초고층 건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포 및 문제점

초고층 건물의 설계 및 시공단계에서 고려되어야하는 연돌효과로 인한 압력분포와 제반의 문제점 고찰을 통하여 건설관련 설계자, 시공자 및 HVAC 엔지니어에게 유용한 정보를 제공하고자한다.

조 재 훈
대림산업(주) 기술연구소(jomisl@empal.com)
여 명 석 / 편집위원
서울대학교 건축학과(msyeo@sun.ac.kr)
김 광 우
서울대학교 건축학과(snukkw@sun.ac.kr)

서 론

최근 국내에서는 40층 이상의 초고층 건물이 급속하게 증가하고 있으며 겨울철 과도한 공기유동 및 압력차와 관련한 연돌효과 문제가 많이 대두되고 있다. 건물에서 부력으로 인한 공기의 상승은 건물의 저층부에서는 실내 측에 부압으로, 고층부에서는 정압으로 작용하여 건물의 외피, 내부구획, 그리고 각종 문(세대현관문, 엘리베이터문, 계단실문 등)에서 압력차가 발생한다. 건물이 고층화되면 이러한 공기유동이 더욱 증가하여 과도한 압력차로 인한 문제를 야기할 수 있다. 기존 연구[1]에 따르면 개방형 평면 사무소건물의 경우(외피의 기밀도 수준이 평균 정도) 건물 높이가 약 100 m 이상이 되면, 엘리베이터 문에서의 소음 및 오작동과 같은 연돌효과 문제가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. 특히, 현재 국내에 고층으로 많이 지어지고 있는 주거건물의 경우, 사무소건물과는 달리 외기온이 낮아지는 야간에 사용자가 거주하고 있고, 또 거주자의 소유물이라는 특성 때문에 연돌효과 문제는 더욱 심각하게 받아들여져 빈번한 민원을 야기하고 있으며 건설사에게는 막대한 하자보수 비용을 초래하고 있는 실정이다.

연돌효과로 인한 문제점들에 대한 연구는 국외의 경우, 1960년대부터 북미를 중심으로 다루어졌으나 대부분 측정과 수치적 해석이 용이했던 사무소건물에 한정되어 있는 편이다. 반면 국내의 경우, 1990년대 말부터 고층 주거건물을 중심으로 건축지침 개발[2),3)](설계지침과 기밀화 시공지침)과 개별 프로젝트의 설계안 개선을 위한 영향평가[4),5),6),7),8)] 등의 방향으로 활발하게 연구가 진행되어오고 있다. 그러나 아직도 많은

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 지침개발, (주)삼우설계.
3) 서울대학교(2004), 고층 주거건물에서의 환경성능 향상에 관한 연구, (주)포스코건설.
4) 서울대학교(2000), 수원화성 관망탑의 연돌효과에 의한 영향분석, (주)현대건설.
5) 서울대학교(2002), 여의도 리첸시아 주상복합빌딩의 연돌효과에 의한 영향분석, (주)금호산업.
6) 서울대학교(2002), 아크로비스타 주상복합빌딩의 연돌효과에 의한 영향분석에 관한 연구, 대림산업(주).
7) 서울대학교(2004), 타워팰리스 3차(G동) 건물에서의 연돌효과 영향 실측 소견서, 삼성물산.
8) 서울대학교(2004), the # 스타시티의 연돌효과에 의한 영향평가, (주)포스코건설.

고층 건물들의 계획단계에 연돌효과를 고려한 설계가 이루어지지 않고 있으며 최종 설계안에 대한 검토도 미비하여, 준공 후 많은 문제를 발생시키고 이에 대한 해결에 심각한 어려움을 겪고 있다. 또한 다수의 현장협의를 통한 경험으로 볼 때, 관계자들의 연돌현상에 대한 이해와 문제점에 대한 인식이 부족한 것도 근원적인 문제점으로 여겨진다.

이에 본 글은 초고층 건물에서 반드시 고려되어야 하는 연돌현상에 대해서 그 발생 원리를 파악하고 이로 인한 압력분포의 특징과 제반의 문제점을 고찰하여 초고층 건물의 설계, 설비, 시공 관계자 및 연구자에게 기초적인 정보를 제공하고자 한다.

연돌효과에 대한 이론적 고찰

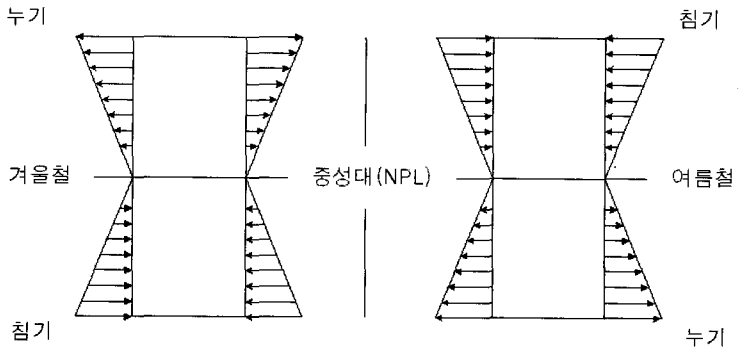
연돌효과의 원리

연돌효과(stack effect)는 건물 실내외 공기기둥의 무게 차이로 인한 압력차에 의해 발생한다. 겨울철에는 건물 내부가 따뜻하고 건물 외부가 차갑기 때문에 지표면상에서의 압력은 건물 내부가 낮아 이 압력차로 인하여 지표면상에서 건물로 들어오는 공기는 건물 내부의 상부로 이동한다. 여름철에는 건물 내의 공기가 차갑기 때문에 건물 내부의 공기가 건물 외부로 흐르게 된다. 즉, 겨울철 건물 실내외 온도차는 높이에 따라 실내외 공기의 밀도차이를 유발하며, 이 밀도차이로 인해 외벽에 생기는 압력차는 건물 높이에 따라 점점 커지게 된다. 이러한 압력차에 의해 야기된 공기 수직 흐름은 건물 굴뚝에서의 공기 흐름과 유사하며 이러한 현상을 일반적으로 연돌효과 또는 굴뚝효과(chimney effect)라고 정의한다.

여름철에는 건물 내의 공기가 차므로 바깥의 공기가 건물의 상층부로 들어와서 하부로 흐르게 되는데, 이를 겨울철의 연돌효과와 구분지어 역연돌효과(reverse stack effect)라고 부른다(**그림 1** 참조). 그러나 이론적인 연돌효과의 크기는 실내외 온도차에 비례하게 되므로 여름철에는 그 압력차의 크기가 겨울철에 비하여 매우 작은 편이며 실내외 온도가 비슷한 중간기에는 연돌효과로 인한 압력차가 거의 없다고 할 수 있다. 연돌효과의 영향 하에서는 외벽을 기준으로 건물 내부 공기의 압력이 외부 공기의 압력과 일치하는 부위가 존재하게 되며 이를 건물의 중성대(neutral pressure level, NPL)라 한다. 중성대의 위치는 건물에서의 상하부에 나누어지는 이론적 연돌효과의 수직적 크기를 결정하기 때문에 압력분포 이해의 관점에서 매우 중요한 인자라 할 수 있다.

건물에서의 압력분포

연돌효과로 인한 압력차와 바람 및 기계적 가감압에 의한 압력변화는 건물 각 존에서의 압력값들을 다르게 나타나게 한다. 이러한 복잡한 압력분포를 이해하기 위해서는 대상 건물에 존재하고 있는 각 공기유동 경로를 파악하여야한다. 다양한 공기유동 경로 중, 연돌효과 측면에서 가장 중요한 영향을 미치는 엘리베이터 샤프트나 계단실과 같은 수직적 공기유동 경로를 우선적으로 고려하여야하며 각 층 단위의 바닥, 내부구획, 그리고 외벽에 존재하는 경로



[그림 1] 연돌효과 및 역연돌효과로 인한 공기유동

도 함께 반영하여야 한다.

그림 2[9]의 건물은 각 층에는 여러 공기유동 경로를 통해서 직접적으로 공기가 흐르는 부분이 있으며, 여러 층을 관통하여 공기가 흐를 수 있는 수직 통로인 계단실과 엘리베이터, 그리고 각 종 설비관련 샤프트가 있는 건물의 압력분포를 나타낸다. 즉 개방형 평면을 갖고 각 층마다 외벽에 개구부가 동일하게 분배되어 있으며 각 층을 수직 통로가 관통하는 사무소건물을 나타낸 것이라고 할 수 있다. 이 경우 층간의 압력차와 샤프트 벽 안팎의 압력차가 층마다 각각 다르게 나타나며 수직통로에 대한 압력도 전체 연돌효과 측면에서 반드시 고려하여야한다. 따라서 층 단위의 압력분포는 외벽과 샤프트벽(엘리베이터 문 또는 계단실문)의 압력차로 분배되고 그 비율은 각 건축적 요소의 상단누기면적의 비에 따라 달라진다. 단, 이 경우 수직 통로 내에서의 벽면 마찰에 의한 기류 저항은 일반적으로 크지 않으므로 무시할 수 있다. 이러한 압력의 분배에 따른 각 건축적 요소에서의 압력차가 어떤 부위에서 과도하게 된다면 압력차 문제가 발생하게 된다고 할 수 있다.

고층 주거건물 압력분포 실측

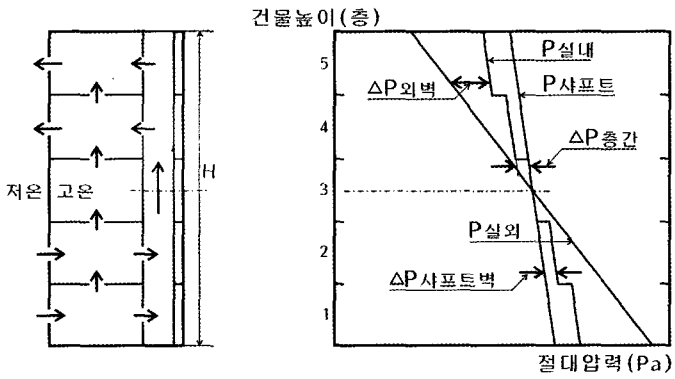
최근 국내에 많이 지어지고 있는 고층 주거건물에서의 압력분포는 전체 건물에서의 공기유동 경로에 따라 달라지고 평면계획도 사무소건물에 비해 복잡하므로 그 예측이 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 이에 실제 고층 주거건물에서의 압력분포를 이해하고 관련 문제점을 파악하기 위하여 엘리베이터 조닝 계획이 다른 2개의 타워형 고층 주거건물을 실측하였다.

실측 건물 개요

두 실측 건물(이하 A 건물, B 건물)은 엘리베이터 샤프트의 조닝에 따라 여러 수직적 존으로 구성되어 있다. A 건물에는 두 개의 엘리베이터 샤프트가 있으며, 지하층과 1층, 그리고 주거부(9층~40층)를 운행하는 고층용 엘리베이터와 지하층과 1층, 그리고 오피스텔부(2층~8층)를 운행하는 저층용 엘리베이터로 구성되어 있다. B 건물의 경우, 저층용 엘리베이터(1층~15층), 중층용 엘리베이터(1층, 2층, 16층~54층), 고층용 엘리베이터(지하 1층~2층, 54층~69층)의 세 종류의 엘리베이터 샤프트로 조닝 되어 있다. 두 실측 건물의 기준층 평면과 단면도를 **그림 3**에, 건물 개요를 **표 1**에 요약하였다.

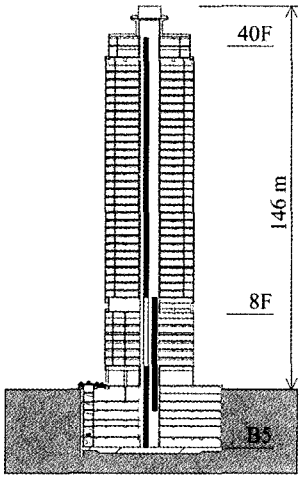
실측 건물의 현황 조사

A 건물은 B 건물에 비해 약 110 m 가량 높이가 낮았음에도 불구하고 상대적으로 더 큰 연돌효과로 인

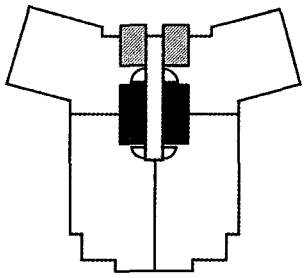


[그림 2] 개방형 사무소건물에서의 이상적인 압력분포

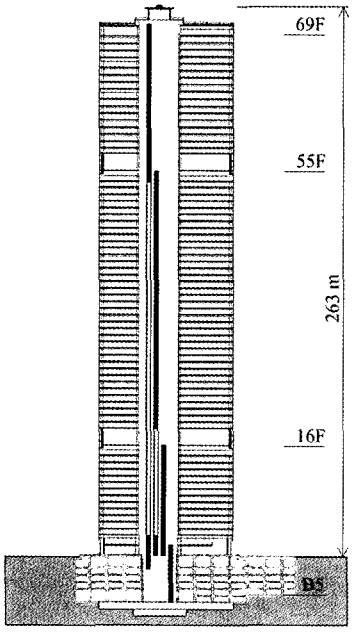
9) Tamura, G. T.(1994), Smoke movement and control in high-rise buildings, National Fire Protection Association, p.63.



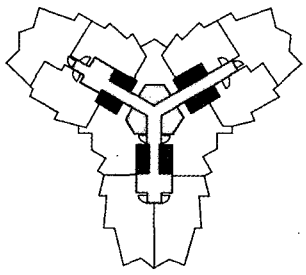
(a) A 건물의 단면도



(b) A 건물의 기준층 평면도



(c) B 건물의 단면도



(d) B 건물의 기준층 평면도

[그림 3] 실측 건물의 단면도 및 기준층 평면도

한 압력차가 나타났으며 그로 인한 많은 압력차 문제가 발생하고 있었다. 외기온이 약 -6℃ (실내외 온도차 약 28℃) 정도였던 때, 현황 조사기간 동안 파악된 연돌효과 문제점을 각 건물별로 요약하였다.

(1) A 건물에서의 현황 조사

A 건물의 지하층에서는 엘리베이터문이 닫히지 않는 '엘리베이터문 오작동 문제'가 발생하고 있었으며 그 압력차는 23 Pa 이상이었다. 또한, 지하층 엘리베

<표 1> 실측 건물의 개요

	A 건물	B 건물
준공년도	2003년 12월	2004년 1월
층수(지하층)	40층(5)	69층(5)
건물높이	146 m	263 m
연면적	86,960 m²	223,410 m²
건물구조	SRC	SRC
외벽 종류	알루미늄 커튼월	알루미늄 커튼월
용도	주상복합건물	주상복합건물

이터문과 고층부 세대 현관문에서는 60 dB(A) 이상의 틈새 소음이 발생하고 있었다. 일부 층에서는 세대 현관문에 걸리는 압력차가 50 Pa을 넘어 과다한 압력차가 작용하고 있었으며, 이 경우, 출입문 개방이 어려워 화재 등과 같은 비상 시 심각한 문제를 초래할 수 있다. 현황조사에서 밝혀진 A 건물에서의 연돌효과 문제를 요약하면 크게 엘리베이터문의 오작동 문제, 엘리베이터문 및 세대 현관문에서의 소음 문제, 그리고 세대 현관문의 개방힘 과다 문제로 나눌 수 있으며 구체적인 위치와 측정값은 다음과 같다.

① 엘리베이터문에서의 소음 문제
- 지하 1층 승객용 엘리베이터문에서 고주파의 소음 발생
- 소음 측정치: 75~80 dB(A), 실내복도 소음 기준 45 dB(A) 초과

② 엘리베이터문의 오작동문제
- 지하 2층~지하 4층 승객용 엘리베이터문의 오작동 발생
- 압력차 측정치: 23~35 Pa

③ 세대 현관문의 소음문제 및 문 개방힘 과다
- 지상 37~40층 세대 현관문에서 소음 발생
- 소음 측정치: 63~68 dB(A), 실내복도 소음 기준 45 dB(A) 초과
- 지상 40층 세대 현관문 개방힘 과다
- 압력차 측정치: 60~65 Pa, 출입문 개방 압력 기준 50 Pa 초과

④ 기 타
- 지하상가 및 로비층 많은 외기의 유입으로 인한 불쾌적 증대
- 각 종 출입문(엘리베이터문, 세대 현관문, 보조 출입문, 계단실문, 옥상층 출입문 등)을 통한 강한 공기의 유출입으로 불쾌감 증대
- 최상층 세대 주방배기 불량[10]
- (저녁시간 때, 지상 40층 세대 주방으로 다른 세대의 음식조리 냄새가 유입)

(2) B 건물에서의 현황 조사

B 건물은 A 건물에 비해 높음에도 불구하고 전반적으로 A 건물에 비해 연돌효과로 인한 문제가 적게 발생하였다. 대부분의 층에서 엘리베이터문 오작동 문제를 발생하지 않았으며, 세대 현관문의 개방힘 과다 문제도 나타나지 않았다. 그러나 지하층 엘리베이터문에서는 틈새 소음이 발생하였으며, 고층용 엘리베이터와 중층용 엘리베이터가 만나는 환승 층에서는 두 샤프트 간에 강한 기류가 흘러 문제가 발생할 수 있는 것으로 예상되었다. 또한 지상 1층 셔틀 엘리베이터 샤프트로부터 로비 쪽으로 강한 기류가 발생하는 문제점이 있었다. 현황 조사에서 밝혀진 B 건물에서의 연돌효과 문제를 요약하면 크게 엘리베이터문의 오작동 문제, 엘리베이터문 및 세대 현관문에서의 소음 문제, 그리고 세대 현관문의 개방힘 과다 문제로 나눌 수 있으며 구체적인 위치와 측정값은 다음과 같다.

10) 다른 층의 세대는 현장 사정으로 확인 불가

① 엘리베이터문에서의 소음 문제
- 지하 1층 고층용 승객용 엘리베이터문 소음 발생
- 소음 측정치: 60~70 dB(A), 실내복도 소음 기준 45 dB(A) 초과

② 엘리베이터문의 오작동문제
- 대부분의 층에서 오작동 문제없음
- 지하 1층, 지상 1층 및 2층에서 압력차 증대

③ 세대 현관문의 소음문제 및 문 개방힘 과다 문제
- 대부분의 층에서 문제없음
- 고층부에서 압력차가 크게 나타남

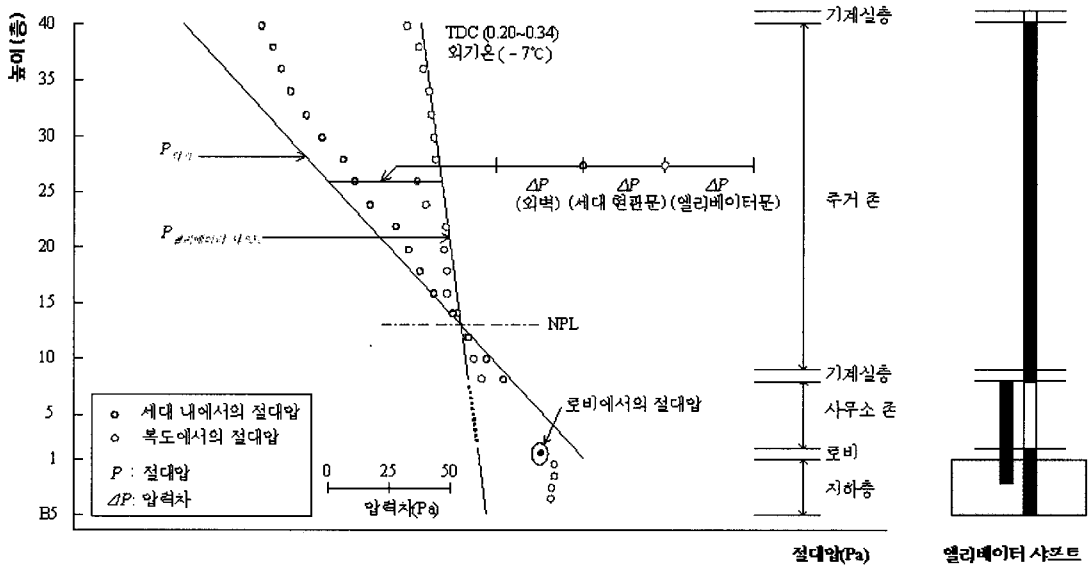
④ 기 타
- 54층 엘리베이터 환승 층 기류량 증대
- 지상 1층 셔틀 엘리베이터로부터 로비 쪽으로 강한 기류 발생

압력분포 실측 결과

(1) 중성대 위치와 압력분포 분석

A 건물의 중성대는 건물 높이의 약 32% 되는 지점으로 측정되었다(**그림 4** 참조). 이는 A 건물의 저층부 쪽에 많은 침기가 발생됨을 나타내고 건물의 고층부에서 압력차가 저층부보다 더 커지는 원인인 된다. 즉, 건물 높이의 절반보다 낮은 곳에 중성대가 형성되어 내부 구획과 외피에 걸리는 압력차는 건물의 고층부에서 더 크게 증가하게 된다. 결과적으로, 앞서 현황 조사시 파악된 문제점의 원인으로 고층부에서의 과도한 압력차, 로비와 지하층에서의 과도한 압력차 및 침기로 설명할 수 있다.

B 건물의 경우, 측정을 통해 얻어진 고층용 엘리베이터 샤프트, 중층용 엘리베이터 샤프트, 그리고 저층용 엘리베이터 샤프트의 중성대를 **그림 5**에 각각 나타내었다. 세 중성대는 저층용 엘리베이터 샤프트의 경우 대략 건물 높이의 20%, 중층용 엘리베이터 샤프트의 경우 41%, 그리고 고층용 엘리베이터 샤프트의 경우 55%에 형성되었다. 다시 말하면, 고층용 엘리베이터 샤프트의 중성대는 고층용 엘리베이터 존의 아래쪽에, 저층용 엘리베이터 샤프트의 중성대는 저층용 엘리베이터 존의 위쪽에 형성되었다. 이러한 결과는, 고층용 엘리베이터 샤프트의 경우, 저층부로 이어져있는 엘리베이터 샤프트와 계단실 등이 고층용 엘리베이터 존의 하부에 연결되어 있으므로 이를 통해 많은 공기가 유입될 수 있으며, 이는 곧 중성대의 높이를 낮출 수 있다는 사실로 설명된다. 저층용 엘리베이터 샤프트의 경우에는, 이러한 유동 경로가 저층용 엘리베이터 존의 위쪽에 연결되

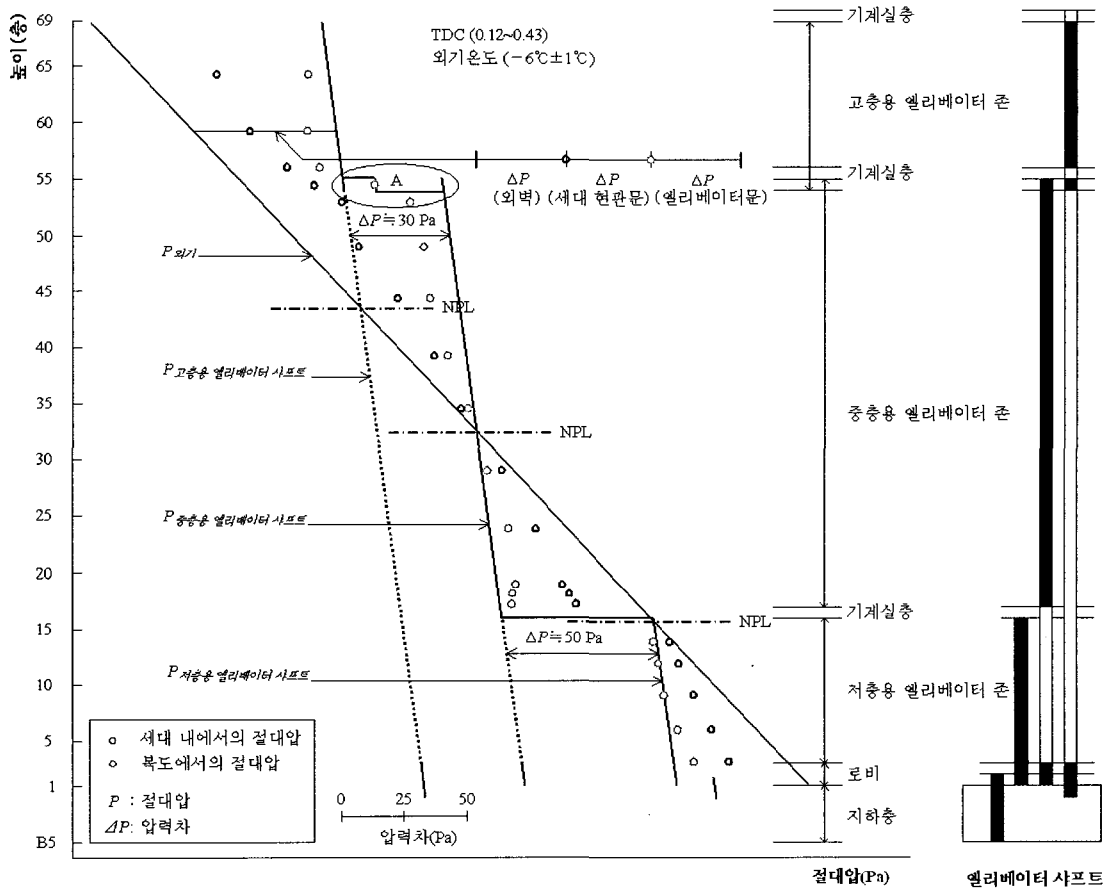


[그림 4] A 건물에서의 압력분포 측정 결과

어 있으므로 반대의 현상이 나타나게 된다.

(2) 연돌효과로 인한 문제점 분석

두 건물의 실측 결과를 압력차의 관점에서 살펴보면, 엘리베이터문에서의 과도한 압력차는 로비와 지하층에서 주로 발생하는 것으로 나타났다. 특히, A 건물의 지하 1층과 로비와 B 건물의 지하 1층에서 엘리베이터문에서의 압력차가 25 Pa 이상으로 나타나 실측하는 동안 엘리베이터 오작동 문제와 소음 문제를 경험할 수 있었다. 그러나 기준층에 위치한 대부분의 엘리베이터문에서는 그 압력차가 25 Pa을 넘지 않는 것으로 나타났다. B 건물에서는 다른 엘리베이터로 갈아탈 수 있는 환승 층(54층)이 있는데, 중층용 엘리베이터 샤프트에서 복도로 빠져나온 공기가 다시 고층용 엘리베이터 샤프트로 새어 들어가는 문제가 있었으며, 이로 인해 실측 기간 내내 지속적인 불쾌한 소음을 경험할 수 있었다(**그림 5** 'A'). A 건물 고층부의 세대 현관문에서는 50 Pa 이상의 과도한 압력차가 발생하고 있었으며, 이로 인해 현관문 개폐가 어려움 및 심각한 소음이 발생하였다. 외벽 보다는 세대 현관문에 더 많은 압력차가 걸리고 있었으며, 특히, 몇몇 층에서는 세대 현관문에 걸리는 압력차가 외벽에 걸리는 압력차의 두 배에 달하기도 하였다. B 건물의 세대 현관문에 걸리는 압력차는 A 건물에서의 압력차만큼 크지는 않았으나, 외벽보다는 세대 현관문에 더 많은 압력차가 걸리는



[그림 5] B 건물에서의 압력분포 측정 결과

양상은 유사하게 나타났다.

두 실측 건물에서, 계단실문과 비상용 엘리베이터문에서의 압력차는 20 Pa 보다 낮게 나타났는데, 이는 옥상으로 통하는 계단실문을 제외하고는 계단실문과 비상용 엘리베이터문에 모두 전실이 설치되어 있기 때문에 압력차의 부담이 작아졌기 때문인 것으로 사료된다.

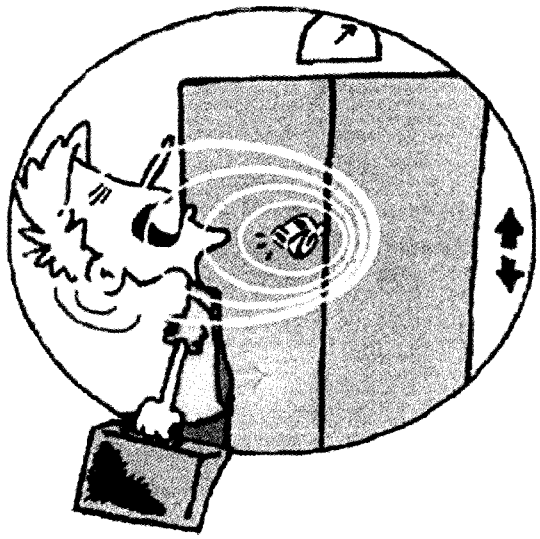
연돌효과로 인한 문제점

연돌효과로 인한 문제는 대부분 과도한 압력차로 인하여 발생하고 있었으며 대표적인 문제점으로는 출입문에서의 압력차 문제, 엘리베이터문에서의 압력차 문제, 침기 및 누기에 따른 에너지 문제 및 공조 설계의 어려움, 각종 수직 배기 시스템에서의 역류 현상 등으로 조사되었다. 국내외 기존연구 고찰 및 앞서 살펴 본 국내 건물의 현황조사 결과에서 밝혀진 연돌효과 관련 주요 문제점을 요약 정리하면 다음과 같다.

엘리베이터문의 오동작(elevator sticking problem)[11]과 틈새 소음[12]

연돌효과로 인한 문제가 가장 빈번하게 발생하는 곳 중 하나가 수직 샤프트의 공기유동 경로인 엘리베이터문이다. 이는 압력차가 엘리베이터문에 과도하게 작용할 경우, 엘리베이터문이 닫힐 때 문의 닫히는 힘보다 문 양편의 압력차가 더 커서 엘리베이터문이 guider에 밀착되어 원활한 작동이 이루어지지 못하는 현상을 말한다(**그림 6** 참조). 또 다른 문제점으로 엘리베이터문 사이나 주위의 틈새를 통과하는 기류에 의해서 고주파의 소음이 발생할 수 있으며 이는 외기 온도가 일정 값 이하로 낮아지면 지속적으로 발생하게 되므로 고층 건물에서는 반드시 방지토록 대책을 마련하여야 한다(**그림 7** 참조). 엘리베이터문 오작동 문제의 발생 정도는 각 엘리베이터 제공업체에서 설정한 문의 개폐압력 및 건물에 설치된 엘리베이터문의 틈새 정도에 따라 달라진다. 엘리베이터 업체에서는 이에 대한 기준을

[그림 6] 엘리베이터문의 오작동 수리 모습



[그림 7] 엘리베이터문에서의 소음

11) 엘리베이터문이 닫히려고 할 때, 과도한 압력차에 의해 닫히지 못하고 다시 열려 엘리베이터 카의 운행이 되지 않는 현상

12) 엘리베이터문 주변의 틈새와 양 문짝이 만나는 부위에서 발생하는 고주파의 바람을 가르는 소리

가지고 있지 않았으며 사무소건물의 압력분포를 측정한 국외연구[13]에 따르면 25 Pa 정도의 압력차에서 문제가 발생하는 것으로 밝히고 있다. 본 연구에서 수행된 국내건물 현황 조사[14]에서는 약 23 Pa 정도의 압력차에도 문제가 발생할 수 있는 것으로 확인이 되었다.

출입문 개폐의 어려움

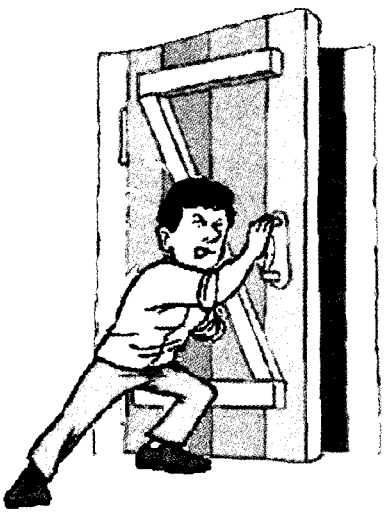
연돌효과로 인한 과도한 압력차가 출입문에 작용할 경우 출입문을 원활히 개폐하는데 어려움이 발생한다. 공기의 수직적 유동 경로가 되는 계단실의 출입문이나 세대 현관문, 그리고 옥상으로 연결된 출입문 등에 특히 많은 압력차가 작용하게 되며, 이러한 문제는 각 실 간의 출입을 어렵게 하고, 특히 화재 시에 거주자의 피난을 어렵게 하여 심각한 재해를 야기할 수도 있다. 또한 건물의 로비나 지하층에 엘리베이터 샤프트 같은 수직 샤프트로 통하는 외부 출입문에 높은 압력차가 작용하게 되면 문이 닫히지 못하여 차가운 외기가 계속 유입되는 문제가 발생하기도 한다(**그림 9** 참조).

침기와 누기에 의한 에너지 손실 및 로비층 난방 불량

고층 건물에서는 연돌효과로 인해 저층부의 출입구나 개구부에서는 외기의 침입이 많아지고, 유입된 공기는 엘리베이터 샤프트나 계단실 샤프트와 같은 수직 경로를 통해 건물의 상층부로 이동한다. 건물의 상층부에서는 다시 건물 내 공기가 건물 외로 빠져나가는 누기가 발생한다. 이같은 현상으로 인해 상층부 공간은 과열될 수 있는 반면 하층부의 재실자는 난방 불량으로 인한 불쾌적을 호소하기도 한다. 특히 개방용 창문이 설치된 건물에서는, 상층부 재실자가 창문을 개방할 경우 이로 인한 침기와 누기에 따른 불쾌적 문제는 더욱 증가하게 된다. 누기에 따른 건물 내 난방 공기의 유출은 결과적으로 건물에서의 막대한 에너지 낭비로 이어지게 된다(**그림 10** 참조).

세대의 환기 불량, 화장실 및 주방 배기의 어려움

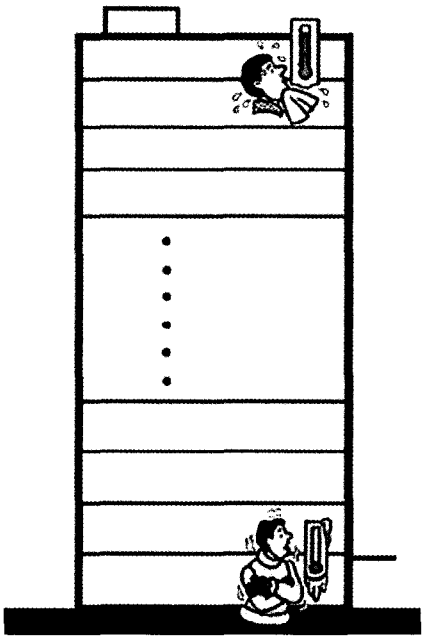
주상복합형 고층 주거건물의 외피는 외기의 영향을 최소화하기 위하여 기밀하게 계획을 하고 대부분 세대에는 개별 환기 시스템[15]을, 복도 및 로비는 중



[그림 8] 출입문 개폐의 어려움

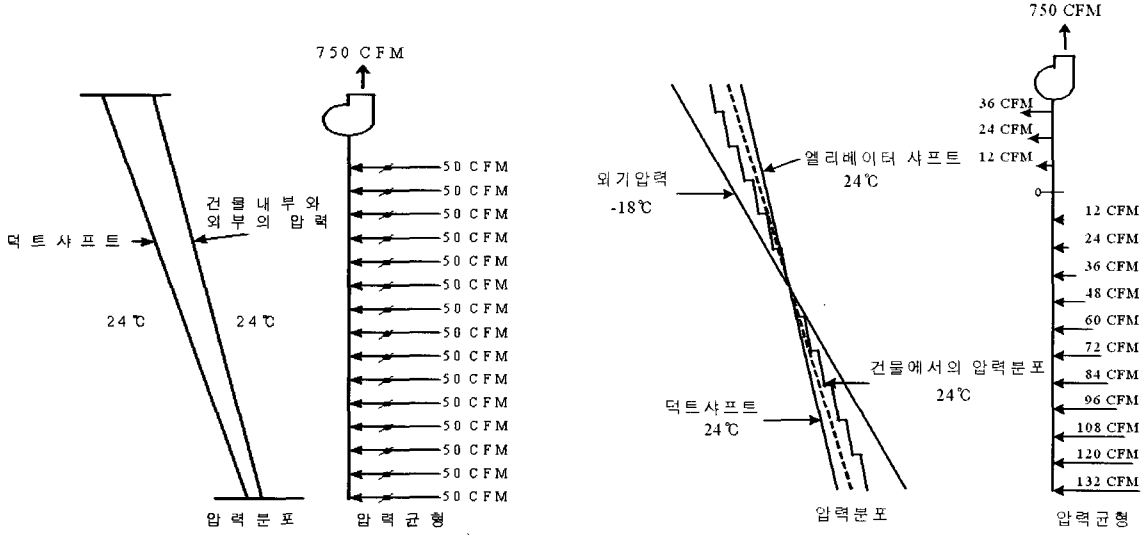
[그림 9] 닫히지 않는 로비층 출입문

13) ASHRAE(1993), op.cit.
14) 승객용 엘리베이터문 오작동이 발생하는 국내 고층 주거건물에서의 압력차 측정 조사



[그림 10] 난방 불량에 의한 불쾌적

앙 공조시스템을 사용하여 환기를 하고 있다. 즉 개별 세대의 환기는 기존 공동주택에서의 개방창이나 현관문을 통한 자연환기(또는 침기) 방법이 아닌 기계환기 시스템을 사용하여 조절하고 있다. 그러나 고층 건물의 경우 기계환기 시스템에 영향을 줄 수 있는 연돌효과로 인한 압력차가 건물 높이마다 다르고 각 세대는 건물 내에서 발생하는 전체 공기유동의 영향을 받기 때문에 결과적으로 각 층의 세대에 작용하는 환기 구동력은 각기 다르게 된다. 따라서 이러한 연돌효과로 인한 압력차와 공기유동의 영향을 고려하지 않은 기계환기 시스템의 경우 적절한 환기가 이루어지지 못하는 문제점(imbalance of ventilation)이 발생할 수 있다. 또한 건물의 수직 배기 시스템에서 연돌효과를 고려하지 않을 경우 상층부에서 설정 배기 성능을 밝히지 못하는 역류 현상(flow reversal)이 발생할 수 있다. 다음 **그림 11**[16]은 겨울철 배기부분에서의 역류 현상을 잘 설명하고 있



(a) 중간기 (b) 동절기

[그림 11] 계절별 화장실 배기 샤프트에서의 풍량 변화

15) 국내 고급형 고층 주거건물의 경우, 세대환기를 위해 대부분 개별 전열교환기 시스템을 사용하고 있음

16) Tamblyn(1991), R. T., Coping with air pressure problems in tall buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, part 1, p.826.

으며 이러한 역류 현상은 역연돌효과가 발생하는 여름철에도 흔히 발생하는 문제점으로 알려져 있다.

오염공기 및 연기의 확산

연돌효과에 의해 건물 내부의 공기는 아래층에서부터 수직통로로 흘러 들어가는 기류와 수직통로에서 위층으로 빠져나가는 기류로 인하여 일반적으로 위로 상승하며, 지하 주차층의 배기가스와 같은 오염공기, 화장실 및 음식점 냄새들이 퍼지는 것에 영향을 미친다. 또한 건물의 저층부에서 화재가 발생할 경우, 연돌효과로 인한 상승 기류의 영향으로 유독성 연기와 화염이 각 종 수직 개구부인 계단실, 엘리베이터 샤프트, 설비 샤프트, 공조용 덕트 등을 통하여 급속하게 전 층으로 확대되어 거주자의 안전에 심각한 문제를 야기하기도 한다.

기타 문제점

앞서 언급한 주요 문제점 이외에도 고층 건물에서 흔히 발생하여 반드시 해결해주어야 하는 연돌효과 문제로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 누기로 인하여 건물 고층부의 외벽 및 벽체에 결로 발생(**그림 12**)
- 강한 유입 외기에 의한 불쾌감 유발(**그림 13**)
- 외기유입으로 인한 저층부 기계실의 배관 및 로비층 스프링클러 배관 동파
- 설비 샤프트 점검구 틈새에서의 소음 발생
- 고층부 외벽에 결로수로 인한 결빙(또는 고드름 낙하 위험)
- 엘리베이터 샤프트를 통한 강한 상승 기류로 인하여 엘리베이터 카의 흔들림
- 제연설비 계획 및 방화구획 유지의 어려움

맺 음 말

고층 건물에서의 연돌효과로 인한 이론적 압력크기는 건물높이와 실내외 온도차로 구할 수 있으나, 그 압력차의 분포는 건물에 존재하는 다양한 공기유동 경로의 구성에 따라 복잡하게 나타나게 된다. 이러한 압력분포가 건축적 요소(건물의 구조체, 개구부의 창호와 문 등)에 어떻게 작용(압력차의 크기, 층 단위의 분배 정도)되는지에 따라 문제발생 여부 및 그 정도가 달라진다. 실측 사례를 중심으로 고찰한 연돌효과 문제점은 대부분 과도한 압력차로 인하여 발생하고 있었으며 그 대표적인 문제점으로는 출입문에서의 과도한 압력차, 엘리베이터문의 오작동 및 소음, 침기 및 누기에 따른 공조 설계의 어려움 및 에너지 낭비, 주거세대 환기 불량, 그리고 각 종 수직배기 시스템에서의 역류 현상 등으로 조사되었다.

연돌효과로 인하여 발생할 수 있는 문제들을 효과적으로 저감시키거나 방지하기 위해서는 건축 설계자의 경우, 초기 계획단계에 연돌효과에 대비한 설계를 하여야한다. 또한 설비 엔지니어나 관련 연구자들은 고층 건물에서의 정확한 냉난방 부하 계산 및 적절한 환기성능을 확보하기 위해서 외피 및 내부구획에 걸리는 연돌효과로 인한 압력차를 반드시 고려하여야한다. 아울러 이러한 설계 과정을 거친

[그림 12] 누기에 따른 결로

[그림 13] 로비층 강한 외기 유입

후에는 전문가에 의한 영향평가(공기유동 시뮬레이션을 통한 정량적인 분석)를 실시하여 설계안에 대한 면밀한 검토과정을 거치는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 서울대학교, 고층건물의 연돌효과에 대비한 건축계획 지침개발, (주)삼우설계, 2001.
2. 서울대학교, 고층 주거건물의 환경 성능 향상에 관한 연구, (주)포스코건설, 2004.
3. 서울대학교, 수원화성 관망탑의 연돌효과에 의한 영향분석, (주)현대건설, 2000.
4. 서울대학교, 아크로비스타 주상복합빌딩의 연돌효과에 의한 영향분석에 관한 연구, 대림산업(주), 2002.
5. 서울대학교, 여의도 리첸시아 주상복합빌딩의 연돌효과에 의한 영향분석, (주)금호산업, 2002.
6. 서울대학교, 리첸시아 건물에서의 연돌효과 영향 실측 소견서, (주)금호산업, 2004.
7. 서울대학교, 타워팰리스 3차 건물에서의 연돌효과 영향 실측 소견서, 삼성물산, 2004.
8. 서울대학교, 포스코트 건물에서의 연돌효과에 대한 소견서, (주)포스코건설, 2003.
9. 조재훈, "고층 주거건물에서의 압력분포 시뮬레이션 및 압력차 문제 해결", 대한건축학회논문집(계획계) 제 21권 제 11호, 2005.
10. 조재훈, 여명석, 김광우, "고층 주거건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포에 관한 연구", 대한건축학회논문집(계획계) 제 21권 제 5호, 2005.
11. Donald, E. R., HVAC design guide for tall commercial building, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004.
12. Hayakawa, S. & Togari, S., Study on the stack effect of tall office building(part 1), Journal of Architectural Institute of Japan, Vol. 387, 1988. [in japanese].
13. Tamblyn, R. T., Coping with air pressure problems in tall buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, part 1, 1991.
14. Tamura, G. T., Smoke movement and control in high-rise buildings, National Fire Protection Association, 1994.