

Research Paper

초고층 건축물 수직조닝별 연돌효과의 원인 및 해결 방안 분석

Analysis of Causes of and Solutions to the Stack Effect by Vertical Zoning of High-rise Buildings

신상욱¹ · 류종우¹ · 정희웅² · 김대영^{3*}

Shin, Sang Wook¹ · Ryu, Jong Woo¹ · Jeong, Hee Woong² · Kim, Dae Young^{3*}

¹Master's Course, Department of Architectural Engineering, Pusan national University, Geumjeong-Gu, Busan, 46241, Korea

²Associate Professor, Department of Architectural Design, Dongseo University, Sasang-Gu, Busan, 47011, Korea

³Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan national University, Geumjeong-Gu, Busan, 46241, Korea

*Corresponding author

Kim, Dae Young
Tel : 82-51-510-7633
E-mail : dykim2017@pusan.ac.kr

ABSTRACT

Urban overcrowding has created an explosive supply and demand for high-rise buildings. High-rise buildings are contributing to enhancing the image of the city by serving as focal points, but due to the stack effect, malfunction of elevator doors, difficulties in opening and closing the doors and windows of the outer wall, smoke and odors spreading to the upper floors, noise, energy loss, fire and pollutants have been causing various unexpected problems such as rapid spread of fire. This study classified high-rise buildings according to their vertical zoning, analyzed the causes of and solutions to the stack effect, and derived design and construction methods. Through the initial plan to block the outside air and securing airtightness through precise construction, we sought ways to secure the airtightness inside and outside the building by actively blocking the airflow from the lower floors. In addition, the facility solution can be a measure to reduce the specific phenomena caused by the stack effect, but it should only be applied to the minimum extent because the potential for secondary damage is high. This study emphasized the need for systematic stack effect management by suggesting design and construction measures for each vertical zoning of the causes and countermeasures of the stack effect. It is expected that this study will be helpful not only for design and construction, but also for building maintenance.

Keywords : stack effect, classification by vertical zoning, high rise, design and construction approach, confidentiality

Received : September 6, 2021

Revised : September 23, 2021

Accepted : September 24, 2021

1. 서론

1.1 연구 배경

도시 인구의 과밀현상은 건축공학기술의 비약적인 발전을 이끌게 된 주요한 요인이다. 이로 인해 초고층 건축물에 대한 폭발적인 수요가 발생하였고 공급이 양산되었으며, 건축물의 초고층화의 실현으로 인해 초고층 건축물은 각 도시의 랜드마크(land mark)로서 도시 이미지 제고에 큰 공헌을 하고 있다. 하지만 초고층 건축물은 예기치 못한 다양한 문제를 양산하고 있으며 그 중에서도 연돌효과가 대표적인 피해사례라고 하겠다. 국내 다수의 학자들이 연돌효과의 문제점을 해결하기 위해 다양한 연구와 노력을 하였음에도 건축물의 초고층화와 대형화로 인한 연돌효과의 피해는 더욱 가중되고 있는 실정이다[1].



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근 신축된 LCT(부산광역시 해운대구 달맞이길 30 소재, 주상복합건축물, 건축물 높이 411m)의 경우 연돌효과로 인한 잦은 승강기 고장 때문에 입주민들이 심리적인 불안과 스트레스에 시달려 청와대 국민청원에 호소하는 사건이 발생하였다. 이처럼 초고층 건축물의 공급 확대에 의한 연돌효과의 피해가 더욱 가속화되어 입주민의 육체적·심리적 주거 안정성을 훼손하고 있고 연돌효과의 피해를 저감하는데 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 여전히 연돌효과로 인한 많은 피해가 발생하고 있는 상황이다[2].

Jo et al.[3]에 따르면 연돌효과를 저감시키는 방안으로 설비적인 접근뿐만 아니라 건축 계획적·시공적 접근방법이 더욱 효과적이라 밝히고 있으며 초기 건축설계의 치밀한 노력과 정밀한 시공을 통해 연돌효과 피해를 저감할 수 있다고 피력하였다. 이러한 선행연구 결과를 통해 연돌피해를 일으킬 수 있는 해당 영향인자를 분석 및 분류하고 연돌피해의 원인과 해결 방안을 도출하여 초고층 건축물의 설계 및 시공에 효과적으로 반영될 수 있도록 검토하는 과정이 필요하다고 판단된다.

1.2 연구 목적 및 방법

연돌효과는 건축물 내 수직적 공간(엘리베이터 샤프트, 계단실 등)을 통해 외부에서 유입된 공기가 상층부로 이동하며 여러 문제를 유발한다[4]. 이러한 공기의 유동은 건축물 내에서 엘리베이터 문의 오작동, 출입문 및 외벽 창문 개폐의 어려움, 하층부에서 유입된 연기 및 냄새의 확산, 침기 및 누기에 따른 소음(풍절음), 외기 침입량에 따른 에너지 손실, 화재 및 오염 물질의 급속 확산 등의 문제를 야기한다[4]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내의 다양한 연구가 수행되고 있으며 저층부의 회전문 및 방풍실 설치, 내부 추가 구획 등의 방법을 통해 연돌효과의 피해를 저감하기 위해 노력하고 있다[2].

하지만 이러한 연돌피해 저감방법의 효과가 충분히 발현되지 않아 연돌 효과에 의한 피해 사례가 꾸준히 발생하고 있다[4]. 연돌피해를 해결하는 방식은 주로 설비적 요소를 적용하는 사례가 대부분이나 설비적 저감방안은 특정 현상을 감소시키는 효과는 있으나 근원적 해결방안이 아니기에 다른 문제가 더욱 부각되고 있는 실정이다[4]. 즉 연돌효과로 인한 피해 사례와 각 사례별 해결책을 1차원적으로 접근하는 방식은 또 다른 문제를 야기할 수 있음을 유의해야 한다.

연돌효과의 피해를 공조시스템 적용 등의 설비적인 방안만으로 검토한다면 연돌효과의 근원적인 문제를 해결하는데 한계가 있으며 연돌 피해의 최소화 또는 차단을 위해서는 해당 건축물의 초기설계단계에서 연돌피해 발생 예상 위치 및 부위에 관한 충분한 검토와 시공의 확실성이 바탕이 되어야 연돌효과의 피해를 저감하는데 효과적이다[3]. 궁극적으로 연돌피해를 저감하기 위해서는 해당 건축물 초기설계의 치밀한 검증과 시공의 확실성, 최소한의 설비적 방안이 통합적으로 고려되어야 초고층 건축물의 연돌피해를 저감하는데 효과적이라는 결론에 이르게 된다.

본 연구는 Figure 1과 같은 연구과정을 통해 연돌효과를 저감시키는 방안을 도출하였으며 건축물을 수직조닝별로 구분하여 관련 연구결과를 분석하였다. 연돌피해가 높은 건축물의 위치 및 부위, 피해내용을 세부적으로 분류하고 이에 상응하는 발생원인과 해결방안을 분석 및 검토하여 연구를 진행하였다. 또한 선행연구 분석을 통해 연돌피해가 발생하는 부위 및 위치를 수직조닝별로 저층부, 중층부, 고층부로 구분하여 가이드라인을 설정하여 연돌피해가 발생한 위치, 피해내용, 발생원인, 해결방안을 아래 Figure 2과 같이 도식화하였다.

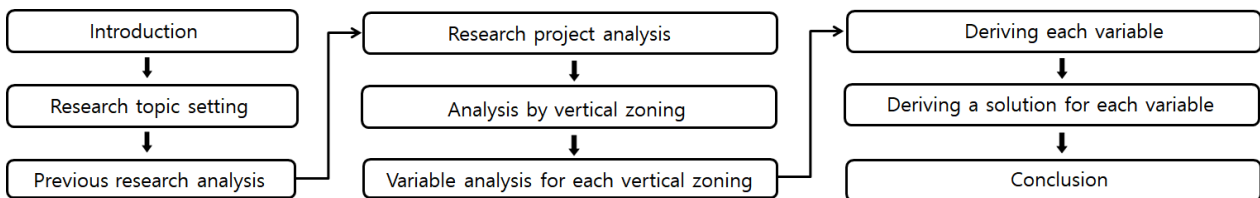


Figure 1. Research process flow chart

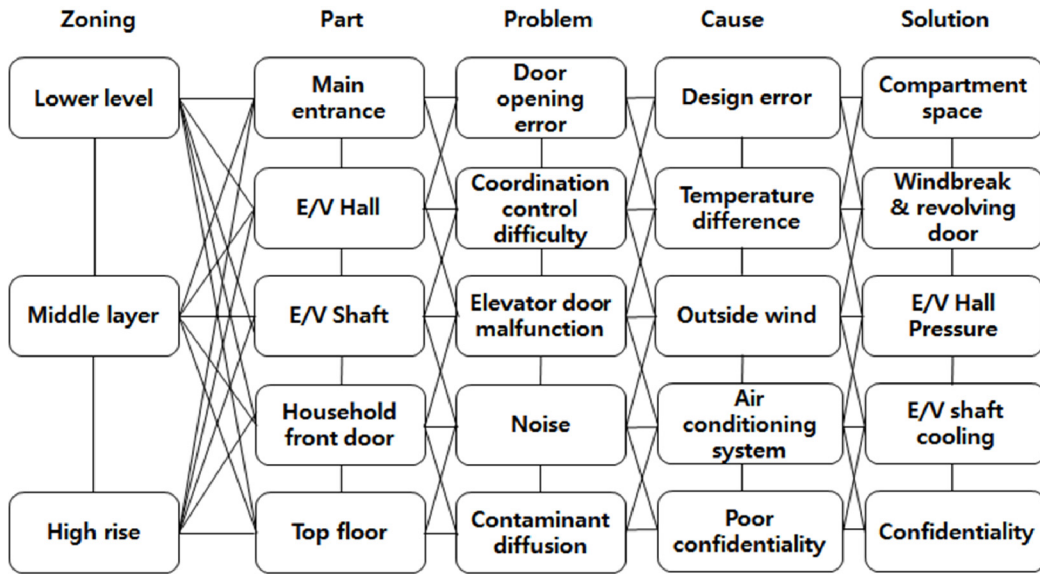


Figure 2. Stack effect flow diagram

Figure 2를 통해 연돌효과로 인해 발생한 각각의 피해와 영향인자들의 관련성을 파악하였다. 수직조닝별(저·중·고층부)로 발생하는 각각의 연돌피해 현상을 분석하고 연돌피해가 발생하는 원인과 이에 대처할 수 있는 방안을 분석하여 해당 수직조닝에서 연돌피해저감을 위해 조치해야 할 건축적 방안과 설비적 저감방안을 제시하였다.

본 연구에서는 초고층 건축물에서 발생하는 연돌효과의 영향인자 및 원인을 수직조닝별로 구분하여 시공적, 설계적, 설비적 해결방안으로 구분하여 저감방안을 도출하였다. 각 분야별로 구분하여 연돌피해 저감방안을 도출한 이유는 분야별로 제시되는 저감방안의 간섭 및 상충을 예방하는 효과와 초기설계 및 시공 시 적극적으로 검토할 수 있는 가이드라인의 역할을 기대하기 때문이며, 본 연구 결과를 토대로 해당 목적물의 연돌피해를 체계적으로 관리할 수 있기를 기대한다.

2. 이론적 배경

2.1 연돌효과

연돌효과(Stack effect)는 건축물에서 외부공기와 내부 공기의 공기밀도, 온도, 습도의 차이로 발생하는 공기의 압력 차이로 발생한다. 이로 인해 건축물의 내·외부, 수직 공간을 통해 하층부에서 상층부로 이어지는 공기의 유동현상을 발생시킨다. 궁극적으로 건축물의 내·외부의 온도차가 클수록 연돌효과가 크게 발생하므로 주로 겨울철에 발생빈도가 높으며, 초고층화로 인해 연돌효과는 극대화되는 특성을 가진다[5]. 이러한 특성으로 한대(寒帶)지역과 중위도 이북의 온대에 위치한 초고층 건축물의 경우 더욱 연돌효과에 취약하며 샤프트 내부 온도와 건축물의 외부 기온차가 상이하면 공기의 밀도차로 인해 압력차가 발생하는데 그 정도가 샤프트의 수직 위치에 따라 다르게 된다[5].

Oh et al.[2]은 연돌효과의 개념을 건축물 수직공간의 온도차와 압력 분포차로 설명하였고 이러한 개념을 바탕으로 설계인자가 연돌효과에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 연돌피해의 저감을 위한 실험연구를 하였다. 연돌효과로 인한 문제점을 초기설계단계에 초점을 맞추어 설계상의 오류를 분석하여 연돌피해 저감방안 연구를 수행하였다.

Lee et al.[4]은 수직통로의 압력차를 통해 연돌효과의 영향을 분석한 것으로 본 연구에서의 초고층 건축물의 수직조닝별 연돌효과에 관한 연구를 할 수 있는 근거를 확보하였다. 연돌효과에 발생하는 압력차는 건축물의 내부와 외부의 공기밀도

로 인해 발생하고, 이러한 현상은 엘리베이터 샤프트, 계단실 등에서 발생한다고 하였다. 즉, 건축물의 외부와 내부의 공기 밀도에 의해 발생하는 압력은 건축물의 높이 지점에 따라 달라지는데, 온도와 기압이 건축물의 특정 지점에서 일정하다고 가정할 경우, 해당 지점의 절대압력은 건축물의 해당 지점의 높이가 높아질수록 감소한다. 건축물의 높이에 따른 공기의 밀도 변화를 수정하도록 되어 있으며, 실내와 실외의 온도차는 건축물의 외벽에서 발생하는 공기의 유동을 발생시키는 연돌 효과의 압력 변화에 변화를 주게 된다. 또한 수직공간의 압력차가 '0'이 되는 중성대(NPL)에서의 거리는 실내외 온도차와 비례한다.

연돌효과를 발생시키는 영향인자를 고려하여 건축 설계적·시공적 저감방안을 적용하여 저층부에 공용 공간을 확보하고 방풍실 및 회전문 설치를 통해 기밀성능 확보하며 엘리베이터 전실 설치, 고층부에 공간을 구획·분할하여 연돌피해를 저감시키는 방안이 검토되고 있으나 지역에 따라 연평균 기온과 연간 최저 기온이 상이하기 때문에 모든 초고층 건축물에 일률적으로 적용하는 것은 곤란하며 해당 건축물의 높이와 기밀성능을 종합적으로 고려한 연돌저감방안이 필요하다[2].

위와 같은 기존 연구는 건축물 내 수직공간을 하나의 공간으로 인식하여 연돌효과가 발생하는 원리와 연돌피해가 예측되는 지점, 피해저감방안을 제시하였다. 하지만 연돌효과는 건축물의 높이 지점에 따라 압력분포가 달라지는 만큼 수직조닝별로 구분하여 검토하는 것이 합리적이며 각 조닝에서 발생하는 피해와 양상이 다르므로 이에 대한 대책도 달라져야 한다는 결과를 도출할 수 있다. 특히 기밀성능을 높여 저층부에서 유입되는 외기를 차단하는 건축적 방안과 중성대(NPL)에서 압력차가 '0'이 되나 실제로는 연돌피해가 발생한다는 사실 등을 고려하여 고층부에서 기 유입된 공기를 처리하는 등의 다양한 접근방법이 강구되어야 실질적인 연돌피해 저감이 가능할 것으로 판단되어 연돌현상을 수직조닝별로 구분하여 연구하였다.

3. 연돌효과 관련 국내 연구 분석

연돌효과는 국내·외 초고층 건축물에서 공통적으로 발생하는 현상이나 국내의 건축설계와 건축시공의 적용성 및 효용성을 고려하여 국내 연구결과만을 바탕으로 본 연구를 진행하였다.

3.1 연돌효과 발생 주요 위치·부위별 분석

Table 1과 같이 연돌효과는 주로 건축물의 수직조닝부인 계단실, 엘리베이터 샤프트, 엘리베이터 도어에서 발생하는 빈도 및 피해규모가 컸다. 연돌피해가 집중적으로 발생하는 위치 3개소(계단실, 엘리베이터 샤프트, 엘리베이터 도어)를 급기와 배기, 도어의 기밀성, 압력차 등의 영향인자로 구분하여 Table 1로 나타냈다.

Table 1은 연돌효과 관련 선행연구를 분석하여 연돌효과 피해가 주로 발생하는 위치와 해당 원인 및 해결방안에 관한 연구를 분석하여 도표화한 것이다. 연돌피해의 주요 발생지점을 크게 계단실, 엘리베이터 샤프트, 엘리베이터 문으로 구분하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

계단실(Stairwell)의 경우 급기와 배기, 계단실 문의 기밀성, 압력에 의해 연돌효과가 발생한다. 급기와 배기를 통한 연돌피해를 해결하기 위해서, 순환 연돌 효과를 통한 연돌효과 저감 방안과 고습도 및 오염 물질의 확산을 방지하기 위해 적절한 환기량을 선택하고 효과적인 공기 유입 및 배출 위치를 선택하는 것이 적절하다[6]. 순환형 연돌효과 저감방안은 공기의 급기와 배기를 이용해 건축물의 계단실에서의 연돌효과를 저감시키는 방법이다[6]. 계단실문의 기밀성이 높을수록 압력차가 작아지며, 압력차를 저감하기 위해서는 가변 풍량 및 과압 방지 시스템을 적용하는 것이 적절하다[2].

엘리베이터 샤프트(Elevator shaft)의 경우 압력차로 인한 요인이 가장 크게 나타났으며 이러한 압력차를 줄이기 위해서는 수직 구역 설정, 엘리베이터 샤프트 벽면에 댄퍼(PDCD)를 설치한다[7]. 또한 샤프트 내 벽면에 개구부를 설치하고, Zero

Table 1. Analysis of causes of and solutions to the stack effect[2,4-8,10,12-14]

Part	Key	Result	Author	Year
Stair well	Supply and exhaust	Proposal of circulating stack effect reduction plan to reduce stack effect in stairwell using air supply and exhaust	Kim J.Y	2015
		To prevent the spread of high humidity and pollutants, select an appropriate ventilation amount and select an effective air inlet and outlet location	Kim, K.H	2008
	Door confidentiality	The higher the airtightness of the stair door, the smaller the pressure difference.	Oh J.H	2016
	Pressure	Proposal of variable air volume and overpressure prevention system	Lee J.H	2010
Elevator shaft	Pressure difference	Vertical zoning of the elevator shaft affects the pressure distribution of the building	Shin H.K	2009
		Install a damper(PDCD) on the wall of the elevator shaft to adjust the pressure difference between the elevator doors	Yu J.Y	2010
		Deriving a method to reduce differential pressure by opening an opening in the wall of the elevator shaft so that air can communicate between the elevator shaft and the household	Kim J.S	2011
		Zero stack system applied	Yu J.Y	2010
	Noise	Effects of airflow passing through the gap between the elevator door and the jamb and the upper and lower gaps	Lee W.H	2015
	Cooling system	Minimizes the pressure difference between indoor and outdoor air by cooling the elevator shaft to suppress air flow	Lee J.H	2010
	Updraft	Installing a vent on the elevator shaft wall in the uppermost floor elevator machine room	Yu J.Y	2010
Elevator door	Pressure difference	To increase airtightness, the entrance doors on the basement and the first floor are installed as revolving doors.	Jo et al.	2001
		In the lower floors, the pressure difference occurs from the corridor to the elevator door, and from the elevator to the corridor in the upper floors.	Jung Y.W	2017
	Noise	Installation of a vent to discharge the airflow that rises through the elevator shaft in the uppermost floor elevator machine room	Yu J.Y	2010
	Difficulty opening and closing the door	Open the stairwell door on the top floor	Jo J.H	2001
	Gonfidentiality	The higher the airtightness of the elevator door, the smaller the pressure difference.	Oh J.H	2016

stack system을 적용한다[7]. 특히 소음(풍절음)은 엘리베이터 도어와 잼 사이의 틈새와 상하 틈새를 통과하는 기류의 영향이 큰 것으로 나타났다. 이러한 기류를 억제하기 위해 엘리베이터 샤프트를 냉각하여 실내·외 공기의 압력차를 최소화하는 방안 및 최상층 승강기 기계실 측벽에 통풍구를 설치하는 방안이 적합하다[8]. 샤프트 냉각공법을 적용하여 실내·외 공기의 압력차를 최소화하여 샤프트 내를 통과하는 공기의 유동을 감쇄시켜 궁극적으로 연돌효과 크기를 줄이는 샤프트 냉각공법을 적용한다[9].

엘리베이터 문(Elevator door)의 경우 압력차가 주된 원인이었으며, 이로 인한 소음, 개폐 오작동이 주요 현상이다. 이를 해결하기 위한 방안으로 저층부에 회전문을 설치, 최상층 승강기 기계실에 상승하는 기류를 배출하기 위한 통풍구 설치, 최상층부 계단실 문 열어두기, 엘리베이터 문 기밀성 높이기 등의 방안이 합리적이다[10]. 또한 엘리베이터 홀 내부에 별도의 구획을 추가하여 기존의 다른 구획에 작용하는 압력을 분산시키는 방안은 해당 구획을 포함한 일정 공간의 공기유동 경로를 차단함으로써 기밀성을 향상시키므로 압력차를 줄이는데 효과적이다[2].

3.2 건축물 내·외벽 기밀성에 따른 영향 분석

Table 2는 건축물의 내·외부 기밀성 및 압력차로 인한 연돌효과 피해사례 선행연구를 분석한 것이며 그 내용은 아래와 같다. 건물 외벽(Exterior wall of a building)의 경우 외벽의 밀폐 성능을 향상시켜 건물 내부로의 외기 유입 또는 침입을 최소화 하는 조치가 필요하다[7]. 건물 내부(Building interior division)의 경우 내부 구획(엘리베이터 도어, 계단 통문, 가정용 현관 문 등)의 기밀성을 높인 시공 또는 과압방지 댐퍼 설치가 중요하다[11].

Table 2. Analysis of interior and exterior impacts of buildings[1,2,4,7,11]

Part	Key	Result	Author	Year
Exterior wall of a building	Confidentiality	Measures to minimize the inflow or intrusion of outside air into the building by improving the airtight performance of the exterior wall	Yu J.Y	2010
		Proposal of a method for confidential construction of internal compartments(elevator door, stairwell door, household front door, etc)	Jo J.H	2002
Building interior division	Pressure	Installation of overpressure prevention damper	Park J.S	2014
			Lee J.H	2010
			Seo B.Y	2010

3.3 건축물의 수직조닝별 영향 분석

Table 3은 건축물을 수직조닝별로 구분하여 연돌효과의 영향을 분석하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

Table 3. Analysis by vertical zoning of buildings[1,2,4,5,7,11,12]

Part	Key	Result	Author	Year
High rise	Pressure	Measures to reduce the stack effect through air conditioning and pressurization of high-rise parts	Kim J.S	2011
NPL (Neutral Pressure Level)	Pollutant	Proposal of methods for spreading pollutants in buildings considering air flow characteristics	Lee J.H	2010
		The concentration of indoor pollution is highest near the NPL, where the air flow rate is the least.	Lee J.H	2010
	Location	It is located slightly below the midpoint, and rises proportionally according to the height of the building.	Jung Y.W	2017
Lobby	Air flow	Add a compartment between the lobby floor and the elevator door	Seo B.Y	2010
		Air conditioning decompression		
		Forced exhaust (Local mitigation measures)		
	Amount of immersion	Replace entrance door with revolving door(windbreak)	Jo J.H	2002
			Yu J.Y	2010
			Park J.S	2014
The house hold door	Confidentiality	Presenting the result that the airtightness of the front door of a household has the greatest influence on the stack effect	Lee W.H	2015
	Pressure difference	The pressure difference at the front door of the household gradually increases in the upper part of the NPL	Jung Y.W	2017

로비(Lobby)의 경우 침기의 양과 기류의 영향이 큰 것으로 나타났다. 기류의 영향을 적게 하기 위해서는 로비와 엘리베이터 문 사이에 구획을 추가하거나 공조로 감압하는 방법, 강제 배기(국소 완화 조치)하는 방안이 검토되었다. 침기의 양을 감

소하는 방안으로 현관문을 회전문으로 교체하거나 초기 설계에 반영하는 것이 바람직하다[3].

중층부(중성대, Neutral Pressure Level)의 경우는 공기 유량이 가장 적어 실내 오염 농도가 가장 높게 나타났다[4]. 중성대는 공기의 유량이 적어 연돌피해는 적으나 저층부로부터 오염물질이 유입될 경우 중층부에 체류성이 높고 중간 지점보다 약간 아래에 위치하고 있으며 건물 높이에 따라 비례적으로 상승한다[4].

고층부(High rise)의 경우는 압력의 영향이 크므로 공조 및 고층 가압을 통한 연돌효과 피해 저감 대책이 필요하다[5].

또한, 각 세대의 경우 기밀성과 압력차로 인해 현관문 개폐의 어려움이 있으며, 세대 현관문의 압력차는 NPL 상부에서 점차 증가하게 된다[12].

4. 수직조닝별 연돌피해의 원인 및 해결방안 분석

초고층 건축물은 층수가 50층 이상이거나 높이가 200m 이상인 건축물(건축법 시행령 제2조)을 말한다. 연돌효과는 실내·외 온도차로 인해 발생하는 압력차가 수직공간(엘리베이터 샤프트, 계단실 등)을 통해 발생하는 굴뚝현상으로 초고층 건축물의 경우 높이별로 구분하여 연돌피해 저감대책을 강구하는 것이 합리적이다[4]. 수직조닝별 구분 기준은 중성대(NPL)의 상부를 고층부, 하부를 저층부로 하여 해당 건축물을 구분한다[11].

Lee et al.[4]에 따르면 수직통로에 발생하는 압력차는 저층부, 중층부, 고층부에 따라 다르게 작용하므로 이로 인해 발생하는 연돌피해 발생위치와 원인, 해결방안을 수직조닝별로 분석하는 것이 연돌피해를 합리적으로 해결하는 방안이라 판단된다.

4.1 저층부

Table 3은 건축물을 수직조닝별로 구분하여 연돌효과의 영향을 분석하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

Table 3의 분석을 통해 건축물의 저층부 주출입구는 실내외의 온도차로 인한 외기의 유입으로 출입문 개폐의 어려움과 외기유입으로 인한 소음(풍절음) 피해가 큰 것으로 나타났다. 이는 초기 건축설계 시 외기 유입을 차단할 수 있는 별도의 구획 공간을 추가하거나 방풍실, 회전문 등이 설계에 반영되지 못한 것이 가장 큰 원인으로 작용하였다. 설비적 해결방안으로 공기유동을 고려한 공조감압 조치와 국소완화조치인 강제배기를 주로 적용하였다.

또한 엘리베이터 도어의 기밀성을 높이기 위해 엘리베이터 도어 잼 주위에 양모를 설치하여 기밀성을 높여 연돌효과의 저감효과를 도출하는 방안이 적용되었으며, 엘리베이터 도어 틈에서 발생하는 소음은 엘리베이터 도어 틈에 기밀부재를 설치하여 엘리베이터 도어 틈의 기류속도를 감소시켜 소음저감 효과를 얻을 수 있다는 결과를 얻게 되었다.

4.2 중층부

건축물의 중층부에서는 공용 엘리베이터 홀과 세대현관 출입문 개폐의 어려움과 소음피해가 주로 발생하였다. 이는 저층부의 설계오류(구획공간, 방풍실, 회전문 등의 미설치)로 인한 침기가 주된 원인으로 확인되었다. 이를 위해 저층부의 외기 차단과 엘리베이터 샤프트에 외기를 이용한 냉각시스템과 배기설비를 적용함으로써 건축물 내의 상승기류를 감소시키는 방안이 제시되었다. 엘리베이터 도어가 하층부보다는 상층부에서 더 큰 압력차가 발생하여 엘리베이터 도어에 소음 발생이 크다는 결과를 도출하였고, 지하층 및 21층 이상 되는 상부층에 엘리베이터 부속실 방화문에 걸리는 압력이 과다하여 출입문 개폐가 어렵다는 문제를 이끌어 내었다. 결과적으로 외벽의 기밀성이 높아질수록 연돌효과로 인한 엘리베이터 도어의 압력차는 감소하였고, 내부 구획공간 등의 적용을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있다는 결과를 도출할 수 있었다.

4.3 고층부

건축물의 고층부에서는 세대 현관 및 최상층 피난문 개폐의 어려움과 소음피해가 주로 발생했다. 특이점은 건물 내 기류 상승으로 인해 저층부의 오염물질이 확산하여 고층부세대의 오염물질 농도가 높아지는 피해가 가장 심각한 것으로 나타났다. 이를 위한 해결방법으로 엘리베이터 샤프트 냉각공법 및 배기와 고층부 엘리베이터 홀의 가압을 통해 오염물질의 확산을 줄일 수 있었다. 또한 수직풍도와 송풍기를 이용하여 계단의 저층부에서 급기그릴을 통해 공기를 급기하고 고층부에서 배기그릴을 통해 배기하는 순환형 연돌효과 방안을 적용하여 연돌효과를 감소시키는 방안이 검토되었다.

엘리베이터 샤프트와 계단실 등 수직공간을 통해 하층부에서 상층부로 기류가 이동하면서, 저층부는 단위주거에서 코어 방향으로, 고층부는 코어에서 단위주거 방향으로 기류가 이동하면서 연돌효과가 가속화된다. 이러한 기류이동이 저층부에서 발생한 오염물질을 고층부로 확산시키는데 주요한 요인으로 확인되었다.

또한 초고층 건축물일수록 고층부의 습도 및 실내오염물질의 농도가 높아질 위험이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 적절한 환기량과 효과적인 급·배기구의 위치 선정, 상시 환기 시스템을 적용하여 고층부에 정체되어 있는 오염물질을 희석 또는 차단하는 것이 바람직하다.

4.4 수직조닝별 연돌피해 해결방안 분석

Table 4는 수직조닝별로 연돌피해가 발생하는 주요 지점과 문제점, 발생요인, 건축적 방안과 설비적 방안을 종합적으로 분석하였다. Table 4를 통해 알 수 있듯이 수직조닝별로 연돌효과 피해 저감방안을 종합하면 다음과 같다.

Table 4. Stack effect solution

Zone	Part	Problem	Cause	Solution	
				Construct	Equipment
Low	Main entrance	Door opening error	Design error	Compartment space Windbreak revolving door	Application of air conditioning system
	E/V Hall	Coordination control difficulty	Temperature difference	Compartment space Windbreak revolving door	
Middle	E/V Hall	Door opening error	Air flow pressure difference	Confidential Construction	Measures to reduce the circulating stack effect (Use of air supply and exhaust)
		Coordination control difficulty			
	E/V Shaft	Elevator door malfunction			
Stair well	Noise	Poor airtightness	confidential construction		
	Household front door				
High	E/V Hall	Door opening error	Air flow pressure difference	Confidential Construction	Measures to reduce the circulating stack effect (Use of air supply and exhaust)
		Coordination control difficulty			
	E/V Shaft	Elevator door malfunction	Poor airtightness		
		Noise			
Stair well	Household front door	Air flow pressure difference	Compartment space	Ventilation	
	pollutant		confidential construction	Selecting the appropriate location of the air inlet and outlet	
Exterior wall	Poor airtightness	Air flow	confidential construction	Application of air conditioning system	

저층부에서는 초기설계 시 외기 유입을 차단할 수 있는 구획 공간 또는 방풍실, 회전문 등을 계획하고 외벽에 기밀성이 높은 마감계획을 하는 것이 효과적이다. 중층부에서는 외기유입 차단을 위한 공간 확보와 엘리베이터 샤프트 내 냉각시스템 및 순환형 배기설비를 적용하여 건축물내의 기류상승을 감소시키는 방안이 효과적이다. 고층부에서는 엘리베이터 샤프트 냉각 및 배기설비의 적용과 기압 공법을 통해 오염물질의 확산을 감소시키는 방안이 효과적이다.

5. 결론

연돌효과로 인한 문제점을 사전에 분석하고 검토하여 설계상 오류 및 시공상 문제점을 해결하는데 도움이 되고자 본 연구를 시작하였다. 연돌효과 선행연구 자료를 통해 건축물을 수직조닝별로 구분하여 연돌효과의 원인 및 해결방안을 도출하였다.

본 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 설계적 방안은 저층부에서 유입되는 기류를 적극적으로 차단하는 계획이 필요하며 공간의 효율성과 본 계획에 지장을 주지 않는 범위 내에서 건축물의 내·외부 기밀성을 확보할 수 있는 계획이 필요하다.
- 2) 시공적 방안은 해당 목적물의 공간을 최대한 밀실하게 시공하여 기밀성을 확보하는 것이 중요하며, 설계의 의도가 충분히 반영되도록 시공의 확실성을 확보해야 한다.
- 3) 설비적 방안은 연돌효과로 인한 특정적인 현상을 감소시키는 방안을 될 수 있으나 이로 인한 2차 피해가 발생할 개연성이 높으므로 최소한의 시스템이 적용되도록 해야 한다.

본 연구는 초고층 건축물의 수직 공간(샤프트, E/V, 계단실 등)에서 발생하는 연돌현상을 수직조닝별로 영향인자, 발생원인, 해결방안을 구분하여 연구하였고 해당 목적물의 설계, 시공 측면에서 연돌피해에 대한 대책을 상세히 검토하여 연돌피해 발생이 우려되는 위치와 대상에 대해 구체적으로 제시하였다. 실제로 연돌효과는 건축물 하나의 수직공간을 통해 형성되는 작용임에도 수직조닝별로 구분하여 연구한 목적은 공기가 이동하는 경로를 상세하게 분석하여 연돌효과로 인한 피해를 최소화하고자 하는 데 있으며, 본 연구를 통해 연돌효과의 근원적인 원인인 온도에 의한 압력차를 건축적 방안과 설비적 방안으로 수직조닝별로 분석하여 보다 체계적인 연돌효과 관리의 필요성을 부각하는데 있다. 이는 타 선행연구와는 달리 수직공간을 3단계(저, 중, 고층부)로 구분하여 시공 및 설계 단계에서 연돌피해 저감방안에 대한 효과를 기대할 수 있도록 가이드라인을 제시하였다.

본 연구 결과는 건축시공과 설계단계에서 주의해야 할 연돌피해 저감을 위한 필수 항목을 수직조닝별로 상세히 제시하여 연돌효과에 대해 건설기술인들이 쉽게 이해할 수 있도록 하여 연돌피해 저감방안을 모색할 수 있도록 연구한 것으로 연돌피해 대책 마련을 위한 체크리스트 개발에 활용될 것을 기대한다. 또한 설계, 시공뿐만 아니라 건축물 안전관리 측면에서 연돌효과로 인한 초고층 건축물 화재 확산 방지대책에 활용될 수 있으며, 지방자치단체 산하 소방재난본부에서 실시하고 있는 성능위주설계평가 가이드라인으로 활용이 가능할 것이라 기대한다.

추후 본 연구에서 도출된 수직조닝별 연돌효과의 원인과 해결방안 분석을 통해 설계 및 시공 시 적용할 수 있는 연돌피해 저감을 위한 체크리스트 개발 연구를 진행할 계획이며, 본 연구가 초고층 건축물의 연돌효과를 저감시키는데 얼마나 효과적으로 적용될 수 있는지를 평가하고 검증할 예정이다.

요약

도시 인구의 과밀화로 고층 건물에 대한 폭발적인 수요와 공급이 발생하였다. 고층 빌딩은 각 도시의 구심점으로 도시 이미지를 제고하는데 기여하고 있으나 연돌효과로 인해 승강기 문의 오작동, 외벽의 문과 창문 개폐의 어려움, 상층부로 확산


하는 연기와 악취, 소음, 에너지 손실, 화재 및 오염물질의 급속한 확산 등 예기치 못한 다양한 문제를 야기하고 있다. 본 연구에서는 초고층 건축물을 수직조닝별로 구분하여 연돌효과의 원인과 해결방안을 분석하고 설계와 시공 방안으로 도출하였다. 외기를 차단하는 초기 계획과 정밀한 시공을 통한 기밀성 확보를 통해 저층부에서 유입되는 기류를 능동적으로 차단하여 건물내·외부 기밀성을 확보하는 방안을 모색하였다. 설비적 해결대책은 연돌효과로 인한 특정 현상을 줄이기 위한 대책이 될 수 있으나 이에 따른 2차 피해의 가능성이 높기 때문에 최소한으로 적용해야 한다. 따라서 본 연구는 연돌효과의 원인과 대책방안을 수직 조닝별로 설계적, 시공적 대책을 제시함으로써 체계적인 연돌효과 관리의 필요성을 역설하였다. 또한 본 연구가 설계 및 시공뿐만 아니라 건물 유지관리에도 도움이 되기를 기대한다.


키워드 : 연돌 효과, 수직조닝별 분류, 초고층 건축물, 설계 및 시공 접근, 기밀성

Funding


Not applicable

ORCID

Sang Wook Shin,  <https://orcid.org/0000-0001-9324-428X>

Jong Woo Ryu,  <https://orcid.org/0000-0001-9005-9732>

Hee Woong Jeong,  <http://orcid.org/0000-0002-9104-2892>

Dae Young Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-3186-826X>

References

1. Park JS, Yu JY, Song KD. Effective selecting for stack effect reduction alternative in high-rise buildings through application of total countermeasure solution on stack effect(TCSS) review process. *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*. 2014 Oct;21(5):741-8.
2. Oh JH, Song DS, Yoon SM, Nam YJ. Analysis of impact factors affecting on the stack effect in high-rise building. *KIEAE Journal*. 2016 Jun;16(3):95-101. <https://doi.org/10.12813/kieae.2016.16.3.095>
3. Jo JH, Yang IH, Yeo MS, Kim KW. A case study on the field measurement and reduction of the stack effect in high-rise buildings. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2002 Jul;18(7):169-76.
4. Lee JH, Lee JH, Song DS. A study on the contaminant dispersion by stack effect in high-rise residential building. *KIEAE Journal*. 2010 Jun;10(3):97-102.
5. Kim JS, Lee EP. Study on the method of stack effect mitigation by the elevator shaft pressurization at high-rise buildings. *Fire Science and Engineering*. 2011 Dec;25(6):178-83.
6. Kim JY, Kim JS. Study on 3D numerical analysis of stack effect reduction in stairwell of building. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*. 2015 Mar;27(3):152-7. <https://doi.org/10.6110/KJACR.2015.27.3.152>
7. Yu JY, Song KD, Cho DW. Design procedure for minimizing stack effect problems in the tall office building connected with the row-rise shopping center. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2010 Mar;26(3):227-34.
8. Lee WH, Koo SH, Jo JH. Field measurements and evaluation of noises caused by stack effect at the elevator door in high-rise buildings. *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*. 2015 Aug;9(4):312-8.

9. Lee JH, Lim HW, Song JE, Lee JH, Song DS. A study on the quantitative characteristics of countermeasures on stack effect in high-rise building. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2009 Oct;29(1):849-52.
10. Jo JH, Yeo MS, Yang IH, Kim KW. Field measurement and simulation of the stack effect in high-rise building. Autumn Annual Conference of AIK. 2001 Oct 27; Asan, Korea. Seoul (Korea): *Journal of the Architectural Institute of Korea(JAIK)*; 2001. p. 965-8.
11. Seo BY, Choi JH, Hong WH. Prediction of smoke diffusion and minimizing methods of stack effect considering the status of opening in a high-rise building. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2010 Sep; 26(9):259-66.
12. Jung YW, Yoon JO. The simulation on stack effect of high-rise residential complex. Autumn Annual Conference of AIK. 2017 Oct 25-27; Kyongju, Korea. Seoul(Korea): *Journal of the Architectural Institute of Korea(JAIK)*; 2017. p. 526-9.
13. Kim KH. The effect of the stack effect of high-rise buildings on the diffusion of indoor pollutants. *Magazine of the SAREK*. 2008 Nov;37(11):14-9.
14. Shin HK, Jo JH, Kim KW. Field measurements of stack pressure profiles in the high-rise office building. Autumn Annual Conference of AIK. 2009 Oct 23-24; Chuncheon, Korea. Seoul(Korea): *Journal of the Architectural Institute of Korea(JAIK)*; 2009. p. 845-8.