

초고층 건축물 건설공사 시 화재안전계획 수립에 관한 연구

A Study on the Fire Safety Plan for High-Rise Building Construction

함 은 구* · 정 명 진* · 이 명 구*

Abstract

Recently buildings are constructed in larger and higher scales and becoming more complex. Every country in the world is competing to build high-rise buildings. Korea also has and is constructing high-rise buildings, like the 123story Jamsil Lotte Super Tower. However from small to large scale buildings and on construction sites there still are fire safety accidents that occur continuously.

Therefore to improve fire safety plan, examining the actual fire safety management and understanding fire risk analysis Using Fire Modeling through Computer Simulation. Fire safety management plan related fire safety cases were collected and analyzed for the study. Also hazard analysis of High rise Buildings under fire compared with existing fire law and regulations.

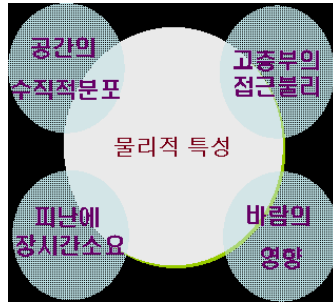
KeyWords : High-rise building, Fire safety plan, Fire Modeling, Safety management plan

1. 서 론

최근 세계 주요 도시에는 빌딩의 초고층화가 급속하게 진전되고 있음. 높이가 이미 800m를 넘는 빌딩들이 출현하고 있으며, 각 도시들은 앞 다투어 100층 이상의 초고층 건물들을 신축 혹은 계획 중에 있고, 기술의 발전에 따라 고층빌딩의 높이가 계속 증가하고 있으며, 앞으로 이러한 추세는 계속 진행될 전망이다. 지금까지 초고층 건축물에 이용되는 철골의 자중 한계는 이론적으로 500m로 알려져 있으나 과학기술의 진전으로 인하여 종래의 2배의 강도의 고강도강의 개발에 성공하여 약 1,000m 정도의 높이를 갖는 초고층 건축물의 건축도 가능해 졌다.

* 을지대학교 보건환경안전학과

1. 공간의 수직적 분포
 - 상층부로의 화재확산 속도가 빠름
 - 연기의 제어가 어려움
 - 초고층 특유의 연돌효과 발생
 - 과도한 자연낙차 압력 발생
3. 피난에 장시간 소요
 - 수용인원에 따른 피난 폭주
 - 피난시 혼란 가중 (외부 구조 불가)
 - 너무 먼 수직 피난거리
 - 부상자 및 장애자 피난곤란



2. 고층부의 접근 불리
 - 소방활동이 어려움
 - 소방관의 접근이 곤란
 - 화점접근에 시간 소요
 - 초고층부는 무선통신 성능 제한
4. 바람의 영향
 - 연소속도 가속화
 - 연기의 상승속도 심화
 - 바람효과로 배연창 설치 곤란

[그림 1] 초고층 건물 화재의 물리적 특징

초고층 건물의 경우, 지금까지 출현한 건축물과 달리 인간의 생활양식까지 변화시킬 수 있으며 수직 공간이라는 한계로 인하여 새로운 리스크를 창출할 것이며, 이러한 리스크에 대비하기 위한 지혜가 필요한 시점이다. 초고층건물의 물리적 특성은 공간의 수직적 분포로 인하여 화재확산에 있어 타 건축물에 비하여 불리하며 동시에 소방 활동상에도 상당히 어려움이 따르고 있음. 또한 재실자의 밀도에 따라 정체 혼란이 불가피하여 피난에도 장시간이 소요되는 등 기존 건축물과는 다른 화재피해에 상당히 불리한 점을 가지고 있다.

2. 초고층 건물화재사례

초고층 건물 화재는 초고층 건물이 본격적으로 건설되기 시작한 1990년대 이후 급속도로 증가하기 시작하였다. 공간적 특성상 발생건수에 비하여 인명피해가 큰 것이 대표적 화재특성이라고 할 수 있으며 전 세계 초고층건축물에서 발생한 주요 화재사례는 <표 1>과 같다.

<표 1> 초고층 건물 주요 화재 사례

| 건물명 | 사고개요 |
|----------------------------|--|
| 중국 상하이푸동지구 (상하이 월드 파이낸셜센터) | 48층 용접작업 중 가연물에 착화. 1,000여명의 건설 노동자가 긴급하게 대피함. 중국 당국에 의해 자세한 사고내용은 미공개(101층) |
| 한국 서울(주상복합아파트) | 공사중 2층 천장 에어컨 배관 용접중 옆에 있던 우레탄폼에 불이 번져 급속히 연소확대됨(30층) |
| 태국 방콕 (프레지던트-타워 호텔) | 개장을 한 달 앞두고 공사 중인 호텔 7층에서 폭발음과 함께 출화. 강풍으로 인해 급격히 연속 확대됨(36층) |
| 홍콩 (오피스빌딩) | 오피스빌딩 19층에서 개장 공사 중 출화. 150명이 2시간 동안 갇혀 있었음.(30층) |

3. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 위험 분석

3.1 화재 시뮬레이션

3.1.1 화재 시뮬레이션의 목적

화재 시 화재의 크기 및 유동을 예측하고 연기의 흐름 및 독성물질에 의한 재실자의 영향을 분석하며, 전실화재(Flash over)의 발생 조건과 화재의 전파 조건 등을 미리 파악하여 유효한 대책을 마련한다.

- (1) 화재 시 피해 최소화 대책 마련의 기초자료 제공
- (2) 화재생성물을 파악하여 피난허용시간 파악

3.1.2 소프트웨어

- (1) 화재 분석 모델 : Field Model(저층부 세대), Zone Model(고층부 세대)
- (2) 사용 소프트웨어 : Field Model - FDS 4.03 및 Smokeview 4.0 Zone Model - FAST 3.1.7

3.1.3 시뮬레이션에 적용한 가정

- (1) 위험구역별로 단일구획 내에서 화재가 1건 발생하는 조건(동일시간에 2건 이상의 화재가 발생하지 않는 조건)
- (2) 연기배출설비(제연설비, 배연창 등)는 작동되지 않는 조건으로 수행
- (3) 스프링클러 헤드 가 설치되지 않은 경우와 설치된 경우 두 가지 경우 수행
- (4) 감지기는 천장(또는 반자)에 설치되어 정상적으로 작동하는 조건으로 수행
- (5) 감지기와 스프링클러 위치 및 종류는 도면에 따르거나 임의로 정함
- (6) T-squared 화재의 적용과 그에 따른 발열율

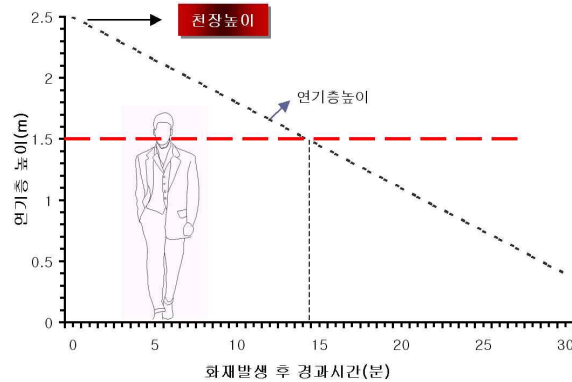
스프링클러가 설치된 곳에 화재가 발생하면 스프링클러가 작동하여 화재를 진압하거나 제어하게 된다. 따라서 스프링클러가 작동하는 순간까지는 화재가 성장할 수 있으나 일단 작동하고 나면 화재는 성장을 멈추게 되며 일정한 발열율을 가지다가 진화되게 된다.

- (7) 평가기준

① 호흡안전선

화재 시뮬레이션에 의하여 허용피난시간을 구할 때에는 여러 가지 평가요소(criteria)가 있지만 그 중에서 가장 많이 사용하는 것은 호흡안전선에 의한 평가이다. 화재로부터 생성된 독성연기가 사람의 호흡선(바닥에서 1.5m)까지 내려오면 피난하는 사람이 연기를 들며 마시게 된다. 따라서 [그림 2]와 같이 연기가 호흡선까지 내려오기 전에 모든 사람들은 피난을 완료해야 한다.

본 화재위험성 평가는 호흡안전선 1.5m를 기준으로 한다.



[그림 2] 호흡안전선

② 열유체 온도

FRDG(Fire Research and Development Group)의 1997년 “Fire Models Training Manual for FSO’s”에 의하면 인체에 접촉되는 온도층이 100℃ 이상 될 때를 안전성 평가 기준으로 판단한다. 한국인의 체형을 고려할 경우 바닥에서 1.8~2.0m를 기준높이(Head Height)로 볼 수 있으며 본 평가에서는 1.8m를 기준으로 가정한다.

③ 가시도

건물 내부를 잘 알고 있는 사람이 피난할 때 장애를 느끼는 5m를 한계치로 산정한다.

④ CO

일산화탄소 농도 400ppm을 기준으로 한다.

3.1.4 화재 시나리오

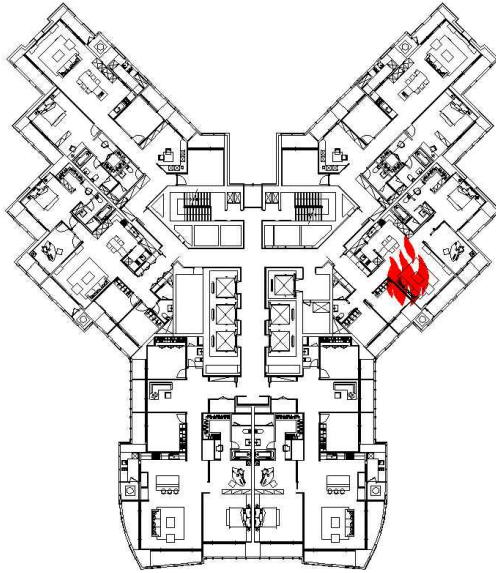
(1) 화원

본 시나리오에서 사용된 화원은 미국 NIST 산하 BFRL (Building and Fire Research Laboratory)에서 실시한 거실 마감재료($Q_{max} \approx 3.5MW$)의 HRR을 가정한다. 초기화재는 거실 마감 자재인 폴리에틸렌에 의한 화재이며, 적재되어 있는 마감 자재 스티로폼 등의 배치로 화재전파가 가능하도록 설정한다.

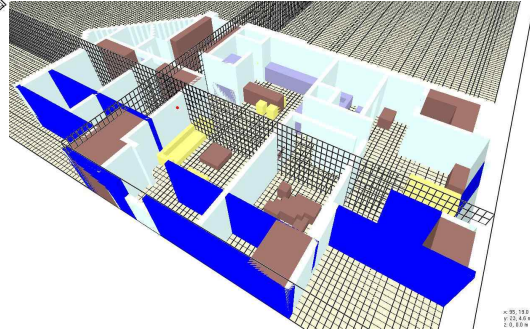
(2) 해석 공간

B-TYPE 지상11층의 한 세대의 거실 마감 공사로 설정한다.

- ① 총 216,000개의 격자수를 가진 1개의 mesh로 구성
- ② 총 계산시간은 600초
- ③ 발화지점 천장에 연기감지기 설치



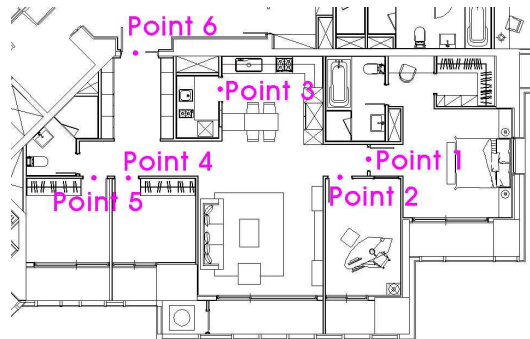
[그림 3] 화재 발생 위치 - 11층



[그림 4] 격자 구성 - 단위세대

(3) 측정점

호흡안전선에서의 위험도를 분석하기 위하여 측정점을 각 실의 출입구와 세대 현관에서 인체 호흡선인 1.5m 높이에 그림 3.5와 같이 총 6개를 설치하였다.



[그림 5] 측정점 위치

(4) 화재 시뮬레이션 결과분석

아파트 단위세대 화재에서 복도와 다른 세대로의 화재 확산 방지가 방재대책의 주안점이 된다. 현재 단위세대는 방화구획과 감중방화문으로 인접 세대와 구획이 되어 있어, 화재실에서 복도로의 개구부 폐쇄가 이루어진다면 구조상 건물 내부를 통해 복도 또는 다른 세대로의 화재 전파는 어려울 것으로 판단된다. 그러나 세대화재 시 피난시간 이전에 FLASH OVER가 발생하거나 감중방화문인 현관문이 계속 열려 있다면 다른 세대 피난에까지 영향을 끼치게 된다.

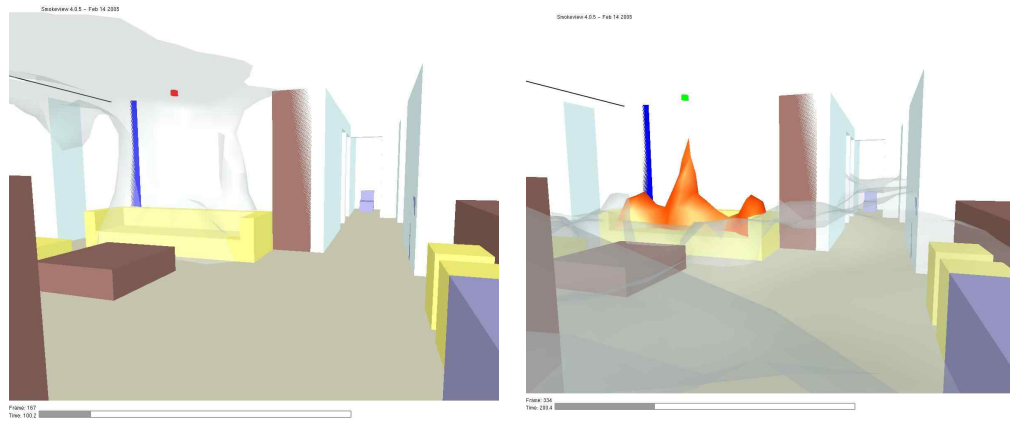
여기서는 현관문이 닫혀 있고, 스프링클러가 작동하지 않는 것으로 가정하여 시뮬레이션 한다.

① 열 방출율 변화

시뮬레이션 결과 초기화원(폴리에틸렌 마감재)에서 인접 가연물로의 화재전파로 인해 총 열방출율이 급격하게 상승하여 266초에 약 5MW에 이르게 된다.

② 화재의 전파

스프링클러 미적용 시 200초 전후에서 화재전파가 빠르게 일어난다.



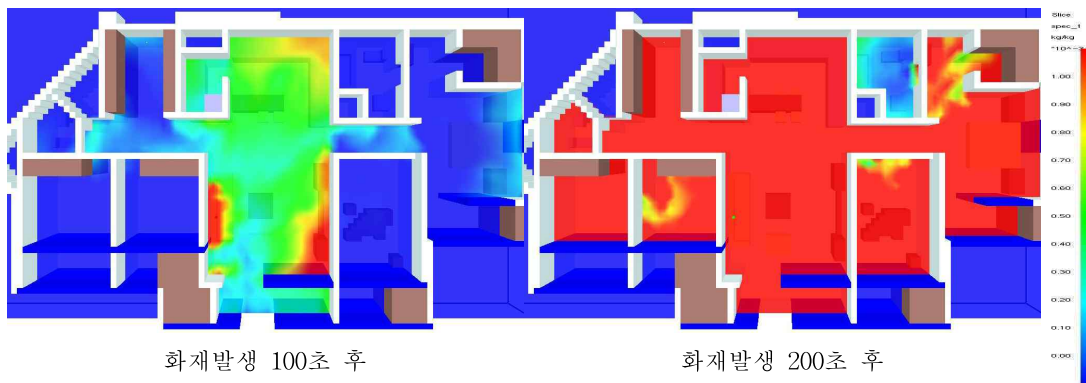
화재발생 100초 후

화재발생 200초 후

[그림 6] 해석공간의 연기하강

③ 연기의 하강

[그림 7]은 시간에 따른 거실의 연기층 하강을 보여준다. 약 200초 후에는 거실 체적 대부분이 연기로 충전되는 것을 볼 수 있다.



화재발생 100초 후

화재발생 200초 후

[그림 7] 바닥으로부터 높이 1.5m 지점 온도 분포

<표 2> 각 Point별 피난허용 시간

| 구 분 | 허용피난시간(초) | | | |
|--------------|-----------|------|------|------|
| | 연기층하강 | 온도 | CO | 가시도 |
| Point 1 | 175초 | 220초 | 430초 | 215초 |
| Point 2 | 210초 | 250초 | 450초 | 230초 |
| Point 3 | 155초 | 210초 | 360초 | 200초 |
| Point 4 | 190초 | 230초 | 380초 | 220초 |
| Point 5 | 190초 | 230초 | 380초 | 215초 |
| Point 6 (현관) | 170초 | 220초 | 380초 | 210초 |

4. 결 론

초고층 건축물 시공현장에서 화재가 발생하였을 경우에 야기될 수 있는 피난 안전성을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다.

시뮬레이션 결과 피난한계시간은 현관에서 연기가 바닥으로부터 1.5M(호흡안전선)까지 하강하는 시간인 170초이며, 피난은 피난개시시각 30초를 포함하여 41초가 소요되므로 방화구획된 공간의 근로자의 피난은 문제가 없는 것으로 분석되었다. 세대 내의 피난은 화재감지 및 피난개시시각이 주요한 요인으로 파악된다. 마감공사 등의 작업조건 또는 각 실의 구획에 의해 피난개시 시각의 지연이 있을 수 있으므로 화재 발생 후 최대 150초 이내에 피난개시 되어야 하는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 결과는 감지 시간 및 방화구획이 제대로 가동 되었을 때의 상황으로 시공 시 이러한 성능을 충분히 발휘되지 못한 상황을 고려하여야 한다. 따라서 시공 공정별 안전대책으로 첫째, 커튼 월 공사의 경우 임시 환기시설(휨 등) 설치, 불티 방지시설 설치/소화기구 구비, 건물 특성에 맞는 내화구조 시공, 현장반입 전 가연성 포장재 제거, 미사용 개구부 임시 폐쇄 및 임시방화구획 설치되어야 한다.

둘째, 설비공사의 경우 불티 방지시설 설치/소화기구 구비, 임시 발전기 사용 시 유류/전기화재 방지시설설치, 엘리베이터 설치공정 전 샤프트 폐쇄(임시) 다공정 동시 작업 시 공정순서 및 작업내용 조정/유도, 소방시설 단계적 조기설치/사용유도, 조기설치 불가시 임시시설 설치가 고려되어야 한다.

셋째, 마감 및 인테리어 공사의 경우 우레탄폼 등 단열재 설치 공정 간 환기철저, 화기엄금, 전기시설 사전확인/관리 철저/근로자 교육, 방염, 내화기준 준수, 자재관리철저, 지하 공간 자재적치 지양 (현장외부 활용/수량분할 반입), 적정습도 유지/환기, 조기사용 가능한 시설에 사용이 요구된다.

아울러 착공하기 전에 효과적인 화재예방 및 소방계획을 세우는 것이 필수적이며 향후 종합적인 화재안전방안에 대한 연구가 요구된다.

5. 참고 문헌

- [1] 함은구 「Simulation 분석을 통한 지하철 역사 피난동선 설계 방안에 관한 연구」 한국방재학회 논문집 제 10권 5호 (2010. 10)
- [2] 이강훈 「인간행동습성과 피난계단의 설계에 관한 연구」 한국화재소방학회지 제2권 (1994)
- [3] 김용욱, “고층건물 화재의 문제점과 방화대책에 관한 연구”, 경희대학교 경영대학원 석사논문 (1998)
- [4] 박양수, “초고층 건물의 대피시뮬레이션 개발에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사논문 (2000)
- [5] Jungwook Suh, Junho Choi, Gyuyeob Jeon, Wonhwa Hong, 「Analysis on How Residents' Evacuation Speed Changes in a High-rise Apartment Building through Field Experiment, 5th AIUE, (2008)
- [6] Junho. Choi, Gyuyeob. Jeon, Wonhwa. Hong, 「A Study on the Analysis of the Evacuation Safety at a High-rise Apt. on Fire」, 4th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (2006. 10)
- [7] Gyuyeob. Jeon, Wonhwa. Hong, 「Characteristic Changes in an Evacuation of Ecacuees by Using Phosphorescent Guidance Equipment; though the Simulated Escape Experiment」, WCOGI, (2007. 04)
- [8] Jinwoo Park, Gyuyeob. Jeon, Wonhwa. Hong, 「A Study on Problems of Fire Extinguishing Facilities System through Traditional Market Fire Accidents (with a Focus of Fire at the Seo-Moon Market)」, WCOGI 2007, (2007. 04)