

[Research Paper]

이중외피 구조 건축물의 피난성능 개선에 관한 연구

구선환 · 송영주*[†]

동신대학교 대학원 소방학과, *동신대학교 소방행정학과

Study Improvement of the Evacuation Performance in a Double-Skin Structure

Seon-Hwan Gu · Young-Joo Song*[†]

Graduate School of Fire Department, Dongshin Univ

*Dept. of Fire Administration, Dongshin Univ

(Received January 3, 2017; Revised February 20, 2017; Accepted February 22, 2017)

요 약

본 논문은 피난 안전성 평가를 통해 이중외피 구조가 적용된 건축물에서의 피난 성능 개선방안을 제시하고자 한다. 이중외피 구조가 적용된 건축물은 화재 발생시 굴뚝효과로 인한 상층 연소확대 현상이 빠르고 그 특성이 각 구조별로 다른 특성을 갖고 있으며 설계 및 제도적 기준 또한 미비하여 일반 건축물에 비해 피난 안전성을 확보하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 10층의 단일 피난계단이 적용된 이중외피 건축물로 가상의 모델링을 구성하였으며, 피난 성능을 개선하기 위한 방안으로 피난 완료시점을 옥외로의 탈출까지로 변경하고, 각 구조별 위험도를 고려한 경보방식을 제안하였다. 그 결과 기존의 경보방식과 비교하여 박스형은 약 26.4%, 복도형은 약 29.1%, 샤프트-박스형은 약 23.4%, 전면형은 약 26.3%의 피난 성능이 개선되었고, 전층의 재실자의 안전을 확보 할 수 있었다.

ABSTRACT

This study examined an effective way of measuring the evacuation performance in buildings, which are applied to a double skin facade through an evaluation of the escape safety. Buildings with a double skin facade appeared to have a faster combustion expansion speed for the upper floor if a fire occurs. Moreover, a double skin facade is more difficult to escape safely than a general building construction because of the limited design standards. Accordingly, this study suggested virtual modeling including single emergency stairs and alarm systems considering the risk in each structure of buildings. These results showed that box-type double skin, corridor access type, shaft-box type, and multistory facade systems showed a 26.4%, 29.1%, 23.4%, and 26.3% increase in evacuation performance, respectively, as well as securing the safety of occupants.

Keywords : Double-skin Facade, Evacuation Performance, Evacuation Safety Assessment

1. 서 론

현대의 건축물은 환경 오염을 줄이고 에너지를 절약하기 위해 고효율 에너지 설비의 사용과 함께 주변 자연 환경을 이용한 친환경 에너지 사용 전략을 목표로 발전하고 있으며, 그 가운데 이중외피 구조가 에너지 절약형 건축물로서 각광을 받고 있다. 그러나 이중외피 구조는 화재 발생시 중공층을 통한 굴뚝효과로 인해 상층 연소확대의 위험성이 높으며, 각 구조별 연소확대 특성이 달라 재실자의 피난 안전성을 확보하기 어렵다. 그리고 현재 사용하고 있는

우선경보 방식은 화재시 굴뚝효과나 기타의 연소확대의 위험성을 고려하지 않은 발화층과 직상층만 경보하는 방식으로 재실자의 안전을 확보하는데 한계가 있다. 또한, 피난 안전성 평가 수행 시 피난완료시점을 건축물의 붕괴 및 계단으로의 연기 유입을 고려하지 않는 피난계단의 방화문까지로 설정하는 문제점도 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 단일 피난 계단과 이중외피 구조가 적용된 10층 건축물로 모델링을 실시하여 옥외로의 탈출을 기준으로 피난 안전성 평가를 실시하여 위험도를 고려한 경보방식을 통해 피난성

[†] Corresponding Author, E-Mail: dewangell@dreamwiz.com, TEL: +82-61-330-3563, FAX: +82-61-330-3568
Copyright © 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

능 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 이중외피 구조

2.1.1 이중외피 구조의 개념 및 필요성

이중외피 구조는 외피(내측)에 외피(외측)가 덧대어진 구조로 구조상 외측 외피는 외부환경 부하와 근접해 있어 외부환경부하를 완충하는 역할을 하며, 자연채광, 조망 확보, 외부소음 차단 등의 기능을 하게 된다. 또한 이중외피 구조의 설치 목적은 건축물의 냉·난방 부하를 최소화하는데 있으며, 계절마다 환경 변화에 따라 유기적인 시스템을 적용하고, 건축물의 미적 아름다움을 향상시키는 역할을 한다⁽¹⁾.

이중외피 구조의 외피와 외피 사이에는 빈 공간이 형성되는데, 그 공간은 완충역할을 하는 공간으로써 중공층이라 하며, 이 중공층은 일반적으로 50~2,000 mm 사이의 너비를 적용하게 되며 사용 용도와 활용에 따라 각각 다르게 구성한다⁽²⁾.

또한 중공층에는 차양장치를 설치하고, 공기의 유·출입구를 설치함으로써 이중외피 구조의 유기적 시스템에 변화를 주어 실내의 냉·난방부하를 최소화 한다.

2.1.2 이중외피 구조의 종류 및 특징

이중외피 구조는 중공층의 구획과 자연환기의 방법에 따라 일반적으로 박스형, 샤프트-박스형, 복도형, 전면형으로 분류 할 수 있다^(3,4).

(1) 박스형 이중외피 구조

하나의 이중외피가 소규모 또는 하나의 창문에 구성되는 형태로 실 하나에서 단독 환기가 가능하고 환기를 위해 하나의 이중외피 마다 상부에 배출구와 하부에 유입구가 설치되며, 이를 통해 중공층의 기류 순환을 돕는다. 또한 이중외피 하나가 작은 범위를 구획함으로써 시공이 용이하고, 사생활 보호와 외부 및 층간 소음 또는 냄새확산을 차단하는 면에서 타 구조에 비해 유리하다.

(2) 복도형 이중외피 구조

중공층이 층별로 구획되어 중공층이 수평으로 존재하는 구조로 공기 유입구와 배출구가 이중외피의 상부와 하부에 존재하며 배출구의 오염된 공기가 상부의 유입구로 유입되는 것을 막기 위해 서로 교차되어 설치된다. 또한 동일한 층에서 중공층이 수평적으로 구획되므로 동일 층간 소음과 냄새확산의 단점이 있으나 중공층을 복도 및 휴식공간으로 활용한 장점이 있다.

(3) 샤프트-박스형 이중외피 구조

박스형의 통기력이 약한 단점을 샤프트를 통해 보완한

구조로 박스형과 샤프트가 교차되어 설치된다. 샤프트를 통해 기류순환을 유리하게 가져갈 수 있으나, 샤프트 부분의 조망확보가 어렵고 소음과 상부의 열고임 현상, 공기역학적 설계를 고려해야 하며, 일반적으로 저층 또는 약 15층 단위로 단절하여 설계하기도 한다.

(4) 전면형 이중외피 구조

중공층이 수평 및 수직으로 구분 없이 이중외피가 건축물의 한면을 구성하는 형태로, 중공층의 환기를 위해 상부와 하부에 공기 유입 및 배출구를 설치한다. 샤프트-박스형과 마찬가지로 상부의 열고임 현상이 발생할 수 있으며, 층간 소음과 냄새확산에 매우 불리하고 화재 시 굴뚝효과로 인한 상층 연소확대 우려가 가장 큰 구조이다.

2.1.3 이중외피 구조의 화재 시 문제점

이중외피 구조는 중공층을 활용하는 구조로 중공층에서의 굴뚝효과를 자연스럽게 이용하게 된다. 그러나 화재 시 중공층이 연기의 이동공간으로 작용하여 각 구조별 연기의 이동 현상이 각기 다르며, 상층연소확대의 위험성을 갖고 있다.

(1) 굴뚝효과

건물 내부와 외부의 온도차에 의해 공기의 밀도차가 생겨 그로 인한 압력차가 발생하게 되는데 이때 공기의 흐름이 생겨 건축물의 하부(또는 이중외피 구조 하부 유입구)로 공기가 유입되고 유입된 공기는 상부로 이동하게 되는데 이를 굴뚝효과(stack effect)라 한다.

굴뚝효과는 건물의 내부와 외부의 온도차가 큰 겨울철에 상대적으로 크게 나타나며, 여름철의 경우 적게 나타나거나 외부 냉방에 의해 상부에서 공기가 유입되는 역굴뚝효과(Reverse stack effect)가 나타나기도 한다⁽⁵⁾.

굴뚝효과로 인한 온도차에 의한 압력차는 다음의 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = 3,460 \times h \times \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (1)$$

여기서, ΔP = 내, 외부의 압력차[Pa],

h = 중성대로부터 건물높이[m],

T_o = 외기온도[K], T_i = 실내온도[K]

(2) 제도적 문제점

이중외피 구조는 친환경, 에너지 절약형 건축물에 적용되는 기법으로 현재 국내에는 설계 시 법적 기준 및 성능기준이 미비하며, 설계자의 능력에 의해서 설계되고 있다. 또한 이중외피 구조는 포괄적 개념으로 건축물의 외피에 해당되어 층간 방화구획의 역할을 해야 하나, 중공층을 이용해야 하는 시스템의 활용상 층간 방화구획의 사각지대가

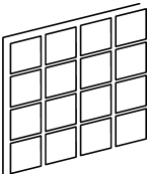
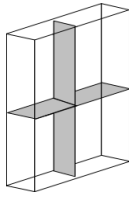
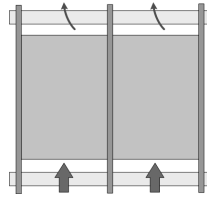
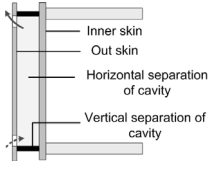
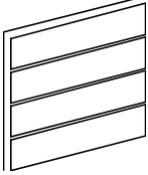
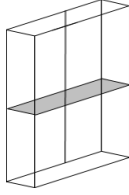
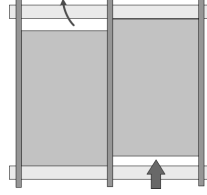
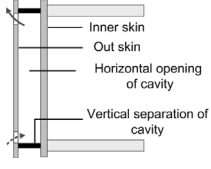
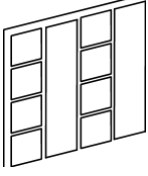
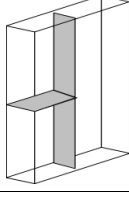
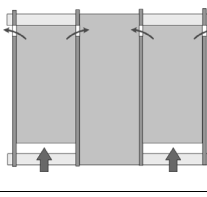
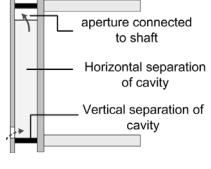
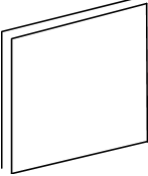
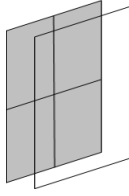
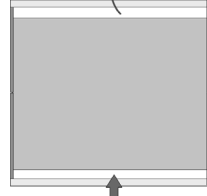
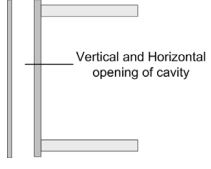
Classification		Type		Front view	Sectional view
Mono-layer	Box				
	Corridor				
Mult-story	Shaft-box				
	Multistory				

Figure 1. The types of Double-skin Facade structure and the structure.

존재하여 이중외피 구조가 적용된 건축물에서 화재 시 재실자의 안전성을 저해하는 치명적 요소로 작용 할 수 있다.

2.2 피난 안전성 평가

피난 안전성 평가는 화재 시 건축물의 재실자들이 위험한 상황에 도달하게 되는 시간과 재실자들이 피난을 완료하는데 필요한 시간을 비교함으로써 이루어지게 된다. 즉, 재실자들이 위험한 상황에 도달하는 시간을 피난허용시간(Available Safe Egress Time : ASET)이라 하며, 재실자들이 피난을 완료하는데 필요한 시간을 피난완료시간(Required Safe Egress Time : RSET)이라 한다. 따라서 피난 안전성을 확보하기 위해서는 피난허용시간이 피난요구시간보다 크게 유지 되어야 하며, 만약 반대 상황이 발생 할 경우 대상 건축물의 피난 안전성을 확보 하지 못하는 것이다⁶⁾.

3. 시뮬레이션의 구성과 설정 값

3.1 제반 조건

시뮬레이션 대상은 단일 피난계단에 이중외피 구조가 적용된 건축물로서 특별피난계단이 적용되지 않는 10층 건

축물로 연면적은 4181.5 m²으로 모델링 하였으며, 이중외피 구조는 중공층의 구획과 자연환기 방법에 따라 4가지(박스형, 샤프트-박스형, 복도형, 전면형)로 분류하여 모델링 하였다.

또한 사용목적에 따른 중공층의 너비 중 유지관리 측면에서 사람의 접근이 가능한 범위인 1,000 mm를 적용하여 중공층의 너비 조건을 같게 설정 하였으며, 이중외피의 공기 유입구와 출구는 선행된 연구를 참조하여 면적에 따라 기류량의 증가와 압력손실을 고려하여 0.2 m²/m를 적용하였다⁷⁾.

내피에는 한 실당 두 개의 창문이 있고 너비 2.5 m, 높이는 1 m로 구성하였으며, 위험상황을 위해 창문은 모두 개방된 것으로 가정한다. 또한 외피 밖으로 유출된 연기가 상층부로 이동하는 현상을 파악하기 위해 외피 밖으로 1.0 m의 개방공간을 구성하였다.

계단의 구성은 건축법 시행령 제 35조의 “5층 이상 또는 지하 2층 이하인 층에 설치하는 직통계단은 피난계단 또는 특별피난 계단으로 설치하여야 한다.”는 규정에 따라 본 연구에서의 계단은 피난계단으로 모델링 하였으며, 내화구조의 벽과 출입구는 최소 유효너비 0.9 m를 적용 하였고, 모델링된 구조는 거실의 바닥면적이 건축법 시행령 제 34조의 2의 직통계단 2개소 이상 설치기준인 업무용도 바닥

Table 1. The Conditions of Simulation

Classification	Contents	
Architectural Scale	10 Floors Above Ground	
Floor Plan	<p>The diagram shows a floor plan for two rooms, Room 1 and Room 2, each measuring 9.9m by 20m. A fire source is located in Room 1. The rooms are separated by a wall with a cavity and inner skin windows. A staircase is located above the rooms. Dimensions for the staircase and other components are provided. The overall dimensions of the room area are 20.4m by 29.3m. The net floor area is 396 m² and the gross floor area is 4181.5 m².</p>	
Plane Size (m)	Net Floor Area	396 m ²
	Gross Floor Area	4181.5 m ²
Inner Skin Window (m)	2.5 × 1	
Cells	0.2 m×0.2 m×0.2 m (Number of cells for mesh : 1,952,000)	
Time (s)	0 ~ 600	

면적 400 m²에 약간 부족한 396 m²로서 한 개의 직통계단으로 설치하였다.

동일한 제반조건의 구성을 나타내면 Table 1과 같다.

3.2 화재 시뮬레이션 설정

3.2.1 화재 시뮬레이션 프로그램

화재 시뮬레이션 프로그램은 피난 안전성 평가 시 화재로 인한 위험에 도달하는 시간을 측정하는 계측도구로서 피난 허용시간을 측정하는데 이용된다. 본 논문에서 사용된 화재 시뮬레이션 프로그램은 PyroSim 프로그램으로 Thunderhead사에서 개발한 FDS를 쉽게 구성할 수 있는 전처리 프로그램을 이용하였다. Fire Dynamics Simulator (FDS)는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics : CFD)모델을 통해 물리적 현상을 수학적으로 표현하고 해석함으로써 연기와 열 등을 중심으로 유체의 흐름을 예측하며, 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 상태방정식을 이용하여 행렬과 벡터를 이용해 해석된다^(8,9). 본 연구에 사용된 PyroSim 2012는 FDS v5.5.3을 지원하며 FDS와 Smokeview 프로그램

을 포함하고 있다.

3.2.2 화원 설정

화재는 1층의 Room 1의 정중앙에서 발생한 것으로 가정하였고, 화원의 크기는 1 m×1 m이며, 발열량은 Polyurethane의 발열량인 3,500 kW, 화재 성장은 medium으로 설정하였으며, 화재시 발열량이 높은 화재를 설계하므로써 연기에 의한 피해를 극대화 하도록 하였다.

3.2.3 측정 및 감지장치

인명 안전 평가를 위한 측정 장치는 소방시설 등의 성능 위주설계방법 및 기준 별표 1의 인명안전기준의 호흡 한계선인 1.8 m의 높이에 설치하였으며, 인명안전 기준의 영향 평가 기준을 측정하기 위해 열, 가시거리, CO, O₂, CO₂를 측정하기 위한 장치를 각 층마다 설치하였고, 그 위치는 각 실의 출입문 앞에 설치하였다. 화재를 감지하기 위한 감지기는 이온화식 연기감지기 2종을 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(NFSC 203)의 연기감지기 설치 기준을 준용하여 각 실에 2개씩 설치하였다. 열, 가시거리,

Table 2. The Setting of Fire Simulation

Set Point	Combustible		Urethane Sofa			
	Reactions Species		C=6.3, H=7.1, O=2.1, N=1.0, SOOT_yield=0.13, CO_yield=0.031			
	Heat Release Rate		Polyurethane (3,500 kW)			
Devices	Visibility, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide, Oxygen, Temperature Smoke Detector(Clearly Ionization I2 : $\alpha_e=1.8$, $\beta_e=-1.1$, $\alpha_e=1.0$, $\beta_e=-0.8$, Obscuration Specification=3.28%/m)					
Cell Validity	HRR	Grid Limits	Comparison	Application of Grid	Responsiveness	Validity
	3,500 kW	0.158 m~0.317 m	>	$\delta_{x,y,z} = 0.2$ m	7.91	OK
	Cell	Space		24.4 m×20 m×32 m (15,616 m ³)		
		Cell size (number)		0.2 m×0.2 m×0.2 m (1,952,000)		

독성 등의 평가기준은 소방시설 등의 성능위주설계방법 및 기준 별표 1의 인명안전 기준을 적용하였다.

3.2.4 해석공간

FDS의 결과 값은 해석공간의 격자 크기에 따라 달라질 수 있다. 즉 격자 크기가 작아 조밀할수록 신뢰도가 높은 결과 값을 도출해 낼 수 있으나 과도한 시간이 소요되고, 일정 격자 이상일 경우 결과 값의 차이가 근소하므로 격자의 적절한 민감도를 통해 신뢰도가 높은 결과 값과 시간 소요를 줄일 수 있다.

$$D^* = \left[\frac{Q^*}{\rho_\infty \cdot C_p \cdot T_\infty \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (2)$$

$D^* / \delta > 5 \sim 10$
 $\delta > \delta_{x,y,z}$

- 여기서, D^* : Characteristic fire diameter
- ρ_∞ : 주변공기 밀도(1.204 kg/m³)
- C_p : 주변공기 비열(1.005 kJ/kg-K)
- T_∞ : 주변공기 온도(293 K)
- g : 중력가속도(9.81 m/s²)
- Q^* : 열방출률(kW)
- 5 ~ 10 : 무차원수, NUREG-1824(미국 원자력위원회)의 민감도 수용범위
- $\delta > \delta_{x,y,z}$: 실제 적용된 격자 크기

본 연구의 격자 민감도는 미국 원자력 규제 위원회(NUREG)의 FDS V&V(검증 및 평가)보고서 NUREG-1824를 통해 적정범위를 (식 2)를 통해 적용 가능한 그리드의 한계 값을 구하였다. 따라서 한계 값 사이의 값인 한 변에 0.2 m를 적용하여 민감도에 적용해 본 결과 7.91로 적절한 그리드 값으로 나타났다. 이에 본 연구에서 실험한 모델링의 해석 공간은 24.4 m×20 m×32 m (15,616 m³)로 모델링하였고, 해석 공간내 셀의 치수와 크기는 0.2 m×0.2 m×0.2 m (1,952,000개)로 Table 2와 같이 설정 하였다.

3.3 피난 시뮬레이션 설정

3.3.1 피난 시뮬레이션 프로그램

피난 시뮬레이션 프로그램은 재실자의 신체, 이동속도 등의 변수를 입력하여 재실자의 피난시간과 병목현상 등을 측정해내는 기법으로 본 논문에서는 미국의 Thunderhead engineering에서 개발한 Pathfinder 프로그램을 이용하였다. Pathfinder 프로그램은 재실자의 탈출 및 이동경로를 분석하는 프로그램으로 재실자의 행동양식을 상호간 충돌, 기존경로 이탈, 점유자 밀도와 지형에 따른 이동속도 변화, 추월이나 뒷걸음질 등의 다양한 형태로 실제 상황과 유사하게 표현한다. 또한 기존의 피난 시뮬레이션 프로그램에서 구현하기 어려운 엘리베이터나 에스컬레이터를 이용한 탈출 또한 구현이 가능하고, 3D 공간의 가시화 능력이 매우 뛰어나며 Steering Mode와 SFPE Mode를 통해 분석이 가능하다.

Steering Mode는 피난자가 지정된 경로를 따라 이동할 경우 변화하는 환경에 대해 반응하는 단순한 이동으로 구현되나, SFPE Mode는 SFPE 방화공학 핸드북에서 제시된 비상시 이동을 반영하여 수력학적 피난 계산방식 또는 흐름 기반 피난 모델링 기법을 사용하여 모델링을 구현한다⁽¹⁰⁾.

본 연구에서는 Pathfinder 2016을 사용하여 피난시간을 분석하였다.

3.3.2 수용인원

본 연구의 수용인원은 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 별표 1의 수용인원 산정기준의 업무용도를 기준으로 하였으며, 한 실당 면적은 198 m², 업무용도의 수용인원인 9.3 m²/인을 적용하여 한 실당 수용인원은 22명, 한 층당 수용인원은 44명, 건물 전체 수용인원은 440명을 적용하였다.

피난 시뮬레이션에 입력된 수용인원당 남성, 여성, 노인, 청소년의 비율은 모두 25%로 입력하였으나 각 실당 인원이 44명인 관계로 피난 시뮬레이션 프로그램에서 정확이 25%로 분류 할 수 없어 프로그램 내에서 Table 3에서와 같이 자동 조정되었다.

Table 3. The Input Value of Pathfinder

Classification		Elderly	Adult Male	Adult Female	Juvenile
Proportion		22.7273%	27.2727%	27.2727%	22.7273%
Body Size	Height (average)	152.9 cm	172.8 cm	160.2 cm	169.4 cm
	Shoulder Width (average)	35.5 cm	40.0 cm	35.8 cm	39 cm
Speed		0.97 m/s	1.2 m/s	1.1 m/s	1.3 m/s

3.3.3 신체치수

인체치수는 한국인 인체치수 조사를 통해 인체치수 7차(2015)의 값을 입력 하였으며, 피난 시뮬레이션에 입력된 인체 치수는 30대 남성과 30대 여성, 60대 노인, 15세 청소년의 키와 어깨너비를 입력하였고, 인체치수조사 7차(2015)에는 15세 미만과 70대 이상은 조사되지 않아 반영되지 않았으며, Table 3과 같다.

3.3.4 보행속도

본 실험의 수용인원의 보행속도는 한국건설기술연구원 에서 2009년 12월에 발표한 표준화재 모델에 따른 화재확대방지 및 피난안전 설계 기술개발의 표 7.3.10의 이동속도 대한 표준속도 제안을 통해 설정하였다⁽¹¹⁾.

3.4 시나리오 설정

시나리오 설정은 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 별표 1의 화재 및 피난시뮬레이션의 시나리오 작성기준의 시나리오 유형 6 인 “재실자가 있는 공간에서 급격하게 연소확대 되는 화재를 중심으로 작성한다.”에 기초하여 가정하였다.

본 연구는 다음의 시나리오를 통해 수행하였다.

시나리오 : 각 이중외피 구조의 피난 안전성 평가를 옥외로의 완전한 퇴출시점으로 설정하여 기존의 발화층·직상층 우선경보방식의 문제점과 피난성능 개선방안을 제시하고자 하며, 시나리오 절차는 다음과 같다.

- 절차 1 : 각 이중외피 구조의 화재 시 위험성 평가
- 절차 2 : 각 이중외피 구조의 피난완료시간 측정
- 절차 3 : 각 이중외피 구조의 피난 안전성 평가 수행
- 절차 4 : 각 이중외피 구조의 피난경보방식 및 피난전략 제안

각 시나리오의 조건은 다음과 같다.

- (1) 피난 시뮬레이션 적용 시 계단으로의 연기 유입의 가능성이 있으므로 피난 완료 시점을 1층의 외부로 연결된 문을 기준으로 한다.

- (2) 화재 시 이중외피를 통해 상층부로 연소 확대 현상을 파악하기 위해 각 실의 문은 닫혀 있는 것으로 가정하고, 각 층의 내피 창문은 열려 있는 것으로 가정한다.
- (3) 각 Devices에서 검출한 데이터는 초당 검출한 것으로 기류 이동에 의해 위험수준에 도달하고 즉시 위험수준에서 벗어나는 경우가 있어 위험의 수준이 3초 이상 지속된 경우를 측정값으로 결정한다.
- (4) Devices를 통해 검출된 결과는 인명안전기준의 항목인 열에 의한 영향, 가시거리에 의한 영향, 독성에 의한 영향이 미치는 시간을 분석하여, 각 항목 중 가장 빠르게 기준에 도달하는 시간을 측정하여 피난허용시간(ASET)을 도출한다.
- (5) Detector는 각 층의 Room에서 가장 먼저 작동한 시간을 측정한다.

4. 기존 우선경보방식 적용 시 결과 분석

4.1 FDS를 통한 피난허용시간(ASET)

인명안전기준의 열에 의한 영향, 가시거리에 의한 영향, 독성에 의한 영향을 평가 항목으로 하고, 평가 항목 중 가장 위험 기준에 빠르게 도달하는 항목별 시간으로 평가를 시행 하였다.

실험결과 열에 의한 영향과 독성에 의한 영향은 기준치를 초과하지 않았고, 모든 구조에서 가시거리에 의해서만 영향이 평가 되었다. 따라서 FDS를 통한 피난허용시간은 가시거리에 의해 적용하였고, Table 4의 Detector time에 반영되었다.

4.2 각 구조별 총 피난요구시간(RSET)

피난요구시간을 계산하기 위해서는 각 층별 감지기의 작동시간과 지연시간, 피난 시뮬레이션을 이용한 이동시간을 합산함으로써 계산되며, 식 (3), (4), (5), (6)와 같고, 이동시간은 Table 4의 Travel time에 반영 하였다. 또한 지연시간은 본 연구의 모델링이 매우 단순하여 화재 시 피난인자가 매우 빠를 것으로 판단하고 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준 별표 1의 피난가능시간 기준인 “기숙사, 중/고층 주택(거주자는 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하고, 수면상태일 가능성 있음)”을 기준으로 W1인 120 초

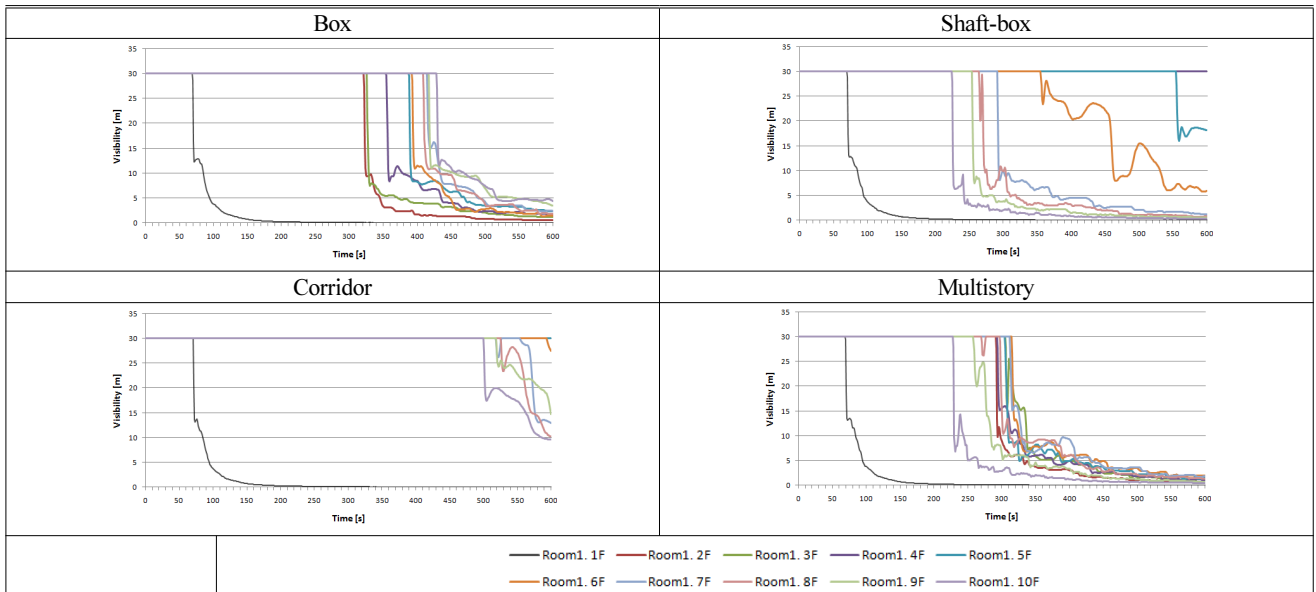


Figure 2. The effect of visibility to each structure.

Table 4. The Result of Evacuation Safety Assessment

(unit : s)

Floor	Detector Time	Travel Time	Box		Shaft-box		Corridor		Multistory						
			ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET					
10	314	175	520	<	609	243	<	475	600	<	638	265	<	488	
9	295	165	547	<	580	269	<	464	600	<	628	341	<	475	
8	287	154	493	<	561	319	<	455	600	<	620	411	<	460	
7	290	145	490	<	555	371	<	453	600	>	595	433	<	454	
6	278	131	449	<	529	600	>	451	600	>	586	431	<	438	
5	288	117	470	<	525	600	>	488	600	<	614	387	<	419	
4	261	106	349	<	487	600	>	463	600	<	687	376	<	410	
3	247	92	374	<	459	600	>	447	600	<	812	392	<	402	
2	224	80	346	>	235	600	>	234	600	>	235	332	>	234	
1	Room2	600	36	600	>	191	600	>	190	600	>	191	600	>	190
	Room1	35	39	94	>	74	94	>	73	94	>	74	94	>	73

의 지연시간을 설정하였다.

화재층 중 화재실=감지기 동작시간+이동시간 (3)

화재층 중 비화재실=발화층 감지기 동작시간+지연시간(120 초)+이동시간 (4)

비화재층 중 화재 직상층=발화층 감지기 동작시간+지연시간(120 초)+이동시간 (5)

비화재층 중 기타층=당해층 감지기 작동시간+지연시간(120 초)+이동시간 (6)

4.3 화재 시 피난 안전성 평가 결과

피난 안전성 평가는 피난허용시간(ASET)과 (RSET)를 비교해 피난허용시간이 피난요구시간보다 클 경우 재실자의

안전성을 확보하는 것으로 판단한다. Figure 2는 피난허용시간 중 가장 영향이 크게 나타난 가시거리에 의한 영향이 나타낸 것으로서, 샤프트-박스형과 전면형이 최상층부로 가장 빠른 연기 이동현상이 나타났으며, 박스형, 복도형의 순으로 상층부로의 연소확대 현상을 나타내었다.

Table 4는 피난층인 1층에서 화재가 발생하였을 경우를 가정해 기존 우선경보방식을 적용하였을 경우 각 구조별 피난 안전성 평가를 수행한 결과이다.

피난 완료 시점을 옥외로 기준하여 피난 안전성 평가를 실시 한 결과, 박스형 이중외피와 전면형 이중외피는 발화층과 직상층을 제외한 모든층에서 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났으며, 샤프트-박스형 이중외피 구조는 7층에서 10층까지 피난 안전성을 확보하지 못하였고, 복도형 이중외피 구조는 3층, 4층, 5층, 8층, 9층, 10층에서 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서

Table 5. The Result of Evacuation Safety Assessment According to Improved be Fire Alarm System by Each Structure

Classification	Box Double-Skin Facade						Corridor Double-Skin Facade							
	Before Improving			After Improving			Before Improving			After Improving				
Floor	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET		
10	520	<	609	520	>	330	600	<	638	600	>	330		
9	547	<	580	547	>	320	600	<	628	600	>	320		
8	493	<	561	493	>	309	600	<	620	600	>	309		
7	490	<	555	490	>	300	600	>	595	600	>	595		
6	449	<	529	449	>	286	600	>	586	600	>	586		
5	470	<	525	470	>	272	600	<	614	600	>	272		
4	349	<	487	349	>	261	600	<	687	600	>	261		
3	374	<	459	374	>	247	600	<	812	600	>	247		
2	346	>	235	346	>	235	600	>	235	600	>	235		
1	Room 2	600	>	191	600	>	191	600	>	191	600	>	191	
	Room 1	94	>	74	94	>	74	94	>	74	94	>	74	
Evacuation Performance	759			>	558			895			>	634		
	About 26.4% Improvement						About 29.1% Improvement							
Classification	Shaft-Box Double-Skin Facade						Multistory Double-Skin Facade							
	Before Improving			After Improving			Before Improving			After Improving				
Floor	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET	ASET	RSET		
10	243	<	475	243	[>]	[232]	265	<	488	265	[>]	[232]		
					<	329					<	329		
9	269	<	464	269	[>]	[249]	341	<	475	341	>	319		
					<	319								
8	319	<	455	319	>	308	411	<	460	411	>	308		
7	371	<	453	371	>	299	433	<	454	433	>	299		
6	600	>	451	600	>	451	431	<	438	431	>	285		
5	600	>	488	600	>	488	387	<	419	387	>	271		
4	600	>	463	600	>	463	376	<	410	376	>	260		
3	600	>	447	600	>	447	392	<	402	392	>	246		
2	600	>	234	600	>	234	332	>	234	332	>	234		
1	Room 2	600	>	190	600	>	190	600	>	190	600	>	190	
	Room 1	94	>	73	94	>	73	94	>	73	94	>	73	
Evacuation Performance	738			>	565			702			>	517		
	About 23.4% Improvement						About 26.3% Improvement							

단일 피난계단이 적용된 10층의 건축물에 이중외피 구조를 설치할 경우 기존의 우선경보방식의 적용으로는 전체 재실자의 안전을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

5. 피난 경보방식 및 피난전략 제안

5.1 개선을 위한 경보방식 및 피난전략 제안

단일 피난계단이 적용된 10층의 이중외피 구조에서 기

존 우선경보방식을 적용하여 피난 안전성 평가를 실시한 결과 모든 구조에서 전층에 대해 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 기존의 발화층·직상층 우선경보방식과 함께 화재 시 층별 위험 평가를 통해 다음과 같은 방법으로 경보방식을 제안하여 피난 성능을 개선하고자 한다.

- (1) 피난 안전성 미확보 층에 발화층 동시 경보방식 적용
- (2) 발화층 동시 경보방식 적용 시 피난 안전성 평가

- (3) 피난 안전성 미확보 층에 옥상 피난 경로 지정
 (4) 전층 피난요구시간 비교 및 식 (7)을 통한 피난 성능 개선 확인

$$\text{피난성능 [\%]} = \frac{\text{기존방식} - \text{제안방식}}{\text{기존방식}} \times 100 \quad (7)$$

기존의 우선경보방식 적용 시 피난 안전성을 확보하는 층에는 기존의 방식인 식 (3), (4), (5), (6)를 적용하고, 앞의 방법을 통해서도 피난 안전성을 확보하지 못하는 층은 식 (6)의 방법 대신 식 (8)의 방법을 적용하여 재실자의 안전을 확보하고, 피난 안전성 평가를 실시하였다.

$$\text{비화재층 중 기타층} = \text{발화층 감지기 작동시간} + \text{지연시간(120 초)} + \text{이동시간} \quad (8)$$

감지기 작동시간은 Table 4를 적용하였고 이동시간은 피난 시뮬레이션 측정시간을 통해 적용하였다.

5.2 박스형 이중외피 구조

박스형 이중외피 구조의 경보방식은 일체경보방식을 제안한다. 현재 적용하고 있는 우선경보방식 적용 시 3층부터 10층은 피난 안전성 확보가 어려운 것으로 Table 5에서와 같이 파악되었다. 따라서 피난 안전성 확보가 어려운 층에 대해 발화층의 화재 감지기 작동 시 발화층 동시 경보하는 방식을 채택한 결과 모든 재실자의 건물 밖 퇴출시간은 558초로 나타났으며, 기존의 우선경보방식을 적용하였을 때인 759초에 비교하여 201 초가 빠른 피난시간을 나타내었고, 피난 성능이 약 26.4% 개선되는 것으로 나타났다.

5.3 복도형 이중외피 구조

복도형 이중외피 구조의 피난 허용 시간 측정결과 화재실을 제외하고는 화재 시뮬레이션을 완료하는 시간까지 그 영향이 나타나지 않았다. 따라서 피난 완료 시간인 600초를 기준으로 피난 허용 시간을 적용 하였다.

기존의 우선경보방식 적용 시 발화층·직상층, 6층과 7층에서 피난 안전성을 확보하는 것으로 나타났으나 3층, 4층, 5층, 8층, 9층, 10층은 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 피난 안전성을 확보하지 못하는 층에 발화층 동시 경보하는 방식을 실시한 결과 Table 5에서와 같이 기존의 우선경보방식과 비교하여 261초 빠른 피난완료 시간을 나타내었으며, 피난 성능은 약 29.1% 개선되는 것으로 나타났다.

5.4 샤프트-박스형 이중외피 구조

샤프트-박스형 이중외피 구조에서의 경보방식은 우선경

보방식과 함께 기존 우선경보방식으로는 피난 안전성을 확보하지 못하는 층에 발화층 동시경보를 제안하며, 이와 함께 9층과 10층은 옥상피난유도를 제안한다. 1층부터 6층은 기존의 우선경보방식에 의해 피난 안전성을 확보 하였으나, 7층부터 10층은 피난 안전성을 확보하지 못했다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 7층부터 10층은 발화층의 감지기 작동 시 경보를개시하였으나, 9층 10층의 RSET는 각각 319초와 329초로 ASET보다 큰 것으로 나타나 피난 안전성 확보가 어려운 것으로 나타났다. 따라서, 9층, 10층은 상기의 경보방식으로는 피난 안전성 확보가 어려우므로 피난경로를 옥상으로 유도하였다.

그 결과, 9층, 10층의 RSET이 각 각 249초와 232로 나타났으며, 모든층에서 피난 안전성을 확보 할 수 있었고, 기존의 우선경보방식과 비교하여 피난 성능이 약 23.4% 개선되는 것으로 나타났다.

5.5 전면형 이중외피 구조

전면형 이중외피 구조의 경보방식은 샤프트-박스형 이중외피 구조와 같이 기존의 우선경보와 함께 발화층 동시 경보 및 옥상피난유도 경보를 실시하는 것을 제안한다.

Table 5에서와 같이 기존의 우선경보방식 적용 시 3층부터 10층까지 피난 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났고, 이 층에 대해 발화층과 동시 경보를 실시하였으며, 그 결과 10층을 제외한 층에서 피난 안전성을 확보할 수 있었다. 따라서 10층은 발화층과 동시 경보와 함께 옥상으로 유도하였고, 그 결과 모든층에서 피난 안전성을 확보 할 수 있었으며, 기존의 방식에 비해 피난성능이 약 26.3% 개선되었다.

6. 결 론

본 논문은 단일 피난계단이 설치된 10층 건축물로써 이중외피 구조가 적용된 건축물의 경우에 대하여 피난 안전성을 확보하기 위한 대책을 마련하고자 하였다. 또한 현재 확립화된 화재 경보방식의 한계와 피난계단의 방화문까지로 기준하는 피난 안전성 평가를 옥외로 기준점을 설정하여 전층의 재실자의 피난 안전성을 확보하고자 하였으며, 그 대책을 정리하면 다음과 같다.

(1) 이중외피 구조의 모의 실험결과

기존의 우선경보방식과 제시된 방식을 비교한 결과 박스형 이중외피 구조는 피난 성능이 약 26.4% 개선 되었고, 복도형 이중외피 구조는 약 29.1%, 샤프트-박스형 이중외피 구조는 약 23.4%, 전면형 이중외피 구조는 약 26.3%의 피난 성능이 개선되었다.

(2) 수직 피난 방식 제안(건물 외부로의 완전한 퇴출 인식 재고)

현재 피난 완료시점을 피난계단의 방화문까지로 설정하는 부분을 건물 외부로의 완전한 퇴출 완료시점으로 변경하여 건물외부로의 완전한 퇴출을 통해 재실자의 안전을 확보 하여야 한다.

(3) 우선경보방식의 한계 및 확대 방안 제시

화재 및 피난 시물레이션을 통해 건축물의 구조 형태에 따른 연소 확대 위험성을 파악하여 위험성이 높은 층 및 구획을 선별하여 발화층과 동시에 경보하는 방안을 통해 피난 성능을 개선 할 수 있다.

(4) 일제경보방식의 재고

우선경보방식을 적용해야 하는 대상에 피난 안전성 평가를 수행하여 병목현상이 발생하지 않을 경우 일제경보방식을 확대 적용함으로써 피난 성능을 개선 할 수 있다.

(5) 피난 안전성 확보를 위한 옥상으로의 피난 방향 제시

일부 이중외피 구조의 경우 최상층부로의 빠른 연기 확산이 일어나는 특성과 층고가 높은 건축물의 경우 지상으로의 탈출시간이 긴 점을 감안하여 최상층부의 재실자를 옥상으로의 피난유도를 통해 제 2의 방법, 옥상의 피난안전구역 등을 모색함으로써 피난성능을 개선 할 수 있다.

(6) 제도적 보완

이중외피 구조는 화재 시 굴뚝효과로 인한 상층연소확대 현상이 매우 빠르므로 일반 건축물에 비해 재실자의 안전을 확보하기 어렵다. 따라서 이중외피 구조 적용 시 화재 및 피난 시물레이션을 수행하여 재실자의 안전을 확보해야 하는 제도적 보완이 필요하다.

본 논문은 피난 안전성 평가를 통해 단일 피난계단이 설치된 10층 건축물에 이중외피 구조가 적용될 경우에 대한 피난 성능을 개선하고자 하였으며, 간략한 모델링을 통해 한계가 존재 한다. 그러나 본 연구를 통해 이중외피 구조 적용 시 피난성능 개선을 위한 효율적 경보방식의 적용방법과 합리적인 피난전략을 수립하기 위한 기초자료로서 모든 재실자의 안전을 확보하기 위한 자료로 이용되기 기대한다.

References

1. S. J. Park, J. H. Jo, T. H. Ahn, M. S. Yeo, H. T. Seok and K. W. Kim, "A Study on the Application of the Double-Skin Facade to Apartment Buildings", The Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 1, pp. 453-456 (2002).
2. S. Y. Shin, "A Study on Window Design Strategies in Double skin High-rise Buildings for Optimum Indoor Wind Velocity", Chung-Ang University, Korea (2003).
3. J. H. Lee, "A Box Window for the Control of Indoor Environment of Korean High-rise Residential Complex", Yonsei University, Korea (2006).
4. S. J. Kim, "A Study on the Natural Ventilation Performance in High-rise Apartment using Double Skin Facade", Hong-ik University (2003)
5. W. J. Yun, "A Study on the Stack Effect in Ultra High-rise Buildings in Case of a Fire", Yonsei University, Korea (2007).
6. J. Y. Kim and Y. H. Jeon, "The Case Analysis through Fire Simulation FDS and Evacuation Simulation Pathfinder", The Korea Society of Business Venturing, Vol. 10, No. 6, pp. 255-256 (2015)
7. H. Sun, "A Study on the Natural Ventilation for High-rise Office Building with Double-skin Facade System", Chung-Ang University, Korea (2002).
8. J. S. Yoon, "Fire Analysis for High-rise Apartment Building By Fire Simulation Program", Chungbuk National University, Korea (2010).
9. Y. S. Sonh, S. K. Dan, B. W. Lee, S. P. Kwon, D. I. Shin and T. O. Kim, "Simulation of Heat and Smoke Behavior for Wood and Subway Fires by Fire Dynamics Simulator (FDS)", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 14, No. 6, pp. 31-37 (2010).
10. J. H. Kim, B. J. Yoo, E. K. Hwang and H. J. Youn, "Comparison of Experiment and Egress Modeling for Bottleneck Effect", The Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 93-100 (2012).
11. Y. H. Yoo, E. K. Hwang, H. J. Shin, H. Y. Kim, A. C. Ahn, H. J. Yoon, O. S. Kwen and Y. S. Lim, "Development of Fire Spread Protection and Escape Safety Design Technique According to Standard Fire Model", KICT 2009-12, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2009).
12. K. McGrattan, R. McDerMott, S. Hostikka and J. Floyd, "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide", NIST SP 1019-5, NIST, USA (2010).
13. ThunderHead Eng, "PyroSim User Manual", The RJA Group Inc, Chicago, USA (2011).
14. T. T. Lie, "Fire Protection Handbook", Applied Science Publishers Ltd., London, UK (1997).
15. National Fire Service Academy, "Fire Protection Simulation", National Fire Service Academy, Korea, (2009).
16. National Fire Service Academy, "Fire Science", National Fire Service Academy, Korea (2009).