

초고층 복합건물의 연돌현상 가중요인과 저감방안 사례연구

유 정 연[†], 조 동 우, 유 기 형, 정 차 수*, 강 소 연*, 송 규 동**

한국건설기술연구원 건축·도시연구부, *(주)한일엠이씨 부설연구소, 한양대학교 건축학부

Case Study of Analysis of Problems and Minimizing Methods of Stack Effect in the Tall Complex Building

Jung-Yeon Yu[†], Dong-Woo Cho, Ki-Hyung Yu, Cha-Su Jeong*, So-Yeon kang*, Kyoo-Dong Song**

ABSTRACT: The purpose of this case study is to analyze stack effect problems and to develop methods minimizing methods of stack effect in the tall complex building in cold climates. The main problems in the tall complex building occur in high-rise elevators. Such problems as elevator doors that do not close and exhaust airflows result in excessive pressure differences across elevator doors due to stack effect. Under the expected conditions causing these pressure differences, computer simulations with CONTAMW computer program and field measurements are performed in the tall complex building. The results are analyzed in architectural design aspects. With these analysis, the tall complex building design guidelines to minimize stack effect are proposed.

Key words: The Tall Complex Building(초고층 복합 건축물), Case Study(사례연구), Stack Effect(연돌효과), CONTAMW computer program(CONTAMW 컴퓨터 프로그램), Building design guidelines(건축물 설계 지침)

1. 서 론

국내 대다수의 초고층 복합건축물의 경우 고층의 오피스동과 저층의 대규모 상업용 판매동이 건물 저층부에서 별다른 구획없이 바로 연결되어 있는 데 이러한 경우, 출입이 빈번한 저층동으로 유입된 외기가 초고층 오피스동으로 이동하여 초고층 오피스동의 연돌효과를 가중시키는 현상이 빈번하고 발생하고 있다. 이러한 연돌효과로 인해 발생하는 문제점들을 해결하기 위해서는 초고층 건축물이 저층부에서 대규모 상업용 공간과

연계된 경우 그 연결부에서의 확실한 기류차단 구획이 건축 설계의 계획 단계에서 이미 고려되어야 한다. 그러나 최근 신축되는 초고층 건축물에서도 연돌현상에 사전 고려 없이 설계가 이루어지는 경우가 빈번한 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 최근 신축중인 초고층 복합건축물 한 곳을 사례연구로서 선정하여 본 건축물의 설계 단계에서부터 연돌현상에 대한 설계 검토를 수행하고 시뮬레이션 및 유사사례 현장 실험 및 자문을 통해 예상되는 연돌현상 가중원인을 분석하고 그에 대한 해결방안을 제안함으로써 최종적으로 일반적인 초고층 복합건축물의 연돌현상 가중원인 분석 및 최적의 연돌현상 저감 방안을 제안하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

†Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0326; fax: +82-31-910-0361

E-mail address: jyyu@kict.re.kr

2.1 연구의 내용

사례연구로 선정된 S 초고층 복합 건축물은 대표적인 초고층 복합 건축물로서 그림 1과 같이 40층의 오피스동과 10층 규모의 대형 복합 판매동이 지하1층에서부터 지상 10층까지 바로 연결되어 있다. 그림 1에서의 점선과 같이 움직이는 대부분의 유동인구의 흐름을 따라 인해 고층동과 저층동 사이의 연결부가 빈번히 개방되게 되고 이때, 판매동으로 유입된 외기가 두 건물사이의 연결통로를 통해 오피스동으로 이동하게 된다. 이렇게 이동한 기류는 오피스동의 고층용 엘리베이터 샤프트를 타고 상승하여 오피스동의 고층부에서 외부로 빠져나가게 된다. 이때, 판매동과 오피스동의 연결부인 10층 및 오피스동의 최상층 부근의 엘리베이터 문에서 문제가 발생할 가능성이 매우 크며 엘리베이터 문의 오작동 및 소음 발생, 기류유출 등이 바로 그러한 문제들이다. 그 외에 저층부와 고층부 간의 부하 불균형, 과도한 외기 유입, 주 출입문 개폐의 어려움, 냄새의 확산 등의 문제가 발생할 가능성이 매우 클 것으로 예상되므로 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 초고층 복합 건축물에 대한 연돌현상 가중원인에 대한 분석과 그 저감방안에 대하여 모색하여 보았다.

2.2 연구의 방법

본 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

- 대상 건축물인 S 초고층 복합 건축물의 기본 설계안 검토 및 현장주변상황 조사, 유사 사례에 대한 설문조사 및 현장 실측을 통해 대상 건물의 연돌효과 가중 원인 분석
- 연돌현상 가중 조건 별 기류 이동 및 압력분포에 예측을 위해 CONTAMW 컴퓨터 시뮬레이션 수행, 대상 건축물의 동절기 연돌현상 평가 및 1차 연돌저감방안 제시
- 제안된 연돌저감방안 중 채택된 안 및 현재 개발 중인 연돌차압저감 시스템인 Zero Stack System의 적용 전·후의 연돌현상에 대한 2차 시뮬레이션을 수행, 최종적으로 S 초고층 복합 건축물의 연돌현상 저감 건축 설비·설계 지침 제안(시뮬레이션의 검증용 위해 유사 사례인 G 초고층 복합 건축물에서 조건별 실험을 수행)
- 사례 건축물의 연구결과 종합 후 일반적인 초고층 복합 건축물의 연돌현상 가중 원인의 도

출 및 연돌현상 저감 설비·설계 지침 제안

또한, 본 연구 결과로 도출된 연돌현상 저감방안은 현재 시공 중인 S 초고층 복합 건축물의 실시설계에 적용되었으며, 완공 후 본 건축물의 연돌저감 효과에 대한 현장 실측이 수행될 예정이다.

3. 기본설계안시뮬레이션 및 유사사례분석

3.1 기본설계안 검토 및 시뮬레이션

대상 S 초고층 복합건축물의 기본 설계안은 유사 사례인 G 초고층 복합건축물과 거의 비슷한 형상으로 그림 1과 같다. 두 건물 모두 저층의 판매동과 초고층의 오피스동이 결합되어 있으며 지하 1층에는 지하철과의 연결통로가 있고 이 통로를 통해 판매 및 복합문화시설을 갖춘 저층동으로 다수의 유동인구의 출입이 예상된다. 도면 분석 결과 고층동과 저층동이 연결되는 지하 2층~지상 10층까지의 연결통로를 통해 저층동에서의 기류가 상당량 고층동으로 유입될 것으로 예상되며, 지하 주차장 및 지하철과 연결된 지하층, 외기와 직접 연결된 지상 1층에서 외기의 유입이 심각할 것으로 예상된다.

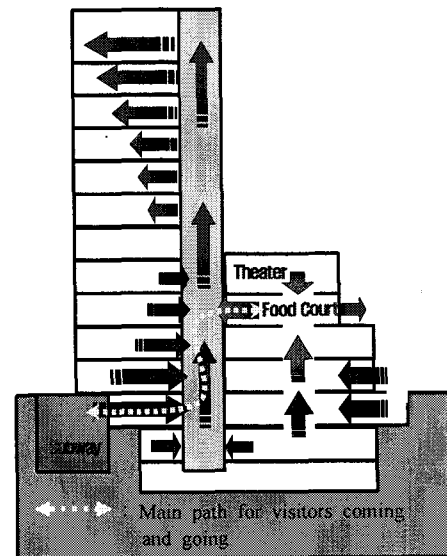


Fig. 1 Expected air-flow path in the S tall complex building in cold climates

기본 설계안에 대한 동계 S초고층 복합건축물

의 기류이동 및 압력분포를 평가하기 위하여 네트워크 모델 알고리즘을 기본으로 미국 NIST에서 개발하여 지금까지 다수의 연구에 적용되어 신뢰성을 인정받은 CONTAMW 프로그램⁽¹⁾이 사용되었다. 시뮬레이션 조건으로 외기 온도는 동계 설계온도인 -11.9°C , 실내 온도는 24°C 로 설정하였으며, 외부 풍속은 0m/s 로 설정하여 외부 바람에 대한 영향은 고려하지 않았다.

동계 연돌현상에 대하여 시뮬레이션 결과는 그림 2에서와 같이 저층의 판매동에 위치한 엘리베이터의 경우 해당 문에 걸리는 압력차가 모두 연돌효과에 대한 평가 기준인 25Pa ⁽²⁾ 미만으로 안전한 것으로 나타났으나 초고층인 오피스건물의 엘리베이터의 경우 대부분 25Pa 을 훨씬 상회하는 값을 나타내어 연돌현상이 심각하게 나타남을 알 수 있었다. 참고로, 그림 2의 오피스용 엘리베이터 문의 압력차를 나타내는 그래프에 대하여, 해당 엘리베이터는 지하 2층~지상 1층, 지상 10층, 지상 30층~지상 40층에서 운행하도록 계획되어 있어 나머지의 층에서는 압력차가 표시되어 있지 않다. 또한 오피스건물의 비상계단실의 경우 지하 1층~5층, 지하 7층 및 옥상층 문의 압력차가 비상계단실에 대한 연돌효과 평가 기준인 50Pa ⁽³⁾을 초과하고 있었다.

가장 심각한 문제가 발생할 것으로 예상되는 오피스용 엘리베이터 문에 걸리는 압력차를 살펴보면, 지하2층~지상1층, 지상 10층에서 심각하게 큰 압력차를 나타내는 것을 볼 수 있는데, 이것은 지하 2층의 경우 주차장을 통해 유입된 외기, 지하 1층의 경우 지하철 연결통로를 통해 유입된 외기, 지상 1층의 경우 외기와 직접 연결된 출입문을 통해 유입된 외기의 영향이며, 지상 10층의 경우 판매동과 연결된 출입문의 빈번한 개폐로 인해 판매동에서 유입된 기류로 인해 해당 엘리베이터 문의 압력차가 크게 상승한 것으로 분석된다. 실제로 이와 같은 압력차가 발생할 경우 하여 해당 엘리베이터 문의 작동시 오작동이 발생할 가능성이 매우 크다. 또한 35층 이상의 고층부의 층에서도 25Pa 이상의 압력차를 나타내어 해당 엘리베이터 문의 개방시 기류 유출 및 소음 문제가 발생할 것으로 예측된다.

3.2 유사사례 분석

S 초고층 복합건축물의 연돌현상 가중 요인의

분석을 위해 그와 가장 유사한 사례 건축물인 G

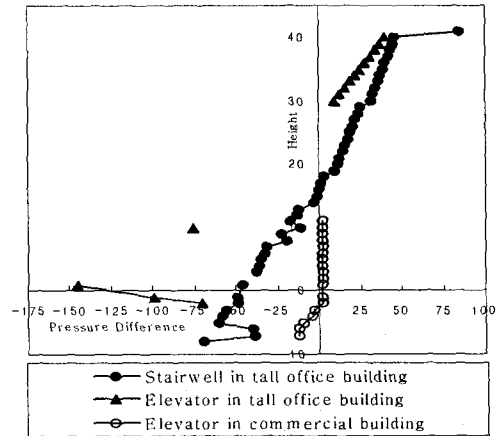


Fig. 2 Pressure differences across critical doors



(a) Revolving doors at entrance connected to subway(Left) and (b) Elevator hall in the tall office building(Right)

Fig. 3 Main air-flow paths of the G tall complex building

초고층 복합건축물에서의 연돌현상에 대하여 해당 건축물의 관리자 면담과 현장 답사를 통해 조사하였다. 기본도면 분석에서 이미 도출된 바와 같이 G 초고층 복합건축물에서는 지하철과 연결된 지하 1층에서의 외기 도입량이 심각하여 그림 3의 (a)와 같이 해당 연결통로에 다수의 회전문을 설치하여 외기 도입을 차단하고 있었다. 본 건축물에서 유동인구의 주요 이동 동선은 그림 3에서 보이는 지하철과 연결된 지하 1층의 회전문으로 진입하여 여닫이 문을 한번 지난 후, 지하 1층에 위치한 오피스동의 엘리베이터(그림 3의 (b))를 타고 지상 9층까지 이동, 오피스동과 판매동 사이의 문을 한번 지나 판매동으로 진입하게 되는 동선이다. 대부분의 유동인구가 이곳에서 발생하는 이유는 판매동의 상층부에 복합상영관이 위치하기 때문이며, 그로 인해 해당 동선 상에 위치한 출입문의 개방 빈도가 매우 빈번하여 지하 1층 엘리베이터 문으로의 외기 유입 및 압

력차 상승, 지상 9층 엘리베이터 문으로의 판매동 기류 유입 및 압력차 상승이 매우 심각한 문제로 발생하였다고 한다. 또한, 본 건축물의 판매동에는 수직으로 오픈된 두개의 에스컬레이터 통로가 있어 본 건축물의 저층부에서 유입된 대량의 외기가 연돌효과로 인해 9층, 10층까지 상승한 후, 오피스동으로 유입되게 된다. 본 건축물에서 발생하는 연돌현상으로 인한 문제점 중 심각하게 대두 된 것은 오피스동 고층부에서의 소음 문제였다. 오피스동 엘리베이터의 저층부 및 판매동 연결층(9층)에서 유입된 기류는 엘리베이터의 고층부에서 실내로 빠져나오게 되는데 이때, 과도한 기류 유출 및 틈새로 소음이 발생하여 재실자의 불편이 호소되고 있었다. 이에 G 건축물에서는 고층부에 과도하게 집중되는 기류유출 및 소음 문제를 해결하기 위하여 엘리베이터 샤프트 상층부에 위치한 기계실에 그림 4에서와 같이 상승한 기류를 외부로 배출시키기 위한 벤트를 설치하여 큰 효과를 보고 있다고 한다. 또한 그림 5와 같이 고층부 엘리베이터 문에 인접한 계단실의 문을 개방해 놓음으로써 엘리베이터 문을 통해 유출되는 기류를 계단실 문을 통해 유출되는 기류로 서로 상쇄시켜 기류 유출 및 소음 문제를 해결하고 있었다. 본 현장에서 적용하고 있었던 연돌현상 저감 방안 중 한 방안은 여러 개의 엘리베이터 문 중 하나의 문을 일부러 사용하지 않고 조금 개방해 두어 엘리베이터 샤프트의 기류가 유출될 수 있는 개구부로서 이용하여 운행에 이용되는 다른 엘리베이터 문에서의 과도한 기류 유출 및 소음문제를 저감시키고 있었다. 이러한 방법은 본 연구에서 추후 제안될 엘리베이터 문의 차압시스템의 원리와 매우 유사한 원리로서 연돌현상을 저감시키는 방안이 현장에 적용된 사례로 분석되었다.

3.3 1차 연돌현상 저감방안 제안

S 초고층 복합건축물에 대한 기본설계안 시뮬레이션 및 유사사례 건축물에서의 연돌현상 현장 조사를 통해 도출된 대상 건축물의 연돌현상 가중 요인인과 이에 따른 저감방안은 다음과 같다.

첫째, 본 건축물은 그림 6에서와 같이 저층의 판매동과 고층의 오피스동이 연결되어 있으며, 판매동의 최상부에는 대규모의 유동인구를 유발 대책이 필요하다. 따라서 본 건축물에서는 1차적으로 지하철과 연결되는 지하 1층의 판매동에 상

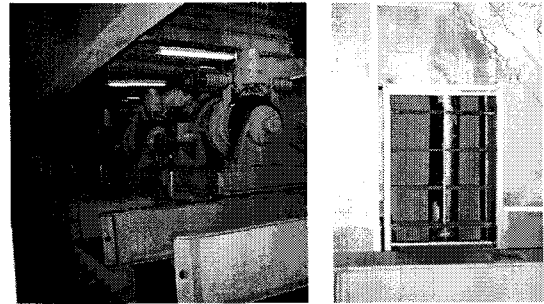


Fig. 4 Air-released vent for elevator shaft
(Left : detail)

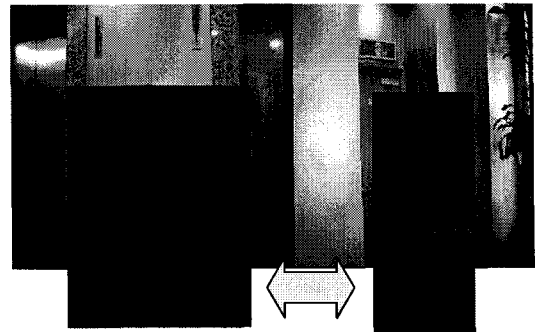


Fig. 5 Opening stair door to reduce air-flow from elevator door

영관 전용 엘리베이터를 설치하여 지하 1층에서 오피스동으로 출입하는 인구를 감소시키는 방안을 제안한다.

둘째, 초고층 오피스동의 저층부에서 외기 유입의 가능성이 매우 큰 지하 1층, 지상 1층 로비의 출입문과 판매동과 오피스동의 출입인구로 인한 기류 이동이 심각할 것으로 예상되는 지상 10층의 오피스동-판매동 연결부의 출입문에 대하여 해당 문의 기류이동 차단을 위하여 기류 차단 성능이 가장 우수한 회전문의 적용을 제안한다.

셋째, 기본도면에 대한 시뮬레이션 결과 분석을 통해 오피스동 엘리베이터에서 과도한 압력차가 발생하는 층은 건축물 저층부의 지하 2층~지상 1층, 판매동과 연결되는 지상 10층, 고층부의 지상 35층~40층 이므로 해당 층의 엘리베이터 문의 압력차를 저감시키기 위하여 현재 본 연구원에서 개발 중인 연돌차압저감 시스템인 Zero Stack System을 엘리베이터 샤프트에 적용할 것을 제안한다. 본 차압저감시스템에 대한 평가를 위한 유사 조건 현장실험은 기존의 연구⁽⁴⁾에서 통해 수행되었다.

넷째, 오피스동의 고층부에서는 연돌효과로 인해 상승한 기류가 엘리베이터 문을 통해 유출되

며 고주파의 소음을 발생시키므로 이를 해결하기 위해 최상층 엘리베이터 기계실에서 엘리베이터 샤프트를 통해 상승한 기류를 배출 시킬 수 있는 벤트를 설치할 것을 제안한다.

기타 사항으로 외기의 유입이 예상되는 오피스동 및 판매동의 저층부의 모든 출입문에 방풍실 설치 및 모헤어의 적용을 제안하며, 개폐 방향 또한 가능하다면 외기가 유입되는 반대방향으로 개폐가 되도록 계획하여 외기 유입 차단 및 연돌 효과로 인한 압력차로 문이 상시 개방되는 현상을 해결할 것을 제안한다.

4. 시뮬레이션 및 유사사례 현장실험을 통한 최종연돌현상 저감방안 도출

4.1 시뮬레이션 및 유사사례 현장실험

기본 도면 분석 및 유사사례 건축물에서의 현장 조사 결과를 바탕으로 도출된 S초고층 복합건축물의 연돌현상 저감방안은 발생 가능한 모든 조건에 따라 시뮬레이션과 유사사례에서 현장실험이 수행되었으며 그 중 매우 중요한 변수별 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1의 기본 조건(Base Case)은 기본 설계안에 대한 조건으로 연돌저감방안이 적용되지 않았을 때를 나타낸다. Case 1~Case1-C open은 각각의 연돌현상 저감방안에 의한 조건을 나타내며, Case 1은 지하1층 지하철 연결 출입문, 지하1층 오피스동 진입 출입문, 10층 판매동 연결 출입문에 모두 회전문을 설치한 경우를 나타내며, Case 1-ZS는 Case 1의 경우에 Zero Stack 시스템이 작동하는 경우를 나타낸다. Case 1-A open은 Case 1의 조건에서 그림 6에서의 A 지점에 있는 문이 개방되었을 경우를 나타내며, Case 1-B open와 Case 1-C open 또한 동일한 경우를 나타낸다.

4.2 시뮬레이션 및 현장실험 결과

연돌현상 저감방안에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다. 그림 7 (a)에서 기본 설계안을 나타내는 Base case의 경우 전체적으로 엘리베이터 문에 걸리는 압력차가 매우 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며 연돌현상 저감 방안이 모두 적용된 Case 1-ZS의 경우 가장 작은 압력차를 나타내어 본 조건이 최종설계안으로 채택되었다. Case 1과 Case 1-A open, Case 1-AB open의 경우를 살펴보면 지하1층에서 지하철과 연결된 문(그림 6

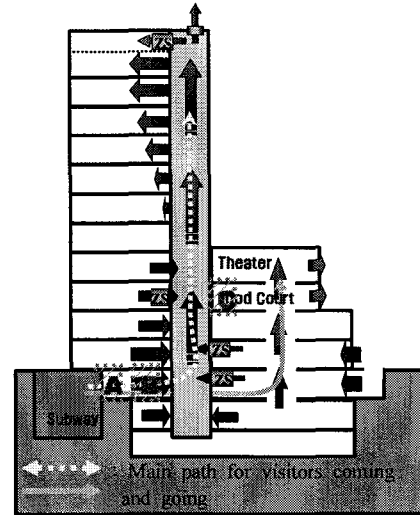
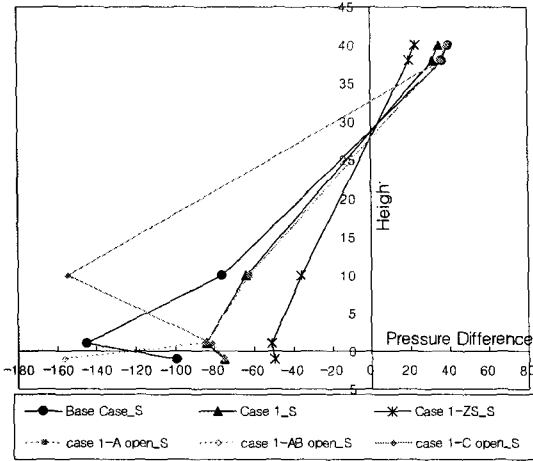


Fig. 6 Expected air-flow path in the S tall complex building in cold climates under the conditions of stack effect reducing plans

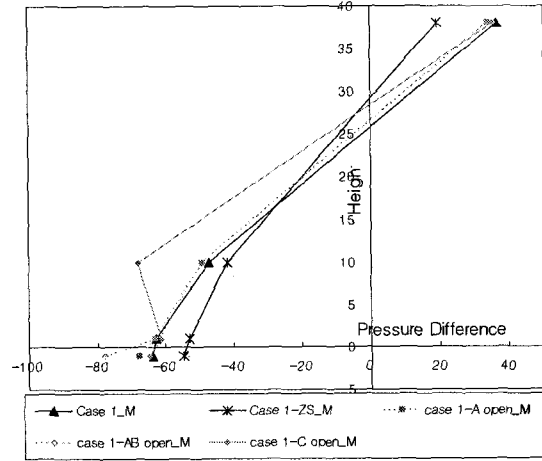
Table 1 Simulation & Field Measurement conditions

Case No.	A	B	C	ZS
	B1지하철 연결출입문	B1오피스동 입출입문	10F판매동 연결출입문	차압조절 시스템
Base				OFF
1				OFF
1-ZS				ON
1-A Open				OFF
1-AB Open				OFF
1-C Open				OFF

의 A)만이 열린 경우에는 오피스동 엘리베이터 문의 압력차 변화가 없는 반면, 오피스동 주 출입문(그림 6의 B)이 함께 열리게 되는 경우에 지하 1층의 압력차는 매우 크게 상승하는 것을 볼 수 있는데 이는 초고층 오피스동의 연돌효과를 저감시키기 위해서는 오피스동의 로비에 가장 근접한 출입문의 기밀성이 매우 중요하다는 것을 보여주는 결과이다. 또한 Case 1-C open의 경우를 살펴보면, 지상 10층의 판매동-오피스동 연결문이 개방될 경우 이로 인한 기류이동 및 차압 상승 효과가 매우 크므로 이곳의 기밀화(회전문



(a) Results of simulations



(b) Results of field measurements

Fig. 7 Pressure differences across elevator doors in the tall complex building

설치 등)를 매우 중요하게 고려해야 한다는 것을 나타낸다. 그림 7의 (a) 시뮬레이션 결과와 (b) 유사사례 현장실험 결과를 비교해 보면, 기본 온도 조건 및 현장의 기밀성이 떨어지는 이유로 그 절대값은 다르나 전체적인 경향은 동일하게 나타나 시뮬레이션의 결과가 타당함을 보여준다.

4.3 최종 설계 반영 연돌현상 저감 방안

- 1) 지하1층 지하철 연결 출입문 회전문 적용
- 2) 지하1층 오피스동 주 출입문에 회전문 적용
- 3) 1층 오피스동 주 출입문에 회전문 적용
- 4) 10층 판매동 오피스동 연결문 회전문 적용
- 5) 1층 판매동-오피스동 연결문에 방풍실 적용
- 6) 고층동 엘리베이터 Zero-Stack system 적용: 저층부(지하 1층, 1층, 10층), 고층부(35층~40층)
- 7) 엘리베이터 기계실에 배기용 댐퍼 설치
- 8) 8층~12층 판매동-오피스동 연결문 방풍실 적용
- 9) 지하2층~5층 외기 유입 출입문 기밀화
 - 외기 유입 반대방향으로 Non-Stop 도어 설치
 - 엘리베이터 문 및 주 출입문 틈 모헤어 설치
- 10) 판매동 14층 외부 연결문 방풍실 적용

5. 결론 및 토의

S 초고층 복합 건축물에 대한 연돌현상 가장 중요한 및 저감방안제안을 통해 도출된 초고층 복합 건축물의 연돌현상저감 설계지침은 다음과 같다.

(1) 초고층의 오피스동과 저층의 판매동이 결합된 초고층 복합건축물의 경우 기본적으로 초고

층의 오피스동이 외부 및 다른 건물과 연결되는 모든 문 및 연결통로의 기밀성을 반드시 확보해 주어야 하며 이때, 회전문의 적용이 가장 효과적이나 회전문의 적용으로도 해결되지 않을 경우 별도의 시스템을 적용이 필요하다.

(2) 저층의 판매동의 출입동선과 초고층 오피스동의 출입동선은 반드시 분리되도록 계획되어야 한다. 이는, 출입문의 빈번한 개폐로 인한 외기 및 판매동의 기류가 오피스동으로 유입되기 때문이다.

향후 연구 내용

본 연구를 통해 도출된 최종연돌현상저감방안은 S 초고층 건축물의 실시설계에 반영되어 완공 후 동계 현장실험을 통하여 각 방안 별 연돌 저감 효과 평가하고 각 방안에 대한 검증 연구가 진행될 예정이다.

후 기

본 연구(03산 C04-01)는 건설교통부와 한국건설교통기술평가원의 재정적인 지원을 받아 진행되었으며, 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. Dols, W. S. and Walton, G. N., 2002, CONTAM2.0 User Manual, NISTIR 6921, National Institute of Standards and Technology.
2. Tamblin, R. T., 1991, Copying with Air Pressure Problems in Tall Buildings, ASHRAE Transactions, Vol 97, Part 1, p.826.
3. ASHRAE Research Project 661 "Field Verification of Problems Caused by Stack Effect in Tall Buildings", 1993, p.33.
4. CHO, D. W., YU, J. Y. and SONG, K. D., 2006, Developing Methods to Minimize the Pressure Differences across Elevator Doors for Stack Effect in Tall Buildings, proceedings of ACRA, p.712.