

화재시뮬레이션(FDS)을 이용한 Double Skin 연소확대 위험에 관한 고찰 Analysis for Fire Spread through Double Skin Facade System with FDS

허윤택 · 박창복 · 성준식 · 윤명오*

Yoon-Taek Huh · Chang-Bok Park · June-Shik Sung · Myong-O Yoon*

한방유비스(주), *서울시립대학교
(2009. 8. 17. 접수/2009. 10. 9. 채택)

요 약

본 연구는 Double Skin System의 화재 전파 위험성을 전산유체역학모델인 FDS를 이용하여 평가하였다. 화재모델링을 구현하기 위해 오피스 용도의 단위 구획공간을 화재지역으로 선정하였으며, 화재시나리오 오는 외창으로의 연소확대 위험 분석을 위하여 일반적으로 많이 설치되는 시스템조건들을 Case로 선정하여 분석하였다. 본 연구의 목적은 일반적으로 많이 사용되는 Double Skin System의 설치 간격에 따른 건물상층부로의 화재확대 위험성을 평가하고, 이에 따른 방화대책 등을 수립하는데 있다. 해석 결과, 더블스킨 중간층 간격이 넓을수록 상부층으로 연소확대 영향이 작은 것을 확인할 수 있었으며, 중간층 간격이 1m 미만인 경우는 발화층 상부 2개층으로 연소확대가 예상되므로 층간연소 확대 방지 시스템이 요구됨을 알 수 있다.

ABSTRACT

This study is related with fire risk assessment for fire and smoke spread of double skin facade system by use of FDS (Fire Dynamics Simulator) which is a computational fluid dynamics (CFD) model of fire-driven fluid flow. For the study, fire scenario is intended to evaluate the impact of a fire spread for glazed office building. The major purpose of this study is to analyze the fire risk depending on the width of between inner skin and outer skin and to present fire prevention method regarding double skin facade system. The result of analysis presents fire spread more vertically as intermediate space becomes narrow. It is anticipated that fire can spread upper 2 stories above the fire floor if intermediate space with not more than 1m width. Therefore, prevention of vertical fire spread is required.

Key words : Double skin facade system, FDS, Fire modeling, Fire spread, Intermediate space

1. 서 론

최근들어 건축물의 형태가 건축주의 선호 경향에 맞춰 고층화 및 고급화 됨에 따라 커튼월 형태도 다양화 되고 기능적인 면이 강화되고 있다.

이와 같은 추세에 따라 최근에는 건축물의 외벽 입면계획에 있어서 친환경적인 시스템을 표방하는 Double skin facade system(이하 ‘더블스킨’이라 함)을 건물에서의 냉난방 에너지 절감 효과와 자연환기, 자연채광 효과 및 차음효과 등을 높이기 위한 방법으로 적용이

늘고 있다.

그러나 커튼월구조는 내화구조의 스펠드럴이 없는 구조로서 화재 시 외벽을 통한 상층으로의 연소확대방지가 어렵다는 것은 국내·외의 많은 화재사례에서 확인되고 있다. 더욱이 더블스킨은 커튼월구조 외부에 차양이 있는 중간층을 두고 강화유리의 외창이 덧붙여지는 형태이므로 화재로 인한 화염이 상층으로 연소확대될 수 있을 것으로 추정된다.

특히 더블스킨의 종류 중 ‘샤프트 박스형’이나 ‘다층형’이 적용된 경우, 발생된 화재가 상당히 진전된 경우에는 설치 상황에 따라서 상층으로의 연소확대가 가속화 될 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 CFD 화

†E-mail: airarchit@hanmail.net

재 모델링인 FDS 프로그램에 의한 Fire modeling을 수행하여 더블스킨의 중간층 두께에 따른 연소확대 형상을 고찰해 보고자 한다. 아울러 본 연구의 이해를 돕고자 일반적인 더블스킨공법 및 유리파괴 실험 결과 자료를 참고하여 본 논문에 인용하였다.

2. 더블스킨 System 개요 및 원리

국내에서 이중외피공법 또는 더블스킨 파사드공법이라 불리는 이 시스템은 기존의 외창(Facade)에 하나의 외창을 추가한 Multi-layer의 개념을 도입한 시스템이며 외부에 대한 환경부하를 최소화 하면서 재생 가능한 에너지를 활용하는 환경 친화적인 시스템이다. 장점으로 건물 외벽에 이중으로 설치하는 중간층(The intermediate space)이 여름철에는 복사에너지를 차단하는 효과를 보여주고 반대로 겨울철에는 태양복사에너지를 축적하여 에너지 손실을 방지한다는 점에서 외부환경변화에 능동적으로 대응할 수 있는 점이다. 다만, 외창의 추가설치로 공사비 증가의 단점이 있지만 건물전체 열손실의 40%를 차지하는 외피의 기능을 강화하여 장기적으로 에너지 절감효과를 현저히 늘릴 수 있다는 점에서 각광을 받고 있다.¹⁾

이러한 더블스킨 개념의 시초는 1903년 독일 Giengen 시의 장난감공장 Steiff factory로서, 이 건물은 두겹의 유리 사이에 25cm 공간을 두어 일사로 얻은 열에너지를 가두어 추운 기후에서 유용하게 활용할 수 있게 하였다. 이후 1978년 뉴욕에 건축된 Cannon design의 Hooker office building에 비로소 Le corbusier의 자연환기 개념을 활용한 이중외피가 적용되었다.²⁾ 1980년대에 들어서면서부터 전 세계적으로 보급되기 시작한 더블스킨구조는 현재까지 기능적인 면과 환경적인 면을 고려하여 지속적인 연구개발이 이루어지고 있다.



Figure 1. Double skin facade.

현재 이슈화되고 있는 초고층건물에서도 자연환기를 위한 창호의 개방이 가능하고, 차음성능 또한 기존의 커튼월 공법과 비교해 월등히 향상된 새로운 커튼월 시스템을 적용할 수 있다는 것도 또 다른 이유일 것이다. 국내에서도 K구청사옥, M산업연구소 등 더블스킨 공법을 사용한 건물들의 사례를 찾아볼 수는 있으나, 아직까지는 국내 기후환경의 적합성에 대한 연구가 미흡하여 폭 넓게 적용하기에는 어려운 실정이다.

3. 구 성

더블스킨의 구성으로는 대체적으로 외부 레이어(The outer layer), 중간층(The intermediate space), 내부 레이어(The inner layer)의 세 부분으로 나눌 수 있다. 이 중 외부 레이어는 외부환경에 직접 노출되어 빗물이나 바람의 영향에 적응성이 있는 구조가 필요하며, 안전을 고려해 주로 강화유리나 접합유리를 사용하는 단층유리가 적용된다.

일반적으로 외부 레이어에는 자연환기를 위한 통풍구가 있고, 여기에는 개방식 환기구(Permanent opening)와 개폐식 환기구(Temporary opening) 두 종류가 있다. 이 환기구들은 자·수동으로 제어가 가능하다. 더블스킨 공법의 핵심인 중간층은 블라인드가 설치되어 역시 자·수동으로 조작이 가능하다. 중간층은 환기구들의 개폐를 제어함으로써 자연환기가 가능하게 하지만, 각 각건물의 방향과 위치 등에 따라 중간층에서 발생하는 연돌효과(Stack effect)가 현저히 다르게 발생할 수 있어 방재적으로 볼 때 철저한 계획과 사전조사가 필요하다.

일반적으로 중간층의 너비는 작게는 220mm에서 크게는 800mm까지 다양하게 적용되며, 대부분 유지보수를 위한 공간 확보 목적으로 600mm 이상이 선호된다. 중간층의 높이, 너비에 따라 성능의 차이를 보일 수 있고 또한 화재 시 화염 및 연기의 연소확대 크기도 차이를 보인다.

이러한 성능 및 안정성을 고려한 최적의 설계를 위해 외부에서 유입되는 공기의 방향과 양을 측정하는 CFD(Computational fluid dynamics, 전산유체역학)가 사용되기도 한다. 본 연구에서도 CFD에 바탕을 둔 미국립 표준기술연구소에서 개발한 화재시뮬레이션 프로그램인 FDS를 사용하여 더블스킨구조에 대한 화재 위험도를 분석하였다.

4. 종류와 특성

더블스킨의 종류는 중간층의 형태에 따라 구분된다.

중간층이 각 층별 그리고 수평으로 구분되면 박스형(Box window), 수직으로만 구분될 경우는 샤프트박스형(Shaft box), 수평 또는 층별로 구분될 경우는 복도형(Corridor facades), 전체적으로 하나의 공간으로 구성될 경우의 다층형(Multi-story)으로 분류된다. 각 종류에 대한 장단점은 아래와 같다.³⁾

4.1 박스형(Box windows type)

성능적인 면에서 고층건물에 유리하고, 각각 독립적으로 창호의 개폐나 블라인드의 제어가 가능하다. 그러나 초기 공사비가 많이 들며 설계가 복잡하다는 단점이 있다. 화재전파 위험도는 가장 낮다.

4.2 샤프트박스형(Shaft box type)

전 층의 중간층이 수직으로 구획되므로 건물 높이에 따라 연돌효과를 최대한 이용할 수 있다. 하지만 층간소음 문제가 생길 수 있고 화재 시에 효율적으로 대처할 수 있는 설계가 필요하다.

4.3 복도형(Corridor facades type)

각 층별로 중간층이 구획되므로 층별 제어가 가능하여 고층건물에서도 적용할 수 있으나, 각 실별 소음 차단 문제가 발생할 수 있고, 코너에서 강한 바람이 발생할 가능성이 높아 계획 단계부터 적절한 검토가 필요하다.

4.4 다층형(Multi-story type)

건물의 한쪽 벽을 하나의 중간층으로 사용하기 때문에 커튼월에 사용되는 Stick system을 이용하여 저렴한 시공이 가능하며, 주로 중, 저층 건물에 많이 사용

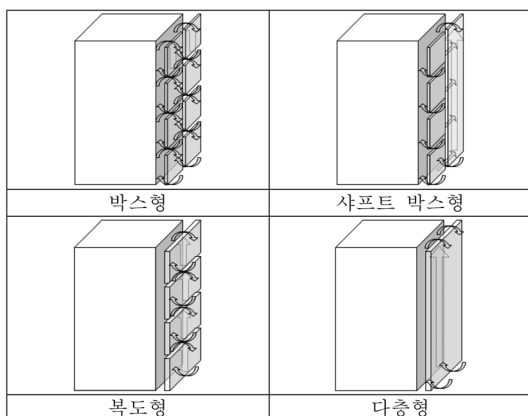


Figure 2. Type of double skin.

Table 1. Fire Risk of Double Skin Facade Types

분류	박스형	샤프트박스형	복도형	다층형
위험도	낮음	낮음	중간	높음

된다. 건물의 최하부를 공기 주입구로 사용하고, 최상부를 공기 배출구로 사용한다. 그러나 중간층 내에서 소음 차단 문제가 발생할 수 있으며 화재에 취약해 이에 대한 보완설계가 필요하다.

4.5 각 타입에 따른 화재 위험성

위에서 언급한 4가지 종류의 더블스킨에 대한 화재전파 위험성을 분류하는 것은 방재상 매우 중요하다. 아래의 표는 각 타입에 대한 화재 전파 위험성을 위험도에 따라 분류한 자료이다.

5. 화재 시 유리 파손에 관한 실험 결과 소개

5.1 배경

화재의 크기(열방출율)는 가용 산소량에 의해 제한된다. 대부분의 산소는 개방문 또는 창문을 통해 실내로 유입되며, 환기설비와 건물의 틈새로 일부 소량이 유입된다. 그러나 화재가 진행되면서 밀폐되었던 창문은 균열이 발생되어 파손되기도, 그렇지 않을 수 있다. 흔히 화재의 결과는 창문의 파손 여부에 따라 크게 달라진다. 따라서 화재 시 유리가 파손되는지, 파손되면 언제인지를 예측하는 것은 아주 중요한 의미를 갖는다.

일반적으로 더블스킨에 사용되는 강화유리는 열을 받아 유리면 온도가 290~380°C에 이르면 균열이 발생한다. 최초의 균열은 모서리 부분에서 발생되어 판유리 전체로 진행되지만, 이 시점까지는 화재에 이용될 수 있는 환기에는 아무런 영향을 미치지 않는다. 하지만 유리면의 온도가 300°C 이상일 경우 스프링클러 등 물에 의한 급랭 파열이 발생할 수 있다는 이론도 국내 실험논문에서 소개되었다. 따라서 이러한 여러 변수를 고려하여 유리의 파괴를 예측하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다.

5.2 유리파손 이론

Keski-Rahkonen은 최초로 화재 시 유리의 균열에 관한 종합적인 이론적 해석을 제시하였다. 그는 화재에 노출된 유리면과 창틀에 의해 보호된 유리 사이의 온도 차이가 균열을 조정하는데 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다. 그의 이론은 화재에 노출된 유리면

과 창틀에 의해 보호된 유리 사이의 온도 차이가 80°C 가 되면 균열이 발생되기 시작한다는 것을 예견하였다.

캐나다 국립연구위원회(NRCC)는 유리를 보호하는 스프링클러를 개발하는 연구를 수행하면서 이 연구의 일부로 스프링클러가 설치되지 않은 상태에서의 실험이 다수 수행되었다. 일반적인 상업용 건물에서 주로 사용되는 6mm 두께의 강화유리를 실험실 화재에 노출시키는 실험에서 다음의 결과를 얻었다. 강화유리는 초기에 균열이 발생함과 동시에 산산조각이 났지만, 초기의 균열은 상당히 높은 온도에서 발생하였다. 화재에 노출된 표면의 온도는 290~380°C였고, 비노출면은 이보다 100°C 정도 낮았다. 영국 LPC(Loss prevention council)의 실화재 연구에서는 6mm의 두께를 가진 이중창문일 경우 600°C에 도달 시 유리가 파손 되는 결론을 얻었다.⁴⁾ 또한 국내 논문에 의하면 스프링클러를 설치할 경우 수막에 의해 유리 가열면이 300°C 이상일 때 급랭 파열이 발생하는 것으로 나타났다. 반대로, 유리면의 온도가 300°C 이내일 경우에는 수막을 유리면에 급속히 접촉시켜도 유리면의 급랭 파열이 일어나지 않음을 발견하였다.⁵⁾

5.3 정리

언제 유리에 균열이 발생하는지를 예측하는 이론들이 있지만 사실상 실제 화재에서 언제 유리가 파손될 것인지를 예측하는 것은 매우 어렵다. 캐나다 국립연구위원회(NRCC)에서 발표한 보고서의 결론에서는 유리의 표면온도 290~380°C를 파손의 하한치로서 보고 있다. 강화유리의 파괴는 창문의 크기, 창틀의 종류, 유리 두께, 유리의 결함과 수직적인 온도 구배와 같은 인자들이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 강화유리의 파괴온도를 고려할 경우, 스프링클러와 같은 소화설비와의 관계도 중요하다. 국내 실험논문에서 강화유리 표면온도가 300°C 이상일 경우 수막에 의한 유리파손이 발생하는 것으로 나타났다. 대다수 건물의 가연물이 창호 바로 인근에 설치되어 있어 가연물 옆 유리면의 온도는 300°C 이상으로 예상되며, 가연물 상부에 스프링클러가 설치되는 것을 감안하면 스프링클러의 작동에 의한 영향으로 화원 인근의 살수에 의한 유리 파괴 가능성에 대한 고려도 중요하다.

6. 더블스킨 연소확대 위험 평가

6.1 목적

본 연구의 목적은 가상화재 대상의 오피스 내부 화재 발생 시 커튼월 파괴에 따른 더블스킨 중간층 거리

에 따라 상층으로의 연소확대 위험성을 CFD 프로그램인 FDS를 이용하여 그 결과를 도출한다.

6.2 해석 프로그램

본 연구의 화재 시뮬레이션 프로그램은 미국 NIST 산하 건축화재연구소 BFRl에서 개발된 화재 CFD 프로그램인 FDS(Fire dynamics simulator) 5.3을 이용하였다.⁶⁻⁸⁾

6.3 시뮬레이션 대상공간

더블스킨 건축물의 상층 연소확대 위험영향을 해석하기 위해 가상화재 사무실을 발화실로 설정하였다.

가상화재공간은 면적 100m², 높이 3m의 단위 오피스를 기준으로 한 층 당 3개의 사무실을 수평 배치하고, 발화 기준층을 포함하여 상층 8개층의 가상 공간을 설정하였다. 화재는 부력에 의해 상층부로 확산되므로 모델링 구현범위는 기준층 이하 층은 제외하였다. 화재 시뮬레이션을 수행하기 위하여 화원의 근거는 NIST 실험데이터인 약 6.7MW의 Three panel workstation으로 적용하였고 이는 전형적인 오피스의 화재하중으로 볼 수 있다. 실질적으로 스프링클러가 설치된 일반 오피스 공간은 열방출율 5MW 이하로 예상되므로 적용한 HRR은 적용 가능한 Fire size라고 판단된다.

이중외피는 4장에서 언급한 화재 전파에 가장 취약한 구조를 가진 다층형(Multi-story type)으로 설정하였고, 이중외피의 중간폭을 600mm, 800mm, 1,000mm 3가지 케이스와 일반적인 단일외피 커튼월구조로 나누어 총 4가지 Case로 분석하였다. 또한 연소확대 형상

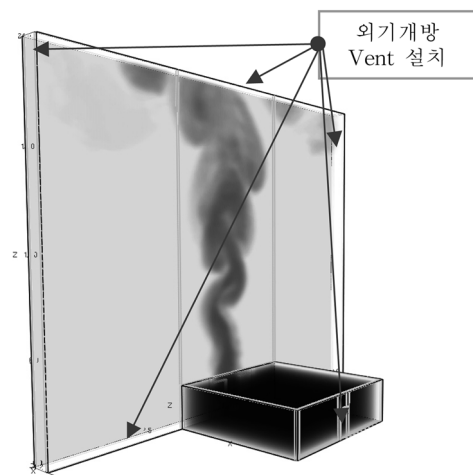


Figure 3. Smokeview for FDS modeling.

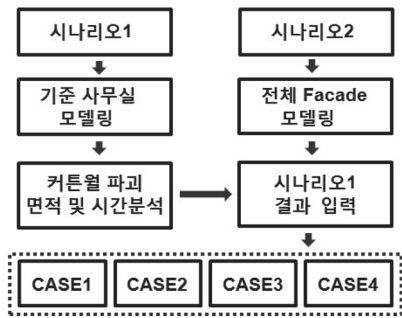


Figure 4. Flow diagram of the simulation.

구현을 위한 커튼월(유리) 파괴허용 온도는 5장의 내용을 참고하여 300°C로 가정하여 적용하였다. 실질적인 창문의 파괴온도는 유리의 재질과 환경조건에 따라 차이가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 상층 연소확대 위험성의 정량적 평가이므로, 연소확대에 영향을 미치는 유리벽의 파괴모양을 구현하기 위한 방법으로서 커튼월 파괴온도를 가정하는 것이 필요하다.

6.4 시나리오

6.4.1 시나리오-1

설정된 기준 사무실의 커튼월 파괴온도(300°C)를 기준으로 커튼월 파괴 면적 및 파괴 시간을 평가한다.

6.4.2 시나리오-2

시나리오1에서 도출한 내피의 파괴시간을 시나리오 2에 적용하여 더블스킨의 간격(600mm, 800mm, 1,000mm. 단일외피)에 따라 총 4개 Case를 분석한다(더블스킨 내피 온도 300°C 도달 분석).

6.5 결과

6.5.1 시나리오-1

(1) 모델링 조건

본 논문에서 화재구역(기준 오피스)내의 Fire source 면적은 1m², 높이는 0.8m로 설정하였다. 커튼월 파괴 이전 시점에서의 환기조건을 고려하기 위하여 화재실 내부의 개구부는 0.9m × 2m로 설정하고 Vent 속성을 Open으로 설정하여 충분한 공기가 유입되게 하였다. 본 시뮬레이션에서 적용된 물성치 및 모델링 조건은 Table 2와 같다.

(2) 화재실 커튼월 예상 파괴 면적 및 시간

화재실의 외창 파괴면적 및 시간을 분석하기 위하여 가상화원인 Three panel workstation을 외벽창호에 근접하게 배치하여 모델링하였다.

Table 2. Condition of Fire Room and Input Data

항목	수치
계산시간	900초
화재실 크기(Mesh 1)	10m × 10m × 3m
화재면 크기	1m ²
HRR	6.7MW
더블스킨 크기(Mesh 2) (중간층 1m인 경우)	1.4m × 30m × 24m
화재실 Opening	2m ²
더블스킨 해석공간 Opening(Mesh 2)	해석공간경계면 Vent "Open"
더블스킨 유리 물성치	비열: 0.84kJ/kg/K 열전도도: 0.76W/m/K 밀도: 2,700kg/m ³

Table 3. The Result of Breaking Glazing Area Depending on Time

분류	유리파괴 예상면적	유리파괴 예상시간
시나리오 1	4.36m ²	529초

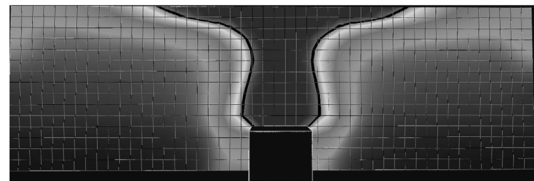


Figure 5. Breaking glazing area analysis.

FDS 격자를 0.2m × 0.2m로 설정하였고, 벽체 온도를 평가하여 300°C 이상의 격자 면적을 합산하여 유리 파괴 면적을 분석하였다.

유리 파괴 예상시간은 300°C 이상의 커튼월 최대면적 형성시간을 적용하여 상층부로의 연소가 확대되는 것으로 가정하였다.

6.5.2 시나리오-2

(1) 열방출율(Heat release rate) 결과

본 연구에 적용한 가연물 연소 특성은 Three panel workstation의 Peak HRR(6.7MW)을 이용하여 최대 화재강도에서 화재강도손실 없이 유지되는 Worst case로 적용하였다.⁹⁾

시뮬레이션 결과, 가상 화재실은 연소속도에 비해 산소가 부족한 전형적인 구획화재 특성인 환기지배형 화재의 형태를 보이다가 커튼월이 파괴되는 529초 지점

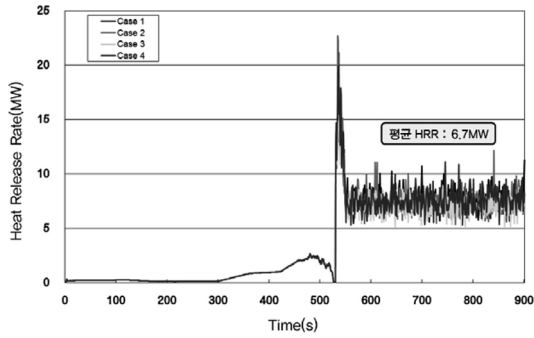


Figure 6. Heat release rate curve.

Table 4. Vertical Fire Spread Range

분 류	더블스킨 중간층 간격	발화층 바닥으로부터 상부연소 확대거리
Case1	600mm	7.8m
Case2	800mm	7m
Case3	1,000mm	6.4m
Case4	단일 외피	6m

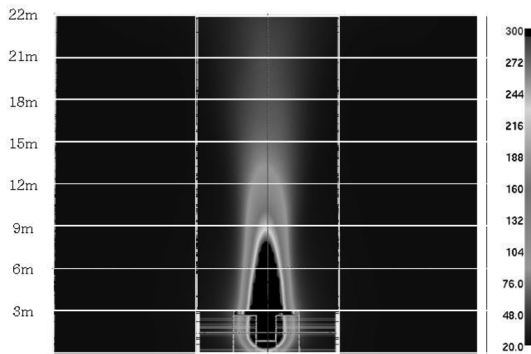


Figure 7. Case 1 600mm.

에서 산소 유입으로 인하여 급격한 화재성장을 보이며, 550초 후에는 일정한 HRR 곡선의 특성을 보이는 것으로 분석되었다.

(2) 더블스킨 중간층 너비에 따른 연소확대 분석

본 시뮬레이션에서 설정한 내부 커튼월의 파괴온도인 300°C까지 도달하는 높이를 분석하여, 바닥으로부터 높이를 측정하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

단일 외피의 경우는 발화층의 직상층 높이인 6m 정도까지 연소확대가 되었고, 1m 이하의 중간층 너비에서는 발화층 상부 2개 층까지 연소 확대되는 것으로 나타났다.

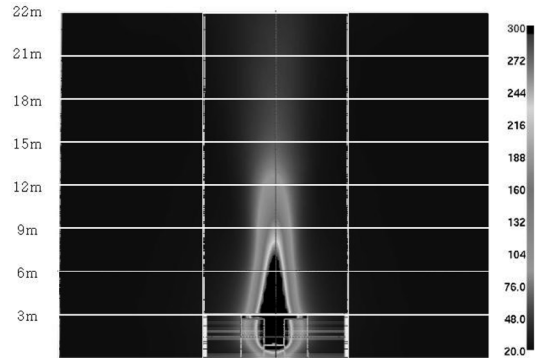


Figure 8. Case 2 800mm.

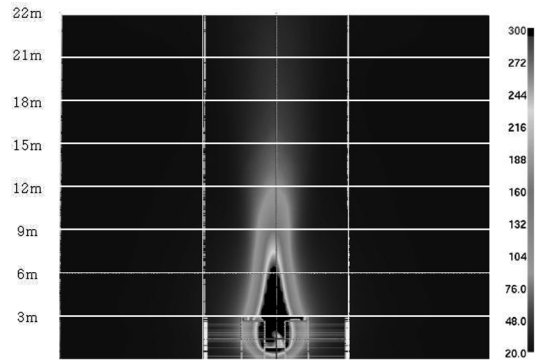


Figure 9. Case 3 1,000mm.

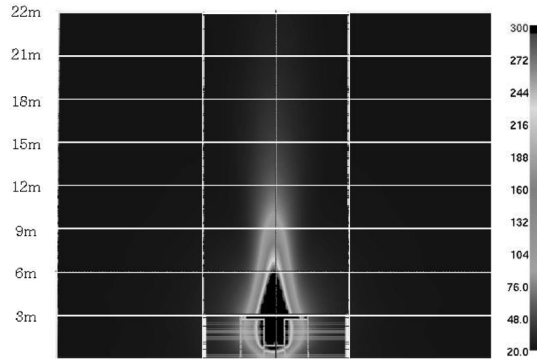


Figure 10. Case 4 No double skin.

(3) 더블스킨 중간층 너비에 따른 최고온도 분석

본 시뮬레이션에서 케이스별로 최대 고온층 온도분석을 한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다. 화재실의 온도가 약 1,000°C 정도의 최고온도인 상부공기층이 존재하였으며, 커튼월 중간층의 경우는 케이스별로

Table 5. Maximum Temperature Analysis

분 류	더블스킨 중간층 간격	최대 고온층 온도 분석(°C)	
		Case1	600mm
	중간층	820	
Case2	800mm	화재실	1,020
		중간층	820
Case3	1,000mm	화재실	1,000
		중간층	870
Case4	단일 외피	화재실	1,000
		외부	720

820°C~870°C까지의 영역으로 최고온도 영역이 존재하였다. 그러나 이 값은 화재 plume에 의한 순간적인 온도 상승값으로 대부분 영역의 온도는 위의 값보다 작았다. 더블스킨 중간층의 plume 전파영역은 부력과 외부환기조건에 따라 급속도로 상부로 전파되어 열축적이 어려울 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 중간층의 유리면 표면 온도를 300°C 기준으로 상부연소확대 영향을 평가하였다.

8. 결 론

본 논문에서는 Double skin system의 상층 연소확대 위험성을 평가하기 위해서 일반 오피스 가상화재 시나리오를 구성하고, 전산유체역학모델인 FDS를 이용하여 분석하였다.

시뮬레이션 모델링 결과, 단일외피 및 더블스킨 중간층 간격이 800mm~1,000mm일 경우, 스펠드럴을 바닥기준으로 약 1m 높이로 설치하면, 발화층 및 그 직상층 경보방식의 단계적 경보방식에 의해 재실자의 피난안전성이 확보될 수 있을 것으로 예상되나, 600mm의 경우는 스펠드럴 설치 시에도 발화층으로부터 2개층 이상 연소확대가 발생한다.

따라서 중간층 간격에 따라 스펠드럴 설치와 함께 윈도우 스프링클러설비 설치와 같은 보완이 필요하다고 판단된다.

상기의 화재 시나리오를 이용하여 다음과 같은 결론

을 얻을 수 있었다.

(1) 더블스킨 중간층 간격이 커튼월 상부층으로의 연소확대에 미치는 영향이 크다.

(2) 화재공간 더블스킨 파피 면적을 분석한 결과 발화 후 529초에 4.36m²로 나타났다.

(3) 더블스킨이 없는 단일 외피(일반적인 커튼월)의 경우 발화층 및 그 직상층까지 연소확대가 된다.

(4) 중간층 간격이 1m일 경우, 발화층 및 그 직상층이 연소확대된다.

(5) 중간층 간격 1m이 미만인 경우, 발화층 상부 2개층(총 3개층)까지 연소확대 된다.

(6) 중간층 간격이 800mm 이상의 경우, 1m 이상의 스펠드럴을 설치하면 연소확대를 방지할 수 있다.

(7) 중간층 간격이 600mm 이하의 경우, 스펠드럴 설치 및 윈도우 스프링클러 등을 함께 고려하는 방화대책이 필요하다.

참고문헌

1. 윤병희, “더블스킨 공법에 대해”, 이엠건축사 자료실, No.27(2006).
2. 김광우, “이중외피 시스템의 개요와 국내외 현황”, 대한건축학회지, Vol.47, No.9(2003).
3. Harris Poirazis, “Double Skin Facades for Office Buildings”, pp.68-69.
4. Dr. Vytenis Babrauskas, “화재 시 유리의 파손에 관한 고찰”, 위험관리정보 123호(1997).
5. 박형주, 지남용, “구획화재 시 국부복사에 노출된 유리면의 수막접촉에 따른 급냉파열특성에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.17, No.4, pp.124-130(2003).
6. NIST, FDS, “(Fire Dynamics Simulator) User’s Guide and Technical Guide”(2009).
7. NIST, “User’s guide for Smokeview”(2009).
8. Thunderhead engineering, “Pyrosim user Manual”(2008).
9. NIST, Fire on the web(<http://www.fire.nist.gov/fire/fires/fires.html>).
10. SFPE, SFPE handbook of fire protection, 3rd edition(2002).