

## 초고층 건물의 성능위주 소방 설계방안에 관한 연구

백민호

강원대학교 소방방재학부

### The study about the skyscraper's fire fighting plan of the performance-based design

Back, MinHo

Kangwon National University School of Fire & Disaster Prevention

#### 1. 초고층 건물의 개요

현재 초고층 건물의 정의는 그 층수 또는 높이에 따라 정확히 구분되어 있지 않으며 관점에 따라 상대적으로 정의되고 있다. 미국의 분리기준은 일반적으로 건물의 층수나 높이에 두지 않고 건물의 용적률이 그 지역의 평균에 비하여 상대적으로 높으며, 수직 교통을 위한 기계설비가 사용되고, 일상적인 저층 건물에서 사용되는 것과는 다른 공법 및 기술이 요구되는 건물의 세 가지를 기준으로 제시하고 있다.

일본의 경우에도 초고층 건물의 정의로서 정해진 것이 없이 지상 20층 이상의 또는 건축기준법 시행령 제 81조의 2(높이가 60m을 초과하는 건축물의 특례)에 근거하여 높이가 60m을 초과하는 것을 일단 초고층 건물이라 정의하고 있다.

우리나라의 경우도 명확한 정의가 되어있지 않고, 내진설계에 의한 구조안전 확인 대상물인 21층 이상 건물을 초고층 건물로 간주하여 왔으며, 국제 고층건물학회(Council of Tall Building and Urban Habitat)는 50층 이상으로 제시하고 있다.

표1 초고층 건물의 분류

분류	내용
미국	- 건물의 용적률이 그 지역의 평균에 비하여 상대적으로 높으며 - 수직교통을 위한 기계설비가 사용되고 - 일상적인 저층 건물에서 사용되는 것과는 다른 공법 및 기술이 요구되는 건물 - 70층에서 100층(시카고)
일본	- 지상 20층 이상 - 높이가 60m을 초과하는 건축물
우리나라	- 내진설계에 의한 구조안전 확인 대상물인 21층 이상 건물
국제 고층건물학회	- 50층 이상으로 제시

#### 2. 초고층 건물의 화재 발생 사례

우리나라 고층건물의 화재발생건수는 2003년을 기준 한다면 전체 11층 이상 고층 건

물의 수가 38,556동인데, 여기서 168건의 화재가 발생하였으므로 2003년 한국 고층건물 화재 발생 빈도수는  $168/38,556 = 4.36 \times 10^{-3}$  [건/yr] 가 된다.

표3과 같이 고층건물의 주요화재 원인 4가지를 비교하면 담배, 합선, 불량난, 방화 순서이며, 고층건물 거주유형별 화재발생장소를 비교하여 나타내었다.

표2 초고층 건물의 화재발생사례

건물명	규모	일시	피해	문제점·특징
MGM 그랜드 호텔 (미국)	26F	80년11월21일 7시17분	• 85명 사망 • 679명 부상	• S.P없음 • 계단연기 • 구획미흡
퍼스트 인터스테이트 뱅크 (미국)	62F/ B3	88년5월14일 22시30분	• 1명 사망 • 40명 부상	• 화재감지무시 • 층간확산 계단,shaft, • S.P없음
고층맨션 (일본)	28F/ B1	89년8월24일 15시53분	• 24층 주택 • 6명 부상	• 계단으로 연소, • S.P미설치 • 헬기로 피난 및 소방대 투입유도
One Meridian 플라자 (미국)	38F	91년2월23일 20시 30분	• 3명 사망 • 25명 부상	• 화재발생 층 스프링클러/감지기부족 • 부적절한 연소물질 취급 및 저장
로열죤더호텔 (태국)	17F/ B1	97년7월11일9시 1층 커피숍	• 92명 사망 • 70명 부상	• 계단으로 확산 • S.P미설치

표3 우리나라 초고층의 거주유형별 화재발생장소 및 주요화재원인 비교

구분	거주유형별 화재발생장소	주요화재원인
1순위	거실	담배
2순위	주방	합선
3순위	사무실	불량난
4순위	계단, 통로	방화

### 3. 초고층 건물의 성능위주 설계 방안

#### 3.1 초고층 건물의 법적 적용의 문제점

고층건물이 처음 등장한 시기에 전문가들은 콘크리트, 철근, 철골을 사용하여 건축된다는 사실을 근거로 근본적으로 화재에 대하여 안전한 것으로 인식하였으며 심지어 이러한 건물은 내화성능을 확보한 것으로 보았다. 그러나 연속되는 고층건물 화재를 보면서 고층건물이 가지는 특수한 화재안전 문제와 방화대책이 필요함을 인식하게 되었다.

외국의 사례로서 미국의 NFPA 산하 화재분석 및 연구 분과의 2000년 5월 초고층 건물보고서에 따르면 대부분의 초고층 화재는 아파트건물에서 발생하는 것으로 발표되었다. 예로서 1997년의 경우, 10건의 아파트 건물 화재 중 1건이 고층에서 발생되었다. 또한 사무용 건물화재의 10%는 고층에서 발생된 것으로 보고되고 있다.

미국에서의 고층 아파트의 화재 발생 비율은 스프링클러의 설치, 경보 감지 설비의 발전 그리고 구조재의 내화성능 확보 등을 포함하는 관련 법규 등의 강화 등으로 점차 낮아지고 있으나 국내의 경우에는 고층 건물의 화재위험성에 대응하여 적용할 수 있는 관련 규정의 미비로 많은 문제점을 내포하고 있다.

특히 초고층 주거시설과 주상복합건물에 대한 건설이 폭발적으로 증가하는 국내 상황에서 최소한의 화재안전을 확보하기 위한 관련 법 규정은 초고층 건물과 같은 특수하

고 예외적인 용도에 대하여 적용하기에 한계가 있다.

따라서 초고층 건물 설계 시 제한 요소로 작용되는 건폐율, 용적률, 높이제한, 공지확보 등의 집단규정과 더불어 방화 및 피난, 승강기, 헬리포트, 주차대수 산정, 피뢰설비, 특히 화재 시 인명안전에 결정적인 설계요소인 배연창과 배연설비 등 제연관련 규정은 공학적 분석과 성능평가를 통하여 완화할 부분은 완화하고 강화할 부분은 강화하는 제도적보완이 필요하며 미국의 예와 같이 별도의 용도로 분리하여 관련 규정을 마련할 필요가 있다.

### 3.2 화재사례 및 연기전파경로 분석에 따른 설계방안

고층건물에 있어서 화재사고사례를 분석하면 몇 가지의 유형이 정리되며 이에 따른 설계방안을 정리하면 표 4와 같다. 사고사례 및 ETA로 분석한 화재 및 연기전파경로 결과 분석과 사고사례와 ETA 분석으로 나온 건축물 내에서 화재 및 연기전파경로를 건축적인 Detail을 통한 잠재적 경로를 정리해 보면 표5와 같이 정리될 수 있다.

표4 화재사고사례의 유형분석을 통한 문제점 및 설계방안

사고유형	기존 Protection	문제점	설계방안
Concealed Space를 통한 화재전파	NFSC 103 15조 5,6,7	높이에 따른 protection 규정은 있으나 넓이에 따른 규정 없음. 화재의 위험의 정도를 알 수가 없음.	일정면적 이상의 Concealed Space의 공간에서는 방화구획이 필요. 외벽과 슬래브사이 내화물질로 구획할 것
고강도 철근콘크리트의 내화성	범규격 규정 없음	폭열로 인한 내화성 감소로 인한 건물붕괴 위험성	FP등의 섬유 첨가제를 0.05% 이상 첨가하여 화재에 대한 내화성을 증가시킴.
고층건물에서의 피난시간 지연	건축법 시행령 5장	현재 범규격적인 피난방안은 효율적인 피난방안체시가 어려울 뿐만 아니라 피난시간이 얼마나 걸리는지도 알 수 없음.	성능위주 평가를 통한 피난의 효율성 평가. 초고층에서의 엘리베이터 피난 고려.
창문으로 인한 화재전파	발코니 등의 구조변경 절차 및 설치기준(아파트) 일반 오피스건물에 대한 기준은 없음	현재의 범규격의 성능을 알 수 없음. 공간이용의 효율성과 미관에 좋지 않음.	측벽에 스프링클러설치 및 성능평가를 통한 Spandrel 길이 조정
초고층 대규모 화재시 피난층까지 피난시간 장기화	범규 없음	초고층에서 대규모 화재시 화재 및 연기전파에 대한 안전지역 없음.	전체 피난을 효율성이고 거주인원의 안전을 확보하기 위한 일시적인 피난처인 대피층(Refuge Floor) 마련
노약자 및 장애인 화재 노출시 무방비	범규 없음	초고층 건물에서의 노약자 및 장애인을 위한 피난시설 없음.	주 계단실 주변에 Refuge Area 설치하고 피난층을 설치할 것. 건물 내에 노약자/장애인의 비율을 산정하고 설계할 것
조기 진력 손실에 따른 피난 및 화재진압 방해	NFSC 304 비상조명등의 화재안전기준	비상 전원 및 Back up 전원이 동시에 문제가 발생할 때 초고층 건물 내 인원등의 안전을 보장 못함. 화재진압을 위한 진입 불가함	Photoluminescent Marking의 재료가 피난 계단에 설치되어야 함
화재로 인한 건물구조체의 붕괴	건축법 시행령 56조 건교부 고시 2000-93호	성능의 정도를 알기가 어려움. Over Design으로 시공비가 올라감.	성능위주의 평가의 필요성. 철골조 내화구조에 Intumescent Coating 재료 사용
엘리베이터 피난	범규격 규정 없음	초고층 건물 내에 화재시 엘리베이터 사용으로 사망	엘리베이터 사용 교육 철저. 초고층 건물내 엘리베이터를 이용하기 위한 설비 구축. 구획별 비상피난계획 작성 후 엘리베이터 이용
피난 단실 연돌현상 (Stack Effect)	NFSC 501A	초고층 건물 내 화재발생시 피난계 단실과 엘리베이터 실의 연돌 효과로 1층에서 화재가 발생했으나 고층에서 사망자 발생 (MGM 및 Dupont Plaza 화재)	성능위주의 평가로 위험성 판단. 압력차를 몇 개의 구역으로 나눌 것. 압력차를 최소 20Pa ~ 최대 80Pa 이내로 둘 것
엘리베이터 실 연돌현상 (Stack Effect)	범규격 규정 없음	초고층 건물 내 화재발생시 피난계 단실과 엘리베이터 실의 연돌 효과로 1층에서 화재가 발생했으나 고층에서 사망자 발생 (MGM 및 Dupont Plaza 화재)	성능위주의 평가로 위험성 판단. 압력차를 12Pa 둘 것. Vent Area는 전체 Shaft area에 약 35%면적이나 엘리베이터 개수당 0.28㎡ 면적 중 큰 값으로 설계
스프링클러 미설치 혹은 관리소홀	NFSC 103, 103A	현재 국내의 스프링클러의 설치 기준은 면적 기준이기 때문에 각 위험성에 대응이 효율적이지 못함. RTI등의 관리가 없어서 성능에 대한 정확한 평가가 힘들	스프링클러 설치 기준을 위험정도에 따라 할 것. RTI와 살수일도에 대한 관리가 필요함.
화재 훈련 및 비상대응 절차 미비	소방법 제9조 동법 시행령 10조	피난계획등이 구체적이지 못하거나 유명무실함. 초고층의 경우 순차적인 피난이 필요함	피난 훈련 및 비상대응절차가 구체적이고 실제 사용 가능한 절차가 필요함. 특히 초고층에서는 피난 인원이 피난계단에 과도하게 몰려 인명피해가 발생하는 것을 막기 위해 순차적 피난이 요구됨

표5 화재 및 연기전파 경로분석에 따른 화재위험 예방방안

사고유형	기존 Protection	문제점	새로운 기준제안
벽과 벽틈 사이의 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
개구부를 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
외부지붕을 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 22조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
지붕밑 공간 및 Concealed Space를 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 19조 (대상: 공동주택, 기숙사 실, 병실, 교실, 숙박시설 등) NFSC 103 15조	국내 Concealed Space에 대한 높이에 따른 스프링클러 설치 규정만 존재 초고층 화재사고사례 등을 살펴보면 Concealed Space에 대한 화재로 인한 인명/재산피해가 큼	PBD에 의한 평가 일정 면적당 방화구획 감지기 설치 스프링클러 설치 필요
Concealed Space 및 플랜 룸을 통한 화재/연기전파	국내의 층간방화구획	국내 Concealed Space에 대한 규정 미비. 초고층 화재사고사례 등을 살펴보면 Concealed Space 화재로 인한 인명/재산피해가 큼.	PBD에 의한 평가를 통해 일정 면적당 방화구획 감지기 설치 스프링클러 설치 Sealing 철저
수평덕트 공간을 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
수직덕트공간을 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
바닥에서 샤프트 및 계단실/엘리베이터를 통한 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 (대상: 계단실: 9조 엘리베이터: 건축물의설비기준등에관한규칙, 샤프트: 14조)	법규적으로 시행했을 시 그 성능이 의문시됨.	시험 혹은 PBD에 의한 평가를 통한 검증이 필요
천정 및 천정 틈을 통한 화재/연기 전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14, 19조	법규적으로 시행했을 시 문제없음.	-
창문을 통한 화재/연기 전파	발코니등의구조변경절차및설치기준	법규적으로 시행했을 시 그 성능이 의문시됨.	외부 유리 벽면에 스프링클러 설치 Spandrel 최소길이제안 PBD에 의한 평가
건물 파사드를 통한 화재전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 14조	Facade의 작은 틈새를 통한 화재/연기 전파	Facade와 Spandrel 재료의 완벽한 밀봉시공의 기준이 요구
옆 건물의 화재로부터 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 22, 23조	법규적으로 시행했을 시 그 성능이 의문시됨.	PBD에 의한 평가
건물 외부화재로부터 화재/연기전파	건축법 피난 및 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 22, 23조	법규적으로 시행했을 시 그 성능이 의문시됨.	PBD에 의한 평가

### 3.3 화재사례의 결과로 본 설계방안

#### 1) 고층건물의 화재원인별 방안

국내 고층건물의 화재원인별 분석에 따르면 전기화재가 34%, 담배화재가 10.6% 그리고 방화가 10.3%에 해당된다. 반면 미국의 주요화재원인은 조리기기 35%, 담배 13%, 방화 11.9%의 순으로 해당된다.

전기화재의 예방으로는 전기시설의 노후화를 개선시키고 화재 발생 우려가 있는 장소에 누전 감지기 등을 설치하는 방법이 있다. 이는 전기화재의 대부분이 전기시설의 노후화의 원인으로부터 발생된다는 점이기 때문이다.

조리화재의 경우 지속적인 교육이 필요하며 초고층의 경우 가스시설의 안전성을 판단해 볼 필요가 있다. 이는 해외선진국들에서는 초고층에 가스시설을 허가하지 않으나 국내 초고층 건물에서는 관련 규정이 없다. 이는 국내초고층건물에 가스폭발 및 화재위험을 내포하고 있다는 것이다. 가스조리시설의 경우 일정시간이 지나면 자동으로 꺼지는

시설을 사용하게 하는 것도 하나의 방법이며 이는 가스조리시설의 화재 사례 중 불을 켜놓고 외출을 하거나 건망증 등에 인해 화재가 발생하는 사고가 적지 않다는 이유이다.

담배 화재에 대한 예방 방안은 건물 내 금연운동과 함께 현재 개발 중인 화재가 발생하지 않는 담배의 사용을 권장하는 것도 하나의 방법일 것이다.

## 2) 고층건물의 화재장소별 방안

고층건물의 국내 화재장소별 순위는 2002년 기준으로 거실이 29%, 주방이 22%, 사무실 13%, 계단/통로가 12%이다. 반면 미국의 통계를 살펴보면 건물의 용도에 따라 조금씩 차이를 보이나 일반적으로 주방이 화재발생장소 1위이며 침실이 2위를 차지하고 있다. 국내 자료의 경우 거실은 침실을 포함하는 장소로 해석하여야 한다. 이는 앞에서 언급하는 바와 같이 건축법상 거실의 정의가 침실을 포함하는 의미로 쓰이기 때문이다.

초고층 건물 내의 거실 및 침실의 화재의 경우, 화재의 빠른 감지와 진압을 위하여 감지기를 설치하고 스프링클러를 설치할 것을 권장한다. 현재 국내법에서는 11층 이상의 건물에서 스프링클러를 설치하는 것으로 되어 있지만, 초고층 건물에서는 예상되는 화재피해를 고려한다면 모든 층에서 스프링클러를 설치하는 것이 필요하다.

초고층 건물 내의 주방 및 사무실의 화재의 경우 역시 특별한 방법이 있다기보다는 기본적인 자동 감지 및 소화설비 그리고 방화구획, 적절한 마감재 그리고 지속적인 교육 및 유지관리가 해답이라 하겠다. 다만 주방의 요리시설의 경우 가스시설을 전기시설로 대체하는 방안을 찾아야 할 것이다.

계단 및 통로시설의 화재의 원인은 화재가 발생 할 수 있는 적재 혹은 저장물질이다. 이는 적절한 유지관리로 비상시 피난로로 사용 되어야 할 계단 및 통로시설을 안전하게 관리해야 할 것이다.

## 3) 고층건물의 주요사망 원인별 예방방안

미국 NFPA 통계에 따르면 최근 5년간 주요사망원인은 연기가 약 78%, 화상이 약 18%에 이른다. 이는 고층 건물 내에 연기에 관련된 시설 즉 제연 및 HVAC시설에 대한 연구와 예방방안이 뒤 따라야 한다는 것을 보여주고 있다.

현재의 국내의 제연법규는 제연설비의 성능을 알 수 없을 뿐만 아니라 화재발생시 적합성을 알 수 없다. 이는 시험 및 시뮬레이션 등을 통한 성능위주(PBD)로 접근하여 그 기준을 제정하고 그에 맞는 제연설비를 갖춰야 할 것이다.

초고층에서는 굴뚝효과 (Stack Effect)의 문제는 미국의 고층건물인 MGM 호텔 화재나 DuPont Plaza의 사고에서 볼 수 있듯이, 화재는 1층에서 발생하고 사망자는 고층에서 일어나는 사례가 국내에 발생할 수 있는 위험이 늘 있다는 것이다. 이에 초고층 건물에서는 반드시 Stack Effect의 대비책을 세워야 하고, 피난계단실을 하나의 공간으로 사용하는 것이 아니라 몇 개의 구간으로 나누는 것이 방법이 될 수 있다. 성능평가 없이 계단실 압력을 걸어줘서 연돌효과를 막을 수 있는 효율최대높이 30m로 알려져 있고, 계단실의 압력의 차는 20~80Pa 사이로 걸어주는 것이 적당한 것으로 알려져 있고 엘리베이터 샤프트 실은 약 12Pa을 걸어주면 굴뚝효과를 막기에 적당한 설계기준으로 보고되고 있다. (Klote, J. and Mike, J. Design of Smoke Management Systems.)

화상으로 인한 사망자의 발생에 대한 대응 방안은 화재 감지시간을 줄이고, 빠른 피난이 이루어지기 위해 건물의 피난 효율성을 높이는 방안을 도출해야 한다. 이에 적절한 소방 설비 구축 및 화재훈련, 그리고 적절한 넓이의 피난구와 피난 개수를 설계부터 반영하여야 할 것이다.

#### 4) 고층건물의 초기화재 관여물질에 대한 예방방안

미국의 주택에 있어서 초기화재에 관여하는 물질의 순위는 다음과 같다. 일반적 물질 28.6%, 건축마감재 23.4%, 섬유제품 12.7%, 전압기 및 연료 11.1%의 순이다. 일반적인 물질이라 함은 조리물질, 쓰레기, 생활용품으로 정의한다. 초고층건물 주거용도에 있어서 이러한 물질의 사용제한은 쉽지 않아 보인다. 따라서 적절한 소방 설비를 갖추고, 화재 규모가 큰 연료의 저장관리(저장량과 장소)에 중점을 두어야 하고 지속적인 교육과 훈련이 화재를 예방하고 피해를 줄이는 데 도움이 될 것이다.

#### 5) 고층건물의 층별 화재발생빈도에 따른 예방방안

국내 고층건물의 화재 발생빈도를 살펴보면 약 78%의 화재가 1층에서 4층에서 발생하는 것을 알 수 있다. 고층건물의 저층부 지점은 여러 복합 시설이 존재하고 또한 유동인구가 많음에 따라 그 만큼 화재 발생빈도가 큰 결과라 할 수 있다. 이는 미국의 NFPA의 통계에서도 비슷한 결과를 나타낸다. 따라서 사람의 출입이 많고 유동인구가 많은 건물의 저층부 및 복합시설물지역에 화재감시와 비상대응계획을 강화하여야 한다.

#### 6) 방화로 인한 화재에 대한 예방방안

방화는 단순한 문제가 아니라 사회적, 복합적인 문제이다. 따라서 이에 대한 예방 방법이 쉽지는 않아 보인다. 일반적으로 방화는 건축적으로 접근하면 출입구에서부터 가장 멀고 잘 노출이 되지 않는 공간에서 화재의 발생빈도가 높다. 따라서 여러 은폐가 잘 되는 장소의 특별관리가 필요하다.

### 4. 마무리

본고에서는 초고층빌딩과 관련한 성능위주의 소방 설계에 대해 논하였다. 건축물 내부 공간의 인명안전을 위협하는 요소 중 화재는 그 발생 확률이 높다고 할 수 있다. 따라서 다수의 인원이 밀집하여 있는 초고층 건물에의 화재 안전 확보를 위한 제반 대책은 매우 중요하게, 그리고 가장 우선적으로 고려되어야 할 것이다.

현재 우리는 최고층의 건축물을 앞 다투어 건설 중에 있으며, 최고층의 주거형태에서 생활하고 있는 상황에서 국내의 건설 기술력은 이미 입증되었으나, 이에 수반하여 초고층 건물의 화재 안전성능에 대한 다양하고 폭넓은 논의가 더욱 필요하다고 보여 진다.

더욱이 현재 국내 건축 관련 법규나 소방법에서는 초고층 건축물의 안전성을 확보할 수 있는 최소한의 규정조차 불충분한 현실에서 인명안전을 위한 화재안전설계의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

따라서 이러한 초고층 건물의 화재 특성에 대한 공학적인 분석과 연구 및 법적, 제도적 보완이 필요하며, 성능기준 화재안전설계를 통한 적정 수준의 화재안전이 확보되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 소방방재청, 소방장비통계집, 2005. 4
2. 소방방재청, 2005 예방소방행정 통계자료, 2005. 3
3. 소방방재청, 소방행정자료 및 통계, 2005. 6
4. 소방방재청, 초고층 화재예방 및 진압 대책 개발연구, 2006. 12