문제의 원인이 되고 있다.

대상건물의 외피 기밀도를 측정한 결과 50 Pa의 압력차에서 외피를 통한 누기량이 $6.37 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ 으로 나타났다. 이는 ASHRAE에 제시된 사무소 건물의 외피의 기밀도 등급⁸⁾과 비교하였을 때 ‘중간(average)’에서 ‘느슨(loose)’ 사이에 위치하며, National Association of Architectural Metal Manufactures에서 규정하는 커튼월의 기준 기밀도 값인 $1.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ 보다 현저히 떨어지는 것으로 대상건물의 외피가 기밀하지 못하다는 것을 알 수 있다.

따라서 대상건물에서 발생하는 건물 내부의 압력차 문제를 저감시키기 위해서는 외피 자체의 기밀도 향상을 통해 외피에 분담되는 압력차 크기를 높이는 개선이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 시뮬레이션을 통한 연돌효과 문제 해결

1. 시뮬레이션 개요 및 평가 기준

실측을 통한 대상건물에서의 압력분포 분석을 바탕으로 도출된 각 개선안 별, 적용 시의 압력차 저감 효과를 평가하기 위해 공기유동 시뮬레이션을 실시하였다. 고층 건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포를 예측하기 위해서는 네트워크 모델을 이용한 다중 존 공기유동해석 프로그램이 적합하다. 본 연구에서는 연돌효과와 관련된 다수의 기존 연구⁹⁾에서 사용되어 정확도가 검증된 National Institute of Standards and Technology의 CONTAMW¹⁰⁾

7) Tamura, G. T.(1994), Smoke Movement and Control In High-rise Buildings. National Fire Protection Association Quincy, NFPA, Massachusetts, p.43

8) 기밀(Tight), 보통(Average), 느슨(Loose)에 대한 50 Pa에서의 누기량 기준은 각각 1.44, 4.32, 8.64 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ 임

9) ASHRAE(1993), Research Project 661, Field Verification and Simulation of Problems Caused by Stack Effect in Tall Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

10) Dols, W. S., Walton, G. N.(2002), CONTAMW 2.0 user manual, NISTIR 6921, National Institute of Standards and Technology

표 2. 시뮬레이션 실내의 온도 조건

분류	조건	비고
외기 온도	-11.9°C	서울, TAC 2.5%
실내 온도	22.0°C	건설교통부 고시 “건축물의 에너지절약설계기준”, 2001. 5.
대기압	101.30 kPa	표준 대기압

를 이용하여 개선안의 압력차 저감 효과를 평가하였다.

먼저 시뮬레이션을 위한 추가적인 기밀도 데이터를 마련하고 대상건물에 대한 재현성을 높이기 위하여 실측 시의 외기 조건으로 예비 시뮬레이션을 실시한 후 기밀도 데이터를 수정하는 방법으로 모델링을 보정하였다. 다음으로 각 개선안에 대한 평가는 연돌효과를 가장 심각하게 할 수 있는 외기 조건을 기준으로 다음 <표 2>와 같이 설정하여 실시하였다.

대상건물에서의 연돌효과의 영향으로 인한 주요한 문제점은 엘리베이터문과 세대 현관문에서의 과도한 압력차가 원인이었으므로 이러한 압력차를 기준으로 문제를 검토하고 그 크기를 작게 하는 것이 효과적인 해결방법이라고 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 건물 내의 각종 문제점을 야기할 수 있는 압력차를 중심으로 시뮬레이션 결과를 평가하였다. 압력차로 인한 문제 발생 기준으로는 국외 문헌^{11,12)} 조사 및 실측 결과를 통하여 밝혀진 값으로 세대 현관문은 50 Pa, 엘리베이터문은 25 Pa 압력차를 사용하였다.

2. 대상건물의 공기유동 모델링 및 보정

1) 공기유동 모델링

대상건물의 건축 도면을 검토하여 시뮬레이션을 위한 모델링을 실시하였으며 기밀도 측정 결과와 기존 문헌의 기밀도 자료를 바탕으로 기밀도 데이터를 변경시키는 과정을 통해 시뮬레이션 결과를 보정하였다. 모델링 과정에서 실측 건물은 공기유동 특성에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 존(zone)과 그 존 사이의 경로(path)로써 간략화 하였으며 각 층에서의 세대와 엘리베이터 샤프트, 계단실, 그리고 복도는 각각을 하나의 존으로 간주하였다. 또한 엘리베이터 샤프트와 계단실과 같이 수직적으로 이어진 존에 대해서는 존 간에 경로를 두었다.

2) 모델링의 보정

다수의 존으로 이루어진 고층 주거건물을 모델링하기 위해서는 수많은 입력 데이터를 정의해야 한다. 그중 기밀도는 건물의 압력분포에 영향을 많이 미치는 요소 중 하나이므로 건물 내 주요 공기유동 경로에서의 누기량을 압력분포 실측 시 함께 측정하였다. 그 이외 나머지 부위의 기밀도 데이터에 대해서는 기존 연구의 자료를 이

11) ASHRAE(1993), op.cit., p.33

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

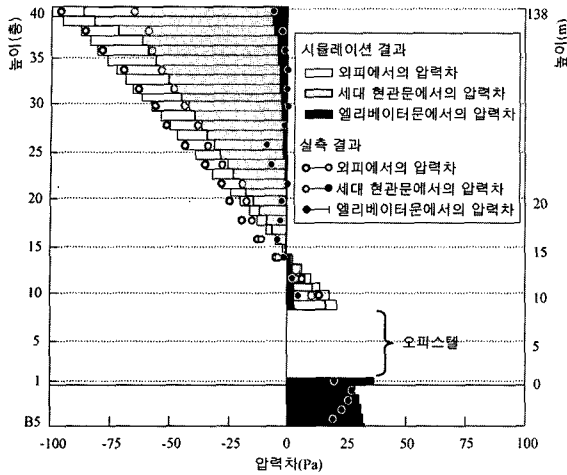


그림 9. 실측과 시뮬레이션의 결과 비교(실측 시 외기 조건)

용하였으며, 실측 시의 외기 조건으로 시행한 수차례의 예비 시뮬레이션과 실측 결과와의 비교 및 보정 과정을 통하여 오차를 줄일 수 있었다. 연돌효과로 인한 문제는 대부분 코어 부분에서 발생하므로, 주로 엘리베이터문과 세대 현관문, 그리고 외피에 작용하는 압력차를 검토하는 보정을 하였다. 최종 모델링의 시뮬레이션 결과를 실측 결과와 비교하여 <그림 9>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 지하층을 제외하면 시뮬레이션 결과는 대체로 실측 결과와 일치하므로 최종적으로 개선한 평가를 위한 대상건물의 공기유동 해석 모델링을 완료하였다.

3. 개선안 평가 시뮬레이션

시뮬레이션은 앞 장의 실측 결과 분석에서 도출된 엘리베이터 샤프트의 수직 조닝, 저층부 기밀화, 외피의 기밀화에 대한 압력차 문제 저감 정도를 먼저 평가하였으며, 추가로 보완이 요구된 구획 방안에 대한 평가 순으로 진행하였다.

1) 엘리베이터 수직 조닝에 따른 압력차 저감 효과

대상건물의 엘리베이터 샤프트의 수직 조닝에 따른 압력차 저감 효과를 평가하기 위해서 엘리베이터 샤프트를 고층용 엘리베이터(지하 5층~지상 1층, 29층~40층 운행)와 저층용 엘리베이터(지하 5층~지상 1층, 9층~28층 운행)로 조닝하여 시뮬레이션을 실시하였으며 엘리베이터 샤프트 조닝에 따른 대상건물에서의 외기와 엘리베이터 샤프트 사이에 발생하는 전체 압력차와 엘리베이터문에서의 압력차 변화를 <그림 10>에 나타내었다.

시뮬레이션 결과, 엘리베이터 샤프트를 조닝하기 전에 최상층에 발생하던 전체 압력차 125 Pa은 엘리베이터 샤프트를 수직 조닝한 후 약 85 Pa로 나타나 40 Pa 가량이 감소하였다. 또한 고층용 엘리베이터가 운행하는 29층에서 40층까지의 압력차 분포가 전반적으로 우측으로 이동하여 30~40 Pa 정도의 압력차 감소를 보이고 있다. 엘리베이터문의 경우, 고층부에서 다소 압력차가 감소하였지만 고층용 엘리베이터와 저층용 엘리베이터가 만나는

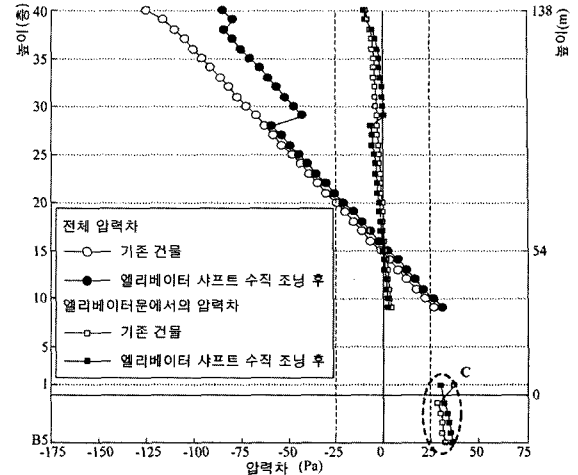


그림 10. 엘리베이터 샤프트 조닝에 따른 전체 압력차 변화

지하층 및 로비층에서는 여전히 엘리베이터문에 과도한 압력차가 작용하고 있는 것으로 나타났다(<그림 10>의 'C').

따라서 엘리베이터 샤프트를 수직 조닝하면 대상건물에서의 연돌효과로 인한 전체 압력차를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 사료되며, 고층용 엘리베이터와 저층용 엘리베이터가 만나는 지하층과 로비층에는 엘리베이터문에서의 압력차를 저감시키기 위한 보완 대책이 필요할 것으로 판단된다.

2) 저층부 출입문 기밀화에 따른 압력차 저감 효과

대상건물의 로비층 및 지하층에서의 과도한 외기 유입을 차단하여 중성대 높이의 상승을 통한 압력차 감소를 위해서 저층부의 기밀화에 따른 압력차 저감 효과를 평가하였다. 기존 연구¹³⁾에 따르면, 출입문에서의 공기의 유입을 차단하기 위해서는 방풍실과 회전문을 설치하는 것이 효과적이라고 밝히고 있어, 건축주와의 협의과정을 통해 건물의 로비층 주출입문에 회전문을 설치하고, 지하 주차장 출입문에 방풍실을 설치하여 엘리베이터 샤프트까지의 경로를 2층으로 구획하는 개선안을 마련하였으며 이에 대한 시뮬레이션을 실시하였다(<그림 11> 참조).

그 결과, 저층부의 기밀화 후 건물의 압력분포는 전체적으로 우측으로 이동하여 중성대가 건물 높이의 약 32% 지점에서 41%지점으로 상승하였으며, 이로 인해 고층부에서의 압력차가 10 Pa 가량 감소하였으나 전반적인 압력차 감소 효과는 다소 미비한 것으로 나타났다. 이는 건물 전체의 기밀 성능을 좌우하는 외피가 기밀하지 못하기 때문에 건물 전체의 공기유동에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 따라서 저층부 출입문 기밀화만으로는 대상건물의 고층부에서 발생하는 문제를 해결하

13) Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., Kim, K. W.(2004), Field Measurement and Evaluation of the Impacts of the Stack Effect in High-rise Buildings; Case Study, In : the 7th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering 2004, pp.359-366

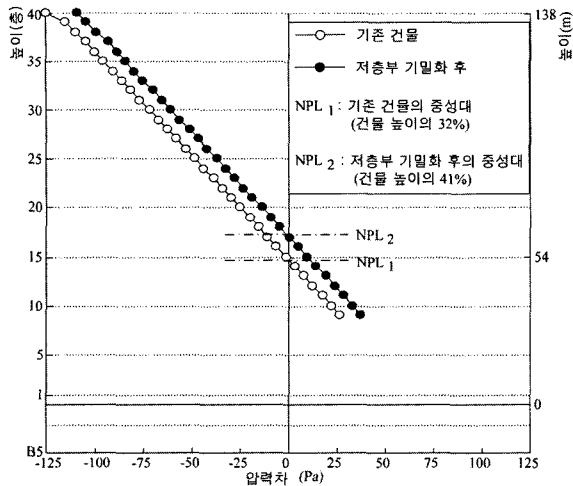


그림 11. 저층부 기밀화에 따른 전체 압력차 변화

기 어려울 것으로 판단된다.

3) 외피의 기밀화에 따른 압력차 저감 효과

대상건물에서 건물 내부에 작용하는 압력차를 저감시키기 위해서 외피의 기밀화에 따른 압력차 저감 정도를 평가하였다. 대상건물의 외피를 각각 Tamura¹⁴⁾의 외피의 기밀도 등급의 ‘보통($4.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$, 50 Pa에서의 누기면적)’ 과 ‘기밀($1.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$, 75 Pa에서의 누기면적)’ 등급으로 변경 후 시뮬레이션을 실시하였으며, 시뮬레이션 결과를 외기와 엘리베이터 샤프트 사이에 발생하는 전체 압력차와, 세대 현관문과 엘리베이터문에서의 압력차를 합한 건물 내부에서의 압력차로 표시하여 <그림 12>에 나타내었다.

개선안의 적용 전에 대상건물의 TDC는 평균 0.26이었으나, 외피의 기밀도를 ‘보통’ 과 ‘기밀’ 로 변경한 후에는 그 값이 각각 0.37, 0.66으로 나타났다. 이는 외피가 기밀할수록 외피가 감당하는 압력차가 증가하며 그에 따라 건물 내부에 작용하는 압력차는 감소함을 의미한다.

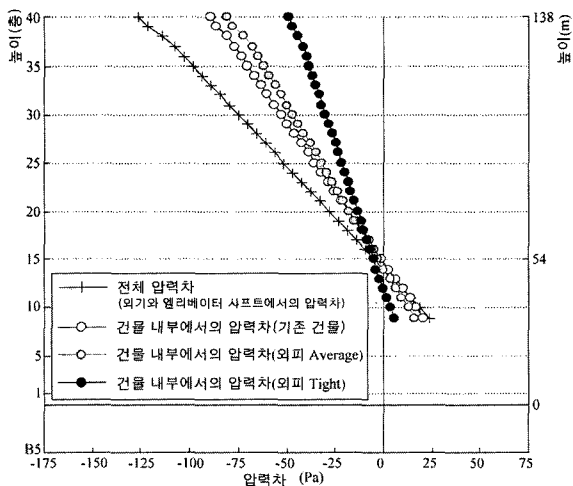


그림 12. 외피의 기밀도에 따른 건물 내부 압력차 변화

특히, 외피가 ‘기밀’ 일 때는 ‘보통’ 의 경우 보다 압력차 저감 효과가 현격히 크며 건물 내부에 작용하는 압력차가 50 Pa을 넘지 않는 것으로 나타나, 압력차 문제를 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 구획의 적용에 따른 시뮬레이션

대상건물의 연돌효과 문제를 해결하기 위한 개선안에서 엘리베이터 샤프트를 수직 조닝하는 것은 이미 완공된 대상건물에서는 적용이 불가능하며, 외피를 기밀화하는 것은 사용자가 거주하고 있는 상황에서는 적용에 어려움이 있어 받아들여지지 않았다. 또한 대상건물에서 받아들인 저층부의 기밀화는 중성대의 높이 상승을 통해 상층부 압력차를 다소 저감시키는 효과는 있었으나 그 효과가 미비하여 고층부 세대 현관문에서의 과도한 압력차 문제는 해결할 수 없었다. 기존 연구¹⁵⁾에 따르면 건물 내부 출입문에서의 압력차 문제를 해결하기 위해서 압력차 분담을 해주는 구획을 하는 것이 효과적이라고 밝히고 있다. 이를 대상건물에 적용하면 엘리베이터 샤프트와 설비 샤프트, 그리고 계단실 등으로 이루어진 코어를 중심으로 경계면을 형성하여 공기의 유동을 차단하는 것이 가장 효과적이라고 판단된다. 따라서 대상건물에 받아들여진 저층부를 기밀화하는 개선안을 적용 후 문제가 발생하는 층(31층~40층)에 대해서 세대 현관문과 엘리베이터문 사이의 공기유동 경로에 구획문을 설치한 후 시뮬레이션을 실시하였다. 구획문을 설치한 후 고층부 세대 현관문에 작용하던 과도한 압력차의 절반정도를 구획문이 감당하게 됨에 따라 세대 현관문에서의 압력차는 <그림 13>과 같이 약 50% 감소하였다.

결과적으로 저층부(지하층 및 로비층) 기밀화 개선안 및 세대 현관문의 압력차 문제가 발생하는 기준층에 구획문 설치 개선안을 통하여 대상건물에서의 연돌효과로 인한 압력차 문제를 효과적으로 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다.

V. 결 론

겨울철 고층 건물에서는 연돌효과로 인한 문제가 많이 발생하며 주거건물에서는 그 문제가 더 심각하게 인식되고 있다. 본 연구에서는 기존 건물을 대상으로 압력분포 실측 및 공기유동 시뮬레이션 적용을 통하여 연돌효과로 인한 문제 해결의 과정을 예시하고 그 효용성을 확인하였다.

본 연구에서 다루어진 연돌효과 문제 해결을 위한 일련의 과정을 요약하면 다음과 같다.

1) 대상건물에서의 공기유동 경로를 조사한 후, 경로상에 있는 건축요소에서의 압력차 측정을 통해 연돌효과 문제 정도 및 문제 발생 위치를 파악할 수 있었다.

14) Tamura, G. T.(1994), op.cit., p.41

15) Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., Kim, K. W.(2004), loc.cit.

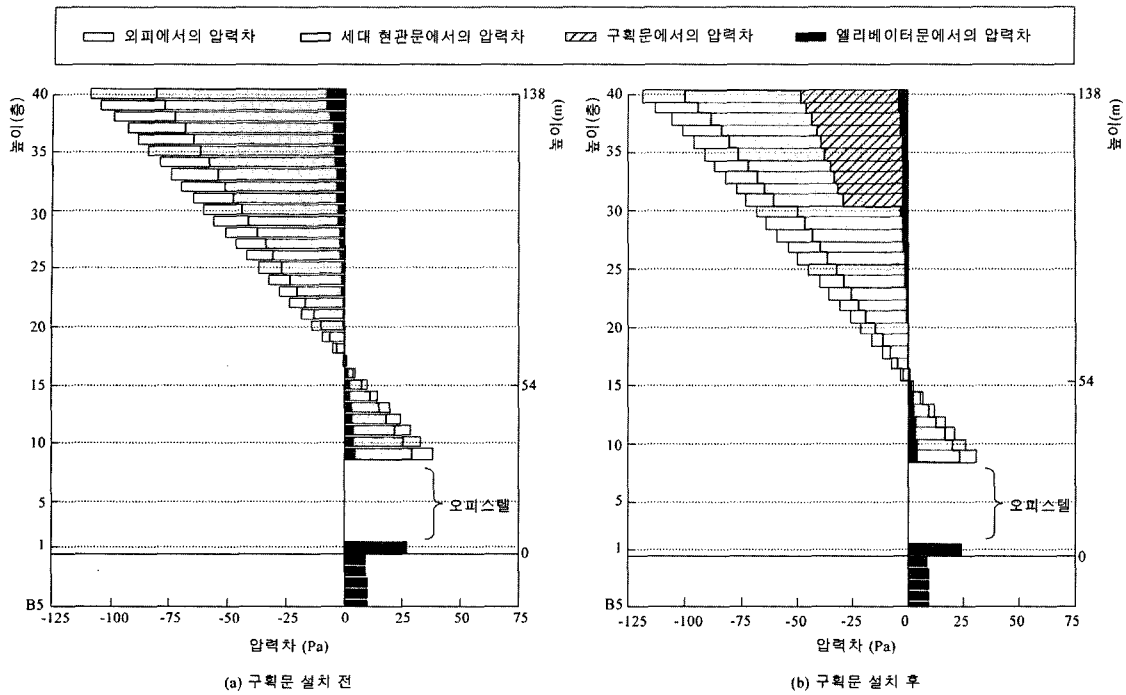


그림 13. 구획문 설치에 따른 외피, 세대 현관문, 엘리베이터문에서의 압력차 변화

2) 주요 공기유동 경로 상에 있는 압력차 측정값들을 활용하여 파악된 건물 전체의 압력분포 분석을 통하여 대상건물에서의 연돌효과로 인한 문제의 원인을 규명할 수 있었으며, 이에 따른 개선안을 마련할 수 있었다.

3) 건물 전체의 압력분포 실측 데이터와 주요 건축 요소의 기밀도 데이터를 바탕으로 대상건물의 공기유동 해석이 가능한 모델링을 할 수 있었다.

4) 공기유동 시뮬레이션을 통하여 제안된 개선안 적용에 따른 압력차 저감 효과를 평가할 수 있었으며, 일련의 과정을 대상건물 측에 용이하게 설명할 수 있었다.

향후 본 논문에서 연돌효과로 인한 문제 해결의 기준으로 삼은 압력차의 크기뿐만 아니라 난방부하 증가의 원인이 되는 침기 및 누기, 그리고 각종 출입문 틈새에서의 소음의 원인이 되는 기류 속도에 대한 분석도 필요할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

1. 서울대학교(2001), 고층건물의 연돌효과에 대비한 건축계획 지침 개발, (주)삼우설계
2. 조재훈·여명석·양인호·김광우(2000), 고층건물의 연돌효과에 관한 연구, 대한건축학회 추계 학술발표대회 논문

- 집(계획계), 제 20권 제 2호
3. ASHRAE(2001), 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
4. ASHRAE(1993), Field Verification of problems caused by stack effect in tall buildings, ASHRAE Research Project 661, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
5. Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., Kim, K. W.(2004), Field Measurement and Evaluation of the Impacts of the Stack Effect in High-rise Buildings; Case Study, In : the 7th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering 2004
6. Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., Kim, K. W.(2004), Solving the Problems due to Stack Effect in Tall Buildings, In : the CIB World Building Congress 2004
7. Tamblin R. T.(1991), Coping with Air Pressure Problems in Tall Buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 1
8. Tamura, G. T.(1994), Smoke Movement and Control In High-rise Buildings. National Fire Protection Association Quincy, NFPA, Massachusetts
9. Dols, W. S., Walton, G. N.(2002), CONTAMW 2.0 User manual, NISTIR 6921, National Institute of Standards and Technology

(接受: 2005. 4. 22)