

# FDS를 이용한 수직 연소확대 구조의 화재경보방식에 관한 연구

구선환 · 송영주\*<sup>†</sup>

동신대학교 대학원 소방학과, \*동신대학교 소방행정학과

## A Study on the Fire Alarm System of Vertical Fire Spread Structure by Using FDS

Seon-Hwan Gu · Young-Joo Song\*<sup>†</sup>

Graduate School of Fire Department, Dongshin Univ.

\*Dept. of Fire Administration, Dongshin Univ.

(Received August 25, 2016; Revised September 30, 2016; Accepted October 19, 2016)

### 요 약

오늘날 인간의 삶의 질 향상과 다양한 욕구를 충족시키기 위한 건축물은 대형화, 고층화, 다양화되는 추세이며, 이에 따른 화재의 발생빈도 및 잠재적인 위험요소가 증가되고 있다. 특히, 화재발생 시 수직으로의 연소확대 위험성이 증가되어 재실자의 피난시간이 지연되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 화재를 조기에 감지하고 건축물의 구조 등을 감안하여 위험순위에 따른 화재 경보방식을 적용할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 수직 연소확대의 위험성을 많이 내포하고 있는 2가지 구조인 전면형 이중외피 구조와 계단 구조에 대해 수직 연소확대 특성을 설명하고, 국내 · 외 화재경보방식을 비교 검토한 후 FDS 이용하여 연기밀도, 가시거리, CO 농도를 비교 분석하여 각 구조에 적합한 화재경보방식을 제안하였다.

### ABSTRACT

Today, high-rise buildings expected to meet various needs and improve the quality of frequency of fire and the potential risks are increasing. In particular, the fire spread risk in the vertical direction is increasing. As a result there is a problem with delays in the evacuation time of occupants. To overcome this problem, there is a need to consider the structure of the building and develop a system for the early detection of fire by applying a fire alarm system according to the risk ranking. Therefore, this paper describes the vertical fire spread characteristics of a multistory double-skin and stairs structure with risk. The data were compared with that from the national and international fire alarms as well as with smoke density, smoke detectors, visibility, and CO concentration using FDS. A fire alarm system for each structure is proposed.

**Keywords :** FDS, Vertical fire spread, Double-skin structure, Stairs structure, Fire alarm system

## 1. 서 론

최근 급격한 사회의 발전으로 인하여 건축물은 대형화, 고층화, 다양화 되어가고 있고, 이러한 건축물에는 신뢰성 높은 기능 유지와 쾌적한 실내 환경을 위하여 냉 · 난방, 위생, 전기설비, 엘리베이터, 샤프트 등의 각종 설비들이 설치되고 있다. 즉, 건축물의 크기가 대형화되고 높아지면서 각종 설비들도 그에 맞게 규모가 커지고 있으며, 이에 따른 화재의 발생빈도 및 잠재적인 위험요소 또한 증가되고 있다.

특히, 각종 설비들이 다양화되고 증가되면서 화재 시 수

직 연소확대의 위험성이 증가되어 재실자의 피난시간이 길어져 피난활동이 어려워지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 화재를 조기에 감지하고 건축물의 구조 등을 감안하여 위험순위에 따른 화재 경보방식을 적용할 필요가 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 건축물의 층수와 면적에 따라 전 층을 동시 경보하는 일체경보 방식이나 발화층, 직상층 경보(30층 미만), 발화층, 직상 4 개층을 경보(30층 이상)하는 우선경보방식을 획일적으로 사용하고 있어 대형화되고 다양화된 최근 건축물에서의 화재경보방식은 적합하지 않는 문제점이 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서는 수직 연소확대의 위험성을 잘 나타

<sup>†</sup>Corresponding Author, E-Mail: dewangell@dreamwiz.com  
TEL: +82-61-330-3563, FAX: +82-61-330-3568

ISSN: 1738-7167  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.5.100>

낼 수 있는 유형인 전면형 이중외피 구조와 계단 구조에 대해 수직 연소확대 특성을 설명하고, 국내·외 화재경보 방식을 비교 검토한 후 FDS를 이용하여 연기밀도, 가시거리, CO 농도를 비교 분석하고 분석결과를 토대로 각 구조에 적합한 화재경보방식을 제안하고자 한다.

## 2. 수직 연소확대 구조

수직 연소확대를 일으킬 수 있는 구조에는 전면형 이중외피 구조와 계단 구조, 기타구조(엘리베이터 샤프트, 설비 샤프트, 덕트 구조)가 있다.

### 2.1 전면형 이중외피 구조

이중외피 구조는 외부 환경부하를 최소화시키고, 자연 환경조건을 이용하여, 재생 가능한 에너지를 사용함으로써 건물의 에너지 절약은 물론 인간의 쾌적한 생활을 영위하기 위한 친환경적 건축 구조이다. 이중외피 구조는 외피(내측 외피)에 또 다른 외피(외측 외피)가 덧대어져 있는 형태로서 그 사이에는 중공층이 존재하고, 중공층에는 차양을 위한 블라인드가 설치되는 경우도 있으며, 각 외피에는 개구부가 설치되어 있다<sup>(1)</sup>. 전면형 이중외피 구조는 하나의 유닛이 수개 층의 공간구분 없이 건물의 전면에 구성되어 있다. 중공층의 환기를 위하여 유닛의 하부와 상부에 개구부가 있어 공기의 유입과 배출을 하게 된다. 난방 기간에는 태양 에너지로부터 데워진 공기를 저장하기 위하여 상부와 하부의 개구부를 폐쇄하고, 냉방기에는 개구부를 개방하여 공기의 유동을 일으킴으로써 찬공기의 유입을 유도하여, 계절에 따른 냉·난방 에너지를 절약하는 역할을 한다. 중공층이 건물의 전면에 구성되어 있으므로 층간 소음에 큰 영향을 미치며 화재 시 굴뚝효과에 의한 연기의 이동통로가 되므로 화재 시 연기확산에 의한 피해가 가장 큰 구조이다. 이것을 나타내면 Figure 1과 같다<sup>(2)</sup>.

### 2.2 계단 구조

계단 구조는 도시의 고층화가 진행되면서 건축물에서 빼놓을 수 없는 것으로 수직방향으로 공간을 연결하고 건물 내의 상하층을 왕래하는 통행수단으로, 화재발생 시 신속하고 안전하게 피난할 수 있게 해준다. 그러나 전 층에 걸쳐 관통되어 있으므로 화재발생 시 연기 또는 유독성 가스 및 화염이 상층부로 이동하는 통로가 된다.

### 2.3 기타 구조

엘리베이터 샤프트 구조는 계단이나 에스컬레이터와 같이 건물 내의 상하층을 왕래하는 통행수단이다. 그러나 화재발생 시 승강기 샤프트로 인해 연기 또는 유독가스 및 화염이 상층부로 이동하는 통로가 된다. 또한, 건축물의 기능 유지와 쾌적한 실내 환경을 위해 냉·난방설비, 화장실, 주방의 배기 덕트 설비 등은 수직 샤프트로 집합되어 화재 시 발생하는 유해물질들이 상층부로 이동하는 통로가 된다.

### 2.4 수직 연소확대 구조의 굴뚝 효과

굴뚝효과란 건물 내부와 외부의 온도차에 의해 공기의 밀도차가 생기는데 그 밀도로 인한 압력차가 발생하여 공기의 흐름이 생겨 지표면상에서 건물로 들어오는 공기가 상부로 이동하는 현상으로써 굴뚝효과 또는 stack effect라고 한다. 굴뚝효과는 특히 건물 내부와 외부의 온도차가 큰 겨울철에 상대적으로 크게 나타나며, 여름철에는 외부의 공기가 더 따뜻하여 건물 상부로 유입되는 반대의 현상이 나타나기도 하는데 이를 역굴뚝 효과(reverse stack effect)라고 부른다<sup>(3)</sup>. 굴뚝 효과로 인한 온도차에 의한 압력차를 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,  $\Delta P$  = 내, 외부의 압력차[Pa], Stack Effect,  $h$  = 중성대로부터 건물높이[m],  $T_o$  = 외기온도[K],  $T_i$  = 실내온도[K]

수직 연소확대 구조에서는 화재 시 연소가스와 연기 등의 확산을 돕는 구조와 역할을 하게 되므로 화재로 인한 인명피해 및 재산피해에 크게 영향을 미친다. 따라서 화재 시에 대한 대처 방안을 확실히 마련하지 않는다면 재실자의 안전을 보장하기가 어렵다.

## 3. 국내·외 화재경보 방식

### 3.1 국내 국가화재안전기준(NFSC)

국내의 화재경보 방식은 일제경보방식과 우선경보방식으로 구분할 수 있는데 일제경보방식은 건축물의 화재 시 화재 발생 발화층 구분 없이 당해 건축물의 전 층에 경보하는 방식이다. 이 방식은 건축물의 모든 재실자가 화재를

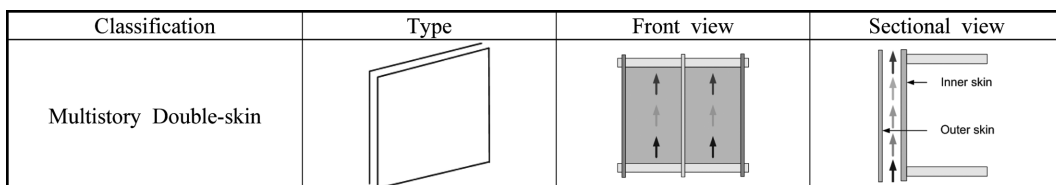


Figure 1. The structure of multistory double-skin.

**Table 1.** The Fire Alarm System of National Fire Safety Code (NFSC)

Classification	NFSC 202, NFSC 203	NFSC 604
Ignition floor		Alarm floor
The second or more floors	Ignition floor, Next above floor	Ignition floor (A), Next 4 above floors from A
The first floor	1st floor, 2nd floor, basement	1st floor (B), Next 4 above floors from B, basement
A basement	Ignition floor, Next above floor, Other basement	Ignition floor, Next above floor, Other basement

동시에 인지하고 대피할 수 있는 방식으로 피난계단에 많은 인원이 밀집하고 병목현상이 발생하여 피난에 어려움이 있으며, 연기의 확산으로 인해 많은 인명피해가 발생할 우려가 있어 일정규모 미만의 건축물에만 적용되고 있다.

우선경보방식은 재실자가 많아 피난 시 혼잡의 우려가 높은 장소에 화재가 발생하였을 때 화재발생 발화층 및 직상층에 우선 화재경보를 알려 화재를 인지한 재실자로부터 우선 피난하는 방식이다. 이 방식은 국가화재안전기준 National Fire Safety Code (NFSC) 202 비상방송설비와 NFSC 203 자동화재탐지설비 그리고 NFSC 604 고층건축물에서 정하고 있는 방식으로 NFSC 202와 203에서는 ‘층수가 5층 이상으로서 연면적이 3,000 m<sup>2</sup>를 초과하는 특정 소방대상물’을 대상으로 2층 이상의 층에서 발화한 때에는 발화층 및 직상층에, 1층에서 발화한 때에는 발화층, 직상층 및 지하층에, 지하층에서 발화한 때에는 발화층 및 직상층 및 기타 지하 전 층에서 경보하는 방식이다. NFSC 604에서는 ‘층수가 30층 이상이거나 높이가 120 m 이상인 특정소방대상물’을 대상으로 2층 이상의 층에서 발화한 때에는 발화층 및 그 직상 4개층에, 1층에서 발화한 때에는 발화층, 그 직상 4개층 및 지하층에, 지하층에서 발화한 때에는 발화층 및 직상층 및 기타 지하 전 층에서 경보하는 방식이다. 이것을 나타내면 Table 1과 같다.

### 3.2 일본 소방법

일본은 지하층을 제외한 층수가 5층 이상으로 연면적 3,000 m<sup>2</sup>를 넘는 방화대상물에 발화층, 직상층의 우선경보방식을 적용하고 있다. 그러나 국내의 국가화재안전기준과는 다르게 우선경보방식 적용 시 일정 시간이 경과한 후 또는 새로운 화재신호를 수신한 경우에는 당해 방화대상물의 전 구역에 자동적으로 경보를 발하는 확산경보방식을 채택하고 있다. 또한, 지구음향장치의 종류를 소방청장관이 정하는 벨, 부저, 스피커 등의 음향 또는 음성에 의하여 경보를 발하고 있다. 단순한 Bell에 의한 경보방식을 사용하기는 하나 시대의 요구에 따라 최근 대형건축물에서는 스피커에 의한 음성 경보방식을 주로 사용한다<sup>(4)</sup>.

### 3.3 미국 NFPA 72

미국에서는 화재경보방식이 따로 규정되어 있지 않지만, National Fire Protection Association 72 (NFPA 72<sup>(5)</sup>)에서

는 화재경보장치와 관련하여 음량조건 뿐 아니라 배경소음 레벨과의 차이 등에 대해 다음과 같이 규정하고 있다<sup>(6)</sup>.

(1) 공공시설(public mode)의 음향장치는 명확하게 들리는 신호특성 이어야 하며, 거주할 수 있는 장소 바닥 위 1.5 m 높이에서 측정된 소음레벨이 평균 배경소음보다 최소한 15 dBA 이상 유지해야 한다.

(2) 사설시설(private mode)의 음향장치는 명확하게 들리는 신호특성 이어야 하며 거주할 수 있는 바닥 위 1.5 m 높이에서 측정된 소음레벨이 평균 배경소음 보다 최소한 10 dBA 이상 유지해야 한다.

(3) 수면장소(sleeping areas)의 음향장치는 평균 배경소음보다 최소한 15 dB 이상 또는 침대 머리 방향에서 최소한 75 dBA의 소음레벨을 유지해야 한다.

(4) 음향장치는 배경소음을 포함해 120 dBA를 초과해서는 안 된다.

### 3.4 영국 BS 5839

영국에서도 화재경보방식이 따로 규정되어 있진 않지만, BS 5839 Part I 2002<sup>(7)</sup>에서는 화재경보장치와 관련하여 음량조건 뿐 아니라 배경소음 레벨과의 차이, 화재 경보음의 주파수 범위 등에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

(1) 재실자가 이동 할 수 있는 공간에서는 최소 65 dBA의 경보음레벨이 유지되어야 한다.(계단실, 약 60 m<sup>2</sup> 이하의 공간, 확장이 제한된 특별한 공간에서는 60 dBA 이상을 권장함)

(2) 배경소음 레벨이 60 dBA 이상인 장소에서는 경보음 레벨과 배경소음 레벨의 차이는 5 dB 이상 유지되어야 한다.

(3) 수면 중인 재실자를 깨우기 위해 설치된 경보장치는 침대 머리 방향에서 75 dBA 이상의 소음레벨을 유지해야 한다.

(4) 저주파수 대역의 주파수가 배경소음에 의해 쉽게 마스킹(masking)이 되더라도 화재경보장치에 의해 발생하는 경보음의 주파수는 500~1,000 Hz 범위에 있어야 한다.

(5) 경보장치의 음량발생은 120 dBA를 초과해서는 안 된다.

국내 · 외의 화재경보 관련 규격을 정리하면 국내는 건축물의 구조에 관계없이 건축물의 층수나 연면적에 따라 우선경보방식을 획일적으로 적용하고 있고 일본도 국내와 유사하게 우선경보방식을 적용하고 있으나 한 단계 더 나

아가 우선경보방식에 확산경보방식을 추가 적용하고 있다. 반면 미국이나 영국은 화재경보방식에 대한 규정은 없으며 음량조건, 배경소음 레벨과의 차이, 화재 경보음의 주파수 범위 등 화재경보장치와 관련된 기준에 대해서만 언급하고 있다. 그러나 국내와 같이 건축물의 구조에 관계없이 확일적으로 우선경보방식을 채택할 경우 화재발생 시 수직으로의 연소확대 위험성이 증가되어 재실자의 피난시간이 지연되는 문제점이 발생할 수 있으므로 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 화재를 조기에 감지하고 건축물의 구조 등을 감안하여 위험순위에 따른 화재 경보방식을 적용할 필요가 있다.

#### 4. 화재 시나리오 설정

##### 4.1 화재 시뮬레이션 프로그램(PyroSim)

PyroSim 프로그램은 Thunderhead사에서 개발한 FDS 전

처리 프로그램으로 Smokeview 프로그램과 함께 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 만들어졌다. FDS는 Navier-Stokes Equations을 수치적으로 연산된 결과로 연기와 온도 등의 유동 등을 평가할 수 있으며 일반적으로 FDS의 지배방정식은 질량 보존의 법칙, 운동량 보존의 법칙, 에너지 보존의 법칙, 이상기체 법칙을 바탕으로 실행된다<sup>(8,9)</sup>. 또한 Smokeview 프로그램은 시뮬레이션 과정을 가시화시켜 보다 더 편리하고 빠른 결과 값을 도출하는데 도움을 주는 프로그램이다<sup>(10)</sup>. 이러한 결과를 통해 건물의 화재 위험 요소들을 미리 예측하고 평가하여, 설계에 반영함으로써 화재로 인한 안전한 대책을 수립 하는데 큰 역할을 한다. 본 연구에 사용된 PyroSim 2012는 FDS v5.5.3을 지원하며 FDS와 Smokeview 프로그램을 포함하고 있다.

##### 4.2 화재 시뮬레이션 대상 건축물의 구조

수직 연소확대를 일으킬 수 있는 구조에는 전면형 이중

Table 2. The Conditions of Fire Simulation

Classification	Contents	
Structure	Multistory Double-skin	Stairs
Architectural scale	10 Floors above ground	
Floor plan		
Plane size of the outside wall (m)	12 × 17.8 × 30 (Floorage 213.6 m <sup>2</sup> )	12 × 18.46 × 30 (Floorage 221.52 m <sup>2</sup> )
Cells	0.2 × 0.2 × 0.2 (Number of cells for mesh: 792,000)	0.2 × 0.2 × 0.2 (Number of cells for mesh: 892,240)
Inner skin window(m)	3 × 1.5	
Set point	Combustible	Urethane Sofa
	Reactions species	C = 6.3, H = 7.1, O = 2.1, N = 1.0, SOOT_yield = 0.227, CO_yield = 0.031
	Heat release rate	Polyurethane (3,000 kW)
	Time	0~1,200 s
Devices	Smoke Movement, Soot Density, Visibility, Smoke Detector ( $\alpha_e = 2.5$ , $\beta_e = -0.7$ , $\alpha_c = 0.8$ , $\beta_c = -0.9$ , Obscuration specification = 3.28%/m)	

외피 구조와 계단 구조, 엘리베이터 샤프트 구조 등 여러 가지 구조가 있지만 중공층과 계단을 가지고 있어 수직 연소확대 위험성을 가장 잘 나타낼 수 있는 전면형 이중외피 구조와 계단 구조에 대해서 모의실험을 하였다. 두 구조다 동일한 제반 조건을 가지고 있고 기본적인 건축물의 모양은 동일하다.

4.2.1 제반 조건

시뮬레이션 대상물은 30층 이상의 고층 건축물은 아니지만 상기 2가지 구조의 화재 위험성이 표현될 수 있는 지상 10층의 단순모델이며, 연면적은 5,400 m<sup>2</sup>이다. 기본적인 건축물의 모양은 동일하며, 건축물의 크기는 가로 12 m, 세로 15 m, 높이 30 m로 구성하였다. 내·외부 벽체는 두께 0.2 m인 콘크리트로 하였으며, 내피에는 한실 당 두 개의 창문이 있고, 넓이는 3 m, 높이는 1.5 m로 구성하였으며, 창문은 모두 열려있고, 계단으로 통하는 문 또한 열려있다고 가정하였다. 또한 전면형 이중외피 구조의 기류의 이동의 원활함과 확인을 위해 외피 밖으로 0.8 m의 open 공간을 확보하였다.

발화원은 화재 시 연소 생성물의 고른 분포와 확산을 통해 정확한 결과 데이터를 얻기 위해 1층 정중앙에서 발화한 것으로 가정하였다. 가연물의 연료특성은 Polyurethane을 적용하였고 최대 열방출율은 3 MW, 화재성장은 Ultrafast를 가정하여 1,200초까지 해석을 수행하였다. 해석 격자는 전면형 이중외피 구조인 경우 792,000개, 계단 구조인 경우 894,240개를 적용하였으며, 격자 하나의 크기는 미국 원자력 규제 위원회(NUREG)의 FDS V&V(검증 및 평가)보고서 NUREG-1824에서 제시된 바와 같이 식(2)의 무차원 특성길이에 대해 격자크기(격자 해상도 지수)가 4~16 이하가 되도록 설정하였다. 적용된 격자크기는 0.2 m이며, 이에 대한 격자 해상도 지수는 7.44이다. 또한 연기 밀도, 연기 감지 측정장치 및 가시거리를 측정하기 위한

장치들은 각 실의 높이 1.8 m에 설치하였다.

$$D^* = \left[ \frac{Q^*}{\rho_\infty \cdot Dp \cdot T_\infty \cdot \sqrt{g}} \right]^{2/5} \tag{2}$$

$$D^* / \delta > 5$$

$$\delta > \delta_{x, y, z}$$

여기서,

D\*: 무차원 화재특성길이

ρ∞: 주변공기 밀도(1.204 kg/m<sup>3</sup>)

Cp: 주변공기 비열(1.005 kJ/kg · K)

T∞: 주변공기 온도(293 K)

g: 중력가속도(9.81 m/s<sup>2</sup>)

Q\*: 열방출률(kW)

5~10: 무차원수, NUREG 1824(미국 원자력위원회)의 민감도 수용범위<sup>(11)</sup>

δ > δ<sub>x, y, z</sub>: 실제 적용된 격자 크기

4.2.2 시나리오

전면형 이중외피 구조와 계단 구조의 연기 밀도, 연기 감지장치, 가시거리, CO 농도를 수치적으로 측정하여 화재 특성을 평가한다.

5. 고 찰

5.1 연기 밀도

Figure 2는 전면형 이중외피 구조와 계단 구조의 발화층, 직상층, 최상층에 대한 연기 밀도 특성을 나타낸 것이다. 전면형 이중외피 구조의 연기 밀도를 분석해 보면 발화층인 1층은 약 100 s까지 매우 빠른 속도로 증가하고, 약 200 s까지 연기밀도가 급격히 감소한 후 다시 연기밀도가 증가한다. 각 층의 가장 높은 연기 밀도를 순서대로 나타내면

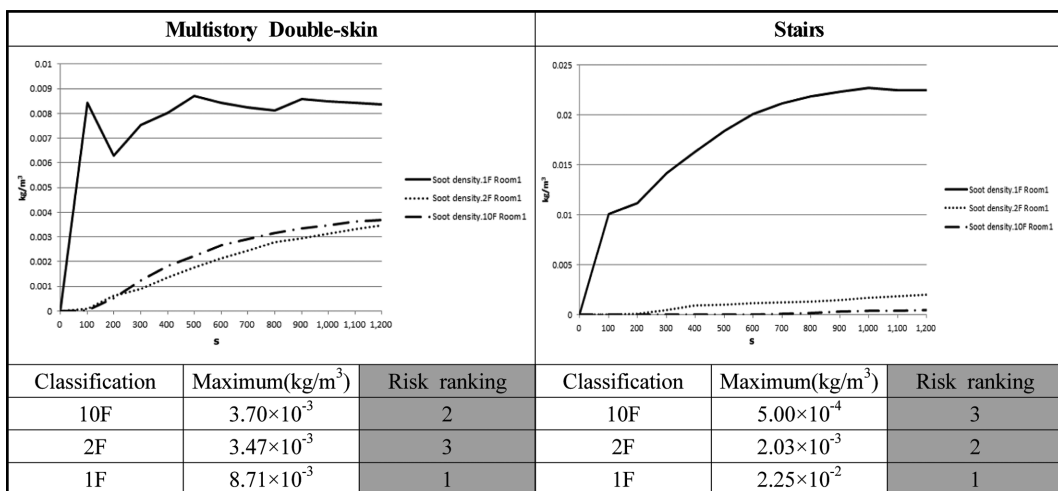


Figure 2. The smoke density of multistory double-skin and stairs structure.

발화층인 1층에서 약  $8.71 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ , 최상층인 10층에서  $3.70 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ , 직상층인 2층에서 약  $3.47 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 상층부부터 차고 내려오는 현상을 나타내고 있는 것으로 일반적인 화재 시 발화층을 제외하고 건축물의 직상층이 연기 밀도가 가장 높은 것과 비교하여, 전면형 이중외피 구조에서는 화재 최상층이 가장 위험한 것을 나타나고 직상층에서는 가장 낮은 연기 밀도를 나타낸다. 이것은 전면형 이중외피구조에서 화재 시 나타나는 특징이라고 할 수 있다.

계단 구조의 연기 밀도를 분석해 보면 발화층인 1층은 약 100s까지 매우 빠른 속도로 증가하고, 그 후 지속적으로 증가한다. 각 층의 가장 높은 연기 밀도를 순서대로 나타내면 발화층인 1층에서 약  $2.25 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$ , 직상층인 2층에서 약  $2.03 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ , 최상층인 10층에서  $5.00 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ 의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 하층부부터 밀고 올라가는 현상을 나타내는 것으로 일반적인 화재 시 발화층을 제외하고 건축물의 직상층이 연기밀도가 가장 높은 것과 비교하여, 계단 구조도 화재 직상층이 가장 위험하고, 최상층이 가장 낮은 연기 밀도를 나타낸다. 이것은 계단 구조에서 화재 시 나타나는 특징이라 할 수 있다.

### 5.2 가시거리

Figure 3은 전면형 이중외피 구조와 계단 구조의 발화층, 직상층, 최상층에 대한 가시거리 특성을 나타낸 것이다. 전면형 이중외피 구조의 가시거리를 분석해 보면 발화층인 1층은 약 100 s일 때 피난자가 앞이 보이지 않을 정도의 가시거리를 나타내고 약 200 s일 때 최상층인 10층과 직상층인 2층도 피난확보가 잘되지 않을 정도의 가시거리로 피난에 큰 지장을 주고 있다. 각 층의 가장 짧은 가시거리를 순서대로 나타내면 발화층인 1층에서 약 0.0397 m, 최상층인 10층에서 0.09 m, 직상층인 2층에서 약 0.10 m의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 상층부부터 차고 내려

와서 가시거리가 직상층보다 최상층이 짧아 최상층이 더 위험하다는 것을 의미한다.

계단 구조의 가시거리를 분석해 보면 발화층인 1층은 약 100초일 때 가시거리가 약 0 m, 직상층인 2층은 약 300초일 때 가시거리가 약 1 m로 피난에 어려울 정도가 되었고, 최상층인 10층은 약 600초일 때 17 m의 가시거리가 나타나고 그 이후 급속하게 짧아진다. 각 층의 가장 짧은 가시거리를 순서대로 나타내면 발화층인 1층에서 약 0.015 m, 직상층인 2층에서 약 0.17 m, 최상층인 10층에서 0.96 m의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 하층부부터 밀고 올라가서 가시거리가 최상층보다 직상층이 짧아 직상층이 더 위험하다는 것을 의미하며 발화층과 가까운 층일수록 피난을 위한 가시거리 확보가 더 힘들다는 것을 알 수 있다.

### 5.3 CO 농도

Figure 4는 전면형 이중외피 구조와 계단 구조의 발화층, 직상층, 최상층에 대한 CO 농도 특성을 나타낸 것이다. 전면형 이중외피 구조의 CO 농도 특성을 분석해 보면 발화층인 1층은 약 100 s까지 농도가 매우 빠른 속도로 증가하고, 약 200 s까지 농도가 급격히 감소한 후 다시 서서히 증가한다. 각 층의 가장 높은 CO 농도를 순서대로 나타내면 발화층인 1층에서 약 3,400 ppm, 최상층인 10층에서 451 ppm, 직상층인 2층에서 약 416 ppm의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 상층부부터 차고 내려와서 CO 농도가 직상층보다 최상층이 높아 최상층이 더 위험하다는 것을 의미한다.

계단 구조의 CO 농도 특성을 분석해 보면 발화층인 1층은 발화층인 1층은 약 100 s까지 농도가 매우 빠른 속도로 증가하고, 약 200 s까지 농도가 급격히 감소한 후 다시 서서히 증가한다. 각 층의 가장 높은 CO 농도를 순서대로 나타내면 발화층인 1층에서 약 4,040 ppm, 직상층인 2층

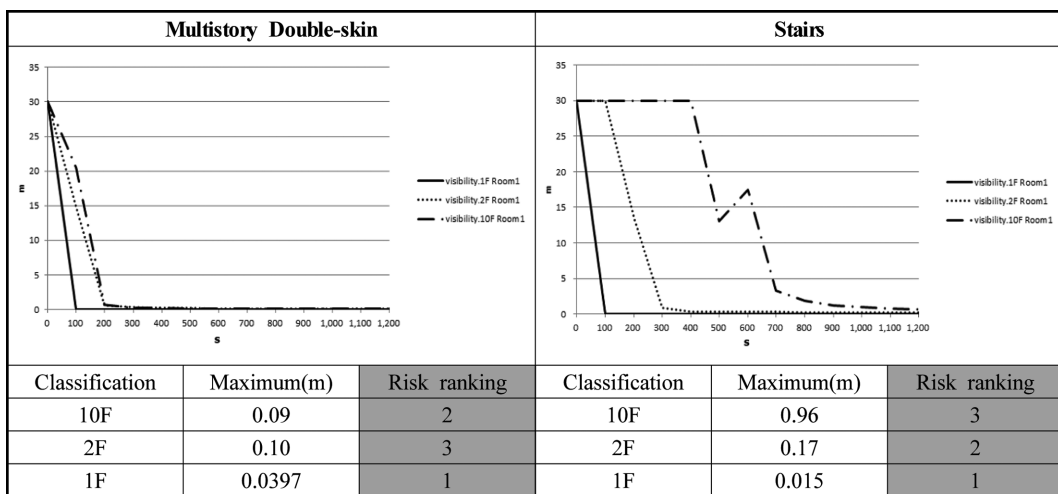


Figure 3. The visibility of multistory double-skin and stairs structure.

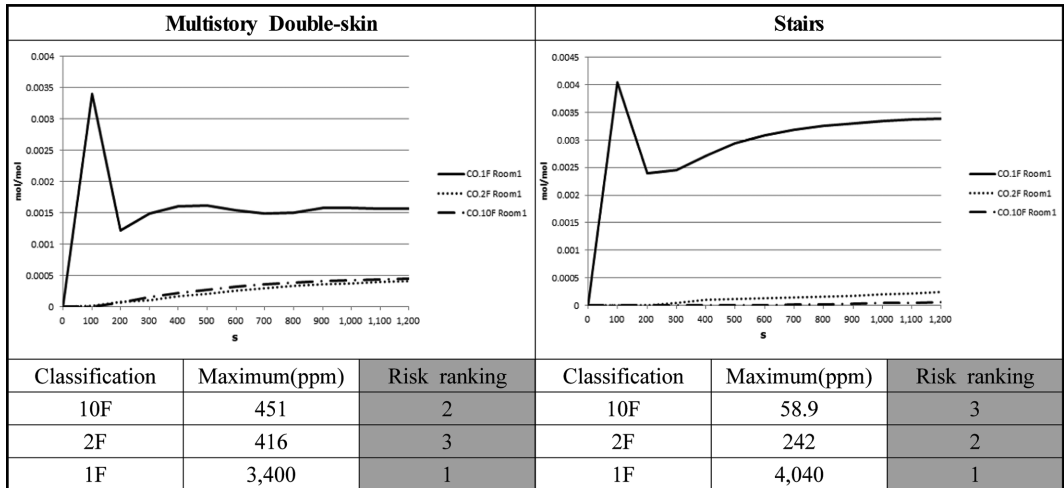


Figure 4. CO concentration of multistory double-skin and stairs structure.

Table 3. The Results of Fire Simulation

Classification		Smoke density (kg/m <sup>3</sup> )	Visibility (m)	CO (ppm)	Risk ranking
Structure	Floor				
Multistory Double-skin	10F	$3.70 \times 10^{-3}$	0.09	451	2
	2F	$3.47 \times 10^{-3}$	0.10	416	3
	1F	$8.71 \times 10^{-3}$	0.0397	3,400	1
Stairs	10F	$5.00 \times 10^{-4}$	0.96	58.9	3
	2F	$2.03 \times 10^{-3}$	0.17	242	2
	1F	$2.25 \times 10^{-2}$	0.015	4,040	1

에서 약 242 ppm, 최상층인 10층에서 58,9 ppm의 순서로 나타난다. 이것은 연기가 하층부부터 밀고 올라와서 CO 농도가 최상층보다 직상층이 높아 직상층이 더 위험하다는 것을 의미한다.

5.4 화재시뮬레이션 결과

전면형 이중외피 구조와 계단 구조의 연기 밀도, 가지거리, CO 농도를 수치적으로 측정 한 화재 시뮬레이션 결과를 정리하면 Table 3과 같다.

6. 결 론

본 논문은 고층 건축물의 여러 구조 중 수직 연소확대의 위험성을 많이 내포하고 있는 2가지 구조인 전면형 이중외피 구조와 계단 구조에 대해 수직 연소확대 특성을 알아보고, 국내 · 외 화재경보방식을 비교 검토한 후 PyroSim 프로그램을 이용하여 가상의 10층 건축물로 모델링 한 후 동일한 제반조건을 가지고서 연기밀도, 연기 감지장치, 가지거리, CO 농도를 비교 분석하여 각 구조에 적합한 화재경보방식을 제안한다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

(1) 전면형 이중외피 구조의 경우 각 실과 층이 공간의

구분이 없이 하나의 유닛으로 된 특징을 갖고 있는 구조로 화재 시 연기가 상층부부터 차고 내려와서 발화층인 1층을 제외하고 최상층인 10층이 연기밀도, 연기 감지장치, 가지거리, CO 농도의 모든 항목에서 직상층인 2층보다 위험도의 순위가 더 높게 나타났다.

(2) 계단 구조의 경우 건물 내의 상하층을 왕래하는 통행 수단으로 수직방향으로의 공간을 연결하는 특징을 갖고 있는 구조로 화재 시 연기가 하층부부터 밀고 올라가서 발화층인 1층을 제외하고 직상층인 2층이 연기밀도, 연기 감지장치, 가지거리, CO 농도의 모든 항목에서 최상층인 10층보다 위험도의 순위가 더 높게 나타났다.

(3) 국내의 화재경보방식은 건축물의 층수나 연면적에 따라 우선경보방식을 획일적으로 적용하고 있고 화재경보장치에 대한 규정도 미흡한 실정이다. 그러나 상기에서도 살펴본바와 같이 수직 연소확대의 위험성을 많이 내포하고 있는 전면형 이중외피구조와 계단 구조조차 서로 상반된 결과를 나타내고 있다. 따라서 우선경보방식을 획일적으로 적용하지 말고 건축물의 구조 등을 감안하여 위험순위에 따른 화재 경보방식을 적용할 필요가 있다. 특히, 전면형 이중외피 구조의 경우 직상층보다는 최상층이 더 위험하므로 기존의 발화층, 직상층의 우선경보 방식 보다는 발화

층, 최상층, 직상층 우선경보 방식을 적용하는 것이 더 바람직 할 것으로 사료되며, 계단 구조의 경우 최상층 보다는 직상층이 더 위험하므로 기존의 발화층, 직상층의 우선경보 방식을 적용하는 것이 바람직 할 것이다.

(4) 상기에서 살펴본바와 같이 동일한 층수와 연면적을 가지더라도 건축물의 구조가 다를 경우 서로 상반된 결과를 유추할 수 있으므로 향후 화재경보방식을 결정할 때에는 국가 화재안전기준의 우선경보방식을 확실히 적용하지 말고 건축물 구조 등을 감안하여 화재 시뮬레이션을 통한 위험순위에 따른 화재경보방식을 적용하는 것이 좀 더 합리적이라고 생각된다.

본 논문은 화재 시뮬레이션(FDS)를 통하여 건축물의 수직 연소확대 구조 중 전면형 이중외피구조와 계단 구조를 구분하여 화재 시 발생하는 특성과 위험순위에 대하여 연구해 보았다. 동일한 제반 조건과 각 구조별 특성을 모두 갖추려 했지만 실제 건축물과는 분명한 차이가 발생할 것이다. 그러나 본 연구를 통해 건축물의 구조가 다를 경우 위험순위가 달라진다는 것을 알 수 있고, 기획이나 설계단계에서 보다 합리적인 화재경보방식 선정 자료로 활용될 수 있으며 보다 더 정확한 피난대책 수립 자료로도 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

## 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", Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 1, pp. 453-456 (2002).
2. J. H. Cho, "A Study on Effective Application of Double Skin System for Energy Saving", Kon-Kuk University, Korea (2004).
3. Y. B. Lee, "A Study on Decrease and Improvement Plan by Stack Effect in Skyscrapers", Ykong-Gi University, Korea (2008).
4. D. H. Park, "A Comparative Study of Technical Standards for the Fire Alarm System in Korea, United States and Japan", University of Seoul, Korea (2000).
5. National Fire Protection Association, "NFPA 72 (National fire alarm code)", Quincy, MA, USA (2002).
6. M. J. Lee, "An Improved Design for Audibility of Fire Alarm Sound in Residential Buildings", University of Seoul, Korea (2012).
7. British Standard Institution, "BS 5839 Part 1 (Fire Detection and Fire Alarm System for Buildings)", London, UK (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. ThunderHead Eng, "PyroSim User Manual", The RJA Group Inc, Chicago, USA (2011).
11. U. S. Nuclear Regulatory Commission, "Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Fire Dynamics Simulator (FDS) (NUREG-1824, Volume 7)", U.S. NRC, USA (2007).
12. G. P. Forney, "Smokeview User's Guide", Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory, NIST, USA (2007).
13. K. McGrattan, R. McDerMott, S. Hostikka and J. Floyd. "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide", NIST SP 1019-5, NIST, USA (2010).
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).