

백화점 건물에서의 연돌효과 엔지니어링 컨설팅

판매시설 건물에서의 연돌효과로 인한 문제점 및 원인을 파악하고 효과적인 엔지니어링 과정에 대한 이해를 돕고자 기존 준공건물에서 수행하였던 컨설팅 사례를 소개한다.

조재훈

충북대학교 건축공학과(jhjo@cbnu.ac.kr)

일반적으로 연돌효과 문제는 과도한 압력차 문제점을 중심으로 100 m 이상의 고층 건물에서 빈번하게 발생하는 것으로 알려져 있으나 최근에는 판매시설 건물들(예: 백화점, 쇼핑센터)이 점차 대형화되고 복합용도로 지어지면서 과도한 실내기류 속도라는 연돌효과 문제가 이슈화되고 있다. Complex 판매시설 건물들은 저층부의 많은 출입구로 인한 다량의 공기유입, 에스컬레이터라는 수직 상승통로 및 건축공법으로 인한 기밀화의 어려움으로 인하여 저층의 높이에도 불구하고 연돌효과 문제가 심각하게 발생하고 있다. 이에 본 원고는 판매시설 건물에서의 연돌효과 문제점과 원인 및 효과적인 엔지니어링 적용에 대한 이해를 돕고자 기존 준공건물(백화점 건물)에서 동절기에 발생하는 연돌효과 문제점 해결방안 마련의 연돌효과 컨설팅 프로젝트를 소개한 것이다. 연돌효과 컨설팅 사례에서는 먼저 대상건물의 주요 문제점을 파악하기 위하여 도면검토 및 현황조사(건물 조사, 관리자 인터뷰 및 간이 실측 포함)가 이루어졌으며, 문제해결을 위한 실내기류 속도 기준을 설정하였다. 다음으로 도면검토 및 현황조사를 바탕으로 연돌효과 문제점의 원인을 분석하였으며 이를 해결하기 위한 '건축적/설비적 개선항목'을 마련하

였다. 이후 관계자 협의를 바탕으로 적용가능한 '개선안'에 대하여 연돌효과 영향평가 시뮬레이션을 실시한 후, 대상건물에서의 연돌효과 문제저감을 위한 '최종안'을 마련하는 일련의 과정으로 진행되었다.

연돌효과 관련 실내기류속도 기준 설정

실내에서 일정 기준 이상의 공기속도가 나타나면 건물 이용자는 불쾌감을 느낄 수 있으며 종이 날리거나 실내조경 식물이 흔들리는 문제, 실내 유동 가설물에 풍압을 가하게되어 문제를 일으킬 수 있다. 엘리베이터나 에스컬레이터 이용고객이 속도나 풍량 측면에서 과도한 기류를 경험하게 되어 민원으로 된 사례"도 흔히 보고되고 있다. 실내 기류속도에 대한 문제점 기준은 공기 온도, 재실자의 의복 착용량, 공기습도, 그리고 기류의 방향에 따라 매우 다양하게 평가될 수 있다. 실내기류속도에 대한 기준은 재실자가 하고 있는 작업이나 각각 사람의 느낌에 따라 천차만별이어서 실온이 몇 도일 때, 어느 정도의 기류 속도값이 문제가 될 수 있는가 하는 것은 일반적으로 결정하기가 매우 어렵다 할 수 있다. 일반적으로 겨울철의 경우에는 아주 작은 기류 속도값이

- 1) 사례1. 엘리베이터문이 열렸을 때 빠르게 불어나오는 기류에 의해 머리가 날리거나 의복이 날리는 경우
- 사례2. 에스컬레이터 이용고객이 상승기류로 인해 불쾌감을 호소한 경우
- 사례3. 지하 주차장 및 지상 주출입구에서 들어오는 차가운 외기에 대한 콜드드래프트(Cold Draft)



라 할지라도 콜드 드래프트(cold draft)를 야기할 수 있어 아주 제한적으로 허용되고 있다. 국내 건축법에 규정된 “실내허용 환경조건”에서의 실내기류속도 기준은 0.5 m/s 이하로 제한²⁾되고 있으며 국내 참고문헌³⁾에서는 쾌적한 환경을 만들기 위한 어느 정도의 실내 기류속도(바람)가 필요하다고 밝히고 있으나 이도 27℃에서는 0.5 m/s, 26℃에서는 0.35 m/s 정도가 바람직하다고 제한하고 있다. 국외 연구⁴⁾에 따르면 0.8 m/s 이상의 실내기류는 종이와 머리카락을 날리게 하거나 가벼운 물체를 움직이게 할 수 있음을 지적하고 있다. 또 다른 국외기준으로 미국냉동공조학회(ASHRAE Standard)⁶⁾와 국제표준기구(ISO Standard)⁷⁾평균기류속도를 겨울철에는 0.15 m/s 이하로, 여름철에는 0.25 m/s 이하로 제한하여 보다 엄격한 기준을 제시하고 있으며, 이를 넘어실 경우 재실자의 25% 이상이 드래프트로 인한 불쾌감을 호소한다고 밝히고 있다.

열쾌적의 측면에서 기류온도와 속도의 조합을 통하여 흔히 사용되는 지표로 유효 드래프트온도(또는 유효온도), Ted 가 있다. 드래프트는 공기유동에 의한 실내 거주자가 느끼는 바람직하지 못한 국소냉각(cold draft)으로 정의되며, 일반적인 유효 드래프트온도에 따른 불쾌적 기준으로, -1.7℃ 이하의 유효 드래프트온도는 차갑게 인지되고 1.1℃ 이상의 유효 드래프트온도는 덥거나 뜨겁게 인지되고 있다. 즉 평균적으로 이를 야기하는 0.35 m/s를 상회하는 국소기류속도는 거주자의 불쾌감을 야기하게 된다⁸⁾. 유효 드래프트온도의 공식은 다음 식(1)로 나타내어진다.

$$T_{ed} = (T - T_{avg}) - a(V-b) \quad (1)$$

여기서, T_{ed} : 유효 드래프트온도,

T : 국소온도,

a : 제어정수, $a=8.0$

b : 제어속도, $b=0.15, m/s$

T_{avg} : 거주역 평균온도,

V : 국소기류속도, m/s

지금까지 살펴 본 내용을 다시 요약하면 ‘실내 기류속도에 대한 인체의 반응’을 나타내는 기준은 다양하게 보고되어 있어 명확한 기준을 설정하기는 어렵다고 할 수 있으나, 평균적으로 0.35 ~ 0.8 m/s 이상의 실내기류 속도값에서는 거주자가 불쾌감을 느낄 수 있는 것으로 판단되며 겨울철에는 보다 엄격한 기준을 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 다양한 국내외 조사 자료를 바탕으로 불쾌적을 야기할 수 있는 실내기류속도 기준을 최소기준과 최대기준으로 구분하여 이를 범위로 하는 ‘실내기류속도 문제발생 가능 영역’으로 설정하였으며 각 문제발생 기준의 최소·최대 경계값(실내기류 속도값)으로, 0.35 m/s(최소기준)와 0.80 m/s(최대기준)를 사용하였다. 이에 대한 이해를 돕기 위해 국내외 연구문헌 조사값과 ‘실내기류속도 문제발생 가능 영역’을 그림 1에 나타내었다.

A백화점에서의 주요 연돌효과 문제점

A백화점에서 발생하는 문제점의 정도를 파악하기 위하여 관리지층이 제공한 에스컬레이터 부위의 상승기류 속도 실측값과 본 연구진 2007년 12월 초에 측정한 간이 실측값을 다음 그림 2에 나타내었다. 그 결과, 대상건물의 4층~11층 에스컬레이터 부위에서 나타나는 상승기류속도는 대부분 1 ~ 2 m/s 정도로 앞 절에서 설정한 문제발생 기준인 실내기류속도값(0.35 m/s ~ 0.80 m/s)의 최대기준을 초과하

2) 대한설비공학회, 설비공학편람 제 2권 공기조화, 대한설비공학회, 2001, p.3.1-4.

3) 금중수, 김용식, 양형 역, 백만인 속백만인의 공기조화, Ohmsha & 태훈출판사, 2003, p.261.

4) J.F. Kreider et al., Heating and Cooling of Buildings, Second Edition, McGraw-Hill, 2002, p.156.

5) H.B. Awbi, Ventilation of Buildings, E & FN SPON, 1991, pp.8-22.

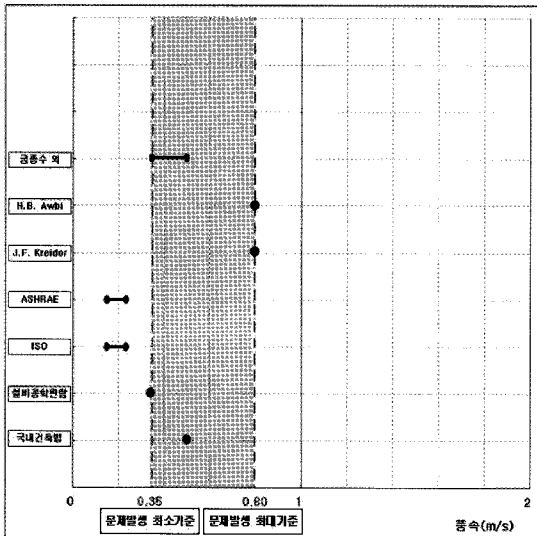
6) ASHRAE Standard 55-1981, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 1981.

7) ISO 7730, Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO, 1984.

8) 대한설비공학회, 설비공학편람 제 2권 공기조화, 대한설비공학회, 2001, p.3.2-34.

고 있는 것으로 나타나 문제점(백화점 이용자의 불쾌감)을 야기할 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 도면 검토 자료, 관리자 미팅 및 질의 답변 자료, 대상 건물 현황 조사 자료를 바탕으로 다음과 같이 해결해야 할 연돌효과 문제를 요약하였으며, A백화점의 문제해결의 주요 목표를 판매시설에 걸쳐있는 4층 ~ 11층 에스컬레이터에서의 상승기류 차단으로 설정하였다.

- (1) 도면검토 및 현황답사, 건물 관리자 인터뷰 및 간이실측을 통한 조사 결과
 - 에스컬레이터의 과도한 상승 기류 문제: 과도한 실내기류속도
 - 에스컬레이터에서 강한 상승기류로 인한 고객의 불쾌감
 - 에스컬레이터 주변 인테리어 및 실내 조경의 불안전
- (2) 4층 ~ 11층에서의 상승 기류 실측값은 1 ~ 2 m/s이므로 대책마련이 요구됨
- (3) 기타 문제점
 - 지하층 및 1층 출입문을 통한 외기 유입
 - 백화점 화물용 엘리베이터 소음 발생
 - 공동 사무고 건물의 1층 엘리베이터 과도한 외기 유입



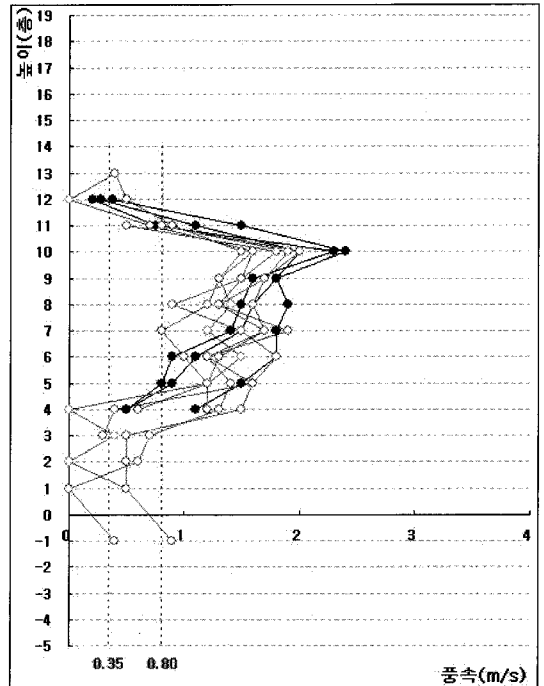
[그림 1] 실내기류속도 기준

A백화점의 연돌효과 문제발생 주요 원인과 개선방향

대상 건물에서의 연돌효과로 인한 문제점 파악 및 실태조사를 위하여 준공 도면을 검토하고 2차에 걸쳐 답사를 실시하였다. 1차 답사에서는 건물의 개략적인 현황을 파악하고 건물 관리자 인터뷰를 실시하였으며, 2차 답사에서는 건물이 사용되지 않는 날(휴무일)을 선정하여 보다 지하층 및 1층 출입부, 11층에서의 기밀성 검토를 포함한 공기유동 경로에 대한 자세한 조사가 이루어졌으며 아울러 적용가능한 개선방향에 대한 검토도 함께 이루어졌다.

건축설계 측면에서의 원인

- 지하층/로비층/본관 연결통로/옥상정원에 다수의 개구부(공기의 유출입)
 - 개구부의 최소화(삭제) 및 출입문의 기밀화 필요(회전문 설치 권장)



[그림 2] 에스컬레이터에서의 상승 기류 측정값 (관리자측+연구진)



- 11층 옥상정원의 설치(공기의 유출)
 - 옥상정원으로 통하는 출입문의 기밀화 필요 (회전문 설치 권장)
- 지하층/1층 ~ 10층/11층 ~ 14층 에스컬레이터 설치(주요 상승 통로)
 - 각 에스컬레이터 간의 연결통로 구획, 11층 에스컬레이터 삭제
- 본관 건물과의 연결통로 공기차단 미흡(공기의 유입)
 - 2층의 구획문 설치
- 1~3층에서 4 ~ 10층 에스컬레이터 단면적의 변화(상승 기류속도의 증대)
 - 에스컬레이터의 유효단면적을 유사하게 계획하는 것이 필요
- 로비층 및 매장층 에스컬레이터 및 엘리베이터 구획의 어려움
 - 에스컬레이터를 매장층으로부터 구획
 - 엘리베이터 홀을 에스컬레이터가 있는 매장층으로부터 분리

기계설비 측면에서의 원인

- 10층 레스토랑, 11층 레스토랑, 15층 직원식당의 주방 배기
 - 부압(-)이 걸리지 않도록 make-up air의 공급
- 화장실 및 흡연실에서의 배기
 - 흡연실 폐쇄 또는 make-up air의 공급
- 엘리베이터 기계실 환기팬 설치(공기의 유출)
 - 환기팬을 삭제하고 기밀한 창호 설치
- 각층 공조기용 기계실 배치(각층 기밀성 약화)
 - 중앙공조방식이 바람직함

건물 사용자(백화점 및 사무실) 측면에서의 원인

백화점 건물 특유의 MD 구성 및 공간사용으로 인한 원인

- 10층 ~ 11층에 레스토랑의 집중 배치로 주방배기의 증대(공기 유출 심화)
 - 백화점 매장 변경시, 기계설비 시스템을 함께 검토할 것
- 15층에 직원식당 배치로 주방배기를 통한 공기의 유출
 - 식당 배치시, 기계설비 시스템을 함께 검토할 것

- 에스컬레이터의 위치 및 수직동선, 아트리움 및 옥상정원 계획 부분
 - 초기 계획 및 배치단계에서 연돌효과 공기유동 검토가 필요
- 저층매장층(1층 ~ 10층)이 고층(11층 ~ 14층)까지 에스컬레이터로 직접 연결
 - 에스컬레이터 구획을 위한 조닝이 필요 또는 11층 에스컬레이터 삭제

기밀화 시공 측면에서의 원인

연돌효과 문제저감을 위하여 필수적으로 요구되는 기밀화 시공은 초기 공사비 및 공사기간 증대라는 시공상의 어려움이 있으므로 건물의 초기 계획시 기밀시공을 위한 기밀화 구획선 설정 및 기밀도 검토를 위한 프로세스 설정이 필요함

- 11층 옥상정원의 출입문 기밀성이 현저히 떨어짐
 - 출입문의 종류 변경, 출입문 바닥공간을 밀실하게 충전하는 기밀화 시행
- 지하층 엘리베이터/ 에스컬레이터 출입문 기밀화 부족
 - 출입문 기밀화 및 에스컬레이터 경계벽의 기밀화 시행
- 로비층(1층) 출입문 부위 벽, 천장부 접합부 기밀화 부족
 - 출입문 접합부의 경계벽 내부 기밀화와 캐노피 부위 기밀화 시행
- 각층 공조기용 기계실 경계벽의 기밀성 떨어짐
 - 외기공간으로 간주하고 외피수준의 기밀화 시행

A백화점 연돌효과 문제해결을 위한 개선안

대상건물에서의 연돌효과로 인한 문제점을 해결하기 위하여 현황답사 및 도면 검토, 관리자 인터뷰와 간이 실측내용을 바탕으로 '연돌효과에 대비한 개선안'을 마련하여 이에 대한 영향평가를 수행하고 적용여부에 대한 협의를 실시하였다. 그 결과, A백화점에서 가장 문제점으로 여겨지는 에스컬레이터에서의 과도한 상승 기류 문제를 해결하기 위해서는 '최종안II'에 해당하는 모든 개선항목이 함께 시행 되어져야할 것이며, 10층 ~ 11층 외벽 부위에서의

기밀화 공사 과정 동안에는 Blower door set을 이용한 기밀성 테스트를 병행하여 그 개선정도를 면밀히 검토하는 것이 필요하다(건축개선안A, 건축개선안 C, 설비개선안A는 미반영).

- 1안 → 최종안 II의 시공: 건축개선안 B, 건축개선안 D, 건축개선안 E, 설비개선안 B
- 2안 → 최종안 I의 시공: 건축개선안 B, 설비개선안 B 시행 후, 문제점 여부를 검토하여 필요시 건축개선안 D, 건축개선안 E의 순으로 시행

건축적 개선안

- 건축개선안 B: 구획을 통한 공기유동 제한(수직적 구획)
 - 11층에 도달하는 에스컬레이터 구획을 위한 출입문 설치
 - 2층의 출입문(자동문+여닫이문) 또는 회전문(보조 여닫이문 필요)
 - 10층과 연결되는 아트리움 부위 구획을 위한 측면 유리벽 시공
 - 구획을 위한 출입문과 유리벽은 실링내부 슬래브까지 연장하여 기밀 마감
- 건축개선안 D: 기밀화를 통한 공기유동 제한(11층에서의 기밀도 개선)
 - 11층 외벽의 전반적인 기밀도 개선(average 수준 → tight 수준)
 - 공조기계실 내부쪽 경계벽 기밀화
 - 옥상정원 출입문(3개소 모두) 바닥공간 및 문 프레임 접합부 기밀화
 - 10층 ~ 11층 아트리움의 외피 및 슬래브 접합부 기밀화
 - # Blower door set을 이용하여 기밀성 테스트 병행
- 건축개선안 E: 기밀화를 통한 공기유동 제한(10층에서의 기밀도 개선)
 - 10층 외벽의 전반적인 기밀도 개선(average⁹⁾

수준 → tight¹⁰⁾ 수준)

- 다목적홀 상부 및 옥상정원 하부 외피(실링 내부)의 기밀화

Blower door set을 이용하여 기밀성 테스트 병행

설비적 개선안

- 설비개선안 B: 가압을 통한 공기유동 제한(11층 ~ 19층 배기량 조절)
 - 11층 ~ 19층 배기로 유출되는 실내공기의 최소화
 - 11층 ~ 19층 배기에 상응하는 보충공기(make-up air) 공급
 - 보충공기 검토가 필요한 기계설비 부위: 주방 배기, 화장실배기, 흡연실배기
- 엘리베이터 기계실 기밀화(기타)
 - 하절기 냉각용 에어컨 설치(기설치)
 - 환기용 팬(wall fan) 제거 → 기밀한 창호(또는 이중창패)로 변경할 것

개선안 적용에 따른 A백화점 연돌효과 영향평가 결과

최종안 I 에 대한 영향평가

기존안에 최종안 I (건축개선안 B와 설비개선안 B)을 구현하여 각 층 에스컬레이터 부위에서의 상승기류를 검토하였다(그림 3 참조).

• 시뮬레이션 결과

(1) 기류속도 최대기준 초과

5층 ~ 7층 에스컬레이터 부위 / 지하 2층 이하, 4층, 8층 ~ 10층 문제 저감

(2) 기류속도 최소기준 초과

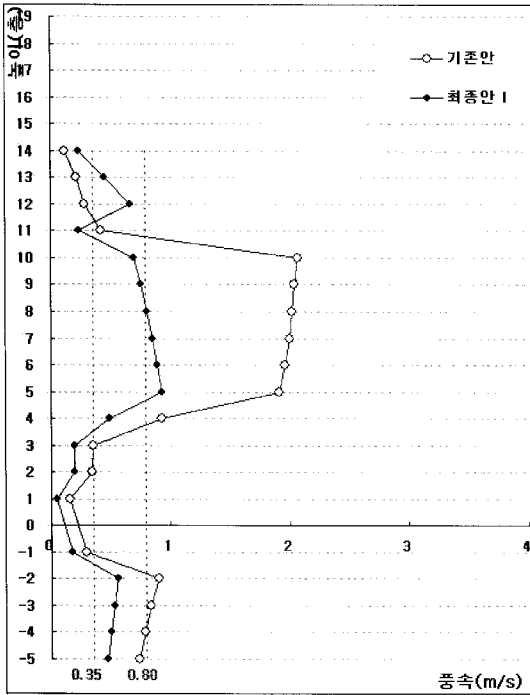
지하 2층 이하, 4층, 8층 ~ 10층, 12층 ~ 13층 에스컬레이터 부위 / 2층, 3층, 11층 문제 저감

• 분석 결과

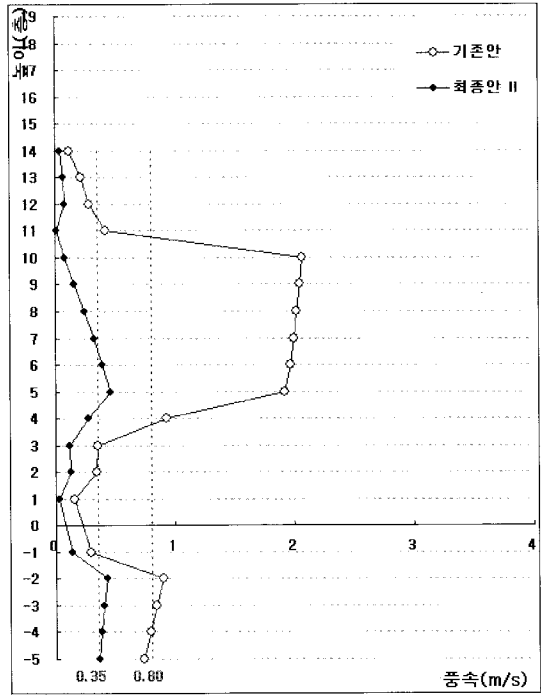
대부분의 층에서 상승 기류 문제를 효과적으로 저감키는 것으로 나타났으며, 특히 4층 ~ 10층

9) 외벽의 기밀도, 중간정도(average): 2.4 cm²/m² @75 Pa

10) 외벽의 기밀도, 기밀한(tight): 0.7 cm²/m² @75 Pa



[그림 3] 에스컬레이터에서의 상승 기류(최종안 I)



[그림 4] 에스컬레이터에서의 상승 기류(최종안 II)

에스컬레이터 부위에서의 과도한 상승 기류를 거의 0.8m/s 내외로 줄여줌

12층 ~ 14층의 다소 기류증가와 지하 2층 이하 기류속도가 문제가 될 수 있으므로 추가의 개선이 필요할 것으로 판단됨

최종안II에 대한 영향평가

기준안에 최종안II(건축개선안 B, D, E와 설비개선안 B)를 구현하여 각 층 에스컬레이터 부위에서의 상승기류를 검토하였다(그림 4 참조).

• 시뮬레이션 결과

- (1) 기류속도 최대기준 초과 없음 / 지하 2층 이하, 4층 ~ 10층 문제 저감
- (2) 기류속도 최소기준 초과 지하 2층 이하, 5층, 6층의 에스컬레이터 부위 / 2층, 3층, 11층 문제 저감

• 분석 결과

모든 층에서 상승 기류를 0.80 m/s 이하로 줄여 거의 대부분의 문제를 해결

지하 2층 이하, 5층, 6층의 문제도 최소기준에 가까워 문제가 거의 없을 것으로 판단됨

지하 2층 이하의 부위에서 cold draft도 효과적으로 저감할 수 있을 것으로 판단됨

결론

A백화점 건물에서 발생하는 주요 연돌효과 문제로 백화점 이용자의 측면에서 불쾌감을 호소할 수 있는 에스컬레이터에서의 과도한 상승 기류로 파악 되었으며, 이러한 문제발생의 주요 원인을 종합적으로 분석한 결과, 건물의 초기 건축설계 부분과 기계 설비 부분에서 원초적인 문제점을 가지고 있는 것으로 판단된다. 여기에 건물사용자(백화점 및 사무소) 측면에서 매장계획 및 활용상의 문제점과 기밀화 시공 측면에서 일부 출입문 부위 기밀시공이 어려웠다는 점에서의 문제점이 더해진 복합적인 원인이 작용한 것으로 사료된다. 건물에서의 연돌효과는 모든 건물에서 발생하는 자연적인 현상으로 건물 높이가

결정되면 그 높이에 해당하는 실내의 압력차가 존재하며, 건물의 각 건축적 요소들에 작용하여 복잡한 압력분포로 나타나게 된다. 연돌효과로 인하여 발생할 수 있는 문제들을 효과적으로 저감시키거나 방지하기 위해서는 건축 설계자의 경우, 초기 계획단계에 연돌효과에 대비한 설계를 하여야하며 공사단계에서 기밀화 시공이 함께 이루어져야한다. 또한 기계설비 엔지니어는 건물에서의 정확한 냉난방 부하 계산 및 적절한 환기성능을 확보하기 위해서 외피 및 내부구획에 걸리는 연돌효과로 인한 압력차를 반드시 고려하여야한다. 이를 위해서는 1) 건물의 초기 계획단계에서, 연돌효과로 인한 압력변화를 정량적으로 예측하여 연돌효과로 인한 문제점을 검토한 후, 이에 대한 개선안을 마련하여 연돌현상과 관련한 설계상의 오류와 시공 후의 문제점을 미연에 방지할 수 있도록 하여야한다. 여기에는 건물용도별 특성(예: 백화점 건물의 MD)도 함께 고려하여 건물 운영 상의 평면계획 및 기계설비 운전 내용에 대한 검토를 병행되어야 한다. 기계설비를 이용한 압력 조절은 건축적인 대책이 우선적으로 적용된 후, 차가운 침기 감소를 위해 최소의 가압시스템으로 운전하는 것이 바람직하며, 이를 적용하는 경우에는 부분적인 특정 존의 검토가 아닌 공기유동 해석을 통한 건물 전체에서의 검토가 수반되어야한다. 난방기간 동안, 가압을 통한 건물로의 침기량을 줄이는 일반적인 공조운전방식은 소규모의 건물이나 사무소 건물에는 다소 효과적이기는 하나, 각 세대에서 임의로 창을 개방할 수 있는 주거건물이나 수직적 통로인 에스컬레이터가 설치된 백화점과 같은 복합건물에서는 오히려 건물전체에서의 누기량을 증가시켜 심각한 에너지 문제를 야기할 수 있으므로 바람직하지 않다. 2) 건물의 시공단계에서, 연돌효과 문제저감을 위한 개선안이 효과적으로 공기유동을 차단하기 위해서는 구획을 담당하는 건축적 요소들이 충분한 기밀도를 유지할 수 있어야하므로 공사비가 다소 증가하더라도 주요 부위에 대한 기밀시공을 반드시 실시하여야 한다.

참고 문헌

1. 조재훈, “고층 주거건물에서의 압력분포 시뮬레

이션 및 압력차 문제 해결”, 대한건축학회논문집(계획계) 제 21권 제 11호, 2005.
 2. 조재훈, 여명석, 김광우, “고층 주거건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(계획계) 제 21권 제 5호, 2005.
 3. (사)한국FM학회(서울대학교), 서초프로젝트 C 현장 연돌효과 자문용역, 삼성물산, 2006.
 4. (사)한국FM학회(서울대학교/충북대학교), the # Central Star에서의 연돌효과 영향평가, (주)포스코건설, 2007.
 5. (사)한국FM학회(서울대학교/충북대학교), 연돌효과에 대비한 우동 PROJECT 개선 및 방지기술 마련, 현대산업개발, 2007.
 6. (사)한국건축친환경설비학회(서울대학교/충북대학교), 사무소 건물에서의 연돌현상에 대비한 지침 마련, 신세계건설, 2008.
 7. (사)한국FM학회(영남대학교/충북대학교), 대구 두산 위브더제니스에 대한 연돌효과 영향평가, 두산건설, 2008.
 8. (사)한국FM학회(서울대학교/충북대학교), 부산 센텀시티에 신세계 UEC에 대한 분석 및 개선, 신세계건설, 2008.
 9. (사)한국FM학회(서울대학교/충북대학교), 한숲 e-편한세상 프로젝트 연돌효과 영향평가, 대림산업(주), 2008.
 10. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., 2001 ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA, 2001.
 11. H.B. Awbi, Ventilation of Buildings, E & FN SPON, 1991.
 12. Jo, J. H., Yeo, M. S., Yang, I. H., and Kim, K. W., “Solving the Problems due to Stack Effect in Tall Buildings”, the CIB World Building Congress 2004, 2004.
 13. Lovatt, J. E., “Stack Effect in Tall Buildings”, ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part 2. 1994.
 14. Tamura, G. T., Smoke Movement and Control in High-Rise Buildings, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 1994. *