FDS를 이용한 외장재의 수직 확산 화재의 모델링에 관한 연구

민 세 홍* · 윤 정 은**
*경원대학교 공과대학 소방방재공학과 · **경원대학교 환경대학원 소방방재공학과

A Study on the Modeling of Vertical Spread Fire of Exterior Panel by Fire Dynamic Simulation(FDS)

Seh-Hong Min* · Jung-En Yoon**
*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Kyungwon University
**Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Kyungwon University Graduate School Environment

Abstract

Considering heat insulation and beautiful sight of construction, making use of exterior panels is increasing. Recently the exterior panels now are weak very much, and so in consequence of the weakness fire spreads rapidly. Compared with internal fire, external vertical fire spread rate goes rapidly and it is extensive in spread range, therefore it is dangerous very much. Accordingly, under present condition of poor standard of exterior panels, it is required to take measure to meet the appropriate situation.

In this study, by making use of FDS(Fire Dynamic Simulation) program about external vertical fire of high rise building, fire behavior is searched by computer. It is important that realizing by computer fire modeling about external vertical fire must be included certainly in procedure of fire performance design in the future. In modeling program, FDS version 5 is available, and aluminium composite panel is applied in external panels.

In this study, for realizing of actual fire condition, FDS is applied by details of fire scenarios considering influence of wind.

Keywords : Vertical Spread Fire, FDS(Fire Dynamic Simulation), Exterior Panels

1. 서 론

최근 건축물은 다양한 종류의 외장재를 사용하여 단열과 같은 기능성 부여와 더불어 외관의 미려함을 추구하는 추세이다. 시판되고 있는 제품 중 알루미늄 복합판넬은 경량으로 견고하며 평활성과 가공성이 뛰어나 외장재로 널리 사용되고 있다. 알루미늄 복합판넬은 알루미늄 박판(0.5 mm) 사이에 폴리에틸렌 수지(3~5 mm)를 내장한 구조이다. 알루미늄은 건축법상 불연재이며, 폴리에틸렌 수지는 에틸렌(CH_2=CH_2)을 중합시켜 얻은 열가소성 수지이다. 폴리에틸렌과 같은 재료는 목재와 같은 일반적인 가연성 재료보다 열방출율이 약 3~5배 더 높아 상대적으로 화재위험도가 매우 높다.

화재가 발생하여 외장재에 착화되면 건물의 벽을 타고 수직으로 건물 전체에 확산되고 상승한 화염은 동시에 설치된 각 층의 개구부를 통해 실내로 유입되어 플래시오버(Flash over)로 급속한 화재의 확산이 발생되는 화재 성상을 보인다. 이렇듯 외장재는 기능상 수직으로 설치하므로 화재의 확산이 일반 실내 화재보다 매우 빠르게 건물 전체에 확산될 가능성이 있다.

† 본 논문은 2009년도 경원대학교의 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음.
† 교신저자: 민세홍, 경기도 성남시 수정구 복정동 산 65번지 경원대학교 공과대학 소방방재공학과 교수
M·P: 011-735-8159, E-mail: shmin@kyungwon.ac.kr
2009년 4월 접수; 2009년 5월 수정본 접수; 2009년 5월 게재확정

외장재에 의한 외부 수직화재의 확산에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다.

Felix Nyuk Poh Bong은 여러 종류의 외장재에 의한 수직화재의 확산에 대해 Full Scale 실험과 Bench Scale 실험을 진행하였으며[1], 長谷見雄二(Hasemi) 등은 수직화염확산의 성상에 대해 확산속도의 비정상해를 유도하여 정상해와의 비교를 통해 화염확산속도의 범위를 명확히 하였다[2].

또한, 안중기와 김진곤은 수직평판에서 복사열전달을 고려한 층류확산화염에 관해 수치적 연구를 진행하여 층류확산화염의 전형적인 현상에 관해 신뢰성을 확인하고, 복사열손실의 영향에 따른 현상을 분석하였으며[3], Jorgen Carlsson은 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 화재모델링을 연구하여 정립화 하였다[4]. 위에서 언급한 이와 관련된 연구들은 이론적·실험적 연구이며, Jorgen Carlsson의 연구는 구획화재에 국한한 초기 모델링의 제안에 관한 연구로 실제 외부수직화재에 대해 고층건물을 해석한 모델링은 전무한 실정이다. 외장재 화재로 인해서 재산 피해는 물론 큰 인명 피해도 발생할 수 있으므로 외장재에 대한 규제와 연구가 절대적으로 필요한 시점이다.

따라서, 본 연구에서는 고층건물의 외장재에 의한 수직화재에 대해 FDS(Fire Dynamic Simulation) 화재모델링 프로그램을 이용, 실제 화재에 대해 CFD의 구현으로 수직화재에 대한 경향을 분석하여 고층건물의 성능설계에 적용하고자 한다.

2. 화재사례 및 관련 규정

2.1 화재사례

국내·외적으로도 외장재에 의한 대형화재가 빈번히 발생하고 있으며, 최근에는 성형성과 색체감이 뛰어나다는 이유로 플라스틱과 같은 가연성 소재를 사용하고 있고 이는 자칫 대형화재로 이어질 우려가 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다.

국내에서는 2008년 강남의 빌딩 1층 외곽 에어컨 실외기 주위에서 화재가 발생하여 알루미늄 복합판넬 외장재에 의해 18층인 최상층까지 아래 <Fig. 1>에 나타낸 바와 같이 순식간에 확대되었으며, 개구부를 통해 건물 실내로 유입된 화재에 의해 큰 피해를 입었다[5].

또한, 2007년에는 9층부터 12층사이 영화관이 위치하고 있는 창원의 극장에서 건물 외벽을 타고 수직 확대된 화재가 발생했다. 1층 냉각탑에서 발화하여 알루미늄 복합판넬 외장재에 의해 화재가 확대되어, 불과 약

<Fig. 1> 외장재에 의한 수직 확산 화재 사례.

10 여 분만에 12층까지 확산되었다.

국외에서도 외장재에 의한 수직 확산 화재에 의해 큰 피해를 입었다. 뉴질랜드 웰링턴에 있는 Te Papa 박물관 신축현장에서 1997년 화재가 발생하였는데, 용접 중 폴리에틸렌이 내장된 알루미늄 복합판넬 외장재에 착화되어 수직 확산 화재가 발생하여 큰 피해를 입었으며, 1996년에는 독일 뮌헨의 5층 아파트의 쓰레기 컨테이너에서 시작된 화재는 폴리에틸렌을 내장한 복합판넬에 착화되어 건물 외부에 폭넓은 피해를 초래했다. 또한, 1991년에는 영국 리버플의 11층 Knowsley Heights 아파트의 쓰레기통에서 시작된 화재는 외벽과 상층부의 모든 창문에 피해를 입혔다. 이 외에 외장재에 의한 수직 확산 화재는 1999년 스코틀랜드 Irvine의 13층 Garnock Court 화재 등이다[1],[6].

2.2 관련 규정

국내에서는 외장재에 대해 '국토의 계획 및 이용에 관한 법률' 중 제 37조와 '건축법' 제 51조에 규정하고 있다. 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 37조에는 용도 지구의 지정으로 방화지구를 정의하여 내화구조 외벽을 설치하라는 규정만이 있을 뿐 명확한 외장재에 대한 규정은 없는 실정이다. 또한 건축법 제 51조에도 방화지구안의 건축물에 대한 규정을 하고 있으나, 이 또한 외장재에 대한 규정으로는 매우 취약한 실정이다[5].

해외의 외장재에 대한 규정은 뉴질랜드가 대표적인데, 뉴질랜드의 성능위주코드의 경우 적절한 경계로 부터의 거리, 건물의 높이, 거주형태에 따라서 외벽의 규정을 달리하며, 이러한 제어를 통해서 외벽의 화염확산 또는 외벽의 연소를 방어 할 수 있도록 규정하고 있다.

건물의 높이에 각각 7m, 16m, 25m 미만과 25m 이상까지 4단계로 구분하고 이에 대해 2가지의 건물의 용도로 구분하여 불연재의 사용여부를 판단하도록 하였다.[1]

내장재에 대한 규정은 현재 국내에도 어느 정도 규정화 되어 있지만, 외장재와 관련된 규정의 시행과 관리는 매우 미흡한 상태이다. 이에 성능위주설계의 시행을 앞 둔 시점에서 외장재에 대한 화재에 대해 연구함은 시사하는 바가 크다 하겠다.

3. 화재모델링

3.1 모델

본 연구의 화재모델은 건물의 외장재에 의한 화재의 수직 확산으로 실내 화재에 비해 상대적으로 위험도가 높다는 것을 확인하기 위해 모델링프로그램으로 FDS version 5를 사용하였다.

모델링할 건물은 가로 10 m, 세로 10 m로 설정하였으며, 높이는 한 층당 3 m로 10층을 고려하여 건물의 높이를 30 m로 설정하였고 외기에 면하는 개구부는 없는 것으로 하였다.

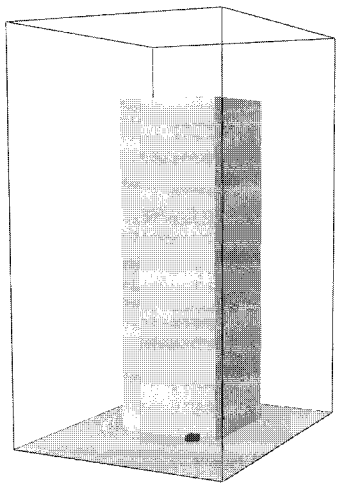
이와 관련하여 모델링한 건물에 대해 시뮬레이션 측정 공간을 확보하기 위해 건물을 기준으로 좌, 우, 후면에는 각각 5 m의 여유 공간을 확보하였으며, 높이는 36 m로 설정하여 6 m의 공간을, 특히 건물의 정면은 근접 건물에 미치는 영향을 알아보기 위한 복사열유속을 분석하기 위해 현행 법규를 고려하여 10 m의 공간을 각각 확보하였다.

또한 실외 화재에 대한 시뮬레이션이므로 외부공간의 확보와 동시에 바닥을 제외한 각각의 공간을 OPEN하도록 설정하였다.

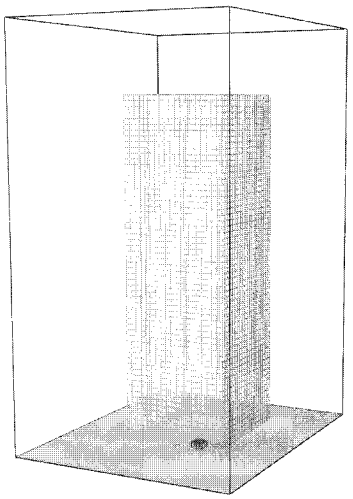
점화원은 건물 정면 외벽에 1 m × 1 m로 설정하였으며, 점화원의 위치는 건물의 정면 중간에서 우측으로 편심된 우측끝단에서 좌측으로 2 m에 위치하였는데, 이는 시뮬레이션에서 풍속을 고려했을 때 건물의 우측면으로 확산되는 화재성상 등 미치는 영향을 알아보기 위함이다.

화재 확산에 대한 건물 외벽의 열방출율 및 화재 성상 등을 알아보기 위해 Device를 본 모델링 한 층의 높이 기준인 3 m 당 설정하였으며, 특히 근접건물의 복사열유속의 영향을 알아보기 위해 건물 정면 앞쪽으로 3 m와 6 m, 2층은 10 m에 Device를 설정하였다. 아래 <Fig. 2>에 본 연구와 관련된 모델을 나타내었다.

이와 관련하여 Grid 개수는 40 × 50 × 72로 하여 하나의 격자 당 0.5 m로 설정하여 아래 <Fig. 3>과 같이



<Fig. 2> Fire Model.



<Fig. 3> Meshes System.

나타내었다. 또한 건물의 외부 격자는 FDS version 5에서 강화된 기능인 다층 다성분 물질을 설정하여 알루미늄 0.5 mm, 폴리에틸렌 4 mm, 알루미늄 0.5 mm로 다경계층으로 알루미늄 복합판넬을 표현하였다.

3.2 조건설정

FDS version 5로 버전업되면서 소재 물성치의 정확도를 기하기 위해 강화된 기능을 본 연구에 적용하였으며, 이에 알루미늄복합패널에 대한 물성치에 대한 입력을 다음과 같이 진행하였다.

물성치는 SFPE 방화공학 핸드북에 명시된 열물리학적 특성 데이터 등을 인용하였다. 이 후 명기한 각각의 물성치는 FDS 프로그램에 입력하는 단위를 기준으로 작성하였다. 알루미늄의 물성치 중 모델링에 적용하는 인자인 비열은 0.00326 kJ/kg·K, 열전도도는 0.744 W/m·K, 밀도는 2,707 kg/m^3로 <Table 1>에 나타냈다[7].

<Table 1> 알루미늄 물성치

Items	Spec.
Specific Heat	0.00326 kJ/kg·K
Conductivity	0.744 W/m·K
Density	2,707 kg/m^3

<Table 2> 폴리에틸렌 물성치

Items	Spec.
Specific Heat	2.15 kJ/kg·K
Conductivity	0.42 W/m·K
Density	940 kg/m^3
Heat of Combustion	43,600 kJ/kg
Heat of Reaction	4,300 kJ/kg
Flash Point	340 ℃

또한, 알루미늄복합패널에 적용한 폴리에틸렌은 고밀도로 물성치는 열특성 및 열응답 변수를 인용하여 비열은 2.15 kJ/kg·K, 열전도도는 0.42 W/m·K, 밀도는 940 kg/m^3, 연소열은 43,600 kJ/kg, 반응열은 4,300 kJ/kg, 인화점은 340 ℃로 <Table 2>에 나타냈다[7], [8].

또한, 점화원의 열방출량은 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 실험한 쓰레기 컨테이너의 최대 열방출량인 300 kW를 적용하였다[7], [9].

3.3 화재시나리오

본 연구에서는 앞에서 설정된 조건 결정 후, 외기온도를 20 ℃로 설정하고 풍속에 따라 3가지로 구분, 앞에서 언급한 실제 화재 시를 참고하여 시뮬레이션 시간을 700초로 하였다.

첫째는 무풍의 경우, 둘째는 건물 정면 풍향을 고려하였을 경우(정면풍), 셋째로는 건물 우측 풍향을 고려하였을 경우(측면풍) 등 각각의 경우 건물외벽의 열방출율(HRR), 화재 성상, 복사열유속 등의 경향을 분석한다.

X축과 Y축에 대해 풍속을 고려한 이유는 서울 기상청 관측소의 자료에 의해 우리나라의 여름철과 겨울철의 주풍향인 서북서풍과 북서풍을 주풍향으로 측정된 것을 근거로 특징을 시뮬레이션에 반영하였으며, 또한 그 풍속의 기준은 서울의 평균풍속인 2.4 m/s로 설정하였다. 1971년부터 2000년까지 약 30년간의 한국기후표를 근거로 하여 주요도시별 평균풍속과 최대풍속을 아래 <Table 3>과 같이 나타내었다[10].

<Table 3> 주요도시별 평균풍속 및 최대풍속

도시명	평균풍속 (m/s)	최대풍속 (m/s)
서울	2.4	16.7
부산	4.0	24.5
대관령	3.9	27.7
목포	4.2	25.7
제주	3.8	23.3
홍천	0.9	10.1
이천	1.0	15.4

4. 결과 및 고찰

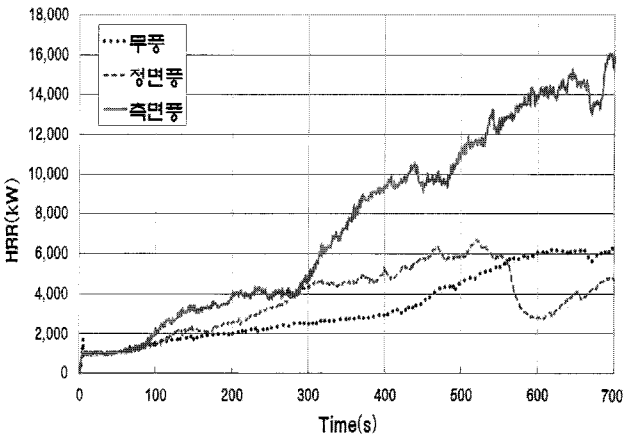
본 시뮬레이션 결과, 풍속과 관련한 3가지의 경우인 무풍의 경우, 정면풍의 경우와 측면풍의 경우에 대해 건물 외벽의 열방출율, 온도분포, 화재의 수직 확산속도 및 복사열유속 등에 대해 분석하였다.

4.1 열방출율(HRR)

열방출율의 분석 결과, <Fig. 4>와 같은 결과를 도출하였다.

여기서 A는 무풍일 경우를 의미하며, B는 건물의 정면에서 풍속을 고려했을 때이며, C는 건물의 측면방향에서 풍속을 고려했을 경우를 각각 의미한다.

점화원에 착화되어 85초까지는 풍향과 관련한 조건 모두 거의 유사한 열방출율을 보이는데 이는 점화원 자체가 85초까지 연소하여 그 시간이 지나면서부터 알루미늄 복합판넬 외장재에 착화가 되었다고 판단된다. 85초를 지나 281초까지는 측면풍, 정면풍, 무풍 순으로 약간의 차이를 보였다.



<Fig. 4> 열방출율.

측면 풍속의 경우는 281초가 지나는 순간부터 급격한 열방출율의 증가가 진행되었는데, 281초를 지나면서 급격한 증가를 한 것은 건물의 측면으로 확대되어 활발한 화재의 연소가 이루어졌음을 의미한다.

정면풍의 경우에는 외장재에 착화되어 519초까지 꾸준히 증가하다가 519초가 넘어가면서 605초까지 감소하는데 이는 바람의 영향으로 외장재의 빠른 연소가 이루어졌음을 의미하며, 이 후 증가함은 바람의 영향으로 연소 면이 넓게 확대되어 연소되었음을 알 수가 있었다. 무풍일 경우는 완만하게 증가함을 알 수가 있었다.

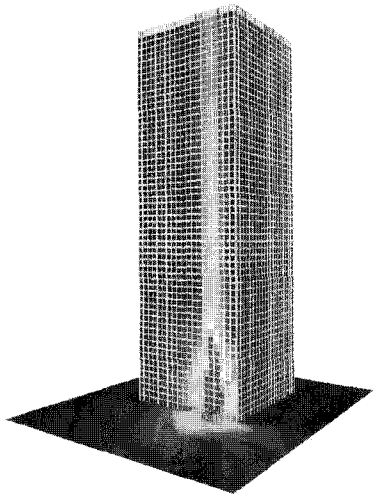
특히, 측면풍의 경우는 무풍일 경우와 정면풍의 경우와 비교해 값의 현격한 차이가 발생했다. 바람의 영향에 있어 측면풍의 경우 외부 수직 확산 화재에 취약함을 알 수가 있었다.

4.2 화재의 성상

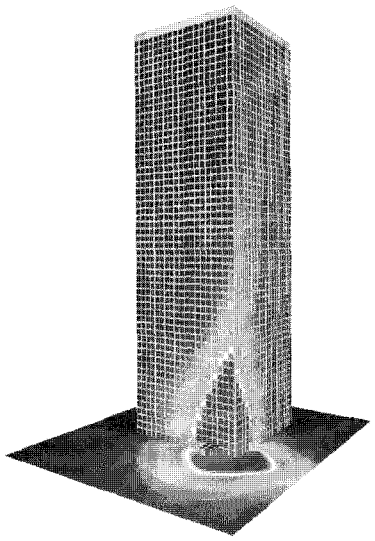
풍속을 고려한 각각의 경우에 대해 열방출율의 특징적 변화에 대한 시간대의 온도분포를 그림으로 나타내었다. 앞에서 분석한 열방출율을 고려하여 다음과 같이 분류하여 나타내었다.

먼저 외장재의 착화가 이루어지기 시작한 85초의 무풍의 경우를 <Fig. 5>에 대표적으로 나타내었으며, 급격한 열방출율의 상승을 보인 측면풍의 281초의 온도분포를 <Fig. 6>에 나타내었고, 또한, 최고의 열방출율까지 상승하다가 감소하는 700초에서의 온도분포를 <Fig. 7>에 나타내었다.

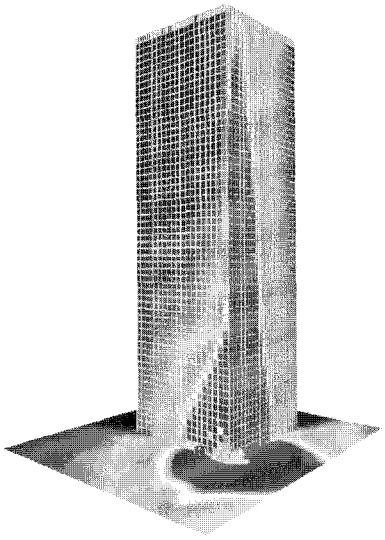
정면풍의 경우 최고의 열방출율 시간인 519초에서의 온도분포를 <Fig. 8>에 보였으며, 무풍의 경우 최고의 열방출율을 보이다가 감소하기 시작하는 700초에서의 온도분포를 <Fig. 9>에 나타내었다.



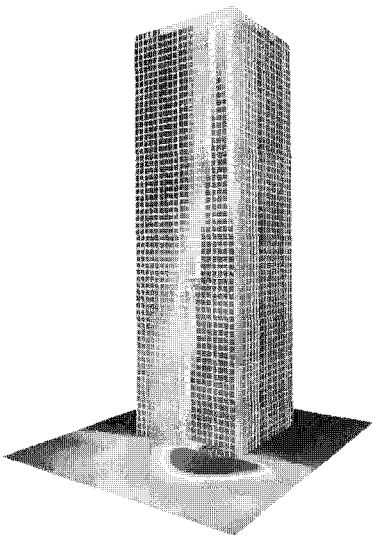
<Fig. 5> 무풍의 경우 화재성상(t = 85s).



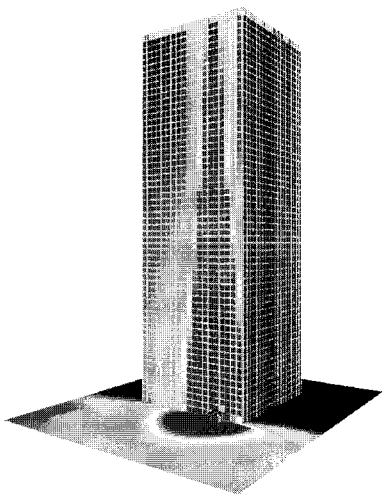
<Fig. 6> 측면풍의 경우 화재성상(t = 281s).



<Fig. 7> 측면풍의 경우 화재성상(t = 700s).



<Fig. 8> 정면풍의 경우 화재성상(t = 519s).



<Fig. 9> 무풍의 경우 화재성상(t = 700s).

화재 성상의 데이터 분석 결과, 무풍일 경우는 상층부로 화재가 확대되면서 분포 면적은 줄어드는 형태의 화재성상을 보였으며, 또한, 우측면에 대해서는 거의 온도의 변화가 없게 나타났다.

정면풍의 경우에는 무풍의 경우와 비교했을 때 건물의 오른쪽 모서리의 영향으로 화염이 우측의 면에 영향을 준다. 외장재가 착화되는 초기에 우측면 저층부 1~3층에 영향을 미치다가 시간이 지나면서 화염이 상승하며 가늘어져 저층부는 온도가 감소되고 상층부 7층부터 온도의 영향을 미친다. 이는 정면 바람의 영향이 건물 우측면에 그리 많은 영향을 주지 않는다는 것을 알 수가 있었다.

측면풍의 경우는 바람의 영향으로 화재 초기부터 건물의 측면으로 확대되기 시작하여 건물의 우측면에 지대한 영향을 미치는 것을 알 수가 있었다.

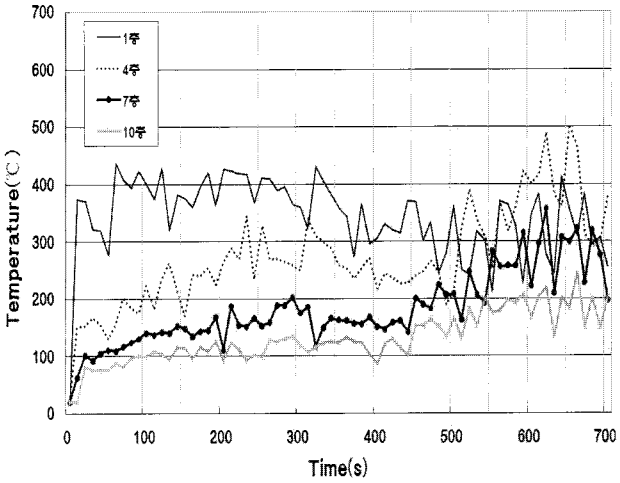
무풍과 정면풍과 측면풍의 경우를 각각 비교했을 때, 열방출율이 최대가 되는 시간에 도달하는 시점이 가장 빠른 것은 정면 풍속의 경우라는 것을 알 수 있었다.

또한, 무풍의 경우는 시뮬레이션 설정시간인 700초 동안 1층에서 5층 정도가 많은 피해를 입었으며, 6층과 7층은 1~5층에 비해 상대적으로 적은 피해를 입은 것으로 <Fig. 9>와 같이 나타났다. 8층~10층은 피해가 아래층에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 또한, 정면풍에서는 1층에서 7층까지 피해가 나타났으며, 8층에서 10층까지는 피해가 미비하게 나타났다. 측면풍에서는 건물의 정면에는 1층과 2층까지 영향을 미치다가 건물의 우측으로 화염이 휘감아 돌아 지상 1층부터 8층까지 영향을 미쳐 피해가 광범위하게 발생했음을 <Fig. 7>과 같이 알 수가 있었다.

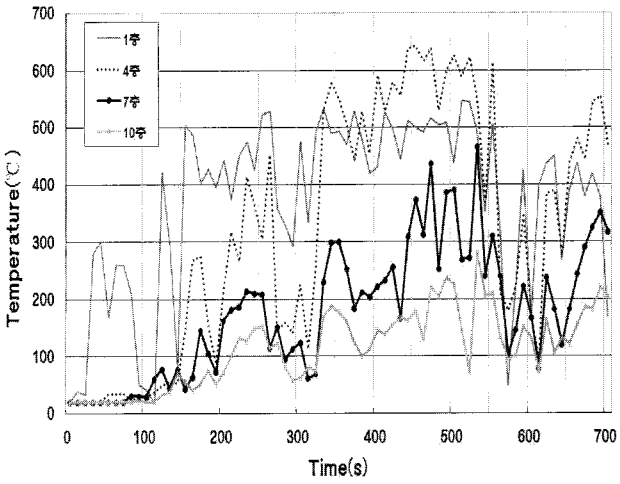
사전에 조건에서 언급했듯이, 본 연구는 외기에 개구부가 없는 것을 가정한 결과이다. 그러므로 예상컨대 개구부가 설치된 경우라면 앞에서 언급했던 피해 상황보다 더 큰 피해가 예상된다.

아래 Fig. 10~12에 시간대 별 온도변화에 대해 그래프로 나타내었다. 그래프의 시각적인 표현상 10초 간격으로 1층, 4층, 7층 및 최상층인 10층의 온도변화에 대한 데이터를 그래프화하여 표현하였다. Fig. 10은 무풍의 경우에 대한 온도변화를 나타내었으며, Fig. 11은 정면풍에 대한 온도변화를 각각 나타내었다.

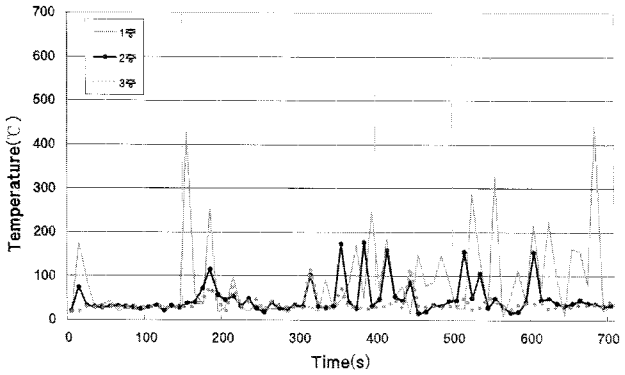
측면풍의 경우 온도변화에 대해서는 앞에서 언급한 바와 같이 건물의 우측으로 휘감아 도는 측면풍이라는 바람의 특성상, Fig. 12에는 건물의 정면에 화염의 영향을 받는 1층, 2층과 3층까지의 온도변화를 나타내었으며, Fig. 13에는 측면풍의 영향으로 건물의 우측에 영향을 받는 4층, 7층 및 10층에 대한 온도변화를 각각 나타내었다. 정면풍과 측면풍일 경우, 무풍에 비해 시간의 변화에 대한 데이터의 기복이 심한 것은 바람의 영향에 의한 것으로 판단된다.



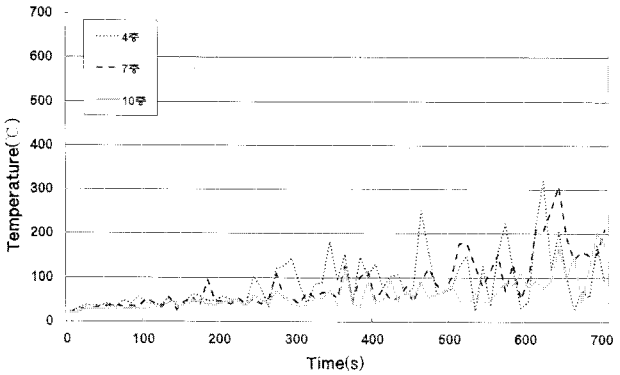
<Fig. 10> 무풍의 경우 온도변화.



<Fig. 11> 정면풍의 경우 온도변화.

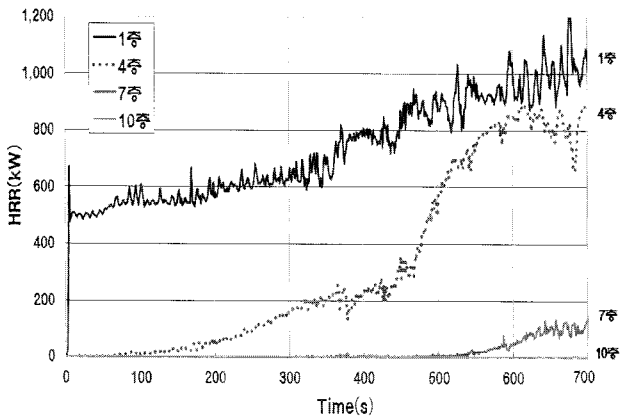


<Fig. 12> 측면풍의 경우 건물 정면의 온도변화.

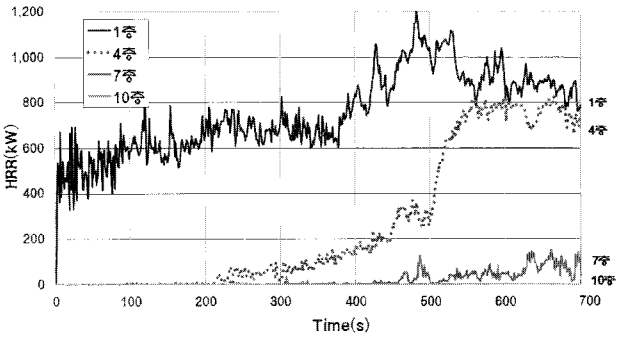


<Fig. 13> 측면풍의 경우 건물 우측면의 온도변화.

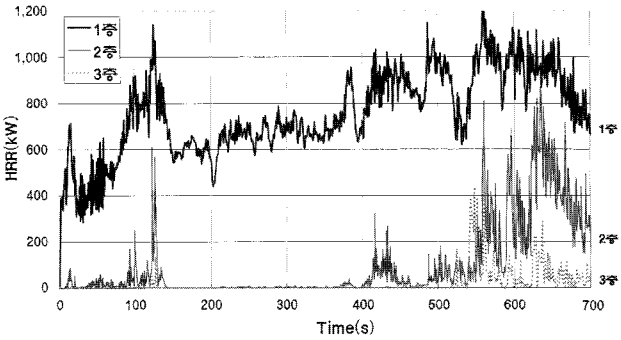
또한, 아래 Fig. 14~17에 무풍, 정면풍과 측면풍에 대해 온도변화를 나타낸 동일한 방법으로 1층, 4층, 7층 및 최상층인 10층에 대한 열방출율의 데이터를 그래프화하여 표현하였다. Fig. 14은 무풍의 경우에 대한 열방출율을 나타내었으며, Fig. 15는 정면풍에 대한 열방출율을 각각 나타내었다. 측면풍의 경우 열방출율에 대해서는 측면풍의 특성상, Fig. 16에는 건물의 정면에 화염의 영향을 받는 1층, 2층과 3층까지의 열방출율의 변화를 나타내었으며, Fig. 17에는 측면풍의 영향으로 건물의 우측에 영향을 받는 4층, 7층 및 10층에 대한 열방출율의 변화를 각각 나타내었다.



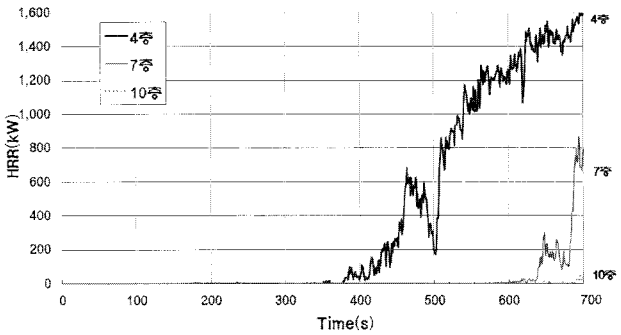
<Fig. 14> 무풍의 경우 층별 열방출율.



<Fig. 15> 정면풍의 경우 층별 열방출율.



<Fig. 16> 측면풍의 경우 건물 정면의 층별 열방출율.



<Fig. 17> 측면풍의 경우 건물 우측면의 층별 열방출율.

발화원에 근접한 1층은 무풍, 정면풍과 측면풍에 관계없이 열방출율이 급격히 상승한 후, 서서히 완만하게 증가되었다. 무풍과 정면풍에서 4층은 450초를 지나면서 급격히 증가하며, 또한 7층은 500초를 지나면서 영향을 미치게 되는데 화재에 의한 피해는 그 이하 층보다 크지 않음을 알 수가 있었다.

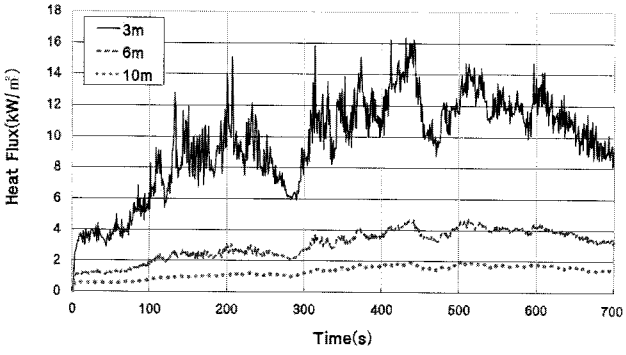
측면풍은 바람의 영향으로 온도의 변화와 마찬가지로 데이터의 기복이 심하다는 것을 알 수가 있는데, 120초의 2층의 경우 데이터의 급증감은 바람의 영향으로 인한 돌출된 데이터로 판단된다. 2층과 3층은 550초에서 증가하게 되며, 건물의 우측면인 4층은 400초부터 영향을 받아 700초까지 급격한 상승곡선을 그리게 되었으며, 7층은 650초부터 적은 영향을 받았으며, 최상층 10층은 아주 미미한 영향을 받음을 알 수가 있었다.

4.3 복사열유속

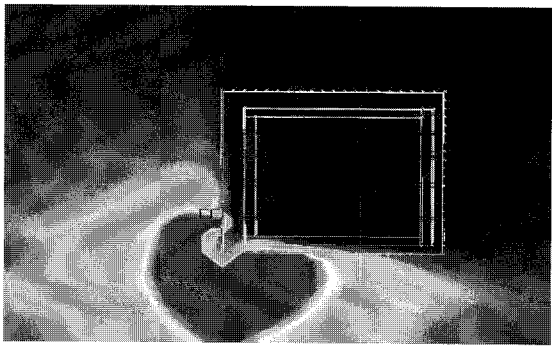
건축물이 근접하여 별도의 건축물이 있는 경우에는 상호 연소방지대책을 수립하여야 한다. 이는 화재 시 화재실의 개구부에서 화염이 분출, 비산되거나 강한 복사열이 방출되는 경우 건축물의 외벽 등으로 연소하여 주위의 건축물 내부의 수평방향의 구획이 파괴될 우려가 있기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 외장재에 의한 수직 확산 화재 시 근접 건물로의 화재확대에 미치는 영향에 대해서 복사열유속을 측정하여 분석하였다.

이와 관련하여 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행규칙 제 7조 및 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제 22조에 규정하고 있는데, 근접한 건축물에 대해 외벽으로부터 수평거리는 1층은 6 m 이하, 2층 이상 층은 10 m 이하로 규정하고 있어 본 시뮬레이션에서는 Device를 3 m 지점을 추가 설치하여, 1층은 3 m와 6 m, 2층은 10 m 지점의 복사열유속을 측정하여 아래 <Fig. 18>과 같이 나타내었다.

본 연구에서 바람을 고려한 3가지 조건 중 데이터 분석 결과 측면풍이 복사열유속의 값이 최대가 됨을 확인하여 복사열유속과 관련하여서는 최악 조건인 측면풍일 때의 경우를 분석하였다. 이와 관련하여 아래 <Fig. 19>에 측면풍일 경우, 1층에서의 최대 복사열유속을 나타내었다.



<Fig. 18> 복사열유속.



<Fig. 19> 측면풍의 경우 1층에서의 최대 복사열유속.

<Fig. 19>는 측면풍의 영향으로 건물의 정면뿐만 아니라 우측면까지 영향을 미치는 1층에 3 m, 6 m와 10 m 지점의 복사열유속을 측정한 평면 결과도로 이에 대한 해석은 다음과 같다. 건축 구조재를 손상할 만한 한계 열 플럭스는 25 kW/m^{2}로 규정하고 있는데, 3 m 이내 최대 열유속 값이 16 kW/m^{2}이므로 건축 구조재를 손상할 만한 수치에는 도달하지 않았지만, 12.5 kW/m^2 기준인 플라스틱을 녹이거나 나무를 발화시키는 최소 에너지 이상이므로 3 m 이내에 다른 가연성 재료를 구성하는 것을 매우 위험하다는 것을 알 수가 있었다. 6 m와 10 m에 대해서는 건축 구조재를 손상할 만한 수치에는 도달하지 않았지만, 인체에 미치는 영향 기준인 2.5 kW/m^2 값을 기준으로 할 때, 1층 6 m 지점에는 4.8 kW/m^{2}로 측정되어 인명 안전에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 2층의 10 m는 1.9 kW/m^{2}의 값으로 측정되어 복사열유속에 관해서는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 수행결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 실외화재에 대한 실 화재의 FDS 구현의 가능성을 확인할 수가 있었다.

둘째, 외장재에 의한 실외화재는 실내화재에 비해 화재의 확산이 수직으로 급격히 이루어져 화재위험도가 상대적으로 높아 건물 재실자의 피난 안전성 확보가 매우 어렵다는 것을 알 수가 있었다. 이에 외장재의 사용 면 수 제한, 층 수 또는 높이의 제한 등의 적극적인 대책 마련이 시급하다.

셋째, 최초 화재 발생 위치에 관계없이 외장재에 의한 상층부로의 연소 확대에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수가 있었다. 이와 관련하여 한국산업규격의 연소성 시험에 의해서 열방출율이나 질량감소율을 규정하고 있기는 하지만, 그것은 단지 제품 자체에 대한 규정으로 이 제품을 시공했을 때의 화재위험은 고려되지 않고 있다. 그러므로 외장재에 대한 화재성능평가 및 기준 마련이 절실히 요구된다.

넷째, 수직화재에 있어서 바람은 화재의 확산에 큰 영향을 주므로 무분별한 외장재의 남용을 제한하여야 한다.

다섯째, 열방출율은 85초까지는 3가지 바람의 조건 모두 동일 크기로 진행되다가 85초를 지나면서 측면풍의 열방출율은 정면풍과 무풍에 비해 현격히 증가함을 알 수가 있었다.

여섯째, 시뮬레이션 결과, <Fig. 1>에서 나타낸 실화재와 가장 유사하게 구현한 모델은 <Fig. 8>에 나타

낸 정면풍의 화재성상임을 알 수가 있었다.

일곱째, 외장재 적용 시 반드시 복사열유속에 대한 검토가 이루어져야 한다는 것을 알 수가 있었다.

여덟째, 공신력 있는 공공기관의 주도로 외장재의 물성치에 대해 데이터를 축적하고, 그 데이터를 공개, 공유하여 성능설계에 시급히 대비해야겠다.

본 연구에서는 외장재의 외부화재에 대한 경향을 분석하는데 의의를 두었다. 컴퓨터로 구현한다는 것이 실제 화재와 반드시 같다고 할 수 없는 불확실성이 있는 것은 사실이다. 그렇다고 성능설계의 시행을 앞둔 현재 컴퓨터를 이용한 화재 모델링을 배제할 수는 없다[11].

실 화재를 구현하는데 프로그램 상의 한계가 있다하더라도 이에 대한 구현의 노력과 프로그램의 보완은 계속되어야하며 앞으로 본 연구와 관련한 더욱 발전된 연구를 기대하는 바이다.

6. 참 고 문 헌

[1] Felix Nyuk Poh Bong, "Fire Spread on Exterior Walls, Fire Engineering Research Report 2000/1.", ISSN 1173-5996, (2000)

[2] 長谷見雄二, 吉田正志, 野原聰哲, "垂直可燃面上の非定常火焰傳播性狀.", 日本建築學會論文報告集, 第414号(計劃系), (1990) : 155-161

[3] 안중기, 김진곤, "수직평판에서 복사열전달을 고려한 층류확산화염에 관한 수치적 연구.", 한국소방학회지, 8권 1호(통권 17호), (1994) : 9-20

[4] Jorgen Carlsson, "Fire Modelling Using CFD.",Lund University, (1999)

[5] 이영병, "건물 외장재를 통하여 연소 확산된 빌딩 화재사례와 문제점 및 대책.", 방재와 보험, 한국화재보험협회, (2008) : 52-57

[6] C. A. Wade, J. C. Clampett, "Fire Performance of Exterior Claddings.", Branz Report FCR1, Fire Code Reform Center Ltd, (2000)

[7] 한국화재보험협회, "SFPE 방화공학 핸드북.", 한국화재보험협회, (2005)

[8] 민세홍 외 3인, "성능위주설계를 위한 화재열전달.", 동화기술, (2009)

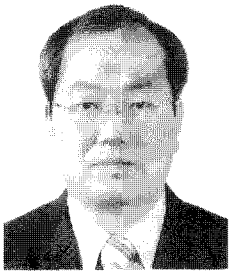
[9] V. Babrauskas and J.F. Krasny, "Fire Behavior of Upholstered Furniture." NBS Monograph 173, National Bureau of Standards, Washinton, DC, (1985)

[10] 윤재옥, "한국 29개 주요 도시의 풍향, 풍속 및 바람특성 비교 연구.", 대한건축학회논문집 계획계 19권 11호(통권181호), (2003) : 229-236

[11] 민세홍, "NFSC 소방설계공학.", 문운당, (2008)

저 자 소 개

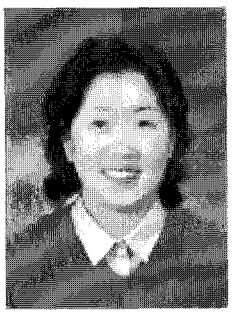
민 세 홍



현재 경원대학교 공과대학 소방방재공학과 교수로 재직 중이며, 단국대학교에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 화재모델링, 소방설계, CAD 등이며, 각 시도의 소방설계 자문위원과 국가자격시험 출제·채점위원 등의 활동을 하고 있다.

주소: 경기도 성남시 수정구 복정동 산 65번지 경원대학교 공과대학 소방방재공학과

윤 정 은



현재 경원대학교 환경대학원 소방방재공학과 석사과정에 재학하고 있고, 서울산업대학에서 학사 학위를 취득하였다. 소방산업체에서 소방기술사로 활동 중이며, 주요 관심분야는 건축방재, 위험성평가, 연소이론 등이다.

주소: 경기도 성남시 수정구 복정동 산 65번지경원대학교 공과대학 소방방재공학과