

화재 시뮬레이션(FDS)을 이용한 커튼월 구조의 화재 확산에 관한 연구

송영주* · 구선환 · 김현진 · 박득진** · 박정민*†

동신대학교 대학원 소방학과, *동신대학교 소방행정학과, **전남대학교 대학원 건축공학과

A Study on the Fire Spread through Curtain Wall System with Fire Simulations (FDS)

Young-Joo Song* · Seon-Hwan Gu · Hyun-Jin Kim ·
Deuk-Jin Park** · Jeong-Min Park*†

Graduate School of Fire Department, Dongshin Univ.

*Dept. of Fire Administration, Dongshin Univ.

**Graduate School of Architectural Engineering Department, Chonnam National Univ.

(Received August 14, 2012; Revised November 27, 2012; Accepted December 7, 2012)

요 약

본 논문에서는 화재 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 이중외피 구조 중 커튼월 구조의 화재 시 위험성을 일반적인 구조와 비교하여 보았다. 이를 위해 화재 시뮬레이션 프로그램(FDS)을 기반으로 한 PyroSim을 이용하여 가상의 5층 건축물로 모델링을 한 후 커튼월 구조를 적용하지 않은 모델과 커튼월 구조를 적용한 모델로 나누어 동일한 제반조건과 장소에서 화재가 발생 하도록 하였으며, 화재 특성을 확인하기 위해 연기거동, 가시거리, CO, CO₂의 농도를 비교 분석하였다. 그 결과, 커튼월 구조가 적용 되지 않은 경우보다 커튼월 구조가 적용된 경우 연기가 최상층에서부터 빠르게 채워져 밑의 층으로 점점 내려가는 현상을 확인 할 수 있었으며, 화재 시뮬레이션을 통해 화재 시 커튼월 구조의 위험성을 검증 하였다.

ABSTRACT

In this study, the fire risk of the curtain wall structure was compared with a general structure among the double envelope structure using a fire simulation program. To this end, a fire-story building curtain wall was modeled as virtual using the PyroSim based on a fire simulation program (FDS). And then, the fires occurred in the model, divided by curtain wall non-applied model and applied model, in the same structure and place. To identify the fire characteristics, smoke behavior characteristics, viewing distance, and volume fractions of CO and CO₂ were comparative analyzed. As a result, it was identified that the curtain wall applied model quickly filled with smoke from the top floor to under the floor compared to the curtain wall non-applied model. From this study, the fire risk of curtain wall structure was evaluated in detail using the fire simulations.

Keywords : PyroSim, Curtain wall structure, FDS

1. 서 론

현재 인류는 앞으로 닥쳐올 환경재앙과 자원의 고갈등을 대비하기 위해 자연 친화적이면서 에너지를 절약할 수 있는 건축물에 관심이 집중되고 있으며, 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 건축물 미관의 아름다움과 에너지 절약형 건축물로 손꼽히는 이중외피 구조 건축물에 대한 시공은 최근 들어 계속 증가 되고 있는 추세이다.

이중외피 구조는 두 개의 외벽을 갖는 구조로서 건축물

의 미관 향상은 물론 내피와 외피사이의 공간(중공층)을 이용하여 외부에 대한 자연환기, 차음성능 향상, 냉·난방 에너지 절감 등의 장점을 갖고 있다⁽¹⁾. 그러나 화재 시 중공층을 통한 연돌효과로 상층으로 연소가 확대될 우려가 있으며, 이로 인한 피난 및 소화활동에 장애를 주어 화재의 위험성이 증가하는 문제점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 화재 시뮬레이션 프로그램(FDS)을 기반으로 만들어진 PyroSim을 사용하여 화재 시, 이중외피 구조 중 하나인 커튼월 구조와 일반 구조를 비교하여

†Corresponding Author, E-Mail: jmpark21@hanmail.net
TEL: +82-61-330-3562, FAX: +82-61-330-3568

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.6.031>

어떤 위험성을 내포하고 있는지에 대해 가상의 건축물로 모델링한 후 시간대별로 상층부로의 연기거동, 가시거리 그리고 중공층을 통한 직상층으로의 수직 연소확대 및 연기거동 변화 등을 분석하여 이중외피구조의 화재 위험성을 검증하는 것이 목적이다.

2. 이중외피 구조

2.1 이중외피 구조의 개요

이중외피 구조는 다양한 외부 부하에 대응하기 위한 구조로서, 두 개의 외피가 덧대어진 구조를 의미한다. 이러한 이중외피 구조는 두 개의 외피, 즉 내피와 외피 사이에 중공층을 형성하여 겨울철에는 열축적을 이용한 난방에너지를 절약하고, 여름철에는 블라인드를 통한 열축적 방지를 통해 냉·난방 에너지를 절약하여 건축물 에너지 절약에 큰 역할을 한다. 이외에도 중공층을 이용한 자연환기, 외부소음의 차단효과, 외부 기후 등의 실내로의 직접적인 유입 방지효과 등을 통해 외부 부하에 대한 효율적인 대처 및 관리와 건축물의 아름다운 외관을 확보 해 주기도 한다.

2.2 이중외피 구조의 종류

이중외피 구조의 종류에는 중공층의 구획 방법과 자연환기의 방법에 따라 하나의 유닛이 하나의 이중외피를 구성하는 박스형 이중외피 구조, 박스형의 변형 형태로 수개 층에 걸쳐 샤프트 이중외피와 박스형 이중외피가 교차된 형태의 샤프트 박스형 이중외피 구조, 중공층이 각 층별로

구획되어 있는 복도형 이중외피 구조, 수개의 층이 공간의 구분 없이 하나의 유닛으로 구성되어 있는 커튼월 이중외피 구조로 구별할 수 있으며, 이중외피 구조의 유형과 기능을 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

2.3 이중외피 구조 중 커튼월 구조

커튼월 구조는 이중외피를 수직 및 수평의 구획 없이 수개 층에 걸쳐 설치한 구조로써 전체 타입(Whole Type)이라고도 한다. 이중외피 사이 공간의 환기는 저층부에 있는 유입구와 지붕 가까이 배출구에 의해서 이루어진다. 유입구와 배출구의 수가 가장 적으며 크기는 가장 크다. 문제점으로는 이중외피 사이 공간이 연돌효과에 영향을 받아 화재 시 화염의 이동 통로의 구실을 한다는 것이다.

2.4 이중외피 구조의 연돌 효과

연돌효과란, 건축물 내·외부의 온도차에 의한 밀도차에 의해 부력이 발생하므로 공기가 건축물 수직 방향으로 유동하는 현상을 말한다. 연돌효과는 건축물의 높이와 내·외부의 온도차가 클수록 큰 영향을 받는다. Figure 2는 내부에 층간 구획이 없고, 최상층과 최하층에 개구부가 있는 건물의 높이와 압력의 변화의 관계를 보여준다.

커튼월 이중외피 구조의 경우 자연 환기를 위한 개구부가 상부와 하부에 존재하고, 층간 구획이 없으므로 화재 시 연돌효과로 인한 공기의 수직상승을 빠르게 조장 하게 되며, 화재로 인한 큰 영향을 미치게 된다.

Table 1. Type and Features of Double Skin Structure⁽²⁾

Kind	Characteristic
Box windows structure	<ul style="list-style-type: none"> · One of unit constitute one of double envelope. · One of unit has the inlet and outlet. · Good at blocking external noise. · Good at protecting the privacy of occupants.
Shaft box structure	<ul style="list-style-type: none"> · Window boxes and chimney constitute at the crossing. · Window boxes of the inlet is on the bottom, and the outlet is connected to the chimney been cross.
Floor double envelope structure	<ul style="list-style-type: none"> · One of floor consist of horizontal. · The Inlet and outlet structure consists of alternating. · This is called corridor type. · Intermediate space can be used as a corridor and seating area.
Curtain wall double envelope structure	<ul style="list-style-type: none"> · Envelope structure surrounds the entire building without distinction of space. · Stack effect is greatest. · When the fire, curtain wall structure can be passage of flame. So must be careful when the design.

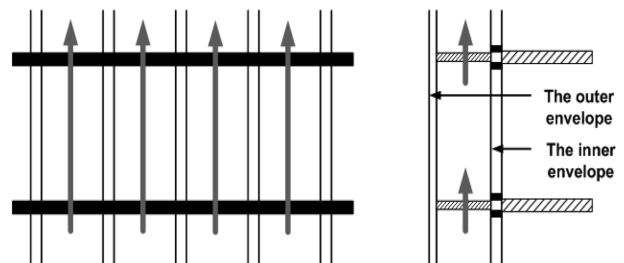


Figure 1. Stack effect of curtain-wall structure.

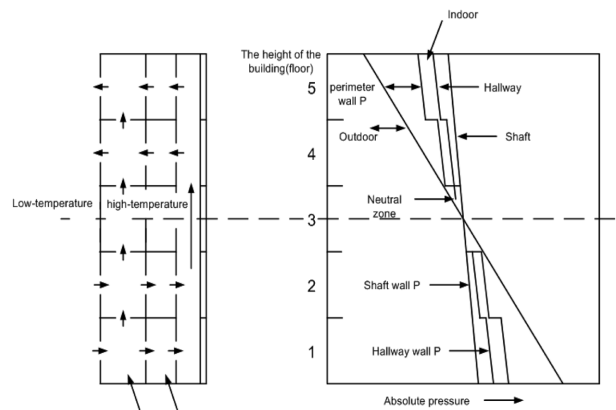


Figure 2. Neutral zone by pressure difference⁽³⁾.

3. 화재 시나리오 설정

3.1 화재 시뮬레이션 프로그램(PyroSim)

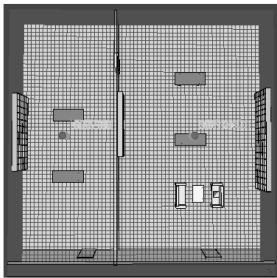
PyroSim은 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 화재 시뮬레이션 프로그램을 응용한 것이며 Fire Dynamics Simulator (FDS)를 보다 간편하게 사용하기 위한 프로그램으로써, FDS 모델을 이용하여 화재 시의 발생하는 각종 가스 및 온도, 연기거동등 화재 특성을 예측하고 분석하는데 사용된다.

본 연구에 사용된 PyroSim 2011은 FDS v5.5.3을 지원하며 FDS와 Smokeview 프로그램을 포함하고 있다.

3.2 화재 시뮬레이션 대상 건축물의 구조

이중외피 구조 중 커튼월 구조의 위험성을 확인하기 위해 화재 시뮬레이션 대상 건축물은 지상 5층 사무실로 2개의 Room(우: Room 1, 좌: Room 2)으로 단순화 하였으며, 그 중 Room 1의 사무실 소파에서 화재가 발생 것으로 가정하였다. 사무실의 창호 형태는 이중 외피구조 중 화재 위험성이 가장 큰 커튼월 구조로 외부 창호와 내부 창호 사이 간격은 1 m이며, 전체가 통 유리된 커튼월 구조 창호이다. 또한, 사무실의 Room 1과 Room 2의 출입문은 상

Table 2. The Conditions of Simulation

Classification	Contents	
Architectural scale	5 floors above ground	
Floor plan		
Plane size	20 m×20 m×15 m (floorage 400)	
Cells	Size (m)	0.33×0.33×0.33
	Number of cells for mesh: 162,000	
Set point	Combustible	Urethane sofa
	Reactions Species	C=6.3, H=7.1, O=2.1, N=1.0 SOOT_yield=0.1 CO_yield=0.031
	Heat release rate	Urethane (Peak 3,450 kW)
	Time	0~1,200 sec
Devices	Smoke Movement, Visibility, Smoke detector, Heat detector, Carbon monoxide Volume Fraction, Carbon dioxide Volume Fraction.	

시 닫혀 있는 것으로하고, 연기거동, 가시거리, 연기 감지기, 열 감지기, CO 농도, CO₂ 농도의 측정은 Room 1과 Room 2에 각 층별로 센서를 설치하고 바닥으로부터 상부의 높이 1.5 m 지점에서 측정하였다. 화재 시뮬레이션 시간은 0~1,200초이며 시뮬레이션 수행 제반조건을 나타내면 Table 2와 같다.

3.3 시나리오 1

커튼월 구조가 설치되지 않은 일반 구조의 경우로, 1층 화재실과 화재 시 상층부로의 연소특성을 확인 하고자 연기거동, 가시거리, 연기 감지기, 열 감지기, CO 농도, CO₂ 농도를 측정을 하여 연소특성을 평가한다.

3.4 시나리오 2

커튼월 구조가 설치 된 경우로, 시나리오 1과 동일하게 1층 화재실과 화재 시 상층부로의 연소특성을 확인하고자 연기거동, 가시거리, 연기 감지기, 열 감지기, CO 농도, CO₂ 농도를 측정을 하여 연소 특성을 평가한다.

4. 고 찰

4.1 층간 연기 거동

Figure 3은 커튼월 구조 정면에서 Smokeview로 본 시나리오 1과 2의 연기 확산에 관한 모습이다. 시나리오 1의

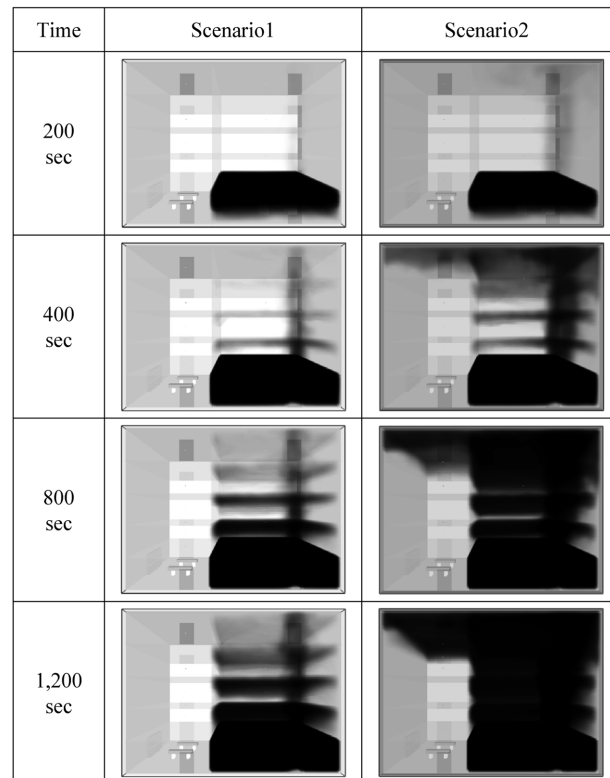


Figure 3. The spread of smoke appearance of Curtain-wall structure.

경우 화재실인 Room 1의 1층에서 약 200초 후 화재실에 연기가 거의 가득 찼음을 알 수 있다. 이 후 약 400초, 약 800초, 1,200초로 시간이 경과됨에 따라 화재실 직상층부터 연기가 차기 시작하여, 화재실의 직상부의 층에 큰 위험을 보이는 반면, Room 2의 경우 연기의 확산 모습은 보이지 않는다.

그러나, 시나리오 2의 경우 화재실인 Room 1의 1층에서 약 200초 후 시나리오 1과 같이 화재실에 연기가 가득 찼음을 확인 할 수 있음과 동시에 커튼월 구조를 통한 약간의 연기의 수직 이동을 확인 할 수 있다. 약 400초 이후 중공층으로의 연기 확산이 빠르게 이루어져 최상층부터 연기가 차기 시작 할 수 있음을 확인 할 수 있다. 약 800초에서의 연기 거동을 보면 화재실의 최상층뿐만 아니라 그 옆의 Room 2에도 연기가 가득 찼음을 확인 할 수 있었고, 1,200초 후에는 화재실 직상층부터 최상층에 이르기까지 연기가 가득 찼으며, Room 2의 최상층에도 연기가 가득 찼음을 확인 할 수 있다. 이는 커튼월 구조가 커튼월 구조가 적용되지 않은 일반 구조 건물에 비해 연기의 이동 속도와 연기의 양이 얼마나 위험하게 거동되는지를 나타내고 있는 것이다.

4.2 커튼월 구조에서 가시거리

화재 시 가시거리 확보는 피난의 가장 중요한 부분으로써 가시거리가 확보되지 않을 경우 사람들은 피난에 많은 어려움을 겪으며 혼란을 초래 한다. 가시거리가 20~30m 이상만 되어도 건물에 익숙하지 않은 사람은 피난에 장애를 초래하며, 5m 이하가 되면 건물에 익숙한 사람도 피난에 어려움을 느끼게 된다. 가시거리에 따른 피난 상황을 나타내면 Table 3과 같다.

Figure 4는 시나리오 1과 시나리오 2의 Room 1의 측면에서 바라본 실 중앙의 가시거리를 확인한 것이다. 시나리

Table 3. Evacuation Situation According to the Visibility⁽⁴⁾

Visibility (m)	Circumstances
20~30	The concentration of extremely low smoke presence like occurred smoke at initial state fire. Concentration of the smoke detectors that work. Refuge barrier happened to people who are not familiar with the building when the concentration be higher than before concentration.
5	Degree of feel. disability when people evacuate who building know well.
3	Concentration of a little dark.
1~2	Almost can not see the front.
Dozens cm	The highest state of fire occurred floor of smoke concentration to darkness. People can not see the luminaire for emergency exit sign.

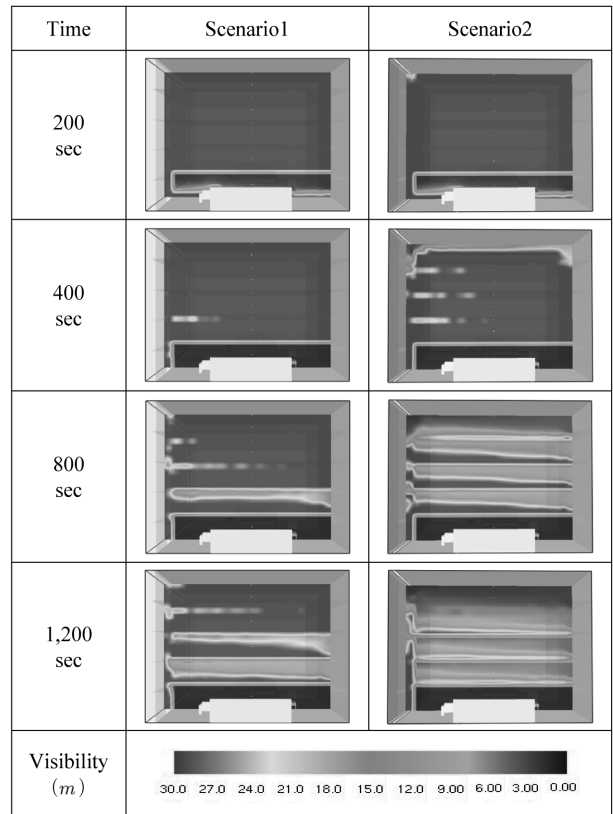


Figure 4. Visibility in the center of the room 1.

오 1의 경우 약 200초가 되었을 때 화재층에서만 가시거리가 약 4m 정도 나타났으며, 약 400초 이후 화재실 직상층 내외 창문 주위에서 연기로 인한 가시거리의 영향을 받기 시작했다. 약 800초 후로는 화재실 직상층의 상층부의 가시거리가 약 9~12m가 되었고, 1,200초 후에는 약 6~9m 정도의 가시거리를 나타내고 있다. 또한, 3층에서도 연기로 인한 가시거리가 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 최상층의 경우 시뮬레이션 종료 시간인 1,200초까지도 가시거리 확보에 영향이 없음을 알 수 있다.

그러나, 시나리오 2의 화재실의 경우 시나리오 1과 비교하여, 시나리오가 진행 되는 시간 동안 같은 양상을 띄었지만, 약 400초 이후 최상층부터 연기가 차고 내려와 약 800초의 경우 가시거리가 약 5m로 건물을 잘 알고 있는 사람이 피난의 장애가 될 수 있는 가시거리를 나타냈다. 이후 점점 연기의 거동이 최상층부터 차고 내려와 건물에 연기가 가득 차는 현상이 빠르게 진행됨을 알 수 있었다. 또한 커튼월이 적용되지 않은 일반적인 구조의 경우 화재실 직상층에서 부터 연기가 차고, 커튼월의 적용된 구조에서는 최상층에서 연기가 차 내려오는 상반된 결과를 얻었다. 이는 커튼월 구조가 적용이 되지 않은 구조와 커튼월 구조가 적용이 된 건축물의 가장 큰 차이를 나타내는 결과이며, 인명의 피난과 소방 설비의 적용을 할 경우 고려되어야 할 상황임을 시사한다.

Figure 5는 각 시나리오의 시간에 따른 가시거리를 나타

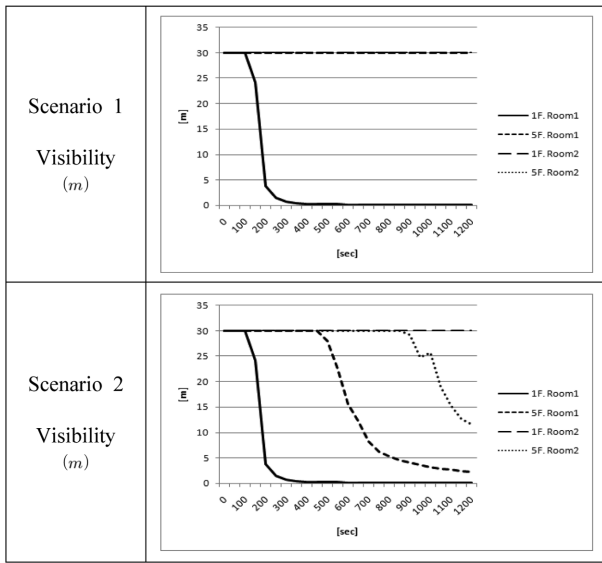


Figure 5. Visibility according to the time of each scenario.

낸 그래프로써 시나리오 1과 2의 화재실에서는 확연한 차이를 볼 수 없었으나 시나리오 2에서는 약 500초부터 급격하게 Room 1의 5층에서부터 가시거리가 줄어드는 것을 확인 할 수 있었고, 약 800초 이후에는 건물에 익숙한 사람이 피난에 장애를 느끼는 가시거리 인 5 m까지 줄어들었다. Room 2의 5층에서도 약 900초 이후부터 가시거리가 줄어들었고, 커튼월 구조에서 연돌효과에 의한 연기의 빠른 수직 이동의 위험성을 확인 할 수 있었다.

4.3 연기 감지기와 열 감지기

Figure 6은 연기 감지기와 열 감지기의 시간에 따른 농도와 온도를 보여주고 있다. 시나리오 1의 경우 화재실에서 약 200초 후에 연기와 온도가 급격히 증가하여 가득 찼음을 알 수 있다. 하지만 화재실의 최상층과 Room 2의 1층과 최상층에서는 별다른 연기와 온도의 변화가 없음을 보여주고 있다. 커튼월 구조가 적용이 되지 않았을 때에는 화재실의 위쪽에 자리 잡은 층들에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

시나리오 2에서도 시나리오 1과 같이 화재실에서는 약 200초 후에 연기와 온도가 급격하게 상승 하여 가득 찼음을 알 수 있다. 그러나 시나리오 2의 화재실 최상층에서 연기는 약 400초 이후 감지되기 시작하여 약 650초에서 연기 감지 농도가 약 20 %, 약 800초에서 약 40 %, 약 1,000초에서 약 60 %를 나타내었다. 또한 Room 2의 최상층의 연기 농도는 약 450초 이후 감지되기 시작하여 약 700초 이후 연기가 차오르는 것을 확인 할 수 있었고 약 1,150초에서 연기 감지 농도가 약 20 %를 나타내었다. 이러한 결과 Figure 5의 가시거리에 영향을 미치는 시간대와 거의 일치하는 양상을 보여주고 있다. 이는 커튼월 구조가 적용될 경우 연돌효과에 의해 최상층으로 연기가 빠르게

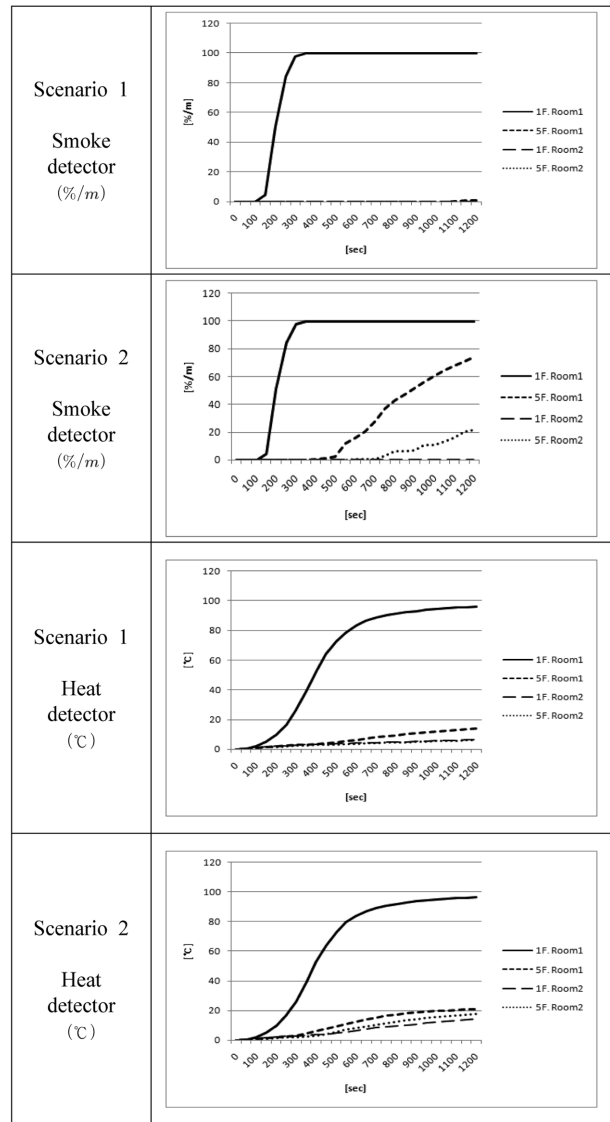


Figure 6. The temperature and concentration change according to the time of smoke and heat detectors.

수직 이동하였기 때문이다.

이것은 커튼월 구조가 화재실을 제외하고 최상층에서의 연기에 의한 위험성이 가장 크다는 것을 시사하는 부분이다.

온도에 의한 영향은 화재실에서만 크게 영향을 끼치는 온도를 나타내었지만 기타실에서는 인체에 크게 영향을 미치지 않은 온도를 나타내었다.

4.4 CO, CO₂의 농도(Volume Fraction)

Figure 7은 CO, CO₂의 농도를 나타내는 그래프이다. 시나리오 1과 시나리오 2 경우 약 150초 이후 화재실에서 CO의 농도가 꾸준히 증가함을 알 수 있고, 시뮬레이션 종료 시간인 1,200초까지 꾸준히 증가 하여 가장 높은 농도를 나타냈으며, 그 농도는 시나리오 1에서 약 9.85×10^{-4} [mol/mol], 시나리오 2에서 1.05×10^{-3} [mol/mol] 농도를 나타내 시나리오 2에서 조금 높게 나타났다.

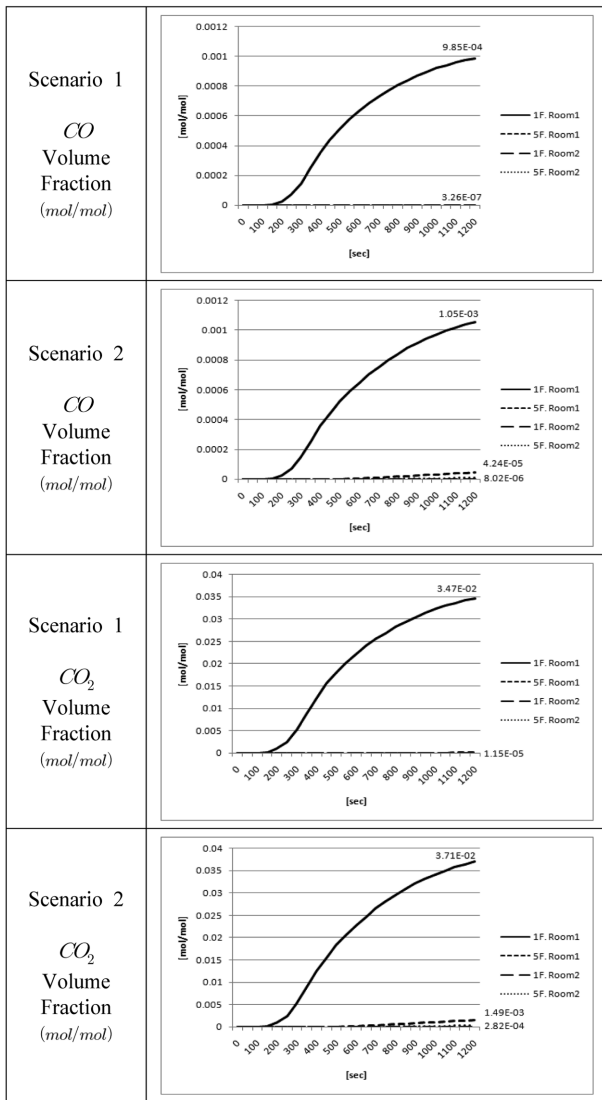


Figure 7. The concentration change of CO and CO₂.

화재실을 제외하고는 시나리오 2의 Room 1의 최상층인 5층에서 시뮬레이션 종료시간인 1,200초 일 때 약 4.24×10^{-5} [mol/mol], Room 2의 5층에서 약 8.02×10^{-6} [mol/mol] 농도가 나타났고, 그 다음으로는 시나리오 1의 최상층에서 3.26×10^{-7} [mol/mol] 농도가 측정되었다. CO 농도 측정 결과 시나리오간, 화재실을 제외하고 커튼월 구조가 적용이 된 시나리오 2의 최상층인 Room 1과, 2에서 일반구조의 최상층보다 높게 나타 남으로써 커튼월 구조가 일반적인 구조에 비해 위험에 노출되어 있음을 알 수 있다.

CO₂ 농도의 경우에도 화재실에서 약 150초 이후에 꾸준히 농도가 증가 하여 시뮬레이션 종료 시간일 때 시나리오 1에서는 약 3.47×10^{-2} [mol/mol], 시나리오 2에서는 약 3.71×10^{-2} [mol/mol] 농도로 비슷한 결과를 나타냈지만 커튼월 구조가 적용이 된 시나리오 2의 Room 1의 최상층에서 1.49×10^{-3} [mol/mol], Room 2의 최상층에서 2.82×10^{-4} [mol/mol], 시나리오 1의 Room 1의 최상층에서 1.15×10^{-5}

[mol/mol] 농도 순으로 나타났으며, 커튼월 구조가 적용이 될 경우 CO 농도, CO₂ 농도에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 이중외피 구조중 하나인 커튼월 구조의 화재 위험성에 관하여 분석을 하였다.

이를 위해 화재시뮬레이션 프로그램(FDS)을 기반으로 한 PyroSim을 이용하여 가상으로 5층 건축물로 모델링한 후 커튼월 구조를 적용하지 않은(시나리오 1) 모델과 커튼월 구조를 적용한(시나리오 2) 모델로 나누어 동일한 제반 조건과 장소에서 화재가 발생 하도록 하여 시나리오 간 화재 특성을 비교 분석 하였다.

먼저, 연기의 거동현상을 분석해 본 결과 커튼월 구조 적용시 최상층으로의 연기 거동이 확인하게 빠른 양상을 보였으며, 최상층부터 채워진 연기가 하층부로 내려오는 모습을 보였다.

연기에 의한 가시거리를 확인해 본 결과 약 400초까지는 시나리오 1과 2의 경우 화재실을 제외하고 별다른 차이를 보이지 않았지만, 그 이후 커튼월 구조가 적용된 시나리오 2의 최상층에서부터 약 500초 이후(Figure 5) 연기가 차기 시작해 약 800초 이후 약 건물을 잘 알고 있는 사람이 피난의 장애를 겪는 가시거리인 5m까지 연기가 차고 있음을 알 수 있었다. 또한 시나리오 종료시간인 1,200초의 경우 화재층의 위에 있는 모든 층에서 약 10m 이하의 가시거리(Figure 4)를 나타내고 있었다. 이는 중공층에 연기가 가득 찬 후 기타층으로의 연기 확산이 동시적으로 일어났음을 알 수 있었으며, 커튼월 구조의 경우 화재 시 최상층은 물론 중공층에 연기가 가득 찼을 경우 기타 다른층에 동시적으로 피해를 줄 수 있음을 시사한다고 할 수 있다.

연기 감지기를 통한 연기 농도를 살펴 보았을때 커튼월 구조가 적용이 된 시나리오 2에서 화재실은 시나리오 1과 동일한 양상을 보였지만, 화재실 최상층에서 약 400초 이후 연기가 감지되기 시작하여, 약 650초에서 약 20%, 약 800초에서 약 40%, 약 1,000초에서 약 60%의 농도가 감지되었고, Room 2의 최상층에서도 약 450초 이후부터 연기가 감지되어 약 1,150초에는 연기 농도가 약 20% 이상 감지되기 시작 하였다.

시뮬레이션을 통해 CO, CO₂의 농도를 비교 해 보았을 때에도 상기 분석과 비교하여 화재실을 제외하고 시나리오 2의 Room 1의 최상층 Room 2의 최상층, 시나리오 1의 Room 1의 최상층 순으로 농도가 높게 나타났음을 알 수 있었다.

본 논문에서는 동일한 제반 조건을 통해 커튼월 구조의 적용과 미적용을 여러 감지장치를 이용하여 그 수치를 통해 분석해 본 결과 커튼월 구조가 적용이 되었을 경우 연돌효과로 인한 피해가 일반적인 건축물과 비교하여 매우

크다는 점을 확인 할 수 있었고 커튼월 구조의 화재로 인한 특성을 파악하기 위해 충분한 자료라고 사료된다.

후 기

“이 논문은 동신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음”.

참고문헌

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 (2004).
3. Y. B. Lee, “A Study on Decrease and Improvement Plan by Stack Effect in Skyscrapers”, Ykong-Gi University (2008).
4. T. T. Lie, “Fire Protection Handbook”, Applied Science Publishers Ltd., London, UK (1997).
5. K. G. Kim, “Overview of Recent Developments of Double-Skin Facade System”, Architectural Institute of Korea, Vol. 47, No. 9, pp. 28-33 (2003).
6. H. T. Seok, “Characteristics and Application of Double Skin Curtain Wall System”, Architectural Institute of Korea, Vol. 47, No. 9, pp. 34-39 (2003).
7. D. W. Kim and C. S. Park, “Energy Performance Assessment of a Double Skin System for Various Configurations”, Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 1, pp. 379-387 (2010).
8. 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).
9. Y. B. Bae, S. H. Ryu, Y. I. Kim, S. K. Lee, O. H. Keum and S. K. Park, “Validation of FDS for the Pool Fires within Two Rooms”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 5 (2010).
10. Y. T. Huh, C. B. Park, J. S. Sung and M. O. Yoon, “Analysis for Fire Spread through Double Skin Facade System with FDS”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 5 (2009).
11. ThunderHead Eng, “PyroSim User Manual”, The RJA Group Inc, Chicago, USA (2011).
12. G. P. Forney, “Smokeview User’s Guide”, Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory, NIST, USA (2007).
13. D. J. Park, “A Study on the Combustion Expansion between Floors in Multistory Building by Fire Simulation”, Dong-Shin University (2011).